



GUIDA ALLA PROTEZIONE CONTRO I FULMINI

Terza edizione aggiornata



DEHN + SÖHNE – BLITZPLANER®
Manuale per la protezione contro i fulmini
Terza edizione 2016

ISBN 978-3-9813770-2-6

Protezione da sovratensioni
Protezione da fulmini / Impianti di terra
Antinfortunistica

DEHN protegge.

DEHN ITALIA S.P.A.
Via G. di Vittorio 1/b
39100 Bolzano BZ
Italy

Telefono: +39 0471 561300
Fax: +39 0471 561399
info@dehn.it
www.dehn.it

actiVsense, BLITZDUCTOR, Blitzfibel, BLITZPLANER, CUI, DEHN, il Logo DEHN, DEHNARRESTER, DEHNbloc, DEHNbridge, DEHNfix, DEHNgrip, DEHNguard, DEHNport, DEHNQUICK, DEHNrapid, DEHN schützt., DEHNshield, DEHNSnap, DEHNventil, HVI, LifeCheck, Red/Line, "...mit Sicherheit DEHN" e il marchio commerciale in colore rosso sono marchi registrati Germania e in altri Paesi.

I termini di prodotto menzionati nella guida alla protezione contro i fulmini che sono anche marchi registrati non sono stati contrassegnati separatamente. Pertanto, non si può dedurre dalla mancanza del simbolo TM o ® che un termine non è un marchio registrato. Allo stesso modo, non si può trarre conclusioni in base al testo circa l'esistenza di brevetti, modelli di utilità o altri diritti di proprietà intellettuale e industriale di un prodotto.

Ci riserviamo il diritto di apportare modifiche al progetto, alla tecnologia, dimensioni, pesi e materiali in base al progresso della tecnica. Le illustrazioni non sono vincolanti. Non ci assumiamo alcuna responsabilità per errori di stampa, modifiche ed altri errori. La riproduzione, anche parziale, è consentita solo previo consenso.

Pubblicazione n. DS702/I/2016.
© Copyright 2016 DEHN + SÖHNE



Contenuto

Premessa	7		
1 Stato della tecnica per la costruzione di impianti di protezione contro i fulmini	9		
1.1 Norme per l'installazione	10		
1.2 Contratti d'opera	12		
1.3 Norme di prodotto	12		
2 Caratteristiche della corrente di fulmine 15			
2.1 Scarica di fulmine e curve della corrente di fulmine.	16		
2.2 Valore di picco della corrente di fulmine	18		
2.3 Pendenza del fronte di salita della corrente di fulmine.	21		
2.4 Carica della corrente di fulmine	22		
2.5 Energia specifica	23		
2.6 Componenti della corrente di fulmine.	24		
2.7 Assegnazione dei parametri della corrente di fulmine ai livelli di protezione contro i fulmini.	24		
2.8 Misure della corrente di fulmine per fulmini ascendenti e discendenti	25		
3 Progettazione di un impianto di protezione contro i fulmini	29		
3.1 Necessità di un impianto di protezione contro i fulmini	30		
3.2 Note esplicative sulla norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2): Valutazione del rischio	34		
3.2.1 Cause di danno, tipi di danno e tipi di perdite	34		
3.2.2 Basi per la valutazione del rischio	35		
3.2.3 Frequenza degli eventi pericolosi	36		
3.2.4 Probabilità del danno	39		
3.2.5 Perdita	44		
3.2.6 Componenti di rischio rilevanti per diversi tipi di fulmini	48		
3.2.7 Rischio accettabile di danno da fulmine	49		
3.2.8 Selezione delle misure di protezione contro i fulmini	49		
3.2.9 Perdita di valore economico/ Redditività delle misure di protezione	50		
3.2.10 Assistenza al calcolo	52		
3.3 Supporto per la progettazione DEHNsupport Toolbox	53		
3.3.1 DEHN Risk Tool: analisi dei rischi secondo la norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2).	53		
3.3.2 Software DEHN Distance Tool; calcolo della distanza di isolamento secondo CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)	56		
3.3.2.1 Analisi nodale	56		
3.3.2.2 Informazioni sul software DEHN Distance Tool.	58		
3.3.3 DEHN Earthing Tool: calcolo della lunghezza dei dispersori secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3).	58		
3.3.4 Strumento DEHN Air-Termination Tool (Strumento Captatori); calcolo della lunghezza delle aste di captazione secondo CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3).	59		
3.4 Ispezione e manutenzione	59		
3.4.1 Tipi di ispezioni e qualifica degli ispettori	59		
3.4.2 Procedura dell'ispezione	61		
3.4.3 Documentazione	61		
3.3.4 Manutenzione	62		
4 Sistema di protezione contro i fulmini . 63			
5 Protezione contro i fulmini	65		
5.1 Dispositivi di captazione	66		
5.1.1 Tipi di impianti di captazione e metodi di progetto	66		
5.1.2 Impianti di captazione per edifici con tetto spiovente	76		
5.1.3 Impianto di captazione per edifici con tetto piano	78		
5.1.4 Dispositivi di captazione su coperture metalliche	79		
5.1.5 Impianto di captazione per edifici con copertura morbida	82		
5.1.6 Tetti calpestabili	85		
5.1.7 Impianto di captazione per tetti verdi e tetti piani	86		
5.1.8 Impianti di captazione isolati	86		
5.1.9 Impianto di captazione per campanili e chiese.	90		
5.1.10 Dispositivi di captazione per impianti a energia eolica	91		
5.1.11 Aste di captazione soggette all'azione del vento	92		
5.1.12 I sistemi di sicurezza e la protezione contro i fulmini.	96		
5.2 Calate	98		
5.2.1 Determinazione del numero di calate	99		
5.2.2 Calate in un sistema di protezione contro i fulmini non isolato	99		
5.2.2.1 Realizzazione delle calate	100		
5.2.2.2 Elementi naturali della calata	101		

5.2.2.3	Punti di sezionamento	103	5.8	Collaudo del costruttore dei componenti del sistema di protezione contro i fulmini	169
5.2.2.4	Calate interne	103	5.9	Dimensionamento dei dispersori per cabine di trasformazione.	173
5.2.2.5	Cortili interni	103	6	Protezione contro i fulmini interna	181
5.2.3	Calate di un sistema di protezione contro i fulmini esterno isolato	103	6.1	Collegamento equipotenziale per installazioni metalliche	182
5.2.4	Condutture isolata resistente all'alta tensione - condotta HVI.	104	6.1.1	Sezioni minime dei conduttori di collegamento equipotenziale secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)	185
5.3	Materiali e dimensioni minime per organi di captazione e di calata	113	6.2	Collegamento equipotenziale per impianti di alimentazione di rete	185
5.4	Misure di montaggio per organi di captazione e di calata	114	6.3	Collegamento equipotenziale per impianti informatici	186
5.4.1	Dilatazione dei fili in metallo.	116	7	Protezione di sistemi elettrici ed elettronici contro i LEMP	191
5.4.2	Protezione contro i fulmini esterna per una struttura industriale e residenziale	119	7.1	Concetto di zona di protezione contro i fulmini	192
5.4.3	Indicazioni per il montaggio di staffe portafilo per tetto	119	7.2	Gestione della protezione LEMP	195
5.5	Impianti di messa a terra.	122	7.3	Calcolo dell'attenuazione del campo magnetico da parte della schermatura per edifici/locali	196
5.5.1	Impianti di messa a terra secondo IEC 62305-3 (EN 62305-3).	131	7.3.1	Schermatura dei cavi.	202
5.5.2	Impianti di messa a terra, dispersori di fondazione e dispersori di fondazione per costruzioni particolari	133	7.4	Rete equipotenziale	205
5.5.3	Dispersori ad anello - Dispersore di tipo B.	144	7.5	Collegamento equipotenziale al confine tra LPZ 0 _A e LPZ 1	206
5.5.4	Dispersori verticali - Dispersore di tipo A	144	7.5.1	Collegamento equipotenziale per installazioni metalliche	206
5.5.5	Dispersori in terreni rocciosi	146	7.5.2	Collegamento equipotenziale per impianti di alimentazione elettrica.	207
5.5.6	Dispositivo di captazione a maglie.	146	7.5.3	Collegamento equipotenziale per impianti informatici	211
5.5.7	Corrosione dei dispersori.	147	7.6	Collegamento equipotenziale al confine tra LPZ 0 _A e LPZ 2	211
5.5.7.1	Impianti di messa a terra con particolare attenzione alla corrosione	147	7.6.1	Collegamento equipotenziale per installazioni metalliche.	211
5.5.7.2	Formazione di elementi galvanici, corrosione	148	7.6.2	Collegamento equipotenziale per impianti di alimentazione energetica	211
5.5.7.3	Scelta dei materiali per i dispersori	151	7.6.3	Collegamento equipotenziale per impianti informatici	212
5.5.7.4	Combinazione di dispersori costituiti da materiali diversi	152	7.7	Collegamento equipotenziale tra LPZ 1 e LPZ 2 e oltre	213
5.5.7.5	Altre misure per la protezione da corrosione.	153	7.7.1	Collegamento equipotenziale per installazioni metalliche.	213
5.5.8	Materiali e dimensioni minime per dispersori	154	7.7.2	Collegamento equipotenziale per impianti di alimentazione energetica	214
5.6	Isolamento elettrico della protezione contro i fulmini esterna - Distanza di sicurezza.	154			
5.7	Tensione di passo e di contatto	160			
5.7.1	Controllo delle tensioni di contatto delle calate per impianti di protezione contro i fulmini.	163			
5.7.2	Ottimizzazione della messa a terra per la protezione contro i fulmini considerando la tensione di passo	165			



7.7.3	Collegamento equipotenziale per impianti informatici	215	9.4	Aggiornamento delle misure di protezione contro i fulmini e le sovratensioni per impianti di depurazione	291
7.8	Coordinamento delle misure di protezione sui diversi confini LPZ	215	9.5	Requisiti di sicurezza per impianti di distribuzione dei segnali televisivi, controlli a distanza, segnali sonori e servizi interattivi	297
7.8.1	Impianti di alimentazione	215	9.6	Protezione contro le sovratensioni nelle strutture agricole.	303
7.8.2	Sistemi informatici	218	9.7	Impianto di videosorveglianza - Protezione da sovratensioni.	307
7.9	Verifica e manutenzione dei sistemi di protezione LEMP.	220	9.8	Protezione da sovratensioni per impianti a diffusione sonora	311
8	Scelta, installazione e montaggio dei dispositivi di protezione dalle sovratensioni (SPD)	223	9.9	Protezione da sovratensioni per impianti d'allarme.	315
8.1	Impianti di alimentazione (nell'ambito del concetto di protezione da fulminazione a zone secondo IEC 62305-4 (CEI EN 62305-4) - CEI EN 62305-4), CEI 81-10/4	224	9.10	Protezione da fulmini e sovratensioni per sistemi KNX	319
8.1.1	Caratteristiche dei dispositivi SPD	225	9.11	Protezione contro le sovratensioni per reti ETHERNET e Fast Ethernet	325
8.1.2	Utilizzo di SPD in diversi sistemi	226	9.12	Protezione da sovratensioni per M-Bus	331
8.1.3	Utilizzo di SPD nel sistema TN	228	9.13	Protezione da sovratensioni per PROFIBUS FMS, PROFIBUS DP e PROFIBUS PA	337
8.1.4	Utilizzo di SPD nel sistema TT	235	9.14	Protezione da sovratensioni per utenze di telecomunicazione	341
8.1.5	Utilizzo di SPD nel sistema IT	239	9.15	Protezione contro le sovratensioni per lampioni a LED	345
8.1.6	Determinazione delle corrette lunghezze di collegamento per dispositivi SPD.	242	9.16	Protezione contro i fulmini e le sovratensioni di generatori eolici Multi-Megawatt	349
8.1.7	Dimensionamento delle sezioni e del prefusibile per dispositivi di protezione da sovratensioni	246	9.17	Protezione delle stazioni Radiomobile (4G/LTE)	361
8.1.8	Limitatore di sovratensione con prefusibile integrato	250	9.18	Protezione contro i fulmini e le sovratensioni per sistemi fotovoltaici	369
8.2	Sistemi informatici	251	9.19	Protezione contro fulmini e sovratensioni per impianti fotovoltaici a terra	383
8.2.1	Impianti di controllo, misurazione e regolazione	260	9.20	Protezione contro le sovratensioni per reti locali (LON)	395
8.2.2	Tecnologia di gestione di un edificio	261	9.21	Protezione contro le sovratensioni per stazioni di rifornimento	399
8.2.3	Sistemi di cablaggio generico (reti informatiche, sistemi di telecomunicazione)	262	9.22	Protezione contro le tensioni di contatto e di passo per campi sportivi.	403
8.2.4	Circuiti di misura a sicurezza intrinseca	263	9.23	Protezione contro i fulmini e le sovratensioni per campi da golf	407
8.2.5	Particolarità nell'installazione di SPD	268	9.24	Protezione da sovratensioni per chiese	413
8.2.6	Protezione e disponibilità degli impianti grazie alle strategie di manutenzione	271	9.25	Protezione contro le sovratensioni per lampade lineari	417
9	Soluzioni di protezione		9.26	Protezione da sovratensioni per ascensori	421
9.1	Protezione da sovratensioni per convertitori di frequenza	273	9.27	Protezione contro le sovratensioni per sistemi di aspirazione di fumo e calore	423
9.2	Protezione contro i fulmini e sovratensioni per illuminazione esterna	277			
9.3	Protezione contro i fulmini e sovratensioni per impianti biogas	281			

9.28	Istruzioni generali per la protezione contro i fulmini dei rifugi	429
9.29	Protezione contro le sovratensioni per impianti di riscaldamento delle grondaie . . .	435
9.30	Uso di scaricatori combinati Tipo 1, ottimizzati per l'applicazione negli impianti in bassa tensione	439
9.31	Protezione contro le sovratensioni per sistemi di illuminazione di sicurezza	445
9.32	Protezione contro i fulmini e le sovratensioni per atmosfere potenzialmente esplosive	449
9.33	Impianti di protezione contro i fulmini per sistemi di misura e di controllo della pressione del gas	459
9.34	Protezione contro i fulmini e le sovratensioni per imbarcazioni da diporto	465
Allegato		471
A.	Riferimenti	472
B.	Figure e tabelle.	478
C.	Definizioni	489
D.	Abbreviazioni	494
E.	Simboli tecnici	496
F.	Indice	499



Premessa

Fin dalla sua fondazione nel 1980, il comitato tecnico IEC TC81 "Protezione contro i fulmini" della Commissione Elettrotecnica Internazionale (IEC) ha elaborato varie norme relative alla protezione contro i fulmini per gli edifici, alla protezione di sistemi elettronici, alla valutazione del rischio e alla simulazione degli effetti prodotti dai fulmini.

Le parti da 1 a 4 della norma internazionale IEC 62305 del 2006 hanno gettato le basi degli standard per la protezione contro i fulmini e la loro applicazione. Questa normativa è stata pubblicata quasi contemporaneamente alla norma europea EN 62305 (parti da 1 a 4) sulla protezione contro i fulmini. L'intera normativa IEC è stata ulteriormente sviluppata tra il 2006 e il 2010 ed infine pubblicata come IEC 62305 (parti da 1 a 4):2010-12 (2a edizione) nel dicembre 2010. Mentre questi adattamenti sono stati accettati a livello internazionale, solo le parti 1, 3 e 4 sono state accolte a livello europeo e sono state pubblicate come documenti EN nell'ottobre 2011. La parte 2, tuttavia, è stata adattata alle esigenze europee, migliorata e infine pubblicata come norma europea nel marzo 2012.

Durante la progettazione e l'installazione degli impianti di protezione contro i fulmini, i contraenti dovranno osservare la norma CEI EN 62305 (CEI 81-10) in modo da poter eseguire i lavori in conformità allo stato dell'arte. A questo scopo è necessario che l'appaltatore familiarizzi con il contenuto delle nuove norme per la protezione contro i fulmini.

I trattati europei richiedono che i paesi adottino in pieno le norme europee ai rispettivi livelli nazionali (non solo nel campo della protezione contro i fulmini). Pertanto vengono fornite informazioni aggiuntive sotto forma di integrazioni nazionali. Tali integrazioni non sono in contrasto con l'attuale normativa e dal punto di vista giuridico sono fornite solamente a titolo informativo. Poiché tali integrazioni sono state preparate da

esperti diversi, sono stati presi in considerazione molti aspetti relativi al contenuto scientifico e progettuale, all'installazione e al controllo degli impianti di protezione contro i fulmini. Tali integrazioni costituiscono lo stato dell'arte e devono essere rispettati.

Questa edizione rivista e notevolmente ampliata della guida alla protezione contro i fulmini dovrebbe contribuire a familiarizzare gli esperti in questo settore (progettisti, installatori) con la nuova normativa CEI EN 62305 (CEI 81-10). A questo scopo, il nostro manuale per la protezione contro i fulmini comprende soluzioni pratiche complessive per diverse applicazioni. Esso inoltre fornisce anche informazioni generali riguardo al vasto campo costituito dalla protezione contro i fulmini, che è la principale attività di DEHN, ora controllata dalla quarta generazione di imprenditori.

Cogliamo l'occasione per ringraziare Thomas Dehn, ex dirigente e socio DEHN della terza generazione, per il suo impegno di lunga data nel campo scientifico, nella ricerca e nella formazione. Non sarebbe stato possibile pubblicare questo libro senza il suo contributo.

Ora è disponibile la terza edizione del nostro manuale per la protezione contro i fulmini, che ci auguriamo vi sarà utile. Vi chiediamo di aiutarci a migliorare la nostra guida alla protezione contro i fulmini. Non esitate a inviare correzioni e suggerimenti a info@dehn.it. Sono graditi i suggerimenti e faremo del nostro meglio per tenerli in considerazione nella prossima edizione.

DEHN ITALIA, Settembre 2016



DEHN + SÖHNE, Neumarkt



Stato della tecnica per la costruzione di impianti di protezione contro i fulmini

1.1 Norme per l'installazione

La nuova normativa CEI EN 62305 (CEI 81-10) raccoglie lo stato dell'arte nel settore della protezione contro i fulmini in un'unica norma internazionale (europea) uniforme e aggiornata. Le norme che effettivamente riguardano la protezione contro i fulmini CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) e CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4) sono precedute da due parti ad indirizzo più generale CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1) e 62305-2 (CEI 81-10/2) (**Tabella 1.1.1**). In Germania sono state pubblicate delle integrazioni alla normativa tedesca che comprendono importanti informazioni nazionali (**tabella 1.1.2**).

CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1):

Principi generali

Questa parte contiene le informazioni relative al pericolo da fulmine, alle caratteristiche del fulmine e ai parametri significativi per la simulazione degli effetti prodotti dai fulmini. Inoltre viene fornita una visione d'insieme sulla normativa CEI EN 62305 (CEI 81-10). Vengono altresì illustrati i procedimenti e i principi di protezione che costituiscono la base per le parti successive.

CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2):

Valutazione del rischio

La valutazione del rischio secondo la norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) comprende un'analisi dei rischi per determinare se sia necessaria una protezione contro i fulmini. Dopodiché viene stabilita la misura di protezione ottimale dal punto di vista tecnico ed economico. Infine viene determinato il rischio residuo rimanente. Partendo dallo stato senza protezione dell'oggetto, il rischio residuo viene continuamente ridotto finché non risulta inferiore al rischio accettabile. Questa procedura può essere applicata per la semplice determinazione della classe di protezione di un sistema di protezione contro i fulmini secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) e per la determinazione di un sistema di protezione complesso contro i campi elettromagnetici impulsivi (LEMP) secondo la norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4).

Integrazione 1 della norma tedesca DIN EN 62305-2 (integrazione 1 alla norma tedesca VDE 0185-305-2): Pericolo di fulmini in Germania

Classificazione	Titolo
CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1):2013-02	Protezione contro i fulmini - Parte 1: Principi generali
CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2):2013-02	Protezione contro i fulmini - Parte 2: Valutazione del rischio
CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3):2013-02	Protezione contro i fulmini - Parte 3: Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone
CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4):2013-02	Protezione contro i fulmini - Parte 4: Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture

Tabella 1.1.1 Norme per la protezione contro i fulmini valide dal dicembre 2013

Norma	Integrazione	Titolo
DIN EN 62305-2	1	Pericolo di fulmini in Germania
	2	Assistenza al calcolo della valutazione dei rischi per le strutture
	3	Informazioni aggiuntive per l'applicazione della norma DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305 -2)
DIN EN 62305-3	1	Informazioni aggiuntive per l'applicazione della norma DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305 -3)
	2	Informazioni aggiuntive per strutture speciali
	3	Informazioni aggiuntive per la verifica e la manutenzione degli impianti di protezione contro i fulmini
	4	Utilizzo dei tetti metallici negli impianti di protezione contro i fulmini
	5	Sistemi di protezione contro i fulmini e le sovratensioni negli impianti fotovoltaici
DIN EN 62305-4	1	Ripartizione della corrente di fulmine

Tabella 1.1.2 Integrazione alla norma tedesca DIN EN 62305

Questa integrazione comprende una mappa della densità di fulmini al suolo N_g in Germania. Il parametro N_g è necessario per l'analisi dei rischi secondo la norma IEC 62305-2 (EN 62305-2).

Integrazione 2 della norma tedesca DIN EN 62305-2 (integrazione 2 della norma tedesca VDE 0185-305-2): Assistenza al calcolo della valutazione dei rischi per le strutture.

Questa integrazione comprende l'assistenza al calcolo per la valutazione del rischio secondo la norma IEC 62305-2 (EN 62305-2) per la protezione di strutture e persone secondo la norma IEC 62305-3 (EN 62305-3) nonché dei sistemi elettrici ed elettronici nelle strutture secondo la norma IEC 62305-4 (EN 62305-4).

Integrazione 3 della norma tedesca DIN EN 62305-2 (integrazione 3 della norma tedesca VDE 0185-305-2): Informazioni aggiuntive per l'applicazione della norma DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2)

Questa integrazione contiene informazioni e dati che facilitano l'utilizzo e la comprensione della normativa e prende in considerazione le scoperte più recenti.

CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3): Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone

Questa parte tratta la protezione di edifici e persone dai danni materiali e dal pericolo di morte che potrebbero essere causati dall'effetto della corrente di fulmine oppure da scariche pericolose, in particolare in caso di fulminazione diretta. Come misura di protezione viene usato un sistema protettivo composto da protezione esterna (captatore, dispositivo di discesa e impianto di messa a terra) e protezione interna (equipotenzializzazione antifulmine e distanza di isolamento). L'impianto di protezione contro i fulmini viene definito attraverso la sua classe di LPS, considerando che la classe LPS I è più efficace della classe IV. La classe di LPS necessaria viene stabilita mediante l'analisi del rischio secondo CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2), sempre che non venga già stabilita da un regolamento specifico (ad esempio prescrizioni per l'edilizia).

Integrazione 1 della norma tedesca DIN EN 62305-3 (integrazione 1 della norma tedesca VDE 0185-305-3): Informazioni aggiuntive per l'applicazione della norma DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)

L'integrazione 1 fornisce informazioni più dettagliate sull'allegato E della norma: "Linee guida per la progettazione, la costruzione, la manutenzione e l'ispezione degli impianti di protezione contro i fulmini". Essa si concentra sul dimensionamento del dispositivo di captazione, l'impiego di componenti metallici, il posizionamento delle aste e dei conduttori

di captazione, l'uso di volumi protetti, ecc. Inoltre fornisce informazioni sul comportamento al fuoco dei materiali e dei componenti. Per definire il campo di applicazione della norma, sono elencati i campi in cui si applicano disposizioni particolari (ad esempio sistemi ferroviari, trasmissione elettrica, sistemi di generazione e distribuzione all'esterno di una struttura, pipeline, veicoli, navi, aeromobili e impianti off-shore).

Inoltre, diversi termini e definizioni sono stati definiti più esattamente (ad esempio calate, dispersori, equipotenzializzazione antifulmine) e sono state aggiunte note sul corretto uso di conduttori in alluminio montati sopra, entro o al di sotto della superficie, di malta e di calcestruzzo. La nota riguardante la proibizione dell'uso di alluminio in terra è fondamentale.

L'uso di linee di collegamento per dispersori singoli viene spiegato con l'aiuto di varie figure prese a titolo di esempio.

Sono state anche aggiunte o illustrate con delle figure le misure di protezione contro la tensione di contatto e la tensione di passo, l'uso di grondaie, pluviali e colonne di acciaio, dispersori naturali, componenti prodotti industrialmente o artigianalmente e misure di protezione contro la corrosione.

Integrazione 2 della norma tedesca DIN EN 62305-3 (integrazione 2 della norma tedesca VDE 0185-305-3): Informazioni aggiuntive per strutture speciali.

Questa integrazione comprende informazioni su particolari strutture come ospedali, impianti sportivi, piscine, sili con aree potenzialmente esplosive, scaffalature in elevazione per magazzini, impianti di depurazione e biogas, tenendo così conto dell'evoluzione tecnologica nel corso degli ultimi anni.

Guida Italiana CEI 81-2: Guida per la verifica delle misure di protezione contro i fulmini.

Questa guida fornisce le indicazioni per verificare la rispondenza alle Norme CEI EN 62305 (CEI 81-10) delle misure di protezione contro i fulmini adottate a seguito della valutazione del rischio di una struttura. Essa dà anche indicazioni sulla periodicità degli interventi di manutenzione e controllo, i contenuti delle verifiche, gli esami della documentazione tecnica, l'esame ordinario e l'esame approfondito. Inoltre, nell'allegato A si trova il fac simile del rapporto di verifica - check list.

Integrazione 4 della norma tedesca DIN EN 62305-3 (integrazione 4 alla norma tedesca VDE 0185-305-3): Utilizzo dei tetti metallici negli impianti di protezione contro i fulmini.

I tetti metallici possono essere utilizzati come componenti naturali di un impianto di protezione contro i fulmini. Lo scopo di questa integrazione è di fornire ulteriori informazioni sull'uso dei tetti metallici secondo la norma IEC 62305 (EN 62305).

Integrazione 5 della norma tedesca DIN EN 62305-3 (integrazione 5 della norma tedesca VDE 0185-305-3): Sistemi di protezione contro i fulmini e le sovratensioni negli impianti fotovoltaici.

Questa integrazione descrive la protezione di impianti fotovoltaici in caso di fulmini e sovratensioni di origine atmosferica. Descrive i requisiti e le misure per garantire la protezione, il funzionamento e la disponibilità degli impianti fotovoltaici.

CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4): Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture

Questa parte tratta la protezione di strutture contenenti sistemi elettrici ed elettronici dagli effetti dei disturbi elettromagnetici (LEMP) prodotti dai fulmini. Prendendo come base le misure di protezione secondo la normativa IEC 62305-3 (EN 62305-3), questa norma considera anche gli effetti dei campi elettrici ed elettromagnetici, nonché delle tensioni e delle correnti indotte, che possono essere provocati da fulminazioni dirette o indirette.

L'importanza e la necessità di questa norma deriva dall'utilizzo crescente di molteplici sistemi elettrici ed elettronici, identificati come sistemi di telecomunicazione. Per proteggere i sistemi di telecomunicazione, la struttura è divisa in varie zone di protezione contro i fulmini (LPZ). Questo permette di considerare le differenze locali in numero, tipo e sensibilità dei dispositivi elettrici ed elettronici per la scelta delle misure di protezione. Per ogni zona di protezione da fulmine e con l'aiuto della valutazione del rischio secondo CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2), vengono scelte le misure di protezione in grado di offrire una protezione ottimale al minimo costo.

La norma CEI EN 62305 (CEI 81-10), parti da 1 a 4, può essere utilizzata per la progettazione, installazione, ispezione e manutenzione degli impianti di protezione contro i fulmini per le strutture, il loro contenuto e le persone che si trovano all'interno di esse.

1.2 Contratti d'opera

Fondamentalmente l'imprenditore è responsabile che la sua opera sia esente da difetti. Il punto decisivo della definizione che un'opera sia senza difetti, è quella che essa sia stata prodotta in ottemperanza delle riconosciute regole della tecnica. Le norme di settore, come per esempio EN, CEI, DIN, VDE sono utilizzate per dare vita alle "riconosciute regole della tecnica". Se le norme sono rispettate, si può ipotizzare che le opere siano esenti da difetti. Il significato pratico di una prova evidente sta nel fatto che, in caso di un'azione legale di un committente, il quale contesta un'opera imperfetta o difettosa (per esempio nella messa in opera di un impianto parafulmine) trova poche possibilità di avere ragione, se il produttore può provare che

ha rispettato le norme e le bozze di norma. In riferimento a questo effetto le norme e le bozze di norma hanno lo stesso valore. Queste supposizioni in merito alle norme valgono fino a quando la norma non viene abrogata o che venga dimostrato che concretamente essa non sia più allo stato dell'arte. La normativa non è in grado di prescrivere in modo permanente le regole riconosciute della tecnica, perché i presupposti e le possibilità della tecnica cambiano continuamente. Nel momento in cui le norme vengono abrogate e sostituite da nuove norme o bozze di norma, queste ultime rappresentano il nuovo stato dell'arte. Le integrazioni nazionali riflettono lo stato dell'arte riconosciuto.

Imprenditori e committenti di un'opera concordano regolarmente, senza precisa indicazione, che l'opera corrisponda ai principi generali dello stato dell'arte. Se l'opera diverge in modo negativo dallo stato dell'arte, allora è imperfetta. Questo può avere come conseguenza che l'imprenditore, secondo le regole della responsabilità della qualità di prodotto, possa essere chiamato in causa. Una responsabilità per un difetto di prodotto si ha solo se l'opera risultava difettosa già al momento della consegna. Circostanze sopraggiunte successivamente – come lo sviluppo dello stato dell'arte – non possono trasformare in difettoso un prodotto che non lo era al momento della consegna.

Per la domanda di difettosità di una direzione lavori è unicamente decisivo lo stato dell'arte al momento del collaudo.

Visto che in futuro, per la fine dei lavori e il collaudo di un impianto parafulmine, è valida unicamente la nuova norma per la protezione dalle scariche atmosferiche, questi impianti andranno realizzati secondo quest'ultima. Non è sufficiente che la prestazione sia stata data in corrispondenza allo stato dell'arte al momento della sua messa in opera, se tra il contratto, la messa in opera ed il collaudo sono state raggiunte nuove conoscenze tecniche e di conseguenza è cambiato lo stato dell'arte.

Opere eseguite quando erano valide le vecchie norme e che sono già state collaudate non diventano difettose, anche se con le nuove norme aggiornate venisse richiesto "uno standard migliore".

Impianti di protezione contro le scariche atmosferiche, escluso gli impianti nucleari, sono sempre da adattare allo stato attuale dell'arte. Impianti già esistenti che sono da verificare nell'ambito dei controlli periodici, sono da verificare secondo la norma in base alla quale sono stati eretti.

1.3 Norme di prodotto

I materiali e i componenti degli impianti di protezione contro i fulmini devono essere progettati e collaudati per resistere alle sollecitazioni elettriche, meccaniche e chimiche attese duran-

te il loro utilizzo. Questo riguarda i componenti degli impianti esterni ed interni di protezione contro i fulmini.

CEI EN 62561-1 (CEI 81-24): Componenti dei sistemi di protezione contro i fulmini (LPSC) - Parte 1: Prescrizione per i componenti di connessione

Questa norma descrive i metodi di collaudo per i componenti di connessione metallici. I componenti che rientrano in tale categoria sono:

- ➔ morsetti
- ➔ connettori
- ➔ componenti di connessione
- ➔ elementi di collegamento
- ➔ elementi di dilatazione
- ➔ punti di sezionamento

Tutti i morsetti e connettori DEHN soddisfano i requisiti di tale norma di prova.

CEI EN 62561-2 (CEI 81-25): Componenti dei sistemi di protezione contro i fulmini (LPSC) - Parte 2: Prescrizioni per i conduttori di terra e i dispersori

Questa norma specifica i requisiti per conduttori, aste di captazione, aste di adduzione e dispersori.

CEI EN 62561-3 (CEI 81-26): Componenti dei sistemi di protezione contro i fulmini (LPSC) - Parte 3: Prescrizioni per gli spinterometri (ISG)

CEI EN 62561-4 (CEI 81-19): Componenti dei sistemi di protezione contro i fulmini (LPSC) - Parte 4: Prescrizioni per i componenti di fissaggio dei conduttori

CEI EN 62561-5 (CEI 81-20): Componenti dei sistemi di protezione contro i fulmini (LPSC) - Parte 5: Prescrizioni per la verifica di involucri di ispezione (pozzetti) e di componenti a tenuta per dispersori (passanti)

CEI EN 62561-6 (CEI 81-21): Componenti dei sistemi di protezione contro i fulmini (LPSC) - Parte 6: Prescrizioni per contatori di correnti di fulmine (LSC)

CEI EN 62561-7 (CEI 81-22): Componenti dei sistemi di protezione contro i fulmini (LPSC) - Parte 7: Prescrizioni per le miscele aventi caratteristiche avanzate per l'impianto di messa a terra

CEI EN 61643-11 (CEI 37-8): Limitatori di sovratensione a bassa tensione - Parte 11: Prescrizioni e prove

Questa norma descrive le prescrizioni e le prove per i limitatori di sovratensione (SPD) volti ad assicurare la protezione contro gli effetti diretti e indiretti di fulmini o altri transitori.

IEC 61643-12 (EN CLC/TC 61643-12): Limitatori di sovratensione di bassa tensione - Parte 12: Principi di scelta e applicazione

N.B.: questa norma/specifica tecnica in Italia è stata pubblicata come CEI 37-11

Questa norma/specifica tecnica deve essere utilizzata insieme alla CEI EN 61643-11 (CEI 37-8) e comprende informazioni sui parametri necessari per la corretta selezione dei limitatori di sovratensione. Fornisce anche informazioni sulla selezione e coordinamento degli SPD. In questo contesto è necessario considerare l'intero ambiente operativo degli SPD utilizzati: gli apparecchi da proteggere, le proprietà del sistema, i livelli di isolamento, i tipi di sovratensione, il metodo di installazione, la posizione di installazione degli SPD, il coordinamento degli SPD, i tipi di anomalie degli SPD e le conseguenze in caso di guasto delle apparecchiature da proteggere. Questa norma/specifica tecnica descrive i principi per la selezione, il funzionamento, la posizione di installazione e il coordinamento degli SPD collegati alle reti e alle apparecchiature in corrente alternata a 50/60 Hz con tensioni nominali fino a 1.000 V (rms). Questa norma/specifica tecnica riguarda solo gli SPD per impianti elettrici di edifici. I limitatori di sovratensione installati nei dispositivi non sono presi in considerazione.

CEI EN 61643-21 (CEI 37-6): Dispositivi di protezione dagli impulsi a bassa tensione - Parte 21: Dispositivi di protezione agli impulsi collegati alle reti di telecomunicazione e di trasmissione dei segnali - Prescrizioni di protezione e metodi di prova

Questa norma descrive i requisiti relativi alle prestazioni e le modalità di prova per i limitatori di sovratensione utilizzati nella protezione delle reti di telecomunicazione e di trasmissione dei segnali, comprendenti:

- ➔ reti dati
- ➔ reti di trasmissione vocale
- ➔ sistemi di allarme e di emergenza e
- ➔ sistemi di automazione

CEI CLC/TS 61643-22 (CEI 37-10): Limitatori di sovratensioni di bassa tensione - Parte 22: Limitatori di sovratensione connessi alle reti di telecomunicazione e di trasmissione dei segnali - Scelta e principi applicativi

Questa norma/specifica tecnica descrive i principi per la selezione e l'applicazione dei limitatori di sovratensione (SPD)

utilizzati per proteggere le reti di telecomunicazione e trasmissione dei segnali.



Caratteristiche della corrente di fulmine

2.1 Scarica di fulmine e curve della corrente di fulmine

Ogni anno l'Italia è colpita mediamente da circa 600 mila fulmini (mari esclusi). Per una superficie di 301,340 km², questo significa una densità media di fulmini al suolo di ca. 2 scariche per km² ogni anno. L'effettiva densità dei fulmini dipende tuttavia in gran parte dalla conformazione geografica. Una panoramica di primo orientamento può essere ottenuta dalla mappa della densità di fulmini al suolo contenuta nella figura 3.2.3.1. Maggiore è la risoluzione della mappa della densità di fulmini al suolo, più precise sono le informazioni che fornisce circa l'effettiva frequenza dei fulmini nella zona in esame.

Utilizzando gli impianti di rilevamento dei fulmini del servizio informativo sui fulmini del CESI (SIRF - Sistema Italiano Rilevamento Fulmini) è ora possibile individuare la posizione di un fulmine con la precisione di 200 m in tutta Italia. A questo scopo sono presenti in Europa più di 145 stazioni di misura. Esse sono sincronizzate per mezzo di una precisa identificazione temporale grazie al sistema di posizionamento globale (GPS). Queste stazioni di misurazione registrano l'istante in cui l'onda elettromagnetica della scarica del fulmine giunge in corrispondenza del rispettivo ricevitore. Il punto di impatto del fulmine viene calcolato sia in base alle differenze nei tempi di rilevamento dell'onda elettromagnetica registrati dai vari ricevitori, sia in base alla direzione del campo elettromagnetico rilevato da ciascun sensore, permettendo un calcolo accurato e ridondante. I dati così rilevati vengono archiviati centralmente e messi a disposizione dell'utente organizzati in diversi pacchetti. Ulteriori informazioni su questo servizio possono essere reperite consultando il sito web www.fulmini.it.

Presupposto per la formazione dei fenomeni temporaleschi è il moto ascensionale delle masse d'aria calda con un'umidità sufficientemente elevata. Questo moto può avvenire con modalità diverse. Nei cosiddetti temporali di calore, il terreno si surriscalda localmente per via di un intenso irraggiamento solare. Gli strati d'aria più vicini al suolo si scaldano e salgono verso l'alto. Nel caso di temporali frontali, in seguito all'arrivo di un fronte freddo, una massa di aria fredda si incunea sotto l'aria calda e la obbliga a salire verso l'alto. Nei temporali orografici, invece, l'aria calda vicina al suolo viene sollevata verso l'alto dalle correnti costrette ad innalzarsi quando incontrano un rilievo. Altri fattori fisici intensificano ulteriormente la spinta verso l'alto delle masse d'aria. A causa di ciò, si formano canali di correnti ascensionali con velocità verticali fino a 100 km/h che danno origine ai cumuli, densi ammassi di nubi tipicamente di 5-12 km di altezza e 5-10 km di diametro.

Per via dei processi di separazione delle cariche elettrostatiche, come attrito e nebulizzazione, le gocce d'acqua e le particelle di ghiaccio contenute nelle nubi si caricano elettricamente. Nella parte alta della nube temporalesca si accumulano le particelle con carica positiva, nella parte bassa quelle con carica

negativa. Alla base della nube si forma inoltre una piccola sacca di cariche positive. Ciò deve la sua origine all'effetto corona, un fenomeno per cui attorno ai corpi appuntiti situati a terra al di sotto della nube (piante, per esempio) si accumulano delle cariche positive che vengono poi trasportate verso l'alto dal vento.

Se, per via della densità spaziale di carica presente, in una cella temporalesca si vengono a creare intensità di campo locali dell'ordine di numerose centinaia di kV/m, si producono delle scariche guida che precedono la scarica del fulmine vero e proprio. I fulmini nube-nube provocano una compensazione della differenza di potenziale tra i centri delle cariche positive e quelli delle cariche negative all'interno delle nubi e non colpiscono direttamente alcun oggetto al suolo. Questi rappresentano tuttavia un pericolo per i sistemi elettrici ed elettronici a causa dei campi elettromagnetici impulsivi (LEMP) che essi irradiano e devono quindi essere ugualmente presi in considerazione.

I fulmini che colpiscono il terreno producono una compensazione della differenza di potenziale tra le cariche elettriche delle nubi e le cariche al suolo. In particolare, si possono creare due tipi di fulmini:

- ➔ fulmine discendente (nube-terra)
- ➔ fulmine ascendente (terra-nube)



Figura 2.1.1 Fulmine discendente (fulmine nube-terra)

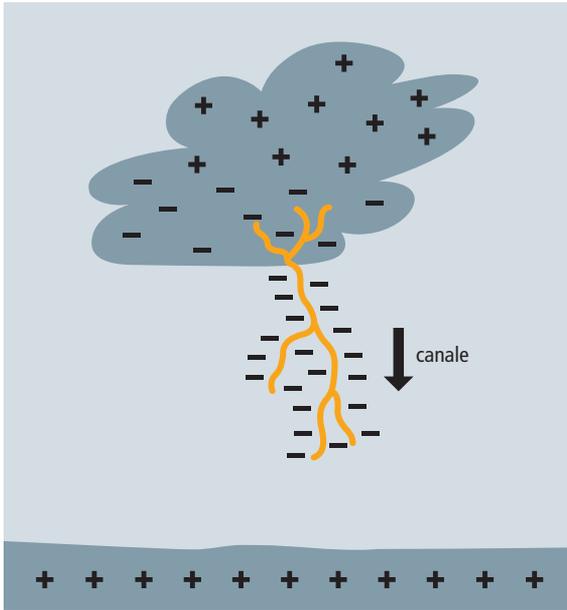


Figura 2.1.2 Meccanismo di scarica di un fulmine discendente negativo (fulmine nube-terra)

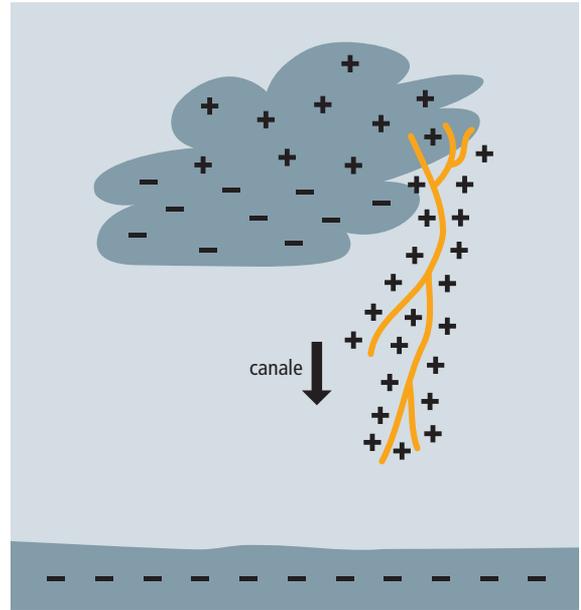


Figura 2.1.3 Meccanismo di scarica di un fulmine discendente positivo (fulmine nube-terra)

Nel caso dei fulmini discendenti, la scarica elettrica viene preceduta da scariche guida dirette verso il basso, cioè da nube a terra. Questo tipo di fulmine si verifica per lo più su aree pianeggianti e in corrispondenza di costruzioni basse. I fulmini nube-terra sono riconoscibili dalle ramificazioni dirette verso terra (**Figura 2.1.1**). Più frequentemente, si verificano fulmini discendenti negativi, nei quali dalla nube temporalesca si spinge verso terra un canale discendente (leader) di cariche negative (**Figura 2.1.2**). Tale canale discendente si propaga con una velocità di circa 300 chilometri orari, a passi di poche decine di metri ciascuno, intervallati da pause della durata di alcune decine di microsecondi. Quando la scarica guida è vicina al terreno (da qualche centinaio a poche decine di metri), il campo elettrico attorno alle parti del suolo che più si trovano vicine alla scarica guida (come alberi, colmi dei tetti) aumenta. L'aumento è tale da superare la rigidità dielettrica dell'aria. In questi punti parte una scarica verso l'alto che incontra la scarica guida e dà origine alla scarica principale.

I fulmini discendenti positivi possono invece avere origine da un accumulo di cariche positive alla base della nube temporalesca (**Figura 2.1.3**). Per quanto riguarda la polarità, si ha un 90 % circa di fulmini negativi contro un 10 % di fulmini positivi. Questa ripartizione dipende dalla conformazione geografica del terreno.

In corrispondenza di oggetti al suolo esposti e di altezza considerevole (come turbine eoliche, tralicci di antenne radio, torri

per telecomunicazioni, campanili di chiese) o in corrispondenza delle vette di montagne, si possono verificare fulmini ascendenti (fulmini terra-nube). Questi sono riconoscibili dalle ramificazioni della scarica principale rivolte verso l'alto (**Figura 2.1.4**). Nel caso di un fulmine ascendente l'elevata intensità di campo necessaria per dare origine ad una scarica guida o leader non viene raggiunta all'interno della nube, ma è determinata dalla distorsione del campo elettrico in corrispondenza dell'oggetto esposto e del conseguente aumento di intensità di campo. A partire da questo punto al suolo, la scarica gui-



Figura 2.1.4 Fulmine ascendente (fulmine terra-nube)

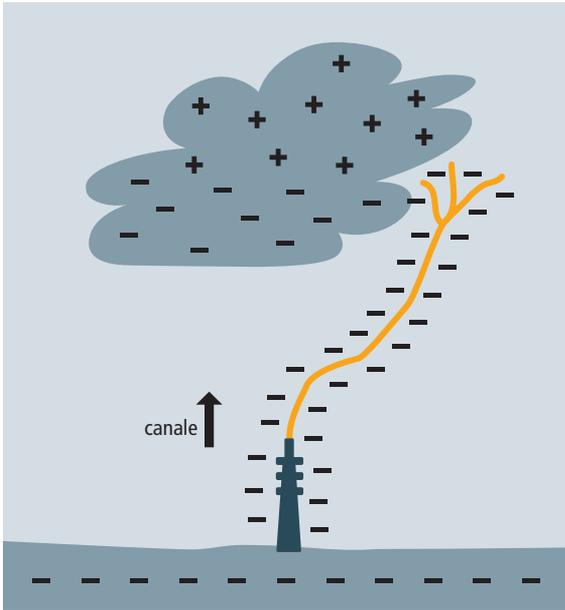


Figura 2.1.5 Meccanismo di scarica di un fulmine ascendente negativo (fulmine terra-nube)

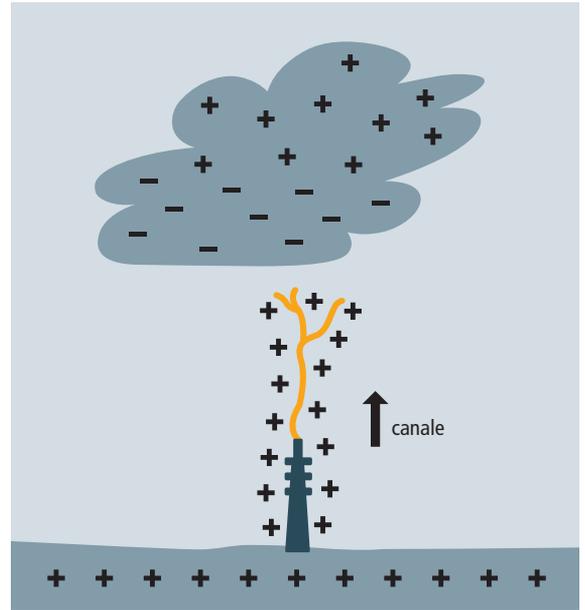


Figura 2.1.6 Meccanismo di scarica di un fulmine ascendente positivo (fulmine terra-nube)

da si spinge verso la nube portando con sé il suo accumulo di cariche elettriche. I fulmini ascendenti si verificano sia con polarità negativa (**Figura 2.1.5**), sia con polarità positiva (**Figura 2.1.6**). Poiché nei fulmini ascendenti le scariche guida si instaurano a partire da oggetti al suolo molto isolati verso le nubi, gli oggetti di notevole altezza possono essere interessati più volte dalla scarica di un fulmine nel corso di un temporale. A seconda del tipo, ogni fulmine è composto da uno o più fulmini parziali, o "colpi". Si distinguono "colpi brevi" di durata inferiore a 2 ms e "colpi lunghi" di durata superiore a 2 ms. Altre caratteristiche distintive dei fulmini parziali sono la polarità (negativa o positiva) e la posizione temporale nell'ambito della scarica del fulmine (primo, susseguente o sovrapposto). Le combinazioni possibili di fulmini parziali sono illustrate nella **Figura 2.1.7** per quanto riguarda i fulmini discendenti e nella **Figura 2.1.8** per i fulmini ascendenti.

Le correnti di fulmine composte da colpi brevi e colpi lunghi sono correnti impresse, cioè non sono influenzate dagli oggetti colpiti. Dalle curve delle correnti di fulmine indicate nelle **Figure 2.1.7 e 2.1.8** si possono desumere quattro parametri importanti per la protezione contro i fulmini:

- ➔ il valore di picco della corrente di fulmine I ;
- ➔ la carica della corrente di fulmine Q_{flash} , comprendente la carica del colpo breve Q_{short} e la carica del colpo lunga Q_{long}
- ➔ energia specifica W/R della corrente di fulmine;

- ➔ la pendenza di/dt del fronte di salita della corrente di fulmine.

Nei capitoli seguenti verranno descritti gli effetti dei singoli parametri e il modo in cui tali parametri influenzano il dimensionamento degli impianti di protezione contro i fulmini.

2.2 Valore di picco della corrente di fulmine

Le correnti di fulmine sono correnti indipendenti dal carico, cioè una scarica di fulmine può essere considerata come una sorgente di corrente pressoché ideale. Se una corrente impressa fluisce attraverso dei conduttori, attraverso questi ultimi si produce una caduta di tensione che dipende dall'ampiezza della corrente e dall'impedenza dei conduttori. Nel caso più semplice questa condizione può essere descritta con la legge di Ohm:

$$U = I \cdot R$$

- I Valore di picco della corrente di fulmine
- R Resistenza di terra

Se una corrente si forma in un unico punto su una superficie conduttrice omogenea, si crea un gradiente di potenziale.

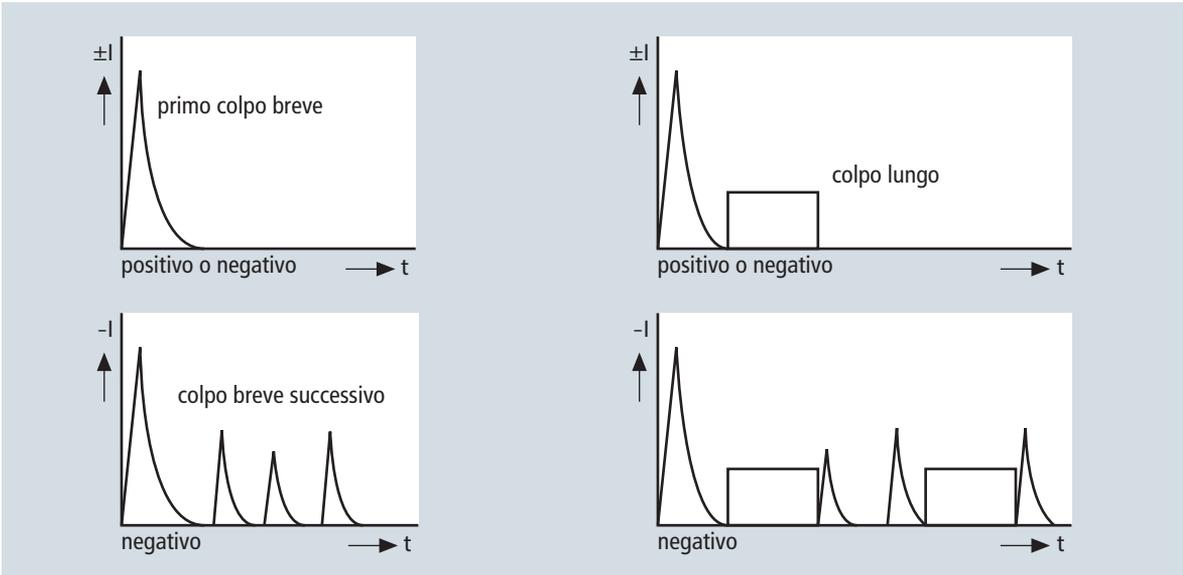


Figura 2.1.7 Possibili componenti di un fulmine discendente

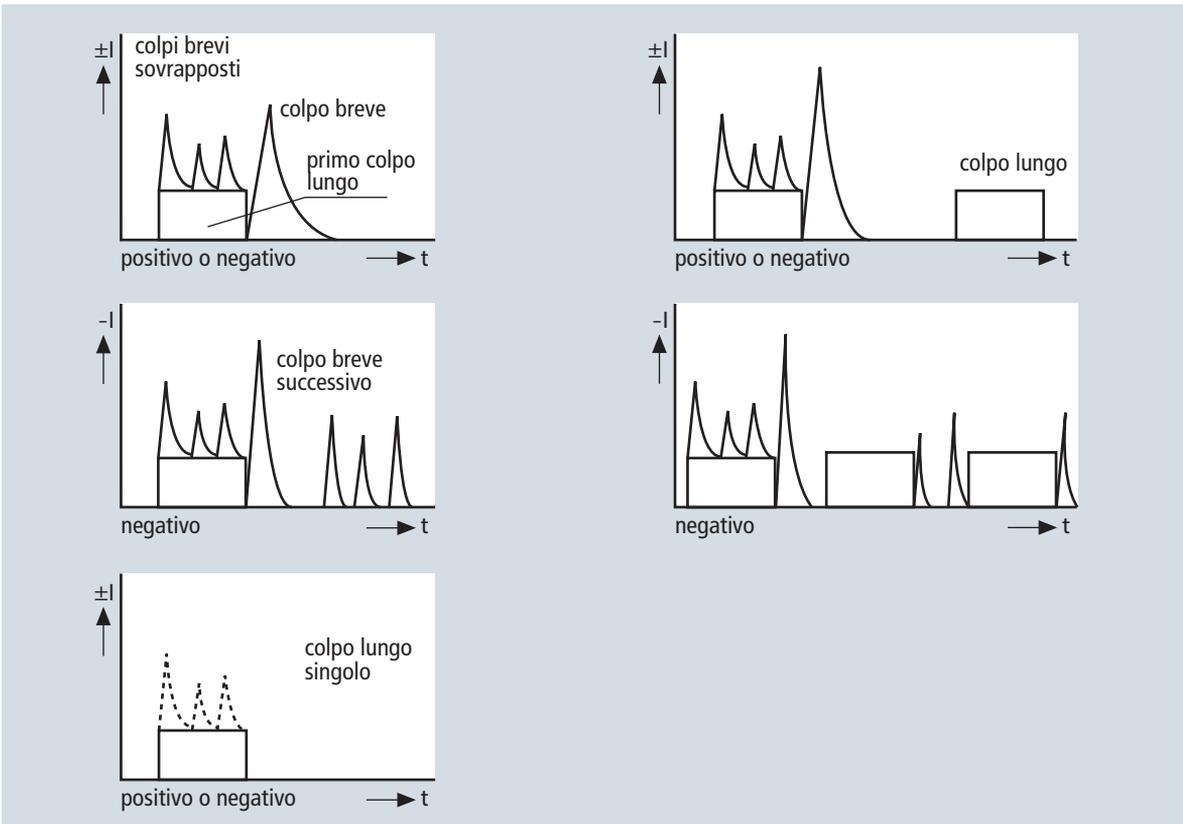


Figura 2.1.8 Possibili componenti di un fulmine ascendente

Questo effetto si verifica anche in caso di fulmine in una zona di terra omogenea (**Figura 2.2.1**). Se si trovano degli esseri viventi (persone o animali) all'interno dell'area soggetta al gradiente di potenziale elettrico, si forma una tensione di passo che può avere come conseguenza una scossa elettrica pericolosa (**Figura 2.2.2**). Più la conduttività del terreno è alta, più piatto risulterà il gradiente di potenziale. Il rischio di pericolose tensioni di passo diminuisce conseguentemente. Se il fulmine colpisce un edificio che è già provvisto di impianto di protezione contro i fulmini, la corrente di fulmine che si scarica attraverso il dispersore dell'edificio provoca una caduta di tensione sulla resistenza R_E del sistema stesso (**Figura 2.2.3**). Fintanto che le parti conduttrici esposte nell'edificio si trovano tutte allo stesso potenziale elevato, le persone che si trovano all'interno dell'edificio non sono in pericolo. Pertan-

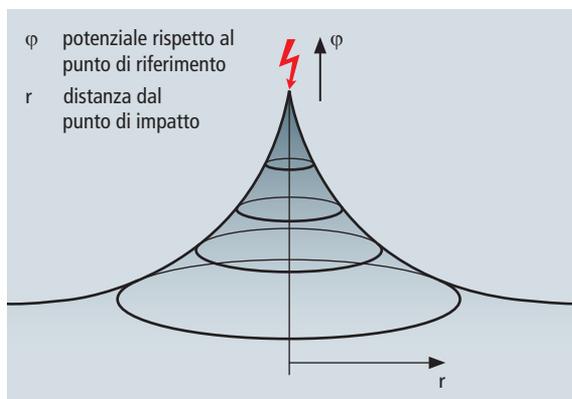


Figura 2.2.1 Distribuzione del potenziale elettrico in caso di caduta di un fulmine su un terreno omogeneo



Figura 2.2.2 Animali morti in seguito a folgorazione da tensione di passo

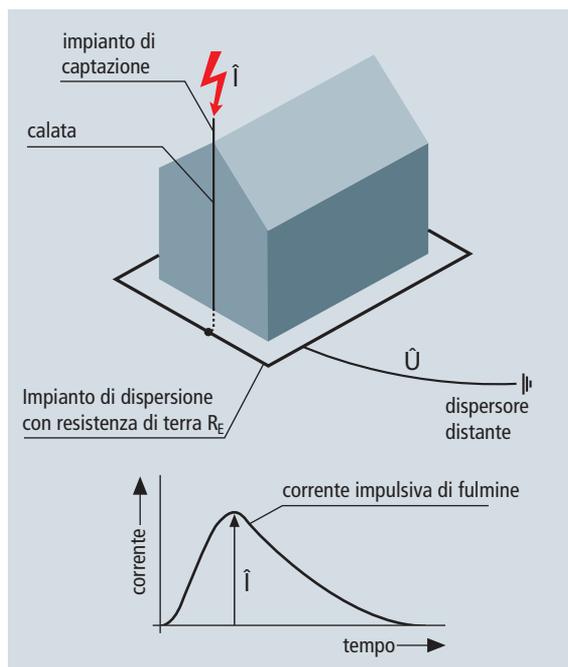


Figura 2.2.3 Aumento del potenziale elettrico del dispersore di un edificio rispetto al potenziale di terra remoto, provocato dal valore di picco della corrente di fulmine

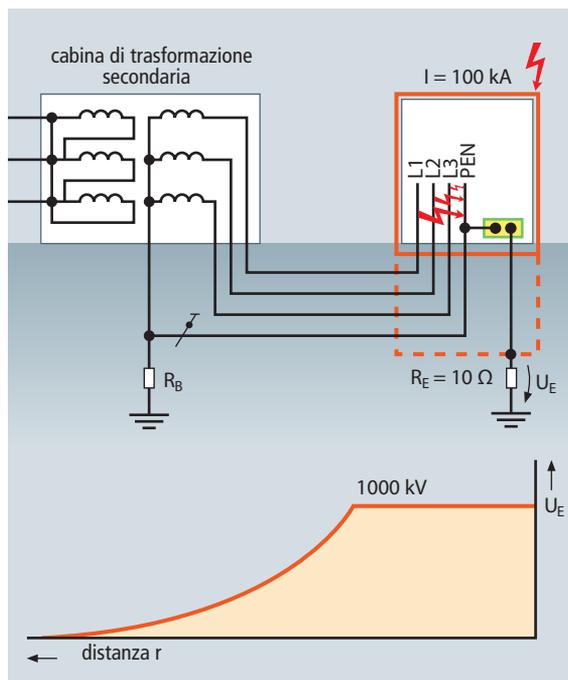


Figura 2.2.4 Rischio per impianti elettrici risultante da un aumento del potenziale del dispersore

to è necessario stabilire un collegamento equipotenziale per tutte le parti conduttrici esposte nell'edificio e tutte le parti conduttrici estranee entranti nell'edificio stesso. Se ciò viene trascurato, in caso di fulmine possono verificarsi pericolose tensioni di contatto.

L'aumento di potenziale dell'impianto di messa a terra causato dalla corrente di fulmine può rappresentare un pericolo per gli impianti elettrici (Figura 2.2.4). Nell'esempio illustrato, la terra d'esercizio della rete di alimentazione a bassa tensione si trova fuori dal gradiente di potenziale causato dalla corrente di fulmine. In questo modo il potenziale della terra d'esercizio R_B , in caso di fulminazione dell'edificio, non è identico al potenziale di terra dell'impianto utilizzatore all'interno dell'edificio. Nell'esempio la differenza è di 1000 kV. Questo rappresenta un pericolo per l'isolamento dell'impianto elettrico e degli apparecchi elettrici ad esso collegati.

2.3 Pendenza del fronte di salita della corrente di fulmine

La pendenza $\Delta i/\Delta t$ del fronte di salita della corrente di fulmine che agisce durante l'intervallo Δt determina l'intensità delle

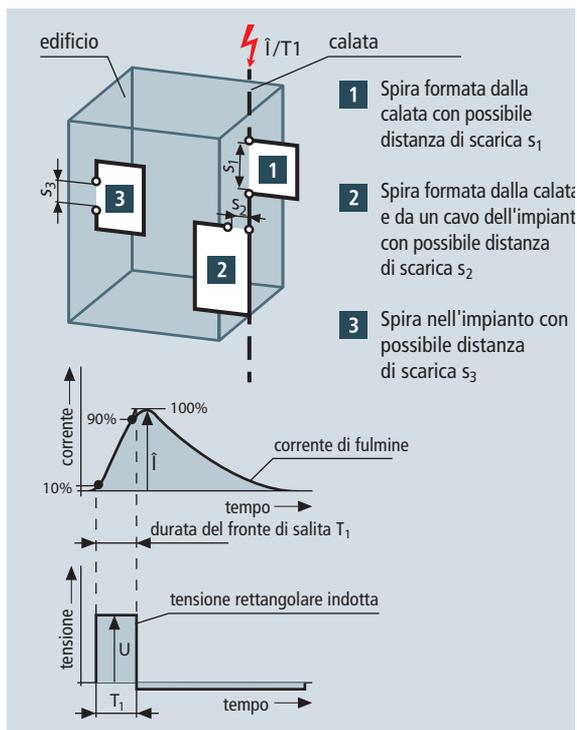


Figura 2.3.1 Tensione ad onda quadra indotta in un circuito a causa della pendenza $\Delta i/\Delta t$ della corrente di fulmine

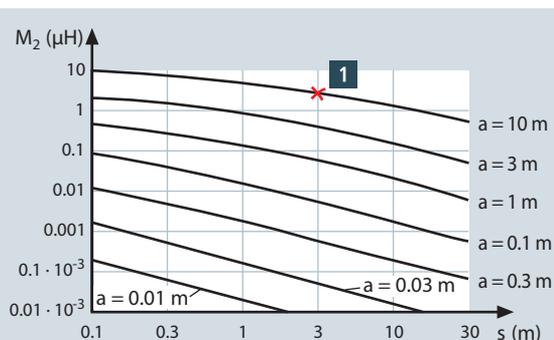
tensioni indotte elettromagneticamente. Tali tensioni vengono indotte in tutti i circuiti di conduttori aperti o chiusi, che si trovano nelle vicinanze di conduttori attraversati dalla corrente di fulmine. La Figura 2.3.1 mostra delle possibili configurazioni di circuiti di conduttori, all'interno dei quali possono essere indotte delle tensioni attraverso le correnti di fulmine. La tensione rettangolare U indotta durante l'intervallo αt in un circuito di conduttore è:

$$U = M \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

M mutua induttanza del circuito

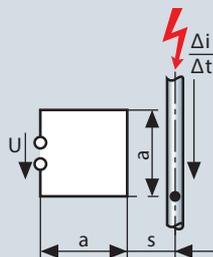
$\Delta i/\Delta t$ Pendenza del fronte di salita della corrente di fulmine

Come descritto in precedenza, i fulmini sono costituiti da una serie di scariche parziali. A seconda del momento in cui si verificano, all'interno di una scarica del fulmine si distinguono la prima corrente impulsiva e le correnti impulsive susseguenti. La principale differenza tra questi due tipi di colpi brevi è che,



Esempio di calcolo

con una spira nell'impianto (p.es. impianto di allarme)



a	10 m
s	3 m
$\frac{\Delta i}{\Delta t}$	150 $\frac{kA}{\mu s}$ (richiesta elevata)

1 Con $M_2 \approx 4.8 \mu H$ si ottiene dallo schema:

$$U = 4.8 \cdot 150 = 720 \text{ kV}$$

Figura 2.3.2 Esempio di calcolo per tensioni ad onda quadra indotte in spire a forma quadrata

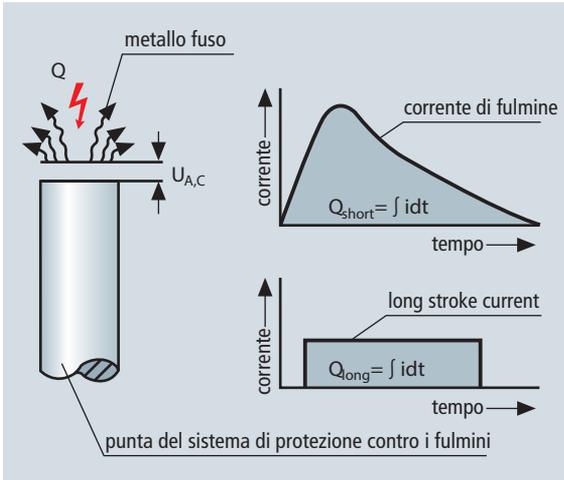


Figura 2.4.1 Conversione di energia nel punto di abbattimento del fulmine attraverso la carica della corrente di fulminazione

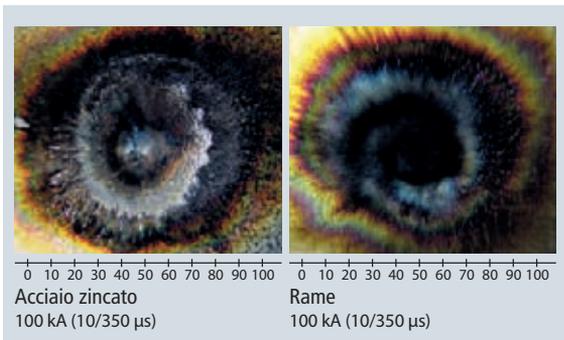


Figura 2.4.2 Effetti dell'arco elettrico del colpo breve su una superficie metallica

a causa della formazione di un canale di fulmine, il fronte di salita della corrente di fulmine del primo colpo non è ripido come quello del colpo successivo, che può utilizzare il canale di fulmine. Per la stima della massima tensione indotta nei circuiti di conduttori viene perciò utilizzata la pendenza del fronte di salita della corrente di fulmine del colpo successivo. La **Figura 2.3.2** illustra un esempio di come valutare la tensione indotta in un circuito conduttore.

2.4 Carica della corrente di fulmine

La carica Q_{flash} della corrente di fulmine si compone della carica Q_{short} del colpo breve e della carica Q_{long} del colpo lungo.

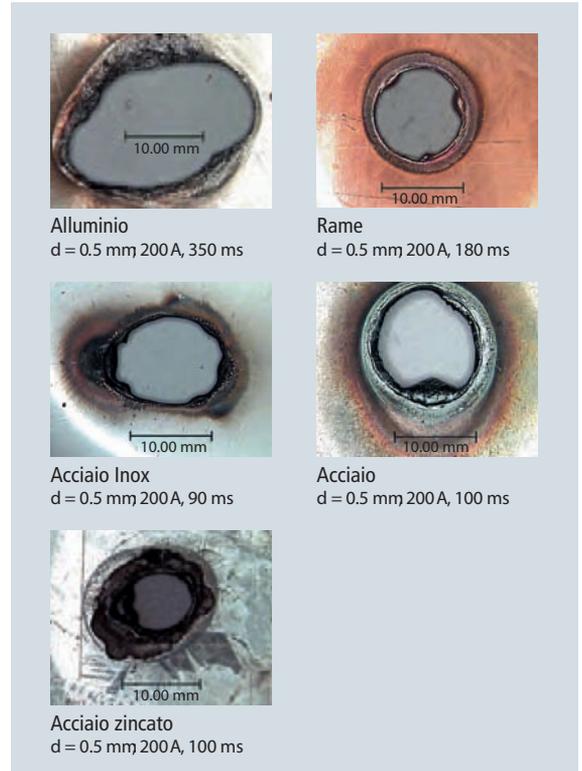


Figura 2.4.3 Perforazione di lamiere prodotte dall'azione di archi elettrici di corrente a lunga durata

La carica

$$Q = \int idt$$

della corrente di fulmine è decisiva per il calcolo della conversione dell'energia nell'esatto punto di caduta del fulmine e in tutti i punti in cui la corrente di fulmine determina un arco elettrico attraverso uno spazio isolante. L'energia W convertita al punto iniziale dell'arco è il prodotto della carica Q e della caduta di tensione anodo/catodo $U_{A,C}$, dell'ordine dei micrometri (**Figura 2.4.1**).

Il valore medio di $U_{A,C}$ è di qualche decina di volt e dipende da fattori quali l'intensità di corrente e la forma d'onda:

$$W = Q \cdot U_{A,C}$$

Q Carica della corrente di fulmine

$U_{A,C}$ Caduta di tensione anodo/catodo

Di conseguenza, la carica della corrente di fulmine provoca la fusione dei componenti del sistema di protezione contro i ful-

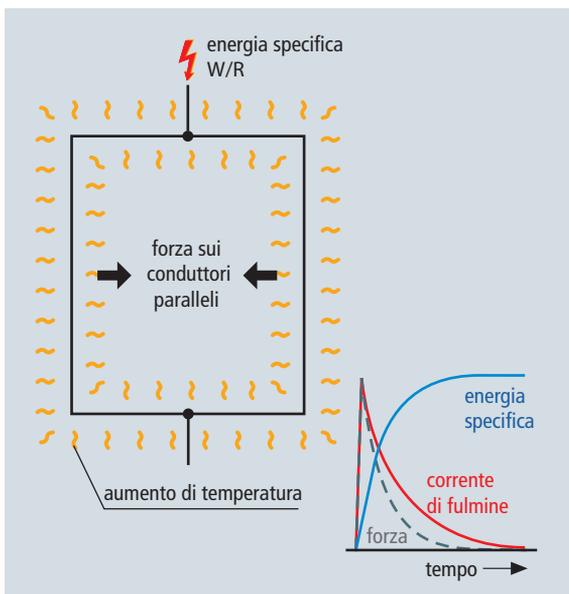


Figura 2.5.1 Aumento della temperatura e forza risultante dall'energia specifica della corrente di fulmine

mini direttamente colpiti e sollecita anche gli spinterometri di sezionamento nonché i dispositivi di protezione contro le sovratensioni basati su tecnologia spinterometrica. Test recenti hanno dimostrato che è soprattutto la carica dei colpi lunghi Q_{long} a fondere o vaporizzare grandi volumi di materiale, in quanto l'arco elettrico dura più a lungo. Le **Figure 2.4.2 e 2.4.3** illustrano il confronto tra gli effetti della carica dei colpi brevi Q_{short} e quella dei colpi lunghi Q_{long} .

2.5 Energia specifica

L'energia specifica W/R di un colpo breve è l'energia che un colpo breve trasferisce in una resistenza del valore di 1Ω . Questo trasferimento di energia corrisponde all'integrale del quadrato della corrente del colpo breve su un tempo pari alla durata del colpo:

$$\frac{W}{R} = \int i^2 dt$$

Pertanto, questa energia specifica è spesso indicata come impulso quadratico di corrente. Tale energia è determinante per il riscaldamento dei conduttori attraversati dalla corrente impulsiva di fulmine, così come per l'effetto della forza esercitata sui conduttori attraversati dalla corrente impulsiva di fulmine (**Figura 2.5.1**).

Sezione [mm ²]		4	10	16	25	50	100	
Materiale	Alluminio W/R [MJ/Ω]	2.5	–	564	146	52	12	3
		5.6	–	–	454	132	28	7
		10	–	–	–	283	52	12
	Ferro W/R [MJ/Ω]	2.5	–	–	1120	211	37	9
		5.6	–	–	–	913	96	20
		10	–	–	–	–	211	37
	Rame W/R [MJ/Ω]	2.5	–	169	56	22	5	1
		5.6	–	542	143	51	12	3
		10	–	–	309	98	22	5
	Acciaio Inox W/R [MJ/Ω]	2.5	–	–	–	940	190	45
		5.6	–	–	–	–	460	100
		10	–	–	–	–	940	190

Tabella 2.5.1 Aumento della temperatura ΔT in K di diversi materiali conduttori

Per l'energia W convertita in un conduttore con una resistenza R vale:

$$W = R \cdot \int i^2 dt = R \cdot \frac{W}{R}$$

R Resistenza in corrente continua del conduttore (dipendente dalla temperatura)

W/R Energia specifica

Il calcolo del riscaldamento di conduttori attraversati da corrente di fulmine può diventare necessario quando durante la progettazione e l'installazione di sistemi di protezione contro i fulmini devono essere considerati i rischi relativi alla protezione delle persone, al pericolo di incendio e di esplosione. Nel calcolo si parte dal presupposto che l'energia termica totale viene creata dalla resistenza ohmica dei componenti del sistema di protezione contro i fulmini. Inoltre, si suppone che non vi sia scambio termico rilevabile con l'ambiente circostante a causa della breve durata del processo. Nella **Tabella 2.5.1** sono elencati gli aumenti di temperatura di diversi materiali impiegati per la protezione contro i fulmini e le loro sezioni in funzione dell'energia specifica.

Le forze elettrodinamiche F generate da una corrente i in un conduttore con un percorso lungo e parallelo di lunghezza l e distanza d (**Figura 2.5.2**) si possono approssimativamente calcolare con l'equazione seguente:

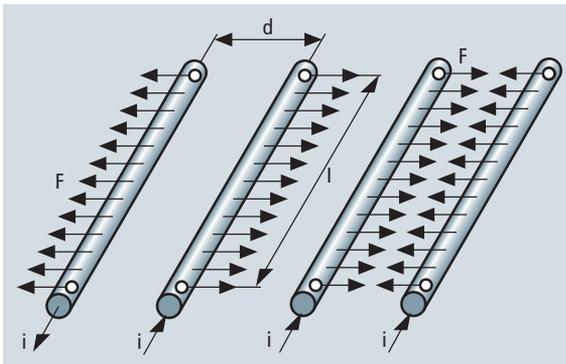


Figura 2.5.2 Forza elettrodinamica tra conduttori paralleli

$$F(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot i^2(t) \cdot \frac{l}{d}$$

F(t)	Forza elettrodinamica
i	Corrente
μ_0	Campo magnetico costante in aria ($4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m)
l	Lunghezza del conduttore
d	Distanza tra i conduttori paralleli

L'effetto della forza sui due conduttori è attrattivo in caso di direzione di corrente uguale, mentre in caso di direzione di corrente opposta, è repulsivo. Tale effetto è direttamente proporzionale al prodotto delle correnti nei conduttori ed è inversamente proporzionale alla distanza tra i conduttori. Ma anche nel caso di un solo conduttore piegato si verifica un effetto di forza sul conduttore stesso. In tale caso la forza sarà proporzionale al quadrato della corrente nel conduttore piegato.

Pertanto l'energia specifica di un colpo breve determina così la sollecitazione che causa una deformazione reversibile o irreversibile dei componenti e della disposizione dell'impianto di protezione contro i fulmini. Si tiene conto di questi effetti durante le prove previste dalle norme di prodotto relative ai requisiti degli elementi di protezione degli impianti di protezione contro i fulmini.

L'allegato D della norma CEI EN 62305-1 descrive in dettaglio in che modo i parametri della corrente di fulmine rilevanti al punto di fulminazione sono importanti per l'integrità fisica di un LPS. Come spiegato in precedenza, tali parametri sono in generale la corrente di picco I, la carica Q, l'energia specifica W/R, la durata T e la pendenza media della corrente di/dt. Ognuno dei suddetti parametri tende a dominare un diverso meccanismo di guasto come analizzato in dettaglio sopra.

2.6 Componenti della corrente di fulmine

Le **Figure 2.1.7 e 2.1.8** illustrano le curve fondamentali della corrente di fulmine e i possibili componenti dei fulmini ascendenti e discendenti come descritto nella norma CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1) relativa alla protezione contro i fulmini.

La corrente di fulmine totale può essere suddivisa nei singoli componenti:

- ➔ primo colpo breve positivo
- ➔ primo colpo breve negativo
- ➔ successivo colpo breve
- ➔ colpo lungo

Vengono assegnati dei valori massimi ai componenti di protezione contro i fulmini, in funzione del livello di protezione (SVQ). La caratteristica temporale della corrente di fulmine svolge un ruolo importante per la maggior parte degli effetti da fulmine descritti in precedenza. Pertanto nella normativa che tratta la protezione contro i fulmini si definiscono i parametri temporali per ciascun componente della corrente di fulmine. Queste forme d'onda vengono anche utilizzate come parametri per l'analisi e la prova degli effetti del fulmine sui componenti LPS. Nella versione più recente della norma CEI EN 62305-2), viene introdotto il primo colpo breve negativo come nuovo componente della corrente di fulmine. Attualmente il primo colpo breve negativo viene utilizzato solo per i calcoli e costituisce il rischio maggiore per alcuni effetti induttivi. La **Tabella 2.6.1** fornisce una panoramica dei massimi parametri in funzione del livello di protezione contro i fulmini, nonché la forma d'onda di corrente di fulmine per singoli componenti della corrente di fulmine definiti nello standard.

2.7 Assegnazione dei parametri della corrente di fulmine ai livelli di protezione contro i fulmini

I livelli I, II, III e IV di protezione contro i fulmini servono a definire un fulmine come fonte di interferenza. Ogni livello di protezione contro i fulmini richiede una serie di

- ➔ valori massimi (criteri di dimensionamento utili per la progettazione dei componenti di protezione contro i fulmini in modo tale da rispondere ai requisiti previsti) e
- ➔ valori minimi (criteri di intercettazione necessari a determinare le zone sufficientemente protette contro fulmini diretti (raggio della sfera rotolante)).

Le **Tablelle 2.7.1 e 2.7.2** indicano l'assegnazione dei livelli di protezione ai valori massimi e minimi dei parametri di protezione contro i fulmini.

Prima colpo positivo		Livello di protezione contro i fulmini (LPL)			
Parametri	I	II	III	IV	
Corrente di picco I [kA]	200	150	100		
Carica del colpo breve Q_{short} [C]	100	75	50		
Energia specifica W/R [MJ/ Ω]	10	5.6	2.5		
Forma d'onda T_1/T_2 [μ s/ μ s]	10/350				
Primo colpo negativo		LPL			
Parametri	I	II	III	IV	
Corrente di picco I [kA]	100	75	50		
Pendenza media di/dt [kA/ μ s]	100	75	50		
Forma d'onda T_1/T_2 [μ s/ μ s]	1/200				
Colpo Successivo		LPL			
Parametri	I	II	III	IV	
Corrente di picco I [kA]	50	37.5	25		
Pendenza media di/dt [kA/ μ s]	200	150	100		
Forma d'onda T_1/T_2 [μ s/ μ s]	0,25/100				
Colpo lungo		LPL			
Parametri	I	II	III	IV	
Carica del colpo lungo Q_{long} [C]	200	150	100		
Tempo T_{long} [s]	0.5				
Fulmine		LPL			
Parametri	I	II	III	IV	
Carica del fulmine Q_{flash} [C]	300	225	150		

Tabella 2.6.1 Parametri relativi alla massima corrente di fulmine e forme d'onda per i diversi componenti della corrente di fulmine

2.8 Misure della corrente di fulmine per fulmini ascendenti e discendenti

In generale, si suppone che i fulmini discendenti (dalla nube verso terra) sottopongano a uno sforzo maggiore gli oggetti colpiti rispetto ai fulmini ascendenti (da terra verso le nubi), in special modo per quanto riguarda i colpi brevi. Nella maggior parte dei casi, i fulmini discendenti sono da prevedersi su terreni pianeggianti e in prossimità di strutture di altezza ridotta. Se, tuttavia, le strutture sono situate in una località molto esposta e/o sono molto elevate, si verificano in genere dei fulmini ascendenti. I parametri definiti nella normativa riguardante la protezione contro i fulmini si applicano gene-

Livello di protezione contro i fulmini	Valori massimi (Criteri di dimensionamento)	
	Massimo valore di picco della corrente di fulmine	Probabilità che la corrente di fulmine effettiva sia minore del massimo valore di picco della corrente di fulmine
I	200 kA	99 %
II	150 kA	98 %
III	100 kA	95 %
IV	100 kA	95 %

Tabella 2.7.1 Valori del parametro relativo alla massima corrente di fulmine e rispettive probabilità

Livello di protezione contro i fulmini	Valori minimi (Criteri di dimensionamento)		
	Minimo valore di picco della corrente di fulmine	Probabilità che la corrente di fulmine effettiva sia maggiore del minimo valore di picco della corrente di fulmine	Raggio della sfera rotolante
I	3 kA	99 %	20 m
II	5 kA	97 %	30 m
III	10 kA	91 %	45 m
IV	16 kA	84 %	60 m

Tabella 2.7.2 Valori del parametro relativo alla minima corrente di fulmine e rispettive probabilità

ralmente sia ai fulmini ascendenti che a quelli discendenti. In caso di fulmini ascendenti bisogna tener conto dei colpi lunghi, con o senza correnti impulsive sovrapposte.

È in preparazione una definizione più precisa dei parametri della corrente di fulmine e della loro reciproca dipendenza per i fulmini ascendenti e discendenti. A questo scopo sono in corso misure della corrente di fulmine ai fini della ricerca scientifica di base da parte di varie stazioni di misura in tutto il mondo. La **Figura 2.8.1** mostra la stazione di misura gestita dal gruppo austriaco per la ricerca ALDIS sul monte Gaisberg a Salisburgo in Austria. Dal 2007, DEHN esegue misure della corrente di fulmine in questa stazione per mezzo di un'unità di rilevazione mobile.

I risultati di queste misurazioni comparative sostanzialmente confermano i parametri della corrente di fulmine descritti nell'ultima versione della norma CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1)



Figura 2.8.1 Misure di corrente di fulmine effettuate dal gruppo di ricerca austriaco ALDIS e DEHN al traliccio trasmettente ORS posto sulla sommità del monte Gaisberg presso Salisburgo

305-1). L'elevato numero di impulsi di corrente sovrapposti in caso di fulmine ascendente è particolarmente degno di nota. Con una media di 8 colpi brevi (sovrapposti o successivi al colpo lungo), sono stati registrati molti più impulsi di corrente rispetto ai 3-4 colpi successivi che si verificano in genere in caso di fulmine discendente. Pertanto, le 3-4 scariche impulsive per fulmine indicate nella normativa riguardante la protezione contro i fulmini si applicano solo ai fulmini discendenti. In 10 anni (dal 2000 al 2009), ALDIS ha registrato 10 fulmini con carica superiore al valore massimo di 300 As in funzione del livello di protezione (LPL). Questi elevati valori di carica sono stati registrati solo durante tempeste invernali. Nel primo periodo di misurazione, il sistema mobile ha registrato anche colpi lunghi durante le tempeste invernali aventi cariche più elevate rispetto a quelle prescritte il livello di protezione LPL I. La **Figura 2.8.2** mostra un colpo lungo con una carica di

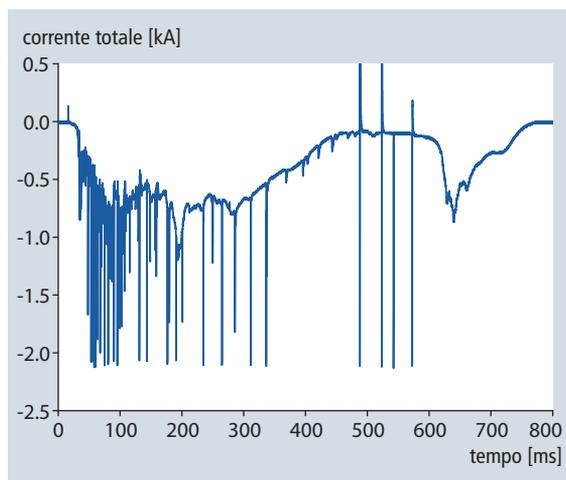


Figura 2.8.2 Colpo lungo con impulsi di corrente sovrapposti in un fulmine ascendente con carica complessiva di circa 405 As, registrato al traliccio trasmettente di Gaisberg durante una tempesta invernale

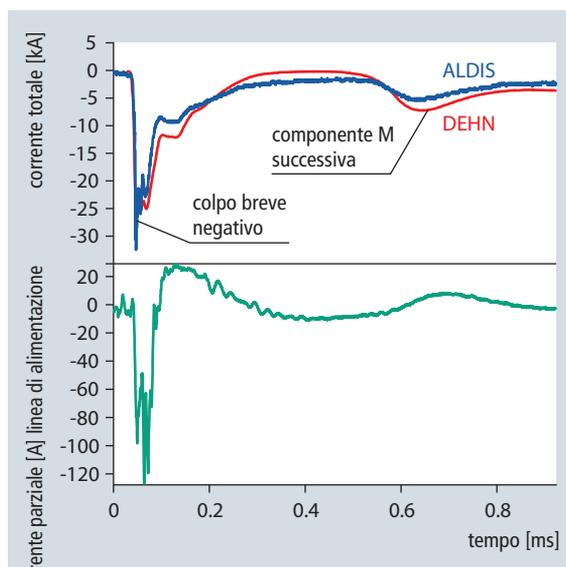


Figura 2.8.3 Fulmine negativo discendente Componente M (in alto) e corrente parziale di fulmine in una linea di alimentazione (in basso), registrati al traliccio trasmettente di Gaisberg

405 As, registrato nel gennaio 2007. Questi carichi estremi, che superano il valore di carica prescritto dal LPL I (300 As), possono essere presi in considerazione al momento di adottare misure di protezione contro i fulmini per strutture in posizioni esposte, come le turbine eoliche e i trasmettitori.

Fulmine discendente negativo e relativa corrente parziale associata.

Durante le misurazioni della corrente di fulmine è stato rilevato un fulmine nube-terra negativo. Rispetto ai fulmini ascendenti descritti in precedenza, questo fulmine discendente è caratterizzato da un maggiore valore colpi brevi. Il fulmine discendente negativo ha una corrente massima di circa 29 kA e una carica di circa 4,4 As. La **Figura 2.8.3** illustra un confronto tra le curve di corrente registrate dal sistema scientifico di misura ALDIS e il sistema di rilevamento mobile della corrente di fulmine. Le due curve di corrente sono coerenti tra loro. Al colpo breve decrescente è sovrapposta una corrente di fulmine negativa, in graduale aumento, di circa 5 kA.. Nella terminologia utilizzata nella ricerca scientifica sui fulmini, questa caratteristica componente della corrente di fulmine è denominata componente M (M-component). Nel secondo periodo di misurazione, a causa dell'elevato numero di canali di misura, il sistema di rilevamen-

to mobile della corrente di fulmine ha registrato anche delle correnti parziali in uno dei cavi a bassa tensione installato tra la piattaforma a 80 metri di altezza l'edificio alla sua base. Tra questi due punti dell'installazione vi sono numerosi percorsi paralleli di scarica della corrente di fulmine. La corrente di fulmine si divide tra la struttura metallica del traliccio e i numerosi cavi dell'alimentazione, dei dati e dell'antenna. Pertanto il valore assoluto della misura parziale della corrente di fulmine in un unico cavo a bassa tensione non fornisce informazioni utili. Tuttavia è stato verificato che la corrente parziale nel cavo a bassa tensione in esame ha la stessa polarità, nonché una forma d'onda e una durata del flusso di corrente, paragonabili alla corrente primaria di fulmine alla sommità della torre. Di conseguenza un dispositivo di protezione contro le sovratensioni installato per proteggere questo cavo deve essere in grado di scaricare le correnti parziali di fulmine.



Progettazione di un impianto di protezione contro i fulmini

3.1 Necessità di un impianto di protezione contro i fulmini

L'impianto di protezione contro i fulmini ha il compito di proteggere gli edifici dalle fulminazioni dirette e quindi da un eventuale incendio o dalle conseguenze della corrente da fulmine impressa (fulmine senza innesco).

Quando disposizioni nazionali come leggi, decreti o normativa edilizia lo richiedono, devono essere installate delle misure di protezione contro i fulmini.

Quando queste prescrizioni non specificano la classe della protezione contro i fulmini, si consiglia di installare almeno un LPS di classe III secondo la norma CEI EN 62305-3. In linea di principio va eseguita un'analisi dei rischi secondo la norma CEI EN 62305-2, si veda in proposito il capitolo 3.2.1.

In Germania,

➔ le linee guida VdS 2010 "Risikoorientierter Blitz- und Überspannungsschutz, Richtlinien zur Schadenverhütung" ["Protezione contro i fulmini e le sovratensioni, guida orientata alla valutazione del rischio"]

sono utilizzabili per determinare la classe LPS.

Per esempio, le norme edilizie bavaresi (BayBO) prescrivono l'installazione di protezioni contro il fulmine permanenti quando un fulmine può colpire facilmente una struttura o può avere conseguenze gravi a causa:

- ➔ della posizione,
- ➔ del tipo di costruzione,
- ➔ del suo utilizzo.

Ciò significa che **bisogna installare una protezione antifulmine anche se si riscontra una sola di tali condizioni.**

Un fulmine può avere **conseguenze particolarmente gravi** per le strutture in funzione della loro posizione geografica, del tipo di costruzione o del loro impiego.

Una scuola per l'infanzia, per esempio, è una struttura in cui un fulmine può avere gravi conseguenze a causa del suo impiego. L'interpretazione di questa affermazione è chiarita dalla seguente sentenza di un tribunale:

Estratto del Tribunale Amministrativo Bavarese, decisione del 4 luglio 1984, n. 2 B 84 A.624.

1. Una scuola materna è soggetta all'obbligo di installare un'efficace protezione contro i fulmini.
2. Le norme del regolamento edilizio impongono il requisito minimo delle porte ignifughe nella progettazione delle scale e delle uscite; detto requisito si applica anche a un edificio residenziale che ospita una scuola materna.

Ciò per i seguenti motivi: ai sensi dell'articolo 15, paragrafo 7 del regolamento edilizio bavarese (valido al momento della decisione della corte), le strutture dove un fulmine può verificarsi facilmente o può avere gravi conseguenze a causa della loro ubicazione, del tipo di costruzione o dell'impiego devono essere dotate di una protezione contro i fulmini permanente ed efficace. Pertanto, sono necessari degli efficaci dispositivi di protezione in due casi. Nel primo caso, le strutture sono particolarmente suscettibili di fulminazione (ad esempio a causa della loro altezza o posizione); nell'altro caso, un fulmine può avere conseguenze particolarmente gravi (ad esempio a causa del tipo di costruzione o di impiego). L'edificio del ricorrente ricade sotto la seconda categoria in quanto è usato come scuola materna. Una scuola per l'infanzia è una struttura in cui un fulmine può avere gravi conseguenze a causa del suo impiego. Il fatto che le scuole materne non siano espressamente citate tra gli esempi di strutture particolarmente a rischio nelle note del regolamento edilizio bavarese non fa alcuna differenza. Il rischio di gravi conseguenze se un fulmine colpisce una scuola materna deriva dal fatto che, durante il giorno, sono presenti allo stesso tempo un gran numero di bambini in età prescolare. Il fatto che i locali dove i bambini trascorrono il loro tempo siano al piano terra e che i bambini potrebbero fuggire attraverso le finestre - come asserito dal ricorrente - non è determinante. In caso di incendio, non vi è alcuna garanzia che i bambini di questa età reagiscano lucidamente e abbandonino l'edificio attraverso le finestre quando è necessario. In aggiunta, l'installazione di una adeguata protezione contro i fulmini non è una pretesa eccessiva da parte dell'operatore di una scuola materna. L'articolo 36, paragrafo 6 del regolamento edilizio bavarese (valido al momento della decisione della corte) richiede, tra le altre cose, che le scale abbiano degli ingressi al piano seminterrato dotati di porte a chiusura automatica, le quali siano quanto meno ignifughe. Questo requisito non si applica agli edifici residenziali con al massimo due appartamenti (articolo 36, punto 10 del regolamento edilizio bavarese, valido al momento della decisione della corte). L'imputato ha fatto la richiesta solo al momento in cui il ricorrente ha ristrutturato l'edificio, utilizzato in precedenza come edificio residenziale, per l'uso come scuola materna, in accordo con il cambiamento di uso autorizzato. La deroga di cui all'articolo 36, sezione 10 del regolamento edilizio bavarese (valido al momento della decisione della corte) non può essere applicata agli edifici costruiti per essere utilizzati come edifici residenziali con un massimo di due appartamenti, ma che attualmente servono (anche) ad un altro scopo che giustifica l'applicazione dei requisiti di sicurezza di cui all'articolo 36, sezione 1 e 6 del regolamento edilizio bavarese (valido al momento della decisione della corte). Questo è proprio il caso in oggetto.

Possono verificarsi gravi conseguenze (panico) anche quando il fulmine colpisce luoghi pubblici, scuole e ospedali. Per questi

motivi è necessario che tutte le strutture a rischio siano dotate di protezioni contro i fulmini permanenti ed efficaci.

Impianto LPS sempre necessario

Ci sono strutture, elencate di seguito, nelle quali va previsto comunque un impianto di protezione contro i fulmini, perché così prescrive la legge.

1. Luoghi adibiti a spettacoli pubblici con palcoscenico oppure tribune coperte per eventi o spettacoli cinematografici, se le relative aree hanno, singolarmente o complessivamente, una capacità di oltre 200 persone;
2. Luoghi adibiti a spettacoli pubblici dove le sale di ritrovo hanno, singolarmente o complessivamente, una capacità di oltre 200 persone; per scuole, musei e strutture del genere questa raccomandazione riguarda soltanto i servizi tecnici nelle sale per riunioni con oltre 200 persone ciascuna e le rispettive vie di fuga;
3. Strutture commerciali con più di 2000 m² di superficie calpestabile;
4. Centri commerciali contenenti diversi servizi collegati tra loro direttamente o tramite vie di fuga dove la superficie singola è inferiore ai 2000 m² e quella complessiva supera i 2000 m²;
5. Centri di esposizione con aree aventi, singolarmente o complessivamente, una superficie che supera i 2000 m² di superficie calpestabile;
6. Ristoranti con oltre 400 posti a sedere o alberghi con oltre 60 posti letto;
7. Grattacieli (in funzione del paese);
8. Ospedali oppure altre strutture con analoga tipologia;
9. Autorimesse e autosili di medie e grandi dimensioni;
10. Strutture:
 - 10.1 contenenti esplosivi, come fabbriche di munizioni, depositi di munizioni o esplosivi,
 - 10.2 stabilimenti/officine di produzione con luoghi a rischio di esplosione, come fabbriche di vernici, impianti chimici, grandi depositi con liquidi infiammabili o serbatoi per gas,
 - 10.3 a elevato rischio d'incendio, come
 - grandi stabilimenti per la lavorazione del legno,
 - edifici con copertura in materiale facilmente combustibile, come anche
 - depositi o stabilimenti con elevato carico d'incendio,
 - 10.4 strutture atte a ospitare un elevato numero di persone come
 - scuole,

- case di riposo e collegi per bambini,
- caserme,
- prigioni,
- stazioni ferroviarie,

- 10.5 strutture del patrimonio culturale, come
 - edifici di valore storico,
 - musei ed archivi,
- 10.6 strutture che sovrastano significativamente le strutture circostanti, come
 - ciminiere di grande altezza,
 - torri,
 - edifici elevati.

Il seguente elenco dà una panoramica dei "principi generali" che hanno come contenuto la necessità, la progettazione e la verifica degli impianti di protezione contro i fulmini.

Prescrizioni internazionali e nazionali:

DIN 18384:2012 (Norma tedesca)

Procedure contrattuali dell'edilizia tedesca (VOB) - Parte C: specifiche tecniche generali nei contratti edili d'appalti (ATV) - Installazione delle protezioni antifulmine

Impianti di protezione contro i fulmini

CEI EN 62305-1:2013 (CEI 81-10/1) - Protezione contro i fulmini - Principi generali

CEI EN 62305-2:2013 (CEI EN 81-10/2) - Protezione contro i fulmini - Valutazione del rischio

Integrazione 1 alla norma tedesca

DIN EN 62305-2:2013

Pericolo di fulmini in Germania

Integrazione 2 alla norma tedesca

DIN EN 62305-2:2013

Assistenza al calcolo della valutazione dei rischi per le strutture

Integrazione 3 alla norma tedesca

DIN EN 62305-2:2013

Informazioni aggiuntive per l'applicazione della norma DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305 -2)

CEI EN 62305-3:2013 (CEI 81-10/3) - Protezione contro i fulmini - Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone

Integrazione 1 alla norma tedesca

DIN EN 62305-3:2012

Informazioni aggiuntive per l'applicazione della norma DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305 -3)

Integrazione 2 alla norma tedesca

DIN EN 62305-3:2012

Informazioni aggiuntive per strutture speciali

Integrazione 3 alla norma tedesca

DIN EN 62305-3:2012

Informazioni aggiuntive per la verifica e la manutenzione degli impianti di protezione contro i fulmini

Integrazione 4 alla norma tedesca

DIN EN 62305-3:2008

Utilizzo dei tetti metallici negli impianti di protezione contro i fulmini

Integrazione 5 alla norma tedesca

DIN EN 62305-3:2014

Impianti di protezione contro i fulmini e le sovratensioni negli impianti fotovoltaici

CEI EN 62305-4:2013 (CEI 81-10/4) - Protezione contro i fulmini - Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture

CEI EN 62561-1:2013 (CEI 81-24)

Prescrizioni per i componenti di connessione.

Questa norma descrive i requisiti dei componenti metallici di collegamento (connettori, collegamenti, giunti di dilatazione, giunti di espansione, giunti di sezionamento) degli impianti di protezione contro i fulmini.

CEI EN 62561-2:2013 (CEI 81-25)

Prescrizioni per i conduttori di terra e i dispersori

Questa norma specifica ad esempio le dimensioni e le tolleranze dei conduttori metallici e dei dispersori, nonché i requisiti di prova per i valori elettrici e meccanici dei materiali.

CEI EN 62561-3:2013 (EN 62561-3:2012)

Requisiti per gli spinterometri di isolamento

CEI EN 62561-4:2012 (CEI 81-19)

Prescrizioni per i componenti di fissaggio dei conduttori

CEI EN 62561-5:2012 (CEI 81-20)

Prescrizioni per la verifica di ispezione (pозzetti) e di componenti a tenuta per dispersori

CEI EN 62561-6:2012 (CEI 81-21)

Prescrizioni per contatori di corrente di fulmine

CEI EN 62561-7:2012 (CEI 81-22)

Prescrizioni per le miscele aventi caratteristiche avanzate per l'impianto di messa a terra

DIN V VDE V 0185-600:2008 (Norma tedesca)

Verifica dell'idoneità dei tetti metallici rivestiti come elementi naturali del impianto di protezione antifulmine

Norme speciali per sistemi di dispersione

DIN 18014:2007 (Norma tedesca)

Dispersori di fondazione - criteri di pianificazione generale

DIN 0151:1986 (Norma tedesca)

Materiali e dimensioni minime dei dispersori ai fini della protezione contro la corrosione

CEI EN 61936-1:2014 (CEI 99-2)

Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata - Prescrizioni comuni.

CEI EN 50522:2011 (CEI 99-3)

Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in corrente alternata -

DIN 0141:2000 (Norma tedesca)

Impianto di messa a terra per gli impianti di potenza speciali con tensione nominale superiore a 1 kV

CEI EN 50341-1:2013 (CEI 11-4/1-1)

Linee elettriche aeree con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata - Prescrizioni generali - Specifiche comuni.

CEI EN 50162:2005 (CEI 9-89)

Protezione contro la corrosione da correnti vaganti causate dai sistemi elettrici a corrente continua

Norme particolari per la protezione contro i fulmini e contro le sovratensioni, collegamento equipotenziale

IEC 60364-4-41:2005 (HD 60364-4-41:2007)

Impianti elettrici a bassa tensione - Parte 4-41: Protezione per la sicurezza - Protezione contro i contatti diretti ed indiretti

IEC 60364-4-44:2007 (HD 60364-4-44:2006)

Impianti elettrici a bassa tensione - Parte 4-44: Protezione per la sicurezza - Protezione contro i disturbi in tensione e i disturbi elettromagnetici - Clausola 443: Protezione contro le sovratensioni di origine atmosferica o dovute alla commutazione

IEC 60364-4-44:2007 (HD 60364-4-444:2010)

Impianti elettrici a bassa tensione - Parte 4-444: Protezione per la sicurezza - Protezione contro disturbi in tensione e disturbi elettromagnetici

IEC 60364-5-53:2002 (HD 60364-5-534:2008)

Impianti elettrici a bassa tensione - Selezione e montaggio di impianti elettrici - Isolamento, comando e controllo - Clausola 534: Dispositivi di protezione contro le sovratensioni. Questa norma tratta l'uso dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni in classe I, II e III negli impianti delle utenze a bassa tensione per la protezione contro il contatto indiretto.

IEC 60364-5-54:2011 (HD 60364-5-54:2011)

Impianti elettrici a bassa tensione
Parte 5-54: Selezione e montaggio degli impianti elettrici - Messa a terra e conduttori di protezione
Questa norma comprende le prescrizioni per l'installazione degli impianti di messa a terra e dei collegamenti equipotenziali.

IEC 60664-1:2008 (CEI 109-1)

Coordinamento dell'isolamento per le apparecchiature nei sistemi a bassa tensione - Parte 1: Principi, prescrizioni e prove. Questa norma definisce le distanze minime, la loro selezione e la tensione nominale di tenuta a impulso per le categorie di sovratensione I, II, III e IV.

Linee guida VDN:2004 (linee guida tedesche)

Dispositivi di protezione contro le sovratensioni Tipo 1 - Linee guida per l'uso dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni (SPD) Tipo 1 negli impianti di rete.
Questa guida descrive l'uso e l'installazione dei dispositivi di protezione Tipo 1 a monte del contatore.

Norme speciali per impianti fotovoltaici

IEC 60364-7-712:2002 (HD 60364-7-712:2005)

Impianti solari fotovoltaici (PV)

CEI CLC/TS 50539-12:2013

Parte 12: Principi di scelta e applicazione - SPD connessi ad impianti fotovoltaici

Norme particolari per impianti elettronici, come televisione, radio, impianti dati (impianti di telecomunicazione)

DIN VDE 0800-1:1989 (Norma tedesca)

Requisiti generali e prove per la sicurezza degli impianti e degli apparecchi

DIN V VDE V 0800-2:2011 (Norma tedesca)

Tecnologia informatica - Parte 2: collegamenti equipotenziali e di terra.

La parte 2 riassume tutti i requisiti per la messa a terra e i collegamenti equipotenziali per il funzionamento di un impianto di telecomunicazioni.

DIN VDE 0800-10:1991 (Norma tedesca)

Disposizioni transitorie sulla costruzione e l'esercizio degli impianti.

La parte 10 comprende i requisiti per la costruzione, l'ampliamento, la modifica e il funzionamento degli impianti di telecomunicazione. La sezione 6.3 riguarda le misure richieste per la protezione contro le sovratensioni.

CEI EN 50310:2012 (CEI 306-4)

Applicazione della connessione equipotenziale e della messa a terra in edifici contenenti apparecchiature per la tecnologia dell'informazione.

CEI EN 61643-21:2003 (CEI 37-6)

Dispositivi di protezione dagli impulsi a bassa tensione - Parte 21: Dispositivi di protezione dagli impulsi collegati alle reti di telecomunicazione e segnalazione - Requisiti prestazionali e metodi di prova.

IEC 61643-22:2004 (CLC/TS 61643-22:2006)

Dispositivi di protezione contro le sovratensioni per le reti di telecomunicazione e di trasmissione dei segnali - Prescrizioni di prestazione e metodi di prova.

CEI EN 60728-11:2014 (CEI 100-126)

Impianti di distribuzione via cavo per segnali televisivi, sonori e servizi interattivi - Parte 11: Sicurezza.
La parte 11 riguarda le misure di protezione richieste contro le scariche atmosferiche (messa a terra del supporto dell'antenna, collegamento equipotenziale).

DIN VDE 0855-300:2008 (Norma tedesca)

Impianti di ricetrasmisione, requisiti di sicurezza.

La sezione 12 della parte 300 descrive le protezioni contro i fulmini le sovratensioni, nonché la messa a terra degli impianti d'antenna.

IEC 61663-1:1999 (EN 61663-1:1999)

Linee di telecomunicazione - Parte 1: impianti a fibre ottiche.
Questa norma descrive un metodo per calcolare eventuali danni e per la selezione delle adeguate misure di protezione; inoltre specifica la frequenza ammissibile dei danni. Tuttavia considera solo i guasti principali (interruzione del funzionamento) e non i malfunzionamenti secondari (danni alla guaina del cavo, formazione di fori).

Impianti speciali

EN 1127-1:2011

Prevenzione delle esplosioni e protezione contro le esplosioni - Parte 1: concetti fondamentali e metodologia.

Questa norma costituisce una guida per la prevenzione delle esplosioni e per la protezione contro gli effetti delle esplosioni, adottando misure durante la fase di progettazione e installazione dei dispositivi, degli impianti e dei componenti di protezione.

Le sezioni 5.7 e 6.4.8 richiedono la protezione contro gli effetti dei fulmini se gli impianti sono a rischio.

CEI EN 60079-14:2015 (CEI EN 31-33)

Atmosfere esplosive - Parte 14: Progettazione, scelta e installazione degli impianti elettrici.

La norma sottolinea che vanno tenuti in considerazione gli effetti dei fulmini. Questa norma richiede un collegamento equipotenziale in tutte le zone a rischio di esplosioni (zone Ex).

VDE serie 65

Elektrischer Explosionsschutz nach DIN VDE 0165; VDE Verlag Berlin, Anhang 9: PTB-Merkblatt für den Blitzschutz an eigensicheren Stromkreisen, die in Behälter mit brennbaren Flüssigkeiten eingeführt sind [Protezione contro le esplosioni elettriche secondo DIN VDE 0165, Allegato 9: bollettino PTB per la protezione antifulmine dei circuiti a sicurezza intrinseca installati in serbatoi contenenti liquidi infiammabili].

In Italia le Norme si possono richiedere a:

Punto vendita CEI
Via Saccardo, 9
20134 Milano MI
Telefono: 02 21006.257
Fax: 02 21006.222
eMail: puntovendita@ceiweb.it
Internet: webstore.ceinorme.it

3.2 Note esplicative sulla norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2): Valutazione del rischio

Una previdente valutazione dei rischi implica il calcolo dei rischi per l'azienda. Essa fornisce degli elementi che permettono di prendere le decisioni opportune al fine di limitare tali rischi; inoltre rende trasparente quali rischi devono essere coperti per mezzo di assicurazioni. Nell'ambito della gestione delle assicurazioni, tuttavia, bisogna considerare che per raggiungere determinati obiettivi, le polizze assicurative non sono sempre appropriate (ad esempio per il mantenimento della capacità operativa). Le probabilità che si verifichino determinati rischi non possono essere modificate per mezzo delle polizze di assicurazione.

Le aziende che operano con grandi impianti elettronici oppure forniscono servizi (e queste oggi costituiscono la maggioranza), devono considerare con attenzione anche il rischio di fulminazione. Occorre osservare che il danno causato dalla indisponibilità degli impianti elettronici, della produzione e dei servizi, oltre alla perdita di dati, spesso supera di molto il danno materiale subito dagli impianti.

L'analisi dei rischi ha come obiettivo l'oggettivazione e la quantificazione del pericolo al quale sono esposte le strutture e i loro contenuti in caso di fulminazione diretta e indiretta. Questa nuova mentalità si concretizza nella norma internazionale IEC 62305-2:2010 o nella norma italiana CEI EN 62305-2:2013:2013 (class. CEI 81-10/2) aggiornata nel 2013.

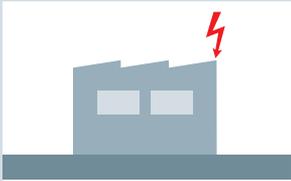
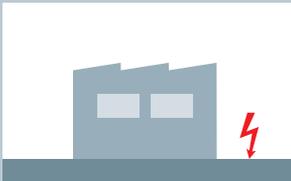
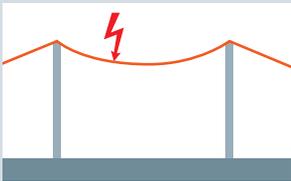
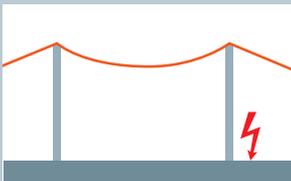
L'analisi dei rischi presentata nella norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) assicura che è possibile elaborare un concetto di protezione contro i fulmini compreso da tutte le parti coinvolte, in grado di soddisfare in modo ottimale i requisiti tecnici ed economici in modo da garantire la necessaria protezione al minor costo. Una descrizione dettagliata delle misure di protezione derivanti dall'analisi del rischio si trova nelle parti 3 e 4 della norma CEI EN 62305 (CEI 81-10/3 e /4).

3.2.1 Cause di danno, tipi di danno e tipi di perdite

Le **cause di danno** effettive sono le fulminazioni, che si dividono in quattro gruppi in funzione del punto colpito (**Tabella 3.2.1.1**):

- | | |
|----|--|
| S1 | Fulmine diretto sulla struttura; |
| S2 | Fulmine nelle vicinanze della struttura; |
| S3 | Fulmine diretto su una linea entrante; |
| S4 | Fulmine nelle vicinanze di una linea entrante. |

Queste cause di danno possono dare origine a vari **tipi di danno** che provocano la perdita economica. La norma specifica tre tipi di danno:

Punto di impatto	Esempio	Tipo di danno	Tipo di perdita
Composizione S1		D1 D2 D3	L1, L4 ^b L1, L2, L3, L4 L1 ^a , L2, L4
Vicino alla struttura S2		D3	L1 ^a , L2, L4
Linea entrante S3		D1 D2 D3	L1, L4 ^b L1, L2, L3, L4 L1 ^a , L2, L4
Vicino a una linea entrante S4		D3	L1 ^a , L2, L4

a Per gli ospedali e altre strutture dove i guasti degli impianti interni creano un pericolo immediato alla vita umana e alle sue strutture con il rischio di esplosione.

b Per proprietà agricole (perdita di animali)

Tabella 3.2.1.1 Fonti di danno, i tipi di danni e tipi di perdite a seconda del punto di impatto

- D1 Lesioni a esseri viventi provocate da folgorazioni dovute a tensioni di contatto e di passo;
- D2 Incendio, esplosione, reazioni meccaniche e chimiche a causa degli effetti fisici del fulmine;
- D3 Guasto degli impianti elettrici ed elettronici a seguito di sovratensioni.

Questi tipi di perdita possono verificarsi come risultato di diversi tipi di danno. I tipi di danno rappresentano la "causa" (in una relazione di causa-effetto), mentre il tipo di perdita rappresenta il corrispondente "effetto" (**Tabella 3.2.1.1**). I possibili tipi di danno per un tipo di perdita possono essere molteplici. È quindi necessario definire dapprima i tipi di perdita di una struttura prima di determinare i tipi di danno.

le perdite possono essere molto diverse a seconda del tipo di costruzione, del suo utilizzo e del materiale della struttura. La norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) specifica i seguenti **quattro tipi di perdite**:

- L1 Perdita di vite umane (lesioni o morte di persone);
- L2 Perdita di servizio al pubblico;
- L3 Perdita del patrimonio culturale;
- L4 Perdita di valore economico.

3.2.2 Basi per la valutazione del rischio

Secondo la norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2), il rischio R che si verifichi il danno da fulmine è dato dalla somma di tutte le componenti di rischio R_x rilevanti per lo specifico tipo di perdita. I componenti di rischio individuale R_x derivano dalla seguente equazione:

$$R_x = N_x \cdot P_x \cdot L_x$$

dove

- N_x rappresenta il numero di eventi pericolosi, cioè il numero dei fulmini a terra sull'area (quanti fulmini si abbattano all'anno sulla superficie da valutare?);
- P_x rappresenta la probabilità di danno: "con quale probabilità un fulmine causa un determinato danno?";
- L_x rappresenta la perdita, cioè la valutazione quantitativa dei danni: "quali effetti, ammontare, entità, conseguenze ha un determinato danno?".

Il compito della valutazione del rischio comprende quindi la determinazione dei tre parametri N_x , P_x e L_x per tutte le componenti di rischio rilevanti R_x . Il confronto tra il rischio R individuato in questo modo e il rischio accettabile R_T fornisce informazioni sui requisiti e il dimensionamento delle misure di protezione contro i fulmini.

Un'eccezione è costituita dalla valutazione delle perdite economiche. Per questo tipo di perdite, l'entità delle misure di protezione deve essere giustificata unicamente sotto l'aspetto economico. Se i dati per questa analisi non sono disponibili, si può usare il valore rappresentativo del rischio accettabile $R_T = 10^{-3}$ specificato nella norma IEC.

Nella norma EN non esiste un rischio accettabile R_T . Pertanto è preferibile eseguire un'analisi dei costi-benefici.

3.2.3 Frequenza degli eventi pericolosi

Vengono distinte le seguenti frequenze di fulminazione che possono interessare una struttura:

- N_D rappresenta il numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura;
- N_M rappresenta il numero di eventi pericolosi per fulminazione in prossimità della struttura con effetti magnetici;
- N_L rappresenta il numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta delle linee entranti;
- N_I rappresenta il numero di eventi pericolosi per fulminazione in prossimità delle linee entranti;

Il calcolo del numero annuo di eventi pericolosi è descritto dettagliatamente nell'allegato A della norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2).

La media annuale N del numero di eventi pericolosi derivanti dai fulmini che influenzano la struttura da proteggere dipende dall'attività meteorologica della regione in cui è situata la struttura e dalle caratteristiche fisiche della struttura. Per calcolare il numero N , bisogna moltiplicare la densità di fulmini al suolo N_G per un'area di raccolta equivalente alla struttura, tenendo in considerazione i fattori di correzione per le carat-

teristiche fisiche della struttura. La densità di fulmini al suolo N_G è il numero di fulmini per km² all'anno (ad esempio si veda la **Figura 3.2.3.1**).

Questo valore è disponibile presso le reti di localizzazione dei fulmini in molte zone del mondo. Se non è disponibile una mappa di N_G , nelle regioni temperate essa si può valutare come segue:

$$N_G \approx 0.1 \cdot T_D$$

Dove T_D rappresenta il numero di giorni di temporale all'anno (che possono essere ricavati dalle mappe ceramiche).

Fulminazioni dirette

Per fulmini diretti alla struttura si ha:

$$N_D = N_G \cdot A_D \cdot C_D \cdot 10^{-6}$$

A_D è l'area di raccolta equivalente della struttura isolata, in m² (**Figura 3.2.3.2**). C_D il coefficiente di posizione, con il quale viene considerato l'effetto dell'ambiente (costruzioni, terreno, alberi ecc.) (**Tabella 3.2.3.1**).

L'area di raccolta per una struttura rettangolare isolata di lunghezza L , larghezza W e altezza H , su una superficie piana, è calcolata come segue:

$$A_D = L \cdot W + 2 \cdot (3 \cdot H) \cdot (L + W) + \pi \cdot (3 \cdot H)^2$$

Fulmini nelle vicinanze

Per fulmini nelle vicinanze con effetti magnetici si ha:

$$N_M = N_G \cdot A_M \cdot 10^{-6}$$

A_M è l'area di raccolta che si ottiene tracciando intorno alla struttura una linea a una distanza di 500 m (**Figura 3.2.3.3**). I fulmini che colpiscono l'area A_M inducono magneticamente delle sovratensioni nelle spire induttive formate dall'impianto posto nella struttura.

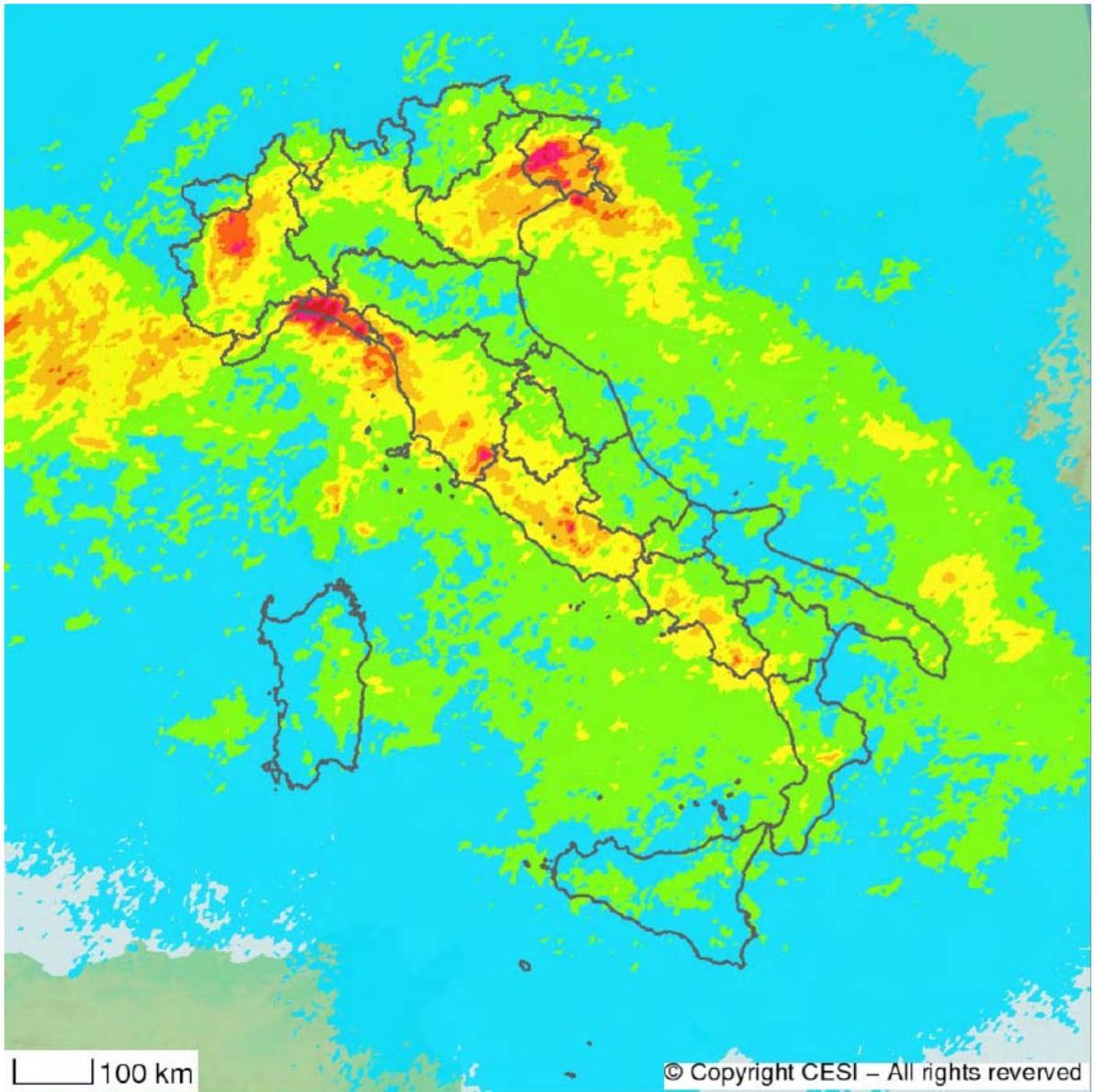
Fulminazione diretta delle linee

Per fulmini diretti che colpiscono le linee entranti si ha:

$$N_L = N_G \cdot A_L \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6}$$

dove N_L è il numero di sovratensioni all'anno nella sezione della linea con un valore massimo di almeno 1 kV.

C_I è il fattore di installazione della linea (**Tabella 3.2.3.2**) che tiene conto del fatto che una linea sia aerea o interrata. Se invece di una linea a bassa tensione, nell'area A_L è installata una linea di media tensione, il trasformatore richiesto riduce le sovratensioni al punto di ingresso nella struttura. In tal caso è fattore di linea C_T che tiene conto di ciò (**Tabella 3.2.3.3**). C_E è il fattore ambientale (**Tabella 3.2.3.4**) che definisce la



Impacts/km²/year
 Step 5.00 x 5.00 km

Figura 3.2.3.1 Densità di fulmini al suolo in Italia (media dal 2010 al 2015) (fonte: CESI - SIRF)

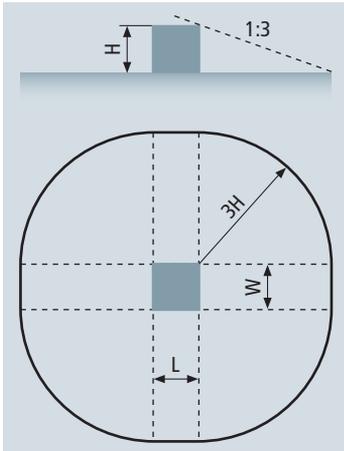


Figura 3.2.3.2 Area di raccolta equivalente A_D per fulmini diretti su una struttura isolata

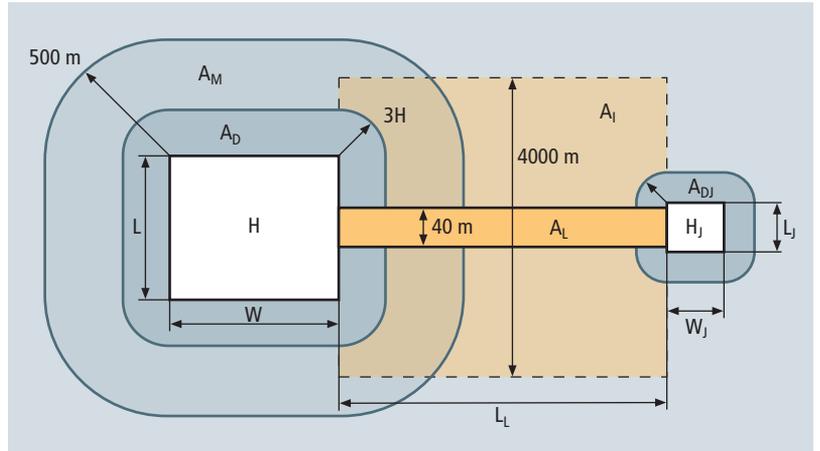


Figura 3.2.3.3 Area di raccolta equivalente A_M, A_L, A_I per fulminazione indiretta della struttura

Posizione relativa della struttura	C_D
Struttura circondata da oggetti più alti	0,25
Struttura circondata da oggetti della stessa altezza o minore	0,5
Struttura isolata: nessun altro oggetto in prossimità (entro una distanza di $3H$)	1
Struttura isolata su una collina o un poggio	2

Tabella 3.2.3.1 Fattore di posizione C_D

Passaggio dei cavi	C_I
Linea aerea	1
Linea interrata	0,5
Cavi interrati interamente contenuti entro una maglia di dispersori (vedi il punto 5.2 della norma IEC 62305-4 (EN 62305-4))	0,01

Tabella 3.2.3.2 Fattore di installazione C_I

Trasformatore	C_T
Alimentazione a bassa tensione, telecomunicazioni o linea dati	1
Linea elettrica ad alta tensione (con trasformatore alta/bassa tensione)	0,2

Tabella 3.2.3.3 Fattore del tipo di linea C_T

Ambiente	C_E
Zone rurali	1
Zona periferica	0,5
Zona urbana	0,1
Zona urbana con edifici alti (superiori a 20 m)	0,01

Tabella 3.2.3.4 Fattore ambientale C_E

"densità edilizia" vicino alla linea e quindi la probabilità di un fulmine.

Per l'area di raccolta dei fulmini diretti alla linea (**Figura 3.2.3.3**) si ha:

$$A_L = 40 \cdot L_L$$

dove L_L è la lunghezza del tratto di linea. Se la lunghezza del tratto di linea è sconosciuto, si assume un valore conservativo di $L_L = 1000$ m.

Di regola, i fulmini all'interno della zona A_L portano a un elevato livello di scarica, che può provocare un incendio, un'esplosione o una reazione meccanica o chimica nella struttura. Pertanto, la frequenza N_L non comprende solo le sovratensioni che comportano guasti o danni per gli impianti elettrici ed elettronici, ma anche gli effetti meccanici e termici che si verificano in caso di interferenze da fulmine.

Per fulmini vicino a una linea entrante con un valore massimo di almeno 1 kV, che provoca sovratensioni su tale linea, si ha:

$$N_I = N_G \cdot A_I \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6}$$

dove si applicano le stesse condizioni al contorno e gli stessi fattori di correzione (**Tabelle 3.2.3.2 e 3.2.3.4**) dei fulmini diretti.

Per l'area di raccolta dei fulmini che cadono in prossimità di una linea (**Figura 3.2.3.3**) si ha:

$$A_I = 4000 \cdot L_L$$

dove L_L è la lunghezza del tratto di linea. Se la lunghezza del tratto di linea è sconosciuto, si assume un valore conservativo di $L_L = 1000$ m.

Se la linea ha più di un tratto, i valori di N_L e N_I vanno calcolati per ogni tratto. Vanno considerati i tratti di linea tra la struttura e il primo nodo (la distanza massima dalla struttura non deve superare i 1000 m).

Se più di una linea entra nella struttura su percorsi differenti, ogni linea va calcolata indipendentemente. Tuttavia, se più linee entrano nella struttura lungo lo stesso percorso, va calcolata solo la linea con le proprietà più sfavorevoli, in altre parole la linea con i massimi valori di N_L e N_I relativi agli impianti interni con la più bassa resistenza di isolamento (linea di telecomunicazione invece della linea di alimentazione, linea non schermata invece della linea schermata, linea di alimentazione a bassa tensione invece della linea ad alta tensione con un trasformatore da alta a bassa tensione, ecc.). Se le aree di raccolta delle linee si sovrappongono, le aree di sovrapposizione vanno considerate solo una volta.

3.2.4 Probabilità del danno

Il parametro "probabilità di danno" definisce con quale probabilità un fulmine causa un determinato danno. La probabilità di danni possono avere un valore massimo di 1 (il che significa che ogni evento provoca danni pericolosi). Ci sono le seguenti otto probabilità di danno:

In caso di un fulmine diretto su una struttura (S1):

- P_A Lesioni da folgorazione su esseri viventi
- P_B Danni fisici (incendio, esplosione, reazioni meccaniche o chimiche)
- P_C Guasto di impianti elettrici/elettronici

In caso di un fulmine nei pressi di una struttura (S2):

- P_M Guasto di impianti elettrici/elettronici

In caso di un fulmine diretto su una linea entrante (S3):

- P_U Lesioni da folgorazione su esseri viventi
- P_V Danni fisici (incendio, esplosione, reazioni meccaniche o chimiche)
- P_W Guasto di impianti elettrici/elettronici

In caso di un fulmine diretto nei pressi di una linea entrante (S4):

- P_Z Guasto di impianti elettrici/elettronici

Queste probabilità di danno sono descritte dettagliatamente nell'allegato B della norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2). La probabilità di danni possono essere selezionate da tabelle o calcolate in base alla combinazione di diversi fattori. In questo contesto, si deve osservare che, come regola generale, sono possibili valori diversi purché ottenuti in base a esami o valutazioni dettagliate. In seguito viene illustrata una breve panoramica delle singole probabilità di danno. Informazioni più dettagliate si trovano nella norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2)

Probabilità di danno in caso di fulmini diretti

I valori di probabilità di danno P_A relativi alle lesioni subite da esseri viventi per folgorazione causata da tensione di contatto o di passo provocate da un fulmine sulla struttura dipendono dal tipo di impianto di protezione antifulmini e dalle ulteriori misure di protezione:

$$P_A = P_{TA} \cdot P_B$$

P_{TA} descrive le tipiche misure di protezione contro le tensioni di contatto e di passo (**Tabella 3.2.4.1**). P_B dipende dalla classe di LPS secondo CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) (**Tabella 3.2.4.2**).

Se viene adottata più di una misura di protezione, il valore di P_{TA} è il prodotto dei valori corrispondenti. Inoltre, si deve osservare che le misure di protezione volte a ridurre il valore di P_A sono efficaci solo in strutture protette da un impianto anti-fulmini (LPS), o costituite da un elemento metallico continuo o da un telaio di cemento armato che agisce come un LPS naturale, purché siano soddisfatti i requisiti di equipotenzialità e messa a terra prescritti dalla norma IEC 62305-3 (EN 62305-3). Il capitolo 5 fornisce informazioni più dettagliate sulle misure di protezione.

Le probabilità di danni fisici P_B (incendio, esplosione, reazioni meccaniche o chimiche all'interno o all'esterno di una struttura a seguito di un fulmine) possono essere selezionate in base alla **Tabella 3.2.4.2**.

La probabilità P_C che un fulmine in una struttura possa causare danni agli impianti interni dipende dal coordinamento dei dispositivi SPD installati:

$$P_C = P_{SPD} \cdot C_{LD}$$

Ulteriori misure di protezione	P_{TA}
Nessuna misura di protezione	1
Avvisi	10^{-1}
Isolamento elettrico (ad es. almeno 3 mm polietilene reticolato) delle parti esposte (ad es. i conduttori)	10^{-2}
Efficace controllo del potenziale nel terreno	10^{-2}
Limitazioni fisiche o struttura dell'edificio utilizzata come conduttore	0

Tabella 3.2.4.1 Valori della probabilità P_{TA} che la fulminazione di una struttura possa causare folgorazioni per gli esseri viventi a causa di pericolose tensioni di contatto e di passo

Proprietà della struttura	Classe di LPS	P_B
Struttura non protetta da un LPS	–	1
Struttura protetta da un LPS	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Struttura con impianto di captazione conforme alla classe LPS I e telaio metallico (o di cemento armato) continuo che agisce come una calata naturale		0,01
Struttura con tetto metallico e un impianto di captazione, eventualmente comprendente anche componenti naturali, con la protezione completa di tutte le installazioni sul tetto contro la fulminazione diretta, e un telaio metallico (o di cemento armato) continuo che agisce come una calata naturale		0,001

Tabella 3.2.4.2 Probabilità di danno P_B che descrive le misure di protezione contro i danni fisici

LPL	P_{SPD}
Nessun sistema coordinato di SPD	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
Dispositivi di protezione contro le sovratensioni con caratteristiche di protezione migliori di quelle richieste dalla classe LPL I (maggiore capacità di trasportare la corrente di fulmine, minore livello di protezione della tensione, ecc.)	0,005-0,001

Tabella 3.2.4.3 La probabilità di danno P_{SPD} definisce la protezione coordinata contro le sovratensioni in funzione del livello di protezione contro i fulmini (LPL)

Tipo di linea esterna	Connessione in ingresso	C _{LD}	C _{LI}
Linea aerea non schermata	Non definita	1	1
Linea interrata non schermata	Non definita	1	1
Linea di alimentazione con più conduttori neutri a terra	Nessuna	1	0,2
Linea interrata schermata (linea di rete o telecomunicazioni)	Schermature non collegate alla stessa barra equipotenziale delle apparecchiature	1	0,3
Linea aerea schermata (o linea per telecomunicazioni)	Schermature non collegate alla stessa barra equipotenziale delle apparecchiature	1	0,1
Linea interrata schermata (linea di alimentazione o per telecomunicazioni)	Schermature collegate alla stessa barra equipotenziale delle apparecchiature	1	0
Linea aerea schermata (linea di alimentazione o per telecomunicazioni)	Schermature collegate alla stessa barra equipotenziale delle apparecchiature	1	0
Cavo di protezione antifulmini o cablaggio in condotto protettivo antifulmine, condotto metallico o tubi metallici	Schermature collegate alla stessa barra equipotenziale delle apparecchiature	0	0
(Nessuna linea esterna)	Nessuna connessione a linee esterne (impianti indipendenti)	0	0
Qualsiasi tipo	Interfacce di isolamento secondo CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)	0	0

Tabella 3.2.4.4 Valori dei fattori C_{LD} e C_{LI} che dipendono dalla schermatura, dalla messa a terra e dalle condizioni di isolamento

P_{SPD} dipende dal sistema coordinato di SPD, secondo la norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4) e dal livello di protezione antifulmini (LPL) in base al quale sono dimensionati i dispositivi SPD. I valori di P_{SPD} sono riportati nella **Tabella 3.2.4.3**. Un sistema coordinato di SPD riduce P_C solo in strutture protette da un impianto contro i fulmini (LPS), o costituite da un elemento metallico continuo o da un telaio di cemento armato che agisce come un LPS naturale, purché siano soddisfatti i requisiti di equipotenzialità e messa a terra prescritti dalla norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3). I valori di P_{SPD} possono essere ridotti se gli SPD selezionati hanno caratteristiche di protezione migliori (maggiore capacità di trasportare la corrente I_N, minore tensione di protezione U_p, ecc.) rispetto a quella richiesta per il livello I di protezione contro i fulmini nei rispettivi punti d'installazione. Si veda la Tabella A.3 della norma CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1) per informazioni sulla capacità di trasporto della corrente, l'Allegato E della norma CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1) e l'Allegato D della norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4) per la distribuzione della corrente di fulmine. Si possono utilizzare gli stessi allegati anche per SPD con maggiore probabilità di P_{SPD}.

Il fattore C_{LD} considera la schermatura, la messa a terra e le condizioni di isolamento della linea collegata all'impianto interno. I valori di C_{LD} sono riportati nella **Tabella 3.2.4.4**.

Probabilità di danno in caso di fulmini nelle vicinanze

La probabilità P_M che un fulmine che cade nei pressi di una struttura possa causare il guasto degli impianti interni alla struttura dipende dalle misure di protezione adottate per gli impianti elettrici ed elettronici (SPM). Un impianto di protezione contro il fulmine a maglie, misure di schermatura, uso di adeguati criteri di installazione dei cavi, una maggiore tensione nominale di tenuta agli impulsi, interfacce isolate e sistemi di SPD coordinati, sono misure di protezione adatte per ridurre il valore di P_M. La probabilità P_M viene calcolata come segue:

$$P_M = P_{SPD} \cdot P_{MS}$$

P_{SPD} può essere selezionato in base alla **Tabella 3.2.4.3** purché sia installato un sistema di SPD coordinato che soddisfi i requisiti della norma IEC 62305-4 (EN 62305-4). I valori del fattore P_{MS} sono determinati come segue:

$$P_{MS} = (K_{S1} \cdot K_{S2} \cdot K_{S3} \cdot K_{S4})^2$$

dove

- K_{S1} rappresenta l'efficacia schermante della struttura, dell'impianto LPS o delle altre protezioni ai confini tra le zone LPZ 0 /1;
- K_{S2} rappresenta l'efficacia delle schermature interne della struttura ai confini tra le zone LPZ X/Y (X > 0, Y > 1);
- K_{S3} rappresenta le caratteristiche dei cavi interni (**Tabella 3.2.4.5**);
- K_{S4} rappresenta la tensione nominale di tenuta agli impulsi dell'impianto da proteggere.

Tipo di cablaggio interno	K_{S3}
Cavo non schermato - il percorso non adotta alcuna precauzione per evitare la formazione di spire (costituite da conduttori con percorsi diversi in edifici di grandi dimensioni, il che significa spire con superficie di circa 50 m ²)	1
Cavo non schermato - il percorso adotta precauzioni per evitare la formazione di spire (costituite da conduttori che passano in uno stesso tubo o costituite da conduttori con percorsi diversi in edifici di piccole dimensioni, il che significa spire con superficie di circa 10 m ²)	0,2
Cavo non schermato - il percorso adotta precauzioni per evitare la formazione di spire (costituite da conduttori dello stesso cavo, ossia spire con superficie ad di circa 0,5 m ²)	0,01
Cavi schermati e cavi in tubi metallici (le schermature dei cavi e i tubi metallici sono collegate alla barra equipotenziale ad entrambe le estremità e il dispositivo è collegato alla stessa barra)	0,0001

Tabella 3.2.4.5 Valore del fattore K_{S3} che dipende cablaggio interno

Se vengono utilizzate apparecchiature con interfacce di isolamento costituite da trasformatori con schermatura a massa tra gli avvolgimenti, cavi a fibre ottiche o foto accoppiatori, si può porre $P_{MS} = 0$.

I fattori K_{S1} e K_{S2} per LPS o schermatura spaziali a griglia possono essere valutati come segue:

$$K_{S1} = 0.12 \cdot w_{m1}$$

$$K_{S2} = 0.12 \cdot w_{m2}$$

dove w_{m1} (m) e w_{m2} (m) sono le larghezze di maglia delle schermature spaziali a griglia o le larghezze di maglia delle maglie di calata dell'impianto LPS o la distanza tra le barre metalliche della struttura o la distanza di armatura della struttura in calcestruzzo che funge da LPS naturale.

Il fattore K_{S4} viene calcolato come segue:

$$K_{S4} = \frac{1}{U_W}$$

dove U_W rappresenta la tensione nominale di tenuta agli impulsi dell'impianto da proteggere, in kV. Il massimo valore di K_{S4} è 1. Se sono installate apparecchiature con diversi valori di tensione di tenuta agli impulsi in un impianto interno, il fattore K_{S4} va selezionato in funzione del valore minimo della tensione di tenuta agli impulsi.

Probabilità di danno in caso di fulmini diretti sulle linee

I valori della probabilità P_U che degli esseri umani all'interno di una struttura possano riportare lesioni a causa delle tensioni di contatto provocate dalla fulminazione diretta di una linea della struttura, dipende dalla proprietà schermanti della linea, dalla tensione di tenuta agli impulsi degli impianti inter-

ni collegati alla linea, dalle misure di protezione (limitazioni fisiche o avvisi) e dalle interfacce isolanti o SPD posti al punto di ingresso nella struttura, secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3):

$$P_U = P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}$$

P_{TU} descrive le misure di protezione contro le tensioni di contatto, come ad esempio limitazioni fisiche e avvisi (**Tabella 3.2.4.6**). Se viene adottata più di una misura di protezione, il valore di P_{TU} è il prodotto dei valori corrispondenti.

Misura di protezione	P_{TU}
Nessuna misura di protezione	1
Avvisi	10 ⁻¹
Isolamento elettrico	10 ⁻²
Limitazioni fisiche	0

Tabella 3.2.4.6 Valori di probabilità P_{TU} che un fulmine su una linea entrante causi folgorazioni a esseri viventi a causa di tensioni di contatto e di passo pericolose

LPL	P_{EB}
Nessun SPD	1
III - IV	0,05
II	0,02
I	0,01
Dispositivi di protezione contro le sovratensioni con caratteristiche di protezione migliori di quelle richieste dalla classe LPL I (maggiore capacità di trasportare la corrente di fulmine, livello di protezione della tensione inferiore, ecc.)	0,005 - 0,001

Tabella 3.2.4.7 La probabilità di danno P_{EB} definisce la "protezione equipotenziale antifulmine" in funzione del livello di protezione contro i fulmini (LPL)

Tipo di linea	Collegamento, protezione, equipotenzialità	Tensione di tenuta agli impulsi U_W in kV					
		1	1,5	2,5	4	6	
Linee elettriche o di telecomunicazione	Linea aerea o interrata, non schermata o schermata, il cui schermo non è collegato alla stessa sbarra equipotenziale dell'apparecchiatura	1	1	1	1	1	
	Linea aerea o interrata, schermata, il cui schermo è collegato alla stessa sbarra equipotenziale dell'apparecchiatura	$5 \Omega/\text{km} < R_S \leq 20 \Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$1 \Omega/\text{km} < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
	$R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02	

Tabella 3.2.4.8 Valori di probabilità P_{LD} in funzione della resistenza del cavo schermato R_S e della tensione di tenuta agli impulsi U_W dell'apparecchiatura

P_{EB} è la probabilità che dipende dal collegamento equipotenziale antifulmine in conformità alla norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) e dal livello di protezione antifulmine (LPL) per il quale sono dimensionati i dispositivi SPD (Tabella 3.2.4.7). I valori di P_{EB} possono essere ridotti se gli SPD selezionati hanno caratteristiche di protezione migliori (maggiore capacità di trasportare la corrente I_N , minore tensione di protezione U_p , ecc.) rispetto a quella richiesta per il LPL I nei rispettivi punti d'installazione. Non è necessario un impianto coordinato di SPD secondo la norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4) per ridurre il valore di P_U ; sono sufficienti degli SPD secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3).

P_{LD} è la probabilità che gli impianti interni si guastino a causa di un fulmine in una linea collegata, a seconda delle caratteristiche della linea (Tabella 3.2.4.8). Il fattore C_{LD} , che considera condizioni di schermatura, messa a terra e isolamento della linea, può essere scelto dalla Tabella 3.2.4.4.

I valori della probabilità P_V che possano verificarsi dei **danni fisici** a causa di un fulmine su una linea entrante nell'edificio dipende dalla proprietà della schermatura della linea, dalla tensione di tenuta agli impulsi dell'impianto interno collegato alla linea e dalle interfacce di isolamento o SPD presso il punto di entrata nella struttura, secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3). Anche in questo caso non è necessario un sistema coordinato di SPD secondo la norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4).

$$P_V = P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}$$

I valori della probabilità P_W che un fulmine su una linea entrante in una struttura possa causare **danni agli impianti interni** dipendono dalle proprietà della schermatura della linea, dalla tensione di tenuta agli impulsi degli impianti interni collegati alla linea e dalle interfacce di isolamento o SPD secondo CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4). In questo caso è necessario un sistema coordinato di SPD.

$$P_W = P_{SPD} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}$$

I valori di P_{EB} , P_{SPD} , P_{LD} e C_{LD} possono essere scelti in base alle **Tabelle 3.2.4.3, 3.2.4.4, 3.2.4.7 e 3.2.4.8**.

Probabilità di danno in caso di fulmini indiretti sulle linee

La linea non è direttamente colpita; il fulmine cade vicino alla linea. In questo processo, si può escludere che delle correnti di fulmine elevate possano essere iniettate nella linea. Tuttavia, nella linea possono essere indotte magneticamente delle tensioni.

I valori della probabilità P_Z che un fulmine caduto in prossimità di una linea entrante in una struttura possa causare danni agli impianti interni dipendono dalle proprietà di schermatura della linea, dalla tensione di tenuta agli impulsi degli impianti interni collegati alla linea e dalle interfacce di isolamento o SPD secondo la norma IEC 62305-4 (EN 62305-4).

$$P_Z = P_{SPD} \cdot P_{LI} \cdot C_{LI}$$

P_{SPD} può essere scelto in base alla Tabella 3.2.4.3. P_{LI} è la probabilità di guasto degli impianti interni a causa di un fulmine caduto in prossimità di una linea collegata; dipende dalle caratteristiche della linea (Tabella 3.2.4.9). Il fattore C_{LI}

Tipo di linea	Tensione di tenuta agli impulsi U_W in kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Linee di alimentazione	1	0,6	0,3	0,16	0,1
Linee di telecomunicazione	1	0,5	0,2	0,08	0,04

Tabella 3.2.4.9 Valori della probabilità P_{LI} in funzione del tipo di linea e della tensione di tenuta agli impulsi U_W dell'apparecchiatura

Tipo di superficie	Resistenza di contatto $k\Omega^a$	r_t
Agricola, calcestruzzo	≤ 1	10^{-2}
Marmo, ceramica	1 - 10	10^{-3}
Ghiaia, moquette, tappeti	10 - 100	10^{-4}
Asfalto, linoleum, legno	≥ 100	10^{-5}

^a Valori misurati tra un elettrodo di 400 cm² compresso con una forza di 500 N e un punto di infinito.

Tabella 3.2.5.1 Valori del fattore di riduzione r_t in funzione del tipo di terreno o suolo

(Tabella 3.2.4.4) tiene conto della schermatura, della protezione, della messa a terra e delle proprietà isolanti della linea.

3.2.5 Perdita

Se in una struttura si verifica un certo danno, ne vanno valutate le conseguenze. Il guasto o un danneggiamento di un sistema informatico, ad esempio, può avere conseguenze diverse. Se non vengono persi dati che riguardano l'attività, si avranno solo alcune migliaia di euro di danni all'hardware. Se, tuttavia, l'intera attività di una società dipende dalla disponibilità permanente del sistema informatico (call center, banche, tecnologia dell'automazione), possono derivarne dei danni molto più gravi, oltre a quelli all'hardware (ad esempio insoddisfazione dei clienti, perdita di clienti, perdita di commesse, interruzione della produzione). La "perdita" (loss) L consente di valutare le conseguenze del danno (la scelta di questo termine, della norma CEI EN 62305-2 - CEI 81-10-2, non è delle più felici; fattore di danno o fattore di perdita potrebbe essere un termine più appropriato). In questo contesto, le perdite sono suddivise secondo il tipo di danno (da D1 a D3):

- L_t Perdita a causa di lesioni provocate da folgorazioni risultanti da tensioni di contatto o di passo (D1);
- L_f Perdita a causa di danni fisici (D2);
- L_o Perdita a causa di un guasto degli impianti elettrici ed elettronici (D3).

Occorre valutare la misura, i costi e le conseguenze dei danni in funzione del tipo di perdita (da L1 a L4). L'Allegato C della norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) comprende gli elementi per il calcolo dei quattro tipi di perdite. Nel seguito verranno descritte brevemente tali perdite; verranno definiti i fattori di riduzione e di aumento, nonché i parametri e le equazioni per le differenti zone di una struttura. Tuttavia, una struttura può anche essere descritta da una singola zona, il che significa che l'intera struttura è composta da una zona.

Misure	r_p
Nessuna misura	1
Una delle seguenti misure: estintori, impianti antincendio fissi ad azionamento manuale, impianti d'allarme manuali, idranti, compartimenti antincendio, vie di fuga	0,5
Una delle seguenti misure: impianti antincendio fissi ad azionamento manuale, impianti d'allarme automatici	0,2

Tabella 3.2.5.2 Valori del fattore di riduzione r_p in funzione delle misure adottate per ridurre le conseguenze dell'incendio

Fattori di riduzione e di aumento

Oltre ai fattori di perdita, l'Allegato C comprende tre fattori di riduzione e un fattore di aumento:

- r_t Fattore di riduzione degli effetti delle tensioni di contatto e di passo a seconda del tipo di terreno all'esterno della struttura o del tipo di pavimento all'interno della struttura (Tabella 3.2.5.1);
- r_p Fattore di riduzione delle misure adottate per ridurre le conseguenze di un incendio (Tabella 3.2.5.2);
- r_f Fattore di riduzione del rischio di incendio e di esplosione della struttura (Tabella 3.2.5.3);
- h_z Fattore di incremento del valore relativo in caso di perdita di vite umane (L1) a causa del livello di panico (Tabella 3.2.5.4).

Perdita di vite umane (L1)

La perdita va determinata per ciascun componente di rischio rilevante per la struttura. Inoltre, la struttura può essere suddivisa in più zone, in modo che le perdite siano assegnate a ciascuna delle singole zone.

Pertanto, il valore della perdita dipende dalle caratteristiche della zona definite dai fattori di aumento (h_z) e dai fattori di riduzione (r_t, r_p, r_f). In altre parole, il valore della perdita dipende dal rapporto tra il numero di persone nella zona (n_z) e il numero totale di persone nella struttura (n_t) e tra il tempo in ore all'anno durante il quale le persone soggiornano nella zona (t_z) e le 8760 ore dell'anno. Pertanto, vi sono fino a otto valori di perdita:

$$L_A = L_U = \frac{r_t \cdot L_T \cdot n_z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760}$$

$$L_B = L_V = \frac{r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_F \cdot n_z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760}$$

Rischio	Tipo di rischio	r _f
Esplosione	Zona 0, 20 ed esplosivi solidi	1
	Zona 1, 21	10 ⁻¹
	Zona 2, 22	10 ⁻³
Incendio	Alto	10 ⁻¹
	Normale	10 ⁻²
	Basso	10 ⁻³
Esplosione o incendio	Nessuno	0

Tabella 3.2.5.3 Valori del fattore di riduzione r_f in funzione del rischio di incendio di una struttura

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = \frac{L_O \cdot n_Z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760}$$

dove

- L_T rappresenta la percentuale media tipica delle vittime che hanno subito lesioni da folgorazione (D1) a causa di un evento pericoloso;
- L_F rappresenta la percentuale media tipica delle vittime che hanno subito lesioni per effetto di danni fisici (D2) a causa di un evento pericoloso;
- L_O rappresenta la percentuale media tipica delle vittime che hanno subito lesioni a causa di guasti degli impianti interni (D3) a causa di un evento pericoloso;
- r_t rappresenta un fattore di riduzione della perdita di vite umane in funzione del tipo di suolo;

Tipo di rischio speciale	h _z
Nessun rischio particolare	1
Basso rischio di panico (ad esempio strutture limitate a due piani con un massimo di 100 persone)	2
Livello medio di panico (ad esempio strutture per manifestazioni culturali e sportive da 100 a 1.000 visitatori)	5
Difficoltà di evacuazione (ad esempio strutture con persone immobilizzate, ospedali)	5
Livello elevato di panico (ad esempio strutture per manifestazioni culturali e sportive con oltre 1000 visitatori)	10

Tabella 3.2.5.4 Valori del fattore h_z che aumentano il valore relativo di una perdita L1 (perdita della vita umana) in caso di rischi particolari

- r_p rappresenta un fattore di riduzione della perdita dovuta a danni fisici in funzione delle misure adottate per ridurre le conseguenze degli incendi;
- r_f rappresenta un fattore di riduzione della perdita dovuta a danni fisici in funzione del rischio di incendio o esplosione;
- h_z rappresenta un fattore di incremento della perdita dovuta a danni fisici quando è presente un particolare pericolo;
- n_z rappresenta il numero di persone nella zona;
- n_t rappresenta il numero totale di persone nella struttura;
- t_z rappresenta il tempo in ore all'anno durante il quale nella zona sono presenti delle persone.

La norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) specifica i valori medi tipici di L_T, L_F e L_O per strutture classificate in modo sommario (Tabella 3.2.5.5). Questi valori possono essere modificati e adattati per specifiche strutture, purché venga considerato il

Tipo di danno	Tipico valore della perdita		Tipo di struttura
D1: lesioni	L _T	10 ⁻²	Tutti i tipi
D2: danni fisici	L _F	10 ⁻¹	Rischio di esplosione
		10 ⁻¹	Ospedale, albergo, scuola, edificio pubblico
		5 · 10 ⁻²	Edificio con strutture per l'intrattenimento, chiesa, museo
		2 · 10 ⁻²	Struttura industriale, commerciale
		10 ⁻²	Altri
D3: guasto di impianti interni	L _O	10 ⁻¹	Rischio di esplosione
		10 ⁻²	Unità di terapia intensiva e sala operatoria di un ospedale
		10 ⁻³	Altre zone di un ospedale

Tabella 3.2.5.5 Tipo di perdita L1: valori tipici medi di L_T, L_F e L_O

numero di persone suscettibili di essere colpite, la loro mobilità indipendente e la loro esposizione agli effetti del fulmine. Per i valori indicati nella **Tabella 3.2.5.5**, si assume che le persone soggiornino permanentemente nella struttura.

Può rendersi necessaria una valutazione dettagliata di L_F e L_0 per le strutture a rischio di esplosione. In questo contesto si deve tener conto del tipo di struttura, del rischio di esplosione, della divisione in zone di protezione contro le esplosioni e delle misure volte a ridurre i rischi.

Se il rischio per le persone dovuto a fulminazione diretta su una struttura interessa anche le strutture o l'ambiente circostanti (ad esempio in caso di emissioni chimiche o radioattive), si deve tener conto anche delle ulteriori perdite di vite umane a causa di danni fisici (L_{BE} e L_{VE}) nel valutare le perdite totali (L_{BT} e L_{VT}):

$$L_{BT} = L_B + L_{BE}$$

$$L_{VT} = L_V + L_{VE}$$

$$L_{BE} = L_{VE} = \frac{L_{FE} \cdot t_e}{8760}$$

L_{FE} Perdita a causa di danni fisici all'esterno della struttura;

t_e Tempo durante il quale le persone permangono in luoghi pericolosi all'esterno della struttura.

Se il tempo t_e non è noto, si assume $t_e/8760 = 1$. L_{FE} dovrebbe essere fornito dall'ente che redige i documenti relativi alla protezione dalle esplosioni.

Perdita inaccettabile di servizio pubblico

La perdita di servizio al pubblico è definita dalla proprietà della struttura o delle sue zone. Queste proprietà sono descritte per mezzo di fattori di riduzione (r_p , r_f). Inoltre, è importante il rapporto tra il numero di utenti serviti nella zona (n_z) e il numero totale di utenti serviti nella struttura (n_t). Si hanno fino a sei valori di perdita:

$$L_B = L_V = \frac{r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot n_z}{n_t}$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = \frac{L_0 \cdot n_z}{n_t}$$

L_F rappresenta la percentuale media tipica degli utenti non serviti a causa di danni fisici (D2) in caso di un evento pericoloso;

L_0 rappresenta la percentuale media tipica degli utenti non serviti a causa di un guasto agli impianti interni (D3) in caso di un evento pericoloso;

r_p rappresenta un fattore di riduzione della perdita dovuta a danni fisici in funzione delle misure adottate per ridurre le conseguenze degli incendi;

r_f rappresenta un fattore di riduzione della perdita dovuta a danni fisici in funzione del rischio di incendio o esplosione;

n_z rappresenta il numero di utenti serviti nella zona;

n_t rappresenta il numero totale di utenti serviti nella struttura;

La norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) specifica i valori medi tipici di L_F e L_0 in funzione del tipo di servizio (**Tabella 3.2.5.6**). Questi valori forniscono anche informazioni sull'importanza del tipo di servizio fornito al pubblico. Se necessario, essi possono essere modificati e adattati per specifiche strutture, considerando però l'esposizione agli effetti dei fulmini e gli scostamenti significativi.

Perdita del patrimonio culturale (L3)

La perdita del patrimonio culturale è definita dalla proprietà della struttura o delle sue zone. Queste proprietà sono descritte per mezzo di fattori di riduzione (r_p , r_f). Inoltre, è importante il rapporto tra il valore della zona (c_z) e il valore totale (edificio e contenuti) dell'intera struttura (c_t). Ci sono due valori di perdita:

$$L_B = L_V = \frac{r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot c_z}{c_t}$$

L_F rappresenta la percentuale media tipica dei beni danneggiati a causa di danni fisici (D2) in caso di un evento pericoloso;

Tipo di danno	Tipico valore della perdita		Tipo di servizio
D2: danni fisici	L_F	10^{-1}	Gas, acqua, rete elettrica
		10^{-2}	TV, telecomunicazioni
D3: guasto di impianti interni	L_0	10^{-2}	Gas, acqua, rete elettrica
		10^{-3}	TV, telecomunicazioni

Tabella 3.2.5.6 Tipo di perdita L2: valori tipici medi di L_F e L_0

- r_p rappresenta un fattore di riduzione della perdita dovuta a danni fisici in funzione delle misure adottate per ridurre le conseguenze degli incendi;
- r_f rappresenta un fattore di riduzione della perdita dovuta a danni fisici in funzione del rischio di incendio o esplosione;
- c_z rappresenta il valore del patrimonio culturale della zona;
- c_t rappresenta il valore complessivo dell'edificio e il contenuto della struttura (somma di tutte le zone).

La norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) prescrive un valore medio tipico per L_F (**Tabella 3.2.5.7**). Questo valore può essere modificato e adattato per specifiche strutture, purché sia presa in considerazione l'esposizione agli effetti dei fulmini.

Perdita di valore economico.

Anche la perdita di valore economico è definita dalle proprietà della zona, descritte per mezzo dei fattori di riduzione (r_b , r_p , r_f). Inoltre, per valutare i danni in una zona, è necessario il rapporto tra il valore decisivo nella zona e il valore totale (c_t) dell'intera struttura.

Il valore totale di una struttura può comprendere animali, edifici, contenuti, impianti interni e le rispettive attività; Il valore decisivo dipende dal tipo di danno (**Tabella 3.2.5.8**). Pertanto, vi sono fino a otto valori di perdita:

$$L_A = L_U = \frac{r_t \cdot L_T \cdot c_a}{c_t}$$

$$L_B = L_V = \frac{r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot (c_a + c_b + c_c + c_s)}{c_t}$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = \frac{L_O \cdot c_s}{c_t}$$

- L_T rappresenta la percentuale media tipica del valore economico di tutti i beni danneggiati a causa di folgorazioni (D1) in caso di un evento pericoloso;
- L_F rappresenta la percentuale media tipica del valore economico di tutti i beni danneggiati a causa di danni fisici (D2) in caso di un evento pericoloso;
- L_O rappresenta la percentuale media tipica del valore economico di tutti i beni danneggiati a causa di guasti degli impianti interni (D3) in caso di un evento pericoloso;
- r_t rappresenta un fattore di riduzione della perdita di animali in funzione del tipo di terreno o suolo;
- r_p rappresenta un fattore di riduzione della perdita dovuta a danni fisici in funzione delle misure adottate per ridurre le conseguenze degli incendi;
- r_f rappresenta un fattore di riduzione della perdita dovuta a danni fisici in funzione del rischio di incendio o esplosione;
- c_a rappresenta il valore degli animali nella zona;
- c_b rappresenta il valore dell'edificio in rapporto alla zona;
- c_c rappresenta il valore del contenuto nella zona;
- c_s rappresenta il valore degli impianti interni nella zona, comprese le rispettive attività;
- c_t rappresenta il valore totale di una struttura (somma di tutte le zone per animali, edifici, contenuti, impianti interni e le rispettive attività).

Tipo di danno	Tipico valore della perdita		Tipo di servizio
D2: danni fisici	L_F	10^{-1}	Museo, galleria

Tabella 3.2.5.7 Tipo di perdita L3: valori tipici medi di L_F

Tipo di danno	Significato	Valore	Significato
D1	Lesioni agli animali a causa di folgorazioni	c_a	Valore degli animali
D2	Danni fisici	$c_a + c_b + c_c + c_s$	Valore di tutti i beni
D3	Guasto degli impianti interni	c_s	Valore degli impianti interni e delle rispettive funzioni

Tabella 3.2.5.8 Tipo di perdita L4: valori rilevanti in funzione del tipo di perdita

Tipo di danno	Tipico valore della perdita		Tipo di struttura
D1: danni da folgorazione	L_T	10^{-2}	Tutti i tipi
D2: danni fisici	L_F	1	Rischio di esplosione
		0,5	Ospedale, struttura industriale, museo, struttura agricola
		0,2	Albergo, scuola, stabile per uffici, chiesa, edificio con strutture per l'intrattenimento, struttura commerciale
		0,1	Altri
D3: guasto di impianti interni	L_O	10^{-1}	Rischio di esplosione
		10^{-2}	Ospedale, struttura industriale, stabile per uffici, albergo, struttura commerciale
		10^{-3}	Museo, struttura commerciale, scuola, chiesa, edificio con strutture per l'intrattenimento
		10^{-4}	Altri

Tabella 3.2.5.9 Tipo di perdita L4: valori tipici medi per L_T , L_F e L_O

La norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) specifica i valori medi tipici di L_T , L_F e L_O in funzione del tipo di struttura (**Tabella 3.2.5.9**). Se necessario, questi valori possono essere modificati e adattati per specifiche strutture, purché siano prese in considerazione l'esposizione agli effetti dei fulmini e la probabilità del danno.

La sezione 3.2.5 definisce solo i valori della perdita. La procedura per valutare se le misure di protezione sono economicamente fondate è discussa nella sezione 3.2.9.

Se il rischio di perdita di valore economico dovuto a fulminazione su una struttura interessa anche le strutture o l'ambiente circostanti (ad esempio in caso di emissioni chimiche o radioattive), si deve tener conto anche delle ulteriori perdite causate di danni fisici (L_{BE} e L_{VE}) nel valutare le perdite totali (L_{BT} e L_{VT}):

$$L_{BT} = L_B + L_{BE}$$

$$L_{VT} = L_V + L_{VE}$$

$$L_{BE} = L_{VE} = \frac{L_{FE} \cdot c_e}{c_t}$$

L_{FE} Perdita a causa di danni fisici all'esterno della struttura;

c_e Valore totale dei beni in una posizione pericolosa esterna alla struttura.

L_{FE} viene fornito dall'ente che redige i documenti relativi alla protezione dalle esplosioni.

3.2.6 Componenti di rischio rilevanti per diversi tipi di fulmini

Vi è una stretta correlazione tra il tipo di danno, il tipo di perdita e le relative componenti di rischio. A seconda delle cause di danno da S1 a S4 (o del punto di fulminazione), vi sono i seguenti componenti di rischio (**Tabella 3.2.6.1**):

In caso di un fulmine diretto su una struttura (S1):

R_A Rischio di lesioni da folgorazione su esseri viventi;

R_B Rischio di danni fisici;

R_C Rischio di guasto agli impianti elettrici ed elettronici.

In caso di fulmini nei pressi di una struttura (S2):

R_M Rischio di guasto agli impianti elettrici ed elettronici.

In caso di un fulmine diretto su una linea entrante (S3):

R_U Rischio di lesioni da folgorazione su esseri viventi;

R_V Rischio di danni fisici;

R_W Rischio di guasto agli impianti elettrici ed elettronici.

In caso di un fulmine diretto al suolo nei pressi di una linea entrante (S4):

R_Z Rischio di guasto agli impianti elettrici ed elettronici.

Gli otto componenti di rischio possono essere definiti anche in funzione del punto di impatto del fulmine:

Causa del danno / Tipo di danno	S1 Fulmine sulla struttura	S2 Fulmine nelle vicinanze della struttura	S3 Fulmine diretto su una linea entrante;	S4 Fulmine diretto nelle vicinanze di una linea entrante;
D1: lesione di esseri viventi per folgorazione	$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A$		$R_U = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_U \cdot L_U$	
D2: danni fisici	$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B$		$R_V = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_V \cdot L_V$	
D3: rischio di guasto agli impianti elettrici ed elettronici	$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_C$	$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_C$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_W \cdot L_W$	$R_Z = N_I \cdot P_Z \cdot L_Z$
	$R_d = R_A + R_B + R_C$		$R_i = R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z$	

Nota: Per componenti di rischio R_U , R_V e R_W , non è importante solo la frequenza dei fulmini diretti alla linea N_L , ma anche la frequenza dei fulmini diretti sulla struttura N_{DJ} (Figura 3.2.3.3)

Tabella 3.2.6.1 Componenti di rischio per diversi punti di impatto (fonti di danno) e tipi di danno

Tipo di perdita	R_T (1/anno)
L1: perdita di vite umane o lesioni permanenti	10^{-5}
L2: perdita di servizio al pubblico;	10^{-3}
L3: perdita del patrimonio culturale;	10^{-4}
L4: perdita di valore economico (solo IEC 62305-2)	10^{-3}

Tabella 3.2.7.1 Valori tipici del rischio accettabile R_T

R_d Rischio dovuto alla fulminazione diretta su una struttura (S1):

R_i Rischio dovuto a tutte le fulminazioni indirette relative a una struttura (da S2 a S4):

3.2.7 Rischio accettabile di danno da fulmine

Al momento di scegliere le misure di protezione contro i fulmini, si deve esaminare se il rischio R determinato per i rispettivi tipi di perdita supera il valore tollerabile R_T . Per una struttura sufficientemente protetta contro gli effetti di un fulmine si ha:

$$R \leq R_T$$

La **Tabella 3.2.7.1** mostra i valori di R_T elencati nella norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) per questi tre tipi di perdite.

3.2.8 Selezione delle misure di protezione contro i fulmini

Le misure di protezione contro i fulmini servono a contenere il rischio R a valori inferiori al rischio accettabile R_T . Utilizzando

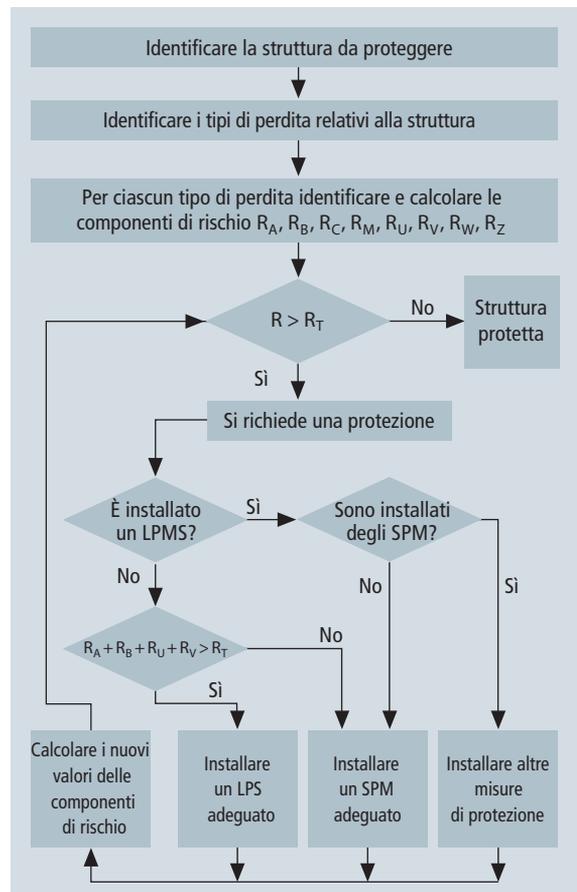


Figura 3.2.8.1 Diagramma di flusso per la determinazione della necessità di protezione e per selezionare le misure di protezione in caso di perdite del tipo da L1 a L3

il calcolo dettagliato dei rischi per i rispettivi tipi di perdita e classificandoli nelle specifiche componenti di rischio R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W , R_Z , è possibile selezionare le misure di protezione contro i fulmini per una specifica struttura. Il diagramma di flusso della norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) (**Figura 3.2.8.1**) illustra la procedura. Se si assume che il rischio calcolato R superi il rischio accettabile R_T , si deve valutare se il rischio di folgorazioni e di danni fisici causati da una fulminazione diretta della struttura e delle linee entranti ($R_A + R_B + R_U + R_V$) supera il rischio accettabile R_T . In questo caso deve essere installato un adeguato impianto di protezione antifulmine (protezione contro i fulmini esterna/interna). Se $R_A + R_B + R_U + R_V$ è sufficientemente piccolo, si deve valutare se il rischio dovuto all'impulso elettromagnetico da fulmine (LEMP) può essere sufficientemente ridotto grazie a ulteriori misure di protezione (SPM).

Se si applica la procedura tracciata nel diagramma di flusso, è possibile selezionare le misure di protezione atte a ridurre tali componenti di rischio con valori relativamente elevati, ossia misure di protezione che presentano una notevole efficacia nello specifico caso in esame. La **Tabella 3.2.8.1** fornisce una panoramica delle tipiche misure di protezione contro i fulmini e le sovratensioni, nonché del loro impatto sulle componenti di rischio.

3.2.9 Perdita di valore economico / Redditività delle misure di protezione

Per molte strutture, oltre ai tipi di perdita di interesse pubblico da L1 a L3, è rilevante il tipo di perdita L4 (perdita di valore economico). Bisogna valutare se le misure di protezione sono giustificabili dal punto di vista economico, ossia la loro redditività.

Pertanto, il criterio di confronto non è un valore assoluto, come il rischio tollerabile R_T , bensì un parametro relativo: vengono confrontate tra loro diverse varianti delle misure di protezione per la struttura e verrà realizzata la variante ottimale, cioè quella che presenta il costo minore per i danni da fulminazione. Vanno valutate diverse possibilità. Il diagramma di flusso secondo la norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) (**Figura 3.2.9.1**) illustra i fondamenti della procedura.

I costi della perdita totale C_L nella struttura sono calcolati in base alla somma delle perdite nelle singole zone C_{LZ} :

$$C_{LZ} = R_{4Z} \cdot c_t$$

dove

R_{4Z} rappresenta il rischio collegato alla perdita di valore nella zona senza misure di protezione;

c_t rappresenta il valore complessivo della struttura (animali, edificio, contenuti e impianti comprese le rispettive attività monetizzate) (vedere la sezione 3.2.5).

Proprietà della struttura o degli impianti interni - misure di protezione	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Limitazioni fisiche, isolamento, avvisi, controllo del potenziale al suolo	•				•			
Impianto di protezione contro i fulmini (LPS)	•	•	•	• ^a	• ^b	• ^b		
Dispositivo di protezione contro le sovratensioni per equipotenzialità antifulmine	•	•			•	•		
Interfacce di isolamento			• ^c	• ^c	•	•	•	•
Sistema coordinato di SPD			•	•			•	•
Schermatura spaziale			•	•				
Schermatura delle linee esterne					•	•	•	•
Schermatura delle linee interne			•	•				
Precauzioni per il percorso			•	•				
Rete equipotenziale			•					

^a Solo per LPS esterno a maglie
^b A causa del collegamento equipotenziale
^c Solo se appartengono alle apparecchiature da proteggere

Tabella 3.2.8.1 Misure di protezione contro fulmini e sovratensioni e loro influenza sulle singole componenti di rischio

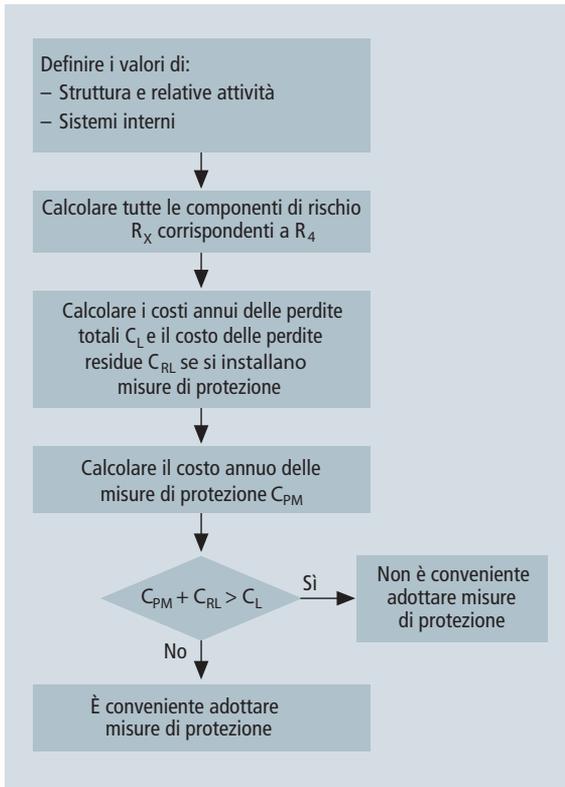


Figura 3.2.9.1 Diagramma di flusso per la selezione delle misure di protezione in caso di danno economico

Se vengono adottate delle misure di protezione la perdita risulta ridotta. Tuttavia non è mai ridotta a zero in quanto esiste un rischio residuo. I costi C_{RL} per la perdita residua totale nella struttura, nonostante le misure di protezione, sono calcolati sommando le perdite residue delle singole zone C_{RLZ} :

$$C_{RLZ} = R'_{4Z} \cdot c_t$$

dove

R'_{4Z} rappresenta il rischio correlato alla perdita di valore nella zona con le misure di protezione.

Nel caso di una singola zona, si applica quanto segue:

$$C_L = C_{LZ} \text{ o } C_{RL} = C_{RLZ}$$

I costi annuali C_{PM} delle misure di protezione si possono calcolare mediante la seguente equazione:

$$C_{PM} = C_P \cdot (i + a + m)$$

dove

C_P rappresenta i costi delle misure di protezione;

i rappresenta il tasso di interesse (per il finanziamento delle misure di protezione);

a rappresenta l'ammortamento (calcolato in base alla durata delle misure di protezione);

m rappresenta i costi di manutenzione (costi di manutenzione e ispezione).

Tipo di struttura	Valori di riferimento	Valore totale di c_t	
Strutture non industriali	Totale dei costi di ricostruzione (esclusi eventuali malfunzionamenti)	Basso	300
		Normale	400
		Alto	500
Strutture industriali	Valore totale della struttura, compresi gli edifici, gli impianti e i contenuti (compresi eventuali malfunzionamenti)	Basso	100
		Normale	300
		Alto	500

Tabella 3.2.9.1 Parametri per la stima del valore totale c_t (EN 62305-2)

Condizione	Parte per gli animali c_a/c_t	Parte per l'edificio c_b/c_t	Parte per il contenuto c_c/c_t	Parte per gli impianti interni c_s/c_t	Totale per tutte le merci $(c_a+c_b+c_c+c_s)/c_t$
Senza animali	0	75 %	10 %	15 %	100 %
Con animali	10 %	70 %	5 %	15 %	100 %

Tabella 3.2.9.2 Parti per stimare i valori c_a , c_b , c_c , c_s (CEI EN 62305-2)

Pertanto, la procedura presuppone che i costi possano essere (approssimativamente) stimati prima della effettiva pianificazione delle misure di protezione contro fulmini e sovratensioni. Devono essere disponibili anche alcune informazioni (generali) sui tassi di interesse, sull'ammortamento dei costi delle misure di protezione e pianificazione, sui costi della manutenzione e delle riparazioni. La protezione è giustificabile economicamente se il risparmio annuo S_M è positivo:

$$S_M = C_L - (C_{PM} + C_{RL})$$

A seconda delle dimensioni, della costruzione, della complessità e dell'uso della struttura e degli impianti interni, si possono adottare diverse misure di protezione. Pertanto esistono diverse possibilità per proteggere la struttura. Anche se è già disponibile una soluzione economicamente accettabile, è sempre possibile esaminare la redditività di altre misure di protezione, in quanto vi può essere una soluzione ancora migliore. Di conseguenza, si può e si deve raggiungere una soluzione ottimale dal punto di vista economico.

Per l'esame della redditività delle misure di protezione, come descritto in questo capitolo, vanno valutati i possibili danni, cioè la perdita che si verifica in caso di fulmini. A tal fine servono i valori di rischio R_d , determinati in base al punto 3.2.5. A questo scopo, devono essere noti e suddivisi in zone (se presenti) i valori della struttura c_b , del contenuto c_c , degli impianti interni (compresi relativi guasti) c_s e degli animali c_a . Questi valori vengono forniti da chi redige il piano delle misure di protezione e/o dal proprietario della struttura.

In molti casi questi valori non sono disponibili o sono difficili da ottenere (ad esempio il proprietario non vuole fornire questi valori). Nel caso di strutture industriali o edifici amministrativi con produzioni o processi sensibili, la trasparenza necessaria per l'applicazione ragionevole della gestione dei rischi contrasta con la necessità di riservatezza dei dati economicamente sensibili. In altri casi l'acquisizione di questi dati è troppo complessa.

La norma CEI EN 62305-2 comprende una procedura semplificata per l'attuazione della gestione dei rischi per il tipo di perdita L4 nei casi in cui è difficile valutare i possibili danni economici causati da un fulmine.

Il valore totale c_t della struttura è determinato secondo la **Tabella 3.2.9.1** in base al volume della struttura (in caso di strutture non industriali) e al numero di posti di lavoro a tempo pieno (nel caso di strutture industriali). I valori percentuali specificati nella **Tabella 3.2.9.2** vengono utilizzati per assegnare il valore totale alle singole categorie (animali: c_a , edifici: c_b , contenuto: c_c , impianti interni: c_s). Per questi valori, si deve osservare che il possibile guasto degli impianti elettrici ed elettronici (impianti interni) e i costi che ne derivano sono presi in considerazione solo nei valori delle strutture industriali, ma non nei valori delle strutture non industriali.

Nel caso in cui la struttura sia suddivisa in più zone, i corrispondenti valori c_a , c_b , c_c , c_s si possono suddividere in base al volume della zona pertinente rispetto al volume totale (in caso di strutture non industriali) o del numero dei posti di lavoro nella zona rispetto al numero totale di posti di lavoro (nel caso di strutture industriali).

Pertanto, la procedura semplificata espressa dalla norma CEI EN 62305-2 segue l'unica via ragionevole per valutare la redditività delle misure di protezione, ossia un confronto basato su dati esclusivamente economici. Vengono determinati solo il valore totale della struttura (c_t) e i valori c_a , c_b , c_c , c_s secondo il metodo semplificato. Tuttavia, se sono disponibili dei valori precisi di questi parametri, essi dovranno essere utilizzati.

Oltre al tipo di perdita L4, di solito sono associati alla struttura uno o più altri tipi di perdita (da L1 a L3). In questi casi va utilizzata per prima la procedura descritta nella sezione 3.2.8, in altre parole occorre valutare la necessità delle misure di protezione, e accertare che il rischio R risulti minore del rischio accettabile R_T per i tipi di perdita da L1 a L3. Se ciò si verifica, la redditività delle misure di protezione pianificate viene esaminata secondo la **Figura 3.2.9.1** in una seconda fase. Anche in questo caso sono possibili diverse misure di protezione e si dovranno adottare quelle economicamente ottimali, purché sia verificata la condizione seguente per tutti i tipi di perdita di interesse pubblico da L1 a L3:

$$R < R_T$$

Un impianto di protezione antifulmine secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) spesso è sufficiente per assicurare che le persone all'interno della struttura siano protette (tipo di perdita L1). Nel caso di un edificio per uffici o di una struttura industriale, i tipi di perdita L2 e L3 non sono rilevanti. Di conseguenza possono essere giustificate altre misure di protezione (ad esempio la protezione contro le sovratensioni) solo esaminandone la redditività. In questi casi diventa subito evidente che la perdita di valore economico può essere significativamente ridotta utilizzando sistemi di SPD coordinati.

3.2.10 Assistenza al calcolo

La norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) comprende le procedure e i dati per il calcolo del rischio in caso di fulmini alle strutture e per la selezione delle misure di protezione contro i fulmini.

Le procedure e i dati elencati nella norma sono spesso di applicazione complessa e difficile nella pratica. Questo tuttavia non deve ostacolare gli specialisti della protezione antifulmine, in particolare i progettisti, nel trattare questo argomento. La valutazione quantitativa del rischio di danno da fulminazione per una struttura è un significativo miglioramento rispetto alla situazione precedente, in cui le decisioni a favore o contro le

misure di protezione antifulmine erano spesso basate su considerazioni soggettive che non erano ben comprese da tutte le parti coinvolte.

Perciò tale valutazione quantitativa è un presupposto importante per decidere se adottare misure di protezione contro i fulmini su una struttura, in che misura e di quale tipo. In questo modo la protezione contro i fulmini può essere largamente accettata e previene i danni a lungo termine.

È praticamente impossibile applicare la procedura indicata nella norma senza strumenti idonei, che sono costituiti da software specifici. La struttura e il contenuto della norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) sono così complessi che tali strumenti divengono indispensabili se la base di applicazione della norma si afferma sul mercato. Un siffatto strumento software si trova ad esempio nell'Integrazione 2 della norma tedesca DIN EN 62305-2, che comprende uno strumento di calcolo basato su un foglio elettronico con opzione di stampa. Inoltre sono disponibili dei programmi commerciali basati su database, che riflettono la piena funzionalità della norma e consentono di modificare e memorizzare i dati di progetto e di altri calcoli, quando presenti.

Autore del capitolo 3.2

Prof. Dr.-Ing. Alexander Kern
Aachen University of Applied Science,
Jülich campus
Heinrich-Mußmann-Str. 1
52428 Jülich, Germania

Telefono: +49 (0)241/6009-53042
Fax: +49 (0)241/6009-53262
a.kern@fh-aachen.de

3.3 Supporto per la progettazione DEHNSupport Toolbox

Una soluzione ottenuta con il supporto del computer semplifica la progettazione di un impianto di protezione antifulmini. L'insieme di strumenti software DEHNSupport Toolbox offre una serie di opzioni di calcolo nel campo della protezione contro i fulmini, basati sui requisiti della normativa CEI EN 62305-x (CEI 81-10/x). In aggiunta ai requisiti internazionali, il software integra adattamenti specifici per le norme nazionali, i quali vengono costantemente aggiornati. Il software, che è disponibile in diverse lingue, è uno strumento per definire e realizzare le misure di protezione contro fulmini e sovratensioni (Figura 3.3.1).

Sono disponibili i seguenti supporti per la progettazione:

- ➔ DEHN Risk Tool: analisi dei rischi secondo la norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2).
- ➔ DEHN Distance Tool: calcolo della distanza di isolamento secondo CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)
- ➔ DEHN Earthing Tool: calcolo della lunghezza dei dispersori secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)

- ➔ DEHN Air-Termination Tool: calcolo della lunghezza delle aste di captazione secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)

3.3.1 DEHN Risk Tool: analisi dei rischi secondo la norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2).

DEHN Risk Tool facilita notevolmente il complesso e difficile procedimento di valutazione del rischio per le strutture. La densità di fulmini al suolo N_G nella zona in cui si trova l'oggetto da proteggere può essere determinata nella gestione integrata cliente/progetto.

In aggiunta alla densità di fulmini al suolo, va selezionata la base di calcolo nella gestione cliente/progetto di DEHNSupport. A tal fine sono disponibili voci specifiche che tengono conto dei vari Paesi e delle rispettive normative nazionali. Questa selezione non definisce solo la denominazione delle norme per la stampa dei calcoli, ma attiva anche parametri di calcolo specifici per ogni paese. Quando si esegue un calcolo per la prima volta, la base di calcolo definita non può più essere modificata.

Dopo che l'utente ha creato un sistema cliente/progetto, vanno selezionati i rischi da considerare. Sono disponibili per l'analisi quattro tipi di rischio:

- ➔ rischio R_1 , rischio di perdita di vite umane
- ➔ rischio R_2 , rischio di perdita di servizi forniti al pubblico
- ➔ rischio R_3 , rischio di perdita del patrimonio culturale
- ➔ rischio R_4 , rischio di perdita economica.

L'organismo competente è responsabile della definizione dei valori di rischio tollerabile. È consigliabile accettare i valori della normativa senza modifiche.



Figura 3.3.1 Schermata di avvio del software di supporto DEHNSupport Toolbox.

Quando si esegue un'analisi dei rischi per mezzo di questo strumento, va considerata la situazione corrente, senza selezionare le misure di protezione. In una seconda fase si definisce una condizione desiderata, nel quale il rischio è ridotto al minimo mediante misure specifiche di protezione, in modo che sia inferiore al rischio tollerabile prescritto nella norma. Ciò si ottiene per mezzo della funzione di copia, che si trova nella scheda "Edificio (Building)". Bisogna utilizzare sempre questa procedura.

In aggiunta alla densità di fulmini al suolo e all'ambiente dell'edificio, nella scheda "Edificio (Building)" vanno calcolate le zone di raccolta dei fulmini diretti e indiretti. Per il calcolo si possono utilizzare tre tipi di edifici:

- ➔ struttura semplice
- ➔ edificio con elevazione
- ➔ struttura complessa (**Figura 3.3.1.1**).

In caso di "Edificio con elevazione", per "Punto più alto" si intende la distanza tra + /-0,00 m (livello del suolo) e il punto di massima altezza. In questo caso, la posizione è irrilevante. "Struttura complessa" permette di simulare un edificio nel modo più esatto possibile e di calcolare la sua area di raccolta. Nel calcolo delle aree di raccolta e delle analisi di rischio, si deve osservare che è possibile valutare solo le parti dell'edificio interconnesse. Se viene aggiunto un nuovo edificio a una struttura esistente, ai fini dell'analisi del rischio può essere considerato come un unico oggetto. In questo caso, i seguenti requisiti devono essere soddisfatti in loco:

- ➔ le due parti dell'edificio sono separate l'uno dall'altra per mezzo di una parete verticale con un periodo di resistenza al fuoco di 120 minuti (REI 120) o per mezzo di misure di protezione equivalenti.
- ➔ la struttura non prevede un rischio di esplosione.
- ➔ viene evitata la propagazione delle sovratensioni (se presenti) lungo le linee di alimentazione comuni, per mezzo di SPD installati presso il punto di entrata di tali linee nella struttura o per mezzo di misure di protezione equivalenti.

Se questi requisiti non sono rispettati, bisogna determinare le dimensioni e le misure di protezione necessarie per l'intero complesso (costituito dal vecchio e dal nuovo edificio). Pertanto non si applica la clausola di salvaguardia. Di conseguenza, per ottenere una valutazione completa, potrebbe essere necessario collaudare un impianto di protezione contro i fulmini su un edificio esistente.

La tabella delle "Zone" (**Figura 3.3.1.2**) consente all'utente di dividere un edificio in zone di protezione contro i fulmini, e di suddividere a loro volta queste zone di protezione in zone specifiche. Queste zone possono essere definite secondo i seguenti aspetti:

- ➔ tipo di terreno o superficie

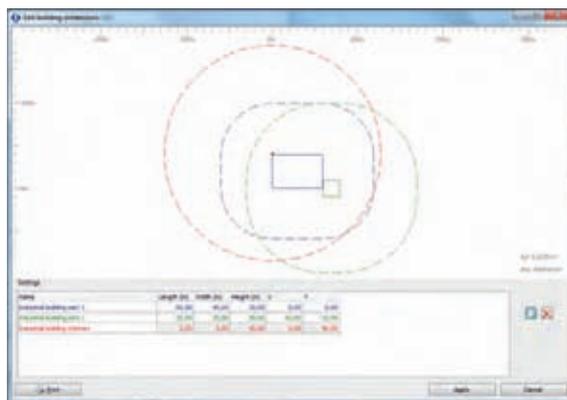


Figura 3.3.1.1 Calcolo dell'area di raccolta

- ➔ compartimenti antincendio
- ➔ schermature spaziali
- ➔ disposizione degli impianti interni
- ➔ misure di protezione esistenti o da adottare
- ➔ valutazione del danno.

La divisione della struttura in zone consente all'utente di prendere in considerazione le caratteristiche specifiche di ogni parte della struttura ai fini della valutazione del rischio e per selezionare le misure di protezione adeguate, "su misura". Di conseguenza è possibile ridurre il costo totale delle misure di protezione.

Nelle scheda "linee di alimentazione" sono definite tutte le linee di alimentazione entranti e uscenti nella struttura in esame. I tubi non vanno considerati se non sono collegati alla barra di messa a terra della struttura. Se questo non è il caso, nell'analisi dei rischi bisogna considerare anche il rischio posto da tubazioni in entrata. Certi parametri, come ad esempio:

- ➔ tipo di linea (aerea/interrata)
- ➔ lunghezza della linea (al di fuori di un edificio)
- ➔ ambiente
- ➔ struttura collegata
- ➔ tipo di cablaggio interno e
- ➔ minima tensione nominale di tenuta a impulso

vanno definiti per ogni linea di alimentazione. Questi parametri sono compresi nei rischi connessi alla struttura. Se non è nota la lunghezza della linea, la norma raccomanda di utilizzare per il calcolo una lunghezza di 1000 m. La lunghezza della linea si intende calcolata dal punto di ingresso nell'oggetto da proteggere alla struttura o al nodo collegati. Un nodo è costituito, ad esempio, dal punto di distribuzione di una linea di alimentazione in un trasformatore alta/bassa tensione (o in

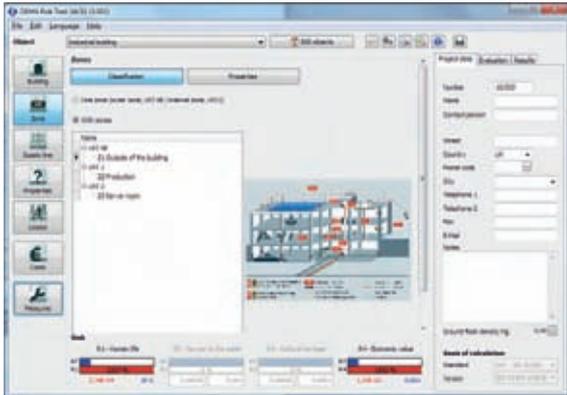


Figura 3.3.1.2 Software DEHN Risk Tool, suddivisione in zone

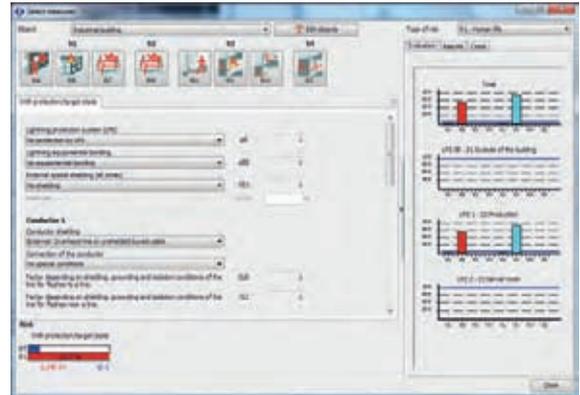


Figura 3.3.1.3 Software DEHN Risk Tool, valutazione dei rischi

una cabina di distribuzione), da una centralina per le telecomunicazioni, o da un componente delle apparecchiature di una linea di telecomunicazioni (ad esempio un multiplexer o un dispositivo xDSL).

Oltre ai parametri della linea, vanno definite anche le proprietà dell'edificio. Per esempio, sono importanti i seguenti fattori:

- ➔ schermatura spaziale esterna
- ➔ schermatura spaziale nell'edificio
- ➔ caratteristiche del suolo all'interno e all'esterno della struttura
- ➔ misure di protezione antincendio e
- ➔ rischio di incendio.

Il rischio di incendio è un importante criterio decisionale; esso definisce in pratica se deve essere installato un impianto di protezione contro i fulmini e quale classe di LPS si richiede. Il rischio viene valutato in funzione del carico specifico di incendio in MJ/m². Vengono fornite le seguenti definizioni standard:

- ➔ rischio di incendio basso: carico specifico di incendio ≤ 400 MJ/m²
- ➔ rischio di incendio normale: carico specifico di incendio > 400 MJ/m²
- ➔ rischio di incendio elevato: carico specifico di incendio ≥ 800 MJ/m²
- ➔ zona di esplosione 2, 22
- ➔ zona di esplosione 1, 21
- ➔ zona di esplosione 0, 20 e esplosivi solidi.

Per completare l'analisi dei rischi bisogna valutare eventuali perdite. Le perdite sono suddivise secondo il tipo:

- ➔ L1: perdita di vite umane
- ➔ L2: perdita di servizio al pubblico

- ➔ L3: perdita del patrimonio culturale
- ➔ L4: perdita economica

Quando si definiscono le perdite, si deve osservare che esse vanno sempre riferite allo specifico tipo di perdita. Esempio: la perdita di valore economico (rischio R₄) a causa delle tensioni di contatto e di passo si applica solo alla perdita di animali, non alla perdita di vite umane.

Nel software DEHN Risk Tool, il risultato di un'analisi del rischio viene visualizzato sotto forma di grafici (Figura 3.3.1.3). Perciò è possibile visualizzare immediatamente e in qualsiasi momento l'entità dei rischi relativi. Il colore blu indica un rischio accettabile, mentre il rosso o il verde indicano il rischio calcolato per la struttura da proteggere. Per valutare correttamente il rischio potenziale di una struttura, vanno considerate in dettaglio le componenti di ogni rischio. Ogni componente definisce un potenziale di rischio. L'obiettivo di un'analisi dei rischi è di ridurre i rischi mediante misure scelte in modo ragionevole.

Ogni componente di rischio può essere influenzata (ridotta o aumentata) per diversi parametri. Le misure indicate nella **Tabella 3.3.1.1** rendono più facile selezionare le misure di protezione. L'utente deve effettuare questa selezione e attivare le misure di protezione nel software.

Per il calcolo del rischio R₄ bisogna calcolare il costo relativo alla "Perdita di valore economico", secondo la norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2). A tal fine vanno prese in considerazione sia la situazione attuale (senza misure di protezione), sia la situazione desiderata (con le misure di protezione). Per il calcolo vanno definiti i seguenti costi (in euro):

- ➔ i costi degli animali c_a
- ➔ i costi dell'edificio c_b
- ➔ i costi degli impianti interni e delle loro attività c₅

Proprietà della struttura o impianti interni	R _A	R _B	R _V
Misure di protezione			
Limitazioni fisiche, isolamento, avvisi, controllo del potenziale al suolo	•		
Impianto di protezione contro i fulmini (LPS - Lightning Protection System)	•	•	• ^b
Dispositivi di protezione contro i fulmini per l'equipotenzialità antifulmini	•	•	•

^b A causa di collegamento equipotenziale

Tabella 3.3.1.1 Software DEHN Risk Tool, misure (estratto)

- ➔ i costi del contenuto c_c
- ➔ i costi totali della struttura ($c_a + c_b + c_c + c_s$) c_t

Si deve osservare che i costi comprendono anche i costi di sostituzione, i costi dei tempi di inattività e i costi che ne derivano. Tali costi devono essere equamente ripartiti per i tipo.

La norma CEI EN 62305-2 consente di definire questi valori in base alle tabelle, se sono noti. Bisogna osservare la seguente procedura:

- ➔ valutazione del valore totale c_t della struttura (**Tabella 3.2.9.1**)
- ➔ valutazione proporzionale ai valori di c_a , c_b , c_c e c_s in base a c_t (**Tabella 3.2.9.2**)

Oltre a c_a , c_b , c_c e c_s , deve essere definito il costo delle misure di protezione c_p . A tal fine, vanno definiti:

- ➔ il tasso di interesse i
- ➔ il tasso di manutenzione m
- ➔ il tasso di ammortamento a

Il risultato della valutazione della perdita economica è:

- ➔ costi della perdita totale C_L senza misure di protezione
- ➔ costi delle perdite C_{RL} nonostante le misure di protezione
- ➔ costi annuali C_{PM} delle misure di protezione
- ➔ risparmio

I valori calcolati vengono visualizzati in euro all'anno.

Se la valutazione porta a un risparmio positivo S_M , le misure di protezione sono giustificabili economicamente. Se la valutazione porta a un risparmio negativo S_M , le misure di protezione non sono giustificabili economicamente. Dopo l'esecuzione

dell'analisi dei rischi è possibile stampare una relazione dettagliata o un sommario (file rtf).

3.3.2 Software DEHN Distance Tool; calcolo della distanza di isolamento secondo CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)

Il DEHN Distance Tool (Strumento Distanza DEHN) è un altro modulo del software di supporto DEHNsupport Toolbox. Oltre alle tradizionali formule di calcolo per la determinazione della distanza di isolamento e quindi del coefficiente di partizione k_c , vengono eseguiti calcoli più esatti secondo la normativa. Il calcolo della distanza di isolamento si basa sull'analisi nodale.

3.3.2.1 Analisi nodale

La prima legge di Kirchhoff definisce che in ogni nodo la somma delle correnti entranti è uguale alla somma delle correnti uscenti (regola dei nodi) (**Figura 3.3.2.1.1**).

Questa regola può anche essere utilizzata per edifici con protezione antifulmine esterna. Nel caso di un edificio semplice con una sola asta di captazione (**Figura 3.3.2.1.2**), la corrente di fulmine si distribuisce alla base, nel caso di un fulmine sull'asta di captazione. La distribuzione della corrente di fulmine dipende dal numero di calate, le quali costituiscono i percorsi della corrente. La **Figura 3.3.2.1.2** mostra un nodo con quattro conduttori (percorsi di corrente).

Nel caso di una protezione dai fulmini esterna con calate, la corrente di fulmine si distribuisce in ciascuna giunzione e nel punto di connessione dell'impianto dei captatori. A tal fine è necessario un collegamento conforme alla norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3).

Quanto più la rete è fitta (o più alto è il numero di nodi) tanto migliore è la distribuzione della corrente. Lo stesso vale per l'intero percorso del conduttore (**Figura 3.3.2.1.3**).

L'analisi nodale viene utilizzata per calcolare l'esatta distribuzione della corrente e la conseguente distanza di isolamento. Questo metodo viene utilizzato in elettrotecnica per l'analisi delle reti e costituisce un metodo di calcolo delle linee elettriche. Se si applica l'analisi nodale a un edificio dotato di protezione contro i fulmini esterna, ogni linea (percorso di corrente) viene rappresentata con una resistenza. Pertanto, l'insieme delle maglie e delle calate di un impianto di protezione antifulmine costituisce la base per l'analisi nodale. Le linee di un impianto di protezione antifulmine, per esempio una rete, sono generalmente divise in più tratti di linea per mezzo di nodi (giunzioni). Ogni tratto di linea è rappresentato una resistenza elettrica R (**Figura 3.3.2.1.4**). Quando si utilizza l'analisi nodale, viene utilizzato nel calcolo il reciproco della resistenza, detto conduttanza (G):

$$R = \frac{1}{G} \Rightarrow G = \frac{1}{R}$$

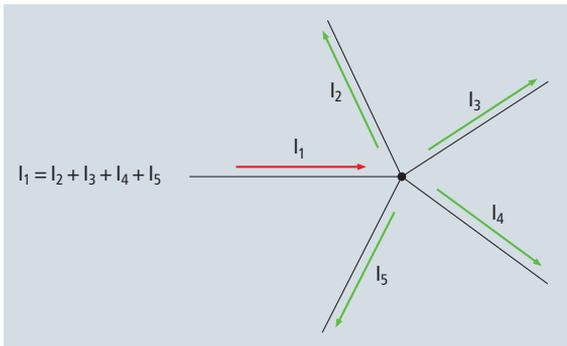


Figura 3.3.2.1.1 Legge di Kirchhoff con i nodi

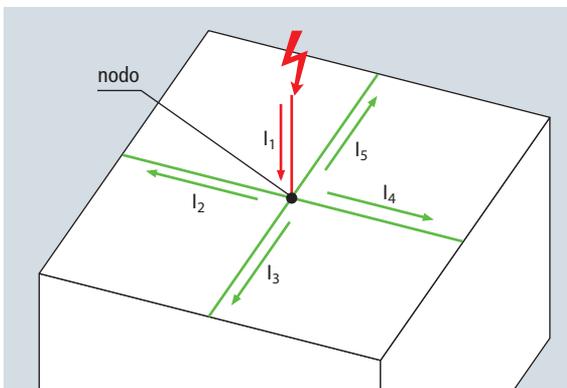


Figura 3.3.2.1.2 Legge di Kirchhoff: esempio di edificio con una maglia sul tetto

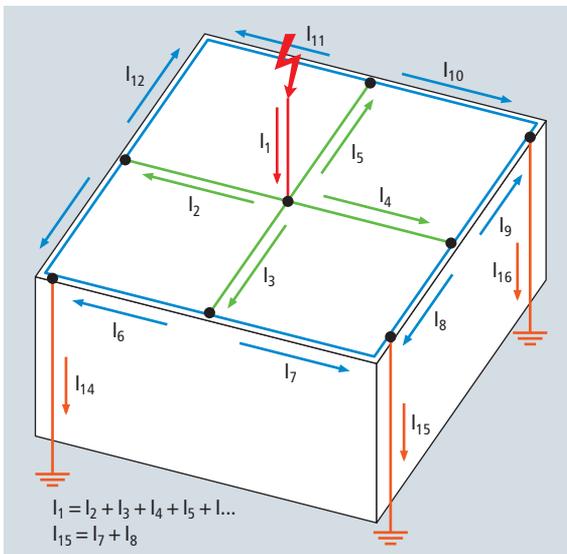


Figura 3.3.2.1.3 Legge di Kirchhoff: esempio di edificio con impianto di captazione

La conduttanza G si calcola in base a ai valori di tensione e corrente o del valore di resistenza R . La conduttività si riferisce alla conduttanza G di un materiale con dimensioni specifiche, ad esempio:

- ➔ lunghezza = 1 m
- ➔ sezione = 1 mm²
- ➔ materiale.

La conduttanza di un conduttore può essere calcolata in base a questi valori senza ricorrere ai valori di corrente e tensione. Durante il posizionamento dell'impianto di protezione contro i fulmini secondo la **Figura 3.3.2.1.4**, viene operata una distinzione tra auto-conduttanza e mutua conduttanza.

- ➔ **Auto-conduttanza:** conduttanza di tutti i conduttori collegati ad un certo punto I (per esempio, nell'angolo di un tetto piatto: l'auto-conduttanza è costituita dalla somma delle conduttanze delle calate che convergono di quell'angolo e delle conduttanze dei due captatori della maglia).

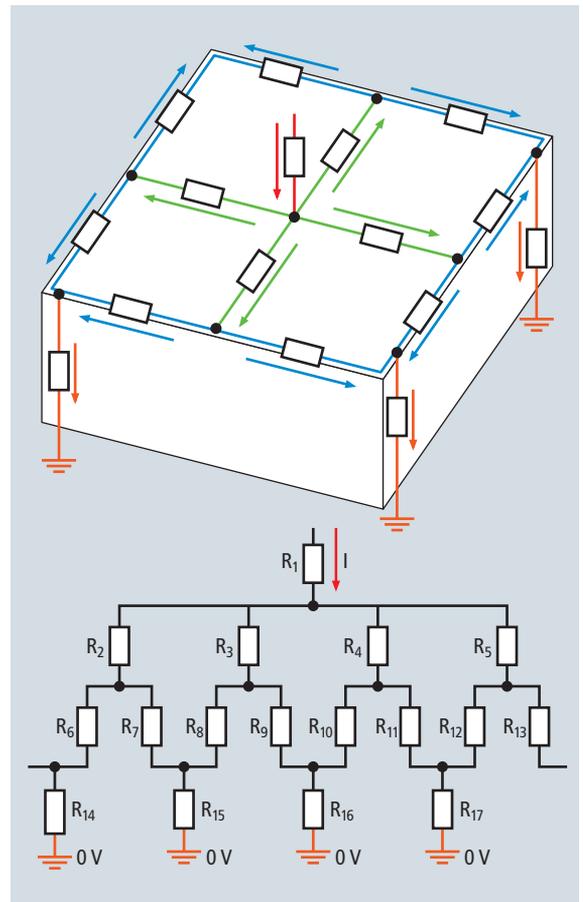


Figura 3.3.2.1.4 Resistenze dell'edificio

➔ **Mutua conduttanza:** conduttanza tra due punti, per esempio, la conduttanza tra due punti opposti (punti di connessione) di una maglia su un tetto piano (senza diramazioni). I seguenti passi servono a calcolare le distanze di isolamento nel caso di un edificio dotato di protezione contro i fulmini esterna (si veda anche la **Figura 3.3.2.1.5**):

1. definire i potenziali 0 V (φ_0 in P0)
2. definire i potenziali (φ_i in P1, ...)
3. definire le auto-conduttanze (G_{11}, G_{22}, G_{nn})
4. definire le mutue conduttanze (G_{12}, G_{23}, G_{nm})
5. definire il punto di fulminazione
6. preparare le equazioni per l'analisi nodale (matrice).

Dopo aver preparato le equazioni ai nodi, si può calcolare il potenziale di un certo punto come φ_1 . Poiché la matrice include molte incognite, l'equazione deve essere risolta di conseguenza. Una volta calcolati tutti i potenziali delle rete a maglie, da essi si può derivare la distribuzione della corrente e quindi i valori di k_c . In base a questi valori si possono determinare le distanze di isolamento in base all'equazione prescritta nella norma.

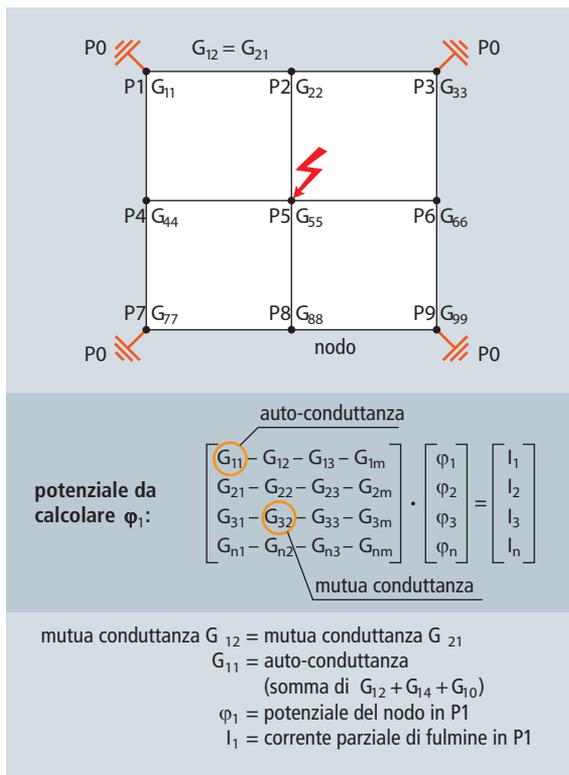


Figura 3.3.2.1.5 Equazione al nodo

Delle resistenze di terra quasi uguali tra loro (impianto di messa a terra di tipo B) costituiscono la base per questo tipo di calcolo delle distanze di isolamento per un impianto di protezione antifulmine.

3.3.2.2 Informazioni sul software DEHN Distance Tool

Dal momento che il calcolo mediante l'analisi nodale è molto complesso, si può in alternativa usare lo strumento software DEHN Distance Tool, semplice e veloce. Questo modulo permette di simulare il flusso di corrente in una rete a maglie e calcolare le distanze di isolamento in base a questa simulazione.

3.3.3 DEHN Earthing Tool: calcolo della lunghezza dei dispersori secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)

Il modulo Earthing Tool (Strumento messa a terra) del software di supporto DEHNsupport Toolbox consente di calcolare la lunghezza dei dispersori secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3). A tal fine, viene fatta una distinzione tra i diversi tipi di dispersori (dispersori di fondazione, dispersori ad anello, dispersori verticali).

Oltre alla classe LPS, va definita la resistività del terreno per tutti i dispersori (disposizione dei dispersori di tipo A). Questi valori vengono utilizzati per calcolare la lunghezza dei dispersori (in metri) (**Figura 3.3.3.1**).

Per determinare la lunghezza di un dispersore ad anello o di fondazione, vanno definite: la classe LPS, la superficie racchiu-

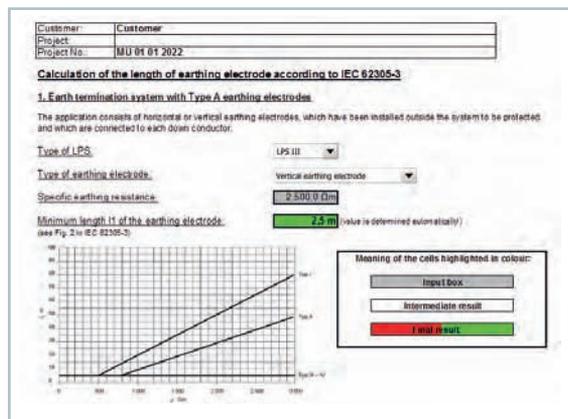


Figura 3.3.3.1 Software DEHN Earthing Tool, impianto di dispersori tipo A

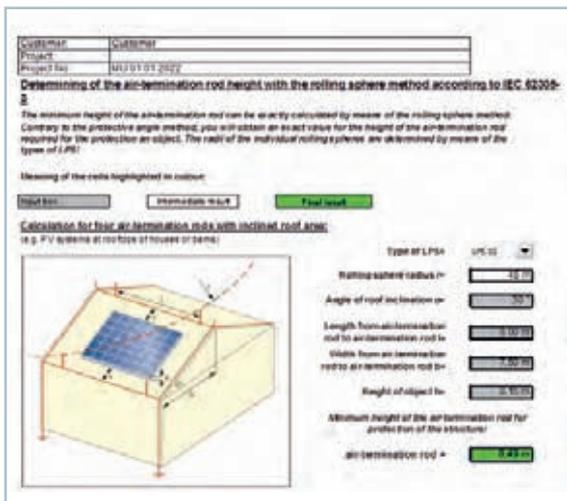


Figura 3.3.4.1 Software DEHN Air-Termination Tool, tetto a due spioventi con sistema PV

sa dal dispersore e la resistività del suolo. Il risultato mostra se il dimensionamento dei dispersori è adeguato o se devono essere adottate ulteriori misure di messa a terra.

Per informazioni più dettagliate, si veda il capitolo 5.5 "Impianti di messa a terra".

3.3.4 Strumento DEHN Air-Termination Tool (Strumento Captatori); calcolo della lunghezza delle aste di captazione secondo CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)

Le aste di captazione consentono di integrare grandi aree nel volume protetto della zona LPZ 0_B. In alcuni casi sono necessari dei grafici, da creare in funzione della classe di LPS, per determinare l'altezza dell'asta di captazione. Per agevolare il lavoro del personale qualificato, il modulo DEHN Air-Termination Tool (Strumento Captatori) del software di supporto DEHNSupport Toolbox integra calcoli per diversi tipi di grafici. L'utente deve definire la classe di LPS, la lunghezza, la larghezza e l'altezza dell'edificio e la distanza di isolamento. A seconda che si impieghi il metodo dell'angolo di protezione o della sfera rotolante, la lunghezza delle aste di captazione da installare può essere calcolata in base a questi valori. In caso di calcoli con più aste di captazione, nel calcolo va considerata anche la profondità di penetrazione della sfera rotolante (Figura 3.3.4.1). Lo scopo è quello di garantire una protezione contro il fulmine esterna tecnicamente corretta.

3.4 Ispezione e manutenzione

3.4.1 Tipi di ispezioni e qualifica degli ispettori

Per assicurare una protezione duratura della struttura, delle persone che si trovano al suo interno e degli impianti elettrici ed elettronici, i parametri meccanici ed elettrici di un impianto di protezione contro i fulmini devono rimanere stabili per tutta la sua durata. A questo scopo occorre un programma coordinato di ispezione e di manutenzione dell'impianto di protezione contro i fulmini, che deve essere definito dalle autorità, dal progettista dell'impianto antifulmine oppure dal costruttore dell'impianto antifulmine insieme al proprietario della struttura. Se durante l'ispezione di un impianto antifulmine vengono rilevati dei difetti, il gestore/proprietario della struttura ha la responsabilità di eliminarli immediatamente. La prova dell'impianto antifulmine deve essere eseguita da personale specializzato nella protezione contro i fulmini. Lo specialista (parte del personale specializzato) nella protezione contro i fulmini (come definito dall'Integrazione 3 della norma tedesca DIN EN 62305-3) è chi, in base alla sua specializzazione, alle sue conoscenze ed esperienze, come anche alla conoscenza delle norme di settore, è in grado di progettare, realizzare e verificare degli impianti di protezione contro i fulmini. Egli può dare prova della sua competenza tramite la regolare partecipazione ai corsi di formazione nazionali.

I criteri (formazione tecnica, conoscenza ed esperienza) si ottengono di solito dopo diversi anni di esperienza lavorativa e l'attuale occupazione nel campo della protezione contro i fulmini. La progettazione, l'installazione e il controllo degli impianti di protezione contro i fulmini richiedono competenze diverse da quelle dello specialista nella protezione contro i fulmini, che sono elencati nell'integrazione 3 della norma tedesca DIN EN 62305-3.

Lo specialista nella protezione contro i fulmini è una persona competente che ha familiarità con i regolamenti, le direttive e le norme riguardanti i dispositivi di sicurezza, nella misura in cui egli è in grado di giudicare se un'apparecchiatura tecnica si trova in condizioni di sicurezza. In Germania, un corso di formazione per il personale specializzato nella protezione contro i fulmini, ovvero una persona competente nel campo dei fulmini e della protezione contro le sovratensioni, nonché degli impianti elettrici conformi alle norme EMC (esperto riconosciuto EMC), viene offerto dall'Associazione di prevenzione dei danni (VdS), che fa parte dell'Associazione degli assicuratori tedeschi (GDV e.V.), in collaborazione con il Comitato per la protezione contro i fulmini e la ricerca sui fulmini, che fa parte dell'Associazione per le apparecchiature elettriche, elettroniche e informatiche (ABB del VDE).

Attenzione: Una *persona competente* non è un esperto!

Un esperto ha conoscenze specifiche sulle apparecchiature tecniche da collaudare, grazie alla sua formazione tecnica e alla sua esperienza. Si tratta di una persona competente che ha familiarità con i regolamenti, le direttive e le norme riguardanti i dispositivi di sicurezza, nella misura in cui egli è in grado di giudicare se un'apparecchiatura tecnica si trova in condizioni di sicurezza. Egli dovrebbe essere in grado di controllare le attrezzature tecniche e di fornire un parere tecnico. Gli esperti sono, ad esempio, i tecnici dell'Ispettorato tecnico o altri tecnici specializzati. Le installazioni che richiedono l'ispezione in genere devono essere controllate da esperti o da persone competenti.

A prescindere dalla qualificazione degli ispettori, le ispezioni devono garantire che l'impianto di protezione antifulmine protegga gli esseri viventi, i contenuti, le attrezzature tecniche nella struttura, gli impianti di sicurezza, nonché la struttura stessa, dagli effetti diretti e indiretti di fulmini. Devono indicare anche gli interventi di manutenzione e riparazione da intraprendere, se necessario. Devono pertanto essere a disposizione dell'ispettore una relazione dell'impianto di protezione antifulmine, contenente i criteri di progettazione, la descrizione della progettazione e disegni tecnici. I controlli da effettuare sono distinti qui di seguito:

Esame della progettazione

L'esame della progettazione deve garantire che l'impianto di protezione contro i fulmini, con le sue componenti, corrisponda sotto tutti i punti di vista allo stato della tecnica al momento della progettazione. Tale esame è da effettuare prima dell'adempimento della prestazione.

Verifiche durante la costruzione

Nel limite del possibile, devono essere ispezionati i componenti dell'impianto di protezione contro i fulmini che non sono più accessibili dopo il completamento della costruzione. Tali componenti comprendono per esempio: il dispersore di fondazione, l'impianto di messa a terra, i collegamenti delle arma-

ture, le armature del calcestruzzo utilizzate come schermatura, le calate e i rispettivi collegamenti annegati nel calcestruzzo. La verifica comprende il controllo della documentazione tecnica, l'ispezione a vista, e la valutazione della qualità di esecuzione dei lavori (si veda l'Integrazione 3 della norma tedesca DIN EN 62305-3).

Collaudo

Il collaudo si effettua dopo il completamento dell'impianto di protezione contro i fulmini. Deve essere accuratamente controllato il rispetto del concetto di sicurezza (progettazione) in conformità alla normativa e il lavoro svolto (correttezza tecnica tenendo conto del tipo di utilizzo, delle apparecchiature tecniche della struttura e le condizioni del sito).

Ispezione periodica in fase di manutenzione

Le ispezioni effettuate regolarmente sono il presupposto per la duratura efficacia di un impianto di protezione contro i fulmini. In Germania dovrebbero essere effettuate ogni 1 - 4 anni. La **Tabella 3.4.1.1** contiene dei suggerimenti per gli intervalli tra le ispezioni complete di un impianto di protezione contro i fulmini in condizioni ambientali medie. Se esistono degli obblighi imposti per legge dai decreti con dei termini di verifica, tali termini valgono come requisiti minimi. Se attraverso specifici obblighi di legge, vengono prescritte delle ispezioni regolari dell'impianto elettrico della struttura, nell'ambito di tale verifica dovrà essere anche esaminata la funzionalità delle misure di protezione contro i fulmini interne.

Ispezione a vista

Gli impianti di protezione contro i fulmini delle strutture e le zone critiche degli impianti di protezione contro i fulmini (ad esempio quelle situate in condizioni ambientali aggressive) devono essere sottoposti a ispezioni a vista tra un'ispezione periodica e l'altra. (**Tabella 3.4.1.1**).

Classe di LPS	Ispezione visiva (annuale)	Ispezione completa (annuale)	Ispezione completa di situazioni critiche ^{a) b)} (Anno)
I e II	1	2	1
III e IV	2	4	1

^{a)} Gli impianti di protezione antifulmine nelle applicazioni che comprendono strutture con un rischio causato da materiali esplosivi devono essere ispezionati a vista ogni 6 mesi. La prova elettrica dell'impianto va eseguita una volta all'anno. Un'eccezione accettabile per il programma di prova annuale sarebbe quella di eseguire le prove in un ciclo di 14 - 15 mesi se si ritiene utile effettuare la prova della resistenza di terra in diversi periodi dell'anno, per ottenere un'indicazione delle variazioni stagionali.

^{b)} Situazioni critiche potrebbero includere le strutture contenenti impianti interni sensibili, uffici, edifici commerciali o luoghi in cui può essere presente un alto numero di persone.

Tabella 3.4.1.1 Periodo massimo tra i controlli di un LPS, secondo la Tabella E.2 della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)

Ispezione supplementare

Oltre alle ispezioni periodiche è necessario effettuare una verifica dell'impianto di protezione contro i fulmini in caso di modifiche consistenti della tipologia d'uso, modifiche della struttura, ristrutturazioni, ampliamenti o riparazioni su una struttura protetta. Queste ispezioni devono essere eseguite anche quando sia nota una fulminazione sull'impianto di protezione contro i fulmini

3.4.2 Procedura dell'ispezione

L'ispezione include il controllo della documentazione tecnica, l'ispezione a vista e le misure.

Controllo della documentazione tecnica

La documentazione deve essere controllata sotto l'aspetto della completezza e della conformità alle norme.

Ispezione in loco

Si deve verificare che:

- ➔ l'impianto complessivo corrisponda alla documentazione tecnica,
- ➔ l'impianto complessivo della protezione contro i fulmini esterna e interna si trovi in condizioni regolari,
- ➔ non vi siano connessioni lasche o rotture nei conduttori e nelle giunzioni dell'impianto di protezione contro i fulmini,
- ➔ tutti i collegamenti a terra visibili siano integri e in buono stato,
- ➔ tutti i conduttori e componenti dell'impianto siano ancorati correttamente e gli elementi che assicurano la protezione meccanica siano integri e in buono stato,
- ➔ non siano state effettuate aggiunte o modifiche alla struttura protetta tali da richiedere delle misure di protezione aggiuntive,
- ➔ gli impianti di protezione contro le sovratensioni installati negli impianti di alimentazione e negli impianti informatici siano stati installati correttamente,
- ➔ i dispositivi di protezione da sovratensioni non siano scollegati o danneggiati,
- ➔ non siano intervenuti i dispositivi di protezione contro le sovracorrenti installati a monte dei dispositivi di protezione da sovratensione,
- ➔ siano state eseguite i collegamenti equipotenziali della protezione contro i fulmini sugli ampliamenti dei nuovi impianti di alimentazione installati nella struttura dopo l'ultima verifica,
- ➔ i collegamenti equipotenziali all'interno della struttura siano installati e integri,

- ➔ siano stati presi i provvedimenti necessari in caso di ravvicinamenti dell'impianto di protezione contro i fulmini rispetto ad altri impianti.

Misure

La continuità dei collegamenti e lo stato dell'impianto di messa a terra vengono verificati per mezzo di misure.

Le misure devono accertare se tutti i collegamenti dei captatori, delle calate, i collegamenti equipotenziali, le schermature ecc. presentano una bassa impedenza. Il valore consigliato è $< 1 \Omega$.

Va rilevata la continuità dell'impianto di messa a terra in tutti i punti di misura per verificare la continuità dei conduttori e dei connettori (valore consigliato $< 1 \Omega$). Inoltre devono essere misurate la continuità verso le masse metalliche (ad esempio gas, acqua, aerazione, riscaldamento), la resistenza di terra complessiva dell'impianto di protezione contro i fulmini e la resistenza di terra di ciascun dispersore locale e dei dispersori ad anello parziali. I risultati delle misure devono essere confrontati con le prove precedenti. Se si verifica uno scarto considerevole rispetto ai valori delle misurazioni precedenti, devono essere eseguiti ulteriori accertamenti.

Avvertenza: per impianti di messa a terra installati da oltre 10 anni, le condizioni e la qualità del conduttore di terra e dei suoi collegamenti possono essere valutati a vista soltanto a seguito del dissotterramento in più punti.

3.4.3 Documentazione

Per ogni ispezione deve essere redatto un rapporto. Questo rapporto dovrà essere conservato - unitamente alla documentazione tecnica dell'impianto e ai rapporti delle ispezioni precedenti - presso l'utilizzatore dell'impianto oppure presso l'ufficio amministrativo competente.

Per la valutazione di un impianto di protezione contro i fulmini devono essere messi a disposizione dell'ispettore incaricato della verifica i seguenti documenti: criteri di progettazione; descrizione del progetto; disegni tecnici relativi alla protezione contro i fulmini interna ed esterna; rapporti tecnici relativi alle manutenzioni e ispezioni precedenti.

La relazione deve contenere le seguenti informazioni.

- ➔ **Informazioni generali:** il proprietario e il suo recapito, il costruttore dell'impianto di protezione contro i fulmini e il suo recapito, l'anno di costruzione.
- ➔ **Informazioni sulla struttura:** ubicazione, utilizzo, il tipo di costruzione, tipo di copertura, livello di protezione contro i fulmini (LPL).
- ➔ **Informazioni sull'impianto di protezione contro i fulmini.**
 - Materiale e sezione dei conduttori

- Numero delle calate, ad esempio punti di sezionamento (identificazione secondo le indicazioni sul disegno); distanza di isolamento calcolata;
- Tipo di impianto di messa a terra (ad esempio dispersore ad anello, dispersore verticale, dispersore di fondazione);
- Esecuzione dell'equipotenzialità antifulmine verso masse metalliche, verso impianti elettrici e verso barre equipotenziali esistenti

➔ Documenti basilari per la verifica

- Descrizione e disegni dell'impianto di protezione contro i fulmini
- Norme sulla protezione antifulmini e prescrizioni applicabili al momento dell'installazione.
- Ulteriori elementi fondamentali per l'ispezione al momento dell'installazione (ad esempio regolamenti e requisiti)
- Piano zona Ex

➔ Tipo di ispezione

- Ispezione in fase di progettazione, ispezione in fase di costruzione, collaudo, prove di manutenzione, ispezioni aggiuntive, ispezione visiva

➔ Risultato dell'ispezione

- Eventuali modifiche alla struttura e/o all'impianto di protezione antifulmine
- Deviazioni rispetto alle norme e ai regolamenti applicabili, requisiti e linee guida di applicazione valide al momento dell'installazione.
- Difetti riscontrati
- Resistenza di terra o resistenza ad anello in ogni punto di misura, con informazioni sul metodo di misura e il tipo di dispositivo di misura
- Resistenza di terra totale (con o senza conduttore di protezione e installazioni metalliche sull'edificio)

➔ **Ispettore:** nome dell'ispettore, società/organizzazione, nome degli accompagnatori, numero di pagine della relazione, data dell'ispezione, firma della società/organizzazione dell'ispettore

Presso il sito www.dehn-international.com sono disponibili i moduli dei rapporti di prova secondo i requisiti dell'Integrazione 3 della norma tedesca DIN EN 62305-3.

- ➔ Per gli impianti generici: rapporto di prova n. 2110
- ➔ Per gli impianti in aree pericolose: rapporto di prova n. 2117

3.3.4 Manutenzione

La manutenzione e le ispezioni degli impianti di protezione contro i fulmini devono essere coordinate. In aggiunta alle ispezioni, vanno programmate anche delle procedure di manutenzione periodica per tutti gli impianti di protezione contro i fulmini. La frequenza degli interventi di manutenzione dipende dai seguenti fattori:

- ➔ perdita di qualità legata al clima e alle condizioni ambientali
- ➔ effetti dei fulmini diretti e conseguenti possibili danni
- ➔ classe di LPS richiesta per la struttura in esame

Per ogni impianto di protezione antifulmini vanno definite delle misure di manutenzione che devono diventare parte integrante dell'intero programma di manutenzione della struttura. Bisogna preparare delle procedure per la manutenzione. Questo consente un confronto tra i risultati più recenti e quelli degli interventi di manutenzione precedenti. Questi valori possono anche essere utilizzati per il confronto in occasione di una successiva ispezione.

Le seguenti misure dovrebbero essere incluse in un programma di manutenzione:

- ➔ ispezione di tutti i conduttori e i componenti dell'impianto di protezione antifulmini
- ➔ misura della continuità dei componenti dell'impianto di protezione antifulmini
- ➔ misura della resistenza di terra degli impianti di messa terra
- ➔ ispezione visiva di tutti i dispositivi di protezione (installati sulle linee entranti che fanno parte dell'impianto di alimentazione e della rete informatica) per rilevare se sono danneggiati o se si sono verificati degli interventi
- ➔ ispezione degli elementi di ancoraggio e (di nuovo) dei conduttori
- ➔ ispezione per accertare che l'efficacia dell'impianto di protezione antifulmini non sia variata dopo ulteriori installazioni o modifiche alla struttura

Va conservata la documentazione completa dell'esecuzione di tutti i lavori di manutenzione. Tale documentazione deve comprendere le modifiche effettuate o da effettuare.

Questi dati facilitano la valutazione dei componenti dell'impianto di protezione contro i fulmini. Gli stessi dati possono essere utilizzati per esaminare e aggiornare le procedure di manutenzione. La documentazione della manutenzione va conservata insieme alla documentazione del progetto e delle ispezioni dell'impianto di protezione antifulmine, per riferimenti futuri.



Sistema di protezione contro i fulmini

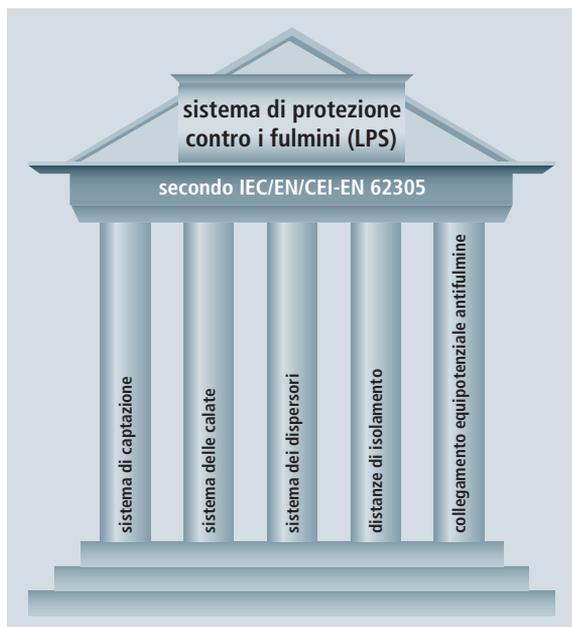


Figura 4.1 Componenti di un sistema di protezione contro i fulmini

La funzione di un sistema di protezione contro i fulmini consiste nella protezione delle strutture dall'incendio o dalla distruzione meccanica e nella protezione delle persone che si trovano negli edifici dai danni fisici o dalla morte. Un sistema di protezione contro i fulmini è costituito da una protezione esterna e una interna (**Figura 4.1**).

Le funzioni della protezione contro i fulmini esterna sono:

- ➔ intercettare le fulminazioni dirette con un sistema di captatori;
- ➔ distribuire la corrente di fulmine a terra attraverso le calate
- ➔ distribuire la corrente di fulmine nel terreno attraverso i dispersori.

La funzione della protezione contro i fulmini interna è:

- ➔ evitare la formazione di scariche pericolose all'interno della struttura; questo si ottiene attraverso l'equipotenzialità o la distanza di isolamento tra gli elementi del sistema di protezione e altri elementi conduttori all'interno della struttura.

L'equipotenzialità antifulmine riduce le differenze di potenziale causate dalla corrente di fulmine. Viene ottenuta con il collegamento diretto di tutte le parti conduttrici separate dell'impianto tramite conduttori oppure dispositivi di protezione contro le sovratensioni (SPD) (**Figura 4.2**).

In base ad una serie di regole costruttive per i sistemi di protezione contro i fulmini, sono state definite le quattro classi

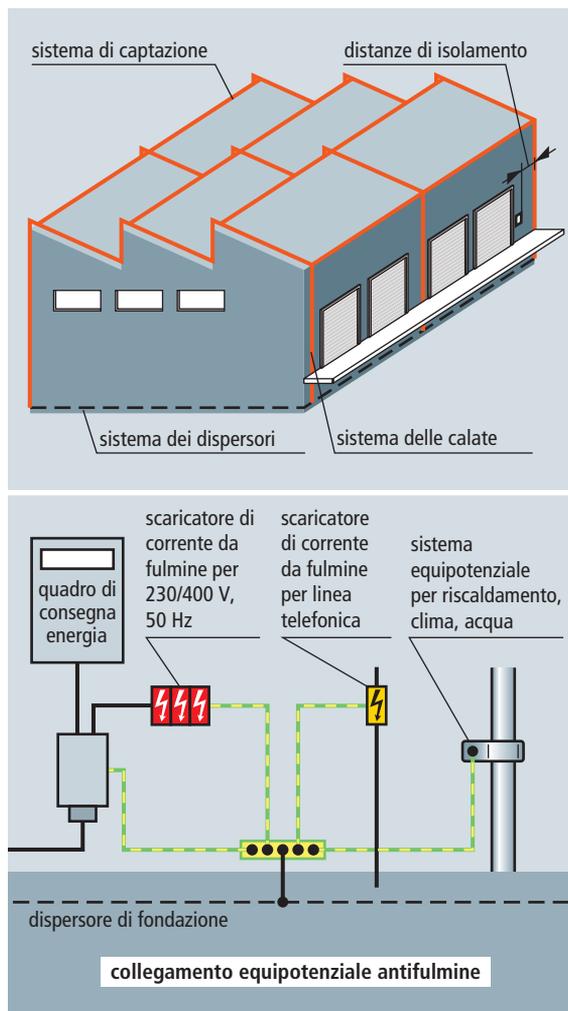


Figura 4.2 Sistema di protezione contro i fulmini (LPS - Lightning Protection System)

di LPS (I, II, III e IV) corrispondenti ad altrettanti livelli di protezione. Ogni classe comprende requisiti che dipendono dalla rispettiva classe (ad esempio raggio della sfera rotolante e dimensione di maglia) e indipendenti dalla classe (ad esempio sezioni e materiali).

Per garantire il funzionamento costante dei complessi sistemi informatici anche in caso di fulminazione diretta sono necessarie delle misure di protezione supplementari, a completamento di quelle contro i fulmini, atte a proteggere i sistemi elettronici contro le sovratensioni. Tali misure complessive sono descritte nel capitolo 7 (concetto di zona di protezione contro i fulmini).



Protezione contro i fulmini

5.1 Dispositivi di captazione

I dispositivi di captazione di un sistema di protezione dai fulmini hanno il compito di preservare il volume da proteggere dalle fulminazioni dirette. Devono essere impostati in modo da evitare fulminazioni incontrollate sugli edifici o strutture da proteggere.

Il corretto dimensionamento dei sistemi di captazione permette di ridurre gli effetti della fulminazione su una struttura in modo controllato.

I dispositivi di captazione possono essere composti da diversi elementi, che sono combinabili tra di loro secondo necessità:

- ➔ aste;
- ➔ fili e funi tese;
- ➔ conduttori a maglie.

Quando si determina la posizione dei dispositivi di captazione del sistema di protezione contro i fulmini, è necessario prestare particolare attenzione alla protezione degli angoli e dei bordi della struttura da proteggere. Ciò vale soprattutto per dispositivi di captazione posti sui tetti e sulle parti superiori delle facciate. I dispositivi di captazione devono essere disposti principalmente negli angoli e sui bordi.

Per stabilire la disposizione e le posizioni dei dispositivi di captazione, possono essere utilizzati i seguenti tre metodi (**Figura 5.1.1**):

- ➔ metodo della sfera rotolante;
- ➔ metodo della maglia;
- ➔ metodo dell'angolo di protezione.

Il metodo della sfera rotolante è il metodo di progettazione più universale, raccomandabile soprattutto per i casi più complicati dal punto di vista della geometria.

Nel seguito vengono descritti i tre diversi metodi.

5.1.1 Tipi di impianti di captazione e metodi di progetto

Metodo della sfera rotolante - Modello elettrogeometrico

Nel caso di fulmini nube-terra, un canale discendente avanza con passi tortuosi verso terra. Quando il canale discendente è vicino al terreno, da alcune centinaia a poche decine di metri, viene superata la rigidità dielettrica dell'aria vicina al suolo. A questo punto parte dal terreno un canale simile al canale discendente in direzione della punta del canale discendente: si tratta del canale ascendente. Così viene stabilito il punto di impatto del fulmine (**Figura 5.1.1.1**).

Il punto di partenza del canale ascendente e quindi il futuro punto di impatto del fulmine viene determinato soprattutto

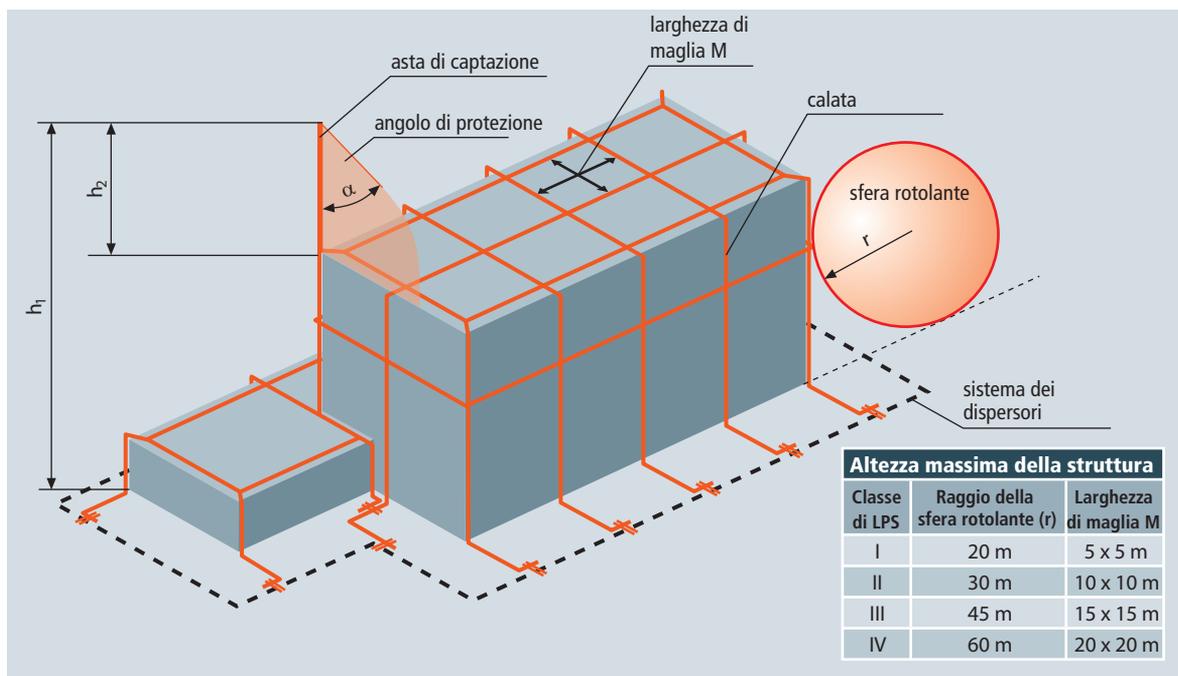


Figura 5.1.1 Metodo per la definizione dei dispositivi di captazione su edifici alti

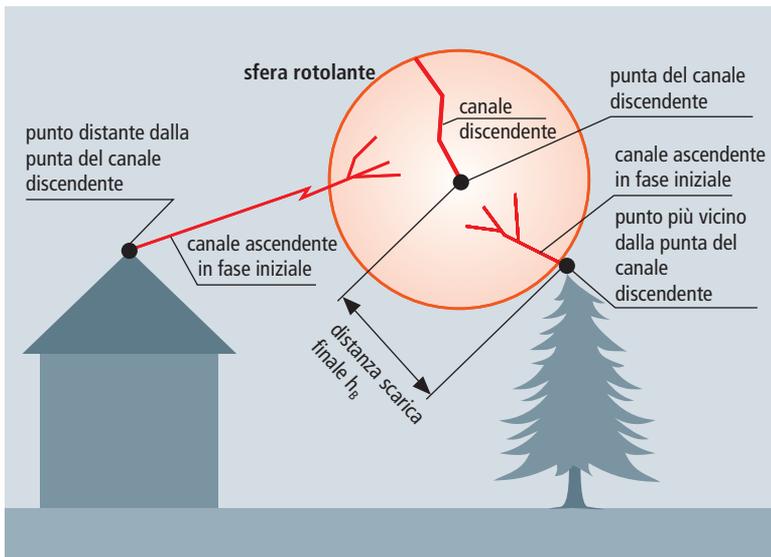


Figura 5.1.1.1 Canale ascendente in partenza, che determina il punto di impatto del fulmine



Come illustrato da questo esperimento modello, una sfera rotolante può toccare non solo la punta del campanile, ma anche la navata della chiesa in più punti. In tutti questi punti di contatto sono possibili delle fulminazioni.

Figura 5.1.1.2 Modello della sfera rotolante
Fonte: Prof. Dr. A. Kern, Aquisgrana, Germania

dalla punta dal canale discendente. La punta del canale discendente può avvicinarsi a terra solo fino ad una determinata distanza. Questa distanza dipende dall'intensità del campo elettrico al suolo durante l'avvicinamento della punta del canale discendente. La minima distanza tra la punta del canale discendente e il punto di partenza del canale ascendente viene chiamato distanza della scarica finale h_B (corrisponde al raggio della sfera rotolante).

Appena dopo il superamento della rigidità dielettrica in un punto, si forma il canale ascendente, che, superando la distanza di scarica disruptiva finale, causa il fulmine. Sulla base di osservazioni dell'effetto di protezione di funi di messa a terra e pali dell'alta tensione, è stato elaborato il cosiddetto modello elettrogeometrico.

Ciò si basa sull'ipotesi che la punta del canale discendente si avvicini agli oggetti al suolo senza subire alcuna influenza fino alla distanza della scarica disruptiva finale.

Il punto di impatto viene perciò determinato dall'oggetto più vicino alla punta del canale discendente. Il canale ascendente che parte da lì si "impone" (Figura 5.1.1.2).

Classi di protezione LPS e raggio della sfera rotolante

In prima approssimazione, esiste una proporzionalità tra il valore di picco della corrente di fulmine e la carica elettrica accumulata nel canale discendente. Inoltre, l'intensità del campo elettrico al suolo durante l'avvicinamento di un canale discendente dipende in prima approssimazione in modo lineare dalla

carica accumulata nel canale discendente. Esiste quindi una proporzionalità tra il valore di picco I della corrente di fulmine e la distanza della scarica disruptiva finale h_B (= raggio della sfera rotolante):

$$r = 10 \cdot I^{0.65}$$

r in m
 I in kA

La protezione contro i fulmini degli edifici viene descritta nella norma CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1). Questa norma definisce tra l'altro la classificazione in diverse classi di LPS e stabilisce le misure di protezione contro i fulmini da esse derivanti. Essa distingue quattro classi di protezione LPS. La classe I offre la protezione più alta, mentre la classe IV offre, al confronto, la protezione più bassa. Oltre alla classe di LPS è definita anche l'efficacia di intercettazione E_i dei dispositivi di captazione, cioè quale percentuale delle probabili fulminazioni può essere controllata sicuramente tramite i dispositivi di captazione. Da qui si ricava il tratto della scarica disruptiva finale e quindi il raggio della sfera rotolante. Le relazioni tra classe di protezione, efficienza dei dispositivi di captazione, distanza della scarica disruptiva finale/raggio della sfera rotolante e valore di picco della corrente sono raffigurati nella **Tabella 5.1.1.1**.

Considerando come base l'ipotesi del modello elettrogeometrico, secondo cui la punta del canale discendente si avvicina agli oggetti al suolo in modo arbitrario e senza subire alcuna influenza fino alla distanza della scarica finale, è possibile de-

Livello di protezione contro i fulmini LPL	Probabilità per i limiti dei parametri delle correnti di fulmine		Raggio della sfera rotolante (distanza della scarica finale h_b) r in m	Minimo valore di picco della corrente in kA
	> valori minimi	< valori massimi		
IV	0,84	0,95	60	16
III	0,91	0,95	45	10
II	0,97	0,98	30	5
I	0,99	0,99	20	3

Tabella 5.1.1.1 Relazioni tra livello di protezione, probabilità di intercettazione E_i , distanza della scarica finale h_b e minimo valore di picco della corrente I. Fonte: Tabella 5 della norma CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1)

durre un procedimento generale che permette di controllare lo spazio da proteggere. Per applicare il procedimento della sfera rotolante è necessario un modello in scala dell'oggetto da proteggere (ad esempio in scala 1:100), sul quale siano riprodotti i bordi esterni e, all'occorrenza, i dispositivi di captazione. A seconda della posizione dell'oggetto in esame, è anche necessario includere gli edifici e oggetti circostanti, dal momento che questi potrebbero risultare efficaci come "misure di protezione naturali" per gli oggetti in esame.

E' necessario, inoltre, utilizzare una sfera rotolante in scala il cui raggio corrisponda alla distanza della scarica finale (a seconda della classe di protezione LPS, il raggio r della sfera rotolante deve corrispondere in scala al raggio di 20, 30, 45 o 60 m). Il centro della sfera rotolante utilizzata corrisponde alla punta del canale discendente verso cui si formano i rispettivi canali ascendenti

La sfera viene quindi fatta rotolare attorno all'oggetto in esame, e tutti i punti di contatto - che corrispondono ai possibili punti di abbattimento del fulmine - vengono segnati. In seguito la sfera rotolante viene fatta rotolare in tutte le direzioni sopra l'oggetto in esame. Di nuovo vengono segnati tutti i

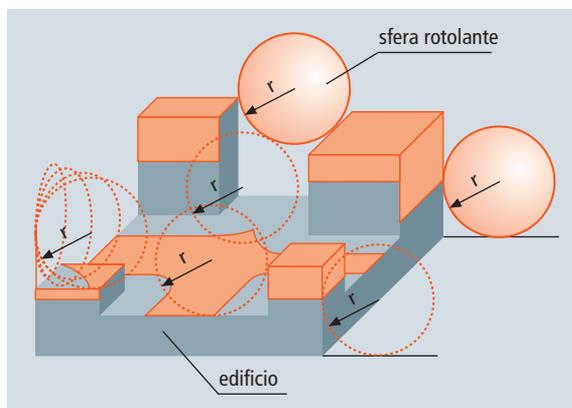


Figura 5.1.1.3 Utilizzo schematico del metodo della sfera rotolante su un edificio con una superficie molto irregolare

punti di contatto. Si rileveranno così sul modello tutti i punti di un eventuale abbattimento del fulmine; possono anche essere rilevate zone di abbattimenti laterali. Si potranno individuare chiaramente anche le zone protette che derivano dalla geometria dell'oggetto da proteggere e dal suo ambiente circostante. In questi punti non è necessario installare un dispositivo di captazione (Figura 5.1.1.3).

Occorre tuttavia osservare che in cima ad alcuni campanili sono già state rilevate tracce di fulminazione su parti che non erano state toccate direttamente dalla sfera rotolante. Questo si può spiegare con il fatto che in caso di fulmini multipli, la base del fulmine si sposta a causa delle condizioni del vento. Può perciò accadere che intorno ai punti di impatto rilevati si crei una zona di circa un metro, anch'essa soggetta a possibili abbattimenti di fulmini.

Esempio 1: nuova costruzione di un edificio amministrativo a Monaco

Nella fase di progettazione del nuovo edificio amministrativo è stato deciso - a causa della geometria complessa - di utilizzare il metodo della sfera rotolante per identificare le zone a rischio di fulminazione.

Questo è stato possibile perché era disponibile un modello architettonico dell'edificio in scala 1:100.

Era stato stabilito che fosse richiesta la classe LPS I, cioè, il raggio della sfera rotolante nel modello era di 20 cm (Figura 5.1.1.4).

Nei punti in cui la sfera rotolante tocca le parti dell'edificio, si può verificare una fulminazione con relativo valore di picco minimo della corrente di 3 kA (Figura 5.1.1.5). In tali punti erano quindi necessari dei dispositivi di captazione adeguati. Se oltre a questo, in quei punti oppure nelle immediate vicinanze venivano localizzati degli impianti elettrici (ad esempio sul tetto dell'edificio), dovevano essere adottate delle misure di captazione ampliate.

Attraverso l'utilizzo del metodo della sfera rotolante è stata così evitata l'installazione di impianti di captazione laddove



Figura 5.1.1.4 Nuovo edificio amministrativo: modello con la sfera rotolante secondo la classe LPS I. Fonte: WBG Wiesinger



Figura 5.1.1.5 Nuovo edificio della sede amministrativa dell'assicurazione DAS: zone a rischio di fulminazione per classe di protezione I nella vista dall'alto (estratto) Fonte: WBG Wiesinger

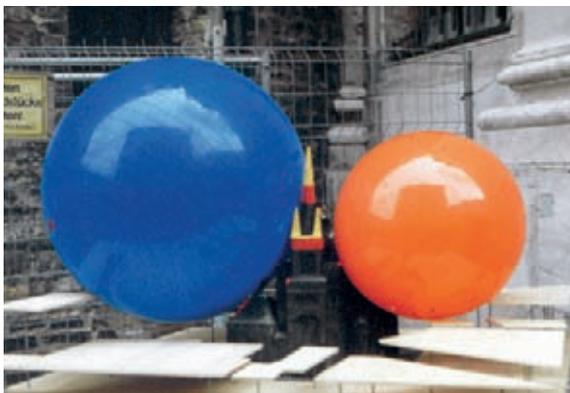


Figura 5.1.1.6 Duomo di Aquisgrana: modello con ambiente circostante e sfere rotolanti per classi di protezione II e III Fonte: Prof. Dr. A. Kern, Aquisgrana, Germania

dal punto di vista della tecnica di protezione non erano strettamente necessari. D'altro canto è stato possibile migliorare la protezione contro le fulminazioni dirette, laddove era necessario (Figura 5.1.1.5).

Esempio 2: Duomo di Aquisgrana

Il duomo si trova nel centro storico di Aquisgrana ed è circondato da diversi edifici alti. Direttamente vicino al duomo si trova un modello in scala 1:100, che serve a far capire meglio ai visitatori la geometria del duomo.

Gli edifici circostanti offrono al duomo di Aquisgrana, in parte, una protezione naturale contro le fulminazioni. A questo scopo, e anche per dimostrare l'efficacia delle misure di protezione contro i fulmini e la naturale protezione da esse offerta, è stato realizzato un modello alla stessa scala degli edifici circostanti (1:100) (Figura 5.1.1.6).

La Figura 5.1.1.6 mostra inoltre le sfere rotolanti per le classi di LPS II e III (cioè con raggi di 30 cm e 45 cm) sul modello.

Lo scopo era quello di dimostrare l'aumento dei requisiti richiesti ai dispositivi di captazione con la riduzione del raggio della sfera rotolante, cioè quali zone del duomo di Aquisgrana possono essere inoltre considerate come esposte al pericolo di abbattimento del fulmine utilizzando la classe di LPS II, con un livello di protezione più elevato.

La sfera rotolante con raggio minore (corrispondente alla classe di protezione superiore) tocca naturalmente il modello in tutte le parti toccate anche dalla sfera più grande. E' quindi necessario rilevare solo le parti di contatto supplementari.

Per il dimensionamento dell'impianto di captazione, per una struttura oppure una costruzione montata sul tetto, è determinante (come dimostrato) la profondità di penetrazione della sfera rotolante.

Con la seguente formula è possibile calcolare la profondità di penetrazione p della sfera rotolante, quando questa viene fatta rotolare, ad esempio, su "rotaie". Questo si può ottenere ad esempio con due funi tese.

$$p = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

r Raggio della sfera rotolante

d Distanza tra le due aste o tra i due conduttori di captazione paralleli

La Figura 5.1.1.7 illustra questo approccio.

Se la superficie del tetto o delle strutture poste al di sopra del tetto stesso deve essere protetta da fulminazione diretta,

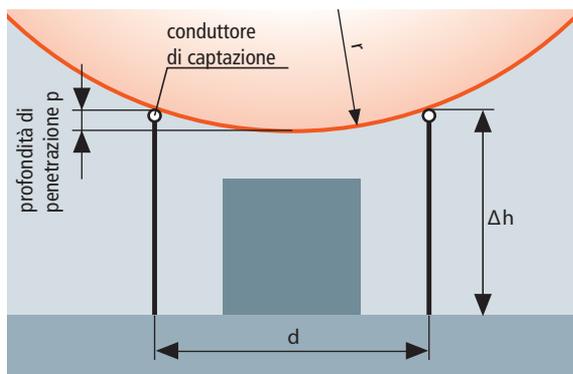


Figura 5.1.1.7 Profondità di penetrazione p della sfera rotolante

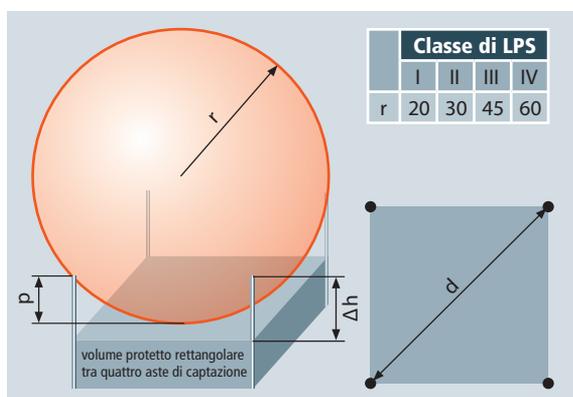


Figura 5.1.1.8 Impianto di captazione per strutture sul tetto e volume protetto

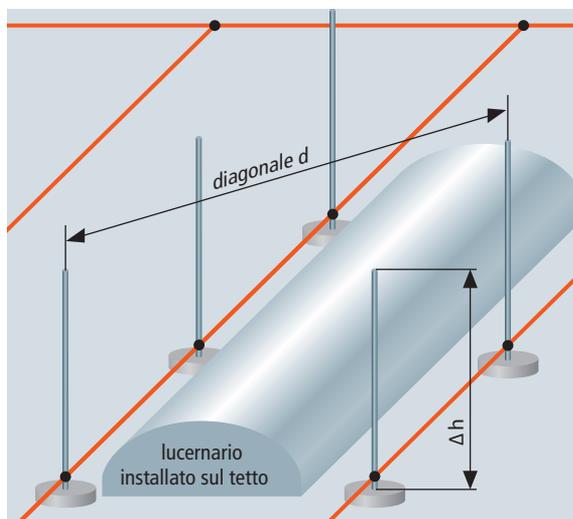


Figura 5.1.1.9 Calcolo Δh con diverse aste di captazione secondo il metodo della sfera rotolante

d	Profondità di penetrazione della sfera rotolante [m] (valore arrotondato)			
Distanza tra le aste di captazione [m]	Classe di PLS con il raggio della sfera rotolante [m]			
	I (20 m)	II (30 m)	III (45 m)	IV (60 m)
2	0,03	0,02	0,01	0,01
4	0,10	0,07	0,04	0,03
6	0,23	0,15	0,10	0,08
8	0,40	0,27	0,18	0,13
10	0,64	0,42	0,28	0,21
12	0,92	0,61	0,40	0,30
14	1,27	0,83	0,55	0,41
16	1,67	1,09	0,72	0,54
18	2,14	1,38	0,91	0,68
20	2,68	1,72	1,13	0,84
23	3,64	2,29	1,49	1,11
26	4,80	2,96	1,92	1,43
29	6,23	3,74	2,40	1,78
32	8,00	4,62	2,94	2,17
35	10,32	5,63	3,54	2,61

Tabella 5.1.1.2 Profondità di penetrazione della sfera rotolante in caso di due aste di captazione oppure due conduttori di captazione paralleli

questo viene spesso realizzato con l'utilizzo di aste di captazione. Attraverso il posizionamento a quadrato delle aste, che di solito non vengono collegate, la sfera non rotola "su rotaie", ma penetra più in profondità, e così si aumenta la profondità di penetrazione della sfera (Figura 5.1.1.8).

L'altezza delle aste di captazione Δh dovrebbe sempre essere tenuta più alta del valore individuato della profondità di penetrazione p e quindi dalla flessione della sfera. Attraverso questo aumento di altezza dell'asta viene garantito che la sfera rotolante non tocchi l'oggetto da proteggere.

Un'altra possibilità per individuare l'altezza delle aste di captazione, è ricavabile dalla Tabella 5.1.1.2. La profondità di penetrazione della sfera rotolante è determinata dal valore più elevato della distanza reciproca delle aste di captazione. Attraverso la maggiore distanza può essere trovata sulla tabella la profondità di penetrazione p (flessione). Le aste di captazione devono essere dimensionate in base all'altezza della costruzione sul tetto (relativa alla posizione dell'asta di captazione) e in base alla profondità di penetrazione (Figura 5.1.1.9).

Classe di LPS	Larghezza delle maglie
I	5 x 5 m
II	10 x 10 m
III	15 x 15 m
IV	20 x 20 m

Tabella 5.1.1.3 Larghezza delle maglie

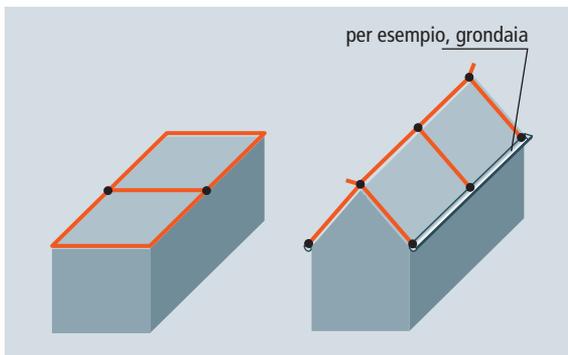


Figura 5.1.1.10 Dispositivo di captazione a maglie

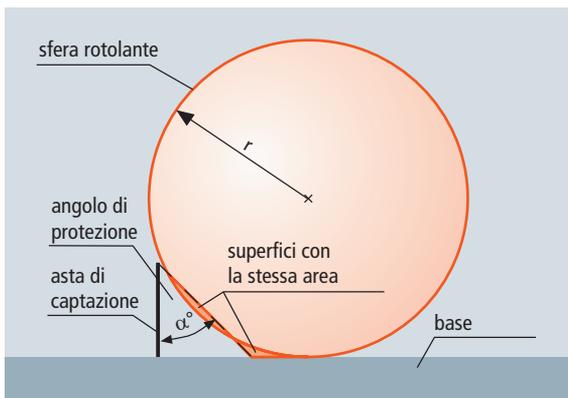


Figura 5.1.1.11 Angolo di protezione e raggio della sfera rotolante confrontabile

Se, ad esempio, viene individuata tramite calcolo oppure tramite tabella un'altezza dell'asta di captazione di 1,15m, di solito viene utilizzata una misura commerciale di 1,5 m.

Metodo della maglia

L'impianto di captazione a maglie può essere applicato universalmente e indipendentemente dall'altezza dell'edificio e dalla forma del tetto. Sulla copertura del tetto viene posta una rete di captazione con una larghezza delle maglie corrispondente alla classe LPS (**Tabella 5.1.1.3**).

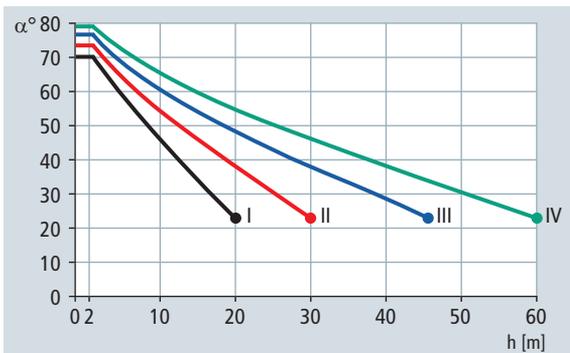


Figura 5.1.1.12 Angolo di protezione α in funzione dell'altezza h in base alla classe di protezione

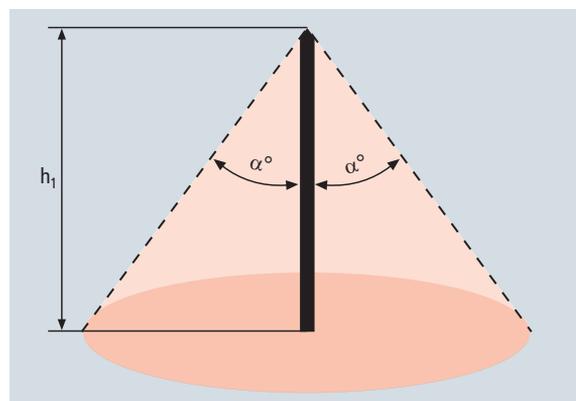


Figura 5.1.1.13 Volume protetto a forma di cono

Per semplicità si assume nulla la profondità di penetrazione della sfera rotolante per un impianto di captazione a maglie. La posizione delle singole maglie può essere scelta liberamente utilizzando il punto più alto e gli spigoli esterni dell'edificio, così come le componenti in metallo, utilizzabili come impianto di captazione naturale.

I conduttori di captazione sugli spigoli perimetrali delle strutture devono essere installati il più vicino possibile agli spigoli stessi.

Si può usare la scossalina metallica come dispositivo di captazione e/o come calata, se sono rispettate le misure minime necessarie per gli elementi naturali dell'impianto di captazione (**Figura 5.1.1.10**).

Metodo dell'angolo di protezione

Il metodo dell'angolo di protezione è dedotto dal modello elettrogeometrico di fulmine. L'angolo di protezione viene determinato dal raggio della sfera rotolante. L'angolo di protezione paragonabile con il raggio della sfera rotolante si ottiene quan-

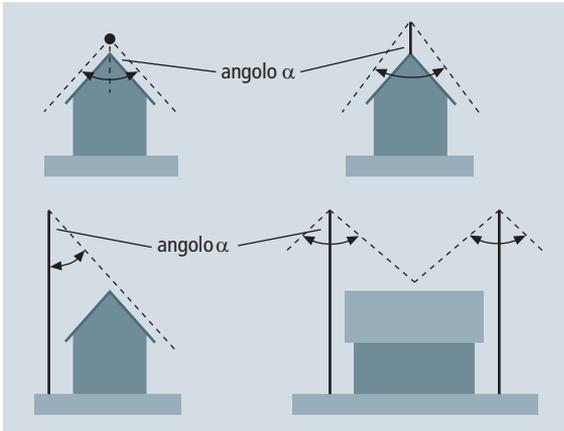


Figura 5.1.1.14 Esempio di impianto di captazione con angolo di protezione α

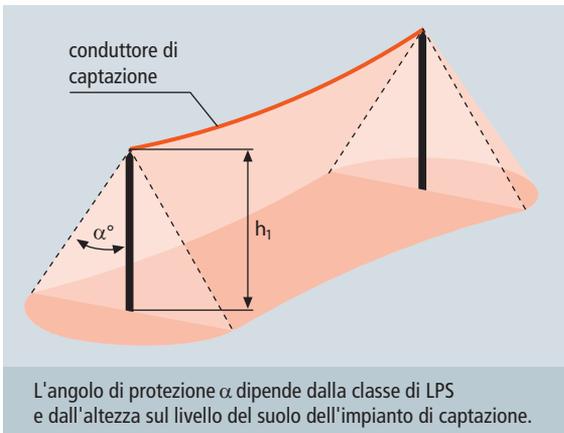


Figura 5.1.1.15 Area protetta da una fune di captazione

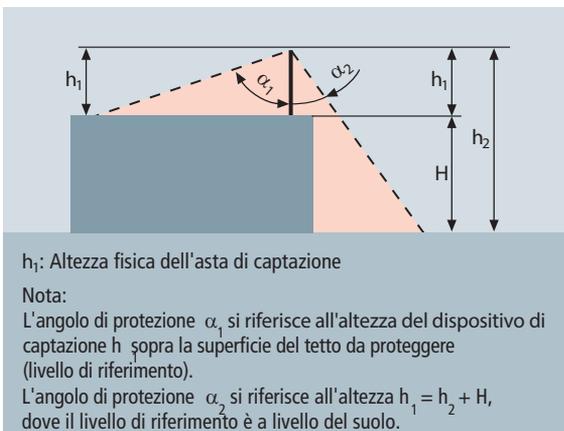


Figura 5.1.1.16 Volume protetto da un'asta di captazione verticale

do una linea obliqua taglia la sfera rotolante in modo che le superfici così create siano di misura uguale (Figura 5.1.1.11). Questa procedura è da utilizzare per edifici di misure simmetriche (ad esempio tetti a punta) oppure per strutture sul tetto (ad esempio antenne, tubi di sfianto).

L'angolo di protezione dipende dalla classe LPS e dall'altezza dell'impianto di captazione sopra il piano di riferimento (Figura 5.1.1.12).

I conduttori di captazione, aste di captazione, pali e funi dovrebbero essere posizionati in modo da far rientrare tutte le parti della struttura da proteggere all'interno del volume protetto dall'impianto di captazione.

Il volume protetto può essere "a forma conica" oppure "a forma di tenda" ottenibile ad esempio con l'utilizzo di una fune tesa (Figura da 5.1.1.13 a 5.1.1.15).

Se vengono posizionate le aste di captazione per la protezione di strutture installate sulla superficie del tetto, l'angolo di protezione α può variare. Nella Figura 5.1.1.16 il piano di riferimento per l'angolo di protezione α_1 è la superficie del tetto. L'angolo di protezione α_2 ha come piano di riferimento il suolo, e quindi l'angolo α_2 secondo la Figura 5.1.1.12 e la Tabella 5.1.1.4 è minore di α_1 .

Nella Tabella 5.1.1.4 può essere individuato l'angolo di protezione per ogni classe LPS e la distanza corrispondente (volume protetto).

Metodo dell'angolo di protezione per dispositivi di captazione isolati di strutture montate sul tetto

Particolari problemi si verificano quando delle strutture sul tetto - che spesso vengono installate in un secondo momento - fuoriescono dai volumi protetti delle maglie. Se queste strutture sul tetto contengono in più anche degli impianti elettrici o elettronici, come ad esempio aeratori, antenne, sistemi di misurazione oppure telecamere, allora sono necessarie delle misure di protezione complementari.

Quando questi dispositivi sono direttamente collegati al sistema di protezione contro i fulmini esterno, in caso di fulminazione verranno introdotte nella struttura delle correnti parziali. Queste possono causare la distruzione di impianti sensibili alle sovratensioni. Attraverso l'installazione di dispositivi di captazione isolati possono essere evitate le fulminazioni su queste strutture poste al di sopra del tetto.

Per proteggere le strutture sul tetto più piccole (comprendenti impianti elettrici) sono adatte le aste di captazione come illustrato in Figura 5.1.1.17.

Queste formano una zona di protezione a forma conica e impediscono una fulminazione diretta sulle strutture poste sul tetto.

Altezza fisica dell'asta di captazione h in m	LPS I		LPS II		LPS III		LPS IV	
	Angolo α	Distanza a in m						
1	71	2,90	74	3,49	77	4,33	79	5,14
2	71	5,81	74	6,97	77	8,66	79	10,29
3	66	6,74	71	8,71	74	10,46	76	12,03
4	62	7,52	68	9,90	72	12,31	74	13,95
5	59	8,32	65	10,72	70	13,74	72	15,39
6	56	8,90	62	11,28	68	14,85	71	17,43
7	53	9,29	60	12,12	66	15,72	69	18,24
8	50	9,53	58	12,80	64	16,40	68	19,80
9	48	10,00	56	13,34	62	16,93	66	20,21
10	45	10,00	54	13,76	61	18,04	65	21,45
11	43	10,26	52	14,08	59	18,31	64	22,55
12	40	10,07	50	14,30	58	19,20	62	22,57
13	38	10,16	49	14,95	57	20,02	61	23,45
14	36	10,17	47	15,01	55	19,99	60	24,25
15	34	10,12	45	15,00	54	20,65	59	24,96
16	32	10,00	44	15,45	53	21,23	58	25,61
17	30	9,81	42	15,31	51	20,99	57	26,18
18	27	9,17	40	15,10	50	21,45	56	26,69
19	25	8,86	39	15,39	49	21,86	55	27,13
20	23	8,49	37	15,07	48	22,21	54	27,53
21			36	15,26	47	22,52	53	27,87
22			35	15,40	46	22,78	52	28,16
23			36	16,71	47	24,66	53	30,52
24			32	15,00	44	23,18	50	28,60
25			30	14,43	43	23,31	49	28,76
26			29	14,41	41	22,60	49	29,91
27			27	13,76	40	22,66	48	29,99
28			26	13,66	39	22,67	47	30,03
29			25	13,52	38	22,66	46	30,03
30			23	12,73	37	22,61	45	30,00
31					36	22,52	44	29,94
32					35	22,41	44	30,90
33					35	23,11	43	30,77
34					34	22,93	42	30,61
35					33	22,73	41	30,43
36					32	22,50	40	30,21
37					31	22,23	40	31,50
38					30	21,94	39	30,77
39					29	21,62	38	30,47
40					28	21,27	37	30,14
41					27	20,89	37	30,90
42					26	20,48	36	30,51
43					25	20,05	35	30,11
44					24	19,59	35	30,81
45					23	19,10	34	30,35
46							33	29,87
47							32	29,37
48							32	29,99
49							31	29,44
50							30	28,87
51							30	29,44
52							29	28,82
53							28	28,18
54							27	27,51
55							27	28,02
56							26	27,31
57							25	26,58
58							25	27,05
59							24	26,27
60							23	25,47



Tabella 5.1.1.4 Angolo di protezione α in funzione della classe di protezione LPS



Figura 5.1.1.17 Protezione di piccole strutture sul tetto da fulminazione diretta con aste di captazione



Figura 5.1.1.18 Tetto a falda con staffe portafilo



Figura 5.1.1.19 Tetto piano con aste di captazione e staffe portafilo: protezione per lucernari

Durante il dimensionamento dell'altezza dell'asta di captazione (vedere anche capitolo 5.6) deve essere presa in considerazione la distanza di sicurezza s .

Dispositivi di captazione isolati e non isolati

Si distinguono due tipi di dispositivi di captazione per l'esecuzione di un sistema di protezione contro i fulmini esterno:

- ➔ isolato
- ➔ non isolato

Le due esecuzioni possono essere combinate.

Gli organi di captazione di un sistema di protezione contro i fulmini esterno **non isolato** per la protezione di una struttura possono essere realizzati nei seguenti modi.

- ➔ Se il tetto è fatto in materiale non infiammabile, i conduttori del sistema di captazione possono essere disposti sulla superficie della struttura (ad esempio tetto a falda oppure tetto piano). Di solito vengono utilizzati materiali da costruzione non infiammabili. In questo modo le componenti della protezione contro i fulmini esterna possono essere montate direttamente sulla struttura (**Figure 5.1.1.18 e 5.1.1.19**).
- ➔ Se il tetto è composto da materiali facilmente infiammabili (materiali da costruzione classe B3 secondo l'Integrazione 1 della norma tedesca DIN EN 62305-3), come ad esempio nel caso di tetti in paglia, la distanza tra le parti infiammabili del tetto e le aste, i conduttori o le maglie di captazione, non deve essere inferiore a 0,4 m. Le parti facilmente infiammabili della struttura da proteggere non devono trovarsi a contatto diretto con le parti del sistema di protezione dai fulmini esterno. Non possono nemmeno trovarsi sotto la copertura del tetto, la quale in caso di fulminazione potrebbe venire perforata (vedere anche capitolo 5.1.5 sugli edifici con copertura morbida).

In caso di dispositivi di captazione isolati, l'intera struttura viene protetta dalla fulminazione diretta attraverso aste di captazione, pali di captazione oppure con funi tese tra pali. Gli organi di captazione devono essere installati in modo da rispettare la distanza di sicurezza s dall'edificio (**Figure 5.1.1.20 e 5.1.1.21**).

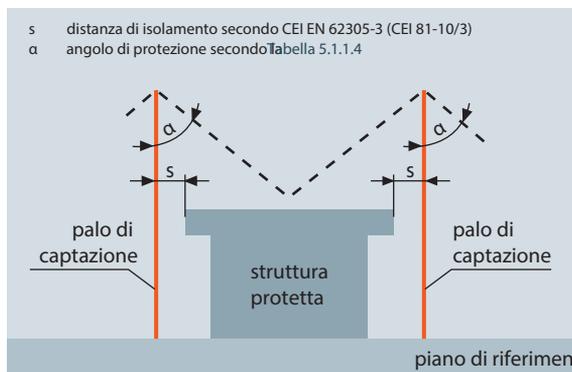


Figura 5.1.1.20 Sistema di protezione contro i fulmini isolato con due pali isolati secondo il metodo dell'angolo di protezione: proiezione su una area verticale

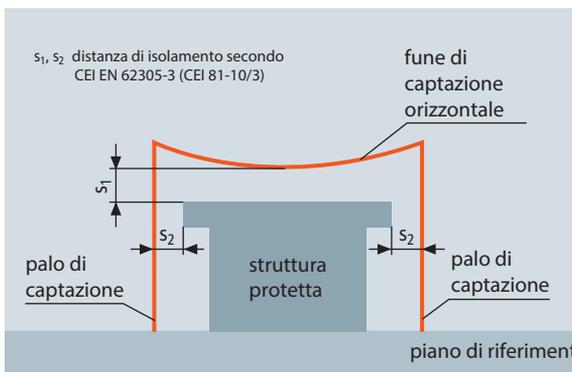


Figura 5.1.1.21 Sistema di protezione contro i fulmini isolato, composto da due pali di captazione isolati, collegati tramite una fune di captazione: proiezione su un'area verticale attraverso due pali

Classe di LPS	Materiale	Spessore ^a t [mm]	Spessore ^b t' [mm]
da I a IV	Piombo	–	2,0
	Acciaio (inox, zincato)	4	0,5
	Titanio	4	0,5
	Rame	5	0,5
	Alluminio	7	0,65
	Zinco	–	0,7

^a t previene le scariche disruptive

^b t' solo per lamiera metalliche se non vanno prevenute scariche disruptive, surriscaldamento e incendio

Tabella 5.1.1.5 Spessore minimo delle lamiere metalliche

Gli impianti di captazione isolati vengono spesso utilizzati quando la copertura del tetto è infiammabile, come ad esempio nei tetti morbidi, oppure in caso di ambienti a rischio (per esempio serbatoi). Si veda anche la sezione 5.1.5, "Impianto di captazione per edifici con copertura morbida".

Un'altra possibilità di realizzare degli impianti di captazione isolati consiste nell'impiegare materiali isolanti come vetroresina (GRP) per fissare i dispositivi di captazione (aste, conduttori o cavi) all'oggetto da proteggere. I dispositivi di captazione (aste, conduttori oppure funi) all'oggetto da proteggere con materiali isolanti come ad esempio vetroresina.

Questa forma di isolamento può essere limitata ad una zona oppure essere utilizzata per tutte le parti dell'impianto. Spesso viene utilizzata per strutture sul tetto come impianti di aerazione o di raffreddamento, elettricamente continue verso l'interno dell'edificio (vedere anche capitolo 5.1.8).

Elementi naturali di impianti di captazione

Possono essere impiegati come elementi naturali di un impianto di captazione parti di costruzione metalliche come ad esempio parapetti, grondaie, ringhiere oppure rivestimenti.

In un edificio con struttura portante in acciaio, tetto e facciata in metallo, queste parti sono - in determinate condizioni - utilizzabili per il sistema di protezione contro i fulmini esterno.

Rivestimenti in lamiera metallica, ai lati o sull'edificio da proteggere, possono essere utilizzati, se il collegamento elettrico tra le diverse parti è eseguito in modo permanente. Per collegamento elettrico permanente si intende ad esempio un collegamento realizzato tramite saldatura, a pressione, avvitatura oppure rivettatura. Il personale qualificato può anche effettuare collegamenti a mezzo brasatura. La superficie uniformemente saldata dei collegamenti dev'essere almeno 10 cm² con larghezza minima di almeno 5 mm.

Se il collegamento elettrico non è assicurato, questi elementi devono essere ulteriormente collegati, ad esempio tramite trecce di collegamento o cavallotti.

Se lo spessore della lamiera metallica non è inferiore al valore t indicato nella **Tabella 5.1.1.5** e se non è rilevante la perforazione della copertura nel punto di abbattimento del fulmine né l'accensione dei materiali combustibili sottostanti, questo tipo di lamiera può essere utilizzato come dispositivo di captazione. Non è prevista alcuna differenziazione degli spessori in base alla classe LPS.

Se, tuttavia, fosse necessario prendere provvedimenti contro il rischio di fusione o riscaldamento inammissibile sul punto di impatto del fulmine, lo spessore della lamiera metallica non dovrà essere inferiore al valore t indicato nella **Tabella 5.1.1.5**.

Questi spessori t dei materiali richiesti, non possono essere generalmente rispettati, ad esempio, per coperture metalliche. Per tubi o serbatoi esiste tuttavia la possibilità di rispettare questi spessori minimi (spessore di parete). Tuttavia, se l'aumento di temperatura (riscaldamento) sui lati interni del tubo oppure del serbatoio risultasse pericoloso per il fluido contenuto (pericolo di incendio o di esplosione), questi non dovranno essere utilizzati come organo di captazione (vedere anche capitolo 5.1.4).

Se i requisiti relativi allo spessore minimo non vengono rispettati, le parti quali tubazioni o serbatoi devono essere poste in una zona protetta da fulmini.

Un sottile rivestimento di vernice, 1 mm di bitume oppure 0,5 mm di PVC non sono da considerare come isolamento in caso di fulminazione diretta. Per la grande quantità di energia che viene generata durante la fulminazione diretta, questo tipo di rivestimento viene perforato.

Eventuali corpi metallici sulla superficie del tetto possono essere utilizzati come impianti naturali di captazione, quando non esiste un collegamento conduttivo con l'interno dell'edificio. Attraverso il collegamento di tubi o conduttori elettrici all'interno della struttura, le correnti parziali di fulmine possono entrare all'interno dell'edificio e interferire con (o addirittura distruggere) gli impianti elettrici/elettronici sensibili. Per evitare tali correnti parziali di fulmine devono essere previsti, per le costruzioni sul tetto sopraccitate, dei dispositivi di captazione isolati.

La disposizione del dispositivo di captazione isolato può avvenire secondo il metodo della sfera rotolante o dell'angolo di protezione. Si può installare un dispositivo di captazione con una larghezza delle maglie pari alla corrispondente classe di protezione se il sistema completo viene sollevato (isolato) alla distanza di sicurezza richiesta s.

Un sistema di elementi di costruzione universale per la realizzazione di impianti di captazione separati viene descritto nel capitolo 5.1.8.

5.1.2 Impianti di captazione per edifici con tetto spiovente

Per dispositivi di captazione sui tetti si intendono tutti gli elementi metallici, ad esempio funi, aste, punte di captazione. I punti di abbattimento preferiti dai fulmini, come punte di cuspidi, camini, colmi e displuvi, spigoli di cuspidi e di grondaie, parapetti e altre strutture emergenti dal tetto, devono essere dotati di impianti di captazione.

Di regola, sulla superficie dei tetti a doppia falda viene installata una rete di captazione a maglie con una larghezza di maglia che dipende dalla classe di protezione (ad esempio 15 m x 15 m per classe di protezione III) (Figura 5.1.2.1).



Figura 5.1.2.1 Dispositivo di captazione su tetto a doppio spiovente

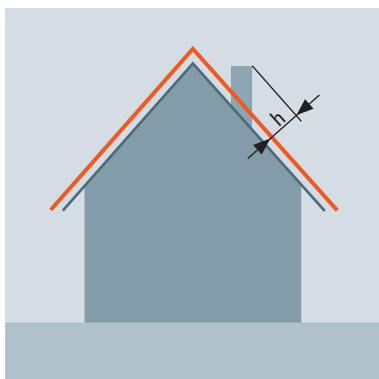


Figura 5.1.2.2 Altezza della struttura sul tetto di materiale non conduttivo (ad es. PVC), $h \leq 0,5$ m



Figura 5.1.2.3 Dispositivo di captazione supplementare per tubi di sfiatione

La posizione delle singole maglie può essere scelta considerando l'utilizzo del colmo e degli spigoli perimetrali e gli elementi metallici utilizzati come dispositivo di captazione. I conduttori di captazione perimetrali degli edifici devono essere posati il più direttamente possibile sugli spigoli.

Di solito si usa la grondaia metallica per la chiusura perimetrale dell'impianto di captazione a maglie sulla copertura del tetto. A condizione che la grondaia sia essa stessa collegata in modo elettricamente continuo, sul punto di incrocio tra il dispositivo di captazione e la grondaia del tetto verrà montato un morsetto per grondaia.

Le strutture sul tetto in materiale **non conduttivo** (p. es. tubi di sfiatione in PVC) vengono considerate sufficientemente protette, quando non sporgono più di $h = 0,5$ m dal piano delle maglie (Figura 5.1.2.2).

Se la sporgenza è superiore ad $h = 0,5$ m, essa va dotata di captatore (p. es. una punta di captazione) e collegata al conduttore di captazione più vicino. A tal fine si può usare un cavo con diametro di 8 mm e massima lunghezza libera pari a 0,5 m, come illustrato nella Figura 5.1.2.3.

Le strutture metalliche sul tetto senza collegamenti conduttivi verso l'interno della struttura non hanno necessità di essere collegate al dispositivo di captazione, se rispondono a tutti i seguenti requisiti:

- ➔ le costruzioni sul tetto non devono sporgere dal piano del tetto più di 0,3 m
- ➔ le costruzioni sul tetto possono racchiudere una superficie massima di 1 m² (ad esempio un lucernario);
- ➔ le costruzioni sul tetto possono avere una lunghezza massima di 2 m (ad esempio coperture in lamiera).



Figura 5.1.2.4 Edificio con impianto fotovoltaico e distanza di isolamento sufficiente. Fonte: Blitzschutz Wettingfeld, Krefeld, Germania



Figura 5.1.2.5 Antenna con asta di captazione isolata.

Solo se vengono rispettati tutti e tre i requisiti, è possibile rinunciare ad un collegamento. Inoltre, deve essere rispettata, nell'ambito di queste condizioni, la distanza di sicurezza verso gli organi di captazione e di discesa (**Figura 5.1.2.4**).

Sui camini, le aste di captazione dovranno essere installate in modo da fare rientrare l'intero camino nel volume protetto. Per il dimensionamento delle aste di captazione viene adottato il metodo dell'angolo di protezione.

Se il camino è in muratura oppure in mattoni, l'asta di captazione potrà essere montata direttamente sul camino stesso.

Se all'interno del camino si trova un tubo metallico, ad esempio in edifici vecchi ristrutturati, allora dovrà essere rispettata la distanza di sicurezza verso questa parte conduttiva. A tal fine vengono utilizzati dei dispositivi di captazione isolati, e le aste di captazione devono essere posizionate utilizzando dei distanziatori. Il tubo metallico è da collegare al sistema equipotenziale.

L'impianto per la protezione di antenne paraboliche deve essere realizzato in modo simile a quello utilizzato per la protezione di camini con tubo in acciaio inossidabile all'interno.

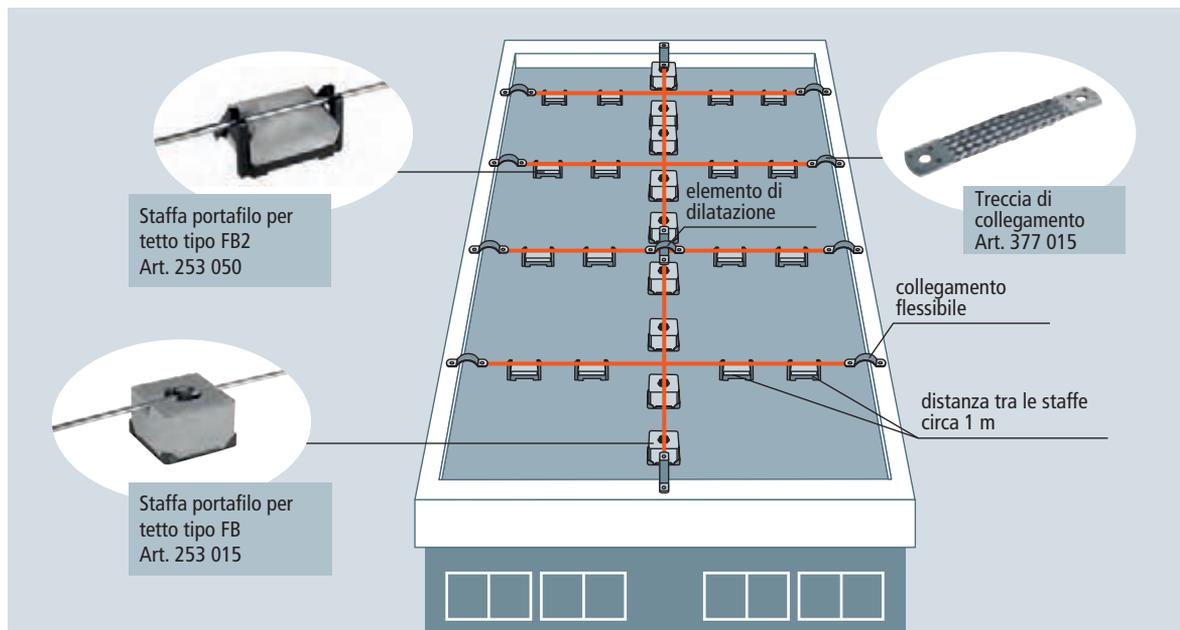


Figura 5.1.3.1 Dispositivo di captazione su un tetto piano

In caso di fulminazione diretta su antenne, possono entrare delle correnti parziali di fulmine all'interno dell'edificio da proteggere attraverso gli schermi dei cavi coassiali e causare i già descritti disturbi e danneggiamenti. Per evitare questo, le antenne vengono equipaggiate con dispositivi di captazione isolati (p. es. aste di captazione) (**Figura 5.1.2.5**).

I dispositivi di captazione sul colmo del tetto possiedono un volume protetto a forma di tenda (secondo il metodo dell'angolo di protezione). L'angolo dipende dall'altezza rispetto al piano di riferimento (ad esempio livello del suolo) e dalla classe di LPS scelta.

5.1.3 Impianto di captazione per edifici con tetto piano

Per la realizzazione del dispositivo di captazione su strutture con tetti piani (**Figura 5.1.3.1**) viene utilizzato il metodo della maglia. Sulla copertura del tetto viene posta una rete di captazione con una larghezza delle maglie corrispondente alla classe LPS (**Tabella 5.1.1.3**).

La **Figura 5.1.3.2** illustra l'applicazione pratica del sistema di captazione a maglia, con aste di captazione integrate per la protezione di costruzioni sul tetto come lucernari, moduli fotovoltaici oppure impianti di aerazione. Il capitolo 5.1.8 illustra come trattare queste strutture.

Le staffe portafilo su tetti piani vengono posate a circa 1 m di distanza l'una dall'altra. I conduttori di captazione vengono collegati con la scossalina, utilizzata come componente naturale dell'impianto di captazione. Al variare della temperatura cambiano anche le dimensioni dei materiali utilizzati per le scossaline. Pertanto i singoli segmenti devono essere provvisti di "lamiere scorrevoli".

Se il parapetto viene utilizzato come organo di captazione, questi singoli segmenti devono essere interconnessi in modo duraturo ed elettricamente continuo, senza limitare la capacità di dilatazione. Questo può essere realizzato con trecce di collegamento, staffe o cavi (**Figura 5.1.3.3**).

Anche per i sistemi di captatori e di calate devono essere considerate le dilatazioni termiche causate da sbalzi di temperatura (vedere capitolo 5.4.1).

In caso di fulminazione sulla scossalina possono verificarsi delle perforazioni del materiale utilizzato. Se questo non può essere accettato, è necessario un ulteriore organo di captazione, ad esempio utilizzando delle punte di captazione, posizionate secondo il metodo della sfera rotolante (**Figura 5.1.3.4**).



Figura 5.1.3.2 Applicazione pratica delle aste di captazione



Figura 5.1.3.3 Treccia di collegamento della scossalina



Figura 5.1.3.4 Esempio per la protezione di una scossalina metallica quando non è ammessa la perforazione (vista frontale)

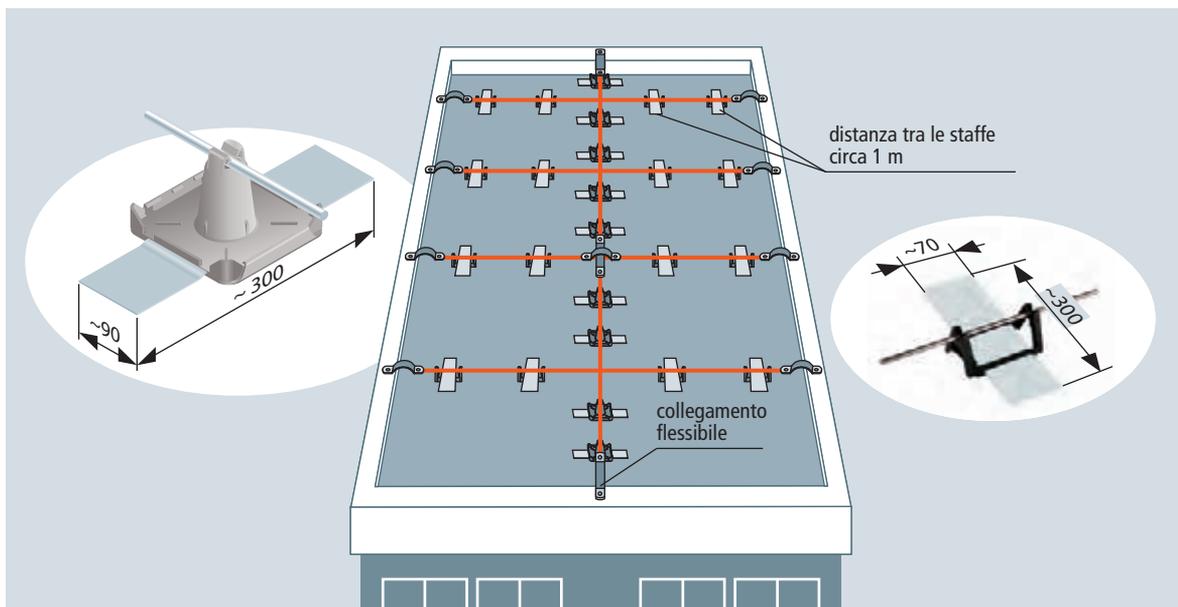


Figura 5.1.3.5 Guaina impermeabilizzante - staffa portafilo per tetto piano tipo KF / KF2

Staffe portafilo per tetti piani, con saldatura omogenea

In condizioni di vento, le guaine, se non fissate in modo appropriato, possono muoversi in orizzontale rispetto alla superficie del piano di copertura. Per impedire che le staffe portafilo dell'impianto di captazione si spostino sulla superficie liscia, è necessario effettuare un ulteriore fissaggio di sicurezza del conduttore di captazione. Le staffe portafilo tradizionali non possono essere incollate in modo duraturo sulle guaine, dal momento che queste di solito non permettono l'applicazione di collanti.

Una possibilità di fissaggio semplice e sicura dei conduttori di captazione è quella con le staffe portafilo del tipo KF in combinazione con strisce (tagliate su misura) dello stesso materiale della guaina. La striscia viene incastrata nella staffa di plastica e saldata da tutti e due i lati sulla guaina. Staffe e ganasce vanno posizionate immediatamente accanto al sormonto saldato della guaina, distanziati tra loro di circa 1 m. La striscia di guaina viene saldata alla copertura del tetto secondo le indicazioni fornite dal costruttore della guaina. In tal modo si impedisce lo spostamento dei conduttori di captazione sui tetti piani.

Con una pendenza del tetto superiore a 5°, tutte le staffe portafilo vanno fissate, mentre con pendenze inferiori a 5° basta fissarne una sì e una no. Con pendenze superiori a 10° le staffe portafilo possono non essere più sufficienti, in funzione della specifica situazione.

Con guaine impermeabilizzanti fissate meccanicamente, le staffe portafilo devono essere posizionate immediatamente accanto al fissaggio della guaina.

Durante questi lavori occorre tener presente che la ditta esecutrice della copertura risponde dei lavori di saldatura e incollatura eseguiti sulla copertura impermeabile.

I lavori devono quindi essere eseguiti solo dopo aver consultato la ditta esecutrice della copertura, oppure devono essere eseguiti direttamente da quest'ultima (**Figura 5.1.3.5**).

5.1.4 Dispositivi di captazione su coperture metalliche

I moderni edifici industriali e commerciali hanno spesso dei tetti e delle facciate in metallo. Le lamiere e lastre hanno di solito uno spessore da 0,7 a 1,2 mm.

La **Figura 5.1.4.1** illustra un esempio di costruzione di una copertura metallica. Quando il fulmine si abbatte direttamente su tale tipo di copertura, nel punto d'impatto si può verificare una perforazione a causa della fusione e dell'evaporazione. La dimensione della perforazione dipende dall'energia del fulmine, oltre che dalle proprietà materiali del tetto (ad esempio lo spessore). Il problema maggiore è il danno conseguente, ad esempio l'entrata di umidità nel punto interessato. Prima che venga notato il danno possono passare giorni o settimane. L'impermeabilizzazione del tetto viene compromessa e/o il



Figura 5.1.4.1 Copertura metallica, esecuzione con ribordatura tonda



Figura 5.1.4.2 Esempio di danno su copertura in lamiera

soffitto inizia a evidenziare tracce di umidità e quindi la protezione contro la pioggia non è più garantita.

Un esempio di danno valutato con il sistema di rilevamento dei fulmini Siemens (BLIDS) evidenzia questa problematica (**Figura 5.1.4.2**). Una corrente di ca. 20.000 A ha colpito una copertura in lamiera causando la sua perforazione (**Figura 5.1.4.2: Dettaglio A**). Poiché la copertura in lamiera non era messa a terra con una calata, si sono verificate, sugli spigoli perimetrali, delle scariche verso elementi metallici naturali nel muro (**Figura 5.1.4.2: Dettaglio B**), che hanno anch'esse causato delle perforazioni.

Per evitare questo tipo di danni, deve essere installato anche su un tetto in metallo "sottile" un sistema di protezione contro i fulmini esterno adeguato, con conduttori e morsetti a prova di corrente di fulmine. La norma di protezione dai fulmini CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) indica chiaramente il pericolo per i tetti in metallo. Se risulta necessario un sistema di protezione contro i fulmini esterno, le lamiere metalliche devono presentare i valori minimi indicati nella **Tabella 5.1.1.5**.

Gli spessori t non sono rilevanti per la copertura di un tetto. Le lamiere metalliche con spessore t' possono essere utilizzate come dispositivi di captazione naturale solo se è ammessa la loro perforazione, il surriscaldamento e la fusione. Il proprietario della struttura dovrà quindi accettare questo tipo di danni del tetto, in quanto il tetto non sarà più a tenuta di pioggia.

Se il committente non accetta un danneggiamento del tetto in caso di impatto di un fulmine, allora è necessario installare sul tetto metallico un impianto di captazione separato. L'impianto di captazione dovrà essere installato in modo che la sfera rotolante (raggio r a seconda della classe di protezione scelta) non tocchi il tetto in metallo (**Figura 5.1.4.3**).

In questo caso è raccomandabile installare un impianto di captazione dotato di molte punte di captazione.

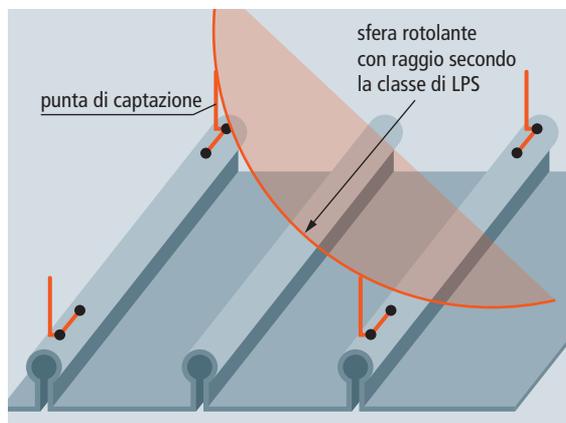


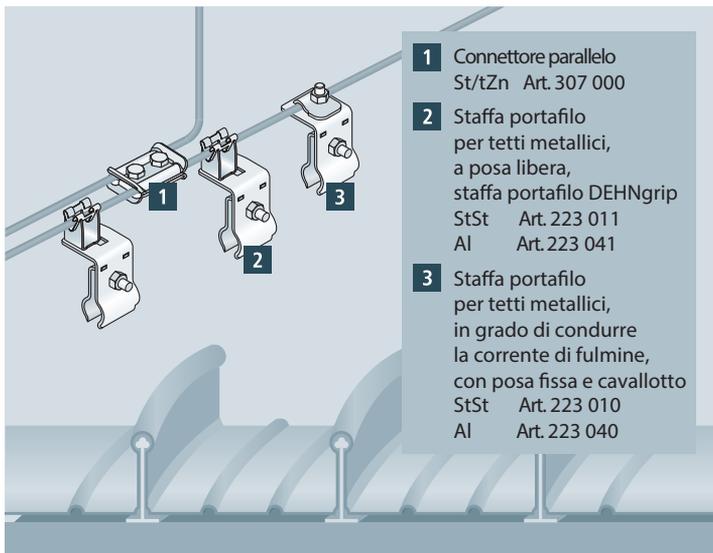
Figura 5.1.4.3 Impianto di captazione per coperture in metallo - Protezione contro la perforazione

Adatto a tutte le classi LPS	
distanza tra i conduttori orizzontali	Altezza della punta di captazione*)
3 m	0,15 m
4 m	0,25 m
5 m	0,35 m
6 m	0,45 m
*) valori consigliati	

Tabella 5.1.4.1 Protezione contro i fulmini per coperture in metallo - Altezza delle punte di captazione

Indipendentemente dalla classe di protezione, nella pratica si sono affermate le altezze delle punte di captazione indicate nella **Tabella 5.1.4.1**.

Per il fissaggio dei conduttori e delle punte di captazione la copertura non deve essere forata. Per i vari tipi di tetti metal-



- 1** Connettore parallelo
St/tZn Art. 307 000
- 2** Staffa portafilò
per tetti metallici,
a posa libera,
staffa portafilò DEHNgrip
StSt Art. 223 011
Al Art. 223 041
- 3** Staffa portafilò
per tetti metallici,
in grado di condurre
la corrente di fulmine,
con posa fissa e cavallotto
StSt Art. 223 010
Al Art. 223 040

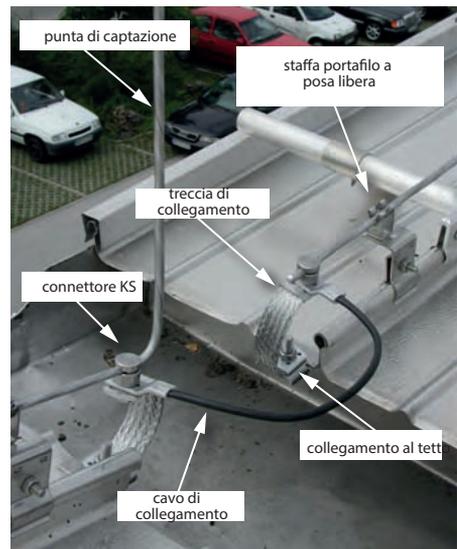


Figura 5.1.4.4a Staffa portafilò per tetto in metallo - Lamiera con ribordatura tonda

Figura 5.1.4.4b Staffa portafilò per tetto in metallo - Ribordatura tonda

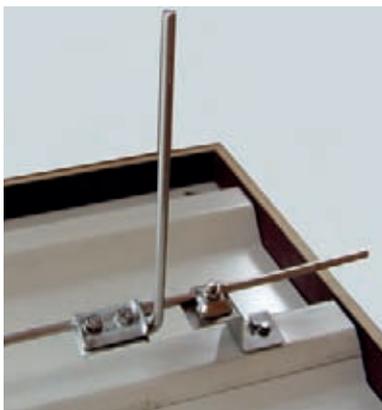


Figura 5.1.4.5 Installazione-tipo di una copertura in lamiera grecata, staffa portafilò con cavallotto

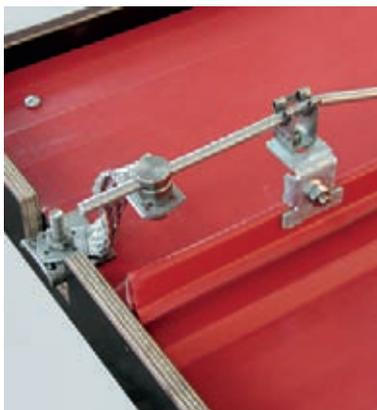


Figura 5.1.4.6 Installazione-tipo per una copertura con ribordatura, staffa portafilò



Figura 5.1.4.7 Asta di captazione per lucernari su copertura con ribordatura tonda

lici (ribordato, ondulato, grecato) sono disponibili diversi tipi di staffe portafilò. Nella **Figura 5.1.4.4a** viene rappresentata un'adeguata copertura metallica con ribordatura tonda. Se vengono impiegate staffe portafilò con morsetti a prova di corrente di fulmine, è possibile fissare direttamente una punta di captazione.

Occorre osservare che, ad esempio su un tetto trapezoidale, il conduttore deve essere ancorato entro la staffa portafilò che si trova nel punto più alto del tetto, mentre deve avere posa libe-

ra in tutte le altre staffe portafilò, a causa della dilatazione termica dovuta alla variazione di temperatura (**Figura 5.1.4.4b**). La **Figura 5.1.4.5** mostra una staffa portafilò con il conduttore ad essa ancorato e una punta di captazione su un tetto trapezoidale.

La staffa portafilò deve essere agganciata alla vite di fissaggio sopra la guarnizione del foro, per evitare in modo sicuro la possibile entrata di umidità.

Nella **Figura 5.1.4.6** la staffa portafilò a posa libera viene raffigurata nell'esempio di una copertura con ribordo.

Nella **Figura 5.1.4.6** è raffigurato altresì il collegamento alla copertura metallica in corrispondenza del bordo del tetto. Impianti non protetti, sporgenti dal tetto, come ad esempio lucernari e coperture delle canne fumarie, sono dei punti d'impatto esposti alle fulminazioni. Per evitare una fulminazione diretta su questi impianti, devono essere installate delle aste di captazione vicino a queste sporgenze (**Figura 5.1.4.7**). L'altezza delle aste di captazione dipende dall'angolo di protezione α .

5.1.5 Impianto di captazione per edifici con copertura morbida

La disposizione secondo la classe di protezione III risponde in generale ai requisiti per una struttura di questo genere. In casi singoli, può essere eseguita una valutazione dei rischi secondo la norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2).

La sezione 4.3 dell'Integrazione 2 della norma tedesca DIN EN 62305-3 prescrive requisiti specifici per l'installazione dell'impianto di captazione per edifici con coperture morbide.

Così, i captatori a fune su tali tetti in canna palustre, paglia o stiancia devono essere fissati su sostegni isolanti in modo che siano liberi di muoversi. Anche nella zona della gronda devono essere rispettate determinate distanze.

Per il montaggio successivo di un sistema di protezione contro i fulmini su un tetto, le distanze devono essere aumentate, in modo che anche dopo il rinnovo della copertura del tetto le misure minime vengano in ogni caso rispettate.

Il valore tipico per la distanza delle calate è di 15 m per la classe di protezione III.

La distanza esatta tra le calate risulta dal calcolo della distanza di sicurezza s secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3).

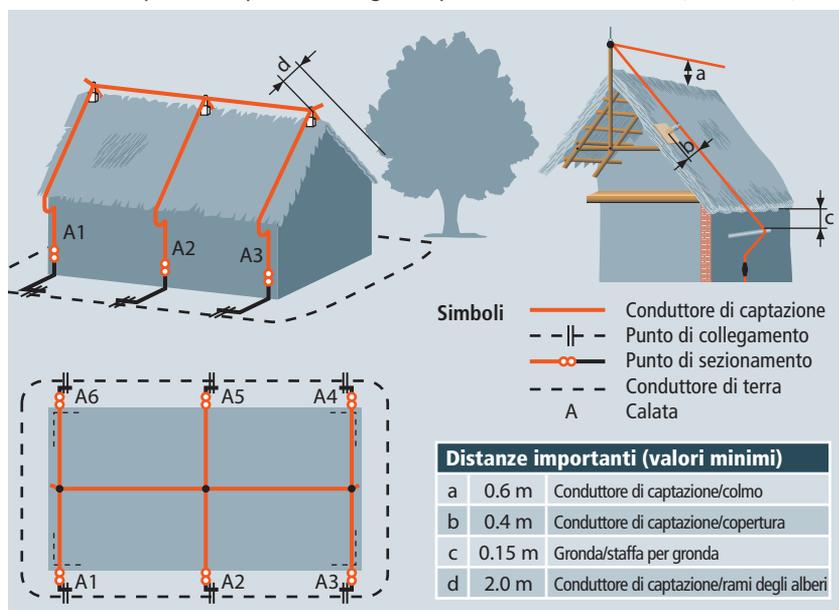


Figura 5.1.5.1 Impianto di captazione per edifici con copertura morbida

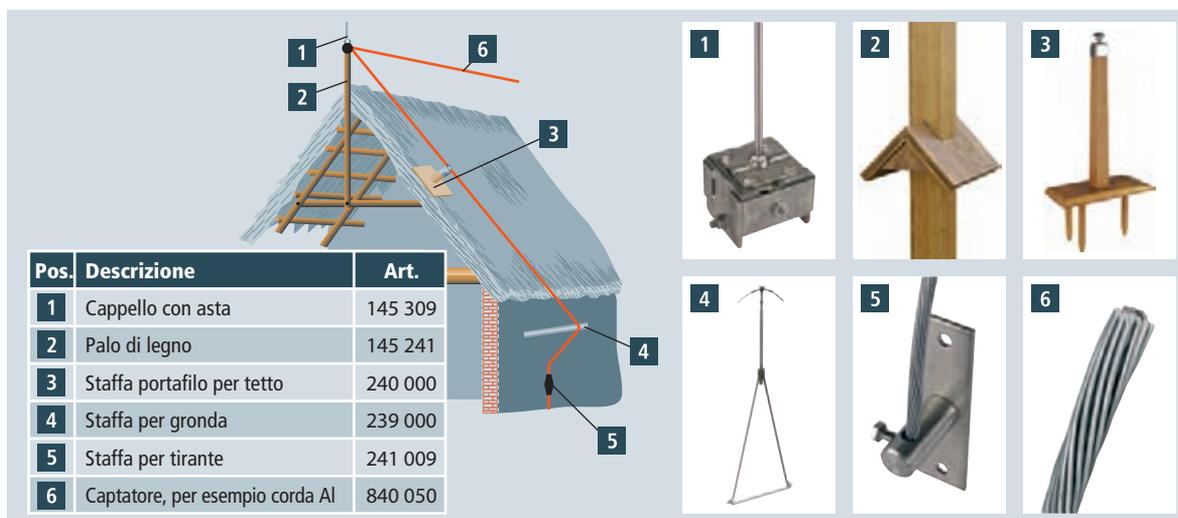


Figura 5.1.5.2 Componenti per copertura morbida



Figura 5.1.5.3 Copertura morbida



Figura 5.1.5.4 Fattoria storica con impianto di protezione esterno
(Fonte: Hans Thormählen GmbH & Co.KG.)

Il calcolo della distanza di sicurezza è riportato nel capitolo 5.6.

I conduttori installati sul colmo dovrebbero avere preferibilmente una campata massima fino a 15 m, mentre le calate fino a 10 m, senza supporti supplementari.

I sostegni per il conduttore di captazione devono essere fissati alla struttura del tetto (travetti e guide) tramite bulloni passanti e rondelle (**Figure da 5.1.5.1 a 5.1.5.3**).

Se sulla copertura del tetto si trovano delle parti metalliche (come banderuole, impianti di irrigazione, scale), queste devono essere mantenute completamente entro il volume protetto dai dispositivi di captazione isolati.

Se ciò non fosse possibile, va realizzato in questi casi un efficiente sistema di protezione contro i fulmini. A tal fine si deve installare un impianto LPS esterno isolato con aste di captazione vicino all'edificio, oppure con funi o reti di captazione tese tra dei pali di fianco alla struttura.

Se una copertura morbida confina con una copertura metallica e l'edificio deve essere protetto con un impianto LPS esterno, tra la copertura morbida e il resto del tetto dovrà essere inserita una copertura elettricamente isolante, p. es. materiale plastico, di almeno 1 m di larghezza.

I rami degli alberi devono essere tenuti ad una distanza di almeno 2 m dalla copertura morbida. Se gli alberi si trovano molto vicini ad un edificio e lo superano in altezza, sul

bordo del tetto di fronte agli alberi (spigolo della grondaia, colmo) dovrà essere installata una fune di captazione, che deve essere collegata all'impianto di protezione dai fulmini. Rispettare le distanze necessarie.

Un'altra possibilità per proteggere gli edifici con tetto morbido dalla fulminazione, è l'installazione di un palo di captazione, che pone l'intero edificio all'interno del volume protetto.

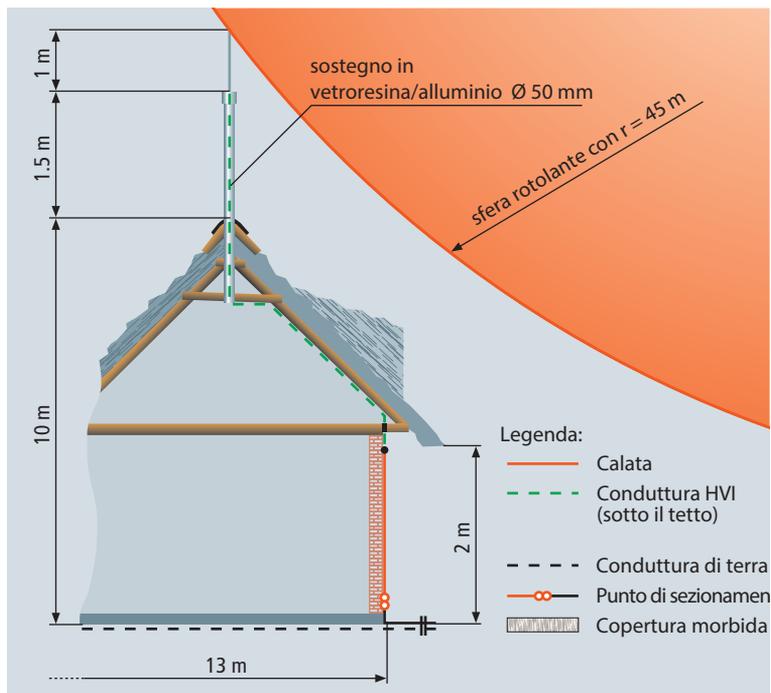


Figura 5.1.5.5 Sezione dell'edificio principale

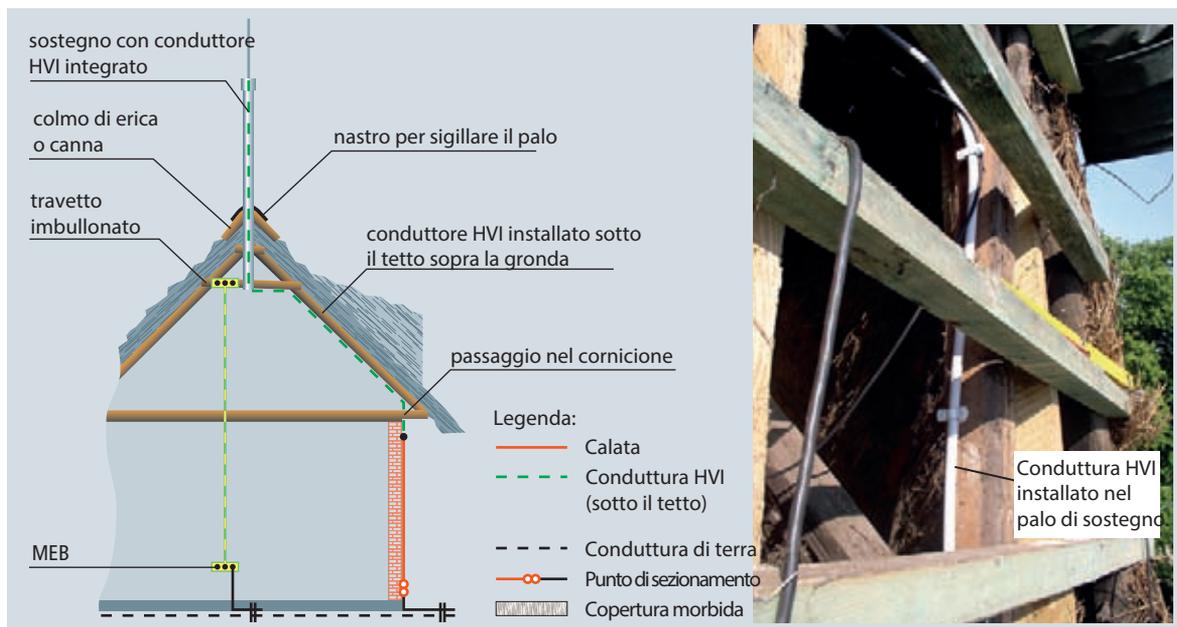


Figura 5.1.5.6 Schema e illustrazione dell'installazione della calata lungo le capriate

Questo è descritto nel capitolo 5.1.8 "Impianti di captazione isolati" (palo di captazione componibile in acciaio per la protezione contro i fulmini).

Una nuova possibilità della protezione contro i fulmini, architettonicamente gradevole, è l'impiego di calate isolate. Esempio per l'installazione di calate isolate: ristrutturazione del tetto di una fattoria storica (Figura 5.1.5.4).

Su questa fattoria storica è stato installato un LPS di classe III. In tal modo sono stati rispettati i requisiti per edifici con copertura morbida (CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)).

Il colmo della struttura è realizzato in paglia e protetto da una rete di materiale plastico per prevenirne l'asportazione da parte degli uccelli.

Per la progettazione del sistema di captazione sono in prima parte da determinare, con l'aiuto della sfera rotolante, le rispettive zone protette. Secondo le definizioni normative, per la classe di protezione III il raggio della sfera rotolante è di 45 m. Così per il sistema di captazione venne calcolata un'altezza di 2,30 m, che mette in zona protetta i due camini sul colmo e i tre nuovi lucernari su un lato del tetto (Figura 5.1.5.5)

Per un sostegno sufficientemente elevato del sistema di captazione e il collocamento delle calate isolate venne scelto un tubo portante in vetroresina. Per dare sufficiente stabilità meccanica, nella parte inferiore il tubo portante è realizzato in alluminio. Da quest'area per effetti induttivi possono formarsi

delle scariche pericolose verso parti metalliche nelle vicinanze. Per evitare questo, nel raggio di 1 m dal tubo di alluminio non devono trovarsi componenti collegati a terra né apparecchiature elettriche. Pertanto vanno impiegati (ad esempio) tiranti in nylon per colmi in paglia o zolle di terra.

L'isolamento elettrico tra dispositivo di captazione e di calata da una parte e tra i corpi metallici e i componenti dell'impianto elettrico e del sistema informatico all'interno della struttura da proteggere dall'altra, può essere raggiunto rispettando la distanza di sicurezza s tra queste parti non isolate. La distanza di sicurezza deve essere calcolata secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) La calata HVI isolata è resistente alle

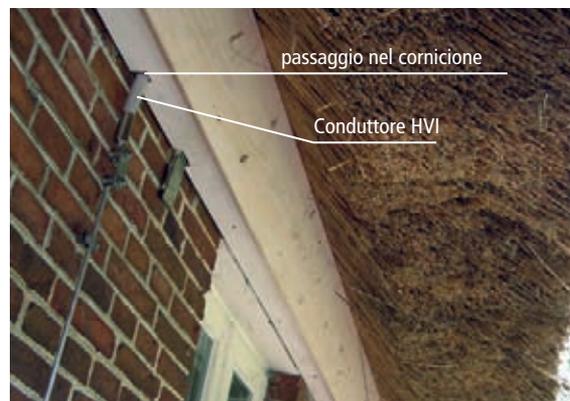


Figura 5.1.5.7 Conduttura HVI attraverso il cornicione

alte tensioni ha una distanza di sicurezza equivalente in aria di $s = 0,75$ m oppure in caso di muratura $s = 1,50$ m (materiale compatto). La disposizione della calata è illustrata in **Figura 5.1.5.6**.

La conduttura HVI viene installata all'interno del tubo portante e collegata attraverso una sbarra collettrice. Il collegamento equipotenziale viene effettuato con una corda flessibile H07V-K 1 x 16 mm². Il tubo portante viene ancorato a un supporto speciale (trave) e le calate vengono posate di seguito lungo le capriate esistenti del tetto (**Figura 5.1.5.6**). In prossimità della gronda le condutture HVI attraversano il cornicione (**Figura 5.1.5.7**).

Per scopi architettonici, di seguito vengono installate delle calate in alluminio. Il passaggio dalla conduttura HVI alla calata nuda non isolata in prossimità dall'impianto di terra, nonché l'installazione delle condutture HVI, sono eseguiti nelle rispettive istruzioni di installazione. In questo caso non era necessario l'elemento terminale.

5.1.6 Tetti calpestabili

Su tetti accessibili ai veicoli non possono essere installati dei conduttori di captazione (ad esempio con dei blocchi in calcestruzzo). Una possibile soluzione consiste nel posare i conduttori di captazione nel calcestruzzo oppure nelle giunture dei pannelli del piano accessibile ai veicoli. Se il conduttore di captazione viene posato in tali giunture, negli incroci delle maglie devono essere installati, come punto di abbattimento definito, dei funghi di captazione.

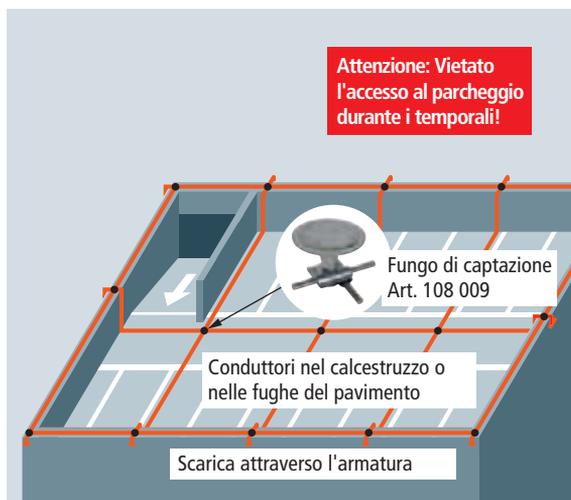


Figura 5.1.6.1 Protezione contro i fulmini per tetti ad uso parcheggio - Protezione dell'edificio

La larghezza delle maglie non può superare il valore corrispondente alla classe di protezione (vedere capitolo 5.1.1, **Tabella 5.1.1.3**)

Se è certo che durante un temporale non si trovino delle persone su tale superficie, le misure sopra indicate sono sufficienti. Le persone che possono accedere al tetto ad uso parcheggio devono essere avvertite da un avviso che devono liberare immediatamente il parcheggio quando si verifica un temporale e non tornarvi fino al termine del temporale stesso (**Figura 5.1.6.1**).

Se è probabile la presenza di persone sul tetto durante un temporale, l'impianto di captazione dovrà essere progettato in modo che le persone siano protette dalle fulminazioni dirette, assumendo un'altezza di 2,5 m (con braccia alzate). Per dimensionare l'impianto di captazione secondo la classe LPS richiesto si può usare il metodo della sfera rotolante e dell'angolo di protezione (**Figura 5.1.6.2**).

Questi impianti di captazione possono essere eseguiti con funi tese oppure con aste di captazione. Tali aste di captazione possono essere fissate ad esempio su elementi di costruzione come parapetti o simili.

Inoltre, anche i pali di illuminazione, ad esempio, possono fungere da asta di captazione per la protezione delle persone. In questo caso devono tuttavia essere considerate anche le correnti parziali di fulmine, che possono essere condotte all'interno dell'edificio attraverso i conduttori di alimentazione. L'equipotenzialità contro i fulmini per tali conduttori è assolutamente necessaria.

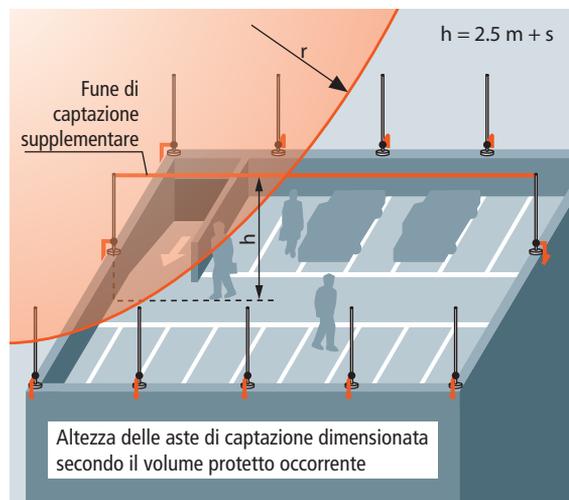


Figura 5.1.6.2 Protezione contro i fulmini per tetti ad uso parcheggio - Protezione dell'edificio e delle persone (CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3); Allegato E)



Figura 5.1.7.1 Tetto verde



Figura 5.1.7.2 Impianto di captazione su tetto verde



Figura 5.1.7.3 Posa del conduttore sopra il manto di copertura

5.1.7 Impianto di captazione per tetti verdi e tetti piani

Dal punto di vista economico ed ecologico, un inverdimento del tetto può essere ragionevole, in quanto produce insonorizzazione, protezione del manto di copertura, abbattimento della polvere presente nell'ambiente, isolamento termico supplementare, filtraggio e trattenimento dell'acqua piovana e miglioramento naturale dell'ambiente abitabile e di lavoro. Va aggiunto che in molte zone l'inverdimento del tetto viene finanziato dalle amministrazioni locali. Occorre tuttavia distinguere tra i cosiddetti inverdimenti estensivi e quelli intensivi. L'inverdimento estensivo richiede minore manutenzione rispetto all'inverdimento intensivo, che richiede fertilizzazione, irrigazione e taglio. Per entrambi i tipi di inverdimento deve essere posato sul tetto un substrato di terra o granulato. Questo risulta alquanto complicato, quando il granulato o substrato deve essere asportato di seguito a una fulminazione diretta.

Se non è installato un sistema di protezione contro i fulmini esterno, si può verificare un danneggiamento dell'impermeabilizzazione del tetto nel punto d'impatto del fulmine.

La pratica ha dimostrato che indipendentemente dal tipo di manutenzione, sulla superficie di un tetto verde può e deve essere installato un sistema di captazione per un impianto di protezione contro i fulmini esterno.

Se si utilizza un impianto di captazione a maglie, la norma per la protezione dai fulmini CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) prescrive una larghezza delle maglie dipendente dalla classe LPS scelta (vedere capitolo 5.1.1, **Tabella 5.1.1.3**). Una fune di captazione installata nello strato di copertura dopo alcuni anni è difficile da controllare, dal momento che le punte o i funghi di captazione non sono più visibili a causa della crescita della vegetazione e possono essere danneggiati durante i lavori di manutenzione. A questo si aggiunge il pericolo di corrosione per i conduttori di captazione inseriti nel manto di copertura. I conduttori delle maglie di captazione distribuite in modo regolare sopra il manto di copertura sono più facili da controllare, malgrado la crescita della vegetazione, ed è

possibile aumentare l'altezza dell'impianto di captazione in qualsiasi momento, per mezzo di punte e aste di captazione, facendo in modo che "cresca insieme alla vegetazione". Per la creazione di impianti di captazione esistono diverse possibilità. Di solito viene installata sulla superficie del tetto, indipendentemente dall'altezza dell'edificio, una rete di captazione con una larghezza delle maglie di 5 x 5 m (classe LPS I) fino ad una larghezza massima delle maglie di 15 x 15 m (classe LPS III). Le maglie vanno installate di preferenza sugli spigoli esterni del tetto ed eventualmente sulle costruzioni metalliche utilizzate come impianto di captazione.

Come materiale per impianti di captazione su tetti verdi si è affermato il tondino in acciaio inossidabile (V4A, per esempio AISI/ASTM 316 Ti)

Per l'installazione del tondino nel manto di copertura (nel substrato di terra o granulato) non devono essere utilizzati tondini in alluminio (**Figure da 5.1.7.1 a 5.1.7.3**).

5.1.8 Impianti di captazione isolati

Al giorno d'oggi, sui tetti dei grandi edifici ad uso ufficio e dei capannoni industriali si trovano spesso delle strutture, come impianti di condizionamento e di raffreddamento, ad esempio per un elaboratore dati centrale. Queste strutture montate sul tetto vanno considerate come antenne, lucernari azionati elettricamente, insegne pubblicitarie con illuminazione integrata e tutte le altre costruzioni che sporgono dal tetto, in quanto di solito possiedono un collegamento conduttivo che penetra nell'edificio, ad esempio tramite linee elettriche o condotti.

Secondo lo stato attuale della tecnologia di protezione contro i fulmini, queste costruzioni sul tetto vengono protette da fulminazione diretta con un impianto di captazione isolato. In questo modo si evita che le correnti parziali di fulmine possano entrare all'interno dell'edificio, dove potrebbero compromettere o addirittura distruggere gli impianti elettrici/elettronici sensibili.

In passato queste strutture venivano collegate direttamente, sicché una parte della corrente di fulmine penetrava nell'edificio. Successivamente è stato introdotto il collegamento indi-

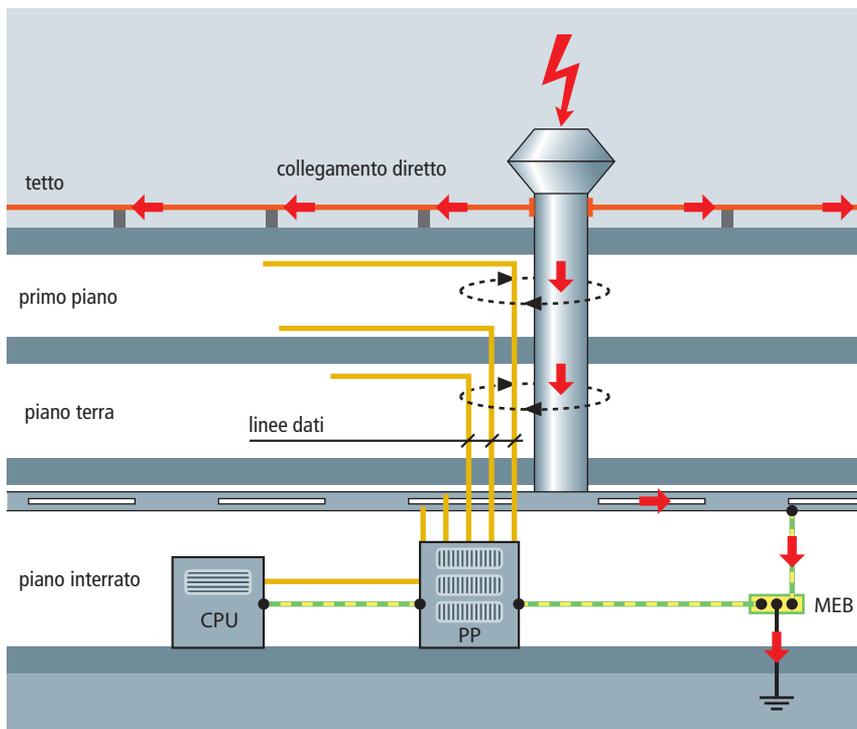


Figura 5.1.8.1 Rischio derivante dal collegamento diretto delle costruzioni sul tetto

retto tramite spinterometro. Così, le fulminazioni dirette sulle strutture installate sul tetto potevano scaricarsi parzialmente attraverso il "conduttore interno", mentre in caso di fulminazione distante dall'edificio lo spinterometro non raggiungeva



Figura 5.1.8.2 Impianto di captazione isolato – Protezione mediante asta di captazione



Figura 5.1.8.3 Asta di captazione con distanziatore

la tensione di innesco. Questa tensione di circa 4 kV veniva quasi sempre raggiunta, pertanto si "iniettava" all'interno dell'edificio una corrente parziale da fulminazione, ad esempio tramite un cavo di alimentazione elettrica, creando interferenze nelle apparecchiature elettriche o elettroniche.

L'unico rimedio per evitare l'ingresso di queste correnti consiste nell'installazione di impianti di captazione isolati che rispettino la distanza di sicurezza s.

La **Figura 5.1.8.1** illustra l'entrata di una corrente parziale di fulmine all'interno di una struttura.

Le varie strutture presenti sul tetto possono essere protette con diverse esecuzioni di impianti di captazione isolati.

Aste di captazione

Per piccole strutture presenti sul tetto (ad esempio piccoli ventilatori) la protezione può essere ottenuta attraverso singole aste di captazione oppure attraverso la combinazione di diverse aste di captazione. Le aste di captazione con altezza fino a 2,0 m possono essere fissate ed



Figura 5.1.8.4 Sostegno angolare dell'asta di captazione



Figura 5.1.8.5 Fissaggio dell'asta di captazione



Figura 5.1.8.6 Sistema di captazione isolato per l'impianto fotovoltaico

isolate con una o due basi in calcestruzzo sovrapposte, come ad esempio l'articolo 102 010 (Figura 5.1.8.2).

A partire da un'altezza di 2,5 m fino a 3,0 m, le aste di captazione devono essere fissate agli oggetti da proteggere con distanziatori in materiale isolante (ad esempio distanziatore DEHNiso) (Figura 5.1.8.3).

Se le aste devono essere fissate anche contro le influenze laterali del vento, allora il sostegno angolare è una soluzione praticabile (Figure 5.1.8.4 e 5.1.8.5).



Figura 5.1.8.7 Impianto di captazione isolato per strutture sul tetto



Figura 5.1.8.8 Posizionamento di un palo componibile in acciaio per la protezione contro i fulmini

Se sono necessarie delle aste di captazione di altezza superiore, ad esempio per grandi strutture poste sul tetto alle quali non è possibile ancorare nulla, è possibile installare tali aste con un supporto speciale.

Con l'ausilio di un tripode, le aste di captazione possono essere posizionate senza ancoraggi fino a raggiungere un'altezza di 14 m. Questi telai vengono fissati al suolo con comuni basamenti in calcestruzzo sovrapposti. A partire da un'altezza libera di 6 m, sono necessari ulteriori sostegni, per poter resistere alle sollecitazioni del vento.



Figura 5.1.8.9 Impianto di captazione sospeso
fonte: Blitzschutz Wettingfeld, Krefeld, Germania



Figura 5.1.8.10 Tripode per aste indipendenti

Le aste di captazione indipendenti possono essere utilizzate per varie applicazioni (ad esempio antenne, impianti fotovoltaici). Questo tipo di dispositivo di captazione si distingue per la rapidità di montaggio, dal momento che non devono essere eseguiti fori né molti avvitiamenti (Figura 5.1.8.6 e 5.1.8.7).

L'intera struttura o impianto (ad esempio impianti fotovoltaici, depositi di esplosivi) è protetta da pali di captazione per mezzo di aste di captazione. Questi pali vengono eretti su un plinto in calcestruzzo o sulle fondazioni di calcestruzzo in sito. Un cestello di fondazione viene installato in fabbrica nel plinto di fondazione oppure viene inserito in sito nella fondazione di calcestruzzo. Si possono raggiungere altezze libere di circa 25 m sopra il livello del suolo (o anche maggiori, in caso di versioni personalizzate). La lunghezza standard dei pali in acciaio componibili per la protezione contro i fulmini viene fornita in singoli elementi componibili, particolarmente comodi per il trasporto.



Figura 5.1.8.11 Dispositivo di captazione isolato con DEHNISO Combi



Figura 5.1.8.12 Staffa di fissaggio di una guida per palo di sostegno DEHNISO Combi



Figura 5.1.8.13 Dispositivo di captazione isolato con DEHNiso Combi

Ulteriori dettagli (ad esempio montaggio, costruzione) su questi pali telescopici in acciaio per la protezione dai fulmini sono reperibili nelle istruzioni di montaggio n. 1729 (**Figura 5.1.8.8**)

Funi o conduttori tesi sopra l'edificio

Secondo la norma IEC 62305-3 (EN 62305-3) possono essere stese delle funi di captazione sopra l'edificio da proteggere.

Le funi di captazione generano ai lati un volume protetto a forma di tenda, e alle estremità un volume protetto a forma di cono. L'angolo di protezione α dipende dalla classe di LPS e dall'altezza dell'impianto di captazione sopra il piano di riferimento.

Per il dimensionamento dei conduttori o delle funi si può usare anche il metodo della sfera rotolante con il corrispondente raggio (a seconda della classe di protezione).

Si può impiegare anche un impianto di captazione a maglie, rispettando la distanza di sicurezza s tra le parti dell'impianto e il dispositivo di captazione. In questo caso i distanziatori isolanti (per esempio) vengono posizionati verticalmente su blocchi di calcestruzzo in modo che la maglia venga stesa ad un'altezza superiore (**Figura 5.1.8.9**).

DEHNiso Combi

La linea di prodotti DEHNiso-Combi offre una possibilità di semplice applicazione per installare conduttori o funi in con-

formità ai tre metodi di progettazione per impianti di captazione (sfera rotolante, angolo di protezione, maglia).

I cavi passano attraverso i tubi di sostegno in alluminio con un "tratto isolato" (in vetroresina), fissati all'oggetto da proteggere, oppure ad un cavalletto. Per mezzo di distanziatori in vetroresina viene realizzato un percorso isolato verso le calate o i dispositivi di captazione (ad esempio maglia).

Ulteriori informazioni sull'utilizzo di DEHNiso Combi sono reperibili nell'opuscolo DS151/E e nelle istruzioni di montaggio n. 1475.

I metodi descritti possono essere combinati liberamente tra di loro, per adattare il dispositivo di captazione alle condizioni del luogo (**Figure da 5.1.8.10 a 5.1.8.13**).

5.1.9 Impianto di captazione per campanili e chiese

Protezione contro i fulmini esterna

Secondo la sezione 18.1 dell'Integrazione 2 della norma tedesca DIN EN 62305-3, un sistema di protezione contro i fulmini in classe LPS III soddisfa i requisiti richiesti per chiese e campanili. In casi singoli particolari, ad esempio per edifici di grande valore culturale, deve essere eseguita un'analisi accurata dei rischi secondo la norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2).

Navata

Secondo la sezione 18.5 dell'Integrazione 2 della norma tedesca DIN EN 62305-3, la navata dovrebbe avere una protezione contro i fulmini propria, che, in caso di campanile annesso, deve essere collegata attraverso la via più breve ad almeno una calata del campanile. In caso di navata trasversale, il conduttore di captazione lungo il colmo trasversale deve avere una calata su ogni estremità.

Campanile

I campanili con un'altezza fino a 20 m devono essere provvisti di una calata. Se il campanile e la navata fanno parte della stessa costruzione, la calata deve essere collegata attraverso la via più breve con il sistema di protezione dai fulmini esterno della navata (**Figura 5.1.9.1**). Se la calata del campanile coincide con la calata della navata, può essere utilizzata una calata comune. Secondo la sezione 18.3 dell'Integrazione 2 della norma tedesca DIN EN 62305-3, campanili più alti di 20 m dovrebbero avere almeno due calate. Almeno una di queste calate deve essere collegata con la protezione contro i fulmini esterna della navata attraverso la via più breve.

Le calate dei campanili generalmente devono essere posate sull'esterno dei campanili stessi. La posa all'interno dei campanili non è permessa (secondo l'integrazione 2 della norma tedesca DIN EN 62305-3). Anche la distanza di sicurezza s dalle parti metalliche e impianti elettrici del campanile (ad esem-



Figura 5.1.9.1 Posa della calata su un campanile

pio orologi, campane) e sotto il tetto (ad esempio impianto di condizionamento, aerazione e riscaldamento) deve essere rispettata attraverso una disposizione della protezione contro i fulmini esterna adeguata. La distanza di sicurezza necessaria può - in particolare per quanto riguarda l'orologio del campanile - costituire un problema. In questo caso, per evitare scariche pericolose in alcune parti del sistema di protezione contro i fulmini esterno, la parte conduttiva verso l'interno può essere sostituita con un elemento isolante (ad esempio con un tubo in vetroresina).

Per chiese di costruzione più recente, edificate in cemento armato, può essere utilizzata come calata l'armatura in acciaio del calcestruzzo purché sia garantita la sua continuità elettrica. Se vengono utilizzati degli elementi prefabbricati in cemento armato, l'armatura può essere utilizzata come calata solo se sugli elementi prefabbricati in cemento sono previste delle giunzioni per il collegamento continuo dell'armatura.

Secondo l'integrazione 2 della norma tedesca DIN EN 62305-3, l'equipotenzialità antifulmini con i sistemi elettrici (impianto elettrico, telefono e diffusione sonora) viene eseguita all'ingresso nell'edificio e per il comando delle campane in alto nel campanile e all'impianto di comando

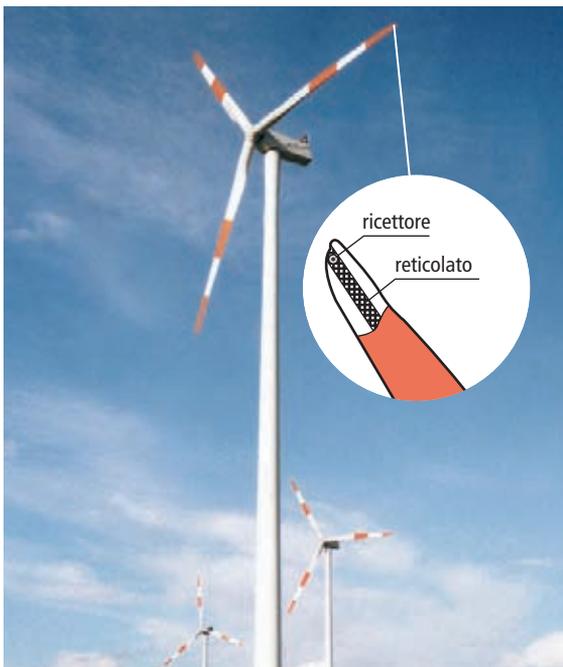


Figura 5.1.10.1 Impianto eolico con ricettori integrati nelle pale



Figura 5.1.10.2 Protezione contro i fulmini gli anemometri di una turbina eolica

5.1.10 Dispositivi di captazione per impianti a energia eolica

Protezione contro i fulmini

Il continuo sviluppo delle moderne turbine eoliche con torri di altezza che supera i 100 metri aumenta in modo notevole il rischio di fulminazione. Inoltre, il valore delle turbine eoliche è aumentato per effetto delle maggiori potenze prodotte. A causa dell'uso generalizzato delle turbine eoliche, questa tecnologia viene utilizzata sempre di più anche in aree dove l'incidenza dei fulmini è elevata. A queste altezze, gli incendi provocati dai fulmini difficilmente possono essere spenti con mezzi antincendio convenzionali.

Le norme internazionali seguono questa tendenza. La norma CEI EN 61400-24 (CEI 88-16) (Turbine eoliche: protezione contro i fulmini) prescrive la classe di protezione LPS I per gli impianti a energia eolica e pertanto le turbine eoliche vanno progettate per correnti di fulmine pari a 200.000 A

Principio della protezione esterna contro i fulmini per impianti a energia eolica

La protezione esterna contro i fulmini è costituita da dispositivi di captazione e calate, più un impianto di messa a terra, e protegge dai danni meccanici e dall'incendio. Le fulminazioni su impianti a energia eolica si verificano maggiormente sulle pale dei rotor, quindi esse integrano dei ricettori per offrire dei punti definiti di impatto dei fulmini (**Figura 5.1.10.1**).

Per scaricare a terra in modo controllato le correnti impresse dal fulmine, i ricettori nelle pale vengono collegati al mozzo con un conduttore metallico (conduttore piatto Fe/tZn 30 x 3,5 mm oppure corda in rame 50 mm²). Spazzole in fibra di carbonio oppure spinterometri collegano poi a loro volta i cuscinetti posti nella testa della navicella, per evitare saldature tra le parti strutturali rotanti. Per proteggere in caso di fulminazione le costruzioni sulla navicella, come ad esempio l'anemometro, vengono montate delle aste di captazione o "gabbie di captazione" (**Figura 5.1.10.2**).

Come calata viene utilizzata la torre metallica oppure, per esecuzioni in calcestruzzo armato precompresso, una calata annegata nel calcestruzzo in filo tondo (Fe/tZn Ø8...10 mm) oppure piatto (Fe/tZn 30 x 3,5 mm). La messa a terra dell'impianto a energia eolica viene realizzata con un dispersore di fondazione posto nel basamento della torre e con un collegamento dell'edificio operativo alla maglia di terra. In questo modo viene creata una superficie equipotenziale che previene le differenze di potenziale in caso di fulminazione.

5.1.11 Aste di captazione soggette all'azione del vento

I tetti vengono sempre più frequentemente utilizzati come area per apparecchiature tecniche. Specialmente per gli ampliamenti dell'attrezzatura tecnica di un edificio, vengono installati impianti voluminosi proprio sulle superfici del tetto di grandi edifici per uffici e capannoni industriali. In questo caso è necessario proteggere le varie strutture installate sul tetto, come gli impianti di condizionamento e di raffreddamento, le antenne di impianti di telefonia mobile posti in spazi in affitto sugli edifici, lampioni, sfiati dei fumi e altri impianti collegati all'impianto elettrico in bassa tensione (**Figura 5.1.11.1**)

In base alle norme di protezione contro i fulmini vigenti della serie CEI EN 62305 (CEI 81-10), queste strutture sul tetto

possono essere protette dalla fulminazione diretta con l'installazione di un sistema di captazione isolato. In tale contesto vengono isolati sia i dispositivi di captazione come aste, punte o maglie, sia le calate, cioè vengono installate rispettando una distanza di sicurezza sufficiente dalle costruzioni installate sul tetto e situate entro il volume protetto. Attraverso la costruzione di un impianto di protezione contro i fulmini isolato si crea un volume protetto dalle fulminazioni dirette e inoltre viene evitata l'infiltrazione di correnti parziali di fulmine all'interno dell'edificio. Questo è importante, dal momento che l'infiltrazione di correnti parziali di fulmine può creare interferenze agli impianti elettrici/elettronici o distruggerli.

Per strutture di notevoli dimensioni viene inoltre installato un sistema di dispositivi di captazione isolati. Questi sono collegati sia tra loro sia con l'impianto di terra. Le dimensioni del volume protetto corrispondente dipendono, tra l'altro, dal numero e dall'altezza dei dispositivi di captazione installati.

La protezione per le strutture di dimensioni inferiori viene ottenuta attraverso una sola asta di captazione. In questo caso viene utilizzato il metodo della sfera rotolante secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) (**Figura 5.1.11.2**).

Con il metodo della sfera rotolante, viene fatta rotolare in tutte le direzioni possibili, sui lati e sopra la struttura, una sfera con un raggio che dipende dalla classe di LPS scelta. La sfera rotolante può toccare solamente il suolo (superficie di riferimento) e/o l'impianto di captazione.

Con questo metodo si ottiene un volume protetto, all'interno del quale non possono verificarsi fulminazioni dirette.

Per ottenere un volume protetto il più ampio possibile, oppure per poter proteggere dalla fulminazioni dirette le costruzioni



Figura 5.1.11.1 Protezione dalle scariche dirette con aste indipendenti

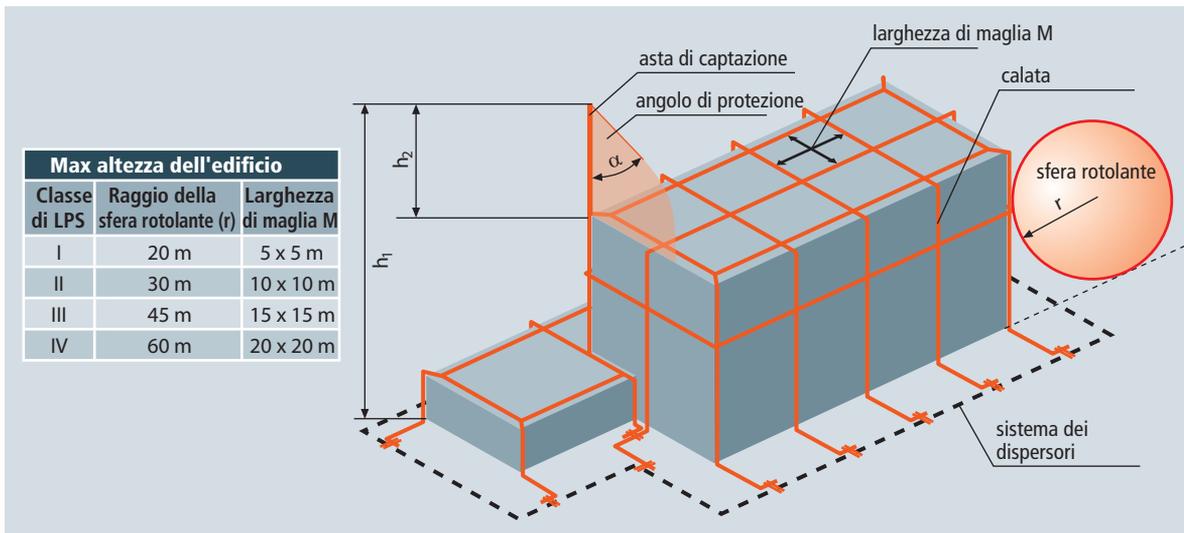


Figura 5.1.11.2 Metodo per la disposizione degli organi di captazione su edifici secondo CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)

poste sul tetto e di notevoli dimensioni, bisogna installare delle aste di captazione con altezza adeguata. Per questo le aste di captazione indipendenti, attraverso una disposizione della base adeguata e dei sostegni supplementari, vengono protette contro il ribaltamento e la rottura (Figura 5.1.11.3).

Alla necessità di avere un'altezza maggiore possibile dell'asta di captazione indipendente si contrappone tuttavia una maggiore sollecitazione dell'asta dall'esposizione al vento. Allo stesso tempo per la facilitazione del trasporto e del montaggio, è necessaria una costruzione leggera del sistema "asta di captazione indipendente". Per l'utilizzo sicuro delle aste di captazione sui tetti deve perciò essere verificata la loro stabilità.

Sollecitazioni prodotte dal vento

Poiché l'utilizzo di aste di captazione indipendenti avviene in luoghi esposti (ad esempio sui tetti), si hanno delle sollecitazioni meccaniche che in base al luogo di utilizzo e alla velocità del vento equivalgono alle sollecitazioni a cui vengono normalmente sottoposte le strutture portanti delle antenne. Per quanto riguarda la resistenza meccanica delle aste di captazione indipendenti, valgono principalmente gli stessi requisiti imposti alle strutture portanti di antenne, come definite nella norma EN 1993-3-1, Eurocodice 3: Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 3-1: Torri, pali e ciminiere – Torri e pali. Nella (Figura 5.1.11.4) è visibile la suddivisione in zone per l'Italia. Per questo la disposizione delle aste di captazione viene calcolata con una velocità media del vento di 145km/h e quindi adattabile alle maggiori situazioni nelle zone 1, 2 e 3, che nell'insieme coprono all'incirca il 80% del territorio italiano.

Per l'installazione di aste di captazione indipendenti devono essere rispettati i seguenti requisiti dal punto di vista della sollecitazione prodotta dai carichi di vento:

- ➔ sicurezza delle aste di captazione contro il ribaltamento;
- ➔ sicurezza contro la rottura delle aste;
- ➔ rispetto delle distanze di isolamento necessarie verso l'oggetto da proteggere, anche sotto l'effetto del carico del vento (evitare flessioni inammissibili).

Determinazione della resistenza al ribaltamento

La forza del vento che agisce sulla superficie dell'asta di captazione esposta al vento, genera una linea di carichi sulla superficie (q') che a sua volta produce un momento ribaltante (M_T) sull'asta di captazione indipendente. Per assicurare la stabilità dell'asta di captazione indipendente occorre una coppia antagonista (M_L) prodotta dal supporto, atta a contrastare il momento ribaltante (M_T). La grandezza della coppia antagonista (M_L) dipende dal peso e dal raggio del basamento. Se il momento ribaltante è maggiore della coppia antagonista, l'asta di captazione cadrà a causa del carico dovuto al vento. La prova di stabilità delle aste di captazione indipendente viene effettuata attraverso calcoli statici. Nel calcolo, oltre ai valori di riferimento meccanici dei materiali utilizzati, vengono integrate anche le seguenti indicazioni:

- ➔ **Superficie esposta al vento dell'asta di captazione:**
determinata dalla lunghezza e dal diametro delle singole parti dell'asta di captazione.
- ➔ **Superficie esposta al vento dei supporti:**

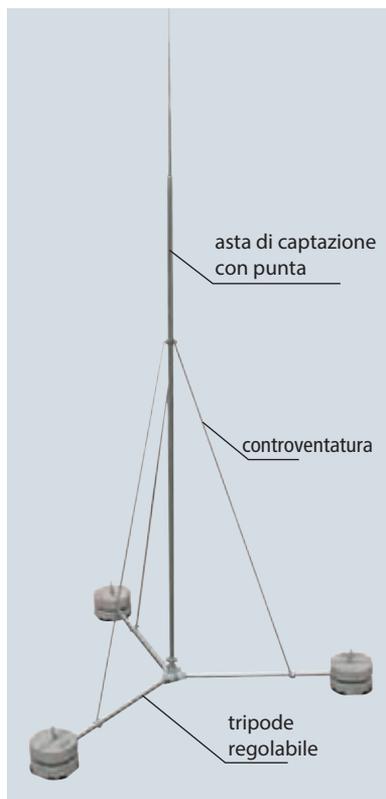


Figura 5.1.11.3 Asta di captazione indipendente con tripode

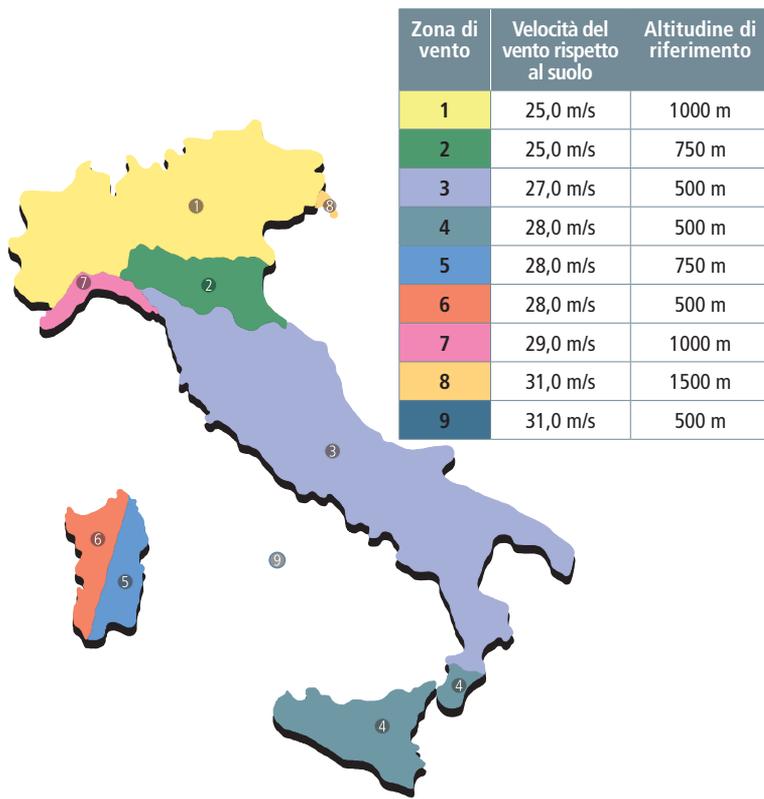


Figura 5.1.11.4 Definizione delle zone di ventosità in Italia con i corrispettivi valori della massima velocità del vento pressione cinetica.

le aste di captazione indipendenti di altezza molto elevata sono sostenute da tre supporti fissati in modo uniforme attorno alla circonferenza. La superficie esposta al vento dei supporti corrisponde alla loro superficie proiettata su un piano ortogonale rispetto alla direzione del vento, pertanto la lunghezza dei supporti utilizzata nel calcolo risulta accorciata di conseguenza.

➔ **Peso dell'asta di captazione e dei supporti:**

per il calcolo della coppia antagonista va considerato il peso proprio dell'asta di captazione e dei supporti.

➔ **Peso del basamento:**

il basamento è una costruzione a forma di treppiede, zavorrata da blocchi in calcestruzzo. Il peso del basamento è composto dal peso proprio del treppiede e dalle masse singole dei blocchi in calcestruzzo sovrapposti.

➔ **Leva di ribaltamento del basamento:**

la leva di ribaltamento costituisce la distanza minore tra il centro del treppiede e la linea o il punto attorno al quale il sistema si ribalterebbe.

La stabilità si verifica confrontando le seguenti coppie:

➔ **Momento ribaltante:**

dato dalla forza dovuta al carico del vento sull'asta e sui sostegni e dalla leva costituita dall'asta di captazione.

➔ **Coppia antagonista:**

data dal peso del basamento, dal peso dell'asta di captazione e dei sostegni e della lunghezza della leva di ribaltamento del treppiede.

La stabilità è raggiunta quando il rapporto tra la coppia antagonista e il momento ribaltante presenta un valore >1. Fondamentalmente si avrà che maggiore è il rapporto tra coppia antagonista e momento ribaltante maggiore sarà la stabilità

Esistono le seguenti possibilità per ottenere la stabilità necessaria.

➔ Per mantenere piccola la superficie esposta al vento dell'asta di captazione vengono utilizzate delle sezioni più piccole possibili. La sollecitazione sull'asta di captazione viene ridotta; per contro, tuttavia, la stabilità meccanica dell'asta di captazione diminuisce (pericolo di rottura dell'asta). E' decisivo, perciò, un compromesso tra una sezione più pic-

cola possibile per ridurre il carico dovuto al vento e una sezione più grande possibile per ottenere la resistenza necessaria.

- ➔ La stabilità può essere aumentata, se vengono utilizzati dei pesi più grandi e/o dei raggi del basamento maggiori. Questa necessità entra spesso in contraddizione con le limitate superfici di posizionamento e il requisito generale di peso minimo e semplicità di trasporto.

Realizzazione

Per poter offrire una superficie esposta al vento più ridotta possibile, le sezioni delle aste di captazione sono state ottimizzate in base ai risultati dei calcoli. Per facilitare il trasporto e il montaggio, l'asta di captazione è costituita da un tubo in alluminio (su richiesta componibile) e un'asta di captazione in alluminio. Il basamento è ripiegabile e viene fornito in due varianti. Quindi, inclinazioni del tetto fino a 10° possono essere corrette.

Determinazione della resistenza alla rottura

Oltre alla stabilità deve essere eseguita anche una prova di resistenza alla rottura dell'asta di captazione, poiché a causa del carico dovuto al vento si verificano delle sollecitazioni di flessione sull'asta di captazione indipendente. Il carico a flessione non deve superare il massimo carico ammissibile a flessione, ed esso aumenta con la lunghezza delle aste di captazione utilizzate. Le aste di captazione devono essere progettate in modo che il possibile carico dovuto al vento nelle zone 1, 2 o 3 non causi deformazioni permanenti nelle aste.

Poiché bisogna prendere in considerazione la geometria esatta dell'asta di captazione e il comportamento non lineare dei

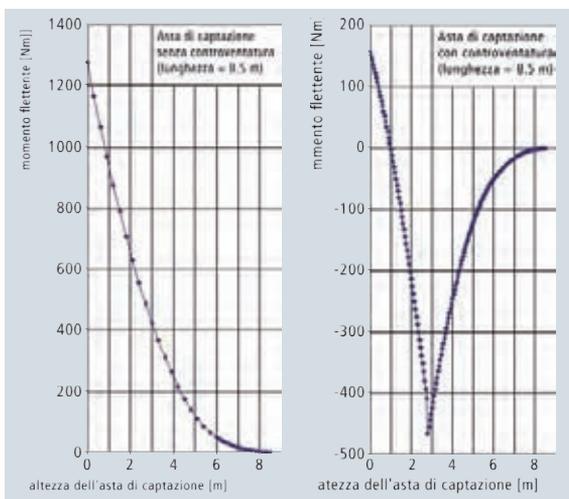


Figura 5.1.11.5 Confronto del momento flettente su aste di captazione indipendenti con e senza sostegno (lunghezza = 8,5 m)

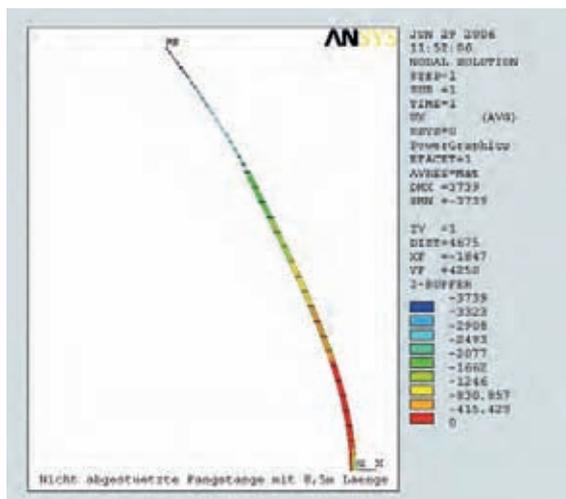


Figura 5.1.11.6 Modello FEM dell'asta di captazione indipendente senza sostegno (Lunghezza = 8,5 m)

materiali, la resistenza alla rottura delle aste di captazione indipendenti viene verificata per mezzo del calcolo agli elementi finiti (FEM). Il metodo degli elementi finiti (FEM) è un procedimento di calcolo numerico, con il quale possono essere calcolate le flessioni e deformazioni di strutture geometriche complesse. La struttura da analizzare viene suddivisa da superfici e linee immaginarie in cosiddetti "elementi finiti" collegati tra loro tramite nodi.

Per il calcolo sono necessarie le seguenti informazioni:

➔ Modello di calcolo FEM:

Il modello di calcolo FEM corrisponde in forma semplificata alla geometria dell'asta di captazione indipendente.

➔ Caratteristiche dei materiali:

Il comportamento del materiale viene definito tramite i valori di sezione, modulo di elasticità, compattezza e contrazione trasversale.

➔ Sollecitazioni:

Il carico dovuto al vento viene inserito nel modello geometrico come carico di pressione.

La resistenza alla rottura viene definita attraverso il confronto della sollecitazione di flessione ammessa (proprietà del materiale) e la sollecitazione di flessione massima (calcolata sul momento flettente e sulla sezione effettiva nel punto di massima sollecitazione).

La resistenza alla rottura viene verificata se il rapporto tra la sollecitazione di flessione ammessa e la sollecitazione effettiva è > 1. Fondamentalmente vale anche in questo caso la seguente regola: più è grande il rapporto tra la sollecitazione

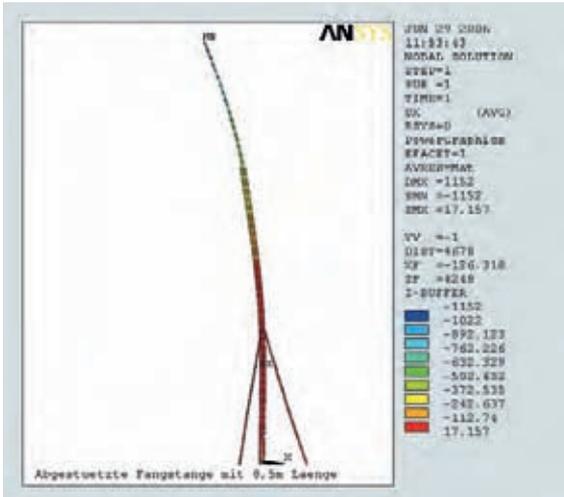


Figura 5.1.11.7 Modello FEM dell'asta di captazione indipendente con sostegno (Lunghezza = 8,5 m)

di flessione ammessa e quella effettiva, maggiore sarà la resistenza alla rottura.

Con il modello di calcolo FEM sono stati calcolati i momenti flettenti per due aste di captazione (lunghezza = 8,5 m) con sostegno e senza sostegno in funzione dell'altezza delle aste di captazione (Figura 5.1.11.5). In tale contesto si può notare l'influenza di un eventuale sostegno sui momenti flettenti. Mentre il momento flettente massimo con asta di captazione senza sostegno nel punto di serraggio è di ca. 1270 Nm, il momento flettente si riduce grazie al sostegno a circa 460 Nm. Attraverso questo sostegno è possibile ridurre le sollecitazioni nell'asta fino al punto in cui con un carico dovuto al vento massimo presunto non venga superata la resistenza dei materiali utilizzati e quindi le aste di captazione non vengano distrutte.

Realizzazione

I sostegni creano un "punto di supporto" supplementare attraverso il quale le sollecitazioni di flessione presenti nell'asta di captazione vengono ridotte considerevolmente. Senza sostegno supplementare le aste di captazione non resisterebbero alle sollecitazioni del vento in zona 2. Per questo motivo le aste di captazione a partire da un'altezza di 6 m sono dotate di sostegni.

Oltre ai momenti flettenti, il calcolo FEM fornisce anche i carichi nei sostegni per i quali va verificata la stabilità.

Determinazione della flessione dell'asta di captazione causata dal carico dovuto al vento

Un altro risultato di calcolo importante del modello FEM è la flessione della punta dell'asta di captazione. I carichi dovuti al vento provocano la flessione delle aste di captazione. La flessione dell'asta ha come conseguenza una variazione del volume da proteggere. Gli oggetti da proteggere non si trovano più nel volume protetto e/o le distanze di isolamento non vengono più rispettate.

L'utilizzo del modello di calcolo su un'asta di captazione indipendente senza e con sostegno conduce ai risultati seguenti (Figura 5.1.11.6 e 5.1.11.7). Dal calcolo risulta, per l'esempio selezionato, uno spostamento di ca. 1150 mm della punta dell'asta di captazione con sostegno. Senza sostegno si verificherebbe uno spostamento di ca. 3740 mm, un valore teorico che supera il limite di rottura dell'asta di captazione in esame.

Realizzazione

Sostegni supplementari al di sopra di una determinata altezza dell'asta portano a una notevole riduzione di tali deviazioni. Inoltre, si riduce anche il carico di flessione sull'asta.

La resistenza al ribaltamento, alla rottura e alla flessione sono fattori decisivi per la progettazione delle aste di captazione. Basamento e asta di captazione devono essere coordinati in modo che le sollecitazioni che si verificano a causa della velocità del vento corrispondente alla zona di installazione (per esempio zona 2) non provochino un ribaltamento e/o un danneggiamento dell'asta.

Occorre inoltre considerare che notevoli flessioni dell'asta di captazione riducono la distanza di sicurezza e quindi potrebbero crearsi degli avvicinamenti non ammessi. Diventa a questo punto necessario un sostegno supplementare per le aste di captazione di altezza considerevole, in modo da evitare queste flessioni non ammesse delle punte delle aste di captazione. Le misure descritte garantiscono che le aste di captazione indipendenti, utilizzate in modo corretto, resistano alla velocità del vento prevista, per esempio, in zona 2.

5.1.12 I sistemi di sicurezza e la protezione contro i fulmini.

Sui tetti degli edifici industriali e commerciali è normale eseguire lavori di manutenzione e riparazione. Tuttavia, anche i lavori come la pulizia delle grondaie e delle lampade rettilinee comporta rischi di caduta. Pertanto è abbastanza normale al giorno d'oggi che i tetti piani degli edifici industriali siano dotati di funi di sicurezza. Il personale addetto alle riparazioni deve agganciarsi ai dispositivi di protezione individuale (DPI) del sistema di funi di sicurezza (Figura 5.1.12.1) o prevenire le cadute per mezzo dei punti di ancoraggio. Il vantaggio dei sistemi di sicurezza a fune rispetto ai punti di ancoraggio è che gli operatori possono spostarsi lungo la fune agganciandosi ad

essa grazie ad appositi dispositivi scorrevoli. Non è necessario il fissaggio al punto fisso di ancoraggio successivo. Questo consente di aumentare la sicurezza sul lavoro e l'accettazione di un tale sistema.

Sul tetto vengono a trovarsi due diversi sistemi, cioè l'impianto della fune di sicurezza e il sistema di protezione contro i fulmini. Pertanto bisogna coordinare la loro intersezione. Per quanto riguarda la sicurezza personale, può essere pericolosa la circo-



Figura 5.1.12.1 Cavo di sicurezza su un tetto piano



Figura 5.1.12.2 Installazione non corretta: il cavo di sicurezza interseca i captatori

stanza nella quale due diversi operatori lavorano su un sistema che non conoscono bene. Ciascuno di essi deve lavorare con competenza in modo indipendente e osservare gli obblighi di garanzia nei confronti dell'altro personale coinvolto. Pertanto, solo le imprese appositamente specializzate devono installare i sistemi di sicurezza con fune, mentre gli specialisti qualificati nella protezione contro i fulmini esterna andranno a operare su tali sistemi di protezione.

I sistemi dotati di funi di sicurezza sono soggetti a fulmini poiché sono installati circa 30 cm al di sopra di una rete di captazione comune. Per questo molti produttori di sistemi con funi di sicurezza prescrivono nelle istruzioni di installazione il controllo annuale del sistema nei confronti dei fulmini e dalla possibile fusione del metallo risultante dall'iniezione della corrente di fulmine. L'Associazione commerciale centrale tedesca delle coperture (ZVDH) e il comitato di ricerca per la protezione contro i fulmini (ABB) presso il VDE ha pubblicato un bollettino in lingua tedesca (sistemi di protezione contro i fulmini esterna montati su tetti e pareti esterne).

Installazione non corretta

La **Figura 5.1.12.2** mostra un esempio negativo che purtroppo si riscontra spesso nella pratica corrente. La fune di sicurezza è stata posta al di sopra del sistema di protezione dai fulmini. E' anche discutibile se la tradizionale fascetta di collegamento del sistema della fune di sicurezza utilizzato in questo esempio sia in grado di trasportare la corrente di fulmine. Il cavo utilizzato per collegare il sistema della fune di sicurezza alla rete a maglie è molto corto. Se una persona cade dal tetto, la corda di sicurezza può abbassarsi fino a 1 m per compensare la caduta. Il cavo di collegamento troppo corto illustrato nella **Figura 5.1.12.2** si romperebbe, influenzando notevolmente l'effetto di compensazione in caso di caduta. Questo non è ammesso.

Protezione contro i fulmini

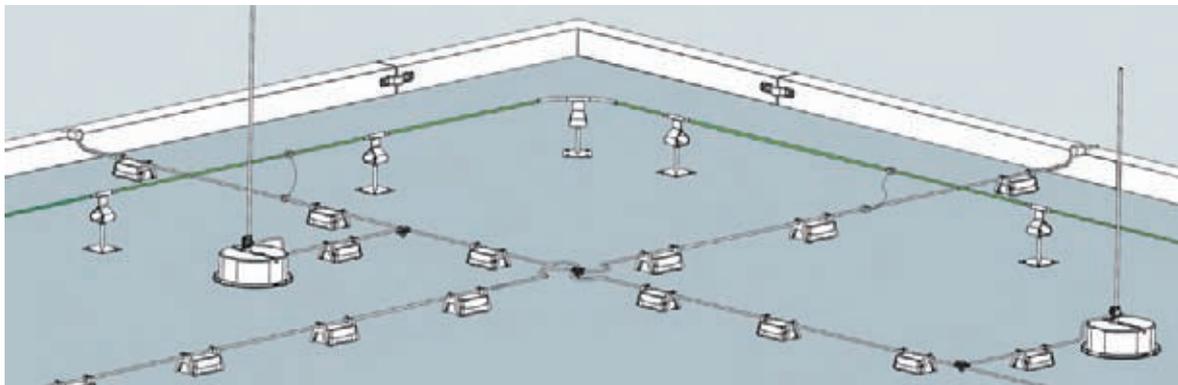


Figura 5.1.12.3 Integrazione dei cavi di sicurezza (anticaduta) nel sistema dei captatori

La fune del sistema di sicurezza fa parte di un sistema di sicurezza personale e non deve essere usato come un sistema di captazione! Se nella fune di sicurezza viene iniettata la corrente di fulmine, la fune può subire danni per effetto della fusione (riduzione della sezione e della resistenza). Pertanto, la fune di sicurezza deve essere integrata nel sistema di protezione contro i fulmini esterna. Le **Figure 5.1.12.3 e 5.1.12.4** mostrano il principio di base.

Il sistema della fune di sicurezza si trova nel volume protetto dalle aste di captazione. Per implementare un collegamento equipotenziale, viene stabilito un collegamento elettrico sicuro nei punti di intersezione tra il sistema delle funi di sicurezza e le maglie della rete di captazione.

Questi collegamenti devono essere in grado di trasportare la corrente di fulmine e devono essere montati in maniera

corretta in funzione del diametro del cavo. Essi vanno anche progettati in modo che non incrocino gli appositi dispositivi scorrevoli. Il gruppo di collegamento sviluppato specificamente da DEHN per i sistemi di sicurezza a fune offre una portata nei confronti della corrente elettrica adeguata a un sistema di protezione contro i fulmini. Non è necessario sganciare i dispositivi di protezione individuale, garantendo così una protezione permanente contro le cadute. La **Figura 5.1.12.5** mostra un esempio di installazione corretta. Il capocorda di collegamento è progettato in modo che il dispositivo scorrevole della fune di sicurezza possa passare sopra il collegamento senza sganciarlo. L'intero gruppo di collegamento tra il sistema a fune e la rete a maglie del sistema di protezione contro i fulmini esterna, è posizionato in modo da garantire che la lunghezza del cavo possa abbassarsi fino a 1 m in caso di caduta di una persona senza interrompere il collegamento. A questo scopo, il gruppo di collegamento deve essere provvisto di un cavo di collegamento più lungo.



Figura 5.1.12.4 Struttura con tetto piano - Particolare

5.2 Calate

Per calate si intende il collegamento elettrico tra il dispositivo di captazione e l'impianto di messa a terra. Le calate devono condurre la corrente di fulmine captata verso l'impianto di messa a terra, senza creare danni all'edificio, ad esempio a causa di un eccessivo riscaldamento.

Per ridurre il rischio di danni durante la scarica della corrente di fulmine verso l'impianto di terra, le calate devono essere

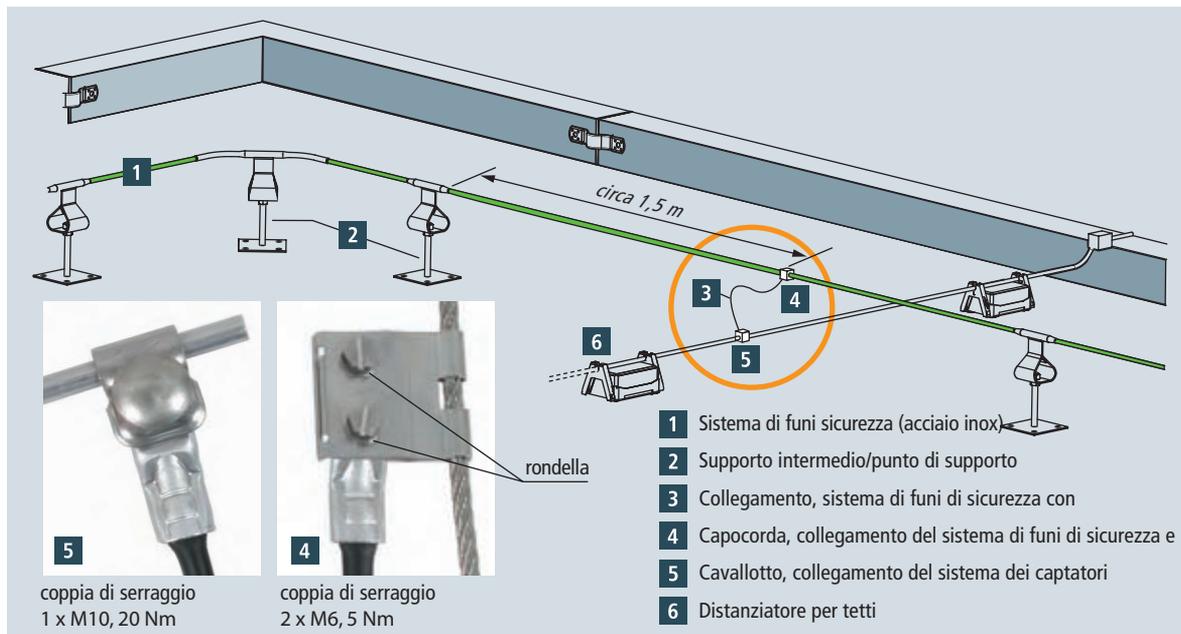


Figura 5.1.12.5 Esempio di posa: gruppo di collegamento per captatori

posate in modo tale che dal punto d'impatto del fulmine verso terra:

- ➔ esistano diversi percorsi paralleli della corrente,
- ➔ la lunghezza dei percorsi della corrente sia la più corta possibile (diritta, verticale, senza spire),
- ➔ i collegamenti verso i corpi metallici della struttura siano realizzati in tutti i punti necessari.

5.2.1 Determinazione del numero di calate

Il numero di calate dipende dalla dimensione perimetrale del tetto. La disposizione delle calate deve essere eseguita in modo che, partendo dagli angoli della struttura, le calate siano distribuite il più uniformemente possibile su tutto il perimetro. A seconda della struttura (ad esempio portoni, prefabbricati in calcestruzzo) le distanze tra le varie calate possono variare. In ogni caso deve essere rispettato il numero minimo delle calate necessarie, a seconda della classe di LPS.

Nella norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) vengono elencate le distanze tipiche tra calate e conduttori ad anello, a seconda della classe di LPS (**Tabella 5.2.1.1**).

Il numero esatto di calate può essere individuato solamente tramite il calcolo della distanza di sicurezza s . Se la distanza di sicurezza calcolata non può essere rispettata per il numero di calate pianificate, è possibile aumentare il numero di calate per raggiungere l'obiettivo. I percorsi di corrente paralleli migliorano il coefficiente di distribuzione della corrente k_c . Con

Classe di LPS	Distanza tipica
I	10 m
II	10 m
III	15 m
IV	20 m

Tabella 5.2.1.1 Valori tipici della distanza tra le calate secondo CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)

questo la corrente nelle due calate si riduce e quindi è possibile mantenere la distanza di sicurezza richiesta.

Gli elementi naturali della struttura (ad esempio colonne portanti in acciaio-calcestruzzo, struttura portante in acciaio) possono essere utilizzati anch'essi come calate, purché sia garantita la loro continuità elettrica.

Grazie alle interconnessioni tra le calate al livello del suolo (conduttore alla base) e grazie ai conduttori ad anello per gli edifici più alti, si può bilanciare la distribuzione della corrente di fulmine, riducendo quindi la distanza di sicurezza s .

Nell'ultima edizione delle norme CEI EN 62305 (CEI 81-10) viene data grande importanza alla distanza di sicurezza. Le misure elencate permettono di ridurre la distanza di sicurezza per le strutture e quindi la corrente di fulmine può essere scaricata in modo sicuro.

Se queste misure non sono sufficienti per mantenere la distanza di sicurezza richiesta, possono essere utilizzate anche delle condutture di nuova generazione isolate resistenti all'alta tensione (HVI). Queste vengono descritte nel capitolo 5.2.4.

L'individuazione esatta della distanza di sicurezza viene descritta nel capitolo 5.6.

5.2.2 Calate in un sistema di protezione contro i fulmini non isolato

Le calate vengono ancorate principalmente direttamente sull'edificio (senza alcuna distanza di sicurezza). Un motivo per la posa direttamente sull'edificio è l'aumento di temperatura che si verifica in caso di fulminazione sul sistema di protezione contro i fulmini.

Se la parete è composta da materiale difficilmente o moderatamente infiammabile, le calate possono essere installate direttamente sul muro o al suo interno.

In base alle indicazioni contenute nei regolamenti edilizi dei vari paesi, solitamente non vengono utilizzati materiali di costruzione facilmente combustibili. Perciò di solito le calate possono essere montate direttamente sugli edifici.

q [mm ²]	Ø [mm]	Classe di LPS											
		Alluminio			Ferro			Rame			Acciaio inossidabile (V4A)		
		III + IV	II	I	III + IV	II	I	III + IV	II	I	III + IV	II	I
16		146	454	*	1120	*	*	56	143	309	*	*	*
50	8 mm	12	28	52	37	96	211	5	12	22	190	460	940
78	10 mm	4	9	17	15	34	66	3	5	9	78	174	310

* fusione / vaporizzazione

Tabella 5.2.2.1 Aumento della temperatura ΔT in K per vari materiali conduttori

Il legno con una massa specifica di oltre 400 kg/m² e uno spessore di oltre 2 mm viene considerato come moderatamente infiammabile. Per questo la calata può essere applicata direttamente anche su pali in legno, per esempio.

Se la parete è costituita da materiale facilmente combustibile, le calate possono essere installate direttamente sulla superficie della parete, a condizione che l'aumento di temperatura prodotto dal passaggio di corrente di fulmine non sia pericoloso.

L'aumento di temperatura massimo ΔT in K dei diversi conduttori, a seconda della classe di protezione LPS, è riportato nella **Tabella 5.2.2.1** In base a questi valori è di solito permesso posare le calate anche dietro all'isolamento termico, dal momento che questi aumenti di temperatura non costituiscono

pericolo di incendio per l'isolamento. Ciò assicura anche un effetto ritardante in caso di incendio.

In caso di calata posata dentro o dietro un isolamento termico, l'utilizzo di un rivestimento supplementare in PVC (o cavo di alluminio rivestito di PVC) permette di ridurre l'aumento di temperatura sulla superficie.

Se la parete è costituita da materiale facilmente combustibile e l'aumento della temperatura delle calate può essere pericoloso, le calate dovranno essere posate in modo che la distanza tra le calate e la parete sia maggiore di 0,1 m. Gli elementi di fissaggio possono toccare la parete. E' compito dell'installatore dell'impianto indicare se la parete sulla quale viene posata la calata è composta di materiale combustibile.

La definizione dei termini "non combustibile", "facilmente combustibile" sono definiti nella norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) al capitolo 5, paragrafo 5.3.4 "Costruzione".

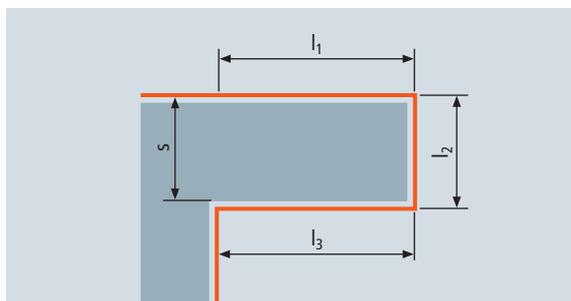


Figura 5.2.2.1.1 Spirale in una calata

5.2.2.1 Realizzazione delle calate

Le calate devono essere posizionate in modo da costituire la continuazione diretta dei conduttori di captazione. Devono essere posate in modo rettilineo e in verticale, in modo da realizzare il collegamento diretto più breve possibile verso terra. Deve essere evitata la formazione di spire, ad esempio attorno a gronde sporgenti oppure avancorpi. Se questo non è possibile, la distanza misurata dove due punti di una calata sono più vicini e la lunghezza l della calata tra questi due punti, devo-

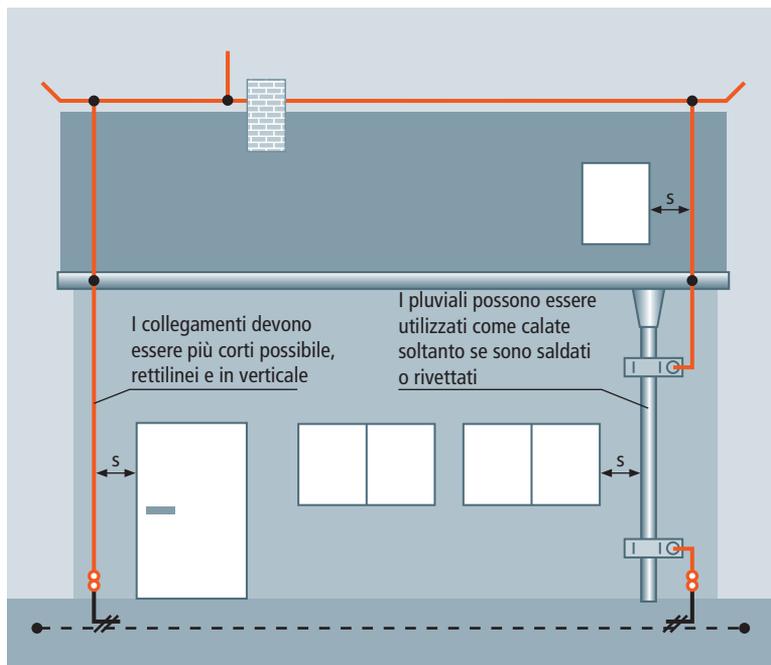


Figura 5.2.2.1.2 Calate



Figura 5.2.2.1.3 Organo di captazione con collegamento alla grondaia



Figura 5.2.2.1.4 Collegamento di terra di una calata

no soddisfare i requisiti della distanza di sicurezza s (**Figura 5.2.2.1.1**). La distanza di sicurezza s viene calcolata per mezzo della lunghezza complessiva: $l = l_1 + l_2 + l_3$.

Le calate non possono essere posate all'interno di grondaie e pluviali, anche se questi sono rivestiti di materiale isolante. L'umidità presente nei pluviali potrebbe causare una corrosione eccessiva delle calate.

Se si impiegano calate in alluminio, queste non vanno posate direttamente (senza distanza di sicurezza) sopra, dentro o sotto intonaco, malta, calcestruzzo, e neppure interrate. Con un rivestimento in PVC è possibile la posa di alluminio in malta, intonaco o calcestruzzo, se ci si assicura che il rivestimento non venga danneggiato meccanicamente e che non si verifichi una rottura dell'isolamento alle basse temperature.

Viene altresì consigliato di posare le calate in modo da mantenere verso tutte le porte e le finestre la distanza di sicurezza s richiesta (**Figura 5.2.2.1.2**).

Nei punti di incrocio con le calate, i pluviali in metallo devono essere collegati con le calate (**Figura 5.2.2.1.3**).

I pluviali in metallo, anche se non utilizzati come calate, sono da collegare alla base con il sistema equipotenziale oppure con l'impianto di terra. Attraverso il collegamento con la gronda del tetto, nella quale scorre la corrente di fulmine, il pluviale conduce anch'esso una parte della corrente da fulmine che deve essere condotta verso l'impianto di terra. Un esempio di esecuzione è illustrato nella **Figura 5.2.2.1.4**.

5.2.2.2 Elementi naturali della calata

Quando vengono utilizzati come calata degli elementi naturali della struttura, il numero di calate da installare in aggiunta può essere ridotto e in determinati casi le calate possono essere eliminate del tutto.

Come "parti naturali" di una calata possono essere utilizzate le parti seguenti di una struttura:

➔ Installazioni metalliche

Possono essere utilizzate a condizione che esista un collegamento continuo e duraturo tra i diversi elementi, e le loro dimensioni corrispondano ai requisiti minimi per le calate. Queste installazioni metalliche possono anche essere incorporate nel materiale isolante. L'utilizzo come calata di tubazioni con contenuto infiammabile o esplosivo come calata non è permesso, se le guarnizioni nelle flange/giunti non sono in metallo oppure se le flange/giunti delle tubazioni non sono collegati elettricamente in altro modo.

➔ Telaio portante metallico della struttura

Se come calata si utilizza la struttura portante in acciaio di una costruzione oppure l'armatura elettricamente continua della struttura, non sono necessari degli anelli aggiuntivi, dal momento che questi non offrirebbero alcun miglioramento nella distribuzione della corrente.

➔ Armatura della struttura collegata in modo elettricamente continuo

In una struttura esistente l'armatura non può essere utilizzata come parte naturale della calata, a meno che l'armatura stessa sia collegata in modo elettricamente continuo. Devono essere posate delle calate esterne separate.

➔ Elementi prefabbricati in calcestruzzo

Negli elementi prefabbricati in calcestruzzo devono essere previsti dei punti di connessione sull'armatura. Devono avere un collegamento elettricamente continuo tra tutti i punti di connessione. Le singole parti devono essere collegate tra loro durante il montaggio in cantiere (**Figura 5.2.2.2.1**).

➔ Elementi delle facciate, profilati e sottostrutture metalliche delle facciate.

Questi elementi possono essere utilizzati come calata naturale a condizione che le loro dimensioni corrispondano ai requisiti minimi delle calate (sezione 5.6.2 della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)) e che lo spessore delle tubazioni metalliche e delle lamiera metalliche non sia inferiore a 0,5 mm, e che la loro conduttività in direzione verticale soddisfi le specifiche della sezione 5.5.3 della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3).

Nota: in caso di calcestruzzo precompresso, deve essere considerato il particolare rischio di eventuali influenze meccaniche inammissibili, dovute alla corrente da fulminazione e derivanti dalla connessione al sistema di protezione contro i fulmini.

Il collegamento tramite tiranti o funi può essere effettuato solo se si trova al di fuori della zona di tesatura. Prima dell'utilizzo di tiranti o funi tenditrici come calate, va richiesta l'approvazione dell'installatore della struttura.

Se l'armatura delle strutture esistenti non è collegata in modo elettricamente continuo, essa non può essere utilizzata come calata. In questo caso dovranno essere posate delle calate esterne.

Inoltre, gli elementi delle facciate, i profilati e le sottostrutture metalliche delle facciate possono essere utilizzate come calata naturale, a condizione che:

➔ le loro dimensioni corrispondano ai requisiti minimi delle calate. Per lamiera metalliche lo spessore non deve essere inferiore a 0,5 mm. La loro continuità elettrica verticale deve essere garantita. Se come calate vengono utilizzate le facciate metalliche, queste devono essere collegate in

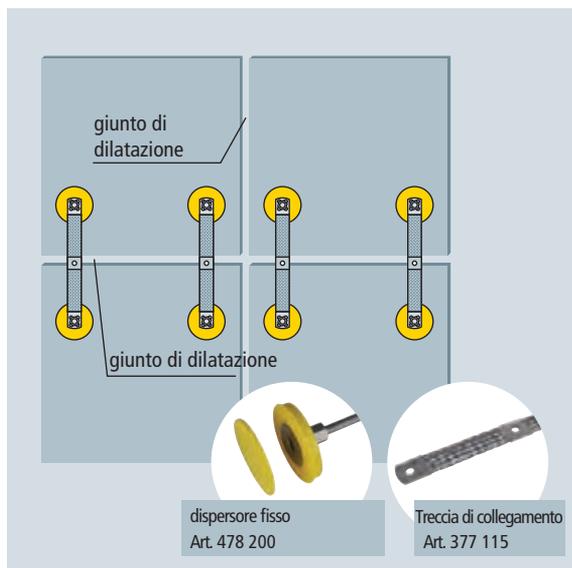


Figura 5.2.2.2.1 Utilizzo di elementi naturali - Nuove strutture in elementi prefabbricati in calcestruzzo

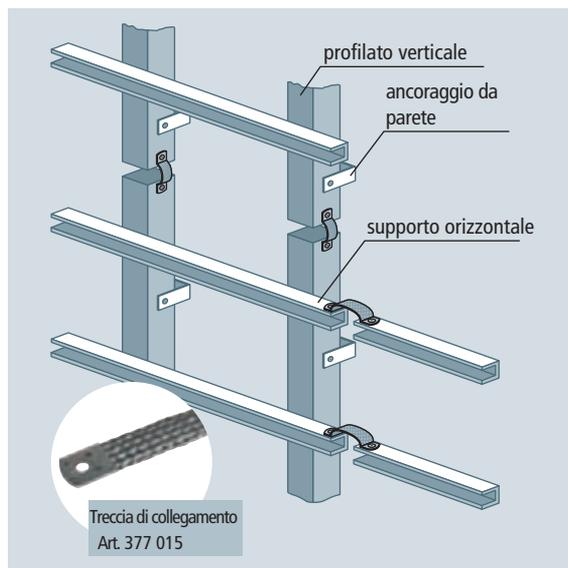


Figura 5.2.2.2.2 Sottostruttura metallica con giunzioni per la continuità elettrica



Figura 5.2.2.2.3 Collegamento a terra della facciata metallica



Figura 5.2.2.2.4 Calata lungo il pluviale



Figura 5.2.2.3.1 Punto di sezionamento con numero di identificazione

modo tale che i singoli pannelli in lamiera siano collegati tra loro in modo sicuro tramite viti, rivetti o cavallotti. Deve essere previsto un collegamento verso l'impianto di captazione e l'impianto di messa a terra in grado di sopportare la corrente di fulmine

- ➔ se i pannelli in lamiera non sono collegati tra loro secondo i requisiti di cui sopra, ma lo sono le sottostrutture, in modo tale che dalla connessione al dispositivo di captazione fino alla connessione all'impianto di terra sia garantita una conduzione continua, queste possono essere utilizzate come calate (**Figure 5.2.2.2.2 e 5.2.2.2.3**).

I pluviali metallici possono essere utilizzati come calate naturali, purché siano collegati tra loro in sicurezza (con giunti saldati o rivettati) e lo spessore minimo del tubo sia di almeno 0,5 mm (**Figura 5.2.2.1.2**).

Se un pluviale non è collegato in modo elettricamente continuo, può essere utilizzato come supporto per la calata supplementare. Questo tipo di utilizzo è raffigurato nella **Figura 5.2.2.2.4**. Il pluviale deve essere collegato all'impianto di terra in modo che possa condurre la corrente di fulmine, dal momento che il conduttore è collegato solo al pluviale.

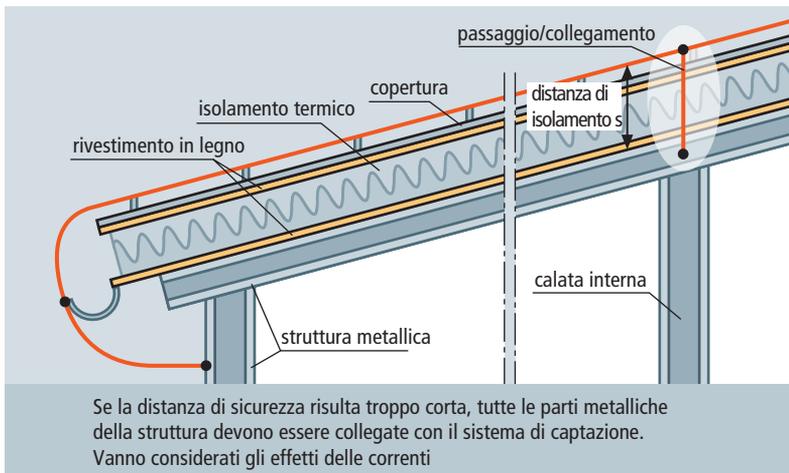


Figura 5.2.2.4.1 Captatori per tetti di grande superficie - Calate interne

5.2.2.3 Punti di sezionamento

Presso ogni collegamento della calata con l'impianto di terra deve essere previsto un punto di sezionamento (possibilmente sopra il collegamento all'asta di adduzione).

Sono necessari dei punti di sezionamento per permettere il controllo delle seguenti caratteristiche del sistema di protezione contro i fulmini:

- ➔ collegamenti delle calate attraverso il dispositivo di captazione con la calata successiva
- ➔ interconnessioni degli elementi dei capicorda di collegamento attraverso l'impianto di terra, ad esempio per dispersori ad anello o dispersori di fondazione (dispersore di tipo B)
- ➔ resistenza di terra dei singoli dispersori (dispersore di tipo A).

I punti di sezionamento non sono necessari, se il tipo di costruzione (ad esempio costruzione in cemento armato o costruzione con struttura portante in acciaio) non permette una separazione galvanica della calata naturale dall'impianto di messa a terra (ad esempio dispersore di fondazione). Il punto di sezionamento può essere aperto solo con l'ausilio di un attrezzo a scopo di misurazione, altrimenti deve rimanere chiuso. Ogni punto di sezionamento deve poter essere identificato chiaramente nel disegno del sistema di protezione contro i fulmini. Di solito tutti i punti di sezionamento vengono contrassegnati con un numero di identificazione (Figura 5.2.2.3.1).

5.2.2.4 Calate interne

Se i lati degli edifici (lunghezza e larghezza) sono quattro volte maggiori della distanza delle calate secondo la classe di LPS

scelta, dovrebbero essere installate delle calate interne supplementari (Figura 5.2.2.4.1). La dimensione modulare per le calate interne è di circa 40 x 40 m.

Spesso le calate interne risultano necessarie per grandi strutture a tetto piano, come ad esempio grandi capannoni industriali oppure centri di distribuzione. In questi casi i condotti attraverso la copertura del tetto dovrebbero essere installati da una ditta specializzata (conciatetti), dal momento che l'impermeabilità della copertura rientra nelle sue responsabilità. Inoltre devono essere considerati gli effetti delle correnti parziali di fulmine attraverso calate interne dell'edificio. Nella progettazione della protezione contro i fulmini interna deve essere considerato il campo elettromagnetico risultante vicino alle calate (occorre considerare le infiltrazioni di corrente nei sistemi elettrici/elettronici).

vicino alle calate (occorre considerare le infiltrazioni di corrente nei sistemi elettrici/elettronici).

5.2.2.5 Cortili interni

Per strutture con cortili interni chiusi con un perimetro di oltre 30 m, le calate devono essere installate con le distanze corrispondenti alla Tabella 5.2.1.1 (Figura 5.2.2.5.1).

5.2.3 Calate di un sistema di protezione contro i fulmini esterno isolato

Se il dispositivo di captazione è costituito da aste di captazione montate su pali indipendenti (o un unico palo), funge sia da dispositivo di captazione sia da calata (Figura 5.2.3.1). Per ognuno di questi pali è necessaria almeno una calata. I pali in acciaio o in cemento con armatura elettricamente continua non necessitano di una calata supplementare. Per ragioni estetiche è possibile ad esempio utilizzare come dispositivo di captazione anche un palo per bandiera.

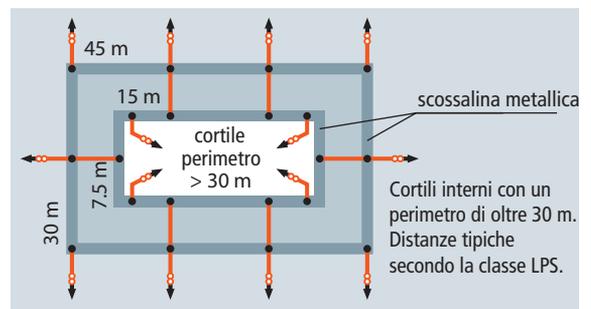


Figura 5.2.2.5.1 Dispositivi di discesa per cortili interni

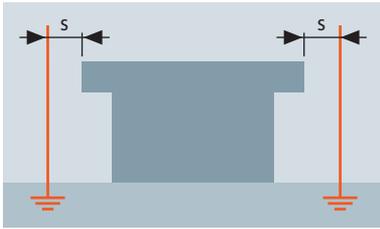


Figura 5.2.3.1 Pali di captazione isolati dalla struttura

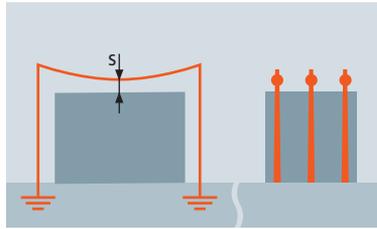


Figura 5.2.3.2 Pali di captazione con funi sospese

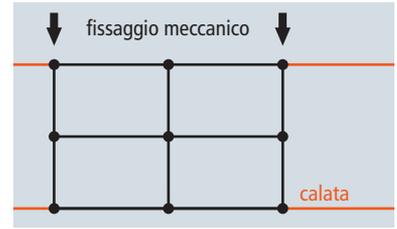


Figura 5.2.3.3 Pali di captazione con funi tese con collegamenti trasversali (maglie)

La distanza di sicurezza s tra gli organi di captazione, le calate e l'edificio deve essere rispettata in ogni caso. Se il dispositivo di captazione è costituito da uno o più corde o funi sospese, per ogni ancoraggio delle estremità è necessaria almeno una calata (**Figura 5.2.3.2**).

Se l'impianto di captazione è ammagliato, cioè le singole corde o funi sospese formano tra di loro delle maglie (collegate trasversalmente), è necessario almeno una calata per ogni ancoraggio dei conduttori (**Figura 5.2.3.3**).

5.2.4 Conduttore isolata resistente all'alta tensione - conduttura HVI

La funzione principale di un sistema di protezione contro i fulmini isolato è quella di intercettare la scarica secondo il principio di Beniamino Franklin, scaricarla lungo l'edificio e trasmetterla al suolo in sicurezza. Al fine di evitare pericolose scariche elettriche tra le parti del sistema di protezione contro i fulmini esterna e le parti conduttrici all'interno della struttura (apparecchiature elettriche ed elettroniche, tubi, condotti di ventilazione, ecc.) in caso di fulminazione diretta, è indispensabile mantenere la distanza di sicurezza s durante la progettazione e l'installazione del sistema di protezione contro i fulmini.

La distanza di sicurezza s va calcolata secondo la sezione 6.3 della norma IEC 62305-3 (EN 62305-3).

Tuttavia, è spesso impraticabile mantenere la distanza di sicurezza nelle strutture nuove e in quelle esistenti. Per motivi estetici, l'architettura moderna spesso non consente di utilizzare distanziali in vetroresina come sostegno della calata verso terra. Nei moderni impianti industriali, il tetto è spesso l'ultimo livello di installazione di attrezzature quali impianti di ventilazione e di condizionamento dell'aria, antenne, sistemi di tubazioni e passerelle portacavi. In questo contesto, è indispensabile rispettare l'impianto di protezione contro i fulmini e mantenere le necessarie distanze di sicurezza. La fulminazione diretta delle strutture sporgenti al di sopra del tetto può essere evitata se i captatori sono dimensionati in base al metodo della sfera rotolante e se sono posizionati in modo ideale. Queste

strutture sono tipicamente collegate alle attrezzature tecniche dell'edificio.

Non è facile scaricare a terra della corrente di fulmine, mantenendo una sufficiente distanza di sicurezza s e garantire al contempo la qualità estetica dell'edificio. I conduttori HVI (High Voltage Insulation, isolamento ad alta tensione) sono la soluzione ideale.

Distanza di sicurezza

Il calcolo della distanza di sicurezza costituisce la base per la decisione se e quale conduttore HVI può essere utilizzato per l'installazione. Di conseguenza, la progettazione di un sistema di protezione dai fulmini isolato si basa sulla distanza di sicurezza. Per essere in grado di adottare le opportune misure di protezione, la distanza di sicurezza deve essere calcolata già in fase di progettazione. Il Capitolo 5.6 fornisce una descrizione dettagliata delle varie opzioni di calcolo per la determinazione della distanza di sicurezza. La lunghezza assoluta del conduttore è determinante per il calcolo della distanza di sicurezza, in particolare in caso di conduttori HVI. Secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3), la distanza di sicurezza s per evitare scariche incontrollate viene calcolata come segue:

$$s = \frac{k_i \cdot k_c}{k_m} \cdot l$$

s	Distanza di sicurezza
k_i	Dipende dalla classe di LPS selezionata
k_c	Dipende dalla corrente di fulmine che fluisce attraverso le calate
k_m	Dipende dal materiale di sicurezza elettrico
l	lunghezza in metri, lungo l'organo di captazione o della calata, dal punto nel quale deve essere calcolato la distanza di sicurezza, fino al prossimo nodo equipotenziale.

La distanza di sicurezza viene determinata mediante la lunghezza (l) del conduttore, la classe di LPS (k_i) la distribuzione

della corrente di fulmine alle varie calate (k_c) e il fattore del materiale (k_m).

Progettazione e principio di funzionamento della conduttura HVI

Il principio di base delle calate isolate resistenti all'alta tensione è che un conduttore che porta una corrente di fulmine viene rivestito con materiale isolante per garantire la necessaria distanza di sicurezza s dalle altre parti conduttrici della struttura dell'edificio, linee elettriche e gasdotti. In linea di principio, un conduttore isolato resistente all'alta tensione deve soddisfare i seguenti requisiti se viene usato per prevenire situazioni di prossimità inammissibile:

- ➔ sufficiente resistenza elettrica di isolamento in caso di impulsi di tensione di fulmine lungo tutta la conduttura HVI
- ➔ prevenzione delle scariche di superficie
- ➔ sufficiente capacità di condurre la corrente, grazie ad una sufficiente sezione della calata
- ➔ collegamento della calata al captatore (asta di captazione, conduttore di captazione, ecc.) in grado di trasportare la corrente di fulmine
- ➔ collegamento al dispersore o al sistema equipotenziale

Se certe condizioni al contorno riguardo l'alta tensione sono soddisfatte, la distanza di sicurezza s può essere mantenuta rivestendo il conduttore con materiali isolanti ad elevata resistenza dielettrica. Tuttavia, bisogna prevenire possibili scariche di superficie. Questo problema non può essere risolto utilizzando un conduttore rivestito con materiali isolanti.

Le scariche di superficie tra punti vicini (ad es. tra i supporti di un conduttore metallico di terra e il punto di alimentazio-

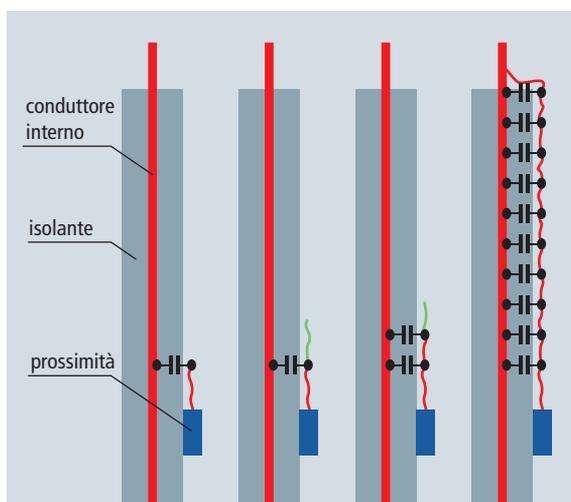


Figura 5.2.4.1 Formazione di una scarica in superficie su una calata isolata senza rivestimento speciale

ne) che possono portare a una scarica disruptiva generale in superficie per una notevole lunghezza del conduttore, possono verificarsi già in caso di impulsi a tensione relativamente bassa.

Le aree in cui il materiale isolante, il metallo (ad alto potenziale di tensione o a terra) e l'aria coincidono sono punti critici, in cui possono verificarsi delle scariche di superficie. Questo ambiente è molto sollecitato in quanto può verificarsi una scarica di superficie e la resistenza elettrica può essere notevolmente ridotta. Bisogna attendersi una scarica di superficie quando la componente normale del campo elettrico E (verticale rispetto alla superficie del materiale isolante) supera la tensione di innesco della scarica di superficie, mentre le componenti tangenti del campo elettrico (parallele alla superficie del materiale isolante) accelerano la propagazione della scarica di superficie (Figura 5.2.4.1).

La tensione di innesco della scarica di superficie definisce la resistenza dell'intero sistema di isolamento e corrisponde a una tensione di fulmine compresa tra 250 e 300 kV per questo tipo di sistemi.

Cavi coassiali con guaina semiconduttiva

Il cavo coassiale a conduttore singolo sviluppato specificamente (conduttura HVI) permette di evitare la scarica di superficie e scaricare in modo sicuro la corrente al suolo (Figura 5.2.4.2). Le calate isolate con il controllo del campo attraverso una guaina semiconduttiva prevengono la scarica di superficie influenzando in modo specifico il campo elettrico nella zona terminale. Pertanto la corrente viene trasportata entro il cavo speciale e viene scaricata in sicurezza, mentre viene al contempo mantenuta la necessaria distanza di sicurezza s . Si deve osservare che il campo magnetico che circonda la conduttura interna che trasporta la corrente non viene influenzato.

Ottimizzando il controllo del campo si è creata una zona terminale del conduttore appositamente adattata. La lunghezza di questa zona terminale dipende dal tipo di conduttura HVI. Questo terminale speciale inizia nel punto di alimentazione (collegamento con il sistema di captazione) e termina con l'e-

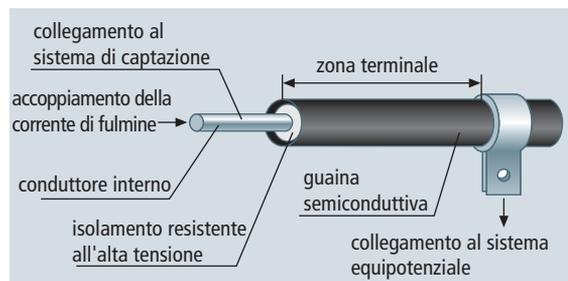


Figura 5.2.4.2 Componenti di una conduttura HVI

lemento di collegamento equipotenziale a una distanza definita (Figura 5.2.4.3).

In base alla distanza di sicurezza s necessaria, la massima lunghezza L_{\max} di tale calata isolata può essere calcolata come segue:

$$L_{\max} = \frac{k_m \cdot s}{k_i \cdot k_c}$$

Tipi di condutture HVI

Le condutture HVI sono state adattate per soddisfare le sempre crescenti esigenze dell'ambiente di installazione. Sono disponibili tre tipi di condutture HVI:

- ➔ conduttura HVI leggera DEHNcon-H
- ➔ conduttura HVI lunga
- ➔ conduttura HVI di potenza

Ciascuno di questi tipi di condutture HVI (Figura 5.2.4.4) presenta caratteristiche e spessori diversi e quindi diversi requisiti di installazione. Le condutture HVI sono disponibili con guaina nera e grigia. La guaina grigia aggiuntiva consente un'installazione più estetica della conduttura HVI sul rispettivo edificio. I parametri più importanti delle condutture HVI sono elencate nella Tabella 5.2.4.1.

Le condutture HVI soddisfano i requisiti della norma IEC 62561-2 (EN 62561-2). In seguito saranno descritte in dettaglio le diverse tipologie di condutture HVI.

Conduttura HVI leggera ($s \leq 0,45$ m in aria, $s \leq 0,9$ m nel caso di materiale solido)

Tubazioni, impianti elettrici e informatici, nonché i sistemi fotovoltaici sono distribuiti su larga scala in tutta la superficie del tetto, a prescindere dal rischio di eventuali fulmini. A causa di questa situazione di montaggio e delle dimensioni dell'edificio, è quasi impossibile mantenere la distanza di sicurezza per mezzo di conduttori non isolati. Tuttavia, secondo la norma, è di importanza fondamentale interconnettere con coerenza il sistema di captazione e mantenere allo stesso tempo le distanze di isolamento.

La conduttura HVI leggera è un sistema per il mantenimento della distanza di sicurezza in caso di sistemi di captazione interconnessi su tetti piani. L'isolamento della conduttura HVI leggera, resistente all'alta tensione, impedisce le scariche di superficie incontrollate, ad esempio attraverso la copertura del tetto verso le parti elettriche o metalliche sottostanti.

Questo sistema differisce significativamente dalle normali condutture HVI, in quanto non viene effettuato alcun collegamento diretto (nessuna terminazione) alla linea equipotenziale dell'edificio. La conduttura HVI leggera (zona di adattamento) viene collegata alla parte inferiore del palo di sostegno tramite dei supporti metallici conduttori, facilitando così l'installazione (Figura 5.2.4.5).

È altrettanto importante utilizzare per il calcolo della distanza di sicurezza la lunghezza effettiva della conduttura HVI leggera. In questo contesto, bisogna rispettare anche la lunghezza del conduttore al palo di sostegno fino alla piastra di collegamento (dell'asta di captazione).

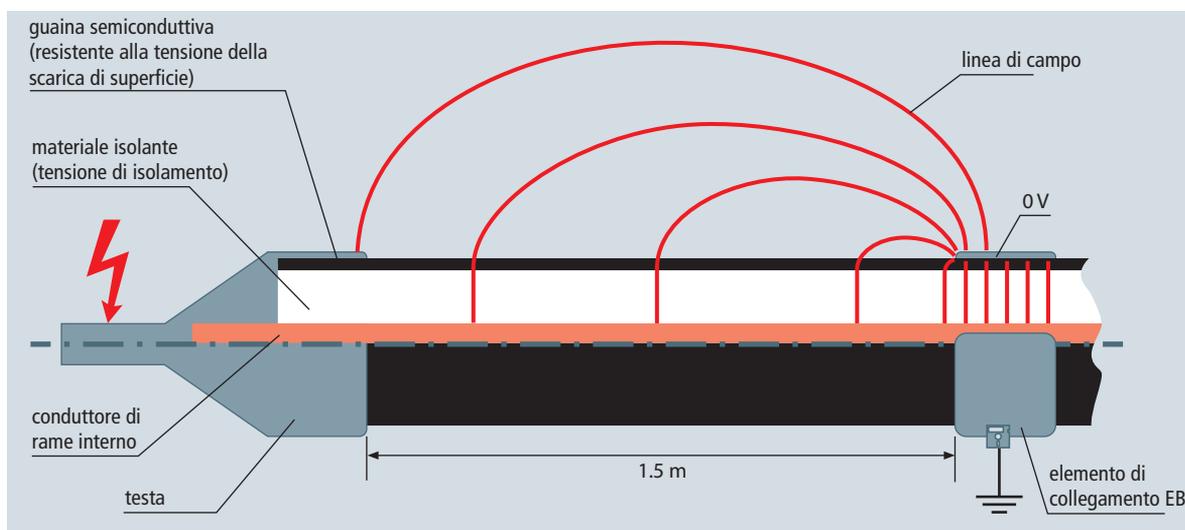


Figura 5.2.4.3 Principio di funzionamento di un terminale / controllo di campo

	s in aria	s in per materiale solido	Lunghezza del terminale	Sezione del conduttore interno (Cu)	Diametro interno	Raggio di curvatura
Conduttura HVI leggera, DEHNcon-H, Conduttura HVI, Conduttura HVI lunga	s ≤ 0,45 m	s ≤ 0,9 m	≤ 1,2 m	19 mm ²	Grigio 20 mm	≥ 200 mm
	s ≤ 0,75 m	s ≤ 1,5 m	≤ 1,5 m	19 mm ²	Nero 20 mm Grigio 23 mm	≥ 200 mm ≥ 230 mm
Conduttura HVI di potenza, Conduttura HVI di potenza lungo	s ≤ 0,90 m	s ≤ 1.8 m	≤ 1,8 m	25 mm ²	Nero 27 mm Grigio 30 mm	≥ 270 mm ≥ 300 mm

Tabella 5.2.4.1 Parametri di una conduttura HVI

DEHNcon-H (s ≤ 0,45 m in aria, s ≤ 0,9 m nel caso di materiale solido)

In particolare negli edifici residenziali e negli edifici bassi, può essere problematico installare conduttori nudi non isolati, a causa della prossimità di altre strutture. In questo caso, è di solito poco pratico mantenere sempre le necessarie distanze di isolamento. In aggiunta alla norma sulla protezione contro i fulmini CEI EN 62305 (CEI 81-10), anche la norma CEI EN 60728-11 (CEI 100-126), che richiede l'integrazione, se possibile, delle strutture portanti delle antenne nell'impianto di

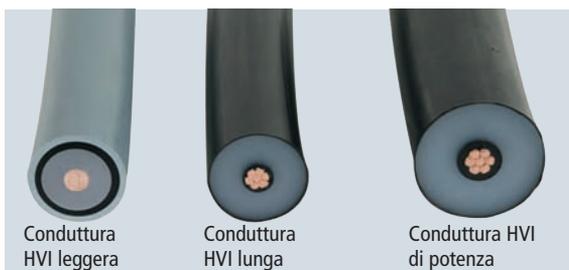


Figura 5.2.4.4 Vari tipi di condutture HVI



Figura 5.2.4.5 Protezione di un sistema PV con conduttura HVI leggera

protezione contro i fulmini degli edifici, fornisce informazioni sulle distanze di isolamento. La conduttura DEHNcon-H è la soluzione ideale per questo scopo.

A seconda del campo di applicazione, sono disponibili due tipi di condutture DEHNcon-H (pre-assemblate):

- ➔ la conduttura leggera DEHNcon-H, HVI I
- ➔ la conduttura leggera DEHNcon-H, HVI III

La conduttura HVI I leggera DEHNcon-H viene utilizzato se i captatori sono collegati direttamente ai dispersori dell'edificio (Figura 5.2.4.6). La conduttura HVI III leggera DEHNcon-H, con una terminazione da stabilire sul posto viene utilizzato nel caso in cui i captatori vanno collegati ad altri componenti (come per esempio il collegamento alla gronda). La distanza di sicurezza al punto di connessione è s ≤ 0,175 m in aria oppure s ≤ 0,35 in caso di materiale solido (Figura 5.2.4.7).

Condutture HVI (s ≤ 0,75 m in aria, s ≤ 1,5 m nel caso di materiale solido)

La conduttura HVI standard offre una vasta gamma di opzioni di installazione. Per esempio, protegge contro le fulminazioni dirette le grandi strutture montate sul tetto, le antenne e i tralicci, nonché le apparecchiature informatiche. Inoltre questa conduttura può essere collegato al sistema dei dispersori. Se questo non è necessario, può essere collegata ai normali impianti di protezione contro i fulmini (anello conduttore ad anello isolato o sollevato). A seconda del campo di applicazione, sono disponibili due tipi di condutture (pre-assemblate):

- ➔ conduttura HVI I
- ➔ conduttura HVI III

La conduttura HVI I viene utilizzata se i captatori della protezione esterna sono collegati direttamente ai dispersori dell'edificio (Figura 5.2.4.8).



Figura 5.2.4.6 Collegamento di una conduttura DEHNcon-H (conduttura HVI leggera I) all'impianto di messa a terra



Figura 5.2.4.7 Protezione di un edificio residenziale con conduttura DEHNcon-H (conduttura HVI leggera I)



Figura 5.2.4.8 Protezione di un impianto a biometano con conduttura HVI I

La conduttura HVI III con una terminazione fissa e un'altra da stabilire sul posto viene usata di solito quando la lunghezza totale non può essere esattamente determinata in fase di progettazione. È utilizzata anche se, ad esempio, alcune parti della struttura da proteggere sono collegate tra loro e al sistema dei dispersori dell'edificio tramite una conduttore ad anello isolato o sospeso (**Figura 5.2.4.9**).

È necessario il collegamento al sistema equipotenziale dell'edificio (collegamento equipotenziale funzionale) per stabilire il terminale della conduttura HVI.

Conduttura HVI long ($s \leq 0,75$ m in aria, $s \leq 1,5$ m nel caso di materiale solido)

A causa della situazione non ben definita e soggetta a cambiamenti, l'esatta lunghezza delle condutture HVI per edifici nuovi o in ristrutturazione spesso può non essere definita al momento della progettazione del sistema di protezione dai fulmini. Pertanto, la conduttura HVI long può essere montata in cantiere ed è disponibile in bobine con una lunghezza di 100 m. L'installatore determina la lunghezza del conduttore, rimuove l'isolante e fissa i terminali in sito.

È necessario il collegamento al sistema equipotenziale dell'edificio (collegamento equipotenziale funzionale) per stabilire il terminale della conduttura HVI long.

Conduttura HVI power ($s \leq 0,9$ m in aria, $s \leq 1,8$ m nel caso di materiale solido)

La conduttura HVI power è il tipo di conduttura HVI resistente all'alta tensione isolata di maggior potenza. Rispetto alla conduttura HVI normale, permette di mantenere una distanza di sicurezza equivalente di 0,9 m in aria e 1,8 m nel caso di materiale solido. la conduttura power HVI e i relativi componenti sono collaudati per sopportare una corrente di fulmine fino a 200 kA (10/350 μ s) e può quindi essere utilizzato per tutte le classi di LPS (I - IV).

Questo tipo di conduttura viene in particolare installata per edifici come ospedali, centri dati e silos, dove vanno mantenute grandi distanze di isolamento a causa delle grandi dimensioni dell'edificio; nello specifico, della sua altezza. Inoltre, esso consente una maggiore lunghezza del percorso verso i dispersori (**Figura 5.2.4.10**).

La conduttura è installata nel palo di sostegno. Un contatto a molla integrato stabilisce automaticamente un collegamento funzionale della zona terminale alla linea equipotenziale. Il palo di sostegno deve essere collegato al sistema equipotenziale funzionale della struttura.

Principio di funzionamento della zona terminale

Le elevate tensioni impulsive causano delle scariche sul materiale isolante se non vengono adottate ulteriori misure. Questo effetto è noto anche come scarica di superficie. Se viene superata la tensione di innesco della scarica di superficie, inizia una scarica superficiale che può facilmente creare archi elettrici della lunghezza di diversi metri. Per evitare le scariche di superficie, le condutture HVI sono dotate di una speciale guaina esterna che permette di scaricare le elevate tensioni impulsive di fulminazione ad un potenziale di riferimento. Per ragioni funzionali, viene stabilita una connessione nella zona terminale tra la guaina esterna semiconduttiva e il sistema equipotenziale dell'edificio (nessuna tensione di fulmine). Questo collegamento al sistema equipotenziale può essere effettuato ad esempio alle strutture installate sul tetto metallico situate entro il volume protetto dell'impianto di protezione contro i fulmini, alle parti collegate a terra della struttura dell'edificio o delle strutture portanti delle antenne che non conducono la tensione di fulmine, o al conduttore di protezione dell'impianto a bassa tensione. La **Figura 5.2.4.3** mostra il principio funzionale di controllo del campo elettrico tramite la guaina semiconduttiva della condotta HVI.

Non si possono installare parti conduttrici o collegate a terra, come supporti metallici dei conduttori, parti strutturali o armature, nella zona terminale (la zona compresa tra la testa e l'elemento di collegamento del sistema equipotenziale). La **Figura 5.2.4.11** mostra la distanza di sicurezza s di forma cilindrica.

Installazione degli elementi di collegamento

Sono disponibili condutture HVI nere e grigie. Durante l'installazione degli elementi di collegamento delle condutture HVI è importante rimuovere correttamente l'isolante resistente all'alta tensione. Sono disponibili per questo scopo degli utensili di facile impiego.

Se si usa la condotta HVI grigia (eccezione: condotta HVI leggera), rimuovere la guaina grigia per circa 65 mm senza danneggiare la sottostante guaina nera della condotta. Dopo di che è possibile rimuovere facilmente la guaina esterna e l'isolante PE per 35 mm con l'apposito utensile spellacavi HVI (**Figura 5.2.4.12**) che assicura di non danneggiare il conduttore di rame sottostante.

L'elemento di connessione viene poi avvitato sulla condotta. Viene fissato per mezzo di due perni filettati e costituisce un contatto elettrico. Infine viene applicata alla condotta una guaina termoretraibile autoadesiva per mezzo di un getto di aria calda. La guaina termoretraibile fornisce ulteriore protezione meccanica e protegge la parte terminale della condotta dalle infiltrazioni di umidità, impedendo così la corrosione interna del conduttore di rame.



Figura 5.2.4.9 Posa di una condotta HVI III con terminale



Figura 5.2.4.10 Posa di una condotta HVI di potenza

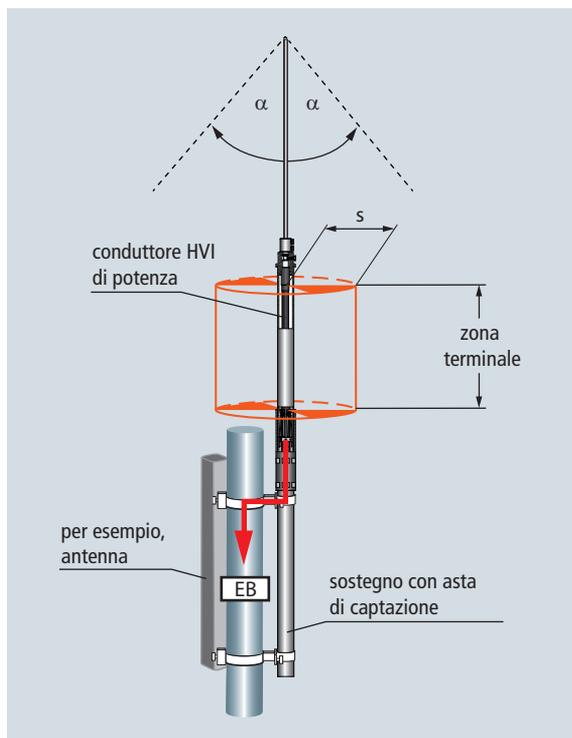


Figura 5.2.4.11 Zona terminale



Figura 5.2.4.12 Utensile spellacavi HVI

Installazione dell'elemento di collegamento EB

Deono essere installati gli elementi di collegamento EB a seconda del tipo di conduttura HVI, delle condizioni di installazione e della lunghezza della zona terminale, in funzione della distanza di sicurezza. Informazioni più dettagliate si possono trovare nelle relative istruzioni di installazione.

Se si usa una conduttura HVI grigia, la guaina grigia aggiuntiva va rimossa in modo da mettere in contatto la guaina semiconduttiva sottostante. Dopo di che può essere installato l'elemento di collegamento EB.

Uso di condutture HVI per la protezione delle strutture montate sul tetto

Le strutture elettriche e metalliche installate sul tetto superano il livello del tetto stesso e sono quindi esposte alle fulminazioni. A causa dei collegamenti conduttivi nella struttura dovute alle tubazioni, ai condotti di ventilazione e alle linee elettriche, possono entrare delle correnti parziali di fulmine all'interno dell'edificio.

L'ingresso di correnti di fulmine parziali all'interno dell'edificio viene impedito collegando il sistema di captazione isolato alla calata anch'essa isolata, in modo da assicurare che l'intero impianto elettrico o le strutture metalliche sporgenti dal tetto si trovino all'interno del volume protetto. La corrente di fulmine viene portata oltre la struttura da proteggere e viene distribuita attraverso il sistema dei dispersori.

Installazione di condutture HVI sulle facciate

Non è facile integrare una calata mantenendo la necessaria distanza di sicurezza s e garantire al contempo la qualità estetica dell'edificio. In passato questo obiettivo si otteneva con del cavo tondo fissato da distanziatori DEHNiso. Tale distanza orizzontale spesso non è accettabile, pur essendo necessaria dal punto di vista tecnico. Le condutture HVI possono essere installate direttamente sulle facciate o all'interno di esse, permettendo così varie soluzioni progettuali. Questa tecnologia innovativa combina funzionalità e design e quindi è un aspetto importante dell'architettura moderna. Le condutture HVI permettono di scaricare facilmente la corrente nel sistema dei dispersori, senza dover mantenere le distanze da parti metalliche ed elettriche.

Uso di condutture HVI per ricetrasmittitori

Le antenne degli impianti di telefonia mobile vengono installate spesso entro spazi in affitto sui tetti degli edifici. L'operatore dell'impianto di telefonia mobile e il proprietario dell'edificio generalmente si accordano sul fatto che l'impianto installato non deve presentare un rischio supplementare per l'edificio.

Per quanto riguarda la protezione contro i fulmini questo significa che in caso di fulminazione del traliccio radio non deve entrare alcuna corrente parziale da fulminazione all'interno dell'edificio, in quanto essa metterebbe in pericolo soprattutto gli impianti elettrici ed elettronici.

Per questo motivo il traliccio radio va provvisto di un dispositivo di captazione isolato e di una calata isolata (Figura 5.2.4.13). Grazie a tale struttura, che è fissata al supporto dell'antenna, le aree esposte al vento sono ridotte al minimo (conduttura HVI integrata nel palo di supporto) e sono minimizzate anche le sollecitazioni meccaniche aggiuntive sul supporto dell'antenna (Figura 5.2.4.14).

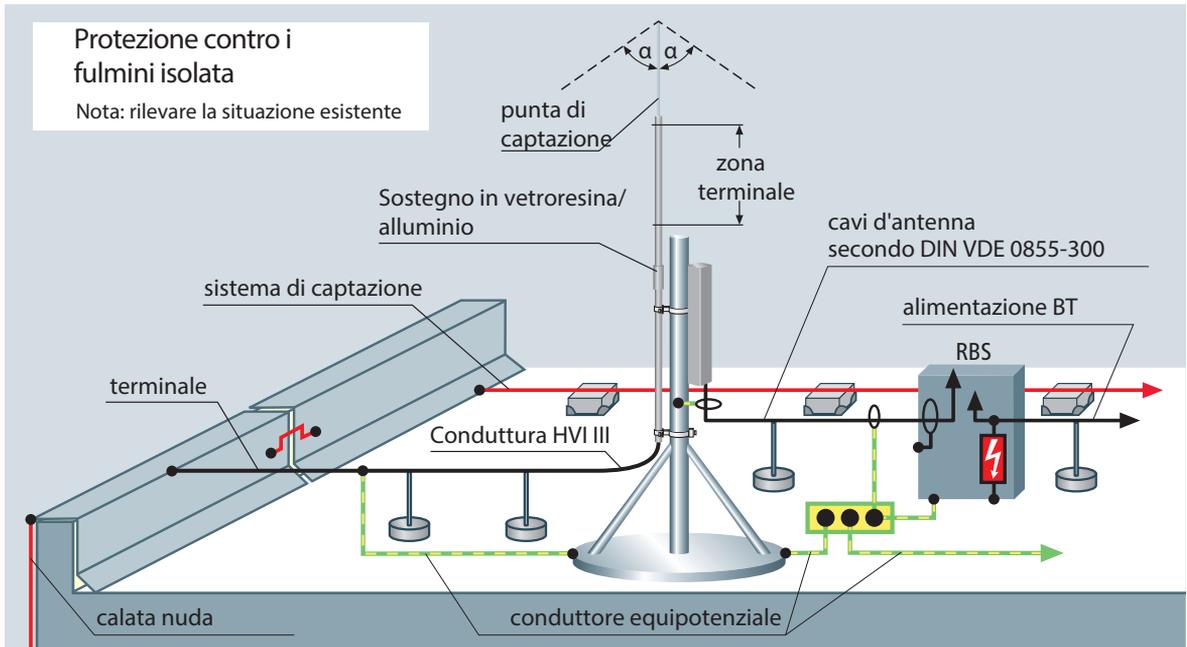


Figura 5.2.4.13 Integrazione di un'antenna nell'esistente impianto di protezione contro i fulmini tramite conduittura HVI

Uso di condutture HVI per edifici con copertura morbida

A causa del rischio di incendio, i tetti di paglia e le coperture morbide presentano particolari difficoltà nell'installazione di un sistema di protezione contro i fulmini. In caso di impiego di siffatti materiali altamente infiammabili bisogna rispettare delle distanze di isolamento rispetto ad essi. Le condutture HVI sono adatte anche all'installazione su coperture morbide. La prevenzione degli inneschi incontrollati verso le installazioni è assicurata, in quanto la corrente di fulmine viene condotta separatamente all'impianto di terra. Inoltre questa soluzione risponde ai requisiti architettonici. Per ulteriori dettagli sulle coperture morbide si faccia riferimento al capitolo 5.1.5.

Uso di condutture HVI per impianti a rischio di esplosione

I fulmini che cadono sulle strutture e sull'ingresso delle linee di alimentazione, o in loro prossimità, possono danneggiare le strutture stesse o le persone e le apparecchiature in esse contenute, e possono anche provocare degli effetti nelle immediate vicinanze. Vi è un rischio particolarmente elevato nella lavorazione di sostanze infiammabili, come gas, vapori, nebbie o polveri che, quando sono mescolati con l'aria, possono formare una atmosfera infiammabile e provocare un'esplosione in presenza di una fonte di accensione. Dal punto di vista della protezione contro i fulmini, è necessario fornire informazioni



Figura 5.2.4.14 Conduittura HVI installata su un traliccio radio

più dettagliate su questo argomento per una corretta installazione dei sistemi di protezione.

Secondo la normativa tedesca sulla salute e la sicurezza industriale (BetrSichV), l'operatore deve creare un documento sulla protezione contro le esplosioni, dove i rischi potenziali derivanti dalla persistenza ed espansione di atmosfere esplosive vengono valutate e definite in una pianificazione della zona a rischio di esplosione (Ex). Si distinguono le seguenti zone esplosive:

- Zona 0 Luogo in cui un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore o nebbia è presente continuamente, per lunghi periodi o frequentemente
- Zona 1 Luogo in cui un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore o nebbia ha la probabilità di

essere presente di tanto in tanto durante il normale esercizio

- Zona 2 Luogo in cui un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore o nebbia non ha molte probabilità di verificarsi durante il normale esercizio, e, qualora si verifici, sia unicamente di breve durata
- Zona 20 Luogo in cui un'atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile nell'aria, è presente in permanenza, per lunghi periodi o frequentemente
- Zona 21 Luogo in cui un'atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile nell'aria, ha la probabilità di essere presente di tanto in tanto durante il normale esercizio
- Zona 22 Luogo in cui un'atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile nell'aria, non ha molte



Figura 5.2.4.15 Conduttura HVI installata su un sistema di misura e controllo

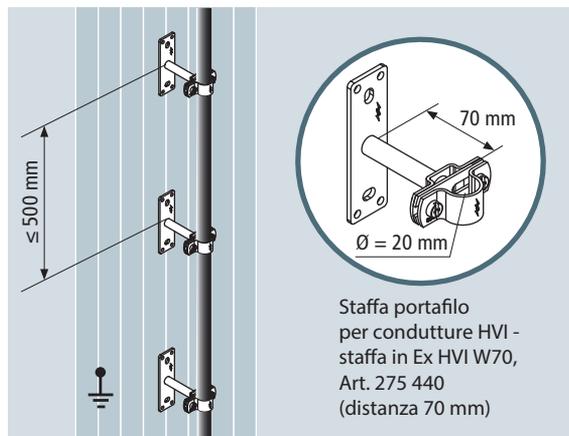


Figura 5.2.4.17 Versione per l'impiego in aree pericolose 2, facciate metalliche

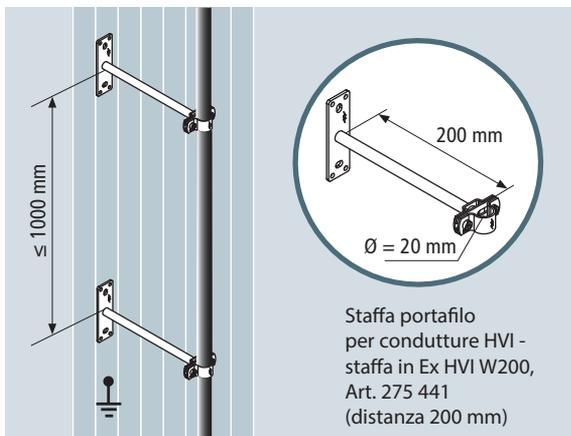


Figura 5.2.4.16 Versione per l'impiego in aree pericolose 1, facciate metalliche



Figura 5.2.4.18 Protezione di un fermentatore a biogas con un conduttura HVI I

probabilità di verificarsi durante il normale esercizio, e, qualora si verifichi, sia unicamente di breve durata

La divisione della struttura in zone Ex permette di identificare le possibili fonti di innesco. Nella norma EN 1127-1 o nella norma tedesca TRBS 2152-3, un fulmine è definito come fonte di accensione di un'atmosfera esplosiva. Se un fulmine colpisce un'atmosfera esplosiva si verifica l'innesco. Le correnti elevate di distribuiscono dal punto colpito e possono generare scintille lungo il percorso di scarica. Le fonti di innesco collegate ai fulmini sono, ad esempio:

- ➔ fusione al punto colpito
- ➔ riscaldamento dei percorsi di scarica
- ➔ scarica incontrollata se non viene mantenuta la distanza d'isolamento
- ➔ tensioni indotte in cavi e linee
- ➔ fulmini sulle linee che entrano atmosfere potenzialmente esplosive

Se sono installati dei sistemi di protezione dai fulmini sopra o entro una struttura per la quale sono definite delle zone con atmosfere potenzialmente esplosive, essi devono soddisfare i requisiti delle zone in questione. La suddivisione in zone richiesta per questo scopo è compresa nel documento sulla protezione contro le esplosioni secondo la legge tedesca sulla salute e la sicurezza industriale. Nei sistemi Ex con zone Ex 2 e 22, le atmosfere esplosive sono presenti solo in casi rari e imprevedibili. La persistenza di una atmosfera esplosiva suscettibile di ignizione e un fulmine si verifica raramente allo stesso tempo in queste zone. Pertanto in queste zone è consentita l'intercettazione di fulmini (scariche sul sistema di captazione). Tuttavia, le scariche incontrollate derivanti dal fatto che la distanza di sicurezza non viene mantenuta e il surriscaldamento dei percorsi di scarica non sono accettabili né ammessi nelle zone Ex. L'isolamento elettrico del sistema di protezione dai fulmini dalle parti conduttrici della struttura dell'edificio e l'isolamento rispetto alle linee elettriche nell'edificio impediscono le scariche elettriche e quindi prevengono la formazione di pericolose scintille nelle atmosfere potenzialmente esplosive.

La conduttura HVI consente di mantenere la distanza di sicurezza e previene il surriscaldamento non ammissibile dei percorsi di scarica. In una calata isolata e resistente all'alta tensione, la corrente di fulmine viene trasportata direttamente al sistema dei dispersori, senza causare scariche elettriche. La conduttura HVI può essere installata direttamente accanto alle parti metalliche della struttura dell'edificio o agli impianti elettrici/elettronici (Figura 5.2.4.15).

Se le correnti di fulmine passano attraverso la conduttura HVI, si verifica una differenza di potenziale nella guaina semiconduttiva esterna a causa della corrente di spostamento capacitivo a bassa potenza nei punti di terra che si trovano a una

certa distanza. Tanto minore è la distanza tra gli speciali supporti del conduttore (sistema equipotenziale funzionale) e la guaina semiconduttiva, tanto minore sarà questo potenziale. Se si rispettano le istruzioni di installazione per la posa delle condutture HVI nelle zone Ex 1 e 2 oppure 21 e 22, si previene la scarica (arco elettrico) quando la corrente di fulmine passa attraverso il conduttore HVI. Tuttavia gli effetti degli impulsi elettromagnetici dovuti al fulmine non risultano ridotti. Due esempi di come installare le condutture HVI si trovano nelle Figure 5.2.4.16 e 5.2.4.17.

Uso di condutture HVI per impianti a biogas

Quando si pianificano misure di protezione contro i fulmini per un impianto di produzione di biogas, bisogna sviluppare un concetto di protezione antifulmine integrato. In questo contesto, specialmente la protezione dei fermentatori, post-fermentatori e vasche di fermentazione, che tipicamente sono costituiti da recipienti circolari di grande diametro, pone dei problemi. Una cupola (membrana) di materiale simile alla gomma viene collocata nella maggior parte dei casi sulla sommità del fermentatore. A causa del diametro e dell'altezza del fermentatore con la sua membrana, per proteggere l'intero fermentatore dalle scariche dirette devono essere installati dei sistemi di captazione di notevole altezza. In alternativa alle aste di captazione componibili, installate in prossimità di un fermentatore dotato di fondazioni adeguate, è possibile installare dei pali di captazione con conduttura HVI direttamente sul fermentatore (Figura 5.2.4.18). Questi captatori che integrano una conduttura HVI possono essere installate fino ad una lunghezza libera $\leq 8,5$ m.

Il palo di captazione può essere dotato di una o due condutture HVI. Il numero di condutture da installare dipende dalla lunghezza effettiva della conduttura e dalla distanza di sicurezza. Affinché le condutture HVI possano essere installati in aree esplosive, la guaina esterna della seconda conduttura deve essere inoltre collegata al sistema equipotenziale a distanza ≤ 1000 mm. Informazioni più dettagliate si trovano nelle specifiche istruzioni di installazione.

5.3 Materiali e dimensioni minime per organi di captazione e di calata

Nella Tabella 5.3.1 sono indicate le sezioni minime, la forma e il materiale degli impianti di captazione.

Questi requisiti risultano dalla conduttività elettrica dei materiali utilizzati per condurre la corrente di fulmine (aumento di temperatura) e le sollecitazioni meccaniche durante l'utilizzo.

Quando si utilizza un tondino $\varnothing 8$ mm come punta di captazione, è ammessa un'altezza libera massima di 0,5 m. La limitazione dell'altezza per il tondino $\varnothing 10$ mm è di 1 m di lunghezza libera.

Materiale	Configurazione	Sezione in [mm ²]
Rame, rame stagnato	Nastro	50
	Tondo ^{b)}	50
	Cordato ^{b)}	50
	Tondo ^{c)}	176
Alluminio	Nastro	70
	Tondo	50
	Cordato	50
Legia di alluminio	Nastro	50
	Tondo	50
	Cordato	50
	Tondo	176
Legia di alluminio ramata	Tondo	50
Acciaio zincato a caldo	Nastro	50
	Tondo	50
	Cordato	50
	Tondo ^{c)}	176
Acciaio ramato	Tondo	50
	Nastro	50
Acciaio Inox	Nastro ^{d)}	50
	Tondo ^{d)}	50
	Cordato	50
	Tondo ^{c)}	176

^{a)} Le caratteristiche meccaniche ed elettriche, nonché le proprietà di resistenza alla corrosione, devono rispondere ai requisiti della futura normativa CEI EN 62561.

^{b)} In alcune applicazioni, dove la resistenza meccanica non è essenziale, i 50 mm² (8 mm di diametro) possono essere ridotti a 25 mm². In questo caso dovrebbe essere considerata la diminuzione della distanza tra gli elementi di ancoraggio.

^{c)} Utilizzabile per aste di captazione e adduzione. Per applicazioni dove le sollecitazioni meccaniche come l'azione del vento non sono critiche, può essere utilizzata un'asta di almeno 1 m di lunghezza con diametro 9,5 mm.

^{d)} Se i requisiti termici e meccanici sono importanti, queste dimensioni vanno aumentate a 75 mm²

Tabella 5.3.1 Materiale, forma e sezioni minime di conduttori di captazione, aste di captazione, aste di adduzione nel terreno e calate ^{a)} secondo la Tabella 6 della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3).

Nota: Secondo la Tabella 8 della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3), la sezione minima richiesta per un conduttore di collegamento tra barre equipotenziali è 16 mm² (rame).

Nelle prove eseguite con conduttori in rame isolati in PVC e con corrente impulsiva di 100 kA (10/350 μs) si è rilevato un aumento della temperatura di circa 56 K. Sarebbe quindi possibile utilizzare un cavo in rame NYY 1 x 16 mm² come calata oppure come conduttore fuori terra e interrato. Questa è anche stata la normale pratica di installazione per anni, per esempio nell'installazione di conduttori sotto una facciata.

Questa pratica è indicata anche nella sezione 5.6.2 del Supplemento 1 della norma tedesca DIN EN 62305-3.

5.4 Misure di montaggio per organi di captazione e di calata

Le seguenti misure (**Figura 5.4.1**) sono collaudate nella pratica e vengono dettate soprattutto dalle forze meccaniche che agiscono sull'impianto esterno di protezione contro i fulmini.

Queste forze meccaniche si creano non per effetto delle forze elettrodinamiche generate dalla corrente di fulmine, ma a causa delle forze di compressione e trazione, ad esempio in caso di dilatazione termica, dal vento o dal carico neve.

La distanza massima di 1,2 m tra le staffe portafilato fa riferimento principalmente a al cavo Fe/tZn (relativamente rigido). Nella pratica si sono affermate, per l'utilizzo di alluminio, anche le distanze di 1 m.

Nella norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) vengono consigliate per la protezione contro i fulmini esterna, le seguenti misure di montaggio corrispondenti alle **Figure 5.4.1 e 5.4.2**. Se praticamente possibile, durante la posa delle calate dovrebbe essere rispettata la distanza di sicurezza *s* verso finestre, porte e altre aperture.

La **Figura 5.4.3** illustra l'uso di una calata su un tetto piano. Altre misure di montaggio importanti sono raffigurate nelle **Figure da 5.4.3 a 5.4.5**.

Posa di dispersori orizzontali (ad esempio dispersore ad anello) intorno all'edificio ad una profondità di > 0,5 m e con una distanza di ca. 1 m all'edificio (**Figura 5.4.4**).

Per le adduzioni nel terreno o i collegamenti al dispersore di fondazione (dispersore ad anello) deve essere osservata la protezione dalla corrosione. Devono essere prese delle misure come l'applicazione di un nastro di protezione contro la corrosione oppure l'utilizzo di conduttori con rivestimento in PVC, minimo 0,3 m sopra e sotto allo strato erboso (entrata nel terreno) (**Figura 5.4.5**). In molti casi è più semplice utilizzare dei capicorda di collegamento in acciaio inossidabile (V4A). Una possibilità esteticamente accettabile ed esente da corrosione viene offerta da un punto fisso di messa a terra in acciaio inossidabile (V4A) annesso nel calcestruzzo.

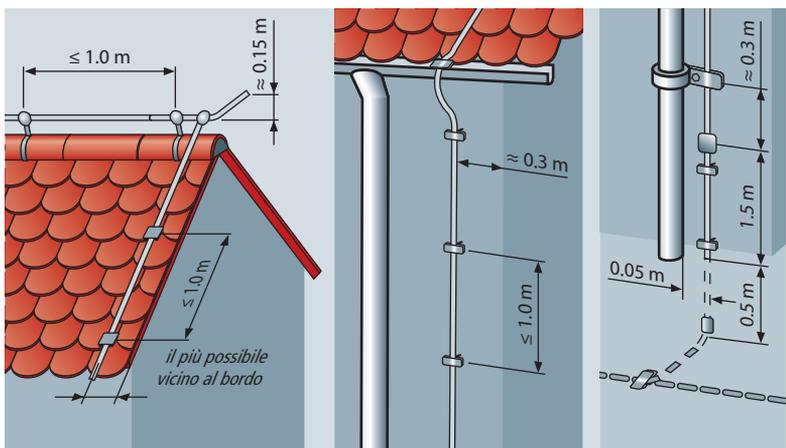


Figura 5.4.1 Esempi dettagliati di una protezione contro i fulmini esterna su una struttura con tetto a falda e tegole

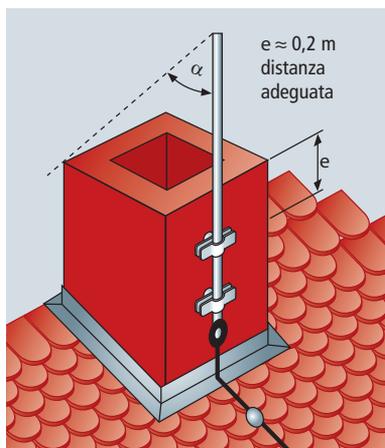


Figura 5.4.2 Asta di captazione per camino

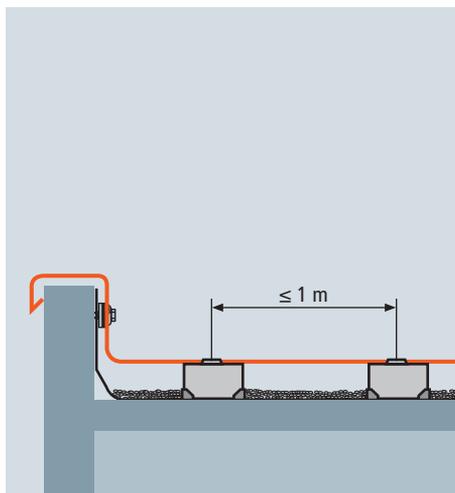


Figura 5.4.3 Applicazione su tetto piano

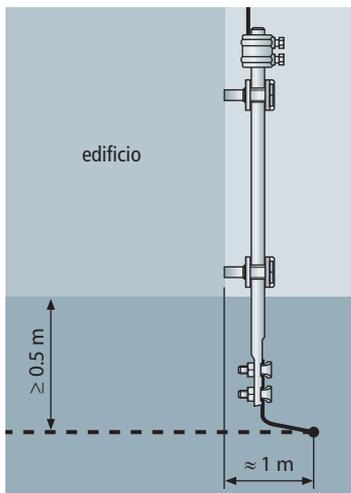


Figura 5.4.4 Misure per dispersori ad anello

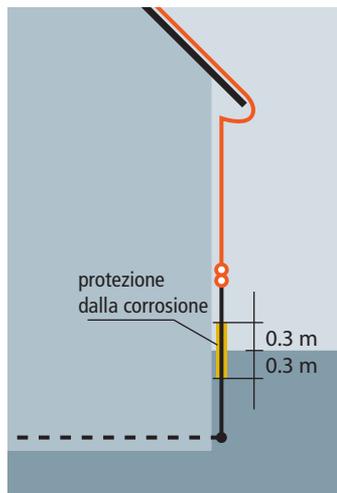


Figura 5.4.5 Punti a rischio di corrosione

	Acciaio (Fe/tZn)	Alluminio	Rame	Inox (V4A)	Titanio	Stagno
Acciaio (Fe/tZn)	sì	sì	no	sì	sì	sì
Alluminio	sì	sì	no	sì	sì	sì
Rame	no	no	sì	sì	no	sì
Inox (V4A)	sì	sì	sì	sì	sì	sì
Titanio	sì	sì	no	sì	sì	sì
Stagno	sì	sì	sì	sì	sì	sì

Tabella 5.4.1 Combinazioni di materiali

Materiale	Coefficiente di dilatazione α $\frac{1}{10^6} \cdot \frac{1}{K}$	ΔL
		Formula di calcolo: $\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$ Variazione di temperatura ipotizzata per il tetto: $\Delta T = 100 K$
Acciaio	11,5	$\Delta L = 11.5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{K} \cdot 1 m \cdot 100 K = 0.115 cm \approx 1.1 \frac{mm}{m}$
Acciaio Inox	16	$\Delta L = 16 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{K} \cdot 1 m \cdot 100 K = 0.16 cm \approx 1.6 \frac{mm}{m}$
Rame	17	$\Delta L = 17 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{K} \cdot 1 m \cdot 100 K = 0.17 cm \approx 1.7 \frac{mm}{m}$
Alluminio	23,5	$\Delta L = 23.5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{K} \cdot 1 m \cdot 100 K = 0.235 cm \approx 2.3 \frac{mm}{m}$

Tabella 5.4.1.1 Calcolo della dilatazione termica ΔL dei conduttori metallici nella protezione contro i fulmini

Materiale	Sottofondo per l'ancoraggio dei conduttori di captazione e di calata		Distanza elementi di dilatazione in m
	morbido, p. es. tetto piano con guaine di bitume o plastica	duro, p. es. tegole o muratura	
Acciaio	•		≈ 15
		•	≤ 20
Acciaio inossidabile/Rame	•		≈ 10
		•	≤ 15
Alluminio	•	•	≤ 10

Utilizzo degli elementi di dilatazione, se non esiste altra compensazione della lunghezza.

Tabella 5.4.1.2 Elementi di dilatazione nella protezione contro i fulmini - Applicazione raccomandata

Inoltre, per il collegamento al sistema equipotenziale all'interno dell'edificio in caso di locali umidi o bagnati, deve essere prevista una protezione contro la corrosione.

A condizione che non debbano essere presi in considerazione effetti ambientali aggressivi particolari, si sono affermate le combinazioni di materiali (per impianti di captazione, calate e parti della struttura) indicate nella **Tabella 5.4.1**. Si tratta di valori empirici.

5.4.1 Dilatazione dei fili in metallo

Nella pratica viene spesso sottovalutata la dilatazione termica dovuta alle variazioni di temperatura di dispositivi di captazione e di calata.

Nelle norme e direttive più vecchie veniva in generale raccomandato di inserire circa ogni 20 m un elemento di dilatazione. Questo numero si riferiva all'uso abituale ed esclusivo di conduttori in acciaio utilizzati in passato. I valori più alti dei



Figura 5.4.1.1 Dispositivo di captazione - Compensazione della dilatazione con trecce di collegamento

coefficienti di dilatazione dei materiali quali acciaio inossidabile, rame e soprattutto alluminio non venivano considerati. Sul tetto, durante l'anno deve essere calcolato uno sbalzo di temperatura di 100 K. I cambiamenti di lunghezza risultanti, relativi ai diversi materiali dei conduttori metallici, sono rap-

presentati nella **Tabella 5.4.1.1**. Si può notare che il coefficiente di dilatazione dell'alluminio è di circa 2 volte quello dell'acciaio.

Per l'utilizzo degli elementi di dilatazione valgono in pratica le indicazioni riportate nella **Tabella 5.4.1.2**.

Quando si utilizzano elementi di dilatazione è necessario accertarsi che questi garantiscano una compensazione di lunghezza flessibile. La piegatura a S di conduttori metallici non è sufficiente dal momento che tali "elementi di dilatazione", spesso creati sul posto a mano, non sono abbastanza flessibili.

Per il collegamento di impianti di captazione, ad esempio sulle scossaline metalliche poste attorno ai bordi del tetto, occorre accertarsi di realizzare un collegamento flessibile con elementi o dispositivi adatti. Se non viene eseguito questo collegamento flessibile, esiste il pericolo che la scossalina metallica venga danneggiata a causa della dilatazione termica.

Per compensare la dilatazione termica dei conduttori di captazione vanno utilizzati degli elementi di dilatazione (**Figura 5.4.1.1**).

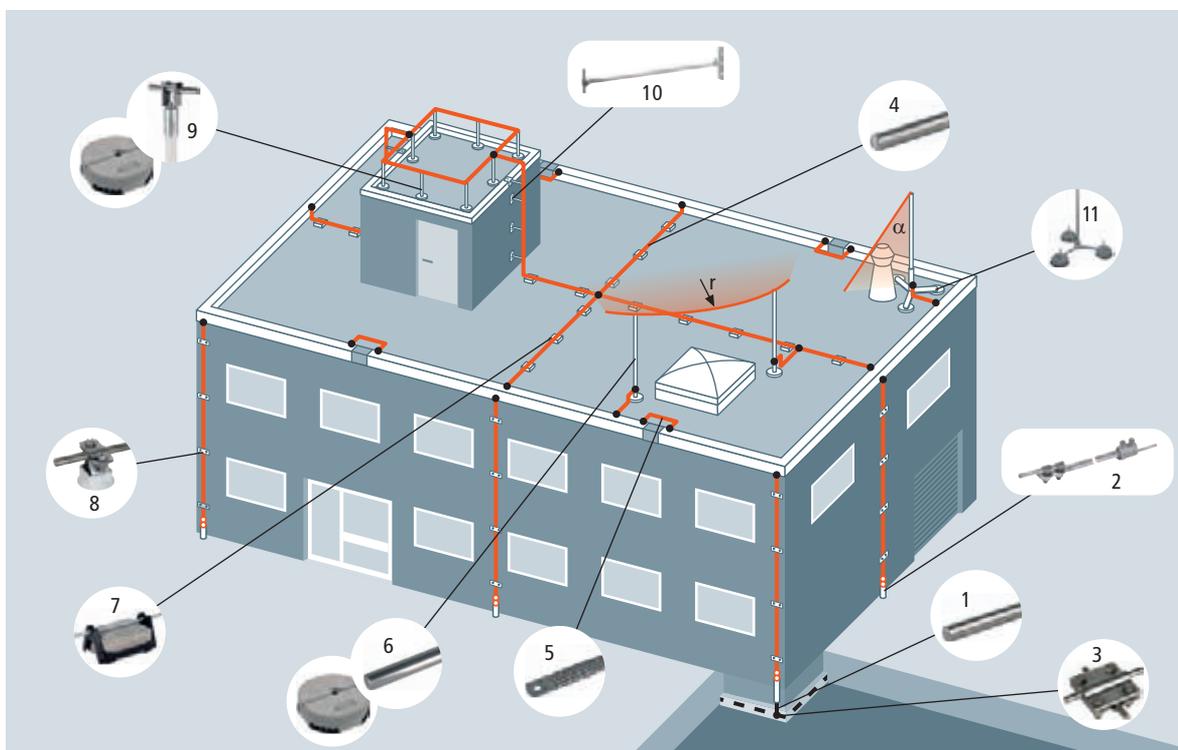


Figura 5.4.2.1a Protezione contro i fulmini esterna di una struttura industriale

Pos.	Descrizione articolo	Art.	Pos.	Descrizione articolo	Art.
1	Tondino di acciaio inox (Ø 10 mm)	Inox (V4A) 860 010	7	Staffa portafilo per tetti piani	253 050
2	Aste di adduzione nel terreno	Fe/tZn 480 150	8	Distanziatore DEHNiso	274 160
3	Morsetto a croce	Inox (V4A) 319 209	9	Conduttore ad anello sollevato con zoccolo in cemento e base di supporto e distanziatori	Inox (V4A) 102 340
4	Tondino DEHNALU (Ø 8 mm)	AlMgSi 840 008			106 160
5	Treccia di collegamento	Al 377 015	10	Distanziatore DEHNiso	zama-Fe/tZn 106 120
6	Asta di captazione con zoccolo in cemento e base di supporto	AlMgSi 103 420	11	Asta di captazione indipendente	105 500
		102 340			

Tabella 5.4.2.1a Elementi per la protezione contro i fulmini esterna di un'abitazione



Figura 5.4.2.1b Protezione contro i fulmini esterna per un'abitazione

Pos.	Descrizione articolo	Art.	Pos.	Descrizione articolo	Art.		
1	Tondino DEHNALU, semicrudo (Ø 8 mm) AlMgSi	840 008	7	Morsetto MV	Fe/tZn 390 050 Inox (V4A) 390 059		
	Tondino DEHNALU, ricotto malleabile (Ø 8 mm) AlMgSi	840 018		8	Morsetto per griglia fermaneve	Fe/tZn 343 000	
2	Bandella in acciaio (30 x 3,5 mm) Fe/tZn	810 335	9		Collare per grondaia, variabile da Ø 60 a 150 mm	423 020	
	Tondino (Ø 10 mm) Inox (V4A)	860 010		Collare per grondaia, per tutte le sezioni	423 200		
3	Staffe portafilo per colmi e displuvi	Fe/tZn 202 020		Connettore KS per conduttori di collegamento	301 000		
		Inox (V4A) 204 109		Connettore KS	Inox (V4A) 301 009		
		Inox (V4A) 204 249	10	Morsetto MV	390 051		
		Inox (V4A) 204 269		11	Staffa di collegamento	Al 377 006	
		Inox (V4A) 206 109			Treccia di collegamento	Al 377 015	
4	Staffe portafilo per tetto	Inox (V4A) 204 149	12	Asta di adduzione (Ø 16 mm) completa	480 150		
		Inox (V4A) 204 179			480 175		
		Fe/tZn 202 010	13	Staffa porta asta con cavallotto e rondella di copertura	274 260		
		Fe/tZn 202 050			14	Targhetta di identificazione per punti di sezionamento	480 006
		Fe/tZn 202 080					480 005
		Inox (V4A) 206 209					15
Fe/tZn 206 309	306 020						
5	DEHNSnap	204 006	Morsetto a croce	319 201			
	DEHNgrip	207 009		Morsetto SV	Fe/tZn 308 220		
	Staffa portafilo DEHNhold con base in plastica	274 150			Inox (V4A) 308 229		
	Staffa portafilo per isolamento termico	273 740		16	Asta di captazione con capocorda forgiato	100 100	
6	Morsetto per grondaia	Fe/tZn 339 050	Asta di captazione bombata da ambo i lati			483 100	
	Inox (V4A) 339 059	Fe/tZn 339 060	Morsetto per asta			380 020	
						Inox (V4A) 339 069	

Tabella 5.4.2.1b Elementi per la protezione contro i fulmini esterna di un'abitazione

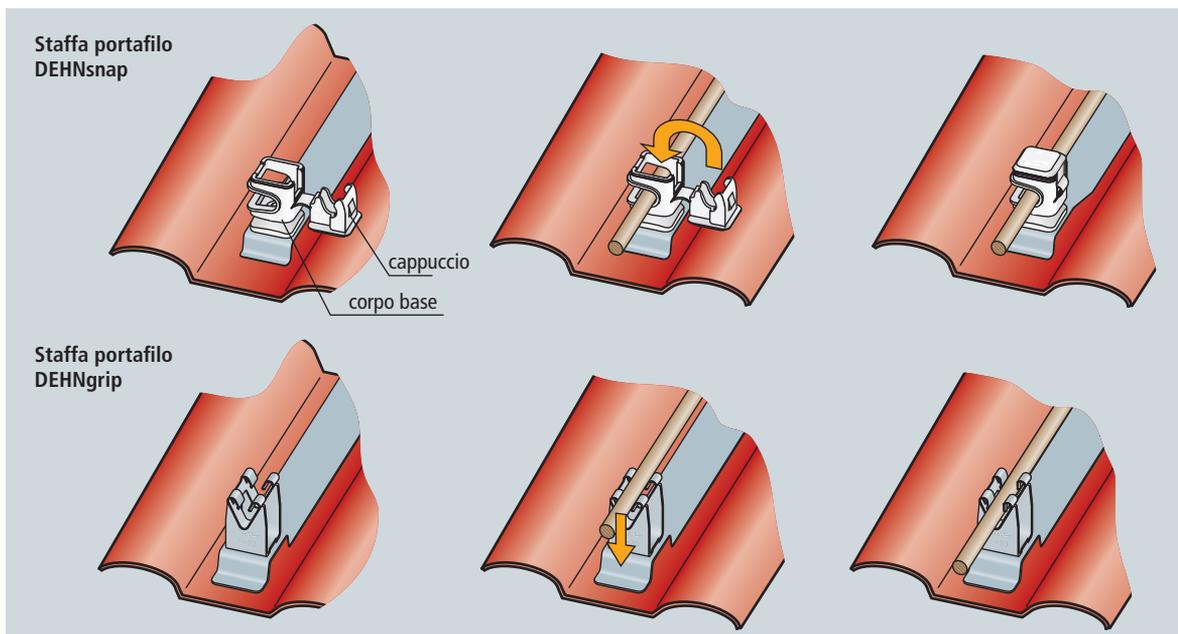


Figura 5.4.2.2 Staffa portafilo DEHNSnap e DEHNgrip

5.4.2 Protezione contro i fulmini esterna per una struttura industriale e residenziale

La **Figura 5.4.2.1a** mostra l'esecuzione di una protezione dai fulmini esterna per una struttura industriale e la **Figura 5.4.2.1b** per un'abitazione con garage annesso.

Queste figure e le **Tabelle 5.4.2.1a e 5.4.2.1b** mostrano esempi degli elementi attualmente utilizzati.

Non sono state prese in considerazione le misure di protezione contro i fulmini interne, come ad esempio l'equipotenzialità antifulmine e la protezione da sovratensioni (vedere a questo proposito il capitolo 6).

In particolare si rimanda al catalogo dei sistemi di staffe DEHN (DEHNhold, DEHNSnap e DEHNgrip).

La staffa portafilo DEHNhold è fatta di acciaio inossidabile (V4A) e può essere utilizzata per materiali diversi come Al, inox (V4A), Fe/Zn e Cu.

La serie di staffe in materiale plastico DEHNSnap (**Figura 5.4.2.2**) costituisce un componente di base (tetto o muro). Il cappuccio si aggancia semplicemente e fissa il conduttore al supporto, garantendo che il passaggio del conduttore sia libero. Lo speciale meccanismo di aggancio a scatto non sottopone a sollecitazioni meccaniche i sistemi di ancoraggio.

DEHNgrip (**Figura 5.4.2.2**) è un sistema di fissaggio senza viti in acciaio inox (V4A). Questo sistema di staffe senza viti può essere utilizzato come portafilo sia sul tetto che sul muro per conduttori Ø 8 mm. Una semplice pressione è sufficiente per fissare il conduttore al DEHNgrip (**Figura 5.4.2.2**).

5.4.3 Indicazioni per il montaggio di staffe portafilo per tetto

Tegole per colmo e displuio:

Le staffe portafilo per tetti si regolano con la vite apposta al fine di adattarle alle misure della tegola di colmo (**Figura 5.4.3.1**).

Inoltre, le staffe portafilo permettono di regolare la posizione del conduttore dal punto centrale superiore fino al punto inferiore laterale (l'allentamento della staffa portafilo è possibile ruotando la staffa o aprendo la vite di fissaggio).

➔ Staffa portafilo per tetti SPANNsnap con staffa portafilo DEHNSnap in materiale plastico oppure staffa portafilo in acciaio inossidabile (V4A) DEHNgrip (**Figura 5.4.3.2**). La forza di serraggio viene mantenuta costante da una molla in acciaio inossidabile (V4A). Campo di serraggio universale da 180 a 280 mm con sede laterale del conduttore regolabile per conduttori tondi da 8 mm.

➔ Staffa portafilo FIRSTsnap con staffa portafilo DEHNSnap in materiale plastico (**Figura 5.4.3.3**) da fissare sulla graffa di colmo esistente su colmi non murati.

Su colmi non murati, la staffa portafilo FIRSTsnap viene innestata sulla graffa di colmo esistente e avvitata a mano (ruotando solo DEHNSnap).

Tegole marsigliesi, tegole lisce:

Le staffe portafilo UNIsnap con graffa punzonata sono utilizzate sulle superfici dei tetti. La staffa portafilo viene piegata a mano prima di essere agganciata alla tegola (**Figura 5.4.3.4**).

Tetti in ardesia

Per l'utilizzo su tetti in ardesia l'aggancio interno può essere piegato a gomito (**Figura 5.4.3.5**) oppure essere provvisto di elemento di fissaggio supplementare (articolo n° 204 089).

Tegole marsigliesi:

➔ Staffa portafilo FLEXIsnap per tegole scanalate (marsigliesi), per l'inserimento diretto sulla scanalatura (**Figura**

5.4.3.6). La graffa flessibile in INOX (V4A) viene inserita tra le tegole. Premendo sulla tegola superiore, la graffa in INOX (V4A) si deforma e si adatta alla scanalatura. Rimane così fissata sotto la tegola.

➔ Le staffe portafilo per tetti (Rif. 204 229) con staffa preformata vengono agganciati alla giunzione inferiore delle tegole (**Figura 5.4.3.7**).

Tegole piatte o lastre

Insieme alla staffa portafilo DEHNSnap, la staffa portafilo ZIEGELsnap viene spinta fra le tegole piatte o le lastre e serrate a mano (solo DEHNSnap) (**Figura 5.4.3.8**).

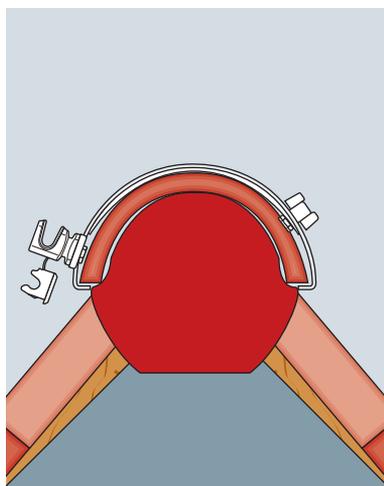


Figura 5.4.3.1 Staffa portafilo con DEHNSnap per tegola di colmo

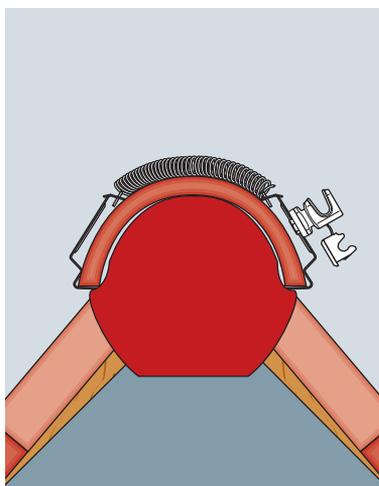


Figura 5.4.3.2 Staffa portafilo DEHNSnap e DEHNgrip

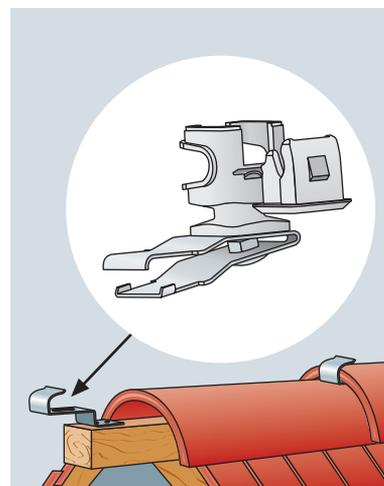


Figura 5.4.3.3 FIRSTsnap per il montaggio su staffa di colmo già esistente

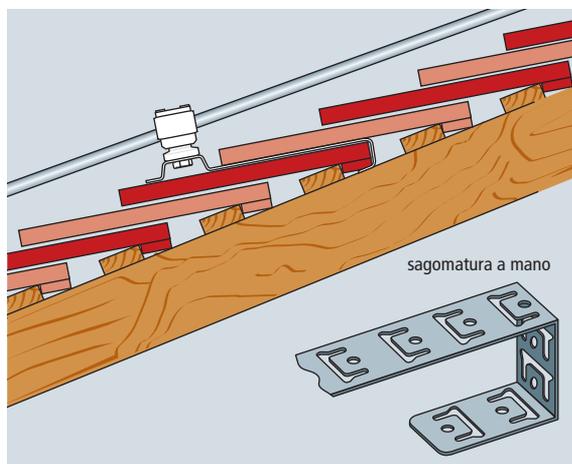


Figura 5.4.3.4 Staffa portafilo UNIsnap per tetti con graffa punzonata - Utilizzo su tegole marsigliesi e tegole piatte

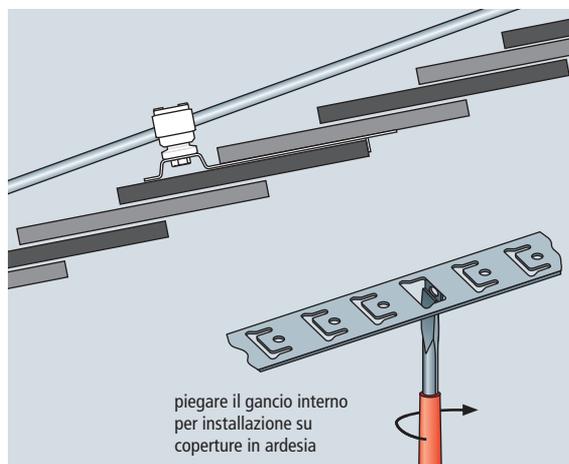


Figura 5.4.3.5 Staffa portafilo per tetti con graffa punzonata - Utilizzo su tetti in ardesia

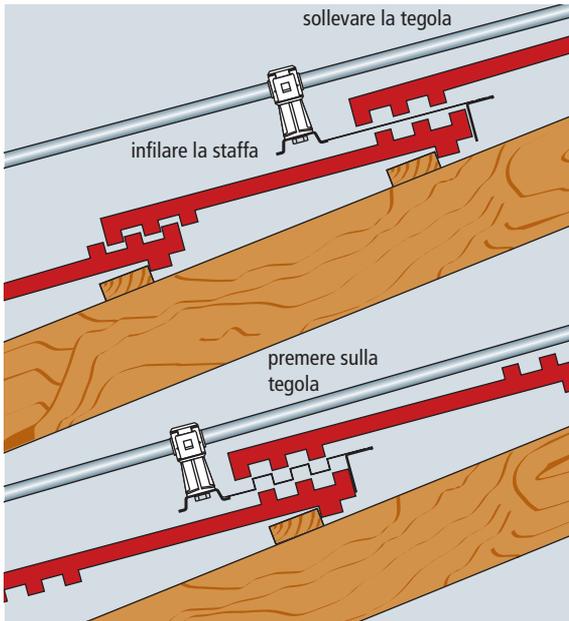


Figura 5.4.3.6 Staffa portafilo per l'adattamento diretto alla sagoma delle scanalature

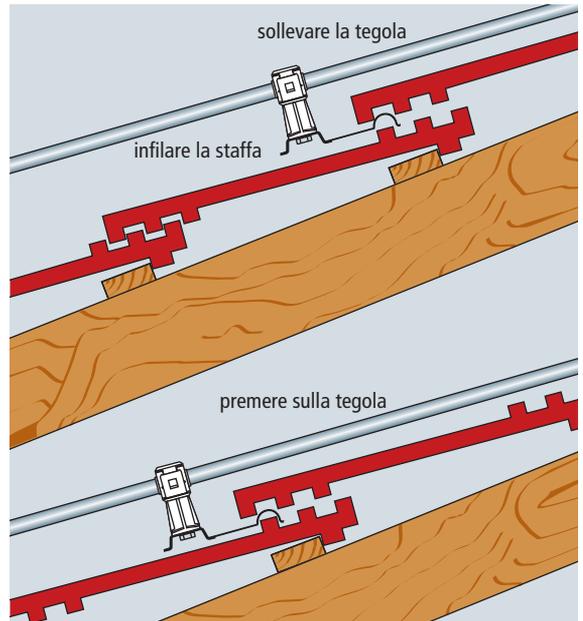


Figura 5.4.3.7 Staffa portafilo per tetti per aggancio nella scanalatura inferiore della tegola

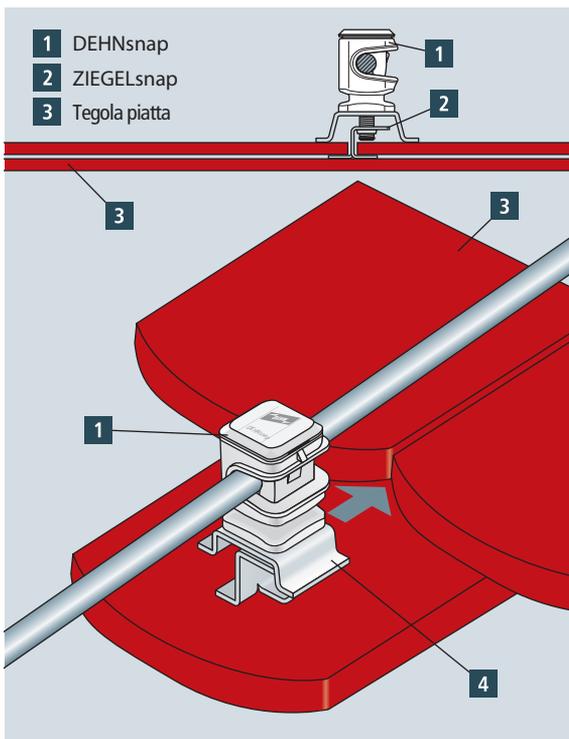


Figura 5.4.3.8 ZIEGELsnap, per il fissaggio tra tegole piatte o lastre

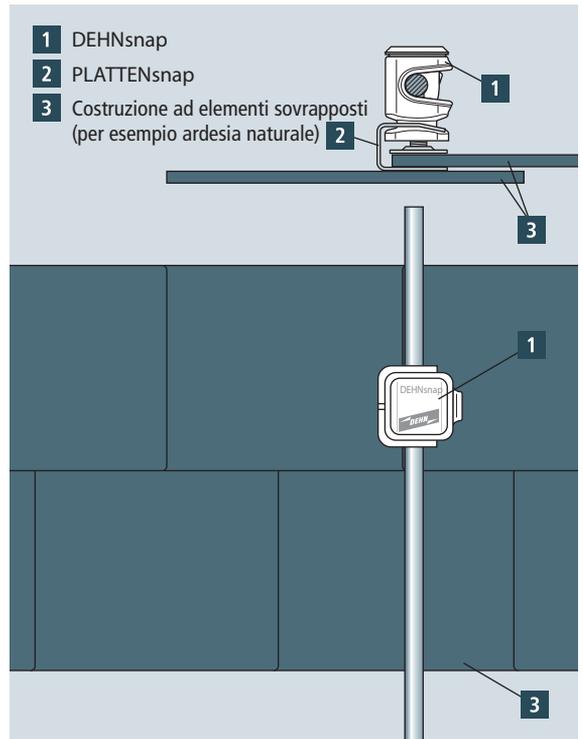


Figura 5.4.3.9 Staffa portafilo per tetti PLATTENsnap per costruzioni sovrapposte

Costruzioni sovrapposte

Nel caso di realizzazioni sovrapposte (ad es. lastre e ardesia naturale), la staffa portafilo DEHNSnap (Figura 5.4.3.9) viene bloccata lateralmente e fissata per mezzo di un cacciavite mentre la staffa è aperta.

Nel caso di lastre montate in diagonale, la staffa portafilo DEHNSnap può essere ruotata per assicurare il percorso verticale del conduttore.

5.5 Impianti di messa a terra

Un'ampia descrizione dei termini usati nella tecnologia di messa a terra è riportata nella CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) "Protezione contro i fulmini - Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone", CEI EN 61936-1 (CEI 99-2) e CEI EN 50522 (CEI 99-3) "Impianti elettrici con tensioni superiori a 1 kV in corrente alternata", IEC 60050-826 e IEC 60364-5-54 (HD 60364-5-54) "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V". In Germania, la norma DIN 18014 va rispettata per i dispersori di fondazione. Di seguito verranno ripetuti solo i termini necessari per comprendere le spiegazioni seguenti.

Definizioni

Terra

Il terreno viene considerato come il conduttore il cui potenziale elettrico in ogni punto è convenzionalmente uguale a zero. La parola "terra" è utilizzata anche per indicare sia la terra come luogo che la terra come materiale, ad esempio il tipo di terreno: humus, argilla, sabbia, ghiaia e roccia.

Terra di riferimento

Parte superficiale della terra, fuori dall'area di influenza di un dispersore o di un impianto di terra, nel quale tra due punti qualsiasi non si hanno percettibili differenze di potenziale dovute alla corrente di terra (Figura 5.5.1).

Dispersore

Si tratta di un conduttore o più conduttori in contatto elettrico con il terreno, che fornisce un contatto elettrico con il terreno (include anche i dispersori di fondazione).

Impianto di terra

Sistema limitato localmente costituito da dispersori o parti metalliche in contatto con il terreno di efficacia uguale a quella dei

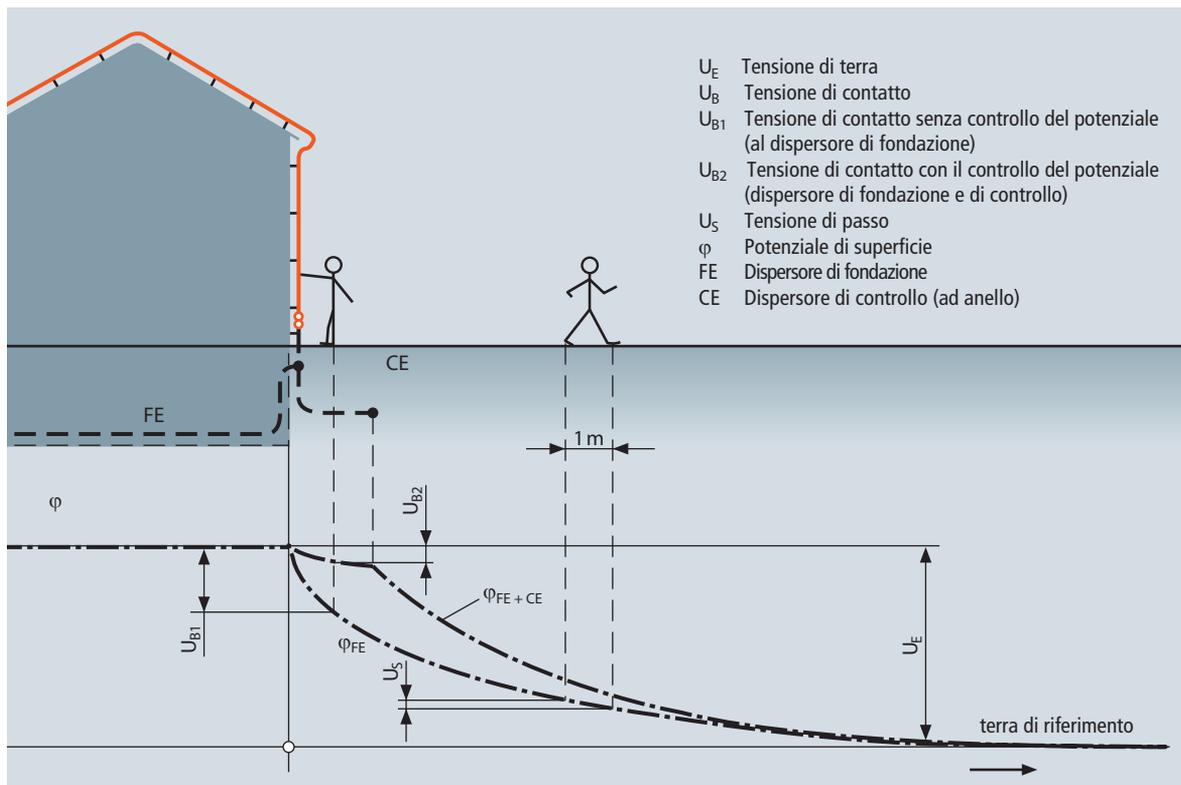


Figura 5.5.1 Potenziale di superficie e tensioni su dispersore di fondazione FE e dispersore di controllo SE percorso da corrente

dispersori (ad esempio armature di fondazioni in calcestruzzo, guaine metalliche di cavi a contatto con il terreno, ecc.).

Conduttore di terra

È un conduttore che collega una parte dell'impianto da mettere a terra con un dispersore o che collega tra loro più dispersori, posato fuori dal terreno o interrato nel terreno e da esso isolato.

Messa a terra per la protezione contro i fulmini

È la messa a terra di un impianto di protezione contro i fulmini per scaricare verso terra la corrente di fulmine.

Di seguito vengono descritti i tipi di dispersori e la loro classificazione in base a posizione, forma e profilo.

Classificazione secondo la posizione

Dispersore orizzontale

È un dispersore che in genere viene interrato a una profondità di circa 1 m. Può essere costituito da tondi o nastri e può essere disposto in modo radiale, ad anello, a maglia, oppure come una combinazione di questi metodi.

Dispersore verticale

È un dispersore che generalmente si estende in verticale nel terreno a grande profondità. Può ad esempio essere costituito da una barra cilindrica o da altro tipo di profilo.

Dispersore di fondazione

Consiste di uno o più conduttori annegati nel calcestruzzo a contatto elettrico con il terreno su un'ampia superficie.

Dispersore per il controllo del potenziale di terra

È un dispersore, che in base alla sua forma e collocazione, serve più per ridurre il gradiente di potenziale sulla superficie del terreno che per ottenere un definito valore di resistenza di terra.

Dispersore ad anello

Dispersore che, sotto terra oppure alla superficie del terreno, forma un anello chiuso intorno a una struttura.

Dispersore naturale

Si tratta di una parte metallica a contatto con la terra o con acqua direttamente o attraverso calcestruzzo, il cui scopo originale non è la messa a terra, che però funge da dispersore (armature del calcestruzzo, tubature, ecc.).

Classificazione secondo la forma e il profilo

Si possono distinguere: piatto/bandella di terra, dispersore con profilo a croce e dispersore tondo (innestabile).

Tipi di resistenza

Resistività del terreno

ρ_E è la resistenza specifica del terreno. Viene indicata in Ωm e rappresenta la resistenza tra due lati opposti di un cubo di terra di 1 m.

Resistenza di terra

R_A di un dispersore è la resistenza tra il dispersore e la terra di riferimento. R_A è praticamente una resistenza ohmica.

Impedenza di terra convenzionale

R_{st} è la resistenza che si riscontra durante il passaggio delle correnti di fulmine tra un punto del sistema dei dispersori e la terra di riferimento.

Tensioni su impianti di terra attraversati da corrente, controllo del potenziale

Tensione di terra

U_E è la tensione che si verifica tra un impianto di terra e la terra di riferimento (**Figura 5.5.1**).

Potenziale di superficie

φ è la tensione tra un punto della superficie del terreno e la terra di riferimento (**Figura 5.5.1**).

Tensione di contatto

U_B è la parte del potenziale di terra a cui può essere sottoposta una persona (**Figura 5.5.1**), considerando che la corrente può fluire attraverso il corpo umano dalla mano al piede (distanza orizzontale dalla massa toccata circa 1 m) oppure da mano a mano.

Tensione di passo

U_S è la parte del potenziale di terra a cui può essere sottoposta una persona con un passo di 1 m, considerando la corrente che scorre attraverso il corpo umano da piede a piede (**Figura 5.5.1**).

Controllo del potenziale

Influenza dei dispersori sul gradiente del potenziale di terra, principalmente quello superficiale del terreno (**Figura 5.5.1**).

Collegamento equipotenziale

Per gli impianti di protezione contro i fulmini è il collegamento delle masse metalliche e degli impianti elettrici con l'impianto di protezione contro i fulmini attraverso conduttori, scaricatori di corrente di fulmine o spinterometri.

Resistenza di terra / resistività del terreno

Resistenza di terra R_A

Il passaggio della corrente di fulmine attraverso il dispersore verso terra non avviene in un solo punto, ma interessa una determinata zona attorno al dispersore.

La forma del dispersore e il tipo di collocazione devono quindi essere scelti in modo tale, che le tensioni che agiscono sulla superficie del terreno (tensioni di contatto e di passo) non assumano valori pericolosi.

La resistenza di terra R_A di un dispersore può essere spiegata meglio immaginando una sfera di metallo interrata.

Se la sfera è posizionata a una profondità sufficiente, la corrente si distribuisce in modo uniforme e radiale sopra la superficie della sfera. Questo caso è raffigurato nella **Figura 5.5.2a**; per confronto, nella **Figura 5.5.2b** viene raffigurato il caso di una sfera interrata immediatamente sotto la superficie.

I cerchi concentrici attorno alla superficie della sfera rappresentano altrettante superfici a tensione costante. La resistenza di terra R_A è composta dalle resistenze parziali dei singoli strati a sfera collegati in serie. La resistenza di un tale strato a sfera si calcola utilizzando la formula

$$R = \rho_E \cdot \frac{l}{q}$$

dove

ρ_E corrisponde alla resistività del terreno, considerato omogeneo

l lo spessore di uno strato a sfera immaginario, e

q la superficie media di questo strato sferico.

A titolo di esempio, supponiamo di utilizzare una sfera di metallo di 20 cm di diametro interrata a 3 m di profondità, con una resistività di 200 Ωm

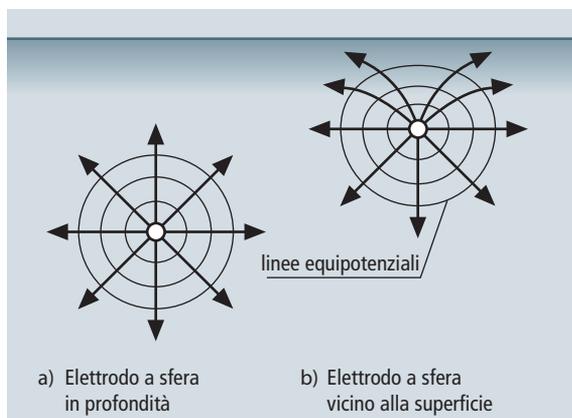


Figura 5.5.2 Corrente in uscita da un dispersore a sfera

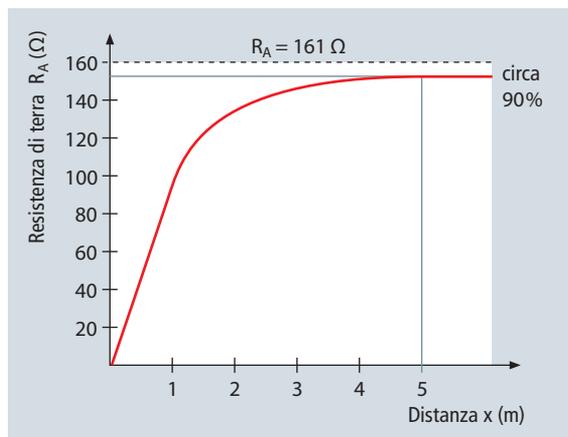


Figura 5.5.3 Resistenza di terra R_A di un dispersore sferico \varnothing 20 cm a 3 m di profondità con $\rho_E = 200 \Omega\text{m}$ in base alla distanza x dal centro della sfera

Se ora si calcola, per i diversi strati a sfera, l'aumento della resistenza di terra, si ottiene, in base alla distanza dal centro della sfera, una curva simile a quella illustrata in **Figura 5.5.3**. La resistenza di terra R_A per il dispersore a sfera si calcola utilizzando la formula:

$$R_A = \frac{\rho_E \cdot 100}{2\pi \cdot r_K} \cdot \frac{1 + \frac{r_K}{2t}}{2}$$

ρ_E Resistività del terreno in Ωm

t profondità di interramento in cm

r_K raggio del dispersore a sfera in cm

Questa formula fornisce per il dispersore a sfera una resistenza di terra $R_A = 161 \Omega$.

Dal tracciato della curva riportata nella **Figura 5.5.3** si evince che la maggior parte della resistenza di terra totale si verifica nelle immediate vicinanze del dispersore. Ad esempio, ad una distanza di 5 m dal centro della sfera, è stato raggiunto già il 90% della resistenza di terra totale R_A .

Resistività del terreno ρ_E

La resistività del terreno ρ_E , determinante per la grandezza della resistenza di terra di un dispersore, dipende dalla composizione del terreno, dall'umidità del terreno e dalla temperatura. Può variare entro dei limiti molto ampi.

Valori per i diversi tipi di terreni

Nella **Figura 5.5.4** sono riportati, per i diversi tipi di terreni, i campi di variazione della resistività ρ_E .

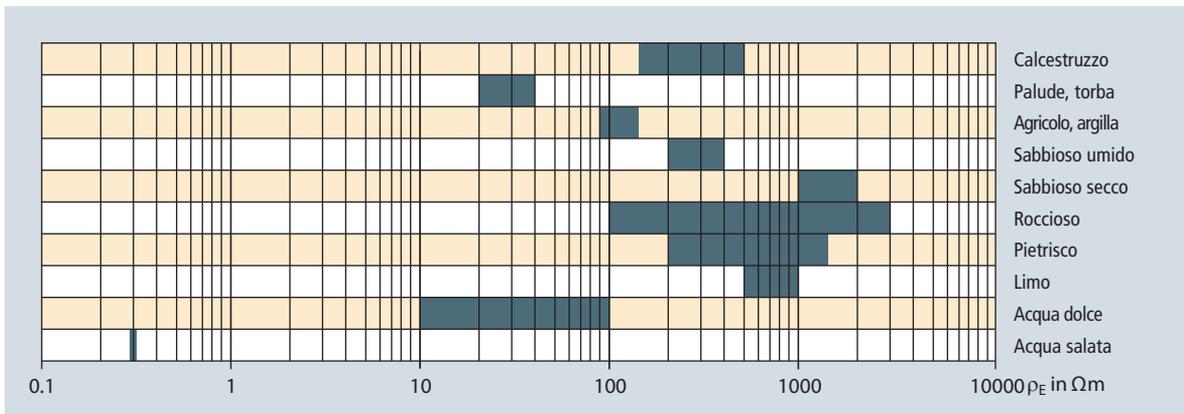


Figura 5.5.4 Resistività del terreno ρ_E con diversi tipi di terreni

Variazioni stagionali

Molte misurazioni hanno dimostrato che la resistività del terreno può variare notevolmente a seconda della profondità di interrimento del dispersore. A causa del coefficiente di temperatura negativo del terreno (da $\alpha = 0,02$ a $0,004$) le resistenze specifiche del terreno raggiungono il valore massimo in inverno e il valore minimo in estate. Si consiglia, quindi, di convertire i valori di misura dei dispersori in valori massimi presunti, dal momento che anche in condizioni di tempo sfavorevoli (temperature minime) non devono essere superati i valori ammessi

L'andamento della resistività del terreno ρ_E in funzione della stagione (temperatura del terreno) può essere rappresentato con un'approssimazione abbastanza buona attraverso una curva sinusoidale, che presenta il valore massimo circa a metà febbraio e il valore minimo circa a metà agosto. Gli studi hanno inoltre dimostrato che per dispersori interrati a una profondità non superiore a 1,5 m, le variazioni massime della resistività del terreno rispetto al valore medio sono di circa $\pm 30\%$ (Figura 5.5.5).

Per dispersori interrati a una maggiore profondità (in particolare i dispersori verticali) le variazioni non superano il $\pm 10\%$. Sulla base dell'andamento sinusoidale della resistività del terreno riportata nella Figura 5.5.5, la resistenza di terra R_A di un impianto di terra, misurata in un determinato giorno, può essere convertita facilmente nel valore massimo prevedibile.

Misura

Per la determinazione della resistività del terreno ρ_E si utilizza un ponte di misurazione con quattro morsetti, che lavora secondo il metodo dell'azzeramento.

La Figura 5.5.6 illustra lo schema di questo metodo di misura, denominato metodo WENNER. La misura viene effettuata da

un punto centrale M fisso, che viene mantenuto per tutte le misure successive. Lungo un tracciato a-a' segnato sul terreno vengono inserite quattro sonde di misura (paletti di terra con lunghezza da 30 a 50 cm). La resistività del terreno ρ_E si può ricavare dalla resistenza misurata R:

$$\rho_E = 2\pi \cdot e \cdot R$$

- R resistenza misurata in Ω
- e distanza della sonda in m
- ρ_E resistività media del terreno in Ωm fino ad una profondità che corrisponde alla distanza della sonda e

Aumentando la spaziatura tra le sonde e regolando nuovamente il ponte di misura della messa a terra, è possibile individuare la curva della resistività del terreno ρ_E in funzione della profondità.

Calcolo delle resistenze di terra

Per i tipi di dispersore utilizzati frequentemente, le formule per il calcolo delle resistenze di terra sono indicate nella **Tabella 5.5.1**. In pratica sono sufficienti queste formule empiriche. Le formule di calcolo esatte sono riportate nei seguenti paragrafi.

Dispersore orizzontale rettilineo

I dispersori orizzontali vengono di solito interrati a 0,5 ... 1 m di profondità. Poiché lo strato di terreno sopra il dispersore in estate si secca e in inverno gela, si calcola la resistenza di terra R_A di questo tipo di dispersore come se si trovasse in superficie:

$$R_A = \frac{\rho_E}{\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r}$$

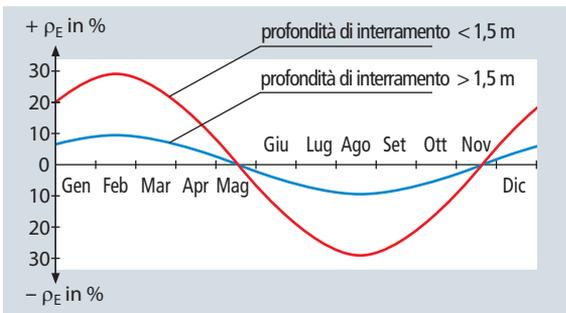


Figura 5.5.5 Resistività del terreno ρ_E in base alla stagione senza l'influenza delle precipitazioni (profondità di interrimento del dispersore $< 1,5\text{ m}$)

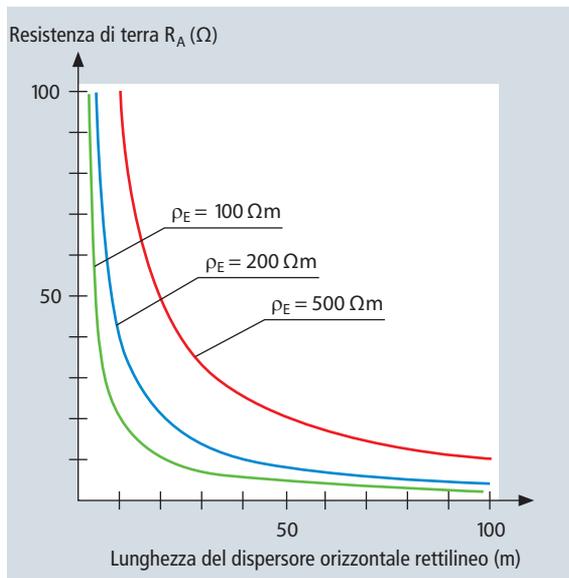
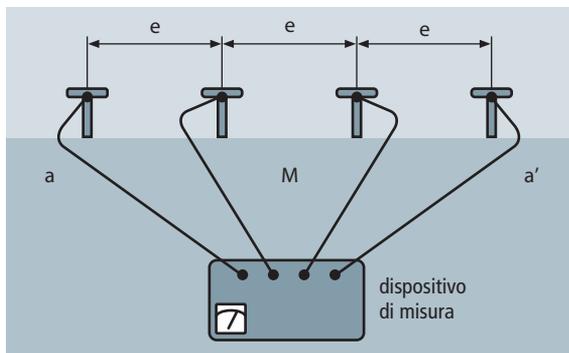


Figura 5.5.7 Dipendenza della resistenza di terra R_A dalla lunghezza l del dispersore orizzontale con diversa resistività del terreno ρ_E

- R_A Resistenza di terra di un dispersore orizzontale rettilineo in Ω
- ρ_E Resistività del terreno in $\Omega\text{ m}$
- l Lunghezza del dispersore orizzontale in m
- r Un quarto di larghezza della bandella in acciaio in m o diametro del tondino in m

Dalla **Figura 5.5.7** è possibile ricavare la resistenza di terra R_A in base alla lunghezza del dispersore

Nella **Figura 5.5.8** è raffigurata, per una bandella di terra di 8 m di lunghezza, la tensione di terra U_E in direzione longitudinale e trasversale. Le figure evidenziano l'influenza della profondità di interrimento sulla tensione di terra.

Nella **Figura 5.5.9** viene raffigurata la tensione di passo U_S in base alla profondità di interrimento. In pratica, il calcolo viene effettuato utilizzando la formula approssimata della **Tabella 5.5.1**:

$$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{l}$$

Dispersore verticale

La resistenza di terra R_A per il dispersore verticale si calcola utilizzando la formula:

$$R_A = \frac{\rho_E}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2l}{r}$$

- R_A Resistenza di terra in Ω
- ρ_E Resistività del terreno in $\Omega\text{ m}$
- l Lunghezza del dispersore verticale in m
- r Raggio del dispersore verticale in m

Approssimativamente, la resistenza di terra R_A può essere calcolata con la formula empirica riportata nella **Tabella 5.5.1**:

$$R_A = \frac{\rho_E}{l}$$

La dipendenza della resistenza di terra R_A dalla lunghezza del picchetto l e della resistività del terreno ρ_E è rappresentata nella **Figura 5.5.10**.

Combinazione di dispersori

Quando vengono posati alcuni dispersori verticali in vicinanza (condizionata dalla situazione locale), la distanza tra i singoli dispersori dovrebbe corrispondere almeno alla loro profondità d'inserimento. I singoli dispersori sono da collegare tra di loro.

Le resistenze di terra calcolate in base alle formule e i risultati di misura riportati nei diagrammi valgono sia per la corrente continua che per la corrente alternata a bassa frequenza e a

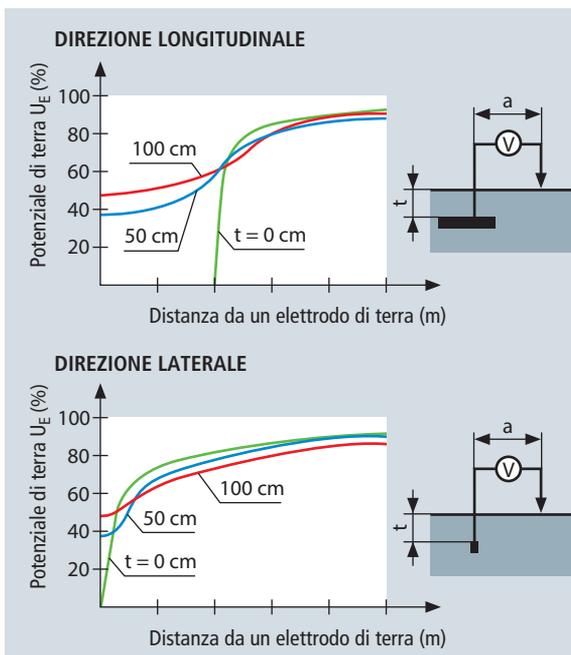


Figura 5.5.8 Tensione di terra U_E tra il conduttore di terra e la superficie del terreno, in base alla distanza dal dispersore per una bandella (lunga 8 m) a profondità diverse

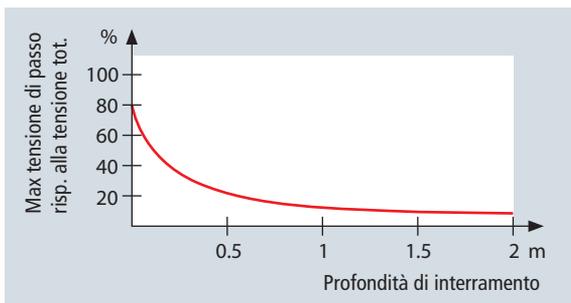


Figura 5.5.9 Massima tensione di passo U_S in base alla profondità di interramento per un elettrodo di terra rettilineo

condizione che il dispersore abbia un'estensione relativamente limitata (poche centinaia di metri). Per lunghezze maggiori, ad esempio per dispersori orizzontali, la corrente alternata possiede anche una componente induttiva.

Tuttavia, le resistenze di terra calcolate non valgono per le correnti di fulmine. In questo caso prevale la componente induttiva, che, per una maggiore estensione dell'impianto di messa a terra, può portare a dei valori più elevati dell'impedenza di terra convenzionale.

Aumentando la lunghezza dei dispersori orizzontali o verticali oltre i 30 m, si ottiene solamente una diminuzione insignifican-

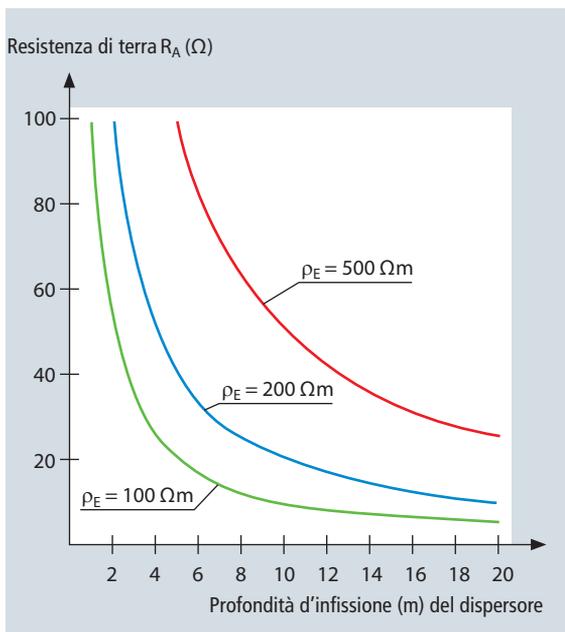


Figura 5.5.10 Dipendenza della resistenza di terra R_A dei dispersori dalla lunghezza l dei dispersori con diversa resistività del terreno ρ_E

te dell'impedenza di terra convenzionale. E' più conveniente, quindi, combinare più dispersori corti. In tale contesto occorre considerare, che a causa dell'influsso reciproco, l'effettiva resistenza di terra è maggiore rispetto al valore calcolato ipotizzando di collegare in parallelo le singole resistenze

Dispersori radiali

I dispersori radiali disposti sotto forma di superfici incrociate sono da preferire quando in un terreno ad alta resistività si devono ottenere delle resistenze di terra relativamente basse a costi sostenibili.

La resistenza di terra R_A di un dispersore radiale, con lati disposti a 90° tra loro si può calcolare con la formula:

$$R_A = \frac{\rho_E}{4\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r} + 1.75$$

- R_A Resistenza di terra del dispersore in Ω
- ρ_E Resistività del terreno in Ωm
- l Lunghezza dell'elemento radiale in m
- d Metà larghezza della bandella in m oppure diametro del tondino in m

In prima approssimazione per elementi radiali di grandi dimensioni ($l > 10$ m) la resistenza di terra R_A può essere calcolata utilizzando la lunghezza complessiva dell'elemento radiale in base alle equazioni riportate in **Tabella 5.5.1**.

La **Figura 5.5.11** illustra il percorso della resistenza di terra R_A dei dispersori radiali in base alla profondità di interramento. La **Figura 5.5.12** illustra il percorso della tensione di terra. Per i dispersori radiali l'angolo tra i singoli raggi deve essere maggiore di 60° .

Secondo la **Figura 5.5.12**, per la resistenza di terra di un dispersore a maglia vale la formula:

$$R_A = \frac{\rho_E}{2 \cdot d}$$

Dispersore	Formula empirica	Grandezza ausiliaria
Dispersore orizzontale (radiale)	$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{l}$	-
Dispersore verticale	$R_A = \frac{\rho_E}{l}$	-
Dispersore ad anello	$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{3 \cdot d}$	$d = 1.13 \cdot \sqrt[2]{A}$
Dispersore a maglie	$R_A = \frac{\rho_E}{2 \cdot d}$	$d = 1.13 \cdot \sqrt[2]{A}$
Dispersore a piastra	$R_A = \frac{\rho_E}{4.5 \cdot a}$	-
Dispersore a semisfera / di fondazione	$R_A = \frac{\rho_E}{\pi \cdot d}$	$d = 1.57 \cdot \sqrt[3]{V}$

- R_A Resistenza di terra (Ω)
- ρ_E Resistività del terreno (Ωm)
- l lunghezza del dispersore orizzontale in m
- d Diametro del dispersore ad anello, dell'area equivalente o di un dispersore a semisfera
- A Area (m^2) circondata da un dispersore ad anello o a maglie
- a Lato (m) di un dispersore a piastra quadrata con piastra rettangolare sostituire a con: $\sqrt{b \cdot c}$, dove b e c indicano i due lati del rettangolo
- V Volume di un dispersore di fondazione

Tabella 5.5.1 Formule per il calcolo della resistenza di terra R_A per i diversi tipi di dispersori

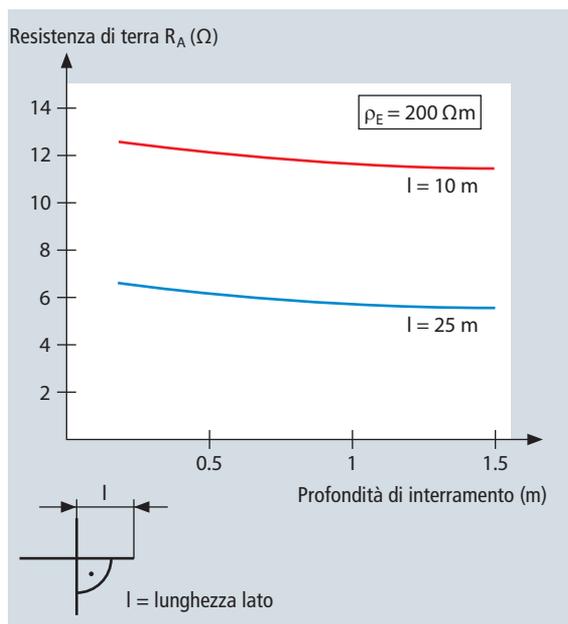


Figura 5.5.11 Resistenza di terra R_A dei dispersori radiali incrociati (90°) in base alla profondità di interramento

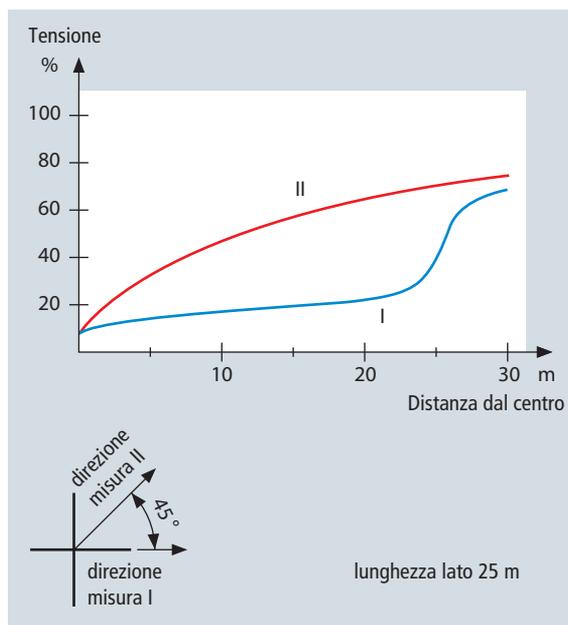


Figura 5.5.12 Tensione totale di terra U_E tra la linea del dispersore e la superficie di terra del dispersore radiale (90°) in funzione della distanza dal punto centrale di incrocio (profondità di interramento 0,5 m)

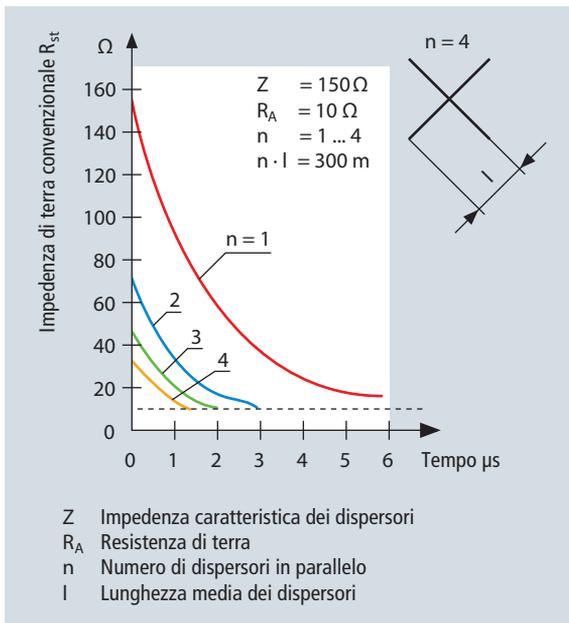


Figura 5.5.13 L'impedenza di terra convenzionale R_{st} dei dispersori orizzontali a uno o più elementi radiali di pari lunghezza

dove d è il diametro del cerchio equivalente, cioè con la stessa superficie del dispersore a maglia. Esso si determina come segue.

Per misure rettangolari o poligonali del dispersore a maglia:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

A superficie del dispersore a maglia in m^2

Per forme quadrate (lunghezza del lato b):

$$d = 1.1 \cdot b$$

La **Figura 5.5.13** illustra il percorso della resistenza di terra impulsiva di dispersori orizzontali a uno o più raggi per tensioni impulsive rettangolari.

Da questo diagramma si può intuire che a parità di lunghezza è più conveniente installare un dispersore radiale piuttosto che un dispersore orizzontale con un unico elemento.

Dispersori di fondazione

La resistenza di terra di un conduttore metallico nella fondazione in calcestruzzo può essere calcolata approssimativamente con la formula per dispersori emisferici:

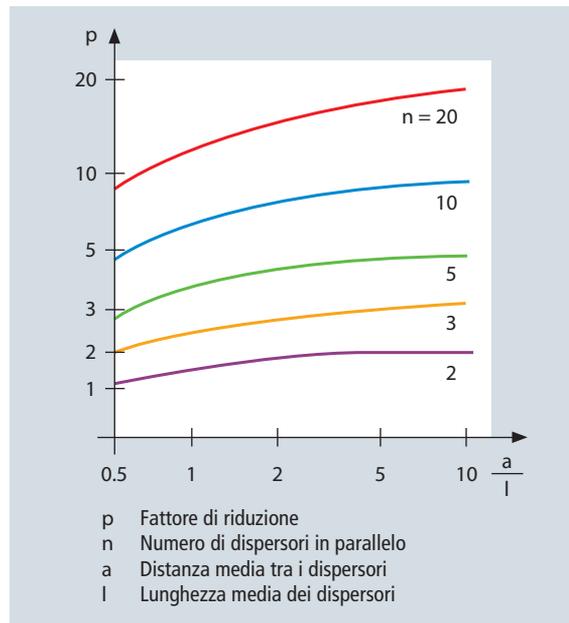


Figura 5.5.14 Fattore di riduzione p per il calcolo della resistenza di terra totale R_A di dispersori verticali collegati in parallelo

$$R_A = \frac{\rho_E}{\pi \cdot d}$$

dove d è il diametro della semisfera equivalente, cioè con lo stesso volume della fondazione

$$d = 1.57 \cdot \sqrt[3]{V}$$

V volume della fondazione in m^3

Per il calcolo della resistenza di terra occorre osservare che il dispersore di terra può essere efficace solamente se il corpo in calcestruzzo presenta una grande superficie di contatto con il terreno circostante. I rivestimenti isolanti e idrorepellenti aumentano notevolmente la resistenza di terra oppure isolano il dispersore di fondazione (vedere 5.5.2).

Dispersori verticali collegati in parallelo

Per mantenere entro limiti ragionevoli le influenze reciproche, le distanze tra i singoli dispersori collegati in parallelo non dovrebbero essere inferiori alla profondità di infissione.

Se i singoli dispersori sono disposti pressapoco a cerchio e hanno la stessa lunghezza, la resistenza di terra può essere calcolata come segue:

$$R_A = \frac{R_{A'}}{p}$$

Dove R_A è la resistenza di terra media del dispersore singolo. Il fattore di riduzione p in base alla lunghezza dei dispersori, la distanza tra i singoli dispersori e il numero degli stessi può essere ricavato dalla **Figura 5.5.14**.

Combinazione di dispersori orizzontali e verticali

Se con i dispersori verticali si ottiene una resistenza di terra sufficiente, ad esempio per la maggiore umidità del terreno negli strati più profondi, i dispersori verticali devono essere infissi il più vicino possibile agli oggetti da proteggere. Se è necessario un collegamento lungo, sarà utile posare in parallelo un dispersore radiale supplementare a più elementi, per abbassare la resistenza durante il fronte di salita della corrente.

La resistenza di terra di un dispersore orizzontale con dispersore verticale può essere calcolata come se la bandella del dispersore orizzontale fosse stata prolungata per la profondità di infissione del dispersore verticale.

$$R_A \approx \frac{\rho_E}{l_{\text{strip earth electrode}} + l_{\text{earth rod}}}$$

Dispersore ad anello

Per dispersori ad anello di forma circolare con grande diametro ($d > 30\text{m}$), la resistenza di terra viene calcolata in modo approssimativo con la stessa formula utilizzata per il dispersore orizzontale (per la lunghezza del dispersore viene utilizzata la circonferenza $\pi \cdot d$):

$$R_A = \frac{\rho_E}{\pi^2 \cdot d} \cdot \ln \frac{\pi \cdot d}{r}$$

r raggio del tondino oppure un quarto della larghezza del dispersore a bandella in m

Per dispersori ad anello non a forma circolare, il calcolo della resistenza di terra viene effettuato usando il diametro d di un cerchio equivalente, cioè con stessa superficie:

$$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{3 \cdot d}$$

$$d = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}}$$

A superficie racchiusa dal dispersore ad anello in m^2

Realizzazione

Secondo le norme IEC (in Italia CEI), per ogni impianto da proteggere è necessario un impianto di terra separato, che deve essere perfettamente funzionante anche senza l'utilizzo di tubature metalliche o conduttori dell'impianto elettrico messi a terra.

Il valore della resistenza di terra R_A riveste solo un'importanza secondaria per la protezione contro i fulmini di un edificio o di un impianto. E' invece importante che il collegamento equipotenziale sia continuo e uniforme a livello del suolo e che la corrente di fulmine si distribuisca nel terreno senza creare pericolo.

La corrente di fulmine eleva l'oggetto da proteggere al potenziale U_E

$$U_E = i \cdot R_A + \frac{1}{2} \cdot L \cdot \frac{di}{dt}$$

rispetto al potenziale di terra.

Il potenziale di superficie diminuisce con l'aumentare della distanza dal dispersore (**Figura 5.5.1**).

La caduta di tensione induttiva sul dispersore durante l'aumento della corrente di fulminee deve essere considerata solo per impianti di messa a terra estesi (ad esempio in caso di lunghi dispersori orizzontali, necessari in terreni con sottosuolo roccioso ad alta resistività). In generale la resistenza di terra è determinata solo dalla componente ohmica

Il potenziale di terra U_E presenta il suo valore massimo rispetto ai conduttori isolati entranti nell'edificio.

Per evitare il rischio di scariche, tali conduttori vengono collegati con l'impianto di messa a terra attraverso spinterometri o, in caso di conduttori sotto tensione, tramite dispositivi di protezione da sovratensione (vedere il catalogo principale DEHN sulla protezione da sovratensioni) in modo da realizzare un collegamento equipotenziale.

Per ridurre al massimo le tensioni di contatto e di passo, è necessario limitare i valori della resistenza di terra.

L'impianto di messa a terra può essere realizzato come dispersore di fondazione, dispersore ad anello e, per edifici con grandi superfici, come dispersore a maglie; in casi particolari anche come dispersore unico.

I dispersori nelle fondazioni devono essere conformi alle prescrizioni della norma tedesca DIN 18014 (norma italiana CEI EN 62305).

Il dispersore di fondazione deve essere realizzato come anello chiuso e deve essere posto nelle fondazioni delle pareti esterne dell'edificio oppure nelle piastre di fondazione secondo la norma DIN 18014. Per edifici di più grandi dimensioni, il di-

spessore di terra dovrebbe avere dei collegamenti trasversali, in modo da non superare la grandezza massima delle maglie di 20 m x 20 m.

Il dispersore di fondazione deve essere installato in modo che venga circondato da tutti i lati dal calcestruzzo.

Deve essere eseguito un collegamento tra dispersore di fondazione e barra equipotenziale nel punto di fornitura dell'energia elettrica. Secondo le norme IEC 62305-3 (EN 62305-3), il dispersore di fondazione deve essere provvisto di capicorda per collegare le calate della protezione contro i fulmini esterna ai dispersori.

A causa del pericolo di corrosione sul punto di uscita dei capicorda di collegamento dal calcestruzzo, va prevista una protezione aggiuntiva contro la corrosione (rivestimento in PVC o meglio utilizzo di acciaio inossidabile, per esempio AISI/ASTM 316 Ti).

L'armatura delle fondazioni a piastre o a nastro può essere utilizzata come dispersore di terra, purché i necessari capicorda siano collegati alle armature e queste ultime siano collegate tra loro in modo da condurre correnti elettriche.

I dispersori orizzontali devono essere posati ad una profondità non inferiore a 0,5 m.

L'impedenza di terra convenzionale dei dispersori dipende dal valore massimo della corrente di fulmine e dalla resistività del terreno (si veda anche la **Figura 5.5.13**). La lunghezza efficace del dispersore attraversato dalla corrente di fulmine viene calcolata approssimativamente come segue:

dispersore orizzontale:

$$l_{eff} = 0.28\sqrt{\hat{i} \cdot \rho_E}$$

dispersore verticale:

$$l_{eff} = 0.2\sqrt{\hat{i} \cdot \rho_E}$$

l_{eff} lunghezza efficace del dispersore in m

\hat{i} Valore di picco della corrente di fulmine in kA

ρ_E Resistività del terreno in Ωm

L'impedenza di terra convenzionale R_{st} può essere calcolata con le formule riportate nella **Tabella 5.5.1**, utilizzando come lunghezza l la lunghezza efficace del dispersore l_{eff} .

I dispersori orizzontali sono vantaggiosi quando gli strati superiori del terreno presentano una resistività inferiore a quella del sottosuolo.

Per un terreno relativamente omogeneo (quando la resistività del terreno in superficie e in profondità è circa uguale), i costi

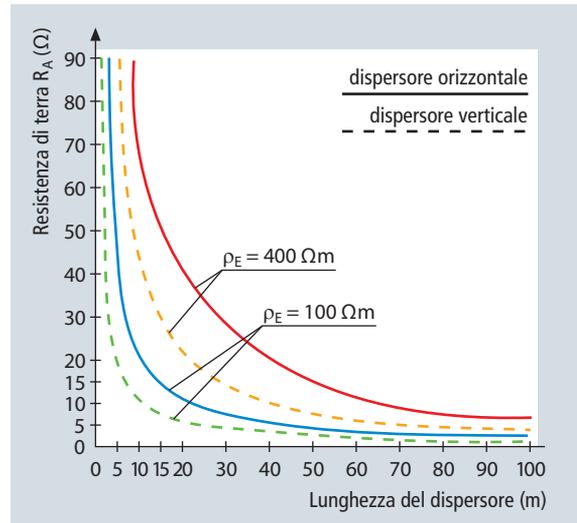


Figura 5.5.15 Resistenza di terra R_A dei dispersori orizzontali e verticali in base alla lunghezza del dispersore l

di realizzazione per dispersori orizzontali e verticali, a pari valore di resistenza di terra, si equivalgono.

Secondo la **Figura 5.5.15**, per un dispersore verticale serve una lunghezza pari a circa la metà di un dispersore orizzontale. Se il terreno presenta in profondità una conduttività più favorevole che in superficie, ad esempio grazie alla presenza di acqua sotterranea, un dispersore verticale è generalmente più conveniente di un dispersore orizzontale.

In casi specifici, la scelta tra dispersore verticale o orizzontale può essere decisa solo attraverso la misura della resistività del terreno in base alla profondità.

Poiché con dispersori verticali è possibile ottenere dei valori di resistenze di terra ottimali e costanti senza dover ricorrere a costosi lavori di scavo e danneggiare il terreno, questi dispersori sono adatti anche al miglioramento di impianti di messa a terra già esistenti.

5.5.1 Impianti di messa a terra secondo IEC 62305-3 (EN 62305-3)

L'impianto di messa a terra è la continuazione dell'impianto di captazione e di calata per la scarica della corrente di fulmine a terra. Altri compiti dell'impianto di messa a terra sono la realizzazione di un collegamento equipotenziale tra le calate e la ripartizione dei potenziali nelle vicinanze delle pareti della struttura.

Deve essere osservato, che per i diversi sistemi elettrici (protezione contro i fulmini, impianti in bassa tensione e impianti di

telecomunicazione), è preferibile un impianto di messa a terra comune. Questo impianto di messa a terra deve essere collegato con il sistema equipotenziale (MEBB - barra equipotenziale principale).

Poiché la norma IEC 62305-3 (EN 62305-3) si basa su una equipotenzialità antifulmine sistematica, non viene richiesto un valore particolare per la resistenza di terra. Generalmente viene tuttavia consigliata una resistenza di terra bassa ($\leq 10 \Omega$, misurata a bassa frequenza).

La norma classifica i dispersori in tipo A e tipo B.

Per tutte e due le disposizioni di tipo A e tipo B la lunghezza minima del dispersore l_1 dipende della classe di protezione LPS (**Figura 5.5.1.1**)

La resistività precisa del terreno può essere individuata solo tramite una misurazione sul posto con il "metodo WENNER" (misurazione a quattro conduttori).

Dispersori di tipo A

I dispersori di tipo A sono dispersori a elementi radiali singoli (dispersore orizzontale), oppure dispersori verticali, che sono da collegare alla relativa calata.

Il numero minimo di dispersori di tipo A è due. Basta un solo dispersore per aste di captazione o pali singoli.

Per le protezioni in classe LPS III e IV è richiesta una lunghezza minima del dispersore di 5 m. Per le classi di protezione I e II, la lunghezza del dispersore viene determinata in base alla resistività del terreno. La lunghezza minima del dispersore l_1 è indicata nella **Figura 5.5.1.1**. La lunghezza minima di ogni dispersore è di:

$l_1 \times 0.5$ per dispersori verticali o obliqui

l_1 per dispersori radiali

Questi valori individuati valgono per ogni singolo dispersore. Per combinazioni di diversi dispersori (verticali e orizzontali) dovrebbe essere considerata la lunghezza complessiva equivalente.

La lunghezza minima del dispersore può essere trascurata, se viene raggiunta una resistenza di terra inferiore ai 10Ω .

I dispersori verticali sono generalmente inseriti in posizione perpendicolare nel suolo naturale che generalmente si trova al di sotto delle fondazioni. Lunghezze dei dispersori di 9 m si sono rivelate vantaggiose. I dispersori verticali hanno il vantaggio di trovarsi in strati di terreno più profondi, la cui resistività generalmente è inferiore rispetto agli strati più superficiali.

In condizioni di gelo, viene raccomandato di considerare come inefficace il primo mezzo metro di un dispersore verticale.

I requisiti di equipotenzialità tra le calate e il controllo del potenziale non vengono soddisfatti dai dispersori di tipo A. Per ottenere una ripartizione uniforme della corrente, i singoli dispersori del tipo A devono essere connessi fra di loro. Que-

sto è importante per il calcolo della distanza di sicurezza s . Il collegamento dei dispersori del tipo A può essere effettuato in aria o sotto terra. Nelle installazioni successive su impianti già esistenti, i collegamenti tra i singoli dispersori possono essere realizzati anche all'interno della struttura.

Dispersori di tipo B

I dispersori di tipo B sono dispersori ad anello posti attorno all'oggetto da proteggere oppure dispersori di fondazione. I requisiti richiesti a questi dispersori sono elencati nella norma DIN 18014.

Se non è possibile realizzare un anello chiuso all'esterno dell'edificio, devono essere installati dei conduttori all'interno per chiudere l'anello. A questo scopo possono essere utilizzate anche delle tubazioni o altri elementi metallici, purché elettricamente continui. Almeno l'80% della lunghezza del dispersore deve essere a contatto con il terreno, per poter considerare il dispersore di tipo B come base per il calcolo della distanza di sicurezza. La lunghezza minima dei dispersori di tipo B dipende dalla classe di protezione LPS. Per le classi di protezione LPS I e II la lunghezza minima del dispersore viene stabilita in base alla resistività del terreno (**Figura 5.5.1.1**).

Per dispersori di tipo B il raggio medio r dell'area racchiusa dal dispersore non deve essere inferiore alla lunghezza minima l_1 indicata.

Per individuare il raggio medio r , l'area da considerare viene trasformata in una superficie circolare equivalente e il raggio viene individuato come indicato nelle **Figure 5.5.1.2 e 5.5.1.3**.

Calcolo esemplificativo:

Se il valore richiesto di l_1 è maggiore del valore r corrispondente all'edificio, devono essere aggiunti ulteriori dispersori radiali o verticali (oppure dispersori obliqui), le cui lunghezze relative l_r (radiale/orizzontale) e l_v (verticale) risultano dalle equazioni seguenti:

$$l_r = l_1 - r$$

$$l_v = \frac{l_1 - r}{2}$$

Il numero di dispersori supplementari non deve essere inferiore al numero di calate, ma deve essere almeno uguale a due. Questi dispersori supplementari devono essere distribuiti in modo regolare sul perimetro e collegati con il dispersore ad anello.

Se devono essere collegati dei dispersori supplementari al dispersore di fondazione, è necessario prestare attenzione al materiale dei dispersori e all'allacciamento al dispersore di fondazione. Dovrebbe essere utilizzato preferibilmente acciaio

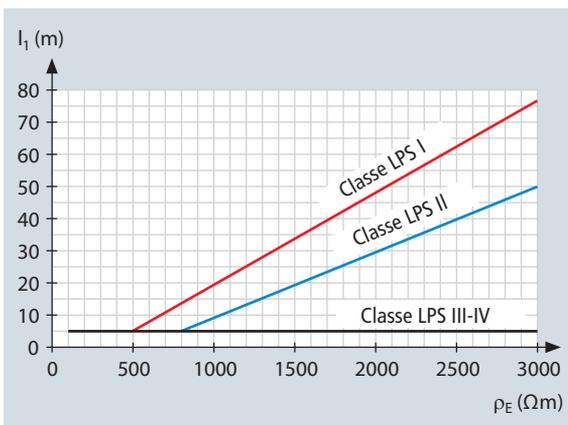


Figura 5.5.1.1 Lunghezze minime dei dispersori

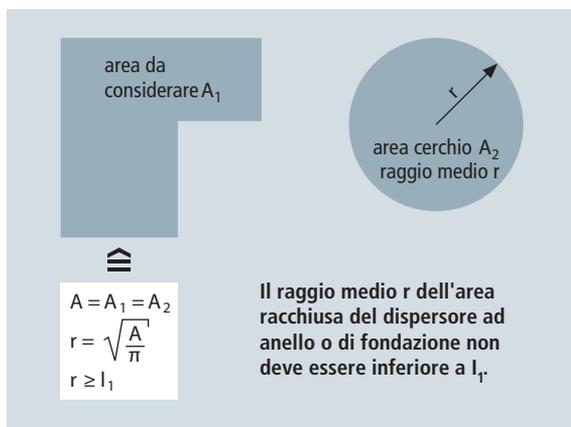


Figura 5.5.1.2 Dispersore di tipo B - Individuazione del raggio medio - Calcolo esemplificativo

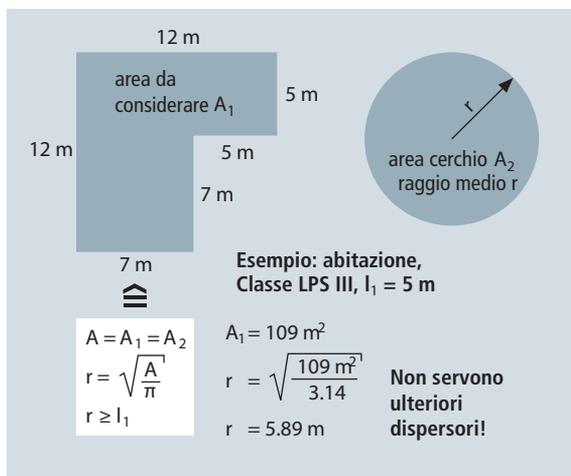


Figura 5.5.1.3 Dispersore di tipo B - Individuazione del raggio medio - Calcolo esemplificativo

inossidabile, per esempio AISI/ASTM 316 Ti (si veda il capitolo 5.5.2, **Figura 5.5.2.1**).

Dei requisiti supplementari per l'impianto di messa a terra possono essere richiesti, ad esempio, per i seguenti sistemi:

- ➔ impianti elettrici - Condizioni di sezionamento in base al tipo di rete (sistemi TN, TT, IT) secondo IEC 60364-4-41 (HD 60364-4-41).
- ➔ collegamento equipotenziale secondo IEC60364-5-54 (HD 60364-5-54).
- ➔ sistemi elettronici - Sistemi informatici
- ➔ messa a terra di antenne secondo la norma tedesca DIN VDE 0855
- ➔ compatibilità elettromagnetica (EMC)
- ➔ sottostazione MT interna o affiancata alla struttura conforme alla norma EN 50522

5.5.2 Impianti di messa a terra, dispersori di fondazione e dispersori di fondazione per costruzioni particolari

Dispersori di fondazione - Dispersore di tipo B

Nella norma tedesca DIN 18014 sono indicate dettagliatamente le modalità di collegamento dei ferri di armatura per i dispersori di fondazione negli edifici di nuova costruzione. Molte norme nazionali e internazionali specificano il dispersore di fondazione come dispersore preferito, perché con un'installazione a regola d'arte viene immerso nel calcestruzzo ed è così resistente alla corrosione. Le caratteristiche igroscopiche del calcestruzzo determinano generalmente una resistenza di terra sufficientemente bassa.

Il dispersore di fondazione deve essere posato come un anello chiuso nella piastra o nastro di fondazione (**Figura 5.5.2.1**) realizzando così in primo luogo anche la funzione di equipotenzialità. Devono essere considerate la divisione in maglie $\leq 20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ e i necessari conduttori uscenti per il collegamento alle calate della protezione contro i fulmini esterna e verso l'interno per il collegamento equipotenziale (**Figura 5.5.2.2**). Secondo la norma DIN 18014, l'installazione del dispersore di fondazione è una misura elettrotecnica, e deve essere eseguita o supervisionata da uno specialista qualificato in impianti di protezione contro i fulmini o da un elettricista.

Il modo in cui deve essere posato il dispersore di fondazione deve essere deciso in base alle misure necessarie a garantire che il dispersore di fondazione risulti uniformemente inglobato nel calcestruzzo.

Posa in calcestruzzo non armato

Nelle fondazioni non armate, ad esempio fondazioni a nastro di abitazioni (**Figura 5.5.2.3**), devono essere utilizzati dei

distanziatori. Solo l'utilizzo di distanziatori con passo di circa 2 m assicura che il dispersore di fondazione risulti "sollevato" e possa così essere inglobato nel calcestruzzo (almeno 5 cm) e il suo materiale (Fe/tZn) sia protetto contro la corrosione.

Posa in calcestruzzo armato

In caso di fondazioni chiuse con armatura, il dispersore di terra viene installato sull'armatura più bassa. Quando è installato correttamente, un dispersore di fondazione costituito da un tondo o un nastro d'acciaio (zincato) è coperto da almeno 5 cm di cemento su tutti i lati e quindi è resistente alla corrosione. Le caratteristiche igroscopiche del calcestruzzo determinano generalmente una resistenza di terra sufficientemente bassa.

Se vengono utilizzati reti di acciaio elettrosaldate, gabbie o ferri di armatura nelle fondazioni, il dispersore di fondazione va collegato con questi componenti naturali di ferro ad intervalli di 2 metri per mezzo di graffe o saldature, per migliorare la funzione di dispersione.

I metodi moderni di inserimento del calcestruzzo con susseguente vibrazione/compattazione fanno in modo che il calcestruzzo "scorra" anche sotto al dispersore circondandolo su

tutti i lati, se il nastro viene posato in orizzontale, assicurando così la resistenza alla corrosione. Di conseguenza, l'installazione verticale del nastro piatto non è richiesta quando il calcestruzzo viene compattato meccanicamente. La **Figura 5.5.2.4** mostra un esempio di utilizzo per la posa orizzontale di una bandella piatta come dispersore di fondazione. I punti di incrocio del dispersore di fondazione devono essere collegati in modo da poter condurre la corrente elettrica. Come materiale per il dispersore di fondazione è sufficiente l'acciaio zincato.

Le bandiere di collegamento verso l'esterno del terreno vanno protette ulteriormente dalla corrosione nel punto di uscita. Sono adatti ad esempio filo di acciaio con rivestimento in materiale plastico (a causa del pericolo di rottura del rivestimento in materiale plastico alle basse temperature è necessaria una particolare cautela durante il montaggio), acciaio inossidabile atlegato, ad esempio AISI/ASTM 316 Ti, o dispersori di terra fissi (**Figura 5.5.2.5**).

Per l'esecuzione di un dispersore di fondazione devono essere realizzate delle maglie grandi non più di 20 m x 20 m. Questa larghezza di maglie non dipende dalla classe di protezione LPS (**Figura 5.5.2.6**).

Nella moderna pratica costruttiva, i vari tipi di fondazioni vengono realizzati in forme diverse e con diverse varianti di isolamento.



Figura 5.5.2.1 Dispersore di fondazione con capocorda

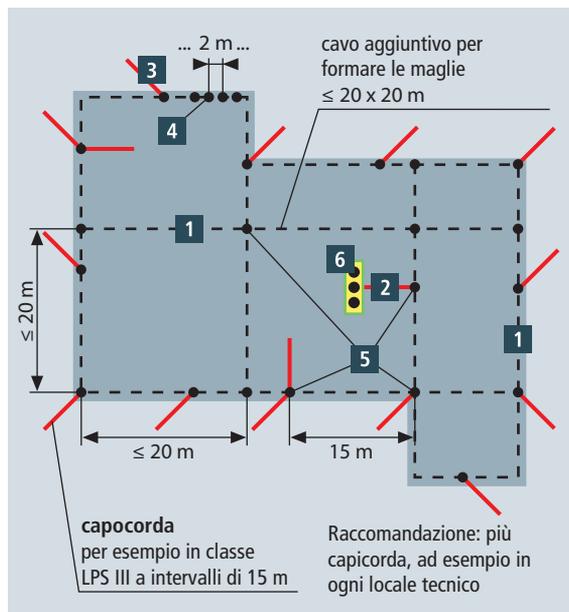


Figura 5.5.2.2 Maglia del dispersore di fondazione



Figura 5.5.2.3 Dispersore di fondazione



Figura 5.5.2.6 Dispersore di fondazione a maglie



Figura 5.5.2.4 Dispersore di fondazione in uso



Figura 5.5.2.5 Punto fisso di messa a terra

Anche nelle esecuzioni di fondazioni a piastra e a nastro devono essere tenute in considerazione le prescrizioni sull'isolamento termico.

Per quanto riguarda i dispersori di fondazione di costruzioni nuove rispondenti alla norma DIN 18014, l'isolamento termico/impermeabilizzazione modifica il loro inserimento e la loro disposizione.

Capicorda di collegamento per rinforzi

I dispersori per fondazioni devono essere collegati all'armatura della lastra di fondazione ad intervalli di 2 m. Per farlo ci sono varie possibilità.

L'uso di capicorda è risultata la soluzione più conveniente, poiché tale collegamento può essere realizzato facilmente e rapidamente sul posto. Inoltre, secondo le più recenti norme in materia di protezione contro i fulmini, può essere utilizzato ad esempio l'acciaio del cemento armato come componente naturale del sistema di calate. Dato che i componenti del sistema di dispersori deve essere collegato in modo tale da essere permanentemente conduttivo e meccanicamente stabile, questi collegamenti sono efficacemente realizzabili per mezzo di viti, secondo la norma IEC 62561-1 (EN 62561-1) (Componenti per impianti di protezione contro i fulmini - Parte 1: Requisiti per i componenti di connessione). Informazioni più dettagliate su questo argomento si trovano nel capitolo 5.8.

La **Figura 5.5.2.7** offre una panoramica del diametro nominale ed esterno, nonché delle sezioni delle barre di rinforzo in acciaio.

Il diametro esterno delle barre di rinforzo in acciaio per cemento armato è determinante per la selezione dei capicorda di collegamento.



Figura 5.5.2.7 Diametro delle barre di rinforzo

Giunti di dilatazione

I dispersori di fondazione non possono essere fatti passare attraverso i giunti di espansione. In questi punti possono essere fatti uscire in prossimità dei muri e collegati per mezzo di terminali fissi di messa a terra e trecce di collegamento, in caso per esempio di muri di calcestruzzo (Figura 5.5.2.8).

Tuttavia, in caso di lastre di fondazione di grandi dimensioni, le maglie dei dispersori di fondazione devono passare attraverso i giunti di dilatazione (sezioni o giunti) senza uscire dalla parete. In questo caso si possono usare dei nastri di espansione speciali in grado di creare cavità nel calcestruzzo per mezzo di un blocco di polistirolo e di un collegamento integrato e flessibile.

Il nastro di espansione viene incorporato nella lastra di fondazione in modo che il blocco di polistirolo espanso vada a trovarsi in una sezione mentre l'altra estremità passi libera nella sezione adiacente (Figura 5.5.2.9).

Membrane in caso di lastre di fondazione

Le membrane in polietilene con uno spessore di circa 0,3 mm sono spesso posate sul sottofondo come strato di isolamento (Figura 5.5.2.10).

Queste membrane si sovrappongono solo leggermente e non sono idrorepellenti.

Esse hanno scarso impatto sulla resistenza di terra e si possono quindi trascurare. Per questo motivo si possono installare i dispersori di fondazione nel calcestruzzo delle lastre di fondazione.

Membrane bugnate

Le membrane bugnate sostituiscono spesso il sottofondo delle lastre di fondazione e spesso racchiudono tutta la parte interrata (Figura 5.5.2.11).

Le membrane bugnate sono realizzate in polietilene ad alta densità con uno spessore di circa 0,6 mm (altezza delle bugne circa 8 mm) (Figura 5.5.2.12). Le singole membrane hanno una larghezza che va da 2 a 4 metri circa e si sovrappongono (per circa 20 - 25 cm) come protezione contro l'acqua. I dispersori di fondazione non possono quindi essere efficacemente installati nella lastra di fondazione.

Per questo motivo si interra sotto la membrana bugnata, all'esterno della fondazione, un dispersore ad anello in acciaio inossidabile (V4A), ad esempio AISI/ASTM 316 Ti, con un'adeguata dimensione di maglia.

Fondazioni con una maggiore resistenza di contatto verso massa

"Vasca bianca" in calcestruzzo resistente all'acqua

Il calcestruzzo impermeabile ha un'elevata resistenza alla penetrazione di acqua. In Germania, fondazioni chiuse in calcestruzzo resistente all'acqua sono dette anche "vasche bianche".

Le costruzioni in cemento armato con elevata resistenza alla penetrazione dell'acqua sono realizzate senza un'ulteriore grande tenuta esterna e prevengono l'ingresso di acqua solo grazie al calcestruzzo e alle misure di carattere strutturale, come la sigillatura dei giunti e la limitazione della larghezza delle fessure. Particolare cura è necessaria quando nella costruzione di questi edifici impermeabili, in quanto tutti i componenti, come le guarnizioni, gli ingressi di acqua, gas, elettricità e linee telefoniche (sotto forma di ingressi multipli nell'edificio), tubi fognari, altri cavi o linee, elementi di collegamento per i dispersori di fondazione o per la linea equipotenziale, devono essere permanentemente impermeabili o stagni. L'installatore è responsabile dell'impermeabilizzazione dell'edificio.

Il termine calcestruzzo resistente all'acqua non è definito nella recente normativa sul calcestruzzo. In pratica si usa calcestruzzo



Figura 5.5.2.8 Treccia di collegamento con dispersori fissi



Figura 5.5.2.11 Uso delle membrane bugnate

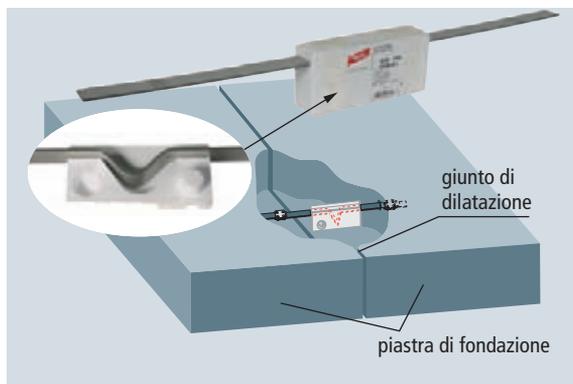


Figura 5.5.2.9 Collegamento di un dispersore di fondazione con un giunto di dilatazione

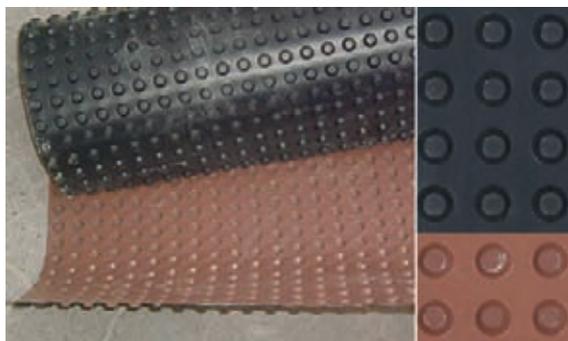


Figura 5.5.2.12 Membrana bugnata



Figura 5.5.2.10 Membrana di piastre di fondazione

zo con una qualità ad es. C20/25 (resistenza alla compressione su provino cilindrico o cubico in N/mm²).

La tenuta delle miscele di calcestruzzo dipende dal contenuto di cemento. 1 m³ di calcestruzzo resistente all'acqua ha un contenuto di cemento pari ad almeno 320 kg cemento (a basso calore di idratazione). Sono pure importanti un basso ritiro, una resistenza a compressione non inferiore a C25/30 e un rapporto acqua/cemento non inferiore a 0,6.

Rispetto agli anni precedenti, l'umidità non penetra più per alcuni centimetri nella "vasca bianca". I moderni calcestruzzi con una elevata resistenza alla penetrazione di acqua assorbono solo 1,5 cm di acqua. Poiché il dispersore deve essere coperto da uno strato di calcestruzzo di almeno 5 cm (contro la corrosione), il calcestruzzo può essere considerato come un isolante elettrico a valle della zona di penetrazione dell'acqua. Così il dispersore non è più in contatto con il suolo.

Per questo motivo nel sottofondo della lastra di fondazione degli edifici con "vasca bianca" va installato un dispersore ad anello con maglia $\leq 20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$. Se occorre un sistema di protezione contro i fulmini, la dimensione delle maglie si riduce a $\leq 10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$. La ridotta dimensione delle maglie serve a evitare possibili scariche disruptive tra il conduttore equipotenziale funzionale/armatura e la tenuta (in cemento) per il dispersore ad anello installato sotto il cemento, in caso di fulmine.

In aggiunta, un collegamento equipotenziale funzionale con una dimensione di maglia $\leq 20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ va installato nella lastra di fondazione, secondo la norma tedesca DIN 18014. La procedura è identica a quella del caso di un dispersore di fondazione.

Il dispersore ad anello va collegato al conduttore equipotenziale funzionale integrato nel calcestruzzo ad intervalli di 20 m (il perimetro dell'edificio) o, se è installato un sistema di protezione contro i fulmini, a ogni calata del sistema di protezione contro i fulmini, per agire come un sistema di collegamento equipotenziale secondo la norma IEC 60364-4-44 (HD 60364-4-44). Questi collegamenti possono essere realizzati al di sopra del livello dell'acqua sotterranea, oppure al di sotto di esso mediante boccole a tenuta stagna.

Le **Figure 5.5.2.13 e 5.5.2.14** mostrano la disposizione di un dispersore ad anello e un collegamento equipotenziale funzionale in una "vasca bianca".

Boccole passanti a tenuta d'acqua

Il collegamento elettrico al dispersore ad anello deve essere impermeabile. I requisiti, per esempio, delle "vasche bianche", sono stati presi in considerazione anche nello sviluppo delle boccole a tenuta. Durante il processo di sviluppo del prodotto, particolare attenzione è stata posta su come integrare i componenti nel modo più realistico possibile. I campioni sono stati incorporati nel calcestruzzo (**Figura 5.5.2.15**) e quindi sottoposti a collaudo con acqua in pressione. Poiché le installazioni fino a una profondità di 10 m sono una pratica comune nel settore dell'edilizia (ad esempio nei parcheggi sotterranei),

questa situazione di montaggio è stata trasferita ai modelli, sottoponendoli ad una pressione dell'acqua pari a 1 bar dopo l'indurimento del calcestruzzo (**Figura 5.5.2.16**). In una prova di lunga durata, la tenuta dei campioni è stata collaudata per 65 ore.

L'azione capillare è un problema per le boccole a muro. Ciò significa che i liquidi (es. acqua) si disperdono in modo diverso nelle fessure strette o nei condotti stretti nel calcestruzzo e vengono quindi praticamente risucchiati all'interno dell'edificio. Questi spazi o condotti stretti possono formarsi durante il processo di indurimento e il conseguente ritiro del calcestruzzo.

Pertanto, la professionalità e la corretta installazione della boccola a muro nel cassero è fondamentale. Questo è descritto in dettaglio nelle relative istruzioni di installazione.

Boccole murali a tenuta per "vasca bianca", per es. serbatoi Rif. 478 550 (**Figura 5.5.2.17**):

- ➔ Versione per l'installazione nel cassero con barriera ad acqua e doppio filetto M10/12 su entrambe le estremità, collegata ad esempio ad dispersore ad anello o barra di collegamento equipotenziale.

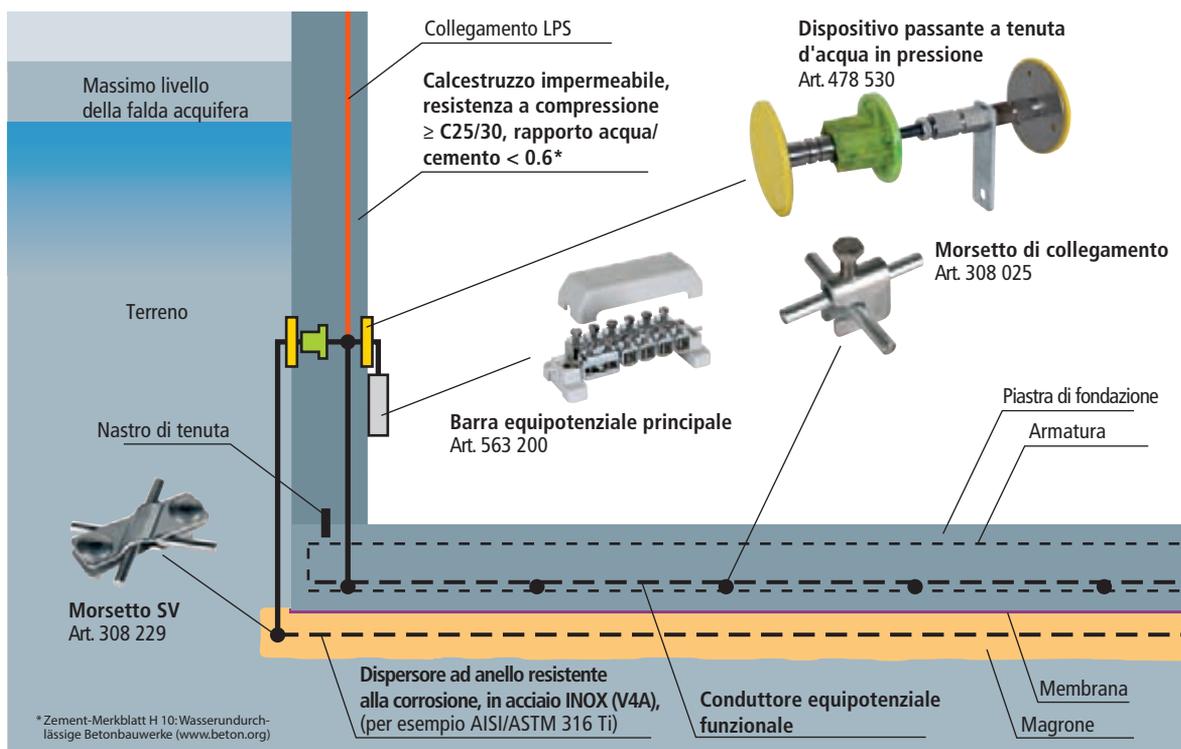


Figura 5.5.2.13 Disposizione del dispersore di fondazione con platea di fondazione chiusa "vasca bianca"

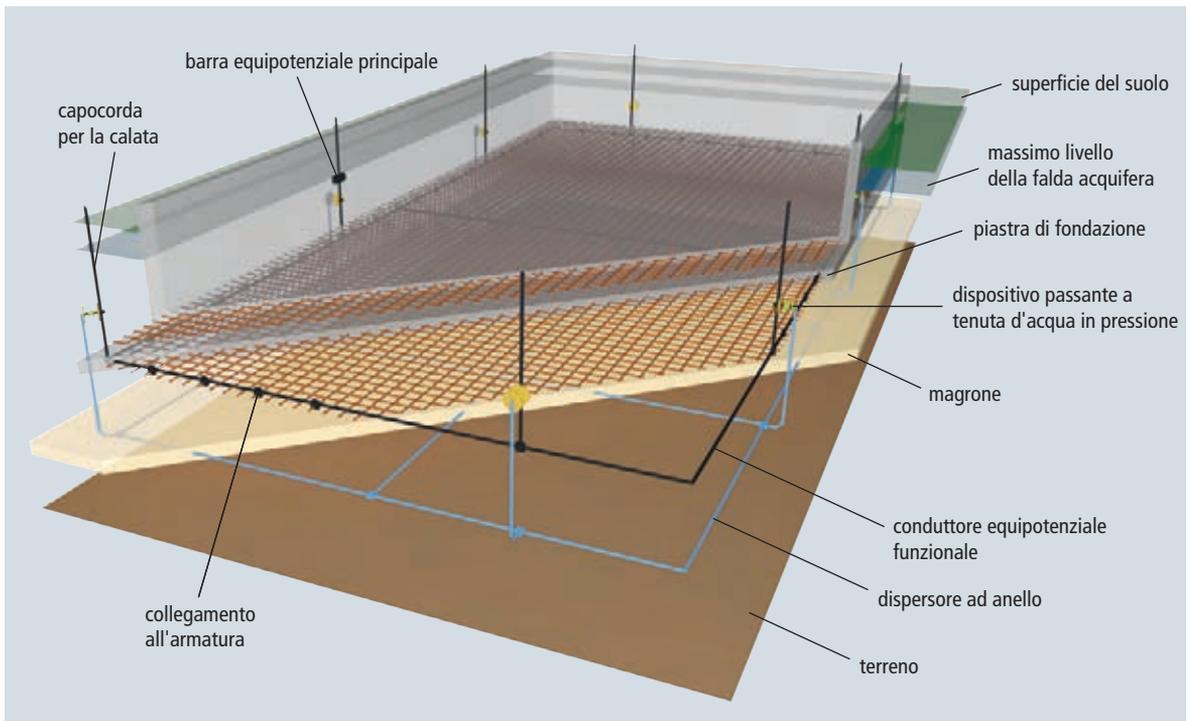


Figura 5.5.2.14 Rappresentazione tridimensionale che illustra il dispersore ad anello, il conduttore di collegamento equipotenziale e i collegamenti tramite dispositivi passanti a tenuta d'acqua in pressione



5.5.2.15

Figura 5.5.2.15 Dispositivo passante installato nel cassero



5.5.2.16

Figura 5.5.2.16 Disposizione di prova (sezione) con il collegamento per la prova della pressione dell'acqua



Figura 5.5.2.17 Dispositivo passante a tenuta d'acqua

- ➔ Regolabile a seconda dello spessore della parete mediante filettatura M10 e dado di bloccaggio. Il filetto della bussola può essere accorciato, se necessario.
- ➔ Collaudate con aria compressa 5 bar secondo la norma IEC 62561-5 (EN 62561-5)

Dispersore per strutture con vasca nera

Il nome "vasca nera" deriva dai vari strati di membrana in bitume applicati al suolo sull'edificio per isolarlo. Il corpo della struttura viene ricoperto di bitume, sul quale poi vengono in genere applicati fino a tre strati di membrana bituminosa (**Figura 5.5.2.18**). Oggi si utilizzano anche rivestimenti bituminosi modificati con polimeri.



Figura 5.5.2.18 Rivestimento impermeabile con fogli bituminosi

A causa degli elevati valori di isolamento dei materiali utilizzati, non è possibile assicurare che un dispersore sia in contatto con il terreno. Anche in questo caso è richiesta l'installazione di un dispersore ad anello, nonché di un conduttore equipotenziale (come per le "vasche bianche").

Il collegamento del dispersore esterno al sistema equipotenziale nell'edificio dovrebbe avvenire se possibile sopra l'impermeabilizzazione dell'edificio (Figura 5.5.2.19), per garantire anche a lungo termine l'impermeabilità dell'edificio. L'attraversamento stagno della vasca nera richiede componenti speciali.

Isolamento perimetrale

Nella moderna pratica costruttiva, i vari tipi di fondazioni vengono realizzate in forme diverse e con diverse varianti di isolamento.

Anche nelle esecuzioni di fondazioni a piastra e a nastro devono essere tenute in considerazione le prescrizioni sull'isolamento termico. Per quanto riguarda i dispersori di fondazione di costruzioni nuove rispondenti alla norma DIN 18014, l'isolamento termico/impermeabilizzazione influenza il loro inserimento e la loro disposizione. Il perimetro è l'area della parete e del pavimento di un edificio che si trova a contatto con il suolo. L'isolamento perimetrale è l'isolamento termico attorno all'edificio. L'isolamento perimetrale esterno allo strato a tenuta racchiude la struttura dell'edificio senza formare

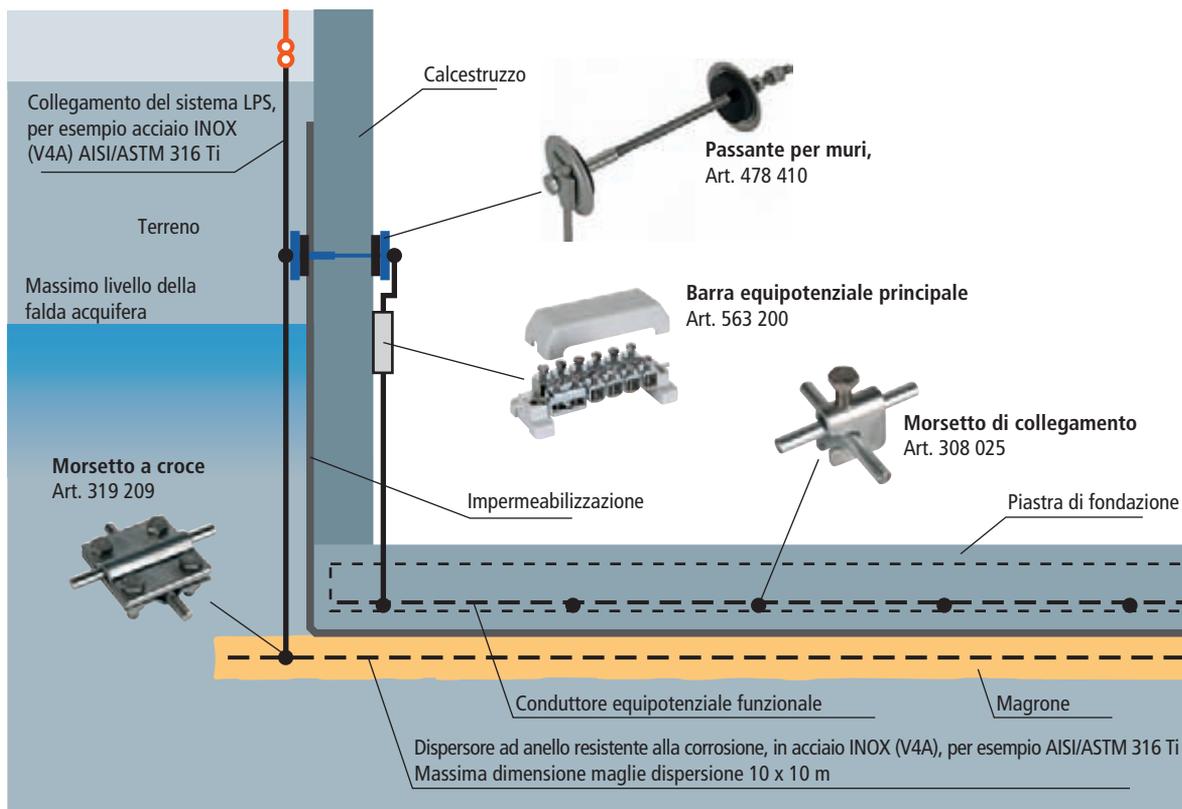


Figura 5.5.2.19 Disposizione del dispersore di fondazione con platea di fondazione chiusa "vasca nera"

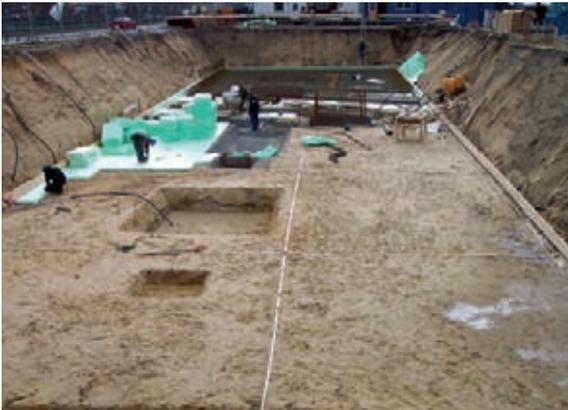


Figura 5.5.2.20 Dispensore ad anello in caso di isolamento perimetrale. Fonte: Ditta Mauermann



Figura 5.5.2.21 Dettaglio di un dispensore ad anello. Fonte: Ditta Mauermann

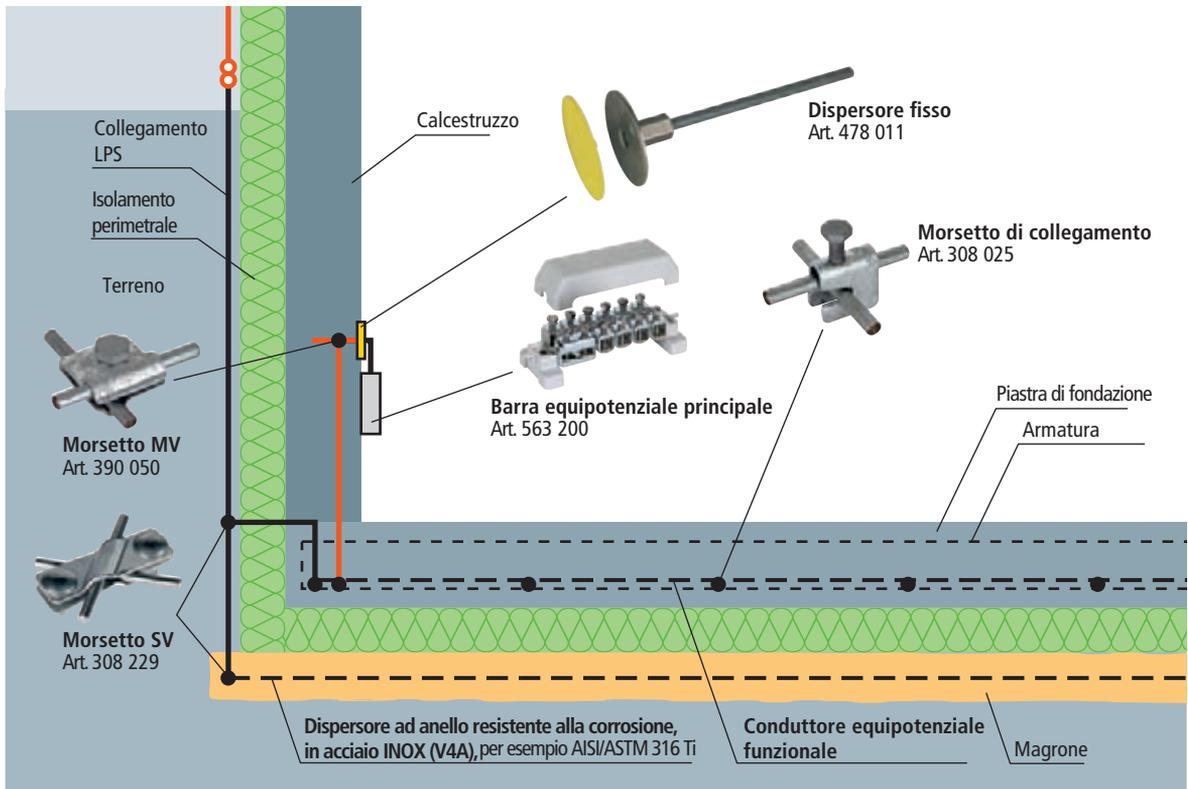


Figura 5.5.2.22 Disposizione del dispensore di fondazione con platea di fondazione chiusa (completamente isolata)

ponti termici e inoltre protegge la tenuta dai danni meccanici (Figure 5.5.2.20 e 5.5.2.21).

La resistività delle tavole di isolamento perimetrali è un fattore determinante per valutare gli effetti dell'isolamento perimetrale sulla resistenza dei dispersori di fondazione normalmente installati nella fondazione. Una resistenza di $5,4 \cdot 10^{12} \Omega\text{m}$ è

caratteristica per esempio del poliuretano espanso con una densità di 30 kg/m^3 . La resistività del calcestruzzo, al contrario, è compresa tra 150 e $500 \Omega\text{m}$. Ciò significa che, in caso di completo isolamento perimetrale, un dispersore nella fondazione non ha praticamente alcun effetto. Di conseguenza l'isolamento perimetrale agisce da isolante elettrico.

Se la lastra di fondazione e le pareti esterne sono completamente isolate (completo isolamento del perimetro), deve essere installato un dispersore ad anello con un'adeguata dimensione delle maglie sotto la lastra di fondazione, nello strato di sottofondo o nel terreno. Il dispersore deve essere realizzata in acciaio inossidabile resistente alla corrosione (V4A), ad esempio AISI/ASTM 316 Ti (**Figura 5.5.2.22**). Come per il caso della "vasca bianca", è necessario un conduttore equipotenziale funzionale.

Pavimento realizzato ad esempio con strati di materiale riciclato, scarsamente conduttivo, costituenti barriera capillare.

Oggi, in alternativa all'isolamento perimetrale completo, vengono utilizzati materiali riciclati, come graniglia di schiuma di vetro o altri materiali in grado di costituire una barriera capillare (**Figura 5.5.2.23**). Questi materiali sono un'alternativa economica alle comuni lastre in poliuretano espanso derivate dal petrolio e allo stesso tempo fungono da sottofondo.

Questo tipo di isolamento perimetrale è comunemente usato sotto la soletta e sui lati della parte interrata. A parte la sua capacità di isolamento termico, la graniglia di schiuma di vetro presenta altri vantaggi: drenaggio, barriera capillare, portanza e, rispetto alla ghiaia, facilità di trasporto. Prima di riempire lo scavo con graniglia di schiuma di vetro, lo scavo viene ricoperto con, per esempio, geotessuti.

Per poter installare un impianto di messa a terra conforme alla normativa per questo tipo di isolamento perimetrale, il dispersore ad anello deve essere installato in contatto con il terreno sottostante la graniglia di schiuma di vetro e il geotessuto. Così, rispetto ai metodi tradizionali, il dispersore viene installato in una fase precedente. L'azienda responsabile deve essere consapevole del fatto che l'installazione del dispersore deve

essere eseguita in una prima fase di progettazione, cioè direttamente dopo i lavori di scavo. Deve essere utilizzato acciaio inossidabile (V4A), ad esempio AISI/ASTM 316 Ti, per il conduttore piatto o rotondo, nonché per i morsetti e i connettori che sono installati direttamente nel terreno. Anche in questo caso, il collegamento equipotenziale funzionale deve essere installato nella fondazione (vedi "vasca bianca").

Fondazioni a plinti

Le fondazioni a plinti sono impiegate spesso per la realizzazione di edifici industriali. Questo tipo di fondazioni serve come appoggio, ad esempio, per i supporti di acciaio o calcestruzzo di grandi ambienti. Il piano di fondazione non è chiuso. Dato che queste strutture richiedono anche un sistema di dispersori funzionante, le fondazioni richiedono dei sistemi di messa a terra.

I dispersori di fondazione realizzati in tondi o piatti di acciaio (zincato) devono avere una lunghezza di almeno 2,5 m per le fondazioni a plinti e devono essere coperti da uno strato di calcestruzzo di almeno 5 cm (**Figura 5.5.2.24**).

Questi "dispersori singoli" devono essere collegati tra loro per evitare differenze di potenziale all'interno del sistema dei dispersori. Questo collegamento va eseguito sul livello più basso, preferibilmente a contatto con il terreno. Le linee e i componenti di collegamento della fondazione a plinti devono essere in acciaio inossidabile resistente alla corrosione (V4A).

Se le fondazioni a plinto sono realizzate ad esempio in calcestruzzo con un'elevata resistenza alla penetrazione dell'acqua (calcestruzzo resistente all'acqua), deve essere installato nel terreno un dispersore ad anello in acciaio inossidabile (V4A) con una dimensione delle maglie $\leq 20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$.



Figura 5.5.2.23 Isolamento perimetrale: riempimento con fibra di vetro granulare. Fonte: TECHNOpor Handels GmbH



Figura 5.5.2.24 Dispersore di fondazione per plinti con capocorda di collegamento. Fonte: Wettingfeld, Krefeld

Fondazioni a nastro non armate

Nelle fondazioni non armate, ad esempio fondazioni a nastro di abitazioni devono essere utilizzati dei distanziatori. Solo grazie a questi distanziatori, posti ad intervalli di circa 2 m, si assicura che il dispersore di fondazione sia "sollevato" e coperto da uno strato di calcestruzzo di almeno 5 cm su tutti i lati (Figure 5.5.2.25 e 5.5.2.26).

Non vanno utilizzati connettori a cuneo durante la fase di compattazione (vibrazione) meccanica del calcestruzzo. Se



Figura 5.5.2.25 Distanziale con morsetto a croce

non è possibile utilizzare un distanziatore a causa dell'alta densità del sottofondo (miscela umida con rocce o simili), il dispersore di fondazione deve essere posizionato direttamente sul sottofondo e deve essere realizzato in acciaio inossidabile (V4A).

Fondazioni a nastro armate

Nel caso fondazioni a nastro con armatura, il dispersore di fondazione viene annegato nel calcestruzzo sotto forma di anello chiuso. Anche l'armatura viene integrata nel sistema di dispersione e collegata in modo da essere permanentemente conduttiva. A causa del rischio di corrosione, si deve osservare che il dispersore di fondazione elettrodo di terra viene ricoperto da uno strato di calcestruzzo di 5 cm. I terminali o capicorda di collegamento devono essere in acciaio inossidabile (V4A).

Calcestruzzo rinforzato con fibre di acciaio

Si tratta di un tipo di calcestruzzo che viene formato con l'aggiunta di fibre d'acciaio al calcestruzzo liquido. In confronto al calcestruzzo senza fibre di rinforzo, questo tipo di calcestruzzo può essere sottoposto a limitati sforzi di trazione (presenta cioè una certa resistenza a trazione), tanto da sostituire completamente in certi casi il più comunemente utilizzato calce-

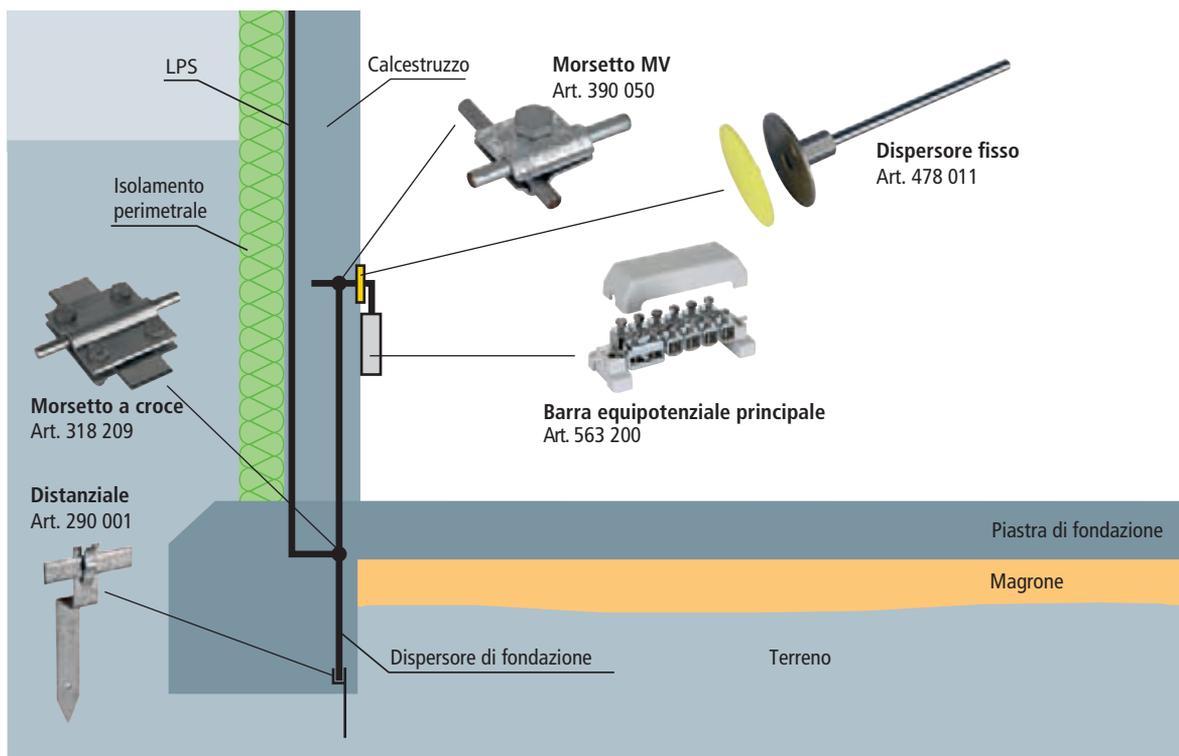


Figura 5.5.2.26 Disposizione del dispersore di fondazione con fondazione a nastro (muro di fondazione isolato)



Figura 5.5.2.27 Cemento fresco con fibra di vetro

struzzo armato. Il calcestruzzo rinforzato con fibre di acciaio viene gettato (o pompato) sul posto allo stato liquido.

In Germania viene ad esempio utilizzato per le piastre di fondazione in calcestruzzo di capannoni industriali ed edifici residenziali. Le fibre di acciaio hanno tipicamente una lunghezza di 50-60 mm e un diametro compreso tra 0,75 e 1,00 mm. Sono più comunemente utilizzate le fibre dritte di acciaio con estremità a gancio o fibre di acciaio aggraffate (**Figura 5.5.2.27**). Il contenuto di fibre di acciaio dipende dal carico sulla soletta e dall'efficienza delle fibre in acciaio utilizzate. È necessario effettuare un calcolo statico per selezionare il tipo e la quantità di fibre di acciaio.

Le fibre di acciaio non influenzano in modo significativo la conducibilità elettrica, pertanto come messa a terra per lastre calcestruzzo fibrorinforzato deve essere installato un dispersore a maglie $\leq 20 \times 20$. Il conduttore di terra può essere inserito nel calcestruzzo e deve essere circondato su tutti i lati con uno strato di 5 cm di calcestruzzo come protezione contro la corrosione, se è realizzato in materiale zincato. Questo sarà difficilmente realizzabile sul posto. Si raccomanda perciò di installare sotto la successiva piastra di calcestruzzo, dell'acciaio inossidabile altolegato e resistente alla corrosione (V4A) per esempio AISI/ASTM 316 Ti. Devono essere previsti i relativi capricorda per il collegamento.

5.5.3 Dispersori ad anello - Dispersore di tipo B

L'impianto di messa a terra per costruzioni esistenti può essere realizzato come dispersore ad anello (**Figura 5.5.3.1**). Questo dispersore deve essere realizzato come un anello chiuso attorno all'edificio oppure, se questo non è possibile, deve essere effettuato un collegamento per chiudere l'anello all'interno dell'edificio. L'80% dei conduttori del dispersore deve essere installato in modo che siano in contatto con il terreno. Se ciò è impossibile, è necessario verificare se servono dispersori di tipo A supplementari.



Figura 5.5.3.1 Dispersore ad anello attorno a un edificio residenziale

I requisiti riguardo alla lunghezza minima dei dispersori per ogni classe di protezione LPS devono essere rispettati (vedere capitolo 5.5.1). Durante la posa del dispersore ad anello è necessario accertarsi che questo venga posato ad una profondità di $> 0,5$ m e a una distanza di 1 m dall'edificio. Se il dispersore viene inserito come descritto in precedenza, riduce la tensione di passo e serve in questo modo al controllo del potenziale intorno all'edificio.

Il dispersore ad anello dovrebbe essere posato nel sottosuolo preesistente. L'inserimento in terreno di riporto oppure riempito di calcinacci peggiora la resistenza di terra.

Per quanto riguarda la scelta del materiale del dispersore ai fini della corrosione devono essere considerate le condizioni locali. È consigliabile l'utilizzo dell'acciaio inossidabile. Questo materiale per dispersori non si corrode e non richiede in futuro interventi di risanamento impegnativi e costosi dell'impianto di messa a terra, come la rimozione di selciato, coperture di asfalto o anche scale, per posare un nuovo conduttore. Inoltre i punti di collegamento devono essere protetti in modo particolare contro la corrosione.

5.5.4 Dispersori verticali - Dispersore di tipo A

I dispersori verticali componibili del sistema DEHN vengono prodotti con acciaio speciale e zincati a caldo in bagno oppure sono realizzati in acciaio inossidabile altolegato (V4A) per esempio AISI/ASTM 316 Ti. Caratteristica particolare di questi dispersori è il giunto autobloccante, che non richiede manicotti né comporta un incremento di diametro.

Ogni barra possiede sull'estremità inferiore una foratura, mentre l'altra estremità presenta il corrispondente perno (**Figura 5.5.4.1**). Questa modalità costruttiva presenta il vantaggio di rendere il collegamento meccanicamente molto stabile, elet-

tricamente sicuro e in grado di trasportare correnti di fulmine durante l'infissione.

- ➔ Per il tipo di dispersore S, l'insero in metallo morbido si deforma nella foratura durante l'infissione, costituendo così un collegamento elettrico e meccanico eccellente.
- ➔ Per dispersori di tipo Z, l'alta qualità della giunzione viene raggiunta tramite un perno a zigrinatura multipla.
- ➔ Per dispersori di tipo AZ, l'alta qualità del giunto viene raggiunta tramite l'innesto a gradini con doppia zigrinatura.

Si possono impiegare vari tipi di utensili per l'infissione dei dispersori nel terreno. Nella scelta dell'utensile si tenga conto del fatto che il dispersore viene infisso nel terreno a circa 1200 colpi/min. Un numero di colpi molto maggiore non è consigliabile, in quanto l'energia dell'impatto spesso non è sufficiente per infiggere il dispersore abbastanza a fondo nel terreno. In caso di utensili a percussione con frequenza dei colpi troppo bassa, come nel caso degli utensili pneumatici, la potenza d'impatto è troppo elevata e il numero di colpi è troppo basso. Il peso dell'utensile a percussione non deve superare i 20 kg. La profondità di penetrazione del dispersore dipende da svariate condizioni geologiche. In terreni leggeri che si trovano ad esempio nelle zone costiere o umide, sono possibili profondità di penetrazione comprese tra 30 m e 40 m. Laddove invece il terreno è molto compatto, ad esempio in terreno sabbioso naturale, risultano spesso impraticabili profondità di penetrazione superiori ai 12 m. Se si impiegano dispersori convenzionali, il terreno non viene perforato durante l'infissione, ma spostato rispetto al dispersore. In questo modo si comprime il terreno attorno al dispersore e si garantisce un buon contatto elettrico con l'ambiente circostante. Maggiore è il diametro esterno del dispersore, più il terreno viene spinto lontano. Nei terreni pesanti, per esempio, un dispersore con diametro esterno di 25 mm è ottimale sia per quanto riguarda la massima profondità di infissione sia per l'allontanamento del terreno dal dispersore.

Per infiggere i dispersori a profondità rilevanti (profondità di penetrazione > 6 m), si consiglia di utilizzare un apposito supporto (Rif. 600 003) (**Figura 5.5.4.2**). Quando si utilizza questo supporto con un utensile a percussione, l'energia d'urto viene costantemente applicata alla superficie di battuta del dispersore tramite l'utensile. Ciò non può essere garantito senza supporto e se si aziona a mano l'utensile a percussione. Pertanto, si consiglia di non infiggere il dispersore più di 6 m nei terreni di consistenza media o pesante senza utilizzare un supporto per l'utensile.

I vantaggi del dispersore verticali DEHN sono:

- ➔ la giunzione speciale: nessun incremento del diametro, quindi per tutta la sua lunghezza il dispersore si trova a diretto contatto con il terreno

- ➔ si innesta automaticamente durante l'infissione delle barre
- ➔ infissione facile con martelli vibratori o manualmente con mazza
- ➔ vengono raggiunti valori di resistenza costanti, dal momento che i dispersori di profondità raggiungono strati di terreno non influenzati da variazioni di umidità o temperatura dovute alle stagioni
- ➔ alta resistenza alla corrosione tramite zincatura a caldo (spessore dello strato di zinco 70 µm)

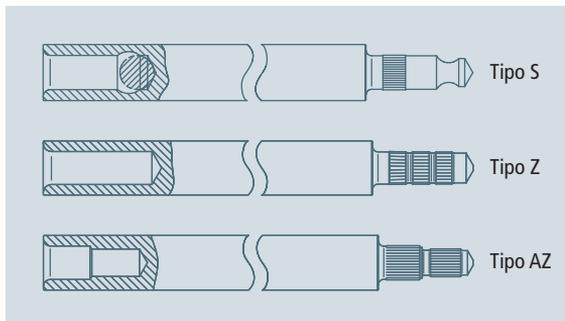


Figura 5.5.4.1 Innesti dei dispersori di profondità DEHN



Figura 5.5.4.2 Installazione del dispersore di profondità con supporto e martello vibratore

- ➔ sono disponibili dispersori in acciaio zincato e acciaio inossidabile (V4A), ad esempio AISI/ASTM 316 Ti.
- ➔ anche gli innesti dei dispersori zincati sono zincati a caldo
- ➔ semplice immagazzinaggio e possibilità di trasporto dovuto alla lunghezza delle singole barre di 1,5 m o 1 m. semplice immagazzinaggio e possibilità di trasporto grazie alla lunghezza delle singole barre di 1 m (l'altezza di lavoro comprende il martello vibrante).

5.5.5 Dispersori in terreni rocciosi

Per sottosuoli rocciosi e pietrosi spesso dei dispersori orizzontali come i dispersori ad anello o radiali sono l'unica possibilità di realizzare un impianto di messa a terra. Per l'installazione dei dispersori viene posato del materiale tondo o piatto sul terreno pietroso o roccioso. Il dispersore dovrebbe essere ricoperto di magrone, calcestruzzo minerale o simile. Per il dispersore è vantaggioso l'utilizzo di acciaio inossidabile (V4A) per esempio AISI/ASTM 316 Ti. I punti di collegamento vanno installati con particolare cura e protetti da corrosione. Essi devono essere costituiti da un materiale resistente alla corrosione dello stesso tipo del dispersore.

5.5.6 Dispositivo di captazione a maglie

Un impianto di messa a terra può svolgere diverse funzioni. Il compito di una terra di protezione è quello di collegare in modo sicuro al potenziale di terra gli impianti elettrici e le apparecchiature e di proteggere persone e materiali in caso di guasto elettrico.

L'impianto di terra per sistemi di protezione contro i fulmini provvede a condurre la corrente in modo sicuro dalle calate nel terreno.

L'impianto di terra funzionale ha il compito di garantire il funzionamento sicuro e privo di disturbi degli impianti elettrici ed elettronici

L'impianto di messa a terra di una struttura deve essere in grado di svolgere tutte le funzioni relative alla messa a terra dell'edificio stesso. In caso contrario potrebbero verificarsi delle differenze di potenziale tra i sistemi collegati ai diversi impianti di terra.

Come messa a terra funzionale delle apparecchiature elettroniche, un tempo veniva realizzata nella pratica una "terra pulita", separata dalla messa a terra dell'impianto di protezione contro i fulmini. Questo è molto svantaggioso e può persino essere pericoloso. In caso di fulminazione, nell'impianto di terra si verificano altissime differenze di potenziale, fino ad alcune centinaia di kV. Ciò può provocare la distruzione dei sistemi elettronici e mettere in pericolo la vita delle perso-

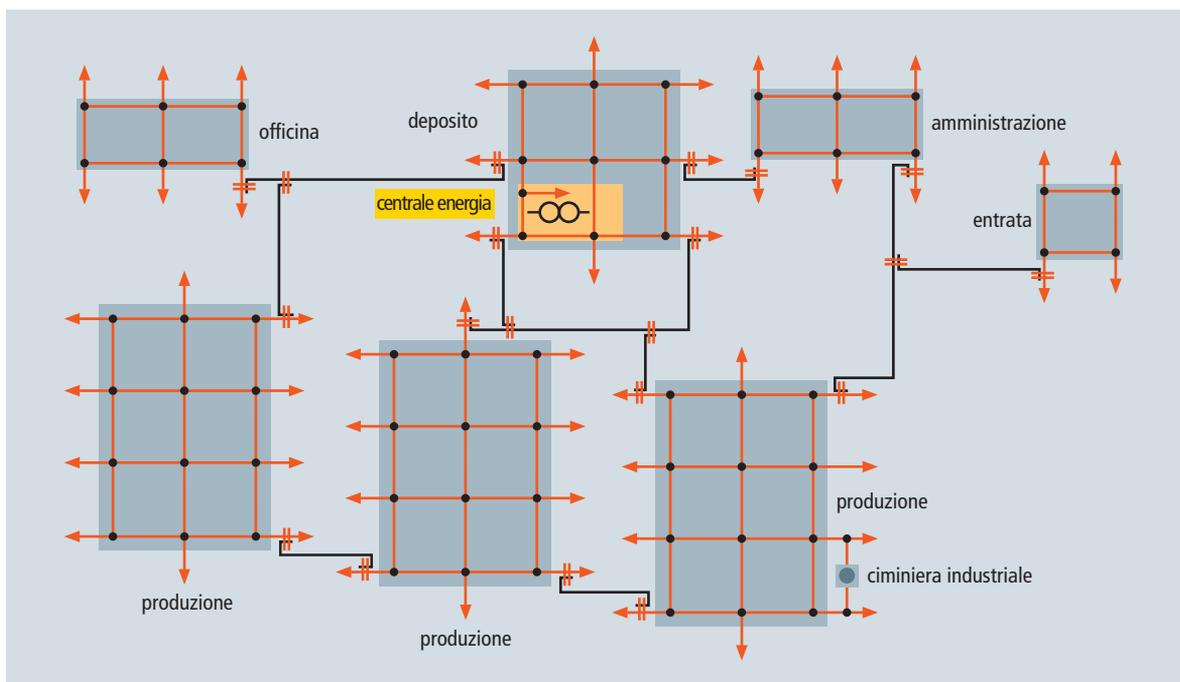


Figura 5.5.6.1 Impianto di messa a terra interconnesso di uno stabilimento industriale

ne. Per questo motivo le norme IEC 62305-3 (EN 62305-3) e IEC 62305-4 (EN 62305-4) richiedono un collegamento equipotenziale continuativo all'interno della struttura.

La messa a terra dei sistemi elettronici all'interno di una struttura può essere a forma radiale, centrale o a maglie. È da preferire la struttura a maglie. Questo dipende sia dall'ambiente elettromagnetico che dalle caratteristiche dei sistemi elettronici. Se un grande struttura comprende più edifici e se esistono dei cavi elettrici ed elettronici che collegano questi edifici, la resistenza di terra (totale) può essere ridotta combinando i singoli sistemi di terra (**Figura 5.5.6.1**). Inoltre, le differenze di potenziale tra gli edifici vengono ridotte notevolmente. Nel contempo viene anche ridotto il carico della tensione elettrica sui collegamenti elettrici ed elettronici. Dal collegamento dei singoli sistemi di messa a terra degli edifici dovrebbe risultare una rete a maglie. Tale rete di terra a maglie va progettata in modo da collegarsi agli impianti di messa a terra nei punti di collegamento delle calate. Quanto più stretta è la rete delle maglie di terra, tanto più ridotte sono le differenze di potenziale tra gli edifici in caso di fulminazione. Questo dipende dalla superficie complessiva della struttura. Si sono affermate come convenienti le larghezze di maglia 20 m x 20 m fino a 40 m x 40 m. Se, ad esempio, sono presenti camini industriali (punti di fulminazione più esposti), vanno installati dei collegamenti in posizione ravvicinata rispetto alla parte corrispondente della struttura, se possibile disposti radialmente con collegamenti trasversali ad anello (controllo del potenziale). Per la scelta del materiale per i conduttori della maglia di terra deve essere considerata la corrosione e la compatibilità dei materiali.

5.5.7 Corrosione dei dispersori

5.5.7.1 Impianti di messa a terra con particolare attenzione alla corrosione

I metalli che si trovano in contatto diretto con il terreno o l'acqua (elettroliti), possono corrodersi a causa di correnti parassite, terreno aggressivo e formazione di elementi galvanici. Una protezione contro la corrosione attraverso un rivestimento continuo, cioè un isolamento dei metalli dal terreno, non è possibile con i dispersori, dal momento che tutti i rivestimenti normalmente utilizzati fino ad ora possedevano un'elevata resistenza elettrica e perciò l'azione del dispersore veniva neutralizzata.

I dispersori a materiale uniforme possono essere a rischio di corrosione a causa di un terreno aggressivo o a causa della formazione di elementi galvanici di concentrazione. Il pericolo di corrosione dipende dal materiale e dal tipo e composizione del terreno.

Sempre più spesso si osservano dei danni da corrosione dovuti alla formazione di elementi galvanici. Questa formazione di

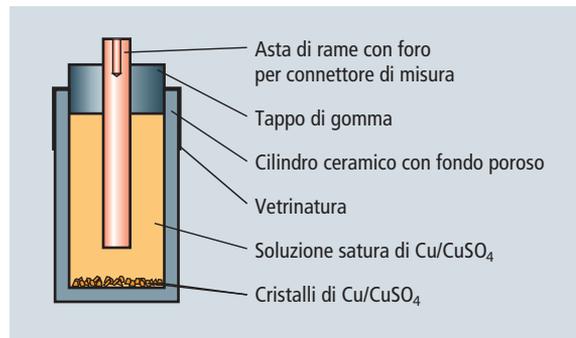


Figura 5.5.7.1.1 Esempio di un elettrodo di misura non polarizzabile (elettrodo rame/solfato di rame) che fornisce un potenziale definito nell'elettrolito (disegno in sezione)

elementi tra diversi metalli con potenziali metallo/elettrolito molto diversi è già nota da molti anni. Per molti versi ancora sconosciuta è invece la nozione che anche le armature delle fondazioni in calcestruzzo possono diventare il catodo di un elemento e come tali provocare corrosioni su altri impianti.

Con l'evoluzione dei metodi di costruzione - strutture in cemento armato sempre più grandi e superfici metalliche libere nel terreno sempre più piccole - il rapporto tra le superfici anodiche e catodiche diventa sempre più sfavorevole e il pericolo di corrosione di metalli meno nobili aumenta inevitabilmente. Solo in casi eccezionali è possibile realizzare un isolamento elettrico tra gli impianti che producono effetti anodici, per evitare la descritta formazione di elementi. Oggi si cerca di interconnettere tutti i dispersori, incluse le parti metalliche in contatto con il terreno, in modo da ottenere un collegamento equipotenziale e quindi la massima sicurezza contro tensioni di contatto troppo elevate in caso di guasto e di fulminazione. Negli impianti ad alta tensione, i dispersori vengono sempre più spesso collegati ai dispersori dell'impianto di messa a terra funzionale per l'impianto in bassa tensione, secondo la norma IEC 60364 (EN 60364). Inoltre la normativa IEC 60364-4-41 (HD 60364-4-41)/IEC 60364-5-54 (HD 60364-5-54) richiede l'integrazione delle tubazioni e degli altri impianti nelle misure di protezione contro le fulminazioni. Pertanto, al fine di evitare o comunque ridurre i pericoli di corrosione, l'unica via potrebbe rimanere quindi la scelta dei materiali più idonei per i dispersori.

In Germania è disponibile dal giugno 1986 la norma DIN VDE 0151 (Materiali e dimensioni minime dei dispersori ai fini della protezione contro la corrosione). Esperienza decennale nella tecnica della messa a terra e ampi studi preliminari forniscono molti risultati interessanti, rilevanti per i dispersori, anche per quelli utilizzati negli impianti di protezione contro i fulmini. Di seguito vengono descritti i processi essenziali che portano alla corrosione. Da questi e in base ai materiali per

dispersori finora elaborata dall'apposito gruppo di lavoro VDE, si possono ricavare misure pratiche per la protezione contro la corrosione, specialmente per quanto riguarda i dispersori per la protezione contro i fulmini.

Termini utilizzati nella protezione contro la corrosione e nelle misurazioni relative alla corrosione

Corrosione

È la reazione di un materiale metallico con il suo ambiente circostante, che degrada le caratteristiche del materiale metallico e/o il suo ambiente circostante. La reazione è nella maggior parte dei casi di carattere elettrochimico.

Corrosione elettrochimica

È una corrosione durante la quale si verificano dei processi elettrochimici. Si verificano esclusivamente in presenza di un elettrolito.

Elettrolito

È una sostanza corrosiva che conduce ioni (ad esempio terreno, acqua, sali disciolti).

Elettrodo

È un materiale in un elettrolito che conduce elettroni. Il sistema elettrodo-elettrolito forma una semi-cella.

Anodo

È un elettrodo dal quale fluisce corrente continua verso l'elettrolito.

Catodo

È un elettrodo verso quale fluisce corrente continua dall'elettrolito.

Elettrodo di riferimento

È un elettrodo di misura usato per determinare il potenziale di un metallo nell'elettrolito.

Elettrodo in solfato di rame

È un elettrodo di riferimento quasi non polarizzato costituito da rame in una soluzione satura di solfato di rame. L'elettrodo in solfato di rame è l'elettrodo di riferimento più comune per la misura del potenziale di oggetti metallici interati (**Figura 5.5.7.1.1**).

Elemento di corrosione

È un elemento galvanico con densità di corrente parziale localmente diverse per lo scioglimento dei metalli. Anodi e catodi dell'elemento di corrosione si possono formare:

➔ **sul materiale**

a causa di metalli diversi (corrosione di contatto) o componenti diversi di un materiale (corrosione selettiva o intercrystallina)

➔ **sull'elettrolito**

a causa di concentrazioni diverse di determinate sostanze aventi caratteristiche atte a stimolare o inibire lo scioglimento dei metalli.

Potenziali

➔ **Potenziale di riferimento**

Potenziale di un elettrodo di riferimento riferito all'elettrodo di idrogeno standard.

➔ **Potenziale elettrico**

È il potenziale elettrico di un metallo o di un corpo solido che conduce elettroni in un elettrolito.

5.5.7.2 Formazione di elementi galvanici, corrosione

I processi di corrosione si possono spiegare chiaramente con l'aiuto di un elemento galvanico. Se ad esempio una barra metallica viene immersa in un elettrolito, gli ioni con carica positiva passano nell'elettrolito e al contrario vengono anche assorbiti dal composto metallico gli ioni positivi dall'elettrolito. Si parla in questo contesto di "pressione di soluzione" del metallo e di "pressione osmotica" della soluzione. A seconda della grandezza di queste due pressioni, o gli ioni della barra passano nella soluzione (la barra diventa negativa rispetto alla soluzione), oppure gli ioni dell'elettrolito si depositano sulla barra (la barra diventa positiva rispetto all'elettrolito). Si crea quindi una tensione tra due barre metalliche poste nello stesso elettrolito.

Nella pratica, i potenziali dei metalli nel terreno vengono misurati con un elettrodo di solfato di rame. L'elettrodo è composto da una barra in rame, immersa in una soluzione di solfato di rame. Il potenziale di riferimento di questo elettrodo di riferimento rimane costante (**Figura 5.5.7.1.1**).

Di seguito viene descritto il caso di due barre di materiali diversi immerse nello stesso elettrolito. Su ogni barra nell'elettrolito si crea una tensione di una determinata grandezza. Con un voltmetro si può misurare la tensione tra le due barre (elettrodi); tale tensione rappresenta la differenza tra i potenziali dei singoli elettrodi rispetto all'elettrolito.

Come si verifica quindi il flusso di corrente nell'elettrolito e con esso il trasporto di sostanza, e quindi la corrosione?

Se si collega, come indicato in questo esempio, l'elettrodo di rame e l'elettrodo di ferro attraverso un amperometro fuori dall'elettrolito, si osserverà il seguente fenomeno (**Figura 5.5.7.2.1**): nel circuito elettrico esterno la corrente si circola da

+ verso -, quindi dall'elettrodo in rame "più nobile" secondo la **Tabella 5.5.7.2.1** verso l'elettrodo in ferro.

Nell'elettrolito invece la corrente dovrà fluire dall'elettrodo in ferro "più negativo" verso l'elettrodo in rame, per poter chiudere il circuito elettrico. Questo significa, molto genericamente, che il polo negativo emette ioni positivi verso l'elettrolito e diventa così l'anodo dell'elemento galvanico, cioè viene disciolto. La dissoluzione del metallo si verifica nelle zone di passaggio della corrente nell'elettrolito. Una corrente di corrosione può crearsi anche attraverso un elemento di concentrazione (**Figura 5.5.7.2.2**). In questo caso due elettrodi dello stesso metallo vengono immersi in elettroliti diversi. L'elettrodo nell'elettrolito II con maggiore concentrazione di ioni metallici diventa elettricamente più positivo rispetto all'altro.

Questo processo viene anche definito polarizzazione. Collegando i due elettrodi si ottiene un flusso di corrente i , e l'elettrodo elettrochimicamente più negativo si dissolve.

Un tale elemento di concentrazione può ad esempio essere formato da due elettrodi di ferro, di cui uno si trova annegato nel calcestruzzo e l'altro nel terreno (**Figura 5.5.7.2.3**).

Collegando questi due elettrodi, il ferro nel calcestruzzo diventa il catodo dell'elemento di concentrazione, mentre quello nel terreno diventa l'anodo. Quest'ultimo viene pertanto distrutto a causa dell'emissione di ioni.

In genere, per la corrosione elettrochimica, vale la regola per cui quanto più grandi sono gli ioni e quindi più piccola è la loro carica (cioè i è proporzionale alla massa degli atomi del metallo), tanto più grande sarà il trasporto di metallo collegato al flusso di corrente i .

Nella pratica si considerano le correnti che scorrono in un determinato periodo, ad esempio in un anno. Nella **Tabella 5.5.7.2.1** sono indicati i valori che definiscono l'effetto della corrente da corrosione (densità di corrente) attraverso la quantità di metallo disciolto. Le misure della corrente da corrosione rendono quindi possibile il calcolo anticipato della quantità di grammi che verrà erosa in un determinato periodo.

Ancora più interessante, in termini pratici, è tuttavia la previsione se e in che lasso di tempo si verifichino crateri o buchi in seguito a corrosione su dispersori, contenitori in acciaio, tubi ecc. È quindi importante sapere se l'attacco della corrente sarà diffuso o puntiforme.

Per l'attacco da corrosione non è solo determinante l'entità della corrente di corrosione, ma in particolare la sua densità, cioè la corrente per unità di superficie nell'area di scarica.

Questa densità di corrente spesso non può essere determinata direttamente. In tali casi si eseguono delle misure del potenziale elettrico che permettono di valutare l'estensione della polarizzazione disponibile. Verrà ora spiegata brevemente la polarizzazione degli elettrodi.

Analizziamo il caso in cui una bandella di acciaio zincato, che si trova in un terreno, sia collegata con l'armatura in acciaio (nero) di una fondazione in calcestruzzo (**Figura 5.5.7.2.4**). Secondo le nostre misure, si verificano le seguenti differenze di potenziale rispetto all'elettrodo di solfato di rame:

- ➔ acciaio (nero) nel calcestruzzo: da -200 mV a -400 mV
- ➔ acciaio zincato in sabbia: da -800 mV a -900 mV
- ➔ acciaio zincato nuovo: circa -1000 mV

Tra questi due metalli esiste quindi una differenza di potenziale di 600 mV. Se ora vengono collegati al di fuori del terreno, scorrerà una corrente i nel circuito esterno dall'acciaio nel calcestruzzo verso l'acciaio nella sabbia, e nel terreno dall'acciaio nella sabbia verso l'acciaio dell'armatura.

L'entità della corrente i dipende ora dalla differenza di tensione, dalla conducibilità del terreno e dalla polarizzazione dei due metalli.

Generalmente si constata che la corrente i nel terreno genera cambiamenti di sostanza.

Un cambiamento di materiale significa però anche che si modifica la tensione dei singoli metalli rispetto al terreno. Questo spostamento di potenziale attraverso la corrente di corrosione viene definito polarizzazione. L'entità della polarizzazione è direttamente proporzionale alla densità della corrente. Fenomeni di polarizzazione si verificano sull'elettrodo negativo e positivo. Tuttavia, le densità di corrente sui due elettrodi sono per lo più diverse.

Un esempio adatto a illustrare questo fenomeno

Una condotta di gas in acciaio ben isolata e interrata è collegata a dispersori di rame.

Se la condotta isolata presenta anche solo piccole imperfezioni, su queste appare una elevata densità di corrente e la conseguenza è una rapida corrosione dell'acciaio. Sul lato di ingresso della corrente con una superficie molto più grande dei dispersori in rame, invece, la densità di corrente è minima. Di conseguenza, con una condotta in acciaio isolata più negativa si verificherà una maggiore polarizzazione rispetto ai dispersori in rame positivi. Ci sarà quindi un trasferimento del potenziale della condotta di acciaio verso valori più positivi. Di conseguenza diminuisce anche la differenza di potenziale tra i due elettrodi. L'entità della corrente di corrosione dipende quindi anche dalle caratteristiche di polarizzazione degli elettrodi.

L'intensità della polarizzazione può essere valutata attraverso la misura dei potenziali degli elettrodi, interrompendo il circuito per evitare la caduta di potenziale nell'elettrolito. Solitamente per questo tipo di misure vengono utilizzati degli strumenti con registrazione, dal momento che spesso, dopo l'interruzione della corrente da corrosione, subentra una veloce depolarizzazione.

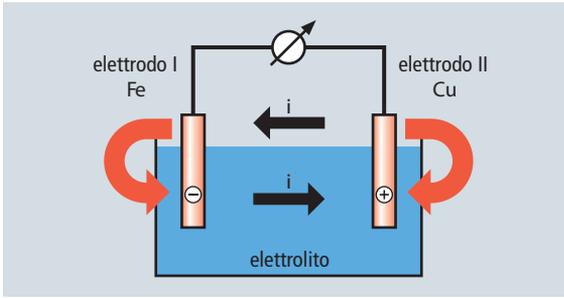


Figura 5.5.7.2.1 Elemento galvanico: ferro/rame

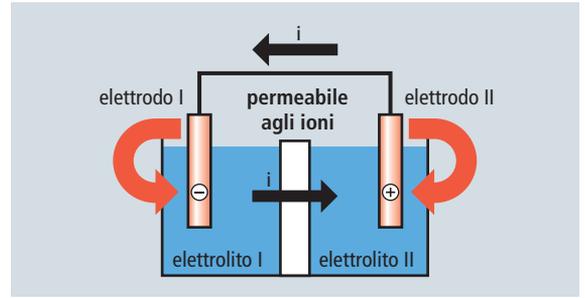


Figura 5.5.7.2.2 Elemento di concentrazione

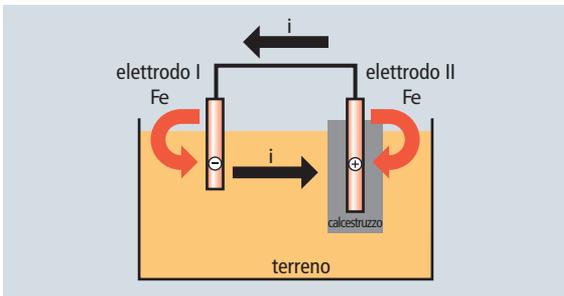


Figura 5.5.7.2.3 Elemento di concentrazione: ferro nel terreno / ferro nel calcestruzzo

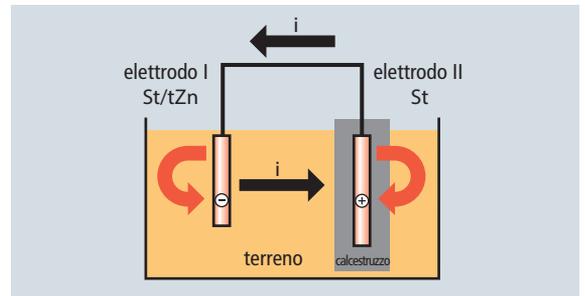


Figura 5.5.7.2.4 Elemento di concentrazione: acciaio zincato nel terreno / acciaio (nero) nel calcestruzzo

	Denominazione	Simbolo	Rame	Piombo	Stagno	Ferro	Zinco
1	Potenziale di corrosione libero nel terreno ¹⁾ [V]	$U_{M-Cu/CuSO_4}$	da 0 a -0,1	da -0,5 a -0,6	da -0,4 a -0,6 ²⁾	da -0,5 a -0,8 ³⁾	da -0,9 a -1,1 ⁵⁾
2	Potenziale di protezione catodica nel terreno ¹⁾ [V]	$U_{M-Cu/CuSO_4}$	-0,2	-0,65	-0,65 ²⁾	-0,85 ⁴⁾	-1,2 ⁵⁾
3	Equivalenti elettrochimico [kg/(A · anno)]	$K = \frac{\Delta m}{I t}$	10,4	33,9	19,4	9,1	10,7
4	Tasso di corrosione lineare con $J = 1 \text{ mA/dm}^2$ [mm/anno]	$W_{lin} = \frac{\Delta s}{t}$	0,12	0,3	0,27	0,12	0,15

¹⁾ Misurato sull'elettrodo in rame/solfato di rame saturo (Cu/CuSO₄).

²⁾ Il potenziale del rame stagnato dipende dallo spessore del rivestimento di stagno e si colloca - considerando i rivestimenti di stagno abituali di pochi μm - tra i valori dello stagno e del rame nel terreno.

³⁾ Questi valori valgono anche per acciaio a basso tenore di carbonio. Il potenziale dell'acciaio nel calcestruzzo (ferri per armatura di fondazione) dipende fortemente dalle influenze esterne. Misurato su un elettrodo di rame/solfato di rame saturo varia generalmente da -0.1 a -0.4 V. Per un collegamento conduttivo metallico con impianti sotterranei di grande superficie, realizzati in metallo con potenziali più negativi, viene polarizzato catodicamente e raggiunge valori fino a circa -0.5 V.

⁴⁾ In terreni anaerobici il potenziale di protezione dovrebbe essere -0.95 V.

⁵⁾ L'acciaio zincato a caldo, con rivestimento in zinco, secondo la tabella sopra illustrata, presenta uno strato chiuso esterno di zinco puro. Il potenziale dell'acciaio zincato nel terreno corrisponde perciò all'incirca al valore indicato per lo zinco. In caso di perdita del rivestimento in zinco, il potenziale diventa più positivo e può raggiungere, nell'eventualità di una perdita completa del rivestimento, il valore dell'acciaio. Il potenziale dell'acciaio zincato a caldo nel calcestruzzo presenta circa gli stessi valori iniziali. Nel corso del tempo, il potenziale può diventare più positivo, anche se valori più positivi di -0.75 V non sono finora stati riscontrati. Il rame zincato a caldo con un rivestimento di zinco di almeno 70 μm possiede anch'esso un rivestimento esterno chiuso in zinco puro. Il potenziale del rame zincato nel terreno corrisponde perciò all'incirca al valore indicato per lo zinco. Per uno strato di zinco più sottile o in caso di corrosione dello strato in zinco, il potenziale diventa più positivo. I valori limite sono al momento ancora incerti.

Tabella 5.5.7.2.1 Valori dei potenziali e dei tassi di corrosione dei metalli comunemente usati

Se ora viene misurata una forte polarizzazione sull'anodo (l'elettrodo negativo) (quindi si nota un chiaro spostamento verso il potenziale più positivo), significa che esiste un serio pericolo di corrosione per l'anodo.

Torniamo al nostro elemento di corrosione: acciaio (nero) nel calcestruzzo/acciaio zincato nella sabbia (**Figura 5.5.7.2.4**). Rispetto ad un elettrodo di solfato di rame distante, è possibile, a seconda del rapporto tra la superficie anodica e catodica e della polarizzabilità degli elettrodi, misurare un potenziale degli elementi interconnessi compreso tra -200 mV e -800 mV. Se ad esempio la superficie della fondazione in calcestruzzo è molto grande rispetto alla superficie del filo di acciaio zincato, su quest'ultimo si produrrà una densità di corrente anodica alta, quindi verrà polarizzato molto vicino al potenziale dell'acciaio di armatura e verrà distrutto in un tempo relativamente breve.

Una polarizzazione positiva alta indica quindi sempre un elevato pericolo di corrosione.

Per la pratica è quindi importante conoscere i limiti a partire dai quali uno spostamento di potenziale positivo indica un pericolo di corrosione elevato. Purtroppo per questo non è possibile indicare un valore preciso, valevole in ogni caso; già solo le influenze delle varie composizioni dei terreni sono troppo numerose. È invece possibile definire i campi di spostamento del potenziale per i terreni naturali.

Una polarizzazione inferiore a + 20 mV in genere non è pericolosa. Gli spostamenti di potenziale superiori ai + 100 mV sono invece sicuramente pericolosi. Tra 20 mV e 100 mV ci saranno sempre casi in cui la polarizzazione provocherà fenomeni di corrosione considerevoli.

In sintesi: la condizione per la formazione di elementi galvanici che portano alla corrosione è sempre la presenza di anodi e catodi metallici, collegati in modo da condurre la corrente elettrica.

Anodi e catodi consistono in:

➔ **Materiali:**

- materiali diversi o caratteristiche diverse della superficie di un metallo (corrosione da contatto),
- componenti strutturali diversi (corrosione selettiva o intercristallina).

➔ **Elettroliti:**

- concentrazione diversa (ad esempio salinità, aerazione).

Con questi elementi di corrosione le zone anodiche hanno sempre un potenziale metallo/elettrolito più negativo della zona catodica.

I potenziali metallo/elettrolito vengono misurati con un elettrodo di solfato di rame saturo, che viene posto nelle immediate vicinanze del metallo nel o sul terreno. Se vi è un collegamento costituito da un conduttore metallico tra anodo e catodo, la

differenza di potenziale provoca una corrente continua nell'elettrolito, che passa dall'anodo all'elettrolito dissolvendo il metallo prima di rientrare nel catodo.

Per la valutazione della densità di corrente anodica J_A viene spesso utilizzata la "regola della superficie":

$$J_A = \frac{U_C - U_A}{\varphi_C} \cdot \frac{A_C}{A_A} \text{ in A/m}^2$$

J_A densità media di corrente anodica

U_A, U_C rispettivamente potenziale anodico e catodico in V

φ_C resistività della polarizzazione del catodo in Ωm^2

A_A, A_C rispettivamente superficie anodica e catodica in m^2

La resistività della polarizzazione è il quoziente tra la tensione di polarizzazione e la corrente cumulativa di un elettrodo misto (un elettrodo, sul quale si verifica più di una reazione elettrochimica).

In pratica si può definire approssimativamente la tensione dell'elemento galvanico trascinante $U_C - U_A$ e le aree A_C e A_A per stimare il tasso di corrosione, tuttavia i valori di φ_A (resistività della polarizzazione anodica) e φ_C non sono noti con precisione sufficiente. Questi dipendono dai materiali dell'elettrodo, dagli elettroliti e dalle densità di corrente, rispettivamente anodica e catodica.

Da risultati di analisi effettuate finora si deduce che φ_A è molto minore di φ_C .

Quanto segue si applica a φ_C :

acciaio nel terreno circa 1 Ωm^2

rame nel terreno circa 5 Ωm^2

acciaio nel calcestruzzo circa 30 Ωm^2

Dalla regola della superficie si vede chiaramente che si verificano forti fenomeni di corrosione su condutture e contenitori in acciaio rivestiti che presentano piccoli difetti nel rivestimento collegati con dispersori in rame, ma anche su conduttori di terra in acciaio zincato, collegati a estesi impianti di terra in rame o a fondazioni in cemento armato molto grandi.

Attraverso la scelta di materiali adatti, questi rischi di corrosione per i dispersori possono essere evitati o ridotti. Per raggiungere una durata sufficiente vanno rispettate le dimensioni minime dei materiali (**Tabella 5.5.8.1**).

5.5.7.3 Scelta dei materiali per i dispersori

Per raggiungere una durata di vita sufficiente vanno rispettate le dimensioni minime dei materiali (**Tabella 5.5.8.1**).

Acciaio zincato a caldo

L'acciaio zincato a caldo si presta anche a essere annegato nel calcestruzzo. I dispersori di fondazione, i conduttori di terra e i collegamenti equipotenziali in acciaio zincato annegati nel calcestruzzo possono essere collegati con i ferri dell'armatura.

Acciaio con rivestimento in rame

In caso di acciaio con rivestimento in rame, per il materiale del rivestimento valgono le stesse considerazioni fatte per il rame nudo. Un danneggiamento del rivestimento in rame causa tuttavia un forte pericolo di corrosione per il nucleo in acciaio. Perciò deve essere sempre presente uno strato di rame completo e continuo.

Rame nudo

Il rame nudo è molto resistente per via della sua posizione nella serie dei potenziali elettrolitici. Inoltre, quando è collegato a dispersori o altre installazioni nel terreno, realizzati in un materiale "meno nobile" (ad esempio acciaio), il rame nudo viene protetto ulteriormente a livello catodico, tuttavia a scapito dei metalli "meno nobili".

Acciaio Inox

Certi acciai inossidabili altolegati conformi alla norma EN 10088-1 nel terreno sono passivi e resistenti alla corrosione. Il potenziale di corrosione libero di acciai inossidabili altolegati nei terreni normalmente aerati è simile nella maggior parte dei casi a quello del rame. La superficie dei dispersori in acciai inossidabili si passiva nel giro di alcune settimane, pertanto tali dispersori sono neutri rispetto agli altri materiali (più nobili e meno nobili). Gli acciai inossidabili contengono almeno il 16 % di cromo, il 5 % di nichel e il 2 % di molibdeno. In seguito ad ampie misure è risultato che solo acciai inossidabili altolegati, ad esempio AISI/ASTM 316 Ti / AISI/ASTM 316 L, sono sufficientemente resistenti alla corrosione nel terreno. Acciai inossidabili senza Molibdeno non sono adatti per i dispersori e non sono ammessi dalla normativa.

Altri materiali

Si possono utilizzare altri materiali se sono particolarmente resistenti alla corrosione in determinati ambienti, oppure se sono almeno equivalenti ai materiali elencati nella **Tabella 5.5.8.1**.

5.5.7.4 Combinazione di dispersori costituiti da materiali diversi

La densità di corrente risultante dal collegamento elettrico di due diversi metalli interrati provoca la corrosione del metallo che funge da anodo (**Tabella 5.5.7.4.1**). La corrente galvanica dipende principalmente dal rapporto tra superficie catodica A_C e superficie anodica A_A .

Il progetto di ricerca "Comportamento nei confronti della corrosione dei materiali per dispersori" ha portato al seguente risultato per la scelta dei materiali usati per i dispersori, in particolare per quanto riguarda l'interconnessione di materiali diversi.

$$\frac{A_C}{A_A} > 100$$

In generale, si può supporre che il materiale con il potenziale più positivo diventi il catodo. L'anodo di un elemento di corrosione effettivamente presente può essere riconosciuto dal fatto che questo, dopo l'apertura del collegamento metallico conduttivo, presenta il potenziale più negativo. Insieme a installazioni interrate in acciaio, i seguenti materiali per dispersori si comportano, nei terreni (che costituiscono lo strato di copertura), sempre in modo catodico: rame nudo, rame stagnato, acciaio inossidabile altolegato.

Armatura in acciaio di fondazioni in calcestruzzo

L'armatura in acciaio delle fondazioni in calcestruzzo può presentare un potenziale molto positivo (simile al rame). Il dispersore e i conduttori di terra che vengono collegati con l'armatura di grosse fondazioni in cemento armato, dovrebbero perciò essere realizzati in acciaio inossidabile o rame.

Questo vale soprattutto anche per collegamenti corti nelle immediate vicinanze delle fondazioni.

Inserimento di spinterometri

Come già accennato, è possibile interrompere il collegamento conduttivo tra impianti interrati con potenziali molto diversi inserendo degli spinterometri. Normalmente non potrà più circolare una corrente di corrosione. In caso di sovratensione,

Materiali con superficie piccola	Materiali con superficie grande			
	Acciaio zincato	Acciaio	Acciaio nel calcestruzzo	Rame
Acciaio zincato	+	+ asporto zinco	-	-
Acciaio	+	+	-	-
Acciaio nel calcestruzzo	+	+	+	+
Acciaio con rivestimento in rame	+	+	+	+
Rame/Inox	+	+	+	+
+ può essere collegato			- non può essere collegato	

Tabella 5.5.7.4.1 Combinazione di materiali per impianti di messa a terra con diverse condizioni di superficie ($A_C > 100 \times A_A$)

lo spinterometro si innesca e collega gli impianti per tutta la durata della sovratensione. Sui dispersori di protezione o funzionali, tuttavia, non possono essere installati spinterometri, poiché questi dispersori devono sempre essere collegati all'impianto.

5.5.7.5 Altre misure per la protezione da corrosione

Conduttori in acciaio zincato per il collegamento dai dispersori di fondazione verso le calate

I conduttori in acciaio zincato dei dispersori di fondazione per il collegamento alle calate devono essere posati in calcestruzzo o muratura fino sopra al livello del suolo.

Se i conduttori di collegamento vengono posati nel terreno bisogna prevedere capicorda con cavi adatti, per esempio NYY 1 x 16 mm² in rame, acciaio inossidabile (V4A) o punti fissi di messa a terra.

All'interno della muratura i conduttori di terra possono essere portati verso l'alto anche senza protezione da corrosione.

Aste di adduzione in acciaio zincato

I punti di adduzione nel terreno in acciaio zincato devono essere protetti dalla corrosione, partendo dalla superficie del terreno, per una distanza di 0,3 m verso l'alto e verso il basso. Gli strati di bitume non sono generalmente sufficienti. La protezione deve essere garantita da un rivestimento a tenuta di

Materiale	Configurazione	Dimensioni minime		
		Dispersore Ø [mm]	Conduttore [mm ²]	Piastra [mm]
Rame, rame stagnato	Cordato		50	
	Tondo pieno	15	50	
	Nastro pieno		50	
	Tubo	20		
	Piastra massiccia			500 x 500
	Piastra a graticcio ^{c)}			600 x 600
Acciaio zincato a caldo	Tondo pieno	14	78	
	Tubo	25		
	Nastro pieno		90	
	Piastra massiccia			500 x 500
	Piastra a graticcio ^{c)}			600 x 600
	Profilato	d)		
Acciaio nudo ^{b)}	Cordato		70	
	Tondo pieno		78	
	Nastro pieno		75	
Acciaio ramato	Tondo pieno	14	50	
	Nastro pieno		90	
Acciaio Inox	Tondo pieno	15	78	
	Nastro pieno		100	

a) Le caratteristiche meccaniche ed elettriche, nonché le proprietà di resistenza alla corrosione, devono rispondere ai requisiti della normativa IEC 62561.

b) Va annegato nel cemento per almeno 50 mm

c) Le piastre a graticcio vanno realizzate con un conduttore avente lunghezza totale minima di 4,8 m.

d) Sono ammessi vari profili con una sezione di 290 mm² e spessore minimo 3 mm.

e) In caso di dispersori di fondazione tipo B, il dispersore va collegato correttamente almeno ogni 5 m con le barre d'acciaio di rinforzo.

Nota: secondo la norma tedesca DIN 18014, il dispersore deve essere collegato alle barre di rinforzo a intervalli ≤ 2 m.

Tabella 5.5.8.1 Materiale, forma e sezioni minime dei dispersori ^{a) e)} secondo la Tabella 7 della norma IEC 62305-3 (EN 62305-3)

umidità, ad esempio nastro in butile-caucciù o tubo termoretraibile o meglio acciaio inossidabile.

Connessioni e collegamenti sotterranei

Le superfici di taglio e i punti di collegamento nel terreno devono essere eseguiti in modo da assicurare uguale resistenza alla corrosione dello strato di protezione da corrosione del materiale del dispersore. Perciò i punti di collegamento nel terreno devono essere protetti con rivestimento adeguato, ad esempio avvolgendoli con nastro anticorrosione.

Rifiuti aggressivi

Durante il riempimento di buche e fossati, nei quali vengono interrati dei dispersori, scorie e carbone non devono venire a diretto contatto con il materiale del dispersore. Lo stesso vale per i detriti da costruzione.

5.5.8 Materiali e dimensioni minime per dispersori

Nella **Tabella 5.5.8.1** sono indicate le sezioni minime, la forma e il materiale dei dispersori.

5.6 Isolamento elettrico della protezione contro i fulmini esterna - Distanza di sicurezza

Esiste il pericolo di scariche incontrollate tra i componenti della protezione contro i fulmini esterna e gli impianti metallici ed elettrici all'interno dell'edificio, se la distanza tra l'impianto di captazione o le calate e le installazioni metalliche ed elettriche all'interno di una struttura da proteggere è insufficiente.

Le installazioni metalliche, ad esempio i condotti dell'acqua, aria condizionata o elettrici, producono delle spire induttive nell'edificio, nelle quali (a causa del campo magnetico rapidamente variabile provocato dal fulmine) possono essere indotte delle tensioni impulsive. Va quindi evitato che queste tensioni impulsive provochino scariche incontrollate, che potrebbero anche causare incendi. Una scarica, ad esempio su conduttori elettrici, potrebbe causare grossi danni alle installazioni e ai carichi connessi. La **Figura 5.6.1** illustra il principio della distanza di sicurezza.

La formula per il calcolo della distanza di sicurezza è difficile nell'applicazione a livello pratico. La formula è la seguente:

$$s = k_i \frac{k_c}{k_m} \cdot l \quad [m]$$

dove

k_i dipende dalla classe di protezione scelto per l'impianto di protezione contro i fulmini (fattore induttivo)

k_c dipende dalla disposizione geometrica (coefficiente di distribuzione della corrente)

k_m dipende dal materiale nel punto di prossimità (fattore del materiale)

l [m] lunghezza, lungo l'organo di captazione o della calata, dal punto nel quale deve essere calcolato la distanza di sicurezza, fino al successivo nodo equipotenziale.

Coefficiente k_i

Il coefficiente k_i (fattore di induzione) della relativa classe di protezione indica il pericolo costituito dalla ripidità del fronte di salita della corrente. Dipende dalla classe di protezione LPS ed è specificato nella Tabella 10 della norma IEC 62305-3 (EN 62305-3) standard (**Tabella 5.6.1**).

Fattore del materiale k_m

Il fattore del materiale k_m considera le caratteristiche isolanti dell'ambiente circostante. Per questo calcolo le caratteristiche isolanti dell'aria si assumono unitarie (fattore 1). Tutti gli altri materiali solidi che vengono utilizzati nell'edilizia (ad esempio muratura, legno, ecc.) hanno proprietà isolanti pari alla metà

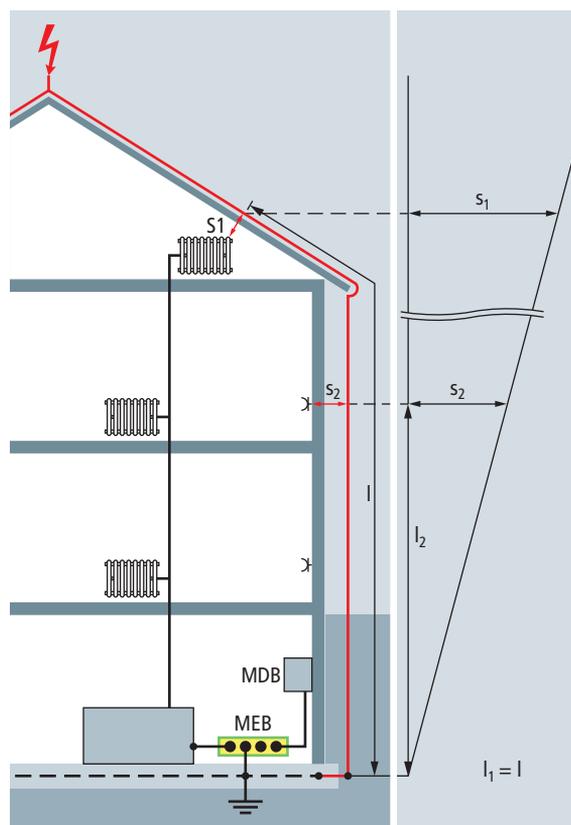


Figura 5.6.1 Principio della distanza di isolamento

rispetto all'aria. Di questo bisogna tenere conto per aste di captazione montate sul tetto. Come mostrato nella **Figura 5.6.2**, il materiale solido ($k_m = 0,5$) si trova tra la base dell'asta di captazione e la struttura montata sul tetto, mentre un'intercapedine d'aria ($k_m = 1$) si trova tra il bordo superiore della struttura montata sul tetto e l'asta di captazione.

Poiché la norma non specifica fattori del materiale diversi da $k_m = 0,5$ e 1 , valori diversi vanno verificati mediante prove o calcoli. Per la vetroresina utilizzata nei prodotti DEHN per i sistemi di captazione isolati viene indicato il fattore di $0,7$ (distanziatore DEHNiso, DEHNiso Combi). Tale fattore può essere impiegato nel calcolo come gli altri fattori di materiale.

Secondo l'integrazione 1 della norma tedesca DIN EN 62305-3, si può calcolare il fattore k_m per strati di mattoni. Tale fattore k_m considera gli spessori del materiale e le sue proprietà isolanti (**Figura 5.6.3**). Si utilizza la seguente formula per calcolare il fattore k_m :

$$k_{m\text{ total}} = \frac{(l_1 \cdot k_{m1} + l_2 \cdot k_{m2} \dots + l_x \cdot k_{mx})}{l_g}$$

dove

- $k_{m\text{ total}}$ è il fattore del materiale totale
- $l_1, l_2 \dots l_x$ indicano gli spessori del materiale
- l_g è lo spessore totale del materiale
- $k_{m\ 1, 2 \dots k_{mx}}$ definisce le proprietà isolanti del rispettivo materiale

Per una parete come da **Figura 5.6.3**, il fattore del materiale $k_{m\text{ total}}$ si calcola come segue:

$$k_{m\text{ total}} = \frac{(0,35\text{ m} \cdot 0,5 + 0,08\text{ m} \cdot 1 + 0,12\text{ m} \cdot 0,5)}{0,55\text{ m}}$$

$$k_{m\text{ total}} = 0,573$$

Tuttavia, in caso di muratura a più strati, si utilizzano di solito degli elementi di collegamento tra i diversi materiali (ad esempio calcestruzzo, clinker, sistema composito per l'isolamento termico) (**Figura 5.6.4**). Pertanto non si può presumere che esista un'intercapedine d'aria tra i due materiali. Il fattore del materiale totale per questa configurazione è di conseguenza inferiore:

$$k_{m\text{ total}} = \frac{(0,35\text{ m} \cdot 0,5 + 0,08\text{ m} \cdot 0 + 0,12\text{ m} \cdot 0,5)}{0,55\text{ m}}$$

$$k_{m\text{ total}} = 0,427$$

In generale, si consiglia di assumere il caso peggiore e di utilizzare un fattore materiale pari a $k_m = 0,5$.

Lunghezza l

La lunghezza l (**Figura 5.6.4**) è la lunghezza effettiva lungo il sistema di captazione o calata, dal punto in cui viene definita la distanza di sicurezza al successivo livello di collegamento equipotenziale antifulmine (potenziale zero) o al sistema dei dispersori.

Ogni struttura con una equipotenzialità antifulmine ha, in prossimità della superficie del terreno, un livello equipotenziale del dispersore di fondazione o di terra. Questa superficie rappresenta la quota di riferimento per la determinazione della distanza l .

Se è necessario creare un livello di collegamento equipotenziale antifulmine, in caso di edifici alti, deve essere stabilito un collegamento equipotenziale antifulmine per tutte le linee elettriche ed elettroniche e tutti gli impianti metallici, in caso di altezza ad esempio di 20 m. In questo caso devono essere utilizzati dispositivi di protezione da sovratensione Tipo I per definire un collegamento equipotenziale antifulmine a questa altezza.

Nel caso di edifici alti, la superficie equipotenziale del sistema dei dispersori di fondazione va anch'essa presa in considerazione come punto di riferimento per determinare la lunghezza l . Gli edifici alti rendono più difficile mantenere le necessarie distanze di isolamento.

Coefficiente di partizione k_c

Il fattore k_c considera la distribuzione di corrente nelle calate del sistema di protezione contro i fulmini. La normativa indica

Classe di LPS	k_i
I	0,08
II	0,06
III e IV	0,04

Tabella 5.6.1 Fattore di induzione k_i

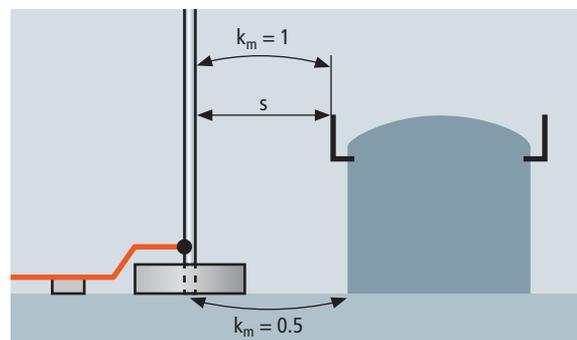


Figura 5.6.2 Fattori di materiale con asta di captazione su un tetto piano

diverse formule per il calcolo di k_c . Per essere in grado di raggiungere delle distanze di isolamento per edifici alti che siano realizzabili in pratica, si consiglia di installare dei conduttori ad anello. Questa interconnessione permette di raggiungere un bilanciamento del flusso di corrente, che riduce la distanza di sicurezza necessaria.

La differenza di potenziale tra gli impianti dell'edificio e le calate è pari a zero in prossimità della superficie del terreno e cresce in relazione con l'altezza. Questo gradiente di potenziale può essere rappresentato come un cono rovesciato (**Figura 5.6.1**). Da questo si evince che la distanza di sicurezza da rispettare è massima in cima a un edificio o sul tetto e diminuisce in direzione del sistema dei dispersori. Ciò significa che la distanza tra le calate deve essere calcolata più volte con una diversa lunghezza l .

Il calcolo del coefficiente di partizione k_c si rivela spesso difficile a causa delle diverse strutture.

Coefficiente di partizione k_c , singola asta di captazione

Se viene installato un solo palo di captazione, per esempio, accanto all'edificio, la corrente totale passa attraverso questa asta di captazione e la calata. Il fattore k_c è quindi pari a 1 e la corrente non può dividersi. Perciò è spesso difficile mantenere la distanza di sicurezza. Nella **Figura 5.6.5**, ciò si può ottenere se il palo di captazione (ad esempio un palo antifulmine telescopico) è installato lontano dall'edificio.

Coefficiente di ripartizione k_c , approccio semplificato

Per valutare facilmente e rapidamente k_c , il valore può essere desunto in base al numero di calate, come mostrato nella **Tabella 5.6.2**. Si può usare l'approccio semplificato solo se la maggiore dimensione orizzontale della struttura (lunghezza o larghezza) non supera quattro volte l'altezza.

I valori di k_c si applicano ai dispersori di tipo B. Si possono usare questi valori anche per dispersori tipo A, se le resistenze di terra dei dispersori vicini non differiscono di più di un fattore 2. Tuttavia, se le resistenze di terra dei singoli dispersori differiscono di un fattore superiore a 2, va considerato $k_c = 1$.

Coefficiente di partizione k_c , due aste di captazione/calate collegate

Se sono presenti due aste o pali di captazione, la corrente può dividersi tra due percorsi (**Figura 5.6.6**). Tuttavia la corrente non si divide esattamente a metà tra i due percorsi (50% e 50%) a causa della loro diversa lunghezza (impedenza), in quanto il fulmine non colpisce sempre esattamente al centro del sistema (stessa impedenza), ma può anche colpire qualsia-

si punto del sistema di captazione. La seguente formula per il calcolo del fattore k_c prende in considerazione il caso peggiore:

$$k_c = \frac{h + c}{2h + c}$$

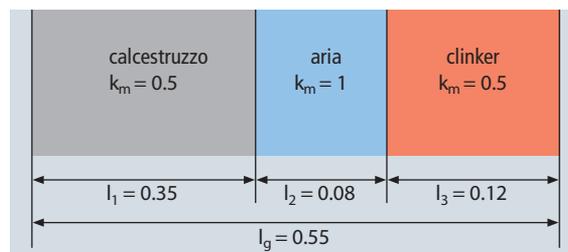


Figura 5.6.3 k_m in caso di materiali diversi con intercapedine d'aria

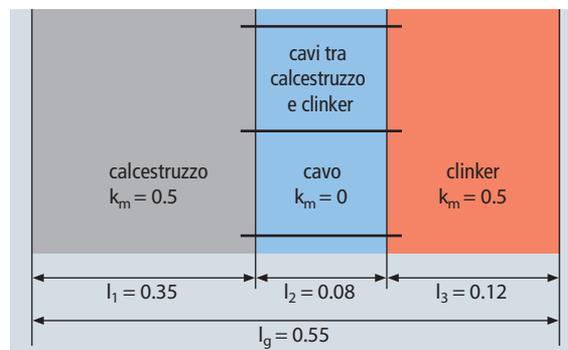


Figura 5.6.4 k_m in caso di materiali diversi senza intercapedine d'aria

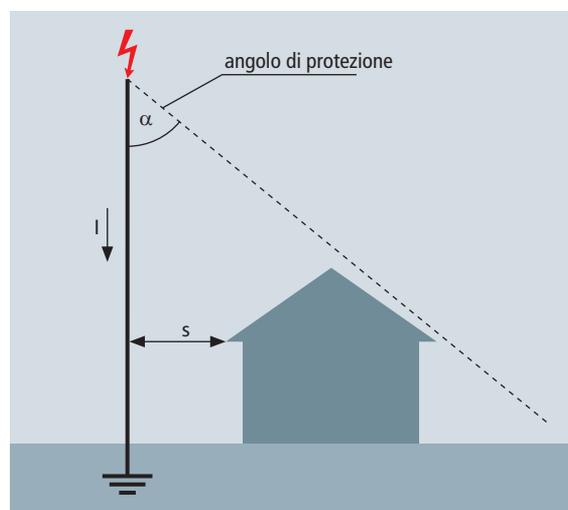


Figura 5.6.5 Palo di captazione con $k_c = 1$

numero delle calate: n	k_c
1 (solo in caso di protezione contro i fulmini isolata)	1
2	0,66
3 e più	0,44

Tabella 5.6.2 Coefficiente di ripartizione k_c , approccio semplificato

dove

h lunghezza della calata

c è la distanza tra le aste o pali di captazione

In questo calcolo si assume un sistema di captazione tipo B. Se sono installati solo dispersori di tipo A, essi vanno interconnessi.

L'esempio seguente mostra il calcolo del coefficiente per un tetto spiovente con due calate (Figura 5.6.7). Se sono installati solo dispersori di tipo A e di tipo B (dispersori ad anello o di fondazione):

$$k_c = \frac{9 + 12}{2 \cdot 9 + 12} = 0.7$$

Coefficiente di partizione k_c e distanza di sicurezza in caso di un tetto a doppia falda o tetto piano con ≥ 4 calate

La disposizione delle calate illustrata nella Figura 5.6.7 non dovrebbe essere più applicata neppure su una casa unifamiliare. Il coefficiente di partizione k_c è significativamente migliore

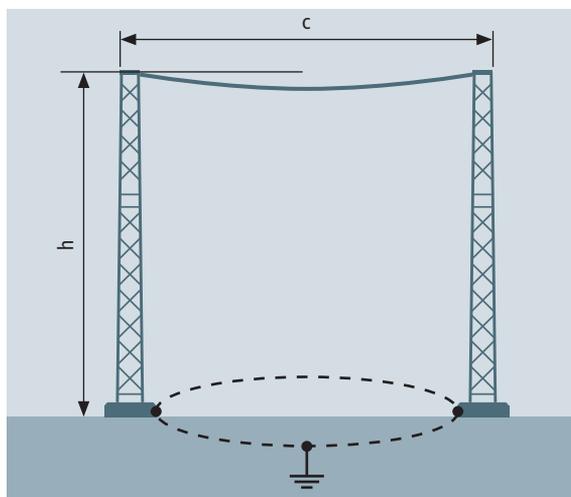


Figura 5.6.6 Determinazione k_c per due pali con fune sospesa e dispersore di tipo B

utilizzando due ulteriori calate, ossia un totale di quattro calate (Figura 5.6.8). Per il calcolo viene utilizzata la seguente formula:

$$k_c = \frac{1}{2n} + 0.1 + 0.2 \sqrt[3]{\frac{c}{h}}$$

dove

h è la lunghezza del conduttore fino alla grondaia dell'edificio come punto più sfavorevole per l'iniezione di correnti di fulmine

c è la distanza tra due calate

n numero complessivo delle calate

$$k_c = \frac{1}{2 \cdot 4} + 0.1 + 0.2 \sqrt[3]{\frac{12}{4}}$$

Risultato: $k_c \approx 0.51$

L'equazione è un'approssimazione per strutture spaziali e per $n \geq 4$. I valori di h e c sono ipotizzati fino a 20 m a una distanza di 3 m. Se sono installate delle calate interne non si deve considerare il numero n.

Nel caso di strutture con tetto piano, il coefficiente di partizione k_c viene calcolato come segue. In questo caso si presuppone un sistema con dispersori tipo A e B (Figura 5.6.9):

$$k_c = \frac{1}{2n} + 0.1 + 0.2 \sqrt[3]{\frac{c}{h}}$$

dove

h è la distanza o l'altezza tra gli anelli dei conduttori

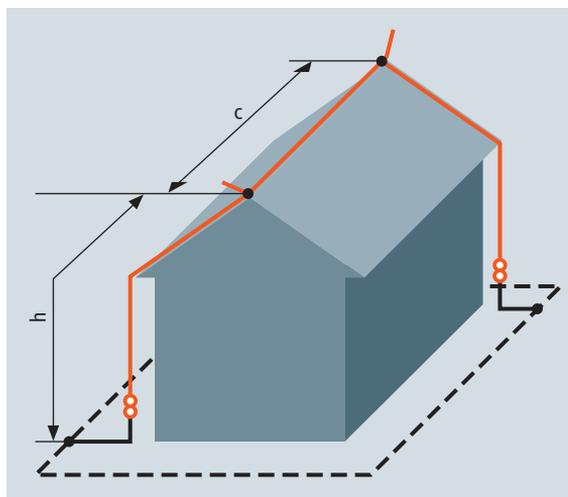


Figura 5.6.7 Determinazione di k_c per un tetto spiovente con due calate

c è la distanza tra le calate

n numero complessivo delle calate

Le distanze tra le calate sono basate sulla classe di LPS (Tabella 6 della norma IEC 62305-3 (EN 62305-3)). Uno scostamento di +/- 20% è accettabile. Quindi la distanza c definisce la massima distanza tra calate simmetriche.

Approccio dettagliato per la determinazione della distanza di sicurezza s

Oltre alle possibilità sopra descritte per la determinazione del coefficiente di partizione k_c e la distanza di sicurezza, può essere utilizzato un metodo di calcolo più dettagliato. Nel caso di edifici con un sistema di protezione contro i fulmini a maglie interconnesse, la corrente si suddivide in parti uguali a causa dell'elevato numero di percorsi formati dai conduttori sul

tetto piano e dalle calate. Per cui la distanza di sicurezza viene influenzata positivamente. Se sul tetto di un edificio viene installata una struttura, come mostrato in **Figura 5.6.10**, il metodo di calcolo dettagliato permette di calcolare la distanza di sicurezza s con la massima precisione possibile. Viene usata la seguente formula di calcolo:

$$s = \frac{k_i}{k_m} (k_{c1} \cdot l_1 + k_{c2} \cdot l_2 + \dots + k_{cn} \cdot l_n)$$

dove

k_{c1}, k_{cn} è il coefficiente di partizione secondo il numero di percorsi della corrente

l_1, l_n è la lunghezza del conduttore fino al nodo successivo

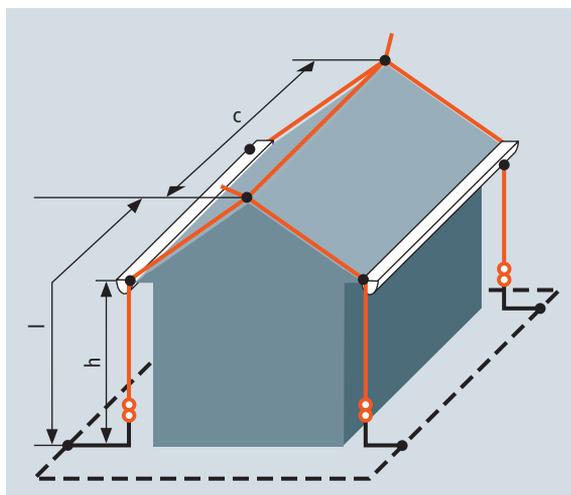


Figura 5.6.8 Tetto spiovente con quattro calate

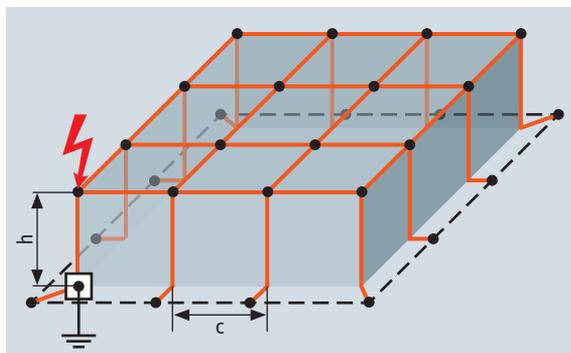


Figura 5.6.9 Valori del coefficiente k_c in caso di una rete di conduttori di captazione a maglia e un dispersore tipo B

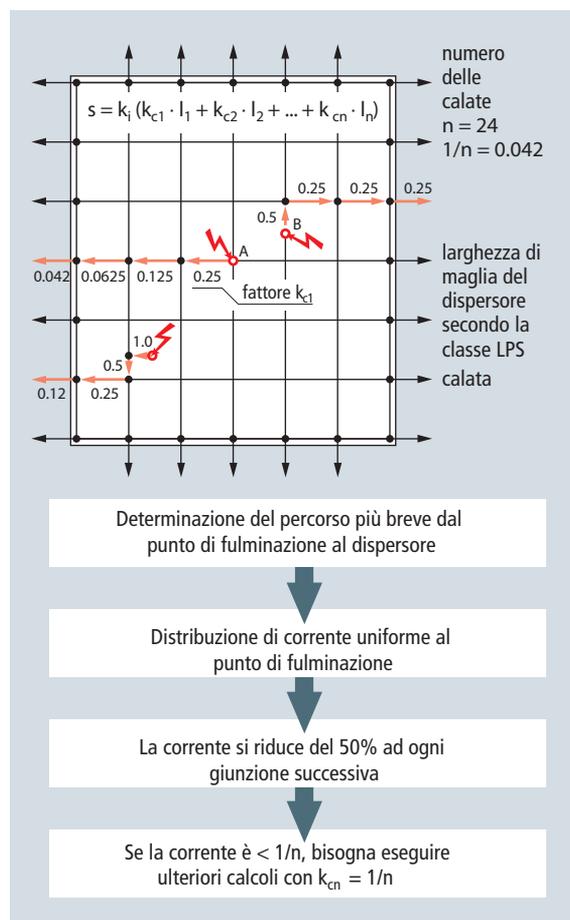


Figura 5.6.10 Valori del coefficiente k_c in caso di un sistema di più calate, secondo la figura C.5 della norma IEC 62305-3 (EN 62305-3)

I valori di k_c dipendono dal numero dei percorsi della corrente. Di conseguenza, si applica quanto segue:

➔ $k_c = 1$ dal punto più prossimo al primo nodo.

Tra il primo nodo e il nodo successivo, k_{c2} dipende dal numero dei conduttori:

➔ $k_c = 0.5$ in caso di due conduttori

➔ $k_c = 0.33$ in caso di tre conduttori

➔ $k_c = 0.25$ in caso di quattro conduttori

Per ogni nodo in più, il valore precedente di k_c viene dimezzato. Il valore minimo di k_c non deve essere inferiore a $1/\text{numero di calate}$.

Esempio: per illustrare il calcolo, viene trattata la distanza di sicurezza s per un tetto piano con una struttura montata sul tetto.

Un sistema di condizionamento dell'aria è stato installato sul tetto di un edificio (**Figure 5.6.11 e 5.6.12**) in classe LPS II.

Dati dell'edificio:

- ➔ LPS II
- ➔ fattore di induzione k_i : 0,06
- ➔ lunghezza 60 m
- ➔ larghezza 60 m
- ➔ altezza 7 m
- ➔ numero delle calate: 24
- ➔ valore minimo di k_c ($1/\text{numero di calate}$) $k_{c\min} = 0,042$
- ➔ sistema di dispersori di fondazione tipo B: -1,0 m

Il sistema di condizionamento dell'aria deve essere situato nel volume protetto (LPZ 0_B) grazie a due aste di captazione

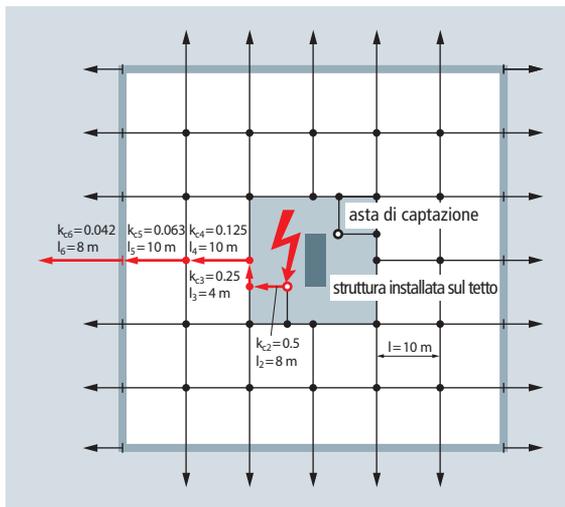


Figura 5.6.11 Distribuzione della corrente in caso di più conduttori

disposte in diagonale. La distanza di sicurezza deve essere determinata alla base dell'asta di captazione. Si formano percorsi di corrente con conduttori di lunghezze differenti a causa della dimensione ridotta delle maglie sulla superficie del tetto. Inoltre la corrente si divide lungo i nodi:

- ➔ 1. Base dell'asta di captazione (due conduttori)
 - $k_{c1} = 0,5$ con una lunghezza del conduttore l_1 di 8,0 m
- ➔ 2. Nodo 1 (due conduttori)
 - $k_{c2} = 0,25$ con una lunghezza del conduttore l_2 di 4,0 m
- ➔ 3. Nodo 2 (due conduttori)
 - $k_{c3} = 0,125$ con una lunghezza del conduttore l_3 di 10,0 m

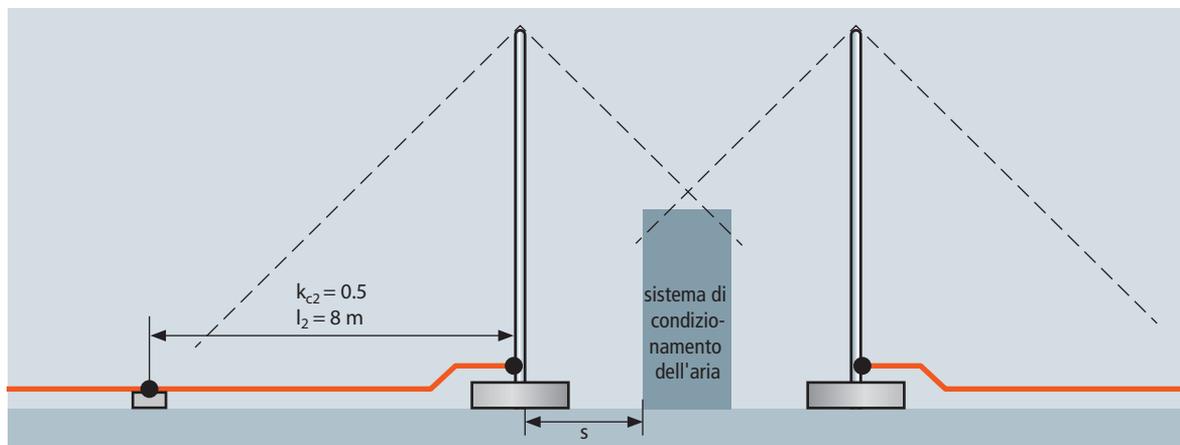


Figura 5.6.12 Esempio: struttura installata su un tetto; sistema con più calate

➔ 4. Nodo 3 (tre conduttori)

$k_{c4} = 0,063$ con una lunghezza del conduttore l_4 di 10,0 m

➔ 5. Nodo 4 (tre conduttori)

$k_{c5} = 0,042$ con una lunghezza del conduttore l_5 di 8,0 m

La distanza di sicurezza si calcola come segue:

$$s = \frac{k_i(k_{c1} \cdot l_1 + k_{c2} \cdot l_2 + \dots + k_{cn} \cdot l_n)}{k_m}$$

$$s = \frac{0,06(0,5 \cdot 8m + 0,25 \cdot 4m + 0,125 \cdot 10m + 0,063 \cdot 10m + 0,042 \cdot 8m)}{0,5}$$

s = 0,87 per materiale solido

Bisogna mantenere una distanza di sicurezza pari a 0,87 m (materiale solido) alla base del sistema di condizionamento dell'aria.

Determinazione del livello di potenziale zero

Per il calcolo della distanza di sicurezza è importante determinare il livello di potenziale zero. Il livello di potenziale zero degli edifici si trova alla stessa altezza della fondazione o del dispersore ad anello. Pertanto la definizione del livello di potenziale zero è decisiva per la distanza di sicurezza s.

Negli edifici con una parete e il soffitto armati, interconnessi in modo tale che siano in grado di trasportare la corrente di fulmine, questi si possono utilizzare come un sistema di calata. Pertanto, non occorre mantenere delle distanze di isolamento a causa del potenziale costante. Tuttavia, le superfici dei tetti sono tipicamente coperte con isolanti e membrane dove sono installati i sistemi di captazione a maglie. Tali sistemi di captazione a maglie sono collegati all'armatura in prossimità del parapetto del tetto. In caso di un fulmine, vanno mantenute le distanze di isolamento tra maglie e calate. Pertanto si consiglia di installare conduttori isolati che consentono di mantenere le distanze di isolamento.

Nel caso di edifici realizzati con un telaio in acciaio e un tetto in metallo, si può supporre che il livello di potenziale zero sia pari all'altezza dell'edificio. Le distanze necessarie devono essere mantenute.

In generale vanno rispettati i requisiti della norma IEC 62305-3 (EN 62305-3). Lo strumento Distanza del software di supporto DEHN consente di calcolare facilmente la distanza di sicurezza in base all'analisi dei nodi come descritto al precedente punto 3.3.2.1.

5.7 Tensione di passo e di contatto

La norma IEC 62305-3 (EN 62305-3) indica che in casi particolari all'esterno di un edificio in prossimità delle calate, la tensione di contatto o di passo può essere mortale, anche se il sistema di protezione contro i fulmini è stato progettato a norma.

Casi particolari sono, ad esempio, le zone di ingresso, le zone coperte di strutture molto frequentate come teatri, cinema, centri commerciali, nei quali sono presenti calate nude e i dispersori si trovano nelle immediate vicinanze.

Per strutture particolarmente esposte (a rischio fulminazione) che sono liberamente accessibili al pubblico, possono pure essere necessarie delle misure contro le tensioni di passo e di contatto.

Queste misure (ad esempio il controllo del potenziale) vengono applicate in primo luogo a chiese, torri di osservazione, rifugi, pali di illuminazione negli impianti sportivi e ponti.

Il numero di persone presenti può variare a seconda del luogo (ad esempio la zona di ingresso di centri commerciali o zone di salita delle torri di osservazione). Sono pertanto necessarie misure per ridurre la tensione di passo e di contatto solo nelle zone ad elevato rischio.

Qui viene applicato il controllo del potenziale, isolamento del suolo o altre misure descritte di seguito. Le singole misure di protezione possono anche essere combinate tra loro.

Definizione della tensione di contatto

La tensione di contatto è quella tensione che agisce su una persona tra la sua posizione a terra e il punto di contatto con la calata. Il percorso della corrente passa dalla mano attraverso il corpo verso i piedi (**Figura 5.7.1**).

Il pericolo di una tensione di contatto eccessiva non esiste per le costruzioni con struttura portante in acciaio o in cemento armato, a condizione che l'armatura sia collegata in modo permanente e continuativo e le calate siano posate nel calcestruzzo.

Inoltre per le facciate metalliche può essere trascurata la tensione di contatto, se queste sono state incluse nel sistema equipotenziale e/o utilizzate come elementi naturali della calata.

Se nelle zone a rischio all'esterno della struttura, esiste (sotto il terreno) del calcestruzzo armato con un collegamento sicuro dell'armatura al dispersore di fondazione, questa misura migliora la curva del gradiente di potenziale e agisce come controllo del potenziale. La tensione di passo in questo caso può essere trascurata.

Il pericolo che una persona sia ferita o uccisa a causa del contatto con la calata può essere ridotto adottando le seguenti misure:

- ➔ la calata viene rivestita di materiale isolante (almeno 3 mm di polietilene reticolato con resistenza dielettrica di 100kV - 1,2/50 μ s)
 - ➔ la posizione delle calate può essere modificata, ad esempio, in modo che non vadano a interessare le zone di ingresso di una struttura.
 - ➔ la probabilità di raggruppamento di persone può essere ridotta utilizzando dei cartelli segnaletici o cartelli di divieto; possono essere utilizzate anche delle barriere
 - ➔ la resistenza di contatto dello strato superficiale del suolo, entro una distanza di 3 m dalla calata, non deve essere inferiore a 100 k Ω
- Nota:** uno spessore di 5 cm dello strato di materiale isolante, ad esempio asfalto (o 15 cm di graniglia), tipicamente riduce il rischio ad un livello accettabile (IEC 62305-3 (EN 62305-3), capitolo 8.1).
- ➔ addensamento della rete di maglie dell'impianto di terra adottando il controllo del potenziale

Nota: Un pluviale, anche se non viene definito come calata, può rappresentare un pericolo per le persone che vengono a contatto con esso. In questo caso si può ad esempio sostituire il tubo metallico con un tubo in PVC (altezza: 3 m).

Definizione della tensione di passo

La tensione di passo è una parte del potenziale di terra che può attraversare una persona con il passo di 1 m, considerando che

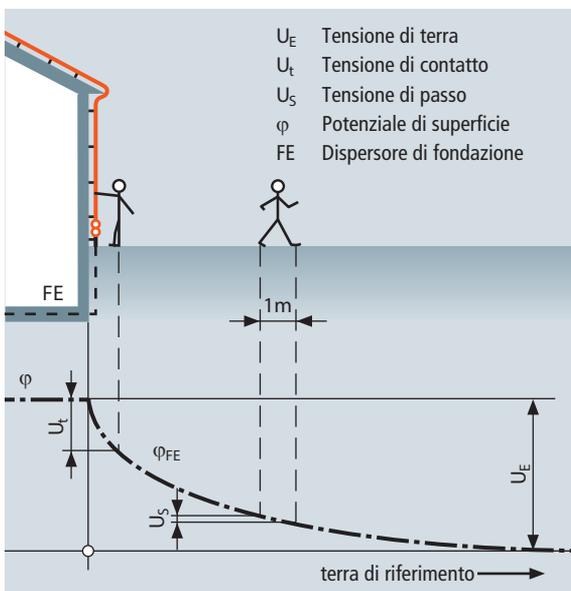


Figura 5.7.1 Tensione di passo e di contatto

il percorso della corrente nel corpo umano passa da piede a piede (**Figura 5.7.1**).

La tensione di passo dipende dall'andamento del gradiente di potenziale. Come mostrato in figura, la tensione di passo diminuisce con l'allontanamento dalla struttura. Quindi il rischio per le persone diminuisce con l'aumento della distanza dalla struttura.

Per ridurre la tensione di passo possono essere applicate le seguenti misure:

- ➔ si può impedire l'accesso di persone alle zone a rischio (ad esempio con barriere o cancelli)
- ➔ riduzione del lato di maglia nella rete di terra - controllo del potenziale
- ➔ la resistenza di contatto dello strato superficiale del suolo, entro una distanza di 3 m dalla calata, non deve essere inferiore a 100 k Ω (norma IEC 62305-3 (EN 62305-3), capitolo 8.2).

Se molte persone possono trovarsi frequentemente in una zona a rischio vicino alla struttura da proteggere, dovrebbe essere previsto il controllo del potenziale per la loro protezione.

Il controllo del potenziale è sufficiente se il gradiente di resistenza alla superficie del suolo nella zona da proteggere non è superiore a 1 Ω /m.

A questo proposito dovrebbe essere installato, oltre al dispersore di fondazione, un dispersore ad anello aggiuntivo, a una distanza di 1 m dalla struttura e una profondità di 0,5 m. Se sulla struttura è già presente un impianto di messa a terra sotto forma di dispersore ad anello, questo costituisce già il "primo anello" della regolazione del potenziale.

Ulteriori dispersori ad anello vanno installati a una distanza di 3 m dal primo e dagli altri dispersori ad anello. Con l'aumentare della distanza dalla struttura, la profondità dei dispersori va aumentata (con incrementi di 0,5 m) (vedere **Tabella 5.7.1**).

Se in una struttura si utilizza il controllo del potenziale, esso va installato come segue (**Figura 5.7.2 e 5.7.3**):

	Distanza dall'edificio	Profondità
Primo anello	1 m	0,5 m
Secondo anello	4 m	1,0 m
Terzo anello	7 m	1,5 m
Quarto anello	10 m	2,0 m

Tabella 5.7.1 Distanza degli anelli e profondità del controllo del potenziale

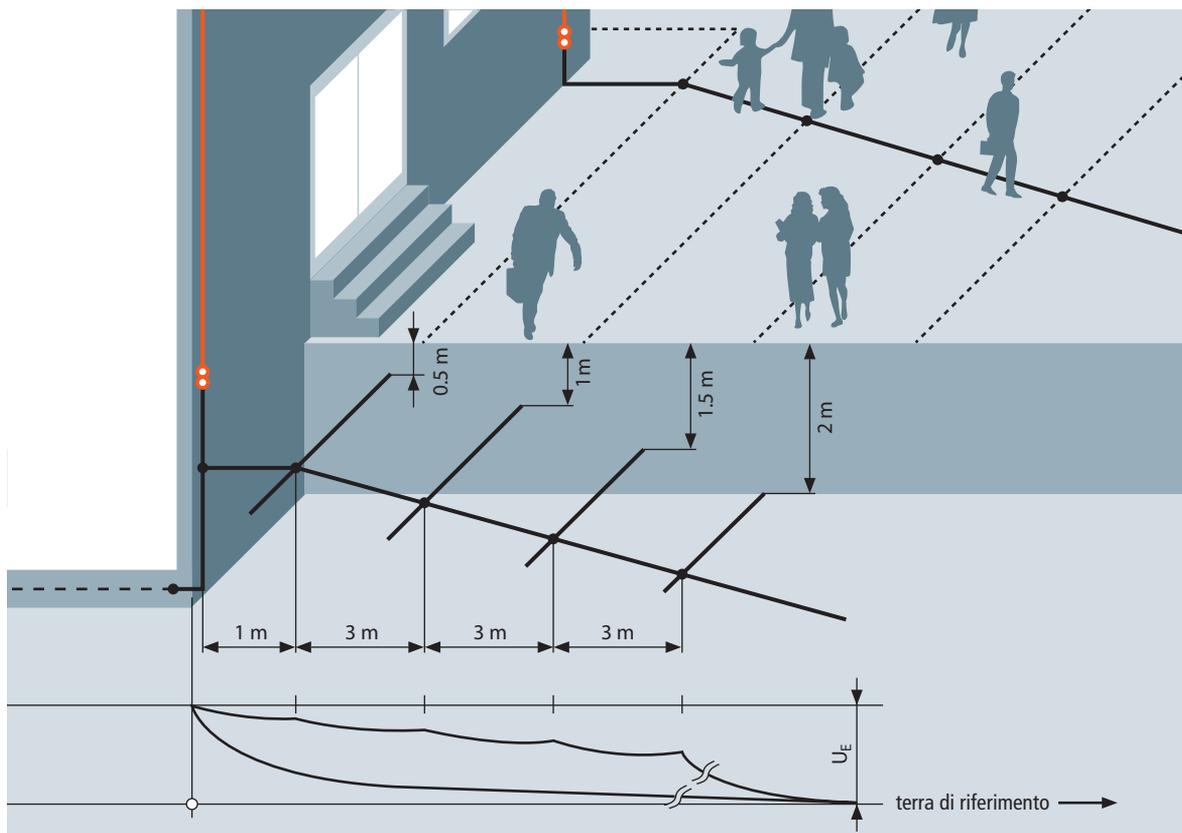


Figura 5.7.2 Controllo del potenziale – Principio di base e andamento del gradiente di potenziale

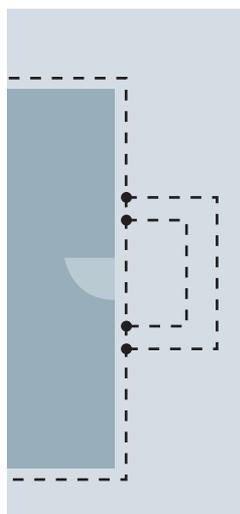


Figura 5.7.3 Possibile controllo del potenziale nella zona di ingresso di una struttura

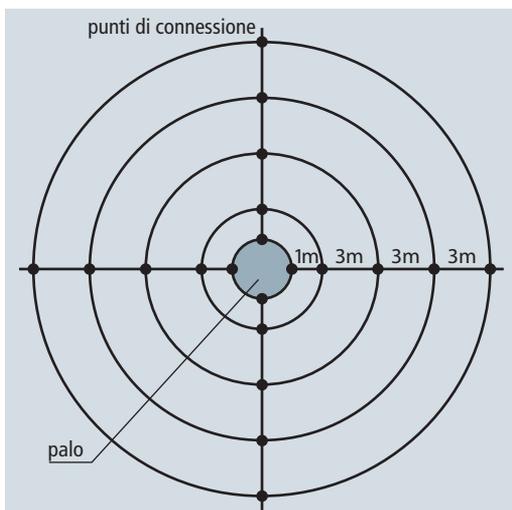


Figura 5.7.4 Controllo del potenziale per una torre faro o un palo per radiotelegrafia

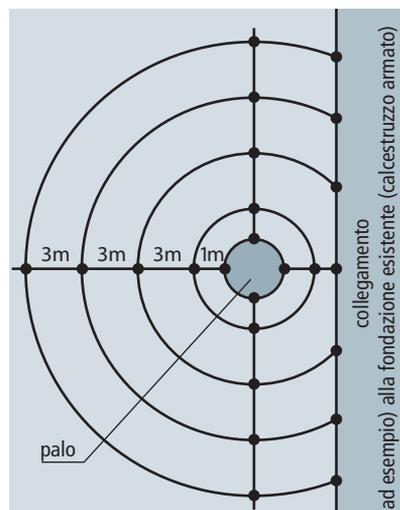


Figura 5.7.5 Regolazione del potenziale con collegamento al dispersore ad anello / dispersore di fondazione

- ➔ le calate devono essere collegate a tutti gli anelli di controllo del potenziale.
- ➔ tra i singoli anelli devono essere effettuati almeno due collegamenti (Figura 5.7.4).

Se non è possibile disporre in cerchio i dispersori ad anello (dispersori per il controllo del potenziale di terra), le loro estremità andranno collegate alle altre estremità dell'anello dei dispersori ad anello. Dovrebbero essere realizzati almeno due collegamenti all'interno dei singoli anelli (Figura 5.7.5).

Per la scelta dei materiali da utilizzare per i dispersori ad anello va considerata la possibile azione corrosiva (capitolo 5.5.7).

L'acciaio inossidabile (V4A), per esempio AISI/ASTM 316 Ti si è rivelata una buona scelta quando viene presa in considerazione la formazione di elementi galvanici tra dispersore di terra e dispersore ad anello.

I dispersori ad anello possono essere realizzati con tondino (\varnothing 10 mm) o nastro piatto (30 mm x 3,5 mm).

5.7.1 Controllo delle tensioni di contatto delle calate per impianti di protezione contro i fulmini

L'area pericolosa, a causa delle tensioni di passo di contatto, per le persone che si soffermano all'esterno di un edificio si estende ad una distanza fino a 3 m dall'edificio e ad un'altezza di 3 m. Questa area da proteggere in altezza corrisponde a una distanza di sicurezza s in aggiunta all'altezza massima

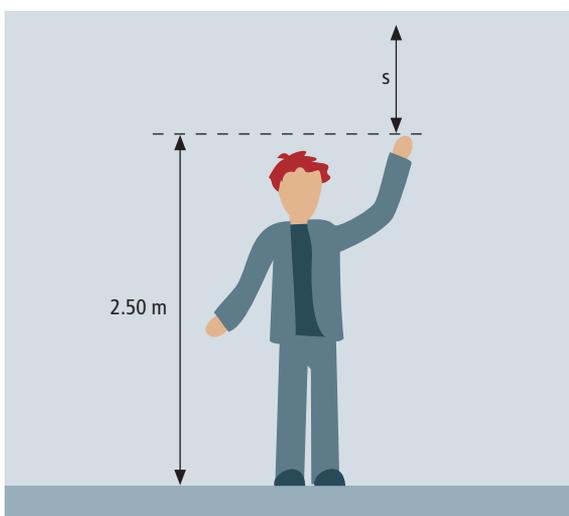


Figura 5.7.1.1 Zona di protezione per una persona

raggiungibile di una persona con braccio teso verso l'alto (Figura 5.7.1.1).

Particolari esigenze di protezione valgono per zone di ingresso e parti aggettanti di strutture con elevata frequenza di pubblico come teatri, cinema, centri commerciali, scuole ed asili, dove nelle immediate vicinanze non siano presenti delle calate isolate e dispersori per la protezione contro i fulmini.

Per strutture particolarmente esposte (strutture soggette al pericolo di fulminazione) accessibili al pubblico (per esempio coperture), possono pure essere necessarie delle misure contro le tensioni di contatto troppo elevate. Nella valutazione del rischio per una struttura secondo IEC 62305-2 (EN 62305-2) viene considerato il pericolo per le persone attraverso il parametro L1 (perdita di vite umane in una struttura).

Il pericolo da tensioni di contatto viene ridotto con le seguenti misure:

- ➔ la calata viene rivestita di materiale isolante (almeno 3 mm di polietilene reticolato con resistenza dielettrica di 100kV - 1,2/50 μ s)
- ➔ la posizione delle calate viene modificata (per esempio non vanno posizionate calate nella zona di ingresso di una struttura).
- ➔ la resistività dello strato superficiale del suolo entro 3 metri attorno alla calata è almeno 100 k Ω (IEC 62305-3 (EN 62305-3)).
- ➔ la probabilità di raggruppamento di persone può essere ridotta utilizzando dei cartelli segnaletici o di divieto; possono essere utilizzate anche delle barriere.

Le misure di protezione contro le tensioni di contatto non sempre sono sufficienti per una efficace protezione delle persone. Per esempio, la copertura di una calata esposta con isolante per tensioni elevate non è sufficiente se non si prendono contemporaneamente delle misure di protezione dalle scariche di superficie sull'isolamento. Questo è di particolare importanza

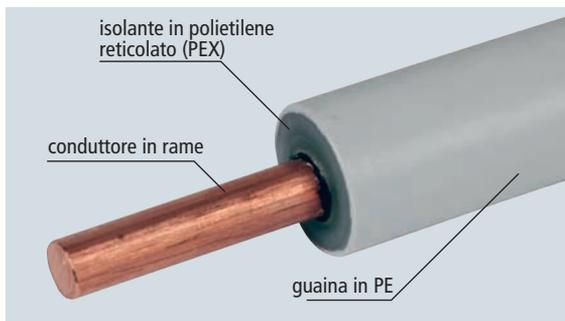


Figura 5.7.1.2 Progettazione di un conduttore CUI

quando devono essere considerate anche condizioni atmosferiche come ad esempio le precipitazioni (umidità).

In una calata isolata, come anche in una calata nuda, in caso di fulminazione si instaura una tensione molto elevata. Questa tensione viene però separata dalla persona tramite l'isolante. Siccome il corpo umano, rispetto all'isolante, può essere considerato un buon conduttore, lo strato isolante viene sollecitato con quasi tutta la tensione di contatto. Se l'isolamento non resiste alla tensione, una parte della corrente di fulmine può circolare verso terra attraverso il corpo umano, come avverrebbe in una calata nuda. Per una affidabile protezione delle persone dalle tensioni di contatto è quindi indispensabile evitare sia la scarica disruptiva dell'isolamento sia la scarica di superficie lungo il tratto isolato.

Un sistema coerente come il conduttore CUI soddisfa tutti i requisiti della tenuta alla scarica disruptiva e anche la tenuta alla scarica di superficie per la protezione dalla tensione di contatto.

Progettazione dei conduttori CUI

I conduttori CUI sono composti dal conduttore interno in rame con una sezione di 50 mm² e ricoperto da una guaina isolante di polietilene reticolato resistente all'alta tensione impulsiva con spessore di circa 6 mm (Figura 5.7.1.2).

Per una migliore protezione dagli agenti atmosferici il conduttore è ricoperto da un ulteriore strato sottile di polietilene (PE). La calata isolata viene collocata sull'intera zona pericolosa. In altre parole, il conduttore CUI viene installato in verticale per 3 m sopra il livello del suolo. Il terminale superiore del conduttore

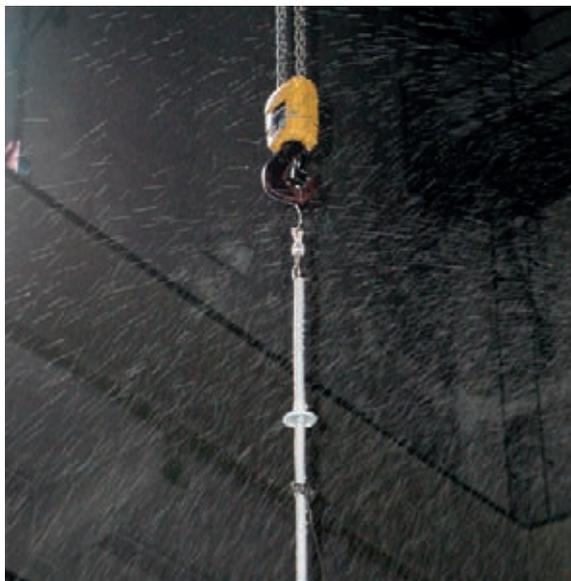


Figura 5.7.1.3 Prova in tensione sotto pioggia

viene collegato alla calata proveniente dal sistema di captazione e il terminale inferiore connesso all'impianto di terra. Oltre alla tenuta alla scarica disruptiva dell'isolamento, deve essere osservato anche il pericolo delle scariche di superficie tra il punto di connessione della calata nuda e la mano della persona in contatto con il conduttore. Il problema delle scariche in superficie viene ulteriormente aggravato dalla presenza di strati inquinanti, come per esempio la pioggia. È stato dimostrato tramite esperimenti che su una calata isolata senza ulteriori misure di protezione e in presenza di pioggia si possono formare delle scariche in superficie per oltre 1 m. Tramite l'applicazione di una adeguata protezione alla calata isolata, sul conduttore CUI viene creata una sufficiente zona asciutta che impedisce le scariche di superficie lungo la guaina isolante. Attraverso prove di tensione impulsiva in condizioni di pioggia eseguite in conformità alla norma IEC 60060-1 (EN 60060-1) è stata dimostrata la sicurezza del conduttore CUI sia nei confronti delle scariche disruptive sia delle scariche in superficie, con tensioni impulsive fino a 100 kV (1,2/50μs). Durante queste prove in condizioni di pioggia viene spruzzata sul conduttore una quantità definita di acqua, con una definita conducibilità elettrica e un raggio del getto a circa 45° (Figura 5.7.1.3).

I conduttori CUI sono preconfezionati con gli elementi di connessione per il collegamento alla calata (punto di sezionamento) e se necessario possono essere accorciati sul posto per il collegamento all'impianto di terra. Il prodotto è fornibile in lunghezze di 3,5 m e 5 m e con adatte staffe portafilo di materiale plastico oppure in metallo (Figura 5.7.1.4).

Con il conduttore speciale CUI si possono controllare le tensioni di contatto sulle calate in modo semplice e di facile installazione. Così il pericolo per le persone nelle zone ad alto rischio viene ridotto sensibilmente.

Accoppiamento induttivo in caso di impulsi con elevate ripidità

Riguardo al pericolo per le persone, va considerato anche il campo magnetico del sistema e le sue conseguenze sulle persone in prossimità delle calate. Nelle spire conduttrici di instal-

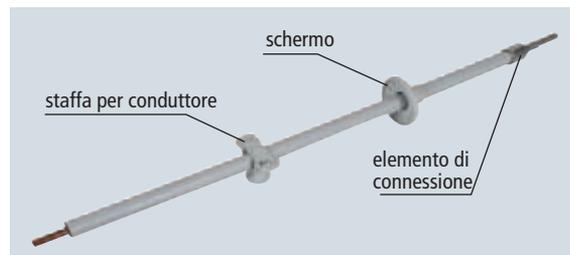


Figura 5.7.1.4 Conduttore CUI

lazione estese, per esempio in prossimità delle calate, possono verificarsi tensioni di alcune centinaia di kV che possono causare enormi perdite economiche. Anche il corpo umano conduce la corrente elettrica e forma con la calata isolata e il terreno conduttivo una spira con una mutua induttanza M , nella quale possono essere indotte delle tensioni U_i elevate (**Figure 5.7.1.5a e 5.7.1.5b**). Il sistema calata-persona funziona in questo caso come un trasformatore.

Questa tensione indotta agisce sull'isolamento, perché il corpo umano e il suolo possono essere considerati conduttivi. Se la sollecitazione della tensione diventa troppo elevata, l'isolamento subisce una scarica disruptiva o di superficie. La tensione indotta genera attraverso questa spira una corrente il cui valore dipende dalle resistenze e dall'induttanza propria della spira, con possibile pericolo di vita per la persona colpita. L'isolamento deve quindi resistere a queste sollecitazioni di tensione.

La prescrizione normativa di 100 kV con forma dell'impulso 1,2/50 μ s include gli impulsi di tensione elevati ma molto brevi che si manifestano soltanto durante la fase di salita della corrente (0,25 μ s in caso di colpo successivo negativo). La mutua induttanza aumenta con la profondità dei conduttori isolati. Di conseguenza le tensioni indotte e il carico sull'isolamento aumentano in proporzione. Di ciò va tenuto conto quando si considera l'accoppiamento induttivo.

5.7.2 Ottimizzazione della messa a terra per la protezione contro i fulmini considerando la tensione di passo

La disposizione degli elettrodi ad anello descritta in 5.7.1 non è sempre attuabile per motivi di costo, strutturali e di ingombro, come ad esempio nelle aree residenziali densamente edificate. Di seguito viene descritta la possibilità di ottimizzazione offerta dai moderni strumenti di simulazione e il loro utilizzo per valutare situazioni reali.

Grazie alla ricerca di base e all'analisi completa della letteratura è stato messo a punto ed è ora disponibile uno strumento che permette una simulazione 3D dei sistemi di dispersione diffusi e considera anche l'effetto di ionizzazione del suolo. Si tratta di un notevole miglioramento rispetto ai precedenti approcci analitici semplificati. Inoltre può essere compresa nella simulazione la reazione del corpo umano alla tensione di passo/corpo. Tuttavia le simulazioni con tensioni di passo non caricate portano a valori di tensione eccessivi e apparentemente inaccettabili.

Per valutare i risultati della simulazione è disponibile un valore della tensione di passo ben definito grazie a un'ampia ricerca nella letteratura bibliografica.

Un prerequisito per l'ottimizzazione dei sistemi di dispersori tenendo conto della tensione di passo, è la definizione di una tensione di passo/corpo ammissibile, tale da non provocare danni alla salute.

Valori limite della tensione di passo

La letteratura fornisce informazioni sulle tensioni alternate nella tecnica e anche sui percorsi della corrente tra mano e mano e tra mani e piedi. Non viene preso in considerazione il controllo della tensione in caso di impulsi di breve durata e di percorsi da piede a piede. Sulla base dei parametri temporali di un primo colpo con un impulso di 10/350 μ s, i possibili valori limite si possono derivare dalla norma IEC/TS 60479-1: "Effetti della corrente sugli esseri umani e sugli animali - Parte 1: aspetti generali" e dalla norma IEC/TS 60479-2: "Effetti della corrente sugli esseri umani e sugli animali - Parte 2: aspetti specifici", volume 44 della serie tedesca VDE "Neuhaus, H.: Blitzschutzanlagen - Erläuterungen zur DIN 57185/VDE 0185" [Protezione contro i fulmini - Spiegazione della DIN 57185/VDE 0185] e la cosiddetta "equazione dell'elettrocuzione" tratta da C. F. Dalziel e W. R. Lee "Nuova valutazione delle correnti elettriche letali. Atti IEEE sulle applicazioni industriali". Per confermare tali informazioni e renderle comprensibili, sono stati simulati i campi di flusso nel corpo umano a seguito delle tensioni di passo, grazie un software FEM, un PC e il cosiddetto modello Hugo. Tale modello Hugo è una simulazione 3D del corpo umano comprendente tutti gli organi con una risoluzione spaziale di

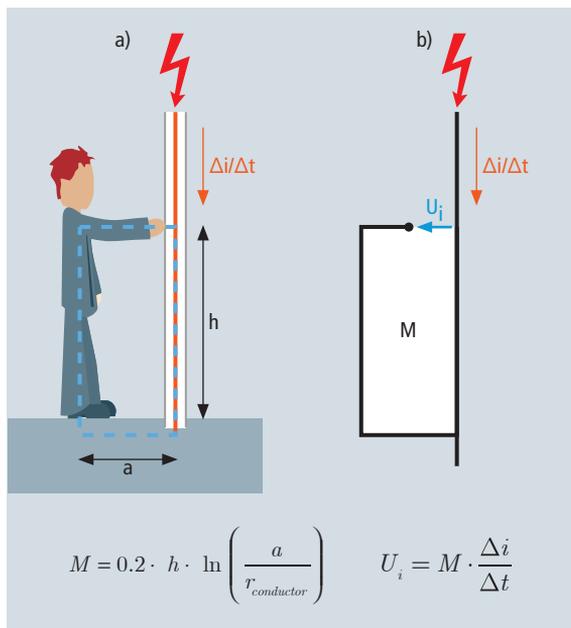


Figura 5.7.1.5 (a) Spira formata da una calata e una persona
(b) Mutua induttanza M e tensione indotta U_i

max. 1 mm x 1 mm x 1 mm ed è basato sul "Progetto Umano Visibile" (Visible Human Project) della National Library of Medicine di Bethesda/USA. Questo modello può essere utilizzato anche per simulare i campi elettrici nel corpo umano.

Simulazione della tensione di passo

Una tensione di passo di 1 kV viene applicata al modello Hugo con piedi nella posizione di compiere un passo di 1 m (Figura 5.7.2.1). In questa disposizione, la massima densità di corrente nel cuore è di circa 1,2 A/m² e la corrente totale che scorre attraverso il cuore è di 7,5 kA. Nel caso di impulsi di 10/350 ms, la corrente cardiaca massima non deve superare i 200 mA. Ciò si traduce in un valore massimo della tensione di passo/corpo pari a 26,6 kV. Questi valori limite calcolati della tensione di passo/corpo sono riassunti nella Tabella 5.7.2.1 secondo diverse fonti.

Dopo aver valutato tutte le considerazioni teoriche e le esperienze sui valori limite, è stato usato per le simulazioni il valore limite IEC di 25 kV. Sono state simulate diverse configurazioni per verificare e variare i sistemi di dispersori con costi ridotti.

Modello di riferimento

Per ridurre al minimo l'influenza di effetti collaterali, il calcolo per tutti i sistemi di dispersori viene eseguito in un emisfero con raggio di 100 m. La superficie della sfera è definita come terra (potenziale zero). Il piano di sezione della sfera è equivalente alla superficie della terra, se è definito come l'isolamento elettrico. I calcoli sono eseguiti in flusso stazionario. L'ampiezza della corrente di fulmine è assunta pari a 100 kA.

Il terreno è stato simulato per mezzo di due diversi modelli.

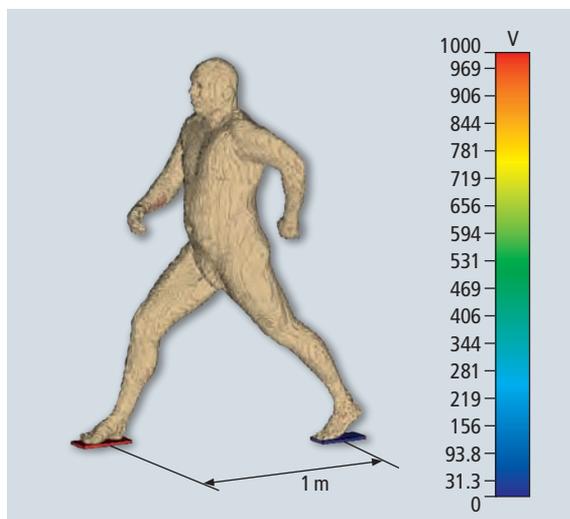


Figura 5.7.2.1 Modello HUGO con i piedi in posizione di marcia che fungono da punti di contatto (fonte: TU Darmstadt)

➔ Modello 1: le proprietà elettriche del suolo sono indipendenti da altri parametri elettrici ("modello lineare"). Se non diversamente specificato, si assume una conducibilità elettrica pari a 0,001 S/m che corrisponde a una resistività di 1000 Ωm. Questo rappresenta un terreno con una scarsa conducibilità elettrica.

➔ Modello 2: il suolo cambia la conducibilità elettrica a seconda dell'intensità del campo elettrico ("modello non lineare"). Questo modello è stato scelto per simulare l'effetto di ionizzazione del suolo. Per raggiungere questo obiettivo si è assunta una conducibilità caratteristica di 0,001 S/m per una intensità di campo elettrico inferiore a 300 kV/m, una conducibilità elettrica di 0,01 S/m per una intensità del campo elettrico superiore a 500 kV/m, e una conducibilità che aumenta in modo all'incirca lineare tra questi due valori.

Per poter confrontare tra loro diversi sistemi di dispersori terra, è stato definito un modello di riferimento:

- ➔ piccolo edificio con una superficie di 10 m x 10 m e una profondità della parte interrata pari a 2 m
- ➔ questo edificio si suppone idealmente isolante.

Per eseguire la simulazione, la corrente viene iniettata in uno dei capicorda del sistema dei dispersori. Da lì si diffonde attraverso il sistema dei dispersori e il suolo nel terreno circostante. Il potenziale elettrico che si crea è valutato alla superficie del suolo; il valore della tensione di passo $|U_s|$ è calcolato per una lunghezza del passo $d_{step} = 1$ m, lungo una linea retta al suolo che parte dalla parete dell'edificio fino al bordo della zona considerata. La posizione r è uguale alla distanza dalla parete della casa (Figura 5.7.2.2).

Simulazioni con il modello di riferimento

Vengono effettuate delle simulazioni con il modello di riferimento, con un numero crescente di dispersori ad anello, installati secondo le normali consuetudini, ad una distanza di 1 m, 4 m, 7 m e 10 m dalle pareti dell'edificio e a una profondità di 0,5 m, 1 m, 1,5 m e 2 m (Figura 5.7.2.3).

Quando si confrontano i risultati, alcuni aspetti sono particolarmente sorprendenti: se si considera l'effetto della ionizza-

Fonte	U_k
IEC 60479-1 e IEC 60479-2	25 kV
Neuhaus	15 kV
Dalziel	32 kV
Simulazione di fulminazione (HUGO)	26,6 kV

Tabella 5.7.2.1 Valori limite per la tensione di passo/corpo secondo varie fonti

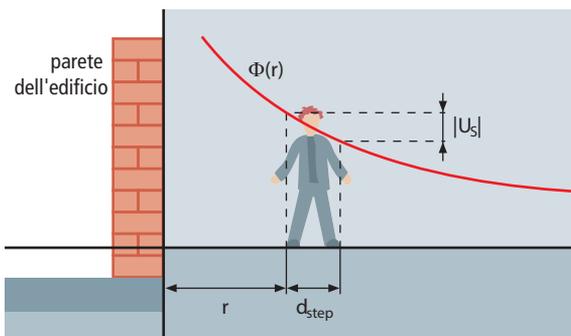


Figura 5.7.2.2 Sistema di riferimento per informazioni sulla tensione di passo

zione del suolo, si vede che le tensioni di passo sono notevolmente ridotte rispetto a un suolo considerato lineare. Se si considera la ionizzazione del suolo, si osserva una tensione massima di circa 325 kV su un singolo dispersore ad anello, mentre in caso di terreno lineare si ottiene una tensione di circa 750 kV. Tuttavia, con l'aumentare del numero degli anelli tale differenza si riduce progressivamente. In caso di due dispersori ad anello, ad esempio, si riscontrano solo circa 220 kV e 225 kV rispettivamente.

Come previsto, la tensione di passo si riduce notevolmente se vengono aggiunti ulteriori anelli. Tuttavia va osservato che le tensioni di passo sono particolarmente ridotte all'interno del sistema dei dispersori. Le tensioni di passo aumentano ge-

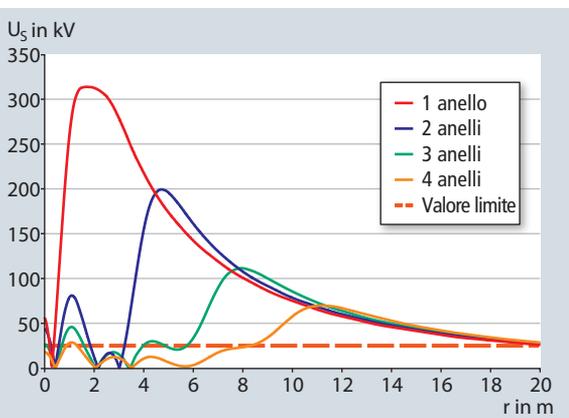
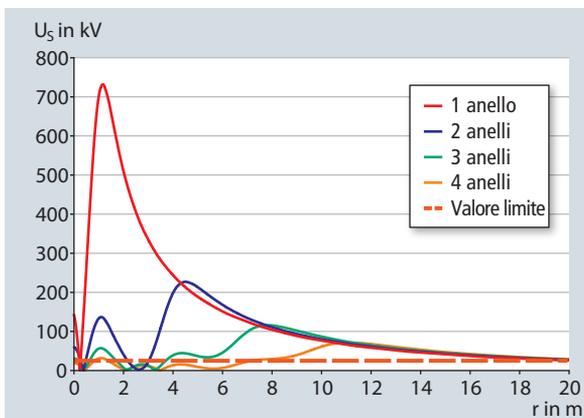


Figura 5.7.2.3 Confronto tra tensioni di passo nel modello di riferimento con vari dispersori di terra. Senza considerare la ionizzazione del suolo (a sinistra), considerando la ionizzazione del suolo (a destra).

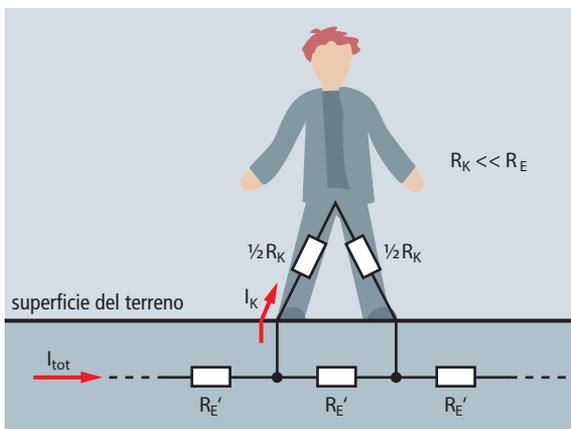


Figura 5.7.2.4 Persona a cui viene applicata la tensione di passo dalla superficie del terreno

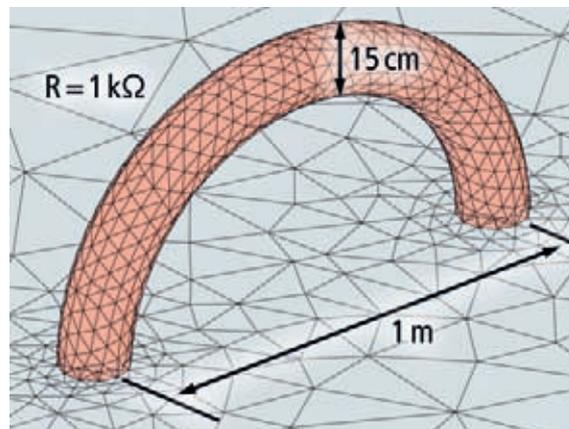


Figura 5.7.2.5 Modello molto semplificato di un corpo umano per valutare la sua reazione alla tensione di passo (in rosso)

neralmente luogo il bordo del sistema dei dispersori, dove il campo di flusso controllato dall'anello dei dispersori entra nei campi elettrici incontrollati del terreno.

In questo contesto, è anche notevole che le tensioni di passo che si formano al di fuori del sistema dei dispersori abbiano una curva caratteristica simile e siano praticamente indipendenti dal numero di anelli dispersori installati. Questo fenomeno è chiaramente visibile nella **Figura 5.7.2.3** per $r > 11$ m. È altrettanto singolare che, anche nel caso di un complesso di quattro anelli e considerando la ionizzazione del suolo, le tensioni di passo così determinate eccedano ancora in modo significativo il valore limite di 25 kV.

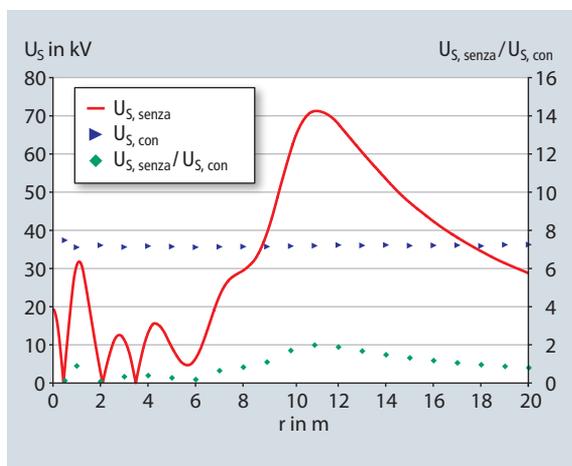


Figura 5.7.2.6 Reazione di un corpo umano all'aumento della tensione di passo

Reazione del corpo umano

Poiché in alcuni casi le tensioni di passo sono considerevolmente superiori al valore limite assunto, si pone la questione se lo stato attuale della tecnica e della pratica offrano un'adeguata protezione nei confronti delle tensioni di passo eccessive. Tenendo conto del fatto che, in particolare nel caso di un suolo cattivo conduttore, il corpo umano presenta una resistenza elettrica significativamente più bassa rispetto al suolo stesso, il corpo umano tuttavia reagisce alle tensioni di passo che si producono. Ciò è paragonabile al caso di un carico applicato a una sorgente di tensione con una resistenza interna estremamente alta (**Figura 5.7.2.4**).

In "Blitzschutzanlagen-Erläuterungen zur DIN 57185/VDE 0185" [Sistemi di protezione contro le scariche elettriche - Informazioni più dettagliate su DIN 57185/VDE 0185], H. Neuhaus introduce un concetto simile sotto forma di resistenze di terra dei piedi, ovvero una sorta di resistenza di contatto tra il

ρ in Ω m	σ in S/m	$U_{s, senza} / U_{s, con}$	Fattore secondo Neuhaus
100	0,01	1,64	1,66
200	0,005	2,3	2,3
500	0,002	4,1	4,3
1000	0,001	7,2	7,6
-	0,001 ... 0,01 (non lineare)	7	-

Tabella 5.7.2.2 Simulazione dei risultati con e senza la reazione del corpo umano all'aumento della tensione di passo

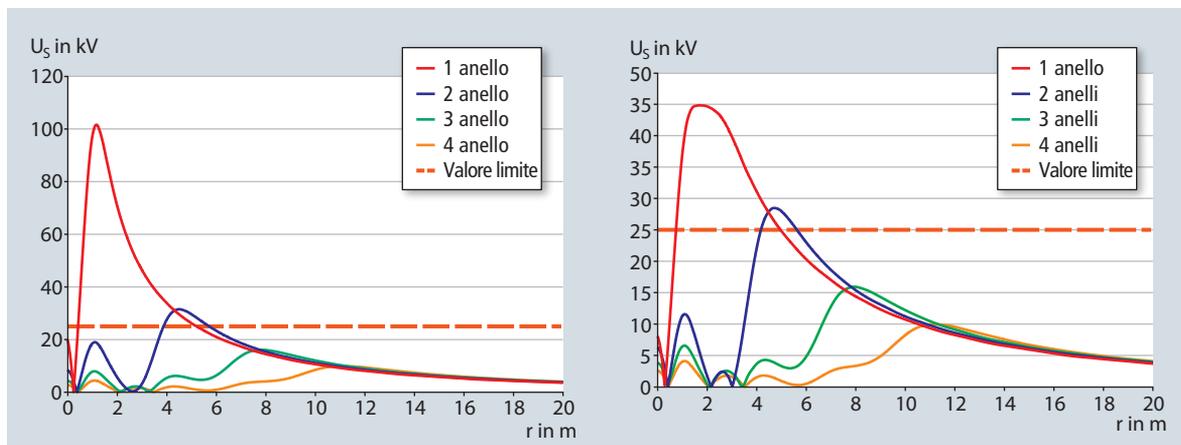


Figura 5.7.2.7 Confronto tra tensioni di passo nel modello di riferimento di vari dispersori ad anello, considerando il fattore di correzione che tiene conto della reazione del corpo umano. La ionizzazione del suolo non viene considerata (sinistra), viene considerata (destra).

suolo e i piedi. Tuttavia, queste resistenze non vanno confuse con altre resistenze, come le soles delle calzature. Secondo Neuhaus, tali resistenze, poste in serie con la resistenza interna del corpo umano, formano un partitore di tensione e riducono la tensione di passo/corpo effettivamente applicata a una persona rispetto alla pura tensione di passo sul terreno.

Per poter verificare questa reazione anche nella simulazione, è stato inserito un oggetto molto semplificato a forma di arco, le cui due basi corrispondono all'area di un piede come assunto da Neuhaus ($D = 0,15$ m). La conducibilità elettrica è stata scelta in modo che la resistenza dell'arco sia di $1 \text{ k}\Omega$. Le ricerche hanno dimostrato che questo valore è il caso più critico da assumere per quanto riguarda la conseguente folgorazione. L'arco è posizionato alla superficie del suolo al di sopra di un sistema di dispersori con quattro anelli. Viene calcolata la tensione di passo derivante dalla reazione dell'oggetto alla tensione di passo originale (**Figura 5.7.2.5**).

La **Figura 5.7.2.6** mostra le tensioni di passo $U_{S,with}$ con la reazione del corpo umano, le tensioni di passo $U_{S,without}$ senza la reazione del corpo umano, nonché il quoziente ottenuto dai entrambi i valori per modelli del terreno senza ionizzazione e una conducibilità elettrica di $\sigma = 0,001 \text{ m/s}$.

La **Tabella 5.7.2.2** confronta i risultati di ulteriori simulazioni con i fattori analiticamente valutati da Neuhaus.

La **Figura 5.7.2.6** mostra che il fattore $U_{S,without}/U_{S,with}$ è approssimativamente costante per tutto il periodo di calcolo e per una data conduttività del terreno. Se la conduttività del terreno varia, anche il fattore $U_{S,without}/U_{S,with}$ varia (**Tabella 5.7.2.2**). Gli elementi determinati nella simulazione sono in buon accordo con i fattori analiticamente valutati da Neuhaus. Per questi motivi, i fattori descritti in precedenza possono essere utilizzati per convertire direttamente i risultati della simulazione delle tensioni di passo nelle tensioni di passo/corpo risultanti, senza effettuare lunghe simulazioni specifiche che richiedono la sostituzione di un corpo per ogni dispersore da simulare. La **Figura 5.7.2.7** mostra i valori della tensione di passo/corpo convertiti per diverse configurazioni dei dispersori. Questo mostra che, nel caso di un sistema di tre o quattro dispersori, le tensioni di passo ammissibili all'interno e all'esterno del sistema sono rispettate.

Si vede che nelle configurazioni con dei dispersori condivisi non si superano i valori ammissibili delle tensioni di passo basate sui presupposti sopra descritti. In generale, va osservato che tensioni di passo decisamente più elevate si verificano al bordo di ogni sistema di dispersori, più che all'interno della zona del dispersore.

Attraverso ulteriori prove si suppone di poter ottimizzare la progettazione e l'installazione dei sistemi di dispersione. Inoltre, si deve chiarire se i calcoli in condizioni stazionarie riflettono correttamente le condizioni reali e quali effetti si manifestano in caso di calcolo in regime transitorio.

5.8 Collaudo del costruttore dei componenti del sistema di protezione contro i fulmini

Prima del collaudo del costruttore, i componenti metallici dell'impianto di protezione contro i fulmini che sono esposti alle intemperie, quali, ad esempio, morsetti, conduttori, aste di captazione o dispersori, devono essere sottoposti ad invecchiamento artificiale o condizionamento per dimostrare la loro idoneità per questo campo di applicazione.

Resistenza agli agenti atmosferici e alla corrosione

Secondo la norma IEC 60068-2-52 (EN 60068-2 -52) e la norma ISO 6988 (EN ISO 6988), l'invecchiamento artificiale e il collaudo dei componenti metallici avviene in due fasi.



Figura 5.8.1 Prove in camera a nebbia salina



Figura 5.8.2 Prova in una camera di Kesternich

Fase 1: trattamento in nebbia salina

Questa prova è utilizzata per componenti o dispositivi progettati per resistere a un'atmosfera salina. L'apparecchiatura di prova (**Figura 5.8.1**) è costituita da una camera a nebbia salina dove i campioni vengono collaudati per più di tre giorni con indice di rigore 2. L'indice di rigore 2 comprende tre periodi di 2 ore ciascuno con soluzione di cloruro di sodio (NaCl) al 5% a una temperatura compresa tra 15 °C e 35 °C, seguiti da un periodo di conservazione in condizioni di umidità tra 20 e 22 ore ad un'umidità relativa del 93% e una temperatura di 40 °C.

Fase 2: trattamento in atmosfera sulfurea umida

Questa prova è un metodo per valutare la resistenza dei materiali o oggetti all'umidità condensata contenente biossido di zolfo. L'apparecchiatura di prova (**Figura 5.8.2**) è costituita da una camera di prova, dove i campioni vengono trattati con sette cicli di prova.

Ogni ciclo dura 24 ore ed è costituito da un periodo di riscaldamento di 8 ore ad una temperatura di 40 ± 3 °C in una atmosfera umida satura, seguito da un periodo di riposo di 16 ore. Dopo di che, l'atmosfera sulfurea umida viene sostituita. I componenti per uso all'esterno e i componenti da interrare vanno sottoposti ad invecchiamento/condizionamento. Tuttavia, per i componenti da interrare vanno considerati ulteriori requisiti e misure. In generale, morsetti o conduttori di alluminio non vanno interrati. Se dei morsetti o conduttori in acciaio inossidabile vanno interrati, devono essere in acciaio altolegato inossidabile, ad esempio StSt (V4A). Secondo la norma tedesca DIN VDE 0151, non è ammesso acciaio StSt (V2A). I componenti per uso al coperto, come le barre di collegamento equipotenziale, non devono essere sottoposti ad invecchiamento/condizionamento. Lo stesso vale per i componenti che vanno annegati nel calcestruzzo. Questi componenti sono spesso in acciaio non zincato (nero).

Sistemi di captazione e aste di captazione

Generalmente, nei sistemi di captazione sono utilizzate aste di captazione con una lunghezza che va da 1 m (ad esempio

quelle installate in basi in cemento su edifici con tetti piani) fino a 25 m (ad esempio nel caso di impianti di produzione di biogas).

La norma IEC 62561-2 (EN 62561-2) specifica le combinazioni di materiali dei sistemi di captazione e delle calate, sia tra loro sia con le parti strutturali, le sezioni minime e i materiali ammissibili, comprese le loro proprietà elettriche e meccaniche. In caso di aste di captazione con altezze maggiori, la resistenza alla flessione dell'asta e la stabilità di sistemi completi (asta e treppiede) devono essere verificate con un calcolo statico. Le sezioni e i materiali sono scelti in base a questo calcolo. I requisiti e i parametri di ventosità della zona costituiscono la base per il calcolo.

Collaudo dei componenti di collegamento

I componenti di collegamento, spesso indicati semplicemente come morsetti, sono utilizzati nei sistemi di protezione contro i fulmini per il collegamento dei conduttori (calate, captatori, dispersori) tra loro o con un impianto. A seconda del tipo di morsetto e il relativo materiale, sono possibili molte differenti combinazioni di morsetti. Esse variano a seconda del tipo di percorso del conduttore e le relative combinazioni di materiali. Il tipo di percorso del conduttore indica se il morsetto collega il conduttore (o i conduttori) in una disposizione a croce o parallela. Una corrente di fulmine provoca le forze elettrodinamiche e termiche che agiscono sul morsetto, il quale e devono sopportarli. Le forze risultanti dipendono molto dal tipo di percorso del conduttore e dal collegamento da fissare. La **Tabella 5.8.1** riporta i materiali che possono essere combinati senza provocare corrosione di contatto. La combinazione di materiali diversi tra loro e le loro diverse resistenze meccaniche e proprietà termiche hanno effetti diversi per i componenti di collegamento quando sono sottoposti al passaggio di corrente. Questo diventa evidente specialmente nel caso dei collegamenti di componenti in acciaio inossidabile (V4A) nei quali, quando sono percorsi dalla corrente di fulmine, si verificano alte temperature a causa della bassa conduttività. Pertanto,

	Acciaio	Alluminio	Rame	Inox (V4A)	Titanio	Stagno
Acciaio (Fe/tZn)	sì	sì	no	sì	sì	sì
Alluminio	sì	sì	no	sì	sì	sì
Rame	no	no	sì	sì	no	sì
Inox (V4A)	sì	sì	sì	sì	sì	sì
Titanio	sì	sì	no	sì	sì	sì
Stagno	sì	sì	sì	sì	sì	sì

Tabella 5.8.1 Possibile combinazione di materiali dei dispersori e calate tra loro e con gli elementi strutturali

deve essere effettuato il collaudo in corrente di fulmine secondo la norma IEC 62561-1 (EN 62561-1) per tutti i morsetti. La procedura di collaudo è descritta di seguito, prendendo come esempio un morsetto MV. Per cominciare, si deve determinare quante combinazioni sono da collaudare. Il morsetto MV utilizzato è in acciaio inossidabile (V4A) e quindi può essere combinato con acciaio, alluminio, acciaio inossidabile (V4A) e conduttori di rame. Inoltre può essere collegato in croce o in parallelo; bisogna collaudare entrambe le disposizioni. Questo significa che ci sono otto possibili combinazioni di prova per il morsetto MV utilizzato (**Figure 5.8.3 e 5.8.4**).

In conformità con la norma IEC 62561-1 (EN 62561-1), ciascuna di queste combinazioni deve essere collaudata con tre adatte disposizioni di prova. Ciò significa che bisogna collaudare 24 esemplari di questo morsetto MV per coprire la gamma completa. Ogni campione viene montato con un'adeguata coppia di serraggio in conformità con i requisiti normativi ed è sottoposto ad invecchiamento artificiale in nebbia salina e atmosfera sulfurea umida come descritto sopra. Per il successivo collaudo elettrico, i campioni vengono fissati su una piastra isolata (**Figura 5.8.5**).

Ogni campione è sottoposto a tre impulsi di corrente di fulmine da 50 kA (impiego normale) e 100 kA (impiego pesante) e con forma d'onda di 10/350 μ s. Dopo questa prova con il carico della corrente di fulmine, i campioni non devono mostrare segni di danneggiamento. La resistenza di contatto (misurata sopra la fascetta) non deve superare 1 m Ω in caso di morsetti in alluminio, rame o acciaio fascette e 2,5 m Ω in caso di morsetti in acciaio inossidabile. Inoltre, la coppia di allentamento deve ancora essere garantita. Viene preparato un rapporto di collau-

do del costruttore per ogni prova combinata, che è disponibile su richiesta presso il costruttore, o una relazione meno dettagliata che può essere scaricata da internet (ad esempio www.dehn-international.com ➔ Dati del prodotto).

Per gli installatori dei sistemi di protezione contro i fulmini, ciò significa che i componenti di collegamento vanno selezionati in funzione dell'impiego (H, pesante o N, normale) atteso nel luogo di installazione. Di conseguenza, ad esempio, per un'asta di captazione (che sopporta tutta la corrente di fulmine) bisogna scegliere un morsetto per impiego pesante H (100 kA), mentre, ad esempio, in una maglia o in un ingresso verso terra (dove la corrente è già divisa) bisogna scegliere un morsetto per impiego normale N (50 kA).

Requisiti per conduttori

La norma IEC 62561-2 (EN 62561-2) precisa anche i requisiti specifici per i conduttori (dispersori e calate o, per esempio, dispersori ad anello), ad esempio:

- ➔ proprietà meccaniche (resistenza alla trazione e allungamento minimo),
- ➔ proprietà elettriche (resistività massima) e
- ➔ proprietà di protezione contro la corrosione (invecchiamento artificiale come descritto prima).

La **Figura 5.8.6** mostra la disposizione di prova per collaudare la resistenza alla trazione dei conduttori a sezione circolare (ad esempio, di alluminio). La qualità del rivestimento, così come lo spessore minimo e l'adesione al materiale di base sono importanti e devono essere collaudati in particolare se il rive-

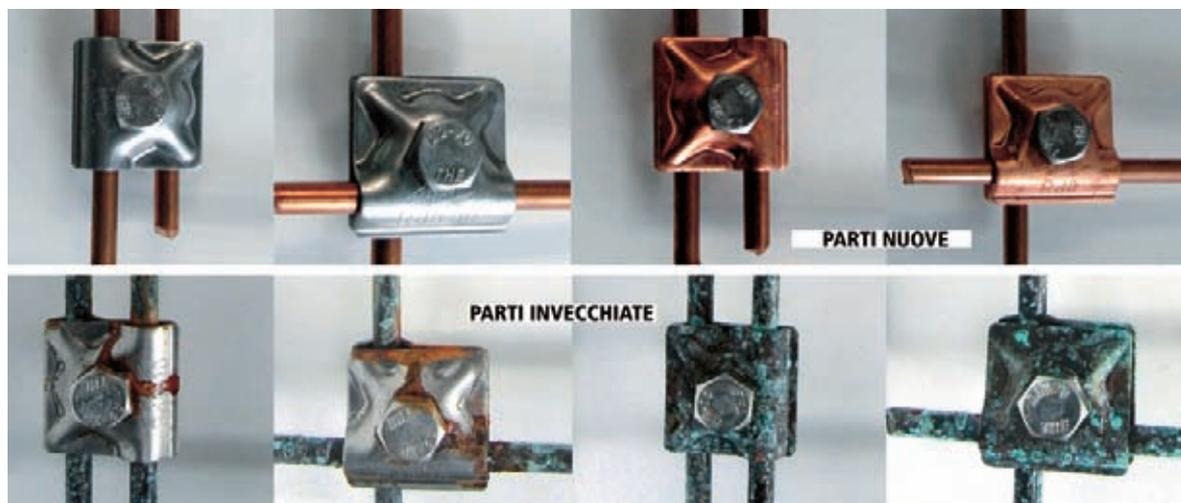


Figura 5.8.3 Elementi nuovi e invecchiati artificialmente

stimento è realizzato in materiali come l'acciaio galvanizzato (Fe/tZn).

Inoltre, il materiale conduttore deve essere facile da trattare durante l'installazione dei sistemi di protezione contro i fulmini. Fili o nastri, per esempio, dovrebbero essere facili da rad-drizzare per mezzo di un drizzafili (con pulegge di guida) o per torsione. Questi requisiti normativi costituiscono caratteristiche importanti del prodotto che devono essere documentate. Queste informazioni possono essere trovate nelle specifiche tecniche fornite dal costruttore.

Dispensori e picchetti

La norma IEC 62561-2 (EN 62561-2) descrive i requisiti per i dispensori. Questi requisiti includono materiale, configurazione, dimensioni minime, nonché proprietà meccaniche ed elettriche. I giunti di collegamento tra le singole aste sono i punti deboli dei dispensori. Per questo motivo, la norma IEC 62561-2 (EN 62561-2) richiede ulteriori prove meccaniche ed elettriche per testare la qualità di questi giunti di collegamento. La configurazione di prova comprende un supporto e una piastra di acciaio (zona di impatto). Un campione costituito da due sezioni dell'asta con una lunghezza di 500 mm ciascuno viene inserito nel supporto. Per ogni tipo di dispersore sono necessari tre campioni. L'estremità superiore del provino viene colpito con un percussore a vibrazione per una durata di due minuti. La frequenza del percussore deve essere $2000 \pm 1000 \text{ min}^{-1}$ e l'energia di ogni impatto deve essere di $50 \pm 10 \text{ [Nm]}$.

Se i giunti di collegamento superano il collaudo senza difetti visibili, sono sottoposti ad invecchiamento artificiale in nebbia salina e atmosfera sulfurea umida. Poi ogni giunto viene sottoposto a tre scariche di corrente impulsiva da 50 e 100 kA con forma d'onda di 10/350 μs . La resistenza di contatto dei picchetti di dispersione in acciaio inossidabile (misurata sopra il collegamento) non deve superare i 2,5 m Ω .

Per verificare se il giunto è ancora saldamente collegato dopo essere stato sottoposto a questa scarica di corrente, la forza di accoppiamento viene controllata per mezzo di una macchina per la prova di trazione.

Componenti in vetroresina per gli impianti di protezione contro i fulmini

Oggigiorno, sui tetti dei grandi edifici per uffici o fabbricati industriali sono spesso installate delle strutture come cupole, antenne, sistemi di aria condizionata, insegne pubblicitarie, sirene, ecc.. Queste strutture montate sul tetto sono di solito azionate elettricamente o hanno un collegamento conduttivo all'interno dell'edificio. Secondo lo stato attuale della tecnologia di protezione contro i fulmini, queste costruzioni sul tetto vengono protette da fulminazione diretta con un impianto di captazione isolato. In questo modo si impedisce la penetrazione nell'edificio delle correnti di fulmine parziali.



Figura 5.8.4 Combinazione di prove per morsetti MV (a croce e in parallelo)

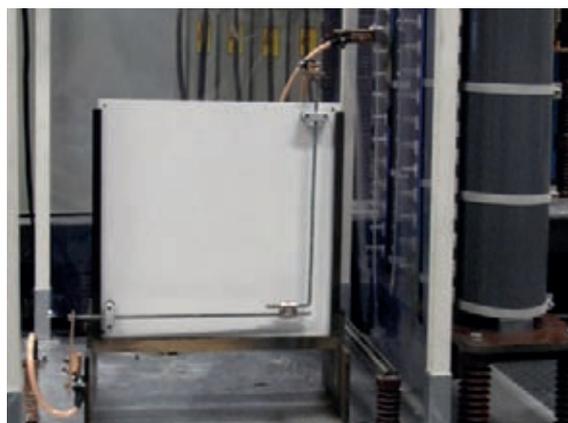


Figura 5.8.5 Campioni (morsetti MV) fissati a una piastra isolante per una prova di laboratorio a corrente impulsiva

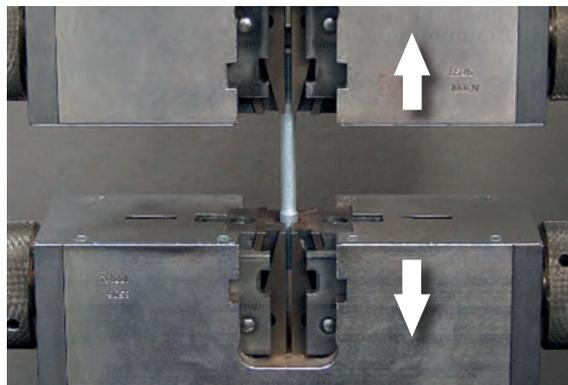


Figura 5.8.6 Prova a trazione dei conduttori

Impianti di captazione isolati

I sistemi di captazione possono essere installati su una base di supporto in calcestruzzo o su un treppiede (senza ulteriore fissaggio meccanico). Se l'altezza dei captatori è compresa tra 2,5 m e 3,0 m, devono essere installati in una base in cemento e fissati meccanicamente all'oggetto da proteggere con distanziatori in materiale isolante (tratto isolato in vetroresina) a causa del carico di vento.

Se non vengono adottate ulteriori misure, le elevate tensioni impulsive provocano scariche elettriche sulle superfici dei materiali isolanti. Questo effetto è noto anche come scarica di superficie. Se viene superata la tensione di innesco della scarica di superficie, si verifica una scarica superficiale che può facilmente creare archi elettrici della lunghezza di diversi metri verso le parti collegate a massa. Questa scarica elettrica indesiderata verso gli impianti in metallo, o sull'oggetto da proteggere o entro di esso, si può evitare se viene mantenuta la necessaria distanza di sicurezza calcolata in conformità alla norma IEC 62305-3 (EN 62305-3). In generale, la distanza di sicurezza si calcola come segue:

$$s = \frac{k_i \cdot k_C}{k_m} \cdot l$$

- s Distanza di sicurezza
- k_i Fattore che dipende dalla classe di protezione contro i fulmini scelta
- k_C Fattore che dipende dalla distribuzione di corrente
- k_m Fattore che dipende dal materiale dell'isolamento elettrico
- l Lunghezza, lungo l'organo di captazione o della calata, dal punto nel quale deve essere calcolata la distanza di sicurezza, fino al successivo nodo equipotenziale.

Si vede che la distanza di sicurezza dipende dalla lunghezza del conduttore, dal livello di protezione contro i fulmini, dalla distribuzione della corrente di fulmine verso le calate e dal materiale isolante nel tratto isolato. In aggiunta ai fattori k_i , k_C e alla lunghezza l va considerato anche il fattore k_m . I valori di k_m sono stati sufficientemente definiti e collaudati per materiali solidi e aria.

I distanziatori DEHNiso e i tubi di sostegno DEHNiso Combi sono stati sufficientemente collaudati nei confronti delle tensioni impulsive; è stato loro attribuito il fattore k_m pari a 0,7 da usare per il calcolo della distanza di sicurezza. Pertanto, nel calcolo della necessaria distanza di sicurezza per l'oggetto che interessa (aria o materiale solido in conformità con la norma), si può considerare il fattore k_m pari a 0,7. La distanza calcolata deve essere inferiore o uguale alla distanza di sicurezza del prodotto utilizzato per prevenire le scariche elettriche, come

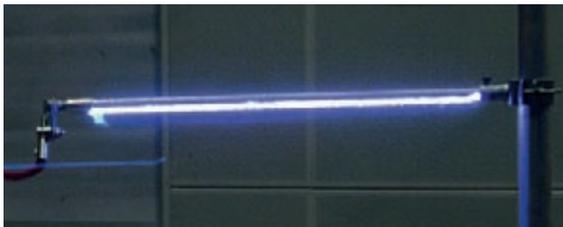


Figura 5.8.7 Scarica disruptiva attraverso un distanziatore in vetroresina DEHNiso

mostrato nella **Figura 5.8.7**, per non compromettere il funzionamento dell'intero sistema di protezione dai fulmini.

Se la distanza di sicurezza è stata calcolata correttamente e i componenti necessari sono correttamente selezionati e installati, può essere messo in opera per la struttura un efficace sistema di protezione contro i fulmini isolata.

Per poter installare un sistema di protezione contro i fulmini funzionale, bisogna usare componenti collaudati in conformità con la normativa. Gli installatori dei sistemi di protezione contro i fulmini devono selezionare i componenti secondo le prescrizioni valide nel luogo di installazione e installarli correttamente. In aggiunta ai requisiti meccanici, bisogna considerare e rispettare i criteri elettrici delle più recenti tecnologie per la protezione contro i fulmini. Questo vale anche per i componenti in vetroresina usati per gli impianti di protezione contro i fulmini.

In aggiunta alle norme descritte prima, sono già state pubblicate delle norme internazionali per i componenti, ad esempio per i punti di sezionamento o le staffe portafilo.

5.9 Dimensionamento dei dispersori per cabine di trasformazione

I dispersori sono di importanza vitale per il funzionamento di un sistema di alimentazione. I compiti principali di un sistema di dispersori correttamente funzionante sono quelli di costituire una protezione contro l'alta tensione e una messa a terra a bassa tensione, garantire misure di protezione e limitare la tensione ai valori massimi ammissibili anche in caso di guasto, costituire la base per tutti i collegamenti equipotenziali e le misure di protezione contro i fulmini, nonché garantire la sicurezza delle persone e dei beni materiali. Malgrado ciò, l'esperienza e la discussione in merito ai sistemi di dispersori sono sottovalutati. I sistemi di dispersori sono spesso presi come dati senza porre alcun dubbio. Pertanto, in questo capitolo verranno descritte le principali basi fisiche e normative e le possibili soluzioni tecniche.

Riferimenti normativi

Di solito, in una cabina di trasformazione si applicano i requisiti relativi ai sistemi ad alta e bassa tensione. Si applicano le seguenti norme:

- ➔ IEC 61936-1 (EN 61936-1): Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata
- ➔ EN 50522: Messa a terra degli impianti a tensione superiore a 1 kV in corrente alternata
- ➔ IEC 62271-202 (EN 62271-202): Sottostazioni prefabbricate ad alta tensione/bassa tensione
- ➔ IEC 60364-4-41 (HD 60364-4 -41): Impianti elettrici a bassa tensione - Parte 4-41: Protezione per la sicurezza - Protezione contro le scosse elettriche
- ➔ IEC 60364-5-54 (HD 60364-5 -54): Impianti elettrici a bassa tensione - Parte 5-54: selezione e montaggio di impianti elettrici - Messa a terra e conduttori di protezione
- ➔ IEC 62305-3 (EN 62305-3): Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone
- ➔ DIN 18014: Dispersioni di fondazione - criteri di pianificazione generale (norma tedesca)
- ➔ DIN VDE 0151: Materiale e dimensioni minime dei dispersori di terra rispetto alla corrosione (norma tedesca)

Termini e definizioni importanti

I dispersori di terra sono definiti come conduttori non isolati a contatto con il suolo. Un sistema limitato localmente di dispersori di terra interconnessi viene definito sistema di dispersori. Il sistema di dispersori è collegato alla parte di un impianto da collegare a massa tramite il conduttore di massa e la barra principale di messa a terra. La resistenza di terra R_E (massa remota) può essere determinata in funzione della resistività di terra ρ .

La messa a terra di una parte non collegata è definita messa a terra di protezione, mentre la messa a terra di un punto del circuito operativo, come il neutro di un trasformatore, è definita messa a terra operativa. Se scorrono delle correnti nel sistema di dispersori in caso di guasto, il potenziale di terra può essere calcolato come segue:

$$U_E = I_E \cdot Z_E$$

U_E aumento del potenziale di terra

I_E corrente verso terra

Z_E impedenza di terra

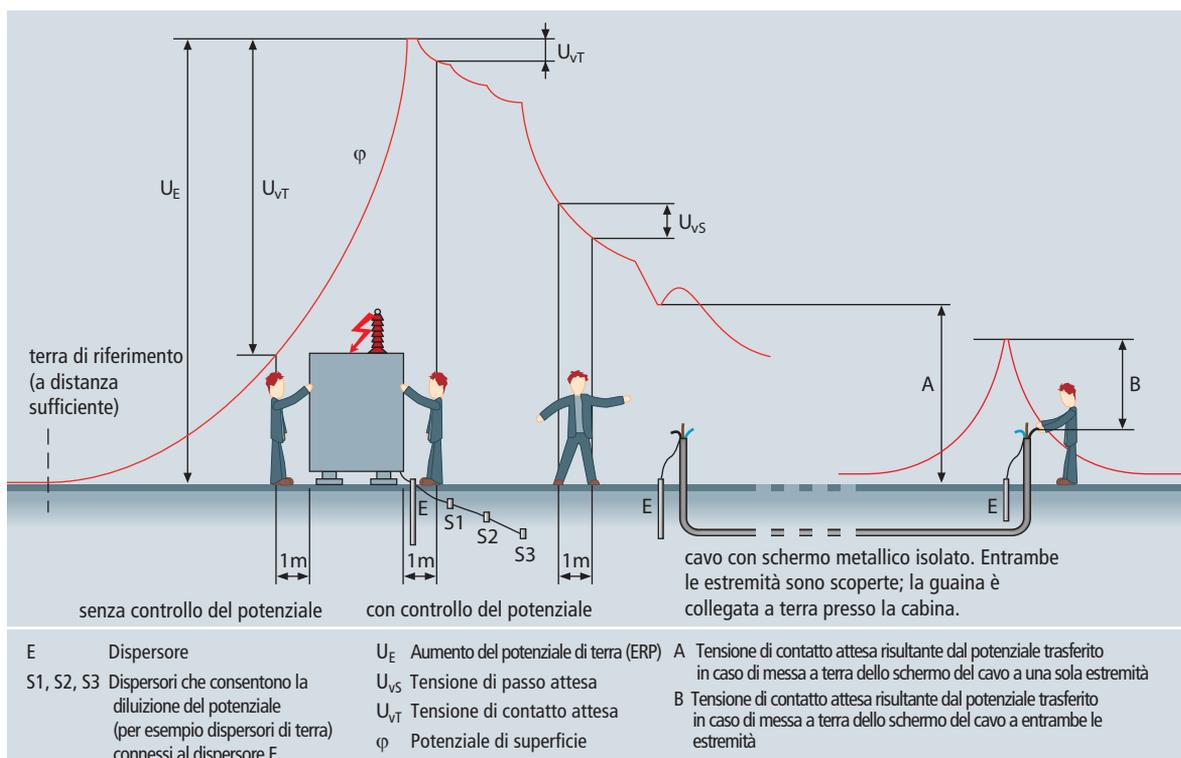


Figura 5.9.1 Definizioni secondo la Figura 1 della norma EN 50511

In funzione della distanza, la superficie del potenziale di terra φ sale tra il sistema dei dispersori e la terra remota. Una persona che si avvicina al punto di guasto è esposta alla tensione di passo, e una persona che entra in contatto la parte difettosa dell'installazione è esposta alla tensione di contatto U_T . Per ridurre l'eventuale tensione di passo si possono adottare misure atte a controllare il potenziale. Tutte le parti conduttrici all'interno dell'impianto elettrico sono integrate nel sistema equipotenziale.

Il termine potenziale trasferito significa che i potenziali elettrici possono essere trasferiti in zone dove è presente un diverso o nessun aumento di potenziale, mediante un conduttore (ad esempio schermatura del cavo, conduttore PEN) collegato al sistema dei dispersori. I sistemi globali di dispersori sono definiti come un'area chiusa dove tutti i sistemi di dispersori dell'area agiscono come un'unica grande maglia di dispersori. Un sistema globale di dispersori (impianti industriali, aree residenziali) si può ipotizzare se nella zona chiusa sono installati più di dieci maglie di dispersori. In caso di guasto si forma un'ampia superficie quasi equipotenziale, nella quale per definizione non si verificano più pericolose tensioni di contatto (**Figura 5.9.1**). $U_{TP} = 80$ V è definita come la tensione di contatto massima ammissibile nei sistemi ad alta tensione in caso di guasto (periodo di disconnessione > 10 s). La tensione di contatto massima ammissibile negli impianti di bassa tensione è 50 V c.a. Questi valori deve essere assicurati in tutti i casi.

Configurazioni del sistema e relative correnti verso massa

Gli impianti di media tensione possono funzionare come sistemi con neutro isolato, sistemi con neutro a terra a bassa impedenza, sistemi con neutro collegato direttamente a terra o sistemi con neutro collegato induttivamente a terra (sistemi compensati). In caso di guasto a terra, quest'ultimo sistema permette di limitare il flusso di corrente capacitiva nel punto di guasto alla sola corrente differenziale di guasto verso terra I_{RES} per mezzo di una bobina di compensazione (bobina di soppressione con induttanza $L=1/3 \omega C_E$) ed è quindi ampiamente utilizzato. Solo questa corrente differenziale (tipicamente fino al max. 10% della corrente di guasto verso terra non compensata) va a caricare il sistema dei dispersori in caso di guasto. La corrente residua viene ulteriormente ridotta collegando la massa locale ad altri sistemi di massa (ad esempio mediante l'effetto di connessione della schermatura dei cavi di media tensione). A tal fine viene definito un fattore di riduzione r . Se un sistema ha una possibile corrente di guasto capacitiva verso terra di circa 150 A, si assume una corrente di guasto residua massima verso terra di circa 15 A, che va a caricare i dispersori di terra locali. Se i dispersori di terra locali sono collegati ad altri sistemi di dispersori, questa corrente viene ulteriormente ridotta. L'aumento del potenziale di terra sarebbe:

$$U_E = I_E \cdot Z_E$$

I_E	corrente verso terra
I_C	corrente di guasto verso terra capacitiva
I_L	corrente nominale della bobina di soppressione dell'arco
I_{RES}	corrente di guasto residua verso terra
I''_{KEE}	doppia corrente di guasto verso terra
I'_{k1}	corto-circuito da linea a terra
I_N	corrente nominale
r	fattore di riduzione (ad esempio per schermature dei cavi)

Dimensionamento del sistema dei dispersori rispetto all'aumento del potenziale di terra

Durante la pianificazione delle misure di messa a terra per un impianto di media tensione, bisogna determinare il possibile aumento del potenziale di terra U_E . Se $U_E < 2 \times U_{TP}$, l'aumento del potenziale di terra è valutato correttamente. Se $U_E < 4 \times U_{TP}$, vanno attuate delle misure di compensazione (ad esempio, il controllo del potenziale). In casi particolari devono essere prese misure aggiuntive; la procedura esatta è descritta nella Figura 5 della norma EN 50522. Per definizione, l'aumento della tensione non è eccessivo se il relativo impianto fa parte di un sistema globale di dispersori. I sistemi TN e TT sono comunemente usati come sistemi di distribuzione di bassa tensione, quindi le altre configurazioni del sistema non vengono qui considerate. In particolare per i sistemi TN, la tensione potrebbe essere trasferita nell'impianto del cliente in caso di guasto. L'aumento di tensione in un conduttore PEN non deve superare i 50 V nei sistemi TN e 250 V nei sistemi TT. In questo contesto, IEC 60364-4-41 (HD 60364-4-41) si riferisce al cosiddetto equilibrio della tensione. Ciò è garantito se

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{U_B}{(U_0 - U_B)}$$

dove

R_B	è la resistenza totale di tutti i dispersori di terra
R_E	è la resistenza di contatto verso massa di un possibile punto di guasto
U_0	è la tensione nominale rispetto alla massa di 230 V
U_B	è la tensione di contatto massima accettabile di 50 V

Pertanto, si applica la formula seguente: $R_B/R_E \leq 0,27$. Se si assume una resistenza di contatto accidentale di 10 Ω (tipico valore empirico) al punto di guasto, R_B deve essere $\leq 2,7 \Omega$. In pratica, dunque, si impiega spesso un limite massimo di

$R_B = 2 \Omega$ per il funzionamento del sistema. Questa resistenza totale verso terra della massa della cabina di trasformazione deve essere documentata prima della messa in servizio e deve essere controllata a intervalli regolari.

Dimensionamento del sistema dei dispersori rispetto alla portata di corrente

Per dimensionare la portata di corrente dei conduttori di messa a terra e dei dispersori vanno esaminate diverse possibili situazioni negative. Negli impianti di media tensione, un doppio guasto a terra sarebbe il caso più critico. Un primo guasto a terra (per esempio presso un trasformatore) può causare un secondo guasto a terra in un'altra fase (per esempio nel sistema a media tensione, il terminale difettoso di un cavo). In questo caso, una doppia corrente di guasto verso terra I''_{kEE} , che è definita come segue in base alla tabella 1 della norma EN 50522, scorre nei conduttori di messa a terra (**Tabella 5.9.1**):

$$I''_{kEE} \sim 0.85 \cdot I''_k$$

I''_k = corrente di corto circuito simmetrica iniziale tripolare

In un impianto a 20 kV con una corrente iniziale di corto circuito I''_k di 16 kA e un tempo di disconnessione di 1 secondo, la doppia corrente di guasto verso terra sarebbe di 13,6 kA. La portata di corrente dei conduttori di messa a terra e delle barre di terra dell'edificio dove si trova la cabina di trasformazione deve essere valutata in base a questo valore. In questo

contesto si può considerare la partizione della corrente in caso di un anello (nella pratica si usa un fattore di 0,65). Secondo la **Tabella 9.5.1**, il dispersore deve avere lo stesso valore nominale del conduttore di massa, fatta eccezione per gli impianti con bobina di soppressione dell'arco (sottostazioni di trasformazione). La corrente di guasto spesso si divide tra i dispersori, quindi è consentito dimensionare i dispersori e i conduttori di terra per una parte della corrente di guasto. La progettazione deve essere sempre eseguita sulla base dei parametri effettivi del sistema. La **Tabella 5.9.2** riporta la portata di corrente di diverse sezioni e materiali. La sezione di un conduttore può essere determinata in base materiale e al tempo di disconnessione. La norma EN 50522 specifica la massima densità di corrente di corto circuito G (A/mm²) per diversi materiali (**Figura 5.9.1**). In caso di un sistema compensato, ad esempio, la messa a terra del sistema dei dispersori (vale a dire la parte a diretto contatto col terreno) è caricato con una corrente considerevolmente inferiore, cioè solo con la corrente differenziale di guasto verso terra

$$I_E = r \cdot I_{RES}$$

ridotta del fattore r (**Tabella 5.9.1**). Questa corrente non supera qualche decina di ampere e può scorrere in permanenza senza problemi, se si utilizzano sezioni normali del materiale di messa terra. Nell'impianto a bassa tensione, un guasto a terra su una fase tra il trasformatore e il magnetotermico principale della bassa tensione costituisce un guasto grave. In caso di gua-

Tipo di sistema ad alta tensione	Rilevante per le sollecitazioni termiche		Rilevante per la salita del potenziale di terra e per la tensione di contatto
	Dispersore	Conduttore di terra	
Sistemi con neutro isolato			
	I''_{kEE}	I''_{kEE}	$I_E = r \cdot I_C$
Sistemi con messa a terra risonante (comprese le brevi correnti verso terra dovute alla rilevazione dei guasti)			
Cabine senza bobine per la soppressione dell'arco	I''_{kEE}	I''_{kEE}	$I_E = r \cdot I_{RES}$
Cabine con bobine per la soppressione dell'arco	I''_{kEE}	I''_{kEE} ^{a)}	$I_E = r \cdot \sqrt{I_L^2 + I_{RES}^2}$
Sistemi con messa a terra del neutro a bassa impedenza (comprese le brevi correnti verso terra dovute alla commutazione)			
Cabine senza neutro a terra	I''_{k1}	I''_{k1}	$I_E = r \cdot I''_{k1}$
Cabine con neutro a terra	I''_{k1}	I''_{k1}	$I_E = r \cdot (I''_{k1} - I_N)$ ^{b)}

^{a)} I conduttori di terra delle bobine di soppressione dell'arco vanno dimensionate secondo la massima corrente nella bobina.

^{b)} Bisogna controllare se i guasti esterni possono essere decisivi.

Tabella 5.9.1 Correnti decisive per la misura dei sistemi di messa a terra secondo la tabella 1 della norma EN 50522

Tempo [s]	Fe/tZn [A/mm ²]	Rame [A/mm ²]	Inox (V4A) [A/mm ²]
0,3	129	355	70
0,5	100	275	55
1	70	195	37
3	41	112	21
5	31	87	17

Tabella 5.9.2 Densità di corrente in corto circuito G
(max temperatura 200 °C)

sto verso terra dell'avvolgimento di un trasformatore di bassa tensione (ad esempio attraverso il contenitore messo a terra del trasformatore stesso), passerebbe una corrente monofase I''_{k1} , verso la barra di terra. Da lì, il circuito di guasto si chiude attraverso il conduttore di protezione della linea distribuzione a bassa tensione e il conduttore PEN verso il neutro del trasformatore. In questo caso, il magnetotermico del trasformatore o del relativo sezionatore/fusibile, scollega l'impianto sul lato ad alta tensione. Il conduttore di protezione/massa nell'ambiente di installazione si dimensiona in base alla sezione 543.1.2 della norma IEC 60364-5-54 (HD 60364-5 -54). La sezione deve essere calcolata come segue:

$$S = \frac{I}{k} \cdot \sqrt{t}$$

Dove, secondo la Tabella A 54.2 della norma, il fattore del materiale k (isolato, termoplastico) è di 143 nel caso di una linea in rame, I è la corrente di corto circuito e t la durata del flusso di corrente (Figura 5.9.2). È estremamente difficile calcolare la corrente di guasto effettiva, dato che dipende dalla potenza nominale del trasformatore S_N , dalla tensione di pilotaggio, dalla tensione di cortocircuito u_{ke} e dalla rispettiva impedenza dell'anello di guasto (che può essere determinata solo mediante misurazioni). Una veloce analisi è possibile solo in misura limitata, considerando la simmetria iniziale della corrente di corto circuito I''_k (corto-circuito all'incirca tripolare come stato definito) che può essere calcolata mediante la potenza nominale del trasformatore, la tensione nominale e la tensione di cortocircuito, secondo la seguente equazione:

$$I''_k = \frac{S_N}{(\sqrt{3} \cdot U_N \cdot u_k)}$$

In caso di un trasformatore da 630 kVA con $u_k = 4\%$ e $U_N = 400$ V, la corrente di corto circuito inizialmente simmetrica I''_k sarebbe ad esempio 22,7 kA. Nel nostro esempio, con un impianto a 20 kV, il trasformatore deve essere protetto per mezzo di fusibili HH con una corrente nominale da 31,5 a 50 A sul lato ad alta tensione. Con un rapporto di trasformazione n pari a 50, la corrente di corto circuito sarebbe trasformata nel lato ad alta tensione in circa 450 A e fonderebbe i fusibili HH

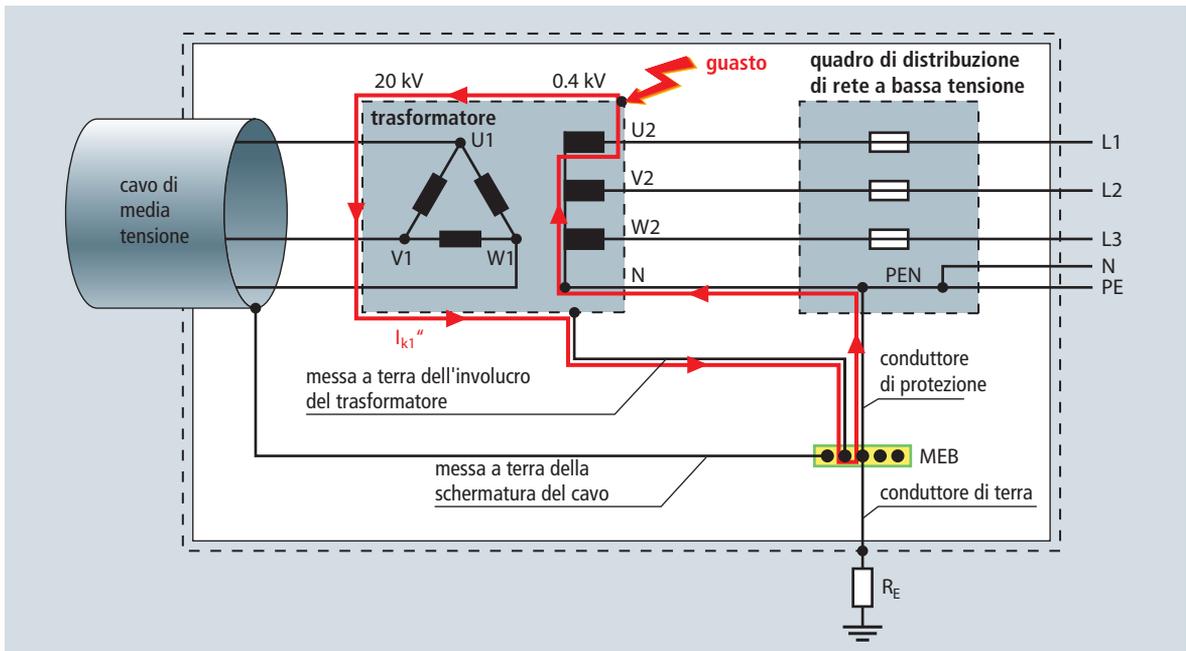


Figura 5.9.2 Guasti su un solo polo di una cabina di trasformazione con scheda di distribuzione a bassa tensione integrata

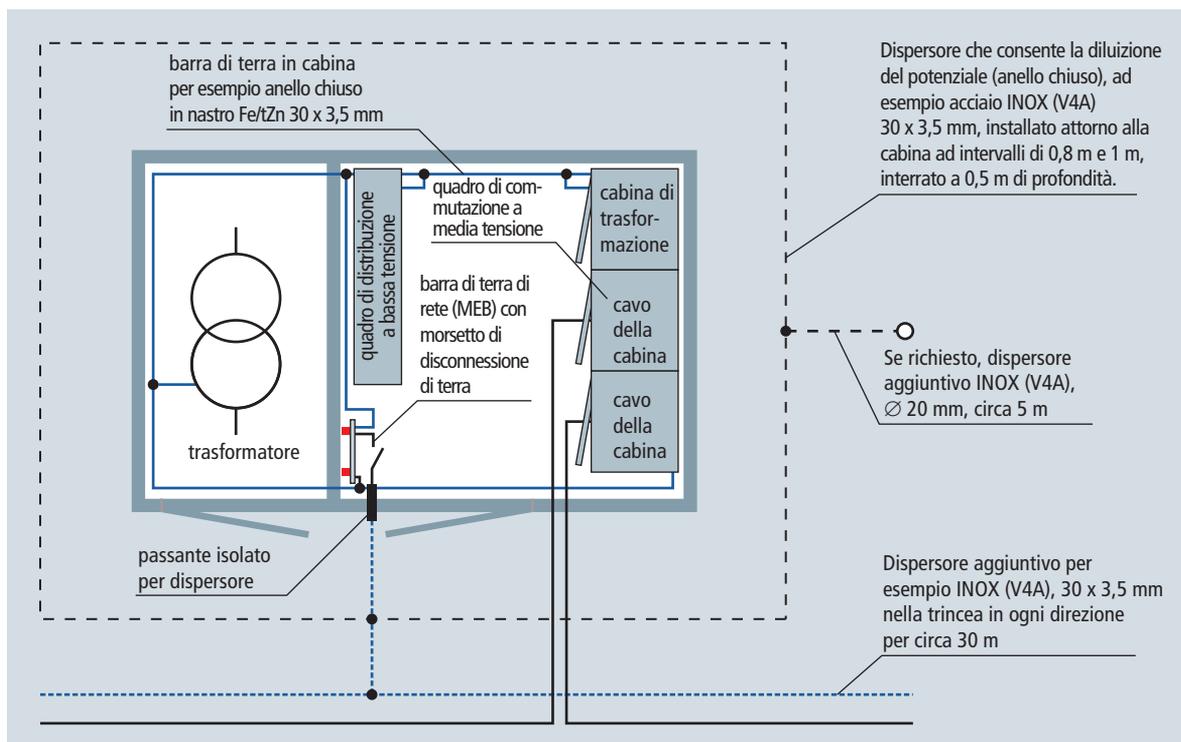


Figura 5.9.3 Schema dei dispersori di una cabina di trasformazione (fonte: Niemand/Kunz; "Erdungsanlagen", page 109; VDE-Verlag)

secondo la loro curva caratteristica a una corrente nominale di 31,5 A in circa 25 ms (su tutti i poli). Secondo l'equazione

$$S = \frac{I}{k} \cdot \sqrt{t}$$

Il conduttori di rame di protezione o i conduttori di collegamento a terra nella cabina di trasformazione dovrebbero avere una sezione minima $S_{\min} = 25 \text{ mm}^2$. In pratica, questo valore viene arrotondato a 50 mm^2 . Si deve osservare che nel caso di trasformatori più grandi e di conseguenza con correnti più elevate, insieme ai tempi di disconnessione più lunghi, le sezioni dei conduttori di messa a terra e di protezione possono essere notevolmente superiori. Il sistema dei dispersori stessi (vale a dire la parte a diretto contatto con il terreno) non è sollecitato in caso di questo tipo di guasto. Sul lato di bassa tensione, le correnti passano solo attraverso il sistema dei dispersori in caso di guasto verso terra all'esterno della cabina di trasformazione. La corrente

$$I_E = \frac{U}{(R_E + R_B)}$$

che torna verso il neutro del trasformatore attraverso il sistema dei dispersori della cabina di trasformazione, si verifica in

corrispondenza del punto di guasto. Nel caso di una tensione tra linea e massa di 230 V, di una resistenza R_E di qualche ohm e di una resistenza di terra della cabina di trasformazione R_B di circa 2Ω , questa corrente non è critica. La corrente non supera alcune decine di ampere, sicché non c'è da attendersi un sovraccarico se si rispetta il valore massimo della resistenza verso terra.

Realizzazione pratica dei dispersori per cabine di trasformazione

Il sistema dei dispersori di una cabina di trasformazione (Figura 5.9.3) deve essere progettato secondo la norma IEC 61936-1 (EN 61936-1) e la norma EN 50522, considerando i parametri del sistema locale ottenuti dal gestore della rete di distribuzione. Un sistema di dispersori tipicamente consiste di diversi dispersori orizzontali, verticali o inclinati, interrati o infissi nel terreno. In Germania, l'uso di prodotti chimici per migliorare la resistenza di terra non è una pratica comune e non è raccomandato. I dispersori devono essere tipicamente interrati a una profondità che varia da 0,5 m a 1 m sotto il livello del terreno. Questo fornisce una sufficiente protezione meccanica e contro il gelo. I picchetti di terra sono generalmente interrati nel suolo (Figura 5.9.4). I dispersori verticali o inclinati sono



Figura 5.9.4 Collegamento di un dispersore all'anello dei dispersori della cabina

particolarmente vantaggiosi, in quanto la resistività del suolo diminuisce con la profondità. I valori tipici della resistività del suolo in funzione del tipo di terreno sono riportati nella **Figura 5.5.4** della sezione 5.5. In generale, viene installato un dispersore ad anello (dispersore che consente la diluizione del potenziale) a una profondità di circa 0,5 m, a una distanza di circa 1 m circa dall'edificio della cabina di trasformazione. La resistenza di terra viene spesso migliorata infiggendo nel terreno un picchetto di terra (lunghezza tipica di circa 6 m). In aggiunta, un dispersore a nastro lungo qualche decina di metri viene spesso disposto lungo il cavo in cavo trincea. In pratica, un normale sistema di dispersori è preferibile sui lati ad alta e bassa tensione. In questo contesto, i requisiti relativi alla tensione di contatto e all'aumento della tensione specificati nella tabella 2 della norma IEC 61936-1 (EN 61936-1) deve essere osservata in impianti a bassa tensione. Pertanto, sistemi di dispersori isolati possono essere richiesti in casi particolari, specie in linee aerea o n caso di terminazioni cieche. Tali casi vanno esaminati in modo specifico. L'ingresso del sistema dei dispersori nella cabina di trasformazione è isolato, per evitare il contatto con l'armatura dell'edificio, che influenzerebbe negativamente il risultato delle misure. Il sistema dei dispersori esterno è collegato con la barra di terra principale per mezzo di un morsetto di disconnessione. Se il morsetto di disconnessione è chiuso, è possibile misurare la resistenza di terra totale. Se il morsetto di disconnessione è aperto, è possibile misurare la resistenza di terra dell'impianto. Come già descritto in precedenza, una resistenza di terra totale della cabina R_B di circa 2Ω è sufficiente. I gestori delle reti di distribuzione tedesche fanno spesso riferimento a tale valore nelle specifiche tecniche del servizio. Pertanto, è spesso utile determinare approssimativamente la resistenza totale verso terra prima di installare il sistema dei dispersori. La **Tabella 5.5.1** del capitolo 5.5 include formule per la determinazione approssimativa della resistenza di terra di vari dispersori interrati. Quando si scelgono i materiali per i dispersori occorre

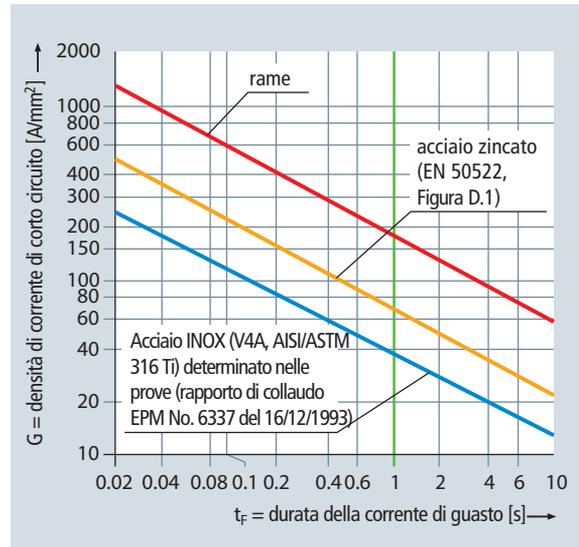


Figura 5.9.5 Portata in corrente dei materiali per i dispersori

considerare non solo la loro portata in corrente (**Figura 5.9.5**), ma anche il comportamento nei riguardi della corrosione, come descritto in seguito.

Scelta dei materiali di un dispersore considerando il comportamento nei riguardi della corrosione

Se vengono scelti materiali adeguati, il pericolo di corrosione per i dispersori può essere ridotto o anche prevenuto. Per raggiungere una durata sufficiente vanno rispettate le dimensioni minime dei materiali. I valori esatti sono specificati nella tabella 3 della normativa tedesca DIN VDE 0151.

Rame nudo

A causa della sua posizione nella serie elettrolitica il rame nudo è estremamente resistente. In aggiunta, è protetto catodicamente quando viene collegato ai dispersori o ad altri sistemi interrati realizzati in materiali meno nobili (ad esempio, acciaio), a scapito tuttavia di questi ultimi.

Acciaio zincato a caldo

Quando si usa materiale zincato per i dispersori interrati, bisogna fare attenzione al comportamento nei confronti della corrosione. In caso di cabine di trasformazione, l'acciaio zincato è di solito incorporato nel calcestruzzo (presso la lastra di fondazione dell'edificio). Questo dispersore incorporato nel calcestruzzo è collegato al dispersore ad anello. Questo collegamento diretto forma una cella di concentrazione. L'acciaio incorporato nel calcestruzzo ha un potenziale maggiore (come il rame) e così il metallo meno nobile (l'acciaio zincato interrato)



Figura 5.9.6 Corrosione di un dispersore zincato dopo 7 anni.

to) si corrode come una batteria. Il rapporto delle aree dei due sistemi di dispersori è determinante per la corrosione elettrochimica. Questo viene descritto in dettaglio nel capitolo 5.5.7.

Acciaio Inox

Quando si utilizzano acciai altolegati inossidabili, l'effetto sopra descritto può essere praticamente escluso. Secondo la norma EN 10088-3, l'acciaio altolegato inossidabile è passivo e resistente alla corrosione del terreno. Nella maggior parte dei casi, il potenziale di corrosione degli acciai inossidabili in terreni normalmente ventilato è simile a quello del rame. Dato che i materiali dei dispersori in acciaio inossidabile si passivano in superficie entro poche settimane, essi mostrano un comportamento neutro nei confronti di altri materiali (più nobili o meno nobili). L'acciaio inossidabile contiene almeno il 16% di cromo, il 5% di nichel e il 2% di molibdeno. Estese misurazioni hanno mostrato che solo l'acciaio inossidabile (V4A), ad esempio AISI/ASTM 316 Ti, è sufficientemente protetto contro la corrosione nel terreno.

Oggi numerosi sistemi di alimentazione sono in funzione da 50 anni o anche più, spesso molto più a lungo della durata dei sistemi di dispersori realizzati in materiali tradizionali. Perciò il sistema dei dispersori deve essere dimensionato per questa durata. È consigliabile l'utilizzo dell'acciaio inossidabile (V4A). La **Figura 5.9.6** mostra chiaramente la corrosione localizzata di un picchetto di messa a terra dopo soli sette anni.

La **Figura 5.9.7** mostra che l'acciaio inossidabile non si corrode nel terreno.

Sistemi di dispersione affidabili e correttamente dimensionati sono essenziali affinché un impianto di alimentazione possa garantire la sicurezza del funzionamento e la protezione delle persone. Tuttavia, il loro corretto funzionamento è spesso pre-



Figura 5.9.7 Corrosione di un dispersore zincato (sotto) e uno in acciaio inossidabile (sopra) dopo 2,5 anni.

so come dato di fatto, senza alcun dubbio. Nel caso di sistemi di dispersione per cabine di trasformazione, i requisiti tecnici dei sistemi di alta e bassa tensione devono essere considerati nel contesto. Un sistema globale di dispersori offre notevoli vantaggi per quanto riguarda il rischio di un possibile aumento del potenziale di terra U_E . Secondo la normativa, in genere in questo caso non si verificano pericolose tensioni di contatto. Per assicurare che i requisiti di protezione personale siano soddisfatti nelle parti dell'impianto collegate al sistema dei dispersori, anche in condizioni di guasto, si è dimostrata utile una resistenza totale verso terra R_B dei singoli sistemi di dispersori inferiore a 2Ω . Le sezioni minime dei conduttori di terra e delle barre di terra dell'impianto vanno osservate per quanto riguarda la portata in corrente in caso di eventuali guasti nella cabina di trasformazione. In caso di guasto, la tensione sui dispersori si riduce in base al tipo di collegamento del neutro (ad esempio per sistemi compensati). In pratica, bisogna rispettare i principi della citata normativa e le indicazioni fornite dai gestori delle reti di distribuzione locali. In fase di progettazione e dimensionamento del sistema dei dispersori, spesso è utile valutare in anticipo la resistenza di massa totale, per definire tutte le misure necessarie prima dell'installazione dell'impianto. È di vitale importanza la scelta di un materiale resistente alla corrosione per i dispersori interrati. Gli esempi descritti sopra, nonché l'esperienza degli ultimi decenni con molti sistemi, mostrano chiaramente che solo l'acciaio altolegato inossidabile (V4A, AISI/ASTM 316 Ti) è resistente alla corrosione nel terreno. Quindi, per garantire la sicurezza a lungo termine di una cabina di trasformazione, bisogna utilizzare solo acciaio altolegato inossidabile per il sistema dei dispersori.



Protezione contro i fulmini interna

6.1 Collegamento equipotenziale per installazioni metalliche

Collegamento equipotenziale secondo IEC 60364-4-41 (HD 60364-4-41) e IEC 60364-5-54 (HD 60364-5-54)

Il collegamento equipotenziale viene richiesto per tutti gli impianti elettrici utilizzatori di nuova costruzione. Il collegamento equipotenziale effettuato secondo le disposizioni della normativa IEC 60364 elimina le differenze di potenziale. In altre parole, impedisce pericolose tensioni di contatto, ad esempio tra il conduttore di protezione dell'utenza a bassa tensione e

le tubazioni metalliche degli impianti di distribuzione del gas, idrici e termosanitari.

Secondo la norma IEC 60364-4-41 (HD 60364-4-41), il collegamento equipotenziale comprende un **collegamento di protezione equipotenziale** e una **protezione equipotenziale aggiuntiva**.

Ogni edificio deve possedere, secondo le norme sopra indicate, il collegamento equipotenziale principale (**Figura 6.1.1**).

Il collegamento equipotenziale supplementare è previsto nei casi in cui le condizioni di sezionamento non possono essere soddisfatte o per particolari zone definite nella norma IEC 60364 parte 7 (CEI 64-8/7).

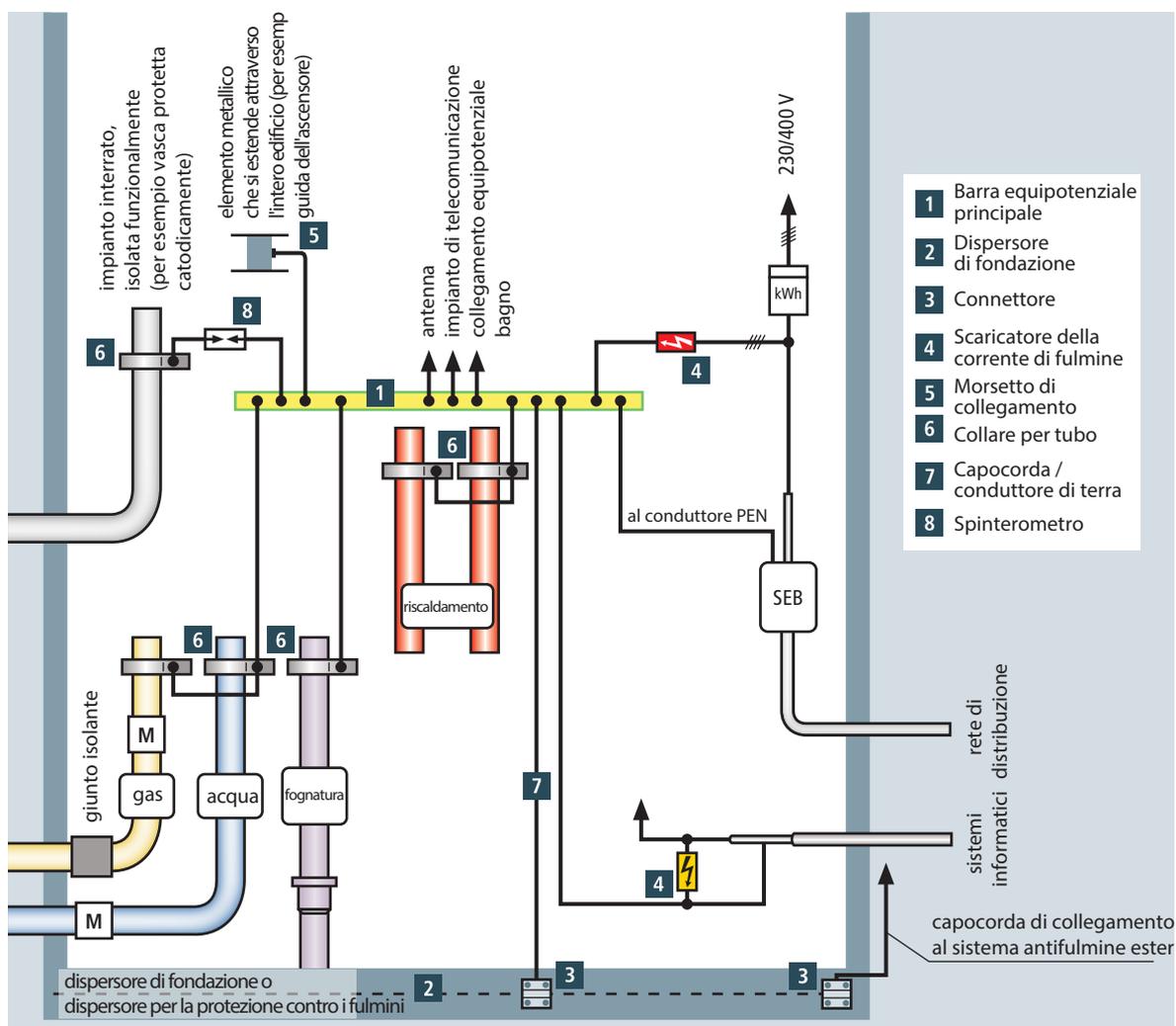


Figura 6.1.1 Principio di equipotenzialità antifulmine comprendente il sistema equipotenziale principale e il sistema equipotenziale per la protezione contro i fulmini

Collegamento equipotenziale di protezione

Le seguenti masse estranee vanno integrate direttamente nel sistema di protezione equipotenziale:

- ➔ conduttore di protezione in conformità alla norma IEC 60364-4-41 (HD 60364-4-41) (in seguito: conduttore di terra) - vedi la norma CEI 64-8-
- ➔ dispersore di fondazione o dispersore per la protezione contro i fulmini
- ➔ impianto di riscaldamento centralizzato
- ➔ tubazioni idriche metalliche
- ➔ parti strutturali conduttive dell'edificio (ad esempio guide dell'ascensore, struttura portante in acciaio, canali di aerazione e di condizionamento)
- ➔ tubo metallico di scarico acqua
- ➔ tubature del gas interne
- ➔ conduttore di messa a terra per antenne
- ➔ conduttore di messa a terra per impianto di telecomunicazioni
- ➔ conduttore di protezione dell'impianto elettrico secondo la norma IEC 60364 o CEI 64-8 (conduttori PEN per sistemi TN e conduttori PE per sistemi TT e IT)
- ➔ schermature metalliche di condutture elettriche ed elettro-niche
- ➔ schermature metalliche dei cavi di alimentazione fino a 1000 V
- ➔ dispersori degli impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV secondo la normativa CEI EN 61936-1 (CEI 99-2, CEI EN 50522, (CEI 99-3) ammesso che si producano tensioni di messa a terra eccessivamente elevate.

Definizione di una parte conduttrice estranea secondo la norma IEC 60050-826 (HD 60050-826): una parte conduttrice non facente parte dell'impianto elettrico e suscettibile di introdurre un potenziale, generalmente il potenziale di terra.

Nota: tra queste parti conduttrici estranee vi sono anche pavimenti, pareti ed infissi conduttivi, se attraverso questi può essere introdotto un potenziale elettrico, compreso il potenziale di terra.

I seguenti elementi vanno integrati **indirettamente** attraverso spinterometri nel collegamento equipotenziale principale:

- ➔ impianti di protezione catodica anti-corrosione e di protezione contro le correnti vaganti secondo CEI EN 50162 (CEI 9-89).
- ➔ dispersori degli impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV secondo la normativa CEI EN 61936-1 (CEI 99-2), CEI EN 50522 (CEI 99-3), nel caso in cui si producano ten-

sioni di messa a terra eccessivamente elevate (in casi eccezionali).

- ➔ messa a terra di sistemi di trasporto ferroviari in DC e AC, in conformità alla norma CEI EN 50122-1 (CEI 9-6).
- ➔ messa a terra di segnale nei laboratori, quando è indipendente dai conduttori di protezione

La **Figura 6.1.1** mostra i collegamenti e i relativi componenti di protezione, nonchè il sistema equipotenziale contro i fulmini.

Dispersori del collegamento equipotenziale

Poiché l'impianto utilizzatore in bassa tensione rende necessarie determinate resistenze di terra (condizioni per il sezionamento automatico dell'alimentazione) e il dispersore di fondazione offre buoni valori di resistenza di terra se posato correttamente, il dispersore di fondazione rappresenta un complemento ottimale ed efficace del sistema equipotenziale. In Germania la progettazione dei dispersori di fondazione è disciplinato dalla norma DIN 18014, che richiede, ad esempio, dei capicorda per il collegamento della barra equipotenziale. Descrizioni più dettagliate sul dispersore di fondazione si trovano nel capitolo 5.5.

Se un dispersore di fondazione viene utilizzato come dispersore del sistema di protezione contro i fulmini, potrebbe essere necessario considerare dei requisiti supplementari. Questi requisiti si possono trovare anche nel capitolo 5.5.

Conduttori di protezione secondo la norma IEC 60364-5-54 (HD 60364-5-54)

I conduttori equipotenziali devono essere contrassegnati come conduttori di protezione, nella misura in cui possiedono una funzione di protezione, cioè giallo/verde.

I conduttori equipotenziali non portano corrente di servizio e possono quindi essere nudi o isolati.

La sezione minima dei conduttori di protezione per consentire il collegamento alla barra di terra principale è:

- ➔ 6 mm² (rame) o
- ➔ 16 mm² (alluminio) o
- ➔ 50 mm² (acciaio)

Per la messa a terra delle antenne (CEI EN 60728-11 o CEI 100-126) sono richieste le seguenti sezioni minime dei conduttori: 16 mm² (rame), 25 mm² (alluminio), oppure 50 mm² (acciaio).



Figura 6.1.2 Barra equipotenziale K12
Art. 563 200



Figura 6.1.3 Barra equipotenziale R15
Art. 563 010



Figura 6.1.4 Collare di messa a terra per tubi
Art. 407 114

Barre equipotenziali

La barra equipotenziale è un elemento centrale del sistema equipotenziale; deve garantire il contatto sicuro di tutti i conduttori di tutte sezioni che si riscontrano nella pratica, deve sopportare il passaggio di corrente e deve essere resistente alla corrosione.

L1 x conduttore piatto 4x30 mm o conduttore tondo Ø 10 mm

➔ 1 x 50 mm²

➔ da 6 x 6 mm² a 25 mm²

➔ da 1 x 2,5 mm² a 6 mm²

K12 e R15 soddisfano questi requisiti per una barra di collegamento equipotenziale (**Figura 6.1.2 e 6.1.3**).

Questa norma comprende anche i requisiti per la verifica della portata di corrente di fulmine nei punti di serraggio con sezioni maggiore di 16 mm². La norma si riferisce al collaudo dei componenti di protezione contro i fulmini secondo la norma CEI EN 62561-1 (CEI 81-24).

Se soddisfa le prescrizioni nella norma sopra indicata, il componente può essere utilizzato anche per il sistema equipotenziale antifulmini secondo CEI EN 62305-1-4 o CEI 81-10/1-4.

Barre equipotenziali

I collegamenti equipotenziali devono garantire un contatto costante e di buona qualità.

Integrazione delle tubazioni nel sistema equipotenziale

Per integrare le tubazioni nel sistema equipotenziale vengono utilizzati dei collari di messa a terra adeguati al diametro dei tubi (**Figura 6.1.4**).

I morsetti di messa a terra in acciaio inossidabile per tubi, dotati di fascette adattabili a qualsiasi diametro, offrono notevoli vantaggi di installazione (**Figura 6.1.5**).

Questi morsetti di messa a terra per tubazioni possono essere usati per il fissaggio su tubi di materiali diversi (ad esempio, acciaio, rame e acciaio inossidabile) e consentono anche il cablaggio passante.

La **Figura 6.1.6** mostra il collegamento equipotenziale dei tubi di un impianto di riscaldamento con cablaggio passante.

Verifica e controllo del sistema equipotenziale

Prima della messa in servizio dell'impianto elettrico di utenza è necessario controllare la condizione e l'efficacia dei collegamenti.



Figura 6.1.5 Collare di messa a terra per tubi Art. 540 910



Figura 6.1.6 Barra di collegamento equipotenziale con cablaggio passante

Si raccomanda la continuità della bassa impedenza verso le varie parti dell'impianto e verso il collegamento equipotenziale. Un valore $< 1 \Omega$ è considerato sufficiente per il collegamento equipotenziale. Nelle prove di continuità eseguite secondo la norma IEC 60364-6 (HD 60364-6) bisogna usare apparecchiature con una corrente di prova di 200 mA secondo CEI EN 61557-4 (CEI 85-25).

Collegamento equipotenziale supplementare

Se non possono essere rispettate le condizioni di interruzione automatica previste dallo specifico sistema di alimentazione per un impianto o una parte dell'impianto, è necessario un collegamento equipotenziale locale supplementare. Questo per collegare tra loro tutte le parti contemporaneamente accessibili, nonché le apparecchiature fisse e le parti conduttrici estranee, al fine di mantenere più bassa possibile qualsiasi tensione di contatto che possa verificarsi.

Inoltre, il collegamento equipotenziale supplementare deve essere installato sull'impianto o parti dell'impianto di sistemi IT con controllo dell'isolamento.

E' altresì necessario un collegamento equipotenziale supplementare per ridurre i rischi dipendenti dalle condizioni ambientali in impianti o parti di impianti particolari.

La norma IEC 60364 Parte 7 (CEI 64-8/7) sottolinea l'importanza del collegamento equipotenziale supplementare per le aree di lavoro, le sale di controllo e impianti speciali.

Ad esempio

- ➔ CEI 64-8/701 - Luoghi contenenti vasche da bagno o docce (non più richiesto in generale)
- ➔ CEI 64-8/702 - Vasche delle piscine e altri tipi di vasche
- ➔ CEI 64-8/705 - Strutture adibite ad uso agricolo o zootecnico

Sono necessarie sezioni minime del conduttore di rame della protezione supplementare pari a $2,5 \text{ mm}^2$ (in caso di installazione con protezione) e 4 mm^2 (in caso di installazione non protetta).

La differenza rispetto al collegamento equipotenziale di protezione consiste nel fatto che le sezioni dei conduttori possono essere più piccole e che questo collegamento equipotenziale supplementare può essere circoscritto a un luogo specifico.

6.1.1 Sezioni minime dei conduttori di collegamento equipotenziale secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3).

Le sezioni dei conduttori utilizzati per la protezione contro i fulmini devono essere dimensionate per elevati livelli di sollecitazione, in quanto questi conduttori devono essere in grado

di trasportare la corrente di fulmine. Pertanto essi devono avere sezioni maggiori.

A prescindere dalla classe di LPS, vanno utilizzate le sezioni minime secondo la **Tabella 6.1.1.1** per il collegamento equipotenziale delle barre equipotenziali tra loro e al sistema dei dispersori.

Le sezioni minime dei conduttori di collegamento equipotenziale che collegano le installazioni metalliche interne alla barra equipotenziale possono essere inferiori, in quanto attraverso questi conduttori passa solo la corrente parziale di fulmine (**Tabella 6.1.1.2**).

Nota: se le norme forniscono informazioni diverse sulle sezioni minime dei conduttori, ai fini della protezione contro i fulmini devono essere utilizzate le sezioni definite nella norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3).

6.2 Collegamento equipotenziale per impianti di alimentazione di rete

Il sistema equipotenziale per impianti utilizzatori a bassa tensione nell'ambito della protezione contro i fulmini interna rappresenta un ampliamento del collegamento equipotenziale di protezione (in precedenza definito "principale") secondo IEC 60364-4-41 (HD 60364-4-41) (**Figura 6.1.1**).

Oltre a tutti i sistemi conduttivi, vanno integrati nel sistema equipotenziale anche i cavi di alimentazione alle utenze a bassa tensione. La particolarità di questo sistema equipotenziale sta nel fatto che il collegamento al sistema equipotenziale

Classe di LPS	Materiale	Sezione
da I a IV	Rame	16 mm ²
	Alluminio	25 mm ²
	Acciaio	50 mm ²

Tabella 6.1.1.1 Dimensioni minime dei conduttori che collegano diverse barre equipotenziali tra loro o i dispersori (secondo CEI EN 62305-3 - CEI 81-10/3, Tabella 8)

Classe di LPS	Materiale	Sezione
da I a IV	Rame	6 mm ²
	Alluminio	10 mm ²
	Acciaio	16 mm ²

Tabella 6.1.1.2 Dimensioni minime dei conduttori che collegano gli impianti metallici interni alle barre equipotenziali (secondo CEI EN 62305-3 - CEI 81-10/3, Tabella 9)



Figura 6.2.1 DEHNbloc M per installazione conforme al concetto di zona di protezione contro i fulmini al confine 0_A-1

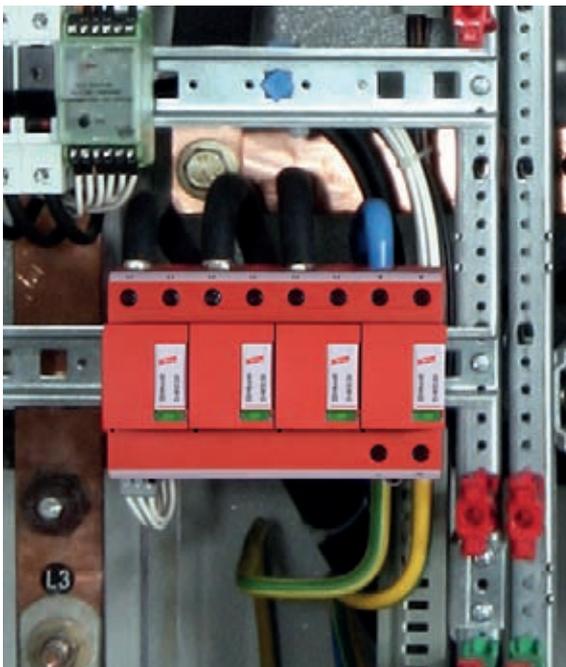


Figura 6.2.2 Scaricatore combinato DEHNventil per installazione conforme al concetto di zona di protezione contro i fulmini al confine 0_A-2

può avvenire solo tramite adatti dispositivi di protezione dalle sovratensioni. I requisiti dei dispositivi di protezione sono descritti più dettagliatamente nella sezione 7 e negli allegati C e D della norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4).

Come per il collegamento equipotenziale dei corpi metallici (si veda il capitolo 6.1), anche il collegamento equipotenziale dei cavi dell'impianto per le utenze a bassa tensione va eseguito direttamente nel punto di ingresso. I requisiti per l'installazione dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni a monte del contatore delle utenze a bassa tensione (sistema di alimentazione principale) sono descritti nelle linee guida della norma CEI 0-21 assieme alla guida CEI 81-27 "Guida d'applicazione all'utilizzo di limitatori di sovratensione all'arrivo della linea di alimentazione degli impianti elettrici utilizzatori di bassa tensione" (si vedano i capitoli 7.5.2 e 8.1 (Figure 6.2.1 e 6.2.2)).

6.3 Collegamento equipotenziale per impianti informatici

Il collegamento equipotenziale antifulmine richiede che tutte le parti metalliche conduttrici, come l'anima e la schermatura dei cavi, vengano integrate nel sistema equipotenziale all'entrata

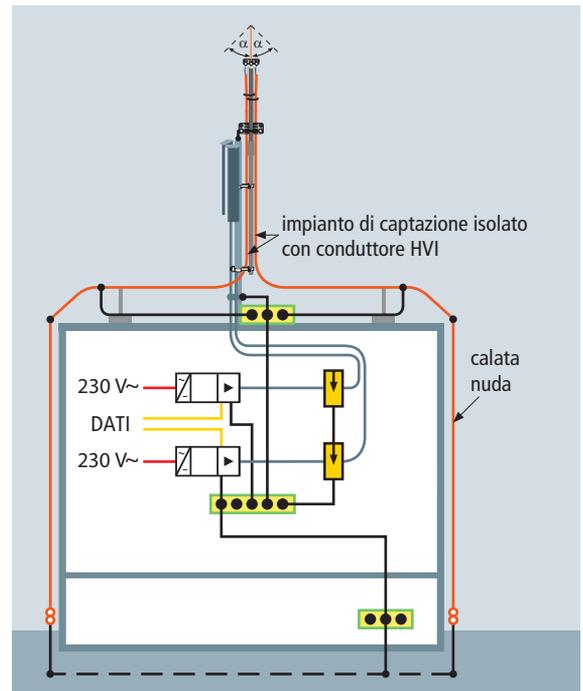


Figura 6.3.1 Sistema equipotenziale per la protezione contro i fulmini con sistema di captazione isolato e conduttore HVI per impianti d'antenna professionali secondo CEI EN 62305-3 - CEI 81-10/3

nell'edificio con la più bassa impedenza possibile. In questa categoria rientrano ad esempio i cavi delle antenne (**Figura 6.3.1**), i conduttori metallici delle linee per telecomunicazioni, ma anche gli impianti in fibra ottica con elementi metallici. I conduttori vengono collegati con l'aiuto di elementi in grado di sopportare correnti di fulmine (scaricatori e componenti per il collegamento della schermatura). Un punto di installazione adeguato è costituito dal punto di collegamento tra i cavi che si estendono oltre l'edificio e i cavi che entrano nell'edificio. Gli scaricatori e i componenti per il collegamento della schermatura devono essere scelti in base ai parametri delle correnti di fulmine previste.

Per minimizzare le spire induttive all'interno degli edifici si raccomandano i seguenti accorgimenti:

- ➔ far entrare nell'edificio i conduttori e le tubazioni in metallo nello stesso punto
- ➔ i conduttori di potenza e di dati vanno posati assieme, ma schermati
- ➔ vanno evitati cavi di lunghezza eccessiva posando linee diritte

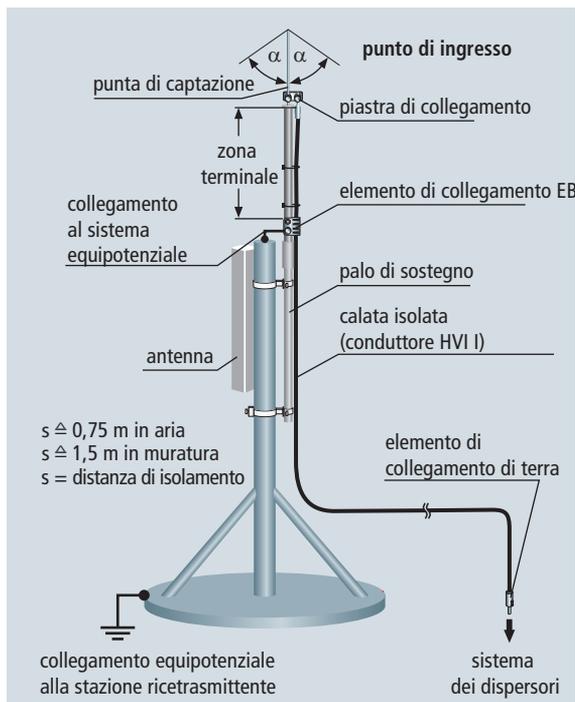


Figura 6.3.2 Installazione isolata di un sistema di protezione contro i fulmini e una antenna del telefono cellulare

Impianti di antenna

Gli impianti di antenna sono generalmente posizionati in luoghi esposti per motivi tecnici inerenti le telecomunicazioni radio. Perciò subiscono un'influenza maggiore da parte delle correnti di fulmine e delle sovratensioni, particolarmente in caso di fulminazione diretta. Essi devono essere integrati nel collegamento equipotenziale secondo la norma tedesca DIN VDE 0855-300 o la norma italiana CEI EN 60728-11 (CEI 100-126) e devono presentare rischi ridotti grazie alla loro progettazione (posa dei cavi, connettori e armature) oppure attraverso idonee misure supplementari. Gli elementi di antenna collegati ad un alimentatore, che per ragioni funzionali non possono essere collegati direttamente al sistema equipotenziale, vanno protetti per mezzo di scaricatori della corrente di fulminee.

Si può supporre, semplificando, che il 50% della corrente di fulmine diretta scorra attraverso gli schermi dei cavi coassiali delle antenne. Se un impianto di antenna è dimensionato per correnti di fulmine fino a 100 kA (10/350 μ s) (livello di protezione LPL III), si avrà una ripartizione della corrente di fulmine attraverso il conduttore di messa a terra (50 kA) e attraverso le schermature di tutti i cavi d'antenna (50 kA). Perciò gli impianti d'antenna che non sono in grado di sopportare la corrente di fulmine devono essere dotati di un impianto di captazione, in grado di contenere le antenne all'interno del loro volume protetto. Per la scelta del cavo adatto va individuata la rispettiva corrente parziale di fulmine per ogni cavo di antenna che condivide la stessa calata. La resistenza dielettrica dei cavi può essere calcolata in base all'impedenza di accoppiamento, alla lunghezza del cavo di antenna e all'intensità della corrente di fulmine.

Secondo le ultime versioni della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) sulla protezione contro i fulmini, i sistemi di antenna per gli edifici possono essere protetti mediante

- ➔ aste di captazione
- ➔ conduttori di captazione sopraelevati
- ➔ funi sospese

In ogni caso va rispettata la distanza di isolamento s.

Con l'isolamento elettrico dell'impianto di protezione contro i fulmini rispetto ai corpi conduttori della struttura dell'edificio (parti metalliche strutturali, armatura ecc.) e rispetto ai conduttori elettrici nell'edificio, si può evitare la penetrazione delle correnti parziali di fulmine nelle linee di comando e di alimentazione, e quindi prevenire i disturbi o la distruzione degli impianti elettrici ed elettronici (**Figure 6.3.1 e 6.3.2**).



Figura 6.3.3 Morsetti a molla EMC per i lati protetti e non protetti di un dispositivo BLITZDUCTOR XT per contatto schermato permanente a bassa impedenza con una linea di segnale schermata; con cappuccio isolante per messa a terra indiretta, fascette e strisce isolanti.

Impianti in fibra ottica

Gli impianti in fibra ottica con elementi metallici si possono normalmente suddividere nei seguenti tipi:

- ➔ cavi con anima non metallica, ma con schermatura metallica (ad esempio: anti umidità) o elementi portanti metallici
- ➔ cavi con elementi metallici nell'anima e con schermatura in metallo o elementi portanti metallici
- ➔ cavi con elementi metallici nell'anima ma senza schermatura metallica.

Per tutti i tipi di cavo con elementi metallici deve essere calcolata l'ampiezza minima della corrente da fulmine che compromette le proprietà di trasferimento dati della fibra ottica. Devono essere scelti dei cavi capaci di sopportare la corrente di fulmine e gli elementi metallici devono essere collegati direttamente o attraverso un SPD alla barra equipotenziale.

- ➔ Schermatura metallica: collegamento con morsetti di schermatura, ad esempio terminali schermati nel punto di ingresso nell'edificio.
- ➔ Anima metallica: collegamento mediante un morsetto di messa a terra, ad esempio al terminale del conduttore di protezione vicino alla scatola di derivazione.
- ➔ Prevenzione delle correnti di compensazione: collegamento indiretto attraverso uno spinterometro, ad esempio DEHNgap CS, BLITZDUCTOR XT con messa a terra indiretta della schermatura (**Figura 6.3.3**).

Linee di telecomunicazione

Le linee di telecomunicazione con cavi metallici sono composte solitamente da cavi con elementi simmetrici o coassiali dei seguenti tipi:

- ➔ cavi senza ulteriori elementi metallici

- ➔ cavi con schermatura metallica (ad esempio barriera vapore) e/o elementi di supporto metallici
- ➔ cavi con schermatura metallica e armatura antifulmine aggiuntiva.

La ripartizione della corrente di fulmine sulle linee informatiche può essere determinata utilizzando il procedimento descritto nell'allegato E della norma CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1) I singoli cavi devono essere integrati nel collegamento equipotenziale nel modo seguente:

- a) I cavi non schermati devono essere collegati tramite limitatori di sovratensione (SPD) in grado di sopportare le correnti di fulmine. Corrente parziale di fulmine del cavo diviso il numero delle anime conduttrici = corrente parziale di fulmine per ogni anima conduttrice
- b) Se la schermatura del cavo è in grado di sopportare la corrente di fulmine, quest'ultima scorre attraverso la schermatura. Tuttavia i disturbi capacitivi/induttivi possono



Figura 6.3.4 Sistema di collegamento di una schermatura che conduce la corrente di fulmine (SAK)

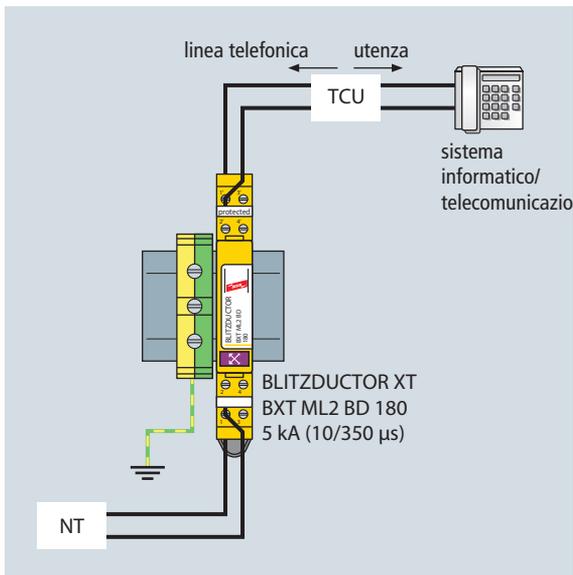


Figura 6.3.5 Collegamento equipotenziale antifulmine con BLITZDUCTOR XT per l'allacciamento di telecomunicazione (autorizzazione Deutsche Telekom)

raggiungere l'anima dei cavi e rendere necessario l'uso dei limitatori di sovratensione. I requisiti sono i seguenti.

- ➔ Lo schermo deve essere collegato a entrambe le estremità del cavo col sistema equipotenziale principale in modo tale che sia in grado di trasportare la corrente di fulmine (Figura 6.3.4).
 - ➔ Il concetto di zona di protezione contro i fulmini va usato in entrambi gli edifici dove sono collegate le estremità del cavo; inoltre le anime attive del cavo vanno collegate alla stessa zona di protezione (generalmente LPZ 1).
 - ➔ Se un cavo non schermato viene posato in un tubo di metallo, esso va trattato come una schermatura che conduce la corrente di fulmine.
- c) Se la schermatura del cavo non è in grado di sopportare la corrente di fulmine:
- ➔ **in caso di schermatura collegata ad entrambi i lati, la procedura è analoga a quella prevista per le anime conduttrici di segnale di un cavo non schermato:** corrente parziale da fulmine della linea diviso il numero dei singole anime conduttrici + 1 (schermo) = corrente parziale da fulmine per ogni anima conduttrice.



Figura 6.3.6 Involucri di collegamento equipotenziale DEHN per corrente di fulmine (DPG LSA) per tecnologia LSA-2/10

➔ **Se la schermatura non è collegata ad entrambi i lati, essa viene considerata come se non esistesse; corrente parziale di fulmine del cavo / numero delle singole anime conduttrici = corrente parziale di fulmine per anima conduttrice.**

Se non è possibile determinare esattamente il carico esatto sull'anima del cavo, si consiglia di utilizzare i parametri di pericolosità indicati nella norma CLS/TS 61643-22 (CEI 37-10). Di conseguenza, il massimo carico di corrente di fulmine per ogni anima conduttrice di una linea di telecomunicazione è dato da un impulso di categoria D1 a 2,5 kA (10/350 µs).

Naturalmente, non solo gli SPD impiegati (Figura 6.3.5) devono resistere alle sollecitazioni dalla corrente di fulmine attesa, ma deve resistere anche il percorso di scarica dagli scaricatori al sistema equipotenziale.

Ciò si può illustrare con l'esempio di un cavo a più anime conduttrici per telecomunicazioni:

- ➔ un cavo per telecomunicazioni con 100 coppie che entra dalla zona LPZ 0_A è collegato al distributore LSA nell'edificio e va protetto con degli scaricatori;
- ➔ la sollecitazione della corrente di fulmine sul cavo viene assunta come 30 kA (10/350 µs);
- ➔ risulta la seguente ripartizione simmetrica della corrente di fulmine sulle singole anime conduttrici: 30 kA / 200 fili = 150 A / filo.

Questo significa che non sono previsti requisiti particolari sulla capacità di scarica degli elementi di protezione da utilizzare. Dopo aver attraversato gli elementi di protezione, le correnti parziali di tutte le anime raggiungono ancora i 30 kA e sollecitano, ad esempio, i morsetti di messa a terra o i conduttori equipotenziali antifulmini lungo il percorso di scarica. Si pos-



Protezione di sistemi elettrici ed elettronici contro i LEMP

7.1 Concetto di zona di protezione contro i fulmini

Gli impianti elettrici ed elettronici sono sensibili alle temporanee sovratensioni ad alta energia provocate dai fulmini e stanno rapidamente diventando comuni in quasi tutti i tipi di edifici residenziali e funzionali: dispositivi per la gestione degli edifici, telecomunicazioni, sistemi di controllo e di sicurezza. I requisiti imposti dai proprietari / gestori alla continuità di servizio e affidabilità di tali sistemi sono molto elevati. La protezione dei sistemi elettrici ed elettronici situati negli edifici nei confronti delle sovratensioni causate dai campi elettromagnetici impulsivi (LEMP) si basa sul principio delle zone di protezione (LPZ - Lightning Protection Zones). Secondo questo principio, l'edificio da proteggere deve essere diviso in varie zone di protezione interne, con valori di rischio LEMP differenti (**Figura 7.1.1**). Questo consente di adattare aree con diversi livelli di rischio LEMP al livello di immunità del sistema elettronico. Con questo concetto flessibile, è possibile definire LPZ adatte in funzione del numero, tipo e sensibilità dei dispositivi o sistemi elettronici presenti, che vanno

da piccole zone locali a grandi zone integrate che possono includere l'intero edificio. A seconda del rischio di fulminazione, la norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4) definisce delle zone di protezione interna ed esterna contro i fulmini.

Zone esterne:

LPZ 0 Zona in cui la minaccia è dovuta al campo elettromagnetico non attenuato dei fulmini e dove i sistemi interni possono essere sottoposti alla corrente di fulmine completa o parziale.

La zona LPZ 0 si divide in:

LPZ 0_A Zona in cui il rischio è causato da fulmini diretti e dall'intero campo elettromagnetico totale provocato dai fulmini. I sistemi interni possono essere soggetti alla corrente di fulmine totale.

LPZ 0_B Zona protetta contro fulmini diretti ma dove la minaccia è dovuta al campo elettromagnetico totale provocato dai fulmini. I sistemi interni possono essere soggetti a correnti di fulmine parziali.

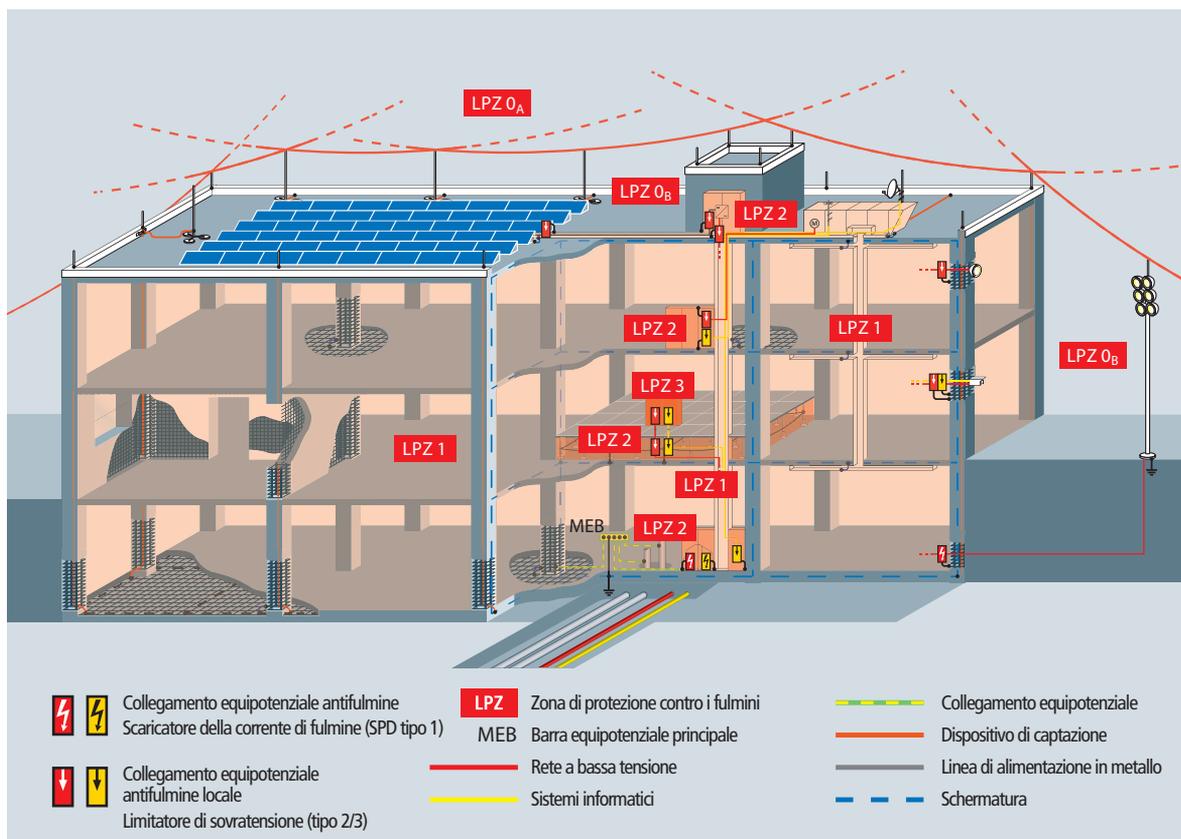


Figura 7.1.1 Concetto di zone di protezione da fulminazione secondo CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)

Zone interne (protezione contro i fulmini diretti):

LPZ 1 Zona in cui le correnti impulsive sono limitate dalla distribuzione della corrente e dalle interfacce isolate e/o degli SPD posti ai confini tra le zone. La

schermatura spaziale può attenuare il campo elettromagnetico del fulmine.

LPZ 2...n Zona in cui le correnti impulsive sono limitate dalla distribuzione della corrente e dalle interfacce isolate e/o degli SPD aggiuntivi posti ai confini tra le zone. Una schermatura spaziale supplementare

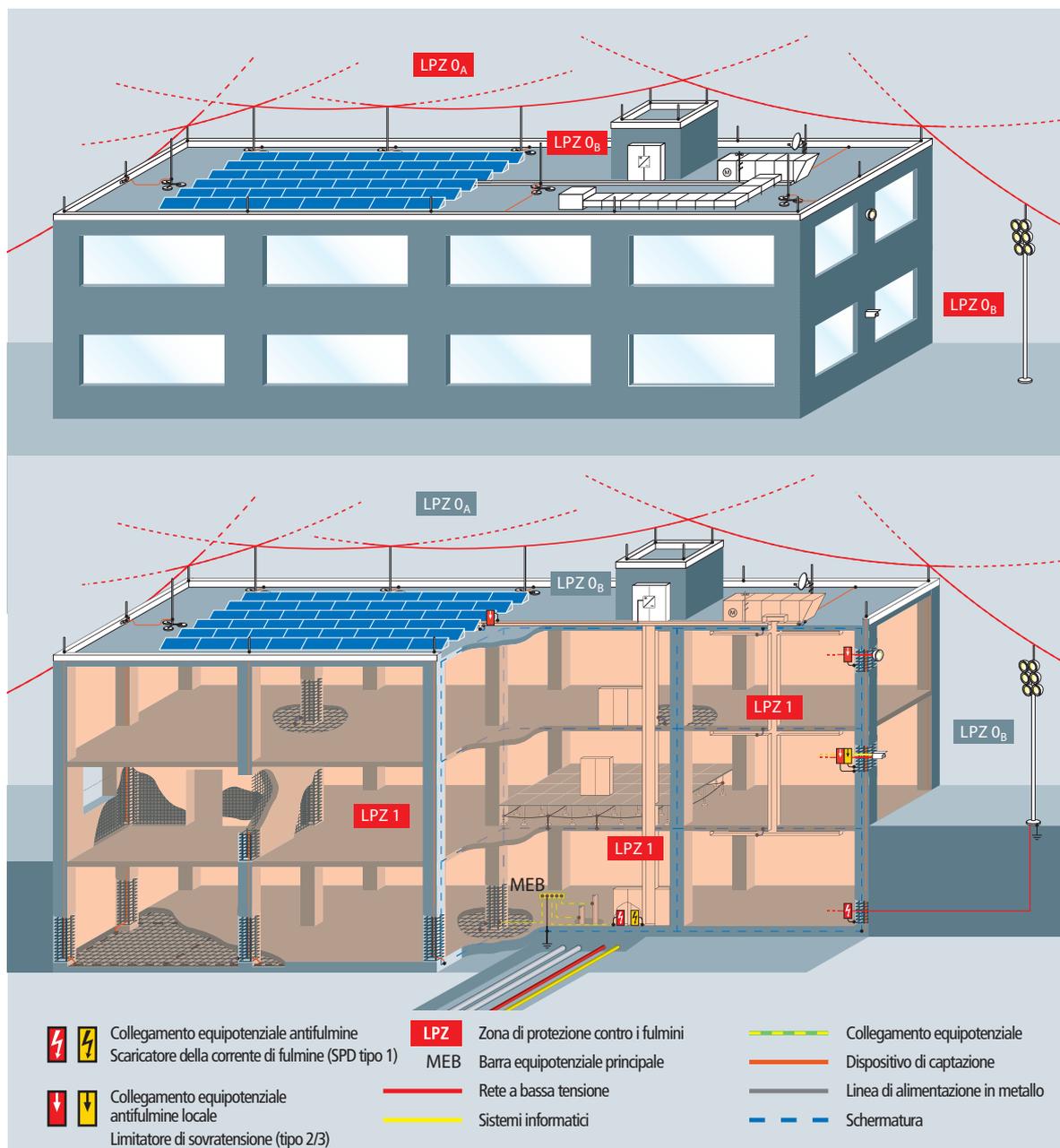


Figura 7.1.2a Concetto di zone di protezione da fulminazione secondo CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)

può essere utilizzata per attenuare ulteriormente il campo elettromagnetico del fulmine.

I requisiti per le zone interne devono essere definiti a seconda del grado di resistenza dielettrica dei sistemi elettrici ed elettronici da proteggere.

Al confine di ogni zona interna va stabilito un collegamento equipotenziale per tutte le parti in metallo e le linee di alimentazione entranti, o direttamente o per mezzo di opportuni SPD. Il confine della zona viene definito dalle misure di schermatura. La realizzazione del concetto di zona di protezione contro

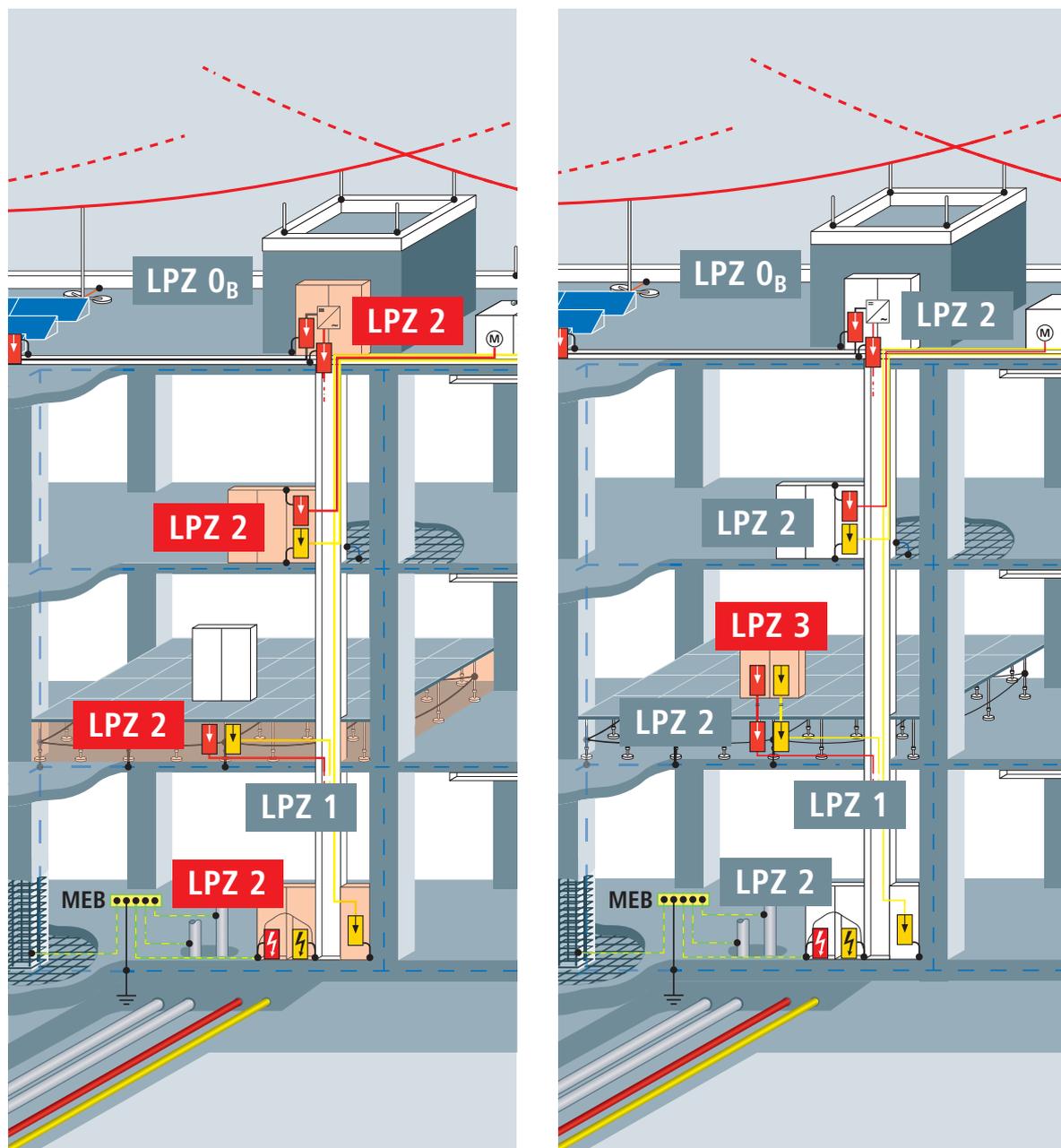


Figura 7.1.2b Concetto di zone di protezione da fulminazione secondo CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)

i fulmini è un presupposto importante per un funzionamento sicuro e privo di disturbi.

Al fine di garantire la necessaria disponibilità dell'impianto vanno raccolte molte informazioni (ad esempio riguardo all'uso dell'edificio, ai dispersori, all'impianto elettrico, al sistema informatico) che devono essere valutate nell'insieme per definire un sistema di protezione globale.

Le **Figure 7.1.2a e b** illustrano degli esempi di realizzazione delle misure descritte per il concetto di zona di protezione.

7.2 Gestione della protezione LEMP

Per le nuove strutture può essere ottenuta una protezione ottimale dei sistemi elettronici con un costo minimo solo se i sistemi elettronici vengono progettati insieme all'edificio e prima della costruzione di quest'ultimo. In questo modo i componenti dell'edificio, come ad esempio armatura, travi e pilastri in metallo, possono essere integrati nella gestione della protezione LEMP.

Passo	Obiettivo	Chi deve intervenire (Se pertinente)
Analisi preliminare dei rischi ^{a)}	Valutare la necessità di disporre di un sistema di misure di protezione LEMP. Se necessario, scegliere un appropriato sistema di misure di protezione LEMP (LPMS) sulla base di una valutazione del rischio.	<ul style="list-style-type: none"> • Specialista della protezione contro i fulmini^{b)} • Proprietario
Analisi dei rischi finale ^{a)}	Il rapporto costo/beneficio delle misure di protezione deve essere nuovamente ottimizzato con una valutazione del rischio. Va determinato quanto segue: <ul style="list-style-type: none"> • Livello di protezione contro i fulmini (LPL) e parametri di fulmine • LPZ e loro confini 	<ul style="list-style-type: none"> • Specialista della protezione contro i fulmini^{b)} • Proprietario
Progetto del sistema delle misure di protezione LEMP (LPMS)	Definizione del LPMS: <ul style="list-style-type: none"> • Misure di schermatura spaziali Rete equipotenziale Impianti di messa a terra <ul style="list-style-type: none"> • Percorso dei conduttori e schermatura • Schermatura dei cavi di alimentazione in ingresso • Sistema SPD 	<ul style="list-style-type: none"> • Specialista della protezione contro i fulmini^{b)} • Proprietario • Architetto • Progettista dei sistemi interni • Progettista dei rispettivi impianti
Progetto LPMS	<ul style="list-style-type: none"> • Disegni e descrizioni generali • Preparazione delle richieste di offerta / bandi di gara • Disegni dettagliati e scadenze per l'installazione 	<ul style="list-style-type: none"> • Ufficio Tecnico o equivalente
Installazione e controllo LPMS	<ul style="list-style-type: none"> • Qualità dell'installazione • Documentazione • Eventuale revisione dei disegni di dettaglio 	<ul style="list-style-type: none"> • Specialista della protezione contro i fulmini^{b)} • Installatore LPMS • Ufficio Tecnico • Supervisore
Accettazione LPMS	Ispezione e documentazione del sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Esperto indipendente della protezione contro i fulmini^{b)} • Supervisore
Controlli periodici	Garantire un LPMS adeguato	<ul style="list-style-type: none"> • Specialista della protezione contro i fulmini^{b)} • Supervisore

^{a)} Si veda CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2)

^{b)} Con un'ampia conoscenza di EMC e delle pratiche di installazione

Tabella 7.2.1 Gestione della protezione LEMP per nuovi edifici e per modifiche sostanziali della costruzione o dell'utilizzo di edifici secondo CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)

I costi delle misure di protezione LEMP per le strutture esistenti sono generalmente superiori a quelli per le nuove strutture. Se tuttavia le zone LPZ vengono selezionate correttamente e le installazioni esistenti vengono ottimizzate o aggiornate, i costi possono essere ridotti.

Se la valutazione dei rischi secondo la norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) impone la necessità di protezione LEMP, questa può essere ottenuta solamente se:

- ➔ le misure di protezione vengono progettate da personale specializzato nella protezione antifulmini con solide conoscenze delle problematiche EMC
- ➔ esiste uno stretto coordinamento tra esperti dell'edificio e quelli LEMP (ad esempio ingegneri civili e ingegneri elettrici) e
- ➔ viene rispettato il piano di gestione secondo la **Tabella 7.2.1** (sottosezione 9.2 della norma CEI EN 62305-4 - CEI 81-10/4).

Una valutazione del rischio conclusiva dovrà dimostrare che il rischio residuo risulta inferiore al rischio accettabile.

7.3 Calcolo dell'attenuazione del campo magnetico da parte della schermatura per edifici/locali

La fonte di disturbo principale, per gli apparecchi e impianti da proteggere in un edificio, è la corrente di fulmine e il relativo campo elettromagnetico. Nella **Figura 7.3.1** è rappresentato il principio di funzionamento delle schermature a maglia. Le basi di calcolo descritte nella norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4) sono basate su ipotesi e valutazioni. Con una prima approssimazione va definita la complessa distribuzione del campo elettromagnetico all'interno delle schermature a maglia. Le formule per la determinazione del campo magnetico si basano su calcoli numerici del campo magnetico. Per il calcolo è sta-

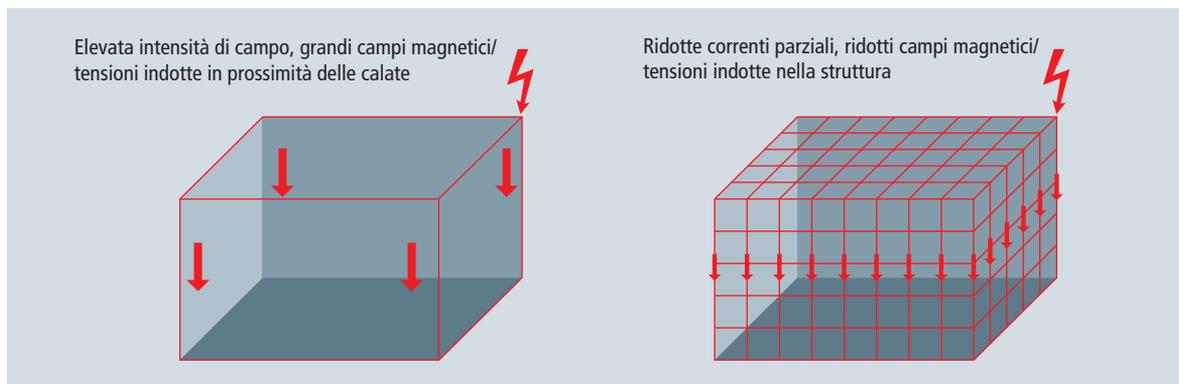


Figura 7.3.1 Riduzione del campo magnetico attraverso schermature a griglia

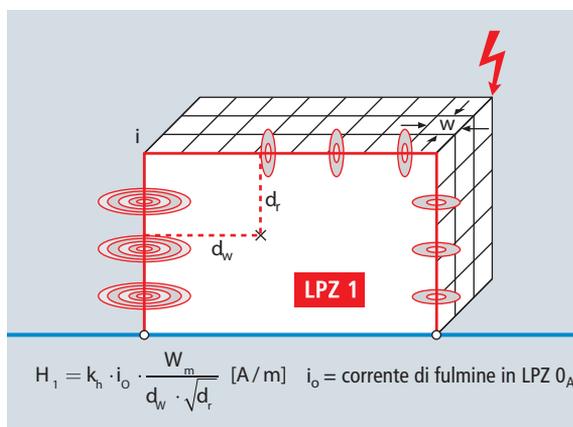


Figura 7.3.2a Campo magnetico in caso di fulminazione diretta in zona LPZ I (LEMP) IEC 62305-4 (EN 62305-4) - CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)

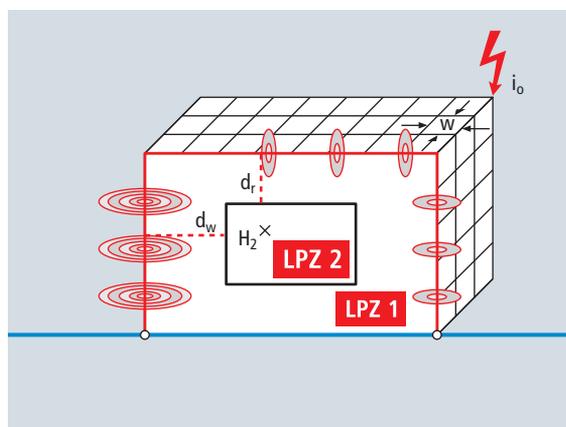


Figura 7.3.2b Intensità del campo magnetico in caso di fulminazione diretta nella zona LPZ 2

to considerato l'accoppiamento del campo magnetico di ogni conduttore (barra) costituente la schermatura a maglia con tutte le altre barre, incluso il canale di fulminazione simulato. Per valutare se l'effetto del campo elettromagnetico del primo colpo o dei colpi successivi è quello più critico per l'impianto elettrico da proteggere, i calcoli devono essere eseguiti con il valore massimo della corrente del primo colpo positivo ($i_{f/\max}$) e del primo colpo negativo ($i_{fn/\max}$) e con il massimo valore della corrente dei colpi successivi ($i_{s/\max}$) secondo il livello di protezione contro i fulmini (LPL) indicato nella tabella 3 della norma CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1).

L'effetto schermante del reticolo di protezione in caso di fulmini diretti può essere calcolato utilizzando la formula indicata nelle **Figure 7.3.2a e b**. Questa considerazione si basa sul fatto che la corrente può introdursi in qualsiasi punto del tetto.

Per calcolare le distanze di isolamento, va considerato quanto segue in aggiunta alle informazioni fornite nella recente norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4):

I sistemi elettronici interni possono essere installati solo all'interno di un volume di sicurezza con una distanza di isolamento dallo schermo LPZ. Le precedenti definizioni di queste distanze di sicurezza $d_{s/1}$ e $d_{s/2}$ sono spesso state erroneamente assegnate a LPZ 1 e LPZ 2.

$d_{s/1}$ Distanza di isolamento in caso di schermatura spaziale LPZ 1, se la corrente di fulmine scorre in questa schermatura (la schermatura LPZ 1 produce un campo magnetico. In questo caso è possibile non assegnare un fattore di schermatura:

➔ solo in caso di un fulmine diretto (S1) che colpisce la schermatura LPZ 1).

$d_{s/2}$ Distanza di sicurezza in caso di schermatura spaziale se non fluisce corrente di fulmine in tale schermatura (il fattore di schermatura definisce l'attenuazione da H_n a H_{n+1}):

➔ si applica a tutte le schermature LPZ 1 o superiore, in caso di fulmini nelle vicinanze (S2)

oppure

➔ si applica a tutte le schermature interne LPZ 2 o superiore, in caso di fulminazione diretta (S1) o di fulmini nelle vicinanze.

Pertanto, la Germania ha proposto modifiche redazionali per la futura revisione della norma EN 62305-4 sulla protezione contro i fulmini. Le seguenti nuove denominazioni dovranno essere utilizzate in futuro:

➔ $d_{s/1}$ diventa d_{DF} in caso di fulminazione diretta della schermatura LPZ 1;

➔ $d_{s/2}$ diventa d_{SF} quando si usa il fattore di schermatura SF.

Pertanto, le formule per il calcolo delle distanze di isolamento devono essere adattate di conseguenza.

Calcolo dell'intensità del campo magnetico in caso di fulmine diretto

L'intensità del campo magnetico H_1 in un certo punto entro LPZ 1 viene calcolato come segue:

$$H_1 = \frac{k_h \cdot I_0 \cdot w_m}{\left(d_w \cdot \sqrt{d_r}\right)} \quad \text{in A/m}$$

dove

d_r è la distanza più breve tra il punto considerato e il tetto della zona schermata LPZ 1 in m;

d_w è la distanza più breve tra il punto considerato e la parete della zona schermata LPZ 1 in m;

I_0 è la corrente di fulmine entro LPZ 0_A in A;

k_h è il fattore di configurazione, tipicamente $k_h = 0,01$ in $1/\sqrt{m}$;

w_m è la dimensione delle maglie del reticolo di protezione LPZ 1 m.

Il risultato di questa formula è il valore massimo del campo magnetico in LPZ 1 (osservare le note 1 e 2):

$$H_{1/f/\max} = \frac{k_h \cdot I_{f/\max} \cdot w_m}{\left(d_w \cdot \sqrt{d_r}\right)} \quad \text{in } \mu\text{T}$$

➔ causato dal primo colpo positivo:

➔ causato dal primo colpo negativo:

$$H_{1/fn/\max} = \frac{k_h \cdot I_{fn/\max} \cdot w_m}{\left(d_w \cdot \sqrt{d_r}\right)} \quad \text{in A/m}$$

➔ causato dai colpi successivi:

$$H_{1/s/\max} = \frac{k_h \cdot I_{s/\max} \cdot w_m}{\left(d_w \cdot \sqrt{d_r}\right)} \quad \text{in A/m}$$

dove

$I_{f/\max}$ è il valore massimo della corrente del primo colpo positivo in conformità con la LPL in A;

$I_{fn/\max}$ è il valore massimo della corrente del primo colpo negativo in conformità con la LPL in A;

$I_{s/\max}$ è il valore massimo delle correnti dei successivi colpi in conformità con la LPL in A;

Nota: il campo magnetico viene ridotto di un fattore 2 se è installata una rete equipotenziale a maglie conforme al punto 5.2 della norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4).

Questi valori del campo magnetico sono validi solo nel volume di sicurezza V_s all'interno del reticolo di protezione con una distanza di isolamento $d_{s/1}$ dallo schermo (**Figura 7.3.3**):

$$d_{s/1} = \frac{w_m \cdot SF}{10} \quad \text{for } SF \geq 10 \text{ in m}$$

$$d_{s/1} = w_m \quad \text{for } SF < 10 \text{ in m}$$

dove

SF è il fattore di schermatura in dB determinato utilizzando le equazioni nella **Tabella 7.3.1**;

w_m è la dimensione delle maglie del reticolo schermante in m.

Nota: i risultati sperimentali del campo magnetico all'interno di un reticolo schermante intorno a LPZ 1 mostrano che l'intensità del campo magnetico vicino allo schermo è inferiore a quello risultante dalle equazioni sopracitate.

Determinazione del campo magnetico in caso di fulmini nelle vicinanze

Il campo magnetico incidente H_0 è calcolato come segue:

$$H_0 = \frac{I_0}{(2 \cdot \pi \cdot s_a)} \quad \text{in A/m}$$

dove

I_0 è la corrente di fulmine entro LPZ 0_A in A;

s_a è la distanza tra il punto di fulminazione e il centro del volume schermato in m.

Da ciò si deriva il valore massimo del campo magnetico in LPZ 0:

➔ causato dal primo colpo positivo:

$$H_{0/f/\max} = \frac{I_{f/\max}}{(2 \cdot \pi \cdot s_a)} \quad \text{in A/m}$$

➔ causato dal primo colpo negativo:

$$H_{0/fn/\max} = \frac{I_{fn/\max}}{(2 \cdot \pi \cdot s_a)} \quad \text{in A/m}$$

➔ causato dai colpi successivi:

$$H_{0/s/\max} = \frac{I_{s/\max}}{(2 \cdot \pi \cdot s_a)} \quad \text{in A/m}$$

dove

$I_{f/\max}$ è il valore massimo della corrente del primo colpo positivo in conformità con la LPL in A;

$I_{fn/\max}$ è il valore massimo della corrente del primo colpo negativo in conformità con la LPL in A;

$I_{s/\max}$ è il valore massimo delle correnti dei successivi colpi in conformità con la LPL in A;

La riduzione da H_0 a H_1 in LPZ 1 può essere ottenuta utilizzando i valori di SF riportati nella **Tabella 7.3.1**:

$$H_{1/\max} = \frac{H_{0/\max}}{10^{SF/20}} \quad \text{in A/m}$$

dove

SF è il fattore di schermatura in dB determinato utilizzando le equazioni nella **Tabella 7.3.1**;

H_0 è il campo magnetico in LPZ 0 in A/m.

Da ciò si deriva il valore massimo del campo magnetico in LPZ 1:

➔ causato dal primo colpo positivo:

$$H_{1/f/\max} = \frac{H_{0/f/\max}}{10^{SF/20}} \quad \text{in A/m}$$

➔ causato dal primo colpo negativo:

$$H_{1/fn/\max} = \frac{H_{0/fn/\max}}{10^{SF/20}} \quad \text{in A/m}$$

➔ causato dai colpi successivi:

$$H_{1/s/\max} = \frac{H_{0/s/\max}}{10^{SF/20}} \quad \text{in A/m}$$

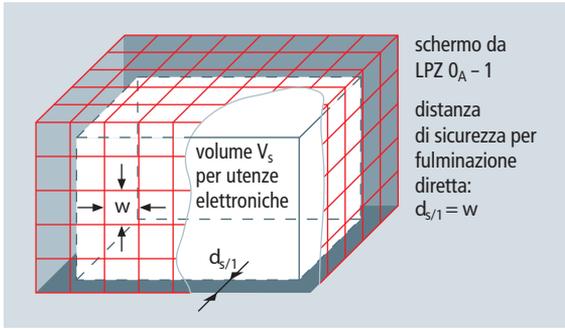


Figura 7.3.3 Volume per apparecchi elettronici all'interno della zona LPZ 1

Questi valori del campo magnetico sono validi solo nel volume di sicurezza V_s all'interno del reticolo schermante con una distanza di isolamento $d_{s/2}$ dallo schermo (Figura 7.3.3):

$$d_{s/2} = w_m^{SF/20} \quad \text{for } SF \geq 10 \text{ in m}$$

$$d_{s/2} = w_m \quad \text{for } SF < 10 \text{ in m}$$

dove

SF è il fattore di schermatura in dB determinato utilizzando le equazioni nella Tabella 7.3.1;

w_m è la dimensione delle maglie del reticolo schermante in m.

Materiale	Fattore di schermatura SF (dB)	
	25 kHz (primo colpo)	1 MHz (colpo successivo)
Rame o alluminio	$20 \cdot \log(8.5/w_m)$	$20 \cdot \log(8.5/w_m)$
Acciaio	$20 \cdot \log \frac{(8.5/w_m)}{\sqrt{1 + 18 \cdot 10^{-6} / r_c^2}}$	$20 \cdot \log(8.5/w_m)$

w_m = dimensione maglia [m] ($w_m \leq 5$ m); r_c = raggio asta [m]; $\mu_r \approx 200$ (permeabilità)

Esempio: griglia di acciaio			
w_m (m)	r (m)	dB a 25 kHz	dB a 1 Mhz
0,012	0,0010	44	57
0,100	0.0060	37	39
0,200	0.0090	32	33
0,400	0,0125	26	27

Tabella 7.3.1 Attenuazione magnetica delle maglie in caso di fulminazione ravvicinata secondo IEC 62305-4 (EN 62305-4) - CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)

Per informazioni più dettagliate sul calcolo dell'intensità del campo magnetico nel reticolo di protezione in caso di fulmini nelle vicinanze, si veda il punto A.4.3 della norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4).

I valori calcolati per il campo magnetico sono validi per il volume di sicurezza V_s all'interno degli schermi a maglia, che vengono definiti dalla distanza di sicurezza $d_{s/1}$... (Figura 7.3.3). Questo volume di sicurezza prende in considerazione i valori massimi di intensità del campo magnetico direttamente alla struttura a griglia, che non sono sufficientemente considerati nella formula approssimata. I dispositivi informatici possono essere installati solo in questo volume V_s .

La base di calcolo per l'effetto di schermatura dei reticoli schermanti in caso di fulmini nelle vicinanze è descritta nelle Figure 7.3.4 e 7.3.5.

La Figura 7.3.4 mostra la formazione del campo elettromagnetico come un'onda piana, la cui densità di campo si riduce in modo inversamente proporzionale alla distanza s_a . L'intensità del campo magnetico all'interno di un volume da proteggere, ad esempio LPZ 1 (Figura 7.3.5), può essere definita dalla qualità della schermatura.

Realizzazione dell'attenuazione del campo magnetico della schermatura per edifici/locali

Componenti metallici estesi, come tetti e facciate metallici, armature in acciaio per il cemento armato, metallo espanso nelle pareti, griglie, strutture metalliche di supporto e sistemi di tubazioni esistenti nell'edificio, sono particolarmente importanti nella schermatura contro i campi magnetici e quindi per l'installazione delle zone di protezione contro i fulmini. Grazie al collegamento a maglie si crea una schermatura elettromagnetica efficace.

La Figura 7.3.6 illustra, in linea di principio, come si può trasformare un'armatura di acciaio in una gabbia elettromagnetica (schermo forato). Nella pratica tuttavia non sarà possibile, per grandi strutture, saldare o fissare ogni punto di incrocio. E' più facile inserire nell'armatura un sistema di conduttori interconnessi con una misura tipica ≤ 5 m. Questa rete di maglie deve essere collegata sui punti di incrocio in modo elettricamente sicuro, ad esempio con morsetti. Su questa rete di maglie l'armatura verrà "agganciata elettricamente" alla distanza tipica $b \leq 1$ m. Questo può essere effettuato in sito, ad esempio con dei collegamenti a fasce.

Le reti di armatura nel cemento sono adatte come schermatura. Per l'aggiornamento di impianti esistenti, le reti elettrosaldate possono essere posate anche in un secondo tempo. Per questa forma di esecuzione è necessario zincare la rete per proteggerla dalla corrosione. Le reti vengono poi, ad esempio, posate sovrapposte sui tetti o applicate alla parete esterna o interna per la schermatura dell'edificio.

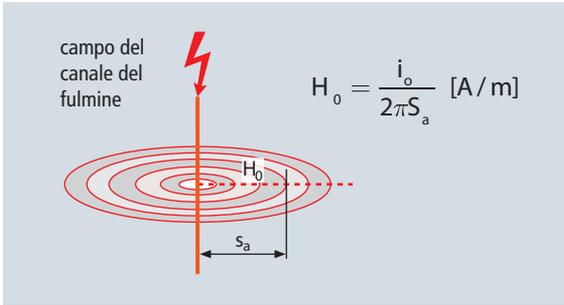


Figura 7.3.4 Campo magnetico in caso di fulminazione ravvicinata (LEMP) IEC 62305-4 (EN 62305-4) - CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)

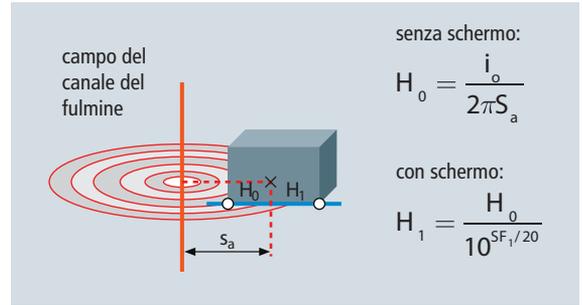
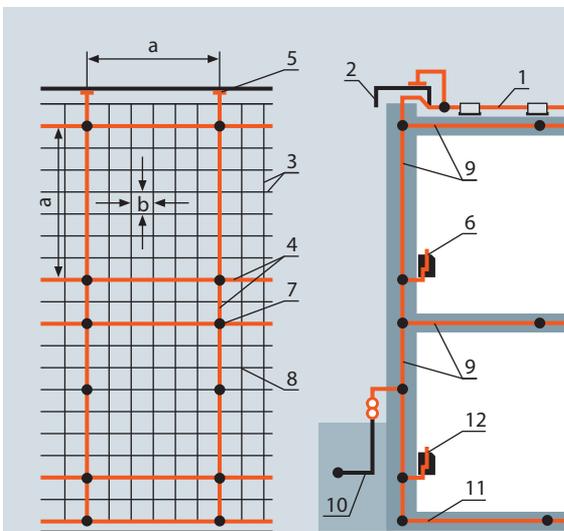


Figura 7.3.5 Campo magnetico in caso di fulminazione ravvicinata (LEMP) IEC 62305-4 (EN 62305-4) - CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)



- 1 Conduttore del sistema dei captatori
 - 2 Scossalina metallica
 - 3 Armatura
 - 4 Conduttori a maglia sovrapposti all'armatura
 - 5 Collegamento alla maglia
 - 6 Collegamento alla barra equipotenziale interna
 - 7 Collegamento saldato o aggraffato
 - 8 Collegamento generico
 - 9 Armatura del calcestruzzo (con maglia sovrapposta)
 - 10 Dispensore ad anello (se presente)
 - 11 Dispensore di fondazione
- a Distanza tipica di 5 m nelle maglie sovrapposte
 b La distanza tipica per il collegamento delle maglie all'armatura è 1 m
 (dimensioni tipiche: $a \leq 5$ m, $b \leq 1$ m)

Figura 7.3.6 Utilizzo di barre di armatura di una struttura per la schermatura e il collegamento equipotenziale



Figura 7.3.7a Reti zincate elettrosaldate per la schermatura dell'edificio



Figura 7.3.7b Utilizzo di reti zincate elettrosaldate per la schermatura, ad esempio in caso di tetto verde

Le **Figure 7.3.7a e b** illustrano l'installazione successiva delle reti elettrosaldate zincate sul tetto di un edificio.

Per il collegamento dei giunti di dilatazione, per il collegamento dell'armatura dei prefabbricati in calcestruzzo e per gli allacciamenti all'impianto di messa a terra esterno o per il sistema equipotenziale interno, è necessario prevedere nella costruzione un numero sufficiente di punti fissi di messa a terra.

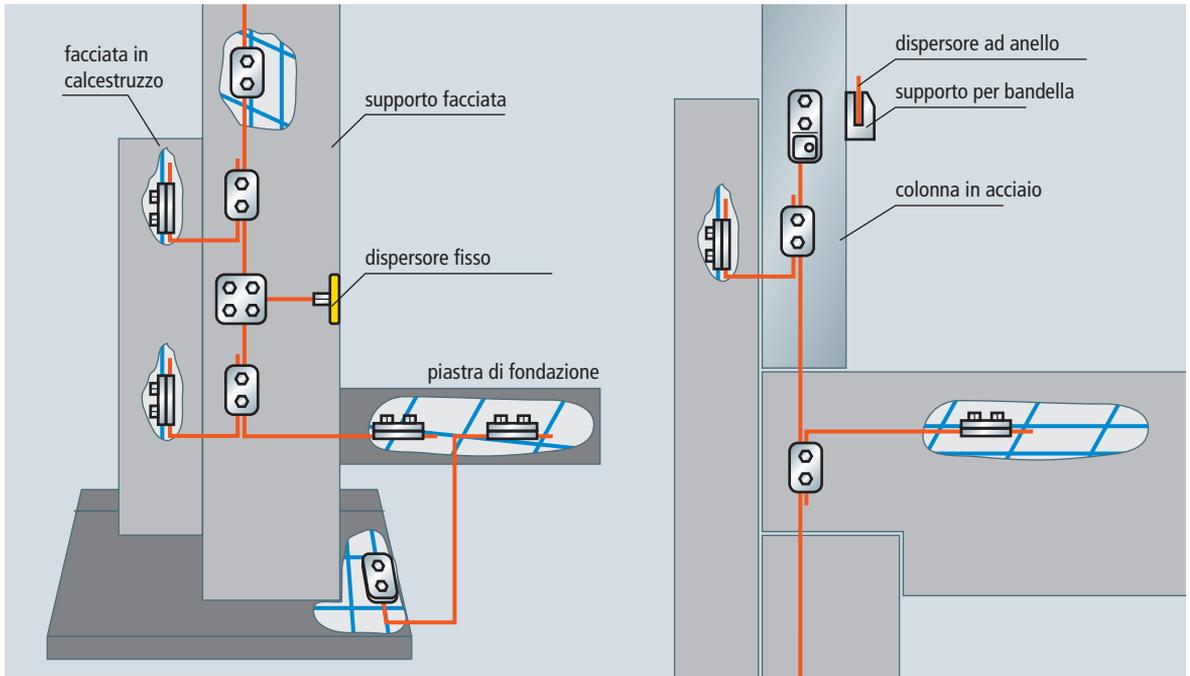


Figura 7.3.8 Schermatura di un edificio

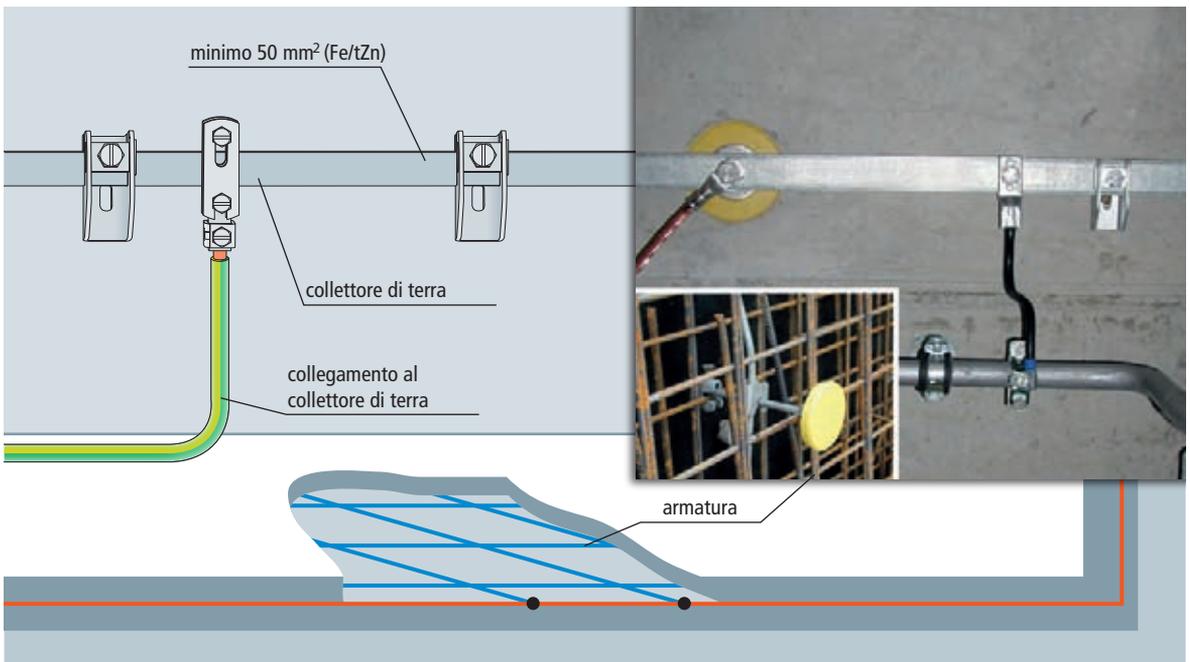


Figura 7.3.9 Conduttore di terra / anello equipotenziale

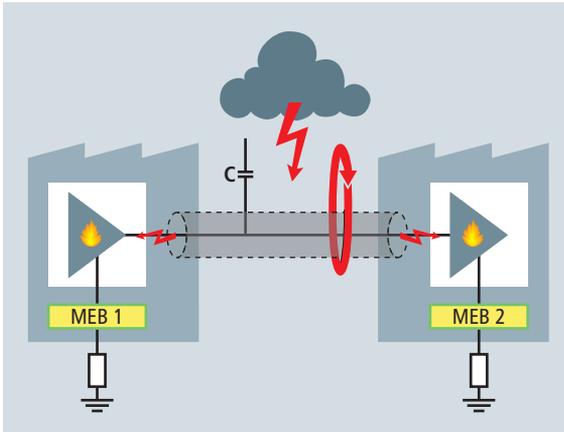


Figura 7.3.1.1 Schermo non collegato - Nessuna protezione contro l'accoppiamento capacitivo/induttivo

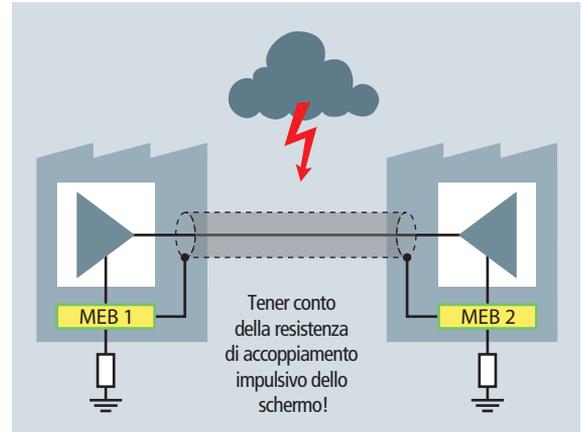


Figura 7.3.1.2 Collegamento dello schermo sui due lati - schermatura contro l'accoppiamento capacitivo/induttivo

La **Figura 7.3.8** illustra una installazione di questo tipo, che deve essere presa in considerazione nella progettazione preliminare dei lavori da eseguire sull'edificio.

Il campo magnetico all'interno della costruzione viene ridotto su un'ampia gamma di frequenze attraverso spire di riduzione che si creano attraverso la rete equipotenziale a maglie. Le tipiche dimensioni delle maglie sono ≤ 5 m.

L'interconnessione di tutti i componenti metallici sia all'interno che sopra le strutture porta alla realizzazione di una rete equipotenziale a maglie tridimensionali. La **Figura 7.3.9** illustra una rete equipotenziale interconnessa con i rispettivi collegamenti.

Se una rete equipotenziale viene installata nelle zone di protezione contro i fulmini, il campo magnetico calcolato in base alle formule sopra indicate verrà tipicamente ridotto ulteriormente di un fattore 2 (corrispondente a 6 dB).

7.3.1 Schermatura dei cavi

Gli schermi dei cavi servono a ridurre l'effetto dei disturbi sui conduttori attivi del cavo e la trasmissione di disturbi da parte dei conduttori attivi verso i sistemi vicini. Dal punto di vista della protezione contro fulmini e sovratensioni, è necessario prestare attenzione alle seguenti applicazioni delle linee schermate.

Nessuna messa a terra dello schermo

Alcuni sistemi di installazione raccomandano un cavo schermato, però vietano la messa a terra della schermatura (ad esempio KNX). Senza collegamento della schermatura, lo schermo non agisce contro i disturbi e quindi deve essere considerato come non esistente (**Figura 7.3.1.1**).

Messa a terra dello schermo su entrambi i lati

Lo schermo dei conduttori deve essere elettricamente continuo, a bassa resistenza, lungo tutto il percorso e deve essere collegato a terra almeno alle due estremità. Solo uno schermo collegato a terra su entrambi i lati può ridurre gli accoppiamenti induttivi e capacitivi (**Figura 7.3.1.2**).

Per evitare l'innesco di scariche pericolose, gli schermi dei cavi entranti in una struttura devono avere una determinata sezione minima. Se ciò non si verifica, le protezioni non sono in grado di trasportare le correnti di fulmine.

La sezione minima di uno schermo per conduttori (S_{cmin}), posato in aria o in modo isolato verso terra, dipende dalla sua resistenza specifica (ρ_c) (**Tabella 7.3.1.1**), dalla corrente di fulmine passante (I_f), dalla tensione impulsiva di isolamento del sistema (U_w) e dalla lunghezza della linea (L_c).

$$S_{cmin} = \frac{I_f \cdot \rho_c \cdot L_c \cdot 10^6}{U_w} [mm^2]$$

I_f può essere calcolata secondo la norma EC 62305-1 (EN 62305-1) - CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1). Poiché il sistema di collegamento della schermatura viene collaudato tipicamente con correnti di fulmine fino a 10 kA (10/350 μ s), questo valore, in prima approssimazione, può essere utilizzato come valore massimo.

U_w può essere interpretato in vari modi. Se lo schermo del cavo viene rimosso al punto di entrata nell'edificio, lontano dall'impianto interno, è determinante la resistenza del cavo alla tensione impulsiva. Se, tuttavia, lo schermo del cavo è continuo (ininterrotto) fino all'apparecchio terminale, bisogna valutare

la rigidità dielettrica dell'apparecchio utilizzatore (**Tabella 7.3.1.2**).

La differenza si vede nei due esempi seguenti.

- ➔ Cavo di telecomunicazione schermato fino al punto di ingresso nell'edificio, Al, sollecitato con 10 kA, lunghezza 100 m, resistenza dielettrica 5 kV.
 - $S_{cmin} \approx 6 \text{ mm}^2$
 - Inoltre è da osservare che il collegamento dello schermo alla barra equipotenziale principale è idoneo a condurre la corrente di fulmine.
- ➔ Cavo bus schermato fino all'apparecchio utilizzatore, Al, sollecitato con 5 kA, lunghezza 100 m, resistenza dielettrica 0,5 kV.
 - $S_{cmin} \approx 17 \text{ mm}^2$
 - Tali schermature per cavi bus però praticamente non sono realizzabili. Per questa ragione la linea descritta non è da considerare idonea a portare la corrente di fulmine.

Messa a terra indiretta della schermatura a una sola estremità

Per ragioni di funzionalità è possibile che gli schermi dei cavi siano collegati a terra da un solo lato. Mentre questo fornisce una certa attenuazione nei confronti dei campi di disturbo capacitivi, non fornisce alcuna protezione contro l'induzione elettromagnetica derivante dai fulmini. La ragione per la messa a terra della schermatura su un solo lato è il timore di correnti di compensazione a bassa frequenza. Negli impianti di grandi dimensioni, ad esempio, il cavo del bus si estende spesso per diverse centinaia di metri tra gli edifici. Specialmente negli edifici più vecchi, accade che una parte dell'impianto dei dispersori non sia più funzionante o non sia presente un sistema equipotenziale a maglie. In questo caso possono verificarsi dei disturbi dovuti ad una messa a terra multipla dello schermo. Le differenze di potenziale tra i diversi sistemi di dispersori possono produrre delle correnti di compensazione a bassa frequenza ($n \times 50 \text{ Hz}$) e dei transienti sovrapposti. In tale contesto sono possibili intensità di correnti fino ad alcuni ampere, il che può causare, in casi estremi, degli incendi sui cavi. Oltre a questo

Materiale della schermatura	ρ_c in Ωm
Rame	$17,241 \cdot 10^{-9}$
Alluminio	$28,264 \cdot 10^{-9}$
Piombo	$214 \cdot 10^{-9}$
Acciaio	$138 \cdot 10^{-9}$

Tabella 7.3.1.1 Resistività schermo ρ_c per materiali diversi

possono verificarsi dei disturbi di segnale causati da diafonia, se la frequenza del segnale si trova nella stessa gamma di frequenza del disturbo.

L'obiettivo è quello di rispettare i requisiti di compatibilità elettromagnetica (EMC) e di evitare le correnti di compensazione. Questo è possibile con la combinazione della messa a terra diretta dello schermo su un lato ed indiretta dall'altro lato. In un punto, come ad esempio una sala comando, tutti gli schermi vengono collegati direttamente al sistema equipotenziale locale. Alle estremità opposte dei conduttori, gli schermi vengono collegati indirettamente al potenziale di terra tramite spinterometri. Poiché la resistenza di uno spinterometro è di circa $10 \text{ G}\Omega$, in assenza di sovratensioni vengono evitate le correnti di compensazione. Se si verificano dei disturbi EMC dovuti a fulminazioni, lo spinterometro si innesca e scarica l'impulso senza danni. Così l'impulso restante sulle altre anime attive viene diminuito e gli apparecchi utilizzatori vengono sollecitati ancora meno. Lo scaricatore a due poli BLITZDUCTOR XT consente la messa a terra diretta o indiretta della schermatura. Un tubo a scarica di gas, che elimina le interferenze impulsive attraverso lo schermo del cavo, può essere installato su un lato tra lo schermo del cavo e il sistema equipotenziale di messa a terra per realizzare una messa a terra indiretta della schermatura (**Figura 7.3.1.3**). Combinando un morsetto schermato SAK BXT LR che conduce la corrente di fulmine e uno scaricatore BLITZDUCTOR XT, la codifica in morsettiera permette la scelta tra messa a terra diretta e indiretta dello schermo (**Figura 7.3.1.4**).

Messa a terra a bassa impedenza dello schermo

Gli schermi dei conduttori possono essere percorsi da correnti impulsive fino a diversi kA. Le correnti impulsive di fulmine fluiscono verso terra attraverso la schermatura e il morsetto della schermatura. L'impedenza della schermatura del cavo e del morsetto di collegamento dello schermo produce delle differenze di potenziale tra schermatura e terra. In questo caso possono instaurarsi delle tensioni fino ad alcuni kV che potrebbero distruggere l'isolamento dei conduttori e degli apparecchi collegati. Particolarmente critici sono gli schermi a maglie ampie e le schermature ritorte (pig-tail) per il collegamento alla morsettiera. La qualità della schermatura del cavo influisce sulla quantità dei collegamenti a terra dello schermo che si

Esempi:	Rigidità dielettrica
Cavo a bassa tensione	15 kV
Cavo per telecomunicazioni	5 kV
Lato utente	1,5 kV
Sistema di misura e controllo	0,5-1 kV

Tabella 7.3.1.2 Rigidità dielettrica

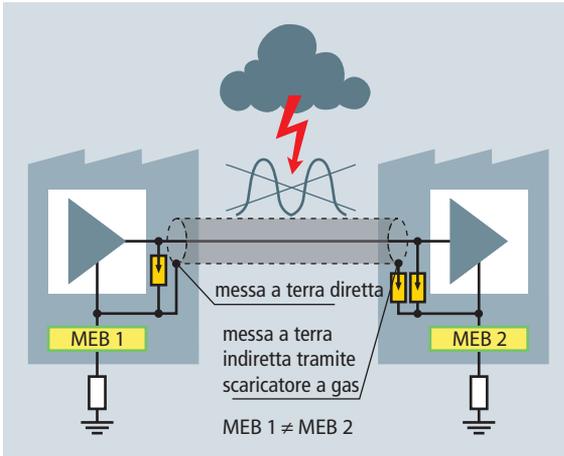


Figura 7.3.1.3 Schermo collegato su entrambi i lati - Messa a terra della schermo diretta e indiretta

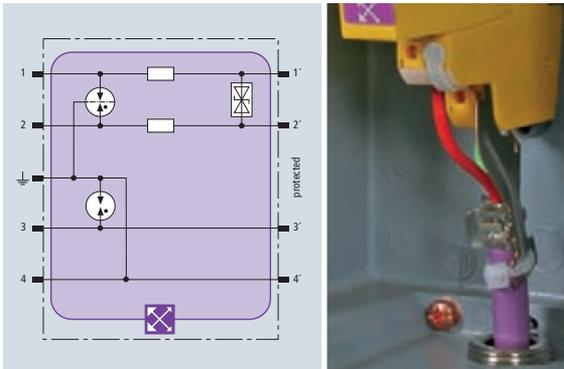


Figura 7.3.1.4 morsetto schermato BLITZDUCTOR XT con SAK BXT LR con messa a terra diretta o indiretta della schermatura

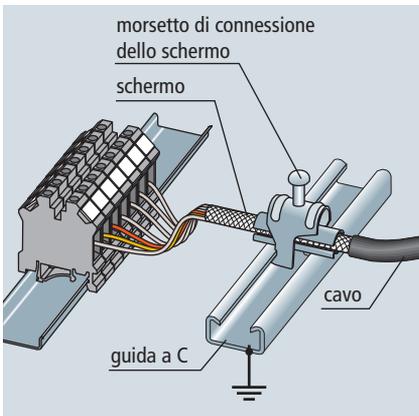


Figura 7.3.1.5 Connessione schermatura

rendono necessari. In certi casi è necessaria una messa a terra a intervalli di 10 metri per ottenere un effetto di schermatura sufficiente. Per il collegamento dello schermo si raccomandano dei morsetti a grande superficie di contatto dotati di molle scorrevoli. Questo è importante per compensare il cedimento dell'isolamento in plastica dei conduttori (Figura 7.3.1.5).

Lunghezza massima dei cavi schermati

Gli schermi dei cavi possiedono una cosiddetta resistenza di accoppiamento, che corrisponde all'incirca alla resistenza in corrente continua, indicata dal costruttore. A causa di questa resistenza, si crea sulla schermatura del conduttore una caduta di tensione quando viene attraversato da un disturbo impulsivo. La resistenza di accoppiamento ammissibile per lo schermo del cavo può essere determinata in base alla rigidità dielettrica dell'apparecchio utilizzatore e del cavo, nonché alla lunghezza del cavo. È importante che la caduta di tensione sia inferiore alla tensione di isolamento del sistema (Figura 7.3.1.6). Se questo non è possibile, è necessario l'utilizzo di scaricatori.

Estensione delle zone LPZ con l'ausilio di conduttori schermati

Secondo la norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4), non devono essere installati scaricatori se si usa un cavo schermato tra due identiche LPZ. Ciò vale per i disturbi prevedibili nell'ambiente circostante al conduttore schermato (ad esempio campi elettromagnetici) e con collegamenti equipotenziali a maglia conformi alla normativa. Tuttavia, va osservato che possono derivare dei pericoli a seconda delle condizioni di installazione e che possono rendersi necessari degli scaricatori. I rischi potenziali tipici sono: l'alimentazione degli apparecchi utilizzatori da sistemi di distribuzione a bassa tensione diversi, sistemi TN-C, elevate resistenze di accoppiamento degli schermi dei cavi, oppure messa a terra insufficiente delle schermature. Bisogna usare cautela in caso di cavi con schermature scarsamente ri-

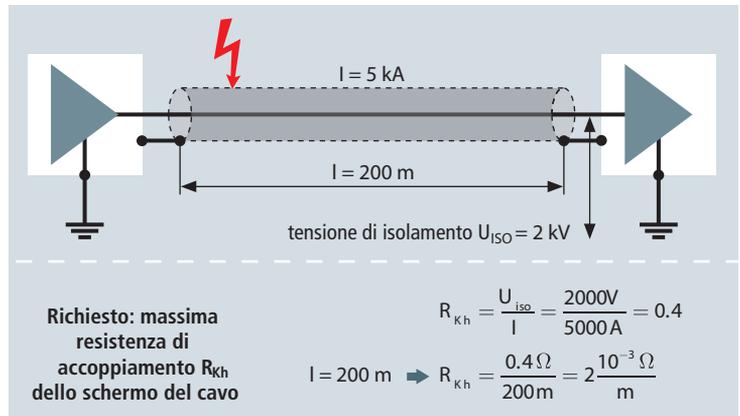


Figura 7.3.1.6 Collegamento dello schermo sui due lati - schermatura contro l'accoppiamento capacitivo/induttivo

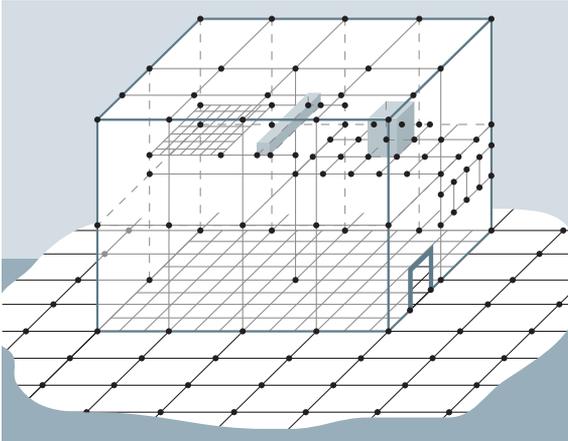


Figura 7.4.1 Rete equipotenziale in una struttura

coperte, che vengono spesso utilizzati per motivi economici. Questo porta a interferenze residue sulle anime del cavo che conducono i segnali. Tali disturbi possono tuttavia essere controllati con un cavo schermato di qualità, oppure con l'utilizzo di dispositivi di protezione da sovratensione.

7.4 Rete equipotenziale

Il compito principale della rete equipotenziale è quello di impedire il formarsi di pericolose differenze di potenziale tra gli apparecchi o gli impianti nelle zone LPZ interne e di ridurre il campo magnetico del fulmine. La rete di collegamento a bassa induttanza richiesta si ottiene grazie a collegamenti multipli tra tutti i componenti metallici, mediante conduttori di collegamento equipotenziale all'interno della LPZ della struttura. In questo modo si crea una rete interconnessa tridimensionale (Figura 7.4.1). Le componenti tipiche della rete sono:

- ➔ tutte le installazioni metalliche (ad esempio tubazioni, caldaie)
- ➔ armature nel calcestruzzo (nei pavimenti, pareti, soffitti)
- ➔ griglie (ad esempio piani intermedi)
- ➔ condotti dei cavi
- ➔ condotti di aerazione
- ➔ guide di ascensori
- ➔ pavimenti in metallo
- ➔ linee di alimentazione.

Una struttura a griglia della rete di collegamento equipotenziale di circa 5 m x 5 m rappresenta la soluzione ideale. In genere, questo riduce il campo elettromagnetico del fulmine all'interno della LPZ di un fattore 2 (corrispondente a 6 dB).

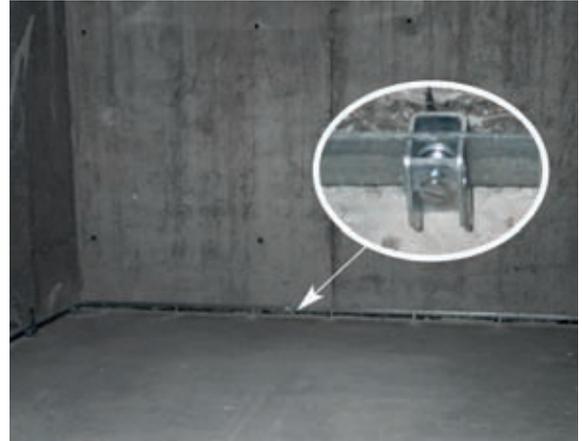


Figura 7.4.2 Collettore equipotenziale ad anello in un locale EDP

I contenitori e i rack di apparecchi e sistemi elettronici devono essere integrati con collegamenti corti verso la rete equipotenziale. Inoltre deve essere previsto nella struttura un numero sufficiente di barre equipotenziali e/o collettori equipotenziali ad anello (Figura 7.4.2). Questi a loro volta devono essere collegati con la rete equipotenziale (Figura 7.4.3).

I conduttori di protezione (PE) e gli schermi dei cavi di comunicazione degli apparecchi e dei sistemi elettronici devono essere integrati nella rete equipotenziale secondo le istruzioni fornite dal costruttore del sistema. È possibile realizzare una configurazione a maglia o a stella (Figura 7.4.4).

Nota: la rete di collegamento equipotenziale sopra descritta, realizzata secondo la norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4), che riduce le differenze di potenziale pericolose all'interno delle LPZ, integra nella struttura anche il sistema a maglia equipotenziale conforme alla norma IEC 60364-4-44 (HD 60364-4-444). Gli SPD ai confini tra le zone vengono collegati a questa struttura equipotenziale lungo il percorso più breve possibile.



Figura 7.4.3 Collegamento del collettore ad anello al sistema equipotenziale attraverso punto fisso di messa a terra

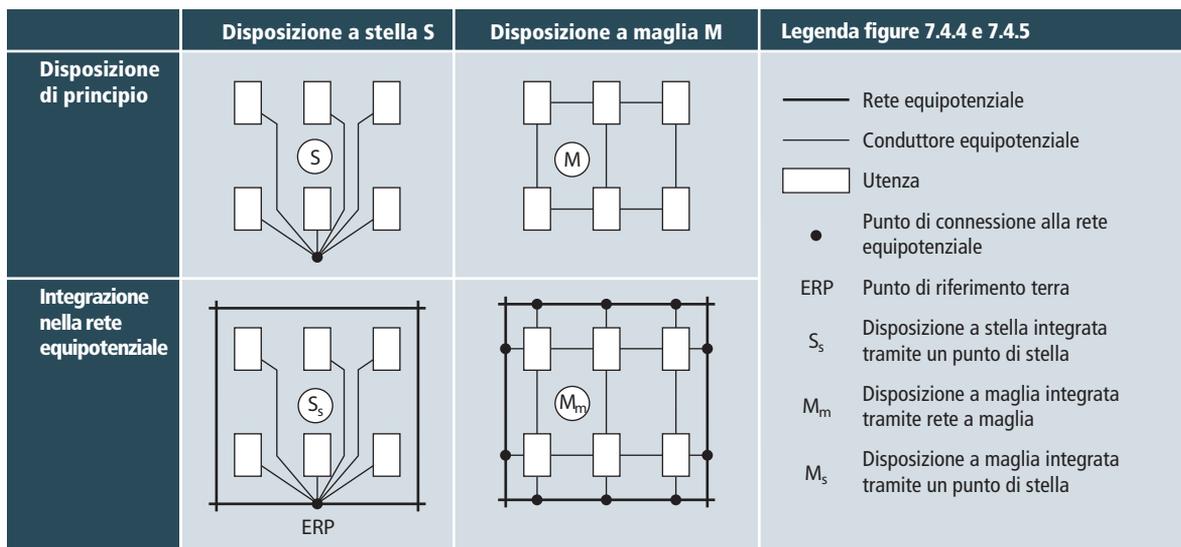


Figura 7.4.4 Integrazione di sistemi elettronici in rete equipotenziale secondo IEC 62305-4 (EN 62305-4)

Utilizzando una disposizione a stella S, tutte le componenti metalliche del sistema elettronico devono essere isolate in modo idoneo rispetto alla rete equipotenziale. Una disposizione a stella perciò, nella maggior parte dei casi, è limitata all'utilizzo in sistemi locali di piccole dimensioni. In tal caso tutti i conduttori devono entrare nell'edificio o in un locale dell'edificio da un unico punto. La disposizione a stella S può essere collegata al sistema equipotenziale solo tramite un unico punto di riferimento a terra (ERP). Questo si traduce nella configurazione S_s .

L'utilizzo della disposizione a maglie M non presuppone che tutte le componenti metalliche del sistema elettronico debbano essere isolate rispetto alla rete equipotenziale. Tutte le componenti metalliche vanno integrate nella rete equipotenziale nel maggior numero possibile di punti equipotenziali. La configurazione M_m risultante viene utilizzata per sistemi ampi e aperti, con molti conduttori tra i singoli apparecchi. Un altro vantaggio di questa configurazione è che i conduttori del sistema possono entrare in un edificio o in un locale in punti diversi.

Nei sistemi elettronici complessi possono anche essere combinate configurazioni a stella e a maglie (Figura 7.4.5) per beneficiare dei vantaggi di entrambe le configurazioni.

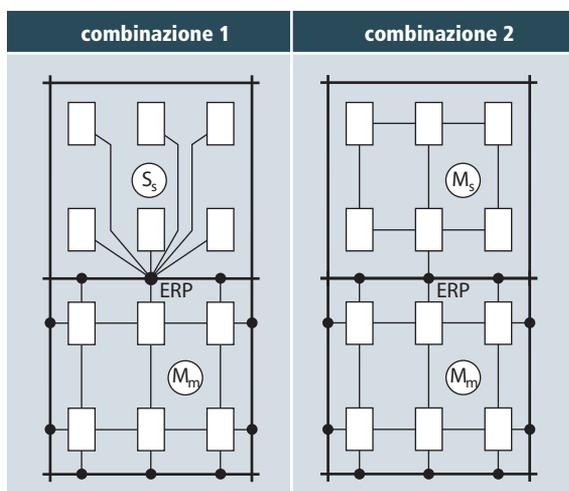


Figura 7.4.5 Combinazione dei metodi d'integrazione secondo la Figura 7.4.4

7.5 Collegamento equipotenziale al confine tra LPZ 0_A e LPZ 1

7.5.1 Collegamento equipotenziale per installazioni metalliche

Al confine tra le zone di protezione EMC è necessario realizzare delle misure per la riduzione del campo elettromagnetico irradiato, integrando nel collegamento equipotenziale, senza eccezioni, tutti i conduttori o sistemi che attraversano i confini tra le zone. Questo requisito del collegamento equipotenziale corrisponde essenzialmente a quella sulla protezione equipotenziale secondo la normativa IEC 60364-4-41 (HD 60364-4 -41), IEC 60364-5-54 (HD 60364-5 -54) e IEC 60364-5-54 (HD 60364-5 -54).

Materiale	Sezione
Cu	16 mm ²
Al	25 mm ²
Fe	50 mm ²

Tabella 7.5.1 Sezioni minime secondo la norma IEC 62305-3 (EN 62305-3), tabella 8



Figura 7.5.1.1 Collegamento EBB al dispersore fisso

Oltre alla protezione equipotenziale, per linee elettriche ed elettroniche deve essere realizzato anche un collegamento equipotenziale antifulmini (si veda anche il capitolo 7.5.2) in corrispondenza del rispettivo confine di zona. Questo sistema equipotenziale deve essere realizzato il più vicino possibile al punto in cui i conduttori e le strutture metalliche entrano nella zona. Le linee devono essere quanto più brevi possibili (bassa impedenza).

Per il collegamento equipotenziale vanno prese in considerazione le sezioni minime elencate nella **Tabella 7.5.1**, per il collegamento della barra equipotenziale ai dispersori, per il collegamento tra le diverse barre equipotenziali e per il collegamento delle installazioni metalliche alle barre di collegamento equipotenziale.

Le seguenti strutture metalliche devono essere collegate al sistema equipotenziale:

- ➔ canali portacavi metallici
- ➔ cavi e conduttori schermati
- ➔ armatura dell'edificio
- ➔ tubazioni idriche metalliche
- ➔ tubi di protezione metallici per conduttori

➔ altri sistemi di tubazioni metalliche o parti conduttive (ad esempio aria compressa)

Il collegamento a terra può essere effettuato in modo semplice ed esente da corrosione per mezzo di punti fissi di messa a terra. In questa fase si può collegare al sistema equipotenziale anche l'armatura metallica. La **Figura 7.5.1.1** mostra il collegamento della barra equipotenziale ai dispersori fissi e il collegamento dei tubi al sistema equipotenziale.

L'integrazione degli schermi dei cavi nel sistema equipotenziale è descritto nel capitolo 7.3.

7.5.2 Collegamento equipotenziale per impianti di alimentazione elettrica

Come nel caso delle installazioni metalliche, tutti gli impianti di alimentazione elettrica e le linee dati che entrano nell'edificio (passaggio da LPZ 0 a LPZ 1) vanno integrati nel sistema equipotenziale. Mentre il collegamento equipotenziale per linee dati è descritto nella sezione 7.5.3, il collegamento equipotenziale per linee elettriche sarà descritto in questa sezione. I passaggi tra le zone LPZ 0_A e LPZ 1 sono definiti in base all'esecuzione costruttiva specifica dell'oggetto da proteggere. Per impianti alimentati a bassa tensione, la zona di confine LPZ 0_A/LPZ 1 si identifica di solito con il limite dell'edificio (**Figura 7.5.2.1**).

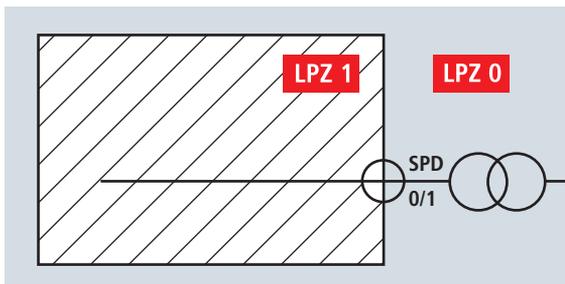


Figura 7.5.2.1 Trasformatore all'esterno della struttura

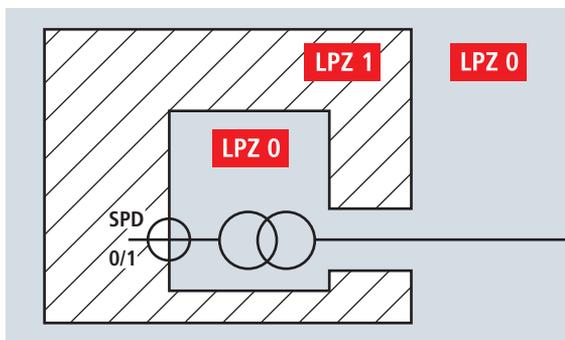


Figura 7.5.2.2 Trasformatore all'interno della struttura (zona LPZ 0 integrata nella zona LPZ 1)

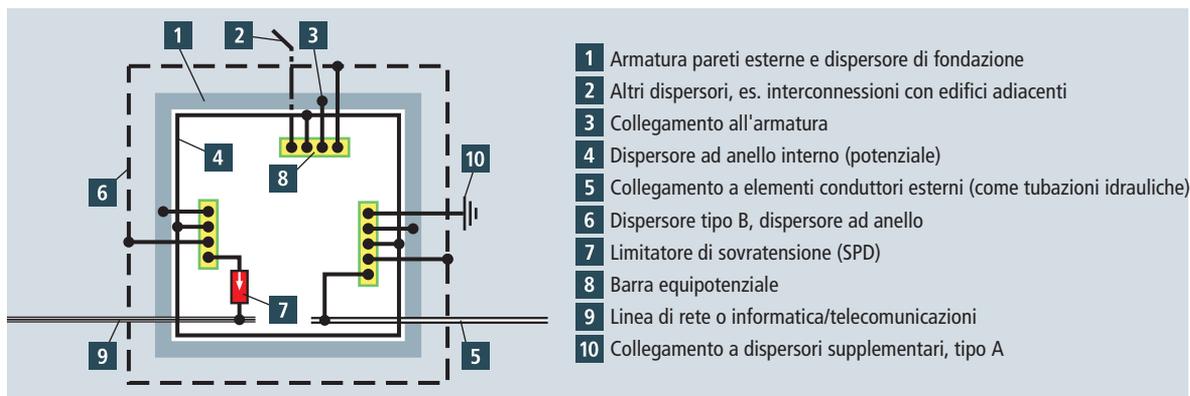


Figura 7.5.2.3 Esempio di collegamento equipotenziale in una struttura con più ingressi per i conduttori esterni e con un anello conduttore interno che collega le barre di collegamento equipotenziale

Livello di protezione contro i fulmini (in precedenza: classe LPS)	Capacità di condurre la corrente impulsiva di fulmine		
	Per i sistemi TN	Per i sistemi TN (L-N)	Nei sistemi TT (N-PE)
I	≥ 100 kA/m	≥ 100 kA/m	≥ 100 kA
II	≥ 75 kA/m	≥ 75 kA/m	≥ 75 kA
III/IV	≥ 50 kA/m	≥ 50 kA/m	≥ 50 kA

M: numero di conduttori, ad esempio m = 5, in caso di L1, L2, L3, N e PE

Tabella 7.5.2.1 Capacità richiesta di condurre la corrente di fulmine impulsiva per dispositivi di protezione contro le sovratensioni Tipo 1 in funzione del livello di protezione contro i fulmini e il tipo di impianto a bassa tensione (si vedano anche le linee guida tedesche VDN "Dispositivi di protezione contro le sovratensioni Tipo 1 - Linee guida per l'uso di dispositivi di protezione contro le sovratensioni (SPD) Tipo 1 nelle reti di alimentazione" e la norma IEC 60364-5-53 - HD 60364-5 - 534)

Per gli apparecchi alimentati direttamente dalla rete a media tensione, la zona LPZ 0_{As} si estende fino al secondario del trasformatore. Il collegamento equipotenziale avviene sul lato 230/400 V del trasformatore (Figura 7.5.2.2).

Per evitare danni al trasformatore, si consiglia di utilizzare i dispositivi di protezione sul lato di alta tensione del trasformatore.

Ulteriori schermature sulla linea di media tensione in entrata possono evitare il passaggio delle correnti di fulmine parziale dalla zona LPZ 0 nelle parti dell'impianto o dei sistemi posti nella zona LPZ 1.

Per evitare correnti di compensazione tra i diversi punti equipotenziali in un impianto elettrico, si suggerisce di realizzare il collegamento equipotenziale antifulmine di tutti i conduttori metallici entranti e dei conduttori di energia e dati in un unico punto centrale. Se questo non è possibile a causa delle condizioni locali, si consiglia di utilizzare una barra equipotenziale ad anello (Figure 7.5.2.3 e 7.5.2.4).

La capacità di scarico dello scaricatore per la corrente di fulmine utilizzato (SPD tipo 1) deve corrispondere alla sollecitazione nel punto di installazione in base al livello di protezione

contro i fulmini definito per l'apparecchiatura. Bisogna scegliere il livello di protezione contro i fulmini adeguato alla rispettiva struttura, in base a una valutazione del rischio. Se non è disponibile una valutazione del rischio oppure se non possono essere fatte delle considerazioni dettagliate riguardo alla ripartizione della corrente da fulmine nella zona di passaggio tra LPZ 0_A e LPZ 1, si suggerisce di scegliere il livello di protezione con i requisiti più alti (livello di protezione I). La sollecitazione di corrente risultante dei singoli percorsi di scarica è raffigurata nella Tabella 7.5.2.1. In questo contesto, si presume che la corrente totale (ad esempio 150 kA in caso di LPL II) sia distribuita uniformemente tra il sistema dei dispersori della costruzione e il numero di conduttori (m) degli SPD tipo 1 utilizzati nell'impianto a bassa tensione. Pertanto, la minima portata di corrente degli SPD tipo 1 è 75 kA/m in caso, per esempio, di LPL II.

L'integrazione 1 della norma tedesca DIN EN 62305-4 descrive inoltre la distribuzione della corrente di fulmine in funzione delle diverse condizioni di installazione. In caso di più sistemi di carico in parallelo, per esempio, la sollecitazione dell'edificio colpito da un fulmine è maggiore. La Figura 7.5.2.5 mostra

che la resistenza di terra risultante sull'impianto a bassa tensione (costituito da diversi edifici adiacenti e dal trasformatore) è bassa rispetto alla sola resistenza di terra dell'edificio colpito da un fulmine. **La Figura 7.5.2.6** mostra che la corrente non è distribuita in modo uniforme tra l'impianto a bassa tensione e il sistema dei dispersori. Gli SPD di tipo 1 nell'impianto a bassa

tensione devono scaricare una corrente notevolmente maggiore nel rispettivo edificio, rispetto al sistema dei dispersori. Tuttavia, l'integrazione 1 della norma tedesca DIN EN 62305-4 conferma che degli SPD di tipo 1 correttamente dimensionati (collaudati con forma d'onda da 10/350 μ s) proteggono in modo affidabile anche l'impianto a bassa tensione dai fulmini diretti, in caso di varie applicazioni e di vari scenari di pericolo.

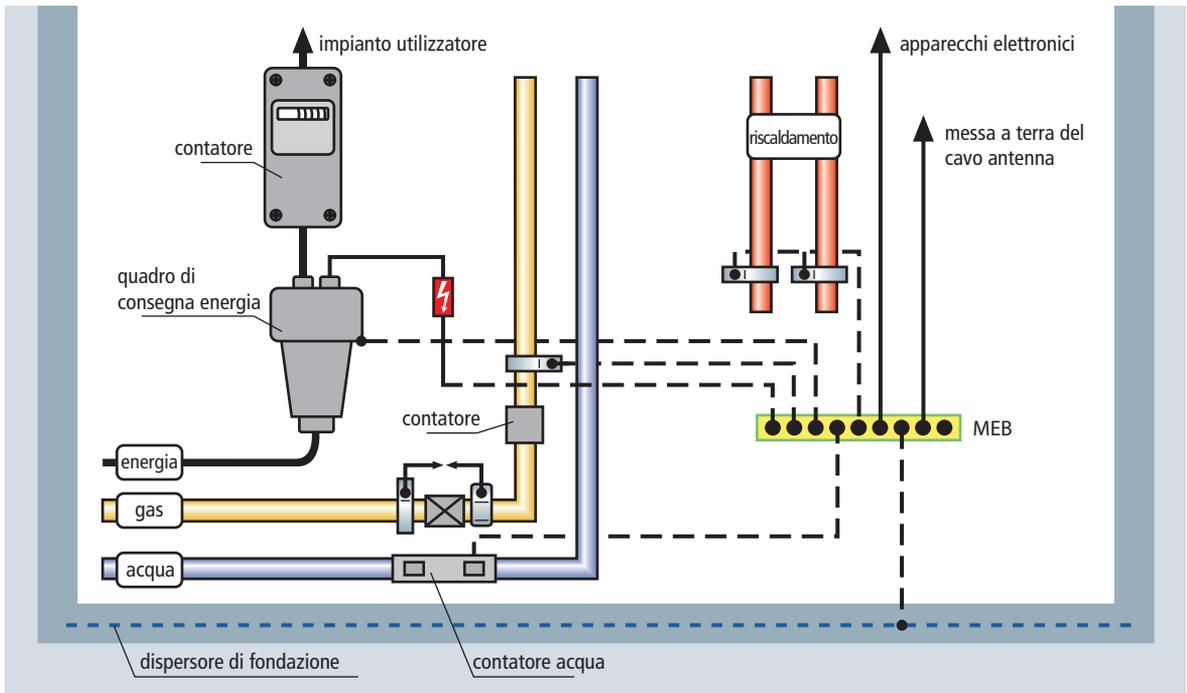


Figura 7.5.2.4 Protezione contro i fulmini interna con un punto di entrata comune a tutti i servizi

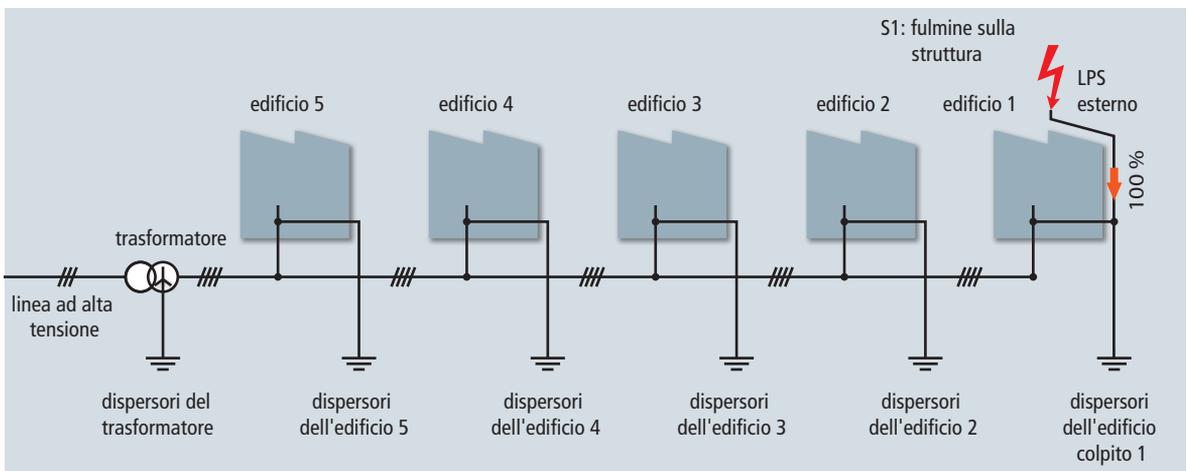


Figura 7.5.2.5 Modello di distribuzione della corrente da fulmine in caso di più carichi in parallelo - Schema monofilare

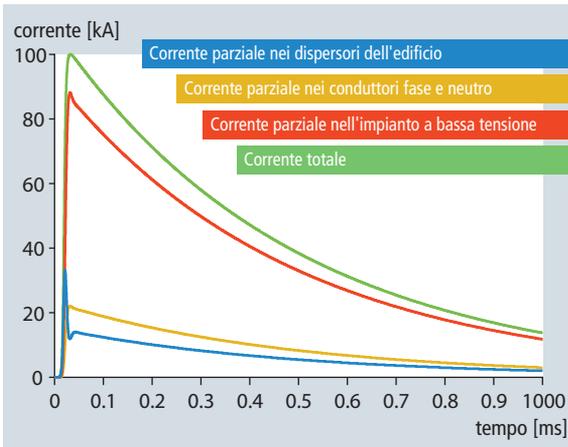


Figura 7.5.2.6 Modello di distribuzione della corrente da fulmine in caso di più carichi in parallelo - Schema monofilare

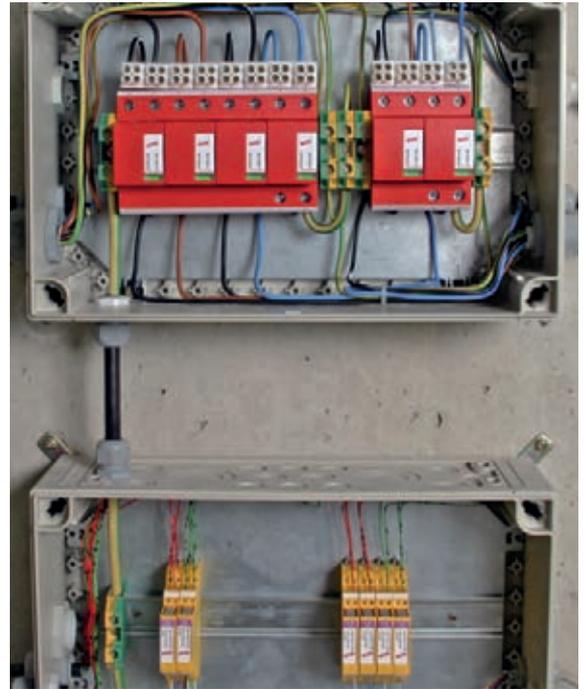


Figura 7.5.2.8 Collettore equipotenziale antifulmine unico per impianti di alimentazione e sistemi informatici collocato in posizione centralizzata.

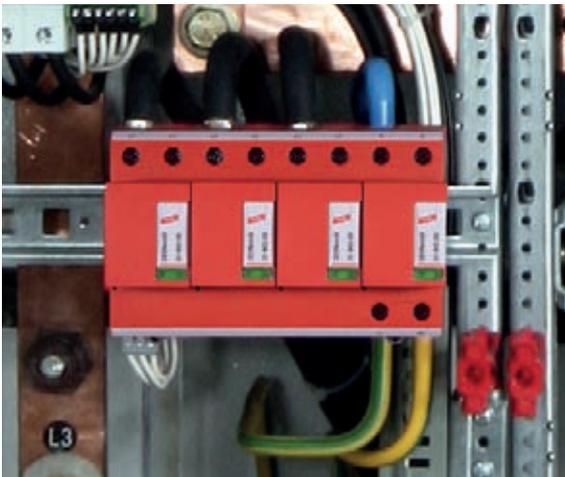


Figura 7.5.2.7 Scaricatore combinato DEHNventil

Durante l'installazione degli scaricatori della corrente di fulmine nella zona di passaggio tra LPZ 0_A e LPZ 1, si deve anche osservare che il punto raccomandato per l'installazione, all'ingresso del quadro di servizio, spesso richiede il consenso dell'azienda erogatrice (oppure, nella nuova nomenclatura, dei gestori della rete di distribuzione). I requisiti degli scaricatori della corrente di fulmine nei sistemi di alimentazione di rete sono definiti nelle linee guida della VDN (associazione



Figura 7.5.2.9 Scaricatori di corrente di fulmine nel passaggio da LPZ 0_A a LPZ 1

tedesca dei gestori di rete) 2004-08: "Überspannungs-Schutz-einrichtungen Typ 1. Richtlinie für den Einsatz von Überspannungs-Schutzeinrichtungen (ÜSE) Typ 1 Hauptstromversorgungs-systemen" [Dispositivi di protezione Tipo 1 - Linee guida per l'uso di dispositivi di protezione contro le sovratensioni (SPD) Tipo 1 nei sistemi di alimentazione] e IEC 60364-5-53 (HD 60364-5-534) (Figure da 7.5.2.7 a 7.5.2.9).

7.5.3 Collegamento equipotenziale per impianti informatici

LPZ 0_A – LPZ 1

Il collegamento equipotenziale antifulmine nella zona di passaggio tra LPZ 0_A e LPZ 1 deve essere realizzato per tutti i sistemi metallici entranti nella struttura. Le linee informatiche devono essere protette con scaricatori della corrente di fulmine dotati di un'adeguata capacità di scarica, posti quanto più vicino possibile al punto di ingresso dei cavi nella struttura. In generale è necessaria una capacità di scarica fino a 2,5 kA (10/350 µs) per ogni conduttore delle linee informatiche nel passaggio dalle zone LPZ 0_A a quelle LPZ 1. Tuttavia questo approccio di massima non viene utilizzato nel dimensionamento della capacità di scarica per gli impianti con più linee informatiche. Dopo aver calcolato la corrente parziale di fulmine prevista per un cavo informatico, la corrente di fulmine va in seguito divisa per il numero dei conduttori nel cavo, al fine ottenere la corrente impulsiva per ogni conduttore. Si veda a tal proposito la normativa, IEC 62305-1 (EN 62305-1) -

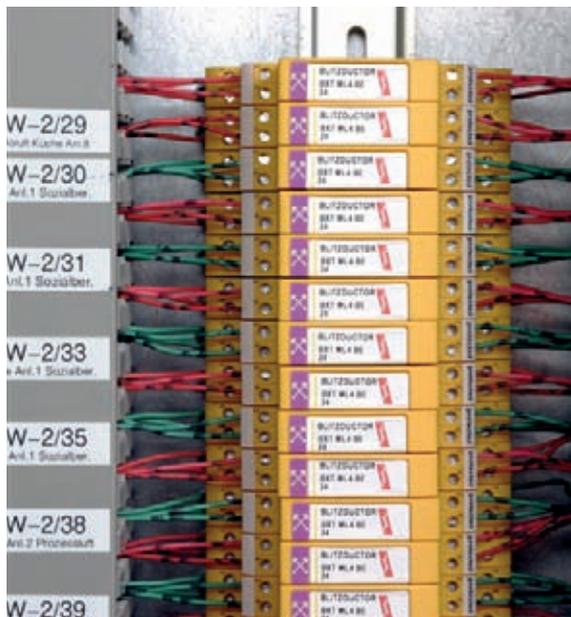


Figura 7.5.3.1 Uso degli scaricatori combinati BLITZDUCTOR XT

CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1). La sollecitazione dovuta alla corrente di fulmine parziale per ogni conduttore è inferiore in caso di cavi multipolari rispetto ai cavi con pochi conduttori. Per ulteriori informazioni si veda il paragrafo 6.3.

Pertanto possono essere usati soltanto i dispositivi di protezione per i quali viene specificata la corrente di scarica (10/350 µs) (Figura 7.5.3.1).

Se è installato un collegamento equipotenziale per le linee nel passaggio tra zone LPZ 0_B a LPZ 1, i dispositivi di protezione contro le sovratensioni con una capacità di scarica delle correnti impulsive fino a 20 kA (8/20 µs) sono sufficienti, poiché attraverso di essi non passano correnti di fulmine parziali accoppiate galvanicamente.

7.6 Collegamento equipotenziale al confine tra LPZ 0_A e LPZ 2

7.6.1 Collegamento equipotenziale per installazioni metalliche

Vedere capitolo 7.5.1.

7.6.2 Collegamento equipotenziale per impianti di alimentazione energetica

LPZ 0_A – LPZ 2

A causa della progettazione della struttura, spesso non è possibile evitare di predisporre un passaggio al confine tra zone LPZ 0_A e LPZ 2, soprattutto in caso di installazioni compatte (Figura 7.6.2.1).

La realizzazione di un tale passaggio tra zone LPZ diverse esige requisiti notevoli da parte dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni utilizzati e nei loro dintorni. A parte i parametri descritti in 7.5.2, va realizzato un livello di protezione che garantisca un funzionamento sicuro degli apparecchi e degli impianti nella zona LPZ 2. Una bassa tensione di protezione e una limitazione dell'energia delle interferenze trasmesse dallo scaricatore costituiscono la base per un sicuro coordinamento energetico con i dispositivi di protezione contro le sovratensioni della zona LPZ 2 o con componenti di limitazione delle sovratensioni posti nei circuiti di ingresso delle apparecchiature da proteggere. Con una tensione di protezione ≤ 1,5 kV, gli scaricatori spinterometrici combinati della famiglia DEHNventil e DEHNvenCII sono la soluzione ideale per tali applicazioni e forniscono una protezione ottimale degli apparecchi utilizzatori anche per apparecchiature sensibili con una tensione nominale di resistenza agli impulsi di 1,5 kV (categoria di sovratensione I secondo la norma IEC 60364-5-53 - HD 60364-5-534). Di conseguenza, essi permettono all'utente di combinare un collegamento equipotenziale antifulmine e la protezione coordinata degli apparecchi

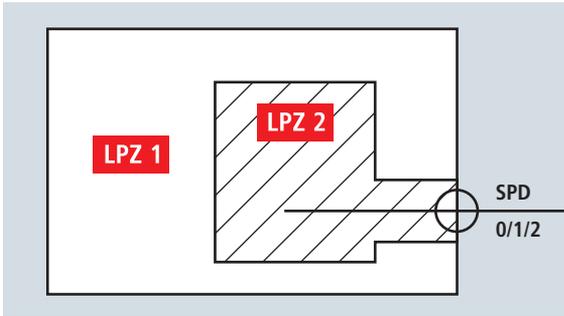


Figura 7.6.2.1 Un solo SPD (LPZ 0/1/2) necessario (LPZ 2 estesa all'interno di LPZ 1)



Figura 7.6.2.2 DEHNventil M TT 255

utilizzatori, cioè il coordinamento energetico di scaricatori di tipo 1, tipo 2 e tipo 3 entro i primi 5 m, in un unico dispositivo (Figura 7.6.2.2).

Poiché nel passaggio da LPZ 0 a LPZ 2 le due zone di protezione si trovano inevitabilmente una a contatto dell'altra, è assolutamente necessario un elevato grado di schermatura al confine delle due zone. In linea di principio si consiglia di ridurre al minimo l'area delle zone adiacenti LPZ 0 e LPZ 2. Se la struttura lo permette, la zona LPZ 2 deve essere provvista di un'ulteriore zona schermata, installata separatamente dalla zona schermata che trasporta la corrente di fulmine nella zona di confine LPZ 0, come si può vedere nella Figura 7.6.2.1, in modo che la zona LPZ 1 copra la maggior parte dell'installazione. L'attenuazione del campo elettromagnetico nella zona LPZ 2 realizzata da questo accorgimento elimina la necessità di una rilevante schermatura di tutte le linee e gli impianti nella LPZ 2.

7.6.3 Collegamento equipotenziale per impianti informatici

LPZ 0_A – LPZ 2

Uno scaricatore della corrente di fulmine da LPZ 0 a LPZ 1 scarica una gran parte dell'energia delle interferenze, proteggendo così l'impianto dell'edificio dai danni. Spesso tuttavia il livello di disturbo residuo è troppo alto per la protezione degli

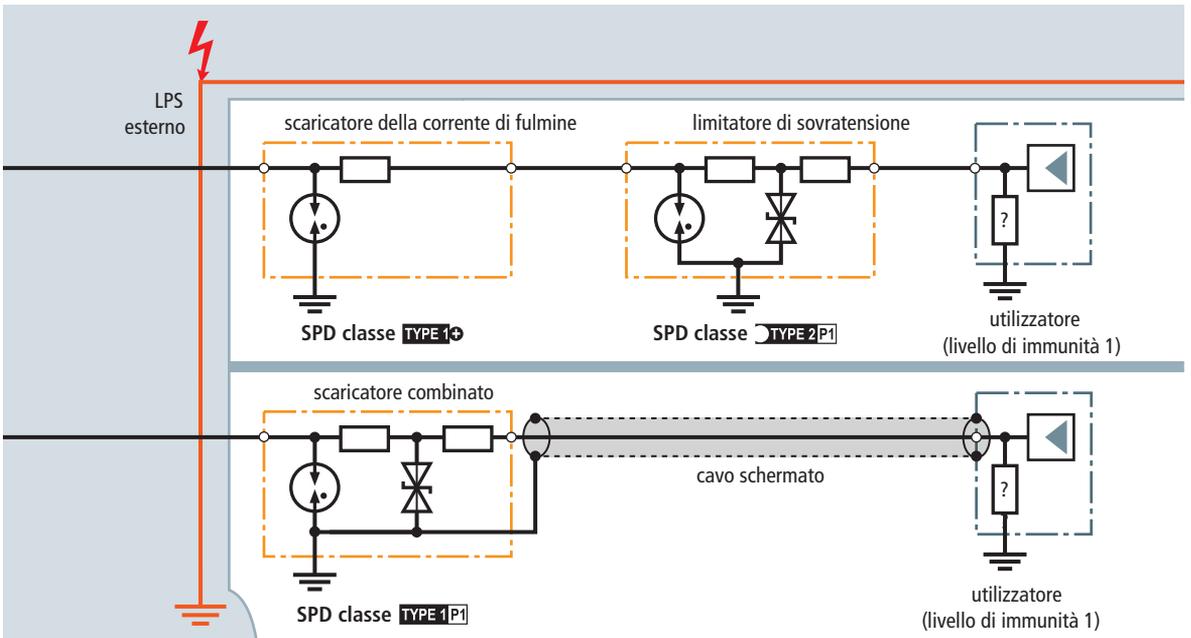


Figura 7.6.3.1 Guida alla combinazione delle classi SPD Yellow/Line (si veda anche la Figura 7.8.2.2).

apparecchi utilizzatori. In una fase ulteriore, altri dispositivi di protezione contro le sovratensioni vengono installati nella zona di passaggio tra LPZ 1 e LPZ 2 per limitare l'interferenza a un livello di tensione residua che dipende dalla rigidità dielettrica dell'apparecchio utilizzatore (**Figura 7.8.2.1**).

Se tra le zone LPZ 0 e LPZ 2 è presente un collegamento equipotenziale, saranno i criteri descritti nel capitolo 6.3 a determinare il luogo di installazione e la corrente di fulmine parziale dei singoli conduttori e delle schermature dei cavi.

Tuttavia cambiano i requisiti per i limitatori di sovratensione (SPD) da installare nel punto di passaggio tra le due LPZ e anche i requisiti del cablaggio a valle di tale passaggio. Deve essere utilizzato uno scaricatore combinato energeticamente coordinato con l'apparecchio utilizzatore (**Figura 7.6.3.1**). Gli scaricatori combinati hanno un'elevatissima capacità di scarico, un basso livello di interferenza residua e sono adatti a proteggere gli apparecchi utilizzatori. Inoltre va osservato che il cavo uscente dal dispositivo di protezione verso l'apparecchio utilizzatore deve essere schermato e lo schermo del conduttore deve essere collegato al sistema equipotenziale su entrambe le estremità.

L'uso di scaricatori combinati è consigliato se:

- ➔ gli apparecchi utilizzatori sono vicini all'entrata dei cavi nell'edificio,
- ➔ può essere stabilita una bassa impedenza del collegamento equipotenziale tra il dispositivo di protezione e l'apparecchio utilizzatore,
- ➔ la linea dal dispositivo di protezione all'apparecchio utilizzatore è completamente schermata,
- ➔ viene richiesta una soluzione particolarmente economica.

L'utilizzo separato di uno scaricatore di corrente da fulmine e di un limitatore di sovratensione viene consigliato se:

- ➔ ci sono lunghi cavi tra il dispositivo di protezione e l'apparecchio utilizzatore ed è prevedibile l'iniezione di interferenze
- ➔ i dispositivi di protezione delle linee di alimentazione e dei sistemi informatici sono collegati a terra attraverso barre equipotenziali diverse
- ➔ vengono utilizzati cavi non schermati
- ➔ possono verificarsi notevoli interferenze nella zona LPZ 1

7.7 Collegamento equipotenziale tra LPZ 1 e LPZ 2 e oltre

7.7.1 Collegamento equipotenziale per installazioni metalliche

Questo collegamento equipotenziale deve essere realizzato il più vicino possibile al punto di entrata dei conduttori e delle installazioni metalliche nella struttura.

Vanno collegati anche tutti gli impianti e le parti conduttrici come descritto nel capitolo 7.5.1.

I conduttori devono essere disposti lungo la via più breve possibile (bassa impedenza).

Un anello equipotenziale in queste zone permette un collegamento a bassa impedenza del sistema equipotenziale.

La **Figura 7.7.1.1** illustra i preparativi per il collegamento di una passerella al collettore ad anello nel passaggio tra le zone.

I seguenti impianti vanno collegati al sistema equipotenziale.

- ➔ canali portacavi metallici
- ➔ cavi e conduttori schermati
- ➔ armatura dell'edificio
- ➔ tubazioni idriche metalliche



Figura 7.7.1.1 Collettore equipotenziale ad anello e dispersore fisso per la connessione di installazioni metalliche

Materiale	Sezione
Cu	6 mm ²
Al	10 mm ²
Fe	16 mm ²

Tabella 7.7.1.1 Sezioni minime per collegamenti equipotenziali interni

- ➔ tubi di protezione metallici per conduttori
- ➔ altri sistemi di tubazioni metalliche o parti conduttive (ad esempio aria compressa)

Per i cavi di collegamento della barra equipotenziale dei dispersori e delle altre barre equipotenziali vanno usate le stesse sezioni come descritto nel capitolo 6.2.

Ridotte sezioni possono essere utilizzate per i passaggi tra le zone per collegare le installazioni metalliche ai sistemi di collegamento equipotenziale (**Tabella 7.7.1.1**).

7.7.2 Collegamento equipotenziale per impianti di alimentazione energetica

LPZ 1 – LPZ 2 e oltre

La limitazione delle sovratensioni e l'attenuazione del campo magnetico si ottengono anche per il passaggio dalla zona LPZ 1 alla zona LPZ 2 (e oltre) integrando sistematicamente la fornitura di energia elettrica e le linee dati nel sistema equipotenziale in corrispondenza di ogni passaggio tra zone LPZ diverse, in parallelo a tutti i sistemi metallici (**Figura 7.7.2.1**).

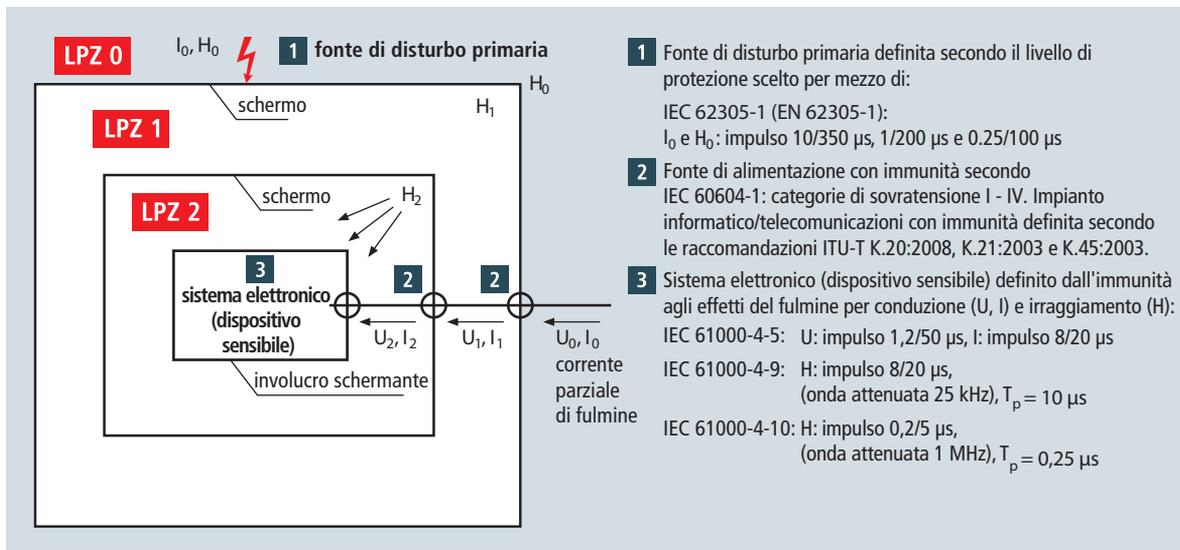


Figura 7.7.2.1 Sistema di protezione contro fulmini con schermatura spaziale e protezione contro le sovratensioni coordinata secondo la Figura A.1 della norma IEC 62305-4 (EN 62305-4)

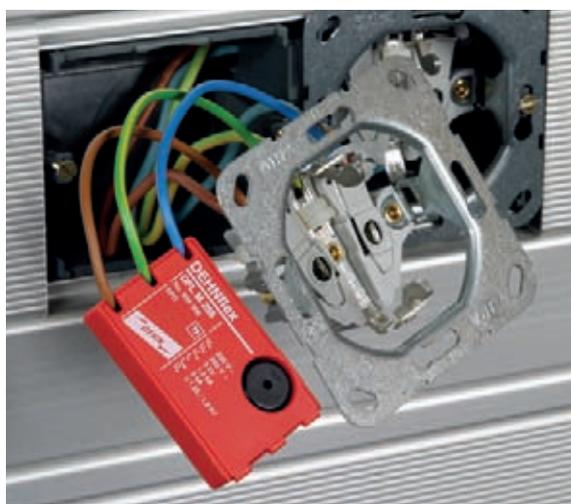


Figura 7.7.2.2 Dispositivo di protezione DEHNflex M contro le sovratensioni per circuiti terminali



Figura 7.7.2.3 Limitatore di sovratensione multipolare DEHNgard M TT

La schermatura dei locali e dei dispositivi attenua l'effetto elettromagnetico.

I dispositivi di protezione contro le sovratensioni utilizzati nelle zone di passaggio tra LPZ 1 e LPZ 2, o verso zone a protezione più elevata, hanno il compito di minimizzare ulteriormente le grandezze residue dei dispositivi di protezione da sovratensione a monte. Essi devono ridurre le sovratensioni indotte che agiscono sui conduttori installati nella zona LPZ e le sovratensioni provocate nella LPZ stessa. La capacità di scarico degli SPD da utilizzare può essere ricavata dalla Tabella E.2 della norma IEC 62305-1 (EN 62305-1). Gli SPD di Tipo 2 devono dunque essere in grado di scaricare almeno 5 kA (a 8/20 μ s) per fase senza essere distrutti. A seconda della posizione in cui vengono installate le misure di protezione è possibile attribuirle ad un'apparecchiatura specifica (protezione dell'apparecchio) (**Figura 7.7.2.2**) oppure rappresentano la base infrastrutturale per il corretto funzionamento di un'apparecchiatura o di un sistema (**Figura 7.7.2.3**). Così, si possono usare diversi tipi di dispositivi di protezione contro le sovratensioni nelle zone di passaggio tra LPZ 1 e LPZ 2 e superiori.

7.7.3 Collegamento equipotenziale per impianti informatici

LPZ 1 – LPZ 2 e oltre

Ulteriori misure devono essere prese nel passaggio tra zone LPZ diverse negli edifici per ridurre il livello di interferenza (**Figura 7.7.3.1**). Poiché nella zona LPZ 2, o superiore, generalmente sono installati degli apparecchi utilizzatori, le misure di protezione devono garantire un livello di disturbo residuo inferiore ai valori ammissibili dagli apparecchi stessi. Tale obiettivo può essere raggiunto mediante:

- ➔ installazione dei dispositivi di protezione da sovratensione vicino agli apparecchi utilizzatori
- ➔ integrazione delle schermature dei conduttori nel sistema equipotenziale
- ➔ collegamento del sistema equipotenziale a bassa impedenza degli SPD dei sistemi informatici con l'apparecchio utilizzatore e l'SPD per l'impianto di alimentazione di rete
- ➔ coordinamento energetico dell'SPD a monte con SPD e apparecchio utilizzatore
- ➔ distanza di almeno 130 mm tra le linee di telecomunicazioni e le lampade a scarica di gas
- ➔ posizionamento del quadro di distribuzione e del quadro dati in armadi elettrici diversi
- ➔ i conduttori in bassa tensione e i conduttori di telecomunicazione devono incrociarsi con un angolo di 90°
- ➔ incrocio dei cavi lungo il percorso più breve possibile



Figura 7.7.3.1 Protezione per utilizzatori elettronici industriali (p.es. un PLC) con BLITZDUCTOR XT e SPS-Protector

7.8 Coordinamento delle misure di protezione sui diversi confini LPZ

7.8.1 Impianti di alimentazione

Mentre la protezione contro le sovratensioni in un dispositivo (o direttamente a monte di esso) svolge la funzione di proteggere il dispositivo stesso, i dispositivi di protezione contro le sovratensioni nell'impianto hanno due funzioni. Da un lato i dispositivi di protezione contro le sovratensioni proteggono l'impianto, ma costituiscono anche il legame tra i parametri di pericolosità complessiva dell'impianto e l'immunità delle apparecchiature e dei sistemi da proteggere. I parametri di pericolosità del sistema e l'immunità ai disturbi dell'apparecchio da proteggere sono quindi dei fattori di dimensionamento per la cascata dei dispositivi di protezione da installare. Per assicurare il corretto funzionamento di questa serie di protezioni, a partire dallo scaricatore di corrente di fulmine fino alla protezione degli apparecchi utilizzatori, bisogna che ognuno dei dispositivi di protezione intervenga selettivamente, cioè che ogni stadio della protezione assorba la parte di energia del disturbo per la quale è stato progettato. Il coordinamento tra gli stadi della protezione è spiegato in dettaglio nell'Allegato J della norma IEC 61643-12 (CLC/TS 61643-12). Al fine di ottenere la selettività descritta nel funzionamento del dispositivo

di protezione contro le sovratensioni, i parametri dei singoli scaricatori devono essere coordinati in modo tale che se uno stadio di protezione deve sopportare un sovraccarico energetico a monte, il più potente scaricatore a monte "risponde" e quindi scarica l'energia delle interferenze. Per l'attuazione di tale coordinamento, si deve osservare che la forma d'onda dell'impulso con la più lunga durata deve essere considerato una minaccia per l'intera catena degli scaricatori. La famiglia di prodotti coordinati Red/Line è stata sviluppata per prevenire i rischi in caso di errato il coordinamento e il conseguente sovraccarico della protezione con un livello di energia inferiore. Questi dispositivi di protezione da sovratensioni coordinati, sia tra loro sia con l'apparecchio da proteggere, offrono all'utilizzatore la massima sicurezza. Disponibili come scaricatori della corrente di fulmine, scaricatori di sovratensioni e come scaricatori combinati, si adattano in modo ideale alle esigenze del passaggio tra le rispettive zone LPZ (**Figure da 7.8.1.1 a 7.8.1.3**).

Soprattutto nel caso di scaricatori Tipo 1 o di scaricatori combinati, bisogna fare attenzione soprattutto alla tecnologia utilizzata per lo scaricatore.

Gli scaricatori di Tipo 1 devono essere in grado di proteggere l'impianto elettrico da correnti di fulmine con forma d'onda di 10/350 μ s. La caratteristica di questo tipo di corrente impulsiva è il tempo di dimezzamento estremamente lungo di 350 μ s. Nel seguito verrà messo a confronto il diverso comportamento di spinterometri e varistori nel caso di questo tipo di carico.

Spinterometro

- ➔ Dopo un periodo di tempo estremamente breve, la tensione scende alla cosiddetta tensione di arco che nel caso di un moderno limitatore di corrente spinterometrico è tipicamente dell'ordine della tensione di alimentazione.
- ➔ La caratteristica di commutazione in tensione dello spinterometro agisce come un interruttore della forma d'onda. La forma d'onda della corrente impulsiva di fulmine viene "interrotta", riducendo così notevolmente la durata degli impulsi. Questa riduzione della durata degli impulsi riduce a valori molto bassi anche l'area sottesa nella parte rimanente della curva tensione-tempo, il che è decisivo per il carico sulle protezioni a valle e per gli apparecchi utilizzatori.

Varistore

- ➔ Un varistore limita la tensione per un tempo più lungo a un livello che di solito è significativamente superiore alla tensione di arco di uno spinterometro e alla tensione nominale del sistema di alimentazione.

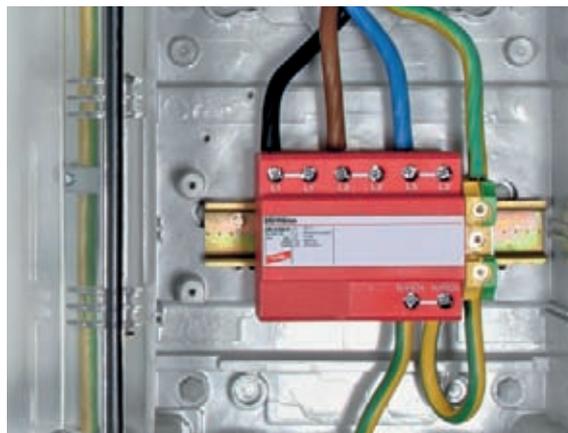


Figura 7.8.1.1 Scaricatore della corrente di fulmine DEHNbloc tripolare



Figura 7.8.1.2 Limitatore di sovratensione multipolare DEHNguard M TT

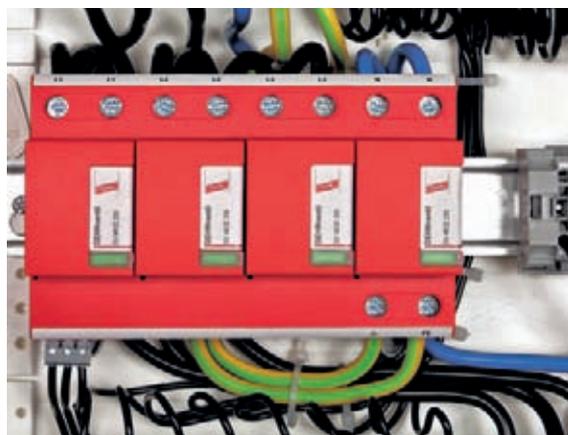


Figura 7.8.1.3 Scaricatore combinato modulare DEHNventil M TNS

➔ Pertanto, l'area sottesa alla curva tensione-tempo di un varistore è considerevolmente maggiore rispetto a quella di uno spinterometro. Questa alta tensione viene applicata per tutta la durata degli impulsi. Quindi gli apparecchi e gli impianti posti a valle di un varistore sono soggetti a un carico notevolmente superiore rispetto al caso di uno spinterometro. Il risultato è la distruzione degli apparecchi o la riduzione della loro durata.

Per verificare queste considerazioni teoriche, sono state effettuate le prove di coordinamento di cui all'allegato J della norma IEC 61643-12 (CLC/TS 61643-12) mediante scaricatori convenzionali Tipo 1, spinterometrici e a varistore che, secondo il produttore, sono adatti per proteggere gli apparecchi utilizzatori (scaricatori combinati). In questo processo è stato sottoposto a prova il coordinamento con un varistore di riferimento del tipo S20K275, che è un tipico circuito di protezione posto in un apparecchio utilizzatore con tensione di alimentazione di 230 V.

Un criterio di valutazione del coordinamento è l'energia trasmessa da un SPD tipo 1 che raggiunge gli apparecchi utilizzatori (varistore di riferimento). Questa energia è stata misurata per diversi valori di ampiezza della corrente impulsiva a 10/350 μ s, fino al valore massimo specificato dal costruttore (12,5 kA). A partire da 0 kA, i valori di ampiezza vengono aumentati a piccoli passi per evitare i punti ciechi negli SPD a commutazione di tensione. I punti ciechi sono quei bassi valori di ampiezza dell'impulso in corrente a 10/350 μ s che non sono ancora in grado di far intervenire gli SPD azionati in tensione e quindi caricare il varistore di riferimento con la massima energia.

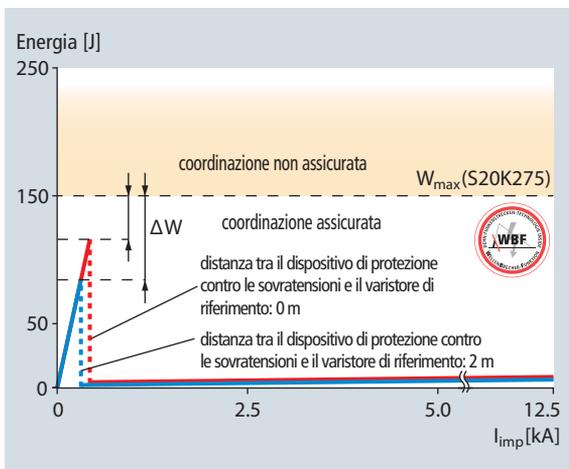


Figura 7.8.1.4 Curva dell'energia passante al varistore di riferimento con un SPD spinterometrico Tipo 1 posto a monte

SPD spinterometrici di tipo 1

Il grafico della **Figura 7.8.1.4** mostra la curva di energia passante in funzione della corrente impulsiva a 10/350 μ s per questa configurazione.

Dal grafico si può osservare quanto segue.

- ➔ La massima energia ammissibile in ingresso di 150 J per il varistore S20K275 non viene superata per alcuna delle correnti impulsive applicate.
- ➔ Anche nel caso di una distanza di 0 m tra il dispositivo di protezione contro le sovratensioni e il varistore di riferimento (coordinamento diretto), è presente una sufficiente "riserva di energia" ΔW in aggiunta alla massima energia ammissibile del varistore spinterometrico.
- ➔ In caso di una lunghezza del cavo maggiore (ad esempio 2 m) tra il dispositivo di protezione contro le sovratensioni e il varistore di riferimento, la "riserva di energia" ΔW può aumentare anche in modo notevole.

Il coordinamento con il varistore di riferimento è pienamente garantito per tutta la durata dell'impulso in corrente da 10/350 μ s in esame (informazioni fornite dal costruttore: $I_{imp} = 12,5$ kV).

SPD del tipo 1 a varistore

Gli SPD del tipo 1 a varistore sono dispositivi per i quali il costruttore specifica una massima tensione operativa continua U_c di 280 V. Questo valore viene in genere utilizzato negli impianti a bassa tensione (230/400 V).

La **Figura 7.8.1.5** mostra la curva di energia passante al varistore di riferimento per questo tipo di dispositivo.

Dal grafico si può osservare quanto segue.

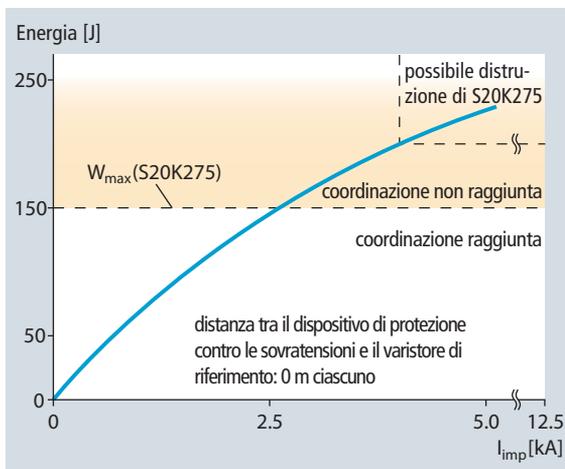


Figura 7.8.1.5 Curva dell'energia passante al varistore di riferimento con un SPD a varistore Tipo 1 posto a monte

- ➔ Si vede che il varistore di riferimento a valle è energeticamente sovraccaricato da un impulso di circa 2,5 kA (10/350 μ s) e può essere distrutto da impulsi di circa 4 kA (10/350 μ s).
- ➔ Nel caso di dispositivi con tensione nominale maggiore (ad esempio $U = 335$ V), il sovraccarico energetico e la distruzione possono verificarsi anche con valori di corrente impulsiva inferiore, a causa della distribuzione della corrente impulsiva più sfavorevole tra SPD e il varistore di riferimento.
- ➔ In confronto al valore massimo specificato della corrente impulsiva di 12,5 kA, anche correnti impulsive estremamente basse possono produrre un sovraccarico energetico delle protezioni a valle o degli apparecchi utilizzatori. In pratica, questi elementi sarebbero stati danneggiati o addirittura distrutti.

Lo scenario che prevede una maggiore lunghezza del cavo (2 m) tra il dispositivo di protezione contro le sovratensioni e il varistore di riferimento non è contemplato in quanto non vi è quasi nessuna differenza tra i valori indicati, a causa della tecnologia utilizzata.

I risultati sopra descritti mostrano chiaramente che, senza una conoscenza dettagliata della struttura interna, un coordinamento energetico funzionante con i dispositivi di protezione posti a valle (tipo 2 e/o tipo 3) e con gli apparecchi utilizzatori si può ottenere solo per mezzo di scaricatori spinterometrici combinati (SPD tipo 1). La caratteristica di commutazione in tensione dello spinterometro attenua a un livello sufficientemente basso l'energia entrante della corrente di fulmine con forma d'onda 10/350 μ s, grazie alla sua funzione di interruttore della forma d'onda. Lo spinterometro assorbe quasi tutta l'energia, per cui il carico energetico sulle protezioni poste a valle è minima.

Questo non si verifica se viene utilizzato un SPD a varistore del tipo 1. Il bollettino 19 ABB emesso dal comitato tedesco per la protezione contro i fulmini e la ricerca sui fulmini (ABB) presso VDE specifica che il coordinamento generale è quasi escluso impiegando come SPD di Tipo 1 dei limitatori dei ten-

sione (varistori), poiché l'energia non viene "interrotta", ma solo limitata. Dato che in caso di dubbi si può sempre ipotizzare che i componenti del sistema di protezione e gli apparecchi terminali in un impianto a bassa tensione (230/400 V) abbiano un valore nominale di 275 V, il carico energetico su di essi sarebbe notevolmente più elevato, il che può danneggiare o distruggere i componenti o gli apparecchi utilizzatori collegati all'impianto elettrico anche in caso di basse correnti di fulmine.

7.8.2 Sistemi informatici

Nella realizzazione delle misure per la protezione degli edifici dalle interferenze degli effetti dei fulmini caduti nelle vicinanze, a una certa distanza e dei fulmini diretti, si consiglia di utilizzare un concetto di protezione SPD a più stadi. In questo modo si riduce il disturbo ad alta energia (corrente parziale di fulmine) in più parti, in quanto un primo stadio a monte assorbe parte dell'energia e impedisce che la parte principale del disturbo raggiunga l'impianto a valle (interruttore della forma d'onda). Gli stadi a valle riducono le interferenze a valori compatibili con il sistema. A seconda delle condizioni di installazione, si possono anche integrare diversi stadi della protezione in un unico dispositivo di protezione contro le sovratensioni, grazie a un circuito di protezione combinato (scaricatore combinato). I rispettivi confini tra le zone di protezione nei quali i dispositivi di protezione vengono installati in cascata sono ad esempio i passaggi tra zone di protezione contro i fulmini (LPZ), secondo la normativa IEC 62305-4 (EN 62305-4) - CEI EN 62305-4.

I dispositivi di protezione devono essere collegati in cascata tenendo conto dei criteri dei coordinamento.

Sono disponibili diversi metodi per determinare le condizioni di coordinamento secondo le norme IEC 61643-22 (CLC/TS 61643-22), alcuni dei quali richiedono conoscenze particolari sulla struttura dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni. Un metodo "a scatola nera" (black box) è il metodo cosiddetto "a energia passante" (let-through-energy), che si basa su dei parametri standard degli impulsi e perciò può essere trattato sia da un punto di vista matematico che pratico.

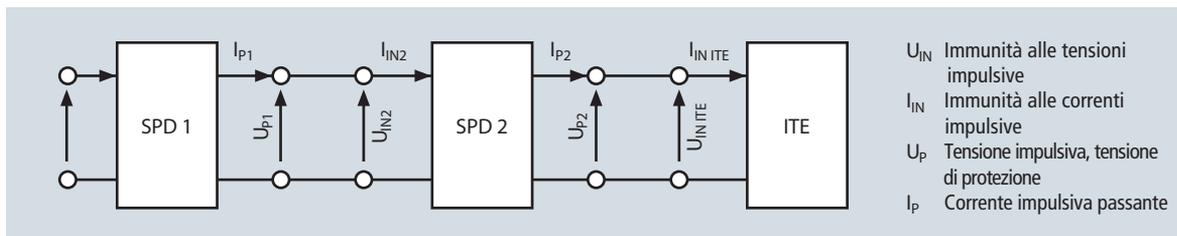


Figura 7.8.2.1 Coordinamento secondo il metodo della corrente passante di due dispositivi di protezione contro la sovratensione e un apparecchio utilizzatore, in cascata (secondo norma IEC 61643-22 - CLC/TS 61643-22)

Caratteristica	Simbolo	Descrizione
Capacità di scarico di uno scaricatore (secondo le categorie della norma IEC 61643-21 - EN 61643-21)	TYPE 1	Impulso D1 (10/350 μ s), corrente di fulmine impulsiva $\geq 2,5$ kA/ conduttore o ≥ 5 kA/ totale • Supera la capacità di scarica di TYPE 2 - TYPE 4
	TYPE 2	Impulso C2 (8/20 μ s), carico impulsivo aumentato $\geq 2,5$ kA/ conduttore o ≥ 5 kA/ totale • Supera la capacità di scarica di TYPE 3 - TYPE 4
	TYPE 3	Impulso C1 (8/20 μ s), carico impulsivo $\geq 0,25$ kA/ conduttore o $\geq 0,5$ kA/ totale • Supera la capacità di scarica di TYPE 4
	TYPE 4	Carico < TYPE 3
Effetto protettivo di uno scaricatore (limitazione sotto il livello di prova secondo la norma IEC 61000-4-5 - EN 61000-4-5)	P1	Livello di prova richiesto per l'apparecchio utilizzatore: 1 o superiore
	P2	Livello di prova richiesto per l'apparecchio utilizzatore: 2 o superiore
	P3	Livello di prova richiesto per l'apparecchio utilizzatore: 3 o superiore
	P4	Livello di prova richiesto per l'apparecchio utilizzatore: 4
Coordinamento energetico (con un altro scaricatore Yellow/ Line)	+	Scaricatore dotato di impedenza di disaccoppiamento, adatto per il coordinamento con uno scaricatore contrassegnato con \square
	\square	Scaricatore adatto per il coordinamento con un scaricatore dotato di impedenza di disaccoppiamento +

Tabella 7.8.2.1 Simboli delle classi SPD

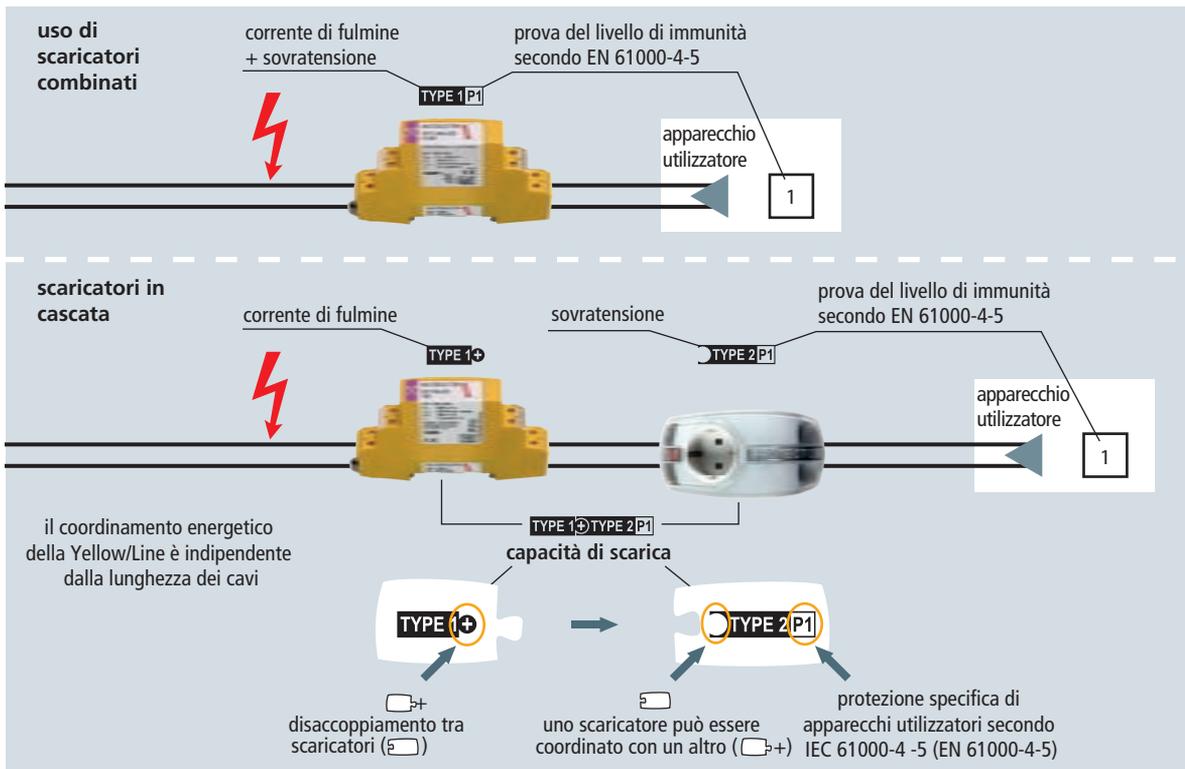


Figura 7.8.2.2 Esempio per il coordinamento energetico nell'applicazione degli scaricatori Yellow/Line e struttura del rispettivo simbolo

Percorso dei conduttori	Soluzione per lo scaricatore	Esempio di assegnazione delle classi SPD nel passaggio tra zone LPZ		
		verso LPZ 1	verso LPZ 2	verso LPZ 3
da LPZ 0 _A	Scaricatori combinati	TYPE 1 P1		
	Scaricatori in cascata	TYPE 1+	TYPE 2 P1	
		TYPE 1 C	TYPE 3 P1	
da LPZ 0 _B	Scaricatori combinati	TYPE 1 P1		
	Limitatori di sovratensione	TYPE 2 P1 o TYPE 2 P1		
	Scaricatori in cascata	TYPE 2 C	TYPE 3	
da LPZ 1	Scaricatori combinati	–	TYPE 1 P1	
	Limitatori di sovratensione	–	TYPE 2 P1 o TYPE 2 P1	
da LPZ 2	Scaricatori combinati	–	TYPE 1 P1	
	Limitatori di sovratensione	–	–	TYPE 2 P1
		–	–	TYPE 3 P1
		–	–	TYPE 4 P1

Tabella 7.8.2.2 Assegnazione delle classi SPD nel passaggio tra zone LPZ

Il metodo a cascata illustrato nella **Figura 7.8.2.1** si considera coordinato se i valori residui I_p (in caso di uscita in corto circuito) e U_p (in caso di uscita in circuito aperto) sono inferiori ai rispettivi valori di ingresso I_{IN}/U_{IN} .

Tuttavia questi metodi sono difficili da attuare per l'utente perché richiedono molto tempo. Per risparmiare tempo e lavoro, la norma consente anche di utilizzare per il coordinamento le informazioni fornite dal fabbricante.

Per scaricatori della corrente di fulmine installati in LPZ 0/1 o maggiori, in genere viene dichiarata la capacità di scaricare forme d'onda di 10/350 μ s. Per limitatori di sovratensioni, al contrario, viene dichiarata la capacità di scaricare forme d'onda di soli 8/20 μ s. Ciò è dovuto al fatto che i limitatori di sovratensione sono previsti principalmente per interferenze ad accoppiamento induttivo e capacitivo. Se, tuttavia, una linea che si estende oltre l'edificio risulta collegata ad una cascata comprendente scaricatori della corrente di fulmine e limitatori di sovratensione, dalle condizioni per il coordinamento si possono trarre le seguenti conclusioni:

- ➔ l'elemento più sensibile (limitatore di sovratensione) interviene per primo
- ➔ il limitatore di sovratensione deve essere in grado di trasportare anche una parte (sia pur ridotta) della corrente parziale di fulmine con forma d'onda di 10/350 μ s.

- ➔ prima che il limitatore di sovratensione venga sovraccaricato, lo scaricatore della corrente di fulmine deve intervenire e assorbire l'energia della scarica.

I dispositivi di protezione della famiglia Yellow/Line sono coordinati in modo sicuro e sequenziale tra loro e anche verso gli apparecchi utilizzatori. A tal fine, essi sono contrassegnati con il rispettivo simbolo indicante la classe SPD (**Tabella 7.8.2.1 e 7.8.2.2, Figura 7.8.2.2**).

7.9 Verifica e manutenzione dei sistemi di protezione LEMP

Per quanto riguarda l'ispezione e la manutenzione dei sistemi di protezione LEMP valgono le stesse regole e condizioni descritte nel capitolo 3.4 per l'ispezione e la manutenzione di sistemi di protezione antifulmini.

Le verifiche ispettive eseguite durante la costruzione sono particolarmente importanti perché numerosi componenti della protezione LEMP non sono più accessibili dopo il completamento della costruzione. Le misure necessarie (ad esempio collegamento dell'armatura) devono essere documentate con fotografie e inserite nel rapporto di ispezione.

Le ispezioni devono essere eseguite:

- ➔ durante l'installazione della protezione LEMP
- ➔ dopo l'installazione della protezione LEMP
- ➔ ad intervalli periodici
- ➔ dopo ogni modifica dei componenti, rilevanti per la protezione LEMP
- ➔ se necessario, dopo una fulminazione diretta della struttura.

A conclusione dell'ispezione, tutti i difetti riscontrati dovranno essere eliminati immediatamente. Se necessario deve essere aggiornata la documentazione tecnica.

In Germania è richiesto un controllo completo delle misure di protezione LEMP con periodicità minima variabile tra i due o i quattro anni, come parte del controllo dell'impianto elettrico.



Scelta, installazione e montaggio dei dispositivi di protezione dalle sovratensioni (SPD)

8.1 Impianti di alimentazione (nell'ambito del concetto di protezione da fulminazione a zone secondo IEC 62305-4 (CEI EN 62305-4) - CEI EN 62305-4), CEI 81-10/4

La realizzazione di un sistema di protezione contro i fulmini e le sovratensioni per impianti elettrici rappresenta lo stato corrente della tecnica ed è il presupposto infrastrutturale indispensabile per un funzionamento privo di disturbi e di problemi dei sistemi elettrici ed elettronici complessi. I requisiti posti agli SPD per la realizzazione di un tale sistema di protezione contro i fulmini e le sovratensioni nell'ambito del concetto di protezione a zone secondo la norma IEC 62305-4 - EN 62305-4 (CEI EN 62305-4) sono stabiliti nella norma IEC 60364-5-534 (HD 60364-5-534).

I dispositivi SPD utilizzati negli impianti fissi degli edifici sono classificate nei Tipi 1, 2 e 3, in funzione delle esigenze e delle sollecitazioni nel luogo di installazione e sono collaudati secondo la norma IEC 61643-11 (CEI EN 61643-11 - CEI 37-8).

I requisiti più stringenti per quanto riguarda la capacità di scarica sono quelli dei dispositivi SPD Tipo 1. Questi dispositivi sono utilizzati negli impianti di protezione contro i fulmini

e le sovratensioni nella zona di confine tra LPZ 0_A e LPZ 1 (e superiori), come mostrato nella **Figura 8.1.1**. Questi dispositivi di protezione contro le sovratensioni devono essere in grado di condurre ripetutamente le correnti di fulmine con forma d'onda 10/350 µs prevenendo la distruzione delle apparecchiature. Gli SPD Tipo 1 sono denominati scaricatori della corrente di fulmine. La loro funzione è quella di evitare che le distruttive correnti parziali di fulmine penetrino nell'impianto elettrico di un edificio.

Per la protezione contro le sovratensioni indotte si impiegano SPD Tipo 2 con una capacità di scarica di alcune decine di kA (8/20 µs) nella zona di confine tra LPZ 0_B e LPZ 1 (e superiori) o tra LPZ 1 e LPZ 2 (e superiori).

L'ultimo anello del sistema di protezione contro i fulmini e le sovratensioni per gli impianti di alimentazione elettrica è rappresentato dalla protezione degli apparecchi utilizzatori (passaggio dalla zona di protezione LPZ 2 alla zona LPZ 3 e superiori). La funzione principale di un dispositivo di protezione contro le sovratensioni Tipo 3 installato in questo punto è di offrire una protezione contro le sovratensioni che sorgono tra i conduttori di un impianto elettrico, in particolare le sovratensioni di commutazione.

Una sintesi delle diverse funzioni, disposizioni e requisiti per gli scaricatori si trova nella **Tabella 8.1.1**.

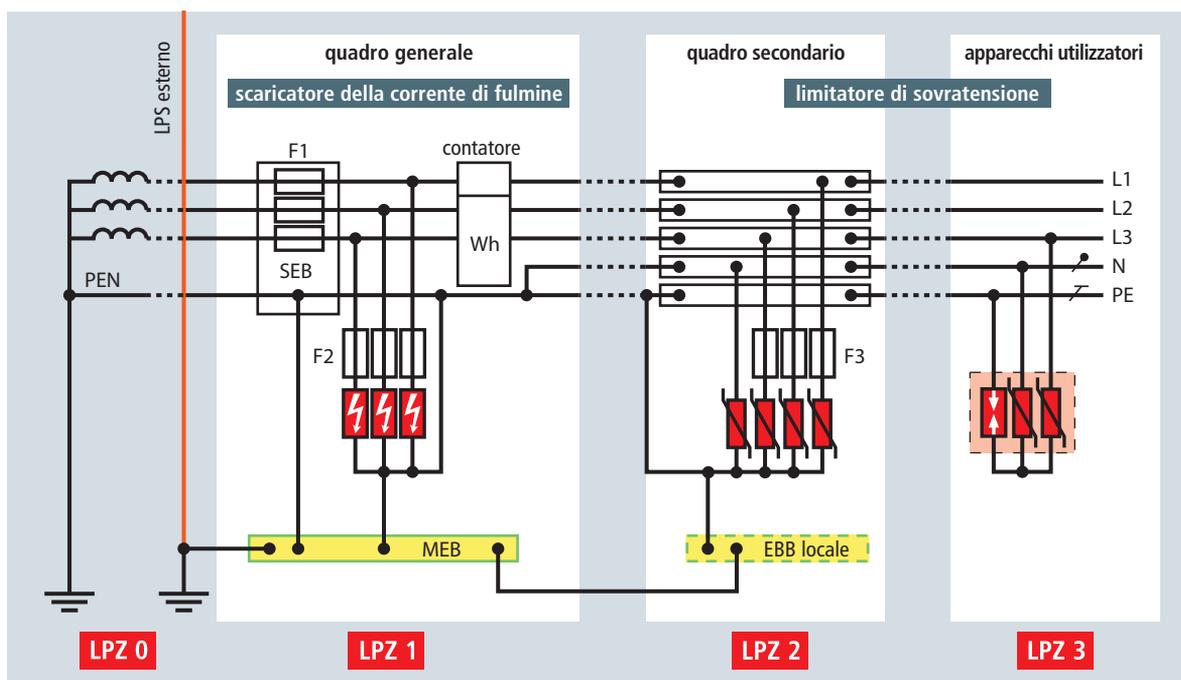


Figura 8.1.1 Utilizzo di scaricatori negli impianti di alimentazione elettrica (schema di principio)

Tipo / Designazione	Norma	CEI EN 61643-11:2014	IEC 61643-11:2011
Scaricatore della corrente di fulmine / scaricatore combinato		SPD Tipo 1	SPD Classe I
Limitatori di sovratensioni per i quadri di distribuzione principali e secondari e impianti fissi		SPD Tipo 2	SPD Classe II
Limitatori di sovratensioni di per le prese di corrente / apparecchi utilizzatori		SPD Tipo 3	SPD Classe III

Tabella 8.1.1 Classificazione dei dispositivi di protezione secondo IEC e EN

8.1.1 Caratteristiche dei dispositivi SPD

Tensione massima continuativa di esercizio U_C

La tensione massima continuativa di esercizio (in precedenza: tensione nominale) è il valore efficace (RMS) della tensione massima applicabile durante il funzionamento ai morsetti del dispositivo di protezione da sovratensioni, corrispondentemente etichettato. È la tensione massima applicata allo scaricatore nello stato definito non conduttivo, in grado di ripristinare la condizione dopo l'innesco e la scarica.

Il valore di U_C dipende dalla tensione nominale del sistema da proteggere e dai requisiti standard di installazione (IEC 60364-5-53 - HD 60364-5-534). Negli impianti a 230/400 V, considerando una tolleranza della tensione del 10 % per impianti TN e TT, si ha una tensione massima continuativa di esercizio U_C di 255 V.

Corrente impulsiva da fulmine I_{imp}

Si tratta di una curva della corrente impulsiva standardizzata con forma d'onda 10/350 μ s. Riproduce con i suoi parametri (valore di picco, carica, energia specifica) la sollecitazione impressa delle correnti di fulmine naturali.

Le correnti impulsive di fulmine (10/350 μ s) richiedono SPD Tipo 1. Essi devono essere in grado di scaricare tali correnti impulsive di fulmine più volte senza che si verifichi la distruzione dell'apparecchiatura.

Corrente di scarica nominale I_n

La corrente di scarica nominale I_n è il valore di cresta della corrente che scorre attraverso il dispositivo di protezione da sovratensione (SPD). È un impulso di corrente con forma d'onda 8/20 μ s ed è il riferimento per la classificazione delle prove su SPD Tipo 2.

Livello di protezione U_p

Il livello di protezione di un SPD definisce il massimo valore istantaneo della tensione ai terminali di un SPD, e allo stesso tempo ne caratterizza la capacità di limitare le sovratensioni ad un livello residuo.

A seconda del tipo di SPD, il livello di protezione è determinato dalle seguenti prove individuali:

- ➔ tensione impulsiva di innesco 1,2/50 μ s (100 %)
- ➔ tensione residua U_{res} alla corrente di scarica nominale (in conformità alla norma IEC 61643-11 - CEI EN 61643-11)

La scelta dei dispositivi di protezione da sovratensioni in base al luogo di utilizzo avviene secondo le categorie di sovratensione descritte nella norma IEC 60664-1 (CEI EN 60664-1). Va osservato che il valore minimo richiesto di 2,5 kV per un impianto trifase a 230/400 V vale solo per gli apparecchi degli impianti elettrici fissi. Gli apparecchi nei circuiti terminali, alimentati da questo impianto, richiedono un livello di protezione molto più basso dei suddetti 2,5 kV.

La norma IEC 60364-5-53 (HD 60364-5-534) richiede anche un livello minimo della tensione di protezione di 1,5 kV per un impianto utente a bassa tensione (230/400 V), secondo la categoria di sovratensione I. Questo livello minimo della tensione di protezione può essere ottenuto per mezzo di un sistema coordinato di due SPD Tipo 1 e Tipo 2, oppure con uno scaricatore combinato di Tipo 1.

Tenuta al corto circuito I_{SCCR}

Questo è il valore della corrente di corto circuito attesa alla frequenza di rete che il dispositivo di protezione contro le sovratensioni può gestire in sicurezza nel caso in cui sia dotato di un prefusibile a monte (o protezione di backup).

Capacità di estinzione della corrente susseguente I_{fi} (a U_C)

La capacità di estinzione della corrente susseguente è il valore efficace non influenzato (valore presunto) della corrente susseguente di rete che può essere automaticamente estinto dal dispositivo di protezione da sovratensioni, quando è applicata la tensione U_C .

Secondo le norme IEC 62305-3 - CEI EN 62305-3, CEI 81-10) e IEC 60364-5-53 (HD 60364-5-534), la capacità di estinzione della corrente susseguente degli SPD dovrebbe corrispondere al valore massimo della corrente di cortocircuito presunta nel punto di installazione degli SPD. In caso di quadri di distribuzione di impianti industriali con eccessive correnti di corto circuito, bisogna scegliere per il dispositivo di prote-

zione un adeguato fusibile di protezione che interrompa la corrente susseguente di rete.

Secondo le norme IEC 60364-5-53 (HD 60364-5-534) e IEC 61643-11 (EN 61643-11), i dispositivi SPD collegati tra il conduttore neutro e il conduttore PE, nei quali la corrente susseguente alla frequenza rete può verificarsi dopo l'intervento di tali dispositivi (ad esempio, gli spinterometri) hanno una capacità di estinzione della corrente susseguente $I_{fi} \geq 100 A_{rms}$.

Limitazione della corrente susseguente (in caso di SPD ad innesco Tipo 1)

Si definisce limitazione della corrente susseguente la capacità di un SPD ad innesco di limitare le correnti susseguenti di rete in modo tale che la corrente effettiva sia decisamente inferiore alla possibile corrente di corto circuito nel punto di installazione.

Attraverso una forte limitazione della corrente susseguente si evita l'intervento degli elementi di protezione a monte (p. es. fusibili) provocato da una corrente susseguente di rete troppo elevata.

La limitazione della corrente susseguente è un parametro molto importante per garantire la continuità del servizio e quindi la disponibilità dell'impianto elettrico, in particolare per gli SPD ad innesco con bassa tensione di intervento. Questa situazione viene descritta anche nelle linee guida tedesche VDN 2004-08: "Überspannungs-Schutzeinrichtungen Typ 1. Richtlinie für den Einsatz von Überspannungs-Schutzeinrichtungen (ÜSE) Typ 1 (bisher Anforderungsklasse B) Hauptstromversorgungssystemen." [Dispositivi di protezione contro le sovratensioni (SPD) Tipo 1 nei sistemi di alimentazione di rete].

I moderni limitatori spinterometrici della corrente susseguente assicurano anche la selettività rispetto ai fusibili di basso valore nell'intervallo da 20 a 35 AgL/gG.

Coordinamento

Al fine di garantire che i vari SPD funzionino selettivamente, il coordinamento energetico dei singoli SPD è assolutamente essenziale. Il principio di base del coordinamento energetico è caratterizzato dal fatto che ogni stadio di protezione deve scaricare solo l'energia dei disturbi per la quale il dispositivo SPD è predisposto. Se si verificano disturbi di maggiore potenza, lo stadio di protezione a monte, ad esempio SPD Tipo 1, deve scaricare la corrente impulsiva e mitigare la sollecitazione impressa sui dispositivi di protezione a valle. Tale coordinamento deve tener conto di tutte le possibili interferenze, come le sovratensioni di commutazione, le correnti di fulmine parziale, ecc. Il coordinamento deve essere dimostrato dal costruttore secondo la normativa IEC 62305-4

(EN 62305-4), IEC 60364-5-53 (HD 60364-5-534) e le linee guida tedesche VDN.

Quando si utilizzano dispositivi forniti da diversi produttori, il coordinamento non può essere assunto senza effettuare calcoli specifici o effettuare un collaudo di laboratorio come descritto nel bollettino tedesco numero 19 emesso dal comitato tedesco per la protezione contro i fulmini e la ricerca sui fulmini (ABB) presso VDE.

I dispositivi della famiglia Red/Line sono coordinati tra loro e collaudati per quanto riguarda il coordinamento energetico.

Tensione TOV

Per TOV (**T**emporary **O**ver**V**oltage) si intendono le sovratensioni temporanee a frequenza di rete che possono verificarsi a causa di guasti nella rete in bassa o media tensione. Per sistemi TN e per il percorso L-N nei sistemi TT, una durata nominale di 5 secondi produce una $U_{TOV} = 1,45 \times U_0$, dove U_0 rappresenta la tensione alternata nominale dei conduttori di fase verso terra. Per sistemi a 230/400 V, va presa in considerazione una TOV $U_{TOV} = 1,32 \times U_{REF} = 1,32 \times 255 V = 336,6 V$ per gli SPD tra L e N per 5 s. Il dispositivo SPD deve poter sopportare questa TOV.

Oltre a ciò va effettuata una prova TOV con $\sqrt{3} \times U_{REF} = \sqrt{3} \times 255 V = 441,7 V$ per 120 min tra L e N per simulare una interruzione del neutro. Per questa prova è accettabile una modalità di guasto sicura.

Se si producono delle tensioni TOV a causa di guasti a terra nella rete ad alta tensione, una durata nominale di 200 ms genera una $U_{TOV} = 1200 V$ nel percorso N-PE dei sistemi TT. La norma IEC 60364-5-53 (HD 60364-5-534) richiede che i dispositivi SPD installati negli impianti a bassa tensione siano in grado di sopportare tensioni TOV. I dispositivi della famiglia Red/Line sono dimensionati per tensioni TOV conformi alla normativa IEC 61643-11 - CEI EN 61643-11 (CEI 37-8) e soddisfano le prescrizioni della normativa IEC 60364-5-53 (HD 60364-5-534).

8.1.2 Utilizzo di SPD in diversi sistemi

Le misure di protezione individuale hanno sempre la priorità sulle misure di protezione contro le sovratensioni. Poiché entrambe le misure sono direttamente legate al tipo di impianto e di conseguenza all'impiego dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni (SPD), nel seguito verranno descritti gli impianti TN, TT e IT e i molti modi in cui i dispositivi SPD possono essere utilizzati in questi sistemi. Le correnti elettriche che scorrono attraverso il corpo umano possono avere effetti pericolosi. Pertanto in ogni impianto elettrico sono necessarie delle misure di protezione che prevengano il pericolo di folgorazione. Le parti in tensione nell'impiego normale vanno isolate, coperte, rivestite o disposte in modo

tale da impedire che vengano toccate, se questo può causare pericolose folgorazioni. Queste misure di protezione vengono denominate "protezione contro i contatti diretti". Inoltre, il rischio causato da scariche elettriche va evitato se la tensione passa all'involucro metallico (il telaio o un'altra parte di un'apparecchiatura elettrica) a causa di un guasto, ad esempio un difetto di isolamento. Questa protezione contro i pericoli che in caso di guasto potrebbero derivare dal contatto con corpi metallici o masse estranee viene denominata "protezione contro i contatti indiretti" (protezione dalle folgorazioni in condizioni di guasto).

Il limite per la tensione di contatto permanentemente ammissibile U_t è tipicamente 50 V CA e 120 V CC.

Nei circuiti che contengono prese o dispositivi portatili appartenenti alla classe di isolamento I, le tensioni di contatto più elevate che possono verificarsi in caso di guasto devono essere interrotte automaticamente entro 0,4 s. In tutti gli altri circuiti, le tensioni di contatto più elevate devono essere interrotte entro 5 s. Questi intervalli di tempo si applicano ai sistemi TN. I tempi di disconnessione possono differire per configurazioni diverse.

La norma IEC 60364-4-41 (HD 60364-4 -41) descrive le misure di protezione contro il contatto indiretto con i conduttori di protezione. Queste misure di protezione comprendono la disconnessione automatica o un allarme in caso di guasto. Nell'attuazione delle misure di protezione contro le folgorazioni in condizioni di guasto bisogna selezionare il dispositivo di protezione in funzione della configurazione del sistema.

Secondo la normativa IEC 60364-4-41 (HD 60364-4-41) - CEI 64-8/4, un sistema di distribuzione a bassa tensione è caratterizzato nella sua totalità, cioè dalla sorgente di alimentazione fino all'ultimo utilizzatore, da quanto segue:

- ➔ le condizioni di messa a terra della fonte di energia (ad esempio il secondario di bassa tensione del trasformatore di distribuzione) e
- ➔ le condizioni di messa a terra degli involucri delle apparecchiature negli impianti elettrici utilizzatori.

Pertanto ci sono tre tipi fondamentali di sistemi di distribuzione: **TN**, **TT**, **IT**.

Le lettere utilizzate hanno i seguenti significati.

La **PRIMA LETTERA** descrive le condizioni di messa a terra della fonte di alimentazione elettrica:

- T messa a terra diretta di un punto del generatore elettrico (di solito il centro stella dell'avvolgimento del trasformatore)

- I isolamento di tutte le parti attive da terra oppure collegamento a terra di un punto della sorgente elettrica attraverso un'impedenza.

La **SECONDA LETTERA** descrive le condizioni di messa a terra dei telai delle apparecchiature dell'impianto elettrico:

- T il telaio dell'apparecchiatura è collegato direttamente a terra, indipendentemente dal fatto che un punto dell'impianto di alimentazione sia collegato a terra
- N il telaio dell'apparecchiatura è collegato direttamente alla massa del sistema di alimentazione (messa a terra della sorgente elettrica).

Le **LETTERE SUCCESSIVE** descrivono la disposizione del conduttore neutro e del conduttore di protezione:

- S conduttore neutro e conduttore di protezione separati uno dall'altro
- C conduttore neutro e conduttore di protezione combinati (in un solo conduttore)

Pertanto ci sono tre possibili sistemi TN: **TN-S**, **TN-C** e **TN-C-S**.

I dispositivi di protezione che possono essere installati nei diversi sistemi sono:

- ➔ dispositivo di protezione contro la sovracorrente
- ➔ dispositivo di protezione a corrente differenziale
- ➔ dispositivo di sorveglianza dell'isolamento
- ➔ dispositivo di protezione contro la tensione di guasto (in casi particolari).

Ne risultano le seguenti assegnazioni:

Sistema TN

- ➔ dispositivo di protezione contro la sovracorrente
- ➔ dispositivo di protezione a corrente differenziale

Sistema TT

- ➔ dispositivo di protezione contro la sovracorrente
- ➔ dispositivo di protezione a corrente differenziale
- ➔ dispositivo di protezione contro la tensione di guasto (in casi particolari).

Sistema IT

- ➔ dispositivo di protezione contro la sovracorrente
- ➔ dispositivo di protezione a corrente differenziale
- ➔ dispositivo di sorveglianza dell'isolamento

Queste misure di protezione individuale hanno la massima priorità nell'installazione degli impianti di alimentazione. Tutte le altre misure di sicurezza, come la protezione contro i fulmini e le sovratensioni dei sistemi e degli impianti elettrici, devono essere subordinate a queste misure di protezione contro il contatto indiretto con i conduttori di protezione, considerando la configurazione del sistema e il dispositivo di protezione, e non devono essere tali da renderle inefficaci. In questo contesto deve essere preso in considerazione un guasto del dispositivo SPD, anche se molto improbabile. Ciò è particolarmente importante perché i dispositivi di protezione contro le sovratensioni sono sempre utilizzati tra i conduttori in tensione e il conduttore di protezione.

Pertanto nelle sezioni seguenti sarà descritto l'uso dei dispositivi SPD in diverse configurazioni dell'impianto. Questi concetti sono ripresi dalla norma IEC 60364-5-53 (HD 60364-5 -534).

In queste soluzioni campione, gli scaricatori della corrente di fulmine sono mostrati in prossimità del quadro di consegna, cioè a monte del contatore. La norma IEC 60364-5-53 (HD 60364-5 -534) prescrive che gli scaricatori della corrente di fulmine siano installati "vicini all'origine dell'impianto". In Germania, l'impiego degli scaricatori della corrente di fulmine a monte del contatore è sancito dalle linee guida della VDN (associazione tedesca dei gestori di rete) 2004-08: "Überspannungs-Schutzeinrichtungen Typ 1. Richtlinie für den Einsatz von Überspannungs- Schutzeinrichtungen (ÜSE) Typ 1 (bisher Anforderungsklasse B) Hauptstromversorgungssystemen." [Dispositivi di protezione contro le sovratensioni Tipo 1 - Linee guida per l'uso di dispositivi di protezione contro le sovratensioni (SPD) Tipo 1 nelle reti di alimentazione]. Questa guida pubblicata da VDN definisce i requisiti fondamentali che, a seconda dell'operatore della rete di distribuzione, può portare a diverse realizzazioni tecniche. La progettazione tecnica (configurazione del sistema) da preferire per l'area di fornitura deve essere richiesta al gestore della rete di distribuzione competente. In Italia l'impiego di SPD a monte del contatore è definito nella norma CEI 0-21.

8.1.3 Utilizzo di SPD nel sistema TN

Per i sistemi TN, i dispositivi di protezioni contro le sovracorrenti e dispositivi di protezione differenziale possono essere usati per la "protezione contro le folgorazioni in condizioni di guasto". Per quanto riguarda l'installazione degli SPD, ciò significa che questi dispositivi di protezione contro le sovratensioni possono essere posti solo a valle dei dispositivi di protezione contro le folgorazioni in condizioni di guasto, per

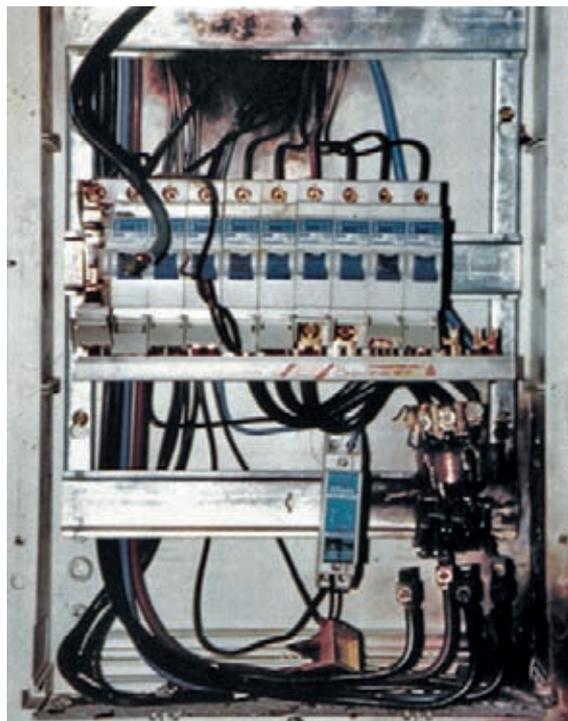


Figura 8.1.3.1 RCD distrutto da un fulmine

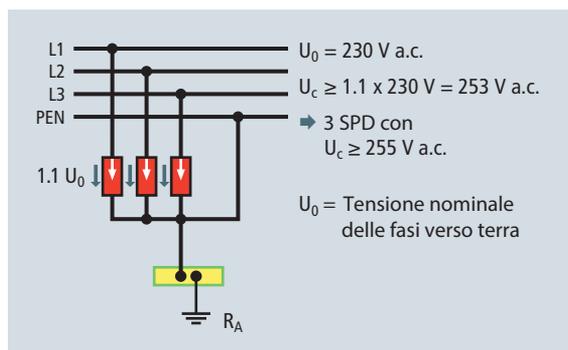


Figura 8.1.3.2 Circuito di protezione "3-0" in un sistema TN-C

assicurare una protezione in caso di guasto di un dispositivo SPD.

Se a valle del dispositivo di protezione differenziale è installato un SPD Tipo 1 o 2, ci si deve aspettare che il dispositivo di protezione differenziale (RCD) interpreti questo processo come una corrente residua causata dalla corrente impulsiva scaricata al PE e che perciò interrompa il circuito. Inoltre, con l'utilizzo di un SPD di Tipo 1, in caso di sollecitazione con correnti parziali da fulmine, considerando l'elevata componente dinamica della corrente di fulmine, è probabile che l'inter-

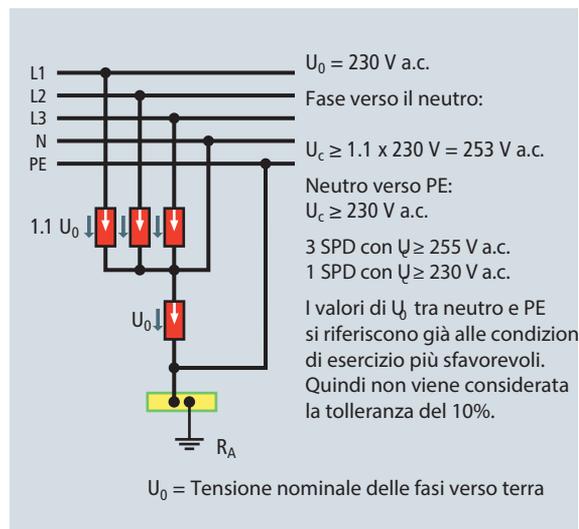
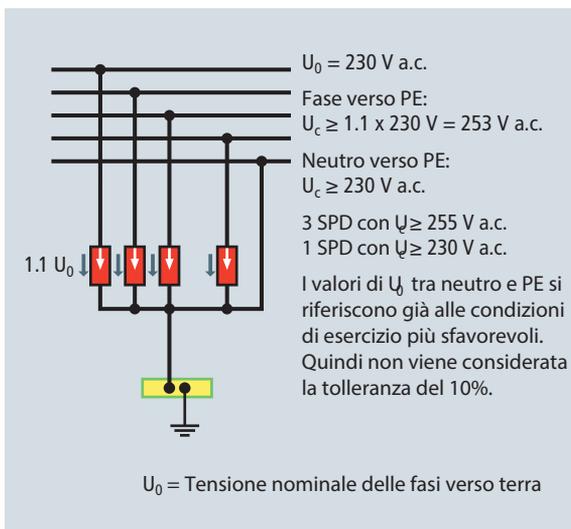


Figura 8.1.3.3a Circuito di protezione "4-0" in un sistema TN-S

Figura 8.1.3.3b Circuito di protezione "3+1" in un sistema TN-S

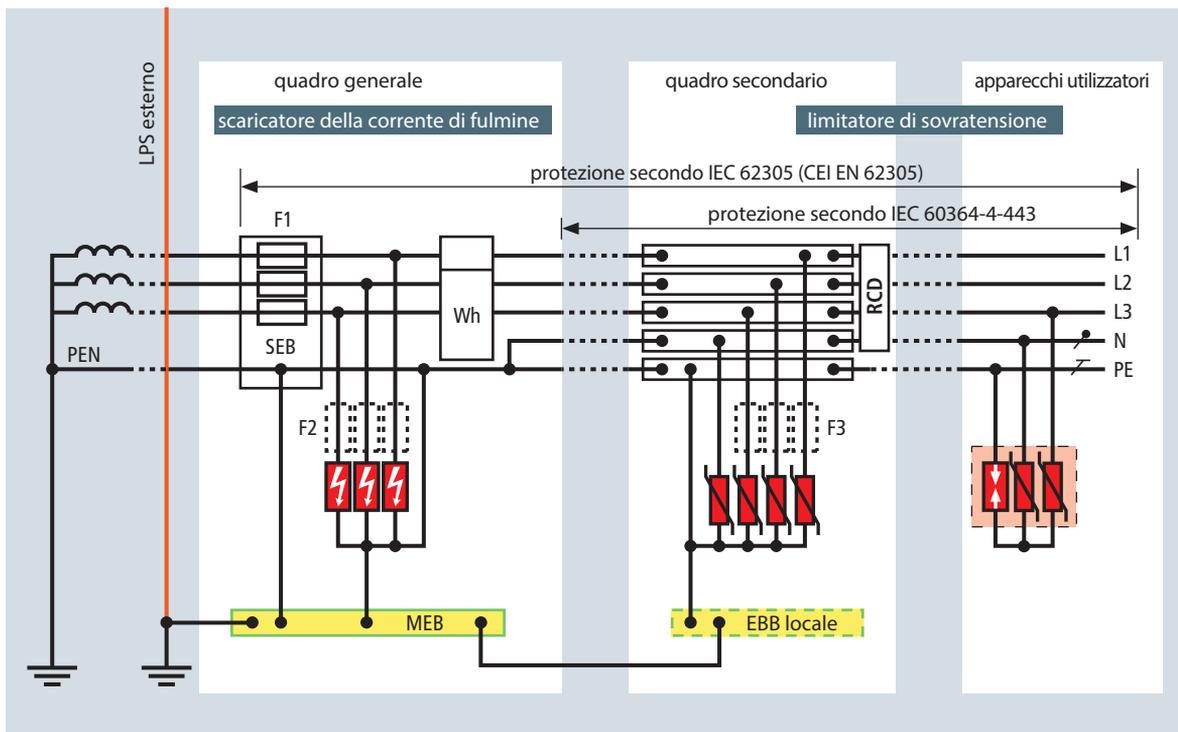


Figura 8.1.3.4 Utilizzo di SPD in un sistema TN-C-S

ruttore differenziale venga danneggiato meccanicamente (Figura 8.1.3.1). Questo renderebbe la misura di protezione contro le folgorazioni in condizioni di guasto inefficace, il che

deve essere evitato. Pertanto gli scaricatori di corrente di fulmine di Tipo 1 e Tipo 2 vanno installati a monte del dispositivo di protezione differenziale. Di conseguenza, i dispositivi di

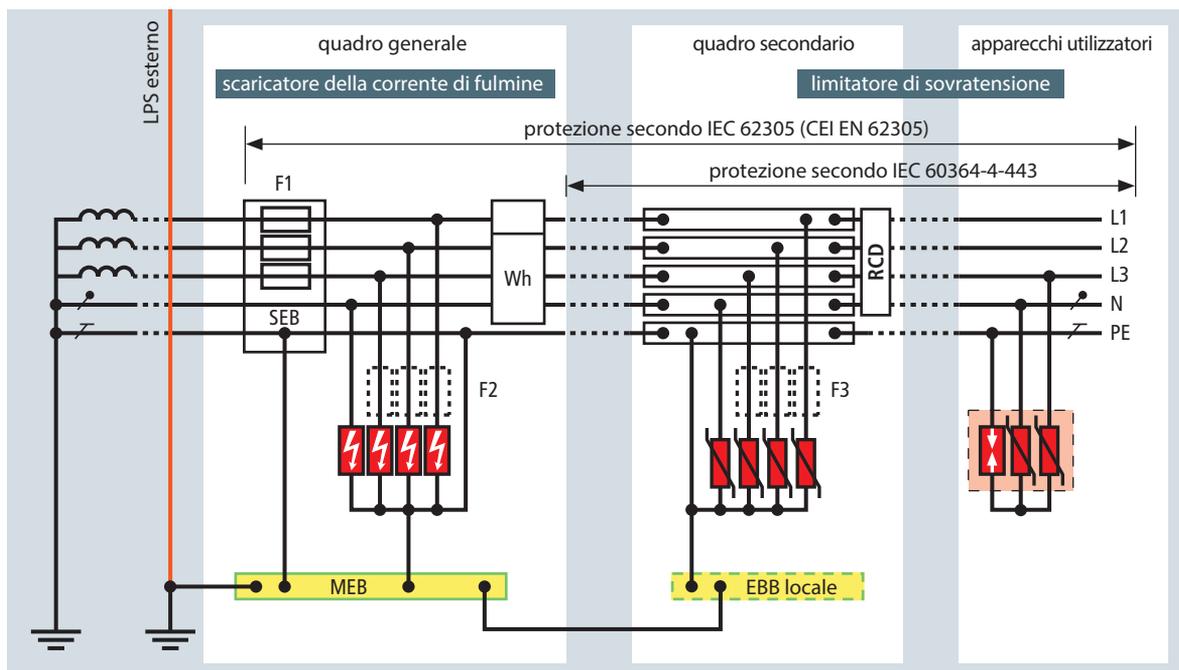


Figura 8.1.3.5 Utilizzo di SPD in un sistema TN-S

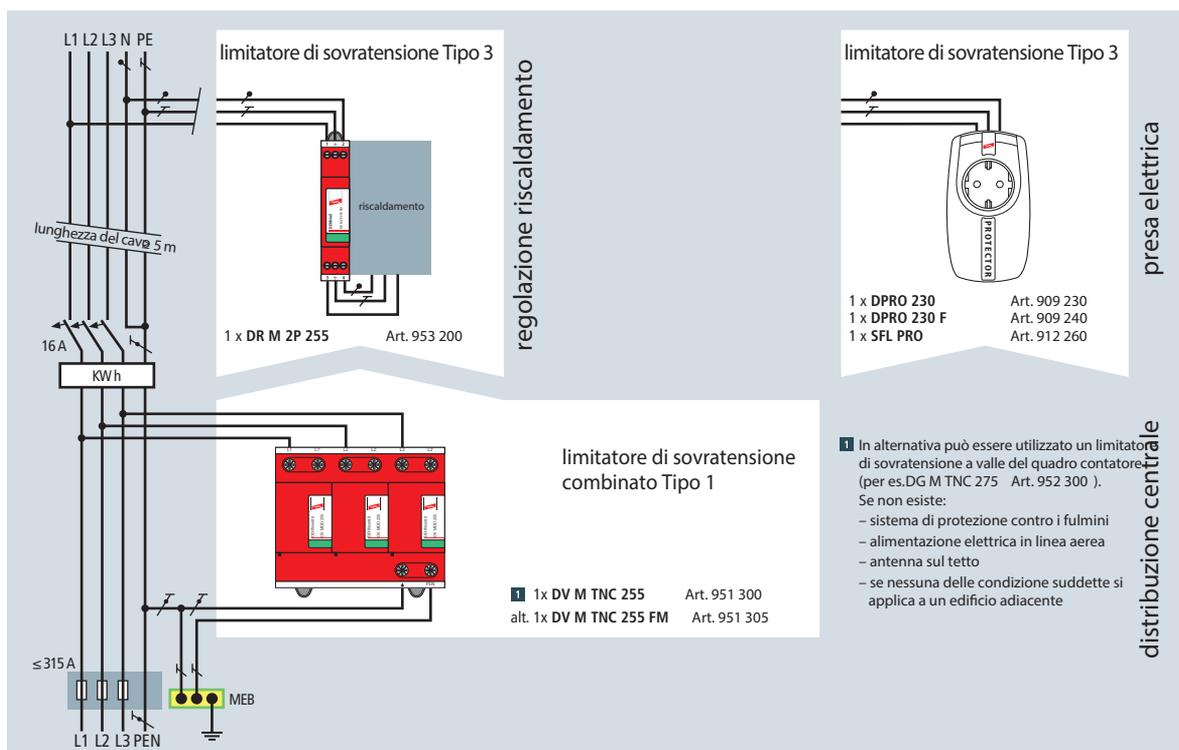


Figura 8.1.3.6 Utilizzo di SPD in un sistema TN – Esempio abitazione unifamiliare

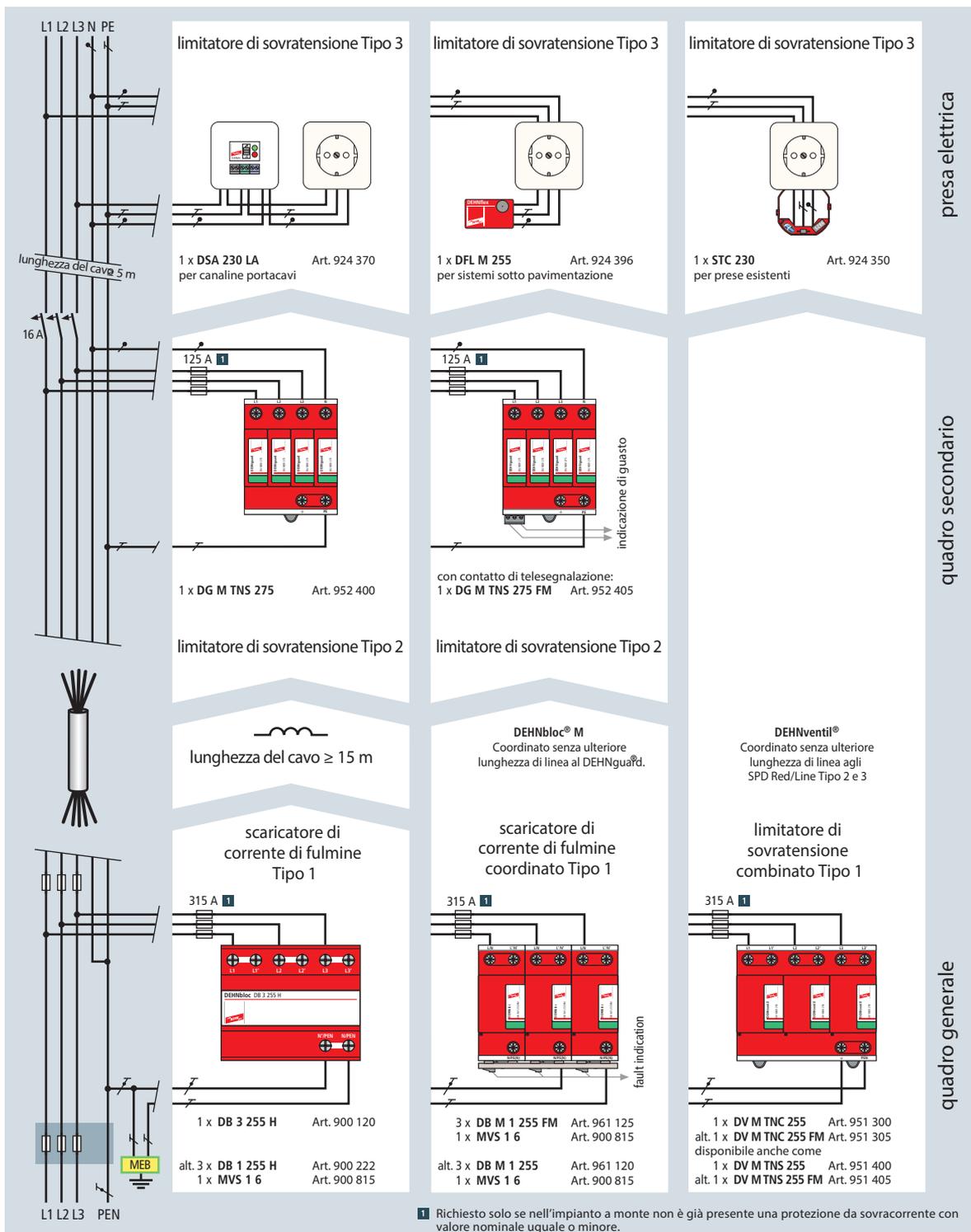


Figura 8.1.3.7 Utilizzo di SPD in un sistema TN - Esempio di palazzina uffici con separazione del conduttore PEN nel quadro di distribuzione principale

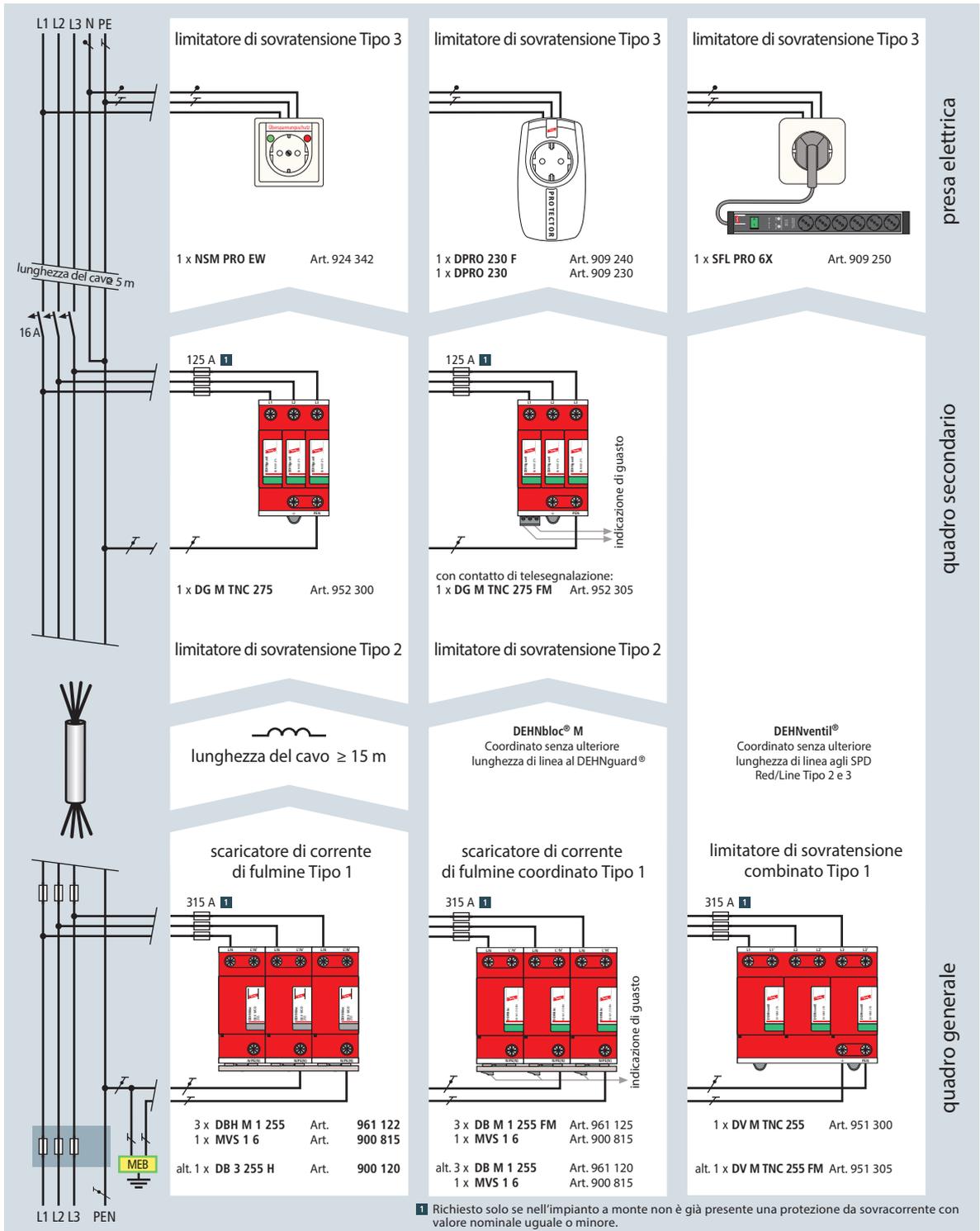


Figura 8.1.3.8 Utilizzo degli SPD in un sistema TN - Esempio di palazzina uffici con separazione del conduttore PEN nel quadro di distribuzione secondario

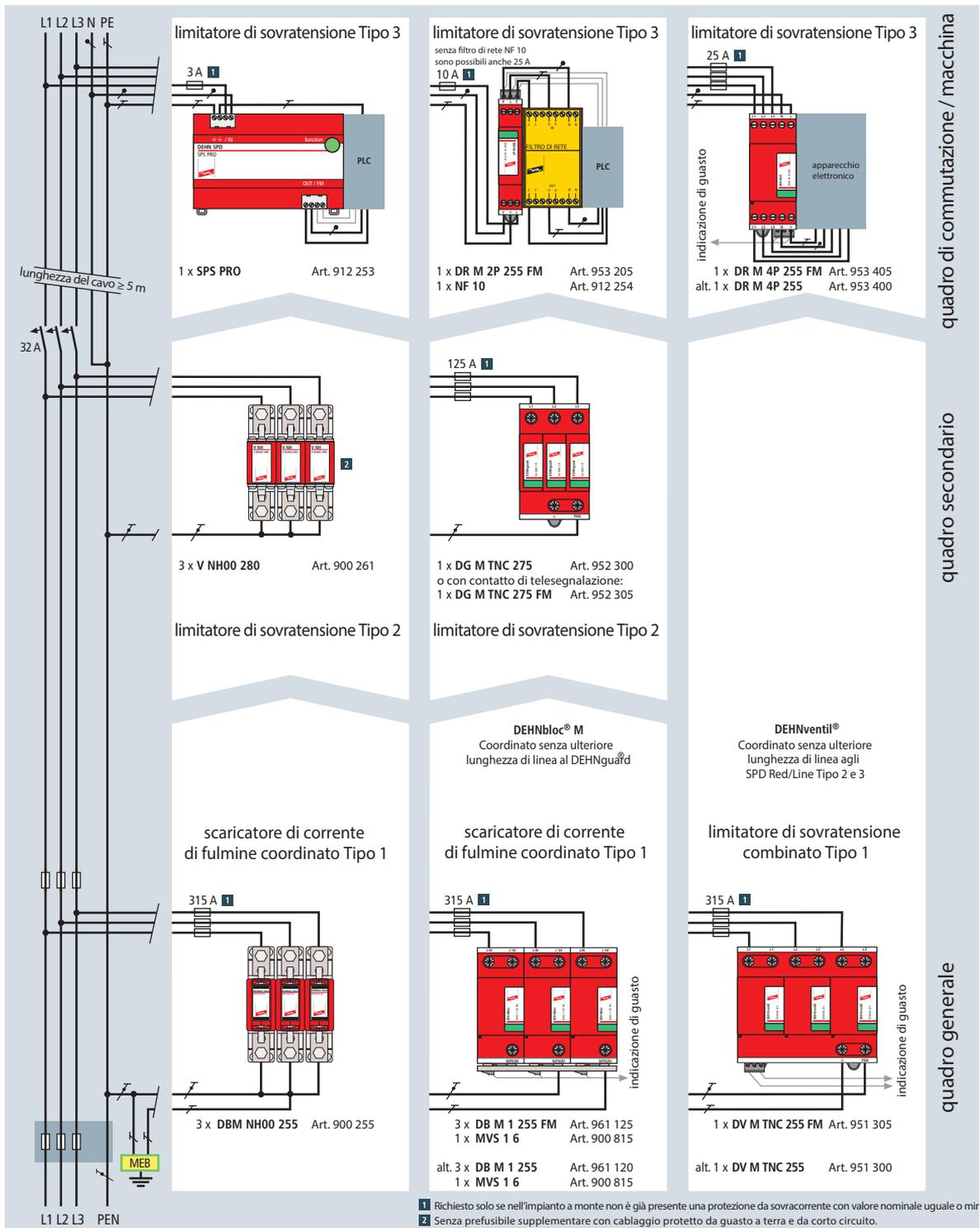


Figura 8.1.3.9 Utilizzo degli SPD in un sistema TN - Esempio di struttura industriale con separazione del conduttore PEN nel quadro di distribuzione secondario

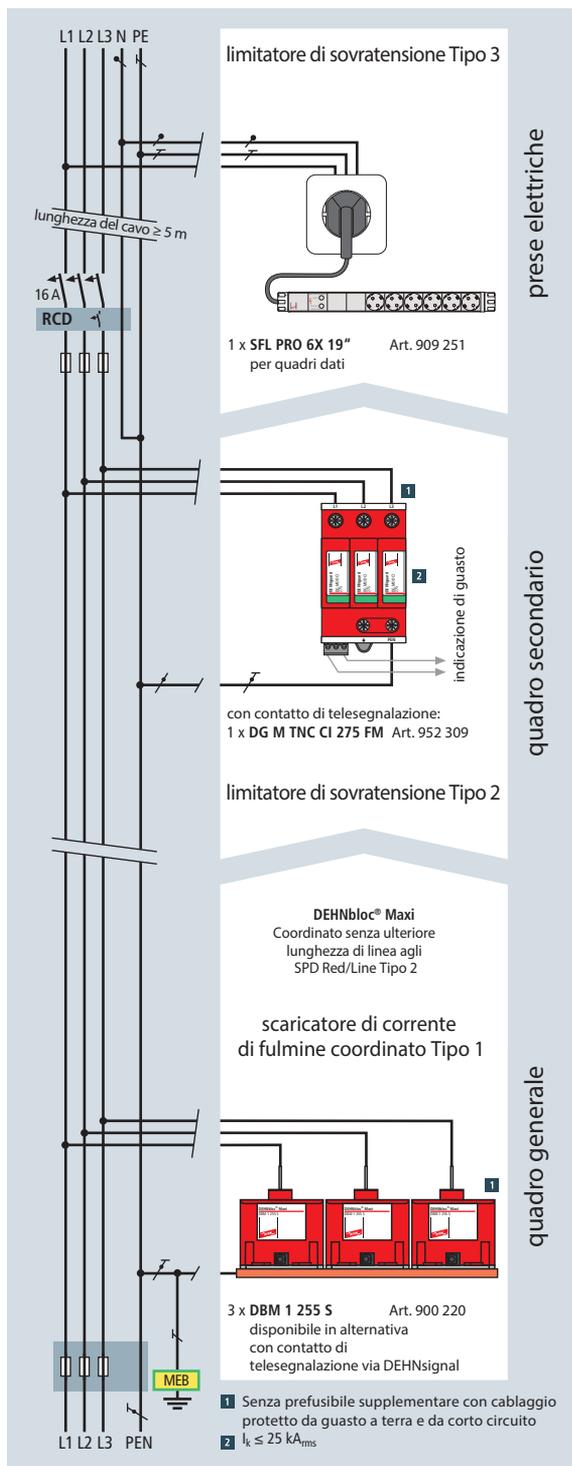


Figura 8.1.3.10 SPD utilizzati in un sistema TN - Dispositivo di protezione con prefusibile integrato

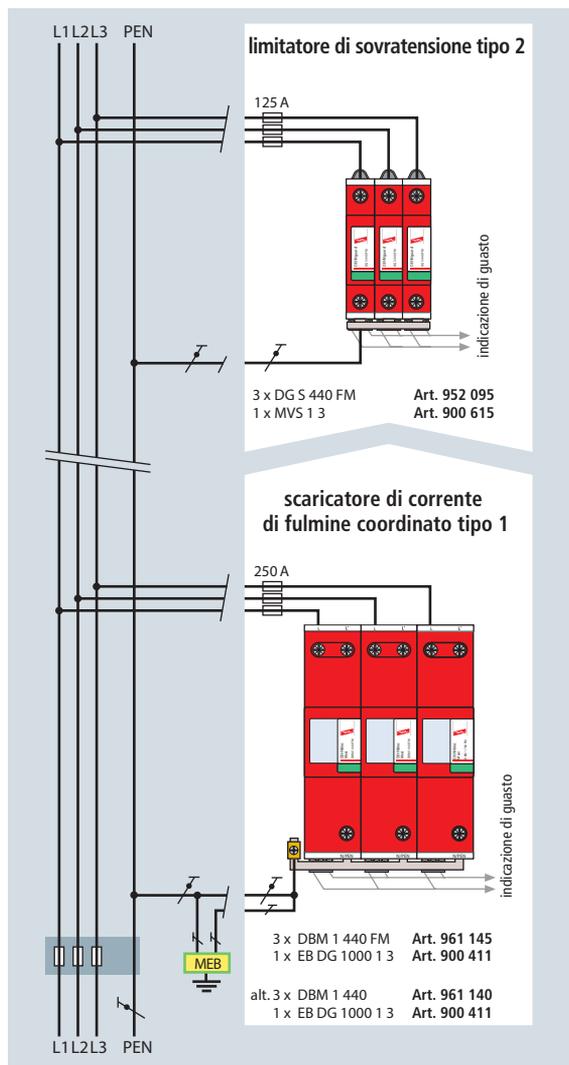


Figura 8.1.3.11 Utilizzo di SPD in un sistema TN – Edificio industriale 400/690 V

protezione contro le sovracorrenti assicurano la protezione contro le folgorazioni in condizioni di guasto solo in presenza di SPD Tipo 1 e 2. Gli SPD si possono quindi installare solo in presenza di un fusibile utilizzato come dispositivo di protezione contro le sovracorrenti. La necessità di prevedere un prefusibile di protezione, aggiuntivo e separato, nel ramo dello scaricatore, dipende dalla portata dello scaricatore a monte più vicino e dal massimo prefusibile ammissibile per il dispositivo SPD. Le massime tensioni continue di esercizio mostrate nelle **Figure 8.1.3.2 e 8.1.3.3a e b** si applicano ai dispositivi SPD Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3 nei sistemi TN.

La **Figura 8.1.3.4** illustra un esempio di limitatore di sovratensione e scaricatore di corrente di fulmine in un sistema TN-C-S. Si può notare che l'utilizzo di un SPD di Tipo 3 avviene a valle dell'interruttore differenziale (RCD).

In questo contesto, si deve notare che gli SPD Tipo 3 sono utilizzati principalmente per la protezione in modalità differenziale a causa della frequenza di commutazione delle sovratensioni nei circuiti terminali. Queste sovratensioni si verificano di solito tra L e N. Con una limitazione di sovratensione tra L e N non viene scaricata corrente impulsiva verso PE. Pertanto, l'interruttore differenziale (RCD) non può interpretare questo processo come corrente differenziale. Inoltre i dispositivi SPD Tipo 3 sono progettati per una capacità di scarica nominale di 1,5 kA. Questi valori sono sufficienti se gli stadi di protezione a monte degli SPD Tipo 1 e Tipo 2 scaricano impulsi ad alta energia. Quando si utilizza un RCD a prova di corrente impulsiva, queste correnti impulsive non fanno scattare il dispositivo RCD né causano danni meccanici. Le **Figure da 8.1.3.5 a 8.1.3.11** mostrano l'utilizzo di SPD nell'ambito di un concetto di protezione antifulmine a zone e delle necessarie misure di protezione contro i fulmini e le sovratensioni per impianti TN.

8.1.4 Utilizzo di SPD nel sistema TT

Nei sistemi TT, i dispositivi di protezione contro le sovracorrenti, gli interruttori differenziali (RCD) e, in casi particolari, i dispositivi di protezione contro la tensione di guasto pos-

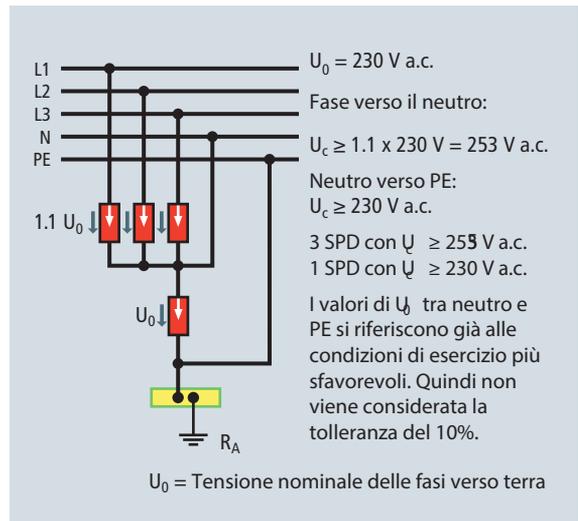


Figura 8.1.4.1 Sistema TT (230/400 V); versione di circuito "3+1"

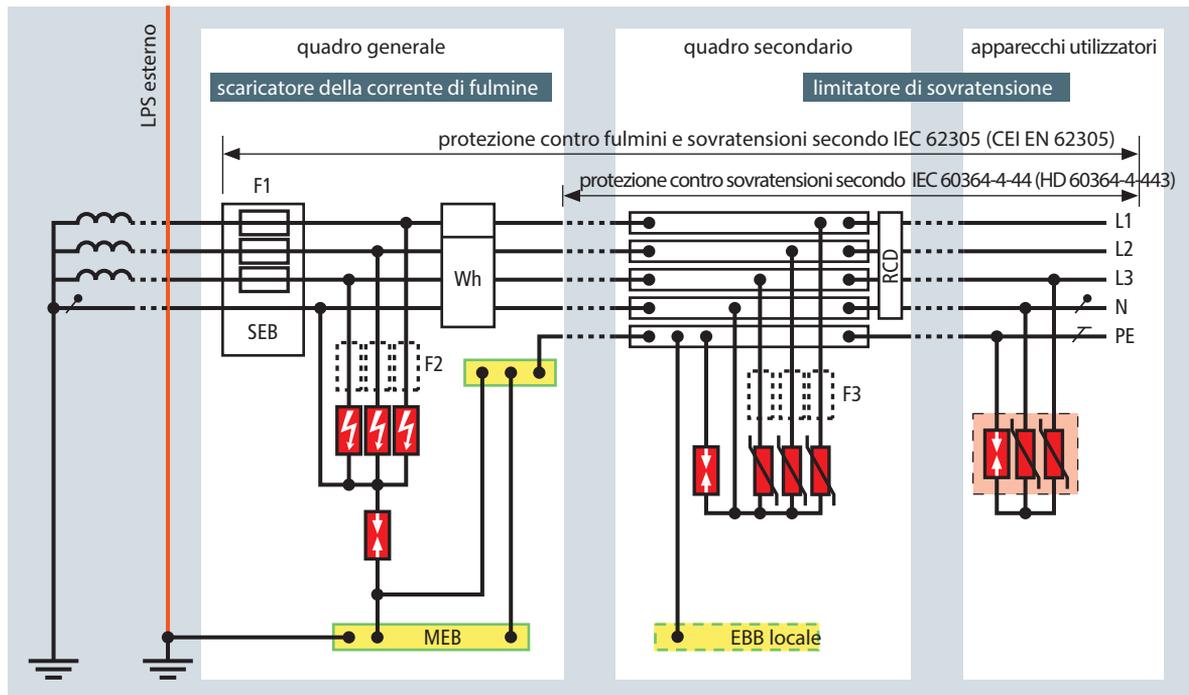


Figura 8.1.4.2 Utilizzo di SPD in un sistema TT

sono essere utilizzati come protezione contro le folgorazioni in condizioni di guasto. Questo implica che i limitatori di sovratensione e gli scaricatori di corrente di fulmine nei sistemi TT possono essere posti unicamente a valle dei dispositivi di protezione sopra descritti per garantire la protezione contro le folgorazioni in caso di guasto di un SPD. Se a valle del dispositivo di protezione differenziale è installato un SPD Tipo 1 o 2, ci si deve aspettare che il dispositivo di protezione differenziale (RCD) interpreti questo processo come una corrente differenziale causata dalla corrente impulsiva scaricata al PE e che perciò interrompa il circuito, come descritto nella sezione 8.1.3. Durante l'utilizzo di SPD Tipo 1 occorre inoltre considerare che, come per i sistemi TN, la dinamica della corrente parziale da fulmine scaricata in caso di innesco degli SPD di Tipo 1 danneggerebbe meccanicamente il dispositivo RCD. In questo modo il dispositivo per la "protezione contro i contatti diretti" verrebbe danneggiato e le misure di protezione verrebbero vanificate. Questa situazione va naturalmente evitata perché può avere come conseguenza la messa in pericolo delle persone. Pertanto, nei sistemi TT, i dispositivi SPD Tipo 1 e Tipo 2 vanno sempre installati a monte dell'interruttore differenziale e devono essere disposti in modo tale

che siano soddisfatte le condizioni per l'utilizzo dei dispositivi di protezione da sovracorrente per la protezione contro le folgorazioni in condizioni di guasto.

In caso di guasto, e nello specifico un guasto del dispositivo SPD, il passaggio delle correnti di corto circuito fa intervenire la disconnessione automatica dei dispositivi di protezione da sovracorrente entro 5 s. Se gli scaricatori nel sistema TT sono disposti come mostrato nelle **Figure 8.1.3.4 e 8.1.3.5** per un sistema TN, in caso di guasto si avranno solo le correnti di guasto verso terra, invece delle correnti di corto circuito. Queste correnti di guasto verso terra, tuttavia, in determinate circostanze non provocano l'intervento nel tempo richiesto dei dispositivi di protezione contro le sovracorrenti installati a monte.

Quindi nei sistemi TT vengono disposti degli SPD Tipo 1 e Tipo 2 tra L e N. Questa disposizione ha lo scopo di garantire che, in caso di guasto a un dispositivo di protezione in un sistema TT, si instauri una corrente di corto circuito che faccia intervenire il primo dispositivo di protezione da sovracorrente posto a monte. Poiché, tuttavia, le correnti di fulmine scorrono sempre verso terra, cioè al PE, deve essere previsto un ulteriore percorso di scarica tra N e PE.

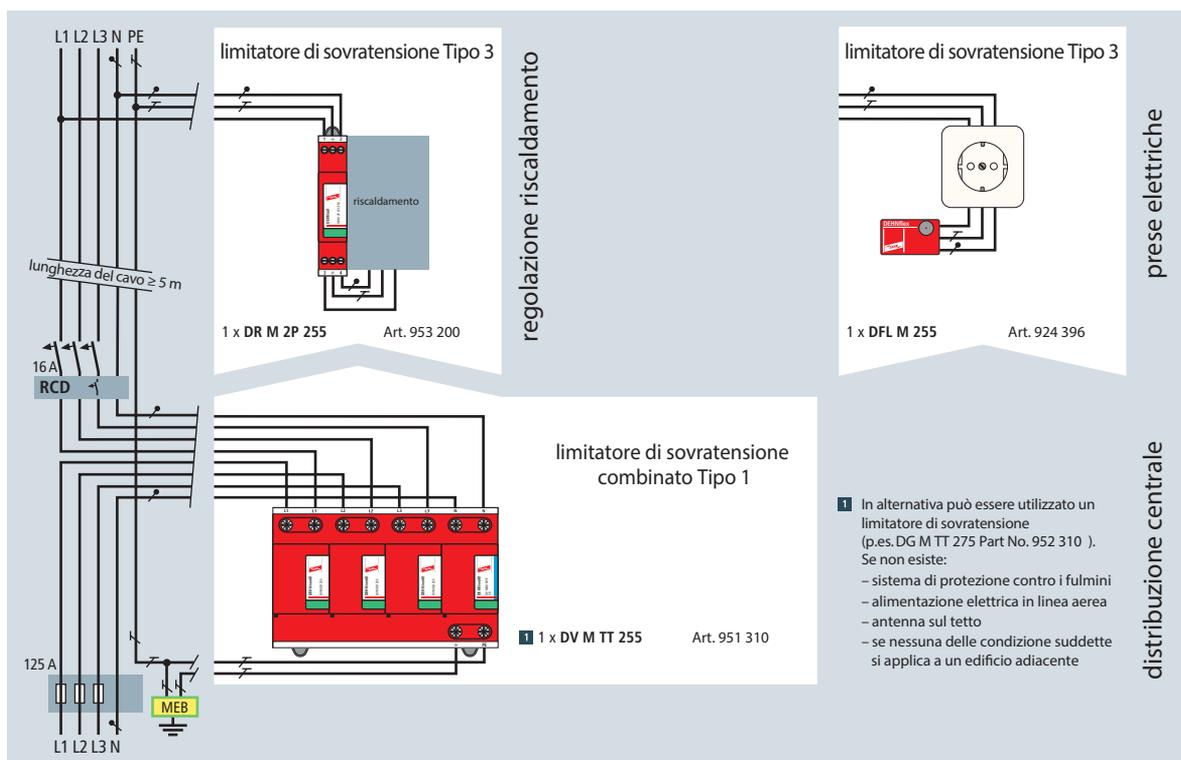


Figura 8.1.4.3 Utilizzo di SPD in un sistema TT – Esempio abitazione unifamiliare

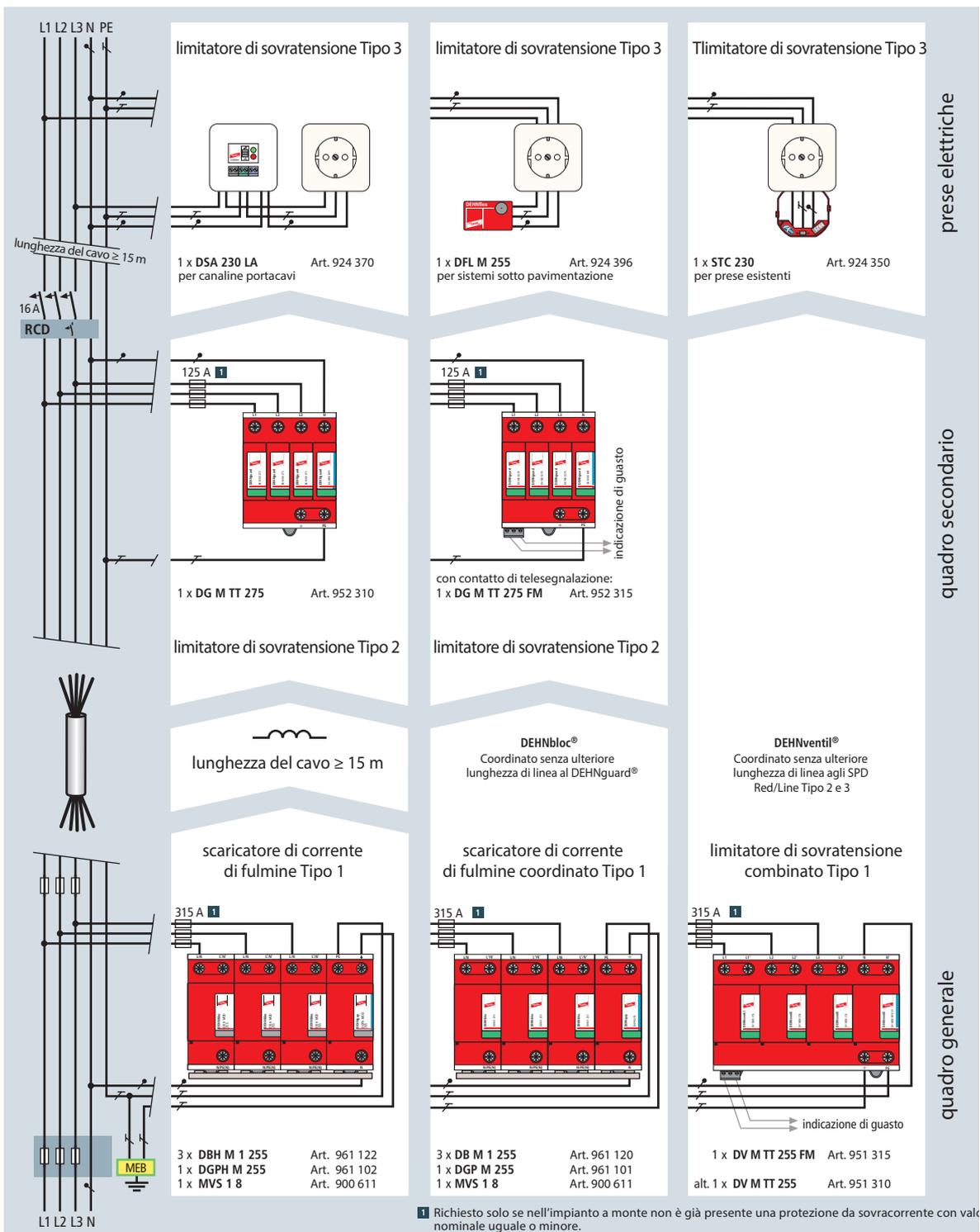


Figura 8.1.4.4 Utilizzo di SPD in un sistema TT – Palazzina uffici

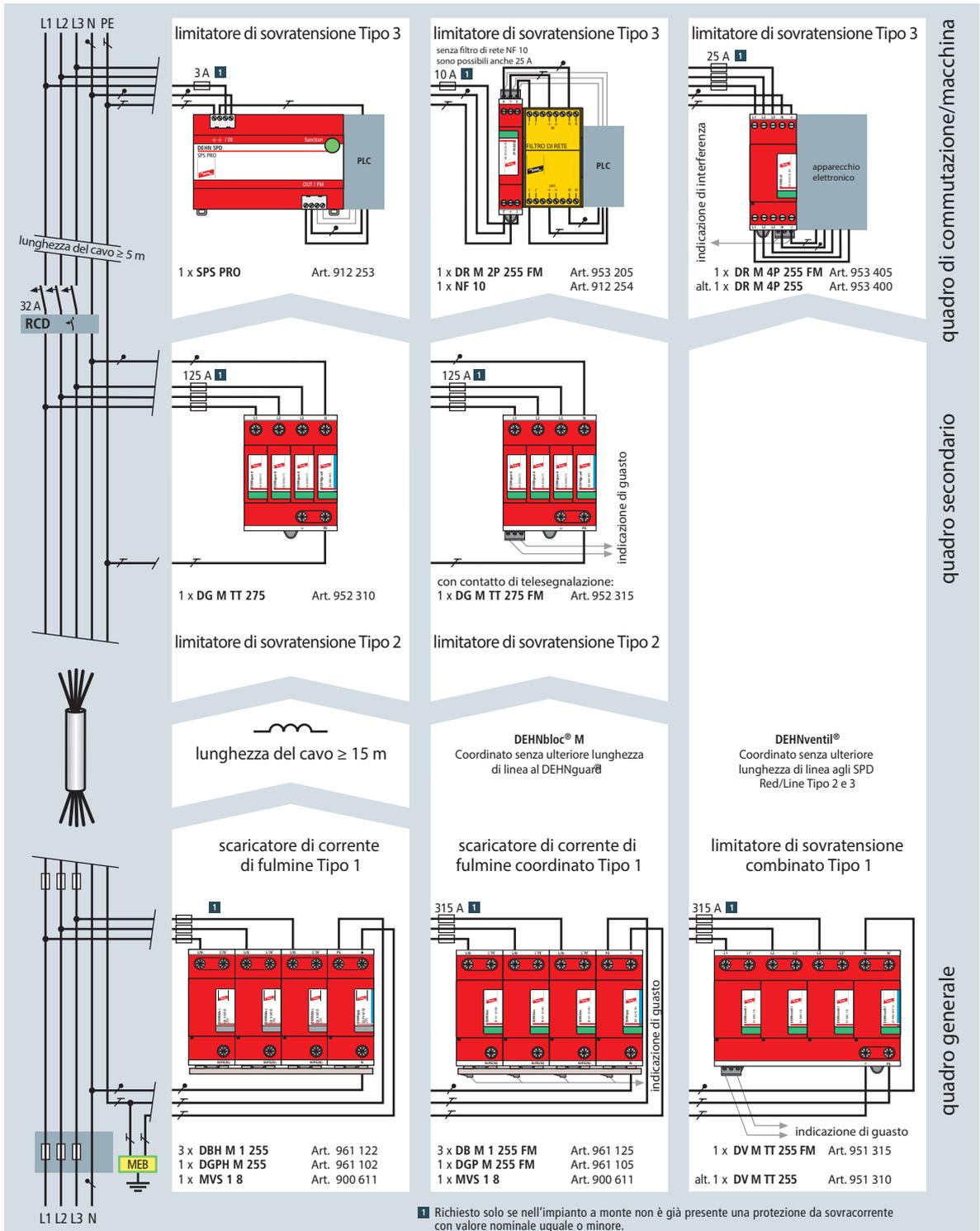


Figura 8.1.4.5 Utilizzo di SPD in un sistema TT – Impianto industriale

Questi cosiddetti "scaricatori N-PE" devono soddisfare determinati requisiti, dal momento che, da un lato, deve essere trasportata la somma delle correnti parziali di scarica da L1, L2, L3 e N e dall'altro lato, per effetto di un possibile spostamento del centro stella, deve essere presente una capacità di estinzione della corrente susseguente pari a $100 A_{eff}$. Inoltre, uno scaricatore N-PE deve soddisfare i requisiti creati dall'aumento della TOV. Secondo la norma IEC 60364-5-53 (HD 60364-5 -534), deve essere dimostrata la capacità di sopportare 1200 V per 200 ms.

Le massime tensioni continue di esercizio mostrate nella **Figura 8.1.4.1** vanno rispettate nell'impiego dei dispositivi SPD tra L e N nei sistemi TT.

La capacità di sopportare la corrente di fulmine degli SPD di Tipo 1 viene definita in corrispondenza ai livelli di protezione LPL I, II, III/IV, secondo la normativa IEC 62305-1 - CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1). I seguenti valori vanno rispettati per garantire la capacità di sopportare la corrente di fulmine negli SPD tra N e PE:

Livello di protezione LPL:

- I $I_{imp} \geq 100 \text{ kA (10/350 } \mu\text{s)}$
- II $I_{imp} \geq 75 \text{ kA (10/350 } \mu\text{s)}$
- III/IV $I_{imp} \geq 50 \text{ kA (10/350 } \mu\text{s)}$

Tra L e N e tra N e PE vengono collegati anche gli SPD Tipo 2. Gli SPD Tipo 2 tra N e PE devono avere una capacità di scarica pari almeno a $I_n \geq 20 \text{ kA (a } 8/20 \mu\text{s)}$ per sistemi trifase e $I_n \geq 10 \text{ kA (a } 8/20 \mu\text{s)}$ per impianti monofase. Poiché il coordinamento si è sempre basato sulla condizioni peggiori (forma d'onda 10/350 μs), gli scaricatori Tipo 2 N-PE della serie Red/Line hanno un valore di 12 kA (10/350 μs).

Le **Figure da 8.1.4.2 a 8.1.4.5** mostrano esempi di come collegare i dispositivi SPD nei sistemi TT. Come per i sistemi TN, a valle del dispositivo RCD vengono installati limitatori di sovratensione di Tipo 3. La corrente impulsiva scaricata da questo SPD di solito è così bassa che il dispositivo RCD non rileva una corrente differenziale. Tuttavia, anche in questo caso dovrebbe essere usato un RCD a prova di correnti impulsive.

8.1.5 Utilizzo di SPD nel sistema IT

Nei sistemi informatici, i dispositivi di protezione da sovracorrente, i dispositivi di protezione a corrente differenziale (RCD) e dispositivi per la sorveglianza dell'isolamento possono essere usati per la protezione contro le folgorazioni in condizioni di guasto. Mentre per i sistemi TN o TT, la protezione contro le folgorazioni in condizioni di guasto è assicurata

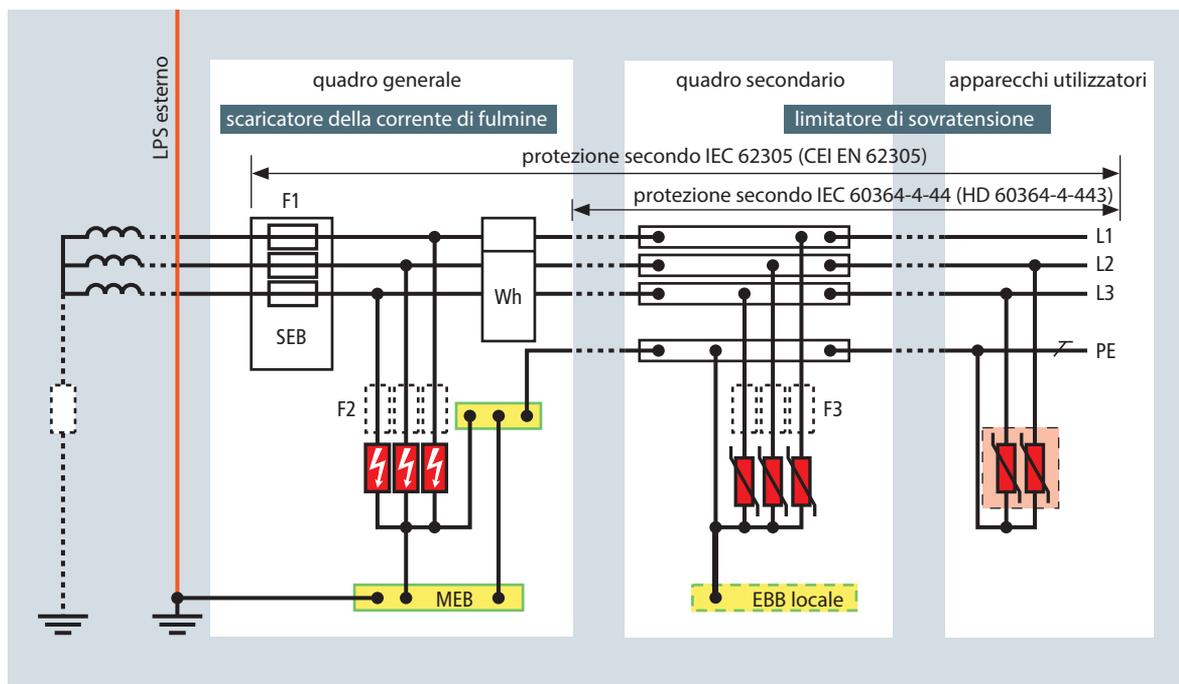


Figura 8.1.5.1 Utilizzo di SPD in un sistema IT

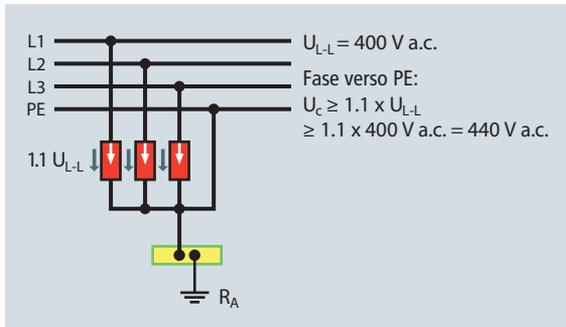


Figura 8.1.5.2a Sistema IT senza conduttore neutro integrato; circuito "3-0"

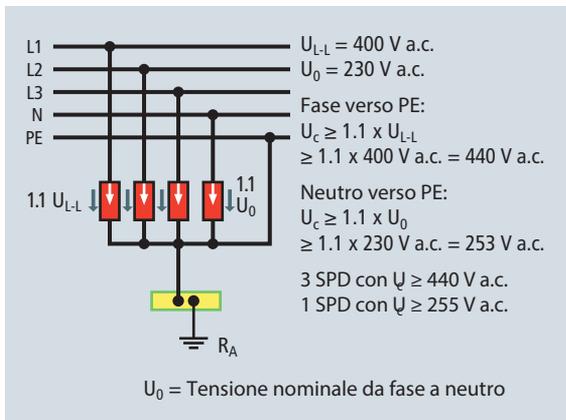


Figura 8.1.5.2b Sistema IT con conduttore neutro integrato; circuito "4-0"

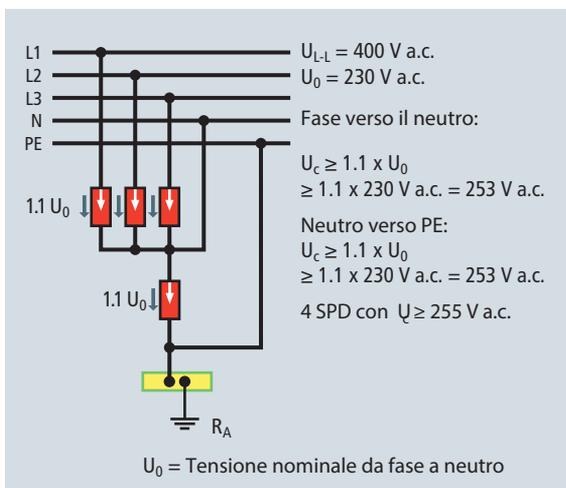


Figura 8.1.5.2c Sistema IT con conduttore neutro integrato; circuito "3+1"

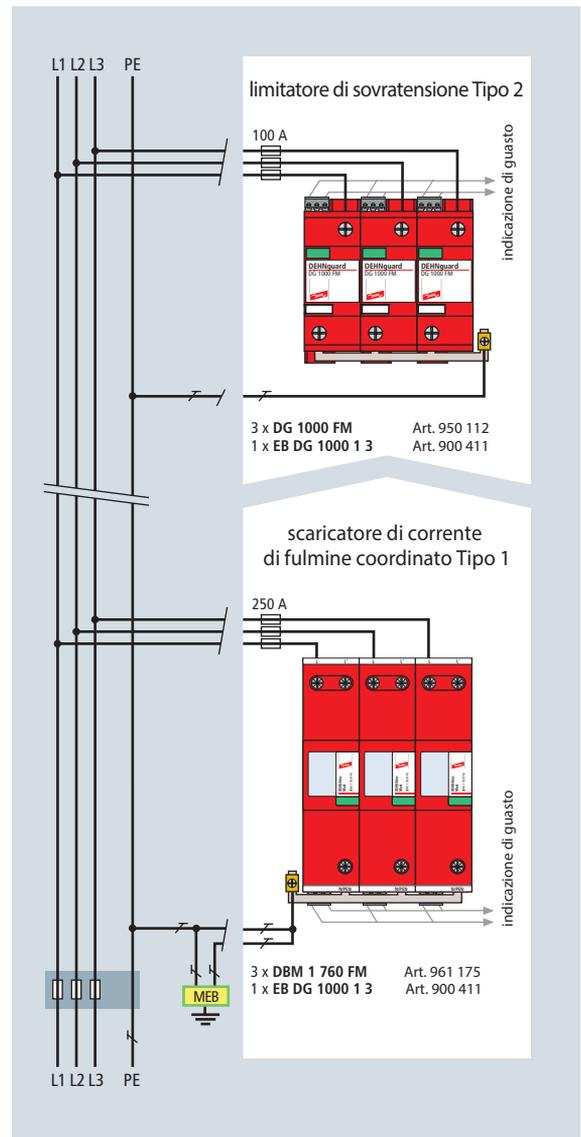


Figura 8.1.5.3 Utilizzo di SPD in un sistema a 690 V senza conduttore neutro integrato

dalle condizioni di sgancio dei dispositivi di protezione da sovracorrente o dagli RCD in caso di primo guasto, il primo guasto in un sistema IT crea solo un allarme. Non può verificarsi una tensione di contatto troppo elevata, dal momento che al primo guasto nel sistema IT si crea semplicemente un collegamento a terra. Il sistema IT diventa quindi un sistema TN o TT. Pertanto, un sistema IT può ancora funzionare senza rischi dopo il primo guasto, in modo da poter completare i processi di produzione in corso (ad es. nell'industria chimica). In caso di primo guasto, il conduttore di protezione

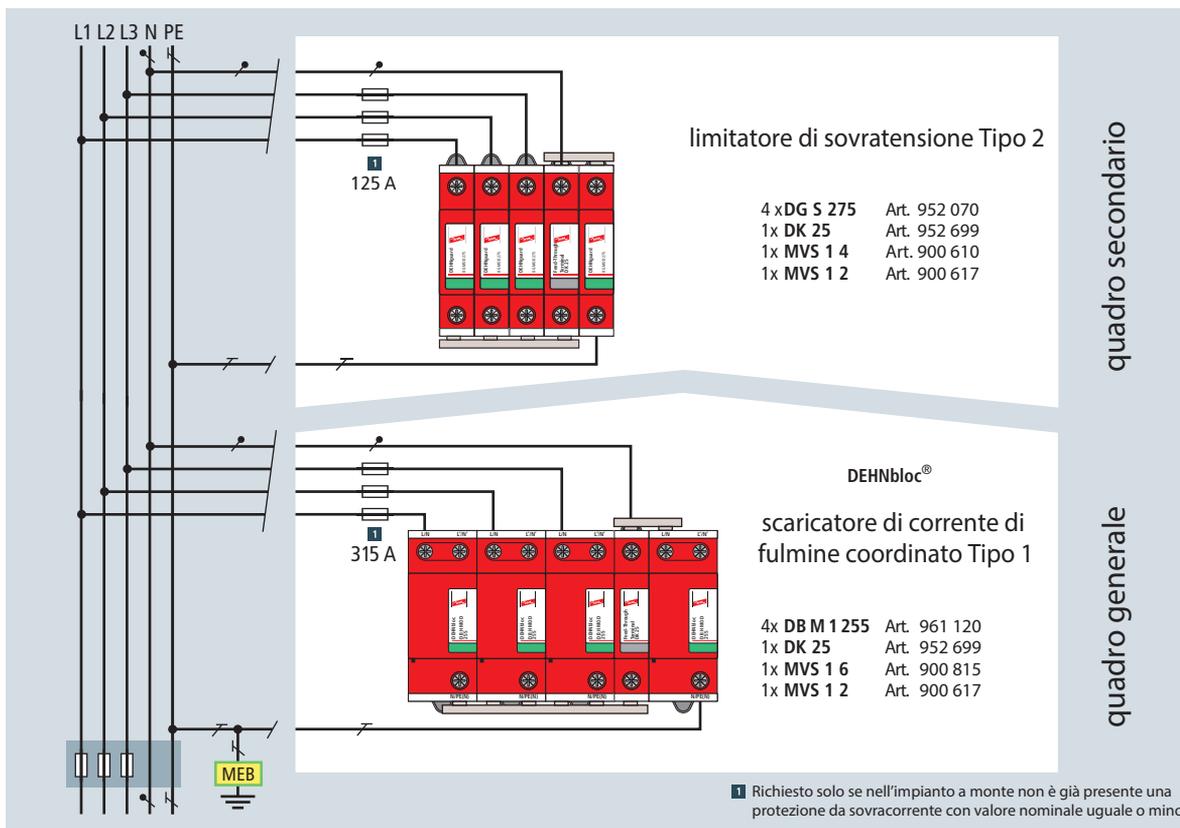


Figura 8.1.5.4 Utilizzo di SPD in un sistema a 230/400 V - Con conduttore neutro integrato (circuito 3+1)

raggiunge il potenziale del conduttore di fase guasto, il che tuttavia non pone rischi in quanto tutti gli organi e le parti metalliche esposte raggiungono questo potenziale attraverso il conduttore di protezione, quindi non si verificano pericolose differenze di potenziale. Tuttavia va osservato che al verificarsi del primo guasto nel sistema, la tensione dei conduttori integri a terra corrisponde alla tensione tra i conduttori di fase. Di conseguenza, al primo guasto di un SPD vi è una tensione di 400 V in un sistema IT a 230/400 V. Questa possibile condizione di esercizio va presa in considerazione nella scelta degli SPD, per quanto riguarda la tensione massima continuativa di funzionamento.

Viene fatta una distinzione tra sistemi IT con conduttore neutro integrato e sistemi IT senza conduttore di neutro integrato (**Figura 8.1.5.1**). Nel caso di sistemi informatici senza conduttore neutro integrato, gli SPD sono installati tra ogni conduttore di fase e il conduttore PE in un cosiddetto circuito "3-0". Per sistemi IT con conduttore neutro integrato, si possono usare sia circuiti "4 - 0" che "3 + 1". Nel caso di un

circuito "3 + 1", si deve osservare che va installato nel tratto N-PE un SPD con un le appropriate capacità di estinzione per la corrente susseguente.

Nei sistemi IT con e senza neutro integrato vanno considerate le massime tensioni continue di esercizio mostrate nelle **Figure da 8.1.5.1a fino a c** per SPD Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3.

Al verificarsi di un secondo guasto in un sistema IT deve quindi intervenire un dispositivo di protezione. Per l'utilizzo di SPD nel sistema IT in combinazione con un dispositivo per la "protezione contro i contatti indiretti" valgono le stesse indicazioni fornite nei paragrafi 8.1 e 8.2 per i sistemi TN e TT. Di conseguenza, nei sistemi IT, è anche consigliabile installare SDP Tipo 1 e Tipo 2 a monte del RCD.

La **Figura 8.1.5.3** illustra l'utilizzo di SPD in un sistema IT privo di conduttore neutro integrato. Un esempio di come sia possibile collegare un SPD nei sistemi IT con conduttore neutro integrato è mostrato in **Figura 8.1.5.4**.

8.1.6 Determinazione delle corrette lunghezze di collegamento per dispositivi SPD.

La determinazione delle corrette lunghezze di collegamento per i dispositivi di protezione è parte integrante della norma IEC 60364-5-53 (HD 60364-5-534).

Gli aspetti elencati di seguito sono spesso motivo di contestazione durante i controlli da parte di periti, ispettori, ecc.

Impianti di messa a terra secondo IEC 60364-5-53 (HD 60364-5-534)

Il livello dell'impulso di tensione effettivamente applicato agli impianti da proteggere è fondamentale per la protezione degli impianti, delle attrezzature e dei carichi. Si ottiene un ottimo effetto protettivo se il livello di tensione impulsiva

all'impianto da proteggere è pari al livello di protezione della tensione del dispositivo di protezione contro le sovratensioni. Pertanto, la norma IEC 60364-5-53 (HD 60364-5-534) suggerisce di collegare i dispositivi di protezione come mostrato in **Figura 8.1.6.1** (cablaggio a V). A tal fine, non viene utilizzata alcuna diramazione separata del circuito per collegare i dispositivi di protezione.

Impianti di messa a terra secondo IEC 60364-5-53 (HD 60364-5-534)

La tecnica di cablaggio a V non è utilizzabile in tutte le configurazioni dell'impianto.

Le correnti nominali che in un cablaggio a V passano attraverso i morsetti doppi del limitatore di sovratensione, sono li-

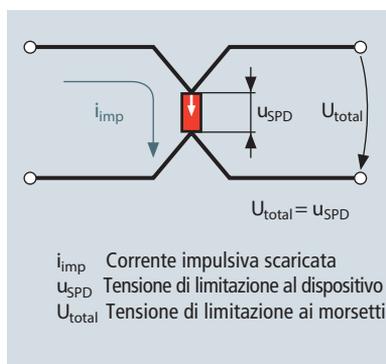


Figura 8.1.6.1 Dispositivi di protezione contro le sovratensioni con cablaggio a V

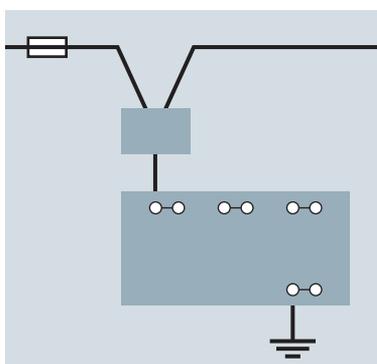


Figura 8.1.6.2 Principio del morsetto di collegamento doppio - unità unipolare



Figura 8.1.6.3 STAK 2X16 e STAK 25 morsetti doppi

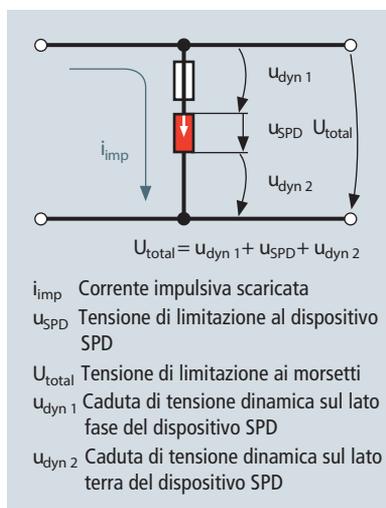


Figura 8.1.6.4a Collegamento dei dispositivi di protezione dalle sovratensioni nella diramazione

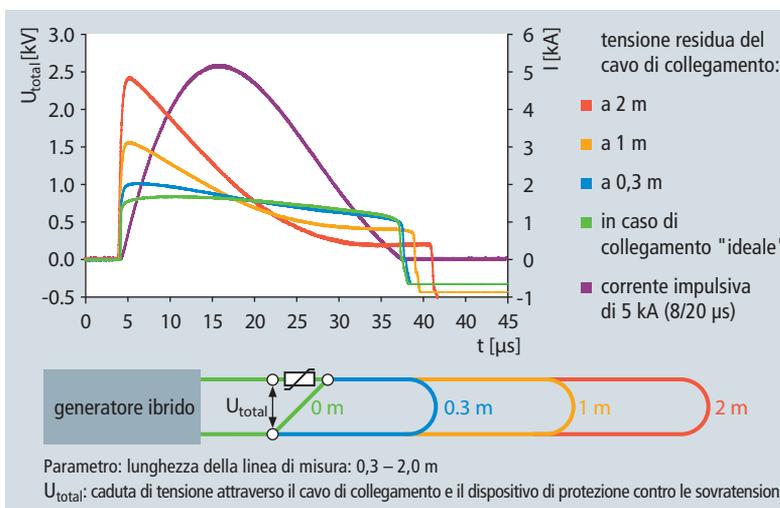


Figura 8.1.6.4b Tensione massima per DEHNGuard 275 in caso di diverse lunghezze di cavo collegamento



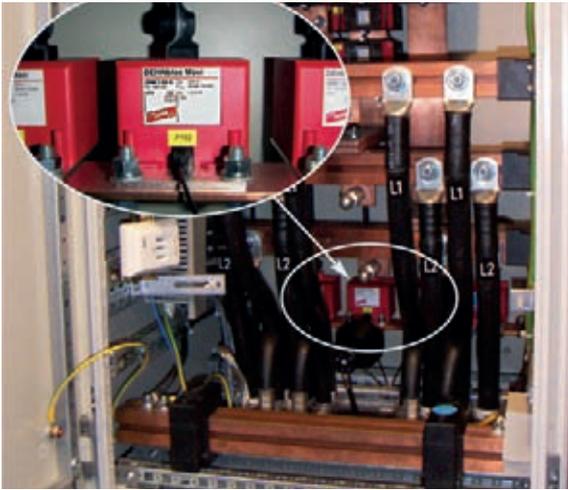


Figura 8.1.6.5 DEHNbloc Maxi S: scaricatore di corrente da fulmine coordinato con fusibile di prot. integrato per barre

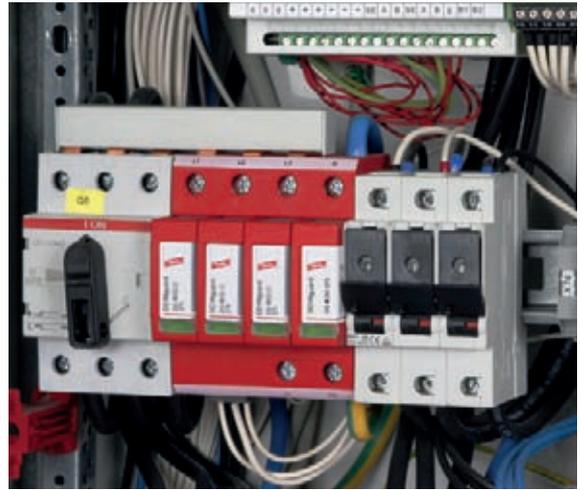


Figura 8.1.6.6 Dehnguard CI modulare: Limitatore di sovratensioni Tipo 2 con fusibile di protezione integrato

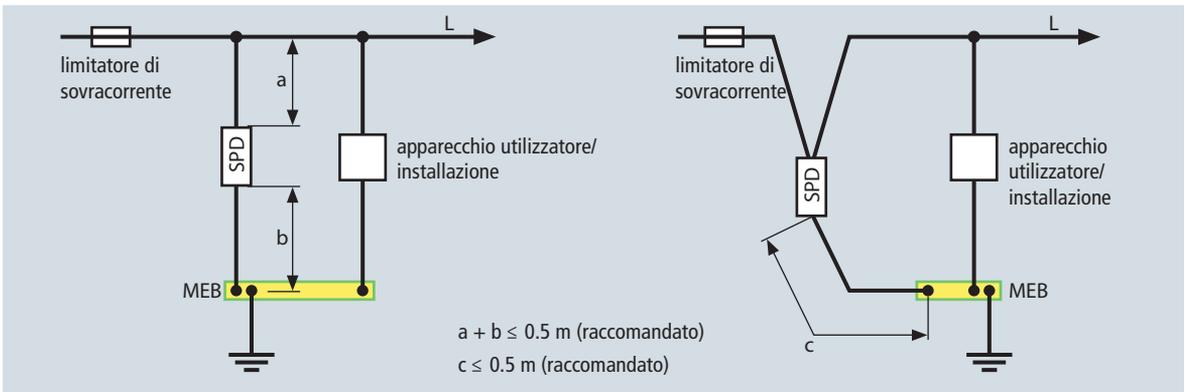


Figura 8.1.6.7 Lunghezza massima consigliata per i dispositivi di protezione nella diramazione (IEC 60364-5-53 (HD 60364-5 -534)

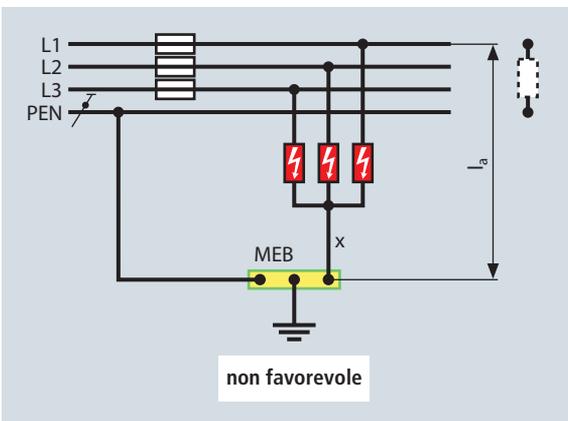


Figura 8.1.6.8a Punto di vista dell'utilizzatore - Posa sfavorevole dei conduttori

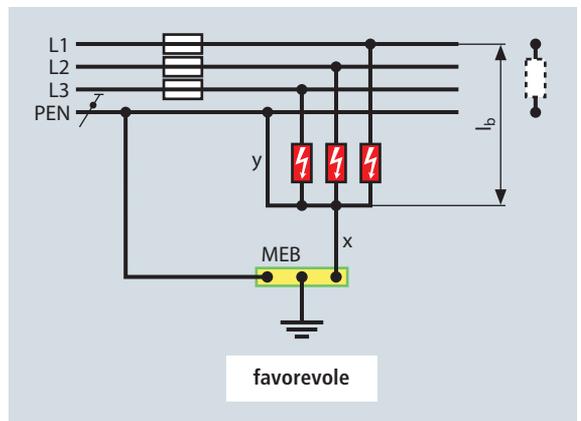


Figura 8.1.6.8b Punto di vista dell'utilizzatore - Posa favorevole dei conduttori

mitate dalla capacità di carico termico dei morsetti doppi. Per questa ragione il costruttore del dispositivo di protezione da sovratensioni prescrive un valore massimo ammissibile per il fusibile di protezione, cosa che rende talvolta inutilizzabile il cablaggio a V nei sistemi con correnti di esercizio più elevate.

Allo stesso tempo, sono disponibili dei cosiddetti morsetti a due conduttori che permettono di risolvere meglio il problema. Quindi si possono mantenere ridotte lunghezze di collegamento anche se la corrente nominale di esercizio è maggiore. Tuttavia, quando si utilizzano i morsetti a due conduttori, va sempre rispettato il valore del prefusibile specificato dal costruttore per la particolare applicazione (**Figure 8.1.6.2 e 8.1.6.3**).

Se il cablaggio a V è del tutto escluso, è necessaria l'installazione dei dispositivi di protezione dalle sovratensioni in una diramazione separata del circuito. Se il valore nominale del fusibile installato immediatamente a monte dell'impianto supera il valore massimo della corrente nominale ammesso dal prefusibile del dispositivo di protezione da sovratensioni, la diramazione deve essere dotata di un proprio fusibile di protezione per lo scaricatore di sovratensione (**Figure 8.1.6.4a e b**), oppure si impiegano dei dispositivi SPD con prefusibile integrato (**Figure 8.1.6.5 e 8.1.6.6**).

All'innesco del dispositivo di protezione da sovratensioni nella diramazione, altri elementi (conduttori, fusibile) vengono attraversati dalla corrente impulsiva, che provoca sulle relative impedenze delle cadute di tensione dinamiche.

In questo caso la componente ohmica è trascurabile rispetto alla componente induttiva.

Considerando la relazione

$$u_{dyn} = i \cdot R + \left(\frac{di}{dt} \right) L \approx \left(\frac{di}{dt} \right) L$$

e le velocità di variazione della corrente (di/dt) per processi transienti di alcune 10 kA/ μ s, la caduta di tensione dinamica u_{dyn} viene determinata per lo più dalla componente induttiva. Per mantenere ridotta questa caduta di tensione, l'induttanza del collegamento e quindi la sua lunghezza devono essere mantenute al minimo valore possibile dall'installatore specializzato che esegue i lavori. Pertanto, la norma IEC 60364-5-53 (HD 60364-5 -534) raccomanda che la lunghezza totale del cavo dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni nelle diramazioni del circuito non sia superiore a 0,5 m (**Figure 8.1.6.7**). Secondo la norma IEC 60364-5-53 (HD 60364-5 -534), è obbligatorio mantenere una lunghezza massima del cavo pari a 1 m. La **Figure 8.1.6.4b** mostra gli effetti di diversi cavi di collegamento sul livello di protezione della tensione in una data disposizione circuitale.

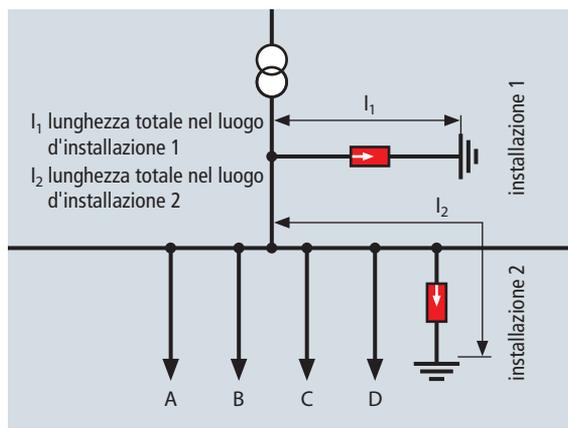


Figura 8.1.6.9 Disposizione dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni nell'impianto e lunghezza di collegamento efficace risultante

Disposizione del cavo di collegamento sul lato terra

Questo requisito, che sembra essere difficile da realizzare, sarà spiegato in base all'esempio mostrato nelle **Figure 8.1.6.8a e b**. Esse mostrano il collegamento equipotenziale di protezione (in precedenza definito "principale") di un impianto per utenze a bassa tensione a norma IEC 60364-4-41 (HD 60364-4 -41) e IEC 60364-5-54 (HD 60364-5 -54). In questo caso, il collegamento equipotenziale diventa una equipotenzialità antifulmini per effetto dei dispositivi di protezione contro i fulmini Tipo 1.

Nella **Figure 8.1.6.8a**, sono state installate indipendentemente entrambe le misure. In questo caso, il conduttore PEN è collegato alla barra equipotenziale e i dispositivi di protezione contro le sovratensioni sono collegati a terra attraverso un conduttore equipotenziale separato.

Pertanto, la lunghezza di collegamento effettiva (l_a) per i dispositivi di protezione da sovratensioni è data dalla distanza tra il punto di installazione dei dispositivi di protezione da sovratensioni (ad esempio: quadro di allacciamento rete, distribuzione principale) e alla barra equipotenziale. Nella maggior parte dei casi una siffatta configurazione di collegamento non protegge efficacemente l'impianto. Tuttavia, la lunghezza effettiva del cavo dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni ($l_b < 0,5$ m) può essere ridotta senza grande sforzo (**Figure 8.1.6 .8b**).

Ciò si ottiene con un conduttore di bypass (y) tra l'uscita lato massa degli scaricatori e il conduttore PEN. Il collegamento tra l'uscita lato massa degli scaricatori e la barra equipotenziale (x) rimane immutata.

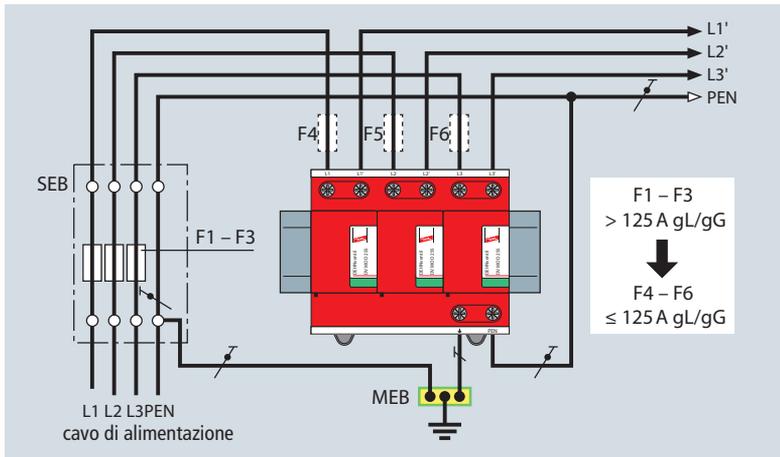


Figura 8.1.6.10 Cablaggio a V



Figura 8.1.6.11 Cablaggio a V dello scaricatore combinato DEHNventil MTNC tramite sbarra collettice

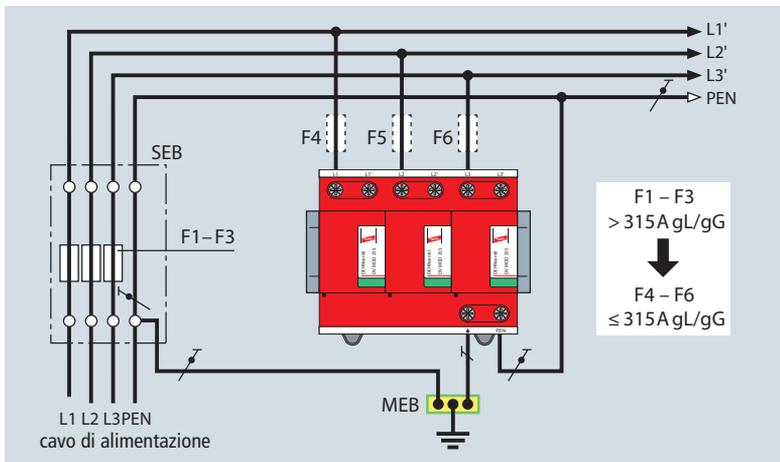


Figura 8.1.6.12 Collegamento in parallelo

Secondo le linee guida pubblicate in Germania dalla VDN (associazione tedesca dei gestori di rete) 2004-08: "Überspannungsschutzeinrichtungen Typ 1. Richtlinie für den Einsatz von Überspannungs - Schutzeinrichtungen (ÜSE) Typ 1 (bisher Anforderungsklasse B) Hauptstromversorgungssystemen." [Dispositivi di protezione contro le sovratensioni Tipo 1 - Linee guida per l'uso di dispositivi di protezione contro le sovratensioni (SPD) Tipo 1 nelle reti di alimentazione], il conduttore di bypass (y) non deve essere utilizzato se il dispositivo di protezione contro le sovratensioni è installato in prossimità ($\leq 0,5$ m) del quadro di consegna e quindi anche in prossimità del collegamento equipotenziale.

Di conseguenza, la distanza tra il quadro di consegna o il quadro di distribuzione principale e la barra di collegamento equipotenziale non è importante quando si installa il collegamento y. La soluzione di questo problema fa riferimento solo alla progettazione del cavo di collegamento di terra dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni.

Disposizione del collegamento sul lato fase

Va presa in considerazione anche la lunghezza del lato fase dei cavi di collegamento. Ciò viene illustrato in base al seguente esempio.

Negli impianti di distribuzione estesi deve essere prevista una protezione da sovratensioni per le barre e per i relativi circuiti (da A a D) compresi i rispettivi carichi (**Figura 8.1.6.9**).

In questo caso, per utilizzare i dispositivi di protezione, vengono assunti i punti di installazione 1 e 2. Il punto di installazione 1 si trova direttamente sull'ingresso delle barre. In questo modo si garantisce che tutti i carichi siano ugualmente protetti contro le sovratensioni. La lunghezza effettiva dei collegamenti dello scaricatore nel punto di installazione 1 è data da l_1

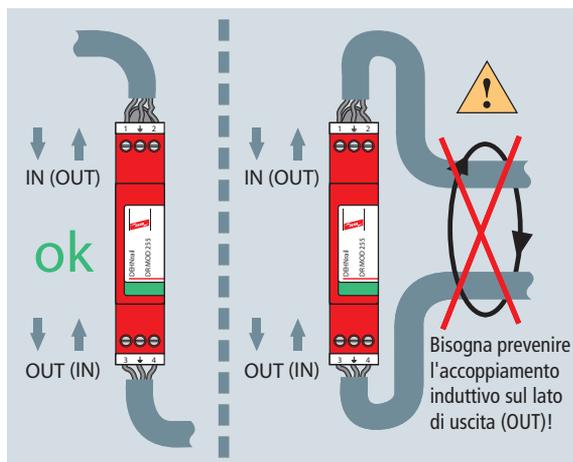


Figura 8.1.6.13 Posa dei conduttori

per tutte le utenze. Se lo spazio è limitato, i dispositivi di protezione sono a volte installati lungo la barra colletttrice. In casi estremi può essere scelto il punto di installazione 2, per la disposizione indicata in **Figura 8.1.6.9**. Per i circuiti A e B, l'effettiva lunghezza del cavo è l_2 . Le barre colletttrici hanno una induttanza inferiore rispetto ai cavi e ai conduttori (circa 1/4) e quindi si ha una minore caduta di tensione induttiva. La lunghezza delle sbarre colletttrici non va tuttavia trascurata.

La scelta dei collegamenti ha un'influenza determinante sull'efficacia dei dispositivi di protezione da sovratensioni e deve perciò essere considerata già in fase di progettazione dell'impianto!

Il contenuto della norma IEC 60364-5-53 (HD 60364-5-534) appena descritto è stato determinante per lo sviluppo dello scaricatore combinato DEHNventil, che ingloba in un unico dispositivo di protezione i requisiti richiesti per gli scaricatori di corrente da fulmine e di sovratensione, in conformità alla normativa IEC 62305 Parte 1-4 - CEI EN 62305 Parti 1-4.

Questo permette di realizzare un cablaggio a V direttamente sul dispositivo. La **Figura 8.1.6.10** illustra lo schema dettagliato di tale collegamento.

La **Figura 8.1.6.11** mostra il vantaggio di utilizzare un cablaggio a V con la sbarra colletttrice.

Grazie alla capacità di carico termico dei suoi morsetti doppi, il cablaggio a V (detto anche cablaggio passante) è applicabile fino a 125 A.

Per impianti con correnti > 125 A, il collegamento dei dispositivi di protezione da sovratensioni viene effettuato tramite una diramazione (connessione in parallelo). In tale contesto vanno rispettate le lunghezze massime di collegamento definite dalla norma IEC 60364-5-53 (HD 60364-5-534). La

connessione in parallelo può essere eseguita come illustrato nella **Figura 8.1.6.12**.

Bisogna fare in modo che il cavo di collegamento lato terra sfrutti il doppio morsetto di terra. Come illustrato nella **Figura 8.1.6.12**, è spesso possibile raggiungere facilmente una lunghezza effettiva del collegamento $l < 0,5$ m, tramite un collegamento tra il terminale "PE(N)" del morsetto doppio sul lato terra e il conduttore PEN.

Nell'installazione dei dispositivi di protezione da sovratensioni nei sistemi di distribuzione, in generale bisogna fare in modo che i conduttori sottoposti a correnti impulsive e quelli non sottoposti a correnti impulsive siano posati alla massima distanza possibile tra loro. Bisogna evitare in ogni caso di posare i conduttori parallelamente tra loro (**Figura 8.1.6.13**).

8.1.7 Dimensionamento delle sezioni e del prefusibile per dispositivi di protezione da sovratensioni

I collegamenti degli scaricatori possono essere soggetti a correnti impulsive, di servizio e di cortocircuito. I singoli carichi dipendono da vari fattori:

- ➔ tipo di circuito di protezione one-port (**Figura 8.1.7.1**) / two-port (**Figura 8.1.7.2**)
- ➔ tipo di scaricatori e limitatori: scaricatore di corrente di fulmine, limitatore di sovratensione
- ➔ prestazioni dello scaricatore in presenza di correnti susseguenti: estinzione/limitazione della corrente susseguente

Se i dispositivi di protezione dalle sovratensioni vengono installati come indicato in **Figura 8.1.7.1**, i collegamenti S2 e S3 devono essere dimensionati solo in base ai criteri della protezione contro il corto circuito secondo la normativa IEC 60364-4-43 (HD 60364-4-43) - CEI 64-8/4 e in base alla capacità di tenuta alle correnti da fulmine. La massima sovracorrente ammissibile del dispositivo di protezione contro le sovracorrenti, utilizzabile come protezione per lo scaricatore in questa applicazione, è specificata nella scheda tecnica del dispositivo di protezione contro le sovratensioni.

Durante l'installazione dei dispositivi occorre accertarsi che la corrente di corto circuito effettivamente condotta sia in grado di provocare l'intervento del dispositivo di protezione contro le sovracorrenti. Il dimensionamento della sezione del conduttore è dato dalla seguente equazione:

$$k^2 \cdot S^2 \geq I^2 \cdot t$$

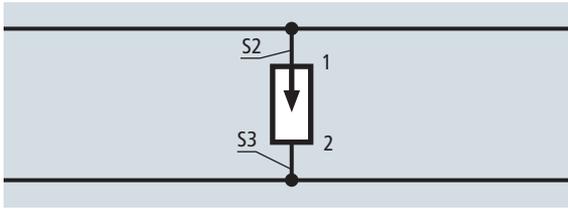


Figura 8.1.7.1 SPD a una porta (one-port)

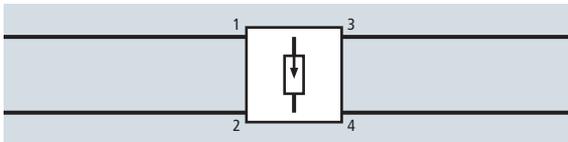


Figura 8.1.7.2 SPD a due porte

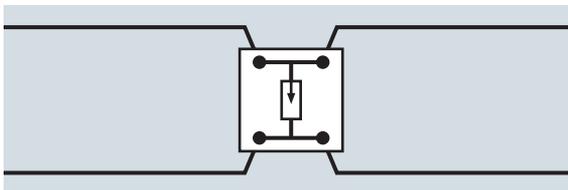


Figura 8.1.7.3 SPD one-port con cablaggio passante

Materiale conduttore	Materiale isolante		
	PVC	EPR /XLPE	Gomma
Cu	115	143	141
Al	76	94	93

Tabella 8.1.7.1 Coefficiente del materiale k per conduttori in rame e alluminio con diversi materiali isolanti (conforme a IEC 60364-4 -43)

- t Tempo di disconnessione ammissibile in caso di cortocircuito in s
- S Area della sezione trasversale del conduttore in mm²
- I Corrente in caso di un corto circuito diretto in A
- k Coefficiente del materiale k in A • s/mm² secondo la **Tabella 8.1.7.1**.

Occorre inoltre osservare che le indicazioni riguardanti i valori della massima sovracorrente ammissibile in un dispositivo di protezione da sovracorrente, riportate nella scheda tecnica del dispositivo stesso, valgono solo fino al rispettivo valore di tenuta alla corrente di corto circuito. Se la corrente di corto circuito nel punto d'installazione è maggiore della corrente di cortocircuito del dispositivo di protezione, va scelto un prefu-

sibile di valore inferiore, in rapporto 1:1,6 rispetto al valore indicato nella scheda tecnica dello scaricatore.

Per i dispositivi di protezione dalle sovratensioni, installati come indicato in **Figura 8.1.7.2**, la corrente di servizio massima non deve superare la corrente di carico nominale indicata per il dispositivo di protezione. La corrente massima del cablaggio passante si applica ai dispositivi di protezione che possono essere collegati in serie (**Figura 8.1.7.3**).

La **Figura 8.1.7.4** illustra alcuni esempi di sezioni e prefusibili per scaricatori di corrente di fulmine e limitatori di Tipo 1 combinati, **Figura 8.1.7.5** per dispositivi di protezione Tipo 2 e **Figura 8.1.7.6** per dispositivi di protezione Tipo 3.

Nel dimensionamento dei prefusibili per i dispositivi di protezione, va preso in considerazione il comportamento nei confronti della corrente impulsiva. I fusibili hanno caratteristiche di intervento decisamente diverse a seguito di correnti di corto circuito o di correnti impulsive, in particolare con correnti di fulmine impulsive con forma d'onda 10/350 µs.

Viene di seguito riportato il comportamento dei fusibili in funzione della corrente di fulmine impulsiva (**Figura 8.1.7.7 e Tabella 8.1.7.2**).

Zona 1: nessuna fusione

L'energia introdotta nel fusibile attraverso la corrente di fulmine impulsiva non è tale da causarne la fusione.

Zona 2: fusione

L'energia della corrente di fulmine impulsiva è sufficiente a causare l'intervento del fusibile e quindi interrompere il circuito tramite il fusibile stesso (**Figura 8.1.7.8**).

Fa parte delle caratteristiche delle prestazioni del fusibile che la corrente di fulmine passi senza variazioni, indipendentemente dalle prestazioni del fusibile, in quanto tale corrente è iniettata. Il fusibile interviene soltanto dopo lo smorzamento della corrente impulsiva di fulmine. Quindi un fusibile non è selettivo per quanto riguarda l'intervento con correnti di fulmine impulsive. Pertanto, è necessario garantire che sia sempre utilizzato il fusibile di protezione con la massima corrente ammissibile, secondo le specifiche tecniche o le istruzioni di installazione del dispositivo di protezione, a causa dell'andamento dell'impulso di corrente.

Dalla **Figura 8.1.7.8** si può inoltre notare che, durante il processo di fusione, si crea una caduta di tensione attraverso il fusibile, che a volte è notevolmente superiore a 1 kV. Per le applicazioni illustrate nella **Figura 8.1.7.9**, il livello di protezione risultante $U_S + U_P$ può essere significativamente superiore al livello di protezione U_P del dispositivo di protezione contro le sovratensioni utilizzato, a causa della fusione del fusibile.

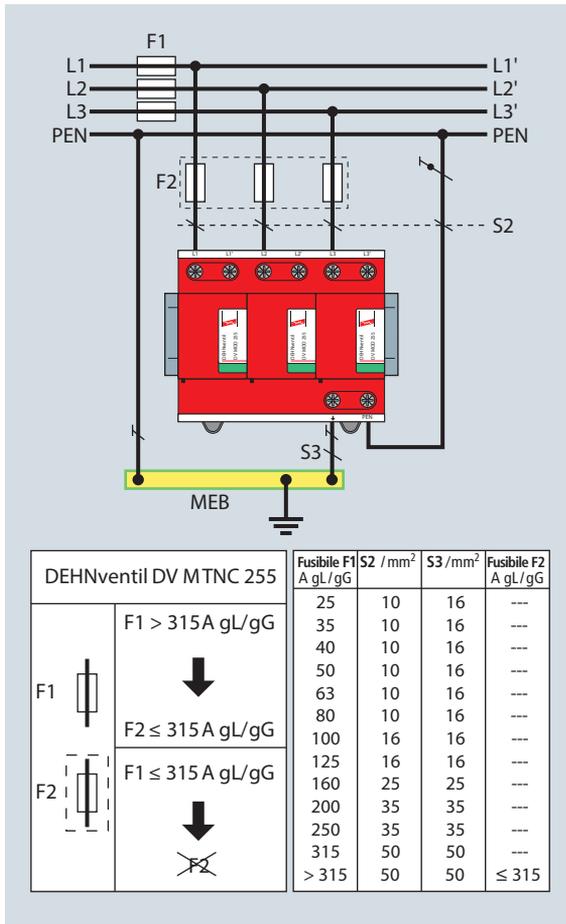


Figura 8.1.7.4 Esempio: DEHNventil M TNC 255

Zona 3: esplosione

Se l'energia della corrente di fulmine impulsiva è molto più elevata dell'integrale di fusione del fusibile, può capitare che l'elemento fusibile evapori in modo esplosivo. Questo porta spesso alla rottura dell'involucro del fusibile. A parte gli effetti meccanici, va osservato che l'impulso della corrente di fulmine continua a fluire attraverso il fusibile in fase di fusione, sotto forma di un arco elettrico. L'impulso della corrente di fulmine pertanto non può essere interrotto e la necessaria capacità di condurre la corrente impulsiva da parte dello scaricatore utilizzato non può essere ridotta.

Selettività per la protezione degli impianti

Per l'utilizzo dei dispositivi di protezione dalle sovratensioni di tipo spinterometrico, occorre osservare che una corrente susseguente di rete viene limitata al punto da prevenire l'intervento dei dispositivi di protezione da sovracorrente, come ad esempio i fusibili di protezione dei conduttori e/o i prefusibili dello scari-

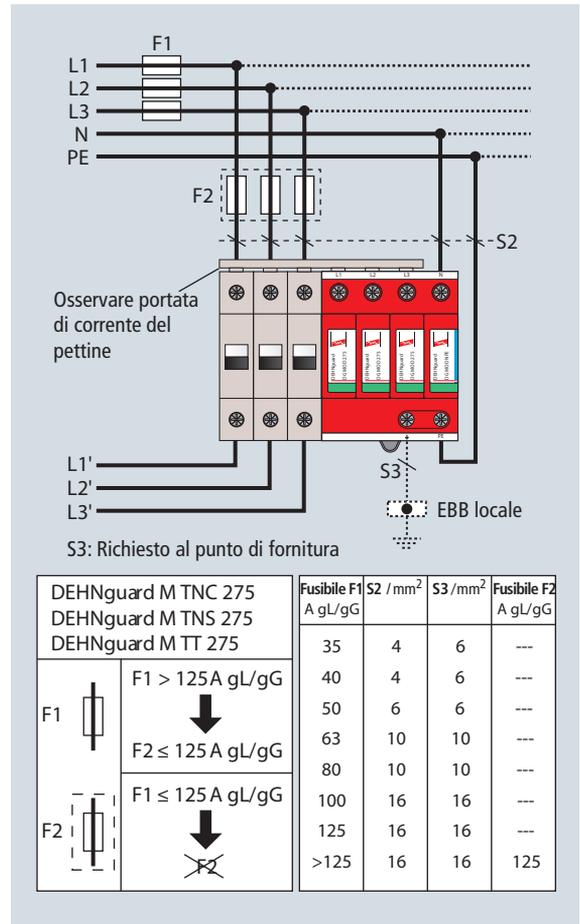


Figura 8.1.7.5 Esempio: DEHNgard M TNC/TNS/TT

catore. Questo viene definito Limitazione (o soppressione) della corrente susseguente. Solo le tecnologie come RADAX-Flow permettono lo sviluppo di scaricatori e combinazioni di scaricatori che, anche nel caso di impianti con alte correnti di corto circuito, sono in grado di ridurre ed estinguere la corrente di cortocircuito attesa in misura tale che i fusibili con correnti nominali basse non intervengano (Figura 8.1.7.10).

La disponibilità degli impianti richiesti dalla norma IEC 61439-1 - CEI EN 60439-1 (CEI 17-113), nonostante l'intervento dei dispositivi di protezione, può essere assicurata mediante la limitazione della corrente susseguente, come descritto in precedenza. In particolare, per i dispositivi di protezione con una bassa tensione di scarica che dovrebbero garantire l'equipotenzialità antifulmini e la protezione contro le sovratensioni per l'impianto, le prestazioni della limitazione della corrente susseguente è più importante che mai per la disponibilità dell'impianto elettrico. Nella Figura 8.1.7.11 si può osservare che anche nel caso di una corrente di cortocircuito presunta di

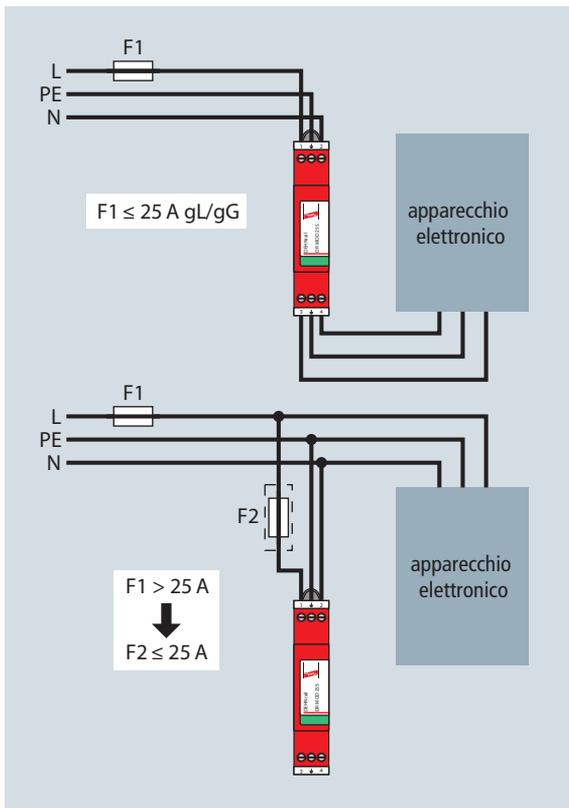


Figura 8.1.7.6 Esempio DEHNrail

Valore nominale dei fusibili NH		Valore calcolato in caso di correnti di impulso (a 8/20 μs) kA
n A	$I^2 t_{\min}$ A ² s	
35	3 030	14,7
63	9 000	25,4
100	21 200	38,9
125	36 000	50,7
160	64 000	67,6
200	104 000	86,2
250	185 000	115,0

Tabella 8.1.7.2 Capacità di trasporto della corrente impulsiva di fusibili NH sottoposti a correnti impulsive (8/20 μs)

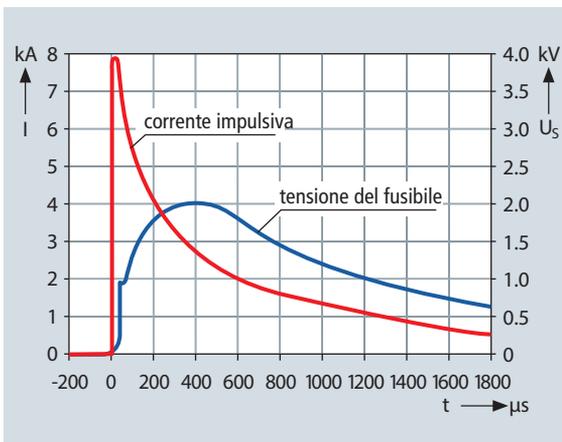


Figura 8.1.7.8 Corrente e tensione su un fusibile 25 A-NH che sta fondendo durante la sollecitazione con corrente impulsiva di fulmine (10/350 μs)

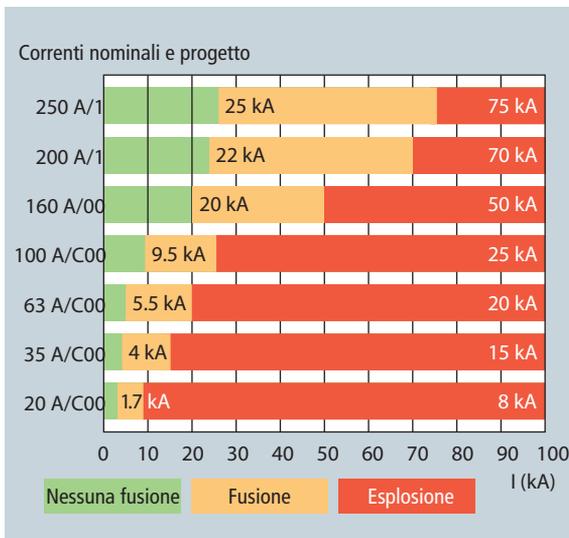


Figura 8.1.7.7 Prestazioni dei fusibili NH sottoposti a correnti impulsive (10/350 μs)

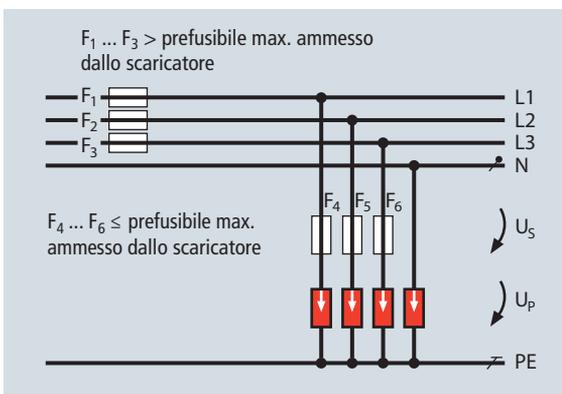


Figura 8.1.7.9 Utilizzo di un fusibile di protezione separato per lo scaricatore

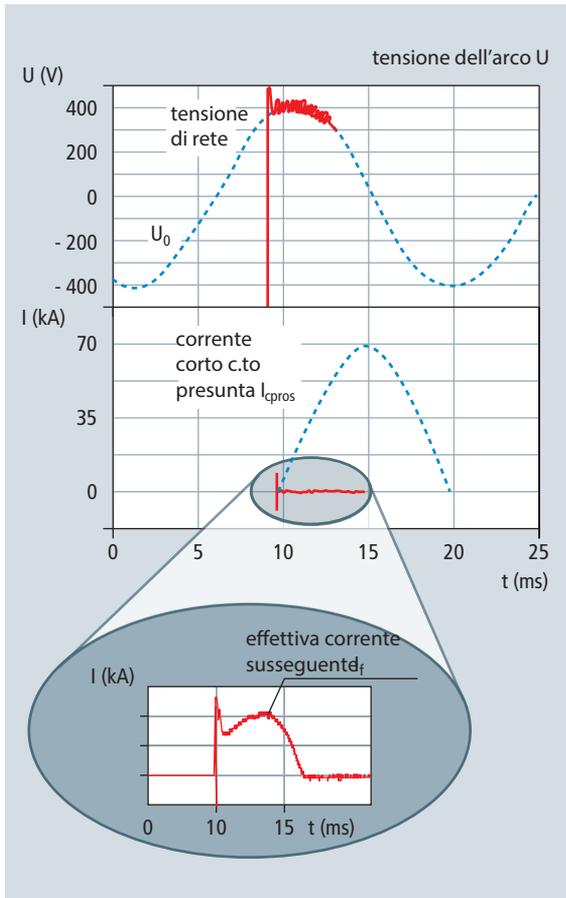


Figura 8.1.7.10 Riduzione della corrente susseguente attraverso il principio RADAX-Flow brevettato

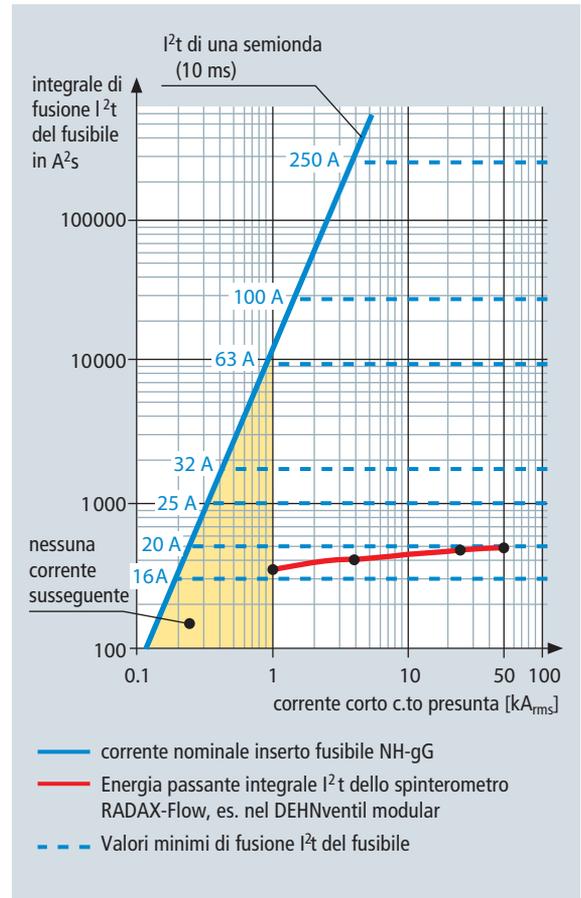


Figura 8.1.7.11 Selettività della corrente susseguente del DEHNventil M rispetto ai fusibili NH con diverse correnti nominali

50 kA_{rms} , l'integrale dell'energia passante attraverso lo spinterometro RADAX-Flow è al di sotto della soglia minima di un fusibile NH-gG con una corrente nominale di 20 A.

8.1.8 Limitatore di sovratensione con prefusibile integrato

Quando si scelgono i prefusibili per i dispositivi di protezione, vanno rispettati due criteri di dimensionamento:

- ➔ valore massimo del prefusibile prescritto dal costruttore
- ➔ capacità di trasporto della corrente impulsiva del prefusibile

Ciò può essere efficacemente e facilmente implementato utilizzando i dispositivi di protezione dalle sovratensioni dotati di prefusibile integrato.

DEHN offre diversi scaricatori Tipo 1 e Tipo 2, nei quali il prefusibile è già integrato nel dispositivo di protezione contro le sovratensioni, quali DEHNvenCI DEHNguard M/S ... CI (Figure da 8.1.8.1 a 8.1.8.3). Questi scaricatori montati su guida DIN offrono diversi vantaggi per l'utente:

- ➔ nessuna necessità di ulteriori prefusibili poiché il fusibile di riserva è integrato nello scaricatore,
- ➔ fabbisogno di spazio notevolmente ridotto (Figura 8.1.8.3),
- ➔ installazione notevolmente semplificata,
- ➔ sorveglianza del prefusibile integrato nello scaricatore per mezzo di un contatto di segnalazione a distanza dello stato di funzionamento e di guasto,
- ➔ facile implementazione di cavi di collegamento corti, secondo la norma IEC 60364-5-53 (HD 60364-5 -534),



Figura 8.1.8.1 DEHNguard M TNC CI 275 FM - Scaricatore Tipo 2 integrato con fusibile di protezione



Figura 8.1.8.2 Struttura interna del DEHNguard M/S ... CI (vista anteriore e posteriore)

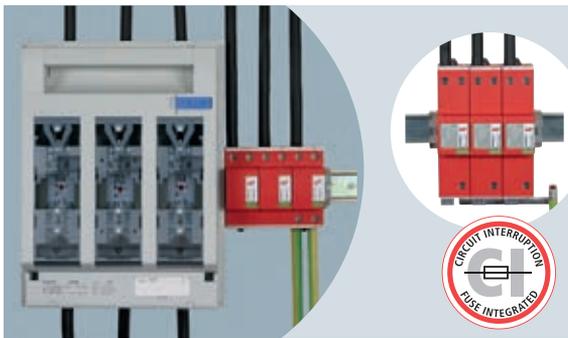


Figura 8.1.8.3 Ingombro notevolmente ridotto - Confronto dello spazio di installazione di uno scaricatore Tipo 1 convenzionale con un DEHvenCI

➔ disponibile per tutte le configurazioni d'impianto (TNC, TNS, TT, unipolari).

gli scaricatori con prefusibile integrato offrono numerosi vantaggi, come i ridottissimi requisiti di spazio e la facilità di installazione. Inoltre, non è necessaria una conoscenza approfondita dei criteri di dimensionamento per i fusibili di protezione dello scaricatore, poiché il fusibile di protezione è già integrato e perfettamente adattato allo scaricatore.

8.2 Sistemi informatici

Gli scaricatori servono in primo luogo a proteggere gli apparecchi collegati a valle. Inoltre riducono il rischio di danneggiamento dei conduttori.

La scelta di uno scaricatore dipende tra l'altro dalle seguenti considerazioni:

- ➔ zona di protezione contro i fulmini nel luogo di installazione, se pertinente
- ➔ energie da scaricare
- ➔ disposizione dei dispositivi di protezione
- ➔ immunità ai disturbi degli apparecchi finali
- ➔ modalità di protezione trasversale (differenziale) e/o longitudinale (modo comune)
- ➔ requisiti di sistema, p. es. parametri di trasmissione
- ➔ corrispondenza con norme specifiche di prodotto o applicazione, se richiesto
- ➔ adattamento alle condizioni dell'ambiente e di installazione

I dispositivi di protezione per i cavi delle antenne si distinguono in base alla loro idoneità per sistemi coassiali, simmetrici o a guida d'onda, a seconda dell'esecuzione fisica del cavo d'antenna.

Per sistemi coassiali e a guida d'onda, il conduttore di fase può essere collegato direttamente al sistema equipotenziale. Per questo scopo possono essere utilizzati manicotti di messa a terra specificamente adattati al rispettivo cavo.

Procedura di selezione e installazione degli scaricatori in base all'esempio di BLITZDUCTOR XT

Contrariamente a quanto avviene per la scelta dei dispositivi di protezione nei sistemi di alimentazione (vedere capitolo 8.1), dove nel campo 230/400 V si possono prevedere condizioni

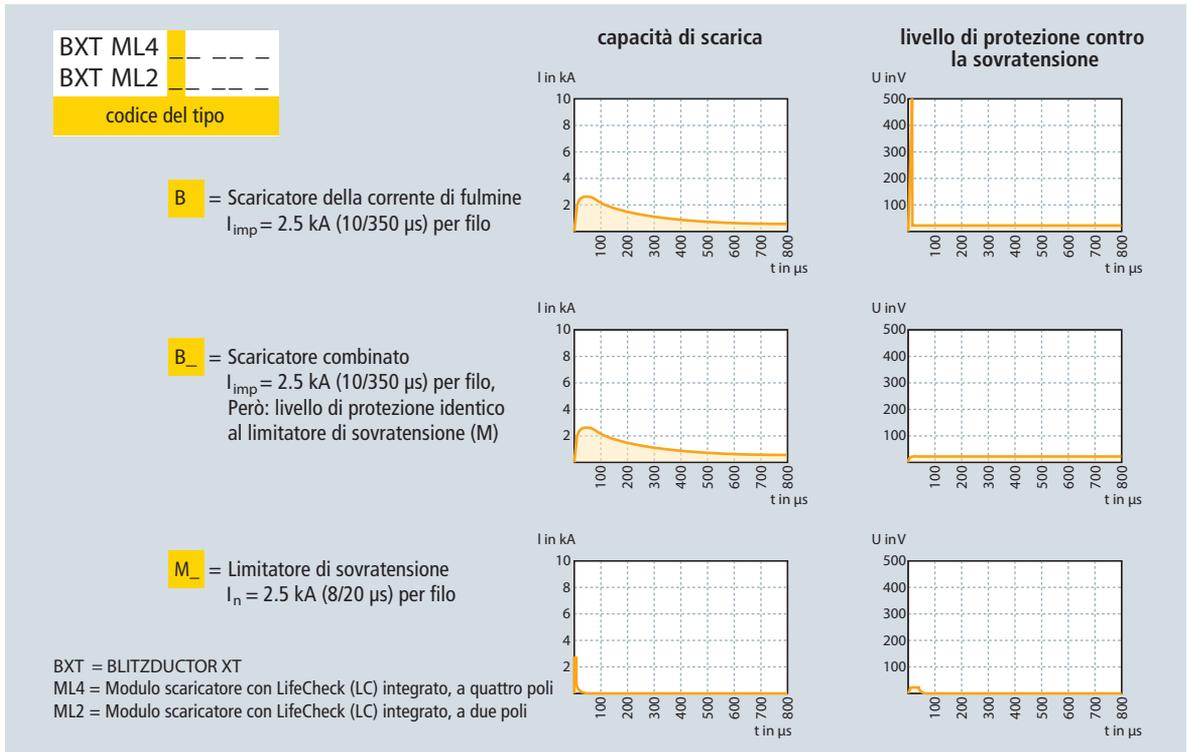


Figura 8.2.1 Classificazione degli scaricatori

uniformi di tensione e frequenza, nei sistemi di automazione, comando e misura, i segnali presenti differiscono invece per:

- ➔ tensione (ad es. 0 - 10 V)
- ➔ corrente (ad es. 0 - 20 mA, 4 - 20 mA)
- ➔ tipo di trasmissione del segnale (simmetrico, asimmetrico)
- ➔ frequenza (DC, NF, HF)
- ➔ tipo di segnale (analogico, digitale).

Ognuna di queste grandezze elettriche del segnale può contenere l'informazione effettiva da trasmettere.

Perciò, negli impianti di controllo, misura e regolazione (CMR), il segnale non deve essere influenzato negativamente dagli scaricatori di corrente da fulmine o dai dispositivi di protezione contro le sovratensioni. In tale contesto devono essere osservati alcuni punti per la scelta dei dispositivi di protezione per impianti CMR. Nel seguito, questi punti sono descritti per i nostri dispositivi di protezione universali BLITZDUCTOR XT e sono illustrati in base alle applicazioni di esempio (**Figure da 8.2.1 a 8.2.4 e Tabella 8.2.1**).

Marcatura dei moduli di protezione

- C Limitazione trasversale supplementare e resistenze di disaccoppiamento supplementari in uscita del BLITZDUCTOR XT per il disaccoppiamento dei diodi di protezione del BLITZDUCTOR con eventuali diodi presenti nel circuito d'ingresso dell'apparecchio da proteggere (p. es. diodi clamping, diodi opto-acoppiatori)
- HF Modello per la protezione di tratte ad alta frequenza (impiego di una matrice di diodi per la limitazione fine della sovratensione), limitazione longitudinale e trasversale
- EX Dispositivo di protezione per l'applicazione in circuiti di misurazione sicurezza intrinseca con approvazione ATEX, IECEx e FISCO (resistenza di isolamento a terra di circa 500 V c.a.)

Dati tecnici

Livello di protezione U_p

Il livello della tensione di protezione è il parametro del dispositivo di protezione da sovratensioni, che caratterizza l'efficienza a limitare la tensione ai suoi morsetti. Il valore del livello di

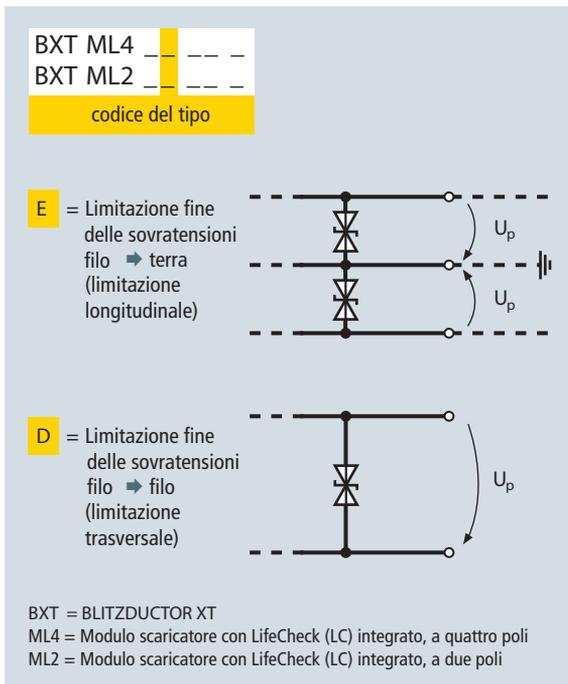


Figura 8.2.2 Comportamento di limitazione

protezione deve essere superiore al valore massimo delle tensioni residue misurate.

La tensione residua misurata è la tensione massima misurata ai morsetti del dispositivo di protezione da sovratensione quando quest'ultimo viene alimentato con correnti e/o tensioni impulsive a forme d'onda e ampiezza prestabilite.

Tensione di limitazione in caso di pendenza della forma d'onda della tensione di prova pari a 1 kV/μs

Questa prova serve per individuare le caratteristiche di innesco degli scaricatori a gas (GDT). Questi elementi di protezione possiedono una "caratteristica di commutazione". Il principio di funzionamento di un GTD può essere paragonato a quello di un interruttore la cui resistenza può "automaticamente" passare da valori > 10 GΩ (spento) a valori < 0,1 Ω (accesso) quando viene superato un certo valore di tensione, in modo che la sovratensione applicata sia quasi in cortocircuito. Il valore di tensione che provoca l'intervento del GDT dipende dalla velocità di salita della forma d'onda di tensione in arrivo (du/dt).

In generale, maggiore è il rapporto du/dt maggiore sarà la tensione di innesco dello scaricatore a gas. Per confrontare i valori di scarica dei diversi tubi a scarica di gas, viene applicata agli elettrodi dei tubi stessi una tensione con un fronte di salita di 1 kV/μs, per determinare la tensione di scarica dinamica (Figure 8.2.5 e 8.2.6.).

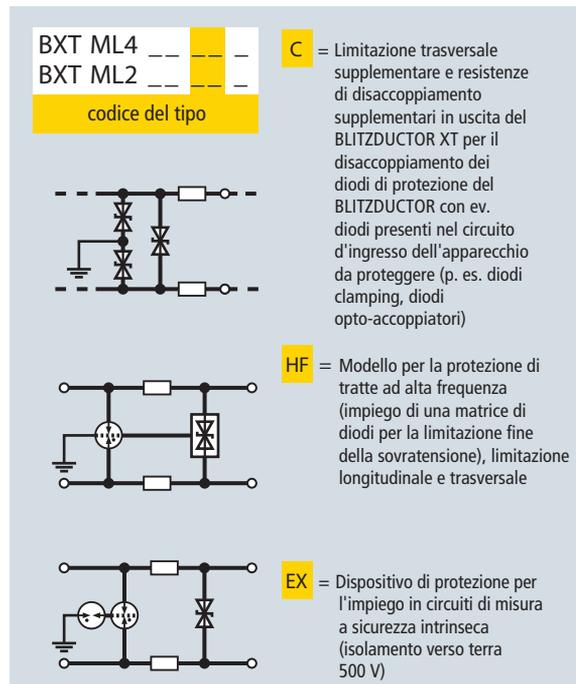
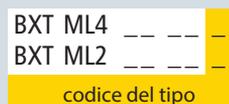


Figura 8.2.3 Applicazioni speciali



Il valore della tensione nominale indica il campo della tensione di segnale tipica che non limita il dispositivo di protezione in condizioni nominali. Il valore della tensione nominale viene indicata come valore CC.

Le tensioni nominali per i singoli tipi sono indicate come segue

Tipo	Tensione nominale U_N
_E	= Tensione tra filo e terra
_D	= Tensione tra filo e filo
_E C	= Tensione tra filo e filo e tra filo e terra
_E HF	= Tensione tra filo e terra
_D HF	= Tensione tra filo e filo
_D EX	= Tensione tra filo e filo

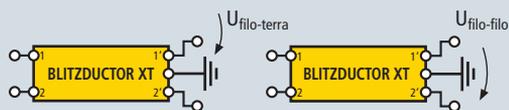


Figura 8.2.4 Tensione nominale e di riferimento

ML4 B	180	ML2 B	180
ML4 BE	5	ML2 BE S	5
	12		12
	24		24
	36		36
	48		48
	180		
ML4 BD	5	ML2 BD S	5
	12		12
	24		24
	48		48
	60		
	180		180
ML4 BC	5 24		
ML4 BE C	12 24		
ML4 BE HF	5	ML2 BE HFS	5
ML4 BD HF	5 24	ML2 BD HFS	5
ML4 MY	110 250	ML2 MY	110 250
		ML2 BD DL S	15
ML4 BD EX	24	ML2 BD S EX	24
ML4 BC EX	24		
		ML2 BD HF EX	6

Tabella 8.2.1 Marcatura dei moduli di protezione BXT

Tensione di limitazione in caso di correnti di scarica nominale

Questa prova serve per l'individuazione del comportamento degli elementi di protezione con caratteristica a limitazione costante (Figura 8.2.7 e 8.2.8).

Corrente di carico nominale I_L

La corrente nominale del BLITZDUCTOR XT caratterizza il funzionamento ammissibile del circuito di misura da proteggere. La corrente nominale del dispositivo BLITZDUCTOR CT viene determinata dalla corrente sopportabile e dall'energia dissipata dalle impedenze utilizzate per il disaccoppiamento tra i tubi scaricatori a gas e gli elementi di protezione fine, nonché dalla capacità di estinzione della corrente susseguente da parte dei tubi scaricatori a gas. La corrente nominale viene espressa come un valore in corrente continua (Figura 8.2.9).

Esempi di correnti massime nominali dei singoli moduli di protezione BLITZDUCTOR XT sono elencati nella Tabella 8.2.2.

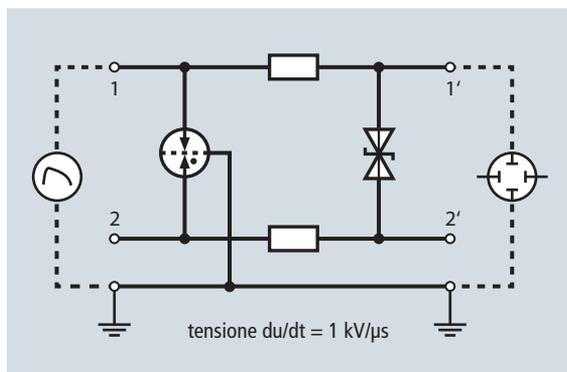


Figura 8.2.5 Circuito di prova per la determinazione della tensione di limitazione con velocità di salita della tensione $du/dt = 1 \text{ kV}/\mu$

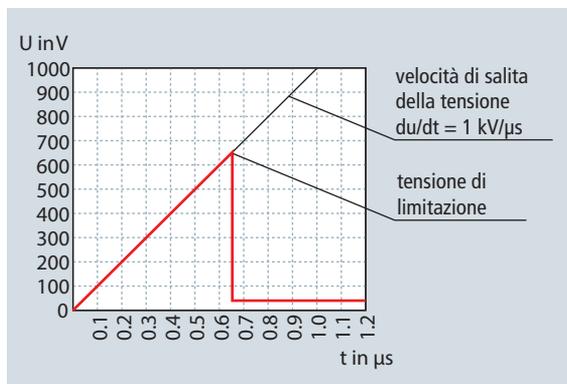


Figura 8.2.6 Caratteristiche di innesco di uno scaricatore a gas con $du/dt = 1 \text{ kV}/\mu$

Frequenza limite f_G

La frequenza di taglio descrive il comportamento dipendente dalla frequenza di uno scaricatore. La frequenza di taglio è la frequenza che provoca una perdita di inserzione (a_E) pari a 3 dB in determinate condizioni di prova (vedere IEC 61643-21 - CEI EN 61643-21 - CEI 37-6) (Figura 8.2.10). Se non diversamente specificato, tale frequenza specificata si riferisce ad un sistema a 50 ohm.

Criteri di scelta

1. Quale capacità di scarica è necessaria?

La capacità di scarico di BLITZDUCTOR XT dipende dall'attività protettiva dello scaricatore. Per semplificare la scelta vengono esaminati i casi da a fino a d.

Caso a

In questo caso, l'apparecchio utilizzatore da proteggere si trova in un edificio dotato di protezione antifulmine esterna,

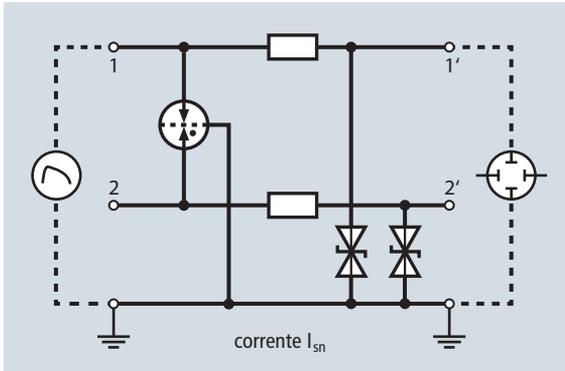


Figura 8.2.7 Circuito di prova per la determinazione della tensione di limitazione in caso di correnti di scarica nominali



Figura 8.2.8 Tensione di limitazione in caso di correnti di scarica nominale

oppure sul tetto dell'edificio sono presenti delle costruzioni metalliche soggette a rischio di fulminazione (ad es. pali di antenne, impianti di condizionamento). Il cavo del sistema di comando, controllo e misura (CMR) o il cavo di telecomunicazione che collega l'apparecchio utilizzatore (Figura 8.2.11) a un trasduttore sul campo, è installato all'esterno dell'edificio. Dato che l'edificio è dotato di un sistema di protezione contro i fulmini, deve essere installato uno scaricatore di corrente di fulmine Tipo 1. Per questo scopo possono essere utilizzati gli scaricatori di corrente di fulmine o gli scaricatori combinati (Tipo 1) della famiglia BLITZDUCTOR XT.

Caso b

Il caso b è simile al caso a, tuttavia l'edificio in cui si trova l'apparecchio utilizzatore da proteggere non è dotato di protezione antifulmine esterna: in tal caso, non è prevedibile il verificarsi di correnti di fulmine dirette. Uno scaricatore di corrente di fulmine Tipo 1 deve essere installato solo se il cavo di

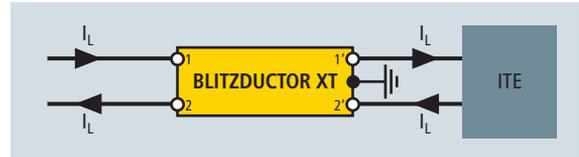


Figura 8.2.9 Corrente nominale del BLITZDUCTOR XT

Tipo	I_L a 45 °C	Tipo	I_L a 45 °C
B	1,2 A		
BE	0,75 A / 1 A	BD	0,75 A / 1 A
BC	0,75 A / 1 A	BE C	0,1 A
BE HF	1 A	BD HF	1 A
MY	3 A	BD DL S	0,4 A
		BD EX	0,5 A
		BD HF EX	4,8 A

Tabella 8.2.2 Massima corrente nominale dei moduli di protezione BXT

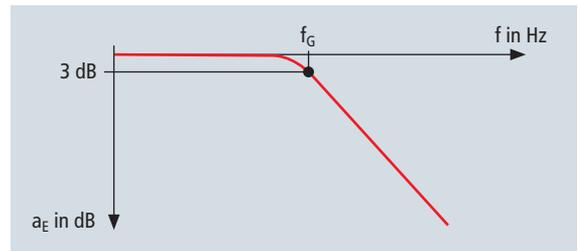


Figura 8.2.10 Risposta in frequenza tipica di un BLITZDUCTOR XT

comando e misura può essere influenzato da un fulmine che colpisce gli edifici adiacenti, vale a dire se il cavo trasporta corrente di fulmine parziale.

Se questo può essere escluso, vengono impiegato dispositivi di protezione Tipo 2 (Figura 8.2.12).

Caso c

Nel caso c, all'esterno dell'edificio non è installato alcun cavo di controllo o telecomunicazioni. Malgrado l'edificio disponga di un LPS esterno, nell'impianto per telecomunicazioni non può essere indotta alcuna corrente da fulmine diretta. Pertanto, in questo caso vengono installati limitatori di sovratensione. Si possono anche usare gli scaricatori BLITZDUCTOR XT per la protezione degli apparecchi utilizzatori (Figura 8.2.13).

Caso d

La differenza tra caso d e caso c è che il rispettivo edificio non presenta un sistema di protezione contro i fulmini esterno e

che all'esterno dell'edificio non è installato alcun cavo di controllo e telecomunicazioni. Pertanto, per proteggere i dispositivi vanno installati solo limitatori di sovratensione. Come nei casi b e c, possono essere utilizzati gli scaricatori della famiglia BLITZDUCTOR XT (Figura 8.2.14).

2. Quali fenomeni di interferenza vanno prevenuti?

Le interferenze sono sostanzialmente classificabili in **disturbi longitudinali (modo comune)** e **disturbi trasversali (differenziali)**. I **disturbi longitudinali (modo comune)** si verificano sempre **tra il conduttore di segnale e il conduttore di terra**, mentre i **disturbi trasversali (dif-**

ferenziali) si verificano esclusivamente **tra due conduttori di segnale**. La maggior parte delle interferenze nei circuiti di segnale è costituita da disturbi di modo comune. Pertanto tra il conduttore di segnale e la massa vanno scelti i dispositivi di protezione con limitazione fine della sovratensione (**tipo ...E**). Alcuni stadi di ingresso di dispositivi, come i trasformatori di isolamento, non richiedono una limitazione fine della sovratensione tra segnale e massa. In questo caso, solo gli scaricatori a gas offrono una protezione contro disturbi longitudinali. A causa delle diverse caratteristiche di intervento, gli scaricatori a gas possono trasformare, dopo l'intervento, dei disturbi trasversali in longitudinali. Pertanto, in questo caso, un

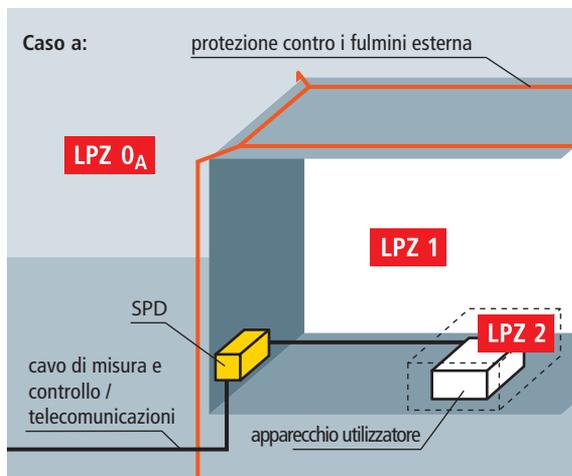


Figura 8.2.11 Edificio con sistema di protezione contro i fulmini esterna e linee installate all'esterno dell'edificio secondo il concetto di zona protezione contro i fulmini

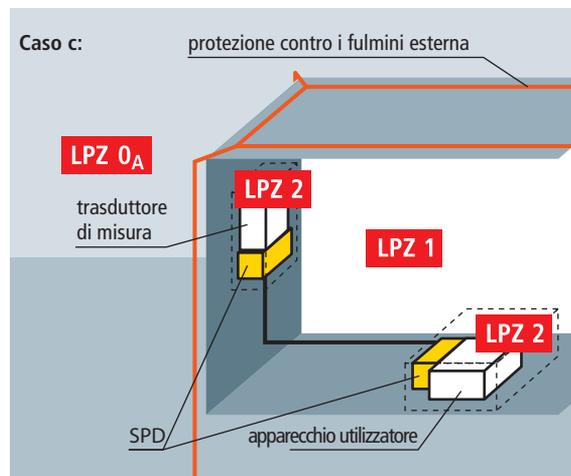


Figura 8.2.13 Edificio con sistema di protezione contro i fulmini esterna e linee installate all'interno dell'edificio secondo il concetto di zona protezione contro i fulmini

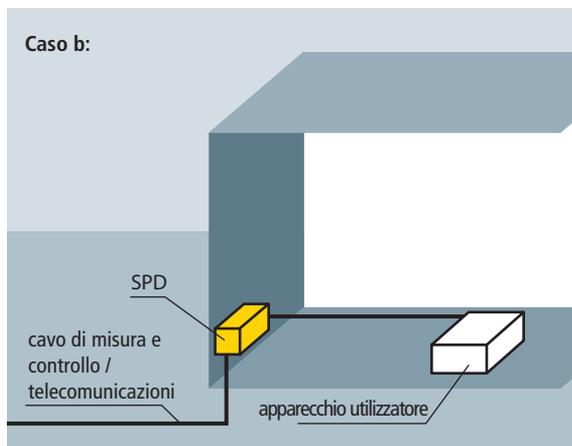


Figura 8.2.12 Edificio senza LPS esterno e linee installate all'esterno

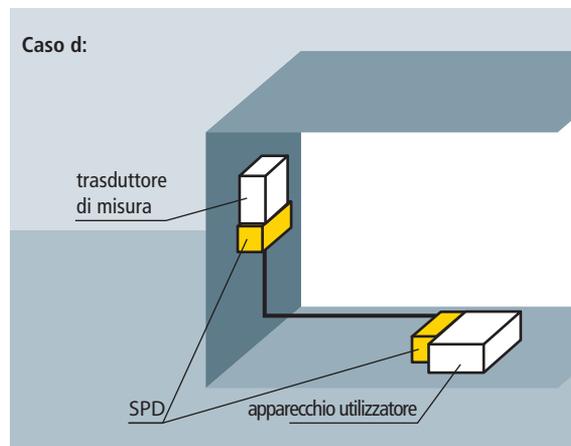


Figura 8.2.14 Edificio senza LPS esterno e linee installate all'interno

elemento di protezione fine viene integrato tra i conduttori di segnale (**tipo ...D**).

3. Esistono dei requisiti speciali per la protezione posta in corrispondenza del circuito di ingresso dell'apparecchio da proteggere?

A volte può essere necessario proteggere gli ingressi degli apparecchi contro i disturbi longitudinali (modo comune) e trasversali (differenziali). Gli stadi di ingresso dei dispositivi elettronici che necessitano di una protezione sono normalmente dotati di un proprio circuito di protezione o contengono degli ingressi dotati di fotoaccoppiatore per isolare il potenziale del circuito di segnale dal circuito interno del dispositivo di automazione. Ciò richiede ulteriori misure per separare il dispositivo BLITZDUCTOR XT dal circuito di ingresso del dispositivo da proteggere. A tal fine sono utilizzati ulteriori elementi di disaccoppiamento tra elementi di protezione fine e i terminali di uscita del dispositivo BLITZDUCTOR XT.

4. Quanto è alta la frequenza del segnale da trasmettere (o qual è la velocità di trasmissione dati)?

Il circuito di protezione del dispositivo BLITZDUCTOR XT ha le caratteristiche di un filtro passa basso. La frequenza di taglio è la frequenza oltre la quale l'ampiezza del segnale da trasmettere viene attenuata più di 3 dB. Per mantenere la reattività del BLITZDUCTOR XT rispetto al sistema di trasmissione entro limiti ammissibili, la frequenza del segnale nel circuito deve essere inferiore alla frequenza di taglio superiore del BLITZDUCTOR XT. L'indicazione della frequenza limite si riferisce a segnali sinusoidali. Tuttavia, nel settore della trasmissione dati raramente i segnali sono sinusoidali. In questo caso occorre accertarsi che la velocità massima di trasmissione dati del BLITZDUCTOR XT sia maggiore della velocità di trasmissione del circuito di segnale. Per trasmettere segnali di forma impulsiva, per i quali viene valutato il fronte di salito/discesa, si deve considerare che questi fronti commutano da L ad H o H a L entro un certo periodo di tempo. Questo intervallo di tempo è importante per l'individuazione del fronte e per l'attraversamento della "zona vietata". Pertanto, questo segnale richiede una larghezza di banda di frequenza che è significativamente più ampia dell'onda fondamentale. Così, la frequenza di taglio per il dispositivo di protezione deve essere fissata a un valore corrispondentemente elevato. Come regola generale, la frequenza di taglio superiore deve essere almeno cinque volte la frequenza di base.

5. Quanto è grande la corrente di esercizio del sistema da proteggere?

In base alle caratteristiche elettriche degli elementi utilizzati nel circuito di protezione del BLITZDUCTOR XT, viene limitata la corrente del segnale trasmesso dal dispositivo di protezione

In pratica, questo significa che la corrente di esercizio del sistema deve essere inferiore o uguale alla corrente di carico nominale del dispositivo di protezione. In questo contesto, vanno considerate le eventuali correnti di corto circuito, limitandole con misure adeguate (ad esempio i prefusibili) nel circuito dell'impianto.

6. Qual è la tensione massima di esercizio che può verificarsi nel sistema da proteggere?

La tensione massima di esercizio nel circuito di segnale deve essere inferiore o uguale alla tensione massima continuativa di funzionamento U_c del BLITZDUCTOR XT, in modo che il dispositivo di protezione non abbia effetto limitante in condizioni normali di funzionamento.

La tensione massima di esercizio nel circuito di segnale è in genere la tensione nominale del sistema di trasmissione, considerando le tolleranze di sistema. In caso di circuiti a loop di corrente (ad es. 0-20 mA), si può prendere la tensione a circuito aperto come tensione massima di funzionamento.

7. Qual è il riferimento della tensione di esercizio massima?

Circuiti di segnale diversi richiedono diversi tipi di trasmissione del segnale (simmetrica/asimmetrica). Da un lato la tensione di esercizio del sistema può essere indicata come tensione filo/filo e dall'altro come tensione filo/terra. Di ciò bisogna tener conto nella scelta del dispositivo di protezione. A causa dei diversi circuiti degli elementi di protezione fine nel modulo BLITZDUCTOR XT vengono fornite tensioni nominali differenti. Questi sono indicati in **Figura 8.2.4 e Tabella 8.2.1**.

8. La commutazione delle impedenze di disaccoppiamento di BLITZDUCTOR XT per il circuito di segnale influenza la trasmissione del segnale?

Le impedenze di disaccoppiamento sono integrate al fine di coordinare gli elementi di protezione di BLITZDUCTOR XT. Si trovano direttamente nel circuito di segnale e pertanto possono avere un effetto su di esso. In particolare, nel caso di circuiti a loop di corrente, (0-20 mA, 4-20 mA), il carico massimo sul circuito di segnale può essere superato non appena BLITZDUCTOR XT entra in funzione, se il circuito del segnale opera già al massimo carico. Ciò deve essere preso in considerazione prima dell'installazione!

9. Che effetto protettivo è necessario?

In linea di principio, è possibile dimensionare il livello di un dispositivo di protezione contro le sovratensioni in modo tale che sia inferiore al limite di distruzione di un'apparecchiatura per l'automazione o le telecomunicazioni. Tuttavia, il problema con questo tipo di dimensionamento consiste nel fatto che il limite di distruzione di un apparecchio utilizzatore spesso non è noto. Pertanto è necessario usare altri criteri di confronto in

questi casi. Come parte delle prove di compatibilità elettromagnetica (EMC), le apparecchiature elettriche ed elettroniche devono presentare una certa immunità nei confronti dei disturbi impulsivi trasmessi. I requisiti per queste prove e le impostazioni di prova sono descritti nella norma IEC 61000-4-5 (CEI EN 61000-4-5 - CEI 110-30). Sono definiti diversi livelli di prova per l'immunità alle interferenze impulsive nei vari dispositivi elettromagnetici utilizzati in diverse condizioni ambientali. Queste classi di immunità sono classificate da 1 a 4, considerando che il livello di prova 1 comprende i requisiti minimi di immunità ai disturbi (sugli apparecchi da proteggere), mentre il livello di prova 4 garantisce i massimi requisiti di immunità ai disturbi dell'apparecchio stesso.

Ai fini dell'effetto di un dispositivo di protezione contro le sovratensioni, ciò significa che l'energia passante relativa al livello di protezione della tensione deve essere abbastanza bassa da non superare il livello di immunità del dispositivo da proteggere. Pertanto i prodotti della famiglia Yellow/Line sono stati suddivisi in classi SPD (**Tabella 7.8.2.1**) per facilitare l'installazione degli scaricatori per la protezione dei dispositivi di automazione. La prova di immunità alla sovratensione di questi dispositivi è stata presa come base per la determinazione dei simboli delle classi SPD. Se ad esempio una apparecchiatura di automazione viene collaudata con livello di prova 1, il dispositivo di protezione potrà avere una energia passante massima corrispondente solo a questo livello di disturbo. In pratica, ciò significa che le apparecchiature di automazione provate con un livello di tensione di prova 4 possono scaricare sovratensioni senza danneggiare l'apparecchiatura solo se l'uscita del dispositivo di protezione contro le sovratensioni ha un livello di protezione della tensione secondo prove di livello 1, 2, 3, o 4. Questo rende molto semplice per l'utente la scelta dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni adeguati.

10. Bisogna usare delle protezioni a uno o due stadi in un dato impianto?

A seconda dell'infrastruttura dell'edificio e delle esigenze di protezione risultanti dal concetto di zona di protezione contro i fulmini, può essere necessario installare scaricatori di corrente di fulmine e limitatori di sovratensione in modo che siano separati nello spazio o in alternativa posti in determinati punti dell'impianto per mezzo di scaricatori combinati. Nel primo caso viene installato come scaricatore di corrente di fulmine e limitatore di sovratensioni a monte un BLITZDUCTOR XT con un modulo per la protezione di tipo BXT ML ... B. Se sono necessarie misure di protezione contro i fulmini e le sovratensioni nello stesso punto dell'impianto, si possono usare i dispositivi BLITZDUCTOR XT del tipo... BE...o BD.

Nota: i seguenti esempi mostrano la selezione dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni della famiglia BLITZDUCTOR XT con l'aiuto di 10 criteri di selezione (SC). Il risultato di

ogni singola fase di selezione è illustrato nella colonna "risultato intermedio". La colonna "risultato finale" mostra l'influenza del relativo risultato intermedio sul risultato finale.

Protezione da sovratensioni per impianti elettrici di misura della temperatura

La misurazione elettrica della temperatura media nei processi tecnologici è utilizzata in tutti i settori industriali. I campi di applicazione possono essere molto diversi: essi spaziano dalle preparazioni alimentari, alle reazioni chimiche, agli impianti di climatizzazione per edifici e ai sistemi di gestione degli edifici. Una caratteristica comune di questi processi è che il luogo dove il valore misurato viene acquisito è anche molto lontano dal luogo di visualizzazione ed elaborazione dei dati. A causa di questi lunghi cavi di collegamento, possono essere iniettate delle sovratensioni che non sono causate solo dalle scariche atmosferiche. Pertanto verrà descritto in seguito un possibile concetto di protezione contro le sovratensioni per misure di temperatura con un termometro a resistenza di tipo Pt 100. Il fabbricato nel quale si trova l'impianto di misura non possiede alcuna protezione contro i fulmini esterna.

La misurazione della temperatura avviene indirettamente attraverso la misurazione della resistenza elettrica. Il sensore Pt 100 ha una resistenza di 100Ω a 0°C . A seconda della temperatura, questo valore varia di circa $0,4 \Omega/\text{K}$. La temperatura viene rilevata mediante l'iniezione di una corrente costante di misura che provoca una caduta di tensione proporzionale alla temperatura sul termometro a resistenza. Al fine di evitare l'auto-riscaldamento del termometro a resistenza per effetto della corrente di misura, questa corrente è limitata a 1 mA. Si verifica quindi una caduta di tensione di 100 mV attraverso Pt 100 a 0°C . La misurazione della tensione deve ora essere trasmessa nel luogo in cui i dati vengono visualizzati o elaborati (**Figura 8.2.15**). La configurazione a quattro conduttori è stata scelta come esempio dei vari modi per collegare un sensore di misura Pt 100 a un trasduttore di misura. Questo rappresenta il sistema di connessione ottimale per termometri a resistenza, ed elimina completamente l'influenza delle resistenze dei cavi e delle loro variazioni dipendenti dalla temperatura sul risultato della misura. La sonda Pt 100 viene alimentata in corrente. La variazione della resistenze della linea è compensata dalla variazione automatica della tensione di alimentazione. Se la resistenza non cambia, la tensione misurata U_m rimane costante. Di conseguenza, il valore rilevato della tensione cambia solo modificando la resistenza, che varia in funzione della temperatura, e viene misurato (ad alta impedenza) dal trasformatore del trasduttore di misura. Con questa configurazione non è quindi necessaria alcuna compensazione di linea.

Nota: per adattare facilmente il sistema di misura della temperatura con i dispositivi di protezione contro le sovratensioni,

SC	Descrizione del caso	Risultato Intermedio	Risultato finale
1	Il sensore di misura è situato nel quadro di processo in un impianto di produzione e il trasduttore di misura in una sala di controllo all'interno dell'edificio di produzione che non è dotato di un sistema di protezione contro fulmini. Le linee di misura passano all'interno dell'edificio. Questo esempio corrisponde al caso d (Figura 8.2.14) .	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 B. ..	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 B. ..
2	La sovratensione che mette a rischio i sensori di misura Pt 100 e il trasduttore di misura Pt 100 si instaura tra segnale e massa. Questo richiede la limitazione fine dei disturbi di longitudinali (modo comune) .	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE
3	Non ci sono requisiti particolari per regolare il circuito di protezione al circuito di ingresso dei dispositivi da proteggere (Pt 100, trasduttore di misura Pt 100).	Nessuna influenza	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE
4	L'apparecchiatura di misura della temperatura da proteggere è un sistema alimentato con corrente continua. La tensione di misura (che dipende dalla tensione) è anch'essa una tensione continua. Pertanto non ci sono frequenze di segnale da prendere in considerazione.	Nessuna influenza	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE
5	Il principio di misurazione fisica del Pt 100 limita la corrente di funzionamento del circuito di alimentazione a 1 mA. La corrente di esercizio del segnale di misura è nella gamma dei μA , a causa dell'elevatissima impedenza dell'ingresso di misura.	I_L del tipo BE = almeno 0,75 kA $1 \text{ mA} < 0,75 \text{ A} \Rightarrow \text{ok}$ $\mu\text{A} < 0,75 \text{ A} \Rightarrow \text{ok}$	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE
6	La tensione massima di esercizio di questo sistema risulta dalla seguente considerazione: secondo la norma IEC 60751, i resistori di misura Pt 100 sono progettati per una temperatura massima fino a 850 °C. La relativa resistenza è di 390 Ω . Considerando la corrente di misura indipendente dal carico di 1 mA, si ha una tensione di misura di ca. 390 mV .	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 ... 5V	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE 5
7	La tensione di esercizio del sistema si ha tra conduttore e conduttore .	BXT ML4 BE 5 ha una tensione nominale di 5 V c.c. conduttore \Rightarrow terra, quindi sono possibili 10 V c.c. conduttore \Rightarrow conduttore \Rightarrow Nessuna influenza sul segnale di misura	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE 5
8	Quando si utilizza il circuito a quattro conduttori per misurare la temperatura con Pt 100, viene eliminata completamente l'influenza della resistenza del cavo e le sue variazioni in funzione della temperatura. Questo vale anche per l'aumento della resistenza del cavo legato alle impedenze di disaccoppiamento del BLITZDUCTOR XT.	Nessuna influenza	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE 5
9	Il trasduttore di misura Pt 100 ha una immunità alle interferenze trasmesse conforme al livello di prova 2 secondo IEC 61000-4-5 (EN 61000-4-5). L'energia passante relativa al livello di protezione della tensione del dispositivo di protezione contro le sovratensioni non deve superare il livelli di prova 2 della norma IEC 61000-4-5 (EN 61000-4-5).	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE 5 TYPE 1Pt Energia passante in conformità al livello di prova 1; l'energia passante del dispositivo di protezione è inferiore all'immunità dell'apparecchiatura terminale \Rightarrow TYPE 1Pt è ok	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE 5
10	Si richiede una protezione contro le sovratensioni a stadio singolo	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE 5 \Rightarrow Scaricatore combinato	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE 5
Risultato della selezione:			BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE 5

Tabella 8.2.3 Criteri di scelta per sistemi di misura della temperatura

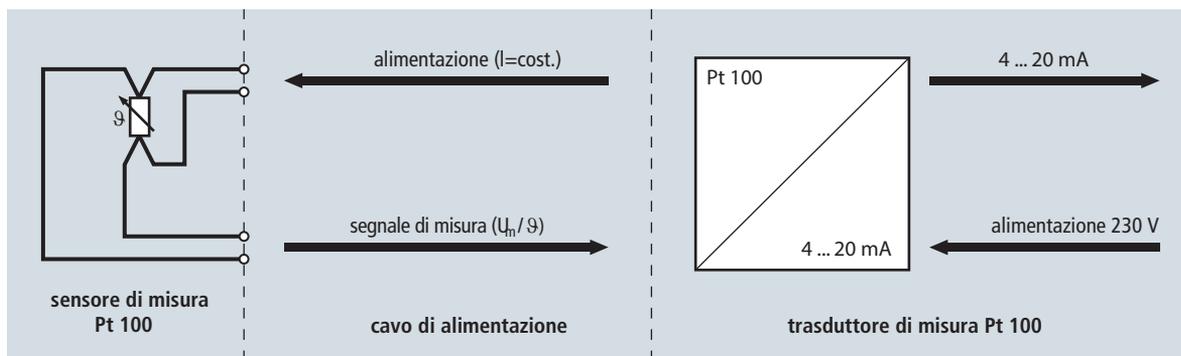


Figura 8.2.15 Schema a blocchi per la misurazione della temperatura

sono installati gli stessi tipi di dispositivi di protezione contro le sovratensioni per le linee di alimentazione e quelle di misura. In pratica è possibile attribuire ad un dispositivo di protezione le relative coppie per alimentazione e la misurazione (**Tabella 8.2.3**).

La protezione contro le sovratensioni è richiesta anche per l'alimentazione a 230 V del trasduttore di misura Pt 100, nonché per la linea ad anello di corrente a 4...20 mA proveniente dal trasduttore di misura, ma non è mostrata qui per chiarezza.

8.2.1 Impianti di controllo, misurazione e regolazione

A causa della grande distanza tra il sensore di misura e l'unità di valutazione dei sistemi di misurazione e di controllo, possono essere iniettate delle sovratensioni nel circuito. La conseguente distruzione di componenti e i possibili guasti sull'unità di regolazione possono compromettere le procedure di controllo del processo. L'estensione dei danni causati da una sovratensione provocata da un fulmine spesso diviene evidente solo alcune settimane più tardi, quando si rende necessario sostituire un numero crescente di componenti elettronici che non operano più in modo sicuro. Un danno del genere può avere conseguenze gravi per l'operatore, quando si utilizza un cosiddetto sistema a bus di campo, se tutte le componenti intelligenti del bus di campo incluse nello stesso segmento si guastano contemporaneamente.

Ciò può essere evitato installando scaricatori di corrente di fulmine e limitatori di sovratensioni (SPD) scelti in funzione dell'interfaccia.

Alcune tipiche interfacce e dispositivi specifici di protezione contro le sovratensioni si possono trovare nel nostro catalogo di protezione contro le sovratensioni o sul sito www.dehn.it.

Isolamento elettrico mediante fotoaccoppiatori

Spesso, per isolare galvanicamente il lato campo dal lato processo, vengono utilizzati degli elementi optoelettronici per

la trasmissione dei segnali sui sistemi di controllo processo (**Figura 8.2.1.1**); questi generano tipicamente una rigidità dielettrica tra ingressi e uscite variabile da 100 V fino a 10 kV. Nella loro funzione quindi sono paragonabili a dei trasformatori e si possono usare in primo luogo per eliminare i disturbi minori di modo longitudinale. Tuttavia, essi non forniscono sufficiente protezione contro i disturbi longitudinali (modo comune) e trasversali (differenziali) in caso di un fulmine (> 10 kV) che supera la loro massima tensione impulsiva ammissibile (trasmettitore/ricevitore).

Erroneamente, molti progettisti e operatori di questi impianti, partono dal presupposto che con questi elementi si possa anche realizzare la protezione da fulmini e da sovratensioni. Per questo va sottolineato che questa tensione assicura solo la tenuta all'isolamento tra ingresso e uscita (disturbi longitudinali o di modo comune). Questo significa che nell'utilizzo di questi elementi nei sistemi di trasmissione, oltre alla limitazione dei disturbi longitudinali, è necessario assicurare anche una limi-

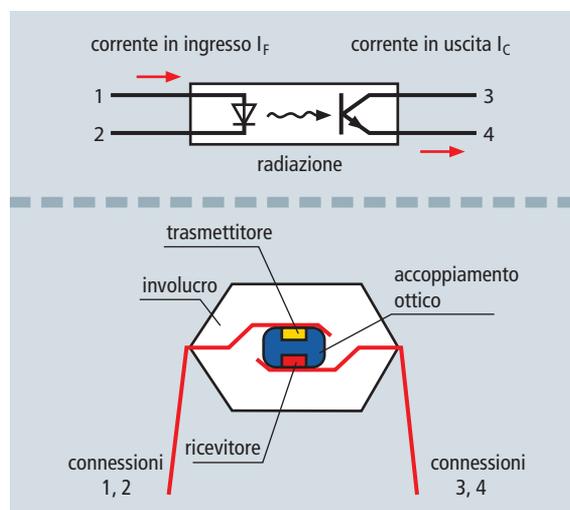


Figura 8.2.1.1 Accoppiatore ottico – Schema di principio

tazione delle tensioni trasversali (o differenziali). Inoltre, l'integrazione di ulteriori resistenze di disaccoppiamento sull'uscita del dispositivo SPD permette di ottenere un coordinamento energetico con il diodo fotoaccoppiatore.

Così in questo caso vanno installati dei dispositivi SPD che limitano i disturbi longitudinali e trasversali, ad es. BLITZDUCTOR XT di tipo BXT ML C 24.

Spiegazioni dettagliate riguardo alla scelta dei dispositivi di protezione in funzione della specifica applicazione CMR sono fornite nel capitolo 9.

8.2.2 Tecnologia di gestione di un edificio

La pressione crescente per quanto riguarda i costi obbliga proprietari e operatori di edifici nel settore pubblico e privato alla ricerca di possibili riduzioni dei costi nella gestione degli edifici. La Gestione Tecnica dell'edificio può aiutare a ridurre i costi in modo duraturo. Si tratta di uno strumento completo che rende costantemente disponibili le apparecchiature tecniche degli edifici, per mantenerle funzionali e flessibili rispetto alle mutevoli esigenze organizzative, facilitando così una migliore gestione. In questo modo è possibile un utilizzo ottimale che aumenta la redditività di un immobile

L'automazione dell'edificio (BA) comprende da un lato la tecnologia di comando, misura e regolazione (CMR) e dall'altro lato i sistemi di controllo e strumentazione centralizzati.

L'automazione dell'edificio ha il compito di automatizzare i processi tecnici nell'ambito dell'edificio. Pertanto, l'impianto completo comprendente l'automazione dei locali, il sistema di misura M-bus e i sistemi di riscaldamento, ventilazione, aria condizionata e allarme sono collegati in rete a livello di gestione con dei potenti computer (**Figura 8.2.2.1**) in cui sono archiviati i dati. La conservazione a lungo termine dei dati permette di valutare il consumo di energia e la regolazione degli impianti dell'edificio.

A livello automazione si trovano i veri e propri dispositivi di controllo. Sempre più spesso vengono utilizzate le stazioni DDC (direct digital control). Esse implementano per mezzo di un software le funzioni di commutazione e controllo. Al livello automazione sono gestiti anche tutti i tipi di funzionamento, i parametri di regolazione, i valori desiderati, i tempi di commutazione, i valori limite per gli allarmi e il relativo software.

Al livello più basso, cioè al livello campo, si trovano gli apparecchi di campo, come attuatori e sensori. Questi rappresentano l'interfaccia tra le funzioni di comando e regolazione e il processo. Gli attuatori trasformano un segnale elettrico in un'altra grandezza fisica (motori, valvole, ecc.), mentre i sensori trasformano una grandezza fisica in un segnale elettrico (sensore di temperatura, interruttore di fine corsa, ecc.).

A causa del collegamento in rete delle stazioni DDC e dell'integrazione nei sistemi per la supervisione dell'edificio ad esse collegate, l'intero sistema risulta esposto ai disturbi causati da correnti di fulmine e sovratensioni. Se questo causa un gua-

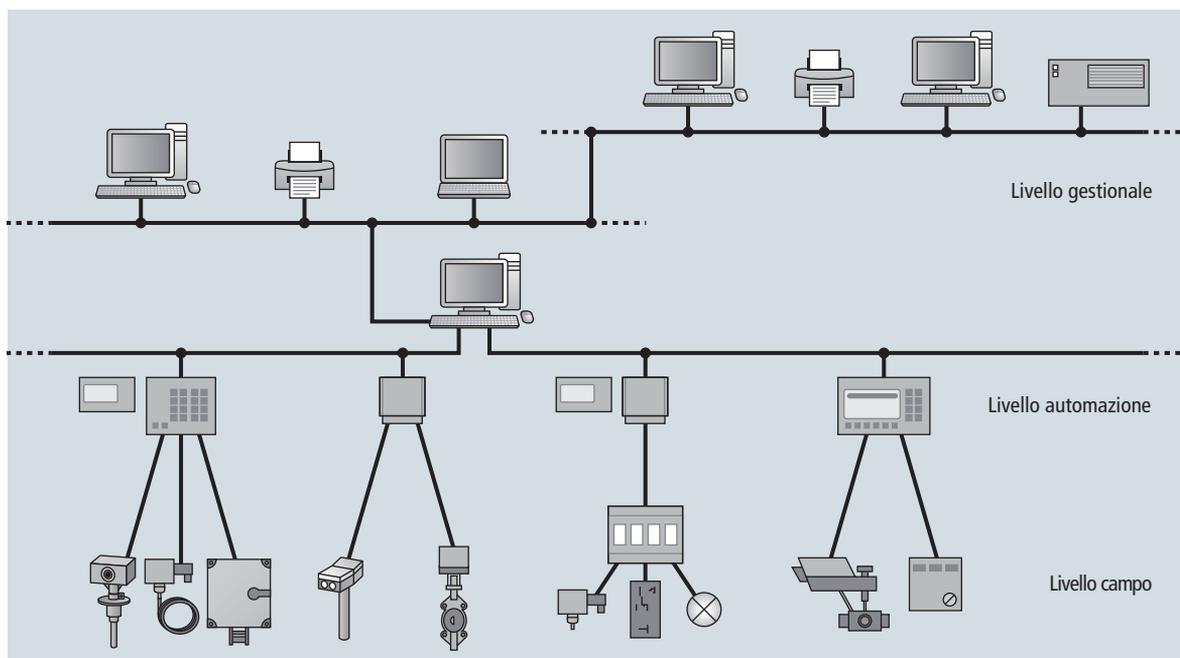


Figura 8.2.2.1 Livelli di automazione dell'edificio

sto di tutto il sistema di controllo dell'illuminazione, dell'aria condizionata o del riscaldamento, questo problema non è solo causa primaria dei costi per le attrezzature, ma comporta anche costi elevati dovuti alle conseguenze di questo errore di sistema. Possono ad esempio determinarsi significativi incrementi di costi dell'energia, dal momento che non possono più essere analizzati e ottimizzati i carichi di punta per effetto dei guasti dell'elettronica di comando. Se nell'automazione dell'edificio sono integrati i processi di produzione, i guasti sull'automazione dell'edificio possono portare a perdite di produzione e quindi anche a perdite economiche consistenti. Per garantire la continuità di servizio del sistema, sono necessarie misure di protezione orientate al rischio da controllare.

8.2.3 Sistemi di cablaggio generico (reti informatiche, sistemi di telecomunicazione)

La norma europea CEI EN 50173 (CEI 136) "Tecnologia dell'informazione - Sistemi di cablaggio generici" definisce un sistema di cablaggio universale che può essere utilizzato in siti con uno o più edifici. Riguarda i cablaggi con cavi simmetrici in rame e in fibra ottica. Questo cablaggio universale supporta una vasta gamma di servizi, inclusi fonia, dati, messaggi e immagini.

Questa norma prevede:

- ➔ un sistema di cablaggio indipendente dall'applicazione universalmente applicabile e un mercato aperto per i componenti di cablaggio (attivi e passivi)
- ➔ una topologia di cablaggio flessibile, che permette di eseguire modifiche in modo facile ed economico
- ➔ una guida per l'installazione dei cablaggi a beneficio dei costruttori di edifici, prima che siano noti gli specifici requisiti (cioè già durante la progettazione, indipendentemente da quale piattaforma verrà in seguito installata)
- ➔ un sistema di cablaggio a beneficio dell'industria e degli enti di normazione, in grado di supportare sia prodotti attuali che gli sviluppi di prodotti futuri.

Il cablaggio universale è composto dai seguenti elementi funzionali:

- ➔ armadio di distribuzione a livello di comprensorio (CD)
- ➔ dorsale di comprensorio
- ➔ armadio di distribuzione a livello edificio (BD)
- ➔ dorsale di edificio
- ➔ armadio di distribuzione a livello piano (FD)
- ➔ cablaggio orizzontale
- ➔ punto di consolidamento (opzionale) (CP)
- ➔ terminale per telecomunicazioni (TO).

Gruppi di queste unità funzionali sono collegate tra loro per formare dei sottosistemi di cablaggio.

Un sistema di cablaggio universale è composto da tre sottosistemi: cablaggio di comprensorio (o primario), cablaggio verticale e cablaggio orizzontale. I sottosistemi di cablaggio formano una struttura di cablaggio, come mostrato nella **Figura 8.2.3.1**. Gli armadi di distribuzione consentono qualsiasi topologia di rete come bus, stella, albero, anello.

Il sottosistema della dorsale di comprensorio connette il quadro di distribuzione a livello di comprensorio e i quadri di distribuzione a livello di edificio. Se presente, comprende anche i cavi della dorsale di comprensorio, le loro terminazioni (per gli armadi di comprensorio e per gli armadi di distribuzione) e i rispettivi collegamenti nell'armadio di comprensorio.

Il sottosistema della dorsale di edificio si estende dagli armadi di edificio fino agli armadi di distribuzione di piano. Esso comprende i cavi della dorsale dell'edificio, le rispettive terminazioni meccaniche (per gli armadi a livello di edificio e per i quadri locali) e i rispettivi collegamenti nell'armadio di dell'edificio.

Il sottosistema di cablaggio orizzontale va dal quadro di distribuzione di piano fino alle prese telematiche connesse. Esso comprende i cavi orizzontali, le rispettive terminazioni meccaniche ai quadri locali, e i rispettivi collegamenti nei quadri locali e le prese per telecomunicazioni.

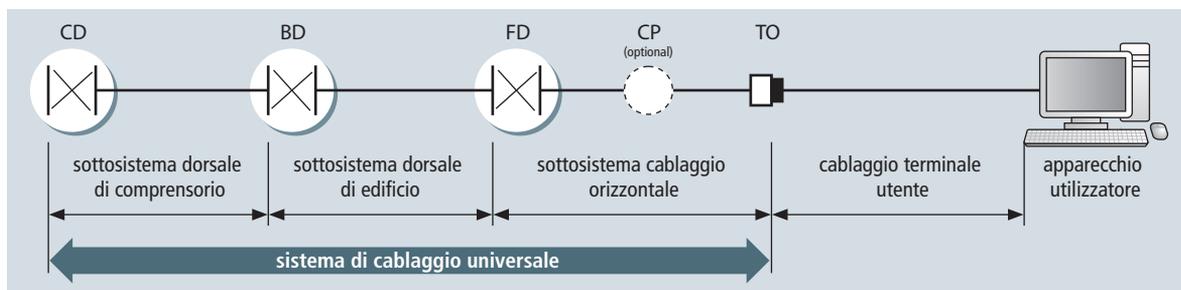


Figura 8.2.3.1 Cablaggio generico

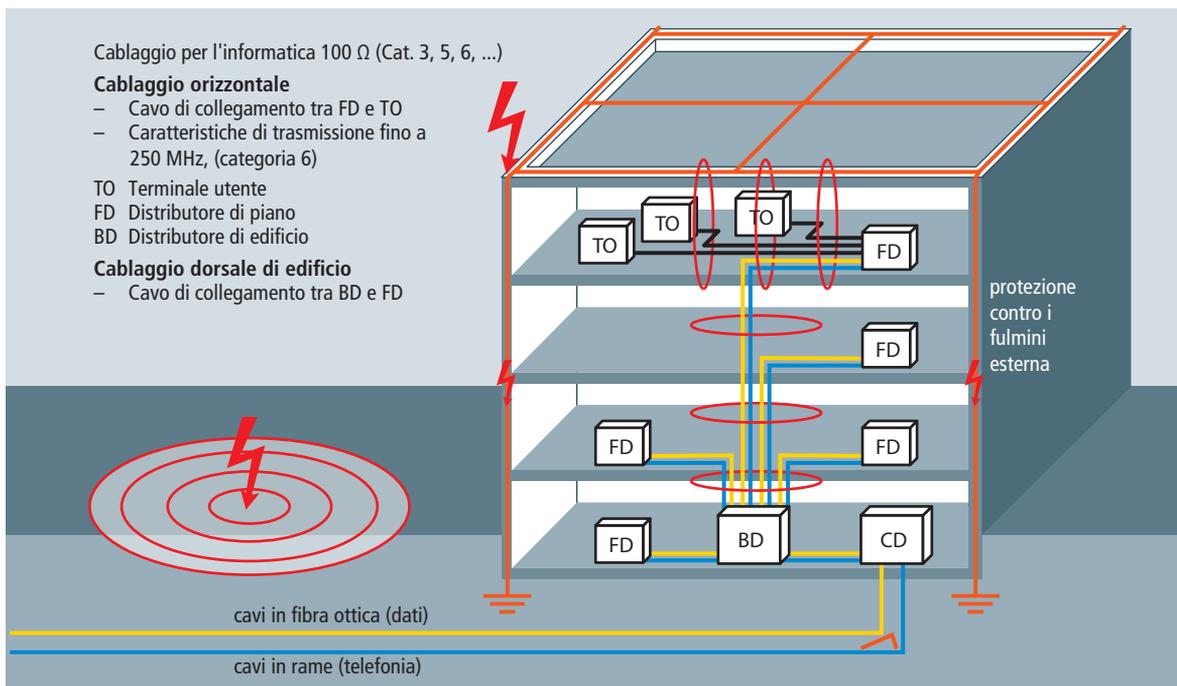


Figura 8.2.3.2 Interferenza da fulmine nel cablaggio IT

Per il collegamento dati tra l'armadio del comprensorio e l'armadio dell'edificio di solito si impiegano cavi a fibre ottiche. Ciò significa che non sono necessari limitatori di sovratensioni (SPD) sul lato campo. Se, tuttavia, i cavi in fibra ottica contengono una guaina di protezione metallica contro i roditori, questa deve essere integrata nel sistema di protezione anti-fulmini. I componenti a fibre ottiche attivi per la distribuzione dei cavi a fibre ottiche, tuttavia, sono collegati ai 230 V sul lato alimentazione. In questo caso possono essere utilizzati gli SPD per sistemi di alimentazione.

Oggi, il sottosistema della dorsale di edificio (tra l'armadio dell'edificio e l'armadio locale) è costituito quasi esclusivamente da cavi a fibra ottica per la trasmissione dei dati. Tuttavia sono ancora utilizzati i cavi in rame bilanciati per la trasmissione vocale (telefono).

Con poche eccezioni, i cavi di rame bilanciati sono attualmente utilizzati per il cablaggio orizzontale (armadio locale e apparecchi terminali).

Per lunghezze di cavo di circa 500 m (dorsale di edificio) o circa 100 m (cablaggio orizzontale), le fulminazioni dirette possono indurre nell'edificio forti disturbi longitudinali (**Figura 8.2.3.2**), che potrebbero sovraccaricare la capacità di isolamento dei router oppure delle schede ISDN nel PC. In questo caso devono essere adottate delle misure di protezione sia

per l'armadio dell'edificio sia per l'armadio locale (hub, switch, router) e l'apparecchiatura terminale.

I dispositivi di protezione necessari devono essere scelti in base al sistema di rete. Le applicazioni di rete più comuni sono:

- ➔ Token Ring,
- ➔ Ethernet 10 Base-T,
- ➔ Fast Ethernet 100 Base-TX,
- ➔ Gigabit Ethernet 1000 Base-TX.

8.2.4 Circuiti di misura a sicurezza intrinseca

Vanno prese speciali misure di protezione contro le esplosioni in tutti i settori industriali dove gas, vapori, nebbie o polveri formano un ambiente di miscela esplosiva con l'aria durante la lavorazione o il trasporto di sostanze infiammabili.

A seconda della probabilità e la durata della presenza di atmosfere esplosive, le aree di un sistema Ex sono divise in zone, dette anche zone Ex.

Zone con pericolo di esplosione

Le zone Ex con aree in cui sono presenti atmosfere esplosive pericolose, a causa ad esempio, gas, vapori e nebbie sono suddivise in zone con pericolo di esplosione da 0 a 2. Le zone Ex in

cui possono verificarsi atmosfere esplosive pericolose a causa di polveri sono suddivise in zone Ex da 20 a 22.

A seconda della capacità di innesco delle sostanze infiammabili presenti nel relativo settore di utilizzo, viene fatta una distinzione tra gruppi di esplosione I, IIA, IIB e IIC che hanno differenti curve limite di innesco. La curva limite di innesco, dipendente dal comportamento di innesco della sostanza infiammabile in esame, fornisce il valore massimo per la tensione e la corrente di esercizio.

Il gruppo di esplosione IIC comprende le sostanze più propense all'innesco, ad esempio idrogeno e acetilene. Queste sostanze possiedono, in caso di riscaldamento, diverse temperature di innesco, che sono definite in base alle classi di temperatura (T1..., T6).

Al fine di evitare che delle apparecchiature elettriche possano costituire una fonte di innesco in atmosfere esplosive, vengono progettate con diversi tipi di protezione. Un tipo di protezione, che viene utilizzato in sistemi di misurazione e di controllo in tutto il mondo è la sicurezza intrinseca Ex(i).

Protezione all'innesco a sicurezza intrinseca

La protezione all'innesco a sicurezza intrinseca si basa sul principio della limitazione della corrente e della tensione nel circuito elettrico. L'energia del circuito o di una parte del circuito che è in grado di innescare un'atmosfera esplosiva viene mantenuta così bassa che né attraverso una scintilla né attraverso un riscaldamento della superficie degli elementi elettrici si possa verificare l'innesco dell'atmosfera esplosiva circostante. A parte la tensione e la corrente delle apparecchiature elettriche, le induttanze e le capacità, che agiscono come accumulatori di energia nell'intero circuito, devono essere limitate a valori massimi sicuri.

Per assicurare la sicurezza di funzionamento, ad esempio di un circuito CMR, questo significa che né le scintille che si creano durante l'apertura e chiusura dei circuiti negli ambienti industriali (ad esempio il contatto di commutazione inserito in un circuito a sicurezza intrinseca), né le scintille che si verificano in caso di guasto (ad esempio cortocircuito o dispersione verso terra), devono essere in grado di innescare la combustione. Inoltre, sia nel funzionamento normale sia in caso di guasto, deve essere escluso un possibile innesco causato dal riscaldamento eccessivo delle apparecchiature che si trovano all'interno del circuito a sicurezza intrinseca e dei relativi conduttori. In sostanza, questo limita il tipo di protezione a sicurezza intrinseca ai circuiti di potenza relativamente bassa, come i circuiti di controllo e misurazione o i sistemi dati. La sicurezza intrinseca ottenibile attraverso la limitazione dell'energia disponibile nel circuito si riferisce - rispetto ad altri sistemi di protezione contro il pericolo di esplosione - non a singoli apparecchi, ma all'intero circuito. Questo offre molti vantaggi rispetto ad altri tipi di protezione.

Per prima cosa, non sono necessarie costose costruzioni speciali per le apparecchiature elettriche utilizzate sul campo, come ad esempio incapsulamento a prova di pressione oppure annegamento in resina fusa, il che apre la strada a soluzioni più economiche. D'altro canto, la sicurezza intrinseca è l'unico tipo di protezione che consente all'utente di lavorare liberamente su tutti gli impianti sotto tensione (intrinsecamente sicuri) in atmosfera potenzialmente esplosiva senza pregiudicare la protezione contro le esplosioni.

Nei sistemi di comando, misura e regolazione, la sicurezza intrinseca ha quindi un'importanza considerevole, specialmente con l'utilizzo crescente dei sistemi di automazione elettronici. Tuttavia la sicurezza intrinseca pone dei requisiti più stringenti al progettista o al costruttore dell'impianto rispetto agli altri tipi di protezione. La sicurezza intrinseca di un circuito non dipende solo dal rispetto delle condizioni di costruzione delle singole apparecchiature, ma anche dal corretto collegamento di tutte le parti di apparecchiature nel circuito a sicurezza intrinseca e dalla loro corretta installazione.

Sovratensioni transienti nella zona Ex:

Nel tipo di protezione a sicurezza intrinseca si considerano tutti i sistemi di accumulo di energia elettrica presente nell'impianto, ma non le sovratensioni impresse dall'esterno, ad esempio i fulmini.

Le sovratensioni impresse dall'esterno si verificano nei grandi impianti industriali soprattutto a causa di fulmini ravvicinati e distanti. Durante una fulminazione diretta la caduta di tensione provoca sull'impianto di messa a terra un aumento di potenziale in una misura compresa da 10 fino a 100 kV. Questo aumento di potenziale agisce come differenza di potenziale su tutte le parti delle apparecchiature collegate via cavo ad altre apparecchiature situate a distanza. Queste differenze di potenziale sono nettamente maggiori della tenuta all'isolamento delle singole apparecchiature e possono facilmente provocare una scarica. In caso di fulmini a distanza, hanno effetto soprattutto le sovratensioni iniettate nei conduttori. Come i disturbi trasversali (differenza di tensione tra i conduttori) esse sono in grado di distruggere gli ingressi delle apparecchiature elettroniche.

Classificazione delle apparecchiature elettriche in livelli di protezione ia, ib e ic

Un aspetto fondamentale della protezione a sicurezza intrinseca, per quanto riguarda il pericolo di esplosione, è quello di sapere se questa protezione sarà affidabile al fine del rispetto dei limiti di tensione e di corrente, anche in presenza di determinati guasti. Ci sono tre diversi livelli di protezione (ia, ib, ic), che riguardano l'affidabilità e la sicurezza delle costruzioni elettriche a sicurezza intrinseca.

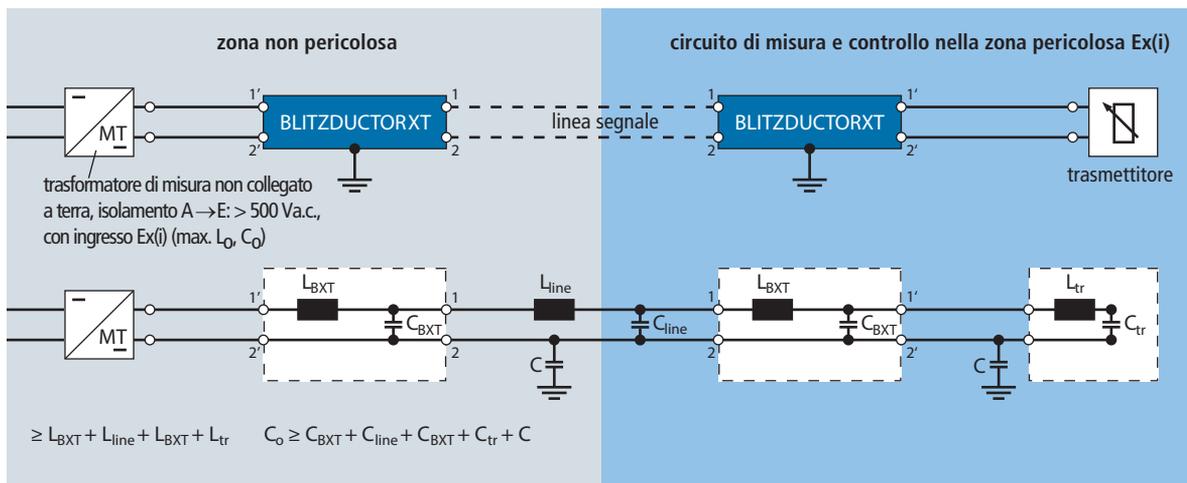


Figura 8.2.4.1 Calcolo di L_0 e C_0

Il livello di protezione ic descrive il funzionamento indisturbato senza guasto. In questo caso, durante il funzionamento va mantenuta la sicurezza intrinseca.

La categoria ib richiede che al verificarsi di un guasto in un circuito a sicurezza intrinseca, tale sicurezza intrinseca venga mantenuta.

La categoria ia richiede che la sicurezza intrinseca venga mantenuta al verificarsi di due guasti indipendenti tra loro.

Nella **Figura 8.2.4.1** è illustrato il principio di applicazione dei dispositivi SPD in un circuito CMR.

Valori massimi di corrente I_0 , tensione U_0 , induttanza L_0 e capacità C_0

All'interfaccia tra le aree pericolose e quelle non pericolose (aree sicure) vengono utilizzate delle barriere di sicurezza o dei trasduttori di misura con circuito di uscita Ex(i), per separare questi due ambiti diversi.

I valori di sicurezza massimi di una barriera di sicurezza o di un trasduttore di misura con circuiti di uscita Ex(i) sono definiti nel certificato di collaudo rilasciato da un ente autorizzato:

- ➔ tensione di uscita massima U_0 ,
- ➔ corrente di uscita massima I_0 ,
- ➔ induttanza esterna massima L_0 ,
- ➔ capacità esterna massima C_0 .

Il progettista/installatore deve verificare in ogni singolo caso se vengono mantenuti questi valori massimi ammissibili delle apparecchiature collegate che si trovano nel circuito a sicurezza intrinseca (cioè dispositivi di elaborazione sul campo, conduttori e SPD). I relativi valori sono riportati sulla targhetta dell'apparecchiatura o sul certificato di prova e omologazione.

Nota

Quando si utilizzano SPD DEHN intrinsecamente sicuri, le induttanze e le capacità interne dell'apparecchio sono trascurabili secondo il certificato CE di prova e omologazione. Qui va usato il valore zero per calcolare i valori massimi di L_0 e C_0 .

Classificazione in gruppi di esplosione

Nebbie, gas e vapori esplosivi sono classificati secondo l'energia della scintilla necessaria per incendiare la miscela con la massima capacità esplosiva a contatto con l'aria.

Le apparecchiature vengono classificate a seconda dei gas con i quali vengono utilizzate.

Il gruppo II vale per tutti i settori di impiego, ad esempio l'industria chimica, la lavorazione di carbone o cereali, tranne l'industria mineraria.

Il pericolo di esplosione è massimo nel gruppo II C, dal momento che in questo gruppo viene considerata una miscela con la più bassa energia di accensione.

La certificazione del BLITZDUCTOR per il gruppo di esplosione II C soddisfa quindi i requisiti massimi, cioè più sensibili, per una miscela di idrogeno e aria.

Classificazione in classi di temperatura

In presenza di un'atmosfera che può esplodere a causa della superficie calda di un'apparecchiatura, per l'innesco dell'esplosione è necessaria una temperatura minima caratteristica della sostanza utilizzata. La temperatura di innesco caratterizza il comportamento relativo all'accensione dei gas, dei vapori, delle polveri a contatto con superfici calde. Per ragioni economiche quindi, i gas e vapori vengono suddivisi in determinate classi di temperatura. La classe di temperatura T6, ad esempio, specifica che la temperatura superficiale massima del compo-

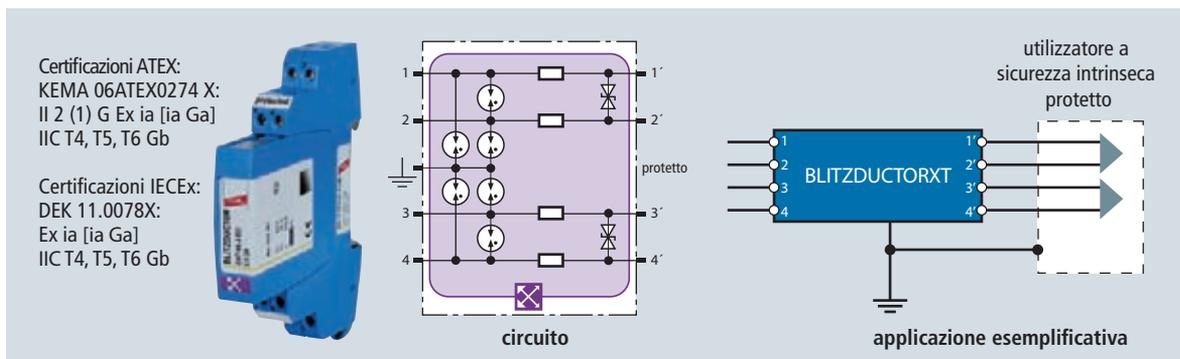


Figura 8.2.4.2 Scaricatore a sicurezza intrinseca BXT ML4 BD EX 24

nente non deve essere superiore a 85 °C durante il funzionamento o in caso di guasto e che la temperatura di accensione di gas e vapori deve essere superiore a 85 °C.

Con la sua classificazione T6, da questo punto vista BLITZDUCTOR XT soddisfa anche i massimi requisiti.

A seconda del certificato di conformità della ATEX/IECEx, devono essere osservati anche i seguenti parametri.

Criteri di scelta per SPD - BLITZDUCTOR XT

Sulla base dei dispositivi BLITZDUCTOR XT, BXT ML4 BD EX 24, vengono di seguito spiegati i criteri di scelta specifici per questo componente (Figura 8.2.4.2).

Questo componente ha un certificato CE di prova e omologazione rilasciato da KEMA (KEMA 06ATEX0274 X).

Questa classificazione significa:

KEMA Simbolo dell'ente che esegue prova

06 Prima certificazione del dispositivo nel 2006

ATEX Generazione ATEX

0274 Numero progressivo dell'ente che esegue prova

X "X" - Vanno rispettate delle condizioni particolari per garantire un uso sicuro. Esse si trovano nella sezione 17 certificato CE di prova e omologazione.

Il dispositivo di protezione contro le sovratensioni è classificato come segue:

II 2(1) G Ex ia [ia Ga] IIC T4...T6 Gb

Questa classificazione significa:

II Gruppo dell'apparecchiatura - SPD utilizzabile in tutti i settori ad eccezione delle miniere.

2(1) G Categoria - SPD installabile in zona Ex 1 e anche in circuiti di impianti con conduttori provenienti dalla zona

0 (per proteggere i dispositivi terminali nella zona 0). Atmosfera: G = gas; D = polvere.

Ex L'ente che esegue la prova certifica che il materiale elettrico è conforme alle norme europee armonizzate IEC 60079-0 (EN 60079-0): disposizioni generali e IEC 60079-11: entro il 2011 (EN 60079-11:2012): sicurezza intrinseca "i".

ia Tipo di protezione - Il dispositivo SPD gestisce anche la combinazione di due guasti qualsiasi nel circuito a sicurezza intrinseca, senza determinare un innesco.

[ia Ga] Tipi di protezione ia e EPL Ga - Dispositivo con livello di protezione "molto elevato", per atmosfere di gas esplosive, che non costituisce una causa di ignizione durante il normale funzionamento e in caso di anomalie/malfunzionamenti previsti o rari. Il dispositivo è quindi ideale per proteggere i segnali provenienti dalla zona Ex 0. L'apparecchiatura non deve essere installata nella zona Ex 0 (vedi Gb).

IIC Gruppo di esplosione - Il dispositivo SPD risponde ai requisiti del gruppo di esplosione IIC e può essere utilizzato anche con gas esplosivi come idrogeno o acetilene.

T4 tra -40 °C e +80 °C

T5 tra -40 °C e +75 °C

T6 tra -40 °C e +60 °C

Gb Tipi di protezione EPL Gb - Dispositivo con livello di protezione "elevato", per atmosfere di gas esplosive, che non costituisce una causa di innesco durante il normale funzionamento e in caso di anomalie/malfunzionamenti previsti o rari.

Altri dati elettrici importanti:

➔ massima induttanza esterna (L_0) e massima capacità esterna (C_0):

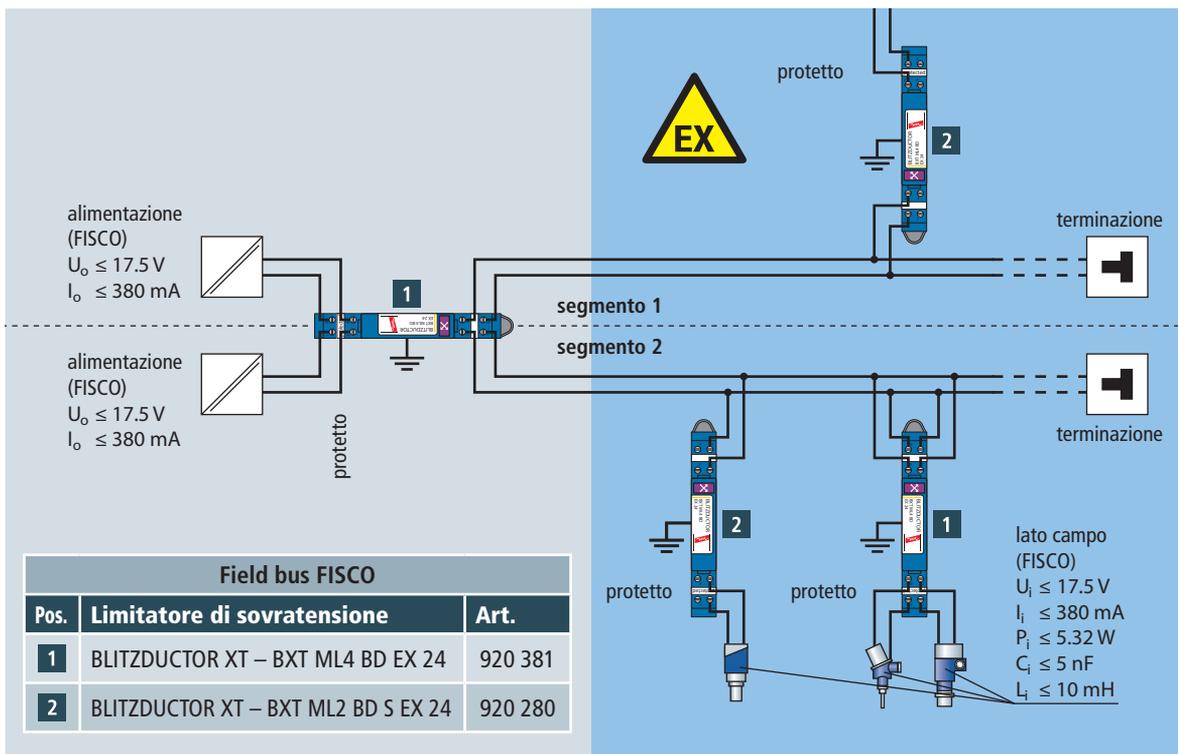


Figura 8.2.4.3 SPD in un sistema bus a sicurezza intrinseca - resistenza di isolamento > 500 V c.a.

grazie alla particolare scelta dei componenti nel dispositivo SPD BLITZDUCTOR XT, i valori di induttanza e capacità interna dei singoli componenti risulta trascurabile ($L_i = 0$; $C_i = 0$).

- ➔ massima corrente di ingresso (I_i):
la corrente massima che può passare attraverso i componenti di connessione senza eliminare la sicurezza intrinseca è di 500 mA.
- ➔ massima tensione in ingresso (U_i):
la massima tensione che può essere applicata a BLITZDUCTOR XT senza eliminare la sicurezza intrinseca è di 30 V.

Circuiti Ex(i) privi di messa a terra

L'isolamento tra un circuito a sicurezza intrinseca e il telaio dell'apparecchiatura o di altre parti che possono essere collegate a terra, deve solitamente resistere ad un valore effettivo di tensione alternata di prova doppio rispetto alla tensione del circuito a sicurezza intrinseca, oppure 500 V, a seconda del valore più alto dei due. Le apparecchiature con tenuta di isolamento < 500 V AC devono essere collegate a terra.

Le apparecchiature a sicurezza intrinseca (ad es. cavi, trasduttori per misurazione, sensori ecc.) hanno generalmente una tenuta all'isolamento > 500 V AC (Figura 8.2.4.3).

I circuiti a sicurezza intrinseca devono essere collegati a terra, quando questo risulta necessario per ragioni di sicurezza. Essi possono essere collegati a terra, se questo è necessario, per ragioni di funzionamento. Il collegamento a terra deve essere effettuato in un solo punto attraverso il collegamento con il sistema equipotenziale. Se la tensione di scarica in CC del dispositivo SPD è < 500 V DC, il circuito a sicurezza intrinseca viene considerato collegato a terra.

Se la tensione di scarica in CC del dispositivo SPD è > 500 V DC, il circuito a sicurezza intrinseca non viene considerato collegato a terra. BLITZDUCTOR XT (BXT ML4 BD EX 24 o BXT ML2 BD S EX 24) soddisfa questo requisito.

Per coordinare la resistenza dielettrica degli apparecchi da proteggere (trasduttore di misurazione e sensore) con il livello di protezione del dispositivo SPD, è necessario assicurare che la tenuta all'isolamento degli apparecchi da proteggere sia nettamente superiore ai requisiti per la tensione alternata di prova di 500 V AC.

Per evitare che la caduta di tensione della corrente di interferenza venga scaricata lungo il collegamento di terra e deteriori il livello di protezione della tensione, deve essere stabilito un coerente collegamento equipotenziale tra il dispositivo da proteggere e il dispositivo SPD.

Messa a terra / collegamento equipotenziale

Nella zona Ex dell'impianto è necessario assicurare un collegamento equipotenziale coerente ed una magliatura dell'impianto di terra. La sezione del conduttore di terra tra il dispositivo SPD e il sistema equipotenziale non deve essere inferiore a 4 mm² (rame). Quando si utilizzano molti SPD, si raccomanda una sezione di 16 mm² (in rame).

Installazione di un dispositivo SPD BLITZDUCTOR XT in circuiti Ex(i)

I punti di vista dei requisiti normativi Ex(i) sui circuiti di protezione contro le esplosioni e quelli sulla compatibilità elettromagnetica (EMC) sono diversi; questa è una situazione che a volte provoca la costernazione dei progettisti e degli installatori.

I più importanti criteri di scelta per la sicurezza intrinseca e per la protezione contro le sovratensioni e gli EMC negli impianti sono elencati nel capitolo 9.32, al fine di identificare in ciascun caso l'interazione corretta.

8.2.5 Particolarità nell'installazione di SPD

L'effetto di protezione degli SPD su un apparecchio da proteggere si considera assicurato quando una sorgente di disturbo viene ridotta ad un valore inferiore al limite di immunità ai disturbi e alla distruzione, e superiore alla tensione massima continuativa di esercizio dell'apparecchio da proteggere. Generalmente l'effetto di protezione di uno scaricatore viene indicato dal costruttore attraverso il livello di protezione U_p (vedere IEC 61643-21 - CEI EN 61643-21 - CEI 37-6). L'efficacia di un dispositivo di protezione dipende, tuttavia, da ulteriori parametri, che sono definiti dall'installazione. Durante il processo di scarica, il flusso di corrente attraverso l'impianto (ad es. L e R del conduttore equipotenziale) può provocare una caduta di tensione $U_L + U_R$, che deve essere sommata a U_p e che produce come risultato la tensione residua sull'apparecchio finale U_r .

$$U_r = U_p + U_L + U_R$$

Le seguenti condizioni permettono una protezione ottimale dalle sovratensioni.

- ➔ La tensione massima di esercizio U_c del SPD dovrebbe essere leggermente al di sopra della tensione a circuito aperto del sistema.
- ➔ Il livello della tensione di protezione U_p del dispositivo SPD dovrebbe essere il più piccolo possibile, in modo che le ulteriori cadute di tensione nell'impianto abbiano meno effetto
- ➔ Il collegamento equipotenziale dovrebbe essere eseguito con l'impedenza più bassa possibile.

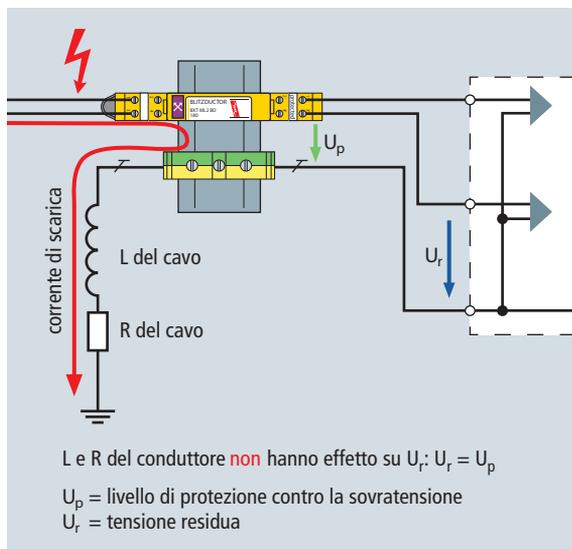


Figura 8.2.5.1 Installazione corretta

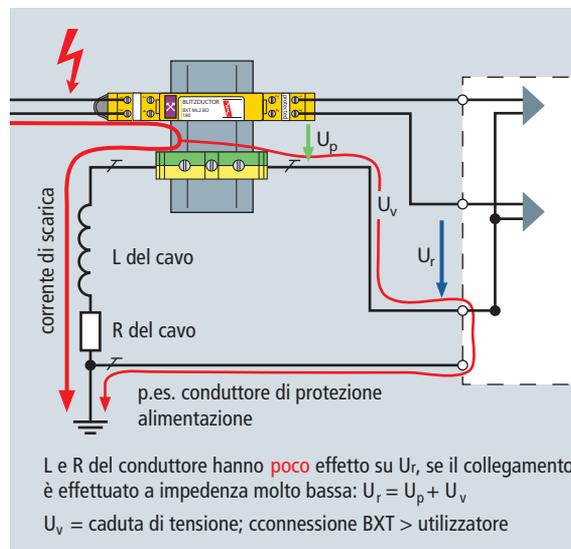


Figura 8.2.5.2 Installazione più comune

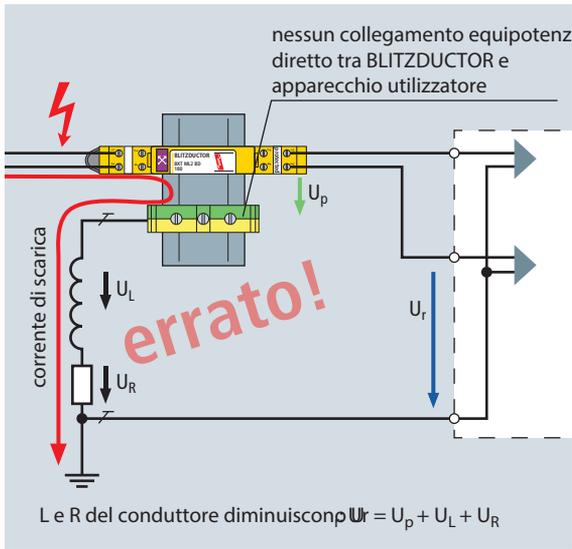


Figura 8.2.5.3 Collegamento equipotenziale non corretto

- Il dispositivo SPD dovrebbe essere installato il più vicino possibile all'apparecchio utilizzatore, in quanto ha un effetto positivo sulla tensione residua

Esempi di installazione

Esempio 1: installazione corretta (Figura 8.2.5.1)

L'apparecchio utilizzatore viene collegato direttamente a terra solo attraverso il punto di messa a terra dello scaricatore. Ciò significa che il livello di protezione della tensione U_p del dispositivo SPD è effettivamente disponibile all'ingresso dell'apparecchio utilizzatore sotto forma di tensione residua U_r . Questo tipo di impianto è il metodo più favorevole per la protezione dell'apparecchio utilizzatore.

$$U_r = U_p$$

$U_L + U_R$ non hanno effetto

Esempio 2: installazione più frequente (Figura 8.2.5.2)

L'apparecchio utilizzatore viene collegato a terra direttamente attraverso il terminale di messa a terra dello scaricatore e i conduttori PE connessi. Di conseguenza, una parte della corrente di scarica, a seconda del rapporto di impedenza, passa attraverso il collegamento e raggiunge l'apparecchio utilizzatore. Per evitare che il disturbo penetri dal conduttore equipotenziale verso i fili protetti e per mantenere ridotta la tensione residua, il collegamento equipotenziale deve essere installato

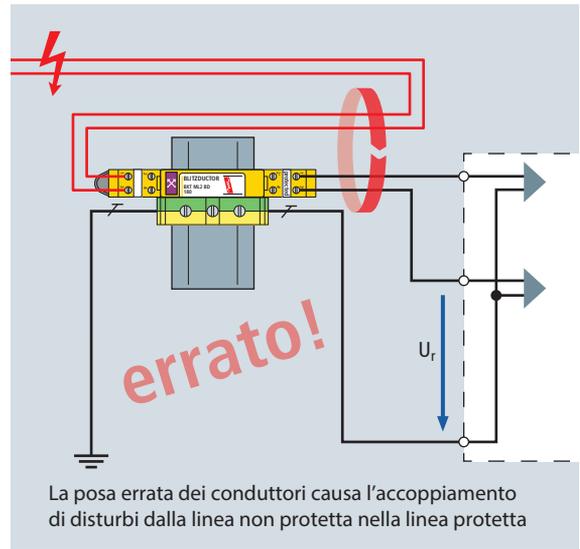


Figura 8.2.5.4 Passaggio del conduttore non corretto

separatamente, se possibile, e/o deve avere una impedenza molto bassa (ad es. pannelli di montaggio metallici). Questo tipo di installazione costituisce la comune pratica di installazione per gli apparecchi utilizzatori in classe I.

$$U_r = U_p + U_v$$

Esempio 3: conduttore equipotenziale non corretto (Figura 8.2.5.3)

L'apparecchio utilizzatore viene messo a terra solo tramite, ad esempio, il conduttore di protezione. Non esiste alcun collegamento equipotenziale a bassa impedenza verso il dispositivo di protezione. Il percorso del conduttore equipotenziale, dal dispositivo di protezione al morsetto del conduttore di protezione dell'apparecchio utilizzatore (ad es. barra equipotenziale), influisce notevolmente sulla tensione residua. A seconda della lunghezza del cavo, possono verificarsi cadute di tensione fino a qualche kV, che si aggiungono a U_p e possono provocare la distruzione dell'apparecchio utilizzatore a causa di un alto livello di tensione residua all'ingresso dell'apparecchio.

Esempio 4: percorso non corretto del conduttore (Figura 8.2.5.4)

Anche se il collegamento equipotenziale è eseguito bene, un percorso non corretto del conduttore può portare al peggioramento dell'effetto di protezione, se non addirittura al danneggiamento degli apparecchi utilizzatori. Se non viene mantenuta una rigorosa separazione o schermatura del conduttore non protetto a monte del dispositivo SPD e del conduttore protetto

		Canaline per cavi utilizzati per la tecnologia dell'informazione o sistemi di cablaggio alimentazione		
Classificazione separazione (Tabella 3)	Separazione senza barriere elettromagnetiche	Canalina metallica aperta ^{a)}	Canalina metallica forata ^{b) c)}	Canalina metallica piena ^{d)}
d	10 mm	8 mm	5 mm	0 mm
c	50 mm	38 mm	25 mm	0 mm
b	100 mm	75 mm	50 mm	0 mm
a	300 mm	225 mm	150 mm	0 mm

- a) Prestazioni dello schermo (da 0 MHz a 100 MHz) equivalenti a un cestello di rete saldata in acciaio con maglie di dimensioni 50 mm x 100 mm (escluse le scale). Questa protezione si ottiene anche con un piano di acciaio (canalina senza coperchio) con spessore della parete inferiore a 1,0 mm e/o più del 20% equamente distribuito nella zona forata.
- b) Le prestazioni dello schermo (da 0 MHz a 100 MHz) equivalente a un vassoio di acciaio (canalina senza coperchio) con almeno 1,0 mm di spessore della parete e non più del 20% di zona forata equamente distribuita. Questa protezione si ottiene anche con cavi di alimentazione schermati che non soddisfano le prestazioni definite nella nota d).
- c) La superficie superiore dei cavi installati deve essere almeno 10 mm al di sotto del bordo superiore della barriera.
- d) Prestazioni dello schermo (da 0 MHz a 100 MHz) equivalente a un condotto in acciaio di 1,5 mm di spessore. La separazione specificata è in aggiunta a quella fornita da un divisore/barriera.

Tabella 8.2.5.1 Separazione delle reti di telecomunicazione e linee di bassa tensione secondo la norma EN 50174-2, Tabella 4: "separazione minima s"

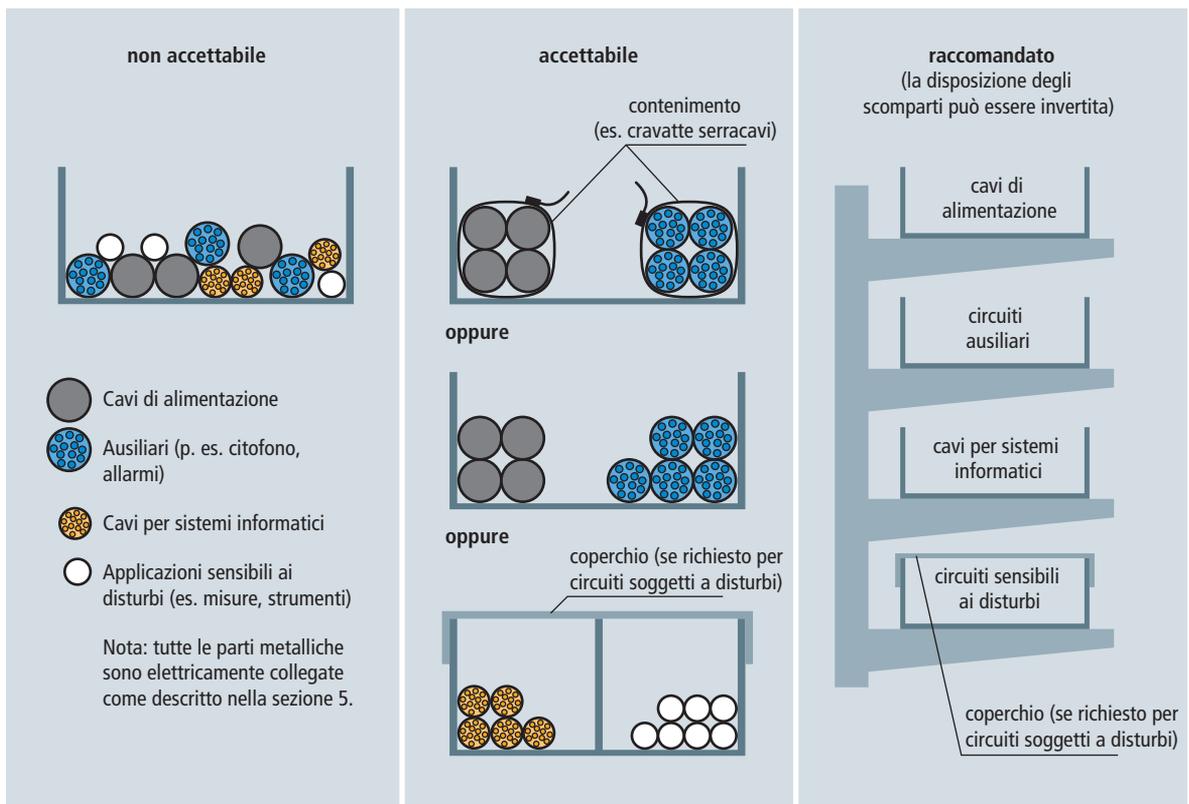


Figura 8.2.5.5 Separazione dei cavi nei canali

a valle del dispositivo SPD, a causa dei campi magnetici si potrebbe avere la penetrazione dei disturbi impulsivi sul lato del conduttore protetto.

Schermatura

Schermatura del cavo descritta nella sezione 7.3.1.

Consigli di installazione

L'utilizzo di schermature o di canali metallici diminuisce l'interazione tra le coppie di conduttori e l'ambiente circostante. Per i cavi schermati si devono osservare le seguenti precauzioni:

- ➔ la messa a terra dello schermo da un lato diminuisce l'irradiazione di campi elettrici,
- ➔ la messa a terra dello schermo ad entrambi i lati diminuisce l'irradiazione di campi elettromagnetici,
- ➔ le schermature tradizionali non offrono un'adeguata protezione contro i campi magnetici a bassa frequenza.

Suggerimenti

Le schermature dovrebbero essere continue tra gli impianti informatici, presentare una resistenza di accoppiamento bassa ed essere a contatto per l'intera circonferenza del cavo, se possibile. Lo schermo deve racchiudere completamente i cavi, per quanto possibile. Bisogna evitare le interruzioni della schermatura e i collegamenti a terra ad alta impedenza, come pure le cosiddette "trecce".

In quale misura i conduttori in bassa tensione influenzano i conduttori di telecomunicazione dipende da diversi fattori. I valori consigliati per le distanze spaziali di linee a bassa tensione sono descritti nella norma CEI EN 50174-2 (CEI 306-5). Per un cavo di lunghezza inferiore a 35 m, di solito non serve mantenere una distanza. In tutti gli altri casi, vale la separazione indicata nella **Tabella 8.2.5.1**.

Si raccomanda di posare i conduttori di telecomunicazione in canaline metalliche collegate elettricamente continue e completamente chiuse. I sistemi di canaline metalliche dovrebbero essere connessi a terra con una bassa impedenza il più spesso possibile, in ogni caso almeno all'inizio e alla fine della canalina stessa (**Figura 8.2.5.5**).

8.2.6 Protezione e disponibilità degli impianti grazie alle strategie di manutenzione

Come per tutti i dispositivi elettrici ed elettronici, i componenti elettronici dei dispositivi di protezione per i sistemi informatici sono soggetti a invecchiamento. La **Figura 8.2.6.1** mostra la cosiddetta "curva a vasca da bagno".

Pertanto, l'obiettivo di una strategia di manutenzione per i dispositivi SPD è l'individuazione tempestiva di quei dispositivi SPD che potrebbero guastarsi in un prossimo futuro.

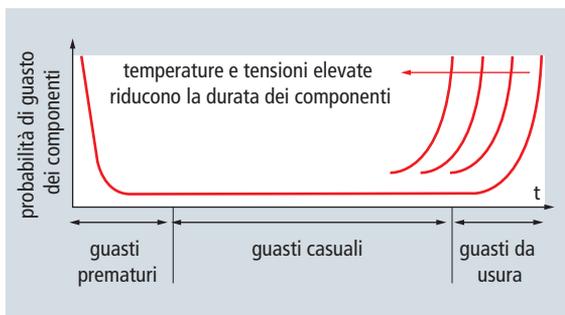


Figura 8.2.6.1 Invecchiamento dei componenti elettronici - "Curva a vasca da bagno"



Figura 8.2.6.2 LifeCheck scaricatore di DRC LC M1+

L'obiettivo principale delle misure di protezione contro i fulmini e le sovratensioni è anche aumentare la disponibilità degli impianti mediante tempestivi lavori di manutenzione e di riparazione. Allo stesso tempo, i costi di manutenzione e di riparazione vanno ridotti.

Manutenzione correttiva (orientata al guasto)

Il dispositivo scaricatore protegge il circuito dell'impianto fino a quando non viene superato il suo limite di sovraccarico e cede completamente. Solo allora vengono adottate le misure correttive per ripristinare la disponibilità del segnale. Le caratteristiche principali degli scaricatori sono le tre seguenti:

- ➔ A prova di guasto (Fail-safe): il segnale dati si interrompe dopo il guasto dello scaricatore (il circuito dell'impianto o il sistema si sono guastati). La caratteristica fail-safe assicura che l'impianto sia ancora protetto contro le interferenze causate dalle correnti di fulmine parziali o dalle sovratensioni.
- ➔ Inseribile (Pluggable) - Uno scaricatore costituito da un modulo di protezione e una parte di base: la progettazione in



Figura 8.2.6.3 Sorveglianza dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni per mezzo di il DRC MCM XT condizione unità di monitoraggio

due parti, comprendente una basetta e un modulo di protezione consente una facile sostituzione del modulo elettrico, senza dover eseguire dei cablaggi.

- ➔ Basetta con contatto attivato prima dell'intervento (Make-before-break): se lo scaricatore viene sovraccaricato, la disponibilità del sistema è facilmente e rapidamente ripristinabile rimuovendo il modulo di protezione dalla sua basetta. Anche se è attiva una linea di segnale, il modulo può essere rapidamente sostituito senza influenzare il circuito di segnale. Se il modulo di protezione viene rimosso, la basetta può essere utilizzata come terminale passante esente da manutenzione. Il circuito del segnale è protetto solo se il modulo è collegato. Il circuito del segnale non viene interrotto quando si sostituisce il modulo di protezione.

BLITZDUCTOR XT, che interrompe il segnale in caso di guasto, comprende una basetta e un modulo di protezione, dotato di contatto attivato prima dell'intervento (Make-before-break) nella basetta: garantisce una protezione sicura, una facile manutenzione e quindi una maggiore disponibilità di impianti e sistemi.

Manutenzione preventiva

L'Integrazione 3 della norma tedesca DIN EN 62305-3 (Tabella 1) descrive le prove e gli intervalli di manutenzione per un sistema di protezione antifulmine. È difficile controllare visivamente i dispositivi SPD per i sistemi informatici, dato che lo stato dello scaricatore di solito non è visibile. Pertanto i moduli di

protezione sono dotati del sistema di sorveglianza LifeCheck, che rileva lo stress termico o elettrico su tutti i componenti dello scaricatore. Se viene attivato LifeCheck a causa di uno scaricatore pre-danneggiato, esso può essere individuato entro gli intervalli di manutenzione per mezzo di un dispositivo di prova degli scaricatori (DRC LC M1+ o M3+) (Figura 8.2.6.2). Per evitare eventuali interruzioni dovute a sovratensioni successive, il modulo di protezione pre-danneggiato deve essere sostituito il più presto possibile.

I vantaggi di questo tipo di prova degli SPD:

- ➔ estremamente facile, si esegue in pochi secondi
- ➔ il modulo di protezione non deve essere rimosso
- ➔ rilevamento del pre-danneggiamento termico ed elettrico di tutti gli elementi dello scaricatore

La disponibilità di impianti e sistemi può essere ulteriormente aumentata riducendo gli intervalli di manutenzione. Tuttavia, va considerato il rapporto costo-efficacia della misura di manutenzione.

Sorveglianza delle condizioni

La sorveglianza delle condizioni è utilizzata nelle industrie che richiedono la massima disponibilità dei sistemi e degli impianti, unitamente al miglior rapporto costo-efficacia delle misure di manutenzione. Gli scaricatori dotati di LifeCheck (ad es. BLITZDUCTOR XT) sono combinati per formare un gruppo di sorveglianza per mezzo di un dispositivo di monitoraggio fisso e sono costantemente monitorata (Figura 8.2.6.3). Se lo stato del gruppo di sorveglianza cambia, cioè se ci sono uno o più scaricatori pre-danneggiati, questo cambiamento viene immediatamente indicato per mezzo dei contatti di segnalazione remoti flottanti integrati nel dispositivo di monitoraggio o tramite l'interfaccia RS-485. Il guasto imminente può essere rilevato immediatamente grazie alla tempestiva sostituzione preventiva dei moduli di protezione pre-danneggiati, evitando i tempi morti.

Questo tipo di sorveglianza dei dispositivi SPD ha i seguenti vantaggi:

- ➔ sorveglianza permanente dei dispositivi SPD durante il funzionamento,
- ➔ opzione di segnalazione remota via interfaccia RS-485 e contatti di segnalazione remota,
- ➔ il gateway consente il collegamento a un sistema di controllo di livello superiore o un altro sistema di bus.



Protezione da sovratensioni per convertitori di frequenza

Un convertitore di frequenza è composto in termini semplificati da un raddrizzatore, un circuito intermedio, un invertitore e un'elettronica di comando (**Figura 9.1.1**).

All'ingresso dell'invertitore, la tensione alternata monofase o trifase viene convertita in una tensione continua e giunge al circuito intermedio, che funge anche da accumulatore di energia (buffer).

I condensatori che si trovano nel circuito intermedio e gli elementi L e C collegati verso massa nel filtro di rete potrebbero causare dei problemi con i dispositivi di protezione differenziale (RCD) collegati a monte. La causa di questi problemi viene spesso attribuita erroneamente all'utilizzo degli apparecchi limitatori di sovratensione. Essi invece dipendono dalle brevi correnti di guasto prodotte dal convertitore di frequenza, sufficienti a far intervenire i sensibili dispositivi di protezione differenziale (RCD). Si può prevenire questo fenomeno installando un interruttore differenziale (RCD) resistente alle correnti impulsive. Questi dispositivi sono disponibili con valori di tenuta

all'impulso di 3 kA (8/20 μ s) e oltre, con correnti d'intervento di $I_{\Delta n} = 30$ mA.

Attraverso l'elettronica di controllo l'invertitore fornisce una tensione pulsata in uscita. La tensione di uscita avrà un andamento tanto più simile alla forma d'onda sinusoidale quanto più alta sarà la frequenza degli impulsi forniti dall'elettronica di controllo. Per ogni impulso si crea tuttavia un picco di tensione che si sovrappone all'armonica fondamentale dell'onda prodotta. Questo picco di tensione raggiunge valori superiori a 1200 V (in funzione del convertitore di frequenza). Migliore è qualità dell'onda sinusoidale simulata, migliori saranno il funzionamento e il controllo del motore. Questo però significa anche che all'uscita del convertitore di frequenza si riscontra un maggior numero di picchi di tensione.

Nella scelta dei limitatori di sovratensione occorre considerare la massima tensione continuativa di esercizio U_c . Questa rappresenta la tensione di esercizio massima alla quale può essere collegato un limitatore di sovratensione. A causa dei

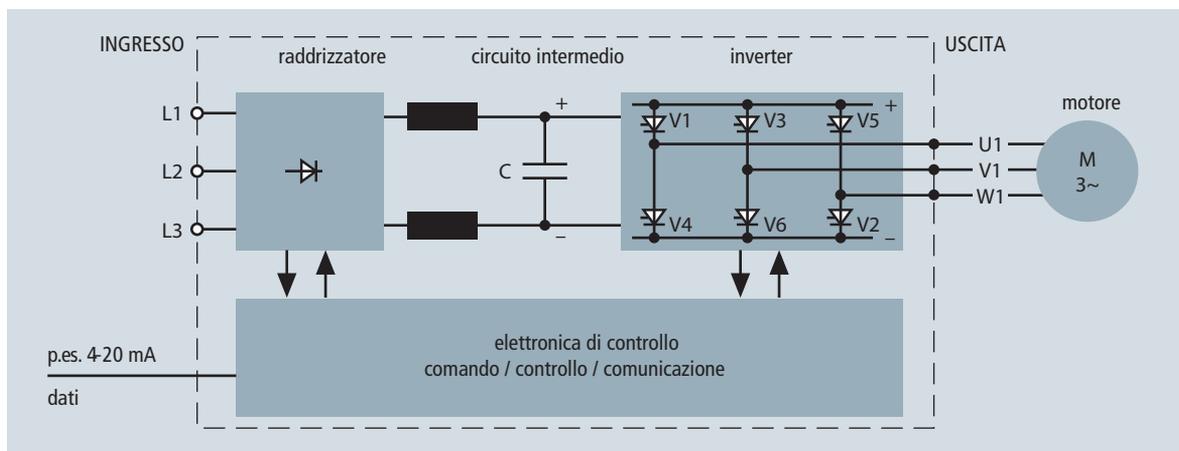


Figura 9.1.1 Schema di principio di un convertitore di frequenza

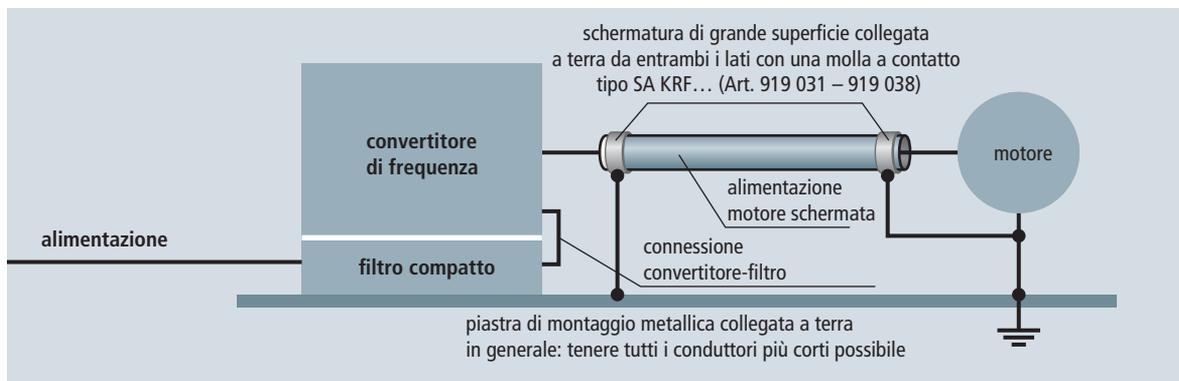
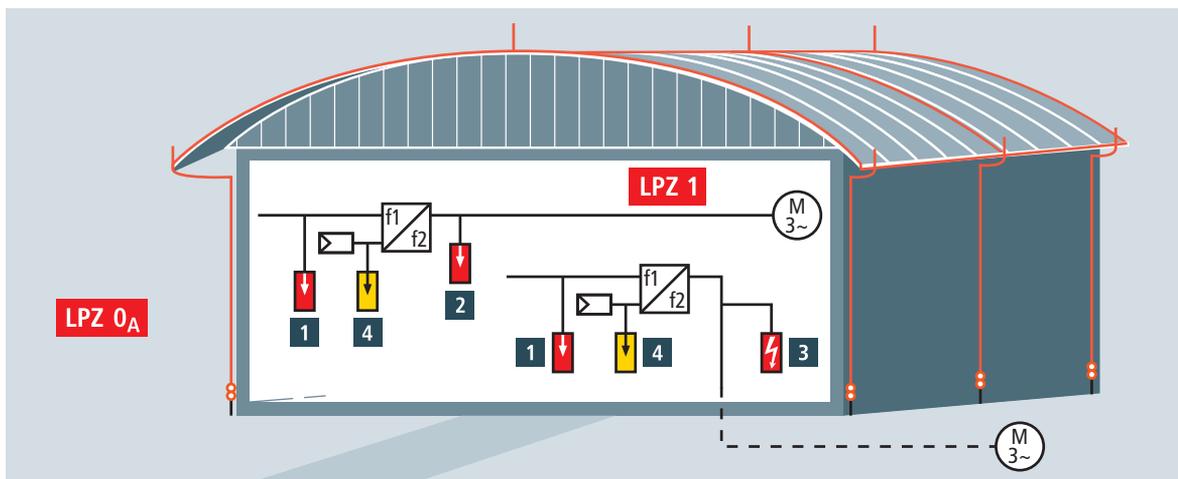


Figura 9.1.2 Connessione dello schermo del cavo d'alimentazione motore secondo i requisiti EMC



Pos.	Limitatore di sovratensione	Art.
1	DEHNguard modulare DG M TNS 275 (impianti TN-S)	952 400
	DEHNguard modulare DG M TT 275 (impianti TT)	952 310
2	DEHNguard S DG S WE 600 (3 articoli)	952 077
3	DEHNbloc Maxi DBM 1 760 FM (3 articoli)	961 175
	+ DEHNguard S DG S WE 600 (3 articoli)	+ 952 077
4	BLITZDUCTOR XT BXT ML2 BE S 24 (p.es. 4–20 mA)	920 224
	+ BLITZDUCTOR XT basetta BXT BAS	+ 920 300

Figura 9.1.3 Convertitore di frequenza con azionamenti in zone LPZ 0_A e LPZ 1

picchi di tensione, sul lato di uscita del convertitore di frequenza vengono utilizzati dei limitatori di sovratensione con il valore di U_c maggiore. In questo modo si evita che i picchi di tensione che si verificano anche durante il normale esercizio provochino un "invecchiamento artificiale" dovuto al continuo riscaldamento del limitatore di sovratensione.

Il riscaldamento del limitatore potrebbe causare la riduzione della sua durata e di conseguenza, a seguito del loro fine vita anticipato, il suo distacco dall'impianto da proteggere.

L'alta frequenza degli impulsi all'uscita del convertitore di frequenza genera dei disturbi indotti. Per evitare che questi disturbi interferiscano con gli altri sistemi, è necessario l'utilizzo di conduttori schermati per l'alimentazione del motore. Lo schermo del cavo di alimentazione del motore deve essere messo a terra da entrambi i lati, sia sul lato del convertitore di

frequenza sia sul lato motore. I requisiti EMC impongono la connessione dello schermo su un'ampia superficie di contatto, preferibilmente con molle a forza costante (**Figura 9.1.2**). Tramite impianti di terra ammagliati, cioè l'interconnessione degli impianti di messa a terra sul lato convertitore di frequenza e sul lato dell'azionamento del motore, si riducono le differenze di potenziale tra le parti dell'impianto e quindi si evitano correnti di compensazione attraverso la schermatura.

Per integrare un convertitore di frequenza nel sistema di automazione dell'edificio, bisogna proteggere per mezzo di dispositivi contro le sovratensioni tutte le interfacce di elaborazione e di comunicazione, in modo da evitare interruzioni del sistema. La **Figura 9.1.3** illustra un esempio dell'interfaccia del dispositivo di controllo 4–20 mA.



**Protezione contro i
fulmini e sovratensioni
per illuminazione esterna**

Gli impianti esterni di illuminazione possono essere installati sia sulle pareti esterne degli edifici sia sul terreno aperto. In ogni caso va verificato se i corpi illuminanti esterni si trovano nella zona di protezione LPZ 0_A o LPZ 0_B. I corpi illuminanti esterni posti nella zona LPZ 0_A sono soggetti a fulminazione diretta, a correnti impulsive fino alla corrente di fulmine totale e al campo elettromagnetico totale di fulmine. Nella zona LPZ 0_B i corpi illuminanti sono protetti contro la fulminazione diretta, però restano comunque a rischio di correnti impulsive fino alla corrente parziale di fulmine e al campo elettromagnetico totale di fulmine.

I lampioni nella zona di protezione LPZ 0_A vanno collegati tra loro e con i dispersori dell'edificio tramite conduttori di terra nudi a contatto con il terreno. Per il dimensionamento dei materiali e le sezioni da utilizzare si consiglia l'uso della Tabella 7 della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3). La **Tabella 9.2.1** mostra un estratto della tabella citata, con i dati più utilizzati in pratica. Il materiale utilizzabile è sempre da scegliere considerando la sua resistenza alla corrosione.

Va verificato caso per caso se è necessario adottare misure di protezione volte alla riduzione della possibilità di fulminazione causata da tensioni di contatto e/o di passo.

La normativa CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3), come misura per la riduzione delle tensioni di contatto, richiede ad esempio uno strato di asfalto con spessore di almeno 5 cm per un raggio di 3 m intorno al lampione (**Figura 9.2.1**).

Inoltre la normativa - CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) indica il controllo del potenziale come misura per ridurre le tensioni di passo. In questo caso vengono interrati quattro anelli, a distanze di 1,0 m; 4,0 m; 7,0 m e 10,0 m, alle profondità rispettivamente di 0,5 m; 1,0 m; 1,5 m; e 2,0 m intorno al lampione. Questi anelli ven-

Materiale	Configurazione	Conduttore di terra
Rame	Corda / Tondo / Nastro	50 mm ²
Acciaio	Tondo zincato Nastro zincato	78 mm ² 90 mm ²
Acciaio inossidabile (V4A)	Tondo Nastro	78 mm ² 100 mm ²

Tabella 9.2.1 Dimensioni minime dei conduttori di terra per il collegamento dei lampioni nella zona di protezione LPZ 0_A tra di loro e all'impianto di terra degli edifici

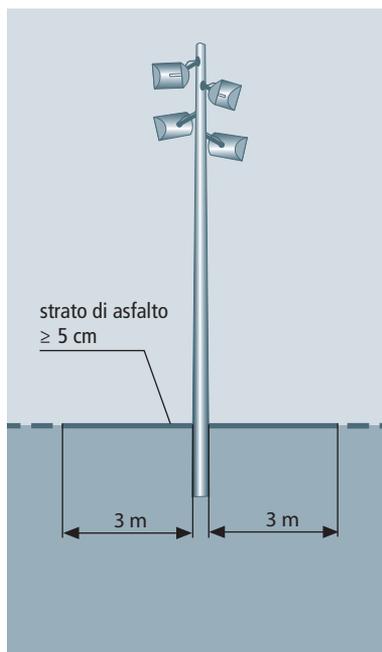


Figura 9.2.1 Isolamento del suolo per la riduzione delle tensioni di contatto derivanti da fulminazioni su un palo di illuminazione

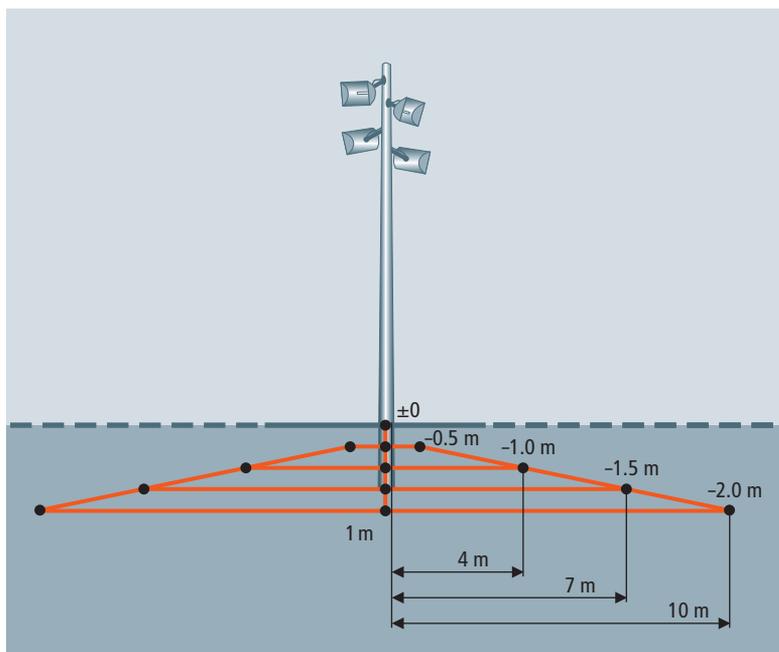
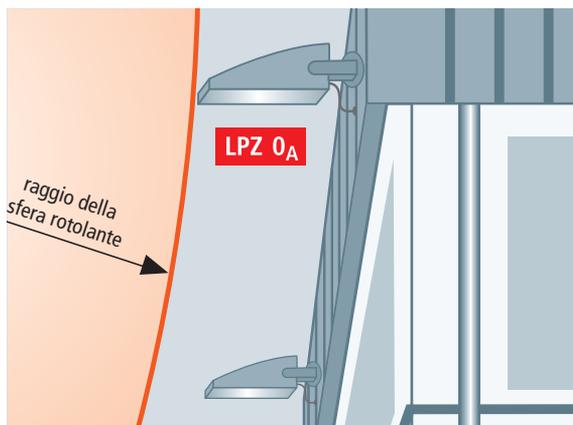
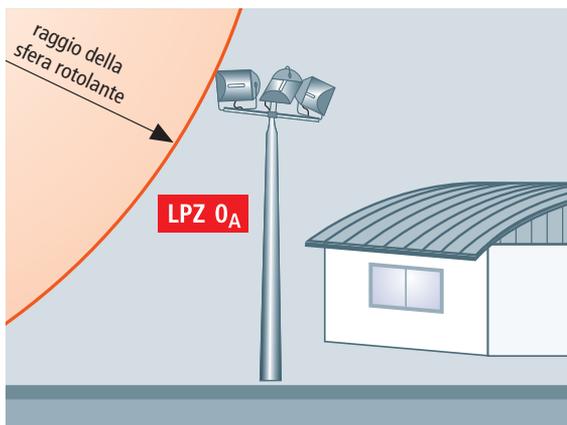


Figura 9.2.2 Controllo del potenziale per la riduzione delle tensioni di passo causati da fulminazioni su un palo di illuminazione



Applicazione	Tipo	Art.
Scaricatori della corrente di fulmine		
Sistema TN	DB M 1 255 (2x)	961 120
Sistema TT	DB M 1 255	961 120
	DGP M 1 255	961 101
Scaricatori combinati		
Sistema TN	DSH TN 255	941 200
Sistema TT	DSH TT 2P 255	941 110

Figura 9.2.3 Corpi illuminanti esterni 230 V su palo in zona di protezione da fulminazione LPZ 0_A con equipotenzialità antifulmine al punto di ingresso dell'edificio



Applicazione	Tipo	Art.
Scaricatori della corrente di fulmine		
Sistema TN-S	DB M 1 255 (4x)	961 120
Sistema TT	DB M 1 255 (3x)	961 120
	DGP M 1 255	961 101
Scaricatori combinati		
Sistema TN-S	DSH TNS 255	941 400
Sistema TT	DSH TT 255	941 310

Figura 9.2.4 Corpi illuminanti esterni 3x 230/400 V su palo in zona di protezione da fulminazione LPZ 0_A con equipotenzialità antifulmine al punto di ingresso dell'edificio

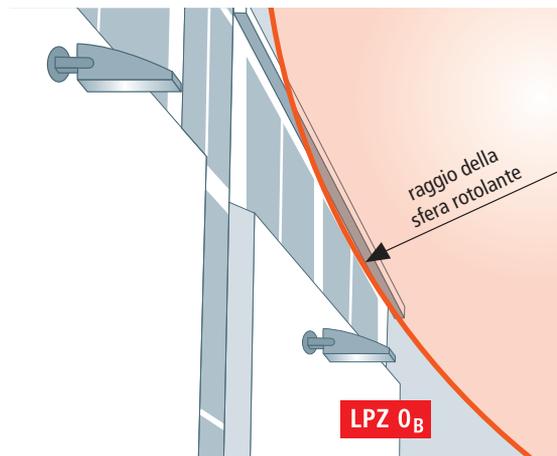
gono collegati tra di loro e al palo con quattro conduttori posti ad angolo retto tra loro (Figura 9.2.2).

Degli scaricatori, del tipo consigliato, vanno installati nei punti di passaggio tra la zona LPZ 0_A e la 1 o tra la zona LPZ 0_B e la 1.

Per tutti i corpi illuminanti sono da installare degli scaricatori della corrente di fulmine di Tipo 1 all'ingresso nella struttura nella zona di protezione LPZ 0_A. Per la definizione di tale zona di protezione, la rispettiva sfera rotolante viene fatta avvicinare da tutte le direzioni ai corpi illuminanti esterni, senza toccarli. Se la sfera rotolante tocca i corpi illuminanti esterni, il sistema si trova nella zona LPZ 0_A (Figura 9.2.3 e 9.2.4).

Prima di installare scaricatori da corrente di fulmine Tipo 1, bisogna accertarsi se nel quadro di distribuzione che alimenta l'illuminazione esterna si trova già un limitatore di sovratensione Tipo 2, coordinato energeticamente. In caso contrario si consiglia di installare uno scaricatore combinato in corrispondenza del passaggio tra le zona di protezione.

Bisogna installare anche dei limitatori di sovratensione di Tipo 2 all'ingresso nella struttura per tutti i corpi illuminanti posti nella zona di protezione LPZ 0_B (Figura 9.2.5).



Applicazione	Tipo	Art.
Sistema TN	DG M TN 275	952 200
Sistema TT	DG M TT 2P 275	952 110

Figura 9.2.5 Corpo illuminante esterno 230 V a parete in zona di protezione da fulminazione LPZ 0_B



Protezione contro i fulmini e sovratensioni per impianti biogas

Nei moderni impianti a biogas vengono fatti fermentare in contenitori stagni (fermentatori) dei substrati organici biodegradabili, come liquame, letame, erba, paglia, rifiuti biodegradabili, residui della produzione del vino e della birra, avanzi alimentari e grassi. In questo ambiente anossico, i batteri producono il biogas dai componenti organici in fermentazione. Il biogas così prodotto viene utilizzato per la produzione di calore e energia elettrica.

Nella **Figura 9.3.1** è illustrato lo schema di un tipico impianto a biogas. Gli impianti a biogas spesso sono composti da una vasca di alimentazione per i substrati solidi e/o liquidi e da uno o più fermentatori riscaldati, una vasca di stoccaggio, un eventuale fermentatore secondario, uno serbatoio del gas e un'eventuale unità di trattamento del gas. Il motore a gas con scambiatore di calore e il generatore ad esso collegato viene indicato nel suo insieme come cogeneratore. Il cogeneratore produce, in funzione del contenuto energetico del biogas, energia elettrica con un rendimento del 30 % circa e calore con un rendimento del 60 % circa. L'energia elettrica viene immessa in rete, mentre parte del calore serve per il riscaldamento dei fermentatori e il calore in esubero viene utilizzato ad esempio per il riscaldamento di abitazioni e di strutture agricole.

Esigenza di un sistema di protezione contro i fulmini

Durante la produzione, l'accumulo e il recupero di energia da biogas possono presentarsi vari rischi e pericoli per le persone, l'ambiente e la tecnologia dell'impianto. Per poter prendere adeguate misure di prevenzione e protezione, bisogna effettuare un'analisi dei rischi che tenga conto delle potenziali fonti di rischio che possono causare guasti o eventi pericolosi, secondo quanto stabilito dalla legge federale tedesca sulle immissioni nel contesto della sicurezza dei processi industriali.

Nel regolamento sulla sicurezza degli impianti agrari a biogas pubblicata dalla confederazione agraria tedesca, come pure nella norma tedesca BGR 104, viene precisato che in zone a rischio d'esplosione devono essere applicate misure atte a prevenire l'innescò di atmosfere a rischio d'esplosione.

Secondo la norma EN 1127-1, sezione 5.3.1 si distinguono tredici diverse fonti di innescò. Nella sezione 5.3.8 della norma EN 1127-1 (come pure nella norma BGR 104), il fulmine viene indicato come fonte di innescò: "Quando un fulmine si abbatte in una atmosfera esplosiva, questa viene sempre innescata". Inoltre, esiste la possibilità di un innescò tramite il riscaldamento dei percorsi di scarica del fulmine. Dal punto di impatto del fulmine fluiscono forti correnti elettriche che possono causare scintille in prossimità del punto di impatto. Perfino in assenza di una fulminazione diretta, delle scariche atmosferiche

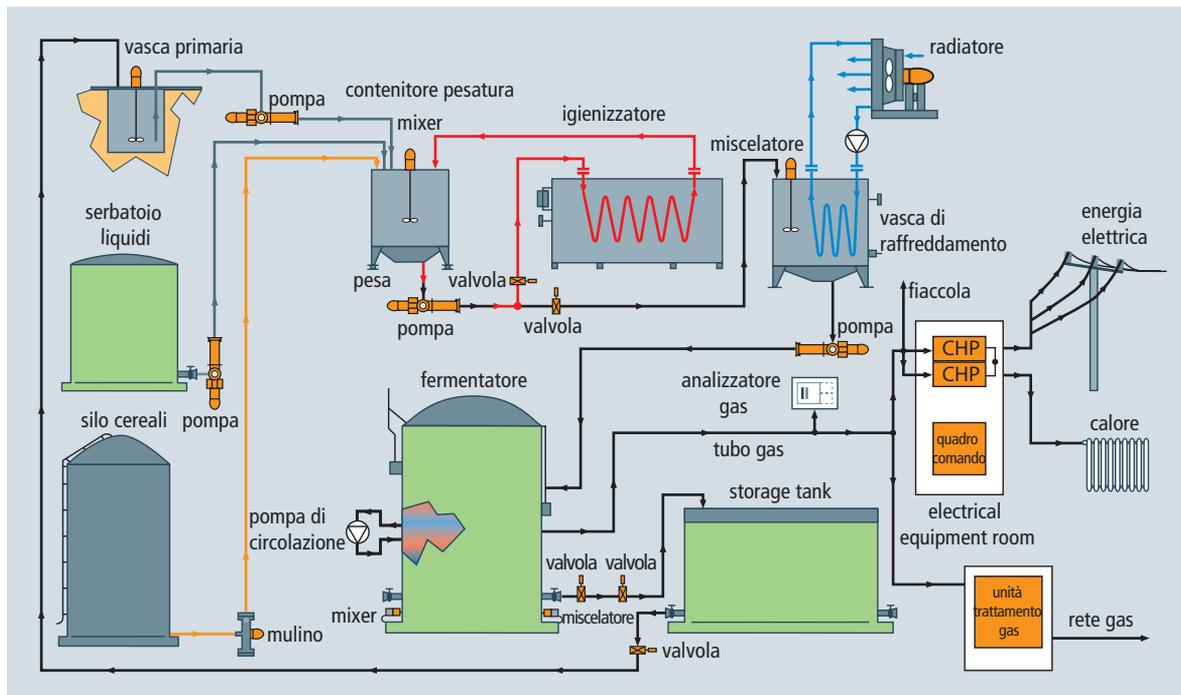


Figura 9.3.1 Schema di sistema per un impianto biogas

durante temporali possono causare elevate tensioni indotte in impianti, apparecchi e componenti”.

Deve essere eseguita un'analisi dei rischi condotta secondo il metodo di calcolo prescritto nella norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) per definire le corrispondenti misure di protezione. La valutazione del rischio serve a determinare il rischio dei danni da fulminazioni dirette e indirette per la struttura, nonché per le persone e gli impianti in essa contenuti. Se il rischio è superiore a quello accettabile, vanno adottate delle misure di protezione per minimizzare il rischio di fulminazione, in modo da non superare il rischio accettabile.

L'Integrazione 2 della norma tedesca DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) contiene informazioni aggiuntive sugli edifici speciali, le quali comprendono i requisiti sui mezzi di protezione da fulminazione per gli impianti a biogas. Gli impianti a biogas vanno protetti con dispositivi di captazione e calate isolate, se non si possono escludere del tutto i rischi di scariche pericolose su collegamenti, raccordi o giunti.

Protezione contro i fulmini esterna

Il componente fondamentale degli impianti a biogas è il fermentatore. Perciò il sistema di protezione contro i fulmini deve essere sempre adattato alla struttura del fermentatore. Ci sono varie soluzioni per raggiungere gli stessi obiettivi di protezione. Come prescritto dalla normativa citata, un sistema di protezione contro i fulmini di classe LPS II risponde alle normali esigenze degli impianti con pericolo di esplosione e quindi anche degli impianti a biogas.

Un sistema di protezione contro i fulmini è costituito da una protezione esterna e una interna.

La protezione esterna capta tutte le fulminazioni, comprese quelle laterali sulla struttura e scarica la corrente di fulmine dal punto di impatto verso terra, disperdendola nel terreno, senza danni alla struttura da proteggere per effetti termici o meccanici.

Fermentatore con copertura in telo

Negli impianti biogas vengono utilizzati spesso dei fermentatori con copertura in telo. Una fulminazione sulla copertura in telo del fermentatore ne comporta il danneggiamento. L'effetto di fusione e scintillamento nel punto di impatto può causare incendi ed esplosioni. Le misure di protezione contro i fulmini devono essere tali da prevenire le fulminazioni dirette sulla copertura in telo del fermentatore (**Figura 9.3.2**).

Secondo le regole di sicurezza per impianti a biogas agricoli citate in precedenza, la zona Ex 2 si estende per un raggio di 3 m intorno alla copertura in telo del fermentatore. Nella zona Ex 2 si riscontra un'atmosfera esplosiva solo eccezionalmente e per brevi periodi. Questo significa che la formazione di un'atmosfera esplosiva si verifica soltanto in caso di eventi non previsti (guasti e interventi di manutenzione). Nella zona

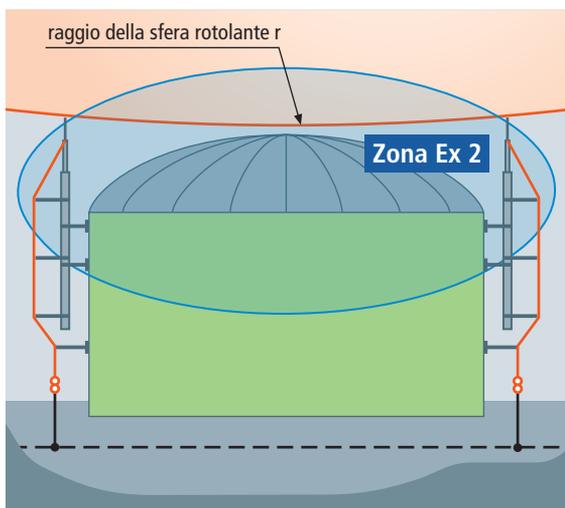


Figura 9.3.2 Applicazione del sistema DEHNiso-Combi per la protezione di un fermentatore con copertura in tela

Tipo	Art.
DEHNiso-Combi Set, lunghezza totale 5700 mm	105 455
Composto da:	
1 punta di captazione INOX, lung. 1000 mm	105 071
1 palo di sostegno in Vetroresina/Alluminio, lung. 4700 mm	105 301
3 staffe di fissaggio INOX (V2A)	105 340
2 pali di sostegno in Vetroresina/Alluminio, lung. 1030 mm	106 331

Tabella 9.3.1 DEHNiso Combi set

Ex 2, secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) è quindi ammesso il posizionamento di dispositivi di captazione.

L'altezza e il numero dei dispositivi di captazione vengono definiti con il metodo della sfera rotolante. In conformità a tale normativa, la penetrazione della sfera rotolante è fondamentale per la progettazione del sistema di captazione. Per la classe di protezione LPS II e per impianti con pericolo di esplosione, il raggio della sfera rotolante è di 30 m (**Figura 9.3.2**). La membrana interna nel serbatoio di accumulo del gas del fermentatore è in contatto con la parete metallica interna del fermentatore, a seconda della quantità di gas contenuta. Per prevenire le scariche disruptive dalla calata alla parete metallica del fermentatore, si installa una calata isolata. Il sistema di protezione contro i fulmini viene isolato dalle parti conduttrici

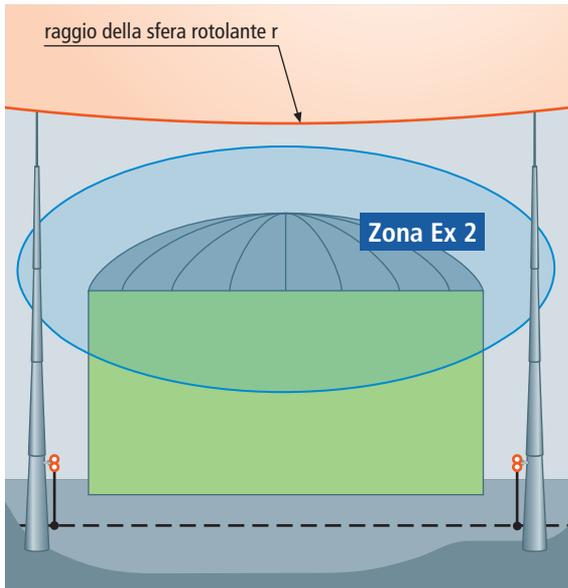


Figura 9.3.3 Protezione di un fermentatore con copertura in tela con pali di captazione componibili in acciaio

del fermentatore isolando il tracciato della calata con distanziatori in vetroresina (GRP). La lunghezza dei distanziatori dipende dalla distanza di sicurezza calcolata secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3).

Il set DEHNiso-Combi, illustrato nella **Tabella 9.3.1**, viene utilizzato per l'esempio di installazione raffigurato nella **Figura 9.3.2**.

Un'altra possibilità per evitare le fulminazioni dirette su un fermentatore è l'impiego dei pali di captazione componibili (**Figura 9.3.3**). Questo tipo di pali viene installato nel terreno naturale o nelle fondazioni. Con questi pali si raggiungono altezze fino a 25 m sul livello del suolo, o anche maggiori grazie a esecuzioni speciali. I pali di captazione componibili di lunghezza standard vengono forniti in elementi di 3,5 m, che offrono particolari vantaggi per il trasporto. Informazioni più dettagliate per l'applicazione dei pali di captazione componibili si trovano nelle istruzioni di montaggio N° 1729.

Una terza possibilità per la protezione di un fermentatore con copertura in tela dalle fulminazioni dirette è l'impiego di conduttori HVI. I conduttori HVI sono isolati e resistenti alle tensioni elevate e sono dotati di una speciale guaina di rivestimento esterna. Nel campo della protezione antifulmine, i conduttori HVI vengono generalmente impiegati come calate isolate per mantenere le distanze di isolamento secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3). A tal fine, la distanza di isolamento deve essere calcolata secondo la norma ICEI EN 62305-3 (CEI

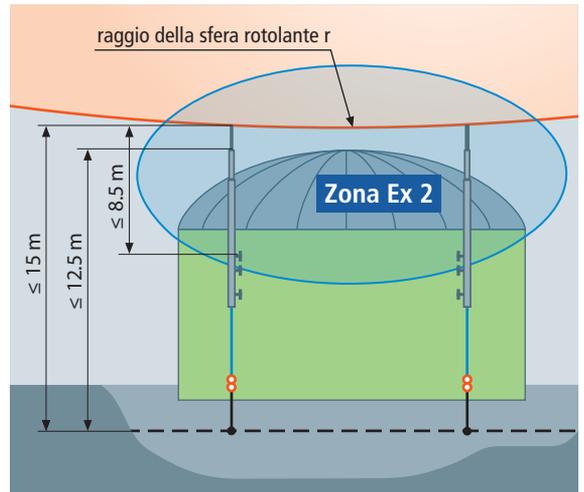


Figura 9.3.4 Protezione del fermentatore tramite asta di captazione isolata con un conduttore HVI (art. 819 720)

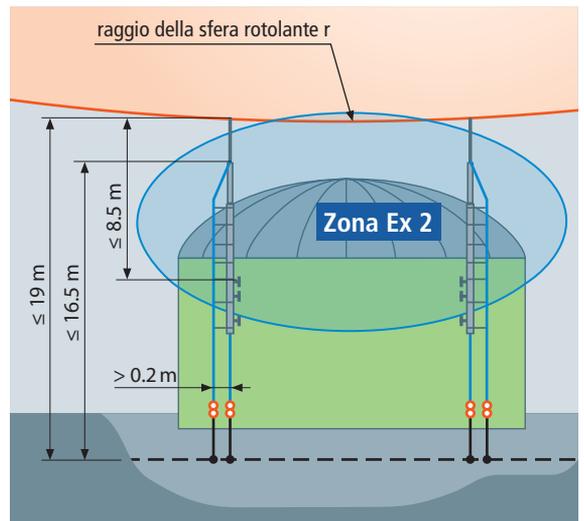


Figura 9.3.5 Protezione del fermentatore tramite asta di captazione isolata con due conduttori HVI (art. 819 750)

81-10/3) Poi bisogna controllare se la distanza di isolamento calcolata può essere realizzata per mezzo della distanza di isolamento equivalente della conduttura HVI. Esistono due possibili soluzioni.

➔ **Soluzione 1:** pali di captazione dotati di un conduttore HVI (**Figura 9.3.4**). La massima lunghezza totale del dispositivo di captazione dal livello equipotenziale (disper-



Figura 9.3.6 Fermentatore realizzato con lastre metalliche avvitate



Figura 9.3.7 Protezione del fermentatore in lastre metalliche con dispositivo di captazione isolato (Fonte: Büro für Technik, Hösbach)

sori di terra) fino alla punta di captazione è di 15 m (per classe LPS II). La massima altezza libera oltre la parte superiore del fermentatore non può superare gli 8,5 m (per motivi meccanici).

- ➔ **Soluzione 2:** pali di captazione dotati di **due** conduttori HVI (**Figura 9.3.5**). La massima lunghezza totale del dispositivo di captazione dal livello equipotenziale (dispersori di terra) fino alla punta di captazione è di 19 m (per LPS II). La massima altezza libera oltre la parte superiore del fermentatore è sempre 8,5 m.

Nota: i due conduttori HVI devono essere posati paralleli a una distanza tra loro che sia superiore ai 20 cm.

Informazioni più dettagliate sui conduttori HVI si trovano nelle rispettive istruzioni di installazione, reperibili presso www.dehn-international.com.

Note per il servizio di progettazione

I dispositivi di captazione isolati consistono di sistemi ampi e complessi. DEHN vi assisterà volentieri nella progettazione di sistemi di captazione isolati comprendenti conduttori HVI, il sistema DEHNiso Combi o pali di captazione componibili. Il servizio progettazione è disponibile dietro compenso e comprende:

- ➔ esecuzione del disegno per la protezione da fulmine (disegno di layout complessivo),
- ➔ esecuzione dei disegni dettagliati per il dispositivo di captazione isolato (in alcuni casi sotto forma di disegni esplosi),



Figura 9.3.8 Serbatoio in acciaio saldato (Fonte: Eisenbau Heilbronn GmbH)

- ➔ distinta completa dei componenti necessari per il sistema di captazione isolato,
- ➔ realizzazione di un'offerta basata sulla distinta materiali.

Preghiamo gli interessati in Italia di rivolgersi direttamente alla sede di Bolzano (www.dehn.it).

Fermentatore realizzato con lastre metalliche avvitate

I fermentatori in lastre metalliche hanno normalmente uno spessore da 0,7 a 1,2 mm. Le singole lastre sono avvitate tra loro (**Figura 9.3.6**).

Per utilizzare superfici metalliche come componenti naturali del sistema di captazione vanno rispettati gli spessori delle lastre metalliche prescritti nella Tabella 3 della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3). Se non risultano rispettati gli spessori minimi delle lastre metalliche prescritti dalla normativa sopra citata, una fulminazione può causare la fusione oppure un surriscaldamento inammissibile nel punto di impatto. In tal caso i fermentatori vanno protetti con un sistema di captazione supplementare per impedire una possibile fusione nel punto di impatto del fulmine. A tale scopo va installato un sistema di protezione contro i fulmini isolato. Il posizionamento del dispositivo di captazione viene determinato con il metodo della sfera rotolante. La calata viene fatta passare lungo le lastre metalliche su supporti distanziatori conformi alla distanza di isolamento calcolata (**Figura 9.3.7**).

Serbatoi in acciaio

Nella **Figura 9.3.8** è illustrato un serbatoio per biogas con un involucro di lastre in acciaio completamente saldate. Le prescrizioni della tabella 3 della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) sono soddisfatte adottando sezioni minime di 4 mm per le pareti in acciaio. Il sistema di protezione contro i fulmini deve soddisfare le prescrizioni dell'Allegato D della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3), "Informazioni supplementari per LPS nelle strutture con rischio di esplosione". Se le zone Ex delle aperture di sfiato si trovano nel volume protetto delle parti metalliche dell'involucro che trasportano correnti di fulmine, non sono necessari dispositivi di captazione supplementari. Altrimenti vanno installati dei dispositivi di captazione supplementari per proteggere gli sfiati dalle scariche dirette.

Concetto di messa a terra

Per evitare delle elevate differenze di potenziale tra i singoli impianti di terra/dispersori, questi vengono uniti in un impianto di terra generale (**Figura 9.3.9**). Questo si ottiene tramite la magliatura dei singoli impianti di terra per strutture e sistemi. Si sono adottate come standard ed anche perché tecnicamente fattibili le larghezze di maglia da 20 m x 20 m fino a 40 m x 40 m. La magliatura di tutti gli impianti di terra permette

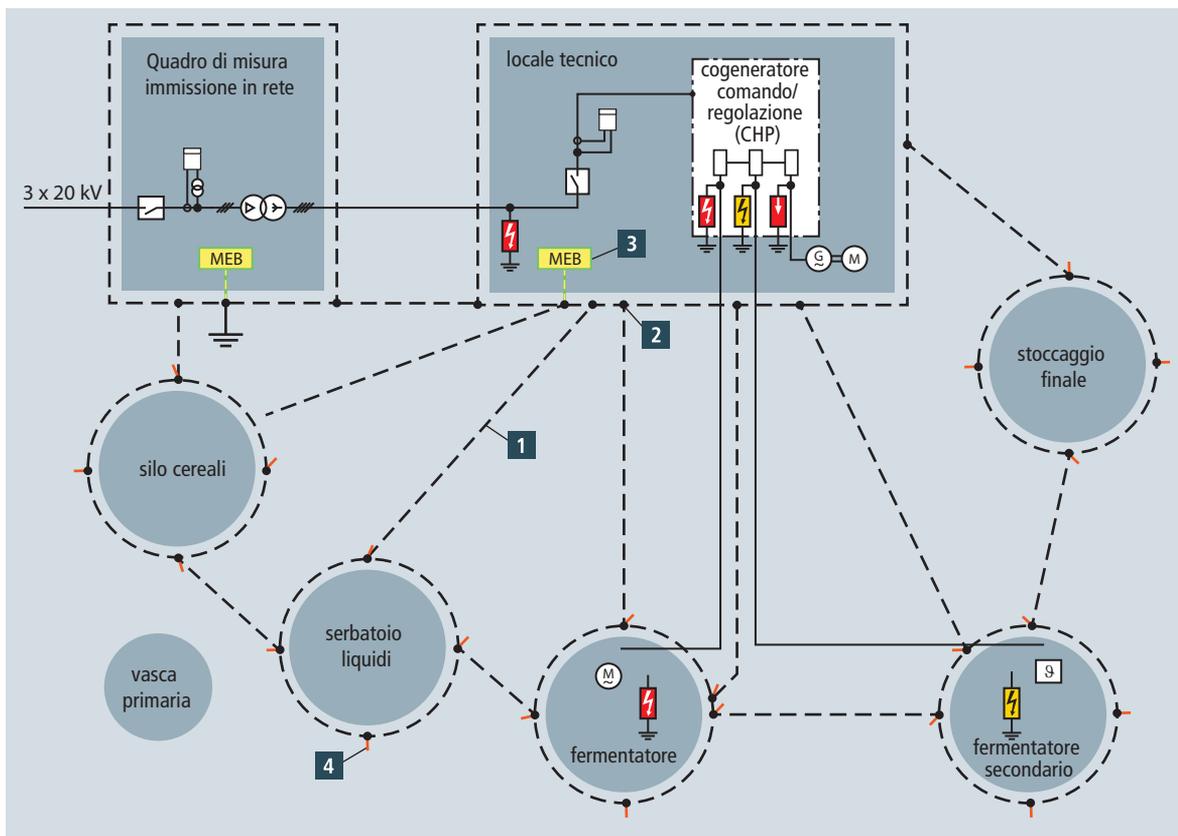
di ridurre sensibilmente le differenze di potenziale tra le parti dell'impianto. Viene in tal modo ridotta anche la sollecitazione in tensione delle condutture elettriche tra le strutture in caso di scarica atmosferica.

Collegamento alla rete elettrica

Il biogas viene normalmente utilizzato in motori a gas o a iniezione pilota per la produzione di energia elettrica e termica. Questi motori sono noti come cogeneratori. I cogeneratori si trovano in un edificio operativo separato. Nello stesso locale dell'edificio operativo o in un suo locale dedicato sono installati i quadri di commutazione, i quadri di comando e le apparecchiature elettriche. L'energia elettrica prodotta dal cogeneratore viene immessa nella rete elettrica pubblica (**Figura 9.3.10**).

Uno dei componenti fondamentali del sistema di protezione contro i fulmini è il sistema equipotenziale, al quale devono essere collegate tutte le masse metalliche che entrano nella struttura. Il sistema equipotenziale antifulmine richiede che tutti i sistemi metallici siano integrati nel collegamento equipotenziale, possibilmente con collegamenti aventi la più bassa impedenza possibile, e tutti i sistemi sotto tensione siano integrati in modo indiretto tramite dispositivi di protezione da sovratensioni Tipo 1. Il collegamento equipotenziale antifulmine va realizzato nella posizione più prossima possibile al punto di ingresso della struttura, per impedire l'infiltrazione di correnti parziali di fulmine nell'edificio. Le linee entranti a 230/400 in corrente alternata dell'impianto utilizzatore a bassa tensione (**Figura 9.3.10**) sono quindi protette da contro le sovratensioni da appositi dispositivi (SPD) di Tipo 1. Il dispositivo DEHNbloc, per esempio, è un dispositivo spinterometrico di protezione dalle sovratensioni di Tipo 1 RADAX-Flow per impianti di alimentazione. Questo scaricatore di corrente di fulmine ha una capacità di scarica che raggiunge i 50 kA (10/350 μ s) per polo. Il principio brevettato di RADAX-Flow limita ed estingue le correnti di corto circuito dell'impianto (correnti susseguenti) fino a 100 kA_{rms}. Vengono così evitate le interruzioni indesiderate dell'alimentazione causate da un intervento dei dispositivi principali di protezione da sovracorrente dell'impianto. Nei quadri secondari di distribuzione a valle sono installati dei limitatori di sovratensione DEHNguard M TNS 275 FM Tipo 2.

Nel quadro di distribuzione del cogeneratore (CHP) viene installato uno scaricatore combinato multipolare modulare DEHNventil con elevato potere di limitazione delle correnti susseguenti (**Figura 9.3.10**). Lo scaricatore spinterometrico precablato comprende una basetta e dei moduli di protezione inseribili. DEHNventil assicura la massima continuità di servizio e la selettività di disconnessione nei confronti dei fusibili da 20 A gL/gG, come pure la limitazione e l'estinzione delle correnti



	Protezione per il sistema dei dispersori	Art.	Protezione per il sistema dei dispersori	Art.
1	Bandella Inox (AISI 316) 30 mm x 3,5 mm, Alternativa: tondino Inox (AISI 316), Ø 10 mm	860 335 860 010	3 Barra equipotenziale Inox Alternativa: barra di messa a terra	472 209 472 139
2	Morsetto a croce (AISI 316) Alternativa: morsetto SV Inox (AISI 316) Nota: nastro anticorrosione	319 209 308 229 556 125	4 Bandiera di collegamento bandella raddrizzata Inox (AISI 316) o Bandiera di collegamento tondino Inox (AISI 316)	860 215 860 115

Figura 9.3.9 Impianto di terra ammagliato per impianto biogas

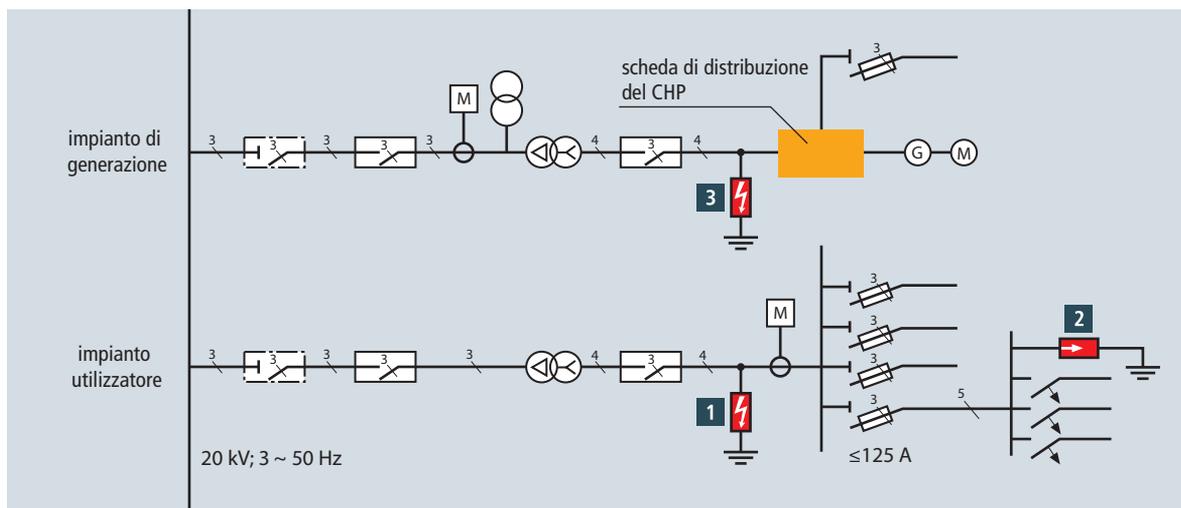
susseguenti sulla rete, fino a correnti di corto circuito di 100 kA_{rms}.

Se il DEHNventil viene installato a breve distanza dagli utilizzatori (≤ 5 m) risulta assicurata anche la protezione per gli apparecchi utilizzatori.

Controllo a distanza

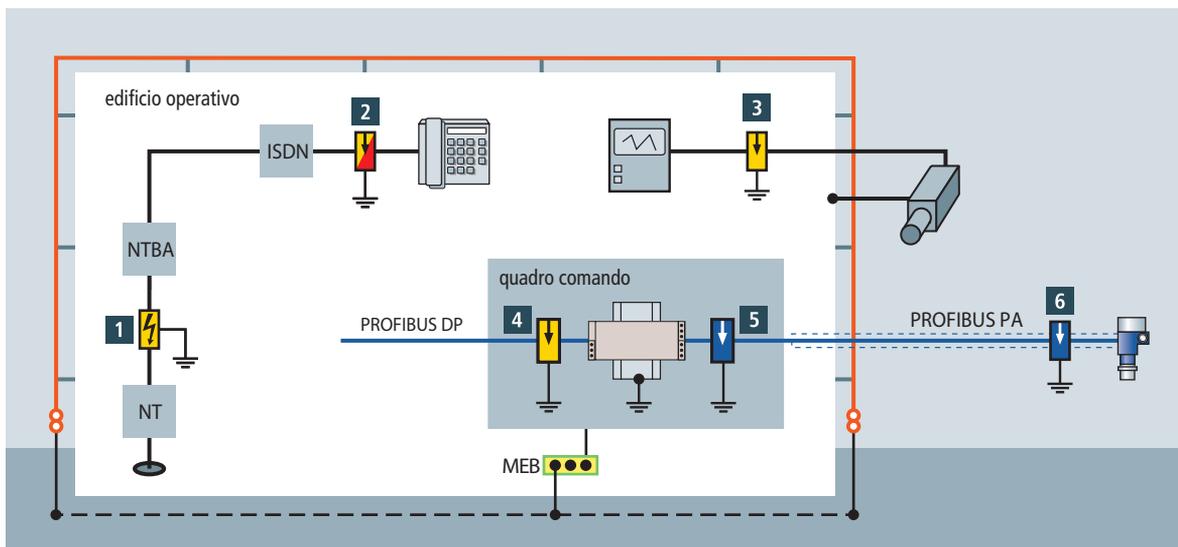
Il sistema di controllo a distanza permette la continua disponibilità dei dati operativi dell'impianto a biogas. I valori di misura specifici dell'impianto possono essere letti direttamente presso l'unità di acquisizione dati. L'unità di acquisizione dati è provvista di interfacce, come Ethernet o RS 485, per il collegamento

a un PC e/o modem per la lettura e il controllo remoto. Tramite diagnosi a distanza, p.es. via modem, il personale di assistenza può collegarsi agli impianti esistenti in caso di guasti e fornire un'assistenza immediata all'utente. Il modem è collegato all'apparecchio di terminazione rete (NTBA) di un accesso base ISDN. Deve essere garantito anche l'inoltro dei dati rilevati tramite modem ISDN sulla rete di telecomunicazione fissa, per poter effettuare il controllo continuo e l'ottimizzazione della produttività dell'impianto. Per questo viene protetta l'interfaccia U_{k0} a monte della borchia NTBA, alla quale è connesso il modem ISDN, con uno scaricatore combinato BLITZDUCTOR XT (Figura 9.3.11). Per la protezione degli apparecchi utilizzatori



Pos.		Limitatore di sovratensione	Art.	Note
Sistema di alimentazione / scheda principale di distribuzione				
1	Impianto TN-C	3 x DEHNBloc DB M 1 255 FM	961 125	Scaricatore di corrente di fulmine unipolare con elevata limitazione della corrente susseguente e contatto di segnalazione a distanza
	Impianto TN-S	4 x DEHNBloc DB M 1 255 FM	961 125	
	Impianto TT	3 x DEHNBloc DB M 1 255 FM + 1 x DEHNgap DGP M 255 FM	961 125 + 961 105	
Alternativa				
1	Impianto TN-C	3 x DEHNBloc Maxi DBM 1 255 S	900 220	Scaricatore di corrente di fulmine coordinato con fusibile di protezione integrato per sistemi di distribuzione industriali a sbarre
	Impianto TN-S	4 x DEHNBloc Maxi DBM 1 255 S	900 220	
	Impianto TT	3 x DEHNBloc Maxi DBM 1 255 S + 1 x DEHNgap Maxi DGPM 1 255 S	900 220 + 900 050	
Alternativa				
1	Impianto TN-C	3 x DEHNvenCI DVCI 1 255 FM	961 205	Scaricatore combinato con prefusibile di protezione e livello di protezione ≤ 1,5 kV per apparecchi utilizzatori
	Impianto TN-S	4 x DEHNvenCI DVCI 1 255 FM	961 205	
	Impianto TT	3 x DEHNvenCI DVCI 1 255 FM 1 x DEHNgap DGP M 255 FM	961 205 961 105	
Quadro secondario				
2	Impianto TN-C	DEHNguard DG M TNC 275 FM	952 305	Limitatore di sovratensione multipolare con controllo termodinamico e contatto di segnalazione a distanza
	Impianto TN-S	DEHNguard DG M TNS 275 FM	952 405	
	Impianto TT	DEHNguard DG M TT 275 FM	952 315	
Impianto di generazione				
3	Impianto TN-C	DEHNventil DV M TNC 255 FM	951 305	Scaricatore combinato modulare con elevata limitazione della corrente susseguente e livello di protezione ≤ 1,5 kV
	Impianto TN-S	DEHNventil DV M TNS 255 FM	951 405	
	Impianto TT	DEHNventil DV M TT 255 FM	951 315	

Figura 9.3.10 Estratto dello schema a blocchi di un impianto a biogas



Pos.	Protezione per...	Limitatore di sovratensione	Art.
Tecnologia dati / telecomunicazioni			
1	Rete fissa	BLITZDUCTOR BXT ML2 BD 180 + BXT BAS basetta	920 247 + 920 300
2	Dispositivi ISDN	DEHNprotector DPRO 23 ISDN	909 320
3	Cavo coassiale (sistema di videotrasmissione)	UGKF BNC	929 010
Apparecchiatura di misura e controllo			
4	PROFIBUS DP	BLITZDUCTOR BXT ML4 BD HF 5 + BXT BAS basetta	920 371 + 920 300
	Segnali analogici (in zona non pericolosa)	BLITZDUCTOR BXT ML4 BE 24 + BXT BAS basetta	920 324 + 920 300
5	PROFIBUS PA Ex (i)	BLITZDUCTOR BXT ML2 BD S EX 24 + BXT BAS EX basetta	920 280 + 920 301
	Misura della temperatura PT 100, PT 1000, Ni 1000 (in zona non pericolosa)	BLITZDUCTOR BXT ML4 BC 24 + BXT BAS basetta	920 354 + 920 300
Dispositivi di campo			
6	4-20 mA, PROFIBUS PA, Fieldbus Foundation, Ex (i)	DPI MD EX 24 M 2	929 960
	4-20 mA, PROFIBUS PA, Fieldbus Foundation, zone non pericolose	DPI MD 24 M 2S	929 941

Figura 9.3.11 Protezione da sovratensioni per l'installazione di reti informatiche

di telecomunicazione e delle centrali telefoniche con connettori RJ sul lato alimentazione e sul lato segnale, si consiglia l'utilizzo di limitatori di sovratensione del tipo DEHNprotector. Nella **Figura 9.3.11** viene illustrata inoltre la protezione di una telecamera di sorveglianza. Per la protezione del cavo coassiale (trasmissione video) viene utilizzato un dispositivo di prote-

zione contro le sovratensioni schermato UKGF BNC. Ulteriori informazioni per la protezione di impianti di videosorveglianza si trovano nel capitolo 9.7 "Protezione contro i fulmini e sovratensione per impianti di video sorveglianza".



Figura 9.3.12 Moduli scaricatore combinato con LifeCheck

Controllo di processo

L'unità di controllo è una delle componenti principali dell'impianto a biogas. L'unità effettua il controllo centralizzato di tutte le pompe e gli agitatori, registra i dati di processo (come la quantità e la qualità del gas), controlla la temperatura e rileva tutti i materiali in ingresso, visualizza e documenta tutti i dati.

Se il controllo di processo si guasta per una sovratensione, vengono disturbati o interrotti i processi per la produzione del biogas. Visto che questi processi sono molto complessi, l'interruzione del servizio non prevista porta ad ulteriori problemi, tali che la durata della fermata dell'impianto si potrebbe prolungare per alcune settimane.

L'unità di controllo si trova nel quadro di comando. Oltre agli ingressi e le uscite digitali, qui vengono elaborati i segnali analogici (per esempio segnali PT 100, 4-20 mA). Per garantire la continuità della trasmissione indisturbata dei dati di misura all'unità di controllo nel quadro di comando, le linee di comando e di segnale in arrivo dall'esterno, per esempio dai convertitori di frequenza e dagli attuatori, devono essere protette in-



Figura 9.3.13 Scaricatore di sovratensione DEHNpipe per esterno, avvitato su apparecchi in campo a due fili

stallando scaricatori della corrente di fulmine BLITZDUCTOR XT (categoria D1) il più vicino al punto di ingresso nell'edificio (**Figura 9.3.12**). In questo tipo di scaricatore è integrato un sistema di prova rapido e senza contatto (LifeCheck). La scelta dei dispositivi di protezione per sistemi informatici avviene in base alla massima tensione di esercizio, alla corrente nominale, al tipo di segnale (DC, LF, HF) e al tipo di trasmissione del segnale (bilanciata/sbilanciata).

La **Figura 9.3.11** illustra degli esempi di dispositivi di protezione contro le sovratensioni per linee di segnale e di controllo. Per la protezione di apparecchi in campo a due fili, come sensori di pressione o di livello, valvole, trasmettitori di pressione, misuratori di portata, è consigliata l'applicazione del limitatore di sovratensioni DEHNpipe (**Figura 9.3.13**). Questo limitatore di sovratensioni garantisce una protezione a coordinamento energetico, di minimo ingombro, per apparecchi in campo.



Aggiornamento delle misure di protezione contro i fulmini e le sovratensioni per impianti di depurazione

Le risorse delle acque potabili, scarse e in continua diminuzione, richiedono un trattamento più efficiente dell'acqua. Gli impianti di depurazione hanno quindi un ruolo centrale nel ciclo dell'acqua potabile. L'alta efficienza necessaria per gli impianti di depurazione (**Figura 9.4.1**) richiede un'ottimizzazione del processo tecnico e nel contempo l'abbassamento degli attuali costi di esercizio. Negli ultimi anni sono state investite a questo scopo considerevoli somme in impianti di misurazione elettronici e sistemi di comando/automazione elettronici decentrati. I nuovi sistemi elettronici, tuttavia, presentano una ridotta resistenza nei confronti delle sovratensioni transienti rispetto alla tecnica convenzionale. Le condizioni strutturali dei grandi impianti all'aperto, il crescente impiego di sistemi di controllo e i vari dispositivi di misura diffusi, aumentano ancora di più il rischio dalle interferenze provocate da scariche atmosferiche o sovratensioni. Se non vengono prese adeguate misure di protezione, un guasto a una delle componenti dell'impianto potrebbe compromettere l'intero funzionamento del sistema. In questo caso, le conseguenze potrebbero essere gravi: dai costi per il ripristino della funzionalità dell'impianto fino ai costi non quantificabili per l'eliminazione dei possibili inquinamenti della falda acquifera. Per far fronte a questa minaccia in modo efficace e per aumentare la disponibilità degli impianti, vanno prese delle misure di protezione contro i fulmini, interne ed esterne.

Valutazione del rischio per la centrale di controllo del depuratore

L'esempio che segue è stato calcolato in conformità alla norma CEI EN 62305-2 - (CEI 81-10/2). Si sottolinea espressamente che la procedura viene illustrata a titolo puramente esemplificativo. La soluzione illustrata non è in alcun modo vincolante e può essere sostituita con altre soluzioni equivalenti. Di seguito vengono elencate solo le principali caratteristiche dell'esempio. Come prima cosa viene discusso e compilato, insieme al gestore, un modulo con le domande relative all'impianto e al suo utilizzo. Questo procedimento permette di preparare un concetto di protezione antifulmine a zone che sia comprensibile a tutte le persone coinvolte. Questo concetto comprende i requisiti minimi, i quali tuttavia potranno essere migliorati tecnicamente in ogni momento.

Descrizione dell'impianto

Il controllo di processo completo dell'impianto di depurazione è centralizzato nell'unità di controllo dell'impianto stesso. A causa dei numerosi collegamenti verso le stazioni e le sottostazioni di misura, in caso di fulminazione possono penetrare nei locali di comando pericolose correnti parziali da fulmine e sovratensioni attraverso i relativi conduttori. Questo in passato ha causato ripetuti guasti e distruzioni di impianti. La stessa cosa vale per i cavi dell'alimentazione e le linee telefoniche. La centrale di controllo del depuratore deve essere protetta con-

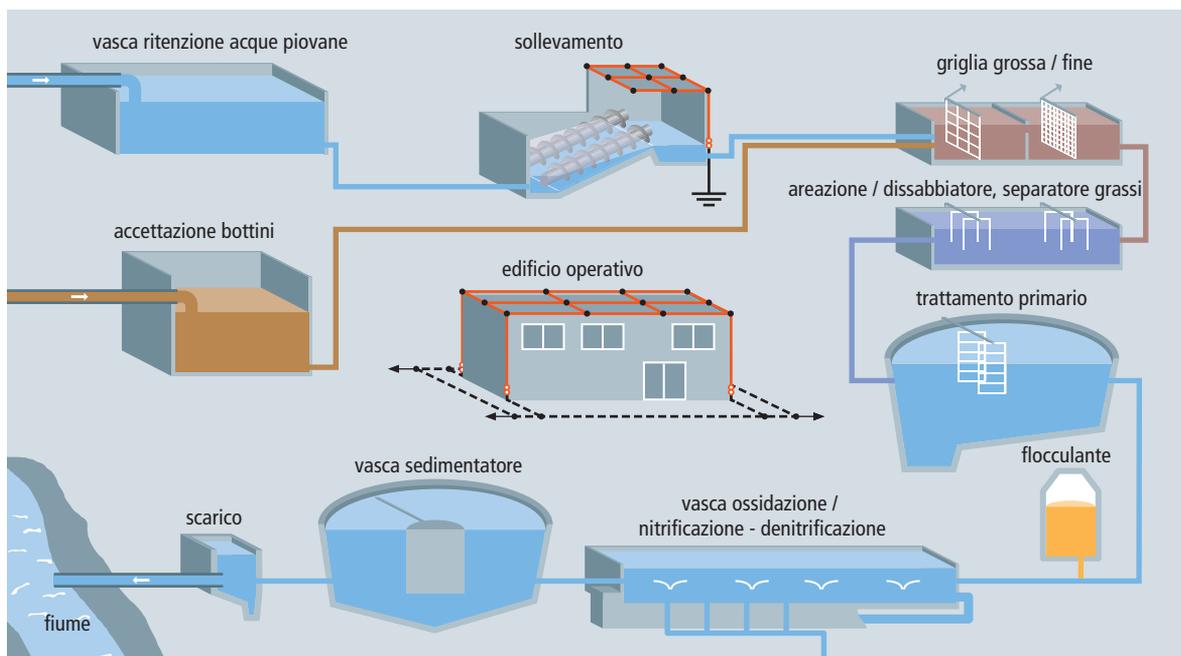
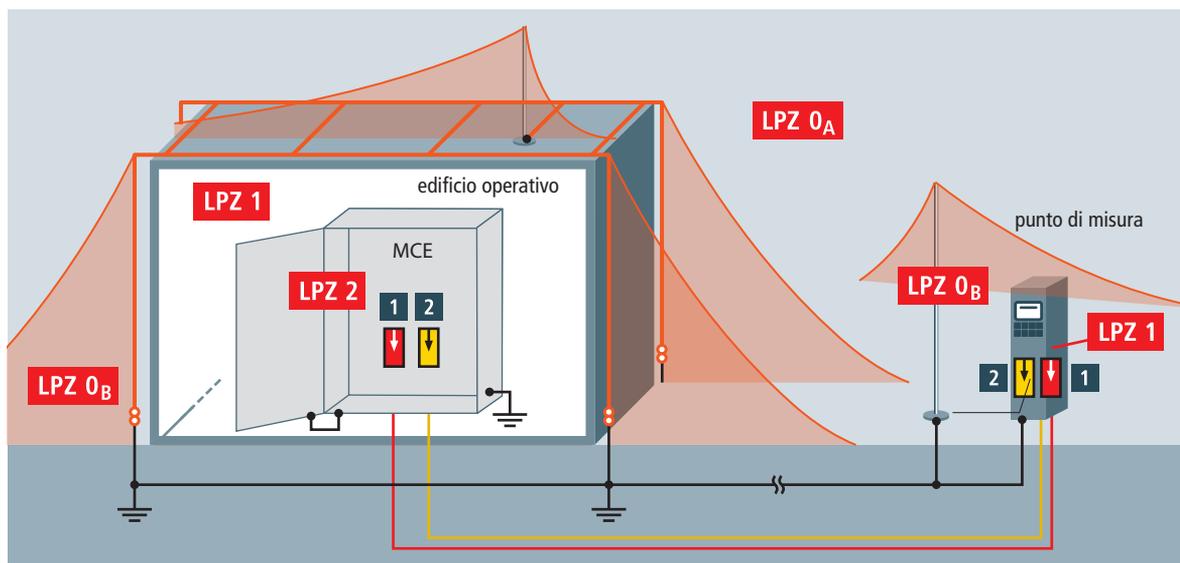


Figura 9.4.1 Rappresentazione schematica di un impianto di depurazione



	Protezione per...		Tipo	Art.
1	Impianti di alimentazione	Sistema TN	DEHNguard DG M TN 275	952 200
			DEHNguard DG M TN 275 FM	952 205
		Sistema TT	DEHNguard DG M TT 2P 275 o	952 110
			DEHNguard DG M TT 2P 275 FM	952 115
2	Dispositivo di misura dell'ossigeno	per esempio da 4 a 20 mA	BLITZDUCTOR BXT ML4 BE S 24 + BXT BAS basetta o	920 224 + 920 300
			BLITZDUCTOR BXT ML2 BE 24 + BXT BAS basetta	920 324 + 920 300

Figura 9.4.2 Suddivisione della centrale di controllo in zone di protezione da fulminazione LPZ. Esempio: selezione dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni per il dispositivo di misura dell'ossigeno

tro i danni da incendio (provocato da una fulminazione diretta), mentre i sistemi elettrici ed elettronici (sistemi di comando e automazione, telecontrollo, ecc.) devono essere protetti contro l'effetto degli impulsi elettromagnetici da fulmine (LEMP).

Condizioni supplementari.

- ➔ Sono già state prese delle misure di protezione contro i fulmini, come una protezione contro i fulmini esterna secondo la precedente norma CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1), dispositivi di protezione contro le sovratensioni (SPD) del tipo VGA 280/4 all'ingresso del conduttore di alimentazione 230/400 V nell'edificio, SPD VM 280 della classe di prova C installati nei quadri elettrici del sistema CMR.
- ➔ I possibili tipi rilevanti di danno sono i seguenti. L2: perdita del servizio pubblico (fornitura e smaltimento dell'acqua) e L4: perdite economiche (strutture ed il loro contenuto). Il tipo di danno L1: danno alle persone è stato escluso, dal momento che l'impianto dovrebbe operare in futuro in modo completamente automatico.

Il risultato, dopo la valutazione della situazione attuale, è che per i tipi di danno L2 e L4 il rischio di danno calcolato R è ancora nettamente più elevato del rischio tollerabile R_T .

Possibili misure di protezione per contenere entrambi i tipi di danno entro $R < R_T$.

- ➔ Installazione di un sistema di protezione contro i fulmini in classe LPS III secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3), anche conforme alle raccomandazioni della pubblicazione tedesca VdS del 2010.
- ➔ Installazione di SPD Tipo 1 secondo la norma CEI EN 61643-11 (CEI 37-8) (alimentazione di energia) e SPD di categoria D1 secondo la norma CEI EN 61643-21 (CEI 37-6) per il sistema informatico (linee CMR e telecomunicazione) nelle aree di passaggio tra le zone LPZ 0_A e LPZ 1.
- ➔ SPD Tipo 2 secondo la norma CEI EN 61643-11 (CEI 37-8) (alimentazione di energia) e SPD di categoria DC2 secondo la norma CEI EN 61643-21 (CEI 37-6) per il sistema informatico (linee CMR e telecomunicazione) nelle aree di passaggio tra le zone LPZ 0_B e LPZ 1 e tra LPZ 1 e LPZ 2.

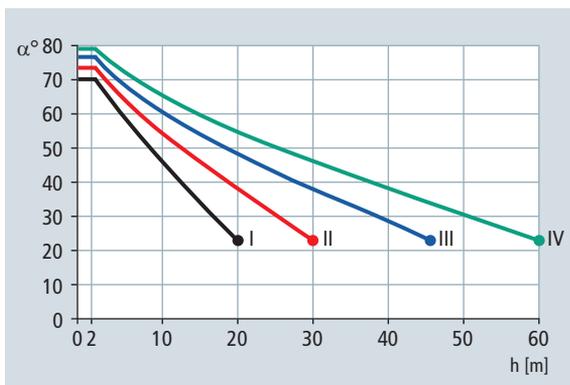


Figura 9.4.3 Metodo dell'angolo di protezione secondo CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)

Concetto di zona di protezione contro i fulmini

Per garantire la massima protezione dal punto di vista tecnico ed economico, la centrale di controllo viene suddivisa in zone di protezione contro il fulmini (LPZ). In seguito, viene effettuata una valutazione dei rischi per ogni zona LPZ in modo da valutare i relativi tipi di danno. Vengono stabilite le interdipendenze reciproche delle zone LPZ e vengono fissate le misure di protezione necessarie, in modo da raggiungere la protezione desiderata in tutte le zone di protezione. Le zone sono state suddivise in zona di protezione 1 (LPZ 1) e zona di protezione 2 (LPZ 2), nel modo seguente:

- ➔ unità di elaborazione nella centrale di controllo (LPZ 2),
- ➔ dispositivo di misura dell'ossigeno nella vasca di ossidazione (LPZ 1),
- ➔ volume interno della centrale di controllo (LPZ 1).

In base al concetto di protezione a zone secondo la norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4), tutti i conduttori nei passaggi tra le zone di protezione da fulminazione devono essere provvisti di misure di protezione contro le sovratensioni.

La **Figura 9.4.2** illustra a titolo esemplificativo le misure di protezione contro le sovratensioni per il dispositivo di misura dell'ossigeno nella vasca di ossidazione. I cavi sul campo si trovano in zona LPZ 0_B in tutto il loro percorso. Pertanto si possono impiegare SPD di tipo 2 per la protezione del dispositivo di misura dell'ossigeno e del sistema di controllo in quanto non sono previste correnti di fulmine (parziali) nella zona LPZ 0_B.

Sistema di protezione contro i fulmini

Il sistema di protezione contro i fulmini esistente nella centrale di controllo del depuratore è stato valutato secondo i requisiti della classe di protezione LPS III. Il collegamento indiretto esistente tra le strutture installate sul tetto (apparecchi di climatizzazione) tramite spinterometri è stato rimosso. La protezione contro la fulminazione diretta è stata realizzata tramite

aste di captazione, rispettando le distanze di sicurezza e gli angoli di protezione richiesti (**Figura 9.4.3**). Pertanto, in caso di fulminazione diretta sulla centrale di controllo, le correnti parziali da fulmine non potranno più entrare nell'edificio e causare danni. Il numero delle calate (4) non ha dovuto essere modificato, data le dimensioni della centrale di controllo (15 m x 12 m). L'impianto di messa a terra locale nella centrale di controllo del depuratore è stato controllato in tutti i punti di misurazione e i valori sono stati documentati. Non è stato necessario di effettuare lavori di ammodernamento.

Equipotenzialità antifulmine per tutti i sistemi di conduttori entranti nell'impianto di depurazione.

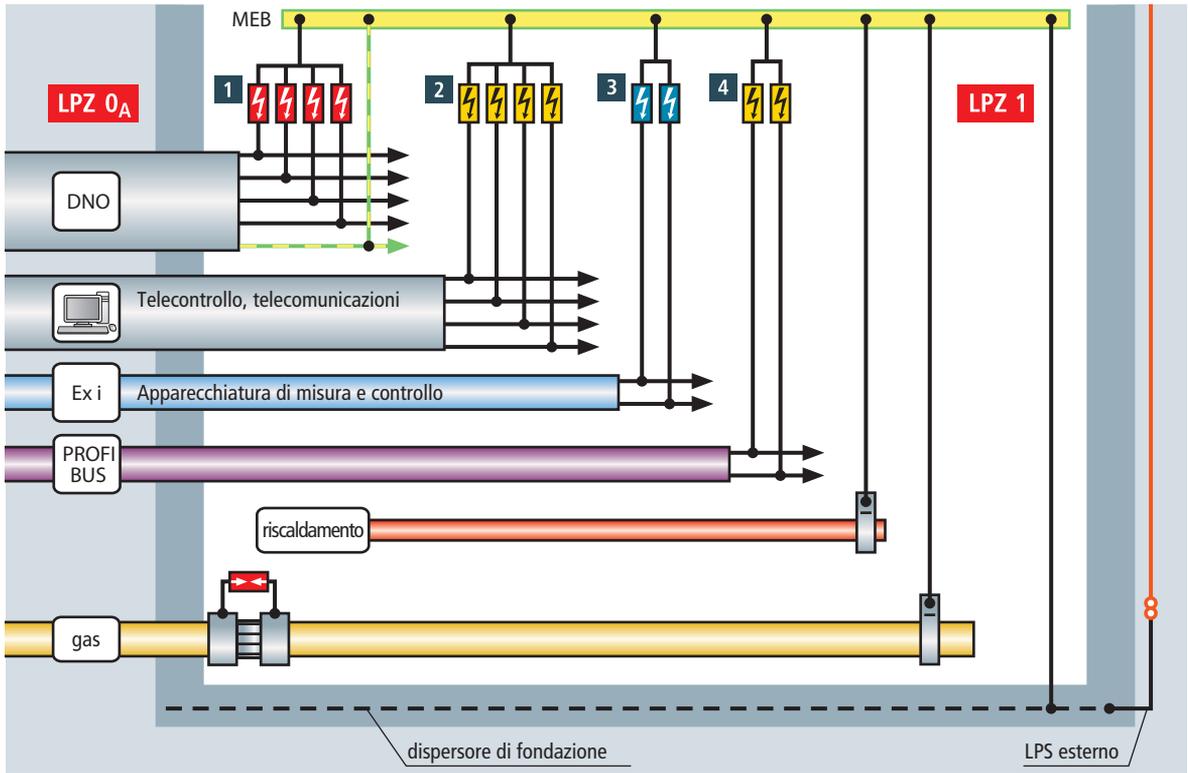
Tutti i sistemi conduttivi entranti nel depuratore devono essere per principio integrati nell'equipotenzialità antifulmine (**Figura 9.4.4**). Ciò si ottiene con il collegamento diretto di tutti i componenti metallici e il collegamento indiretto di tutti i sistemi sotto tensione attraverso i dispositivi di protezione contro le sovratensioni. Questi SPD Tipo 1 (alimentazione di energia) e SPD Tipo D1 (sistemi informatici) devono presentare una capacità di scarica della corrente di fulmine con forma d'onda di prova del tipo 10/350 μs. Il collegamento equipotenziale antifulmine deve essere realizzato il più vicino possibile all'ingresso nell'edificio, per evitare l'entrata di correnti di fulmine all'interno dell'edificio stesso.

Collegamento equipotenziale

Nell'intera centrale di controllo del depuratore viene eseguito un collegamento equipotenziale coerente, secondo la normativa IEC 60364-4-41 (HD 60364-4-41), IEC 60364-5-54 (HD 60364-5-54) e CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3). Il sistema equipotenziale già esistente viene verificato al fine di evitare delle differenze di potenziale tra le diverse parti conduttrici estranee. Anche le strutture portanti dell'edificio, tubazioni, serbatoi ecc. vengono integrati nel sistema equipotenziale, in modo che non possano verificarsi differenze di potenziale, anche in caso di guasto. Con l'utilizzo di dispositivi di protezione da sovratensioni, la sezione del conduttore di terra in rame verso il collegamento equipotenziale deve essere, per gli SPD installati nel sistema di alimentazione, almeno 16 mm² e per gli SPD installati nel sistema informatico (per esempio BLITZDUCTOR) almeno 6 mm², oppure la sezione prescritta nelle istruzioni di installazione. Inoltre, negli ambienti con atmosfere potenzialmente a rischio d'esplosione, i collegamenti dei conduttori equipotenziali, ad esempio alle barre equipotenziali, devono essere a prova di allentamento (ad esempio per mezzo di rondelle elastiche).

Protezione da sovratensioni dell'impianto di alimentazione a bassa tensione

Nell'applicazione illustrata, all'ingresso nell'edificio viene sostituito il dispositivo SPD del tipo VGA 280/4 con un SPD Tipo



Num. in Fig.	Protezione per	dispositivo di protezione da sovratensioni *contatti di segnalazione remoti flottanti	Art.
Impianti di alimentazione			
1	Impianto TN-C	DEHNventil DV M TNC 255 DEHNventil DV M TNC 255 FM* DEHNventil DV ZP TNC 255	951 300 951 305 900 390
	Impianto TN-S/TT	DEHNventil DV M TT 255 DEHNventil DV M TT 255 FM* DEHNventil DV ZP TT 255	951 310 951 315 900 391
Sistemi informatici			
2	Telecontrollo, telecomunicazioni	BLITZDUCTOR BXT ML2 BD 180 o BLITZDUCTOR BXT ML4 BD 180 + BXT BAS bassetta	920 247 920 347 + 920 300
Apparecchiatura di misura e controllo			
3	Circuiti e impianto di misura a sicurezza intrinseca	BLITZDUCTOR BXT ML2 BD S EX 24 o BLITZDUCTOR BXT ML4 BD EX 24 + BXT BAS bassetta	920 280 920 381 + 920 301
Sistema bus			
4	per es. Profibus DP	BLITZDUCTOR BXT ML2 BD HFS 5 + BXT BAS bassetta	920 271 + 920 300

Figura 9.4.4 Equipotenzializzazione antifulmine secondo DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3), integrazione 1

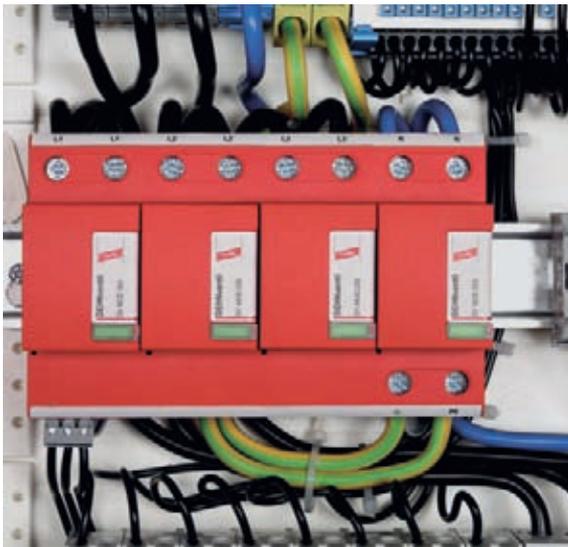


Figura 9.4.5 DEHNventil nel quadro di comando per la protezione dell'impianto di alimentazione

1 combinato DEHNventil M TNS 255 FM 255 (**Figura 9.4.5**), dal momento che il precedente SPD non soddisfa più i requisiti per i sistemi di protezione contro i fulmini secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI81-10/3). Gli SPD Tipo 2 VM 280 sono stati esaminati con uno strumento di prova per scaricatori tipo PM 10. Poiché i valori riscontrati si trovavano ancora entro le tolleranze, non si è ritenuto indispensabile rimuovere gli SPD esistenti. Se vengono installati ulteriori SPD per la protezione di apparecchi utilizzatori, questi dovranno essere coordinati tra di loro e con gli apparecchi utilizzatori da proteggere. Bisogna in ogni caso osservare le indicazioni fornite dalle rispettive istruzioni di installazione.

Per il resto, l'applicazione dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni negli impianti utilizzatori a bassa tensione non differisce dalle altre applicazioni (informazioni più precise a questo proposito si possono trovare nel documento DS 649 E "Guida alla selezione per Red/Line").

Protezione da sovratensioni per reti informatiche

Il punto di passaggio di tutti i conduttori informatici verso l'impianto di depurazione, dal punto di vista della tecnica di sicurezza, è l'entrata nell'edificio. In questo punto vengono utilizzati gli SPD in grado di scaricare corrente di fulmine (categoria D1) del tipo DRL 10 B 180 FSD. Dal punto di fornitura, i conduttori vengono direttamente portati verso i quadri elettrici e collegati. In base alla valutazione dei rischi, i conduttori in ingresso per i segnali a 20 mA e l'impianto di telecontrollo vanno protetti con scaricatori adeguati della serie DEHNconnect o



Figura 9.4.6 Morsetteria DEHNconnect con dispositivo di protezione da sovratensioni integrato per la protezione dell'intero sistema CMR

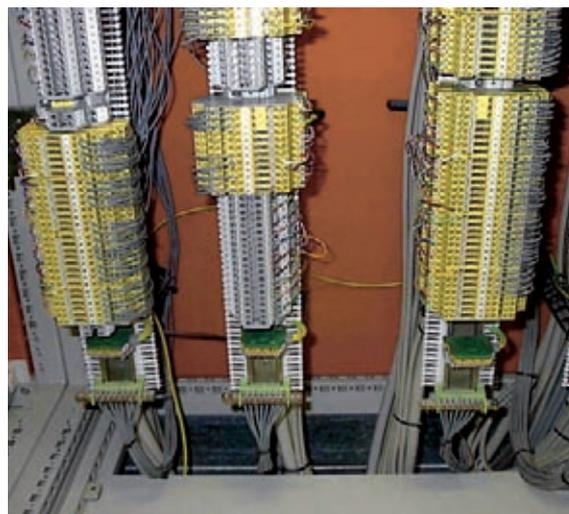


Figura 9.4.7 Dispositivi di protezione da sovratensioni DEHNconnect. Entrata dei cavi dall'intercapedine nel pavimento

BLITZDUCTOR. Questi dispositivi sono adatti per l'utilizzo nel concetto di protezione a zone (categoria C2) e sono compatibili con l'impianto (**Figure 9.4.6 e 9.4.7**).

In questo modo viene assicurato un concetto completo di protezione da sovratensioni per l'intero cablaggio informatico. Ulteriori applicazioni per la protezione degli impianti di depurazione sono contenute nel documento DS 107 E, scaricabile dal sito www.dehn-international.com.



**Requisiti di sicurezza per
impianti di distribuzione dei
segnali televisivi, controlli a
distanza, segnali sonori e
servizi interattivi**

Al giorno d'oggi le normali antenne terrestri e satellitari sono installate quasi esclusivamente sui tetti degli edifici. Pertanto la norma CEI EN 60728-11 (CEI 100-126) prescrive misure di messa a terra oltre al collegamento equipotenziale e all'equipotenzialità antifulmini del cavo di rete (schermature dei cavi). Questa norma si applica tipicamente a impianti e dispositivi fissi. Gli impianti mobili (per esempio le roulotte) sono anch'essi trattati nella norma, ma non nel presente documento. Inoltre, la presente soluzione pratica non descrive le misure di messa a terra per gli impianti d'antenna installati in luoghi dove il rischio di fulminazione è basso né il collegamento equipotenziale in caso di correnti di soglia passanti $\leq 3,5$ mA, che non sono richiesti.

Antenne realizzate secondo questa norma non aumentano la probabilità di fulminazione, e i pali di sostegno delle antenne collegati a terra non potranno sostituire un sistema di protezione contro i fulmini.

Impianto di terra

Un impianto di terra può comprendere un dispersore di fondazione, due dispersori orizzontali (nastri di terra) lunghi 2,5 m posti ad un angolo $> 60^\circ$ tra loro, un dispersore verticale (dispersore di profondità) lungo 2,5 m o due dispersori verticali lunghi 1,5 m ciascuno a distanza di 3 m (**Figura 9.5.1**). Bisogna osservare che i sistemi di messa a terra devono essere collegati alla barra principale di messa a terra (MEB). Il dispersore deve avere una sezione minima di 50 mm^2 (rame) o 90 mm^2 (acciaio zincato o inossidabile) (di solito: piatto $30 \times 35 \text{ mm}$; sezione 105 mm^2).

Collegamento equipotenziale

Per assicurare la protezione delle persone e dei beni, la rete cablata deve essere integrata nel collegamento equipotenziale dell'edificio. Se i cavi sono installati con/senza protezione meccanica, la sezione minima deve essere almeno $2,5 \text{ mm}^2 / 4$

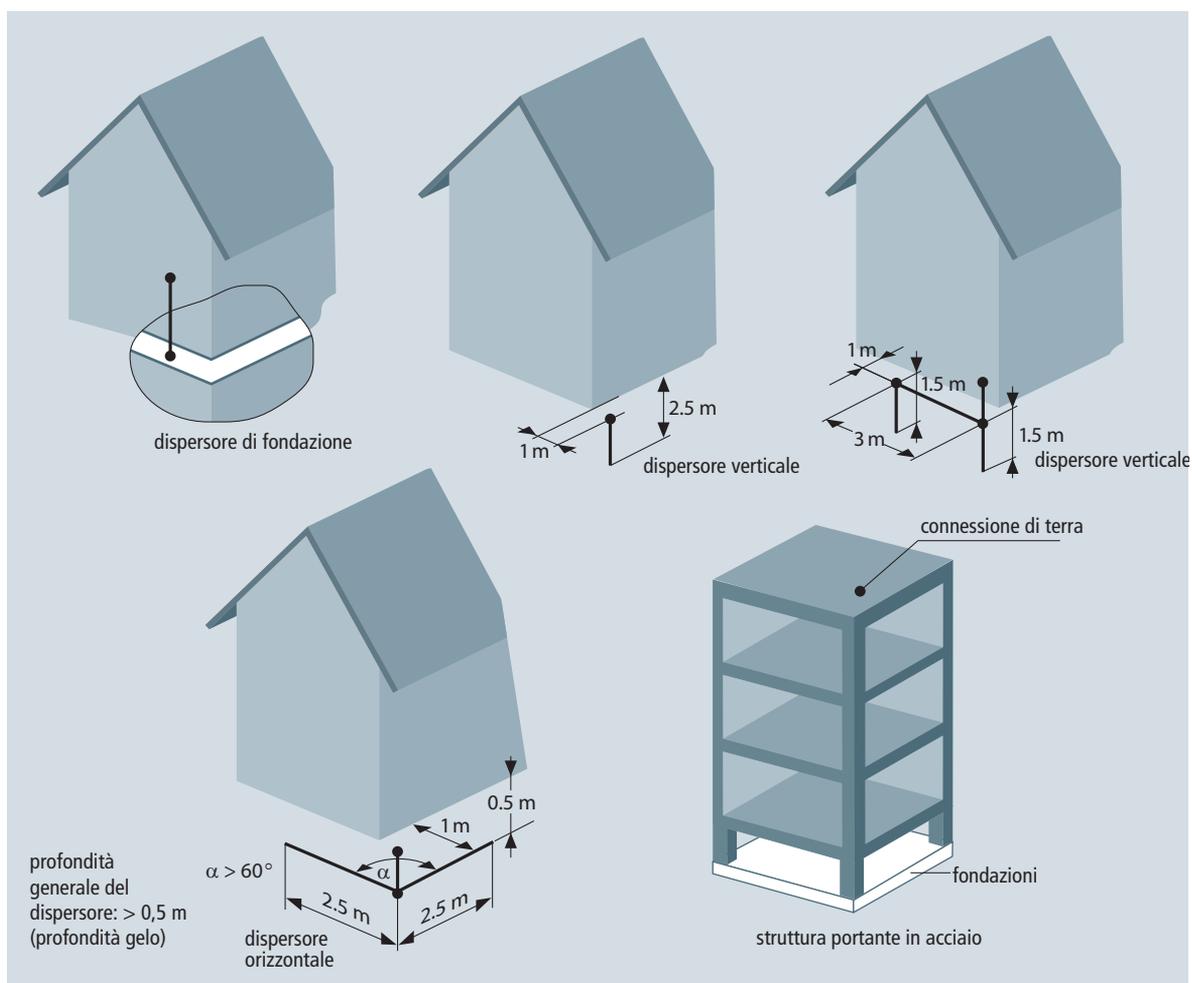


Figura 9.5.1 Esempi di dispersori ammessi

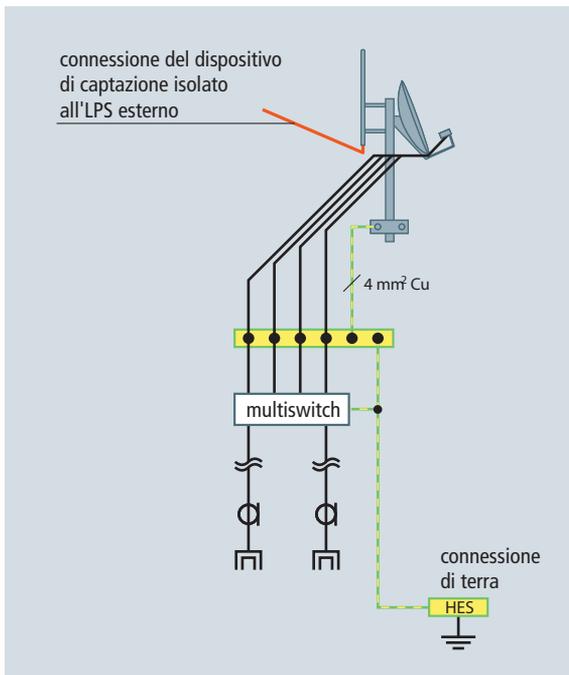


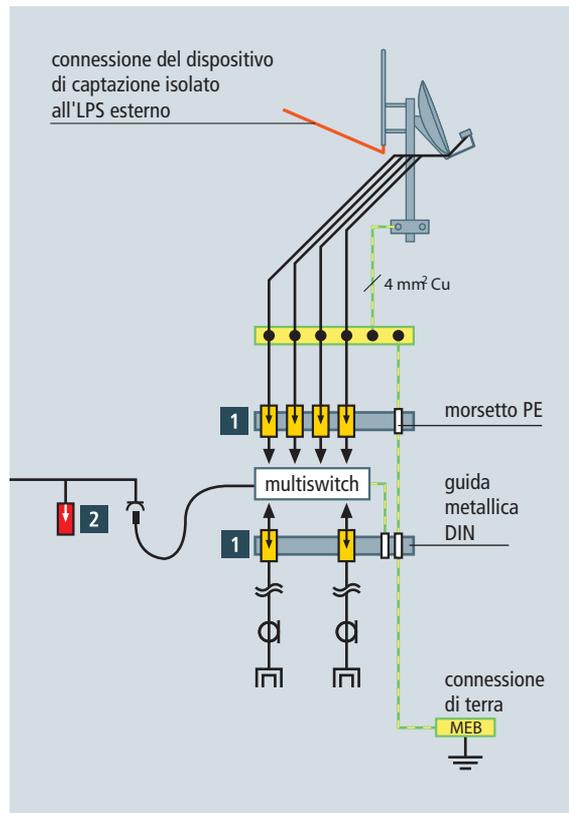
Figura 9.5.2 Collegamento equipotenziale di protezione dell'impianto di distribuzione del segnale e dei dispositivi

mm² (rame). Questa misura è richiesta a causa delle correnti di scarica lato rete che si infiltrano dai dispositivi verso l'impianto di distribuzione del segnale.

Per questo motivo tutti i cavi che entrano nell'edificio (**Figura 9.5.2**) vanno connessi al collegamento equipotenziale di protezione (ad eccezione dell'isolamento galvanico del conduttore interno ed esterno). Se vengono rimossi dei dispositivi attivi e passivi (per esempio amplificatori e splitter), le schermature dei rispettivi cavi vanno collegate tra loro prima di rimuovere i dispositivi, mentre i conduttori interni vanno isolati. Bisogna prestare particolare attenzione ai dispositivi di protezione in classe I alimentati dalla rete elettrica e collegati all'impianto di distribuzione del segnale. Se non è installato un sistema TN-S integrato, lo sbilanciamento e l'accumulo della terza armonica può provocare correnti nelle schermature, che a loro volta possono provocare guasti e incendi.

Protezione contro i fulmini interna

Una protezione contro i fulmini interna protegge il contenuto di un edificio, specialmente il sistema elettrico e i dispositivi elettronici. La funzione principale di una protezione contro i fulmini interna è di stabilire un collegamento equipotenziale per mezzo di conduttori in rame da 4 mm² e tramite l'installazione di dispositivi di protezione contro le sovratensioni tra il conduttore interno ed esterno, per evitare la formazione di scariche.



Pos.	Limitatore di sovratensione	Art.
1	DEHNgate DGA FF TV	909 703
2	DEHNflex DFL M 255	924 396

Figura 9.5.3 Sistema d'antenna con collegamento equipotenziale al punto più basso dell'installazione e dispositivi di protezione contro le sovratensioni.

Protezione dalle sovratensioni

L'obiettivo dei dispositivi di protezione dalle sovratensioni all'apparecchio terminale descritto nella norma si applica anche alle installazioni equivalenti (**Figura 9.5.3**).

I dispositivi di protezione contro le sovratensioni, anch'essi descritti dalla norma, offrono la protezione contro gli accoppiamenti induttivi e sono utilizzabili anche per il collegamento all'interno dei condomini secondo quanto prescritto dalla nota riportata nella norma.

Antenne collocate all'interno degli edifici o sotto il tetto

I sistemi d'antenna posti all'interno di un edificio e quelli collocati ad almeno 2 metri sotto il tetto e che non sporgono più di 1,5 metri dal muro (**Figura 9.5.4**) non devono necessariamente essere collegati a terra attraverso un apposito conduttore.

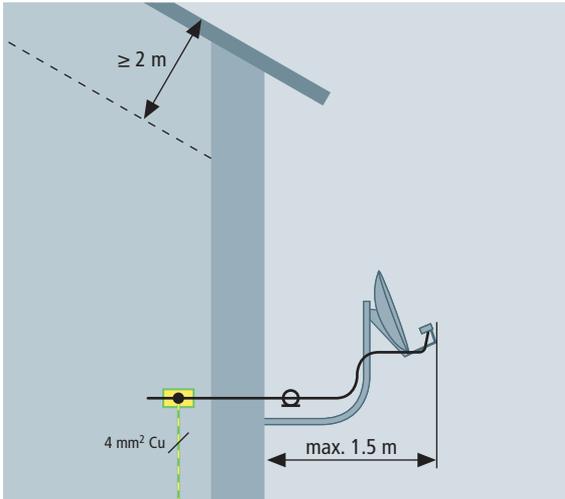


Figura 9.5.4 Antenne che non necessitano di un collegamento a terra

Tuttavia bisogna predisporre una barra equipotenziale come descritto in precedenza.

Edifici con sistemi di protezione contro i fulmini

Le considerazioni seguenti sono state effettuate in conformità con gli obiettivi di protezione antifulmine della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) e delle soluzioni migliori disponibili nella normativa sulle antenne.

Se gli edifici sono dotati di una protezione antifulmine, l'impianto d'antenna va posto all'interno del volume protetto dai captatori esistenti (Figura 9.5.5) oppure protetto da un'asta di captazione isolata con un distanziatore DEHNiso (Figura 9.5.6) o da una soluzione DEHNcon-H (Figura 9.5.7). Oltre a stabilire un collegamento equipotenziale come descritto

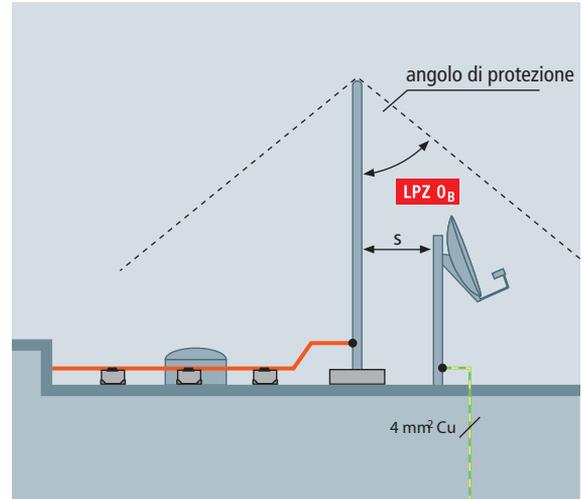


Figura 9.5.5 Antenne situate all'interno del volume protetto di un sistema di captatori

in precedenza, in tutti questi casi il punto più basso della schermatura dei cavi va collegato alla barra di terra principale tramite conduttori equipotenziali di rame con una sezione minima di 4 mm² per ridurre il rischio collegato alla formazione di spire induttive (Figura 9.5.3).

Edifici privi di sistemi di protezione contro i fulmini

La messa a terra delle antenne non garantisce affatto la protezione antifulmine degli edifici o di altre strutture.

Se gli edifici non sono dotati di un sistema di protezione antifulmine bisogna collegare a terra il palo di sostegno dell'antenna. Il conduttore di terra va installato verticalmente, in linea retta, e deve avere una sezione di almeno 16 mm² (rame),

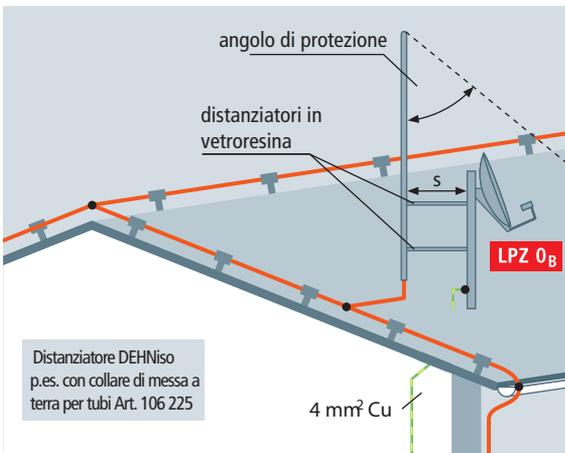


Figura 9.5.6 Antenna con asta di captazione e distanziatori DEHNiso (tratto isolato in vetroresina)

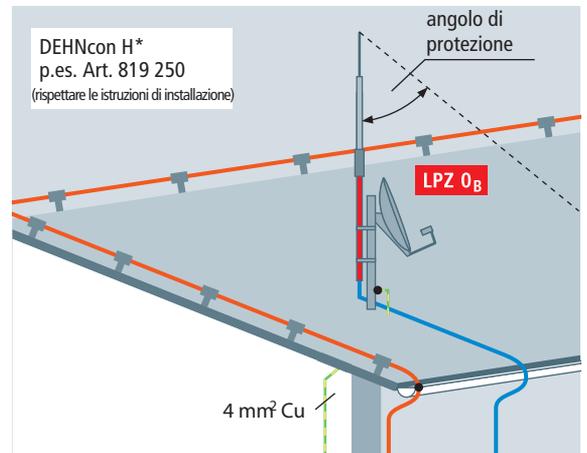
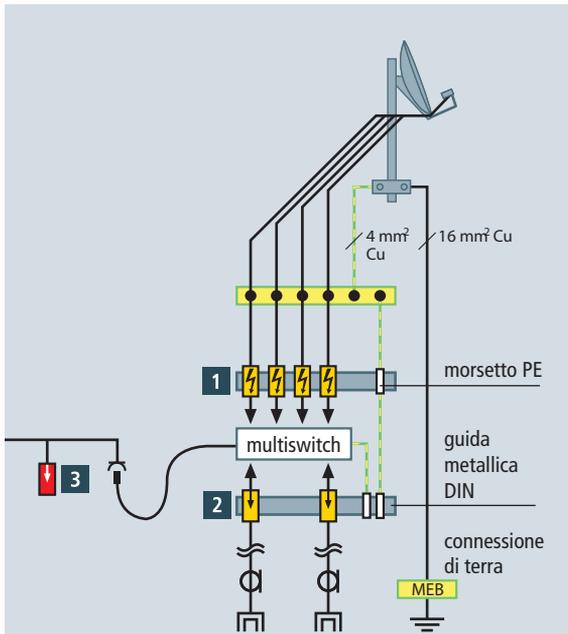
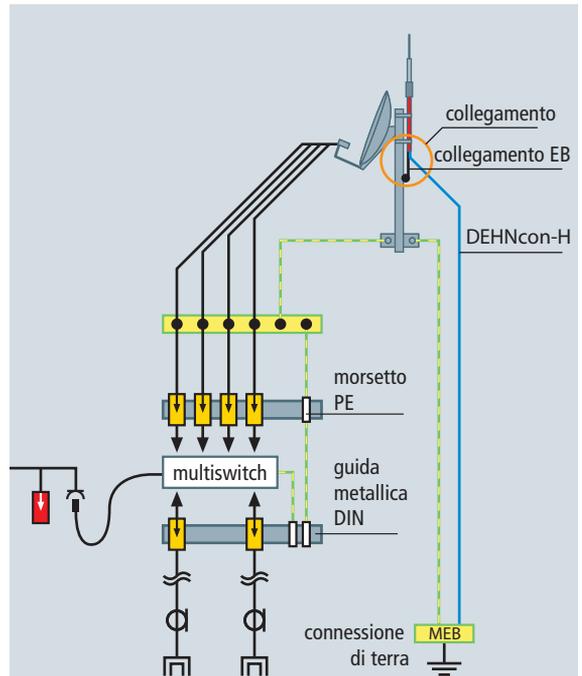


Figura 9.5.7 Antenna con calata DEHNcon-H isolata e resistente alle alte tensioni



Pos.	Limitatore di sovratensione	Art.
1	DEHNgate DGA GFF TV	909 705
2	DEHNgate DGA FF TV	909 703
3	DEHNflex DFL M 255	924 396

Figura 9.5.8 Antenna con dispositivi di protezione contro le sovratensioni



Pos.	Limitatore di sovratensione	Art.
1	DEHNgate DGA FF TV	909 703
2	DEHNflex DFL M 255	924 396

Figura 9.5.9 Antenna con calata DEHNcon-H resistente alle alte tensioni e dispositivi di protezione contro le sovratensioni

25 mm² (alluminio isolato) or 50 mm² (acciaio) (**Figura 9.5.8**). I collegamenti al conduttore equipotenziale, per esempio ai morsetti per tubi e alle barre equipotenziali, vanno dimensionati in funzione delle correnti di fulmine e devono essere collaudati secondo le prescrizioni della norma CEI EN 62561-1 (CEI 81-24). Il conduttore equipotenziale va installato il più lontano possibile dai conduttori e dai sistemi di terra, poiché in caso di fulminazione si verificano le stesse interazioni fisiche che richiedono di mantenere una data distanza di isolamento in un sistema antifulmine esterno. In aggiunta si possono usare anche i componenti naturali dell'edificio o dell'installazione come conduttori di terra, se consentito, se sono buoni conduttori, e se hanno le dimensioni richieste per i normali conduttori di terra. Anche in questo caso il collegamento equipotenziale va stabilito come descritto in precedenza, tuttavia, senza collegare il punto più basso delle schermature dei cavi alla barra principale di terra (**Figura 9.5.8**).

La soluzione DEHNcon-H, nella quale la calata isolata e resistente alle alte tensioni raggiunge direttamente l'impianto di terra, offre una protezione più efficace nei confronti degli effetti dei fulmini, rispetto alla messa a terra del palo di sostegno dell'antenna. Il collegamento al palo dell'antenna viene effettuato attraverso il conduttore di protezione esistente (**Figura 9.5.9**).

Edificio dotato di cavo di connessione a banda larga

Se un cavo a banda larga entra nell'edificio, sono probabili delle fulminazioni. Pertanto si impiegano solo i dispositivi di protezione contro le sovratensioni in grado di trasportare le correnti di fulmine, come DEHNgate GFF TV (**Figura 9.5.10**).

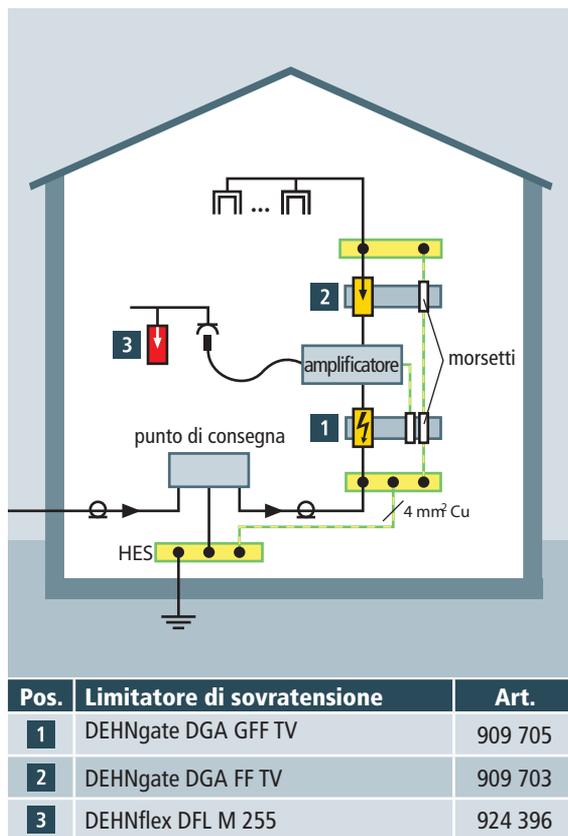


Figura 9.5.10 Connessione cavo a banda larga con dispositivi di protezione contro le sovratensioni



Protezione contro le sovratensioni nelle strutture agricole

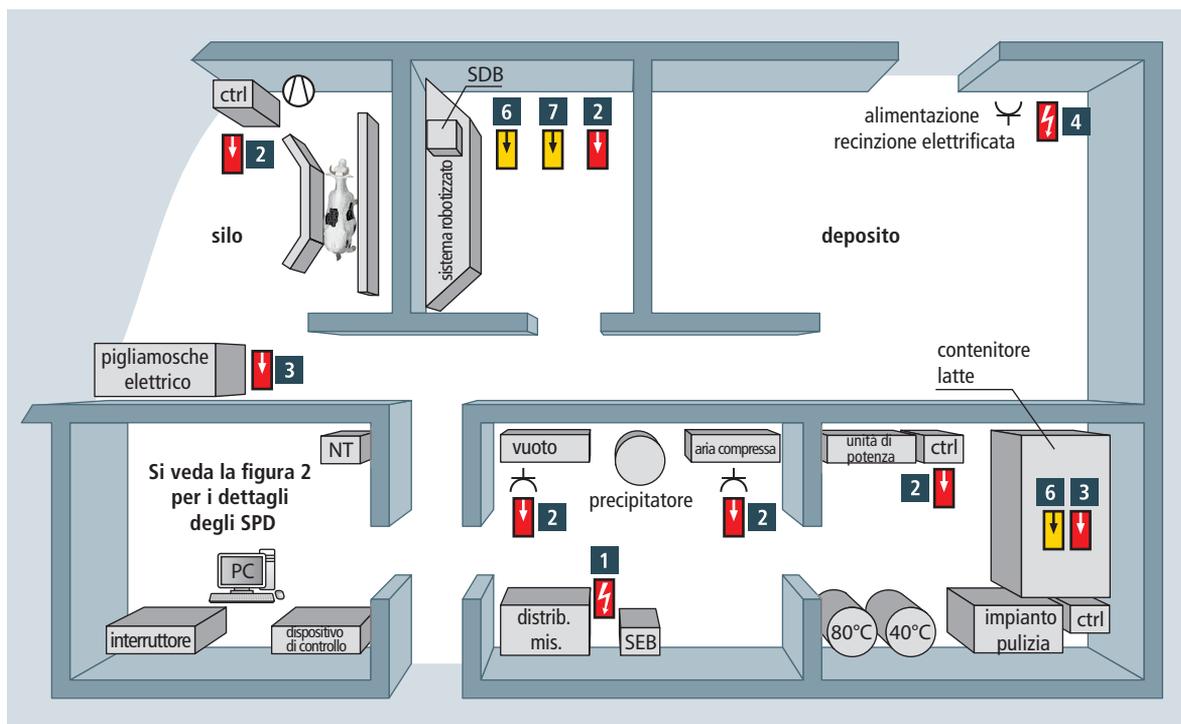


Figura 9.6.1 Dispositivi di protezione contro le sovratensioni nelle strutture agricole

Num. nelle Fig. 9.6.1 e 2	Limitatore di sovratensione		Art.
1	DEHNventil	DV ZP TNC 255	900 390
	DEHNventil	DV ZP TT 255	900 391
	<i>Alternativa:</i>		Montaggio su sbarra collettiva a monte del dispositivo di misura
	DEHNshield	DSH TNC 255	
2	DEHNrail	DR M 4P 255	3/N/PE ≤ 25 A
	DEHNflex	DFL A 255	1/N/PE ≤ 16 A
3	DEHNrail	DR M 2P 255	1/N/PE ≤ 25 A
	DEHNflex	DFL A 255	1/N/PE ≤ 16 A
4	DEHNshield	DSH TT 2P 255	941 110
5	SFL-Protector	SFL PRO 6X	Prese multiple
6	BLITZDUCTOR	BSP M2 BE HF 5	CAN bus o ALCOM bus
	+ basetta	BXT BAS	
7	DEHNpatch	DPA M CLE RJ45B 48	LAN
8	BLITZDUCTOR	BXT ML2 BD 180	Telefono U _{K0}
	+ basetta	BXT BAS	
	<i>Alternativa:</i>	DBX TC 180	

Tabella 9.6.1 Esempio di dispositivi di protezione per un edificio agricolo comprendente un impianto di mungitura automatica (devono essere rispettati i dati tecnici forniti dal costruttore)

L'immagine dell'agricoltura moderna è caratterizzata da impianti informatici ed elettrici sempre più complessi. Al fine di aumentare la redditività, questi sistemi vengono utilizzati per ottimizzare (e se possibile automatizzare) i processi più dispendiosi in termini di tempo.

Nell'allevamento di bestiame da latte questo significa:

- ➔ che il sistema completamente automatizzato di mungitura e la stazione di alimentazione identificano il transponder del singolo bovino e controllano la mungitura o la quantità di mangime;
- ➔ che il latte fresco viene analizzato per la presenza di sangue e infezioni, dopodiché viene scartato o trasferito al serbatoio del latte;
- ➔ che il latte munto viene raffreddato in un apposito recipiente e il calore residuo prodotto dal compressore passa attraverso uno scambiatore di calore che riscalda l'acqua di una caldaia industriale (riduzione dei costi per il riscaldamento dell'acqua industriale);
- ➔ che il sistema di pulizia risciacqua i tubi flessibili del latte;
- ➔ che il sistema del vuoto fornisce la depressione necessaria per l'estrazione del latte vaccino;
- ➔ che viene prodotta aria compressa per azionare le porte d'ingresso della mungitura robotizzata, per posizionare la mangiatoia o la caditoia del mangime e alimentare il sistema per lo spostamento del bestiame;
- ➔ che il sistema antimosche elettrico minimizza il numero delle mosche e quindi riduce la possibilità di trasmissione delle malattie;
- ➔ che appositi ventilatori migliorano il clima nelle stalle e di conseguenza la salute del bestiame e la qualità del latte.

La **Figura 9.6.1** mostra un esempio di un edificio agricolo dotato di impianto di mungitura robotizzata. I singoli sistemi sono controllati tramite diverse linee dati (**Figura 9.6.2**). L'operatore può accedere all'intero edificio via modem. Nella sottosezione 705.443 della norma IEC 60364-7-705 (HD 60364-7-705) si raccomanda l'installazione di misure di

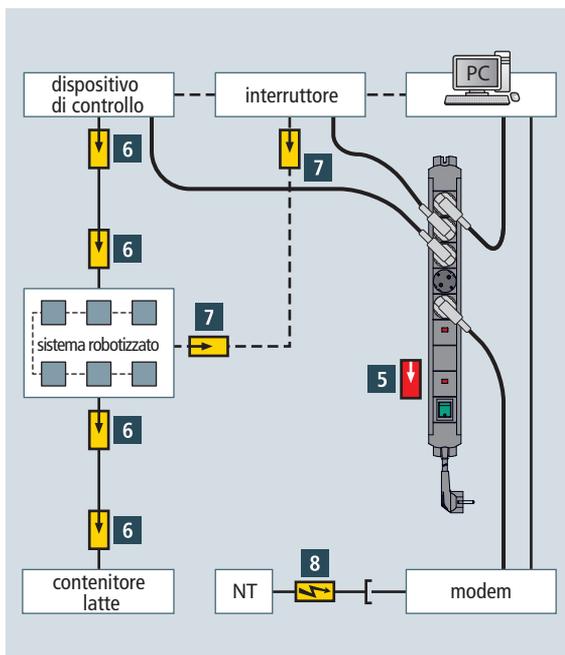


Figura 9.6.2 Dispositivi di protezione per i linee bus e telefoniche

protezione contro i fulmini e le sovratensioni quando sono installate delle apparecchiature elettroniche. La **Tabella 9.6.1** riporta idonei dispositivi di protezione contro le sovratensioni per l'edificio campione (**Figure 9.6.1 e 9.6.2**).

Per la protezione contro le sovratensioni degli edifici per l'agricoltura e l'orticoltura, sono importanti il collegamento equipotenziale di protezione conforme alla norma IEC 60364-5-54 (HD 60364-5-54) e il collegamento equipotenziale di protezione supplementare conforme alla norma IEC 60364-7-705 (HD 60364-7-705). Queste norme descrivono come integrare le masse estranee conduttrici nelle aree della stazione dedicate alla sosta, al riposo e alla mungitura del bestiame (si consiglia anche per pavimenti fessurati in calcestruzzo).



Impianto di video sorveglianza - Protezione da sovratensioni

I sistemi di telesorveglianza (TVCC) sono utilizzati in tutti i settori per il controllo degli accessi e la supervisione dello stabilimento. Di seguito vengono descritte le misure di protezione contro le sovratensioni che soddisfano i requisiti per la continuità di servizio degli impianti di video sorveglianza.

Un impianto di video sorveglianza è composto almeno da una telecamera, un monitor ed un DVR e un adeguato percorso di trasmissione video. Di solito, le telecamere comandate a distanza sono dotate di obiettivi a testa orientabile, in modo che l'operatore possa controllare la posizione e l'angolo di visione di ciascuna telecamera.

Nel caso più semplice, la linea di trasmissione tra scatola di derivazione e monitor è costituita da un cavo coassiale o un doppino simmetrico. La trasmissione dei segnali video attraverso un cavo coassiale è asimmetrica, cioè il segnale video viene trasmesso dal conduttore centrale del cavo coassiale. La schermatura (collegata a massa) funge da riferimento per la trasmissione del segnale. Per i doppini viene utilizzata la trasmissione bilanciata, trasformando il segnale coassiale in un segnale a due fili (balun).

Il cavo di alimentazione è spesso separato. In caso di telecamere IP, tuttavia, si usa un solo cavo per la trasmissione del

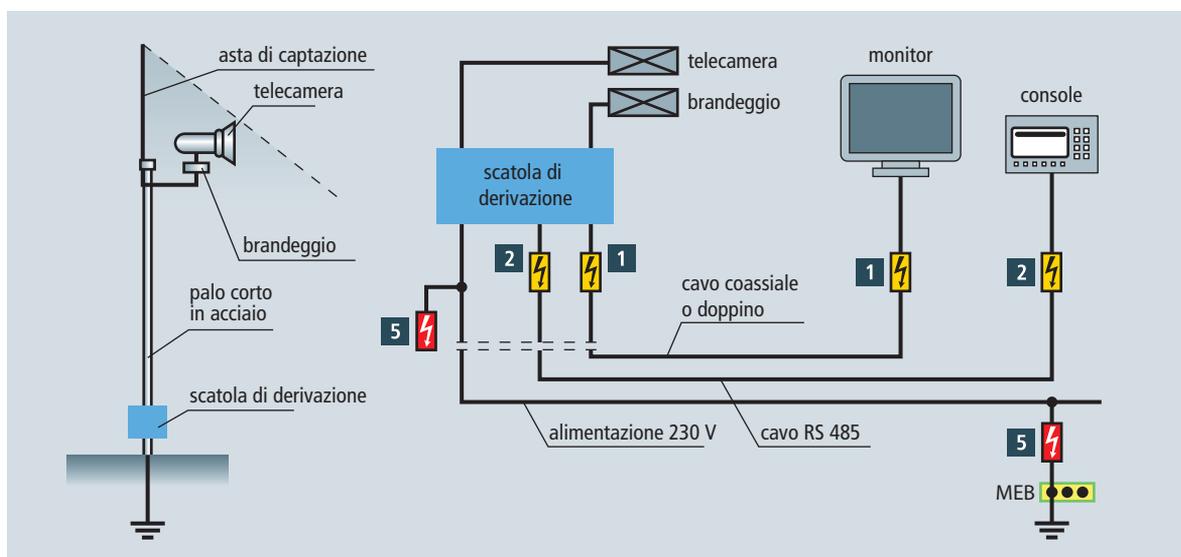


Figura 9.7.1 Telecamera collegata a un edificio dotato di protezione contro i fulmini esterna, con dispositivi di protezione contro le sovratensioni posti ad entrambe le estremità e in grado di condurre le correnti di fulmine

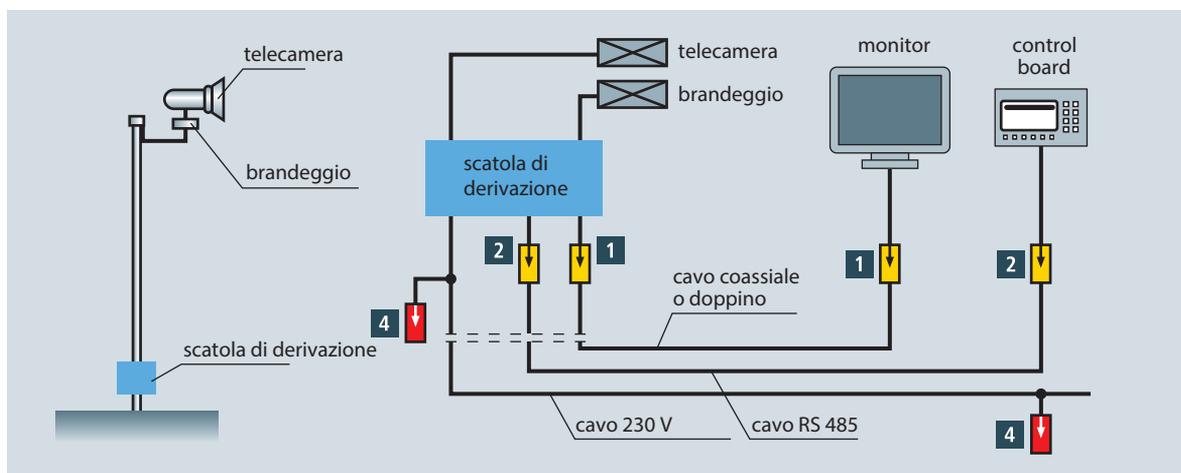


Figura 9.7.2 Telecamera collegata a un edificio privo di protezione contro i fulmini esterna, con dispositivi di protezione contro le sovratensioni posti ad entrambe le estremità

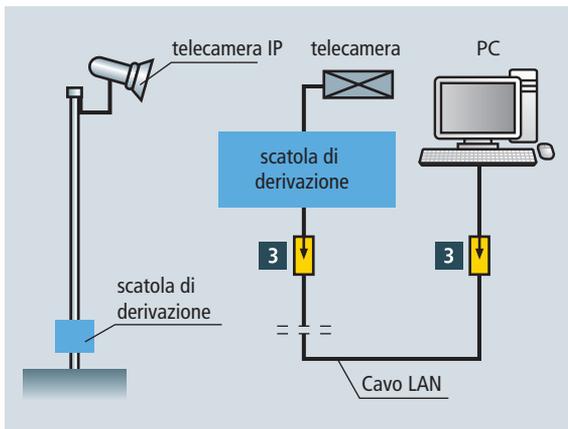


Figura 9.7.3 Telecamera IP con i dispositivi di protezione contro le sovratensioni posti ad entrambe le estremità

segnale video e dell'alimentazione. Un bus RS 485 controlla l'orientamento della telecamera.

Edificio dotato di protezione contro i fulmini esterna

Nella **Figura 9.7.1** la telecamera è fissata a un palo di sostegno. Si può prevenire la fulminazione diretta della telecamera con l'applicazione di un'asta di captazione all'estremità del palo di sostegno. Di solito il cavo di collegamento tra la scatola di derivazione e la telecamera viene fatto passare

all'interno del sostegno metallico. Dove questo non è possibile, il cavo della telecamera deve essere inserito in un tubo metallico collegato elettricamente con il sostegno. In questi casi, per lunghezze di cavi di pochi metri, potrebbe non essere necessario installare un dispositivo di protezione nella scatola di derivazione

Bisogna realizzare un collegamento equipotenziale antifulmine all'ingresso dell'edificio per tutti i suddetti cavi che dalla scatola di derivazione sul palo di sostegno entrano nell'edificio dotato di protezione contro i fulmini esterna (**Tabella 9.7.1**). Se le telecamere sono montate sulla facciata esterna di un edificio, bisogna assicurarsi che esse si trovino all'interno del volume protetto, o siano protette dai fulmini diretti per mezzo di un impianto di captazione.

Edificio privo di protezione contro i fulmini esterna

Per edifici privi di protezione contro i fulmini esterna, si presuppone che il rischio di un danno causato da fulminazione diretta (o molto vicina all'edificio) sia limitato e quindi accettabile. In questo caso l'installazione di limitatori di sovratensione fornisce una protezione sufficiente (**Tabella 9.7.1**).

La **Figura 9.7.2** mostra un impianto TVCC a più linee e la **Figura 9.7.3** mostra un impianto di video sorveglianza integrato digitale.

Pos.	Protezione per...	Limitatore di sovratensione	Art.
Protezione da sovratensioni per reti informatiche			
1	Doppino (trasmissione video)	BLITZDUCTOR XT/BLITZDUCTOR SP + BXT BAS	920 271 / 926 271 920 300
	Cavo coassiale (sistema di video trasmissione)	UGKF BNC o DGA BNC VCID	929 010 909 711
2	Cavo RS 485 (controllo telecamera)	BLITZDUCTOR XT/BLITZDUCTOR SP + BXT BAS	920 271 / 926 271 920 300
3	Cavo LAN (telecamera IP)	DPA M CLE RJ45B 48	929 121
		DPA M CAT6 RJ45H 48	929 110
Dispositivi di protezione per impianti di alimentazione - Limitatori di sovratensione			
4	Impianto C.A. TN Impianto C.A. TT	DEHNguard DG M TN 275	952 200
		DEHNguard DG M TT 2P 275	952 110
Dispositivi di protezione per impianti di alimentazione - Scaricatori combinati			
5	Impianto C.A. TN Impianto C.A. TT	DEHNshield DSH TN 255	941 200
		DEHNshield DSH TT 255	941 110

Tabella 9.7.1 Dispositivi di protezione delle figure da 9.7.1 a 9.7.3



Protezione da sovratensioni per impianti a diffusione sonora

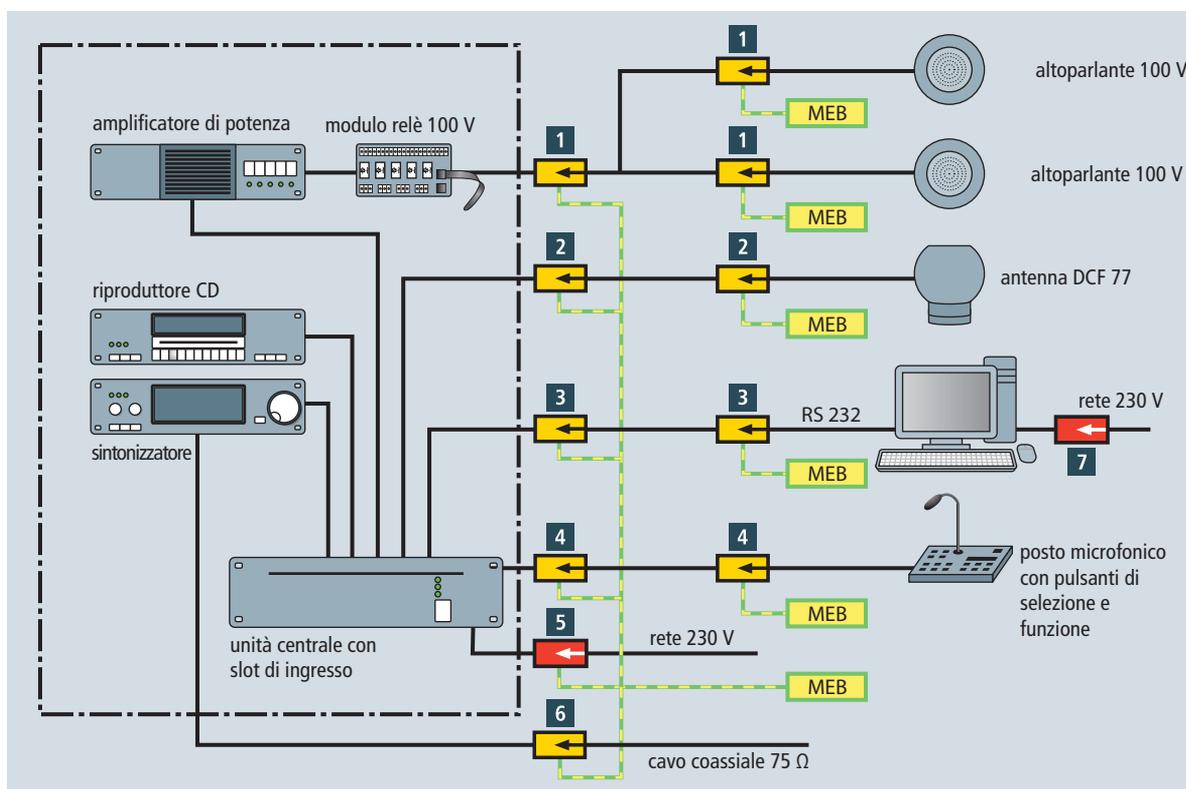
Gli impianti per la diffusione sonora vengono utilizzati per la trasmissione vocale, musicale e dei segnali di allarme. A questo scopo il segnale utile viene modulato su una tensione portante (50, 70, 100 V) e arriva all'altoparlante attraverso un trasformatore. Quest'ultimo trasforma la bassa impedenza dell'altoparlante in un valore più alto, riducendo così la corrente. In questo modo è possibile utilizzare anche dei cavi per telecomunicazioni (diametro 0,6 o 0,8 mm).

Ci sono diversi tipi di altoparlanti. Per gli altoparlanti da incasso o montaggio esterno, le potenze nominali variano di solito da 6 a 30 W, per gli altoparlanti a colonna da 20 a 100 W e per altoparlanti a tromba da 10 a 60 W. Le potenze nominali

degli amplificatori modulari vanno da 100 W a 600 W (a volte anche di più).

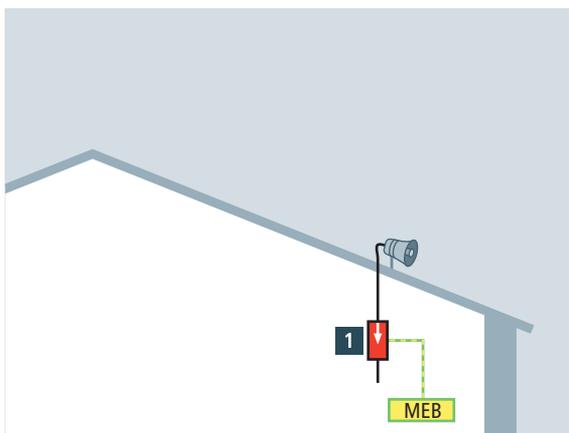
In una stessa linea o gruppo possono essere utilizzati altoparlanti con potenze diverse. La potenza minima dell'amplificatore corrisponde alla somma delle singole potenze degli altoparlanti. Per determinare la potenza minima dell'amplificatore non è rilevante la somma delle potenze nominali degli altoparlanti, ma la somma delle potenze nominali in corrispondenza dei trasmettitori.

La sezione 7.2.1 della norma CEI EN 50174-2 (CEI 306-5) descrive la protezione contro i fulmini e le sovratensioni indotte e confronta il rischio di danni con il rischio accettabile per l'operatore. Se l'analisi dei rischi rivela che sono necessarie delle



Pos.	Limitatore di sovratensione	Art.	Pos.	Limitatore di sovratensione	Art.
1	DR M 2 P 150 (corrente > 1 A-25 A) o	953 204	4	BXT ML2 BD HFS 5	920 271
	BXT ML4 BE 180 (corrente < 1 A) + BXT BAS	920 327 920 300		+ BXT BAS	920 300
2	DGA G BNC	929 042	5	DR M 2 P 255	953 200
3	FS 9E HS 12	924 019	6	DGA FF TV	909 703
			7	DPRO 230	909 230

Figura 9.8.1 Impianto di diffusione modulare con dispositivi di protezione contro le sovratensioni



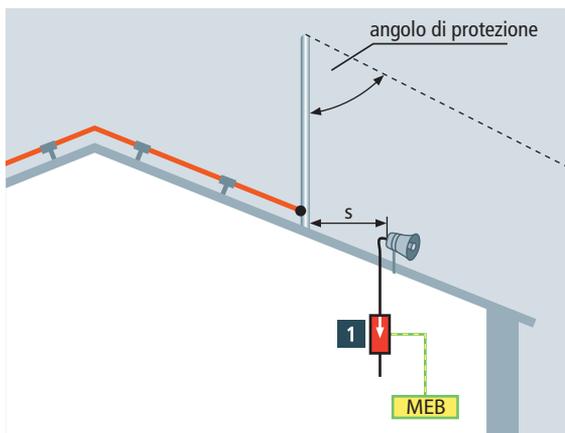
Pos.	Limitatore di sovratensione	Art.
1	DR M 2P 150 (corrente > 1 A - 25 A) o BXT ML4 BE 180 (corrente < 1 A) + BXT BAS	953 204 920 327 920 300

Figura 9.8.2 Altoparlante a tromba installato su una struttura priva di protezione contro i fulmini esterna

misure di protezione contro le sovratensioni, bisogna installare i dispositivi di protezione sugli impianti da proteggere. Nelle seguenti descrizioni non si fa alcun riferimento a ulteriori prescrizioni eventualmente da osservare (p. es. regolamenti edilizi, regolamenti sugli impianti di allarme elettro-acustici, regolamenti sugli impianti antincendio e antifurto).

I grandi impianti di diffusione sonora sono modulari da 19" (Figura 9.8.1) e spesso sono posizionati in prossimità di una stazione di lavoro permanentemente presidiata. La necessità dell'installazione dei limitatori di sovratensione illustrati (4 + 5) dipende dalle lunghezze dei cavi al PC o al rispettivo posto microfonic. Se questa lunghezza supera i 5 m sono necessari dei dispositivi di protezione.

Per dimensionare i limitatori di sovratensione (1 + 2), bisogna determinare la corrente massima I nel rispettivo ramo del cir-



Pos.	Limitatore di sovratensione	Art.
1	DR M 2P 150 (corrente > 1 A - 25 A) o BXT ML4 BE 180 (corrente < 1 A) + BXT BAS	953 204 920 327 920 300

Figura 9.8.3 Altoparlante a tromba situato nel volume protetto di un impianto di captazione su una struttura esterna dotata di protezione contro i fulmini esterna

cuito, in base alla relazione $I = P/U$, dove P è la potenza degli amplificatori o altoparlanti (o gruppi di essi) e U la tensione della portante.

Tutti i collegamenti di terra dei limitatori di sovratensione in prossimità dell'impianto di diffusione sonora vanno collegati a un vicino punto di potenziale comune.

Se gli altoparlanti esterni sono situati sul tetto di un edificio, essi possono essere danneggiati dagli effetti indiretti di un fulmine (accoppiamento induttivo/capacitivo) nel caso di impianti dotati protezione contro i fulmini esterna (Figura 9.8.3) e senza protezione contro i fulmini esterna (Figura 9.8.2). Se l'impianto è dotato di protezione contro i fulmini esterna (Figura 9.8.3), l'altoparlante esterno è protetto in modo affidabile contro la fulminazione diretta, in quanto si trova nel volume protetto dai captatori.



Protezione da sovratensioni per impianti d'allarme

Gli impianti atti a segnalare stati di emergenza (incendio o intrusione) devono svolgere funzione di segnalazione attiva in situazioni di pericolo ed essere passivi in situazioni non pericolose. I malfunzionamenti di questi sistemi (mancata segnalazione in caso di pericolo presente oppure segnalazione di allarme senza presenza di pericolo) sono indesiderate e costose; ogni anno causano perdite per molti milioni di euro. Inoltre, i falsi allarmi hanno le seguenti conseguenze:

- ➔ in caso di ripetuti falsi allarmi, l'operatore non può più fare affidamento sull'impianto e mette in dubbio l'utilità dell'impianto e del relativo investimento;
- ➔ il personale di sorveglianza inizia ad ignorare le segnalazioni di allarme;
- ➔ i vicini vengono disturbati dagli allarmi acustici;
- ➔ le forze di intervento (ad esempio i vigili del fuoco) vengono allertate senza motivo;
- ➔ l'attivazione degli impianti antincendio causa interruzioni del servizio.

Tutti questi fattori creano costi inutili e possono essere evitati, se le possibili cause di questi falsi allarmi vengono individuate in fase di progettazione, e neutralizzate attraverso misure preventive adeguate. Per questo sono state pubblicate dall'Associazione generale tedesca del settore assicurativo (GDV) le linee guida VdS 2833, che descrivono i dispositivi di protezione contro i fulmini e le sovratensioni.

Una protezione coordinata contro i fulmini e le sovratensioni previene i falsi allarmi e i danni causati dalle scariche atmosferiche o dalle sovratensioni di commutazione, aumentando la disponibilità degli impianti.

Durante l'installazione degli impianti di allarme non richiesti a termini legge, vanno comunque seguite le linee guida per la pianificazione e l'installazione e per l'implementazione di misure specifiche coordinate tra costruttore e gestore.

Gli impianti di segnalazione di emergenza più frequentemente installati oggi hanno una maggiore immunità contro le sovratensioni secondo la norma CEI EN 61000-4-5 (CEI 110-30) sulle linee primarie e secondarie nonché sui conduttori di

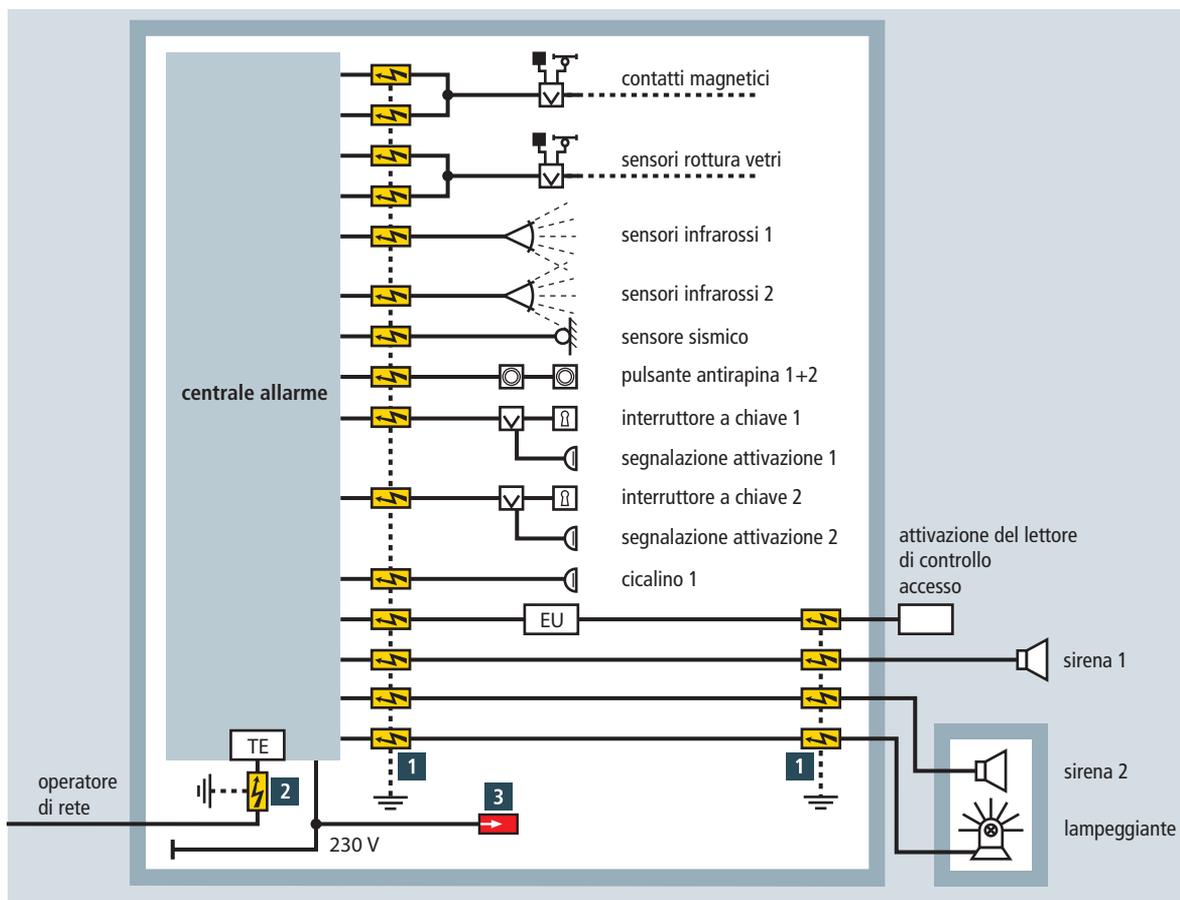


Figura 9.9.1 Protezione contro fulmini e sovratensioni per un impianto di allarme con tecnologia ad impulsi

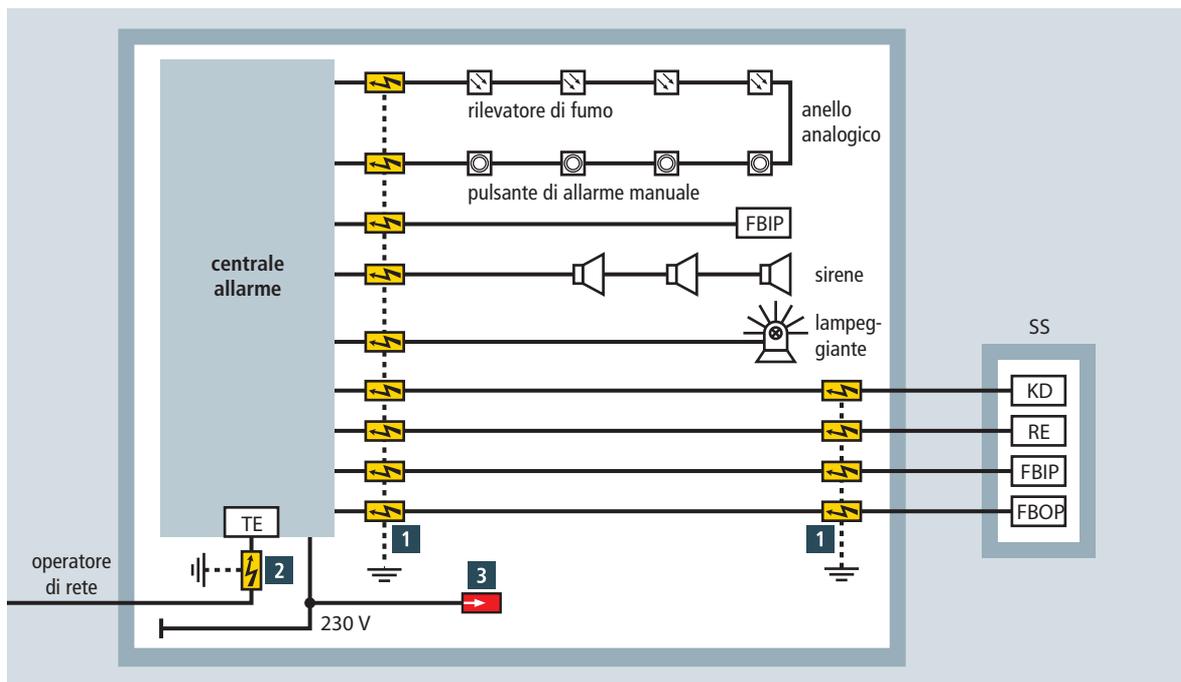


Figura 9.9.2 Protezione contro fulmini e sovratensioni per un impianto di allarme con tecnologia ad anello analogico

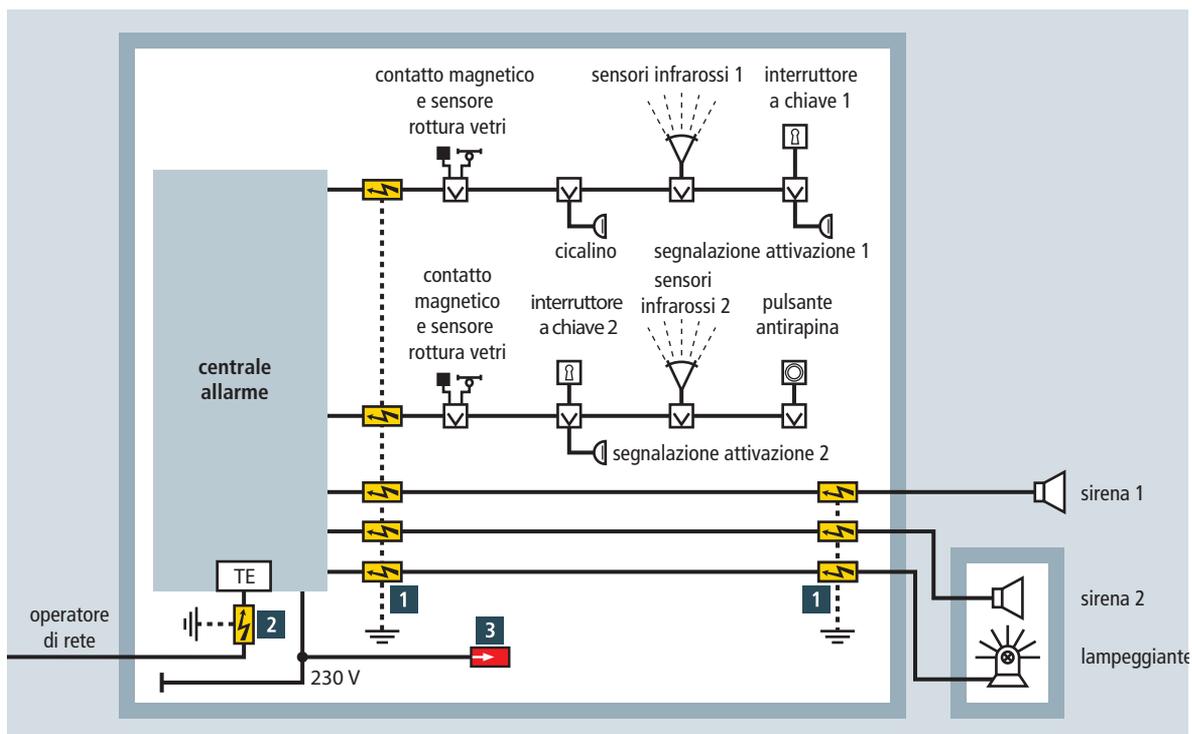


Figura 9.9.3 Protezione contro fulmini e sovratensioni per un impianto di allarme anti intrusione con tecnologia a circuito in C.C.

Pos.	Protezione per...	Limitatore di sovratensione	Art.
Scaricatori combinati per i sistemi informatici, al confine tra zone LPZ 0_A (0_B) ↔ LPZ 1 o 0/A (0/B) ↔ e 1			
1	Gruppi di linee di allarme, allarmi esterni (24 V) (in questo caso max. 0,75 A)	BXT ML2 BE S 24 (2 conduttori + terra) BXT ML4 BE 24 (4 cavi) + BXT BAS + SAK BXT LR (per cavo di terra)	920 224 920 324 920 300 920 395
2	Linea di scambio U _{K0} della rete fissa	BXT ML2 BD 180 + BXT BAS	920 247 920 300
Limitatore di sovratensione per impianti di alimentazione al passaggio tra LPZ 0_B ↔ e LPZ 1 oppure 0/B ↔ e 1			
3	Impianto C.A: TN-S Impianto C.A. TT	DG M TN 275 DG M TT 2P 275	952 200 952 110

Tabella 9.9.1 Scaricatori combinati contro fulmini e sovratensioni nelle Figure da 9.9.1 a 9.9.3

rete. Tuttavia, una protezione completa contro i danni causati da fulmini e sovratensioni può essere raggiunta solo attraverso la protezione contro i fulmini interna ed esterna (**Figure da 9.9.1 a 9.9.3**).

Principi di sorveglianza

Per impianti di segnalazione di emergenza vengono applicati diversi principi di sorveglianza.

➔ Tecnologia di linea ad impulsi

L'informazione del segnalatore attivato viene trasmessa in forma digitale. Questo permette il riconoscimento del dispositivo di allarme e la localizzazione precisa della sorgente di pericolo (**Figura 9.9.1**).

➔ Loop analogico

I rivelatori indirizzabili definiscono ciascuno dei rivelatori dell'anello. Le interruzioni di linea e i corti circuiti non compromettono il funzionamento (**Figura 9.9.2**).

➔ Tecnologia circuitale a corrente continua

Secondo il principio del circuito chiuso, ogni linea di allarme è costantemente sorvegliata. Se un rivelatore di una linea viene attivato, la linea si interrompe e viene generato un allarme nella centralina. Tuttavia può essere identificata solo la linea di allarme, ma non il singolo rivelatore (**Figura 9.9.3**).

Indipendentemente dal principio di sorveglianza adottato, i conduttori degli impianti di segnalazione utilizzati vanno integrati nella protezione contro i fulmini e le sovratensioni del sistema complessivo.

Suggerimenti di protezione

Bisogna installare BLITZDUCTOR XT del tipo BXT ML2 BE ... per la protezione dei cavi di collegamento a due fili degli impianti di allarme (è richiesta l'approvazione del costruttore, contattare DEHN + SÖHNE GmbH + Co.KG.) e collegare il conduttore di terra con morsetti a molla EMC. Per cavi con più di

due fili, è disponibile una versione a quattro fili versione del tipo BXT ML4 ... I dispositivi di protezione sono selezionati in base alla tensione delle linee di allarme, che in genere è compresa tra 12 e 48 V (**Tabella 9.9.1**). Anche la bassa resistenza interna degli scaricatori BLITZDUCTOR è un chiaro vantaggio in quanto non va superata la massima resistenza delle linee di allarme.

Per le uscite delle centrali di segnalazione, come ad esempio la segnalazione acustica o ottica, bisogna accertarsi che non venga superata la corrente nominale dei dispositivi di protezione contro le sovracorrenti.

La centrale di allarme è normalmente collegata alla rete telefonica fissa tramite combinatore telefonico. Per questa applicazione è perfetto il dispositivo di protezione da sovratensioni BLITZDUCTOR XT del tipo BXT ML2 BD 180. Per la protezione sull'alimentazione di rete si raccomanda l'utilizzo di dispositivi di protezione da sovratensione DEHNguard modular (Tabella 9.9.1).

Gli impianti di allarme che richiedono l'approvazione dell'Associazione generale tedesca del settore assicurativo (approvazione VdS) devono essere conformi alle linee guida VdS 2095 (impianto di segnalazione incendio), VdS 2311 (centrale anti intrusione) e VdS 2833 (dispositivi di protezione contro le sovratensioni per impianti di allarme).

La responsabilità della salute e della sicurezza di tutti i dipendenti riguarda i massimi livelli aziendali, cioè dirigenti e amministratori. Dal punto di vista giuridico, un gestore di rete o impianto è un "profano tecnico" che non è in grado di valutare i pericoli che possono derivare da una soluzione tecnica errata. È compito quindi degli esperti in elettrotecnica prevedere le soluzioni tecniche adeguate e accertarsi che le soluzioni proposte rispondano effettivamente ai requisiti necessari.



**Protezione da fulmini e
sovratensioni per
sistemi KNX**

Gli impianti elettrici degli edifici dotati di unità di controllo complesse, visualizzatori e dispositivi di controllo, sono spesso dotati di un sistema bus. Il sistema EIB (European Installation Bus), sviluppato all'inizio degli anni novanta, è un sistema bus largamente impiegato. Al giorno d'oggi, questo sistema bus è ancora il nucleo di un sistema KNX, descritto nella norma EN 50090, che è il primo standard aperto al mondo.

Un vantaggio dello standard KNX è che permette la comunicazione tra diversi dispositivi in tutti i settori, indipendentemente dal costruttore. In tal modo i valori di un sensore di pioggia e vento o di un sensore di temperatura e insolazione possono essere elaborati in diversi sistemi di costruzione. I sistemi di illuminazione possono essere attivati o disattivati a seconda delle necessità, in base al livello di luminosità, ed è possibile programmare differenti scenari luminosi. Si possono registrare i valori di consumo e utilizzarli per la gestione del carico. Queste sono solo alcune delle numerose applicazioni possibili dei sistemi KNX. Oltre a questi vantaggi, il tempo di installazione e il costo di tali sistemi possono essere considerevolmente ridotti.

La più piccola unità di installazione nella topologia a bus è una linea. Essa è costituita da max. 64 dispositivi bus (Starter ETS 3). Se occorrono più di 64 dispositivi, da ogni linea principale si possono derivare fino a 15 linee tramite un accoppiatore di linea. La linea di zona collega tra loro fino a un massimo di 15 accoppiatori di area (**Figura 9.10.1**).

Il bus KNX bus è alimentato per sicurezza alla bassissima tensione (SELV) di max 29 V. La lunghezza del cavo all'interno di un segmento di linea e la lunghezza del cavo tra due dispositivi bus sono limitate. Con lunghezze massime di 1000 m per ogni ramo di linea, i sistemi KNX possono essere facilmente distrutti dall'accoppiamento induttivo, nonostante la loro elevata resistenza dielettrica.

Inoltre si deve evitare la formazione di spire induttive al momento dell'installazione dei cavi. Pertanto, il bus e i cavi a bassa tensione che collegano i dispositivi devono essere installati vicini tra loro (**Figura 9.10.2**).

Le spire induttive si possono formare anche se una struttura metallica o tubo viene collegato alla barra di terra principale (**Figura 9.10.3**). Anche in questo caso è consigliabile installare i cavi il più vicino possibile alla costruzione o al tubo.

Struttura dotata di protezione contro i fulmini esterna

Le norme impongono un collegamento equipotenziale antifulmine, quindi tutti i cavi al passaggio dalla zona LPZ 0_A alla 1 devono essere protetti con scaricatori della corrente di fulmine. Dal momento che il campo elettromagnetico all'interno di una struttura dotata di protezione contro i fulmini esterna è maggiore nel caso di fulminazione diretta che nel caso di

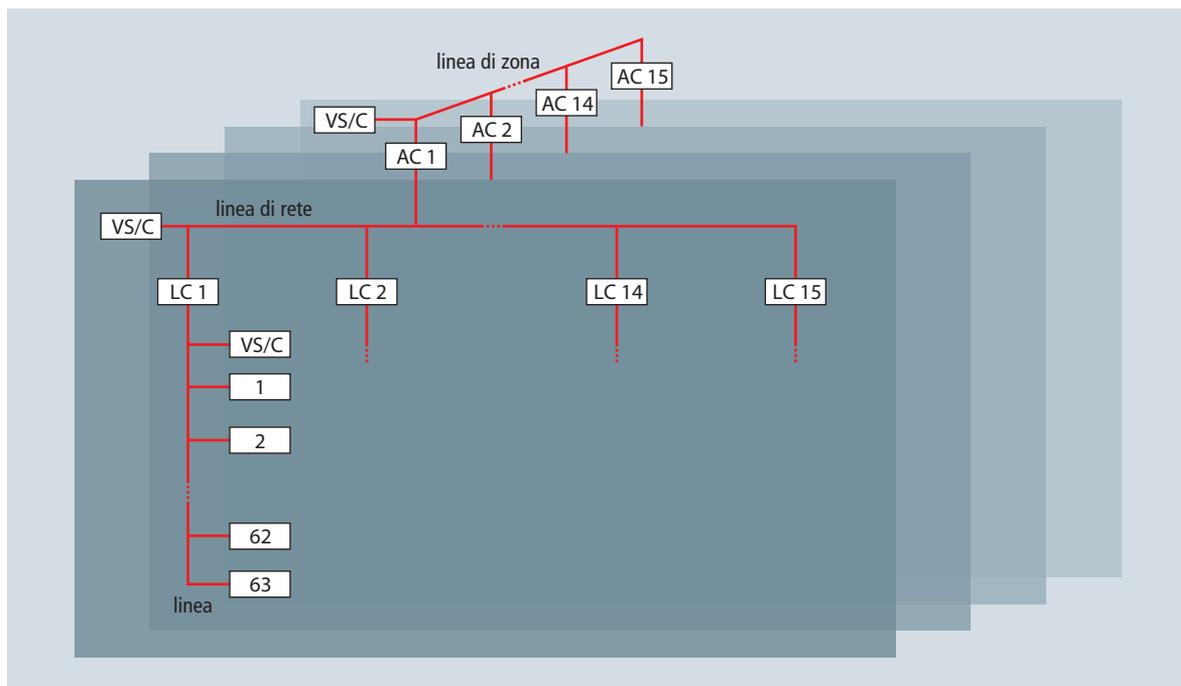


Figura 9.10.1 Topologia del bus KNX con il numero massimo di dispositivi per linea, il numero massimo di linee per linea principale e il numero massimo di linee principali per linea di zona

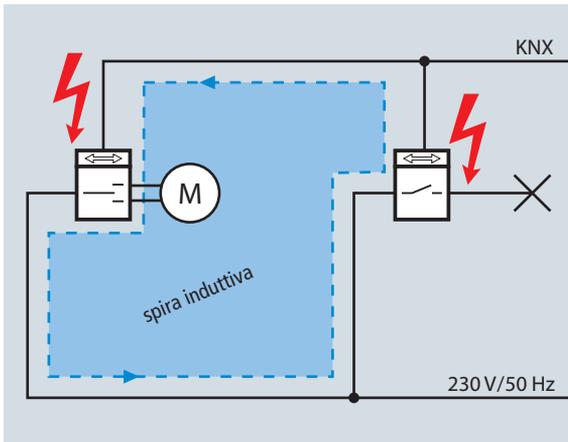


Figura 9.10.2 Spira induttiva formata da due dispositivi bus KNX alimentati a bassa tensione

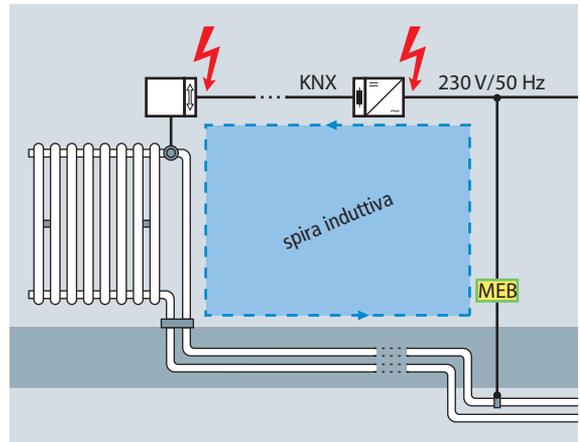


Figura 9.10.3 Spira induttiva formata da un dispositivo KNX installato presso una struttura metallica o tubo

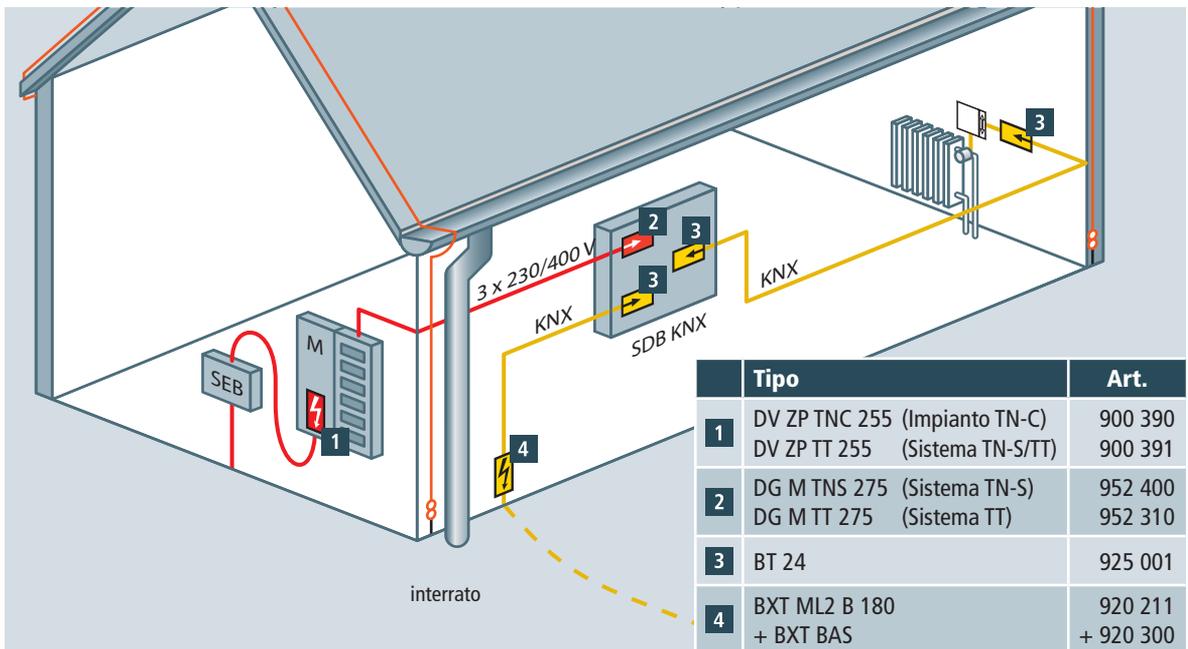


Figura 9.10.4 Collegamento equipotenziale antifulmine al punto di ingresso del cavo bus KNX nell'edificio; dispositivi di protezione contro le sovratensioni installati nel quadro di distribuzione del sistema KNX e presso l'attuatore del riscaldatore

un fulmine a distanza, è necessario installare dei limitatori di sovratensione (Figura 9.10.4).

Se il cavo del bus passa tra edifici diversi entro un condotto tubo metallico conduttore e schermato, messo a terra su entrambe le estremità, non va creato un collegamento equipotenziale antifulmine per il cavo KNX che si estende al di là degli edifici; bastano i limitatori di sovratensione (Figura 9.10.5).

Edificio privo di protezione antifulmine esterna

Se c'è il rischio di caduta di fulmini nelle vicinanze, è consigliabile installare degli scaricatori di corrente combinati nel punto di entrata nell'edificio, per proteggere il cavo di alimentazione entrante (Figura 9.10.6).

Indipendentemente dal punto di fulminazione, bisogna sempre installare dei dispositivi di protezione nel quadro dell'impianto KNX (Figura 9.10.6 e 9.10.7).

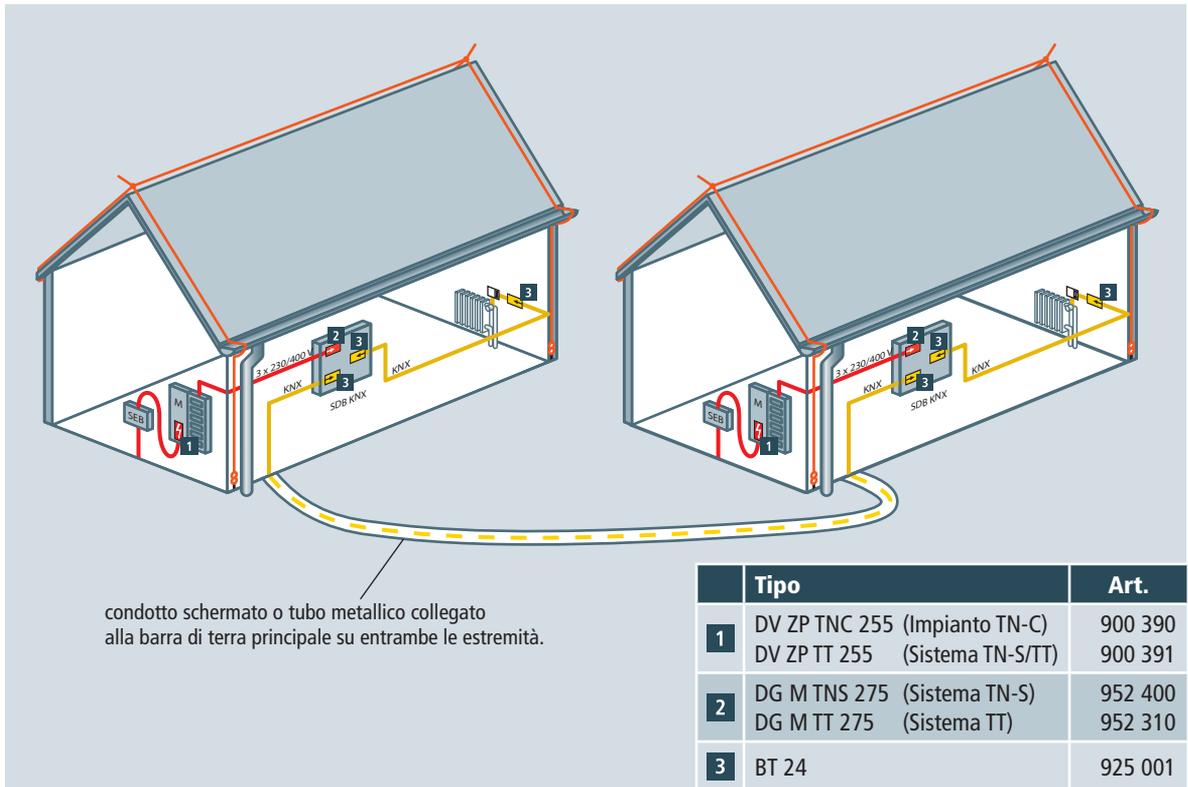


Figura 9.10.5 Non è necessario un collegamento equipotenziale antifulmine per l'estensione di zona del cavo KNX

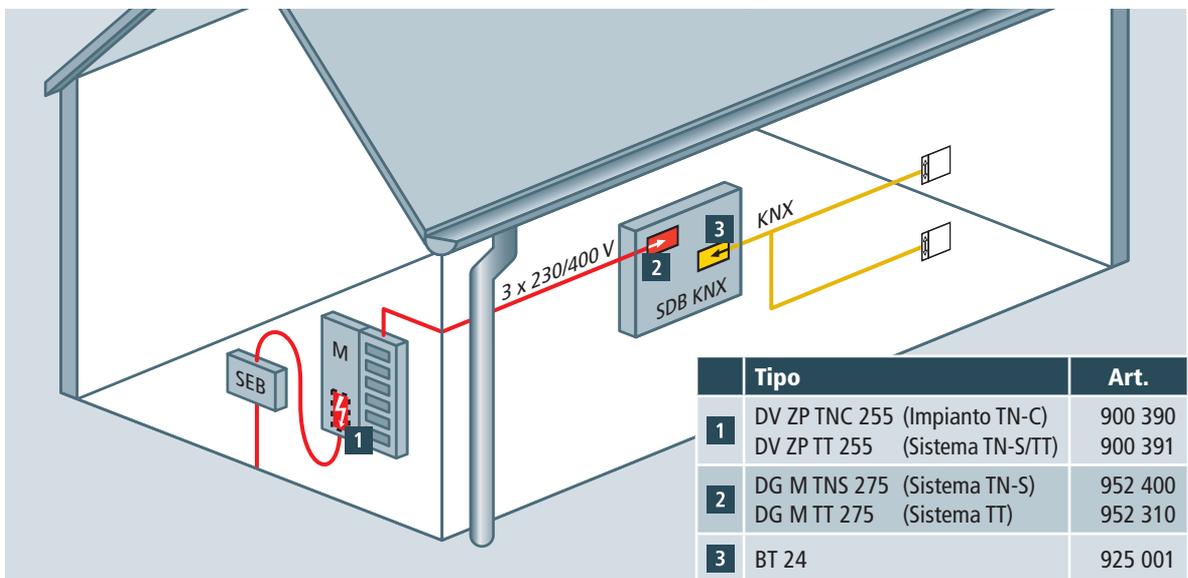


Figura 9.10.6 Scaricatori della corrente di fulmine installati nell'impianto di alimentazione principale e limitatori di sovratensione installati nel quadro di distribuzione del sistema KNX

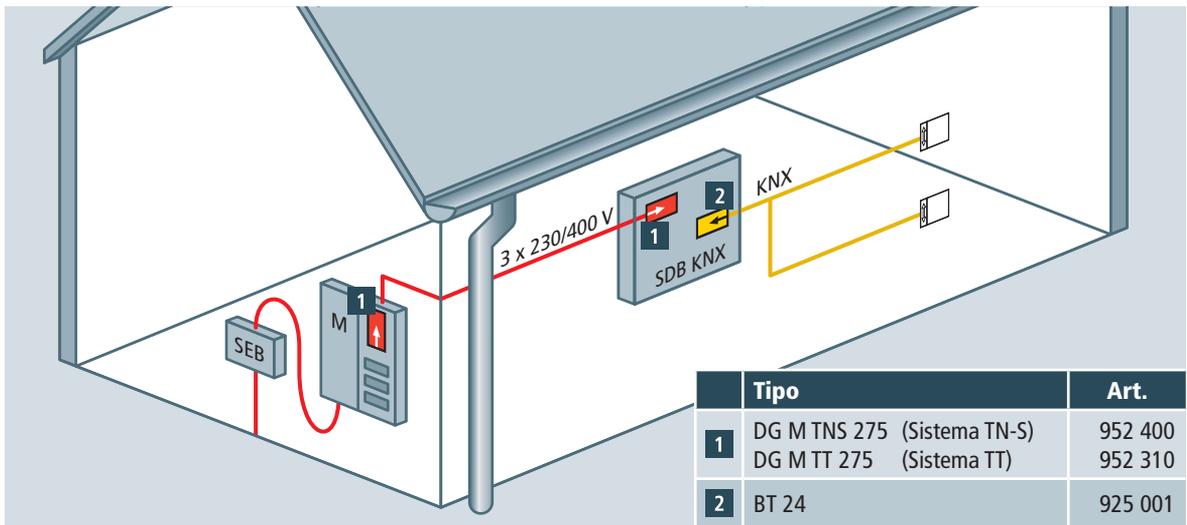


Figura 9.10.7 Dispositivi di protezione contro le sovratensioni installati presso il quadro di distribuzione principale e nel quadro di distribuzione del sistema KNX

A causa della loro elevata resistenza dielettrica, è improbabile che si verifichi la distruzione dei cavi bus di breve lunghezza con sensori isolati (ad esempio in una presa priva di dispositivi

messi a terra). In questo caso non è necessario installare dei limitatori di sovratensione direttamente sui dispositivi di bus (Figure 9.10.6 e 9.10.7).



Protezione contro le sovratensioni per reti ETHERNET e Fast Ethernet

Al momento attuale, la tecnologia Ethernet è quella più comunemente usata per la realizzazione delle reti locali. Il nome "Ether" (etere) si riferisce alle prime reti radio. Introdotta negli anni '80, la rete Ethernet 10 MBit faceva uso di cavi coassiali. Più tardi furono introdotte le reti Fast Ethernet a 100 MBit/s e Gigabit Ethernet a 1000 MBit/s e 10 GBit/s. Tutte le versioni Ethernet si basano sugli stessi principi. Dagli anni '90 in poi, Ethernet divenne la più diffusa tecnologia per le reti LAN (Local Area Network), sostituendo le altre tecnologie, come Token Ring e ARCNET. Il collegamento Ethernet avviene attraverso diversi tipi di cavi: coassiali a 50 Ω, doppi ritorti, cavi in fibra ottica, o altri. Attualmente, la velocità di trasmissione dati Ethernet è di solito 100 MBit/s. Tuttavia sono in aumento le reti a 1000 MBit/s.

Le sovratensioni possono causare malfunzionamenti e danni, e quindi guasti dei sistemi di elaborazione. Questo può influire in modo significativo sul funzionamento, con il risultato di lunghi periodi di arresto degli impianti e dei sistemi. Pertanto, per garantire un funzionamento affidabile dei sistemi di elaborazione, sono necessari i concetti di protezione contro le sovratensioni, oltre alla protezione dell'impianto di alimentazione e il backup periodico dei dati.

Cause di danni

I guasti negli impianti informatici sono causati tipicamente da:

- ➔ fulmini a distanza che causano impulsi transitori nelle reti di alimentazione, nelle reti dati o nelle linee di telecomunicazione,
- ➔ fulmini nelle vicinanze che causano campi elettromagnetici che iniettano impulsi transitori nelle reti di alimentazione, nelle reti dati o nelle linee di telecomunicazione,
- ➔ fulminazioni dirette, che iniettano differenze di potenziale e correnti parziali di fulmine non ammissibili negli impianti dell'edificio.

Cablaggio strutturato come mezzo di connessione uniforme

Il cablaggio strutturato è un mezzo di connessione uniforme per diversi servizi quali i telefoni analogici, le linee ISDN o le varie tecnologie di rete. Di conseguenza, gli impianti esistenti possono essere facilmente adattati alle nuove attività senza cambiare i cavi o le parti di collegamento. Un impianto con cablaggio strutturato prevede cavi universali e indipendenti dall'applicazione, che non sono ottimizzati per una specifica topologia di rete, produttore o prodotto. Il tipo di cavi e la loro topologia assicurano la possibilità di utilizzare tutti i protocolli attuali e futuri.

Un sistema di cablaggio universale consiste di tre diversi livelli gerarchici:

1. La **dorsale primaria** collega il quadro di distribuzione del distretto (un complesso di edifici) ai quadri di distribuzione dei singoli edifici. Nelle reti dati si impiegano principalmente cavi a fibre ottiche multimodali 50 μm/125 μm con una lunghezza massima di circa 1500 m (in caso di distanze > 2 km si utilizzano cavi a fibre ottiche monomodali).
2. La **dorsale dell'edificio** collega l'edificio ai quadri di distribuzione di piano. Anche in questo caso si impiegano principalmente cavi a fibre ottiche da 50 μm e cavi bilanciati da 100 ohm con una lunghezza di 500 m.
3. Il **cablaggio orizzontale** (quadro di piano) comprende tutti i cavi delle stazioni di lavoro del piano e non deve superare i 90 m. Si utilizzano di solito cavi in rame o in alcuni casi i cavi a fibre ottiche da 62,5 μm per collegare il quadro di piano con l'uscita delle telecomunicazioni.

Le interfacce tra queste aree si trovano nei quadri di distribuzione passiva. Questi quadri di distribuzione collegano la dorsale primaria, la dorsale dell'edificio e il cablaggio orizzontale dei sistemi di cablaggio universale. Essi consentono di avviare i servizi di comunicazione in una stazione di lavoro semplicemente connettendo dei cavi collegamento. I quadri di distribuzione per i cavi in fibra ottica (dorsale di distretto e dorsale dell'edificio) e i doppi ritorti (collegamento orizzontale) variano in base al numero di porte. Per esempio, si usano di solito 24 porte per i sistemi di cablaggio strutturati e 25 porte per impianti di telecomunicazione. I cavi sono installati in rack o armadi dati da 19".

Per i sistemi di cablaggio generico si utilizza la topologia a stella. Tutti i protocolli attualmente disponibili possono funzionare con topologie a stella, a prescindere dal fatto che essi costituiscano un anello logico o un sistema bus.

I sistemi di cablaggio strutturati collegano tutti gli apparecchi utilizzatori. Essi consentono la comunicazione tra telefoni, reti, sistemi di sicurezza, sistemi domotici, interconnessioni LAN e WLAN, nonché l'accesso alla rete intranet e internet. I sistemi di cablaggio generico garantiscono la flessibilità di impiego degli apparecchi utilizzatori. Si suppone che tutte le informazioni, quali i servizi di trasmissione dati, voce, televisione, automazione e controllo di macchine e impianti, verranno trasmesse via Ethernet per i prossimi anni e Ethernet diverrà così un concetto di trasmissione universale. Pertanto deve essere assicurata la compatibilità elettromagnetica (EMC).

Concetto di compatibilità elettromagnetica (EMC)

La compatibilità elettromagnetica è definita come la capacità di un dispositivo, in particolare di un impianto o un sistema, di funzionare correttamente nel suo ambiente elettromagnetico senza provocare interferenze inaccettabili per i dispositivi, gli impianti o i sistemi che si trovano in questo ambiente.

Per garantire il funzionamento continuo e senza problemi delle reti dati, pertanto, è indispensabile considerare da subito la EMC. Questo non riguarda solo i cavi dati della rete, ma anche l'intera infrastruttura elettrotecnica degli edifici e dei complessi edilizi dove va installata la rete nel suo insieme. Di conseguenza, è importante considerare le condizioni dell'ambiente elettromagnetico:

- ➔ ci sono potenziali fonti di interferenze elettromagnetiche, come ponti radio, stazioni base per la telefonia mobile, linee di assemblaggio o ascensori?
- ➔ qual è la qualità dell'energia elettrica (ad esempio armoniche, sfarfallamenti, cadute di tensione, sovratensioni, transitori)?
- ➔ cosa si può dire riguardo al rischio di un fulmine (ad esempio, la frequenza)?
- ➔ esiste la possibilità di emissioni?

Al fine di garantire le prestazioni delle reti dati, anche in vista delle maggiori esigenze previste per il futuro, bisogna prestare particolare attenzione alla compatibilità elettromagnetica dell'impianto. Pertanto, la progettazione di una rete dati deve comprendere un concetto di messa a terra e di collegamento equipotenziale in grado di fornire informazioni su:

- ➔ percorsi e condutture per cavi,
- ➔ struttura dei cavi,
- ➔ componenti attivi,
- ➔ protezione contro i fulmini,
- ➔ protezione delle linee di segnale,
- ➔ collegamento equipotenziale,
- ➔ protezione dalle sovratensioni.

Le misure più importanti per assicurare la compatibilità elettromagnetica e con essa la trasmissione dei dati senza disturbi sono:

- ➔ separazione in aria delle fonti note di interferenze elettromagnetiche (ad esempio stazioni di trasformazione, azionamenti degli ascensori) dai componenti informatici;
- ➔ uso di condotti metallici chiusi e messi a terra in caso di interferenze causate da forti trasmettitori radio e, se necessario, il collegamento dei dispositivi informatici solo tramite cavi a fibre ottiche;
- ➔ utilizzo di circuiti separati per i dispositivi informatici, adozione di filtri contro i disturbi e gruppi di continuità per l'alimentazione, se necessario;
- ➔ evitare assolutamente di posare le linee di alimentazione e le linee dati dei dispositivi informatici parallelamente alle linee di alimentazione di forti carichi (a causa del rischio di sovratensioni di commutazione durante la com-

mutazione dei carichi) e delle fonti di interferenza note (ad esempio controllori a tiristori);

- ➔ utilizzare cavi dati schermati messi a terra su entrambe le estremità (**Figura 9.11.1**); i cavi di collegamento e di connessione devono essere integrati nel concetto di schermatura;
- ➔ integrazione dell'armatura (ammagliatura) nel sistema equipotenziale (**Figura 9.11.2**) per gli involucri di metallo e le protezioni (ad esempio i supporti e le condutture dei cavi);
- ➔ i cavi schermati per trasmissione dati e le linee di alimentazione devono utilizzare lo stesso condotto nella dorsale dell'edificio; evitare l'installazione in condotti separati opposti l'uno all'altro; non superare la distanza di 20 cm tra questi due diversi tipi di cavi;

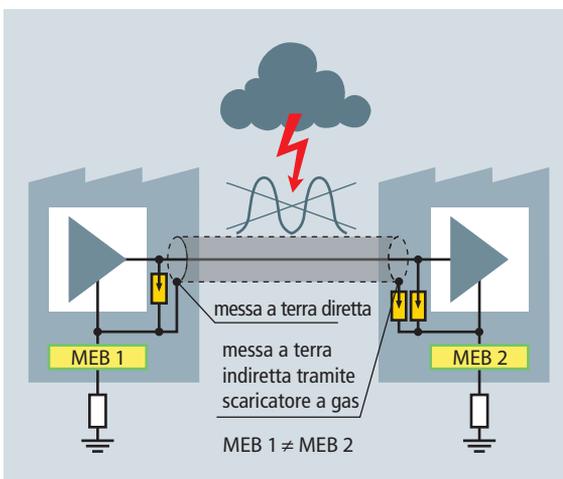


Figura 9.11.1 Collegamento della schermatura su entrambe le estremità - Schermatura contro l'accoppiamento capacitivo/induttivo e messa a terra diretta e indiretta della schermatura per evitare correnti di compensazione

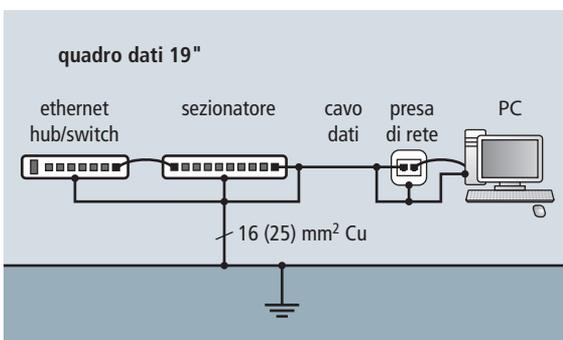


Figura 9.11.2 Collegamento equipotenziale di un impianto con cavi schermati

- ➔ le linee di alimentazione per i dispositivi e le relative linee di dati devono passare lungo lo stesso percorso; separare i cavi con dei pettini fissacavi; nell'area orizzontale si consiglia di mantenere una distanza di max. 10 cm tra queste linee;
- ➔ se viene installato sull'edificio un impianto di protezione antifulmine, vanno rispettate le distanze di isolamento delle linee dati (e delle linee di alimentazione) rispetto agli elementi della protezione contro i fulmini esterna (cattori e calate); le linee dati e le linee di alimentazione non devono essere disposte parallelamente alle calate della protezione contro i fulmini esterna;
- ➔ utilizzare cavi a fibre ottiche per collegare dispositivi informatici che si trovano in edifici diversi (dorsali di distretto);
- ➔ installare dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni nei circuiti di alimentazione e nel cablaggio orizzontale, per proteggerli dai transitori causati da operazioni di commutazione e scariche atmosferiche (**Figure 9.11.3 e 9.11.4**);
- ➔ preferire impianti di rete di tipo TN-S, per evitare correnti di interferenza nelle schermature delle linee dati;
- ➔ stabilire un collegamento equipotenziale di protezione (principale) con l'impianto di rete (PEN) in un punto dell'edificio (ad esempio, al punto di ingresso dei cavi di rete).

Al fine di garantire un'adeguata protezione EMC, inoltre, è importante scegliere una corrente di fulmine e dei limitatori di sovratensione adeguati ai sistemi informatici e per familiarizzarsi con il loro effetto protettivo.



Figura 9.11.3 Dispositivo di protezione NET - Dispositivo di protezione universale contro le sovratensioni per la protezione delle linee dati del quadro di piano (adatto anche per reti di classe D)

Effetto protettivo degli scaricatori per i sistemi informatici

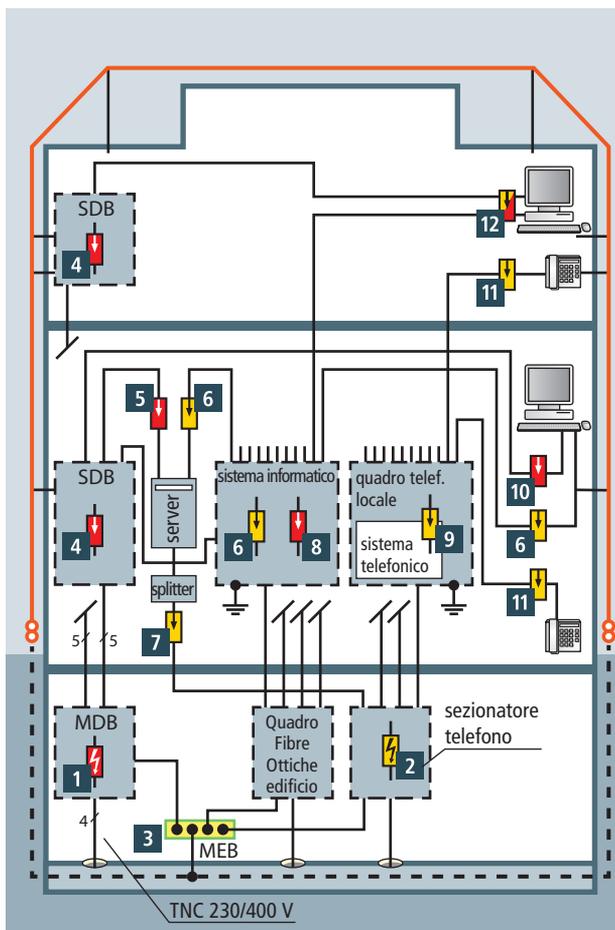
Per verificare la compatibilità elettromagnetica (EMC), le apparecchiature elettriche ed elettroniche (dispositivi) devono possedere una definita immunità nei confronti delle interferenze trasmesse (picchi di sovratensione).

Differenti condizioni dell'ambiente elettromagnetico richiedono diversi livelli di immunità dei dispositivi. Il livello di immunità di un dispositivo dipende dal livello di prova. Per definire i diversi livelli di immunità dei dispositivi terminali, i livelli sono suddivisi in quattro diversi livelli da 1 a 4. Il livello di prova 1 definisce i requisiti minimi per l'immunità di un dispositivo terminale. Il livello di prova si trova normalmente nella documentazione tecnica del dispositivo oppure si può richiedere al produttore del dispositivo.

Per i sistemi informatici bisogna limitare le interferenze trasmesse a un livello accettabile, in modo da non superare il livello di immunità dei dispositivi. Per esempio, bisogna selezionare uno scaricatore avente un'energia passante inferiore al valore di prova EMC del dispositivo terminale di livello 2: tensione impulsiva < 1 kV in combinazione con una corrente impulsiva di qualche ampere (a seconda del tipo di iniezione). A seconda dell'applicazione e del tipo di progettazione, le interfacce informatiche dei dispositivi utilizzatori presentano diversi livelli di immunità. Quando si seleziona un adeguato limitatore, non sono importanti solo i parametri del sistema, ma anche il fatto che esso sia in grado di proteggere il dispositivo utilizzatore. Al fine di facilitare la selezione, è stata sviluppata un'indicazione distintiva della classe SPD per la famiglia di prodotti Yellow/Line. Insieme con la documentazione del dispositivo terminale, questa indicazione fornisce informazioni precise circa l'adeguatezza dello scaricatore per



Figura 9.11.4 DEHNprotector - Dispositivo di protezione universale contro le sovratensioni per la protezione delle linee di rete e delle linee dati di una stazione di lavoro



	SPD	Tipo	Art.
1	DEHNventil	DV M TNC 255	951 300
2	Involucro equipotenziale	DPG LSA ... P	906 10...
	Striscia di sezionamento	TL2 10DA LSA	907 996
	DEHNrapid LSA	DRL 10 B 180 FSD	907 401
	Telaio di messa a terra	EF 10 DRL	907 498
	DEHNrapid LSA	DRL PD 180	907 430
3	Barra equipotenziale	K12	563 200
4	DEHNguard modulare	DG M TNS 275	952 400
5	DEHNrail modulare	DR M 2P 255	953 200
6	DEHNpatch	DPA M CAT6 RJ45H 48	929 110
7	DEHNlink (a monte dello splitter)	DLI TC 2 I	929 028
8	SFL-Protector	SFL PRO 6X 19"	909 251
	NET Protector per doppini 8 x 2	NET PRO TC 2 LSA	929 072
9	Involucro 19"	EG NET PRO 19"	929 034
	DEHNflex M	DFL M 255	924 396
11	Modulo di protezione telefonico	DSM TC 2 SK	924 272
12	DEHNprotector	DPRO 230 LAN100	909 321

Figura 9.11.5 Edificio amministrativo dotato di impianti con elevata richiesta di disponibilità

il dispositivo utilizzatore (coordinamento energetico reciproco).

I limitatori correttamente dimensionati proteggono in modo appropriato i dispositivi utilizzatori contro i picchi di tensione e di potenza, aumentando così la disponibilità dell'impianto.

Le reti ad alta frequenza, più sensibili alle interferenze, si stanno sempre più affermando come le più moderne reti di comunicazione. Pertanto, per garantire il buon funzionamento della rete, è necessario un concetto EMC coerente che

comprenda anche la protezione contro i fulmini e le sovratensioni degli edifici e degli impianti (Figura 9.11.5).

Scelta dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni

Per garantire un'efficace protezione contro le sovratensioni, gli elettricisti e gli esperti informatici devono coordinare le misure adottate per i diversi sistemi in collaborazione con il costruttore del dispositivo. Pertanto nei progetti di grandi dimensioni vanno coinvolti degli esperti (ad esempio dei consulenti tecnici).



Protezione da sovratensioni per M-Bus

La funzione di un M-bus (meter-bus, dall'inglese "meter", cioè apparecchio di misura, contatore) è quella di trasmettere le letture dei contatori dei consumi energetici. I dati possono essere letti da tutti i dispositivi collegati a un sistema M-bus, direttamente sul posto o tramite il trasferimento dei dati a una sala di controllo esterna. Questo sistema può migliorare la qualità di vita dei residenti e permette di controllare il consumo di energia di un intero edificio in qualsiasi momento.

Il sistema M-Bus viene utilizzato per la contabilizzazione dei costi di consumo e per il controllo a distanza di:

- ➔ sistemi di teleriscaldamento e impianti di riscaldamento condominiali, nonché
- ➔ edifici condominiali.

La lettura dei contatori dell'energia elettrica può avvenire attraverso sistemi centralizzati o decentrati.

Se i contatori si trovano nelle immediate vicinanze del quadro generale dell'impianto, è preferibile un sistema centralizzato,

semplice ed economico. In questo caso viene effettuato un collegamento a stella tra ciascun contatore e il quadro centrale. In caso di sistema decentrato, i dati dei contatori installati in loco vengono prima raccolti in sottostazioni e poi inviati attraverso la linea bus al quadro centrale.

Come mostrato nella **Figura 9.12.1**, un'unità centrale (master), che nel caso più semplice è un PC con un convertitore di livello a valle, comunica con i dispositivi bus tramite una linea bus. L'installazione può essere suddivisa in segmenti M-bus tramite ripetitori M-bus. Possono essere collegati fino a 250 dispositivi slave per segmento, come contatori del consumo di calore, dell'acqua, dell'energia elettrica, del gas, nonché sensori e attuatori di qualsiasi tipo. Sempre più costruttori implementano l'interfaccia M-Bus e il relativo protocollo nei contatori di consumo.

Il sistema M-Bus è un sistema bus a due fili alimentato dal bus-master. Tutti gli altri dispositivi del sistema M-bus non

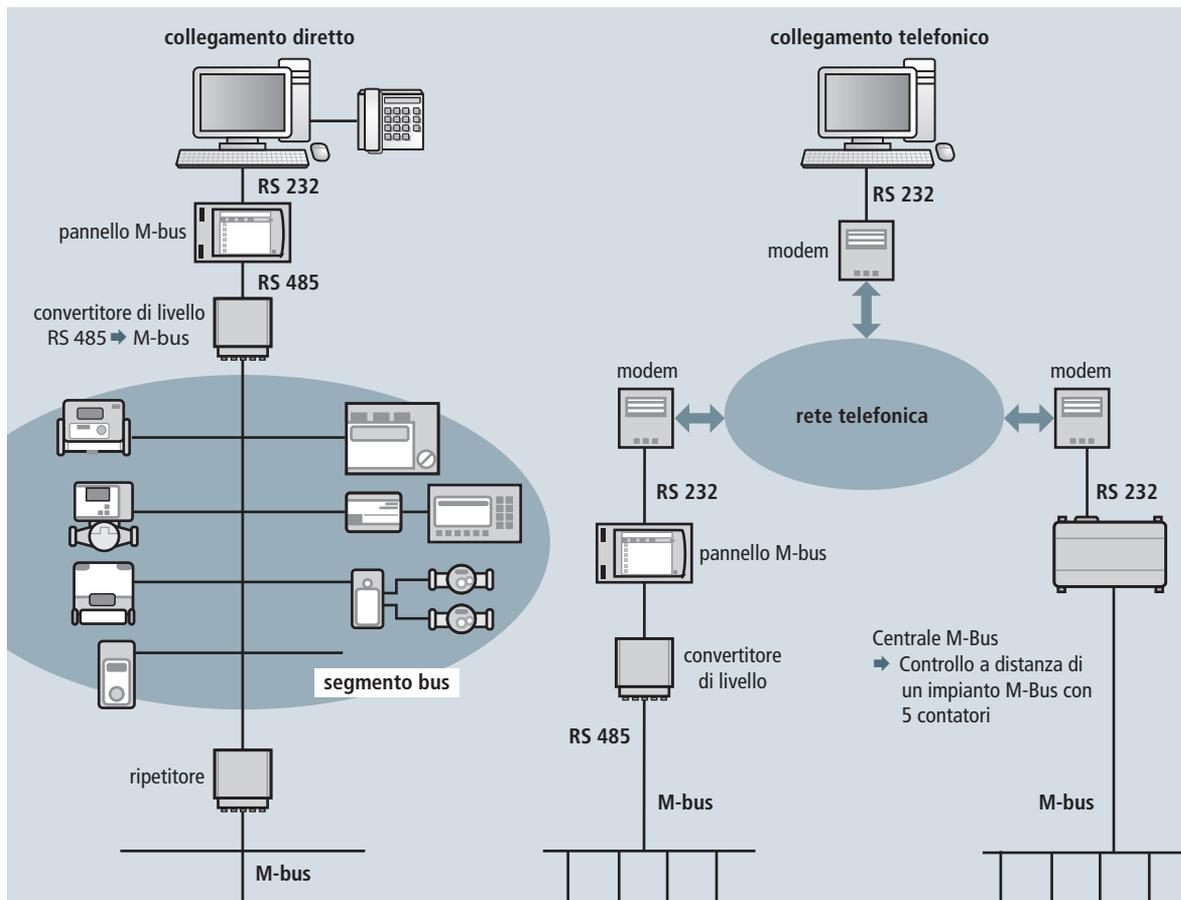


Figura 9.12.1 Esempio di un sistema M-bus

Linea J-Y (ST) Y...x 0,8	Numero di dispositivi del bus	Corrente per ogni dispositivo bus	Massima caduta di tensione
0,8 km	60	p.es. 1,5 mA	5,4 V

Tabella 9.12.1 Massima caduta di tensione sulla linea bus

Velocità di trasmissione (baud)	Max. capacità di bus a 9600 baud	Capacità totale dei dispositivi del bus + linea
9600	100 nF	60 metri + 0,8 km J-Y (ST) Y... · 0,8 60 · 1 nF + 0,8 km · 50 nF/km

Tabella 9.12.2 Velocità massima di trasmissione a seconda dei dispositivi del bus (in questo caso contatori) e la capacità della linea

Limitatore di sovratensione	Art.	Capacità tra i conduttori	Impedenza in serie per conduttore
BLITZDUCTOR XT BXT ML2 BD S 48	920 245	0,7 nF	1,0 Ω
BLITZDUCTOR XT BXT ML2 BE S 24	920 224	0,5 nF	1,8 Ω
BLITZDUCTOR XT BXT ML2 BE S 5	920 220	2,7 nF	1,0 Ω
DEHNconnect DCO SD2 MD 48	917 942	0,6 nF	1,8 Ω
DEHNconnect DCO SD2 ME 24	917 921	0,5 nF	1,8 Ω
DEHNconnect DCO SD2 E 12	917 987	1,2 nF	—

Tabella 9.12.3 Valori relativi a capacità e impedenza in serie dei dispositivi di protezione da sovratensioni

vanno collegati a terra durante il funzionamento. La tensione massima del bus è 42 V.

Le linee, i dispositivi M-bus e i circuiti di protezione, costituiscono un carico per il segmento M-bus, a causa delle loro resistenze e capacità, e ciò influenza la lunghezza e la velocità di trasmissione (baud rate) della linea M-bus.

Una centralina M-bus ha una corrente di riposo di circa 375 mA (con 250 carichi standard da 1,5 mA ciascuno) che alimenta diversi dispositivi M-bus con diversi carichi standard (ad esempio, tre carichi standard sono pari a 4,5 mA). La sezione delle linee in rame e la somma delle cadute di tensione nelle sezioni parziali fino al relativo dispositivo bus definiscono la lunghezza massima della linea M-bus (**Tabella 9.12.1**).

Un altro aspetto è la dipendenza della velocità di trasmissione massima dalla capacità totale del segmento di bus. Questo aspetto viene illustrato sulla base di un M-bus con una capacità di 100 nF alla velocità di trasmissione di 9600 baud.

- ➔ Tipo di linea J-Y (ST) Y... x 0,8
- ➔ Circa 75 Ω/km, circa 50 nF/km per l'M-bus, prendendo ad esempio dei contatori, circa 1 nF, circa 1,5 mA (**Tabella 9.12.2**).

Se si utilizzano dei dispositivi di protezione, bisogna osservare la loro resistenza in serie e la capacità tra i loro conduttori per rispettare la velocità di trasmissione (**Tabella 9.12.3**).

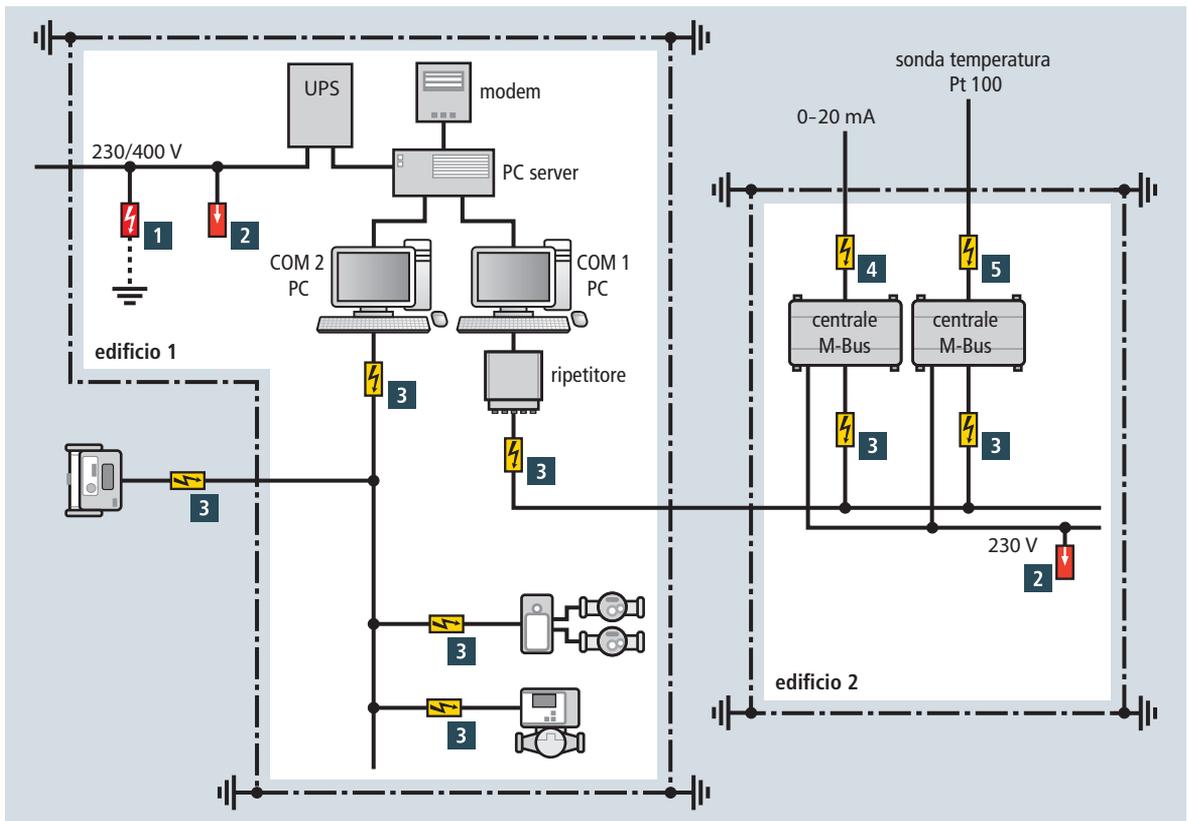
Edificio dotato di protezione contro i fulmini esterna

Se un edificio è dotato di protezione contro i fulmini esterna, si richiede l'equipotenzialità antifulmine.

Tutti i cavi degli impianti di alimentazione e informatici che entrano o escono dall'edificio sono collegati al sistema equipotenziale antifulmine attraverso gli scaricatori della corrente di fulmine. La **Figura 9.12.2** mostra un esempio di protezione contro le correnti di fulmine e le sovratensioni per un sistema M-bus interconnesso.

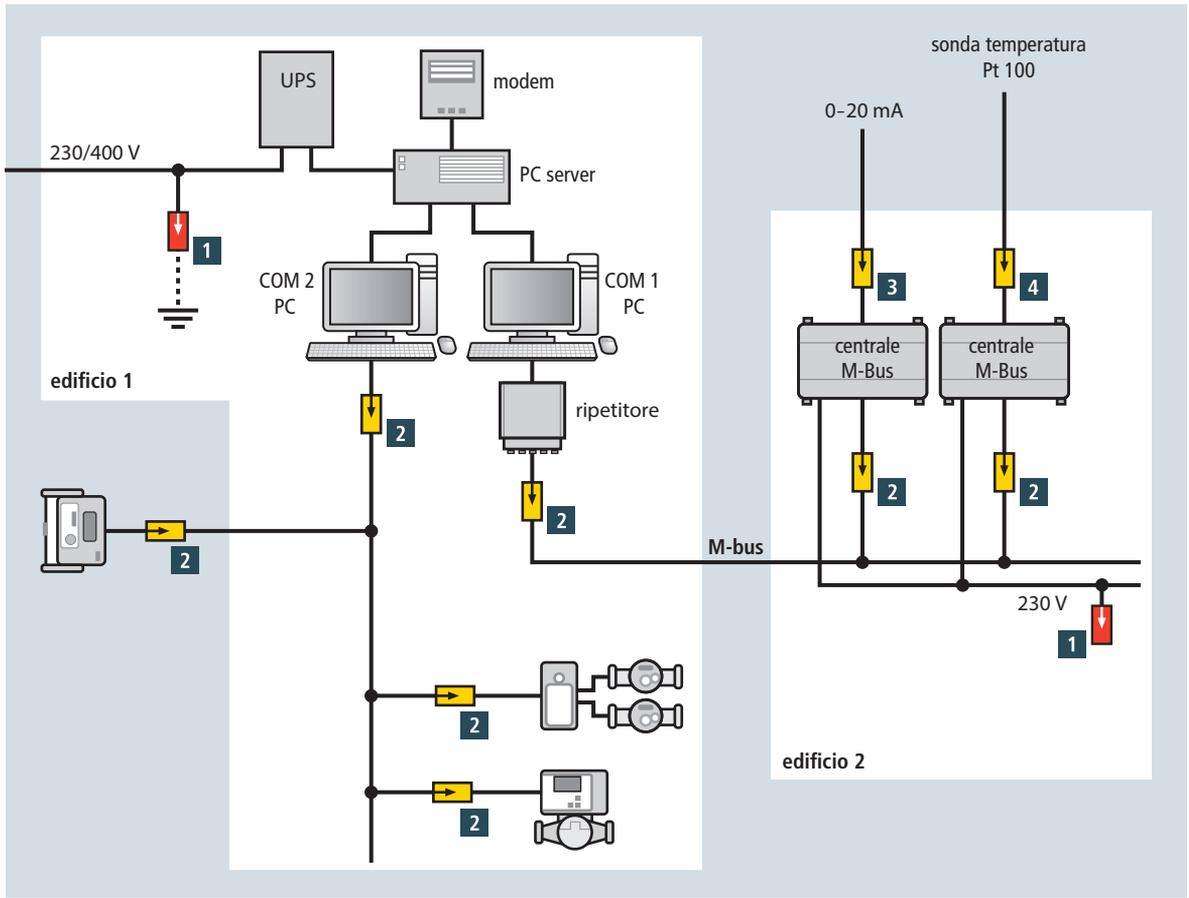
Edificio privo di protezione contro i fulmini esterna

Se non è installata una protezione contro i fulmini esterna, sono i dispositivi di protezione contro le sovratensioni a proteggere gli impianti elettrici. La **Figura 9.12.3** mostra un esempio di come proteggere un sistema M-bus dalle sovratensioni.



Pos.	Protezione per...	Limitatore di sovratensione	Art.
Selezione di scaricatori combinati secondo la configurazione del sistema (nel quadro di distribuzione principale accanto al punto di entrata nell'edificio)			
1	Impianto trifase TN-C	DEHNventil DV M TNC 255	951 300
	Impianto trifase TN-S	DEHNventil DV M TNS 255	951 400
	Impianto trifase TT	DEHNventil DV M TT 255	951 310
Dispositivi di protezione contro le sovratensioni per la tensione di rete			
2	Impianto trifase TN-S	DEHNguard DG M TNS 275	952 400
	Impianto trifase TT	DEHNguard DG M TT 275	952 310
	Impianto C.A. TN	DEHNguard DG M TN 275	952 200
	Impianto C.A. TT	DEHNguard DG M TT 2P 275	952 110
Dispositivi di protezione contro le sovratensioni per le interfacce di segnale			
3	M-bus	BLITZDUCTOR XT BXT ML2 BD S 48 + basetta BXT BAS	920 245 + 920 300
4	0-20 mA	BLITZDUCTOR XT BXT ML2 BE S 24 + basetta BXT BAS	920 224 + 920 300
5	Sonda temperatura PT 100	BLITZDUCTOR XT BXT ML2 BE S 5 + basetta BXT BAS	920 220 + 920 300

Figura 9.12.2 Concetto di protezione per sistema M-Bus per edifici dotati di protezione contro i fulmini esterna



Pos.	Protezione per...	Limitatore di sovratensione	Art.
Dispositivi di protezione contro le sovratensioni per la tensione di rete			
1	Impianto trifase TN-S	DEHNguard DG M TNS 275	952 400
	Impianto trifase TT	DEHNguard DG M TT 275	952 310
	Impianto C.A. TN	DEHNguard DG M TN 275	952 200
	Impianto C.A. TT	DEHNguard DG M TT 2P 275	952 110
Dispositivi di protezione contro le sovratensioni per le interfacce di segnale			
2	M-bus	DEHNconnect DCO SD2 MD 48	917 942
3	0-20 mA	DEHNconnect DCO SD2 ME 24	917 921
4	Sonda temperatura PT 100	DEHNconnect DCO SD2 E 12	917 987

Figura 9.12.3 Concetto di protezione per sistema M-Bus per edifici privi di protezione contro i fulmini esterna



**Protezione da sovratensioni
per PROFIBUS FMS,
PROFIBUS DP e
PROFIBUS PA**

I sistemi PROFIBUS richiedono una disponibilità molto elevata, perché sono utilizzati sia come sistemi di comunicazione nel controllo di processo, sia come mezzo di trasmissione tra varie zone e oggetti del sistema. Tuttavia i sistemi PROFIBUS sono assai sensibili all'accoppiamento induttivo/capacitivo, a causa delle loro ampie estensioni.

PROFIBUS è la denominazione assegnata da Siemens ai prodotti di comunicazione (hardware e software) conformi allo standard PROFIBUS (Process Field Bus). Denominazioni alternative per PROFIBUS FMS e Profibus DP sono le denominazioni di prodotto Siemens SINEC L2 e SINEC L2-DP. Mentre il PROFIBUS FMS è utilizzato solo per velocità di trasmissione dati fino a 500 kBit/s, il PROFIBUS DP è in grado di trasmettere dati con velocità fino a 12 Mbit/s. Il PROFIBUS FMS (SINEC L2) viene usato soprattutto per trattare grandi quantità di dati nella gestione di processi e di gruppi. Il veloce

PROFIBUS DP è concepito invece per applicazioni in sistemi realizzati con PLC decentrati.

Il più recente sviluppo nel segmento PROFIBUS è il PROFIBUS-PA a sicurezza intrinseca, utilizzabile anche negli ambienti con rischio di esplosione

Come mezzo di trasmissione si utilizza di solito un cavo bus a due fili. Le caratteristiche fisiche del sistema bus corrispondono essenzialmente allo standard RS 485.

Il collegamento delle utenze del bus può avvenire in diversi modi:

- ➔ collegamento attraverso connettore D-Subminiaturizzato a 9 poli (assegnazione tipica dei Pin 3/8),
- ➔ collegamento tramite morsetti a vite,
- ➔ collegamento tramite morsetti bus.

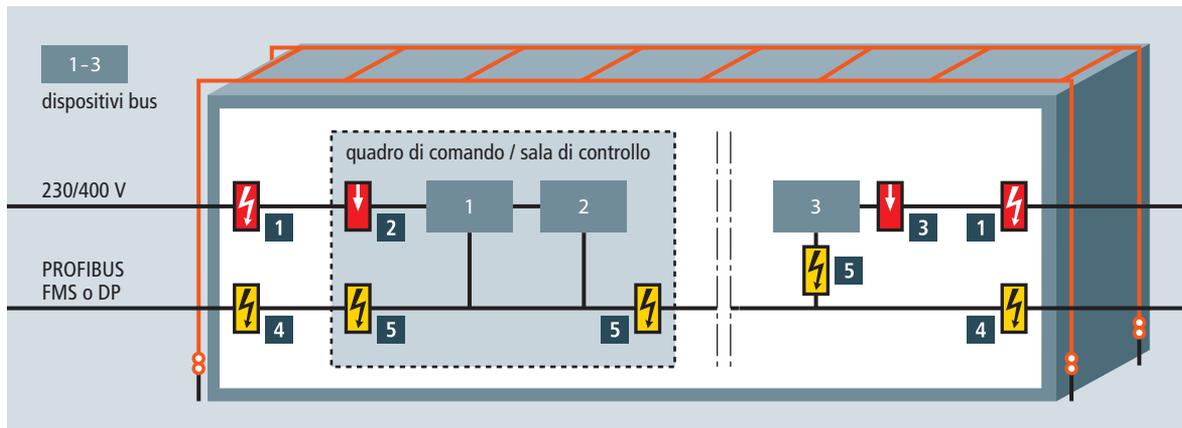


Figura 9.13.1 PROFIBUS FMS o DP che si estende al di là un edificio dotato di protezione contro i fulmini esterna

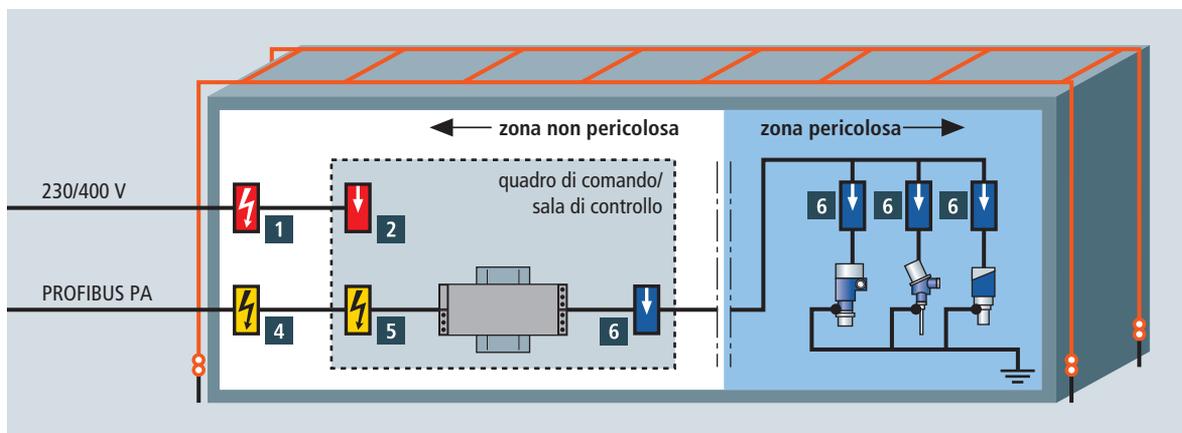


Figura 9.13.2 Bus a sicurezza intrinseca PROFIBUS PA in un edificio dotato di protezione contro i fulmini esterna

Num. nelle Fig. 9.13.1 e 2	Protezione per...	Limitatore di sovratensione	Art.
1	Impianto trifase TN-S Impianto trifase TT	DEHNventil DV M TNS 255 DEHNventil DV M TT 255	951 400 951 310
2	Impianto trifase TN-S Impianto trifase TT	DEHNguard DG M TNS 275 DEHNguard DG M TT 275	952 400 952 310
3	Alimentazione 230 V Alimentazione 24 V c.c.	DEHNrail DR M 2P 255 DEHNrail DR M 2P 30	953 200 953 201
4	PROFIBUS	BLITZDUCTOR XT BXT ML2 B 180 + basetta BXT BAS	920 211 920 300
5	PROFIBUS	BLITZDUCTOR XT BXT ML2 BE HFS 5 + basetta BXT BAS	920 270 920 300
6	PROFIBUS in zona pericolosa	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BD EX 24 + basetta BXT BAS EX o DEHNpipe DPI MD EX 24 M 2	920 381 920 301 929 960

Tabella 9.13.1 scaricatori della corrente di fulmine e limitatori di sovratensione per bus a sicurezza intrinseca PROFIBUS PA, PROFIBUS FMS e DP

Edificio dotato di protezione contro i fulmini esterna

Se un edificio possiede una protezione esterna contro i fulmini, deve essere realizzato il collegamento con l'equipotenzialità antifulmine. A tal fine, si collega l'impianto di terra contro i fulmini con le tubazioni, le installazioni metalliche e i componenti messi a terra posti all'interno dell'edificio e dell'impianto. Inoltre devono essere inserite nell'equipotenzialità antifulmine tutte le parti messe a terra degli impianti di alimentazione e informatici (Figure 9.13.1 e 9.13.2).

Oltre al sistema equipotenziale antifulmine, ulteriori misure per la protezione degli impianti elettrici e dei sistemi sono le misure di protezione contro le sovratensioni.

Queste misure in aggiunta al collegamento equipotenziale antifulmine, se correttamente installate, permettono di proteggere l'impianto elettrico e i sistemi anche in caso di fulminazione diretta.

Edificio privo di protezione contro i fulmini esterna

Se non è presente una protezione contro i fulmini esterna, le utenze bus devono essere connesse a dei limitatori di sovratensione. In questo caso è possibile evitare l'uso degli scaricatori di corrente di fulmine sui conduttori di alimentazione e informatici (non sono richiesti scaricatori 1 e 4).



Protezione da sovratensioni per utenze di telecomunicazione

Oltre alle linee di alimentazione, le linee di telecomunicazione sono quelle più importanti. Nei processi ad alta tecnologia degli impianti industriali e degli uffici, è di importanza vitale al giorno d'oggi disporre di un'interfaccia con il "mondo esterno" in grado di funzionare senza interruzioni.

Le reti di telecomunicazione si estendono spesso per diversi km². Pertanto è abbastanza probabile che su reti tanto estese siano iniettate delle sovratensioni.

Il sistema più sicuro per proteggere una struttura dalle conseguenze negative dei fulmini è l'installazione di un impianto di protezione contro i fulmini, comprendente misure di protezione contro i fulmini esterne ed interne.

Rischi

Le linee di collegamento verso la centrale telefonica urbana così come il cablaggio all'interno dell'esercizio vengono eseguiti con cavi in rame a schermatura ridotta. Poiché le linee entranti si estendono attraverso vari edifici, si possono creare delle differenze di potenziale elevate tra gli impianti dell'edificio e le linee entranti. Bisogna quindi attendersi un aumento di potenziale dei conduttori per effetto dell'accoppiamento galvanico e induttivo. Se sono disposte in parallelo delle linee di alta e bassa potenza, le sovratensioni di commutazione della rete elettrica possono anche causare guasti che interferiscono con le linee a bassa potenza.

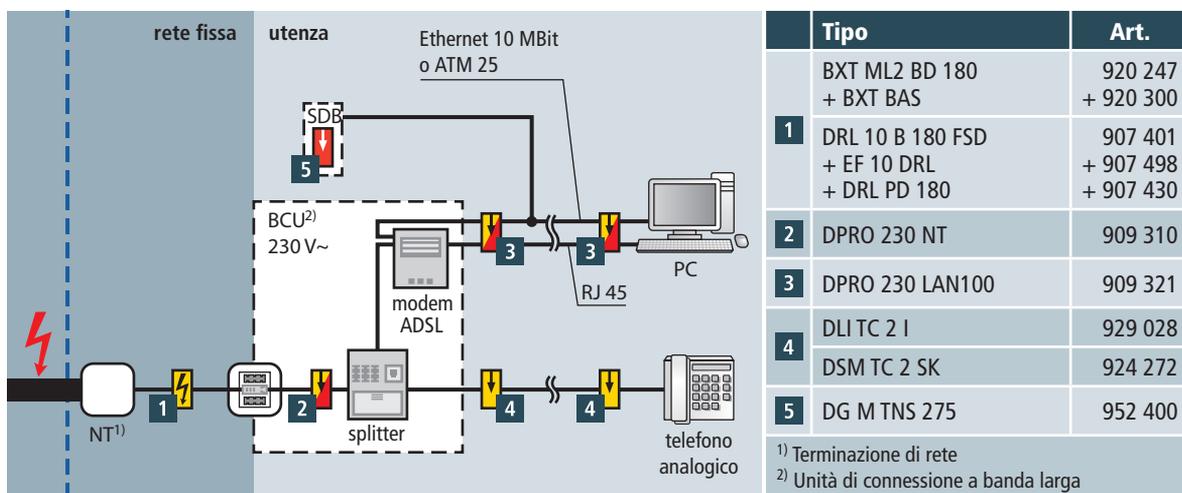


Figura 9.14.1 Protezione contro i fulmini e le sovratensioni per ADSL con terminale analogico

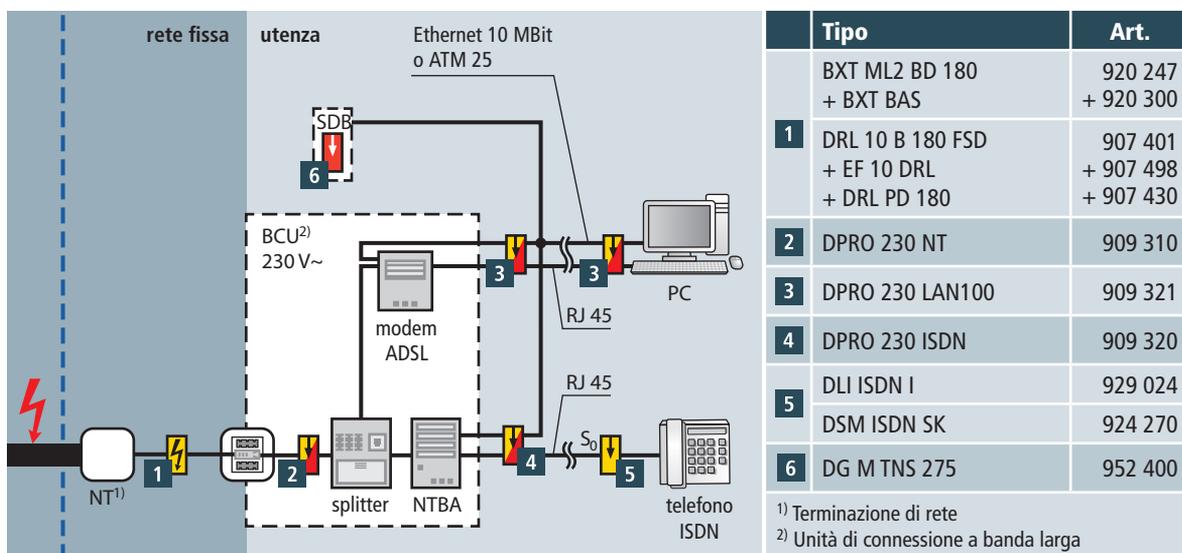


Figura 9.14.2 Protezione contro i fulmini e le sovratensioni per allacciamento ISDN e ADSL

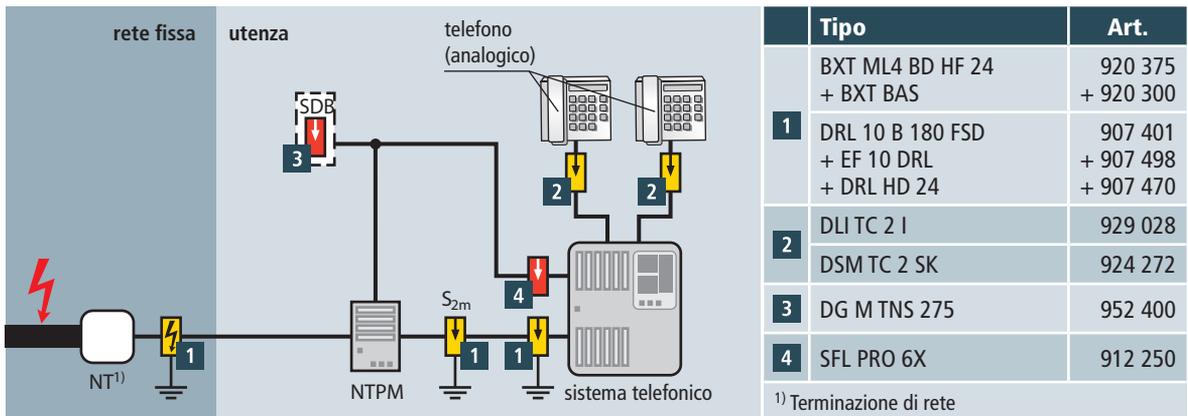


Figura 9.14.3 Protezione da sovratensioni per impianti di telecomunicazione con "ISDN multiplex primario"

Protezione contro le sovratensioni per la connessione ADSL

Oltre al collegamento telefonico tradizionale, un collegamento ADSL ha bisogno, a seconda della variante di accesso, di una scheda di rete o ATM nel PC e uno speciale modem ADSL più uno splitter per la separazione del traffico telefonico e da quello dati. Il collegamento telefonico può essere eseguito a scelta come collegamento analogico o ISDN.

Lo splitter separa il segnale vocale analogico o il segnale ISDN digitale dai dati ADSL tenendo conto di tutti i parametri di sistema importanti, come impedenze, attenuazioni, livelli ecc. Esso svolge quindi la funzione di un separatore di reti. Lo splitter è collegato sul lato entrata con la borchia telefonica. Sul lato in uscita, mette a disposizione del modem ADSL i segnali a frequenza più alta della banda ADSL, e controlla la comunicazione nella zona di bassa frequenza con la NT oppure l'apparecchio utilizzatore analogico.

Il modem ADSL è collegato al PC tramite cavo Ethernet (10 MBit/s), ATM25 o interfaccia USB e richiede una tensione alternata di alimentazione a 230 V (Figura 9.14.1 e 9.14.2).

Protezione contro le sovratensioni per la connessione ISDN

Il sistema ISDN (integrated service digital network) integra diversi servizi in una rete pubblica. Con la trasmissione digitale possono essere inviati voce e dati. Un terminale di rete (NT) è il punto di consegna per l'utente, anch'esso alimentato a 230 V C.A.

La Figura 9.14.2 mostra i dispositivi di protezione contro le sovratensioni per una connessione ISDN.

Protezione contro le sovratensioni per il multiplexing primario

Il collegamento multiplex primario (NTPM) possiede 30 canali B ognuno con 64 kBit/s e un canale D con 64 kBit/s per la sincronizzazione, con velocità di trasmissione dati fino a 2 Mbit/s. Il collegamento NT viene alimentato dall'interfaccia U_{2m} . L'interfaccia del dispositivo è denominata S_{2m} . Su questa interfaccia possono essere allacciati grandi impianti con numerosi apparecchi derivati oppure collegamenti dati con elevato volume di dati. La Figura 9.14.3 mostra i dispositivi di protezione contro le sovratensioni per tale collegamento. Il collegamento NTPM viene anche fornito con 230 V c.a. sul lato di alimentazione.



Protezione contro le sovratensioni per lampioni a LED

I lampioni a LED per l'illuminazione di strade, marciapiedi e spazi aperti montano dei corpi illuminanti a diversi metri di altezza per garantire un ampio campo di illuminazione. Questo, tuttavia, è possibile solo se il flusso della sorgente luminosa è sufficientemente elevato, cosa che non è un problema per i moderni LED ad alta efficienza. La loro lunga durata, la bassa sensibilità alla temperatura e le impostazioni personalizzabili per diversi scenari di illuminazione li rende economicamente convenienti e rispettosi dell'ambiente.

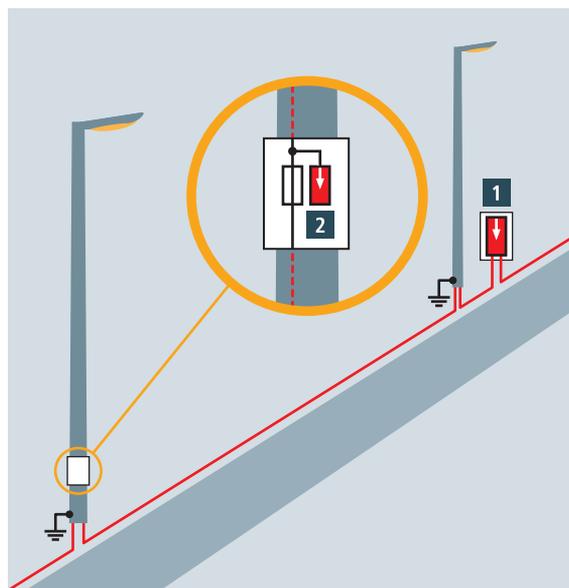
I lampioni a LED eccellono per le seguenti caratteristiche:

- ➔ alta efficienza luminosa, fino a 110 lm/W,
- ➔ la distribuzione della luce può essere facilmente adattata agli obiettivi desiderati grazie a vari tipi di lente,
- ➔ diversi colori e temperature di colore della luce,
- ➔ i LED hanno una durata compresa tra le 50.000 e 100.000 ore, a seconda della corrente di funzionamento,
- ➔ la dipendenza del flusso luminoso dei LED dalla temperatura varia di poco ed è ad esempio pari al 115% a -30 °C e al 95% a 40 °C,
- ➔ gli scenari di illuminazione (per esempio flusso luminoso, tempi di lavoro, illuminazione al tramonto) si possono impostare tramite i driver dei LED,
- ➔ in alcuni casi, si possono impostare singoli scenari tramite una interfaccia 1-10 V o DALI,
- ➔ i LED sono la soluzione ideale per i sistemi di illuminazione di sicurezza, grazie al loro elevato flusso luminoso e all'assenza del ritardo di accensione.

In pratica si utilizzano vari tipi di lampioni a LED. Di solito tutte le plafoniere sono in metallo, indipendentemente dal fatto che i lampioni LED abbiano un "isolamento doppio o rinforzato" (precedente classe II) o una "disconnessione automatica dell'alimentazione" (precedentemente classe I), secondo la norma IEC 60364-4-41 (HD 60364-4 -41). L'alloggiamento metallico del lampione LED dissipa il calore prodotto attraverso una vasta superficie.

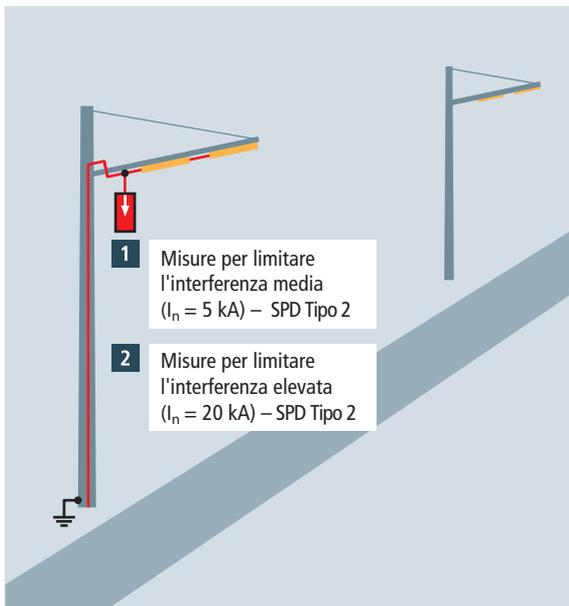
Il lampione è spesso di metallo e la tensione di alimentazione passa attraverso un cavo posto internamente al lampione stesso. Nella parte inferiore dei lampioni di piccole dimensioni si trova un vano apribile per mezzo di attrezzi. Un tubo flessibile di gomma, le cui estremità non sono sottoposte ad alcun tipo di carico, collega il quadro al corpo illuminante. Questo vano alloggia le morsettiere e i dispositivi di protezione contro le sovratensioni. I lampioni più grandi sono dotati di un quadro di alimentazione, il quale, se fornisce la tensione di rete, è fisicamente suddiviso secondo le pertinenti prescrizioni normative. Se il lampione a LED è in PVC bisogna applicare gli accorgimenti relativi alle cariche elettrostatiche. Tali accorgimenti tuttavia non sono descritti qui di seguito.

Se si confrontano i costi di sostituzione a seguito dei danni da sovratensioni relativi alle lampade ad alta pressione utilizzate in precedenza con i costi di sostituzione delle moderne lampade a LED, si può osservare che il corpo illuminante, il dispositivo di accensione e l'unità induttiva di controllo delle lampade ad alta pressione sono soggetti a danni, mentre i driver per i LED, i relativi dispositivi di parametrizzazione dei lampioni moderni a LED comportano costi elevati. Anche se l'ammortamento è previsto in un arco di tempo facilmente prevedibile, a causa della lunga durata di vita dei lampioni dotati di lampade a LED, bisogna chiedersi se il costruttore assicura una garanzia per l'intero sistema (driver e LED), poiché le sovratensioni influenzano negativamente la durata del sistema. L'industria dell'illuminazione ha già risposto a questo problema aumentando la rigidità dielettrica dei driver per LED, con un'attuale capacità di resistere a correnti impulsive di 2 kA e una rigidità dielettrica di 4 kV, per lampioni a LED nuovi. Tuttavia, le correnti impulsive e i picchi che si verificano in rete possono superare di molto questi valori. Bisogna osservare soprattutto



	Limitatore di sovratensione	Art.
1	DEHNguard DG M TT 275 or DEHNguard DG M TNS 275	952 310 952 400
2	DEHNguard DG M TT 2P 275 o DEHNguard DG M TN 275	952 110 952 200

Figura 9.15.1 Limitatore di sovratensione installato nel vano della morsettiere / quadro del montante metallico, per proteggere il lampione a LED dalle sovratensioni condotte causate da eventi atmosferici distanti e da operazioni di commutazione



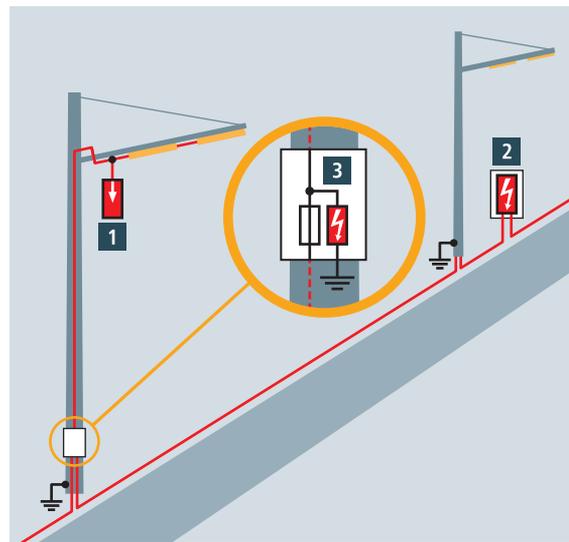
	Limitatore di sovratensione	Art.
1	DEHNcord DCOR L 2P 275	900 430
2	DEHNguard DG M TT 2P 275	952 110

Figura 9.15.2 Limitatore di sovratensione installato accanto al lampione a LED, con il cavo di alimentazione del lampione che passa nello spazio aperto, per proteggere il lampione a LED dall'iniezione di correnti, o come unica protezione dalle sovratensioni condotte causate da eventi atmosferici distanti e dalle operazioni di commutazione

che la rigidità dielettrica tra L e N è sensibilmente differente da quella tra L/N e PE.

Un palo di metallo in combinazione con un lampione a LED riduce al minimo la probabilità di iniezione. Ciò permette di considerare solo le sovratensioni che passano attraverso la rete. A tal fine, si può installare un limitatore dei sovratensione nel vano morsettiere o quadro del montante (Figura 9.15.1). Questa disposizione presenta il vantaggio poter collaudare il limitatore di sovratensione senza dover usare un carrello elevatore.

Tuttavia, nel caso in cui un lampione a LED metallico e il suo montante (anch'esso metallico) non formino un sistema chiuso, poiché il cavo di alimentazione del lampione a LED si trova nello spazio libero al punto di uscita del montante, e più lampioni a LED sono installati su un unico braccio, va installato un limitatore di sovratensione in prossimità del lampione a LED (Figura 9.15.2). Se la probabilità di sovratensioni è bassa, non bisogna installare ulteriori dispositivi di protezione. Va considerata una corrispondente misura di protezione quan-



	Limitatore di sovratensione	Art.
1	DEHNcord DCOR L 2P 275	900 430
2	DEHNshield DSH TT 255 o DEHNshield DSH TNS 255	941 310 941 400
3	DEHNshield DSH TT 2P 255 o DEHNshield DSH TN 255	941 110 941 200

Figura 9.15.3 Scaricatore combinato installato nel vano della morsettiere / quadro del montante metallico, in combinazione con un limitatore di sovratensione, per proteggere il lampione a LED dagli eventi atmosferici vicini e dalle sovratensioni condotte causate dalle operazioni di commutazione

do si installa un limitatore di sovratensione nel lampione a LED. I limitatori con isolamento di base (isolamento delle parti sotto tensione pericolose), per esempio, non devono interferire con l'isolamento "doppio o rinforzato" (precedente classe II) del lampione a LED secondo la norma IEC 60364-4-41 (HD 60364-4 -41).

Si consiglia di utilizzare un dispositivo DEHNcord per limitare l'interferenza media ($I_n = 5$ kA). Bisogna installare dei dispositivi modulari DEHNguard DG M TT 2P 275 per limitare le interferenze elevate ($I_n = 20$ kA).

Se un fulmine colpisce il montante metallico, esso protegge il cavo installato al suo interno, mentre lo scaricatore combinato e ottimizzato per la specifica applicazione posto alla base del montante scarica la corrente di fulmine (corrente totale fino a 50 kA (10/350 μ s) attraverso la rete di distribuzione, proteggendo il lampione a LED grazie al suo basso livello della tensione di protezione (Figura 9.15.3). Questo richiede sempre un dispersore verticale o orizzontale e un ulteriore limitatore di

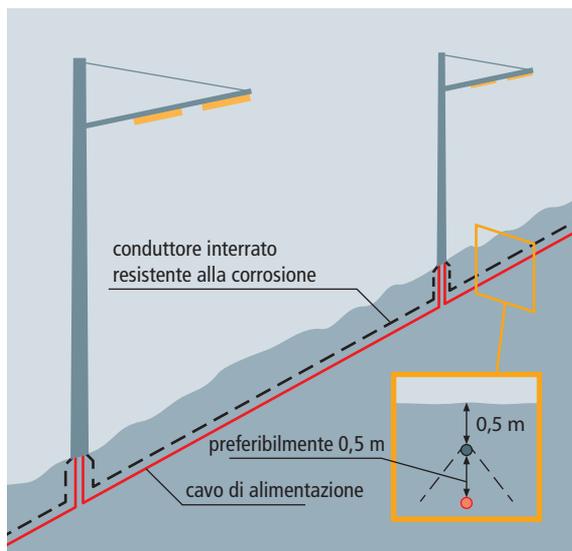


Figura 9.15.4 Conduttore di terra per proteggere il percorso del cavo mettere a terra il montante

sovratensione da installare sul lampione a LED, come illustrato nella **Figura 9.15.2**, in funzione del percorso del cavo. In sostanza, va adottata la protezione del lampione a LED per mezzo di uno scaricatore combinato se l'analisi dei rischi richiede una protezione maggiore di quella che può essere offerta da un semplice limitatore di sovratensione. Questo è il caso in presenza di montanti molto alti con lampioni a LED che coprono un'area sui bracci (ad esempio grandi parcheggi, stadi, ecc.), come pure in presenza di lampioni a LED alimentati da un edificio dotato di un impianto di protezione contro i ful-

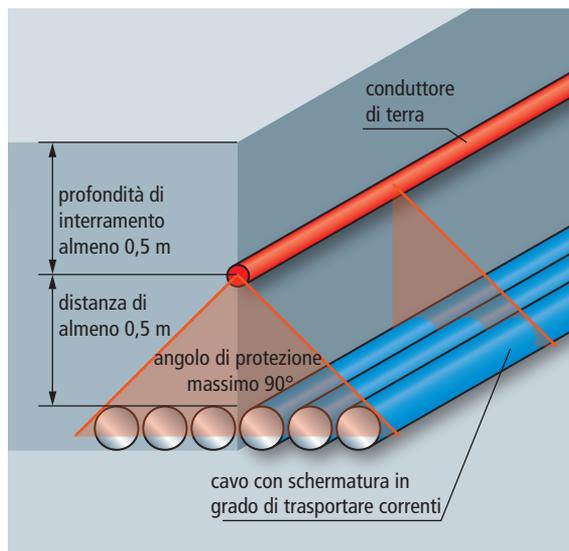


Figura 9.15.5 Volume protetto del percorso del cavo

mini, poiché la corrente di fulmine viene scaricata attraverso il sistema equipotenziale antifulmine sul lampione a LED. Nel caso di nuove installazioni in cui i montanti e i cavi non sono ancora stati installati, bisogna installare un conduttore di terra nudo sopra il percorso del cavo. Se un fulmine colpisce il montante (non il lampione stesso) o il suolo, il conduttore di massa assume la funzione del dispersore richiesto e linearizza la caduta di potenziale, evitando scariche disruptive sul cavo (**Figure 9.15.4 e 9.15.5**).



Protezione contro i fulmini e le sovratensioni di generatori eolici Multi-Megawatt

A causa della posizione e dell'altezza della costruzione, gli impianti ad energia eolica sono vulnerabili alle fulminazioni dirette. Diversi studi hanno dimostrato che bisogna attendersi almeno 10 fulmini diretti ogni anno sulle turbine eoliche nella gamma degli impianti multi-megawatt. Il ricavo ottenuto dall'energia immessa in rete deve ammortizzare gli elevati costi di investimento nel giro di pochi anni, quindi vanno evitati i tempi di inattività causati dai fulmini e dalle sovratensioni (e i conseguenti costi di riparazione). Si rende dunque necessaria una protezione completa contro i fulmini e le sovratensioni. Per il dimensionamento delle misure di protezione contro i fulmini va osservato che con una altezza della turbina superiore a 60 m in una zona esposta alla fulminazione, oltre i fulmini discendenti vanno considerati anche i fulmini ascendenti. I fulmini ascendenti partono da oggetti esposti di grande altezza, comportano elevate correnti di fulmine e sono di grande importanza per le misure di protezione delle pale del rotore e per il dimensionamento degli scaricatori della corrente di fulmine.

Normativa

Le norme CEI EN 61400-24 (CEI 88-16), CEI EN 62305 (CEI 81-10) e le linee guida della Germanischer Lloyd (ad es. GL 2010 IV - Parte 1: Linee guida per la certificazione delle turbine eoliche) costituiscono la base per il concetto di protezione.

Misure di protezione

La norma CEI EN 61400-24 (CEI 88-16) e le linee guida GL 2010 consigliano il livello di protezione (LPL) I per tutti i sotto-componenti dell'impianto di protezione contro i fulmini di una turbina eolica, a meno che l'analisi dei rischi dimostri che una LPL inferiore è sufficiente. L'analisi dei rischi può anche rivelare che diversi sotto-componenti presentano differenti livelli LPL. La norma CEI EN 61400-24 (CEI 88-16) raccomanda una protezione completa contro i fulmini.

La protezione contro i fulmini (LP) di una turbina eolica è costituita da una protezione contro i fulmini esterna (LPS) e da misure di protezione contro le sovratensioni (SPM) per proteggere le apparecchiature elettriche ed elettroniche. Al fine di pianificare le misure di protezione, si consiglia di suddividere la turbina eolica in più zone di protezione contro i fulmini (LPZ).

Il sistema antifulmine di una turbina eolica protegge due sottosistemi caratteristici di queste turbine, ovvero le pale del rotore e la trasmissione meccanica. La norma CEI EN 61400-24 (CEI 88-16) descrive in dettaglio la protezione di tali parti speciali e spiega come dimostrare l'efficacia delle misure di protezione contro i fulmini. La norma raccomanda di verificare la capacità di sopportare la corrente di fulmine di questi sistemi per mezzo di prove a corrente elevata (primo colpo di fulmine e colpo lungo, se possibile in uno scarico comune).

Nel seguito verrà descritto come implementare le misure di protezione contro fulmini e sovratensioni dei dispositivi e

degli impianti elettrici ed elettronici di una turbina eolica. I complessi problemi riguardanti la protezione delle pale del rotore e le parti rotanti / cuscinetti devono essere esaminati in dettaglio e dipendono dal costruttore e dal tipo. La norma CEI EN 61400-24 (CEI 88-16) fornisce informazioni importanti a questo proposito.

Concetto di zona di protezione contro i fulmini

Il concetto di zona di protezione contro i fulmini consiste in una misura di strutturazione volto a realizzare un ambiente EMC definito all'interno di un oggetto. L'ambiente EMC così definito dipende dall'immunità ai disturbi degli apparecchi elettrici utilizzatori. Il concetto di protezione a zone permette di contenere entro valori prestabiliti le interferenze trasmesse e le interferenze di campo nei punti di passaggio tra zone diverse. A questo scopo l'oggetto da proteggere viene suddiviso in zone di protezione.

Si usa il metodo della sfera rotolante per determinare la zona LPZ O_A , cioè le parti di una turbina eolica che possono essere sottoposte a fulmini diretti, e la zona LPZ O_B , cioè le parti di una turbina eolica protette dai fulmini diretti per mezzo di captatori esterni o integrati nei componenti della turbina eolica (per esempio nella pala del rotore). Secondo la norma CEI EN 61400-24 (CEI 88-16) non bisogna utilizzare il metodo della sfera rotolante per le pale del rotore stesso. Per questo motivo, la progettazione dell'impianto di terminazione deve essere verificata secondo il paragrafo 8.2.3 della norma CEI EN 61400-24 (CEI 88-16). La **Figura 9.16.1** illustra una tipica applicazione del metodo della sfera rotolante, mentre la **Figura 9.16.4** illustra una possibile divisione di una turbina eolica in diverse zone di protezione contro i fulmini. In questo contesto, la divisione di una turbina eolica in zone di protezione dipende dal progetto della turbina eolica. Pertanto bisogna attenersi alla struttura della turbina eolica. Tuttavia, è determinante il fatto che le correnti di fulmine iniettate nella zona LPZ O_A dall'esterno vengano ridotte per mezzo di opportune schermature e dispositivi di protezione contro le sovratensioni in tutti i punti di passaggio tra le zone, in modo da non interferire con i dispositivi elettrici ed elettronici e con gli impianti che si trovano all'interno della turbina eolica.

Schermatura

La navicella va progettata come uno schermo metallico chiuso. All'interno della navicella si ottiene così un volume nel quale il campo elettromagnetico viene sensibilmente attenuato rispetto all'esterno. In conformità alla norma CEI EN 61400-24 (CEI 88-16), la torre tubolare in acciaio, spesso utilizzata per le grandi turbine eoliche, può essere considerata come una gabbia di Faraday quasi perfetta ai fini della schermatura elettromagnetica. In caso di torri ibride in calcestruzzo, la funzione della gabbia galvanica deve essere assicurata dall'armatura, nonché dal collegamento di messa a terra e dal collegamento

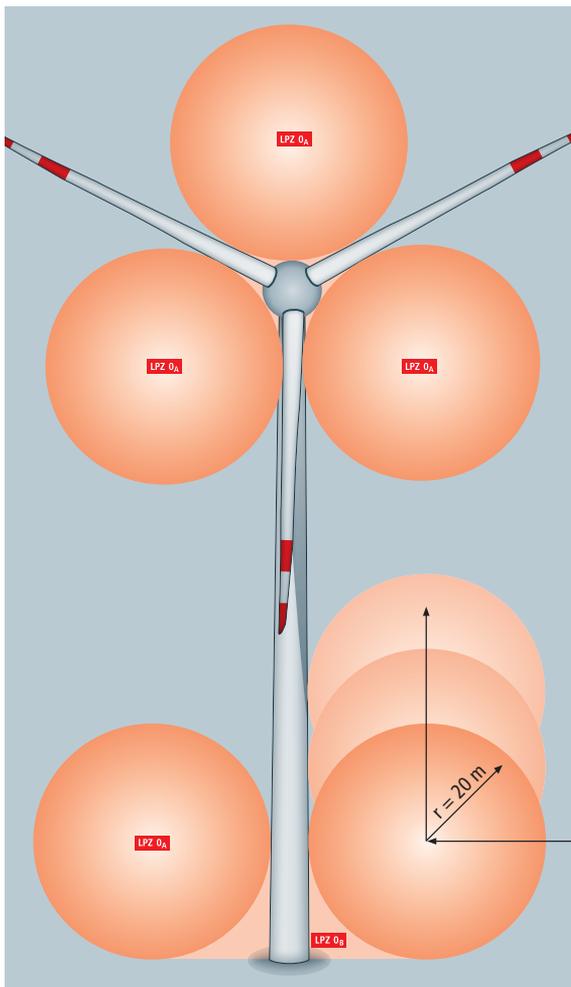


Figura 9.16.1 Metodo della sfera rotolante;

elettrico dei singoli componenti. Anche i quadri di commutazione e di comando nella navicella, se presenti nell'edificio di servizio, dovrebbero essere metallici. I collegamenti dovrebbero essere provvisti di uno schermo di grande sezione in grado di condurre correnti elevate. I conduttori schermati sono efficaci nei confronti delle interferenze EM se le schermature sono collegate al collegamento equipotenziale ad entrambe le estremità. Le schermature dei conduttori devono essere collegate con morsetti a contatto su tutta la circonferenza del conduttore (360°), evitando le lunghe trecce conduttrici che sono inefficaci dal punto di vista della EMC.

La schermatura magnetica e la posa del cavo devono essere eseguite secondo la sezione 4 della norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4). Per questo motivo vanno rispettate le linee

guida della pratica costruttiva per la EMC secondo la norma IEC/TR 61000-5-2.

Le misure per la schermatura comprendono ad esempio:

- ➔ installazione di una treccia metallica sulle gondole rivestite in vetroresina,
- ➔ torre metallica,
- ➔ quadro di commutazione metallico,
- ➔ quadro di comando metallico,
- ➔ cavi schermati di collegamento che trasportano la corrente di fulmine (condotto metallico, tubo schermato o simili),
- ➔ schermatura dei cavi.

Misure per la protezione contro i fulmini esterna

Esse comprendono:

- ➔ impianti di captazione e di calata nelle pale del rotore,
- ➔ impianti di captazione per proteggere le sovrastrutture della navicella, la gondola e il mozzo,
- ➔ utilizzo degli impianti di captazione e di calata,
- ➔ impianto di terra costituito da un dispersore di fondazione da un dispersore ad anello.

La funzione della protezione contro i fulmini (LPS) esterna è quella di intercettare i fulmini diretti, compresi quelli che colpiscono la torre di una turbina eolica, e scaricare la corrente di fulmine dal punto colpito verso terra. La protezione contro i fulmini esterna viene utilizzata anche per distribuire la corrente nel terreno senza provocare danni termici o meccanici o scintille pericolose che possono provocare incendi o esplosioni e pericolo per le persone.

Può essere utilizzato il metodo della sfera rotolante per determinare possibili punti di fulminazione per una turbina eolica (tranne le pale del rotore) (**Figura 9.16.1**). Per le turbine eoliche si consiglia di utilizzare la classe LPS I. Pertanto, una sfera con un raggio $r = 20$ m viene fatta rotolare sulla turbina eolica per determinare i punti di fulminazione. Si richiedono dei captatori laddove la sfera tocca la turbina eolica (potenziali punti di fulminazione).

La navicella deve essere integrata nell'impianto di protezione antifulmine per garantire che i fulmini sulla navicella colpiscano le parti metalliche che sono in grado di resistere a questa sollecitazione o un impianto di captazione progettato appositamente. Le parti rivestite in vetroresina della navicella (o simili) vanno dotate di captatori e calate che formano una gabbia attorno alla navicella (treccia metallica). L'impianto di captazione comprendente i conduttori nudi di questa gabbia deve essere in grado di sopportare i fulmini secondo il corrispondente livello di protezione. Gli altri conduttori della gabbia di Faraday vanno progettati in modo da sopportare l'intensità della corrente di fulmine a cui possono essere sottoposti. La

norma CEI EN 61400-24 (CEI 88-16) richiede che gli impianti di captazione per la protezione delle apparecchiature di misura e simili, montati all'esterno della gondola, siano progettati in conformità con i requisiti generali della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-0/3) e che le calate siano collegate alla gabbia sopra descritta.

I componenti originali realizzati in materiale conduttore, installati in modo permanente sulla turbina eolica o all'interno di essa e che restano invariati, possono essere integrati nella protezione antifulmine (ad esempio: impianto di protezione antifulmine delle pale del rotore, cuscinetti, telaio principale, torre ibrida). Se le turbine eoliche sono costituite da una struttura metallica, si può supporre che esse soddisfino i requisiti per una protezione contro i fulmini esterna della classe LPS I secondo la norma CEI EN 62305 (CEI 81-10). Ciò richiede che il fulmine sia intercettato dall'impianto di protezione antifulmine delle pale del rotore, in modo da scaricarsi nell'impianto di terra attraverso i componenti naturali, quali cuscinetti, intelaiature, torre e/o gli impianti passanti (ad esempio spinterometri o spazzole di carbone).

Impianto di captazione e calata

Come si può vedere nella **Figura 9.16.1**, i seguenti componenti:

- ➔ pale del rotore,
- ➔ navicella con le sue sovrastrutture (**Figure 9.16.2 e 9.16.1**),
- ➔ mozzo del rotore e
- ➔ torre della turbina del vento

sono soggetti a fulminazioni. Se tali componenti sono in grado di intercettare in modo sicuro il massimo impulso della corrente di fulmine, 200 kA, e scaricarlo all'impianto di messa a terra, essi possono essere utilizzati come componenti naturali dell'impianto di captazione della protezione antifulmine esterna della turbina eolica.

Viene spesso collegato un recettore metallico, che rappresenta un punto di fulminazione definito, alla punta della pala in vetroresina, per proteggere le pale del rotore dai fulmini. Un conduttore collega il recettore con la base della pala. In caso di un fulmine, si può ritenere che esso colpisca la punta della pala (recettore) e raggiunga l'impianto di terra passando attraverso il conduttore posto nella pala, poi attraverso la navicella e la torre.

Impianto di terra

L'impianto di messa a terra di una turbina eolica svolge varie funzioni, come protezione delle persone, la protezione EMC e la protezione contro i fulmini.

Un efficace impianto di messa a terra (**Figura 9.16.3**) è essenziale per distribuire le correnti di fulmine e per evitare la distru-

zione della turbina eolica. Inoltre, l'impianto di messa a terra deve proteggere le persone e gli animali contro le folgorazioni. In caso di un fulmine, l'impianto di messa a terra deve scaricare al suolo elevate correnti di fulmine e distribuirle nel terreno senza provocare effetti termici o elettrodinamici pericolosi.

In generale, è importante installare l'impianto di messa a terra su una turbina eolica, per proteggerla contro i fulmini e per la messa a terra del sistema di alimentazione.

Nota: la normativa per l'alta tensione, come la norma CENELEC HO 637 S1 (o le norme applicabili a livello nazionale) descrivono come eseguire la progettazione di un impianto di messa a terra per evitare elevate tensioni di passo e di contatto dovute a cortocircuiti negli impianti di media o alta tensione. Per quanto riguarda la protezione delle persone, la norma CEI EN 61400-24 (CEI 88-16) fa riferimento alle norme IEC/TS 60479-1 e IEC 60479-4.

Disposizione dei dispersori

La norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) descrive due tipi fondamentali di dispersori per le turbine eoliche:

Tipo A: secondo l'allegato informativo I della norma CEI EN 61400-24 (CEI 88-16), questa disposizione non deve essere usata per le turbine eoliche, ma per gli edifici adiacenti ad esse (ad esempio, gli edifici contenenti apparecchi di misura o gli uffici). Le disposizioni di dispersori Tipo A sono costituite da dispersori orizzontali o verticali collegati all'edificio da almeno due calate.

Tipo B: secondo l'allegato informativo I della norma CEI EN 61400-24 (CEI 88-16), per le turbine eoliche si devono impiegare dispersori Tipo B. Essi sono costituiti da un dispersore ad anello esterno e/o un dispersore di fondazione. I di-



Figura 9.16.2 Esempio di un impianto di messa a terra per stazione meteo e luce di segnalazione ostacoli al volo

spersori ad anello e le parti in metallo delle fondazioni devono essere collegati alla torre.

In ogni caso, l'armatura delle fondazioni della torre va integrata nell'impianto di messa a terra della turbina eolica. Al fine di garantire un impianto di messa a terra che sia più ampio possibile, l'impianto di messa a terra della base della torre e dell'edificio operativo devono essere collegati per mezzo di una rete di dispersori a maglie. Attorno alla base della torre bisogna installare elettrodi ad anello resistenti alla corrosione (in acciaio inossidabile V4A, ad esempio AISI/ASTM 316 Ti) con controllo del potenziale, per evitare tensioni di passo eccessive in caso di fulmini, in modo da garantire un'adeguata protezione delle persone (**Figura 9.16.3**).

Dispersori di fondazione

I dispersori di fondazione costituiscono una soluzione sensata dal punto di vista tecnico ed economico e sono richiesti dalle condizioni tecniche di collegamento alla rete (TAB) pubblicate dai gestori delle reti tedesche. I dispersori di fondazione fanno parte dell'impianto elettrico e soddisfano le funzioni essenziali di sicurezza. Per questo motivo, devono essere installati da un elettricista o sotto la sua supervisione.

I metalli usati per i dispersori devono essere conformi ai materiali elencati nella Tabella 7 della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-0/3) Bisogna sempre tenere presente il comportamento del metallo nei confronti della corrosione nel terreno.

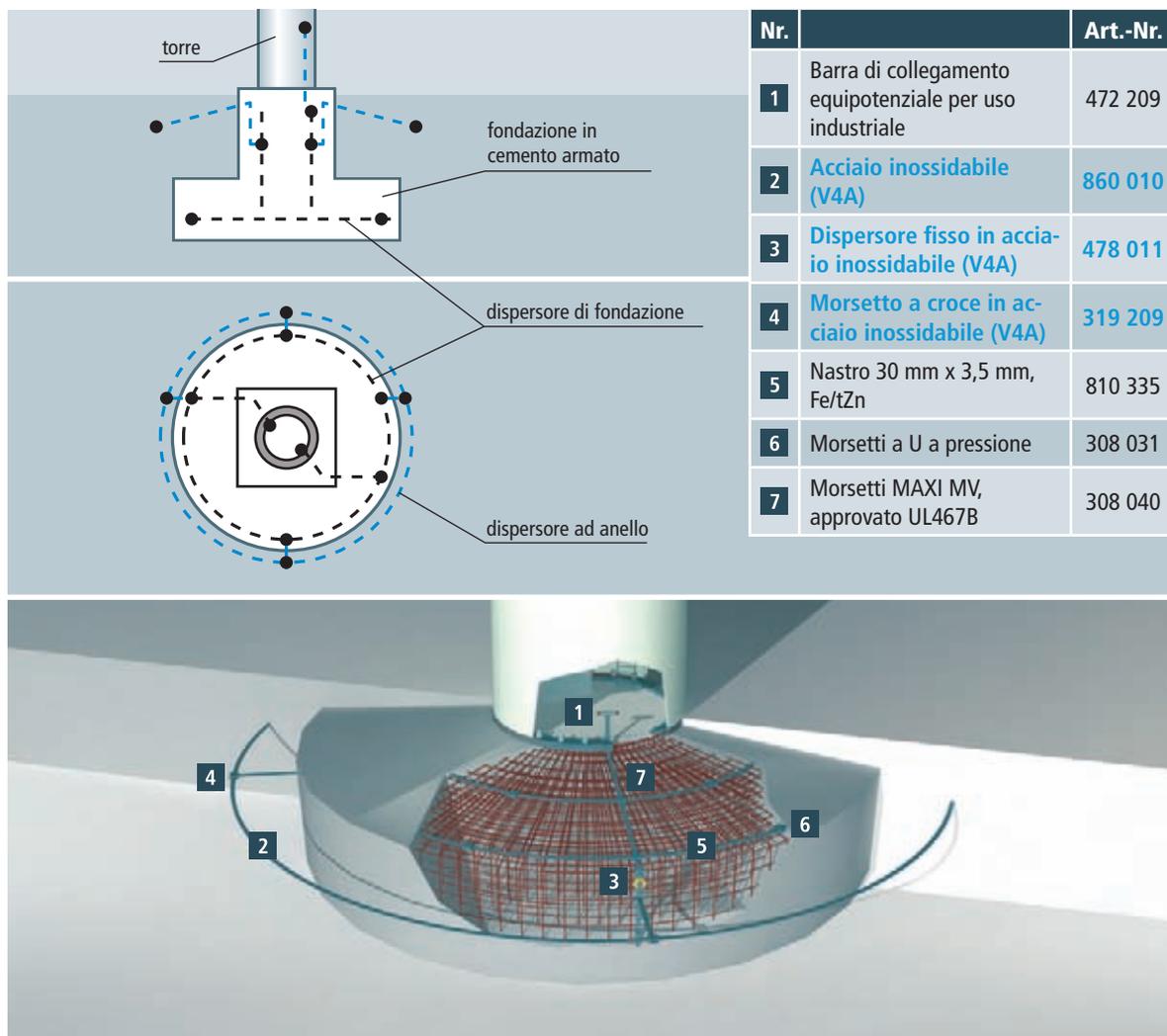


Figura 9.16.3 Impianto di terra per una turbina eolica

I dispersori di fondazione vanno realizzati in tondino o nastro di acciaio zincato o non zincato. I tondini di acciaio devono avere un diametro minimo di 10 mm, mentre i nastri devono avere dimensioni minime di 30 mm x 3,5 mm. Si deve osservare che tale materiale deve essere ricoperto con uno strato di calcestruzzo di almeno 5 cm (protezione contro la corrosione). I dispersori di fondazione devono essere collegati alla barra di messa a terra della turbina eolica. Bisogna realizzare dei collegamenti resistenti alla corrosione mediante morsetti o capicorda di messa a terra in acciaio inossidabile (V4A). Inoltre bisogna installare nel terreno un dispersore ad anello in acciaio inossidabile (V4A).

Protezioni contro i fulmini interne

- ➔ Misure di messa a terra e collegamenti equipotenziali
- ➔ Schermatura spaziale e distanza di isolamento
- ➔ Passaggio dei cavi e schermatura del cavo
- ➔ Installazione di dispositivi di protezione coordinati contro le sovratensioni

Protezioni sulle linee al passaggio tra LPZ 0_A e LPZ 1 e superiori

Per il funzionamento sicuro degli apparecchi elettrici ed elettronici, le interfacce tra le zone di protezione (LPZ) vanno schermate nei confronti delle interferenze in campo e protette dalle interferenze trasmesse (**Figure 9.16.4 e 9.16.5**). Al passaggio tra la zona di protezione LPZ 0_A e LPZ 1 (equipotenzialità antifulmine) devono essere impiegati dei dispositivi di protezione in grado di scaricare senza danni delle elevate correnti di fulmine parziali. Questi dispositivi di protezione sono denominati scaricatori della corrente di fulmine Tipo 1 e sono collaudati con correnti impulsive di forma d'onda 10/350 μs. Al passaggio tra LPZ 0_B e LPZ 1 e superiori, bisogna far fronte solo agli impulsi di modesto contenuto energetico derivanti da tensioni indotte dall'esterno o da sovratensioni causate nel sistema stesso. Questi dispositivi di protezione sono denominati limitatori di sovratensione Tipo 2 e sono collaudati con correnti impulsive di forma d'onda 8/20 μs.

Secondo il concetto di zona di protezione contro i fulmini, tutti i cavi e le tubazioni devono essere integrate nel sistema equipotenziale antifulmine per mezzo di scaricatori di corrente da fulmine Tipo 1 al confine tra LPZ 0_A e LPZ 1 o LPZ 0_A e LPZ 2. Questo riguarda le linee di alimentazione e quelle di comunicazione. Per ogni ulteriore confine di zona all'interno del volume da proteggere deve essere stabilito un ulteriore collegamento equipotenziale locale che integra tutti i cavi e le linee che attraversano questo confine. Bisogna installare dei limitatori di sovratensione Tipo 2 al passaggio tra le zone LPZ 0_B e LPZ 1 e tra le zone LPZ 1 e LPZ 2, mentre bisogna installare limitatori Tipo 3 al passaggio tra le zone LPZ 2 e

LPZ 3. La funzione dei limitatori di Tipo 2 e 3 è quella di ridurre ulteriormente l'interferenza residua della protezione a monte e limitare le sovratensioni indotte sulla turbina eolica o generate nella turbina eolica.

Selezione degli SDP in base al livello di protezione della tensione (U_p) e della immunità delle apparecchiature.

Per definire la tensione U_p richiesta in una zona LPZ, devono essere definiti i livelli di immunità delle apparecchiature che si trovano nella LPZ. Per esempio, per linee di alimentazione e collegamenti di apparecchiature ciò si ottiene dalle norme CEI EN 61000-4-5 (CEI 110-30) e CEI EN 60664-1 (CEI 109-1), per linee di telecomunicazione e i collegamenti di apparecchiature dalle norme CEI EN 61000-4-5 (CEI 110-30), ITU-T K.20 e ITU-T K.21, mentre per altre linee e i collegamenti di altre apparecchiature si procede secondo le istruzioni del produttore. I produttori di componenti o dispositivi elettrici ed elettronici dovrebbero essere in grado di fornire le informazioni richieste sul livello di immunità secondo le norme EMC. Se questo non è il caso, il produttore di turbine eoliche dovrebbe eseguire le prove necessarie a determinare il livello di immunità. Lo specifico livello di immunità dei componenti in una zona LPZ definisce direttamente il livello di protezione della tensione richiesta ai confini della zona LPZ. L'immunità di un sistema va provata, quando è il caso, con tutti gli SPD installati e le attrezzature da proteggere.

Protezione dei sistemi di alimentazione

Il trasformatore di una turbina eolica può essere alloggiato in diversi luoghi (in una stazione di distribuzione, alla base della torre, nella torre, nella navicella). In caso di grandi turbine eoliche, per esempio, il cavo non schermato da 20 kV posto nella base della torre è indirizzato alla cabina di commutazione a media tensione, comprendente un interruttore di protezione sotto vuoto, un sezionatore bloccato meccanicamente, un sezionatore di terra in uscita e un relè di protezione. I cavi di media tensione sono indirizzati dalla cabina di commutazione nella torre della turbina eolica al trasformatore, che può essere situato alla base della torre o nella navicella (**Figura 9.16.4**). Il trasformatore alimenta il quadro di comando alla base della torre, il quadro di commutazione nella gondola e il sistema di controllo del passo nel mozzo, per mezzo di un impianto TN-C (L1, L2, L3, conduttore PEN). Il quadro di commutazione nella navicella alimenta le apparecchiature elettriche nella gondola con una tensione alternata di 230/400 V.

Secondo la norma IEC 60364-4-44, tutte le parti delle apparecchiature elettriche installate in una turbina eolica devono avere una determinata tensione nominale di tenuta a impulso secondo la tensione nominale della turbina eolica (vedere IEC 60664-1 (EN 60664-1): Tabella 1, Coordinamento dell'isolamento). Ciò significa che i limitatori di sovratensione da

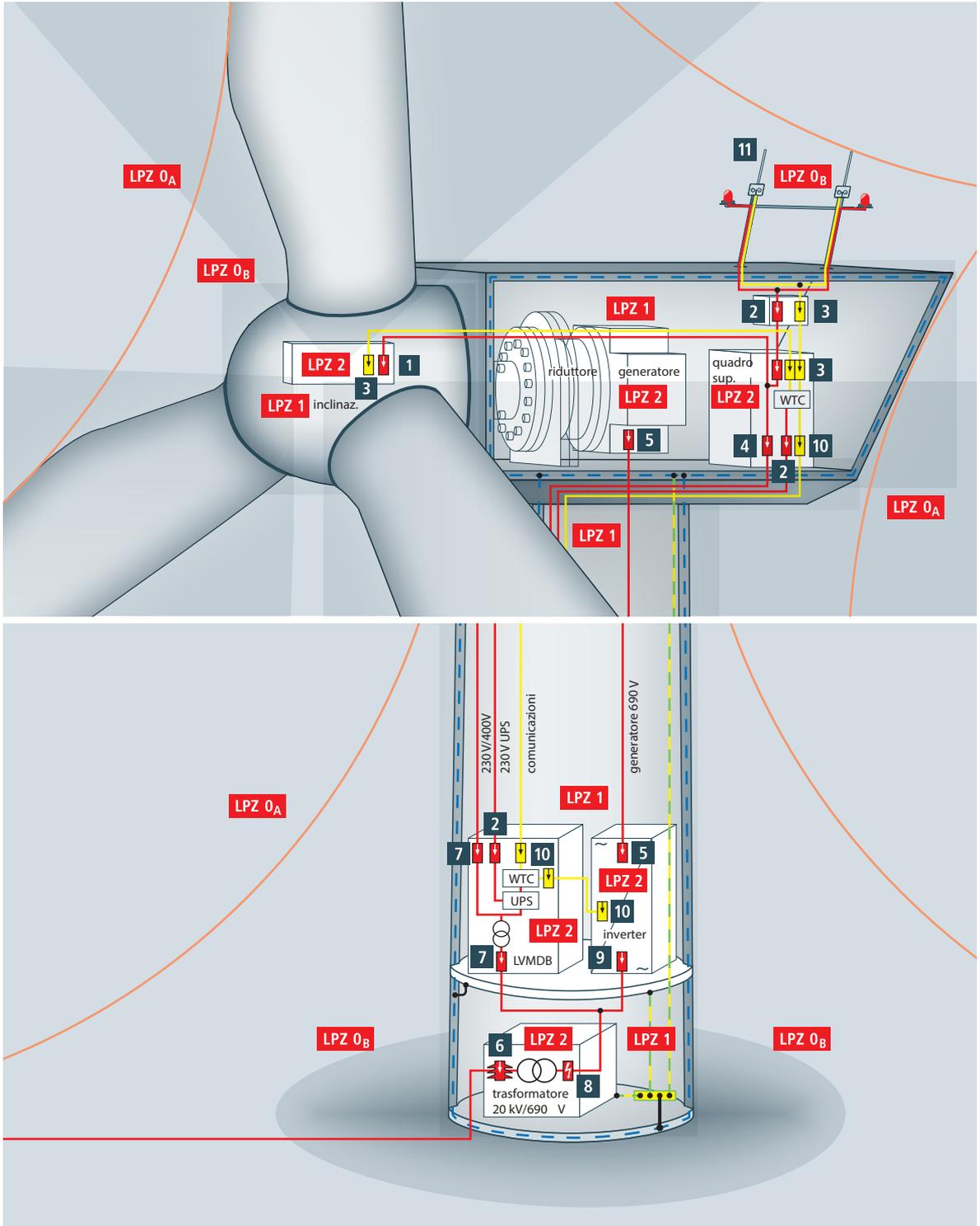


Figura 9.16.4 Protezione contro i fulmini e sovratensioni di turbine eoliche

Num. in Fig. 4	Area da proteggere	Limitatore di sovratensione	Art.
1	Tensione di alimentazione del mozzo Linee di segnale tra la navicella e il mozzo	DEHNguard TN 275 FM BLITZDUCTOR XT BE 24 * DENHpatch DPA M CAT6 RJ45S48	952 205 920 324 929 121
2	Protezione della luce di segnalazione ostacoli al volo	DEHNguard M TN 275 FM	952 205
3	Linee di segnale della stazione meteo e quadro di controllo della navicella	BLITZDUCTOR XT ML4 BE 24 * BLITZDUCTOR XT ML2 BE S 24 *	920 324 920 224
4	Quadro di comando della navicella Tensione di alimentazione 230/400 V	DEHNguard M TNC 275 FM DEHNguard M TNC CI 275 FM	952 305 952 309
5	Protezione del generatore	DEHNguard M WE 600 FM	952 307
6	Protezione del trasformatore	DEHNmid DMI 9 10 1 DEHNmid DMI 36 10 1	990 003 990 013
7	Tensione di alimentazione del quadro di comando posto alla base della torre, impianto TN-C 230/400 V	DEHNguard M TNC 275 FM DEHNguard M TNC CI 275 FM	952 305 952 309
8	Alimentazione principale in entrata, impianto TN 400/690 V	3x DEHNbloc M 1 440 FM	961 145
9	Protezione dell'inverter	DEHNguard M WE 600 FM	952 307
10	Protezione delle linee di segnale nel quadro di comando alla base della torre	BLITZDUCTOR XT ML4 BE 24 * BLITZDUCTOR XT ML2 BE S 24 *	920 324 920 224
11	Protezione delle sovrastrutture della navicella	aste di captazione Collare per tubo per aste di captazione	103 449 540 105

Tabella 9.16.1 Protezione di una turbina eolica (concetto di zona di protezione contro i fulmini secondo la figura 9.16.4) *basetta associata: BXT BAS, Rif. 920 300

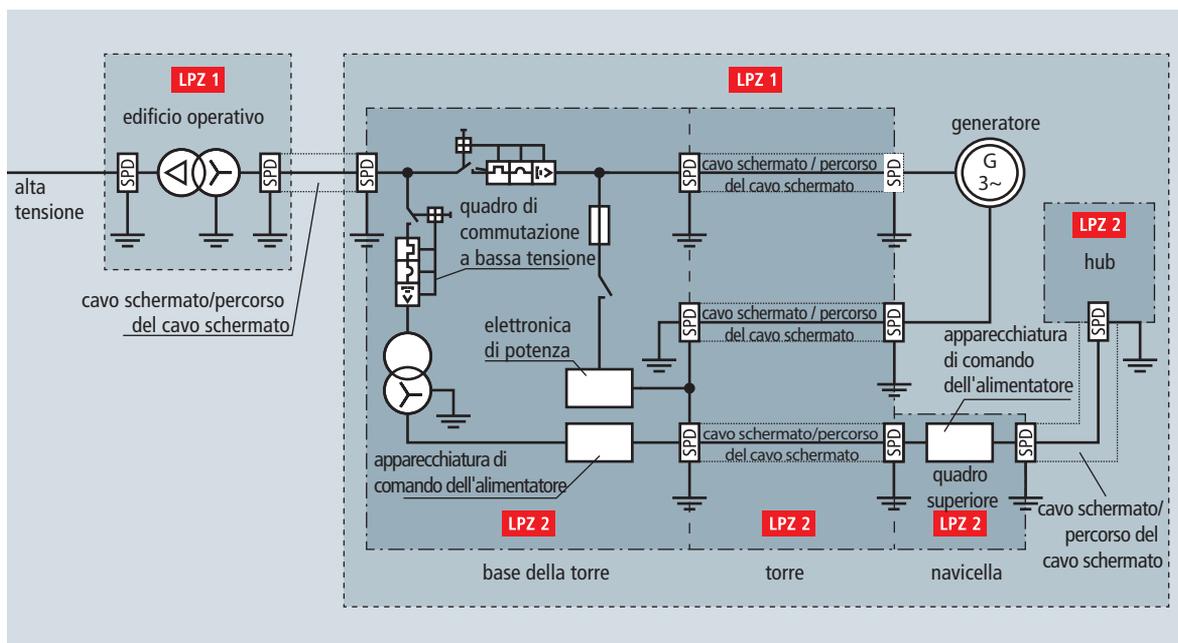


Figura 9.16.5 Esempio di scaricatori installati presso i confini di zona in una turbina eolica



Figura 9.16.6 Scaricatore modulare Tipo 2 per la protezione di linee a 230/400 V

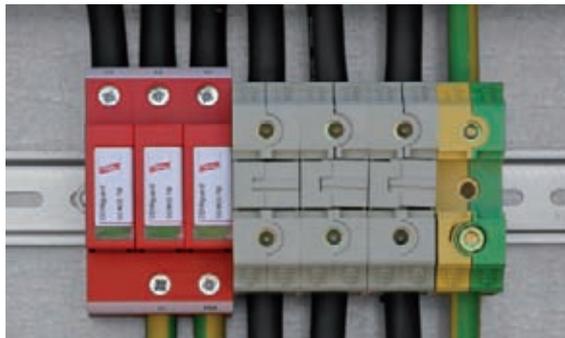


Figura 9.16.7 Protezione del lato statorico del generatore



Figura 9.16.8 Limitatore di sovratensione coordinato Tipo 1



Figura 9.16.9 Scaricatori di media tensione DEHNmid installati in un trasformatore per turbine eoliche

installare devono avere almeno il livello di protezione della tensione richiesto dalla tensione nominale della turbina eolica. I limitatori di sovratensione utilizzati per proteggere l'alimentazione a 400/690 V devono avere un livello minimo di protezione $U_p \leq 2,5$ kV, mentre i limitatori di sovratensione utilizzati per proteggere l'alimentazione a 230/400 V devono avere un livello di protezione $U_p \leq 1,5$ kV per garantire la protezione delle apparecchiature elettroniche/elettriche sensibili (**Figura 9.16.6 e 9.16.7**).

I dispositivi di protezione contro le sovratensioni devono essere in grado di scaricare le correnti di fulmine con forma d'onda 10/350 μ s senza distruzione e devono avere un livello di protezione della tensione di $U_p \leq 2,5$ kV (**Figura 9.16.8**).

Protezione dell'ingresso del trasformatore

L'ingresso del trasformatore a media tensione è protetto da scaricatori a media tensione DEHNmid, che devono essere adattati alla configurazione del sistema e alla tensione del sistema a media tensione (**Figura 9.16.9**).

Alimentazione a 230/400 V

I limitatori di sovratensione Tipo 2, ad esempio DEHNguard M TNC 275 CI FM, vanno utilizzati per proteggere la tensione di alimentazione del quadro di comando alla base della torre, il quadro di commutazione nella gondola e il sistema di regolazione del passo nel mozzo, per mezzo di un impianto TN-C a 230/400 V (**Figura 9.16.6**).

Protezione della luce di segnalazione ostacoli al volo

La luce di segnalazione ostacoli al volo posta sul montante del sensore nella zona LPZ 0_B deve essere protetta da un limitatore Tipo 2 in corrispondenza della rispettiva zona di transizione (LPZ 0_B → 1, LPZ 1 → 2) (**Tabella 9.16.1**). A seconda del sistema, si possono utilizzare ad esempio i componenti della serie Dehnguard (bassa tensione) e/o della famiglia BLITZDUCTOR per bassissime tensioni/linee di segnale.

Impianto 400/690 V

Bisogna installare degli scaricatori della corrente di fulmine monopolarli coordinati con elevata corrente susseguente per impianti a 400/690V, ad esempio DEHNbloc M 1 440 FM

(Figura 9.16.8) per proteggere il trasformatore a 400/690 V, gli inverter, i filtri di rete e gli apparecchi di misura. In prossimità del convertitore di frequenza bisogna fare in modo che gli scaricatori siano dimensionati per i massimi picchi di tensione, che sono più elevati rispetto al caso delle pure tensioni sinusoidali. In questo contesto, i limitatori con una tensione nominale di 600 V e $U_{mov} = 750$ V si sono dimostrati una scelta valida. Gli scaricatori DEHNguard DG MWE 600 FM (Figura 9.16.7) possono essere installati su entrambi i lati del convertitore (lato rete e lato macchina) e del generatore. Bisogna installare una combinazione di scaricatore e maggiore tensione di isolamento sul lato del rotore solo se si usano generatori a induzione con doppia alimentazione. A questo scopo è consigliabile installare un circuito 3 + 1 Neptune con una tensione nominale fino a 1000 V. Un ulteriore scaricatore spinterometrico assicura l'isolamento elettrico e previene l'intervento intempestivo dei varistori.

Limitatore di sovratensione per reti informatiche

La norma CEI EN 61643-21 (CEI 37-6) descrive i limitatori di sovratensione per la protezione delle apparecchiature elettroniche per telecomunicazione e segnalazione contro gli effetti indiretti e diretti di fulmini e altri transitori. Essi sono installati ai confini di zona, in conformità con il concetto di zona di protezione contro i fulmini (Figura 9.16.4, Tabella 9.16.1). Gli scaricatori multi-stadio devono essere progettati senza punti ciechi, in altre parole è necessario garantire che i vari stadi della protezione siano coordinati tra loro. Altrimenti non saranno attivati tutti gli stadi della protezione, causando anomalie nel dispositivo di protezione contro le sovratensioni. I cavi in fibra ottica vengono spesso utilizzati per far passare le linee informatiche in una turbina eolica e per collegare alla navicella i quadri di comando posti alla base della torre. I cavi schermati in rame sono utilizzati per collegare gli attuatori e i sensori con i quadri di comando. Poiché è esclusa l'interferenza elettromagnetica, i cavi in fibra ottica non sono protetti con limitatori di sovratensione, a meno che non abbiano una guaina metallica che deve essere integrata nel sistema equipotenziale, direttamente o tramite i dispositivi di protezione contro le sovratensioni.

In generale, le seguenti linee di segnale schermate che collegano gli attuatori e sensori con i quadri devono essere protette mediante dispositivi di protezione contro le sovratensioni:

- ➔ linee di segnale della stazione meteo e luce di segnalazione ostacoli al volo sul montante del sensore,
- ➔ linee di segnale tra la gondola e il sistema di controllo del passo nel mozzo,
- ➔ linee di segnale per il sistema di regolazione del passo,
- ➔ linee di segnale all'inverter,
- ➔ linee di segnale per il sistema antincendio.



Figura 9.16.10 Protezione dell'apparecchiatura di misurazione del vento (anemometro)

linee di segnale della stazione meteo

Le linee di segnale (interfacce 4-20 mA) tra i sensori della stazione meteo e la cabina di commutazione passano dalla zona LPZ 0_B alla zona LPZ 2 e possono essere protette mediante scaricatori combinati BLITZDUCTOR XT ML4 BE 24 o BLITZDUCTOR XT ML2 BE S 24 (Figura 9.16.10). Gli scaricatori combinati compatti dotati di funzione LifeCheck proteggono due o quattro conduttori che condividono un comune riferimento di potenziale, nonché interfacce sbilanciate, e permettono la messa a terra diretta o indiretta dello schermo. Per il collegamento di terra della schermatura sono impiegati degli appositi morsetti dotati di una molla flessibile, per assicurare un contatto permanente a bassa impedenza della schermatura con il lato protetto e non protetto dello scaricatore. Se l'apparecchio di misura del vento (anemometro) è dotato di un sistema di riscaldamento, è possibile installare gli scaricatori combinati BLITZDUCTOR BVT ALD 36. Questi scaricatori combinati, montati su guide DIN, sono coordinati energeticamente con i dispositivi di protezione contro le sovratensioni sulla linea di alimentazione in corrente continua prive di collegamento a terra (Figura 9.16.10).

Linee di segnale per il sistema di regolazione del passo

Si può usare un limitatore di sovratensione DEHNpatch DPA M CLE RJ45B 48 se le informazioni tra la gondola e il sistema di regolazione del passo vengono scambiate attraverso linee dati Ethernet 100 MB. Questo dispositivo è progetta-



Figura 9.16.11 Esempio di i dispositivi di protezione contro le sovratensioni in un sistema di regolazione del passo

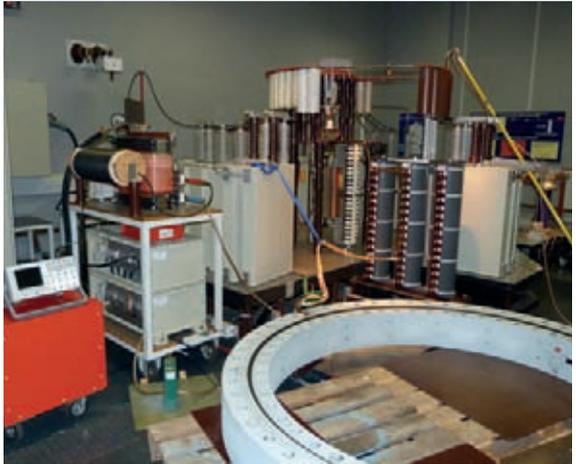


Figura 9.16.12 Prova personalizzata nel laboratorio per le correnti impulsive

to per applicazioni Ethernet Industriale e simili, in sistemi di cablaggio strutturati secondo la classe E fino a 250 MHz, per tutti i servizi dati fino a 48 V CC e protegge quattro doppini (**Figura 9.16.11**).

In alternativa si può utilizzare uno scaricatore DEHNpatch DPA M CAT6 RJ45S 48 per proteggere le linee dati Ethernet da 100 MB. Questo dispositivo di protezione contro le sovratensioni è costituito da un cavo di collegamento precablato con limitatore di sovratensione integrato.

Dipende dai sensori utilizzati, che possono avere parametri diversi a seconda del produttore, il fatto che le linee di segnale per il sistema di regolazione del passo debbano essere protette o meno con dispositivi di protezione contro le sovratensioni. Se, ad esempio, sono utilizzati dei sensori alimentati a 24 V CC o tensioni inferiori, i limitatori di sovratensione BLITZDUCTOR BXT ML4 24 sono ideali per proteggere le linee di segnale. Questi scaricatori possono essere installati in conformità con il concetto di zona di protezione contro i fulmini al confine tra LPZ 0_A e LPZ 2 o superiori. I dispositivi di protezione contro le sovratensioni devono essere installati a entrambe le estremità, cioè nel sistema di regolazione del passo e nel controller.

Sorveglianza delle condizioni

La disponibilità di turbine eoliche, in particolare delle turbine eoliche offshore, sta acquistando una importanza crescente. Pertanto, gli scaricatori di corrente di fulmine e i limitatori di sovratensione vanno controllati per verificare se presentano segni che precedono il danneggiamento (sorveglianza delle condizioni).

La sorveglianza sistematica delle condizioni consente di pianificare gli interventi di manutenzione, riducendo i costi.

Gli scaricatori BLITZDUCTOR XT per sistemi informatici, dotati di funzione LifeCheck integrata, costituiscono un sistema semplice e ideale per la sorveglianza, sono in grado di rilevare anticipatamente i segni che precedono il danneggiamento e consentono di sostituire gli scaricatori ad essi soggetti nell'intervallo di manutenzione successivo. La funzione LifeCheck controlla costantemente lo stato degli scaricatori mentre non si trovano sotto tensione, in quanto lo stato LifeCheck viene rilevato attraverso la tecnologia RFID, che è priva di contatti. Come un sistema di allarme precoce, LifeCheck rileva in modo affidabile un imminente sovraccarico elettrico o termico degli elementi di protezione. Un sistema di sorveglianza fisso permette di effettuare la manutenzione in base alle condizioni su 10 scaricatori BLITZDUCTOR XT.

Sono disponibili due sistemi:

1. DRC MCM XT (**Figura 9.16.11**) - Sistema di sorveglianza multiplo compatto montato su guida DIN, per la sorveglianza delle seguenti condizioni:
 - ➔ sorveglianza delle condizioni degli scaricatori dotati di LifeCheck,
 - ➔ sistema a cascata che sorveglia fino a 150 scaricatori (600 conduttori di segnale),
 - ➔ cablaggio ridotto al minimo,
 - ➔ segnalazione remota via RS485 o contatti di segnalazione remota (1 contatto aperto e 1 chiuso).

2. RDC SCM XT - sistema unico di sorveglianza delle condizioni, ideale per piccole turbine eoliche, con dieci scaricatori al massimo:

- ➔ sorveglianza delle condizioni degli scaricatori dotati di LifeCheck,
- ➔ sorveglianza di un massimo di 10 scaricatori (40 conduttori di segnale),
- ➔ cablaggio ridotto al minimo,
- ➔ segnalazione remota via contatti di segnalazione remota (1 contatto aperto).

Come nel caso dei sistemi di sorveglianza delle condizioni della serie BLITZDUCTOR XT, tutti i sistemi di arresto della serie DEHNguard o DEHNblock con il suffisso FM possono essere opzionalmente sorvegliati tramite un contatto flottante. In caso di scaricatori Dehnguard con il suffisso LI (Lifetime Indication, cioè indicazione della durata), l'indicazione visiva specifica tre stati operativi, cioè giallo (fine vita), verde (perfettamente funzionante) e rosso (guasto). Se appare la spia gialla, il modulo ha raggiunto circa l'80% della sua vita utile. In aggiunta alla segnalazione visiva sul modulo, tale indicazione di sostituire lo scaricatore nell'intervallo di manutenzione successivo viene trasmesso anche al controller della turbina attraverso il contatto di segnalazione a distanza.

Prove di laboratorio secondo la norma IEC-61400-24

La norma IEC 61400-24 (EN 61400-24) descrive due metodi di base per eseguire le prove di immunità a livello di sistema sulle turbine eoliche.

- ➔ Quando si eseguono prove a corrente impulsiva in condizioni operative, vengono iniettate delle correnti impulsive o delle correnti parziali di fulmine nelle singole linee di un sistema di controllo mentre è presente una tensione di rete. In tal modo, l'apparecchiatura da proteggere, compresi tutti i dispositivi SPD, viene sottoposta a un impulso della corrente di prova.
- ➔ Il secondo metodo di prova simula gli effetti elettromagnetici del LEMP. A tal fine viene iniettata l'intera corrente di fulmine nella struttura che scarica la corrente di fulmine, mentre il comportamento del sistema elettrico viene analizzato mediante la simulazione del cablaggio in condizioni operative nel modo più realistico possibile. La ripidità della corrente di fulmine è un parametro di prova decisivo.

DEHN offre ai produttori di turbine eoliche i servizi di progettazione e di prova (**Figura 9.16.12**), come ad esempio:

- ➔ prove di corrente da fulmine per riduttori e cuscinetti della linea di trasmissione meccanica,
- ➔ prove a corrente elevata per i ricettori e le calate delle pale del rotore,
- ➔ prove di immunità a livello di sistema per i sistemi di controllo, come il sistema di regolazione del passo, i sensori del vento o le luci di segnalazione ostacoli al volo,
- ➔ prove personalizzate dei gruppi di collegamento.

La norma CEI EN 61400-24 (CEI 88-16) raccomanda di effettuare tali prove per i sistemi di controllo rilevanti.



Protezione delle stazioni Radiomobile (4G / LTE)

Oltre alla comunicazione vocale, anche la comunicazione dati mobile ha acquisito slancio con l'introduzione commerciale della tecnologia UMTS nel 2003. A causa di questo aumento della domanda per i volumi di dati, cresce anche la domanda mondiale per la larghezza di banda. Il maggior uso di smartphone e altri dispositivi mobili spinge gli spettri dell'attuale rete convenzionale verso i loro limiti.

Gli elevati costi di investimento in nuove infrastrutture di rete e in sistemi tecnologici, nonché gli elevati costi di manutenzione e di esercizio per le stazioni Radiomobile esistenti, sono svantaggi ai quali i gestori delle reti mobili devono far fronte utilizzando la moderna e innovativa tecnologia. Di conseguenza, il loro obiettivo è di ridurre i costi di funzionamento e di manutenzione, e inoltre fornire a un numero sempre crescente di utenti di telefonia mobile una affidabilità e una disponibilità considerevolmente maggiore.

I gestori delle reti mobili e i costruttori dei sistemi tecnologici utilizzano in misura sempre maggiore la tecnologia delle unità radio remote per UMTS (3G) e LTE (4G). Le unità radio remote (RRH/RRU, Remote Radio Heads/Units) sono un miglioramento della terza generazione dei dispositivi radio mobili. La tecnologia radio a distanza è usata non solo per applicazioni radio mobili commerciali, ma anche per i sistemi radio digitali delle autorità preposte alla sicurezza, come i servizi di polizia e i servizi di salvataggio, che richiedono un'elevata affidabilità e disponibilità.

Stazioni radiomobile convenzionali

Le stazioni radiomobile convenzionali utilizzano cavi coassiali, indicati anche come cavi a guida d'onda. Un evidente svantaggio di questa tecnologia è l'elevata perdita di trasmissione (fino al 50%), a seconda della lunghezza e della sezione dei cavi ad alta frequenza. Inoltre, la tecnologia di trasmissione radio è completamente integrata nella stazione di ricetrasmisione, o stazione radio base (RBS, Radio Base Station). Questo richiede un continuo raffreddamento delle camere che contengono le apparecchiature tecniche e porta ad un aumento del consumo di energia e dei costi di manutenzione (Figura 9.17.1).

Stazioni radiomobile con unità radio remote

Le unità radio remote incorporano la tecnologia delle alte frequenze che in origine era integrata a livello centrale nella stazione di base. Il segnale ad alta frequenza viene generato direttamente all'antenna da dove viene trasmesso. Pertanto, le RRH/RRU sono installate direttamente alle antenne, riducendo le perdite e aumentando la velocità di trasmissione. Un altro vantaggio è che sono necessari meno impianti di condizionamento d'aria per l'auto-raffreddamento delle unità radio remote. I cavi a fibre ottiche consentono di trasmettere i dati tra la stazione radio base e le unità radio remote distanti fino a 20 km. L'uso di sistemi tecnologici remoti e le moderne stazioni base di piccole dimensioni riducono i costi energetici (e di leasing) e i costi relativi al posizionamento,

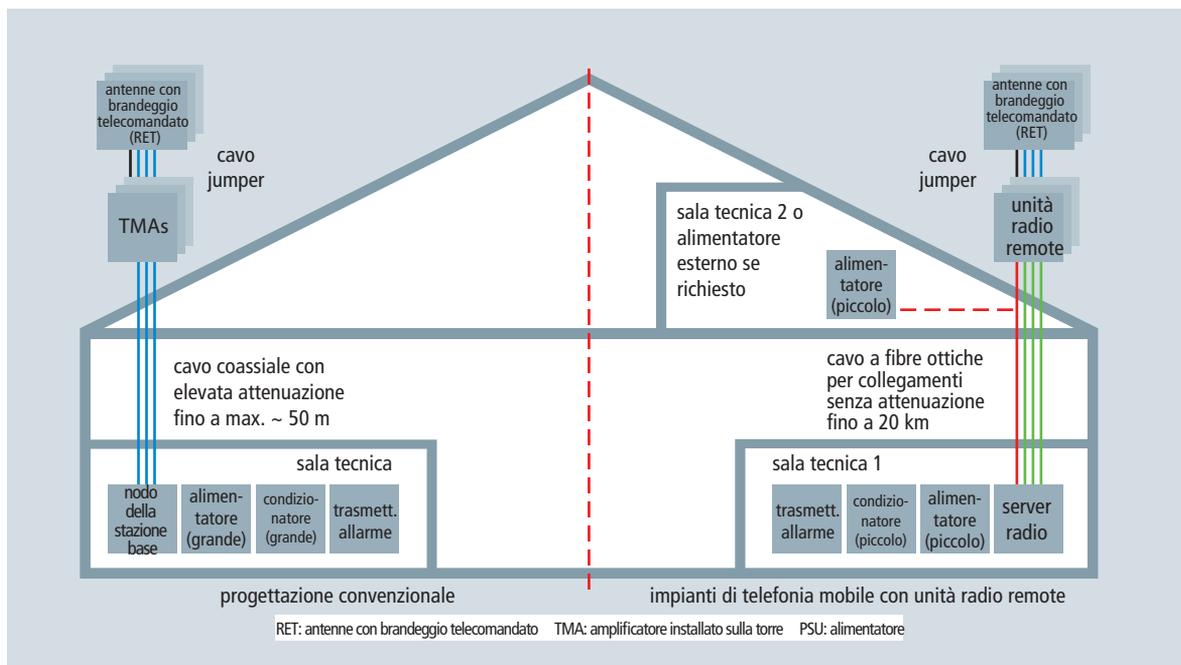


Figura 9.17.1 Confronto: stazione radiomobile convenzionale (a sinistra) e stazione radiomobile con unità radio remota (a destra)

grazie al numero ridotto di sale per le attrezzature tecniche (Figura 9.17.1).

Protezione esterna contro i fulmini

Le antenne dei suddetti sistemi sono spesso installate entro uno spazio in affitto, su un tetto. Il gestore dell'antenna e il proprietario dell'edificio generalmente si accordano sul fatto che l'antenna installata non deve presentare un rischio supplementare per l'edificio. Per quanto riguarda la protezione contro i fulmini questo significa che in caso di fulminazione del traliccio dell'antenna non deve entrare alcuna corrente parziale di fulmine all'interno dell'edificio, in quanto essa metterebbe in pericolo soprattutto gli impianti elettrici ed elettronici (Figura 9.17.2).

La Figura 9.17.3 mostra il traliccio di un'antenna dotato di un sistema di captazione isolato.

La punta del captatore deve essere fissata alla torre dell'antenna per mezzo di un tubo di supporto in materiale non conduttore. L'altezza della punta del captatore dipende dalla torre dell'antenna, dalla possibile apparecchiatura elettrica dell'impianto d'antenna e dalla stazione radio di base (SRB); essa deve essere scelta in modo tale che questi elementi si trovino nel volume protetto del sistema di captazione. Nel caso di edifici con diversi sistemi di antenna, vanno installati più sistemi di captazione isolati.

Stazioni radio base (SRB) con scaricatori combinati DEHNvap CSP

L'unità di alimentazione della RBS deve avere un cavo di alimentazione indipendente dall'unità di alimentazione dell'edificio. Le stazioni radiomobili richiedono quadri secondari (o quadri di distribuzione al piano) indipendenti. Ogni scheda di distribuzione è dotata normalmente di scaricatori della corrente di fulmine e limitatori di sovratensione (scaricatori combinati Tipo 1). Inoltre va installato uno scaricatore combinato Tipo 1 a valle del contatore, cioè a valle dei fusibili. Al fine di garantire il coordinamento energetico, si devono utilizzare dispositivi di protezione (SPD) dello stesso produttore in entrambi i punti di installazione. Numerose prove di laboratorio eseguite presso DEHN con unità di alimentazione di diversi produttori confermano che è essenziale il coordinamento degli scaricatori combinati, come DEHNvap CSP (Cell Site Protection = Protezione delle stazioni radiomobili) con i circuiti di ingresso integrati nell'unità di alimentazione.

Gli scaricatori spinterometrici combinati DEHNvap CSP 3P 100 FM sono utilizzati per proteggere l'alimentatore (PSU) delle stazioni radio base. Questi scaricatori Tipo 1 sono appositamente progettati per proteggere le unità di alimentazione dei sistemi di ricetrasmisione.

Quando si usano scaricatori combinati, bisogna assicurare la "selettività di disconnessione" rispetto ai fusibili posti a monte. Solo gli scaricatori con sufficiente potere di estinzione

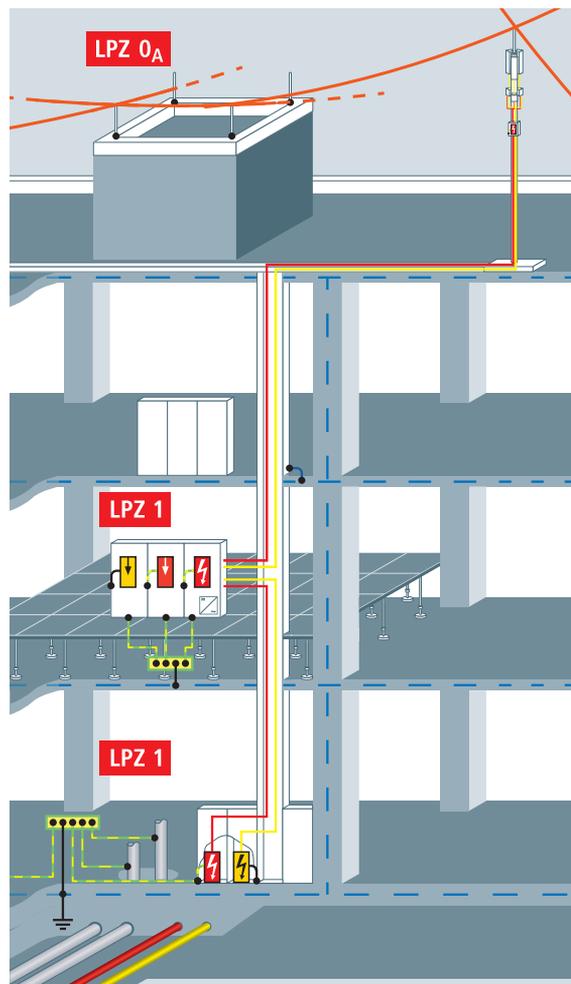


Figura 9.17.2 Progettazione di base dell'unità radio remota in caso di impianti montati sul tetto

ne e limitazione della corrente susseguente consentono di evitare falsi interventi dei fusibili dell'impianto e quindi l'esclusione dell'unità di alimentazione.

Applicazioni della unità radio remota

Le Stazioni Radiomobili sono costituite da:

- ➔ stazione radio base (BRS, Base Radio Station) (cabina elettrica interna o esterna)
- ➔ unità Baseband / server radio
- ➔ unità radio remota (RRH/RRU, Remote radio heads/units)

Le unità radio remota (tecnologica a sistema attivo) richiedono un'alimentazione separata a 48 V CC dal punto di fornitura dell'energia elettrica. A tal fine, si impiegano di solito cavi con più conduttori schermati di rame con sezione da 6 a

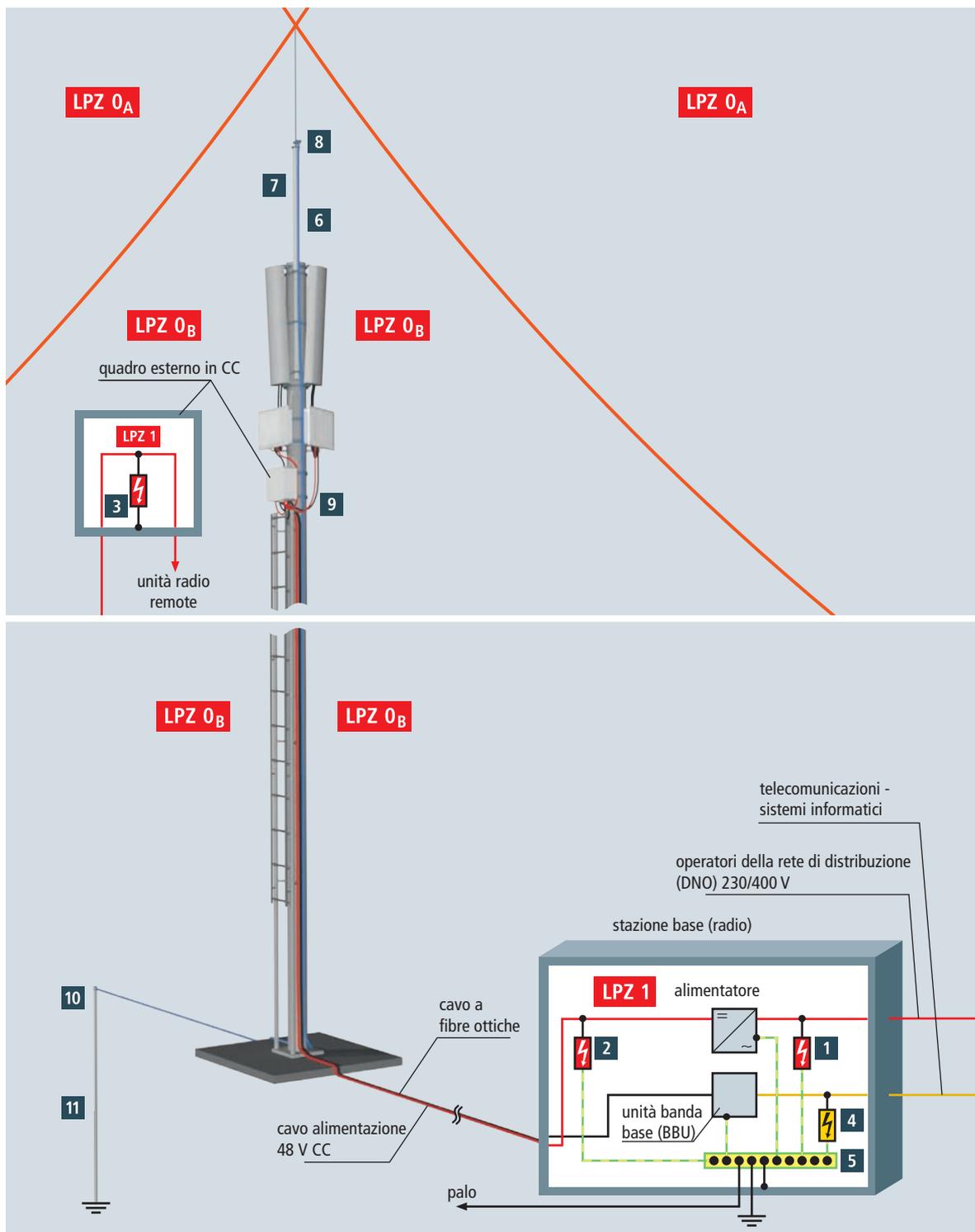


Figura 9.17.3 Unità radio remote e stazione radio base (RBS) in caso di antenne montate su tralicci al suolo.

N° di 9.17.3	Protezione	Tipo	Art.
Alimentazione in corrente alternata			
1	Stazione base (230/400 V CA)	DEHNvap CSP 3P 100 FM	900 360
Alimentazione in corrente continua			
2	Unità di alimentazione (48 V CC)	DEHNsecure DSE M 1 60 FM	971 126
3	Unità radio remota (48 V CC)	DEHNsecure DSE M 2P 60 FM	971 226
Collegamento alla rete fissa			
4	Linee di telecomunicazione	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 B 180 + basetta BXT BAS	920 310 920 300
Protezione contro i fulmini esterna			
5	Impianto installato a terra / sul tetto	Barra di collegamento equipotenziale, 10 morsetti	472 219
6	Impianto installato a terra / sul tetto	Conduttura HVI III	819 025
7	Impianto installato a terra / sul tetto	Sostegno in vetroresina / alluminio	105 300
8	Impianto installato a terra / sul tetto	Piastra terminale	301 339
9	Impianto installato a terra / sul tetto	Morsetto per tubi per antenne	540 100
10	Impianto installato a terra	Staffa terminale in acciaio inox	620 915
11	Impianto installato a terra	Acciaio inossidabile asta di messa a terra	620 902

Tabella 9.17.1 Protezione contro i fulmini e le sovratensioni per sistemi radiomobile

16 mm². Nella maggior parte dei casi, questi cavi in corrente continua sono installati all'esterno dell'edificio fino alla superficie del tetto e alle unità radio remote, o dalla stazione radio base al palo di sostegno. La comunicazione dati tra le unità radio remote (RRH/RRU) e i sistemi tecnologici avviene tramite cavi precablati in fibra di vetro al posto dei cavi con guaina corrugata utilizzati in precedenza. In caso di fulminazione diretta, con entrambi i tipi di installazione, i cavi di alimentazione in corrente continua e il sistema tecnologico sono esposti alla corrente di fulmine.

Quindi gli scaricatori della corrente di fulmine e i limitatori di sovratensione devono essere in grado di condurre in modo sicuro la corrente di fulmine all'impianto di messa a terra. A tal fine si impiegano scaricatori della corrente di fulmine Tipo 1 conformi alla norma CEI EN 61643-11 (CEI 37-8). Solo gli scaricatori spinterometrici Tipo 1 assicurano un'affidabile coordinamento con i circuiti di protezione a valle integrati nell'ingresso delle apparecchiature terminali. Con gli scaricatori spinterometrici si proteggono le stazioni radio base, le unità di alimentazione e le unità radio remote (RRH/RRU), impedendo l'ingresso alle correnti di fulmini nei sistemi tecnologici, fornendo così la massima protezione e assicurando

la disponibilità della stazione anche in caso di fulminazione (**Figure 9.17.2 e 9.17.3**).

Soluzioni personalizzate per unità radio remote a 48 V CC (scaricatori Tipo 1)

Scaricatori a corrente continua: scaricatori della corrente di fulmine modulari Tipo 1 DEHNsecure 60 ... (FM)

Le unità RRH/RRU dispongono di alimentazione centralizzata in corrente continua proveniente dal punto di fornitura dell'energia elettrica. Il cavo di alimentazione schermato deve essere integrato nella messa a terra dell'antenna in conformità alla norma CEI EN 60728-11 (CEI 100-126) e, se è installato sull'edificio un sistema di protezione antifulmine, anche in conformità alla norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3). All'interno del quadro interno in corrente continua posto in prossimità dell'alimentatore nella cabina elettrica, e anche nel quadro esterno in corrente continua posto presso il traliccio dell'antenna, sono installati gli scaricatori Tipo 1 in corrente continua con un livello basso della tensione di protezione, appositamente sviluppati per applicazioni RRH/RRU. Il quadro in corrente continua posto presso il tra-

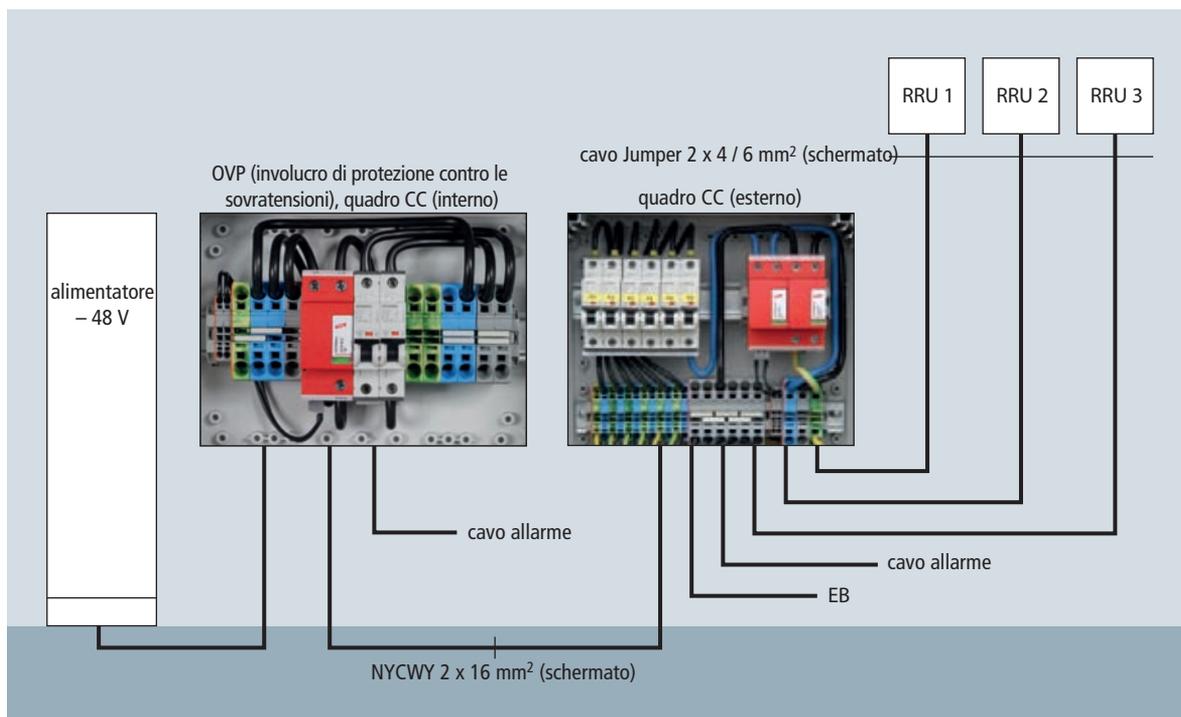


Figura 9.17.4 Schema base delle unità radio remote (RRH) in caso di livelli dei collegamenti equipotenziali fisicamente separati con quadro a corrente continua (esterno) e DEHNsecure DSE M 2P 60 FM, nonché con OVP (interno) e DEHNsecure DSE M 1 60 FM

liccio dispone di un circuito "1 + 1", cioè il polo positivo e la schermatura del cavo sono collegati tra loro tramite un cosiddetto spinterometro totale, per evitare la corrosione e le correnti vaganti. Nell'unità di alimentazione, il polo positivo è direttamente collegato a terra e di solito sono installati degli scaricatori unipolari Tipo 1 in corrente continua. I sistemi precablati in corrente continua (nel quadro in corrente continua) per le installazioni interne ed esterne con scaricatori della corrente di fulmine DEHNsecure DSE M 1 60 FM e DSE 2P 60 FM Tipo 1 in corrente continua offrono una protezione efficace. Il livello della tensione di protezione U_p degli scaricatori della corrente di fulmine Tipo 1 deve essere inferiore a quello dei sistemi tecnologici. I vantaggi del nuovo concetto di scaricatore in corrente continua sono, ad esempio, un margine di manovra sufficiente per future estensioni del sito in caso di correnti di carico nominale fino a 2000 A, nessuna corrente susseguente fino a un massimo di 60 V CC, nessuna corrente di dispersione e un elevato livello di protezione per le apparecchiature utilizzatrici a causa della bassa tensione residua di $\leq 0,4$ kV a 5 kA (livello della tensione di protezione 1,5 kV per fronte d'onda a 10/350 ms).

La **Figura 9.17.4** illustra il concetto di protezione per RRH/RRU in caso di livelli dei collegamenti equipotenziali fisicamente separati.

Scaricatori combinati Tipo 1 per impianti RRH/RRU

La **Figura 9.17.5** mostra un esempio di sistema di assemblaggio personalizzato con scaricatore spinterometrico Tipo 1 secondo la norma ICEI EN 61643-11 (CEI 37-8).

Lo scaricatore DEHNshield permette di risparmiare spazio, occupa solo due moduli, ha una massima capacità di scarica di 12,5 kA per polo (10/350 μ s) e un livello di protezione U_p di 1,5 kV, ed è quindi ideale per proteggere le apparecchiature utilizzatrici. Questo sistema di assemblaggio permette di alimentare fino a sei RRH/RRU con una tensione nominale di 48 V CC (al massimo 60 V, 80 A) attraverso cavi isolati in fibra di vetro per la comunicazione dei dati. Inoltre, il progetto del quadro in corrente continua assicura un carico da vento bassissimo e una facile installazione sul traliccio.

Soluzioni personalizzate per unità radio remote a 48 V CC (scaricatori Tipo 2)

I sistemi di montaggio Tipo 2 secondo la normativa CEI EN 61439-1 (CEI 17-113) / CEI EN 61439-2 (CEI 17-114)

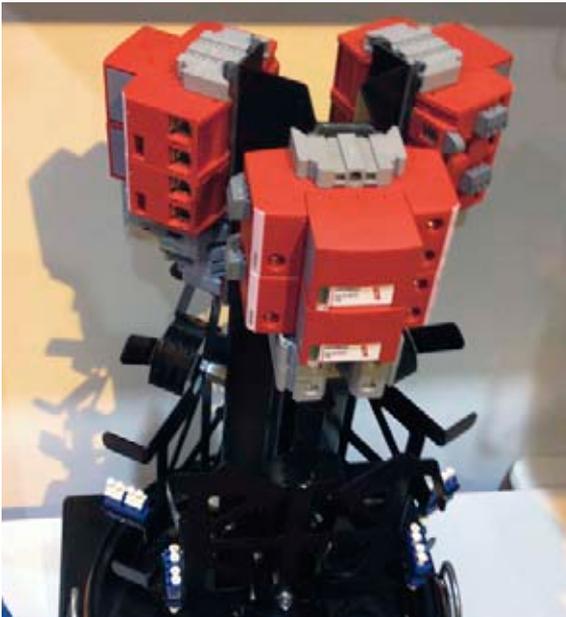


Figura 9.17.5 Installazione RRH protetta da uno scaricatore Tipo 1 in un tipico ambiente di installazione

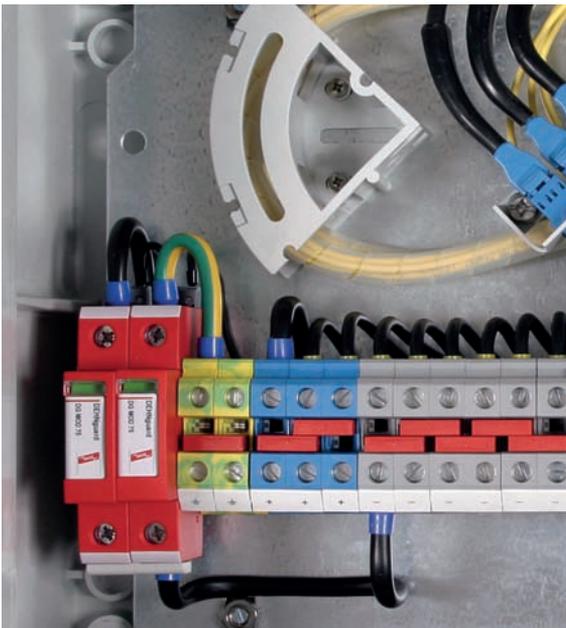


Figura 9.17.6 Quadro ibrido precablato per 48 V CC per impianti esterni con scaricatori DEHNGuard Tipo 2

vengono utilizzati anche in base alla filosofia di protezione adottata dai gestori delle reti mobili e dai produttori dei sistemi, alle caratteristiche tecniche e alle specifiche condizioni di ciascun paese. Per proteggere gli apparecchi utilizzatori

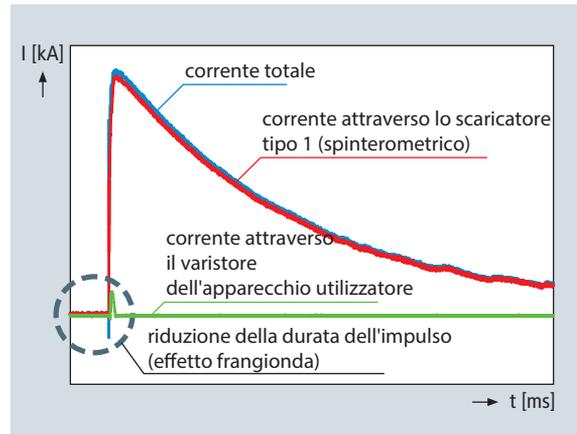


Figura 9.17.7 Scaricatore spinterometrico Tipo 1 (curva caratteristica tipica)

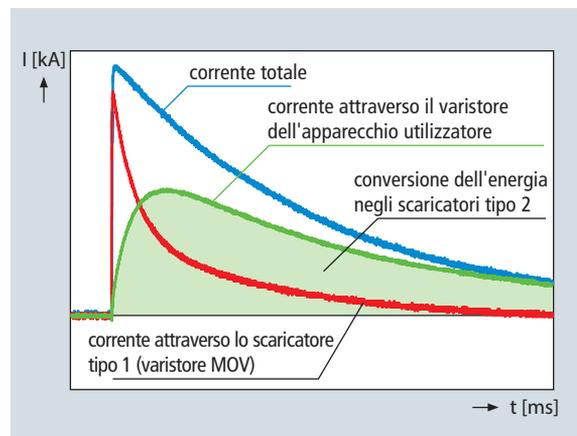


Figura 9.17.8 Scaricatore a varistore Tipo 1 (curva caratteristica tipica)

degli impianti RRH/RRU con tensione nominale fino a 48 V CC, vengono impiegati scaricatori a varistore Tipo 2 con un livello bassissimo della tensione di protezione, per esempio DEHNGuard DG S 75 FM.

La **Figura 9.17.6** mostra un sistema premontato Tipo 2, sotto forma di un quadro ibrido (in corrente continua) per le installazioni in interni ed esterni. Un involucro dotato di serratura rinforzata con fibra di vetro (GRP) con un grado di protezione IP 66 può alloggiare fino a sei dispositivi RRH/RRU. Tutte le linee in entrata e in uscita fino a 48 V in corrente continua sono cablate su morsettiere. Ciò offre significativi vantaggi per l'installatore, in particolare in caso di installazione su traliccio. Per la comunicazione dei dati, il quadro ibrido in corrente continua alloggia fino a 12 adattatori LC Duplex che accettano i collegamenti precablati in fibra di vetro provenienti dalla sala tecnica. Queste schede sono collegate ai

dispositivi RRH/RRU attraverso cavi di collegamento di breve lunghezza (jumper cables) con il percorso più diretto. Accessori di facile montaggio, come le staffe da parete e da palo dotate di fascette di serraggio, assicurano un'installazione facile e veloce.

Confronto dell'effetto protettivo degli scaricatori spinterometrici Tipo 1 e degli scaricatori a varistore Tipo 1

Il coordinamento energetico con l'apparecchiatura utilizzatrice da proteggere è un importante vantaggio degli spinterometri utilizzati negli scaricatori Tipo 1 (10/350 μ s) rispetto ai MOV (varistori a ossido metallico).

La cosiddetta funzione di "frangionda" si ottiene mediante la rapida attivazione dello spinterometro nel giro di pochi microsecondi, il che significa che quasi nessuna corrente scorre nelle apparecchiature utilizzatrici da proteggere dopo

l'intervento dello spinterometro (**Figura 9.17.7**). Perciò solo un'energia relativamente ridotta entra nell'apparecchiatura utilizzatrice, anche nel caso di correnti impulsive estremamente elevate. Questa energia, tuttavia, è critica per il circuito di protezione integrato nell'ingresso dell'apparecchiatura utilizzatrice.

Se vengono impiegati i dispositivi di protezione contro le sovratensioni del tipo MOV, la corrente scorre nelle apparecchiature utilizzatrici da proteggere per tutta la durata degli impulsi. In molti casi, l'unità di alimentazione in corrente alternata/continua collegata e il sistema tecnologico restano danneggiati e nel peggiore dei casi completamente distrutti (**Figura 9.17.8**). Le prove del sistema radiomobile con apparecchiature di diversi produttori, mostrano chiaramente che solo gli spinterometri possono offrire il livello di protezione richiesto in questo campo di applicazione.



Protezione contro i fulmini e le sovratensioni per sistemi fotovoltaici

In Germania sono installati attualmente circa un milione di sistemi fotovoltaici. Sulla base del fatto che l'elettricità generata è generalmente meno costosa e fornisce un elevato grado di indipendenza dalla rete, i sistemi fotovoltaici sono destinati a diventare parte integrante degli impianti elettrici. Tuttavia questi sistemi sono esposti alle intemperie e devono resistere ad esse per decenni.

I cavi dei sistemi fotovoltaici spesso entrano nell'edificio e si estendono per lunghe distanze fino al punto di collegamento con la rete di distribuzione.

I fulmini causano interferenze elettriche, sia trasmesse sia generate in campo. Questo effetto aumenta in relazione con una maggiore lunghezza del cavo o delle spire conduttrici. Le sovratensioni non solo danneggiano i moduli fotovoltaici, gli inverter e i relativi dispositivi elettronici di controllo, ma anche i dispositivi dell'impianto entro l'edificio. Cosa ancora più importante, negli edifici industriali si possono verificare danni agli impianti, che provocano l'interruzione della produzione.

Se vengono iniettate delle sovratensioni in impianti lontani dalla rete di distribuzione, indicati anche come sistemi fotovoltaici stand-alone, può risultare disturbato il funzionamento delle apparecchiature alimentate dall'energia solare (ad esempio apparecchiature mediche, fornitura di acqua).

Necessità di un sistema di protezione contro i fulmini installato sul tetto.

L'energia liberata da un fulmine è una delle cause più frequenti di incendio. Quindi, la protezione antincendio e la salvaguardia della sicurezza delle persone sono di fondamentale importanza in caso di fulminazione diretta di un edificio. In fase di progettazione di un sistema fotovoltaico, è evidente l'opportunità di installare un sistema di protezione contro il fulmine sull'edificio. In alcuni paesi, la normativa edilizia richiede che gli edifici pubblici (ad esempio luoghi di riunione, scuole e ospedali) siano dotati di un sistema di protezione contro il fulmine. In caso di edifici industriali o privati, la necessità di installare un sistema di protezione contro il fulmine dipende dalla posizione, dal tipo di costruzione e dall'utilizzo. Va definito a tal fine se i fulmini sono probabili o se potrebbero avere conseguenze gravi. Le strutture che necessitano di protezione devono essere provviste di una protezione permanentemente ed efficace contro i fulmini.

Allo stato attuale delle conoscenze scientifiche e tecniche, si può affermare che l'installazione di moduli fotovoltaici non fa aumentare il rischio di fulminazione. Pertanto, la richiesta di misure di protezione contro i fulmini non deriva direttamente dalla semplice esistenza di un impianto fotovoltaico. Tuttavia gli impianti fotovoltaici possono causare l'ingresso nell'edificio di interferenze rilevanti. Quindi è necessario determinare il rischio derivante dai fulmini, secondo la norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2), e prendere in considerazione i

risultati della relativa analisi dei rischi al momento dell'installazione del sistema fotovoltaico. A questo scopo, DEHN offre lo strumento software DEHNsupport Toolbox che consente di determinare il rischio. L'analisi dei rischi effettuata per mezzo di questo strumento software fornisce un risultato comprensibile da tutte le parti coinvolte. Il software confronta il rischio con le spese tecniche e fornisce misure di protezione economicamente ottimizzate.

La sezione 4.5 (Gestione del rischio) dell'Integrazione 5 della norma tedesca DIN EN 62305-3 descrive un sistema di protezione antifulmine in classe LPS III (LPL III) che risponde ai normali requisiti degli impianti fotovoltaici. Inoltre, le linee guida tedesche VdS 2010, pubblicate dell'associazione generale tedesca del settore assicurativo, elencano adeguate misure di protezione contro i fulmini (orientate al rischio di fulminazione e alla protezione contro le sovratensioni). Tali linee guida richiedono per i sistemi fotovoltaici anche l'installazione sul tetto di un impianto antifulmine in classe LPS III (> 10 kW_p) nonché l'installazione di misure di protezione contro le sovratensioni.

Come regola generale, i sistemi fotovoltaici sul tetto non devono interferire con le misure di protezione antifulmine.

Necessità della protezione contro le sovratensioni per gli impianti FV

In caso di fulmini, nei conduttori elettrici vengono indotte delle sovratensioni. I dispositivi di protezione (SPD), da installare a monte dei dispositivi da proteggere (in corrente alternata, continua e dati), si sono dimostrati molto efficaci nel proteggere i sistemi elettrici da questi picchi distruttivi di tensione. La sezione 9.1 della norma CEI CLC/TS 50539-12 (CEI 37-12) (Selezione e principi di applicazione - SPD collegati agli impianti fotovoltaici) richiede l'installazione di dispositivi di protezione contro le sovratensioni, a meno che l'analisi dei rischi dimostri che essi non sono necessari. Secondo la norma IEC 60364-4-44 (HD 60364-4-44), i dispositivi di protezione vanno installati anche negli edifici senza protezione contro i fulmini esterna, come edifici commerciali e industriali, ad esempio strutture agricole. L'integrazione 5 della norma tedesca DIN EN 62305-3 fornisce una descrizione dettagliata dei tipi di SPD e dei relativi punti di installazione.

Passaggio dei cavi dei sistemi fotovoltaici

I cavi devono essere disposti in modo tale da evitare conduttori passanti di grandi dimensioni. Questo principio va rispettato quando si combinano i circuiti in corrente continua per formare una stringa (cioè una serie) e nell'interconnessione tra stringhe diverse. Inoltre, le linee dati o dei sensori non vanno instradate su più stringhe che formano ampie spire conduttrici. Questo principio va rispettato anche per il col-

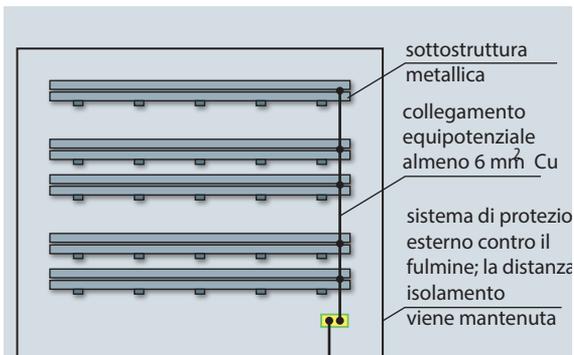


Figura 9.18.1 Messa a terra funzionale dei sistemi di montaggio, se non è installata una protezione contro i fulmini esterna o se viene mantenuta la distanza di isolamento (DIN EN 62305-3, Integrazione 5)

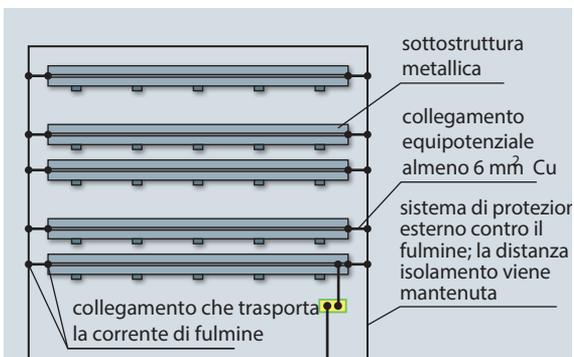


Figura 9.18.2 Collegamento equipotenziale antifulmine per i sistemi di montaggio, se la distanza di isolamento non viene mantenuta



Figura 9.18.3 Morsetto di messa a terra UNI: un elemento intermedio in acciaio inossidabile impedisce la corrosione di contatto, stabilendo così dei collegamenti affidabili a lungo termine tra i diversi materiali conduttori

legamento dell'inverter alla rete. Per questo motivo, le linee di potenza (corrente continua e alternata) e linee dati (ad esempio sensore di radiazioni, controllo della resa) devono essere instradate insieme ai conduttori del collegamento equipotenziale lungo tutto il loro percorso.

Messa a terra dei sistemi fotovoltaici

I moduli fotovoltaici sono generalmente fissati su supporti di metallo. Il componenti fotovoltaici sotto tensione sul lato a corrente continua presentano un isolamento doppio o rinforzato (paragonabile al precedente isolamento protettivo) come richiesto dalla norma IEC 60364-4-41. La combinazione di numerose tecnologie sul lato modulo e sul lato inverter (ad esempio con o senza isolamento galvanico) genera requisiti diversi per la messa a terra. Inoltre, il sistema di monitoraggio dell'isolamento integrato nell'inverter è sempre efficace solo se il sistema di montaggio è collegato a terra. Informazioni sulla realizzazione pratica si trovano nell'integrazione 5 della norma tedesca DIN EN 62305-3. La sottostuttura metallica è funzionalmente collegata a terra se il sistema fotovoltaico si trova nel volume protetto del sistema di captazione e viene rispettata la distanza di isolamento. La sezione 7 dell'integrazione 5 richiede, per la messa a terra funzionale, conduttori in rame con sezione di almeno 6 mm² o equivalente (Figura 9.18.1). Anche le guide di montaggio devono essere permanentemente collegate tra loro per mezzo di conduttori di questa sezione. Se il sistema di montaggio è direttamente collegato alla protezione contro i fulmini esterna perché non è possibile mantenere la distanza di isolamento s , questi conduttori diventano parte dell'equipotenzialità antifulmine. Di conseguenza, questi elementi devono essere in grado di trasportare le correnti di fulmine. Il requisito minimo per un sistema di protezione antifulmine in classe LPS III è un conduttore di rame con una sezione di 16 mm² o equivalente. Anche in questo caso, le guide di montaggio devono essere permanentemente collegate tra loro per mezzo di conduttori di questa sezione (Figura 9.18.2). La massa funzionale/equipotenzialità antifulmine deve essere disposta in parallelo e il più vicino possibile ai cavi/linee in corrente continua/alternata.

I morsetti di messa a terra UNI (Figura 9.18.3) si possono fissare su tutti i comuni sistemi di ancoraggio. Essi collegano, ad esempio, conduttori in rame con una sezione di 6 o 16 mm² e fili tondi nudi con un diametro da 8 a 10 mm al sistema di montaggio in modo che possano trasportare la corrente di fulmine. Le piastre di contatto integrate in acciaio inox (V4A) garantiscono una protezione contro la corrosione per i sistemi di fissaggio in alluminio.

Distanza di isolamento s secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)

Bisogna mantenere una certa distanza s tra un sistema di protezione antifulmine e un sistema fotovoltaico. Questa di-

stanza è la distanza necessaria per evitare scariche elettriche incontrollate tra parti metalliche adiacenti a causa di un fulmine che colpisce la protezione contro i fulmini esterna. Nel peggiore dei casi, tale scarica incontrollata può incendiare l'edificio. In tal caso, i danni al sistema fotovoltaico diventano irrilevanti. I dettagli sul calcolo della distanza di isolamento s si trovano nel capitolo 5.6; tale calcolo può essere svolto facilmente e rapidamente con lo strumento software DEHN Distance Tool (capitolo 3.3.2).

Ombre nette sulle celle solari

Una certa distanza tra il generatore fotovoltaico e la protezione contro i fulmini esterna è assolutamente indispensabile per evitare una eccessiva ombreggiatura. Ombre diffuse, per esempio quelle proiettate da linee aeree, non influenzano significativamente il sistema FV e la sua resa. Tuttavia, in caso di ombre nette, l'oggetto proietta sulla superficie un'ombra scura chiaramente delineata, che modifica la corrente che scorre attraverso i moduli fotovoltaici. Per questo motivo, le celle solari e i relativi diodi di by-pass non devono essere influenzati da ombre nette. Questo si ottiene mantenendo una distanza sufficiente. Per esempio, se un'asta di captazione con un diametro di 10 mm ombreggia un modulo, l'ombra netta da essa proiettata si riduce progressivamente con l'aumentare della sua distanza dal modulo. Dopo 1,08 m viene proiettata sul modulo solo un'ombra diffusa (Figura 9.18.4). L'Allegato A dell'integrazione 5 della norma tedesca DIN EN 62305-3 fornisce informazioni più dettagliate sul calcolo delle ombre nette.

Dispositivi di protezione speciali contro le sovratensioni per il lato a corrente continua dei sistemi fotovoltaici

Le caratteristiche U/I dei generatori di corrente fotovoltaici sono molto diverse da quelle dei generatori convenzionali di corrente continua, in quanto presentano una curva

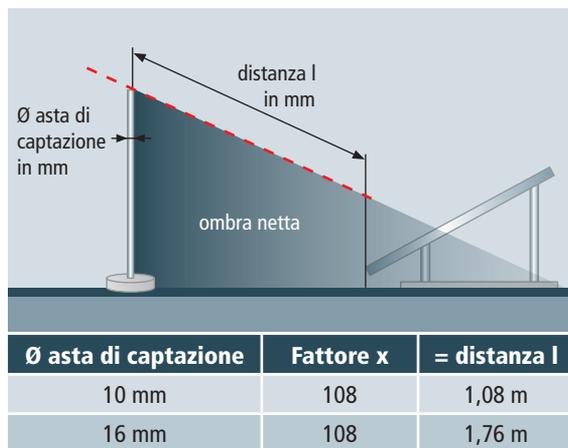


Figura 9.18.4 Distanza tra il modulo e l'asta di captazione necessaria per evitare le ombre nette

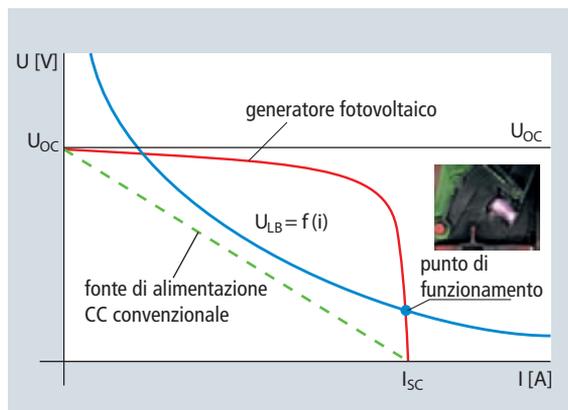


Figura 9.18.5 Curva caratteristica di una sorgente a corrente continua convenzionale rispetto alla curva caratteristica di un generatore fotovoltaico. Quando si commutano delle sorgenti FV, la caratteristica del generatore FV passa attraverso la gamma di tensione dell'arco voltaico

Classe di LPS e max. corrente di fulmine (10/350 ms)		Numero dei conduttori di messa a terra della protezione contro i fulmini esterna			
		< 4		≥ 4	
		Valori dei limitatori di tensione Tipo 1 o dei dispositivi SPD Tipo 1 combinati (cablaggio a V) sulla base di una selezione di $I_{8/20}$ (8/20 μs) e $I_{10/350}$ (10/350 μs)			
		$I_{SPD1} = I_{SPD2}$ $I_{8/20}/I_{10/350}$	$I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{totale}$ $I_{8/20}/I_{10/350}$	$I_{SPD1} = I_{SPD2}$ $I_{8/20}/I_{10/350}$	$I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{totale}$ $I_{8/20}/I_{10/350}$
I o sconosciuto	200 kA	17/10	34/20	10/5	20/10
II	150 kA	12,5/7,5	25/15	7,5/3,75	15/7,5
III e IV	100 kA	8,5/5	17/10	5/2,5	10/5

Tabella 9.18.1 Selezione della minima capacità di scarica degli SPD a limitazione di tensione Tipo 1 (varistori) o SPD combinati Tipo 1 (cablaggio a V di varistori e spinterometri); secondo CEI CLC/TS 50539-12 (CEI 37-12) (Tabella A.1)

Classe di LPS e max. corrente da fulmine (10/350 ms)		Numero dei conduttori di messa a terra della protezione contro i fulmini esterna			
		< 4		≥ 4	
		Valori della tensione di commutazione per SPD Tipo 1 o SPD Tipo 1 combinati (collegamento in parallelo)			
		$I_{SPD1} = I_{SPD2}$ I_{imp}	$I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{totale}$ I_{imp}	$I_{SPD1} = I_{SPD2}$ I_{imp}	$I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{totale}$ I_{imp}
I o sconosciuto	200 kA	25	50	12,5	25
II	150 kA	18,5	37,5	9	18
III e IV	100 kA	12,5	25	6,25	12,5

Tabella 9.18.2 Selezione della minima capacità di scarica degli SPD Tipo 1 (spinterometri) o SPD combinati Tipo 1 (collegamento in parallelo di varistori e spinterometri); secondo CEI CLC/TS 50539-12 (CEI 37-12) (Tabella A.2)



Figura 9.18.6 Scaricatore combinato YPV SCI DEHNcombo Tipo 1 per la protezione dei sistemi fotovoltaici da sovratensioni e correnti parziali di fulmine

caratteristica non lineare (Figura 9.18.5) e provocano la persistenza a lungo termine degli archi innescati. Questa caratteristica unica delle sorgenti di corrente FV non solo richiede interruttori e fusibili di maggiori dimensioni, ma anche un disconnettore per il dispositivo di protezione contro le sovratensioni adatto ad essa, in grado di far fronte alle correnti fotovoltaiche. L'integrazione 5 della norma tedesca DIN EN 62305-3 (sottosezione 5.6.1, Tabella 1) descrive la selezione di SPD adeguati.

Per facilitare la scelta dei dispositivi SPD Tipo 1, le Tabelle 9.18.1 e 9.18.2 mostrano la necessaria capacità di condurre gli impulsi della corrente di fulmine I_{imp} in funzione della classe LPS, del numero di calate della protezione antifulmine esterna, come pure del tipo di SPD (limitatore di tensione a varistore o commutatore di tensione spinterometrico). Si devono utilizzare SPD conformi alla norma CEI EN 50539-11 (CEI 37-11). Anche il paragrafo 9.2.2.7 della norma CEI CLC/TS 50539-12 (CEI 37-12) fa riferimento a questa norma.

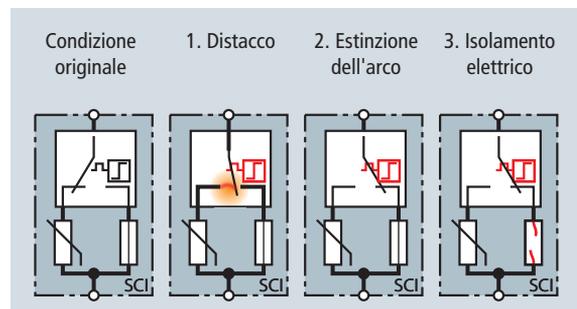


Figura 9.18.7 Fasi di commutazione del dispositivo di commutazione a corrente continua a tre stadi integrato nel dispositivo Dehnguard M YPV SCI ... (FM)



Figura 9.18.8 Scaricatore spinterometrico combinato Tipo 1 DEHN Nimit PV 1000 V2

Scaricatore Tipo 1 in corrente continua per impianti fotovoltaici: scaricatore combinato multipolare in corrente continua Tipo 1 + Tipo 2 DEHNcombo YPV SCI (FM)

Con la tecnologia integrata SCI, gli scaricatori combinati DEHNcombo YPV SCI (FM) (Figura 9.18.6) soddisfano i requisiti sopra indicati. In aggiunta al circuito a prova di guasti

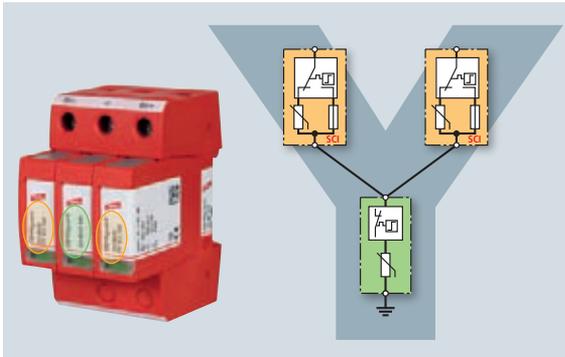


Figura 9.18.9 Limitatore di sovratensione modulare Dehnguard M YPV SCI ... (FM) Tipo 2 con circuito Y a prova di errore e dispositivo di commutazione a corrente continua a tre stadi



Figura 9.18.10 Limitatore di sovratensione Tipo 2 DEHncube YPV SCI 1000 1M, pronto per l'installazione

Y, lo scaricatore DEHNcombo YPV SCI (FM) integra un dispositivo di commutazione a corrente continua a tre stadi (tecnologia SCI). Questo dispositivo di commutazione a corrente continua consiste di un disconnettore e di un dispositivo di corto circuito a controllo termodinamico, nonché di un fusibile nel percorso di by-pass. Questo circuito (**Figura 9.18.7**) scollega in sicurezza lo scaricatore dal generatore di tensione in caso di sovraccarico ed estingue in modo affidabile gli archi in corrente continua. Perciò, DEHNcombo YPV SCI (FM) consente di proteggere i generatori fotovoltaici fino a 1000 A senza prefusibili aggiuntivi. Questo scaricatore combina uno scaricatore della corrente di fulmine e un limitatore di sovratensione in un unico dispositivo, garantendo così un'efficace protezione delle apparecchiature utilizzatrici. Con la sua capacità di scarica I_{totale} di 12,5 kA (10/350 μ s), può essere utilizzato in modo flessibile per le classi più alte di LPS. DEHNcombo YPV SCI (FM) è disponibile per tensioni U_{CPV} di



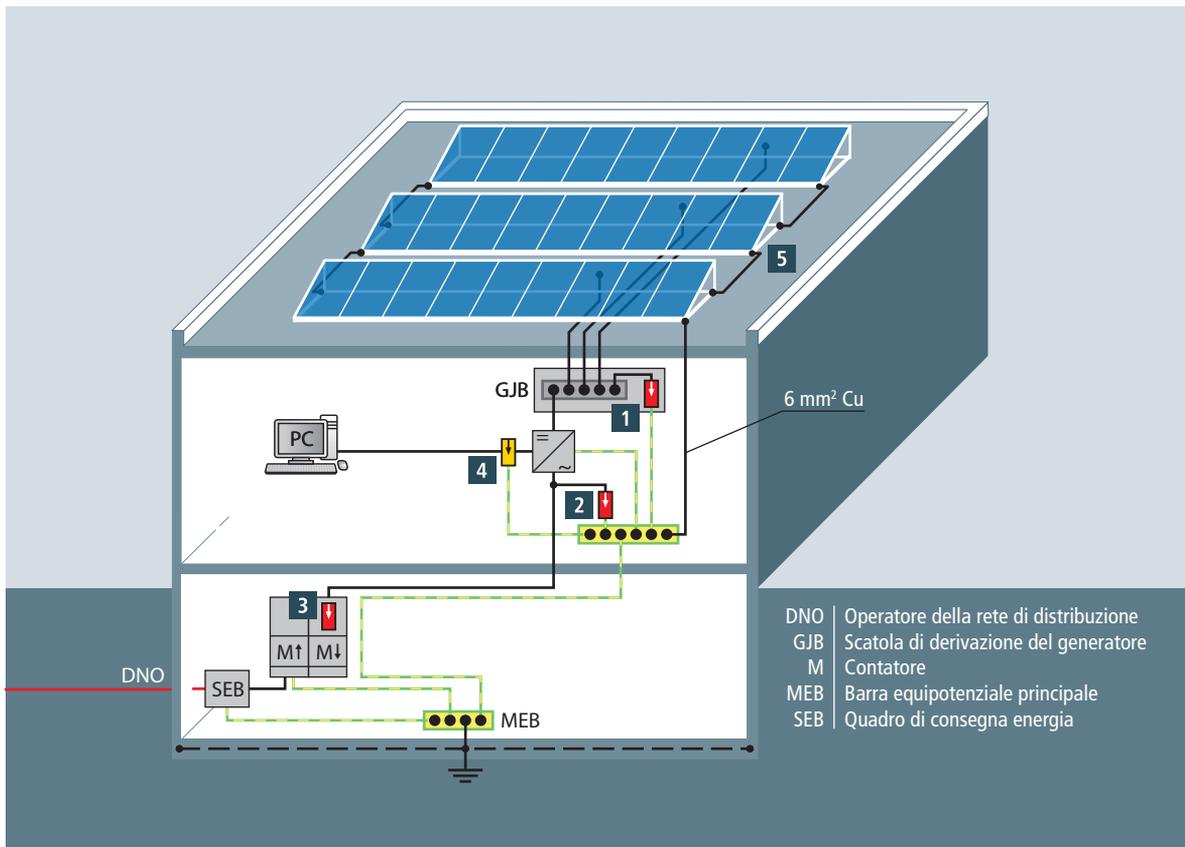
Figura 9.18.11 SPD Dehnguard Tipo 2 integrato nell'inverter per i lati a corrente alternata e continua

600 V, 1000 V e 1500 V e ha una larghezza di soli 4 moduli. Pertanto, DEHNcombo YPV SCI (FM) è lo scaricatore combinato Tipo 1 ideale per l'impiego nei sistemi di alimentazione fotovoltaica.

I dispositivi SPD spinterometrici a commutazione di tensione Tipo 1, ad esempio DEHNlimit PV 1000 V2, (**Figura 9.18.8**), sono un'altra potente tecnologia che permette lo scarico delle correnti di fulmine parziali negli impianti fotovoltaici a corrente continua. Grazie alla sua tecnologia spinterometrica e al circuito di estinzione in corrente continua che consentono di proteggere in modo efficace i sistemi elettronici a valle, questa serie di scaricatori ha una capacità di scarica della corrente di fulmine I_{totale} di 50 kA (10/350 μ s) molto elevata, che la rende unica sul mercato.

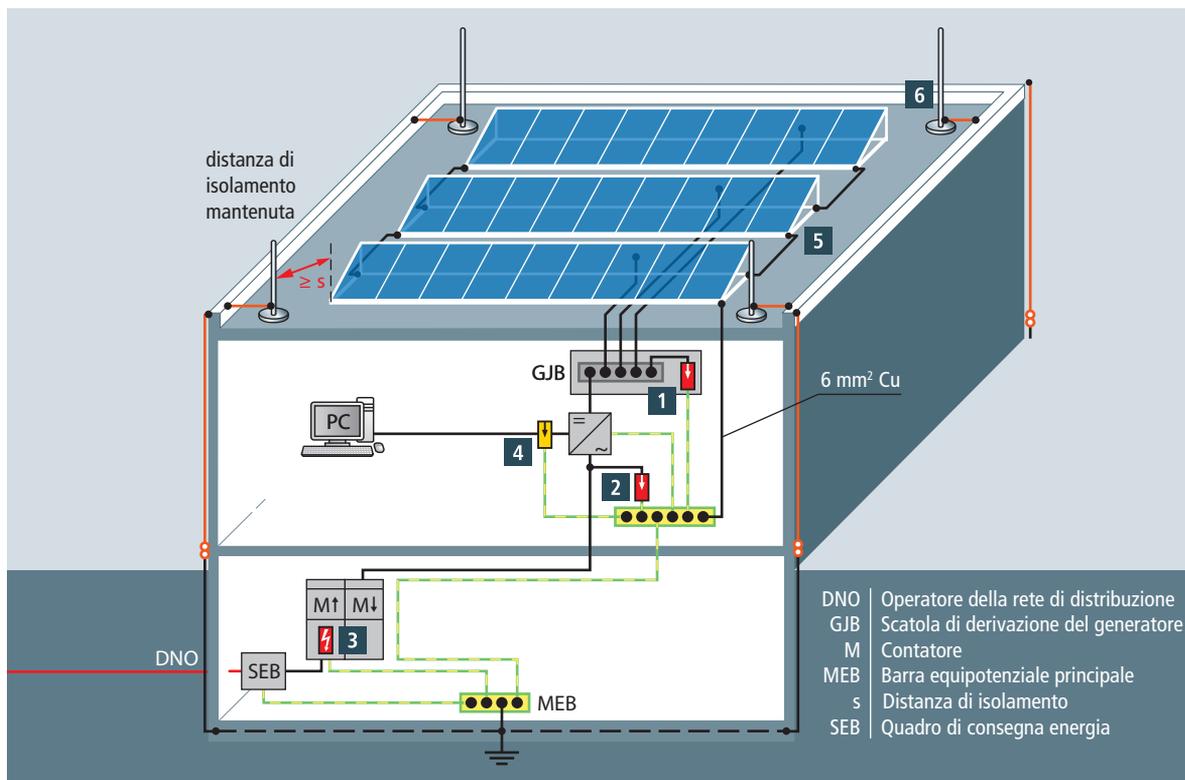
Scaricatore Tipo 2 in corrente continua per l'impiego nei sistemi fotovoltaici: DEHncube YPV SCI ...

Il funzionamento affidabile dei dispositivi SPD nei circuiti FV in corrente continua è indispensabile quando si utilizzano dispositivi di protezione contro le sovratensioni Tipo 2. A tal fine, i limitatori di sovratensione DEHNguard M YPV SCI ... (FM) e DEHncube YPV SCI... dispongono anche di un circuito di protezione Y a prova di guasto e della tecnologia SCI (**Figura 9.18.9 e 9.18.10**) e sono anche collegabili a generatori fotovoltaici fino a 1000 A senza l'impiego di prefusibili. Le numerose tecnologie combinate in questi scaricatori prevengono i danni al dispositivo di protezione contro le sovratensioni dovute ai guasti dell'isolamento nel circuito FV, pre-



Num. in Fig.		SPD	* FM = contatto di segnalazione flottante remoto	Art.
Ingresso C.C. dell'inverter				
1	Per MPPT	DEHNguard DG M YPV SCI 1000 FM *		952 515
	Per 1 MPPT	DEHNcube DCU YPV SCI 1000 1M		900 910
	Per 2 MPPTs	DEHNcube DCU YPV SCI 1000 2M		900 920
Uscita AC dell'inverter				
2	Sistema TN-S	DEHNguard DG M TNS 275 FM *		952 405
Ingresso a bassa tensione				
3	Sistema TN-C	DEHNguard DG M TNC CI 275 FM *		952 309
	Sistema TN-S	DEHNguard DG M TNS CI 275 FM *		952 406
	Sistema TT	DEHNguard DG M TT CI 275 FM *		952 327
Interfaccia dati				
4	Due coppie, anche con diverse tensioni di esercizio, fino a 180 V	BLITZDUCTOR BXTU ML4 BD 0-180 + basetta BXT BAS		920 349 + 920 300
Messa a terra funzionale				
5	Collegamento equipotenziale funzionale	Morsetto di messa a terra UNI		540 250

Figura 9.18.12 Edificio senza LPS esterno - Situazione A (Integrazione 5 della norma DIN EN 62305-3)



Num. in Fig.		SPD	* FM = contatto di segnalazione flottante remoto	Art.
Ingresso C.C. dell'inverter				
1	Per MPPT	DEHNguard DG M YPV SCI 1000 FM *		952 515
	Per 1 MPPT	DEHNcube DCU YPV SCI 1000 1M		900 910
	Per 2 MPPTs	DEHNcube DCU YPV SCI 1000 2M		900 920
Uscita AC dell'inverter				
2	Sistema TN-S	DEHNguard DG M TNS 275 FM *		952 405
Ingresso a bassa tensione				
3	Sistema TN-C	DEHNventil DV M TNC 255 FM *		951 305
	Sistema TN-S	DEHNventil DV M TNS 255 FM *		951 405
	Sistema TT	DEHNventil DV M TT 255 FM *		951 315
Interfaccia dati				
4	Due coppie, anche con diverse tensioni di esercizio, fino a 180 V	BLITZDUCTOR BXTU ML4 BD 0-180 + basetta BXT BAS		920 349 + 920 300
Messa a terra funzionale / protezione contro i fulmini esterna				
5	Collegamento equipotenziale funzionale	Morsetto di messa a terra UNI		540 250
6	Dispositivo di captazione	Asta di captazione con basamento in calcestruzzo (8,5 kg)		101 000 + 102 075

Figura 9.18.13 Edificio con LPS esterno e una sufficiente distanza di isolamento - Situazione B (Integrazione 5 della norma DIN EN 62305-3)



Figura 9.18.14 Determinazione del volume protetto utilizzando il metodo dell'angolo di protezione

vengono il rischio di incendio causato dal sovraccarico dello scaricatore e mettono il dispositivo in uno stato elettrico di sicurezza, il tutto senza interrompere il funzionamento del sistema fotovoltaico. Grazie al circuito di protezione, è possibile sfruttare appieno la caratteristica di limitazione della tensione dei varistori anche nei circuiti in corrente continua dei sistemi fotovoltaici. Inoltre, la protezione contro le sovratensioni sempre attiva minimizza numerosi piccoli picchi di tensione. In tal modo la tecnologia SCI aumenta la durata dell'intero lato a corrente continua del sistema fotovoltaico.

Selezione dei dispositivi SPD secondo il livello di protezione della tensione U_p

La tensione di funzionamento sul lato a corrente continua dei sistemi fotovoltaici differisce da un sistema all'altro. Attualmente sono possibili valori fino a 1500 V CC. Di conseguenza differisce anche la rigidità dielettrica dell'apparecchiatura utilizzatrice. Al fine di garantire che il sistema fotovoltaico sia protetto in modo affidabile, il livello di protezione della tensione U_p del dispositivo SPD deve essere inferiore rispetto alla rigidità dielettrica del sistema fotovoltaico da protegge-

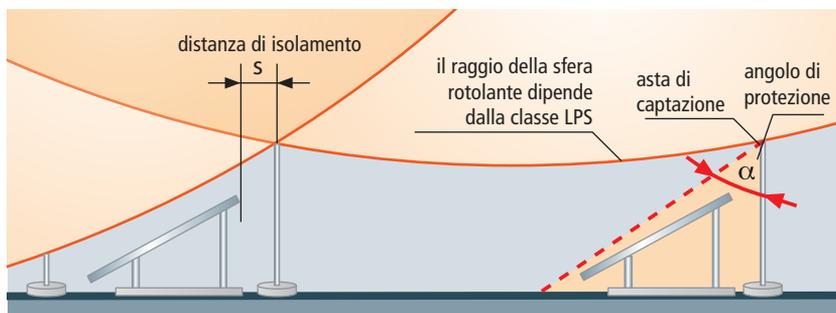


Figura 9.18.15 Confronto tra il metodo della sfera rotante e il metodo dell'angolo di protezione, per la determinazione del volume protetto

re. La norma CEI CLC/TS 50539-12 (CEI 37-12) richiede che la tensione U_p sia almeno il 20% inferiore rispetto alla rigidità dielettrica del sistema fotovoltaico. I dispositivi SPD Tipo 1 o 2 devono essere energeticamente coordinati con l'ingresso dell'apparecchiatura utilizzatrice. Se i dispositivi SPD sono già integrati nelle apparecchiature utilizzatrici, il coordinamento tra SPD Tipo 2 e il circuito di ingresso di tali apparecchiature è garantita dal costruttore (Figura 9.18.11).

Esempi di applicazione:

Edificio privo di protezione contro i fulmini esterna

La Figura 9.18.12 mostra il concetto di protezione contro le sovratensioni per un sistema fotovoltaico installato in un edificio privo di protezione contro i fulmini esterna. A causa dell'accoppiamento induttivo derivante dalla caduta di fulmini nelle vicinanze, delle sovratensioni pericolose possono penetrare nell'impianto FV, o passare dal sistema di alimentazione attraverso la rete elettrica. Gli SPD Tipo 2 vanno installati nei seguenti punti:

- ➔ lato corrente continua dei moduli e inverter,
- ➔ uscita AC dell'inverter,
- ➔ quadro di distribuzione di rete a bassa tensione,
- ➔ interfacce di comunicazione via cavo.

Tutti gli ingressi in corrente continua (MPP) dell'inverter vanno salvaguardati da un dispositivo di protezione contro le sovratensioni Tipo 2, ad esempio DEHNguard M YPV SCI ... (FM), che protegge in modo affidabile il lato a corrente continua dei sistemi fotovoltaici. Se la distanza fra l'ingresso dell'inverter e il generatore fotovoltaico supera i 10 m, la norma CEI CLC/TS 50539-12 (CEI 37-12) richiede l'installazione di un ulteriore scaricatore Tipo 2 per corrente continua sul lato del modulo.

Le uscite in corrente alternata degli inverter sono sufficientemente protette se la distanza tra gli inverter dell'impianto FV e il punto di installazione dello scaricatore Tipo 2 alla connessione di rete (ingresso a bassa tensione) è inferiore a 10 m. Per

cavi di lunghezza maggiore bisogna installare a monte dell'ingresso in corrente alternata dell'inverter un ulteriore dispositivo di protezione contro le sovratensioni Tipo 2, per esempio Dehnguard M ...275, in conformità alla norma CEI CLC/TS 50539-12 CEI 37-12).

Inoltre, deve essere installato un dispositivo di protezione contro le sovratensioni Tipo 2 Dehnguard M...CI 275 (FM) a monte del contattore posto sull'ingresso a bassa



Figura 9.18.16 Scaricatore DEHNcube YPV SCI 1000 1M Tipo 2 per proteggere gli invertitori (1 MPPT)

tensione. CI (interruzione del circuito) è l'acronimo del fusibile coordinato che viene integrato nel percorso del dispositivo protezione, consentendone l'impiego nel circuito a corrente alternata senza prefusibile. Il dispositivo DEHNguard M... CI 275 (FM) è disponibile per tutte le configurazioni dei sistemi a bassa tensione (TN-C, TN-S, TT).

Se gli inverter sono collegati a linee dati e linee sensori per monitorare la resa, sono necessari degli adeguati dispositivi di protezione contro le sovratensioni. Per i sistemi dati tipo RS 485 si può utilizzare il dispositivo BLITZDUCTOR XTU, dotato di morsetti per due coppie filari, ad esempio per i dati in entrata e in uscita.

Edificio dotato di protezione contro i fulmini esterna e sufficiente distanza di isolamento s (situazione B)

La **Figura 9.18.13** illustra il concetto di protezione contro le sovratensioni per un sistema fotovoltaico dotato di protezione contro i fulmini esterna e una sufficiente distanza di isolamento s tra il sistema fotovoltaico e il sistema di protezione contro i fulmini.

Il principale obiettivo è quello di evitare danni alle persone e ai beni (incendio dell'edificio) derivanti da un fulmine. In questo contesto, è importante che il sistema fotovoltaico non interferisca con la protezione contro i fulmini esterna. Inoltre, il sistema fotovoltaico stesso deve essere protetto dalla fulminazione diretta. Ciò significa che il sistema fotovoltaico va installato nel volume protetto dalla protezione contro i fulmini esterna. Questo volume è formato dai sistemi di captazione (ad esempio aste di captazione) che impediscono la fulminazione diretta dei moduli fotovoltaici e dei cavi.

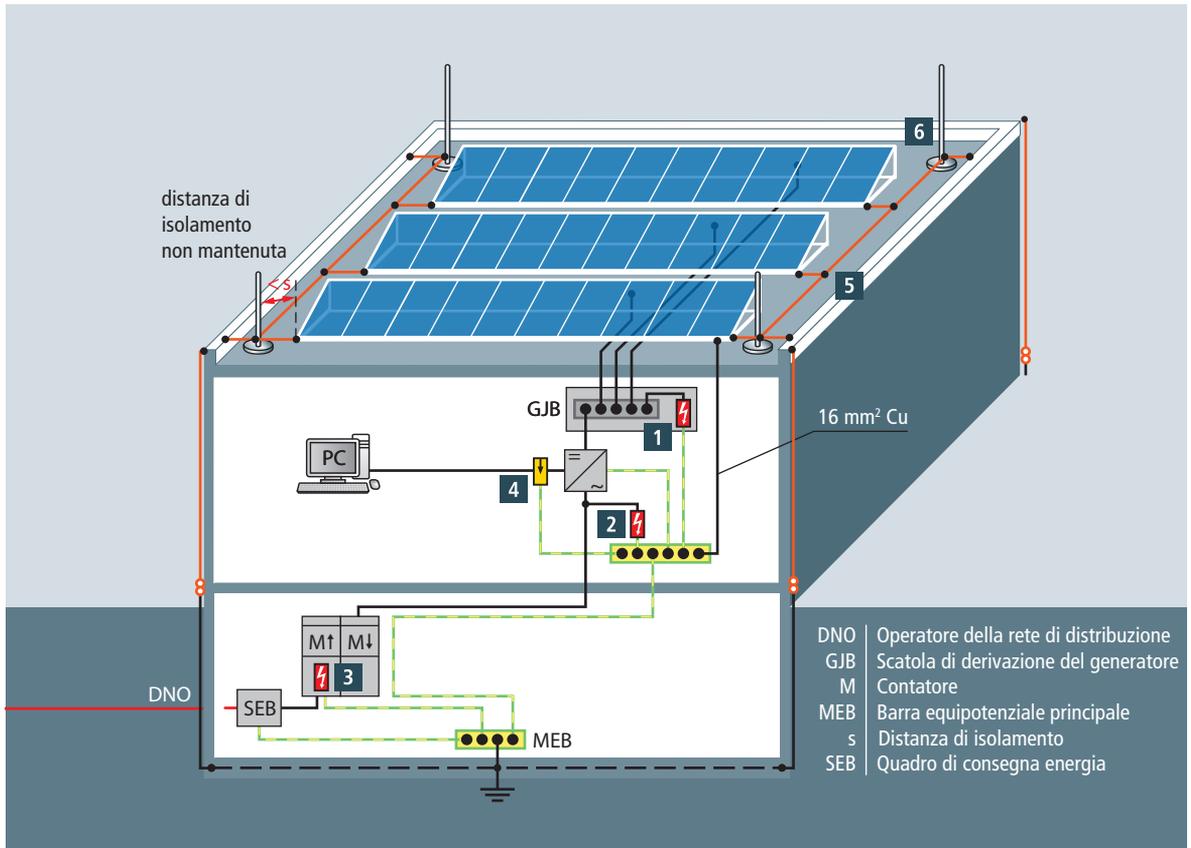
Per determinare il volume protetto si possono utilizzare il metodo dell'angolo di protezione (**Figura 9.18.14**) o il metodo della sfera rotolante (**Figura 9.18.15**) come descritto al punto 5.2.2 della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3). Bisogna mantenere una certa distanza di isolamento s tra tutte le parti conduttrici del sistema fotovoltaico e il sistema di protezione antifulmine. In questo contesto bisogna evitare le ombre nette, per esempio, mantenendo una distanza sufficiente tra l'asta di captazione e i moduli FV.

Il collegamento equipotenziale antifulmine costituisce una parte integrante del sistema di protezione contro i fulmini. Deve essere realizzato per tutti i sistemi conduttivi e le linee che entrano nell'edificio e che possono trasportare le correnti di fulmine. Ciò si ottiene collegando direttamente tutti i sistemi metallici (e indirettamente tutti i sistemi alimentati) tramite scaricatori della corrente di fulmine Tipo 1 al sistema dei dispersori. Il collegamento equipotenziale antifulmine va realizzato nella posizione più prossima possibile al punto di ingresso nell'edificio, per impedire l'ingresso delle correnti parziali di fulmine nell'edificio stesso. La connessione alla rete deve essere protetta da un dispositivo SPD spinterometrico multipolare Tipo 1, ad esempio uno scaricatore combinato Tipo 1 DEHNventil M... 255. Questo scaricatore combina in un unico dispositivo uno scaricatore della corrente di fulmine e un limitatore di sovratensione. Se la lunghezza del cavo tra lo scaricatore e l'inverter è inferiore a 10 m, la protezione è sufficiente. In caso di cavo più lungo, bisogna installare ulteriori dispositivi di protezione contro le sovratensioni Tipo 2 Dehnguard M a monte dell'ingresso in corrente alternata degli inverter, in conformità alla norma CEI CLC/TS 50539-12. (CEI 37-12)

Tutti gli ingressi in corrente continua dell'inverter vanno protetti da uno scaricatore Tipo 2 per impianti FV, per esempio DEHNcube YPV SCI... (**Figura 9.18.16**). Questo vale anche per i dispositivi senza trasformatore. Se gli inverter sono collegati a linee dati, ad esempio per monitorare la resa, bisogna installare dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni per salvaguardare la trasmissione dei dati. A tale scopo si possono utilizzare i dispositivi BLITZDUCTOR XTU con tecnologia actiVsense per le linee con segnale analogico e per i bus dati tipo RS485. Questi dispositivi rilevano automaticamente la tensione di funzionamento del segnale utile e regolano di conseguenza il livello di protezione.

Conduttore isolato HVI resistente alle tensioni elevate

Un'altra possibilità per mantenere la distanza di isolamento s è quella di impiegare dei conduttori isolati HVI resistenti alle tensioni elevate, che consentono di mantenere una distanza s fino a 0,9 m in aria. I conduttori HVI possono entrare direttamente in contatto con il sistema fotovoltaico a valle



Num. in Fig.		SPD	* FM = contatto di segnalazione flottante remoto	Art.
Ingresso C.C. dell'inverter				
1	Per MPPT	DEHNcombo DCB YPV SCI 1000 FM *		900 066
Uscita AC dell'inverter				
2	Impianto TN-S	DEHNshield DSH TNS 255		941 400
Ingresso a bassa tensione				
3	Impianto TN-C	DEHNventil DV M TNC 255 FM *		951 305
	Impianto TN-S	DEHNventil DV M TNS 255 FM *		951 405
	Impianto TT	DEHNventil DV M TT 255 FM *		951 315
Interfaccia dati				
4	Due coppie, anche con diverse tensioni di esercizio, fino a 180 V	BLITZDUCTOR BXTU ML4 BD 0-180 + basetta BXT BAS		920 349 + 920 300
Messa a terra funzionale/protezione contro i fulmini esterna				
5	Collegamento equipotenziale funzionale	Morsetto di messa a terra UNI		540 250
6	Dispositivo di captazione	Asta di captazione con basamento in calcestruzzo (8,5 kg)		101 000 + 102 075

Figura 9.18.17 Edificio con LPS esterno e insufficiente distanza di isolamento - Situazione C (Supplemento 5 della norma DIN EN 62305-3)

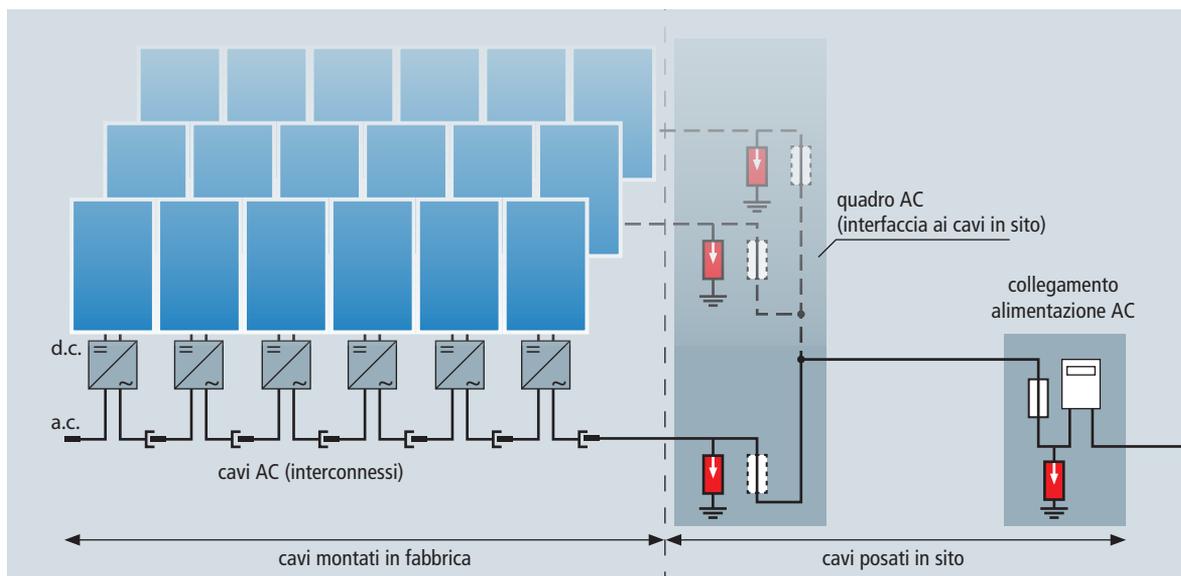


Figura 9.18.18 Esempio: edificio senza protezione contro i fulmini esterna; protezione contro le sovratensioni per un microinverter situato nel quadro di collegamento dei cavi in sito

dell'estremità di tenuta. Informazioni più dettagliate sull'applicazione e l'installazione di conduttori HVI sono fornite nella presente Guida alla protezione contro i fulmini o nelle rispettive istruzioni di installazione.

Edificio esterno dotato di protezione contro i fulmini esterna con insufficiente distanza di isolamento s (situazione C)

Se la copertura è realizzata in metallo o è formata dal sistema fotovoltaico stesso, non è possibile assicurare la distanza di isolamento s. I componenti metallici del sistema di montaggio FV vanno collegati alla protezione contro i fulmini esterna in modo che possano trasportare le correnti di fulmine (conduttore di rame con sezione di almeno 16 mm² o equivalente). Ciò significa che bisogna realizzare un collegamento equipotenziale antifulmine anche per linee FV che entrano nell'edificio dall'esterno (Figura 9.18.17). Secondo l'Integrazione 5 della norma tedesca DIN EN 62305-3 e la norma CEI CLC/TS 50539-12 (CEI 37-12), le linee in corrente continua vanno protette da un SPD Tipo 1 per sistemi fotovoltaici.

A questo scopo si impiega lo scaricatore combinato Tipo 1 e Tipo 2 DEHNCombo YPV SCI (FM). Anche sull'ingresso a bassa tensione bisogna realizzare un collegamento equipotenziale antifulmine. Se uno o più inverter sono posti a più di 10 m dal dispositivo SPD Tipo 1 installato presso il collegamento alla rete, deve essere installato un ulteriore SPD Tipo 1 sul lato corrente alternata degli inverter (ad esempio,

lo scaricatore combinato Tipo 1 e Tipo 2 DEHNshield... 255). Bisogna inoltre installare idonei dispositivi di protezione contro le sovratensioni per proteggere le corrispondenti linee dati per il controllo della resa. I dispositivi di protezione BLITZDUCTOR XTU sono utilizzati per proteggere i sistemi dati, ad esempio, tipo RS 485.

Sistemi fotovoltaici con microinverter

I microinverter richiedono un diverso concetto di protezione contro le sovratensioni. Infatti, la linea a corrente continua di un modulo (o di una coppia di moduli) viene direttamente collegata all'inverter di ridotte dimensioni. In questo processo bisogna evitare la formazione di inutili spire conduttive. L'accoppiamento induttivo in strutture a corrente continua di dimensioni così ridotte di solito ha un potenziale energetico distruttivo piuttosto basso. I lunghi cablaggi di un sistema fotovoltaico con microinverter si trovano sul lato a corrente alternata (Figura 9.18.18). Se il microinverter è montato direttamente sul modulo, i dispositivi di protezione contro le sovratensioni possono essere installati solo sul lato corrente alternata:

- ➔ Edifici senza protezione contro i fulmini esterna = scaricatori Dehnguard M ... 275 Tipo 2 per corrente alternata/trifase in prossimità dei microinverter e Dehnguard ... 275 CI sull'ingresso a bassa tensione.
- ➔ Edifici dotati di protezione contro i fulmini esterna e distanza di isolamento s sufficiente = scaricatori Tipo 2, ad

esempio DEHNguard M...275 molto in prossimità dei microinverter e scaricatori della corrente di fulmine Tipo 1 all'ingresso in bassa tensione, per esempio DEHNventil M...255.

- ➔ Edifici dotati di protezione contro i fulmini esterna e distanza di isolamento s in sufficiente = scaricatori Tipo 1, per esempio DEHNshield...255 in prossimità dei microinverter e scaricatori della corrente di fulmine Tipo 1 DEHNventil M...255 sull'ingresso a bassa tensione.

Indipendentemente dallo specifico costruttore, i microinverter comprendono dei sistemi di monitoraggio dei dati. Se i

dati sono modulati sulle linee in corrente alternata attraverso i microinverter, bisogna dotare le unità riceventi separate (esportazione/elaborazione dati) di un dispositivo di protezione contro le sovratensioni (ad esempio DEHNbox DBX KT BD). Lo stesso vale per le connessioni di interfaccia con i sistemi di bus a valle e la loro alimentazione (ad es. Ethernet, ISDN).

Gli impianti fotovoltaici sono divenuti una parte integrante dei moderni impianti elettrici. Essi devono essere dotati di scaricatori della corrente di fulmine e limitatori di sovraten-



Protezione contro fulmini e sovratensioni per impianti fotovoltaici a terra

Con una capacità installata che aumenta di alcuni gigawatt all'anno, le centrali fotovoltaiche a terra stanno diventando parte integrante delle moderne reti elettriche in molti paesi. Oggi vengono installati grandi impianti con una capacità di 100 MW o superiore, direttamente collegati alla rete elettrica di media e alta tensione. Come parte integrante di un sistema di alimentazione, i sistemi fotovoltaici devono assicurare un funzionamento costante della rete. Inoltre, le possibili perdite di produzione influenzano negativamente il rapporto annuale sulle prestazioni degli impianti e vengono registrate dal sistema di monitoraggio della resa. Di conseguenza, l'entità degli investimenti e una durata minima di 20 anni, richiedono la valutazione del rischio derivante da un fulmine e l'adozione di misure di protezione.



Figura 9.19.1 Confronto tra il metodo della sfera rotolante e il metodo dell'angolo di protezione per la determinazione del volume protetto

Rischio di fulmine per strutture quali impianti fotovoltaici

C'è un collegamento tra la radiazione solare, l'umidità dell'aria e la frequenza delle scariche elettriche atmosferiche. Le regioni soggette a un elevato irraggiamento solare insieme a un'umidità dell'aria elevata sono più soggette ai fulmini. La frequenza dei fulmini nelle diverse regioni (fulmini per chilometro quadrato all'anno), nonché la posizione e le dimensioni dell'impianto fotovoltaico, costituiscono la base per il calcolo delle probabilità che l'impianto sia colpito da fulmini. I sistemi fotovoltaici sono esposti a condizioni meteorologiche locali, come i temporali, per decenni.

Necessità di un sistema di protezione contro i fulmini

I danni ai sistemi fotovoltaici sono causati dagli effetti distruttivi dei fulmini e dalle tensioni provocate dall'accoppiamento induttivo o capacitivo causato dal campo elettromagnetico dei fulmini stessi. Inoltre, i picchi di tensione derivanti dalle operazioni di commutazione del circuito in c.a. a monte può causare danni ai moduli fotovoltaici, agli inverter, alle centraline di carica, al loro impianto di monitoraggio e ai sistemi di comunicazione.

I danni economici provocano spese di riparazione e sostituzione, perdite di resa e costi per l'utilizzo della riserva di energia della centrale. Gli impulsi della corrente di fulmine possono anche provocare un invecchiamento prematuro dei diodi di bypass, dei semiconduttori di potenza e dei circuiti di ingresso e di uscita dei sistemi informatici, che porta ad un aumento dei costi di riparazione.

Inoltre, i gestori delle reti impongono dei requisiti sulla disponibilità dell'energia prodotta. In Germania questi requisiti sono

basati, per esempio, sui recenti regolamenti delle reti elettriche. Nelle loro analisi di due diligence ("adeguata verifica"), banche e compagnie di assicurazione spesso richiedono l'adozione di misure di protezione contro i fulmini. Le linee guida tedesche VdS 2010, pubblicate dall'associazione generale tedesca del settore assicurativo (GDV), richiedono adeguate misure di protezione contro i fulmini (orientate al rischio di fulminazione e alla protezione contro le sovratensioni, classe LPS III) per i sistemi fotovoltaici > 10 kW su strutture dotate di impianti di alimentazione alternativi a energie rinnovabili. Il rischio derivante da un fulmine va valutato secondo la norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) e i risultati di questa analisi dei rischi vanno tenuti in considerazione in fase di progettazione. A questo scopo, DEHN + SÖHNE propone il software DEHNsupport. L'analisi dei rischi effettuata per mezzo di questo software garantisce un concetto di protezione contro i fulmini tecnicamente ed economicamente ottimizzato, comprensibile da tutte le parti coinvolte, in grado di offrire la protezione necessaria a costi ragionevoli.

Misure di protezione contro le interferenze da fulmine per impianti fotovoltaici

Per garantire una protezione efficace occorre un sistema di protezione antifulmine con elementi perfettamente coordinati (impianti di captazione, impianto di terra, equipotenzialità antifulmine, dispositivi di protezione contro le sovratensioni per impianti di alimentazione e sistemi dati).

Impianto di captazione e calate

Per evitare fulmini diretti agli impianti elettrici di un generatore fotovoltaico, tali impianti vanno installati nel volume protetto dei sistemi di captazione. La progettazione secondo le linee guida tedesche VdS 2010 è basata sulla classe di protezione LPS III. Secondo questa classe di protezione LPS, per determinare il numero delle aste di captazione è possibile utilizzare il metodo della sfera rotolante (Figura 9.19.1) secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3). Queste aste di captazione formano un volume protetto che copre edifici ope-



Figura 9.19.2 Protezione contro i fulmini mediante distanziatori DEHNiso

rativi, contenitori modulari e cavi. A causa dell'accoppiamento induttivo delle interferenze, si consiglia di installare le scatole di derivazione del generatore montate su contenitori modulari e gli inverter nel modo più decentrato possibile rispetto al sistema di captazione. Gli alti tralicci dei sistemi TVCC fungono anch'essi da sistemi di captazione. Anche l'impianto TVCC deve essere montato all'interno del volume protetto dal traliccio. I conduttori di questi impianti di captazione devono essere collegati ai capicorda dell'impianto di terra. I capicorda devono essere resistenti alla corrosione (acciaio inossidabile V4A come ad esempio AISI/ASTM 316 Ti) a causa del rischio di corrosione nel punto di uscita dal terreno o calcestruzzo. I capicorda in acciaio zincato devono essere protetti con misure adeguate, ad es. nastri Denso o manicotti termoretraibili. Per fissare meccanicamente gli impianti di captazione, questi vengono spesso collegati ai contenitori modulari. A tal fine si possono utilizzare i distanziatori DEHNiso (Figura 9.19.2). Gli impianti di captazione possono essere collegati all'impianto di terra attraverso le fondazioni a pali, facilitando in tal modo la manutenzione dei locali nei tempi successivi.

Impianto di terra

Un impianto di terra (Figura 9.19.3) costituisce la base per la realizzazione di un'efficace protezione contro sovratensioni e fulmini negli impianti fotovoltaici. Nell'allegato D dell'Integrazione 5 della norma tedesca DIN EN 62305-3, è consigliata una resistenza di terra R_A inferiore a 10Ω per gli impianti di messa a terra. Una maglia di filo di acciaio inossidabile da

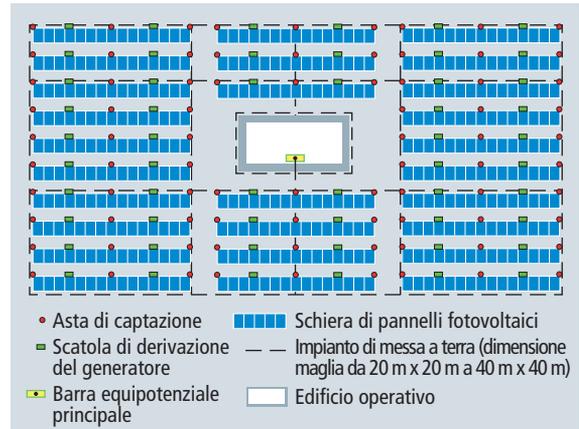


Figura 9.19.3 Impianto di messa a terra secondo IEC 62305-3 (EN 62305-3)

10 mm (da 20 m x 20 m a 40 m x 40 m) posta sotto la linea di gelo è resistente e ha dimostrato la sua validità nella pratica. I contenitori modulari metallici possono essere utilizzati come parte della maglia se hanno una conduttanza minima conforme alla norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3). L'Integrazione 5 della norma tedesca DIN EN 62305-3 raccomanda l'interconnessione dei contenitori modulari metallici. La rete a maglie viene spesso installata seguendo le trincee dei cavi esistenti e dovrebbe essere chiusa. Bisogna rispettare le norme CEI EN 61936-1 (CEI 99-2) e CEI EN 50522 (CEI 99-3), soprattutto per la messa a terra dei sistemi di captazione degli edifici operativi. Gli impianti di messa a terra dei generatori FV e degli edifici vanno collegati tra loro per mezzo di un nastro (30 mm x 3,5 mm) o un filo tondo (\varnothing 10 mm) di acciaio inossidabile (V4A), ad esempio AISI/ASTM 316 Ti, o di rame o di acciaio zincato. Questa interconnessione dei singoli impianti di messa a terra riduce la resistenza di terra totale. Grazie all'interconnessione degli impianti di terra si realizza una superficie equipotenziale che riduce notevolmente la tensione sulle linee di collegamento elettrico in caso di interferenza da fulmine tra i gruppi FV e gli edifici operativi. Per mantenere stabile la resistenza di terra per molti anni di funzionamento di un impianto FV, vanno presi in considerazione gli effetti della corrosione, dell'umidità del suolo e del gelo. La lunghezza effettiva del dispersore è data solo dalla parte che si trova al di sotto della linea di congelamento. Le maglie devono essere collegate tra loro tramite componenti collaudati per una corrente di fulmine adeguata. I supporti metallici dei moduli fotovoltaici devono essere collegati tra loro e con l'impianto di messa a terra. Le fondazioni a pali o a viti possono essere utilizzate come dispersori (Figura 9.19.4) se hanno il materiale e lo spessore della parete indicati nella tabella 7 della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3). Per i componenti interconnessi in grado di resistere alle correnti di fulmine, si può aggiungere la lunghezza

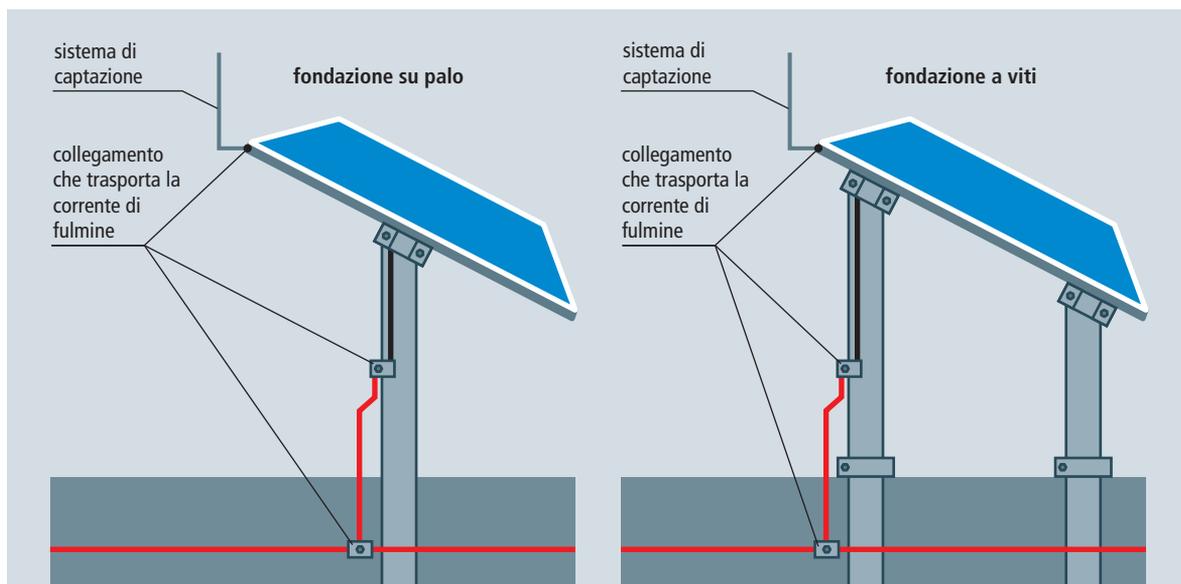


Figura 9.19.4 Fondazione a pali e a viti dotate di collegamento in grado di trasportare la corrente di fulmine tra captatori e dispersori



Figura 9.19.5 Morsetto a sella UNI

minima richiesta di 2,5 m sotto la linea di congelamento. Ogni gruppo FV va interconnesso in modo da poter trasportare le correnti di fulmine, ad esempio per mezzo di un filo in acciaio inossidabile da 10 mm (ad esempio AISI/ASTM 316 Ti) e un morsetto a sella UNI (Figura 9.19.5).

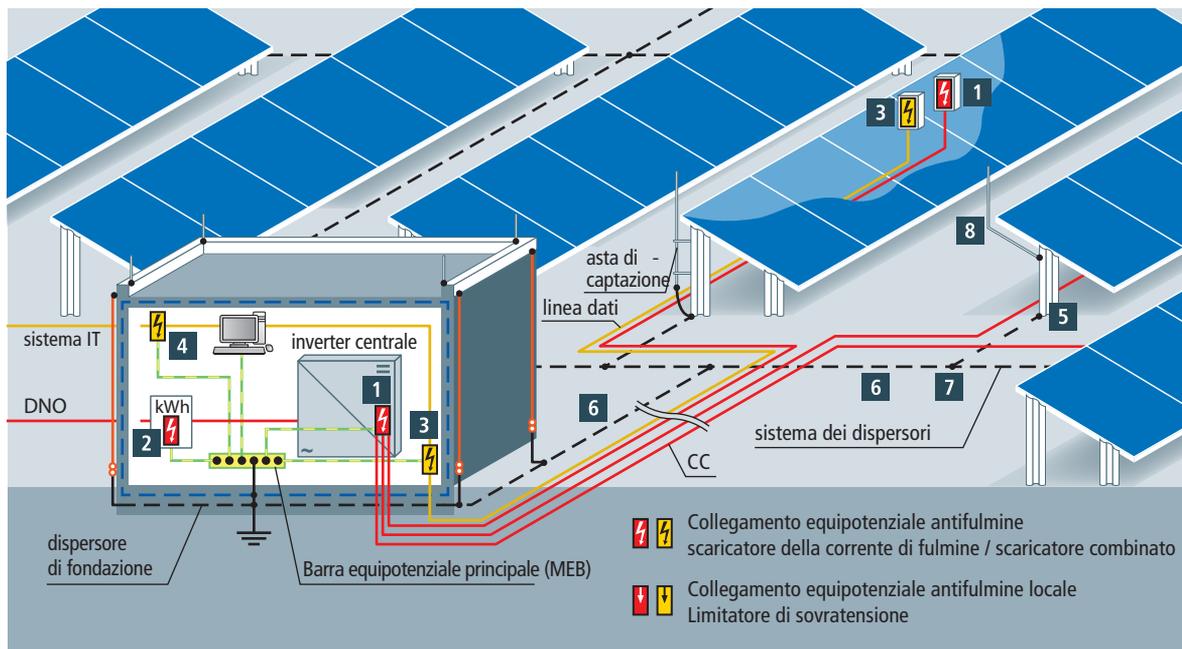
Collegamento equipotenziale antifulmine

Realizzare un collegamento equipotenziale antifulmine significa collegare direttamente tutti i sistemi metallici in modo che possano trasportare la corrente di fulmine. Nel caso in cui i moduli, i cavi e l'edificio operativo con la stazione meteo si trovino nel volume protetto della protezione contro i fulmini

esterna, la corrente di fulmine non dovrebbe essere iniettata nella linea. Se il collegamento alla rete di distribuzione (DNO) avviene a bassa tensione, il punto di collegamento viene a sua volta collegato alla barra di messa a terra principale (MEB) attraverso degli scaricatori Tipo 1 (ad es. DEHNventil) in quanto sono presenti delle correnti parziali di fulmine. Lo stesso vale per l'ingresso dei cavi per le telecomunicazioni, che richiedono l'installazione di scaricatori Tipo 1, come BLITZDUTOR o DEHNbox (Figura 9.19.6).

Impianti fotovoltaici e protezione contro i fulmini esterna

L'impianto di captazione della protezione contro i fulmini esterna è di vitale importanza. In caso di fulminazione incontrollata dell'impianto fotovoltaico, il flusso della corrente di fulmine nell'impianto può provocare gravi danni. Quando si installa la protezione contro i fulmini esterna, si deve evitare che le celle solari risultino ombreggiate, ad esempio, dalle aste di captazione. Le ombre diffuse, invece, proiettate da aste o conduttori lontani, non influenzano negativamente il sistema FV e la sua resa. Le ombre nette, tuttavia, influenzano inutilmente le celle e i relativi diodi di by-pass. La distanza necessaria può essere calcolata e dipende dal diametro dell'asta di captazione. Per esempio, se un'asta di captazione con un diametro di 10 mm proietta la sua ombra su un modulo, sarà solo un'ombra diffusa se la distanza tra il modulo e l'asta di captazione è pari a 1,08 m. L'Allegato A dell'Integrazione 5



Num. in Fig.	Protezione per	SPD	* FM = contatto di segnalazione flottante remoto	Art.
Ingresso C.C. dell'inverter				
1	Inverter centrale + GJB	DEHNcombo DCB YPV SCI 1500 FM *		900 067
Lato C.A. della connessione alla rete				
2	Impianto TN-C	DEHNventil DV M TNC 255 FM *		951 305
	Impianto TN-S	DEHNventil DV M TNS 255 FM *		951 405
	Impianto TT	DEHNventil DV M TT 255 FM *		951 315
Interfaccia dati				
3	Una coppia, anche con tensioni di esercizio fino a 180 V	BLITZDUCTOR BXTU ML2 BD 0-180 + basetta BXT BAS		920 249 + 920 300
Manutenzione remota				
4	ISDN o DSL	DEHNbox DBX U4 KT BD S 0-180		922 400
Impianto di terra				
5	Collegamento equipotenziale	Morsetto a sella UNI		365 250
6	Connettore di terra	Filo tondo (Ø 10 mm) Fe/tZn		800 310
		Filo tondo (Ø 10 mm) Inox (V4A)		860 010
		Nastro in acciaio (30 x 3,5 mm) Fe/tZn		852 335
		Nastro in acciaio (30 x 3,5 mm) Inox (V4A)		860 325
7	Elemento di connessione	Morsetto MV Inox (V4A)		390 079
		Alternativa: morsetto SV Fe/tZn		308 220
8	Dispositivo di captazione	Punta di captazione a gomito (comprendente due morsetti a sella)		101 110

Figura 9.19.6 Concetto di protezione contro i fulmini per una centrale FV con inverter centralizzato

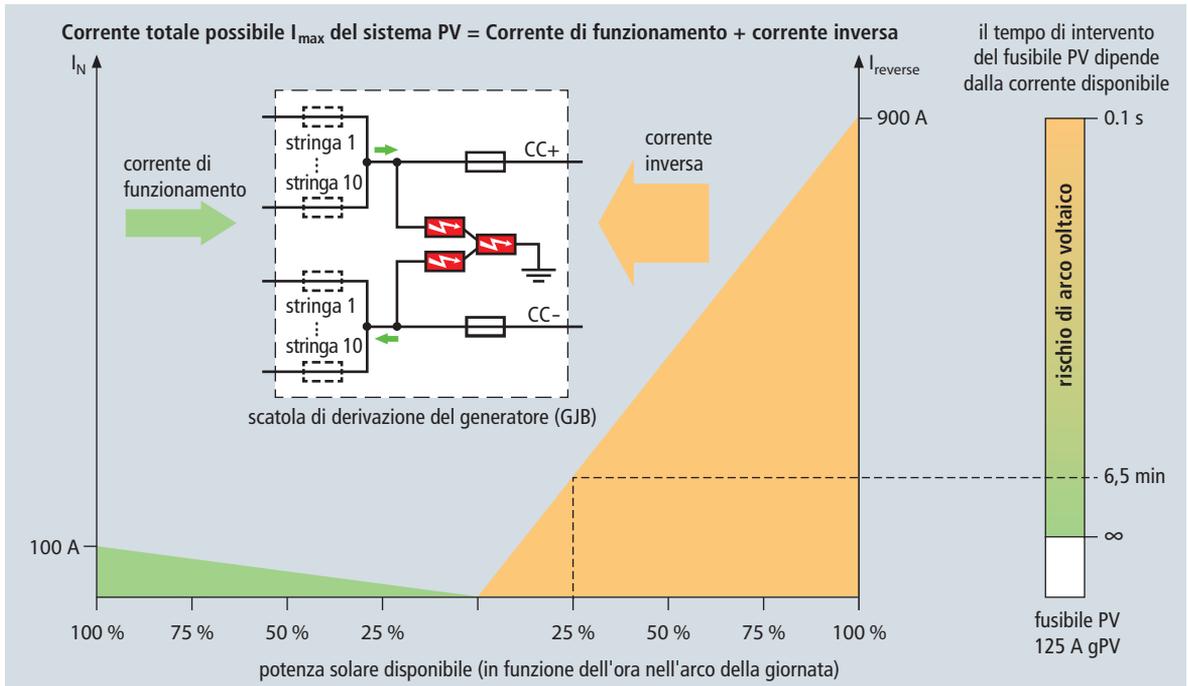


Figura 9.19.7 Impianto fotovoltaico con I_{max} di 1000 A: corrente di cortocircuito presunta allo scaricatore FV in funzione dell'ora del giorno

della norma tedesca DIN EN 62305-3 fornisce informazioni più dettagliate sul calcolo delle ombre nette.

Passaggio dei cavi negli impianti fotovoltaici

I cavi devono essere tutti disposti in modo tale da evitare la formazione di spire conduttrici di grandi dimensioni. Questo criterio va rispettato per il collegamento monopolare in serie dei circuiti a corrente continua (stringhe) e per l'interconnessione di più stringhe. Inoltre, le linee dati o dei sensori non vanno instradate su più stringhe che formano ampie spire conduttrici. Per questo motivo, i conduttori equipotenziali, le linee dati e le linee di alimentazione (in corrente continua e alternata) vanno fatti passare per quanto possibile vicini tra loro.

Misure di protezione contro le sovratensioni per impianti fotovoltaici

per proteggere gli impianti elettrici dei generatori fotovoltaici vanno installati dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni, o SPD (Figura 9.19.6). Se un fulmine colpisce la protezione contro i fulmini esterna di un impianto FV al suolo, vengono indotti degli impulsi ad alta tensione in tutti i conduttori elettrici; inoltre in tutti i tipi di cavi elettrici della centrale passano delle correnti parziali di fulmine (linee in corrente continua, alternata e linee dati). L'intensità delle correnti parziali di fulmine dipende, ad esempio, dal tipo di impianto

di captazione, dalla resistività del suolo in loco e dal tipo di cavi. Nel caso di impianti con inverter centrali (Figura 9.19.6) vi saranno delle linee in corrente continua che passano sul terreno. L'Allegato D dell'Integrazione 5 della norma tedesca DIN EN 62305-3 richiede una minima capacità di scarica I_{totale} di 10 kA (10/350 μ s) per SPD a limitazione di tensione Tipo 1 in corrente continua.

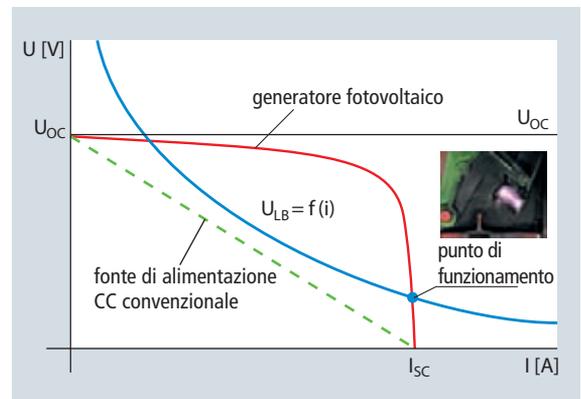


Figura 9.19.8 Curva caratteristica di una sorgente a corrente continua convenzionale rispetto alla curva caratteristica di un generatore fotovoltaico. Quando si commutano delle sorgenti FV, la caratteristica del generatore FV passa attraverso la gamma di tensione dell'arco voltaico

Classe di LPS e max. corrente di fulmine (10/350 μ s)		Valori per SPD a limitazione di tensione o di combinati Tipo 1 (cablaggio a V)				Valori per SPD a commutazione di tensione o combinati Tipo 1 (collegamento in parallelo)	
		$I_{10/350}$		$I_{8/20}$		$I_{10/350}$	
		Per ogni percorso di protezione [kA]	I_{totale} [kA]	Per ogni percorso di protezione [kA]	I_{totale} [kA]	Per ogni percorso di protezione [kA]	I_{totale} [kA]
III e IV	100 kA	5	10	15	30	10	20

Tabella 9.19.1 Minima capacità di scarico per SPD Tipo 1 a limitazione di tensione o combinati e per SPD Tipo 1 a commutazione di tensione, per impianti fotovoltaici a terra in caso di LPL III; secondo CENELEC CLC/TS 50539-12 (Tabella A.3)

Bisogna utilizzare SPD con una corrente di corto circuito nominale I_{SCPV} sufficientemente elevata; essa va determinata secondo la norma EN 50539-11 e deve essere specificata dal costruttore. Questo vale anche per quanto riguarda le eventuali correnti inverse.

Nei sistemi fotovoltaici con inverter, la protezione dalle correnti inverse è demandata ai fusibili. La massima corrente disponibile effettiva dipende dalla radiazione solare. In alcuni stati di funzionamento, i fusibili intervengono solo dopo alcuni minuti (Figura 9.19.7). Pertanto, i dispositivi di protezione installati nelle scatole di giunzione del generatore vanno progettati per l'eventuale corrente totale, che comprende la corrente di esercizio e la corrente inversa, e devono garantire lo scollegamento automatico senza arco in caso di sovraccarico ($I_{SCPV} > I_{max}$ del sistema fotovoltaico).

Dispositivi di protezione speciali contro le sovratensioni per il lato in corrente continua dei sistemi fotovoltaici

Le curve caratteristiche U/I tipiche dei generatori di corrente fotovoltaici sono molto diverse da quelle dei generatori convenzionali di corrente continua, in quanto presentano un andamento non lineare (Figura 9.19.8); inoltre il comportamento degli archi in correnti continue è differente. Questa particolarità delle sorgenti di corrente fotovoltaiche non solo influenza la progettazione e richiede interruttori e fusibili di maggiori dimensioni, ma richiede anche degli specifici dispositivi di protezione contro le sovratensioni, in grado di far fronte alle correnti continue fotovoltaiche susseguenti. L'Integrazione 5 della norma tedesca DIN EN 62305-3 e la norma CEI CLC/TS 50539-12 CEI 37-12) richiedono funzionamento sicuro dei dispositivi di protezione sul lato corrente continua anche in caso di sovraccarico.

L'Integrazione 5 della norma tedesca DIN EN 62305-3 comprende una valutazione più approfondita della distribuzione della corrente di fulmine (simulazioni al computer) rispetto

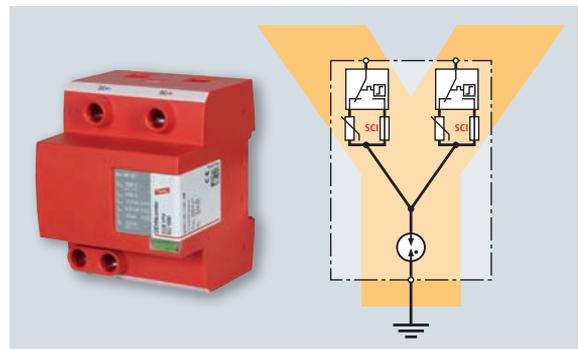


Figura 9.19.9 Scaricatore combinato YPV DEHNCombo SCI Tipo 1 + Tipo 2, con circuito a prova di guasti Y e circuito e dispositivo di commutazione a corrente continua a tre stadi

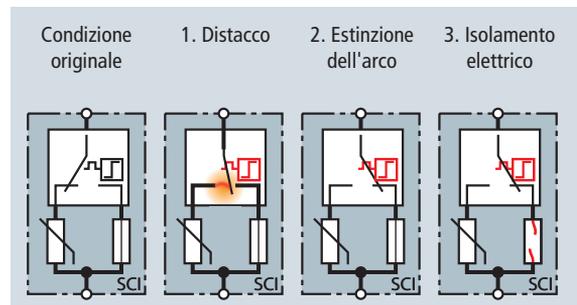


Figura 9.19.10 Fasi di commutazione del dispositivo di commutazione a corrente continua a tre stadi integrato nel dispositivo DEHNCombo YPV SCI ... (FM)

all'Integrazione 1 della norma tedesca DIN EN 62305-4. Per calcolare la distribuzione della corrente di fulmine, vanno considerate le calate del sistema di protezione contro i fulmini, gli eventuali collegamenti di messa a terra del gruppo FV e le linee in corrente continua. Si dimostra che l'intensità delle correnti parziali di fulmine che passano attraverso i



Figura 9.19.11 Dispositivo di protezione contro le sovratensioni nella scatola di derivazione per il monitoraggio di un generatore

dispositivi SPD nelle linee in corrente continua non dipende solo dal numero di calate, ma anche dall'impedenza dei dispositivi SPD. L'impedenza dei dispositivi SPD dipende dalla loro tensione nominale, topologia e tipo (a commutazione o a limitazione di tensione). La riduzione della forma degli impulsi è una caratteristica delle correnti parziali di fulmine passanti attraverso i dispositivi SPD sul lato a corrente continua dell'impianto fotovoltaico. Per selezionare degli adeguati dispositivi di protezione contro le sovratensioni bisogna considerare la massima corrente impulsiva e il carico impulsivo. Queste correlazioni sono descritte nell'integrazione 1 della norma tedesca DIN EN 62305-4.

Per facilitare la selezione di adeguati dispositivi SPD, la **Tabella 9.19.1** mostra la capacità di trasporto della corrente impulsiva di fulmine I_{imp} per gli SPD Tipo 1, in funzione del tipo di SPD (scaricatore a limitazione di tensione con varistore o a commutazione di tensione di tipo spinterometrico). Vengono considerate le massime correnti impulsive e le massime correnti parziali di fulmine con forma d'onda 10/350 μ s in grado di garantire che gli SPD siano in grado di scaricare le correnti impulsive di fulmine.

In aggiunta al ben collaudato circuito a prova di guasti Y, lo scaricatore DEHNcombo YPV SCI (FM) integra un dispositivo di commutazione a corrente continua a tre stadi (**Figura 9.19.9**). Questo dispositivo di commutazione a corrente continua consiste di un disconnettore e di un dispositivo di corto circuito a controllo termodinamico. Il fusibile integrato nel percorso di by-pass interrompe il flusso di corrente in caso di guasto e mette tutto il gruppo in una condizione sicura (**Figura 9.19.10**). In tal modo, lo scaricatore DEHNcombo YPV SCI ... (FM), che viene installato presso l'inverter e nella scatola di derivazione del generatore (GJB), protegge in modo affidabile i generatori fotovoltaici fino a 1000 A, senza prefu-

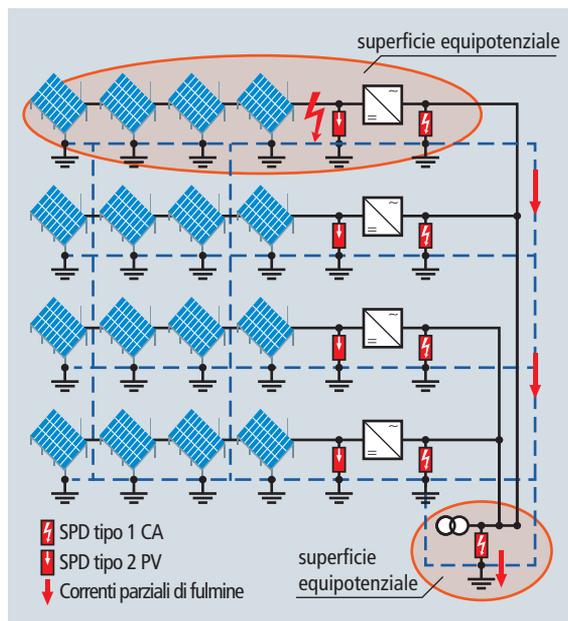


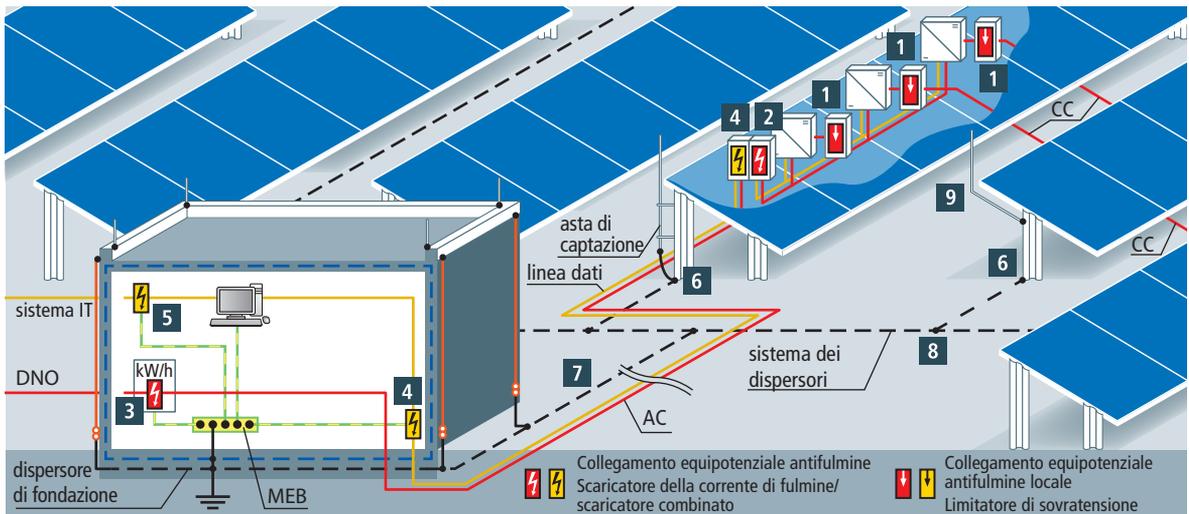
Figura 9.19.12 Distribuzione della corrente per impianti fotovoltaici a terra, con inverter a stringa

sibile (**Figura 9.19.11**). Lo scaricatore DEHNcombo YPV SCI è disponibile per tensioni di 600 V, 1000 V e 1500 V. Se sono impiegati dei sistemi di monitoraggio della stringa FV, è possibile integrare in essi i contatti di segnalazione remota mobile per il monitoraggio delle condizioni dei dispositivi SPD.

L'insieme delle numerose tecnologie integrate negli scaricatori combinati DEHNcombo YPV SCI previene i danni al dispositivo di protezione contro le sovratensioni dovute ai guasti dell'isolamento nel circuito fotovoltaico, riduce al minimo il rischio di incendio causato dal sovraccarico dello scaricatore e mette il dispositivo scaricatore in uno stato elettrico di sicurezza, il tutto senza interrompere il funzionamento del sistema fotovoltaico. Grazie al circuito di protezione, è ora possibile sfruttare appieno la caratteristica di limitazione della tensione dei varistori nei circuiti in corrente continua dei sistemi fotovoltaici. Inoltre, il dispositivo SPD minimizza numerosi piccoli picchi di tensione. In tal modo la tecnologia SCI aumenta la durata dei diodi di by-pass e gli ingressi in corrente continua degli inverter.

Impianti FV con inverter di stringa decentrati

Se si utilizzano impianti FV con inverter di stringa decentrati, la maggior parte dei cavi di alimentazione sono installati sul lato corrente alternata. Gli inverter sono installati sul terreno, sotto i rack con moduli dei generatori solari corrispondenti. Per la vicinanza ai moduli, l'inverter assume le funzioni tipiche delle scatole di derivazione del generatore.



Num. in figura	Protezione per	SPD	* FM = contatto di segnalazione flottante remoto	Art.
Ingresso C.C. dell'inverter				
1	Per 1 MPPT	DEHNCube DCU YPV SCI 1000 1M		900 910
	Per 2 MPPTs	DEHNCube DCU YPV SCI 1000 2M		900 920
	Per MPPT	DEHNGuard DG M YPV SCI 1000 FM *		952 515
Lato CA dell'inverter				
2	Impianto TN-S	DEHNshield DSH TNS 255		941 400
Lato corrente alternata della connessione alla rete				
3	Impianto TN-C	DEHNventil DV M TNC 255 FM *		951 305
	Impianto TN-S	DEHNventil DV M TNS 255 FM *		951 405
	Impianto TT	DEHNventil DV M TT 255 FM *		951 315
Interfaccia dati				
4	Una coppia, con tensioni di esercizio fino a 180 V	BLITZDUCTOR BXTU ML2 BD 0-180 + basetta BXT BAS		920 249 + 920 300
Manutenzione remota				
5	ISDN o DSL	DEHNbox DBX U4 KT BD S 0-180		922 400
Messa a terra / protezione contro i fulmini esterna				
6	Collegamento equipotenziale	Morsetto a sella UNI		365 250
7	Conduttore di terra	Filo tondo (Ø 10 mm) Fe/tZn		800 310
		Filo tondo (Ø 10 mm) Inox (V4A)		860 010
		Nastro in acciaio (30 x 3,5 mm) Fe/tZn		852 335
		Nastro in acciaio (30 x 3,5 mm) Inox (V4A)		860 325
8	Elemento di connessione	Morsetto MV	Inox (V4A)	390 079
		Alternativa: morsetto SV	Fe/tZn	308 220
9	Dispositivo di captazione	Punta di captazione a gomito (comprendente 2 morsetti a sella)		101 110

Figura 9.19.13 Concetto di protezione contro i fulmini per una centrale FV con inverter a stringa

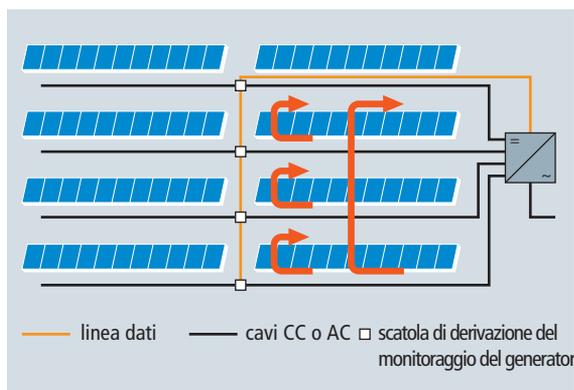


Figura 9.19.14 Illustrazione di principio delle spire di induzione negli impianti fotovoltaici

L'Integrazione 5 della norma tedesca DIN EN 62305-3 descrive come la distribuzione della corrente di fulmine viene influenzata dai cavi di alimentazione (inverter centralizzato o di stringa). Oltre all'Integrazione 5, la **Figura 9.19.12** riporta a titolo esemplificativo la distribuzione della corrente di fulmine per gli inverter di stringa. Se sono installati degli inverter di stringa, i cavi di alimentazione fungono anche da conduttori di collegamento equipotenziale tra la messa a terra locale del gruppo FV colpito dal fulmine e la superficie equipotenziale remota all'ingresso del trasformatore. L'unica differenza rispetto agli impianti con inverter centralizzati è che nel caso di sistemi fotovoltaici con inverter di stringa la corrente parziale di fulmine passa nelle linee in corrente alternata. Pertanto vengono installati degli scaricatori di Tipo 1 sul lato a corrente alternata degli inverter di stringa e sul lato di bassa tensione del trasformatore di alimentazione. La **Tabella 9.19.1** mostra la minima capacità di scarica degli SPD Tipo 1, in funzione della tecnologia degli SPD stessi. Gli SPD Tipo 2, come il DEHNcube YPV SCI, sono sufficienti per il lato a corrente continua degli inverter di stringa. Se è installato un sistema di messa a terra conforme all'Integrazione 5, gli inverter di stringa e il gruppo FV ad essi collegato formano una superficie equipotenziale locale, pertanto è improbabile che le correnti di fulmine entrino nelle linee a corrente continua, in quanto gli scaricatori limitano le interferenze indotte. Inoltre gli scaricatori proteggono dalle sovratensioni i moduli posti nelle immediate vicinanze. Diverse uscite in corrente alternata di questi inverter esterni sono raccolte all'interno dei quadri in corrente alternata. Se in tale punto sono installati degli scaricatori Tipo 1, come DEHNshield ... 255, essi proteggono tutte le uscite degli inverter fino a una distanza di 10 m (correnti condotte). Altri cavi in corrente alternata che passano sul terreno vanno all'edificio operativo, dove si trova il potente scaricatore combinato Tipo 1 e tipo 2 DEHNventil che protegge le apparecchiature elettriche al punto di colle-

gamento alla rete. Anche altre apparecchiature risultano salvaguardate, come la protezione della rete e dell'impianto, una centralina di allarme o un server web posti a meno di 10 m da tale SPD.

Misure di protezione da sovratensioni per reti informatiche

Gli edifici operativi raccolgono i dati provenienti dal terreno, i dati acquisiti dalla manutenzione a distanza dal gestore dell'impianto, nonché le misure di capacità e segnali di controllo raccolti dal gestore della rete. Deve essere garantito un trasferimento di dati affidabile in ogni momento, al fine di garantire che il personale di servizio possa determinare le cause di un guasto tramite la diagnostica remota ed porvi rimedio sul posto. Il sistema di monitoraggio degli inverter e della stringa, le unità meteo di acquisizione dati, la protezione antifurto e il sistema di comunicazione esterna sono basati su interfacce fisiche diverse. I sensori di vento e di radiazione con trasmissione analogica dei segnali possono essere protetti da DEHNbox DBX. Grazie alla sua tecnologia, actiVsense, gli scaricatori DEHNbox DBX possono essere utilizzati per tensioni di segnale fino a 180 V, adattando automaticamente il livello della tensione di intervento. BLITZDUCTOR XT è la soluzione ideale per proteggere le interfacce RS 485 per la comunicazione tra gli inverter. I dispositivi DEHNgate BNC VC sono utilizzati per proteggere i sistemi televisivi a circuito chiuso con cavo coassiale utilizzati nella protezione antifurto. Se le sottostazioni dei grandi impianti fotovoltaici sono collegate tra loro via Ethernet, è possibile installare lo scaricatore DEHNpatch M CAT6, utilizzabile anche per applicazioni PoE (Power over Ethernet). Che si tratti di collegamenti ISDN o ADSL, anche le linee dati dei dispositivi per il collegamento con il mondo esterno sono protette dai rispettivi dispositivi di protezione contro le sovratensioni.

Negli impianti di produzione dell'energia con inverter centralizzato, vengono installate sul terreno le scatole di derivazione del generatore, con ulteriori sensori di misura. Negli impianti di produzione dell'energia con inverter di stringa (**Figura 9.19.13**), questo compito viene svolto dal sistema di monitoraggio integrato della stringa. In entrambi i casi, i valori misurati sul terreno vengono trasmessi tramite interfacce dati. Le linee dati che provengono dalla sala di controllo vengono installate insieme ai cavi di alimentazione (in corrente alternata o continua). A causa della breve lunghezza delle linee dei bus di campo, ciascuno dei cavi delle linee dati è disposto in direzione perpendicolare ai rack dei moduli. In caso di fulminazione, questi collegamenti trasversali possono trasportare anche la corrente parziale di fulmine, in grado di danneggiare i circuiti di ingresso e causare scariche elettriche disruptive nei cavi di alimentazione. A causa dell'interazione tra i cavi elettrici, si formano ampie spire di induzione tra le file di contenitori modulari metallici e le linee dati (**Figura 9.19.14**). Questa

situazione favorisce i transitori causati dai fulmini che possono penetrare in queste linee. Siffatti picchi di tensione sono in grado di superare la resistenza di isolamento (o resistenza dielettrica) di questi impianti, provocando danni da sovratensioni. Pertanto, le linee di trasmissione dati devono essere protette installando degli SPD nelle scatole di derivazione del generatore o negli inverter di stringa decentrati. Le schermature dei cavi vanno collegate a tutti i punti di connessione, come prescritto dalla norma EN 50174-2 (CEI 306-5) (sezione 5.3.6.3). Ciò si ottiene anche con la messa a terra indiretta della schermatura, per evitare irregolarità di funzionamento, come ondulazioni

della tensione e correnti vaganti. Il dispositivo BLITZDUCTOR XT, per esempio, può essere utilizzato insieme con un morsetto a molla EMC tipo SAK BXT LR per la messa a terra indiretta della schermatura.

Una protezione coerente contro fulmini e sovratensioni per tutti i sistemi consente di aumentare notevolmente il rendimento di queste centrali energetiche. Si riducono così i tempi di assistenza e manutenzione, insieme ai costi delle riparazioni e dei pezzi di ricambio.



Protezione contro le sovratensioni per reti locali (LON)

Mezzo	Ricetrasmittitore	Trasmissione	Espansione della rete	Nodo → Nodo	Alimentazione nodo
Doppino	TP/XF-78	78 kbit/s	Linea Bus 1400 m		Separata
Doppino	TP/XF-1250	1250 kbit/s	Linea Bus 130 m		Separata
Doppino	FTT10-A	78 kbit/s	Linea Bus 2700 m Struttura aperta 500 m	J-Y(ST)Y 2x2x0.8 Struttura aperta 320 m	Separata
Doppino	LPT-10	78 kbit/s	Linea Bus 2200 m Struttura aperta 500 m	J-Y(ST)Y 2x2x0.8 Struttura aperta 320 m	Via cavo bus

Tabella 9.20.1 Ricetrasmittitori (i tipi più comuni sono riportati in grassetto) con le rispettive velocità di trasmissione e massima dimensione della rete

La tecnologia LonWorks consente di implementare sistemi di automazione distribuita. In questo contesto, i nodi intelligenti comunicano tramite il protocollo LonTalkProtocol®. Il chip neuronale (3120, 3150 e ulteriori aggiornamenti) è il nucleo di un nodo. Esso accede a un mezzo di trasmissione tramite una ricetrasmittente e dispone di un circuito di ingresso/uscita per il collegamento, per esempio, di interruttori, commutatori, relè, uscite analogiche, sistemi di misura analogici (Figura 9.20.1).

Mezzi di trasmissione

Oltre al collegamento a due fili descritto di seguito, è possibile il collegamento attraverso linee a 230 V, cavi a fibre ottiche, cavo coassiale, LAN e trasmissione radio.

Come mezzo di trasmissione si utilizza il doppino.

I ricetrasmittitori per doppino (es. J-Y(ST)Y 2x2x0,8) hanno diverse velocità di trasmissione (kbit/s) e una diversa estensione massima della rete (lunghezza del cavo in metri) (Tabella 9.20.1).

Dato che il doppino può essere collocato negli spazi disponibili, i dispositivi dell'impianto LON dell'edificio sono dotati per lo più di FFT (Free Topology Transceivers, ricetrasmittitori

a topologia libera) e LPT (Link Power Transceiver, ricetrasmittitori alimentati attraverso il collegamento). Le due tecnologie sono compatibili con lo stesso cavo.

Le capacità tra i conduttori e tra i conduttori e la massa per i ricetrasmittitori delle reti FTT/LPT sono illustrate nella Tabella 9.20.2. Se sono installati dei dispositivi di protezione, va considerata anche la loro capacità (tra i conduttori e tra i conduttori e la massa), in quanto il numero massimo di ricetrasmittitori da utilizzare sarà ridotto di conseguenza (Tabella 9.20.3).

Sovratensioni causate da spire di induzione

Durante la posa dei cavi va evitata la formazione delle spire di induzione. Pertanto il bus e i cavi a bassa tensione che

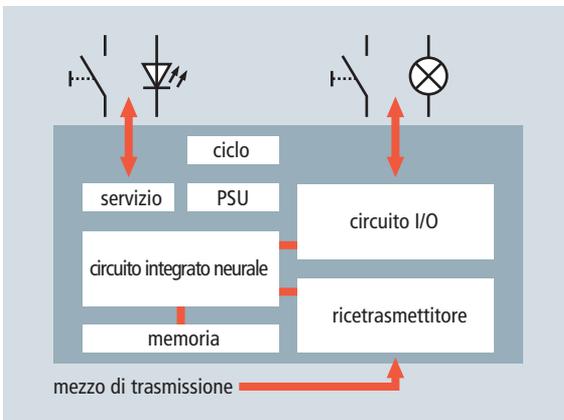


Figura 9.20.1 Struttura di un nodo LonWorks chip neuronale, ricetrasmittitore e circuito I/O

Ricetrasmittitore	Capacità	
	Conduttore/Conduttore	Conduttore/Terra
FTT10-A	300 pF	10 max. 20 pF
LPT-10	150 pF	10 pF

Tabella 9.20.2 Capacità di ricetrasmittitori nelle reti FTT/LPT

Dispositivo di protezione contro le sovratensioni	Capacità	
	Conduttore/Conduttore	Conduttore/Terra
BXT ML2 BD S 48	700 pF	25 pF

Tabella 9.20.3 Capacità dei dispositivi di protezione da sovratensioni

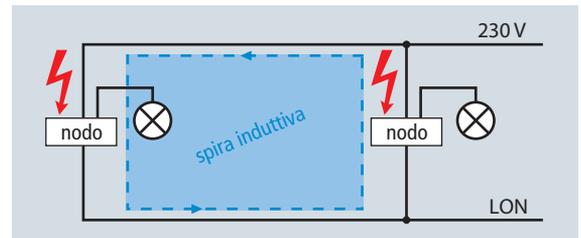


Figura 9.20.2 Spira di induzione dovuta a due nodi

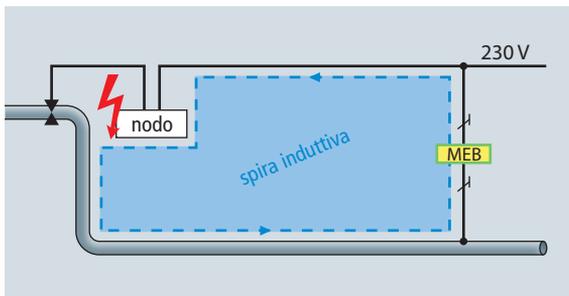


Figura 9.20.3 Spira di induzione dovuta a una valvola magnetica collegata a un tubo metallico

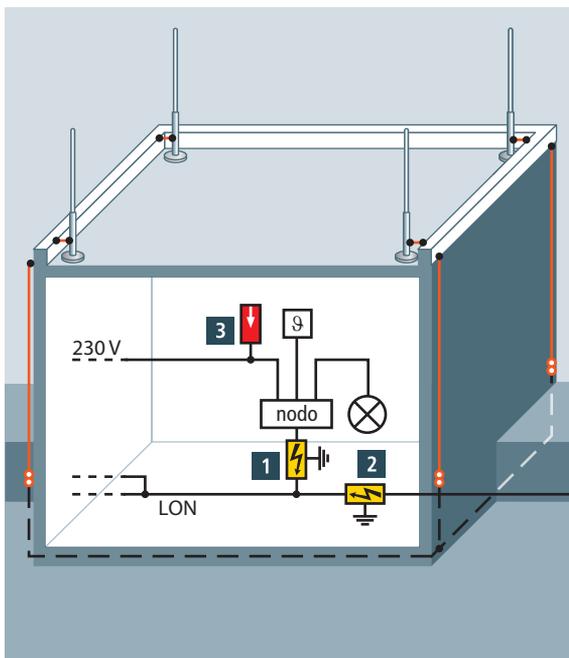
collegano i dispositivi devono passare molto vicini tra loro (Figura 9.20.2). Un cavo J-Y(ST)Y con rigidità dielettrica di 2,5 kV può essere collegato in parallelo con un cavo a bassa tensione. Tuttavia va mantenuta una distanza di 10 mm dopo la rimozione della guaina del cavo J-Y(St)Y. Le spire induttive

si possono formare se un nodo viene fissato a una struttura metallica (o un tubo) collegato alla barra di terra principale (Figura 9.20.3). Anche in questo caso è consigliabile far passare i cavi il più vicino possibile alla struttura (o al tubo).

Protezione contro le sovratensioni in caso di topologia combinata

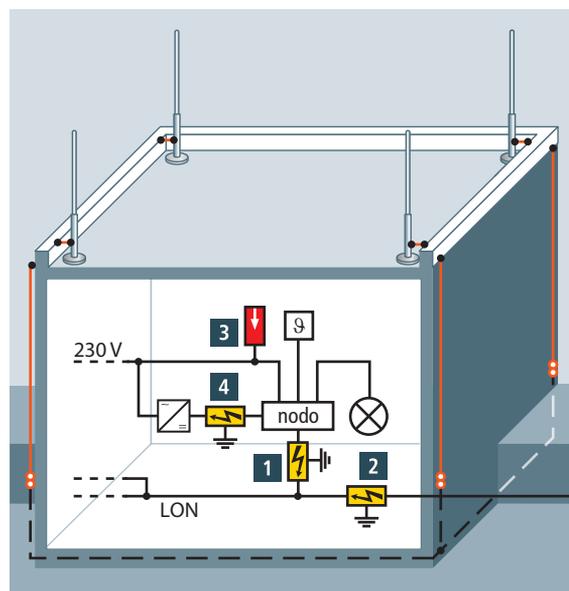
Se gli ingressi o le uscite collegate al nodo sono molto vicini al nodo stesso, non sono necessari dispositivi di protezione contro le sovratensioni.

La Figura 9.20.4 mostra i dispositivi di protezione per LPT alimentati attraverso un doppino. La Figura 9.20.5 mostra i dispositivi di protezione contro le sovratensioni per FTT alimentati direttamente (normalmente a 24 V CC) quando i cavi di collegamento alle unità di alimentazione sono molto lunghi.



Pos.	Limitatore di sovratensione	Art.
1	BXT ML2 BD S 48 + BXT BAS	920 245 920 300
2	si veda 1 (collegamento equipotenziale antifulmine)	
3	DR M 2P 255	953 200

Figura 9.20.4 Dispositivi di protezione contro le sovratensioni per una LPT, in una configurazione che si estende oltre gli edifici

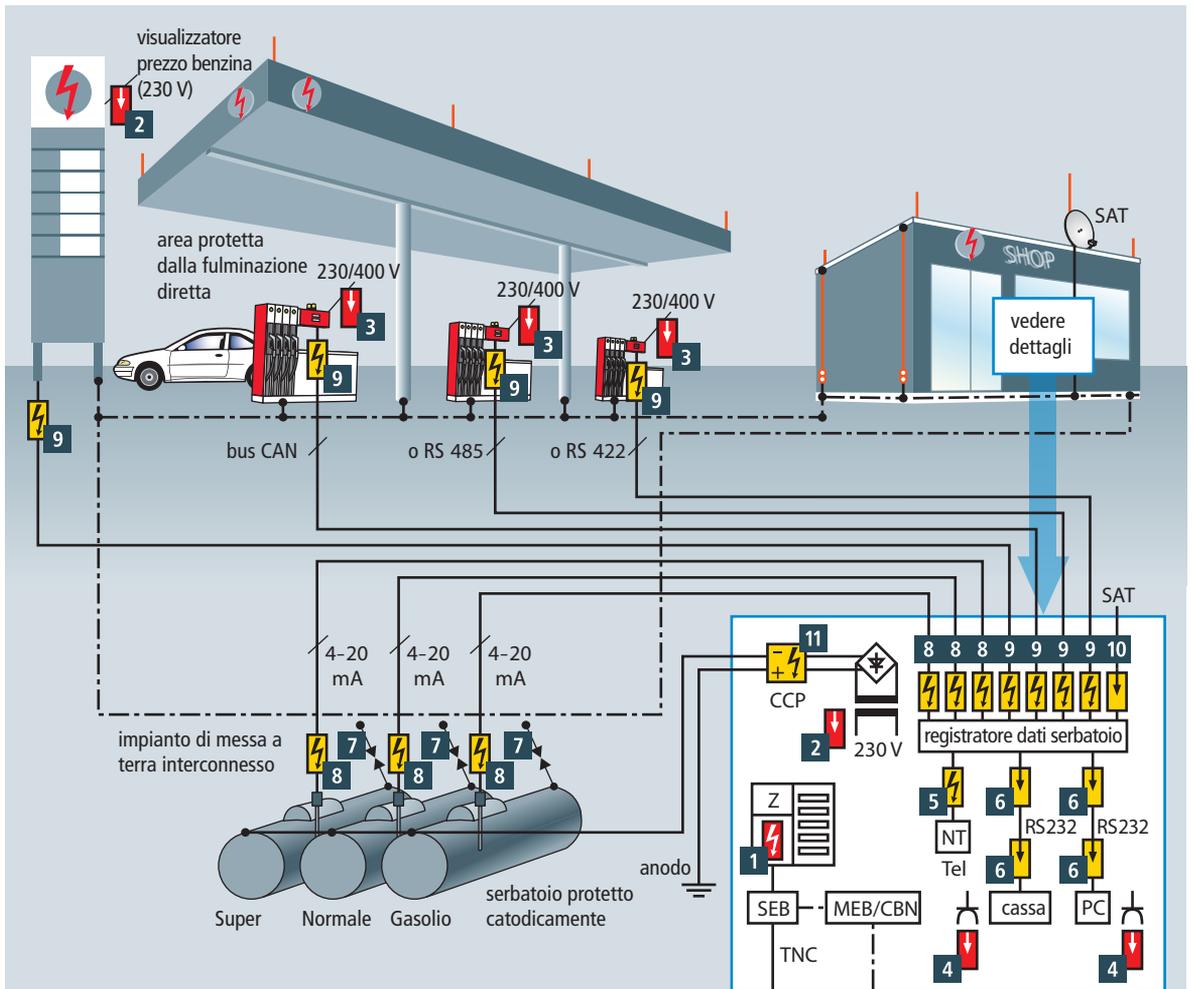


Pos.	Limitatore di sovratensione	Art.
1	BXT ML2 BD S 48 + BXT BAS	920 245 920 300
2	si veda 1 (collegamento equipotenziale antifulmine)	
3	DR M 2P 255	953 200
4	BXT ML2 BE S 24 + BXT BAS	920 224 920 300

Figura 9.20.5 Dispositivi di protezione contro le sovratensioni per una FTT, in una configurazione che si estende oltre gli edifici



Protezione contro le sovratensioni per stazioni di rifornimento



	Utilizzo	Tipo	Art.		Utilizzo	Tipo	Art.
1	Impianto T..., 3~ Impianto T...	DV M T...255 alternativa: DV ZP T...	951... 900 3...	7	Zona 1 o 2	EXFS 100	923 100
2	Impianto TN, 1~ Impianto TT, 1~	DG M TN 275 DG M TT 2P 275	952 200 952 110	8	4-20 mA: 2 cond. singoli 4-20 mA: 4 cond. singoli	BXT ML2 BE S 24 BXT ML4 BE 24 + BXT BAS	920 224 920 324 920 300
3	Impianto TN-S, 3~ Impianto TT, 3~	DG M TNS 275 DG M TT 275	952 400 952 310	9	CAN, RS 485, RS 422: 2 conduttori singoli CAN, RS 485, RS 422: 2 conduttori singoli	BXT ML2 BE HFS 5 BXT ML4 BE HF 5 + BXT BAS	920 270 920 370 920 300
4	1~	DPRO 230	909 230	10	Antenna satellitare	DGA FF TV	909 703
5	Telefono	BXT ML2 BD 180 + BXT BAS	920 247 920 300	11	Circuito di protezione	BVT KKS ALD 75	918 420
6	25-Pin D-sub	FS 25E HS 12	924 018				

Figura 9.21.1 Stazione di rifornimento di carburante dotata di impianto di protezione contro i fulmini, impianto di messa a terra ammassato, collegamento equipotenziale di protezione e funzionale e dispositivi di protezione contro le sovratensioni

Le stazioni di rifornimento sono estremamente vulnerabili ai fulmini e alle sovratensioni a causa dei loro sistemi di visualizzazione e controllo molto sensibili.

In Germania, la necessità di un impianto di protezione contro i fulmini per le stazioni di rifornimento va determinata tra l'altro in base a un'analisi dei rischi condotta secondo la normativa tedesca sulla salute e la sicurezza industriale (BetrSichV), le norme tecniche tedesche sulla sicurezza di funzionamento (TRBS 2152 Parte 3) e le norme e disposizioni antincendio VDE dei regolamenti edilizi pertinenti.

La normativa tedesca sulla salute e la sicurezza industriale (BetrSichV) richiede di evitare tutte le fonti di innesco. Alcuni regolamenti edilizi precisano che le strutture maggiormente soggette a fulminazione, o nelle quali un fulmine può avere gravi conseguenze a causa della loro ubicazione, tipo di costruzione o di impiego, devono essere dotate di una protezione efficace e permanentemente contro i fulmini.

Si può utilizzare l'analisi dei rischi descritta nella norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) sulla protezione contro i fulmini per determinare i possibili rischi. I parametri specifici del sistema definiscono il rischio esistente per una struttura. Se i valori di rischio così determinati sono superiori a quelli tollerabili prescritti nella norma, vanno adottate delle misure (protezione contro i fulmini esterna, protezione contro le sovratensioni, sistemi antincendio, ecc.) per ridurre i rischi troppo elevati a un livello accettabile.

La norma IEC 60364-1 (HD 60364-1) specifica che "i beni materiali devono essere protetti contro i danni da sovratensioni, come quelle prodotte da eventi atmosferici o dalla commutazione".

I dispositivi di protezione consigliati in questa norma non possono essere installati nelle zone Ex (zone 0, 1 e 2), se presenti. Se i dispositivi di protezione sono situati in zone pericolose, vanno adottate delle misure adeguate (ad esempio involucri e/o dispositivi di protezione contro le sovratensioni approvati) al fine di evitare l'innesco di incendi.

Le apparecchiature che si trovano nel piazzale (ad esempio visualizzatori del prezzo della benzina) e le relative linee in ingresso sono vulnerabili alla fulminazione diretta. Pertanto, nel punto di entrata nell'edificio vengono installati degli scaricatori della corrente di fulmine.

Gli erogatori di carburante si trovano sotto un tetto metallico sporgente e sono quindi protetti dai fulmini diretti. Per questo motivo e a causa della messa a terra ammagliata (**Figura 9.21.1**), vengono installati dei limitatori di sovratensione nel punto di entrata delle linee (rispettivamente nella stazione di rifornimento e negli erogatori di carburante) al fine di proteggere le linee che affluiscono all'elettronica degli erogatori.

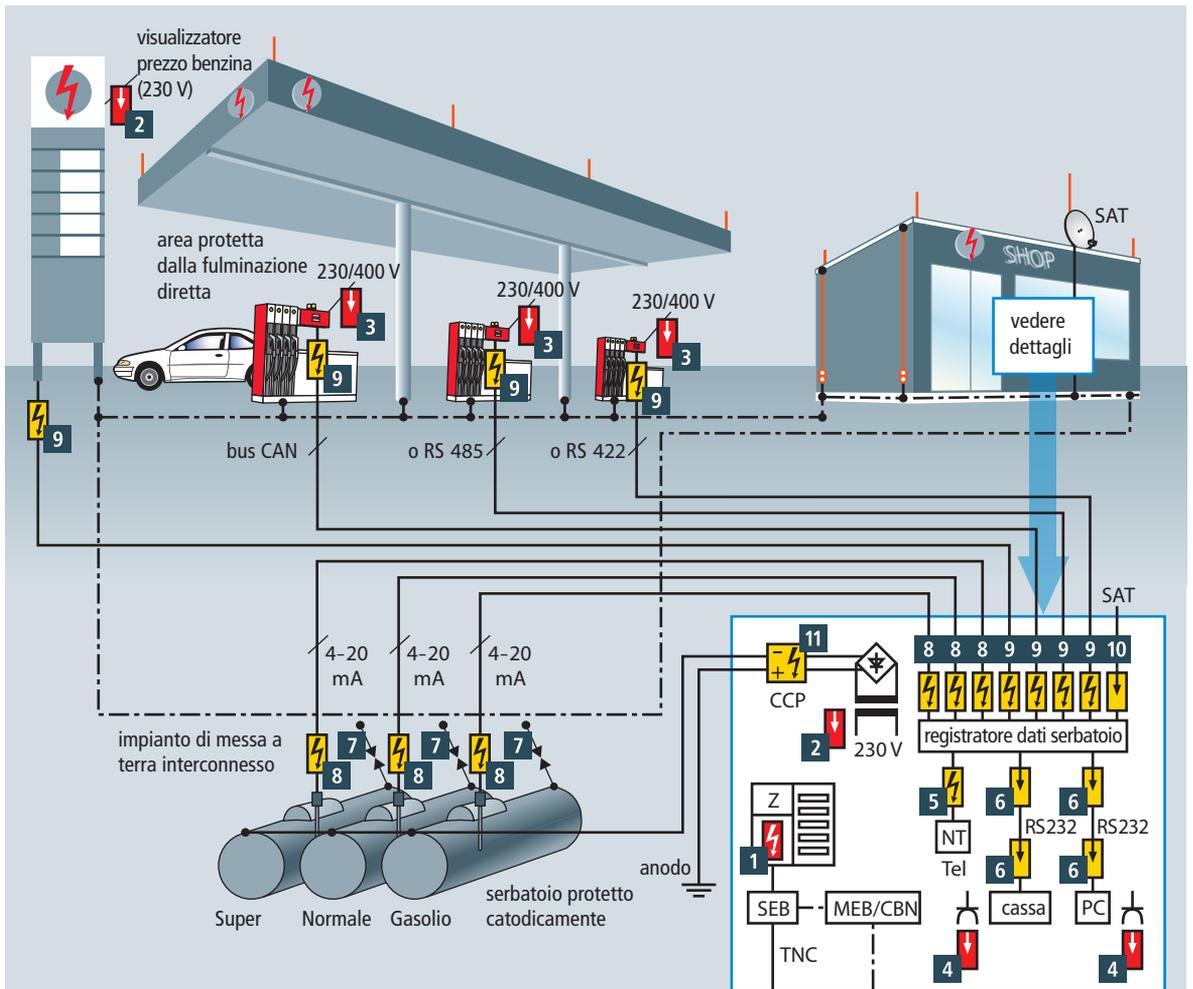
È necessaria una protezione esterna contro i fulmini esterna conforme alla norma CEI EN 62305 (CEI 81-10), comprendente un collegamento equipotenziale antifulmine e ulteriori misure di protezione contro le sovratensioni per proteggere le stazioni di rifornimento dai fulmini diretti. La tabella nella **Figura 9.21.1** indica quali tipi di dispositivi di protezione contro le sovratensioni si possono usare per proteggere le varie interfacce e i componenti dell'impianto.

È importante interconnettere tutte le costruzioni metalliche (ad esempio tubazioni, involucri degli erogatori di carburante, serbatoi) e collegarle all'impianto di messa a terra della stazione di rifornimento. Secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3), l'impianto di messa a terra deve avere una resistenza di terra < 10 Ω (valore consigliato). Per collegare con l'impianto di terra la protezione catodica anticorrosione delle stazioni di rifornimento che ne sono dotate, si devono usare spinterometri adatti per le zone pericolose.

Collegamenti bus, sensori e informatici elencati nella **Figura 9.21.1** non sono esaustivi e vengono forniti solo a titolo di esempio. L'installazione deve sempre avvenire in base alle informazioni fornite nella pianificazione dettagliata, ai requisiti e alle note dell'ente che rilascia l'autorizzazione.



Protezione contro le sovratensioni per stazioni di rifornimento



Utilizzo	Tipo	Art.	Utilizzo	Tipo	Art.
1 Impianto T..., 3~ Impianto T...	DV M T...255 alternativa: DV ZP T...	951... 900 3...	7 Zona 1 o 2	EXFS 100	923 100
2 Impianto TN, 1~ Impianto TT, 1~	DG M TN 275 DG M TT 2P 275	952 200 952 110	4-20 mA: 2 cond. singoli	BXT ML2 BE S 24	920 224
3 Impianto TN-S, 3~ Impianto TT, 3~	DG M TNS 275 DG M TT 275	952 400 952 310	4-20 mA: 4 cond. singoli	BXT ML4 BE 24 + BXT BAS	920 324 920 300
4 1~	DPRO 230	909 230	CAN, RS 485, RS 422: 2 conduttori singoli	BXT ML2 BE HFS 5	920 270
5 Telefono	BXT ML2 BD 180 + BXT BAS	920 247 920 300	CAN, RS 485, RS 422: 2 conduttori singoli	BXT ML4 BE HF 5 + BXT BAS	920 370 920 300
6 25-Pin D-sub	FS 25E HS 12	924 018	10 Antenna satellitare	DGA FF TV	909 703
			11 Circuito di protezione	BVT KKS ALD 75	918 420

Figura 9.21.1 Stazione di rifornimento di carburante dotata di impianto di protezione contro i fulmini, impianto di messa a terra ammassato, collegamento equipotenziale di protezione e funzionale e dispositivi di protezione contro le sovratensioni

Le stazioni di rifornimento sono estremamente vulnerabili ai fulmini e alle sovratensioni a causa dei loro sistemi di visualizzazione e controllo molto sensibili.

In Germania, la necessità di un impianto di protezione contro i fulmini per le stazioni di rifornimento va determinata tra l'altro in base a un'analisi dei rischi condotta secondo la normativa tedesca sulla salute e la sicurezza industriale (BetrSichV), le norme tecniche tedesche sulla sicurezza di funzionamento (TRBS 2152 Parte 3) e le norme e disposizioni antincendio VDE dei regolamenti edilizi pertinenti.

La normativa tedesca sulla salute e la sicurezza industriale (BetrSichV) richiede di evitare tutte le fonti di innesco. Alcuni regolamenti edilizi precisano che le strutture maggiormente soggette a fulminazione, o nelle quali un fulmine può avere gravi conseguenze a causa della loro ubicazione, tipo di costruzione o di impiego, devono essere dotate di una protezione efficace e permanentemente contro i fulmini.

Si può utilizzare l'analisi dei rischi descritta nella norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) sulla protezione contro i fulmini per determinare i possibili rischi. I parametri specifici del sistema definiscono il rischio esistente per una struttura. Se i valori di rischio così determinati sono superiori a quelli tollerabili prescritti nella norma, vanno adottate delle misure (protezione contro i fulmini esterna, protezione contro le sovratensioni, sistemi antincendio, ecc.) per ridurre i rischi troppo elevati a un livello accettabile.

La norma IEC 60364-1 (HD 60364-1) specifica che "i beni materiali devono essere protetti contro i danni da sovratensioni, come quelle prodotte da eventi atmosferici o dalla commutazione".

I dispositivi di protezione consigliati in questa norma non possono essere installati nelle zone Ex (zone 0, 1 e 2), se presenti. Se i dispositivi di protezione sono situati in zone pericolose, vanno adottate delle misure adeguate (ad esempio involucri e/o dispositivi di protezione contro le sovratensioni approvati) al fine di evitare l'innesco di incendi.

Le apparecchiature che si trovano nel piazzale (ad esempio visualizzatori del prezzo della benzina) e le relative linee in ingresso sono vulnerabili alla fulminazione diretta. Pertanto, nel punto di entrata nell'edificio vengono installati degli scaricatori della corrente di fulmine.

Gli erogatori di carburante si trovano sotto un tetto metallico sporgente e sono quindi protetti dai fulmini diretti. Per questo motivo e a causa della messa a terra ammagliata (**Figura 9.21.1**), vengono installati dei limitatori di sovratensione nel punto di entrata delle linee (rispettivamente nella stazione di rifornimento e negli erogatori di carburante) al fine di proteggere le linee che affluiscono all'elettronica degli erogatori.

È necessaria una protezione esterna contro i fulmini esterna conforme alla norma CEI EN 62305 (CEI 81-10), comprendente un collegamento equipotenziale antifulmine e ulteriori misure di protezione contro le sovratensioni per proteggere le stazioni di rifornimento dai fulmini diretti. La tabella nella **Figura 9.21.1** indica quali tipi di dispositivi di protezione contro le sovratensioni si possono usare per proteggere le varie interfacce e i componenti dell'impianto.

È importante interconnettere tutte le costruzioni metalliche (ad esempio tubazioni, involucri degli erogatori di carburante, serbatoi) e collegarle all'impianto di messa a terra della stazione di rifornimento. Secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3), l'impianto di messa a terra deve avere una resistenza di terra $< 10 \Omega$ (valore consigliato). Per collegare con l'impianto di terra la protezione catodica anticorrosione delle stazioni di rifornimento che ne sono dotate, si devono usare spinterometri adatti per le zone pericolose.

Collegamenti bus, sensori e informatici elencati nella **Figura 9.21.1** non sono esaustivi e vengono forniti solo a titolo di esempio. L'installazione deve sempre avvenire in base alle informazioni fornite nella pianificazione dettagliata, ai requisiti e alle note dell'ente che rilascia l'autorizzazione.



**Protezione contro le
tensioni di contatto e di
passo per campi sportivi**

La necessità della protezione contro i fulmini nelle aree ricreative e nei campi sportivi, così come nei palchi per gli spettatori, è un argomento di crescente interesse. Casi di danni recenti e la crescente frequenza dei temporali (**Figura 9.22.1**) evidenziano la necessità di adottare misure adeguate. Fulmini su proiettori, palchi, recinzioni o anche campi da gioco, pongono un rischio elevato per sportivi e spettatori. Le persone direttamente colpite da fulmini, o che vengono a trovarsi accanto a elementi che trasportano corrente di fulmine, o che sono colpite esse stesse da correnti parziali di fulmine, possono subire lesioni gravi o mortali. Le persone che non sono direttamente colpite da un fulmine, ma si trovano vicino al punto d'impatto (area del gradiente di potenziale), sono soggette al passaggio di correnti anche mortali attraverso le gambe (tensione di passo) o toccando altre persone. Questo provoca lesioni, come la fibrillazione ventricolare, aritmie cardiache e lesioni da panico. Pertanto la normativa tedesca di alcuni stati federali richiede quanto segue.

Le strutture soggette a fulminazioni o in cui un fulmine può avere gravi conseguenze a causa della posizione geografica, del tipo di costruzione o dell'impiego devono essere dotate di protezioni efficaci e permanenti contro i fulmini. (Regolamento Edilizio (Bay Bo), sezione 44)

Questo articolo si applica anche agli impianti sportivi. Pertanto, le linee guida organizzative redatte dagli esperti definiscono gli orientamenti per il comportamento e le avvertenze preventive relativamente ai pericoli derivanti dai fulmini. Se la

situazione di pericolo viene riconosciuta per tempo, è possibile abbandonare le zone a rischio e cercare riparo all'interno di edifici o rifugi. Ulteriori misure di protezione contro i fulmini riducono il rischio di lesioni in ambienti critici, come ad esempio proiettori, recinzioni metalliche e vie di fuga. Informazioni più dettagliate su questo argomento si possono trovare nelle pubblicazioni dell'Associazione Tedesca per le tecnologie elettriche, elettroniche e informatiche (VDE) ("Richtiges Verhalten bei Gewitter" [Cosa fare in caso di temporale]) o dal comitato tedesco per protezione e la ricerca contro i fulmini (ABB) (ad es. "Überlegungen zum Blitzschlag auf dem Sportplatz in Wald-Michelbach am 08.08.2008" [Considerazioni riguardanti il fulmine che ha colpito il campo sportivo di Wald-Michelbach il giorno 08/08/2008]). L'Integrazione 2 delle più recenti norme tedesche DIN EN 62305-3 descrive l'installazione delle protezioni fisse per edifici, impianti di illuminazione e palchi.

Protezione contro i fulmini per gli edifici / collegamento equipotenziale antifulmine

Aree coperte, spogliatoi e Club House possono offrire riparo in caso di pioggia e temporali improvvisi. Per questi tipi di costruzione è necessario almeno un impianto di protezione antifulmine in classe LPS III in conformità alla norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3). Per i palchi scoperti deve essere utilizzata la classe LPS II, secondo l'Integrazione 2 della norma tedesca DIN EN 62305-3. In caso di fulmine, possono fluire correnti parziali di fulmine anche nelle recinzioni metalliche, parti dei palchi, pennoni o tabelloni segnapunti. Le risultanti differenze di potenziale portano a scariche incontrollate che provocano a loro volta incendi e mettono in pericolo le perso-

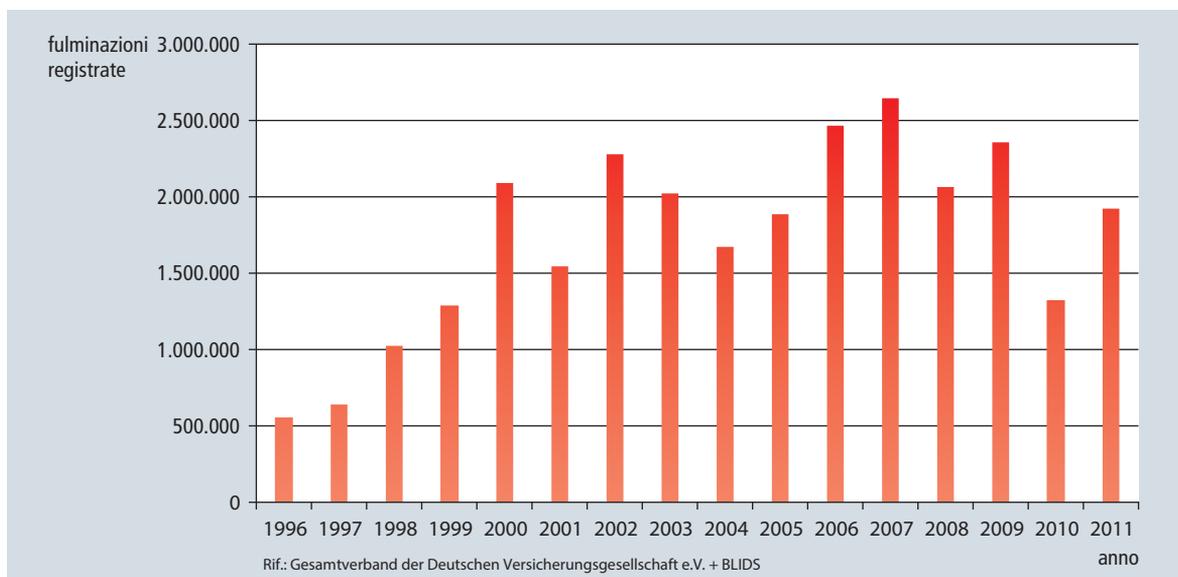


Figura 9.22.1 Numero di fulmini registrati in Germania dal 1996 al 2011.



Figura 9.22.2 Equipotenzialità antifulmine con DEHNventil M

ne e gli animali nelle immediate vicinanze. Per evitare questa situazione, questi elementi devono essere collegati elettricamente tra loro. La **Figura 9.22.2** mostra il collegamento di un sistema di protezione antifulmine per l'impianto di alimentazione a 230/400 V, nel punto di ingresso del quadro principale di distribuzione a bassa tensione, mediante uno scaricatore combinato DEHNventil. Il relativo impianto di collegamento equipotenziale antifulmine per parti metalliche e impianti elettronici previene inoltre gli incendi in queste strutture.

Impianto di captazione isolato

Secondo le più recenti norme di protezione contro i fulmini, sono utilizzati impianti di captazione isolati per proteggere dai fulmini diretti i tralicci metallici dei proiettori, gli elementi dei palchi, i tabelloni segnapunti e i pennoni. Queste parti sono collegate con sensibili apparecchiature elettriche/elettroniche attraverso le linee elettriche. Gli impianti di captazione isolati, come il DEHNconductor HVI (conduttore isolato resistente all'alta tensione, **Figura 9.22.3**) prevengono le scariche elettriche distruttive. Di conseguenza, si previene il passaggio delle correnti di fulmine attraverso i tralicci metallici dei proiettori, gli elementi dei palchi, i tabelloni segnapunti e i pennoni, proteggendo gli impianti elettrici sensibili. La **Figura 9.22.4** mostra un impianto DEHNconductor HVI installato su un traliccio. L'altezza della punta di captazione dipende dalla corrispondente classe di LPS, che va determinata in anticipo. I conduttori isolati e resistenti alle tensioni elevate (conduttori HVI) possono essere installati direttamente sul traliccio, secondo le rispettive istruzioni di installazione e utilizzando accessori specifici. In tal modo le correnti di fulmine non penetrano nel traliccio e nell'impianto elettrotico.



Figura 9.22.3 Conduttore HVI light DEHNconductor



Figura 9.22.4 Conduttore HVI installato in una torre

Protezione contro i fulmini per proiettori

I proiettori a bordo campo o presso i palchi degli spettatori devono essere dotati di un sistema di protezione contro i fulmini. Gli impianti di messa a terra dei singoli tralicci vanno collegati tra loro e alla messa a terra degli edifici sportivi (club house, spogliatoi o edifici tecnici). Queste ulteriori connessioni migliorano il collegamento equipotenziale e l'efficienza dei singoli dispersori di fondazione. Se installate correttamente, esse formano un volume protetto in caso di fulminazione diretta sui cavi del proiettore (**Figura 9.22.5**).

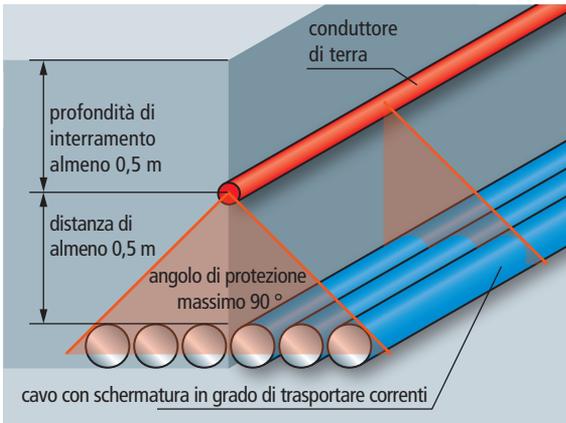


Figura 9.22.5 Volume protetto del percorso del cavo

Isolamento del suolo, tensione di contatto e di passo (controllo del potenziale)

Le persone che vengono a trovarsi accanto a elementi che trasportano corrente di fulmine, come tralicci metallici dei proiettori, recinzioni, pennoni o aree coperte, sono soggette a elevate tensioni attraverso le gambe (tensione di passo) o toccando strutture conduttrici (tensioni di contatto). Il conseguente rischio di lesioni può essere ridotto isolando il piano di calpestio (isolamento della superficie). Questa misura riduce il rischio di eccessive tensioni di passo e di contatto a seguito dell'impatto di un fulmine. Secondo la norma IEC 62305 (EN 62305), uno strato di asfalto isolante di almeno 5 cm intorno a questi componenti è sufficiente. In alternativa è possibile utilizzare conduttori CUI con rigidità dielettrica $\geq 100 \text{ kV}$ ($1,2 / 50 \mu\text{s}$).

Inoltre, il controllo del potenziale secondo l'Integrazione 1 della norma tedesca DIN EN 62305-3 consente di ridurre le tensioni di passo. A tal fine, vengono interrati e interconnessi altri conduttori di messa a terra attorno ai tralicci metallici o ai palchi (Figura 9.22.6a). Di conseguenza, la differenza di potenziale nella zona soggetta al controllo del potenziale viene ridotta e la corrente viene distribuita in modo uniforme nel terreno. Quando la distanza dal traliccio aumenta, anche la profondità aumenta di 0,5 m (Figura 9.22.6b). Più uniformemente sono installati gli elettrodi, minore è la differenza di potenziale (tensione). In tal modo, il rischio di lesioni viene notevolmente ridotto.

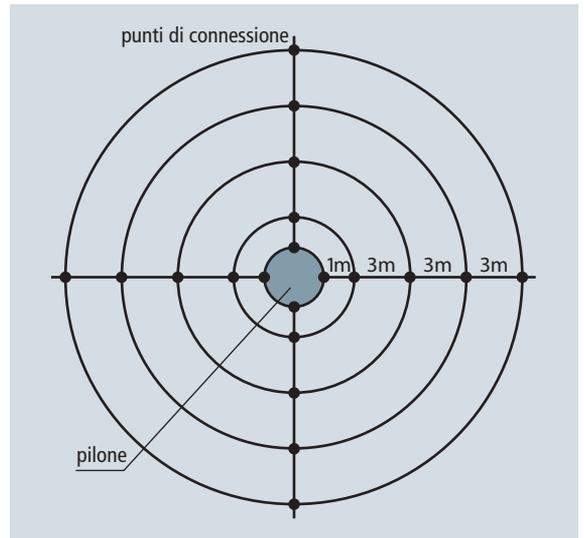


Figura 9.22.6a Controllo del potenziale su una torre

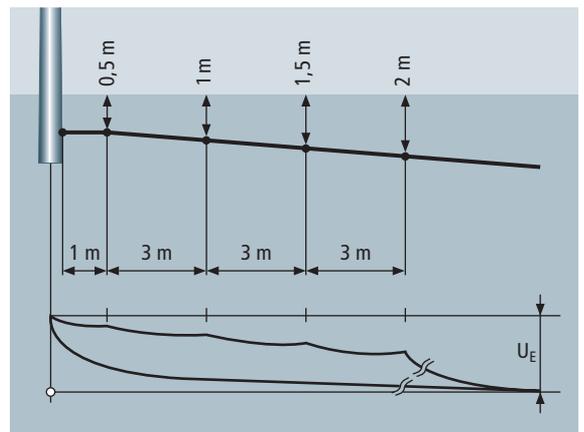


Figura 9.22.6b Controllo del potenziale su una torre



Protezione contro i fulmini e le sovratensioni per campi da golf

Normalmente, i campi da golf si estendono su ampie aree e comprendono molti servizi, quali club house, ripari per caddy e trolley (spesso integrati alle zone di allenamento), spogliatoi, punti di ristoro, ripari e parcheggi o garage per golf cart (con unità di ricarica). La pratica diffusa dell'irrigazione e i relativi impianti garantiscono la qualità del manto erboso. I campi da golf si trovano spesso in aree in cui non è facilmente disponibile l'alimentazione in bassa tensione, ma sono invece servite dalla rete (DNO) in media tensione (stazione compatta).

In generale si consiglia di valutare il rischio derivante da un fulmine per tutte le aree del campo da golf in conformità alla norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) e di pianificare le misure di protezione in base ai risultati di tale analisi dei rischi.

Le misure di protezione contro i fulmini combinano la protezione antifulmine esterna e il collegamento equipotenziale antifulmine per tutte le linee che entrano ed escono dall'edificio, come le tubazioni metalliche del gas e dell'acqua, nonché le linee di alimentazione e di comando.

Le misure relative al collegamento equipotenziale in conformità con la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) sono ad esempio:

- ➔ impiego di scaricatori per corrente di fulmine Tipo 1 (ad es. DEHNventil) per le linee elettriche,
- ➔ collegamento equipotenziale diretto degli impianti metallici.

La protezione contro le sovratensioni transitorie (risultanti da interferenze provocate da fulminazioni indirette o da operazioni di commutazione dell'impianto elettrico) si ottiene con limitatori di sovratensione Tipo 2 (ad es. DEHNguard), aumentando così la sicurezza e la continuità d'esercizio dell'impianto. Le informazioni corrispondenti sono offerte dalle norme CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4), IEC 60364-4-44 (HD 60364-4-443), EN 50174-2.

Rifugi

I rifugi, ad esempio sui campi da golf, non devono proteggere i golfisti solo dalla tempesta e dalla pioggia, ma anche dai fulmini.

In caso di una fulminazione è necessaria una protezione esterna contro i fulmini, in combinazione con le misure idonee a ridurre gli elevati potenziali di passo e di contatto all'ingresso del rifugio e al suo interno (**Figura 9.23.1**). I rifugi non devono essere installati in posizioni esposte (sulle colline, al margine di una foresta, sotto alberi isolati). Per ulteriori dettagli si faccia riferimento al capitolo 9.28.

Club house

Il cavo di alimentazione al quadro elettrico principale in bassa tensione si trova spesso nel seminterrato della club house, insieme a vari quadri secondari per i ristoranti, punti di ristoro,



Figura 9.23.1 Protezione di un rifugio, con un solo ingresso e direzione di accesso definita, contro la tensione di passo e contatto

uffici, negozi e altri edifici distaccati. A prescindere dal fatto che sia presente o meno una protezione esterna contro i fulmini, deve essere installato uno scaricatore combinato Tipo 1 nei quadri in bassa tensione per evitare l'ingresso di correnti di fulmine potenzialmente dannose attraverso il cavo di alimentazione (**Figura 9.23.2**). I quadri di distribuzione secondari sono dotati di limitatori di sovratensione Tipo 2.

Le linee dati e telefoniche terminano solitamente in un apposito locale della club house. Nel caso più semplice, entrano nell'edificio varie linee telefoniche, linee dati o di accesso a internet (linee U_{k0}).

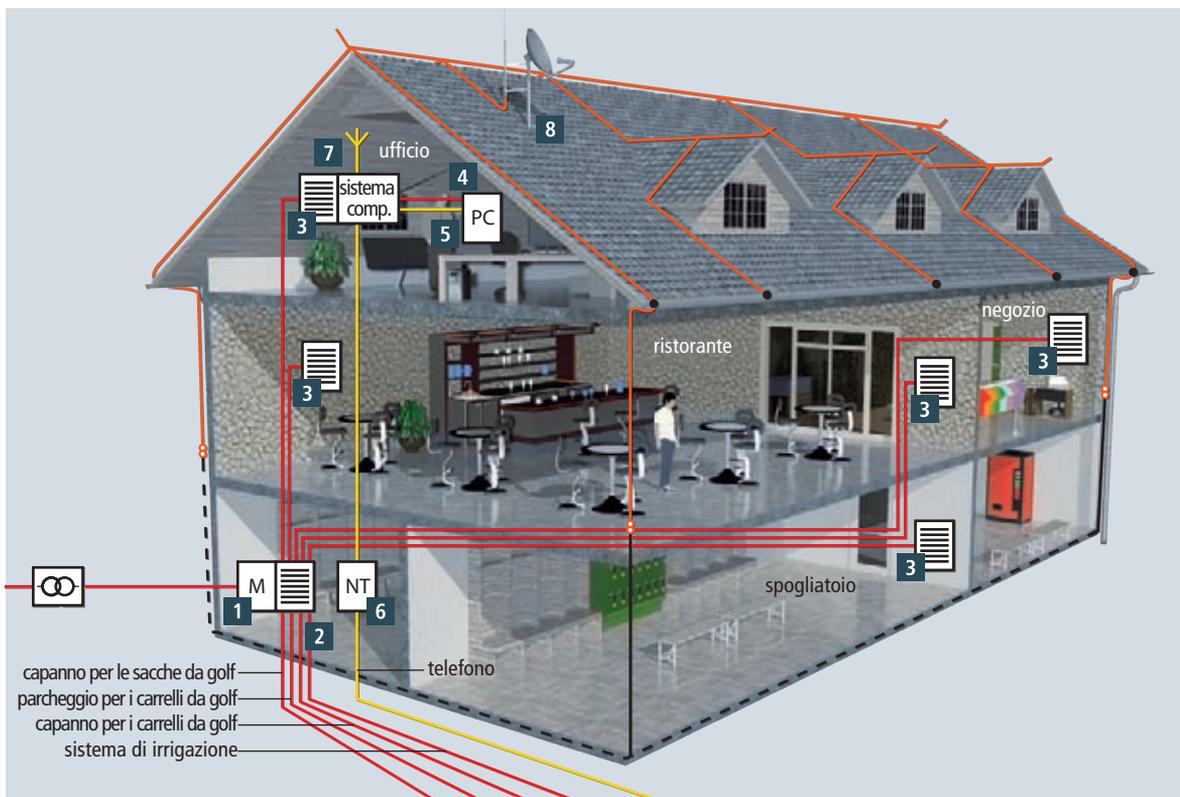
Viene installato uno scaricatore combinato Tipo 1 per le linee U_{k0} , presso il punto di ingresso nell'edificio.

Le comunicazioni tra gli uffici, i sistemi RFID per le attrezzature di erogazione delle palline, il controllo dell'accesso e il noleggio di golf cart, svolgono tutti un'importante funzione. Pertanto, la scheda di rete deve essere protetta da un limitatore di sovratensione per connessioni LAN, mentre l'alimentazione richiede un limitatore di sovratensione Tipo 3.

È altrettanto importante salvaguardare il circuito di protezione dell'antenna del ricetrasmittente del sistema RFID o l'antenna per la radio e la TV satellitare presso il punto di ingresso nell'edificio.

Riparo per caddy e trolley integrato alle zone di allenamento

Le misure per evitare elevate tensioni di passo e contatto in caso di fulmini sono imprescindibili. Devono essere adottate delle misure di protezione per le zone di entrata e di riparo molto frequentate. A tal fine, possono essere impiegate numerose misure, ad esempio mantenere la resistenza superficiale



	Misure di protezione	Impianto	Tipo	Art.
1	Scaricatore combinato (Guida DIN)	Impianto TN-C	DEHNventil DV M TNC 255	951 300
		Impianto TN-S	DEHNventil DV M TNS 255	951 400
		Impianto TT	DEHNventil DV M TT 255	951 310
2	Scaricatore combinato (Sbarra collettiva)	Impianto TN-C	DEHNventil DV ZP TNC 255	900 390
		Impianto TN-S	DEHNventil DV ZP TT 255	900 391
		Impianto TT	DEHNventil DV ZP TT 255	900 391
2	I_{uv} → uscita edificio < 15 m, scaricatore delle correnti da fulmine (guida DIN)	Impianto TN-S Impianto TT	4 x DEHNbloc DB M 1 255 3 x DEHNbloc DB M 1 255 + 1 x DEHNgap DGP M 255	961 120 961 120 + 961 101
3	Limitatore di sovratensione (Guida DIN)	Impianto TN-S	DEHNgard DG M TNS 275	952 400
		Impianto TT	DEHNgard DG M TT 275	952 310
4	Limitatore di sovratensione (presa elettrica)	Tutte le configurazioni dell'impianto	DEHNflex DFL M 255	924 396
			STC 230 modulo per prese di corrente	924 350
			SFL Protector SFL PRO 6X	909 250
Interfaccia			Tipo	Art.
5	Rete dati LAN		DEHNpatch DPA M CAT6 RJ45S 48	929 100
6	Telefono	1 linea	BLITZDUCTOR BXT ML2 BD 180 + basetta BXT BAS	920 247 + 920 300
		2 linee	BLITZDUCTOR BXT ML4 BD 180 + basetta BXT BAS	920 347 + 920 300
7	Antenna WLAN		DEHNgate DGA G BNC + piastra di fissaggio ad angolo	929 042 + 106 329
8	Antenna satellitare		DEHNgate DGA FF TV	909 703

Figura 9.23.2 Protezione contro le sovratensioni per le linee di alimentazione in bassa tensione e informatiche di una club house



	Misure di protezione	Impianto	Tipo	Art.
1	Scaricatore combinato (guida DIN)	Impianto TN-S Impianto TT	DEHNventil DV M TNS 255 DEHNventil DV M TT 255	951 400 951 310
2	Limitatore di sovratensione (presa) Limitatore di sovratensione (guida DIN)	Tutte le configurazioni dell'impianto	DEHNflex DFL M 255 DEHNrail DR M 2P 255	924 396 953 200
	Interfaccia		Tipo	Art.
3	Antenna WLAN		DEHNgate DGA G BNC + piastra di fissaggio ad angolo	929 042 + 106 329

Figura 9.23.3 Riparo per caddy e trolley integrato alle zone di allenamento, protetto contro le sovratensioni e contro le tensioni di passo e di contatto

≥ 100 kΩ entro una limitata zona di protezione di 3 m intorno alla calata (ad esempio 5 cm di asfalto).

Come descritto in precedenza, deve essere implementata l'equipotenzialità antifulmine per i vari impianti, direttamente presso il punto di ingresso all'interno dell'edificio e, se necessario (in base ai risultati dell'analisi dei rischi), ulteriori misure di protezione contro le sovratensioni a monte dell'apparecchio utilizzatore (Figura 9.23.3).

Le stesse misure di protezione vanno prese per i ripari e i parcheggi garage per i golf cart, analogamente alla club house o al riparo per caddy e trolley.

Sistema di irrigazione

L'acqua viene per lo più estratta dalla falda. Le pompe di estrazione sono installate in condotti interrati, comandate e monitorate da una stazione di servizio (Figura 9.23.4).

Il tubo dell'acqua in pressione passa attraverso l'intero campo da golf. Degli impianti di irrigazione alimentati da derivazioni forniscono acqua alle varie zone dei campi (green e tees). Il flusso dell'acqua viene controllato da elettrovalvole installate direttamente presso l'impianto di irrigazione o a livello del suolo. Le elettrovalvole che attivano i singoli irrigatori sono controllate da decodificatori. La trasmissione dei dati e l'alimentazione delle valvole avvengono attraverso un doppino ad anello (ad esempio 35 V/1 Hz, 1,1 A). In alcuni casi, questo

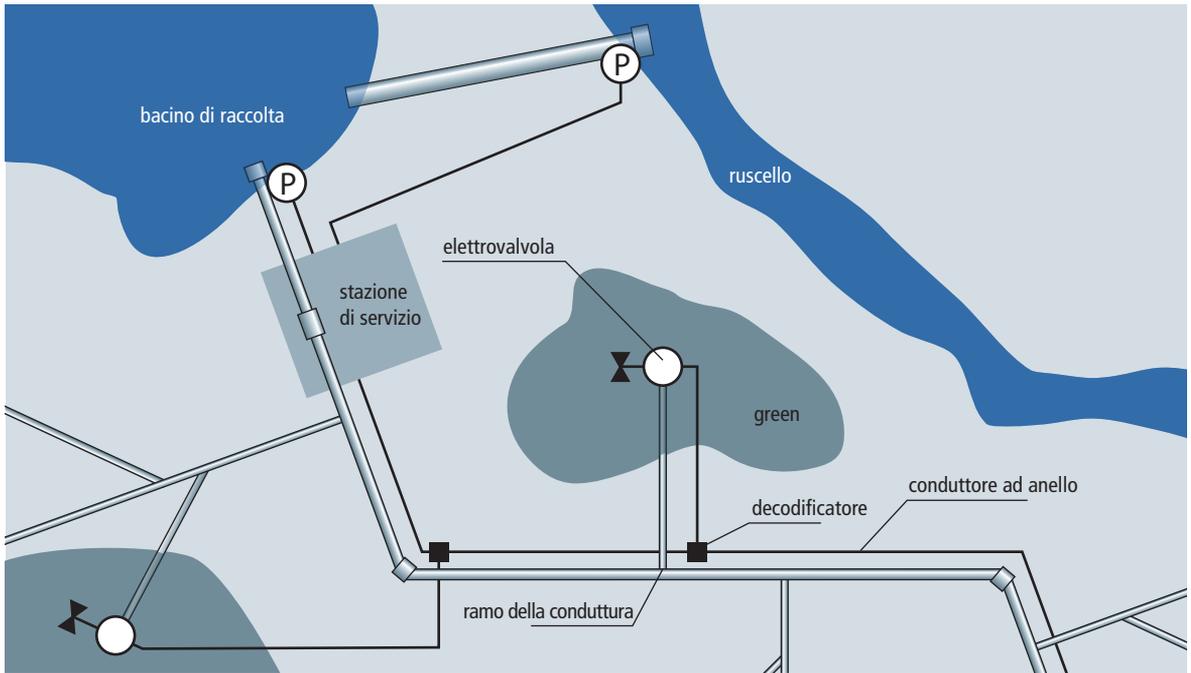


Figura 9.23.4 Condotto in pressione con tubi di derivazione, elettrovalvole, doppino ad anello e decodificatori

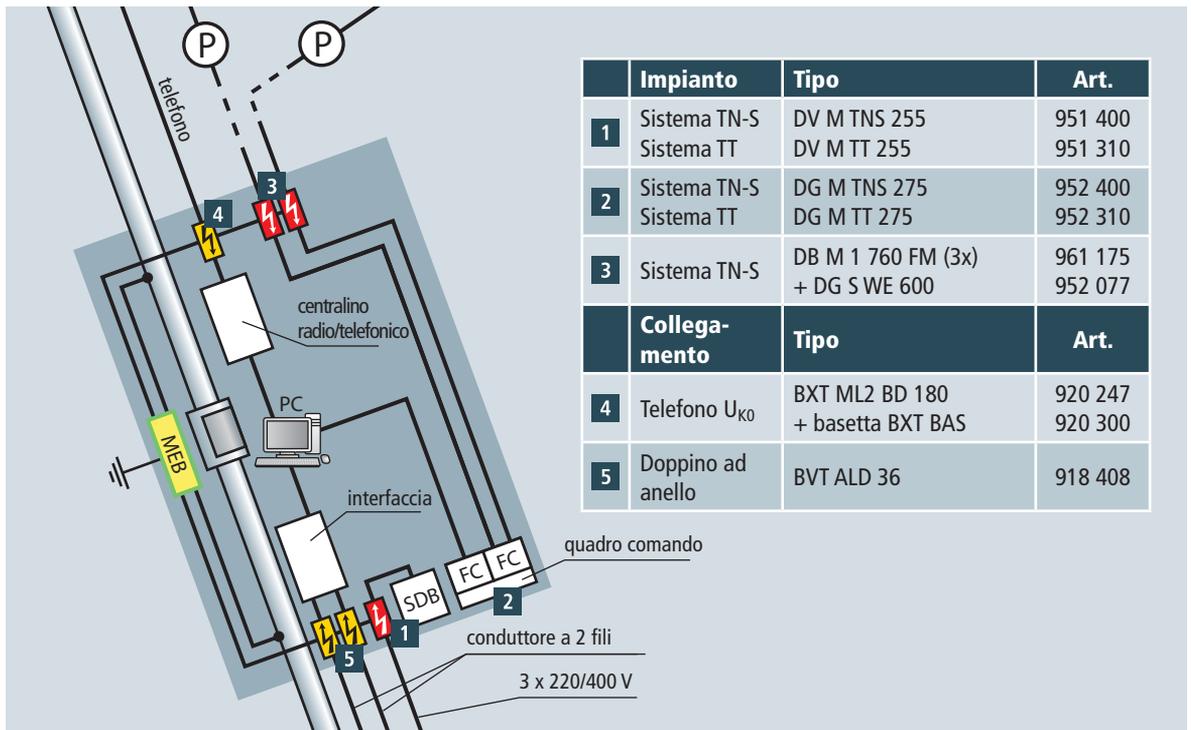


Figura 9.23.5 Stazione di servizio con quadro di distribuzione elettrica, quadro di controllo del sistema di irrigazione, interfaccia PC e sistema di gestione dei dati

doppino può essere lungo oltre 10 km. I cavi di collegamento per le valvole magnetiche, tuttavia, non superano i 150 m per limitare l'eccessiva caduta di tensione.

Il lungo doppino ad anello e i conduttori molto lunghi delle elettrovalvole presentano il rischio più elevato in termini di sovratensioni. In pratica, sono quindi installati dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni sul doppino ad anello, a intervalli non superiori a 150 m. La messa a terra locale dei dispositivi di protezione è effettuata con impianti appositi, resistenti alla corrosione (dispersori verticali o radiali). Tali dispositivi vanno installati contestualmente all'installazione delle tubazioni dell'impianto dell'acqua pressurizzata e del doppino ad anello.

Stazione di servizio

Bisogna realizzare un collegamento equipotenziale antifulmine, presso il punto di entrata nella stazione di servizio, per il tubo dell'acqua in pressione, per il doppino ad anello, per il cavo di alimentazione e per la linea della pompa.

In funzione delle dimensioni dell'edificio possono rendersi necessarie ulteriori misure di protezione contro le sovratensioni per i conduttori interni a monte dei corrispondenti sistemi di controllo (**Figura 9.23.5**).

Le soluzioni pratiche descritte sono fornite solo a titolo di esempio. La protezione contro fulmini e sovratensioni va adattata in modo specifico alle condizioni naturali e strutturali.



Protezione da sovratensioni per chiese

Le chiese sono edifici di alto valore culturale e luoghi di pubblica assemblea. Pertanto devono essere dotate di una protezione contro i fulmini efficace e permanente come descritto nel capitolo 18 dell'Integrazione 2 della norma tedesca DIN EN 62305-3 sulla protezione contro i fulmini.

La norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4) sulla protezione contro i fulmini descrive come implementare le misure di protezione contro le sovratensioni. Inoltre, la norma IEC 60364-1 (HD 60364-1) richiede che "le proprietà devono essere protette contro i danni da sovratensioni, come quelle prodotte da eventi atmosferici o da commutazioni" (sezione 131.6.2).

La **Figura 9.24.1** mostra un esempio delle attrezzature tipiche di una chiesa. Il circuito della linea di comando della centralina della campana è illustrato in dettaglio nella **Figura 9.24.2**.

Se viene mantenuta la distanza di isolamento s tra le calate (o gli elementi conduttori) e i cavi installati nel campanile, le scariche non sono probabili, tuttavia può verificarsi l'accoppiamento elettromagnetico. Per minimizzare l'accoppiamento elettromagnetico possono essere applicate le seguenti misure:

- ➔ mantenere corti i cavi,
- ➔ ridurre o eliminare la formazione di spire.

Se queste misure non sono fattibili, devono essere installati dei dispositivi di protezione.

Collegamento equipotenziale antifulmine

Un impianto di protezione antifulmine richiede un collegamento equipotenziale antifulmine per gli impianti metallici e per tutti i cavi interrati che entrano nell'edificio. Per le chiese, bisogna sempre realizzare l'equipotenzialità antifulmine per l'alimentazione in bassa tensione e gli altri cavi, se presenti (ad esempio luci di emergenza).

Protezione dalle sovratensioni

I cavi nella torre campanaria e nella navata, così come i cavi del meccanismo dell'orologio elettrico e della centralina della campana sono spesso lunghi e/o formano delle spire. L'orario

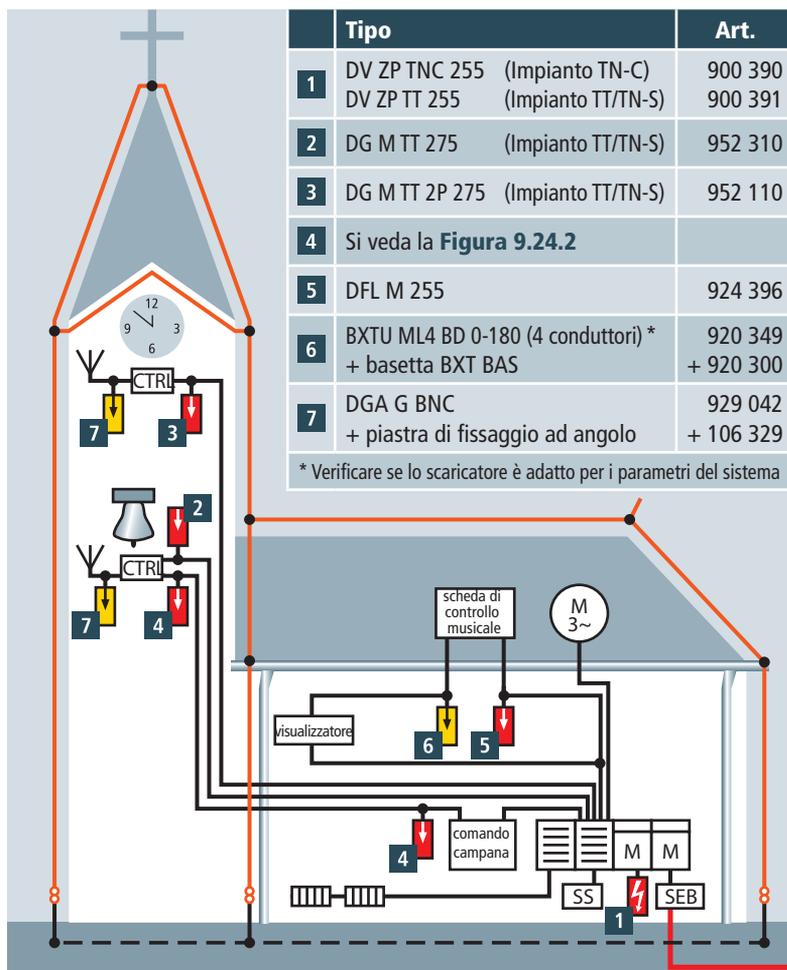


Figura 9.24.1 Principio di protezione contro i fulmini esterna e interna per una chiesa con campanile

	Tipo	Art.
1	DV ZP TNC 255 (Impianto TN-C)	900 390
	DV ZP TT 255 (Impianto TT/TN-S)	900 391
2	DG M TT 275 (Impianto TT/TN-S)	952 310
3	DG M TT 2P 275 (Impianto TT/TN-S)	952 110
4	Si veda la Figura 9.24.2	
5	DFL M 255	924 396
6	BXTU ML4 BD 0-180 (4 conduttori) * + basetta BXT BAS	920 349 + 920 300
7	DGA G BNC + piastra di fissaggio ad angolo	929 042 + 106 329

* Verificare se lo scaricatore è adatto per i parametri del sistema

di questi due sistemi è sincronizzato per mezzo del segnale DCF 77.

Se la centralina degli inni religiosi non è controllata via radio, sono prevedibili degli accoppiamenti elettromagnetici.

In aggiunta ai sistemi descritti sopra, anche il riscaldamento dei tubi, l'organo elettronico e il sistema audio sono molto sensibili agli accoppiamenti elettromagnetici.

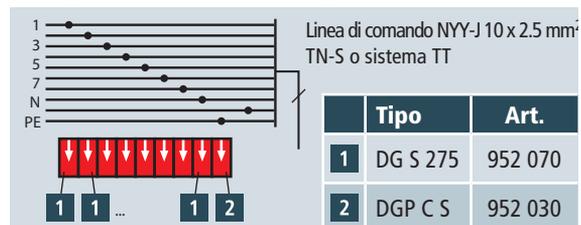


Figura 9.24.2 Esempio di i dispositivi di protezione per il sistema di controllo della campana

Nell'esempio illustrato, non è richiesto un conduttore di massa separato alla barra principale di terra per i limitatori di sovratensione Tipo 2 (230 V o 230/400 V) dei sistemi di alimentazione, poiché il primo dispositivo di protezione contro le sovratensioni è già collegato al sistema di terra.



Protezione contro le sovratensioni per lampade lineari

Per motivi economici, vengono utilizzati tubi fluorescenti (con un diametro di 26 mm o 16 mm) e reattori elettronici per le lampade lineari in campo industriale, commerciale e nei fabbricati agricoli.

Nelle sale di notevole altezza sono installate lampade lineari a fascio estremamente stretto. In questo caso, la sostituzione periodica degli apparecchi (circa 16.000 ore di funzionamento per i tubi da 26 mm, circa 20.000 ore per tubi da 16 mm) comporta costi elevati, in quanto richiede l'utilizzo di piattaforme di sollevamento. Inoltre i sistemi di illuminazione vengono sostituiti di solito fuori dall'orario di lavoro.

Ma che cosa succede se i singoli reattori vengono distrutti da sovratensioni o se si guasta un'intera lampada rettilinea? In questo caso è necessaria un'azione immediata poiché l'illuminazione minima richiesta spesso non è più garantita, il che può portare a un calo delle prestazioni lavorative e a incidenti. La norma IEC 60364-4-44 (HD 60364-4 -44) si occupa della "protezione contro le sovratensioni di origine atmosferica o dovute alla commutazione". La sezione 443.3.2.2 indica che negli edifici commerciali si possono utilizzare dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni (scaricatori Tipo 2 o 3).

La linee di alimentazione delle lampade lineari (spesso lunghe) sono molto sensibili alle sovratensioni. Anche un limitatore di sovratensione Tipo 2 o uno scaricatore combinato Tipo 1 nel quadro di distribuzione non possono impedire che il picco di tensione arrivi alle lampade. Pertanto deve essere installato un ulteriore limitatore di sovratensione in prossimità della plafoniera.

Il rischio di sovratensioni per le lampade risulta notevolmente ridotto installando lampade lineari in Classe I (collegamento PE), cosa che avviene spesso. Se le lampade sono dotate di isolamento doppio o rinforzato, i cavi vengono spesso fatti passare dentro una guida metallica, risultando quindi in gran parte protetti grazie all'effetto schermante della guida stessa.

In pratica, le lampade rettilinee sono alimentate a corrente alternata (230 V/50 Hz) e a corrente trifase (3x 230/400 V/50 Hz). Per entrambi i tipi di alimentazione, il numero massimo di apparecchi illuminanti da collegare dipende dalla sezione dei cavi collegati in serie. Al fine di valutare le correnti di spunto dei reattori (per i fusibili), il produttore della lampada specifica il numero massimo di apparecchi illuminanti a seconda delle correnti nominali dei dispositivi di protezione da sovracorrente. Ciò significa che possono essere collegati solo 13 reattori



Figura 9.25.1 Limitatore di sovratensione Tipo 3 installato in un sistema di illuminazione per uffici

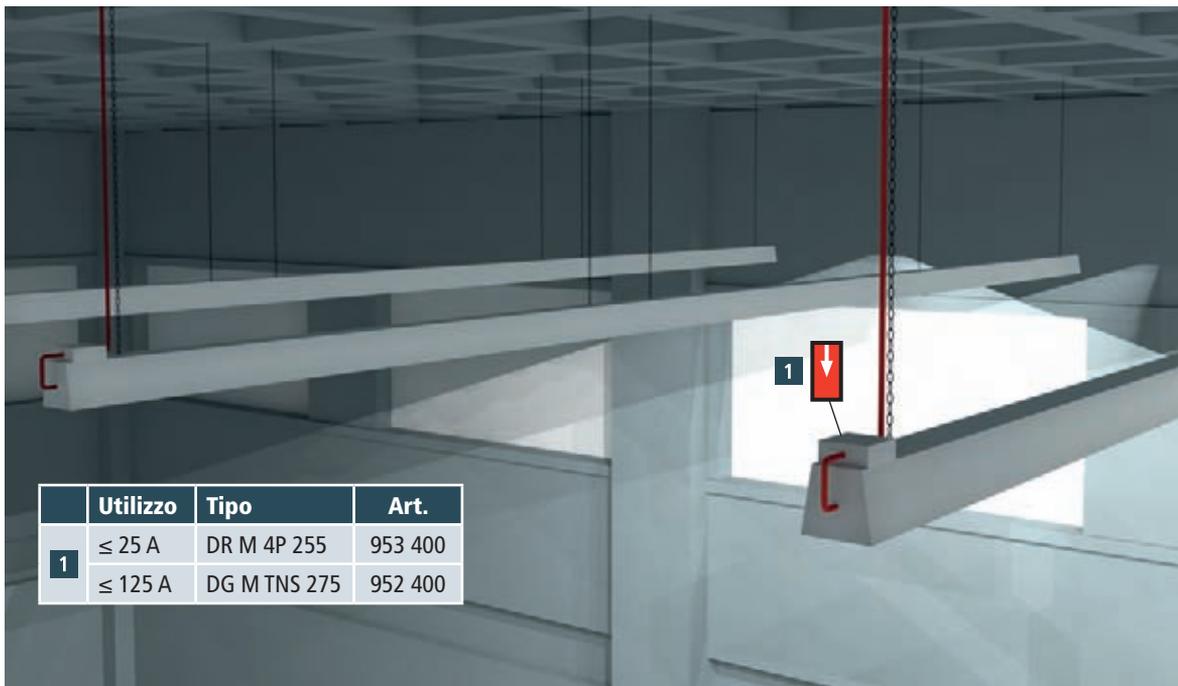


Figura 9.25.2 Limitatore di sovratensione Tipo 2 / Tipo 3 in un contenitore da incasso installato sulla guida di montaggio di una lampada lineare

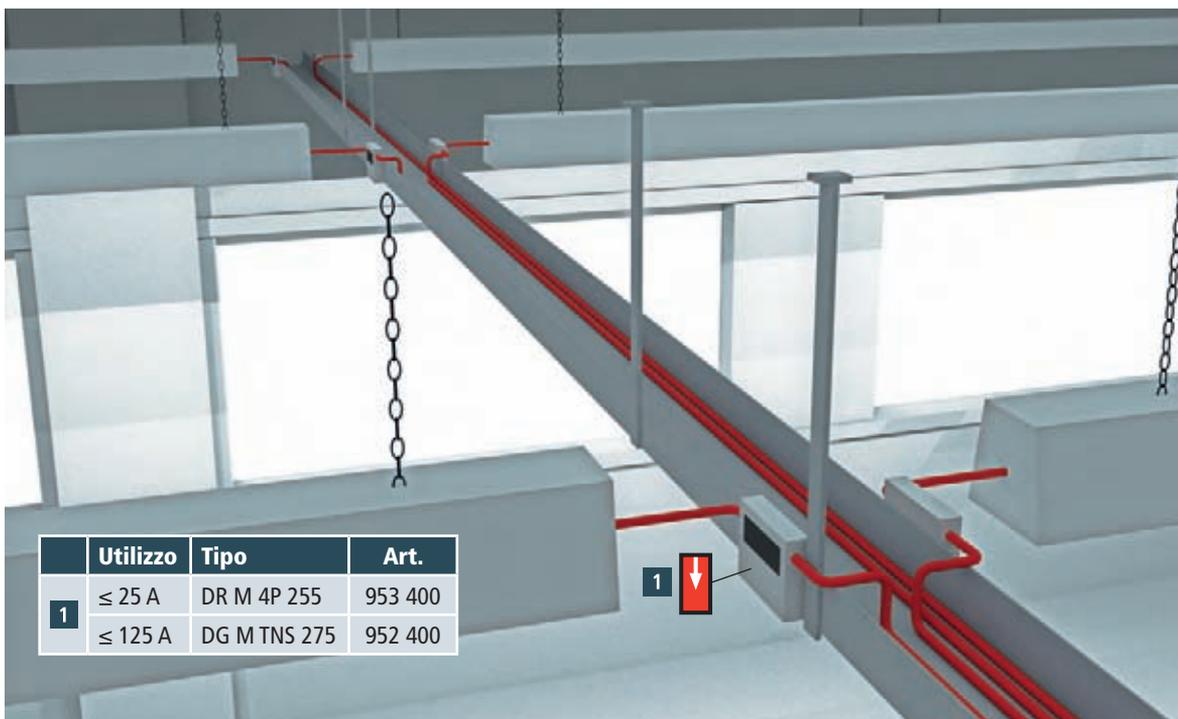


Figura 9.25.3 Limitatore di sovratensione Tipo 2 / Tipo 3 in un contenitore da incasso installato su un condotto portacavi

elettronici T26/58 W a un interruttore magnetotermico da 16 A (per esempio) con caratteristica B, anche se la corrente di funzionamento è $13 \times 0,58 = 7,54$ A. Dato che gli apparecchi illuminanti non causano sovraccarico, la linea va protetta solo contro i corti circuiti. Anche la caduta di tensione non è determinata dalla corrente nominale del dispositivo di protezione da sovracorrente, ma dalla corrente di funzionamento degli apparecchi illuminanti.

In pratica, si adottano limitatori di sovratensione Tipo 3 per proteggere lampade di ridotte dimensioni a corrente alternata con prefusibili fino a 16 A (**Figura 9.25.1**). Grazie alla forma compatta, questi limitatori di sovratensione possono essere installati all'interno del corpo illuminante.

Per lampade lineari a corrente trifase con prefusibili fino a 25 A, si consiglia di utilizzare limitatori Tipo 3 su guida DIN, posti in un contenitore da incasso con un adeguato grado di protezione, da

installare direttamente sulla guida DIN (**Figura 9.25.2**). Questo tipo di installazione è raccomandata per le linee di alimentazione delle lampade sospese (con lunghezza di alcuni metri).

Il contenitore a incasso deve essere installato presso il condotto portacavi se tali lampade sono montate a soffitto (**Figura 9.25.3**).

Se delle lampade potenti a corrente trifase (corrente nominale > 25 A) vengono alimentate attraverso cavi molto lunghi, spesso sono necessarie grandi sezioni a causa della caduta di tensione e dell'impedenza del circuito. In tali casi, la sezione trasversale del cavo vicino al punto di connessione della lampada viene ridotta alla sezione da collegare ai morsetti (nella maggior parte dei casi $2,5 \text{ mm}^2$) tramite una scatola di derivazione. A tal fine si consiglia di installare limitatori Tipo 2, disponibili per impianti TN-S e TT. Questi limitatori possono essere utilizzati solo per prefusibili fino a 125 A, il che è fuori questione a causa del carico di cortocircuito sulla lampada.



Protezione da sovratensioni per ascensori

La funzione degli ascensori è quella di effettuare il trasporto di persone e merci in edifici privati e commerciali. Gli ascensori idraulici sono usati spesso per limitate altezze di sollevamento; negli altri casi si usano ascensori a funi con contrappesi. Gli ascensori hanno una velocità di circa 1 m/s o superiore (negli edifici di medie dimensioni, mentre negli edifici a più piani fino a 8 m/s e nella prossima generazione di edifici a più piani fino a 17 m/s). I montacarichi hanno capacità fino a 5 tonnellate.

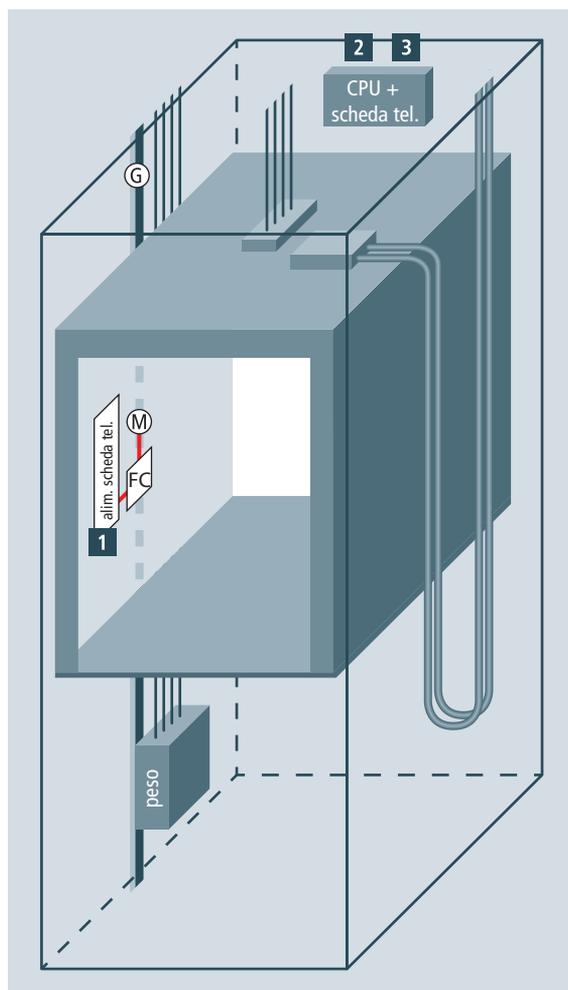
Gli ascensori rispondono a vari requisiti:

- ➔ avvio graduale e arresto controllato da un convertitore di frequenza,
- ➔ misure di ottimizzazione del traffico (ad es. arresto in caso di pieno carico, priorità, comportamento degli ascensori in caso di incendio),
- ➔ funzione di risparmio energetico (l'illuminazione della cabina e il ventilatore vengono spenti nei viaggi a vuoto o ad ascensore fermo),
- ➔ funzione di alimentatore (l'energia cinetica generata dal trasporto merci al piano terra e i viaggi a vuoto ai piani superiori viene trasferita all'impianto di alimentazione).

Queste funzioni possono essere realizzate solo per mezzo di sistemi elettronici estremamente sensibili.

I produttori adottano diverse misure per ridurre a un livello accettabile l'ingresso di correnti nel cablaggio e nel sistema tecnologico dei loro ascensori. Quadri elettrici metallici schermati, tipo di cavi, percorso dei cavi: queste misure non possono impedire i danni agli ascensori provocati dai transitori condotti.

Le unità periferiche degli ascensori, come i pannelli o i visualizzatori al piano sono collegati per mezzo di cavi dotati di connettori precablati. Pertanto, i dispositivi di protezione contro le sovratensioni sono necessari solo per il collegamento di rete, quello della linea telefonica e per il sistema di allarme antincendio, se previsto (**Figura 9.26.1**).



	Utilizzo	Tipo	Art.
1	Sistema TN-S Sistema TT	DG M TNS 275 DG M TT 275	952 400 952 310
2	Collegamento telefonico U_{K0}	BXT ML2 BD 180 + BXT BAS	920 247 920 300
3	Pannello di controllo antincendio ➔ PLC	BXT ML2 BE S 24 + BXT BAS	920 224 920 300

Figura 9.26.1 Dispositivi di protezione contro le sovratensioni per un ascensore



**Protezione contro le
sovratensioni per sistemi di
aspirazione di fumo e
calore**

Per essere in grado di abbandonare una struttura in caso di incendio, le vie di fuga devono essere tenute sgombre dal fumo, che provoca la perdita dell'orientamento e problemi respiratori.

I sistemi di aspirazione del fumo e del calore sono entrambi dotati di punti di attivazione manuali e di rivelatori automatici; rilevano il fumo o il calore prodotto e lo rimuovono dalle vie di fuga attraverso finestre o lucernari ad azionamento elettromeccanico o pneumatico. Oltre a questa funzione principale, le finestre (o i lucernari) sono utilizzati anche per la ventilazione. A questo scopo sono disponibili dei dispositivi di commutazione in grado di emettere comandi di commutazione di minore importanza. Dato che la disponibilità dei sistemi di aspirazione del fumo e del calore deve essere garantita anche in caso di interruzione della corrente elettrica, le centraline del sistema antincendio sono dotate di accumulatori che alimentano i sistemi di aspirazione del fumo e del calore. Pertanto gli attuatori delle finestre (o dei lucernari) sono dimensionati per il funzionamento in corrente continua.

I dispositivi di protezione contro le sovratensioni negli esempi descritti sono dimensionati in base a una tensione di 24 V CC,

che è quella comunemente utilizzata in questo settore. Inoltre si impiegano finestre o lucernari ad azionamento elettromeccanico con una massima corrente nominale inferiore a 1,8 A o 4 A in corrente continua.

Struttura con tetto non metallico e protezione esterna contro i fulmini

Le strutture montate sul tetto, incorporate o sporgenti, su strutture dotate di protezione esterna contro i fulmini, devono trovarsi entro il volume protetto dei captatori, secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3), tenendo conto della distanza di isolamento s , se vengono superati i seguenti valori limite:

Strutture metalliche montate sul tetto, incorporate o sporgenti:

- ➔ altezza sopra il livello del tetto: 0,3 m,
- ➔ area totale della struttura montata sul tetto: 1,0 m²,
- ➔ lunghezza della struttura montata sul tetto: 2,0 m.

Strutture non metalliche montate sul tetto, incorporate o sporgenti:

- ➔ altezza al di sopra dell'impianto di captazione: 0,5 m.

Pos.	Limitatore di sovratensione	Art.
1	DG M TN 275 (Impianti TN-S)	952 200
	DG M TT 2 P 275 (Impianti TT)	952 110
2	BXT ML4 BE 24	920 324
	+ BXT BAS	920 300
3	2 x BXT ML4 BE 24	920 324
	+ 2 x BXT BAS	920 300
4	BXT ML4 BE 36 (1,8 A)	920 336
	+ BXT BAS o	920 300
	2 x BVT ALD 36 (4 A)	918 408
5	BXT ML2 BE S 24	920 224
	+ BXT BAS	920 300
6	= 2	
Alternativa 2 3 5 6		
	TL2 10DA CC	907 991
	DRL 10 B 180 FSD	907 401
	EF 10 DRL	907 498
	8 x DRL RE 24	907 422
* Numero minimo di conduttori (osservare le istruzioni del fabbricante)		

Figura 9.27.1 Lucernario situato nel volume protetto di un impianto di captazione sul tetto non metallico di una struttura dotata di protezione esterna contro i fulmini

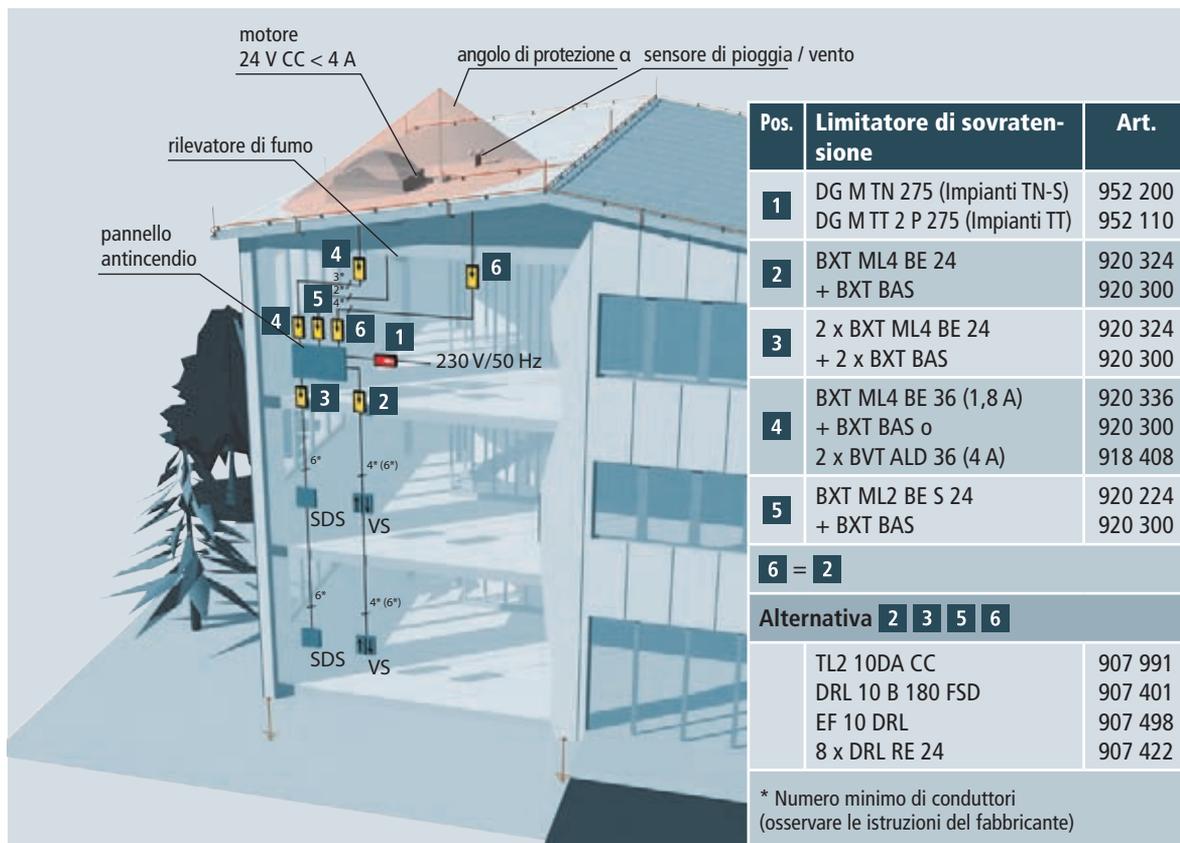


Figura 9.27.2 Lucernario situato nel volume protetto di un'asta di captazione sul tetto metallico di una struttura dotata di calata metallica (telaio in acciaio, cemento armato con armatura interconnessa o facciata metallica collegata a terra)

A causa dei requisiti di cui sopra, i lucernari di certe dimensioni vanno protetti contro i fulmini. Se sono installate delle aste di captazione, i lucernari si trovano nella zona LPZ 0_B e quindi la corrente da fulmine non entra nelle apparecchiature installate in questa zona (Figura 9.27.1). Un limitatore di sovratensione impedisce l'accoppiamento induttivo in questa zona.

Struttura con tetto metallico esterno e protezione esterna contro i fulmini

In contrasto con le strutture dotate di tetti non metallici e protezione esterna contro i fulmini, si applicano altri requisiti normativi relativamente alla capacità di trasportare correnti di fulmine sui tetti metallici che vengono utilizzati come captatori.

1. Il tetto metallico può essere usato come impianto di captazione naturale se il costruttore conferma che è adatto a questo scopo (DIN EN 62305-3, Integrazione 4).
2. Il tetto metallico non ha il necessario spessore t' (CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3), Tabella 3) e deve essere

protetto dai fulmini diretti per mezzo di impianti di captazione, in quanto la fulminazione diretta può provocare incendi a causa dei materiali altamente infiammabili (o tavole di legno) posti al di sotto della lamiera metallica del tetto e l'ingresso di acqua non è più evitabile. Gli impianti di captazione devono essere collegati tra loro per mezzo di conduttori della corrente di fulmine, se non sono presenti altri collegamenti in grado di trasportare detta corrente (ad esempio per mezzo di morsetti, brasature, saldature, pressaggio, aggraffature, fissaggio con viti o chiodature).

3. Il tetto metallico ha il necessario spessore t' (CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3), Tabella 3)

Ci sono due tipi di conduttori per i tetti metallici descritti.

- A. Le pareti sono costituite da un'armatura di acciaio o da un telaio metallico in grado di trasportare la corrente di fulmine. In entrambi i casi, la distanza di isolamento non va considerata, in quanto o la corrente è molto bassa a

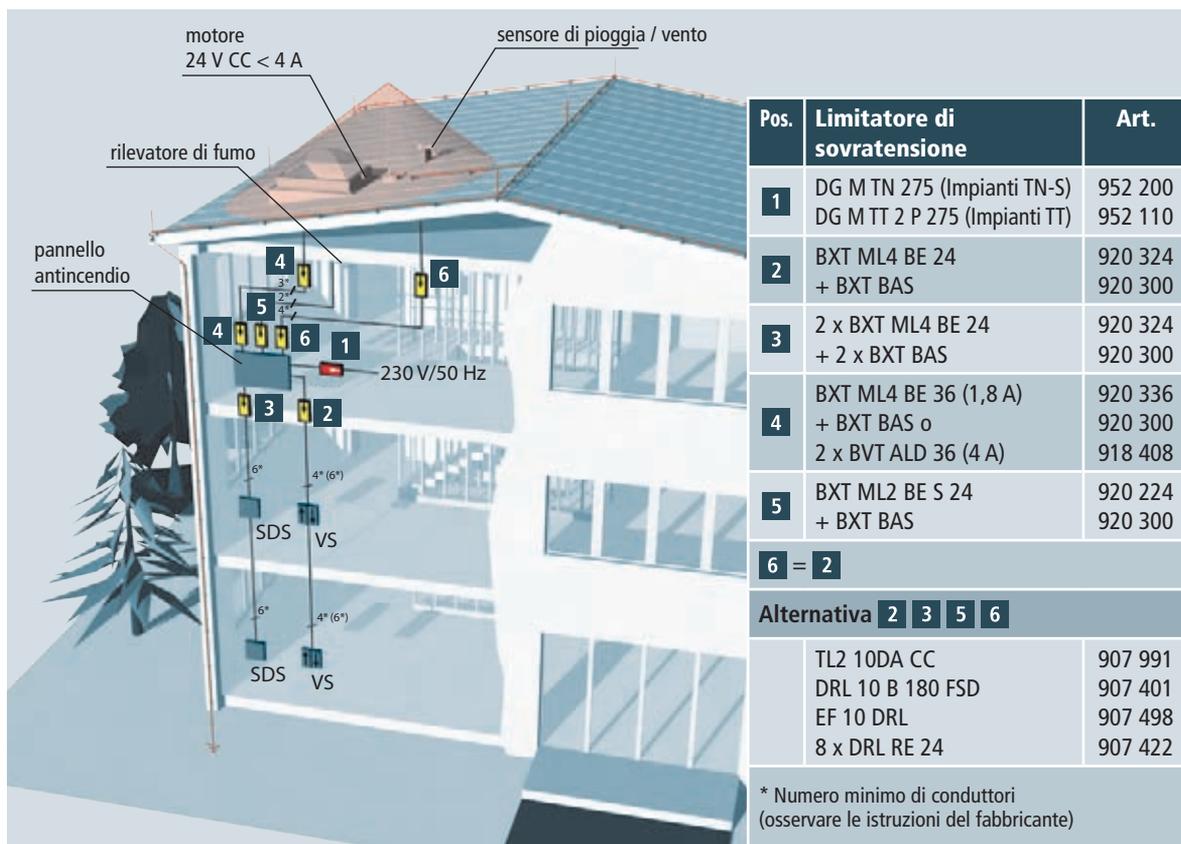


Figura 9.27.3 Lucernario situato nel volume protetto di un'asta di captazione sul tetto metallico di una struttura dotata di scaricatori tradizionali

causa del numero elevato di percorsi di corrente (armature) oppure la bassa induttanza (travi in acciaio) non causa la foratura delle altre parti metalliche. Anche le facciate metalliche collegate alla massa dell'impianto di captazione a intervalli di 15 m in corrispondenza del punto più basso (terreno) soddisfano i requisiti sopra descritti.

- B. Le pareti sono costituite da materiale non conduttore (mattoni, legno, ecc.) e le calate sono collegate all'impianto di messa a terra rispettando il passo richiesto dalla classe di LPS.

Si possono utilizzare diverse combinazioni di captatori (si veda 1., 2., 3.) e calate (si veda A., B.). Le scariche esplosive non si verificano nelle strutture dotate di captatori e calate nelle combinazioni 1.+ A., 2.+ A., o 3.+ A. Devono essere installati captatori per evitare la caduta di fulmini sui lucernari. In tal modo i lucernari sono protetti contro i fulmini diretti, tuttavia essi non si trovano nella zona LPZ 0_B dato che i captatori conducono direttamente la corrente al tetto metallico

e quindi la distribuiscono su una vasta area. In considerazione del fatto che un fulmine può anche colpire in prossimità dei lucernari, si consiglia di installare uno scaricatore per la corrente di fulmine (Figura 9.27.2).

Una struttura con un tetto metallico e calate convenzionali è considerata critica (Figura 9.27.3). In caso di fulmine, la corrente sarà equamente distribuita tra le calate. Tuttavia, la struttura è ancora a rischio e deve essere mantenuta la relativa distanza di isolamento. Bisogna installare anche un sistema di captazione per evitare fulmini diretti a questo tipo di struttura, sebbene i lucernari non si trovino nella zona LPZ 0_B. Poiché le correnti di fulmine parziale possono passare all'interno della struttura tramite il cavo per l'azionamento del sistema di aspirazione dei fumi e del calore, bisogna installare uno scaricatore per la corrente di fulmine. A causa delle loro dimensioni, le strutture con lucernari di solito hanno diverse calate che impediscono il sovraccarico dello scaricatore della corrente di fulmine.

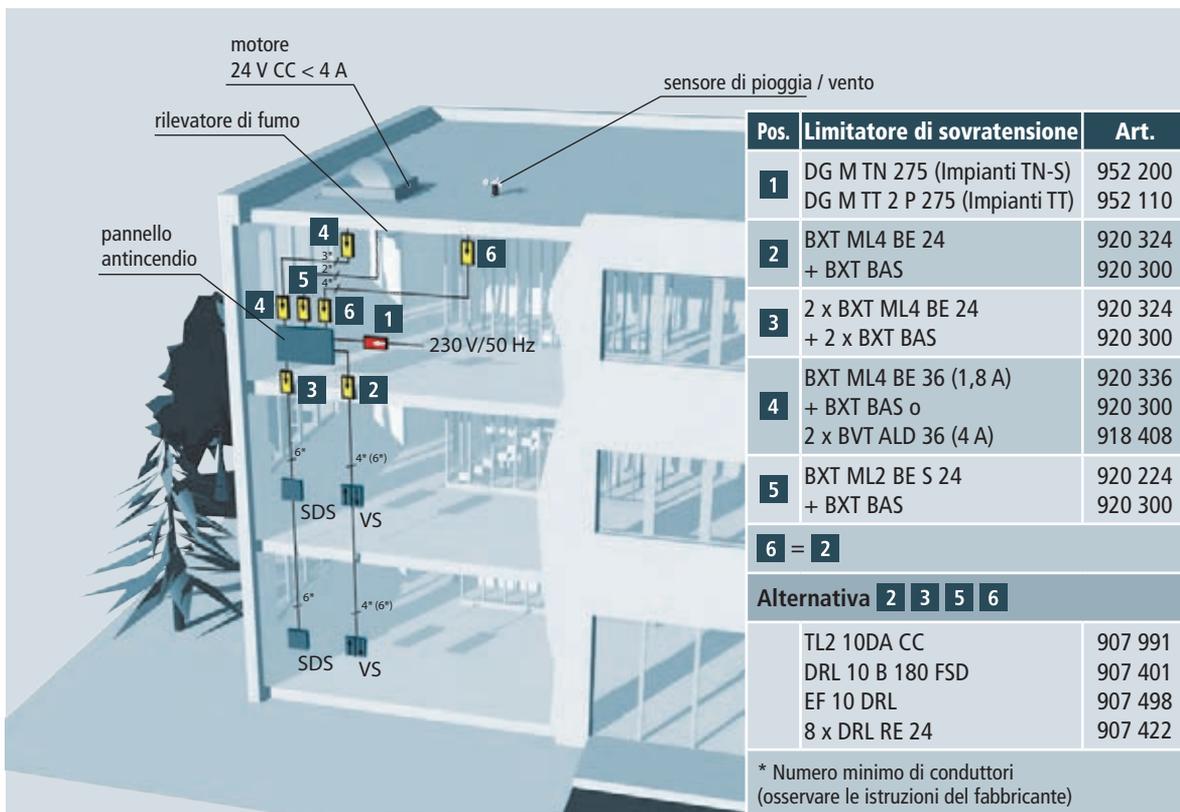


Figura 9.27.4 Lucernario situato sul tetto non metallico di una struttura priva di protezione esterna contro i fulmini

Edificio privo di protezione esterna contro i fulmini

Non bisogna fare distinzione tra tetti metallici o non metallici, in quanto ogni fulmine diretto sulla struttura presenta rischi di incendio. Gli scaricatori per la corrente di fulmine non

sono in grado di far fronte ai fulmini diretti sui lucernari. Pertanto devono essere installati dei limitatori di sovratensione per proteggere la struttura nei confronti degli accoppiamenti induttivi (**Figura 9.27.4**).



Istruzioni generali per la protezione contro i fulmini dei rifugi

Ogni anno si registrano in Germania circa 1,5 milioni di incidenti causati dai fulmini. Un fulmine offre uno spettacolo affascinante ma è anche estremamente pericoloso. Ogni anno i temporali uccidono persone e animali, oltre a distruggere beni materiali. Sono a rischio soprattutto coloro che si trovano all'aperto, come golfisti ed escursionisti. Ogni anno si segnalano gravi lesioni e incidenti mortali provocati dai fulmini in tutto il mondo, in particolare sui campi da golf. Per questo motivo, sono essenziali dei rifugi per proteggere i giocatori dai fulmini. Di seguito vengono indicate delle istruzioni generali riguardo alle misure di protezione contro i fulmini per tali rifugi.

I rifugi, ad esempio sui campi da golf, non devono proteggere i golfisti solo dalla tempesta e dalla pioggia, ma anche dai fulmini. Per questo motivo, non vi è alcun dubbio che rifugi devono essere dotati di un sistema di protezione antifulmine. I gestori dei campi da golf hanno una grande responsabilità nei confronti dei membri del club e dei giocatori. La responsabilità dei gestori dei campi da golf, ad esempio, si fonda sul dovere da parte loro di applicare i provvedimenti relativi alla sicurezza. *"I gestori dei campi da golf hanno il dovere nei confronti di tutti gli utenti di evitare tutti i pericoli imminenti o esistenti, a meno che ciò sia impossibile o irragionevole. Questo dovere comprende misure organizzative e strutturali. Il numero, le attrezzature, le dimensioni e la posizione dei rifugi a prova di fulmine dipendono in gran parte dalle dimensioni, dalla posizione e dal design del campo da golf. I rifugi a prova di fulmine de-*

vono essere conformi ai requisiti tecnici applicabili più recenti. Deve essere evitata l'applicazione di qualsivoglia limitazione di responsabilità a causa di mancanza (o numero insufficiente) di rifugi a prova di fulmine, per esempio sotto forma di comunicati o accordi scritti che prevedano appunto una siffatta limitazione di responsabilità." (Traduzione della pagina 7 del numero 6/2010 della rivista tedesca "Golfmanager", autore: Daniel Witaschek)

Rifugi

I rifugi non devono essere installati in posizioni esposte (sulle colline, al margine di una foresta, sotto alberi isolati) ed entro un raggio di circa 3 m da siepi e rami.

I rifugi sono considerati a prova di fulmini solo se:

- ➔ sono dotati di un adeguato impianto di protezione antifulmine che comprenda il controllo del potenziale,
- ➔ l'equipotenzialità antifulmine integra i conduttori (per esempio cavi elettrici),
- ➔ vengono adottate misure appropriate ad evitare tensioni di contatto.

Protezione contro i fulmini

Spesso un sistema di protezione dai fulmini è chiamato semplicemente parafulmine. Come mostrato nella **Figura 9.28.1**, il sistema di protezione dai fulmini di un rifugio è costituito

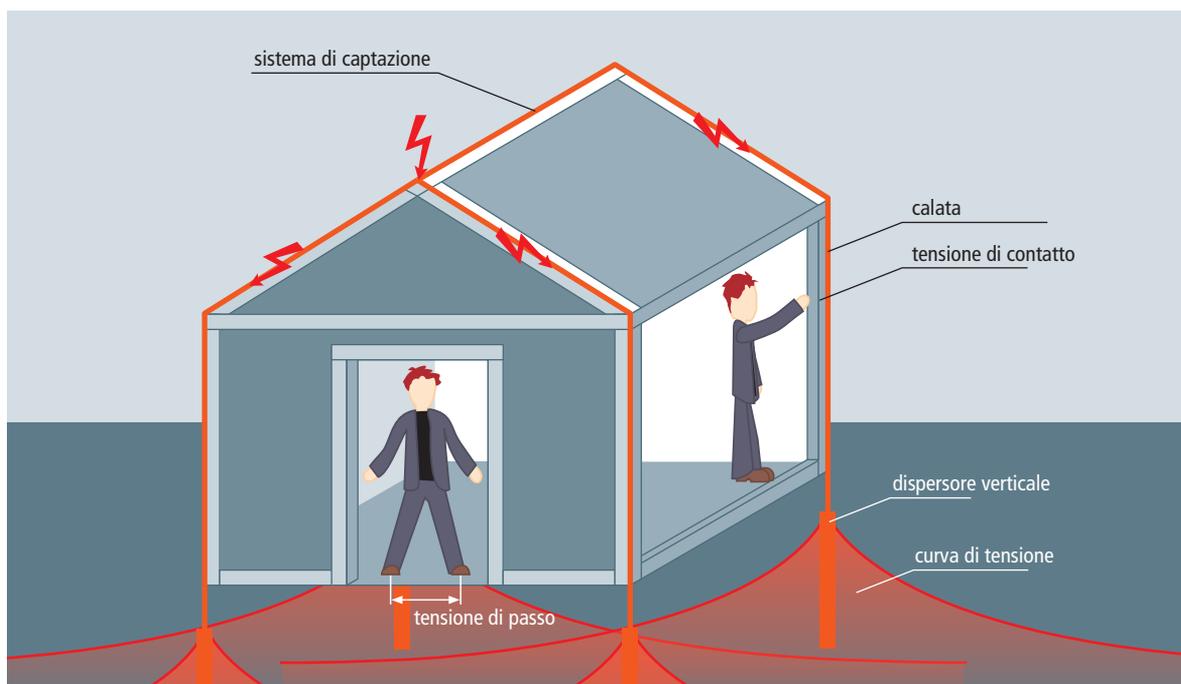


Figura 9.28.1 Rischio dovuto alla tensione di passo e di contatto

da un impianto di captazione posto sul tetto (conduttore di captazione o asta di captazione), una calata montata a parete (cavo di calata) e dall'impianto di messa a terra (di solito un dispersore). La funzione di un'asta di captazione è quella di intercettare i fulmini e condurre in sicurezza la corrente di fulmine al suolo per evitare pericolose scintille, proteggendo così la struttura dagli incendi e dalla distruzione meccanica. La formazione di una tensione elevata nel terreno a causa di un fulmine, indicata anche come area del gradiente di potenziale, mette in pericolo le persone che si trovano nel rifugio. Questa tensione, che costituisce un pericolo mortale, può passare attraverso le gambe di una persona in piedi sul suolo. Perciò viene detta anche tensione di passo. Inoltre, le persone devono mantenere una adeguata distanza di sicurezza dall'asta di captazione per evitare pericolose tensioni di contatto (**Figura 9.28.1**).

Con uno sforzo relativamente limitato è possibile applicare delle efficaci misure di protezione contro i fulmini per gli amanti del golf, gli escursionisti, ecc. Oltre alle misure tecniche applicate, è altrettanto importante che i giocatori sappiano come comportarsi durante un temporale. In caso di temporale imminente, i giocatori dovrebbero cercare riparo immediatamente nel rifugio e restare al suo interno fino al termine del temporale.

Le seguenti considerazioni si riferiscono ai rifugi in legno di impiego comune.

Prevenzione dalle tensioni di contatto

Al fine di evitare pericolose tensioni elevate di contatto, deve essere mantenuta una adeguata distanza di isolamento tra le aste di captazione e le persone che si trovano nel rifugio. Per un rifugio di circa 3 m x 3 m, con una altezza di gronda pari a 3 m e l'asta di captazione mostrata nella **Figura 9.28.2**, si richiedono travi in legno da 10 cm.

Se il rifugio ha un'altezza minima di circa 3 m, va osservata la distanza di isolamento del captatore posto sul tetto (conduttore di captazione o asta di captazione). Tuttavia è più difficile mantenere una adeguata distanza dalle pareti esterne. Pertanto, la parete dove il captatore viene collegato al suolo (attraverso il cavo di calata) deve avere un adeguato spessore (**Figura 9.28.2**). Per collegare il captatore a terra, si impiegano di solito dei dispersori (aste metalliche di lunghezza definita e materiale adatto alle condizioni locali). Per ogni calata, vengono interrati verticalmente nel suolo dei dispersori, ad una profondità compresa tra 6 m e 9 m circa, a seconda del tipo di terreno (**Figure da 9.28.2 a 9.28.5**).

Di solito i rifugi realizzati in travi di legno a sezione circolare permettono di mantenere il suddetto spessore della parete. Tuttavia la situazione è ben diversa per i rifugi realizzati in pareti di legno sottili. In questo caso le calate vanno installate direttamente sugli angoli esterni della costruzione, vicino alle pareti, per garantire il massimo spessore della parete (**Figura 9.28.2**). In alternativa può essere utilizzato un sistema di protezione antifulmine isolato*.

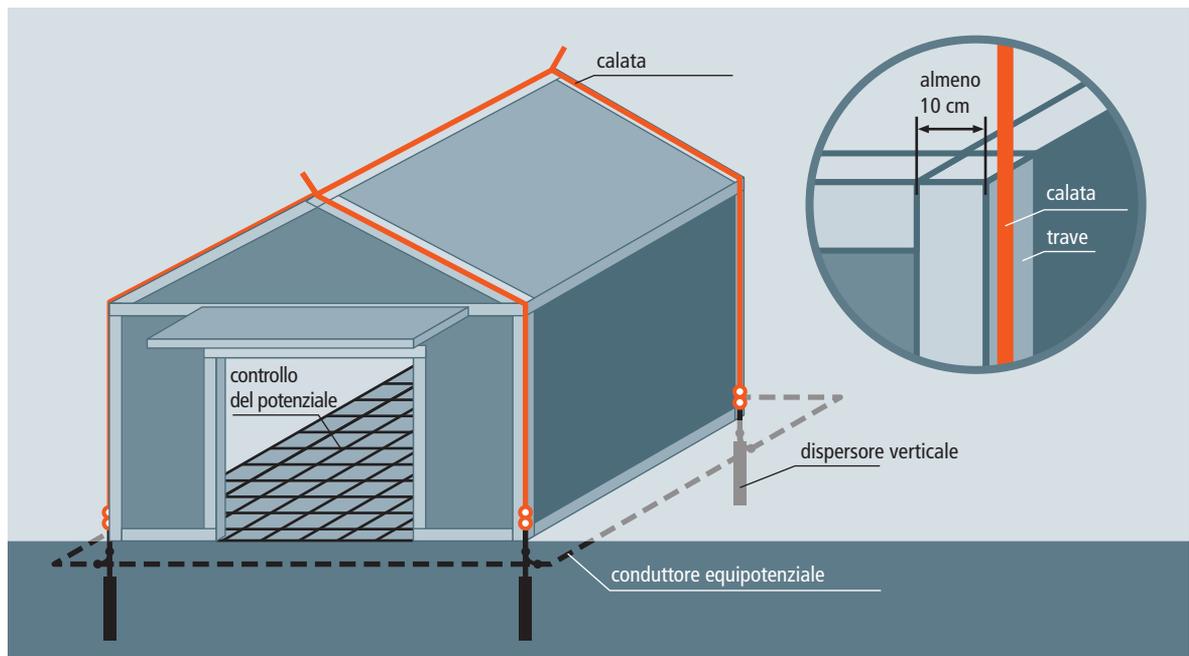


Figura 9.28.2 Installazione di una calata sulle travi laterali per garantire il mantenimento della distanza di isolamento

(* Richiede le conoscenze approfondite di un esperto. Per questo motivo, si prega di contattare uno specialista certificato nella protezione contro i fulmini, come ad esempio, in Germania, esperti certificati dal VDE o VDB).

Un'altra possibilità per mantenere la distanza di sicurezza necessaria per la protezione dei rifugi in caso di fulmini è quella di utilizzare aste di captazione ad elevato isolamento, per esempio conduttori DEHN CUI (Figura 9.28.3). Ciò è particolarmente necessario per rifugi che sono ancora più piccoli di quelli sopra descritti.

Prevenzione della tensione di passo

Bisogna prevenire la formazione delle pericolose tensioni di passo provocate da un fulmine che colpisce l'asta di captazio-

ne del rifugio, o da fulmini che cadono nelle vicinanze di esso. Ci sono due opzioni.

a) Prevenzione delle pericolose tensioni di passo per mezzo dell'isolamento del pavimento.

Ciò significa che il pavimento deve essere ricoperto (ad esempio) da uno strato di 5 cm di asfalto. In alternativa può essere utilizzato un pavimento in legno sollevato dal suolo quanto basta per garantire una adeguata ventilazione e che resti asciutto in qualsiasi circostanza. Inoltre devono essere presi provvedimenti adeguati per impedire la crescita di alberi attraverso il rifugio (Figura 9.28.4).

b) Prevenzione delle tensioni di passo per mezzo del controllo del potenziale.

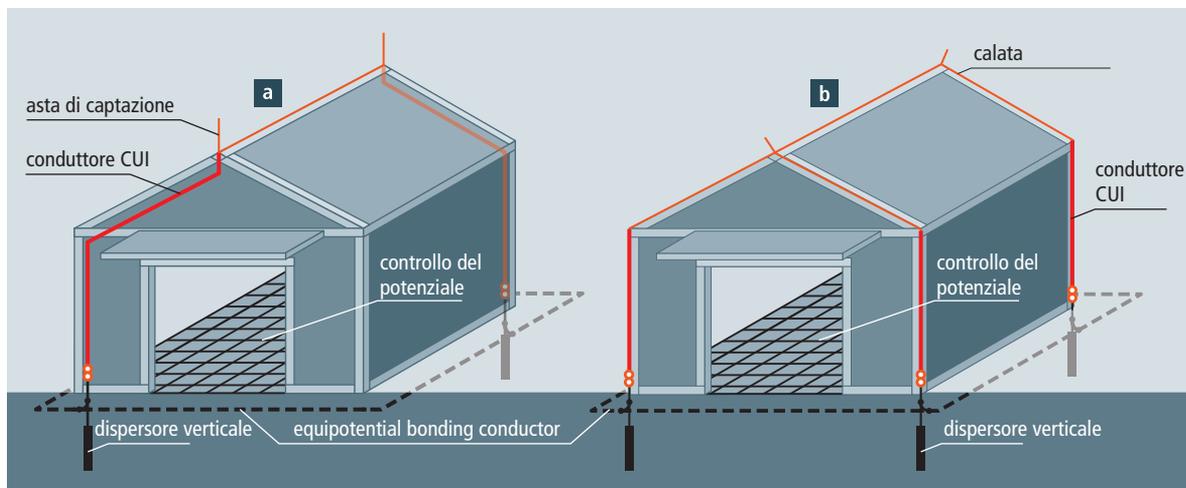


Figura 9.28.3 Installazione di un conduttore per alta tensione CUI: a) per un piccolo rifugio con due aste di captazione; b) in caso di insufficiente spessore della parete

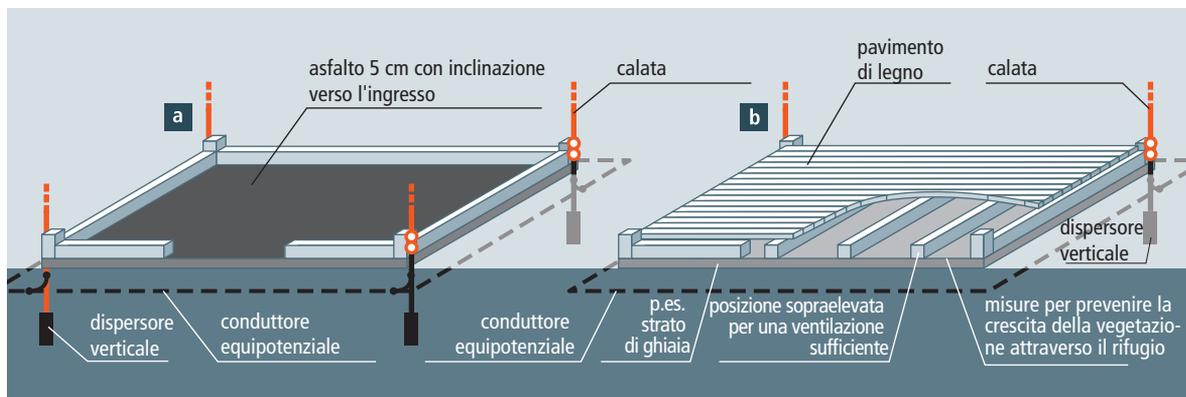


Figura 9.28.4 Isolamento del piano di calpestio per evitare la tensione di passo: a) per mezzo di asfalto; b) per mezzo di un pavimento in legno

Un'altra misura di protezione è il controllo del potenziale, cioè l'integrazione di una fitta rete metallica (ad esempio una rete di armatura annegata nel calcestruzzo o un dispersore interrato con maglie di dimensioni inferiori a 0,25 m x 0,25 m) direttamente nel terreno sotto il piano di calpestio di persone. Per garantire una lunga durata di questa rete metallica, si consiglia di utilizzare conduttori tondi in acciaio inossidabile (V4A) 10 mm, ad esempio AISI/ASTM 316 Ti. I conduttori sono interrati alla profondità massima di 0,1 m ad intervalli inferiori a 0,25 m x 0,25 m e vanno collegati (con morsetti adeguati) su tutte le giunzioni e sui conduttori di messa a terra (**Figura 9.28.5**).

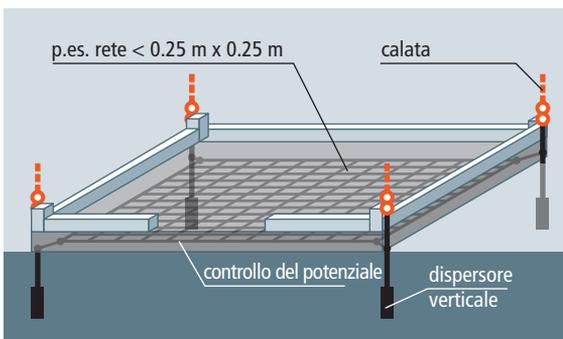


Figura 9.28.5 Controllo del potenziale per ridurre la tensione di passo

Rifugi situati all'interno del volume protetto di un sistema di captatori isolati

Poiché il palo di sostegno di un captatore (protezione antifulmine isolata) installato a una certa distanza di isolamento protegge il riparo dai fulmini, deve essere previsto il controllo di potenziale. (**Figura 9.28.6**). È possibile utilizzare i pali di captazione componibili DEHN con fondazione a vite (Rif. 830 208). Questi pali sono comunemente usati per i rifugi nei quali la distanza di isolamento tra sistema di captazione sul tetto e calata non può essere mantenuta a causa delle ridotte dimensioni.

Rifugi metallici

All'interno dei rifugi in metallo (tetto, pareti e pavimento) i giocatori non sono a rischio se non toccano la struttura metallica. Deve essere installato un sistema di messa a terra, nonché un pavimento metallico o griglia metallica (controllo del potenziale), come descritto in precedenza. Tuttavia bisogna prevenire la fusione del tetto del rifugio; in altre parole il materiale del tetto deve avere uno spessore minimo per garantire la protezione delle persone (CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)), tabella 3, spessore t). Se il metallo non possiede lo spessore desiderato, vanno installate sul tetto metallico delle aste di captazione collegate al tetto stesso, in modo da permettere il passaggio delle correnti di fulmine.

Riassunto

In generale, i giocatori devono rimanere nei rifugi per circa 30 minuti dopo l'ultimo tuono. Solo allora la cella temporalesca sarà abbastanza lontana.

I rifugi nei campi da golf o presso i sentieri escursionistici richiedono aste di captazione e misure adeguate per ridurre il rischio dovuto a eccessive tensioni di passo e di contatto. Come

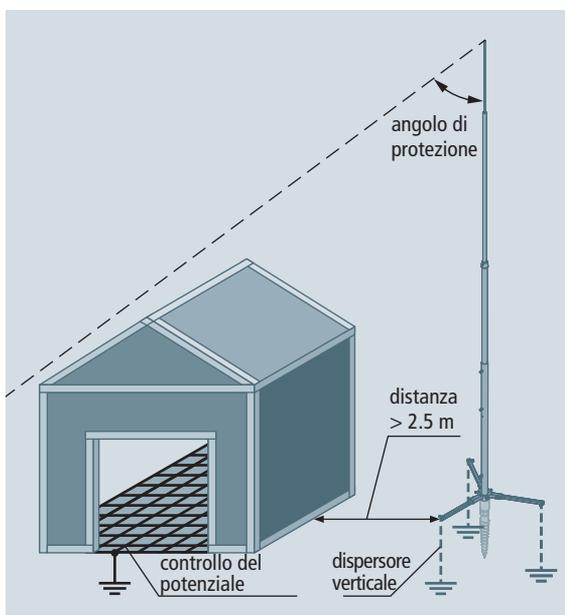


Figura 9.28.6 Sistema di protezione antifulmine isolato con palo di captazione componibile

descritto in precedenza, tali misure possono essere attuate con mezzi semplici.

La normativa CEI EN 62305 (CEI 81-10) comprende le nozioni di base e la descrizione concettuale riguardo alla protezione contro i fulmini. Per informazioni più dettagliate sulla protezione contro i fulmini, si prega di contattare aziende di riconosciuta esperienza nella protezione contro i fulmini o visitare il sito www.dehn.it.



**Protezione contro le
sovratensioni per
impianti di riscaldamento
delle grondaie**

La radiazione solare e il calore in esubero prodotto dagli edifici possono sciogliere il ghiaccio e la neve anche in condizioni di gelo. Tale acqua di fusione tende a gelare nuovamente, impedendo il drenaggio dell'acqua e causandone l'accumulo. Il drenaggio del tetto ne risulta bloccato; si possono formare ghiacciai che comportano un aumento dei rischi.

Ancora più grave sono il peso della neve e la formazione di ghiaccio sul tetto, che possono superare la massima capacità di carico del tetto.

Gli impianti di riscaldamento delle grondaie prevengono i danni, a condizione che la loro funzione sia assicurata anche in caso di fulmini e sovratensioni.

Edificio privo di protezione esterna contro i fulmin

Se la struttura non comprende una protezione esterna contro i fulmini, si può supporre che il gestore ritenga bassa la probabilità che un fulmine possa colpire la struttura. In questo caso vanno impiegati limitatori di sovratensione Tipo 2 secondo la norma IEC 60364-1 (HD 60364-1), per proteggere la struttura nei confronti dell'accoppiamento induttivo.

Poiché i nastri riscaldanti e i sensori di temperatura e umidità si trovano all'esterno della struttura, i cavi di collegamento sono esposti all'accoppiamento induttivo, che può provocare danni alla struttura. Per questo motivo vengono installati limitatori di sovratensione Tipo 2 per proteggere questi cavi direttamente nel punto di ingresso della struttura, e il cavo di alimentazione a monte della centralina (Figura 9.29.1).

Struttura dotata di protezione esterna contro i fulmini

Devono essere rispettate le norme CEI EN 62305-1 fino a 4 (CEI 81-10/1 fino a 4) al momento di installare gli impianti di protezione antifulmine sulle strutture. In tali impianti, le grondaie e/o i pluviali sono di solito collegati ai captatori e si trovano quindi ad elevato potenziale in caso di un fulmine. Le strisce riscaldanti e i cavi dei sensori di temperatura si trovano direttamente a contatto con le grondaie e/o i pluviali che conducono la corrente di fulmine, perciò tale corrente viene automaticamente iniettata nei cavi. Per questo motivo devono essere installati degli scaricatori dper la corrente di fulmine Tipo 1 nel punto in cui i cavi entrano nella struttura. Si deve osservare che la corrente di fulmine si divide tra le calate colle-

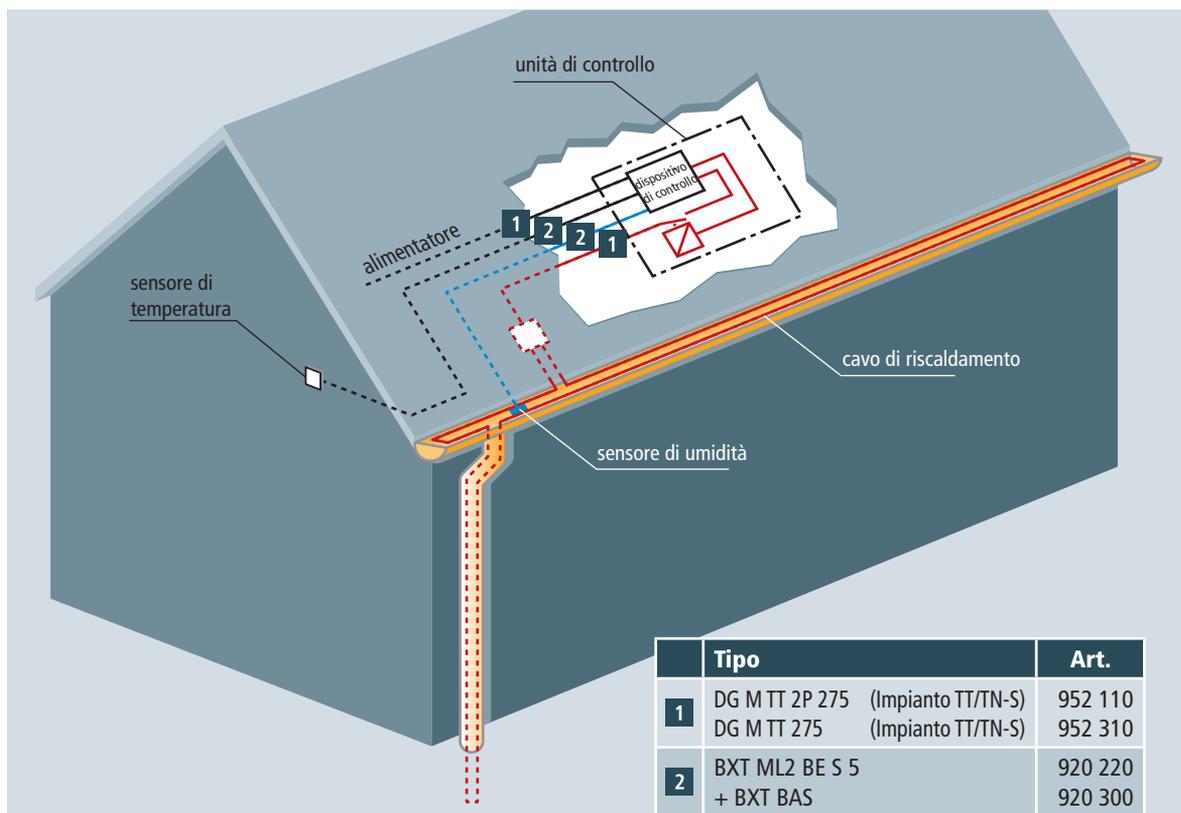


Figura 9.29.1 Unità di controllo protetta da limitatori di sovratensione in una struttura priva di sistema di protezione antifulmine esterna

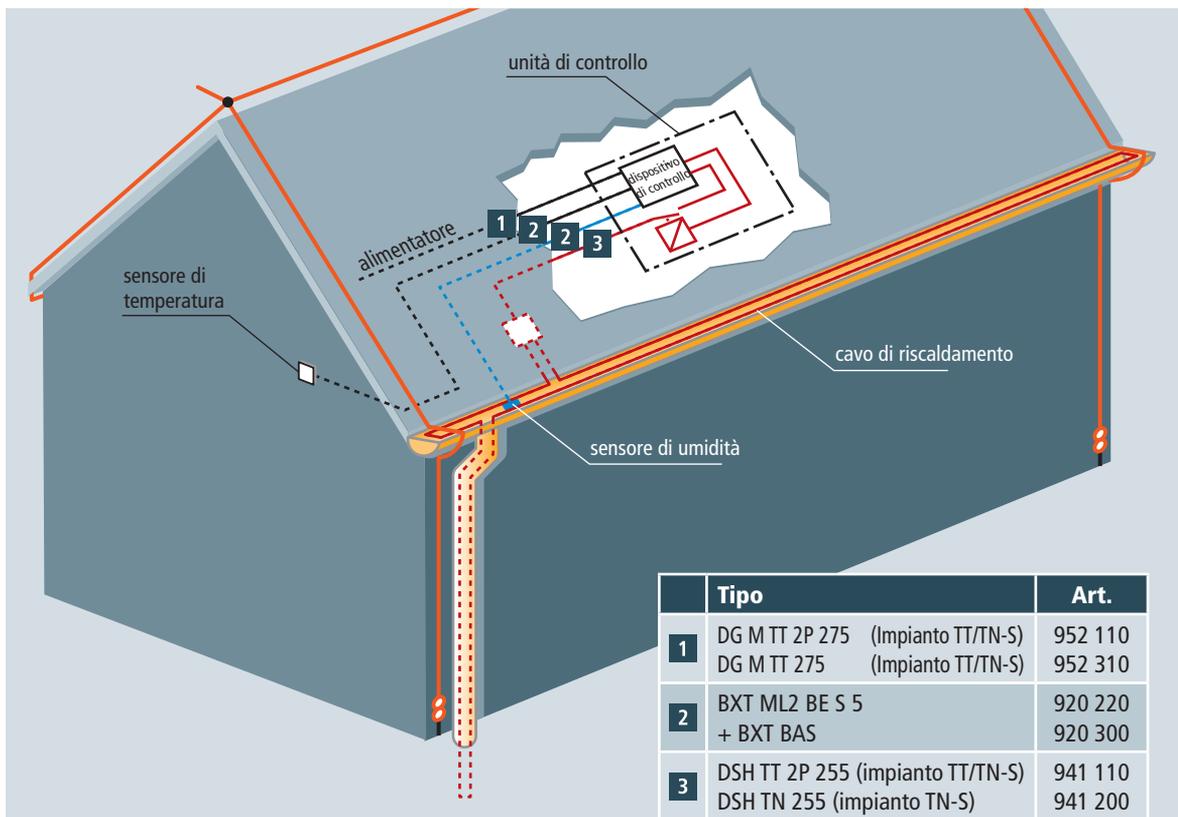


Figura 9.29.2 Installazione di scaricatori per la corrente di fulmine e limitatori di sovratensione se la centralina è situata lontano dal punto di ingresso, in una struttura dotata di protezione antifulmine esterna

gate direttamente alla grondaia metallica e le calate collegate alle maglie dell'impianto di captazione. Anche se la protezione contro i fulmini esterna ha solo quattro conduttori, nel caso di LPL III sono previste correnti di fulmine inferiori a 10 - 12 kA per conduttore. Deve essere previsto un limitatore di sovratensione Tipo 2 sul cavo di alimentazione a monte della centralina (Figura 9.29.2).

Gli edifici in cemento armato con armature in acciaio interconnesse e le strutture realizzate con telai di acciaio

(CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)) costituiscono un'eccezione. Se gli impianti di captazione assicurano che i cavi sporgenti dal tetto non siano colpiti dai fulmini, si possono utilizzare dispositivi di protezione secondo la Figura 9.29.1.

Se la perdita della centralina è accettabile (posto che centralina e relativi cavi non presentino rischi di incendio), la struttura può essere protetta installando scaricatori combinati direttamente nel punto in cui i cavi entrano nella struttura (Figura 9.29.3).

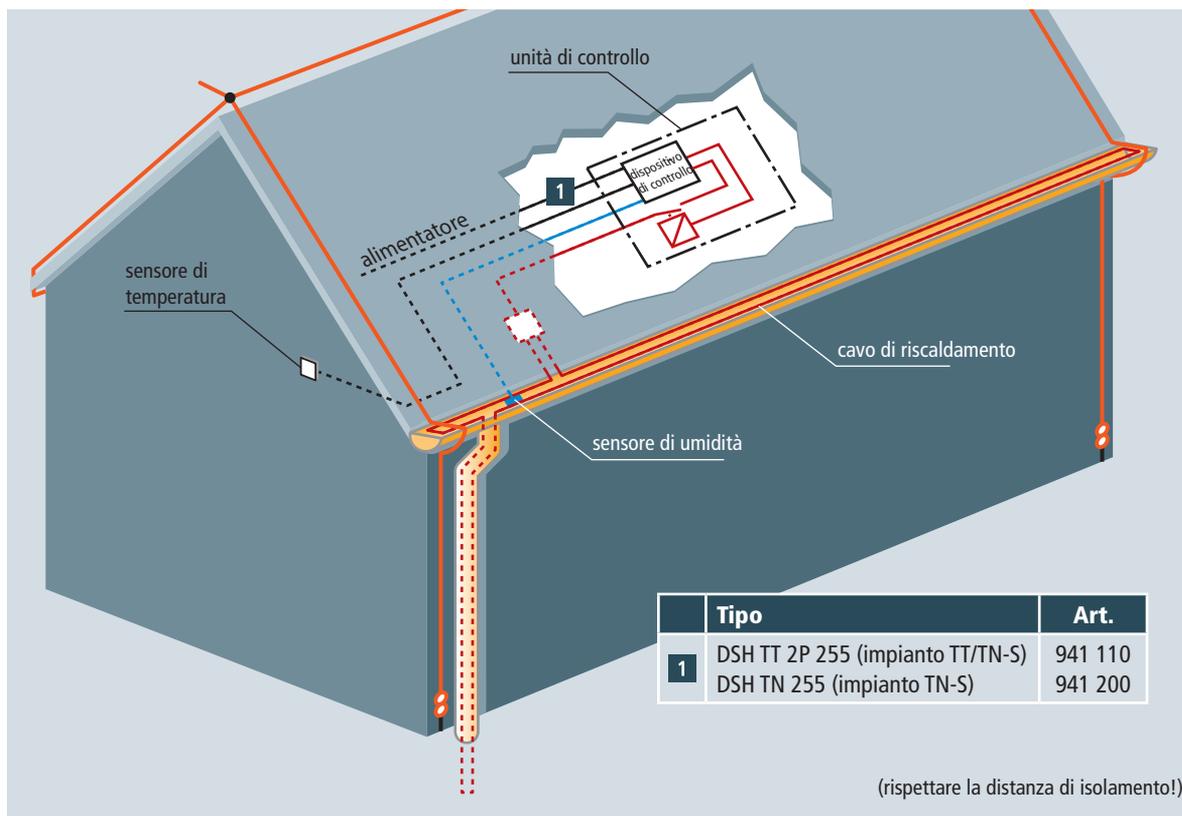


Figura 9.29.3 Installazione di scaricatori per la corrente di fulmine se la centralina (la cui perdita è accettabile) è situata presso il punto di ingresso, in una struttura dotata di protezione contro i fulmini esterna



**Uso di scaricatori combinati
Tipo 1, ottimizzati per
l'applicazione negli impianti in
bassa tensione**

Uso di scaricatori DEHNshield combinati e ottimizzati per l'applicazione negli impianti in bassa tensione

Quando un fulmine colpisce la protezione antifulmine esterna di un edificio, la corrente si divide tra i cavi che entrano nell'edificio e il dispersore dell'edificio stesso. Al fine di evitare pericolose scintille nella struttura da proteggere, la norma CEI EN 62305 (CEI 81-10) sulla protezione contro i fulmini invita ad adottare anche misure di protezione interna contro i fulmini quando si installa una protezione contro i fulmini esterna. La norma richiede anche di stabilire una equipotenzialità antifulmine collegando direttamente tutte le parti metalliche o, in caso di impianti di alimentazione e informatici, indirettamente, per mezzo di dispositivi di protezione contro le sovratensioni nella struttura. I dispositivi di protezione contro le sovratensioni ai quali questa norma fa riferimento sono gli scaricatori per la corrente di fulmine Tipo 1, dotati di un adeguato livello di protezione da sovratensione.

Gli scaricatori combinati della corrente di fulmine DEHNshield Tipo 1, ottimizzati per l'applicazione, combinano in un unico scaricatore sia l'equipotenzialità antifulmine fino a 50 kA (10/350 μ s) per le correnti di fulmine impulsive sia la protezione contro le sovratensioni. Questo distingue nettamente i dispositivi DEHNshield dagli scaricatori a varistore attualmente disponibili per questa categoria di applicazioni e di prestazioni. Gli scaricatori DEHNshield forniscono anche una protezione ottimale per gli edifici privi di protezione esterna contro i fulmini, nei quali l'alimentazione viene fornita attraverso una linea aerea e si rende perciò necessaria l'installazione di scaricatori Tipo 1 all'ingresso di rete, secondo le linee guida tedesche VdS 2031. Gli scaricatori combinati DEHNshield possono essere utilizzati senza ulteriore prefusibile se l'impianto è protetto da prefusibili fino a 160 A.

La tecnologia spinterometrica per la limitazione delle correnti susseguenti garantisce la selettività anche rispetto ai fusibili di basso valore (35 A gL/gG), perciò i fusibili a monte non intervengono per effetto delle correnti susseguenti nella rete.

Se un fulmine colpisce delle apparecchiature esterne (per esempio il supporto di una telecamera), la corrente parziale di fulmine passa all'interno dell'edificio attraverso il dispersore di terra e i cavi di collegamento delle apparecchiature esterne. In questo contesto, occorre rilevare che tali correnti di fulmine che scorrono all'interno dell'edificio non sovraccaricano il dispositivo di protezione contro le sovratensioni (SPD) installato all'interno dell'edificio.

Grazie ai loro parametri tecnici, adatti per l'utilizzo in impianti elettrici semplici e compatti, gli scaricatori DEHNshield sono la soluzione ideale per questo campo di applicazione (**Figura 9.30.1**).

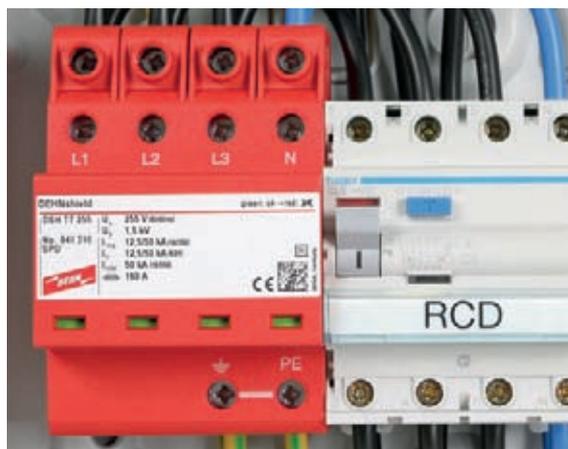


Figura 9.30.1 Scaricatore spinterometrico combinato DEHNshield, precablatto e ottimizzato per l'applicazione

Che cosa si deve intendere per utilizzo ottimizzato per l'applicazione?

Uno scaricatore Tipo 1 installato nel punto di ingresso dell'edificio deve essere in grado di trasportare le correnti parziali di fulmine sopra descritte. Gli scaricatori Tipo 2 / Tipo 3 posti a valle del punto di ingresso nell'edificio devono essere energeticamente coordinati con lo scaricatore Tipo 1. Lo scaricatore combinato e ottimizzato per l'applicazione DEHNshield con tecnologia spinterometrica (SPD Tipo 1) soddisfa tutte queste esigenze. Grazie alla sua funzione di "interruttore della forma d'onda", DEHNshield è in grado di proteggere gli apparecchi utilizzatori finali e quindi assicura il coordinamento energetico con gli scaricatori Tipo 2 o Tipo 3 (**Figura 9.30.1**). Gli scaricatori a varistore Tipo 1 sono solitamente inadatti per il coordinamento energetico.

Gli scaricatori combinati DEHNshield permettono la progettazione e la configurazione, a costo ottimizzato, adattata per la specifica applicazione, nel rispetto della normativa vigente. Con spazi limitati di ingombro, il DEHNshield permette di stabilire l'equipotenzialità antifulmine anche con dimensioni ridotte. A tal fine, tuttavia, bisogna osservare i parametri dell'impianto, come nella pianificazione di nuovi impianti, e si deve verificare se è possibile utilizzare DEHNshield.

Per rendere più chiaro il campo di applicazione dei dispositivi DEHNshield, nelle figure seguenti sono riportate alcune applicazioni esemplificative.

Applicazioni esemplificative nella Figura 9.30.2

Al fine di ridurre le correnti di fulmine, le apparecchiature devono essere direttamente collegate ai dispersori nei punti in cui rischiano di verificarsi delle fulminazioni dirette (zona LPZ 0_A), come avviene per i supporti delle telecamere, i lampioni e i radiatori posti sotto il manto stradale. Le telecamere sono

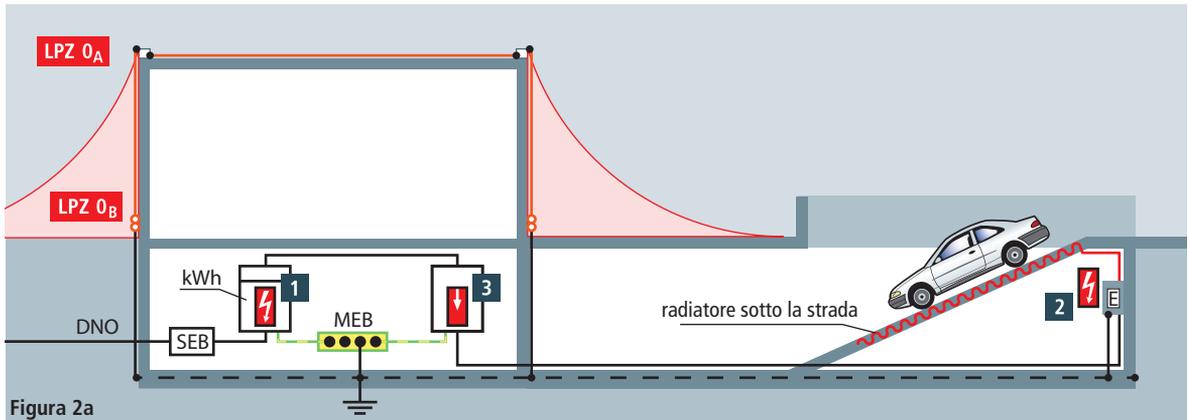


Figura 2a

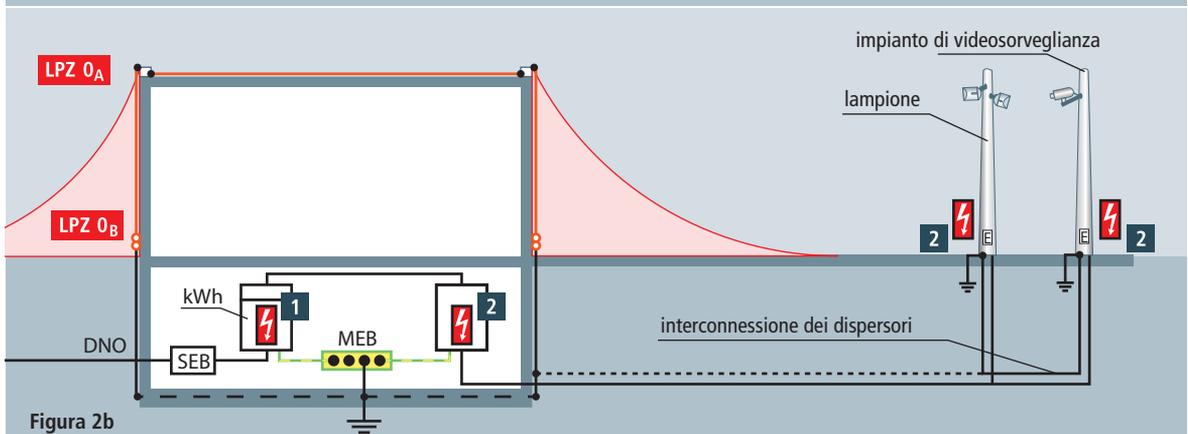


Figura 2b

SEB: quadro di consegna energia
 MEB: barra equipotenziale principale
 LPZ: zona di protezione antifulmine
 DNO: operatore della rete di distribuzione

--- dispersori collegati in modo definito
 (per assicurare la capacità di condurre le correnti di fulmine)
 - - - - - dispersori collegati in modo indefinito

Num. in Fig.	Limitatore di sovratensione	Art.
1	DEHNventil modulare DV M TNS 255 (impianti TN-S) o	951 400
	DEHNventil modulare DV M TT 255 (impianti TT) o	951 310
	DEHNventil DV ZP TT 255 (impianti TT)	900 391
2	DEHNshield DSH TNS 255 (impianti TN-S) o	941 400
	DEHNshield DSH TT 255 (impianti TT) o	941 310
	DEHNshield DSH TN 255 (impianti monofase TN) o	941 200
	DEHNshield DSH TT 2P 255 (impianti monofase TT e TN)	941 110
3	DEHNgard modulare DG M TNS 275 (impianti TN-S) o	952 400
	DEHNgard modulare DG M TT 275 (impianti TT) o	952 310
	DEHNgard modulare DG M TN 275 (impianti TN) o	952 200
	DEHNgard modulare DG M TT 2P 275 (impianti monofase TT e TN)	952 110

Figura 9.30.2 Utilizzo ottimizzato per l'applicazione del DEHNshield con riferimento a un radiatore posto sotto il manto stradale all'entrata di un parcheggio sotterraneo (2a), un lampione e un sistema TVCC (2b)

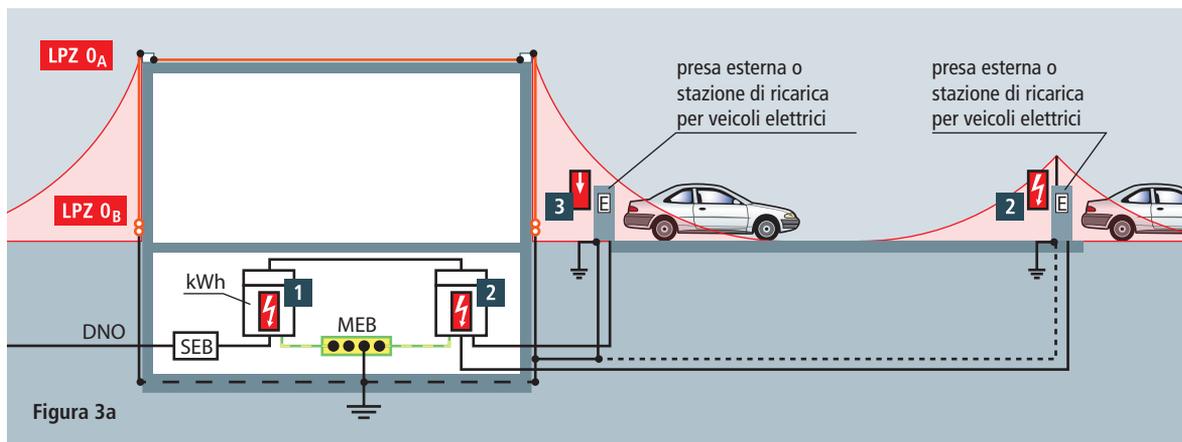


Figura 3a

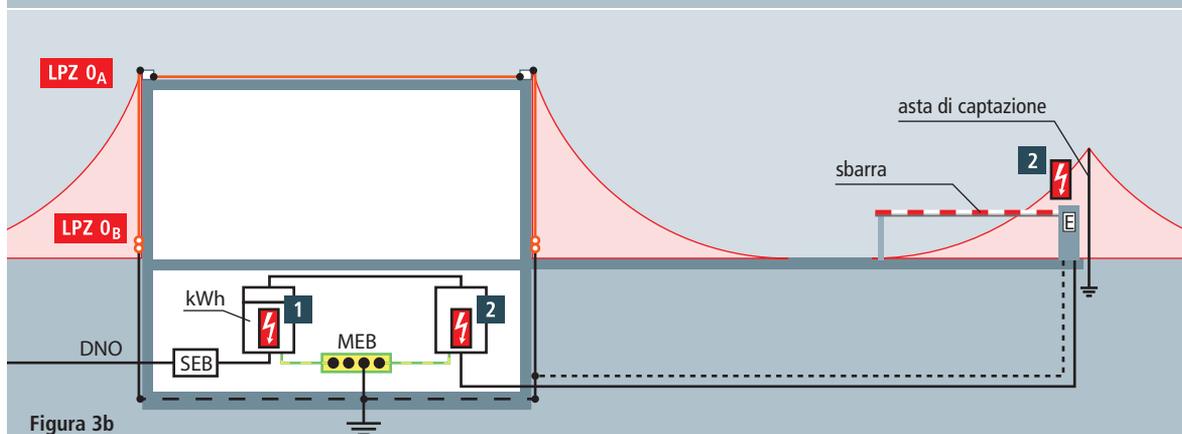


Figura 3b

SEB: quadro di consegna energia
 MEB: barra equipotenziale principale
 LPZ: zona di protezione antifulmine
 DNO: operatore della rete di distribuzione

--- dispersori collegati in modo definito (per assicurare la capacità di condurre le correnti di fulmine)
 - - - - - dispersori collegati in modo indefinito

Num. in Fig.	Limitatore di sovratensione	Art.
1	DEHNventil modulare DV M TNS 255 (impianti TN-S) o	951 400
	DEHNventil modulare DV M TT 255 (impianti TT) o	951 310
	DEHNventil DV ZP TT 255 (impianti TT)	900 391
2	DEHNshield DSH TNS 255 (impianti TN-S) o	941 400
	DEHNshield DSH TT 255 (impianti TT) o	941 310
	DEHNshield DSH TN 255 (impianti monofase TN) o	941 200
	DEHNshield DSH TT 2P 255 (impianti monofase TT e TN)	941 110
3	DEHNguard modulare DG M TNS 275 (impianti TN-S) o	952 400
	DEHNguard modulare DG M TT 275 (impianti TT) o	952 310
	DEHNguard modulare DG M TN 275 (impianti TN) o	952 200
	DEHNguard modulare DG M TT 2P 275 (impianti monofase TT e TN)	952 110

Figura 9.30.3 Utilizzo ottimizzato per l'applicazione di DEHNshield con riferimento ad una stazione di ricarica per veicoli elettrici o una presa esterna per piscina (3a) e un sistema di barriere (3b)

utilizzate spesso negli impianti di sicurezza (sistemi di monitoraggio) e i lampioni sono essenziali in molti casi per garantire la protezione personale (ad esempio illuminazione delle vie di fuga).

Pertanto, per garantire una protezione completa, vanno prese in entrambi i casi le necessarie misure di protezione contro i fulmini. La situazione è simile per i radiatori posti sotto il manto stradale, a meno che la zona di fronte o accanto all'edificio sia particolarmente soggetta a fulminazioni. Al fine di garantire la sicurezza delle persone (pericolo di scivolamento nel caso di entrate e uscite ripide dei parcheggi sotterranei), bisogna ridurre al minimo i tempi di fermo del sistema di riscaldamento dovuti a fulmini o sovratensioni.

I dispersori di queste apparecchiature devono essere collegati tra loro. Se la connessione viene effettuata a contatto con il terreno (Integrazione 1 della norma tedesca DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305 -3)) ed eventualmente si estende su tutto il percorso del cavo fino all'edificio, si prevengono danni al cavo in caso di fulminazioni al suolo.

Applicazioni esemplificative nella Figura 9.30.3

Se si possono escludere fulminazioni alle apparecchiature esterne (zona LPZ 0_B), le correnti parziali di fulmine costituiscono ancora un rischio quando il fulmine colpisce la protezione esterna contro i fulmini dell'edificio principale. In questo caso, le correnti parziali di fulmine possono passare attraverso i cavi e raggiungere gli apparecchi dotati di potenziale di terra remoto (stazioni di ricarica per veicoli elettrici, prese di corrente

esterne per una piscina, barriere protette da aste di captazione).

Per garantire un flusso di traffico sicuro, le future soluzioni per le stazioni di ricarica dei veicoli elettrici richiedono un'elevata disponibilità, come avviene per le stazioni di rifornimento del carburante. Poiché queste stazioni di ricarica si trovano all'esterno degli edifici e sono dotate di sistemi elettrici sensibili, la protezione contro i fulmini è essenziale per minimizzare l'impatto sull'impianto da parte di fulmini e sovratensioni.

I sistemi a barriera sono protetti contro fulmini e sovratensioni ormai da decenni, per garantirne il corretto funzionamento. Per quanto riguarda le prese di corrente da installare all'esterno, esse possono essere adottate in fase di progettazione delle misure di protezione contro sovratensioni e fulmini, in funzione del loro impiego. Si richiede un dispersore anche per questi componenti, per condurre le correnti di fulmine che passano attraverso il DEHNshield dall'edificio a terra. Anche in questo caso si raccomanda l'interconnessione dei dispersori, ma ciò non è obbligatorio. Le attrezzature collegate all'edificio, direttamente collegate all'impianto di messa a terra dell'edificio e alla linea di alimentazione, possono essere protette da scaricatori Tipo 2.

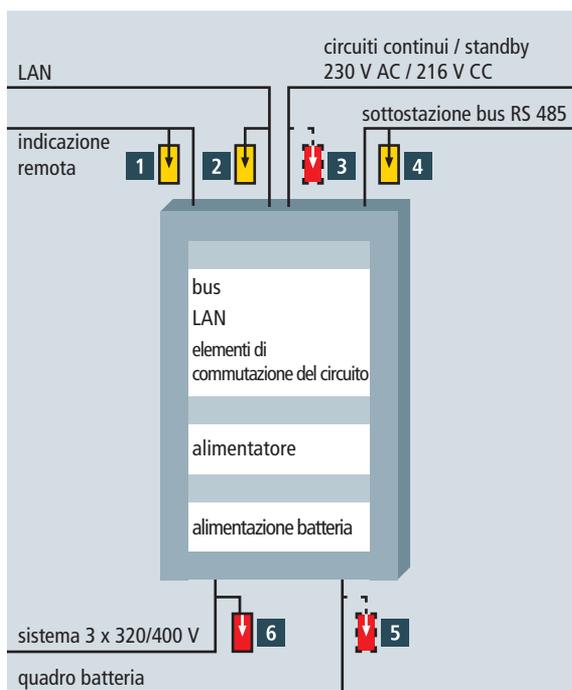
Uno scaricatore Tipo 1, ottimizzato in funzione dell'applicazione, come il DEHNshield, è adatto per proteggere specifiche applicazioni. Questo, tuttavia, richiede che le misure siano applicate in maniera uniforme e che siano rispettati i parametri tecnici dell'impianto. Il corretto funzionamento dell'impianto di



**Protezione contro le
sovratensioni per sistemi
di illuminazione
di sicurezza**

Le principali funzioni dei sistemi di illuminazione di sicurezza sono l'identificazione e l'illuminazione delle vie di fuga, l'illuminazione dei luoghi di lavoro che presentano rischi particolari per tutta la durata dei lavori e la prevenzione del panico.

Di seguito sono descritti i dispositivi di protezione per i sistemi di alimentazione centralizzati a batterie (CPS).



Pos.	Limitatore di sovratensione	Art.
1	BLITZDUCTOR BXT ML4 BE 24 * + basetta BXT BAS	920 324 920 300
2	DEHNpatch DPA M CLE RJ45B 48	929 121
3	DEHNguard DG M TN 275	952 200
4	BLITZDUCTOR BXT ML2 BD HFS 5 * + basetta BXT BAS	920 271 920 300
5	DEHNguard DG M TN 275	952 200
6	DEHNguard M TNS 275 * DEHNguard M TT 275 *	952 400 952 310

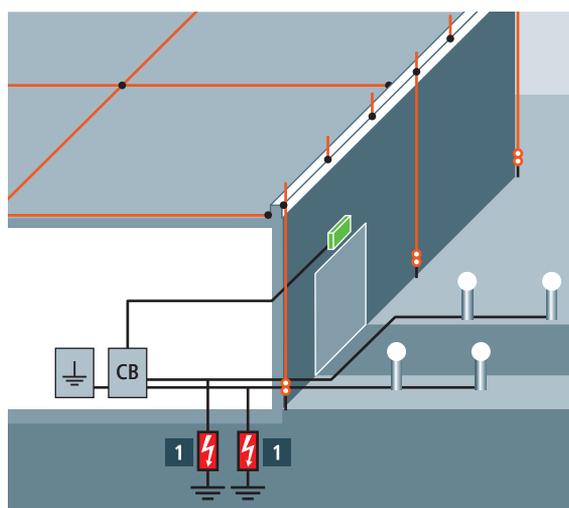
* Si tenga conto delle specifiche interfacce o configurazioni del sistema

Figura 9.31.1 Sistema di alimentazione centralizzato con batterie, cavo di alimentazione, cavo di alimentazione dell'armadio batterie, linea bus, linea di indicazione remota, linea LAN, linee del circuito di funzionamento continuo/attesa in zona LPZ 1 e nello stesso compartimento antincendio.

I suddetti sistemi presentano le seguenti interfacce:

- ➔ impianti di alimentazione;
- ➔ armadio batterie;
- ➔ elementi di commutazione che, in combinazione con i reattori dei corpi illuminanti, assicurano il funzionamento continuo o in modalità di attesa (selezionabile individualmente) e una lampada permanente commutata nel circuito. Questi elementi consentono di eseguire le prove richieste e monitorare i singoli impianti di illuminazione; inoltre, essi comprendono i dispositivi di protezione contro le sovracorrenti che salvaguardano il circuito;
- ➔ bus di comunicazione con il sistema centralizzato delle batterie e con i sottoquadri;
- ➔ LAN;
- ➔ indicazione a distanza;
- ➔ ingressi e uscite liberamente programmabili.

In generale, è necessario eseguire l'analisi dei rischi per determinare se le interfacce richiedono l'installazione dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni (SPD). Per proteggere il gruppo centralizzato delle batterie (ad esempio) quasi senza rischi, sono necessari dei dispositivi di protezione per tutte le interfacce sopra elencate (Figura 9.31.1). Nelle Figure da 9.31.1 a 9.31.4 gli SPD normalmente necessari per proteggere le interfacce sono rappresentati con una linea continua.



Pos.	Limitatore di sovratensione	Art.
1	DEHNsecure DSE M 1 242 (2 x) Barra collettiva MVS 1 3	971 122 900 615

Figura 9.31.2 Collegamento equipotenziale antifulmine per i circuiti dell'impianto di illuminazione di sicurezza, in corrispondenza del passaggio tra edificio e suolo

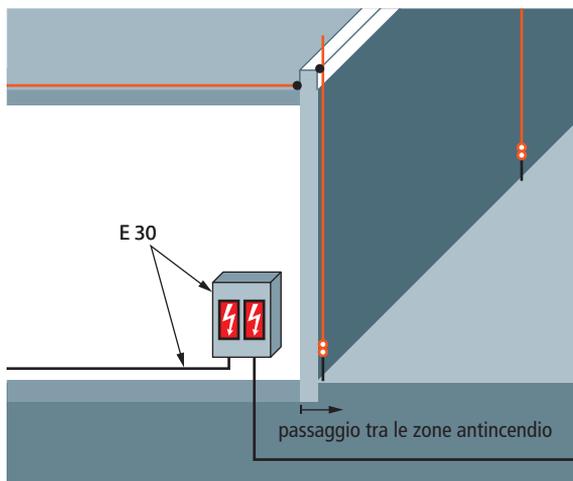


Figura 9.31.3 Collegamento equipotenziale antifulmine in corrispondenza di una linea E 30 e di un quadro E 30 (all'interno della parete esterna)

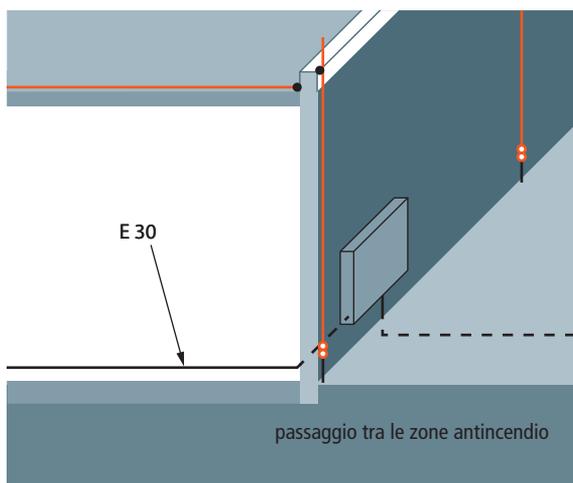


Figura 9.31.4 Collegamento equipotenziale antifulmine in un quadro di distribuzione convenzionale (al di fuori della parete esterna)

I dispositivi di protezione installati a seguito dell'analisi dei rischi sono tratteggiati.

Nella **Figura 9.31.1**, mentre si ipotizza l'installazione di uno scaricatore per corrente di fulmine Tipo 1 nel sistema di alimentazione e nel sistema informatico dell'edificio, si prevede invece un SPD Tipo 1 per i circuiti uscenti dell'illuminazione di sicurezza, poiché è necessario un sistema equipotenziale antifulmine (**Figura 9.31.2**). Dato che questi circuiti sono entrambi alimentati nel funzionamento in corrente continua e alternata, il dispositivo SPD Tipo 1 installato nel punto di passaggio tra zona LPZ 0_A e LPZ 1 (punto di ingresso nell'edificio) deve essere adatto a questo scopo. In questo caso non è possibile utilizzare i normali scaricatori spinterometrici progettati e testati per l'impiego in corrente alternata, in quanto, durante il funzionamento in corrente continua, manca il passaggio attraverso la tensione zero che spegne l'arco spinterometrico. DEHNsecure M 1 242 è ideale per questo scopo, in quanto è progettato per corrente continua e alternata (max. prefusibile 10 gl/gG).

Il funzionamento della rete via cavo deve essere garantito sia in caso di guasto, sia quando si impiegano dispositivi di protezione contro le sovratensioni. Ciò significa che il dispositivo di protezione contro le sovratensioni fornito insieme al cavo deve essere installato in un quadro di distribuzione E 30 (**Figura 9.31.3**). A tal fine, il quadro E 30 deve essere dimensionato in modo da non superare la temperatura ambiente massima del dispositivo di protezione contro le sovratensioni. A tal fine, il costruttore del quadro E 30 deve mettere a disposizione la scheda tecnica del dispositivo di protezione contro le sovratensioni.

Tuttavia, se il cavo passa attraverso la parete esterna, e all'esterno di tale parete è installato un dispositivo di protezione contro le sovratensioni, è sufficiente un quadro di distribuzione normale scelto secondo i criteri IP (**Figura 9.31.4**).



**Protezione contro i
fulmini e le sovratensioni
per atmosfere
potenzialmente esplosive**

Durante la produzione, trasformazione, conservazione e trasporto di sostanze infiammabili (come benzina, alcool, gas liquidi, polveri esplosive), si formano spesso negli impianti industriali chimici e petrolchimici delle atmosfere potenzialmente esplosive, nelle quali, al fine di prevenire le esplosioni, non devono essere presenti fonti di accensione. Le relative norme di sicurezza descrivono il rischio relativo alle fulminazioni su tali impianti. In questo contesto si deve osservare che esiste il rischio di incendio o esplosione a seguito di fulminazione diretta o indiretta, in quanto in alcuni casi questi impianti sono distribuiti su ampie superfici.

Per garantire la necessaria disponibilità e sicurezza degli impianti è necessaria una procedura concettuale atta a proteggere i componenti degli impianti elettrici ed elettronici degli impianti di processo nei confronti delle correnti di fulmine e dalle sovratensioni.

Concetto di protezione

Negli ambienti in atmosfere potenzialmente esplosive sono utilizzati spesso dei circuiti di misura a sicurezza intrinseca. La **Figura 9.32.1** mostra la progettazione generale e le zone di protezione antifulmine di un tale impianto. Poiché si richiede la massima disponibilità del sistema e poiché nelle zone pericolose si devono osservare molte norme di sicurezza, le seguenti aree sono state attribuite alle zone di protezione contro i fulmini 1 (LPZ 1) e 2 (LPZ 2):

- ➔ unità di elaborazione nella centrale di controllo (LPZ 2),

- ➔ trasduttore per la misura della temperatura nel serbatoio (LPZ 1),
- ➔ spazio interno del serbatoio (LPZ 1).

Secondo il concetto di zona di protezione contro i fulmini, in conformità alla norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4), vanno predisposti adeguati dispositivi di protezione contro le sovratensioni, come descritti di seguito, in tutti i punti di confine tra le zone di protezione contro i fulmini.

Protezione esterna contro i fulmini

La protezione esterna contro i fulmini comprende tutti gli impianti installati al di fuori o sulla struttura da proteggere dedicati alla captazione e alla scarica della corrente di fulmine verso l'impianto di messa a terra.

Un sistema di protezione contro i fulmini per atmosfere potenzialmente esplosive è solitamente progettato in classe LPS II. In casi specifici, e a ragion veduta, possono essere scelte altre classi LPS, in condizioni particolari (obblighi di legge) o a seguito dell'analisi dei rischi. I requisiti descritti di seguito si basano sulla classe LPS II.

Dispositivi di captazione

In atmosfere potenzialmente esplosive, l'impianto di captazione deve essere installato almeno secondo la classe LPS II (**Tabella 9.32.1**). Per determinare i relativi punti di impatto, si consiglia di utilizzare il metodo della sfera rotolante con raggio

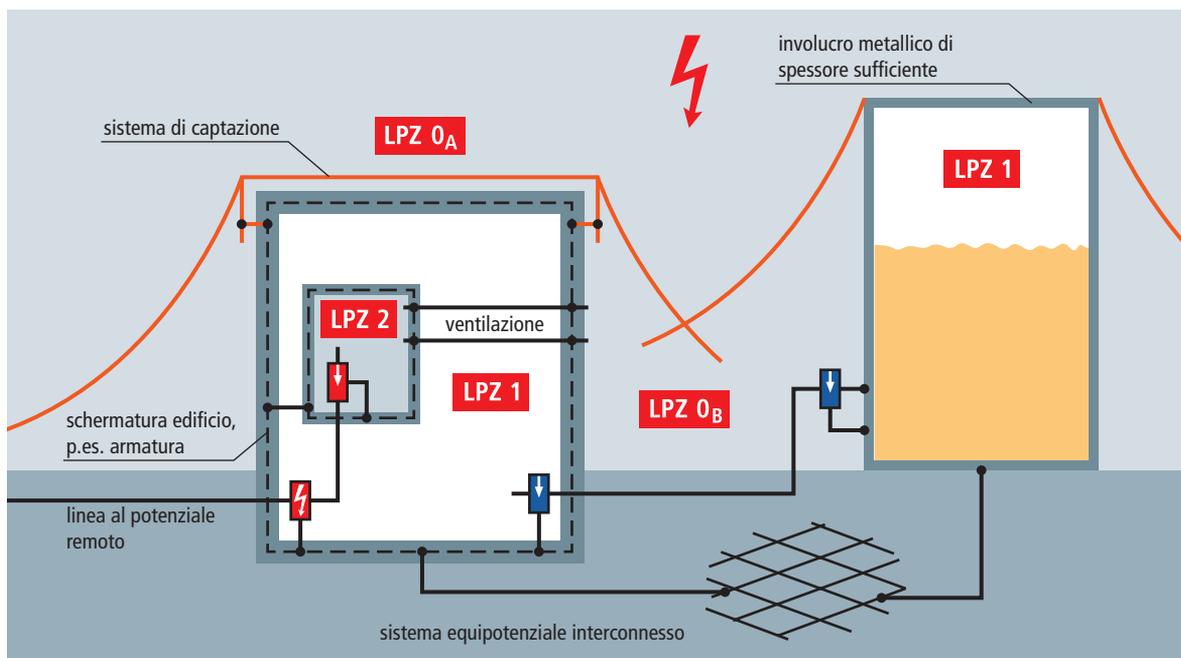


Figura 9.32.1 Suddivisione elementare di un impianto in zone di protezione contro i fulmini (LPZ)

Classe di LPS	Metodo di protezione			Tipica spaziatura dei conduttori [m]
	Raggio della sfera rotolante	Angolo di protezione α	Larghezza di maglia w [m]	
I	20		5 x 5	10
II	30		10 x 10	10
III	45		15 x 15	15
IV	60		20 x 20	20

Tabella 9.32.1 Disposizione degli impianti di captazione secondo la classe di LPS

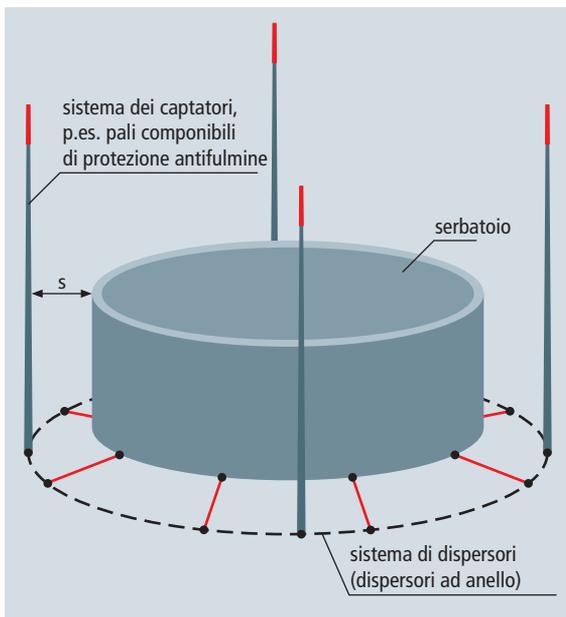


Figura 9.32.2 Sistema di captazione con aste e funi di captazione

minimo definito in base alla classe LPS II. Tuttavia, nel caso di un fulmine sull'impianto di captazione, possono svilupparsi scintille nel punto d'impatto. Per evitare scintille pericolose, gli impianti di captazione vanno installati all'esterno delle zone Ex (Figura 9.32.2). Anche i componenti naturali, come le strutture metalliche del tetto, i tubi e i contenitori metallici, possono essere utilizzati come sistemi di captazione, se hanno uno spessore minimo del materiale di 5 mm, secondo l'allega-

to D punto 5.5.2 della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) e se l'aumento di temperatura e la riduzione del materiale nel punto di fulminazione non presentano rischi supplementari (ad esempio: riduzione dello spessore della parete dei contenitori in pressione, alta temperatura superficiale nel punto di fulminazione) (Figura 9.32.1).

Calate

Le calate sono i collegamenti elettrici tra l'impianto di captazione e l'impianto di messa a terra. Per evitare danni durante il passaggio della corrente di fulmine all'impianto di messa a terra, le calate devono essere disposte in modo tale che:

- ➔ ci siano diversi percorsi paralleli della corrente tra il punto di fulminazione e la terra (sistemi situati in aree pericolose: una calata ogni 10 m di perimetro dei bordi esterni del tetto esterno, comunque almeno quattro),
- ➔ la lunghezza dei percorsi della corrente sia la minore possibile,
- ➔ il collegamento all'equipotenzialità antifulmine venga realizzato ogni volta in cui si rende necessario.
- ➔ Un impianto equipotenziale antifulmine a livello del suolo ad intervalli di 20 m si è dimostrato una scelta valida.

Le armature del calcestruzzo degli edifici possono essere utilizzate anche come calate, se sono permanentemente collegate tra loro in modo tale da trasportare la corrente di fulmine.

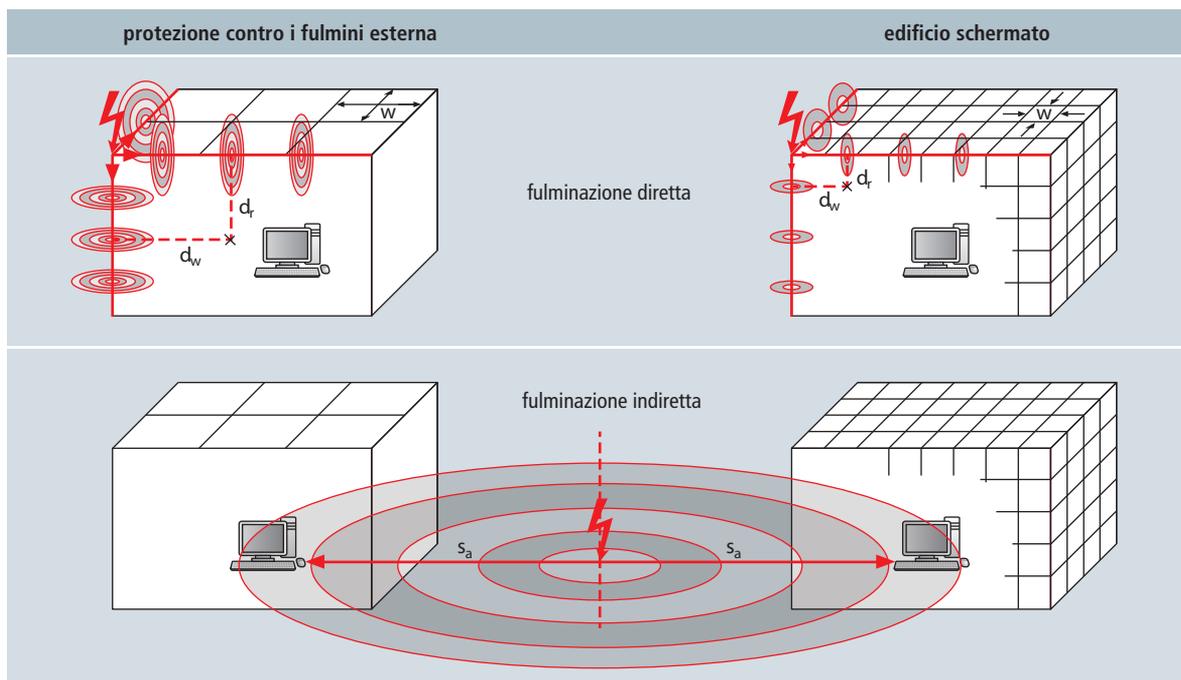


Figura 9.32.3 Schermatura delle strutture utilizzando componenti naturali dell'edificio

Distanza di isolamento

Se la distanza d tra captatori o calate e gli impianti elettrici o metallici all'interno della struttura da proteggere è insufficiente, i componenti della protezione contro i fulmini esterna e le parti metalliche, come pure gli impianti elettrici all'interno dell'edificio, possono risultare pericolosamente vicini tra loro. La distanza d non deve essere inferiore alla distanza di isolamento ($d > s$).

Dato che in pratica la corrente si suddivide tra i singoli conduttori di messa a terra a seconda delle rispettive impedenze, la distanza di isolamento va calcolata separatamente per il relativo edificio/impianto secondo la norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3).

Schermatura degli edifici

Un'altra misura del concetto di zona di protezione contro i fulmini consiste nella schermatura degli edifici. A tal fine, le facciate metalliche e l'armatura delle pareti, dei pavimenti, dei soffitti o all'interno dell'edificio vengono combinate per formare gabbie di schermatura, nei limiti del possibile (Figura 9.32.3). Grazie all'interconnessione elettrica dei componenti metallici dell'oggetto da proteggere, in modo da formare delle gabbie schermanti chiuse, il campo magnetico risulta notevolmente ridotto. Pertanto, si può facilmente diminuire il campo magnetico di un fattore da 10 a 300 e si può realizzare un'infrastruttura di protezione EMC con un costo limitato. Durante

l'ammodernamento degli impianti esistenti, la schermatura delle stanze deve essere adattata alle prescrizioni EMC, ad esempio, per mezzo di tappeti di rinforzo.

Protezione contro le sovratensioni in zone pericolose

La protezione contro i fulmini e le zone Ex sono già armonizzate nella fase di progettazione. Ciò significa che devono essere rispettati i requisiti relativi all'utilizzo dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni, sia nelle zone pericolose, sia ai limiti delle zone di protezione contro i fulmini. Di conseguenza, il luogo di installazione dei limitatori di sovratensione è esattamente definito, cioè deve essere installato al passaggio tra le zone LPZ 0_b e LPZ 1. In questo modo si evita l'ingresso di sovratensioni pericolose nella zona Ex 0 o 20, dal momento che l'interferenza è già stata scaricata. La disponibilità - importante per il processo - del trasmettitore di temperatura viene aumentata notevolmente. Inoltre vanno rispettati i requisiti della norma CEI EN 60079-11 (CEI 31-78), CEI EN 60079-14 (CEI 31-33) e CEI EN 60079-25 (CEI 31-79) (Figura 9.32.4):

- ➔ impiego di dispositivi di protezione contro le sovratensioni con una minima capacità di scarica di 10 impulsi di 10 kA

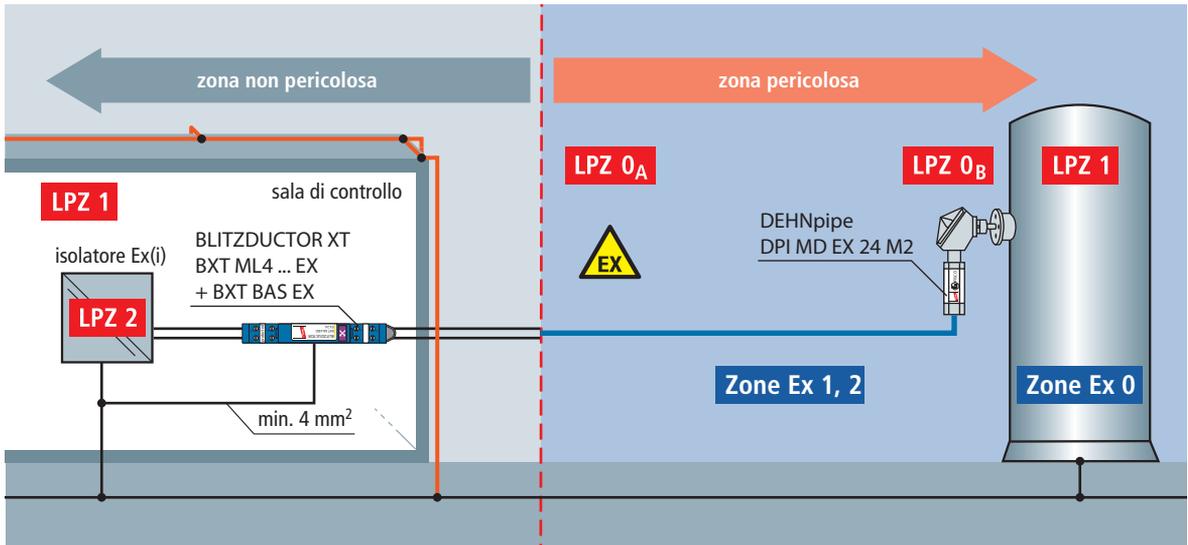


Figura 9.32.4 Dispositivi di protezione in un circuito di misura intrinsecamente sicuro

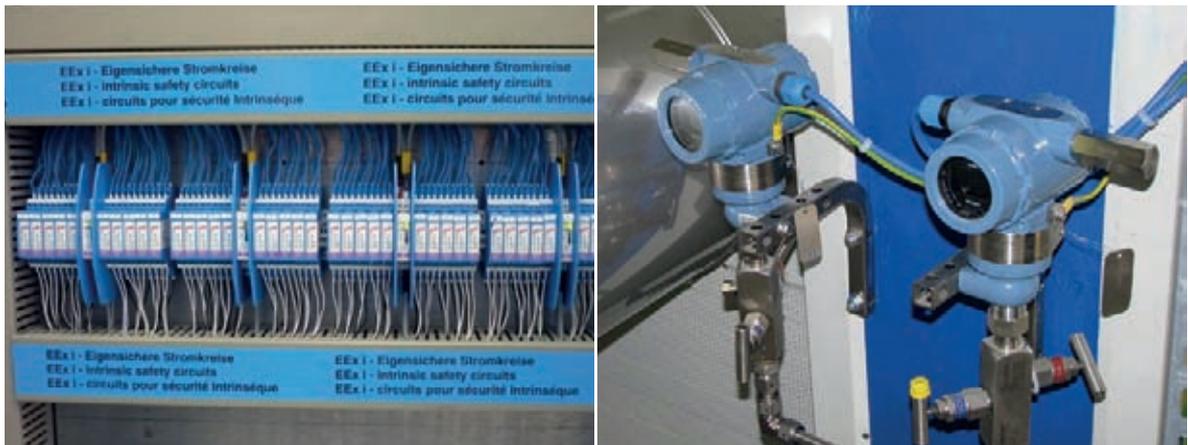


Figura 9.32.5 Dispositivi di protezione per circuiti di misura intrinsecamente sicuri

ciascuno senza danni per le apparecchiature o interferenze con l'effetto di protezione contro le sovratensioni;

- ➔ installazione del dispositivo di protezione contro le sovratensioni in un involucro metallico schermato; messa a terra per mezzo di un conduttore di rame con una sezione trasversale di almeno 4 mm²;
- ➔ installazione delle linee tra il limitatore e l'apparecchiatura in un tubo di metallo collegato a massa su entrambi i lati, oppure utilizzo di conduttori schermati con una lunghezza massima di 1 m.

Secondo la definizione del concetto di protezione, il LPC nella sala di controllo è definito come LPZ 2. Un dispositivo di protezione contro le sovratensioni è previsto anche nel passaggio dalla zona LPZ 0_B a LPZ 1 per la linea di misura dei trasmettitori di temperatura a sicurezza intrinseca. Il dispositivo di protezione contro le sovratensioni posto all'altra estremità della linea di campo che si prolunga oltre l'edificio, deve avere la stessa capacità di scarico del dispositivo di protezione contro le sovratensioni installato sul serbatoio. A valle del dispositivo di protezione contro le sovratensioni, viene utilizzata una linea a sicurezza intrinseca passante attraverso un amplificatore di

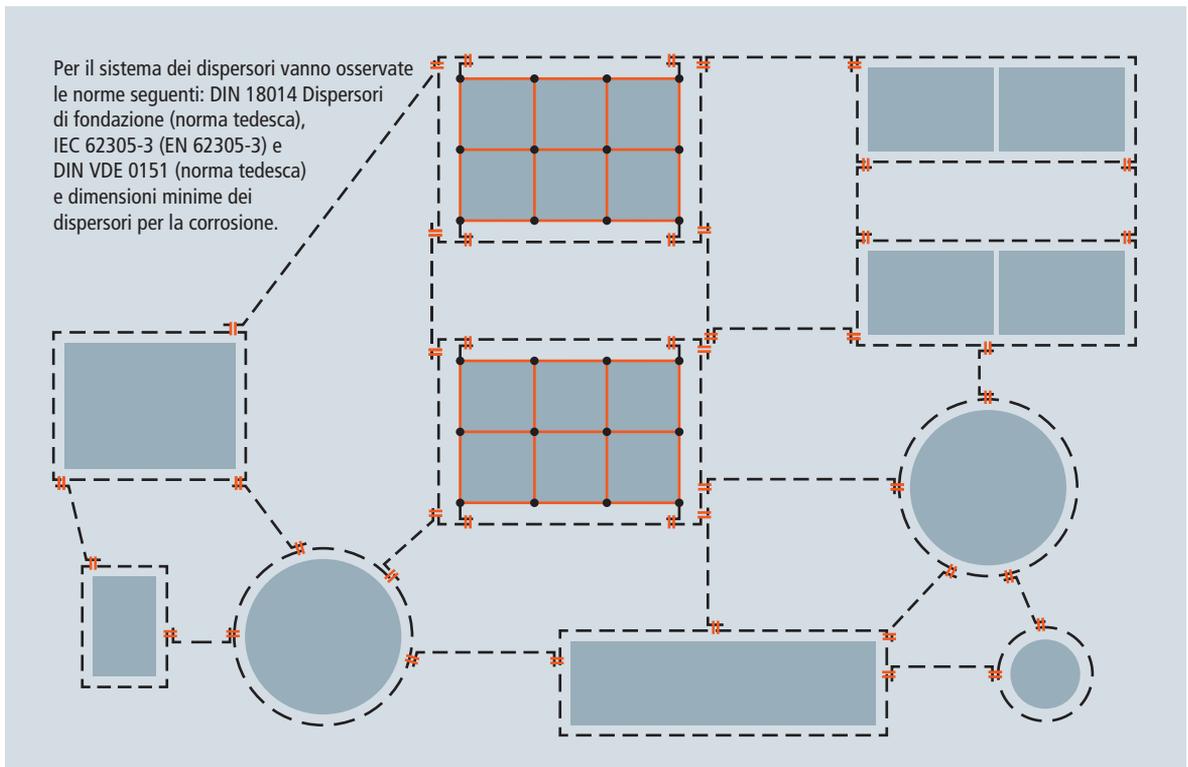


Figura 9.32.6 Esempio di impianto di messa a terra a maglia

isolamento (**Figura 9.32.5**). Da qui, la linea schermata al LPC va alla zona LPZ 2. La schermatura del cavo è collegata ad entrambe le estremità, quindi è necessario un dispositivo di protezione contro le sovratensioni al passaggio tra zona LPZ 1 e LPZ 2, in quanto l'interferenza elettromagnetica residua da prevedere è notevolmente attenuata dalla schermatura del cavo collegato a terra su entrambe le estremità (si veda anche "schermatura dei circuiti di misura a sicurezza intrinseca").

Altri criteri di selezione per i dispositivi di protezione nei circuiti di misura a sicurezza intrinseca

Resistenza di isolamento delle apparecchiature

Per garantire che le correnti di dispersione non influenzino i valori misurati, i segnali provenienti dai sensori sul serbatoio sono spesso isolati galvanicamente. La tenuta di isolamento del trasduttore tra l'anello di corrente a 4...20 mA a sicurezza intrinseca e il sensore di temperatura collegato a massa è ≥ 500 V CA. Quindi l'apparecchiatura non è collegata a massa. Quando si utilizzano i dispositivi di protezione contro le so-

vratensioni, questa condizione (isolamento dalla massa) non deve cambiare.

Se il trasduttore di misura possiede una tenuta di isolamento < 500 V AC, il circuito di misura a sicurezza intrinseca si considera collegato a massa. In questo caso, vanno utilizzati dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni che in caso di una corrente di scarica nominale di 10 kA (con forma d'onda 8/20 μ s) presentino un livello della tensione di protezione inferiore alla tenuta di isolamento del trasduttore collegato a massa (ad es. U_p (conduttore/PG) ≤ 35 V).

Tipo di protezione - Categoria ia, ib oppure ic?

Il trasduttore di misura e il dispositivo di protezione contro le sovratensioni vengono installati nella zona Ex 1, per cui è sufficiente la categoria di protezione ib per l'anello di corrente 4...20 mA. I dispositivi di protezione contro le sovratensioni (ia) soddisfano i requisiti più severi e sono quindi adatti anche per applicazioni ib e ic.

Dati tecnici	Trasmittitore TH02	Limitatore di sovratensione BXT ML4 BD Ex 24
Luogo di installazione	Zona 1	Zona 1
Grado di protezione	ib	ia
Tensione	U_i max. = 29,4 V CC	$U_c = 33$ V CC
Corrente	I_i max. = 130 mA	$I_N = 500$ mA
Frequenza	$F_{HART} = 2200$ Hz, modulata in frequenza	$F_G = 7,7$ MHz
Livello di immunità	secondo NE 21, ad es. 0,5 KV tra conduttore e conduttore	Capacità di scarica di 20 kA (8/20 μ s), tensione di intervento ≤ 52 V tra conduttore e conduttore
Collaudato secondo	ATEX, CE	ATEX, CE, IEC 6143-21, IECEX
500 V senza messa a terra	sì	sì
Capacità interna C_i	$C_i = 15$ nF	Trascurabile
Induttanza interna L_i	$L_i = 220$ μ H	Trascurabile

Tabella 9.32.2 Esempio di un trasmettitore di temperatura

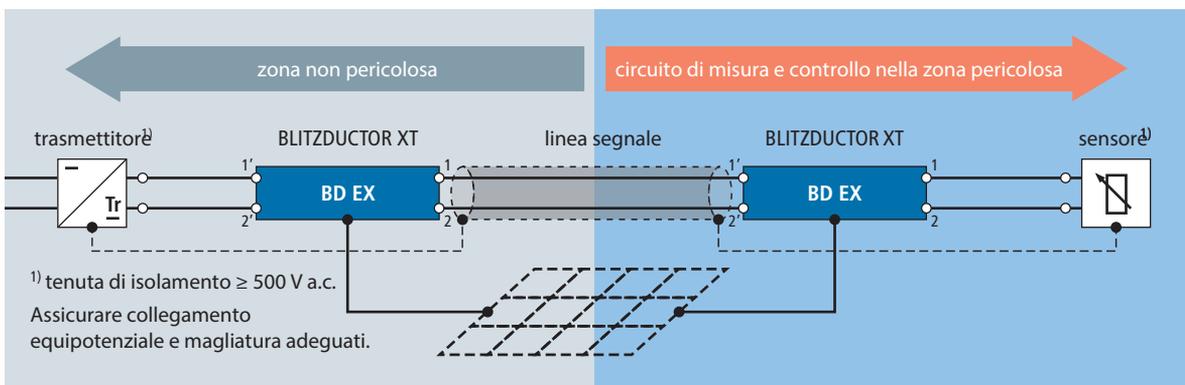


Figura 9.32.7 Esempio di collegamento della schermatura nei cavi a sicurezza intrinseca

Valori massimi ammessi per L_0 e C_0

Prima di mettere in funzione un circuito di misura a sicurezza intrinseca, bisogna dimostrare che sia effettivamente intrinsecamente sicuro. A tal fine, l'unità di alimentazione, il trasmettitore, i cavi e i dispositivi di protezione devono soddisfare le condizioni di sicurezza intrinseca. Se necessario, bisogna tenere in considerazione gli accumulatori di energia costituiti dalle induttanze e capacità dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni. Secondo la certificazione CE della categoria (PTB 99 ATEX 2092), le capacità interne e le induttanze dei dispositivi di protezione BXT ML4 BD EX 24 (Figura 9.32.6) sono trascurabili e non vanno prese in considerazione ai fini della valutazione delle condizioni di sicurezza intrinseca (Tabella 9.32.2).

Valori massimi per tensione U_i e corrente I_i

Secondo i rispettivi dati tecnici, il trasduttore a sicurezza intrinseca da proteggere ha una tensione massima di alimentazione U_i e una massima corrente di corto circuito I_i quando viene utilizzato in applicazioni per la sicurezza intrinseca (Figura 9.32.7). La tensione nominale U_c del dispositivo di protezione deve essere almeno equivalente alla tensione a vuoto massima dell'apparecchio di alimentazione. La corrente nominale dello scaricatore deve sopportare almeno la corrente di cortocircuito I_i del trasduttore di misura presunta in caso di guasto. Se nel dimensionamento dei limitatori di sovratensione non vengono osservate queste condizioni al contorno, il limitatore potrebbe sovraccaricarsi e quindi guastarsi, oppure la sicurezza intrinseca del circuito di misura potrebbe non essere più garantita.

a causa dell'aumento di temperatura del dispositivo di protezione.

Coordinamento del dispositivo di protezione da sovratensioni con le apparecchiature finali

La raccomandazione NAMUR NE 21 definisce i requisiti generali per l'immunità dalle interferenze per le apparecchiature di laboratorio e di processo (ad esempio i trasduttori). Gli ingressi di segnale di tali apparecchiature devono sopportare tensioni di 0,5 kV tra i conduttori del cavo (tensione trasversale) e 1,0 kV tra conduttori e massa (tensione longitudinale). La disposizione di misura e la forma d'onda sono descritte nella norma fondamentale CEI EN 61000-4-5 (CEI 110-30). A seconda dell'ampiezza dell'impulso di prova, viene assegnato uno specifico livello di immunità per l'apparecchiatura finale. Questi livelli di immunità delle apparecchiature finali sono documentati dal livello di prova (1-4). Il livello di prova 1 è quello più basso, mentre il livello di prova 4 definisce il livello di immunità più alto. Il livello di prova si trova normalmente nella documentazione tecnica del dispositivo da proteggere, oppure si può richiedere al produttore del dispositivo stesso. In caso di rischio da fulmine o sovratensione, i disturbi impulsivi condotti (tensione, corrente e energia) devono essere limitati a un valore corrispondente alla classe di immunità ai disturbi dell'apparecchiatura finale. I livelli di prova sono documentati sui dispositivi di protezione contro le sovratensioni (ad esempio, P1).

Impianti di messa a terra interconnessi

In passato, erano spesso messi in opera impianti di messa a terra separati (terra della protezione contro i fulmini e terra di protezione generale separate dalla terra funzionale). Questo è risultato molto svantaggioso e persino pericoloso. In caso di fulminazione, possono verificarsi differenze di potenziale fino a 100 kV, che possono a loro volta provocare la distruzione dei componenti elettronici, rischi per le persone ed esplosioni in atmosfera esplosiva provocate da scintille.

Pertanto si consiglia di installare un impianto di messa a terra separato per ogni edificio o parte di un impianto e di collegarli tra loro. Tale interconnessione (**Figura 9.32.6**) riduce le differenze di potenziale tra gli edifici e le parti dell'impianto e quindi riduce le correnti parziali di fulmine condotte. Quanto più sono ridotte le dimensioni delle maglie degli impianti di messa a terra, tanto minori risulteranno le differenze di potenziale tra gli edifici o le parti dell'impianto in caso di fulmine. Dimensioni delle maglie di 20 x 20 m hanno dimostrato di essere economicamente fattibili (maglie di 10 x 10 m sono raccomandate in atmosfere potenzialmente esplosive e quando si utilizzano sistemi elettronici). Quando si seleziona il materiale dell'impianto di messa a terra, bisogna fare in modo che le tubazioni interrato non subiscano corrosione.

Collegamento equipotenziale

Bisogna realizzare un collegamento equipotenziale coerente in tutti gli ambienti con atmosfere potenzialmente esplosive, per prevenire la formazione di differenze di potenziale tra elementi conduttori diversi e estranei. Le colonne degli edifici e le parti strutturali, tubi, contenitori, ecc. vanno integrati nell'impianto equipotenziale, in modo che non si verifichino differenze di tensione anche in condizioni di guasto. Le connessioni dei conduttori equipotenziali devono essere autobloccanti per evitare allentamenti. Secondo la norma CEI EN 60079-14 (CEI 31-33), è necessario un collegamento equipotenziale supplementare, il quale deve essere correttamente realizzato, installato e collaudato secondo le norme IEC 60364-4-41 (HD 60364-4 -41) e IEC 60364-5-54 (HD 60364-5 -54). Quando si utilizzano dispositivi di protezione contro le sovratensioni, la sezione del conduttore di terra, in rame, per il collegamento equipotenziale deve essere di almeno 4 mm².

Equipotenzialità antifulmine all'esterno della zona Ex

L'uso di dispositivi di protezione contro le sovratensioni negli impianti a bassa tensione, impianti di utenza, sistemi di controllo e misura all'esterno della zona di pericolo (ad es. sala di controllo) non differisce rispetto alle altre applicazioni (per maggiori informazioni si veda anche la brochure DS 649 E "Guida di selezione Red/Line"). In questo contesto va ricordato che i dispositivi di protezione contro le sovratensioni per le linee tra le zone LPZ 0_A e LPZ 1 devono avere una capacità di scarica della corrente di fulmine descritta dalla forma d'onda di prova 10/350 µs. I dispositivi di protezione contro le sovratensioni di classi differenti devono essere coordinati tra di loro. Questo requisito è assicurato dai limitatori di sovratensione DEHN.

Trattamento di schermatura nei circuiti di misura a sicurezza intrinseca

La schermatura del cavo è una misura importante per evitare interferenze elettromagnetiche. In questo contesto, gli effetti dei campi elettromagnetici devono essere ridotti ad un livello accettabile per evitare l'accensione. Questo è possibile solo se la schermatura è collegata a terra ad entrambe le estremità del cavo. La messa a terra della schermatura ad entrambe le estremità del cavo è consentita nelle aree pericolose solo se sono assolutamente da escludere le differenze di potenziale tra i punti di massa (impianto di terra interconnesso, con dimensione delle maglie 10 x 10 m) e se è installato un conduttore di massa isolato con una sezione di almeno 4 mm² (o meglio 16 mm²) in parallelo al cavo a sicurezza intrinseca, con tale conduttore di massa collegato alla schermatura del cavo in un punto qualsiasi e nuovamente isolato. Questo cavo in parallelo deve essere collegato allo stesso collegamento equi-

potenziale della schermatura del cavo a sicurezza intrinseca (**Figura 9.32.6**).

Inoltre si possono usare come conduttori equipotenziali i ferri di armatura (permanentemente e sistematicamente interconnessi). Questi ultimi sono collegati alla barra equipotenziale ad entrambe le estremità.

Riassunto

Le norme pertinenti descrivono il rischio di fulminazione negli impianti chimici e petrolchimici e il rischio dovuto alle con-

seguenti interferenze elettromagnetiche. Quando si utilizza il concetto di zona di protezione contro i fulmini per la progettazione e l'installazione degli impianti, devono essere ridotti al minimo (con mezzi economicamente accettabili) i rischi di scariche in caso di fulminazione, o i rischi dovuti alla scarica dell'energia delle interferenze condotte. I limitatori di sovratensione utilizzati devono rispettare le norme di protezione contro le esplosioni, assicurare il coordinamento con le apparecchiature finali e soddisfare le esigenze derivanti dai parametri di funzionamento dei circuiti di controllo e di misura.



Impianti di protezione contro i fulmini per sistemi di misura e di controllo della pressione del gas

Le principali funzioni dei sistemi di controllo e misura della pressione dei gas sono quelle di monitorare e calcolare i volumi di gas, azionare automaticamente le postazioni di processo per mezzo della connessione e disconnessione dei sistemi di misura e di controllo (in funzione del volume e delle condizioni), nonché controllare il volume e il monitoraggio del trasporto del gas tra i gestori di rete.

Alcune unità funzionali collegate al sistema di alimentazione sono soggette alle disposizioni della sezione 3 della legge tedesca sulla salute e la sicurezza industriale (BetrSichV). Il gestore deve garantire il rispetto di queste disposizioni, che si applicano per esempio ai sistemi in atmosfere potenzialmente esplosive i cui componenti sono coperti dalla direttiva 94/9/CE. Tali disposizioni consistono, per esempio, nel prescrivere l'installazione di dispositivi conformi alla direttiva 94/9/CE, la loro installazione secondo lo stato dell'arte, l'ispezione e le prove prima della messa in servizio e le verifiche periodiche da parte di personale esperto sotto la responsabilità dell'azienda.

Le norme tecniche tedesche sulla sicurezza operativa (TRBS) specificano in maggior dettaglio i requisiti fondamentali dell'ente tedesco BetrSichV da osservare in questo contesto. Il codice tedesco DVGW G 491 descrive i requisiti per i componenti di protezione, elettrici e non elettrici, nei confronti delle esplosioni dei sistemi di misura e di controllo della pressione del gas, con riferimento all'attuale TRBS come fonte di informazione.

Analisi dei rischi - Determinazione dello stato attuale

Lo stato del sistema va determinato attraverso un'indagine in sito. A tal fine devono essere valutate le condizioni strutturali, i documenti esistenti e le possibili richieste degli assicuratori dei beni.

Viene effettuata un'analisi dei rischi in collaborazione con il gestore per definire le misure di protezione necessarie a prevenire gli effetti distruttivi dei fulmini e delle sovratensioni. A tal fine i progettisti si avvalgono dei regolamenti approvati, che consentono di progettare un concetto completo di protezione.

La norma IEC 62305 (EN 62305) costituisce una base affidabile per la progettazione orientata ai futuri impianti di protezione contro i fulmini. Questa norma viene utilizzata per la progettazione, installazione, ispezione e manutenzione degli impianti di protezione delle strutture contro i fulmini.

Il rischio di fulminazione, così come la necessità di un sistema di protezione contro i fulmini per un oggetto da proteggere, sono determinati secondo le norme CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1) e CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2). Esse permettono di scegliere le misure di protezione tecnicamente ed

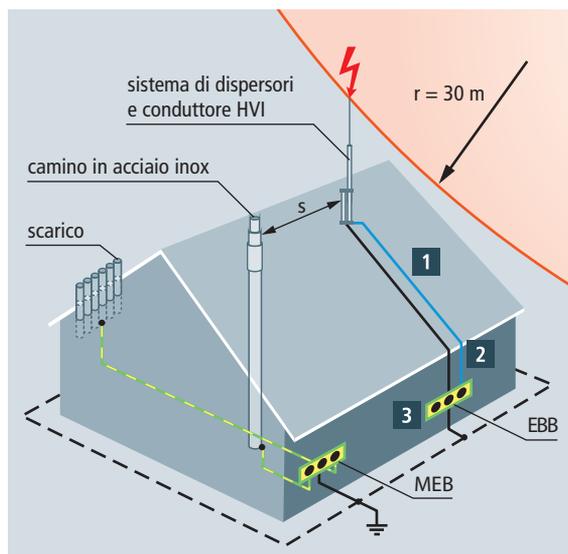
economicamente ottimali in funzione del rischio. Le norme CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) e CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4) descrivono le modalità di implementazione delle misure di protezione. Pertanto la norma IEC 62305 (EN 62305) costituisce una solida base per gestori e progettisti. Questa norma rende più facile prendere ulteriori misure di protezione per una alimentazione diffusa e per i sistemi informatici, a costi inferiori. La norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4) descrive le misure per proteggere i sistemi elettronici.

Analisi dei rischi nei sistemi di controllo e misura della pressione del gas

Bisogna prendere in considerazione sin dalla fase di progettazione la protezione della struttura, delle persone e delle attrezzature tecniche contro gli effetti di un fulmine. Per questo motivo prima di effettuare l'analisi dei rischi vengono definiti adeguati obiettivi di protezione in collaborazione con il gestore.

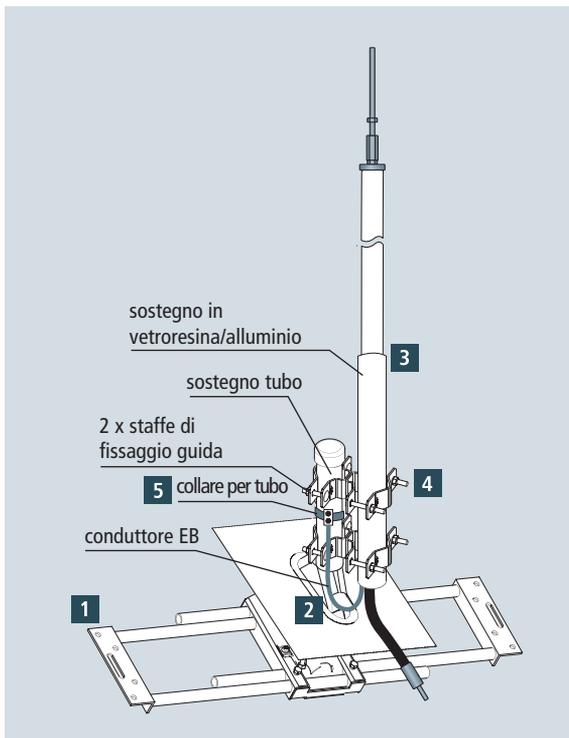
Nel nostro esempio, gli obiettivi della protezione sarebbero:

- ➔ protezione da incendi ed esplosioni,



	Componenti	Art.
1	Staffa portafilo per tetto inclinato con staffa inclinata per conduttore HVI	202 830
2	Staffa portafilo a parete per conduttore HVI	275 229
3	Barra di messa a terra (morsetti 2 x 2)	472 109

Figura 9.33.1 Protezione esterna isolata contro i fulmini per tetti spioventi



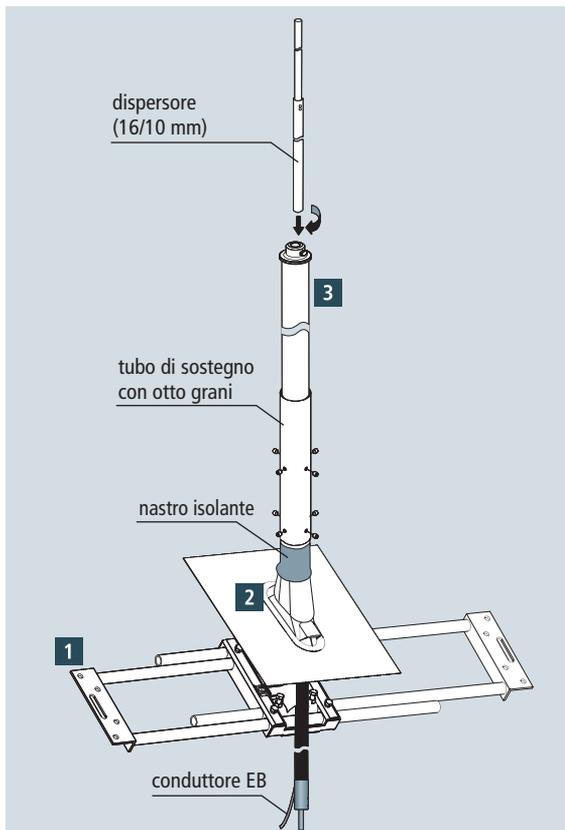
	Componenti	Art.
1	Puntone capriata	105 240
2	Kit boccole del tetto	105 245
3	Conduttore HVI I DEHNcon-H integrato nel sostegno con l'asta di captazione	819 245
4	Fascetta di fissaggio della guida	105 354
5	Morsetto per tubi per antenne	540 103

Figura 9.33.2 Protezione esterna isolata contro i fulmini isolata per tetti spioventi - Opzione di installazione 1

- ➔ protezione delle persone,
- ➔ protezione dell'elettronica dei sistemi ad elevata disponibilità.

In primo luogo si definiscono i fattori di perdita, la disponibilità richiesta e il rischio secondo la norma IEC 62305 (EN 62305). Ciò porta a definire i seguenti fattori di perdita:

- ➔ L1: lesioni o morte di persone (il fattore di perdita L1 comprende le cause di incendio da fulmine specificate nella

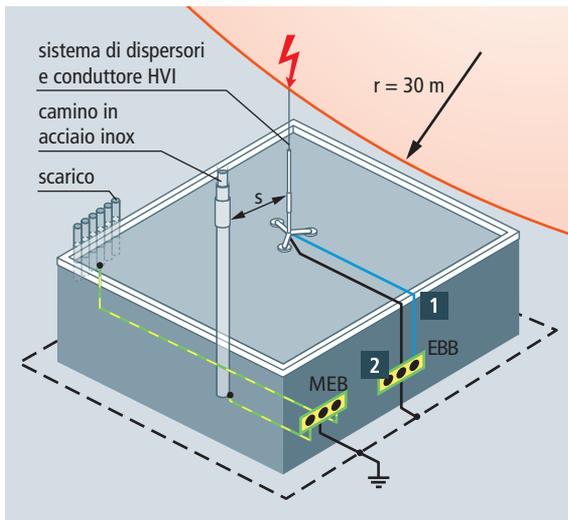


	Componenti	Art.
1	Puntone capriata	105 240
2	Kit boccole del tetto	105 245
3	Conduttore HVI I DEHNcon-H integrato nel sostegno con l'asta di captazione	819 245

Figura 9.33.3 Protezione esterna isolata contro i fulmini per tetti spioventi - Opzione di installazione 2

- CRC 2152 parte 3, in relazione alla protezione contro le esplosioni),
- ➔ L2: perdita di servizio al pubblico,
- ➔ L4: perdita di valore economico.

L'esempio qui di seguito descritto è stato calcolato sulla base della normativa CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) per mezzo del software DEHNSupport. Si sottolinea espressamente che la procedura viene illustrata a titolo puramente esemplificativo. La soluzione illustrata nella **Figura 9.33.1** non è in alcun modo vincolante e può essere sostituita con altre soluzioni



	Componenti	Art.
	Supporto HVI Ex W70	275 440
1	Supporto HVI Ex W200	275 441
	Barra colletttrice HVI Ex 500	275 498
2	Barra di messa a terra (morsetti 2 x 2)	472 109

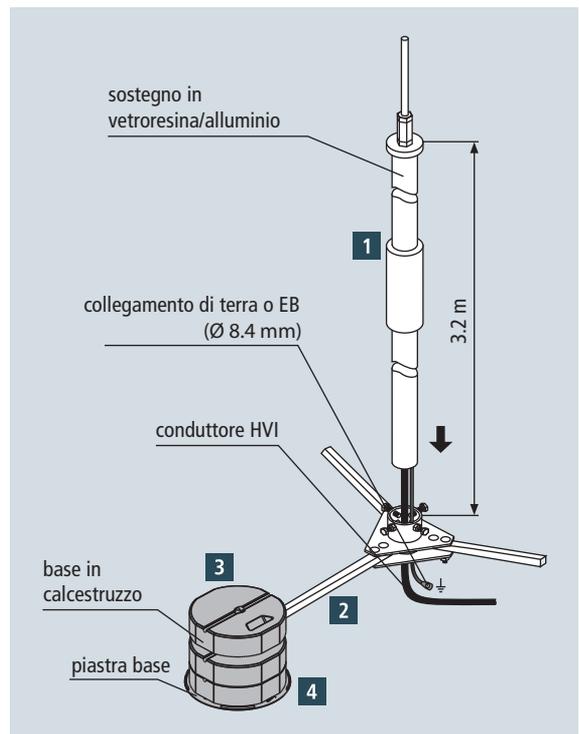
Figura 9.33.4 Protezione esterna isolata contro i fulmini per tetti piani

equivalenti. Di seguito sono descritte le possibili soluzioni per la protezione in base alla classe LPL II e le caratteristiche più importanti dell'esempio, a seconda del tipo di impianto. Può essere installata una calata isolata e resistente alle alte tensioni (conduttore HVI I) al di sopra (Figura 9.33.2) o al di sotto (Figura 9.33.3) della copertura del tetto.

Se i conduttori devono essere installati nella zona Ex 1 o 2 a causa delle condizioni locali, vanno rispettate le istruzioni per l'installazione Num. 1501. Le Figure 9.33.4 e 9.33.5 mostrano l'esempio di un sistema di misurazione e di controllo della pressione del gas con copertura piana.

Protezione antifulmine interna - Equipotenzialità antifulmine - Protezione contro le sovratensioni

Tutti i sistemi conduttivi entranti nell'impianto di controllo e misura della pressione del gas dall'esterno vanno integrati nel sistema equipotenziale antifulmine (Figura 9.33.6). Ciò si ottiene con il collegamento diretto di tutti i componenti metallici e il collegamento indiretto di tutti i sistemi sotto tensione attraverso i dispositivi di protezione contro le sovratensioni. Questi i dispositivi di protezione devono essere in grado di scaricare correnti di fulmine (SPD tipo 1: forma



	Componenti	Art.
1	Conduttore HVI I integrato nel supporto con la punta di captazione	819 320
2	Treppiede per conduttore HVI integrato nel palo di sostegno	105 350
3	Base in cemento	102 010
4	Piastra di base	102 050

Figura 9.33.5 Protezione esterna isolata contro i fulmini per tetti piani - Opzione di installazione 3

d'onda di prova 10/350 µs). L'equipotenzialità antifulmine va realizzata il più vicino possibile al punto di ingresso nella struttura (zona di passaggio tra LPZ 0 e 1 o superiore) per ridurre le differenze di potenziale e il pericolo di scariche in atmosfere potenzialmente esplosive, e per evitare l'ingresso delle correnti parziali di fulmine nella struttura.

Per aumentare la disponibilità dei sistemi elettrici sensibili, possono essere necessarie ulteriori misure di protezione realizzate secondo la norma CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4), a seconda del livello di immunità e dell'ambiente di installazione degli impianti. Le combinazioni di protezioni contro le sovratensioni e misure aggiuntive di protezione equipotenziale si sono dimostrate soluzioni valide nella pratica.

Num. in Fig. 9.33.6	Protezione per	Limitatore di sovratensione	Art.
Impianti di alimentazione			
1	Impianto trifase TN-S/TT	DEHNventil M TT 255 DEHNventil M TT 255 FM DEHNventil ZP TT 255	951 310 951 315 900 391
	Impianto trifase TN-C	DEHNventil M TNC 255 DEHNventil M TNC 255 FM	951 300 951 305
	Impianto C.A. TN	DEHNventil M TN 255 DEHNventil M TN 255 FM	951 200 951 205
	Impianto C.A. TT	DEHNventil M TT 2P 255 DEHNventil M TT 2P 255 FM	951 110 951 115
Sistemi informatici			
2	Sistemi di telecomando e telecomunicazione	BXT ML4 BD 180 o BXT ML2 BD 180 + BXT BAS	920 347 920 247 + 920 300
Apparecchiatura di misura e controllo			
3	Circuiti e impianto di misura a sicurezza intrinseca	BXT ML4 BD EX 24 o BXT ML2 BD S EX 24 + BXT BAS EX	920 381 920 280 + 920 301
Impianti di protezione catodica			
4	Impianto di protezione catodica, circuito di protezione fino a 12 A	BVT KKS ALD 75	918 420
	Impianto di protezione catodica, circuito di protezione oltre i 12 A	DEHNbloc M 1 150 FM + DEHNguard S 150 FM + MVS 1 2 o DEHNbloc M 1 150 + DEHNguard S 150 + MVS 1 2	961 115 + 952 092 + 900 617 961 110 + 952 072 + 900 617
5	Impianto di protezione catodica, circuito del sensore di misura	BVT KKS APD 36	918 421
Componenti di sistemi funzionalmente isolati			
6	Giunti isolanti / Flange isolante	EXFS 100 o EXFS 100 KU	923 100 923 101
Collegamento equipotenziale in zone pericolose			
7	Collegamento di tubazioni senza scariche di innesco alla combustione	EX BRS 27 o EX BRS 90 o EX BRS 300 o EX BRS 500	540 821 540 801 540 803 540 805

Tabella 9.33.1 Componenti consigliati per un collegamento equipotenziale antifulmine secondo la figura 9.33.6

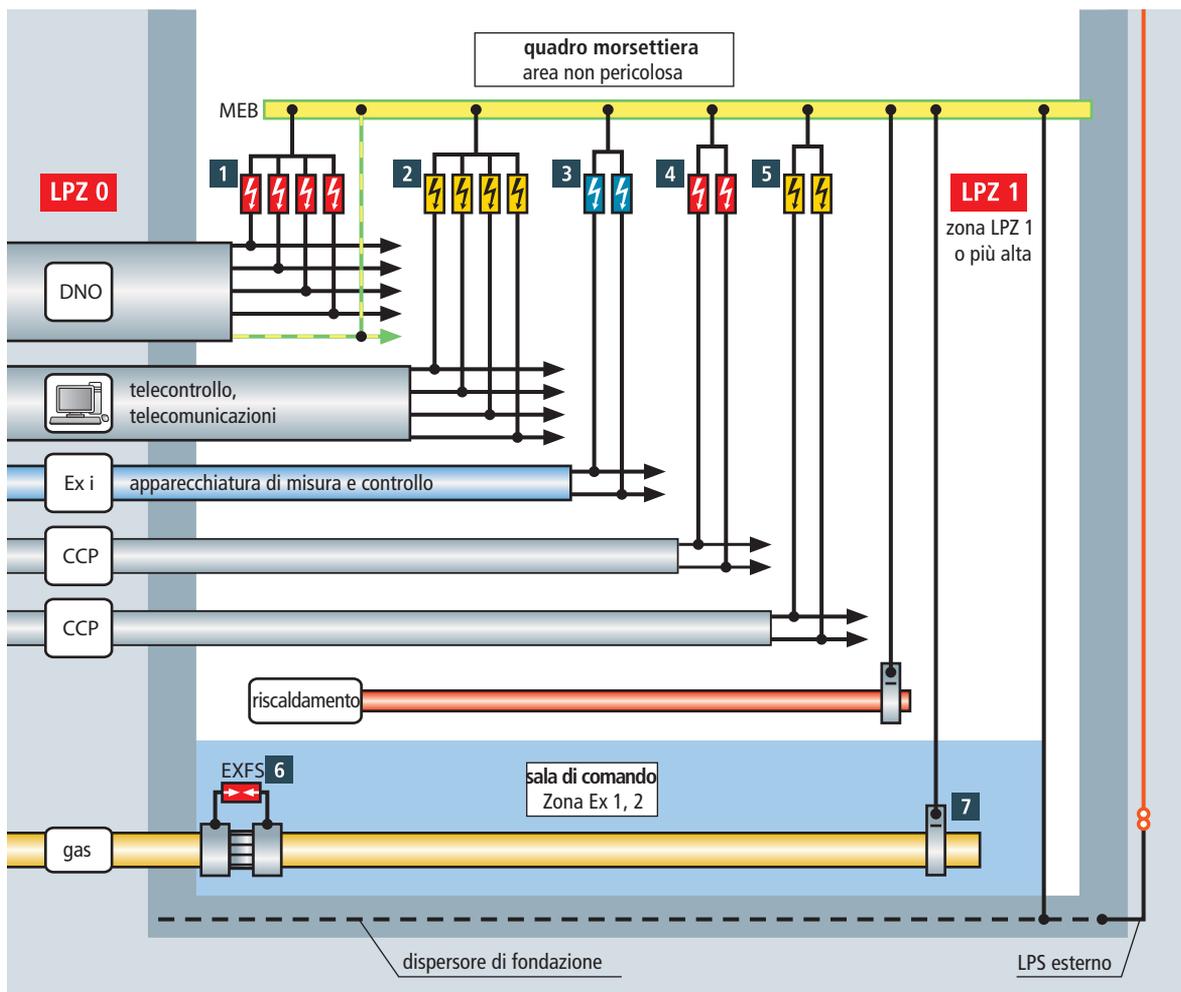


Figura 9.33.6 Collegamento equipotenziale antifulmine per linee in ingresso



Protezione contro i fulmini e le sovratensioni per imbarcazioni da diporto

Le imbarcazioni in mare, all'ancora e a terra (ad esempio in un bacino di carenaggio) sono a rischio di fulminazione. La probabilità di un fulmine dipende dalla densità locale dei fulmini al suolo N_g che specifica il numero di scariche elettriche al km^2 per anno. Quanto più la barca si avvicina alle acque equatoriali, maggiore è il rischio che venga colpita da un fulmine in mare. In generale, la densità di fulmini al suolo è spesso superiore a terra (all'ormeggio) che in mare.

Se un fulmine colpisce l'albero di un'imbarcazione, le correnti di fulmine arrivano al ponte. Dal momento che sull'albero passano vari cavi, ad esempio per le luci di navigazione, l'antenna radio e l'anemometro, la corrente di fulmine penetra nell'imbarcazione attraverso questi cavi e si diffonde in tutto il cablaggio dell'impianto di bordo che alimenta l'ecoscandaglio e il log. Questi sistemi potrebbero riportare danni e di conseguenza infiltrazioni d'acqua, dato che questi dispositivi sono situati sotto il livello dell'acqua. Mentre l'ingresso di acqua viene facilmente notato in mare e perciò può essere eliminato, spesso passa inosservato quando la barca è ormeggiata in inverno, e la barca può affondare.

Per determinare i punti potenziali di fulminazione, viene utilizzato il modello elettro-geometrico (metodo della sfera rotolante). Questo metodo descrive il fulmine (centro della sfera rotolante) che colpisce un oggetto a una certa distanza (raggio). Minore è il raggio, tanto meglio i fulmini vengono intercettati. Nelle norme sulla protezione contro i fulmini, sono assegnati

da vari raggi r alle classi di LPS I, II, III e IV. La classe di LPS I fornisce la massima protezione dai fulmini. In questo caso, il sistema permette di gestire in sicurezza il 99% di tutti i fulmini con correnti impulsive inferiori a 200 kA e superiori a 3 kA.

La classe di LPS III viene spesso utilizzata per le imbarcazioni da diporto (si veda l'esempio nella **Figura 9.34.1**). Essa consente di valutare il rischio di un fulmine sull'albero. Le informazioni fornite di seguito si applicano anche a imbarcazioni dotate di più alberi. I punti in cui la sfera rotolante tocca l'imbarcazione sono potenziali punti di fulminazione e devono essere protetti.

Protezione contro i fulmini

Per attuare delle misure di protezione contro i fulmini, bisogna distinguere tra alberi (o scafi) metallici e non metallici.

Imbarcazioni metalliche

Se la barca ha lo scafo metallico collegato a un albero anch'esso in metallo, non sono necessarie misure supplementari per scaricare la corrente di fulmine. Se un fulmine colpisce l'albero di un'imbarcazione di questo tipo, la maggior parte della corrente di fulmine viene scaricata tramite l'albero; le correnti

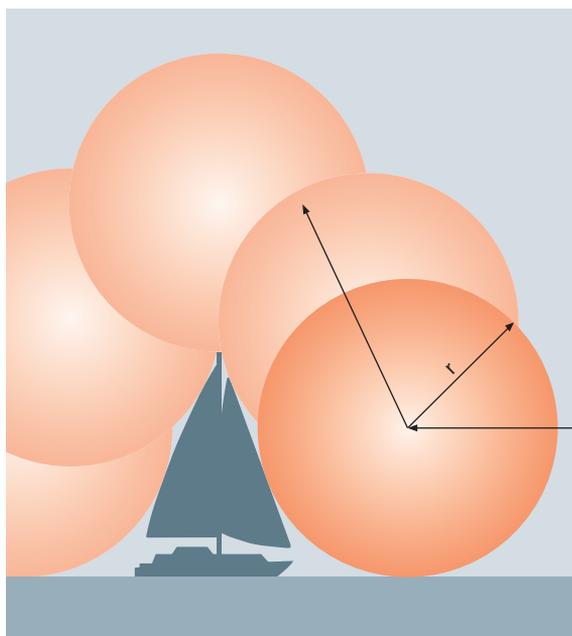


Figura 9.34.1 Determinazione del rischio di esposizione da fulmine per un'imbarcazione da diporto col metodo della sfera rotolante per classe di LPS III

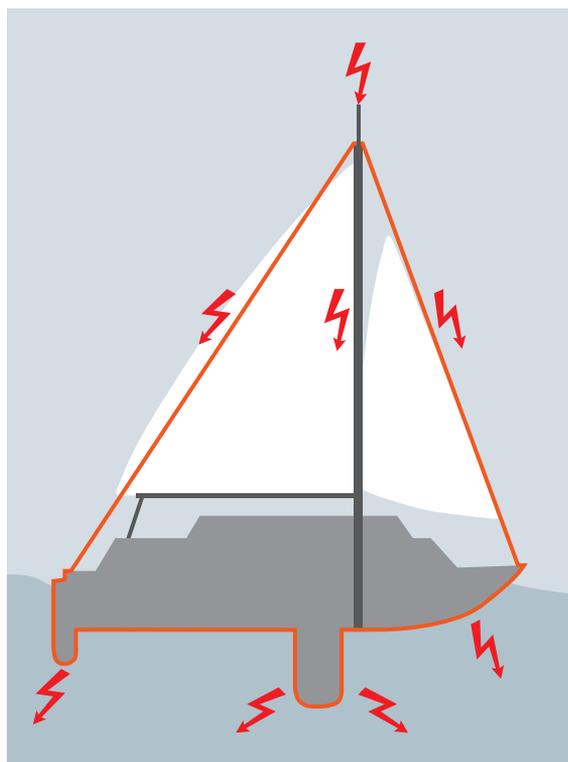


Figura 9.34.2 Distribuzione della corrente di fulmine in un'imbarcazione da diporto a seguito della caduta di un fulmine sull'albero

parziali di fulmine passano allo scafo attraverso il sartame e poi all'acqua (Figura 9.34.2).

Imbarcazione non metalliche

Le imbarcazioni con scafo in legno o vetroresina richiedono ulteriori misure di protezione contro i fulmini.

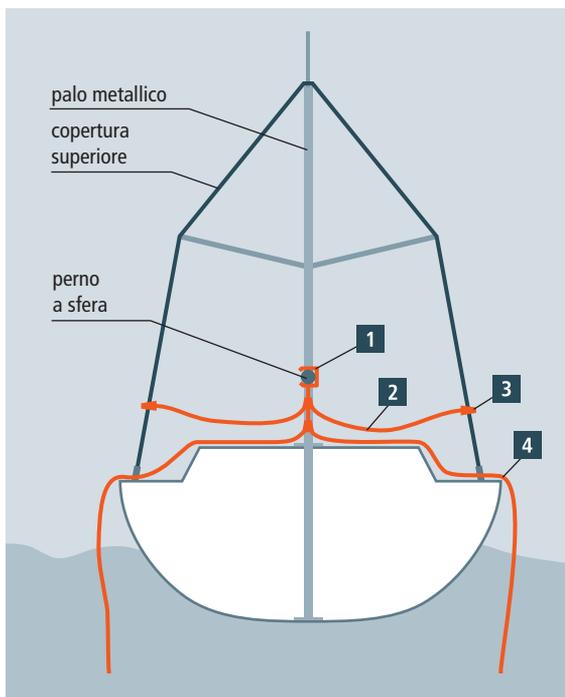
Se l'albero è di legno, un'asta di captazione con spessore di almeno 12 mm deve sporgere di almeno 300 mm dall'albero. La calata che scende dall'albero può essere in rame e dovrebbe avere una sezione minima di 70 mm². Essa deve passare esternamente ed essere collegata alla piastra di massa. La piastra di massa deve avere una superficie di almeno 0,25 m² e dev'essere in rame o altro materiale resistente all'acqua salata. Nel caso di imbarcazioni di grandi dimensioni, possono essere necessarie diverse piastre di massa per la protezione contro i fulmini e per l'impianto di alimentazione. In questo caso si deve mantenere una distanza sufficiente tra queste piastre di massa, per evitare scariche elettriche.

Se un fulmine colpisce l'asta di captazione, le correnti di fulmine devono essere scaricate sulla piastra di terra attraverso la calata sull'albero, il sartame, gli stralli e le relative lande. A tal fine, albero, sartame, stralli e lande devono essere collegati alla piastra di massa. I conduttori in rame devono avere una sezione minima di 16 mm². Tutti i collegamenti che portano la corrente di fulmine devono essere realizzati con viti, rivetti o saldature.

Protezione rimovibile contro i fulmini per alberi in metallo

È possibile realizzare un sistema di protezione antifulmine, rimovibile e poco costoso, che viene spesso utilizzato sulle imbarcazioni a noleggio saltuario. A tal fine, la parte inferiore dell'albero in alluminio è dotata di un perno sferico, che viene utilizzato come conduttore. Al perno sferico viene avvitato un conduttore per la corrente di fulmine, collegato a due morsetti e due nastri di rame intrecciato lunghi alcuni metri. I morsetti sono collegati alle sartie, per utilizzarle come calate. Le estremità libere dei due nastri di rame intrecciato vanno immerse nell'acqua per almeno 1,5 m (Figura 9.34.3).

Tutti i componenti e i relativi collegamenti devono essere in grado di trasportare la corrente di fulmine e devono essere resistenti alla corrosione. Questa misura di protezione può essere messa in opera rapidamente quando si avvicina un temporale e fornisce una certa protezione contro i fulmini. Non è del tutto chiaro in che misura una protezione rimovibile contro i fulmini sia in grado di fornire protezione alle imbarcazioni, in quanto essa non rispetta i requisiti normativi del collegamento equipotenziale (protezione delle persone), distanze di isolamento, ecc. Si può solo ipotizzare che il danno di fulmine, come le forature dello scafo, possa essere evitato in quanto la maggior parte della corrente di fulmine passa in acqua attra-



	Componenti	Tipo/materiale	Art.
1	Morsetto di messa a terra universale	UEK 25 HG	774 234
2	Cavo multipolare di essa a terra	p.es. V6TZ3N8	Può essere configurato tramite messa a terra DEHN e configuratore del cortocircuito
3	Morsetto di messa a terra	Acciaio Inox	546 001
4	Nastro di rame intrecciato	Rame	377 007

Figura 9.34.3 Protezione mobile contro i fulmini per una barca con un albero metallico

verso i nastri di rame intrecciato. Pertanto è sempre preferibile un sistema di protezione antifulmine fisso.

Impianti di alimentazione

La norma IEC 60364-7-709 (HD 60364-7-709) (Marine e luoghi simili) descrive i requisiti particolari per i circuiti di alimentazione (impianti di alimentazione in banchina) per imbarcazioni sportive di vario tipo e case galleggianti alimentate dalla rete

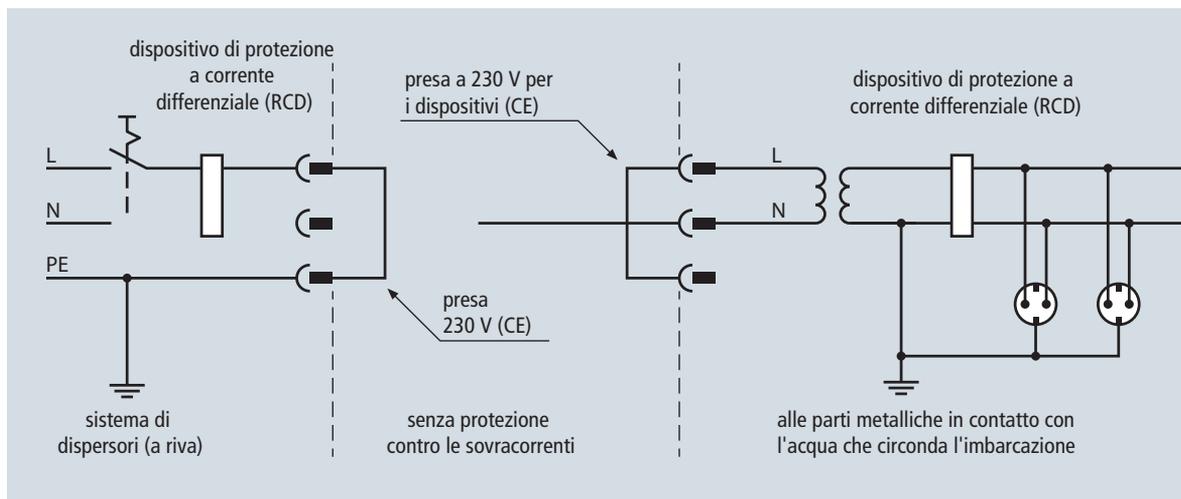


Figura 9.34.4 Uso di un trasformatore di isolamento per evitare la corrosione

elettrica. Le imbarcazioni sportive comprendono barche, navi, imbarcazioni da diporto, lance a motore e case galleggianti, utilizzate esclusivamente per attività sportive e ricreative.

Le informazioni fornite si riferiscono solo a impianti di alimentazione in corrente alternata monofase a 230 V/50 Hz (ma sono utilizzabili in forma modificata anche per impianti di alimentazione trifase). Le prese di corrente fino a 63 A devono essere conformi alla norma CEI EN 60309-2 (CEI 23-122/2) (tipo CE, "prese blu").

Per motivi di protezione contro la corrosione, il conduttore di protezione di terra del sistema di alimentazione non deve essere connesso alle parti metalliche collegate a massa dell'imbarcazione. Il conduttore di protezione di terra del sistema di alimentazione non serve a proteggere le persone sullo yacht contro la folgorazione, poiché questo compito è svolto da un trasformatore di isolamento posto sull'imbarcazione, insieme a un dispositivo di protezione differenziale (Figura 9.34.4).

Collegamento equipotenziale

In generale, tutti i conduttori di protezione dell'elettronica di bordo e tutte le parti metalliche dell'imbarcazione devono essere collegati all'impianto equipotenziale comune (o di massa) dell'impianto di alimentazione. Questo accorgimento previene la formazione di scintille e tensioni di contatto pericolose. I conduttori in rame di protezione, che non portano correnti di fulmine, devono avere una sezione minima di 6 mm². A questo scopo devono essere utilizzati conduttori intrecciati, rigidi o flessibili. I conduttori flessibili sono preferibili a causa delle vibrazioni. In questo contesto si deve osservare che i conduttori possono essere danneggiati dall'ambiente corrosivo (solu-

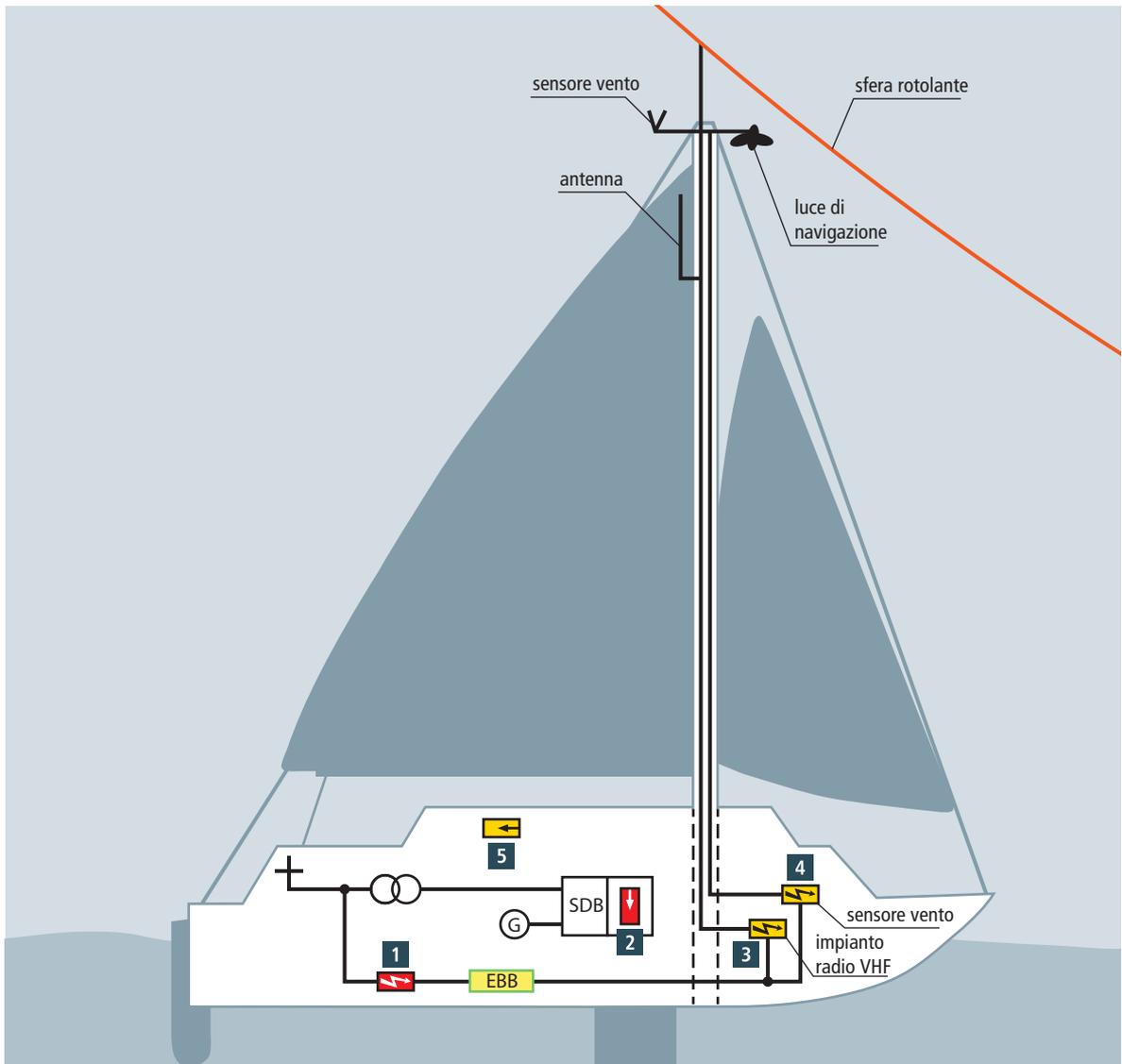
zione salina, umidità) e dai fenomeni di capillarità. Pertanto i capicorda alle estremità dei conduttori flessibili devono essere rivestiti con una guaina termoretraibile.

Protezione contro i fulmini interna / Protezione contro le sovratensioni

Uno scaricatore combinato installato direttamente nell'impianto di alimentazione può essere considerato come una delle più importanti misure di protezione (Figura 9.34.5). La necessità di un tale dispositivo è mostrata in base ai seguenti due scenari.

Se un fulmine colpisce l'asta di captazione o l'albero metallico della barca ormeggiata, mentre questa è alimentata con energia elettrica, il potenziale di questa imbarcazione aumenta rispetto al collegamento del sistema di alimentazione. Una parte della corrente di fulmine passa nell'acqua, quindi la scarica sul cavo di alimentazione in banchina dipende dalla conducibilità dell'acqua. Questa scarica può danneggiare i cavi e le attrezzature dell'imbarcazione e provocare un incendio. Tuttavia, è più probabile che un'imbarcazione ormeggiata e alimentata con energia elettrica sia danneggiata da un fulmine a terra. In questo caso la corrente scorre verso l'imbarcazione e provoca il danno descritto sopra.

Se è installato uno scaricatore combinato di tipo 1, è necessario garantire che il collegamento della massa o dell'equipotenzialità dell'imbarcazione al conduttore di protezione dell'impianto di alimentazione in banchina non provochi corrosione. I dispositivi di protezione contro le sovratensioni mostrati nella Figura 9.34.6 ritengono che la polarità (L,N) sia scambiata,



	Limitatore di sovratensione	Protezione per	Art.
1	DEHNventil DV M TN 255 DEHNgap DGP M 255	Impianti di alimentazione	951 200 961 101
2	DEHNguard DG M TT 2P 275	Quadro secondario	952 110
3	DEHNgate DGA AG N	Impianto radio VHF	929 045
4	BLITZDUCTOR BXT ML4 BE 24 + basetta BXT BAS	Sensore anemometrico per il sistema di navigazione	920 324 + 920 300
5	BLITZDUCTOR BXT ML4 BE 36 + basetta BXT BAS	Alimentazione del sistema di navigazione	920 336 + 920 300

Figura 9.34.5 Protezione da sovratensione elementare per un'imbarcazione da diporto (rispettare i dati tecnici forniti dal costruttore dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni)

il che è tipico delle prese di corrente dotate di massa (non conformi alle norme, come può succedere). In questo caso, si scambiano il conduttore di fase (L) e neutro (N) finché corrispondono ai collegamenti L e N dell'alimentazione dell'imbarcazione. Il maggior livello della tensione di protezione è sufficiente per la tensione di isolamento dell'avvolgimento primario.

A prescindere dal fatto che la barca sia realizzata in materiale metallico o non metallico, c'è il rischio che un fulmine colpisca, per esempio, il ricetrasmittitore di bordo, le antenne o sensori anemometrici installati sull'albero, danneggiando questi dispositivi e quelli posti a valle. Dato che queste apparecchiature si trovano all'interno del volume protetto (asta di captazione sull'albero), le fulminazioni sono poco probabili. Adeguati dispositivi di protezione contro le sovratensioni sono illustrati nella **Figura 9.34.5**.

Bisogna tener conto anche degli effetti delle sovratensioni indotte e delle sovratensioni di commutazione causate dai gruppi elettrogeni di bordo e dai sistemi UPS. In questo caso si consiglia di usare limitatori di sovratensione Tipo 2 (**Figura 9.34.6**).

Protezione delle persone

Le misure descritte nel capitolo relativo al collegamento equipotenziale riducono il rischio per le persone che si trovano sull'imbarcazione. In caso di temporale, le persone dovrebbero quindi:

- ➔ non stare sul ponte poiché possono verificarsi delle differenze di potenziale sulle superfici umide, con un rischio aggravato dalla pelle bagnata;
- ➔ non toccare il sartame, i corrimano o altri oggetti metallici;

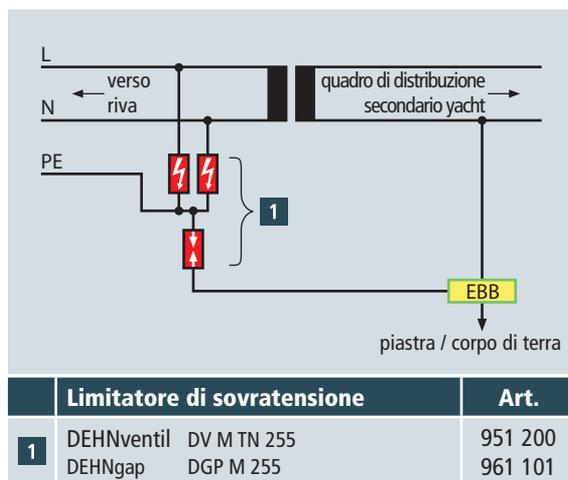


Figura 9.34.6 Dettaglio dell'impianto di alimentazione in banchina dotato di scaricatore combinato per la corrente di fulmine Tipo 1

- ➔ controllare il sistema di protezione antifulmine a intervalli regolari, senza attendere il temporale. In questo contesto, è importante verificare le buone condizioni del collegamento equipotenziale, cioè la connessione di tutti i conduttori metallici di bordo al sistema di protezione antifulmine.

Informazioni più dettagliate si trovano nel libro "Blitzschutz für Yachten Vertriebsges" [Protezione contro i fulmini per le imbarcazioni] di Michael Hermann, Palstek Verlag, Amburgo, 2011 (in lingua tedesca).



Allegato

A. Riferimenti

Norme CEI

CEI 64-8/1: 2012-06

Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua Parte 1: Oggetto, scopo e principi fondamentali (IEC 60364-1:2005, modificata) recepisce con modifiche HD 60364-1:2008-08

CEI 64-8/410: 2012-06

Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua Capitolo 4-41: Prescrizioni per la sicurezza – Protezione contro i contatti diretti ed indiretti (IEC 60364-4-41:2005, modificata) recepisce con modifiche la HD 60364-4-41:2007-01

CEI 64-8/443: 2012-06

Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua Capitolo 4-44: Prescrizioni per la sicurezza – Protezione contro le sovratensioni – Articolo 443: Protezione contro le sovratensioni di origine atmosferica o dovute a manovre (IEC 60364-4-44:2001 + A1:2003, modificata) recepisce con modifiche la HD 60364-4-443:2006-08

CEI 64-8/534: 2012-06

Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua Capitolo 5-53: Dispositivi di protezione, di sezionamento e di comando – Articolo 534: Limitatori di sovratensione (SPD) (IEC 60364-5-53: 2001/A1:2002, Capitolo 534 modificato) recepisce con modifiche la HD 60364-5-534:2008-08

CEI 64-8/54: 2012-06

Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua Capitolo 5-54: Messa a terra e conduttori di protezione (IEC 60364-5-54:2002, modificata) recepisce con modifiche la HD 60364-5-54:2007-02

CEI 64-8/717: 2012-06

Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua Capitolo 7-717: Ambienti ed applicazioni particolari

– Unità mobili o trasportabili (IEC 60364-7-717:2009, modificata) recepisce con modifiche la HD 60364-7-717:2009-07

CEI EN 41003

CEI 108-9: 2010-08 Requisiti particolari di sicurezza per apparecchiature da collegare a reti di telecomunicazione e/o a sistemi di distribuzione via cavo Identica a: EN 41003:2008-11

CEI EN 50178

CEI 22-15: 1999-03 Apparecchiature elettroniche da utilizzare negli impianti di potenza Identica a: EN 50178:1997-10

CEI EN 50514

CEI 108-10: 2015-05 Apparecchiature audio, video e per la tecnologia dell'informazione - Prove individuali per la verifica della sicurezza elettrica durante la fabbricazione Identica a: EN 50514:2008-11

CEI EN 50539-12

CEI 37-12: 2013-06 Limitatori di sovratensioni di bassa tensione - Limitatori di sovratensioni per applicazioni specifiche inclusa la c.c., Parte 12: Principi di scelta e applicazione - SPD connessi ad impianti fotovoltaici Identica a: CLC/TS 50539-12:2010-03

CEI CLC/TS 50539-22

CEI 37-15: 2012-08 Limitatori di sovratensioni di bassa tensione - Limitatori di sovratensioni per applicazioni specifiche, Parte 22: Scelta e principi applicativi - Applicazioni per turbine eoliche Identica a: CLC/TS 50539-22:2010-05

CEI CLC/TS 50544

CEI 37-13: 2011-04 Limitatori di sovratensioni di bassa tensione in c.c. per sistemi di trazione - Scelta e regole applicative per limitatori di sovratensioni Identica a: CLC/TS 50544:2010-02

CEI EN 60060-1

CEI 42-15: 2015-03 Tecniche di prova in alta tensione, Parte 1: Definizioni generali e prescrizioni di prova Identica a: EN 60060-1:2010-12

CEI EN 60099-1

CEI 37-1; Ab: 2015-01 Norma abrogata Scaricatori, Parte 1: Scaricatori a resistori non lineari con spinterometri per sistemi a corrente alternata Identica a: EN 60099-1:1994-05

CEI EN 60099-4

CEI 37-2: 2015-02 Scaricatori, Parte 4: Scaricatori ad ossido metallico senza spinterometri per reti elettriche a corrente alternata la presente sostituisce la EN 6009-4:2005-05;

CEI EN 60664-1

CEI 109-1: 2008-04 Coordinamento dell'isolamento per le apparecchiature nei sistemi a bassa tensione, Parte 1: Principi, prescrizioni e prove Identica a: EN 60664-1:2007-07

CEI EN 60728-11

CEI 100-126: 2014-03 Impianti di distribuzione via cavo per segnali televisivi, sonori e servizi interattivi, Parte 11: Sicurezza sostituisce la: EN 60728-11:2005-09;

CEI EN 61000-4-5

CEI 110-30: 2015-06 Compatibilità elettromagnetica (EMC), Parte 4-5: Tecniche di prova e di misura - Prova di immunità ad impulso sostituisce la: EN 61000-4-5:2007-10

CEI EN 61219

CEI 11-34: 1996-06 Lavori sotto tensione, apparecchio di messa a terra o di messa a terra ed in cortocircuito, utilizzando delle lance come dispositivo di messa in cortocircuito, messa a terra con lance

CEI EN 61230

CEI 11-40: 2012-01 Lavori sotto tensione - Dispositivi portatili di messa a terra o di messa a terra e in cortocircuito Identica a: EN 61230:2008-11

CEI EN 61243-1 + /A1

CEI 11-45; V1:2011-04 Lavori sotto tensione - Rivelatori di tensione, Parte 1: Rivelatori di tipo capacitivo utilizzati per tensioni alternate superiori a 1 kV Identica a: EN 61243-1:2005-03 + A1:2010-02

CEI EN 61243-2 + /A1 + /A2

CEI 11-50; V1 + V2: 2003-07 Lavori sotto tensione - Rivelatori di tensione, Parte 2: Rivelatori di tipo resistivo utilizzati per tensioni da 1kV a 36 kV in corrente alternata Identica a: EN 61243-2:1997-08 + A1:2000-01 + A2:2002-08

CEI EN 61243-3

CEI 11-56: 2015-07 Lavori sotto tensione - Rivelatori di tensione, Parte 3: Rivelatori bipolari a bassa tensione Identica a: EN 61243-3:2014-11

CEI EN 61643-11

CEI 37-8: 2014-04 Limitatori di sovratensioni di bassa tensione, Parte 11: Limitatori di sovratensioni connessi a sistemi di

bassa tensione - Prescrizioni e prove

CEI 37-11: 2014-11

Limitatori di sovratensioni di bassa tensione, Parte 12: Limitatori di sovratensioni connessi a sistemi di bassa tensione - Scelta e principi di applicazione sostituisce la: CLC/TS 61643-12, 2009-12, da utilizzare congiuntamente a CEI EN 61643-11:2004-02

CEI EN 61643-21 + /A1 + /A2

CEI 37-6; V1 + V2: 2014-11 Dispositivi di protezione dagli impulsi a bassa tensione, Parte 21: Dispositivi di protezione dagli impulsi collegati alle reti di telecomunicazione e di trasmissione dei segnali - Prescrizioni di prestazione e metodi di prova

CEI CLC/TS 61643-22

CEI 37-10: 2007-02 Limitatori di sovratensioni di bassa tensione, Parte 22: Limitatori di sovratensioni connessi alle reti di telecomunicazione e di trasmissione dei segnali, Scelta e principi applicativi Identica a: CLC/TS 61643-22:2006-04

CEI EN 62305-1

CEI 81-10/1: 2013-11 + EC1 Protezione contro i fulmini, Parte 1: Principi generali Identica a: EN 62305-1:2011

CEI EN 62305-2

CEI 81-10/2: 2013-11 + EC1 Protezione contro i fulmini, Parte 2: Valutazione del rischio Identica a: EN 62305-2:2012

CEI EN 62305-3

CEI 81-10/3: 2013-11 + EC1 Protezione contro i fulmini, Parte 3: Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone Identica a: EN 62305-3:2011

CEI EN 62305-4

CEI 81-10/4: 2013-11 + EC1 Protezione contro i fulmini, Parte 4: Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture Identica a: EN 62305-4:2011

CEI EN 62561-1

CEI 81-24: 2013-04 Componenti dei sistemi di protezione contro i fulmini Parte 1: Prescrizioni per i componenti di connessione

CEI EN 62561-2

CEI 81-25: 2013-04 Componenti dei sistemi di protezione contro i fulmini Parte 2: Prescrizioni per i conduttori di terra e i dispersori

CEI EN 62561-3

CEI 81-26: 2013-04 Componenti dei sistemi di protezione contro i fulmini Parte 3: Prescrizioni per gli spinterometri

CEI EN 62561-4

CEI 81-19: 2012-11 Componenti dei sistemi di protezione contro i fulmini, Parte 4: Prescrizioni per i componenti di fissaggio dei conduttori Identica a: EN 62561-4:2011-03

CEI EN 62561-5

CEI 81-20: 2012-11 Componenti dei sistemi di protezione contro i fulmini, Parte 5: Prescrizioni per la verifica di involucri di ispezione (pozzetti) e di componenti a tenuta per dispersori (passanti) Identica a: EN 62561-5:2011-08

CEI EN 62561-6

CEI 81-21:2012-11 Componenti dei sistemi di protezione contro i fulmini, Parte 6: Prescrizioni per contatori di corrente di fulmine Identica a: EN 62561-6:2011-09

CEI EN 62561-7

CEI 81-22: 2012-11 Componenti dei sistemi di protezione contro i fulmini, Parte 7: Prescrizioni per le miscele aventi caratteristiche avanzate per l'impianto di messa a terra Identica a: EN 62561-7:2012-03

CEI EN 50536

CEI 81-23: 2013-04 Protezione contro i fulmini - Sistemi di rilevamento di temporali

CEI 81-27

CEI 81-27: 2013-11 Guida d'applicazione all'utilizzo di limitatori di sovratensioni all'arrivo della linea di alimentazione degli impianti elettrici utilizzatori di bassa tensione

CEI 81-28

CEI 81-28: 2013-07 Guida alla protezione contro i fulmini degli impianti fotovoltaici

CEI 81-29

CEI 81-29: 2014-02 Linee guida per l'applicazione delle Norme CEI EN 62305

CEI 81-30

CEI 81-30: 2014-02 Protezione contro i fulmini – Reti di localizzazione fulmini (LLS) Linee guida per l'impiego di sistemi LLS per l'individuazione dei valori di Ng (Norma CEI EN 62305-2)

CEI EN 62858

CEI 81-31: 2016-07 Densità di fulminazione. Reti di localizzazione fulmini (LLS) - Principi generali Identica a: IEC 62858

CEI EN 61643-11

CEI 37-8: 2014-04 Limitatori di sovratensione a bassa tensione Parte 11: Limitatori di sovratensione connessi a sistemi di bassa tensione Prescrizioni e prove

CLC/TS 50539-12:2010

Dispositivi di protezione contro le sovratensioni a bassa tensione - Dispositivi di protezione per applicazioni specifiche, tra cui quelle in corrente continua - Parte 12: Principi di selezione e applicazione - SPD collegati a impianti fotovoltaici.

EN 1127-1:2011

Atmosfere esplosive - Prevenzione e protezione delle esplosioni - Parte 1: concetti fondamentali e metodologia.

EN 1993-3-1:2006

Eurocodice 3: Progettazione di strutture di acciaio - Parte 3-1: Torri, pali e ciminiera - Torri e piloni.

EN 10088-1:2014

Acciai inossidabili - Parte 1: Elenco degli acciai inossidabili.

EN 10088-3:2014

Acciai inossidabili - Parte 3: Condizioni tecniche di consegna per i semilavorati, barre, tondi, fili, sezioni e prodotti lucidi di acciai resistenti alla corrosione per uso generale.

EN 50162:2004

Protezione contro la corrosione da correnti vaganti generate da impianti a corrente continua.

EN 50174-2:2009

Informatica - Installazione di cavi - Parte 2: Pianificazione dell'installazione e pratiche all'interno di edifici.

EN 50308:2004

Turbine eoliche - Misure di protezione - Requisiti per la progettazione, il funzionamento e la manutenzione.

EN 50310:2010

Applicazione del collegamento equipotenziale e della messa a terra negli edifici con apparecchiature informatiche

EN 50341-1:2012

Linee elettriche aeree superiori a 45 kV CA - Parte 1: Prescrizioni generali - Specifiche comuni.

EN 50522:2010

Messa a terra degli impianti in corrente alternata con tensione superiore a 1 kV

IEC 60050-826:2004

Impianti a bassa tensione - Parte 200: Definizioni.

IEC 60068-2-52:1996 (EN 60068-2-52:1996)

Prove ambientali - Parte 2: Prove, prova Kb: nebbia salina, ciclico (soluzione di cloruro di sodio).

IEC 60079-11:2011 (EN 60079-11:2012)

Atmosfere esplosive - Parte 11: Protezione delle apparecchiature tramite sicurezza intrinseca "i".

IEC 60079-14:2007 (EN 60079-14:2008)

Atmosfere esplosive - Parte 14: Progettazione degli impianti elettrici, selezione e montaggio.

IEC 60309-2:1999 (EN 60309-2:1999)

Spine e prese per uso industriale - Parte 2: Prescrizioni per l'intercambiabilità dimensionale degli apparecchi con spinotti ed alveoli cilindrici.

IEC 60364-4-44:2007 (HD 60364-4-44:2010)

Impianti elettrici a bassa tensione - Parte 4-444: Protezione per la sicurezza - Protezione contro disturbi in tensione e i disturbi elettromagnetici

IEC 60364-5-53:2001 (HD 60364-5-53:2008)

Impianti elettrici a bassa tensione - Parte 5-53: Selezione e montaggio di impianti elettrici - Isolamento, comando e controllo - Clausola 534: Dispositivi di protezione contro le sovratensioni

IEC 60364-5-54:2011 (HD 60364-5-54:2011)

Impianti elettrici a bassa tensione - Parte 5-54: Selezione e montaggio degli impianti elettrici - Messa a terra e conduttori di protezione.

IEC 60364-7-701:2006 (HD 60364-7-701:2007)

Impianti elettrici a bassa tensione - Parte 7-701: Prescrizioni per gli impianti o posizioni speciali - Posizioni con vasca o doccia.

IEC 60364-7-705:2006 (HD 60364-7-705:2007)

Impianti elettrici a bassa tensione - Parte 7-705: Prescrizioni per gli impianti o posizioni speciali - Agricoltura e l'orticoltura.

IEC 60664-1:2007 (EN 60664-1:2007)

Coordinamento degli isolamenti per impianti a bassa tensione - Parte 1: Principi, prescrizioni e prove

IEC 60728-11:2010 (EN 60728-11:2010)

Impianti di distribuzione dei segnali televisivi, sonori e servizi interattivi - Parte 11: Sicurezza

IEC 61000-4-5:2005 (EN 61000-4-5:2006)

Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 4-5: Prove e tecniche di misurazione - Prova di immunità alle sovratensioni.

IEC 61000-4-9:1993 (EN 61000-4-9:1993)

Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 4-9: Prove e tecniche di misurazione - Prova di immunità ai campi magnetici impulsivi.

IEC 61000-4-10:1993 (EN 61000-4-10:1993)

Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 4-10: Prove e tecniche di misurazione - Prova di immunità ai campi magnetici oscillanti smorzati.

IEC 61400-24:2010 (EN 61400-24:2010)

Turbine eoliche - Parte 24: Protezione contro i fulmini.

IEC 61439-1:2011 (EN 61439-1:2011)

Apparecchiature di commutazione e controllo a bassa tensione - Parte 1: Regole generali.

IEC 61439-2:2011 (EN 61439-2:2011)

Apparecchiature di commutazione e controllo a bassa tensione - Parte 2: Gruppi di apparecchiature di commutazione e controllo di potenza.

IEC 61663-1:1999 (EN 61663-1:1999)

Protezione antifulmini - Linee di telecomunicazione - Parte 1: impianti a fibre ottiche.

IEC 61663-2:2001 (EN 61663-2:2001)

Protezione antifulmini - Linee di telecomunicazione - Parte 2: Linee con conduttori metallici.

IEC 61936-1:2010 (EN 61936-1:2010)

Impianti di alimentazione oltre 1 kV in corrente alternata - Parte 1: Norme comuni.

IEC 62271-202:2006 (EN 62271-202:2007)

Apparecchiature di commutazione e controllo ad alta tensione - Parte 202: Sottostazioni prefabbricate ad alta/bassa tensione

ISO 6988:1985 (EN ISO 6988:1994)

Rivestimenti metallici e non organici in genere - Prova con biossido di zolfo in presenza di formazione di condensa.

Norme, linee guida e regolamenti nazionali tedeschi

BGBI. N. 70 [Gazzetta ufficiale n. 70] del 27 settembre 2002 (pagina 3777)

Regolamento per la semplificazione della legislazione in materia di tutela della sicurezza e della salute per la fornitura di attrezzature di lavoro e il loro impiego, il funzionamento sicuro di sistemi che richiedono il monitoraggio e l'organizzazione della sicurezza e della salute sul lavoro (legge tedesca sulla salute e la sicurezza industriale, BetrSichV).

BGR 104 – Explosionsschutz-Regeln – Ex-RL – 2013-09

[Regolamento n. 104 dell'assicurazione sociale tedesca Istituzioni - Regolamenti per la protezione dalle esplosioni - Ex direttiva - 2013-09] Regolamenti per evitare i rischi delle atmosfere esplosive.

DIN 18014:2014

Dispensori di fondazione - Pianificazione, esecuzione e documentazione.

DIN 18384:2012

Procedure contrattuali dell'edilizia tedesca (VOB) - Parte C: specifiche tecniche generali nei contratti edili d'appalti (ATV) - Installazione delle protezioni antifulmine

DIN EN 1991-1-4/NA:2010

Allegato nazionale - Parametri specificati a livello nazionale - Eurocodice 1: Azioni sulle strutture - Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento

DIN VDE 0115-1:2002

Applicazioni ferroviarie - Costruzioni generali e requisiti di sicurezza - Parte 1: Requisiti supplementari.

Integrazione 1 alla norma tedesca DIN VDE 0845:2010

Protezione contro le sovratensioni delle apparecchiature informatiche (impianti IT)

DIN VDE 0855-300:2008

Impianti ricetrasmittenti con potenza in uscita del trasmettitore RF fino a 1 kW - Parte 300: requisiti di sicurezza

DIN V VDE V 0185-600:2008

Verifica dell'idoneità dei tetti metallici rivestiti come elementi naturali del impianto di protezione antifulmine

DIN V VDE V 0800-2:2011

Tecnologia informatica - Parte 2: collegamenti equipotenziali e di terra (specifiche aggiuntive)

Germanischer Lloyd

Linee Guida, capitolo IV: Tecnologia non marittima, sezione 1: Linee guida per la certificazione delle turbine eoliche

Legge sulla sicurezza tedesca sulle attrezzature e i prodotti (ProdSG) del 1° dicembre 2011.

Linee Guida VDN:2004

Dispositivi di protezione contro le sovratensioni Tipo 1 - Linee guida per l'uso dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni (SPD) Tipo 1 negli impianti di rete; Seconda edizione, VWEW Energieverlag GmbH, Frankfurt.

Linee Guida VDN 2031:2010

Protezione contro fulmini e sovratensioni negli impianti elettrici - Linee guida per la prevenzione dei danni; VdS Schadenverhütung im Gesamtverband der Schadenversicherer e.V. (GDV), Colonia

Libri e pubblicazioni

Ackermann, G. , Hoenl, R.: Schutz von IT-Anlagen gegen Überspannungen [Protezione dei sistemi IT contro le sovratensioni]

Serie VDE, volume 119, VDE Verlag GmbH, Berlino, Offenbach, 2006

Simona, P. , Pfister N. , Seitz T.: Dimensionierung von Erdungsanlagen un Transformatorstationen [Dimensionamento degli impianti di messa a terra nelle cabine di trasformazione]

Netzpraxis np, Parte 1: 03/2011 edizione (pagine da 32 a 35), Parte 2: 04/2011 edizione (pagine da 22 a 26), EW Medien und Kongresse GmbH, Francoforte sul Meno, 2011

Birkel, J., Böhm T., Diendorfer, G., Pichler, H., Shulzhenko E., Zahlmann P.: Mobiles Messsystem zur Blitzstromerfassung [Sistemi mobili di misura per la rilevazione dei fulmini]

etz elektrotechnik & automation, 7/2011 edizione (pagine da 40 a 47), VDE Verlag GmbH, Berlino e Offenbach, 2011

Brocke R., Müller K.-P., Suchanek S.: Steuerung der Schrittspannung bei Blitzschutzanlagen [Controllo della tensione di passo per impianti antifulmine]

elektropraktiker, 02/2012 edizione (pagine da 116 a 119), HUSS-MEDIEN GmbH, Berlino, 2012

Hasse, P.; Wiesinger, J., Zischank W.: Handbuch für Blitzschutz und Erdung [Manuale della protezione antifulmine e della messa a terra]

Pflaum Verlag KG, Monaco, 2006

Hasse, P.: Protezione contro le sovratensioni negli impianti a bassa tensione

TÜV-Verlag GmbH, Colonia, 1998

Hermann, M.: Blitzschutz auf Yachten [Protezione antifulmine per imbarcazioni da diporto]

Palstek Verlag, Amburgo, 2011

Kopecky, V.: Erfahrungen beim Prüfen von Blitzschutzsystemen [Prove su vari impianti di protezione antifulmine]

elektropraktiker, 02/2008 edizione, HUSS-MEDIEN GmbH, Berlino, 2008

Kulka, Jürgen, Dr.: Die Betriebssicherheitsverordnung – eine Umsetzungshilfe [Ordinanza tedesca della sicurezza industriale – Guida applicativa]

Staatliches Amt für Arbeitsschutz Essen, Zentrum für Umwelt und Energie der Handwerkskammer Düsseldorf, Nieder-rheinische Industrie- und Handelskammer, Duisburg/Wesel/Kleve, 2005

Landers E. U., Zahlmann P.: EMV – Blitzschutz von elektrischen und elektronischen Systemen in baulichen Anlagen [EMC – Protezione antifulmine degli impianti elettrici ed elettronici nelle strutture]

Gestione del rischio, progettazione e installazione secondo la nuova normativa DIN VDE 0185-305:2011, VDE, volume 185, terza edizione completamente rivista ed estesa, VDE Verlag GmbH, Berlino e Offenbach, 2013

Pfister, N.; Rother, C.; Seger, S.: Komponenten des äußeren Blitzschutzes [Componenti della protezione antifulmini esterna]

de das elektrohandwerk, 20/2010 edition (pagine da 30 a 34), Hüthig & Pflaum Verlag GmbH & Co. Fachliteratur KG, Monaco, 2010

Raab, V.: Überspannungsschutz von Verbraucheranlagen – Auswahl, Errichtung, Prüfung [Protezione contro le sovratensioni per gli impianti dell'utenza – Selezione, installazione e ispezione]

HUSS-Medien GmbH, Verlag Technik, Berlino, 2003

Rudolph, W.; Winter, O.: EMV nach VDE 0100 – EMV für elektrische Anlagen von Gebäuden [EMC secondo la VDE 0100 – EMC per impianti elettrici degli edifici]

Messa terra e collegamento equipotenziale secondo la norma EN 50130, impianti TN, TT e IT, prevenzione delle spire induttive, schermatura, reti locali, serie VDE, volume 66, terza

edizione completamente rivista, VDE Verlag GmbH, Berlino e Offenbach, 2000

Schmolke, H.: DIN VDE 0100 richtig angewandt – Errichten von Niederspannungsanlagen übersichtlich dargestellt [Corretta applicazione della norma DIN VDE 0100 – Chiara panoramica dell'installazione degli impianti a bassa tensione]

VDE serie, volume 106, terza edizione aggiornata e rivista, VDE Verlag GmbH, Berlino e Offenbach, 2013

Informativa VDB 12: Metodo della sfera rotolante

Esame delle aree soggette a fulminazione in base agli esempi della cattedrale di Aachen, 1998

Wettingfeld, K.: Explosionsschutz nach DIN VDE und BetrSichV [Protezione contro le esplosioni secondo la normativa DIN VDE e BetrSichV]

Introduzione pratica alle direttive, ai regolamenti, alle regole tecniche e alle norme da rispettare per la protezione contro le esplosioni – Direttiva CE 94/9 – Ordinanza tedesca in materia di sicurezza industriale – TRBS – DIN EN 60079-xx (VDE 0165-xx), serie VDE, volume 65, quarta edizione completamente riveduta, VDE Verlag GmbH, Berlino e Offenbach, 2009

Wetzel, G. R.; Müller, K. P.: EMV-Blitzschutz [Protezione antifulmine EMC]

Prima conferenza sulla protezione antifulmine VDE/ABB, 29 Febbraio / 1 Marzo 1996, Kassel: Protezione antifulmine per edifici e impianti elettrici, VDE Verlag GmbH, Berlino e Offenbach, 1996

Collegamenti

BLIDS Informationsdienst von Siemens [Servizio informazioni sui fulmini Siemens] (in Tedesco)

www.blids.de

Comitato per la protezione e la ricerca antifulmini presso il VDE

<http://www.vde.com/en>

**DEHN software
DEHNSupport**

Software di progettazione per i sistemi di protezione contro i fulmini

B. Figure e tabelle

Figura 2.1.1	Fulmine discendente (fulmine nube-terra)	16	Tabella 3.2.3.2	Fattore di installazione C_I	38
Figura 2.1.2	Meccanismo di scarica di un fulmine discendente negativo (fulmine nube-terra)	17	Tabella 3.2.3.3	Fattore del tipo di linea C_T	38
Figura 2.1.3	Meccanismo di scarica di un fulmine discendente positivo (fulmine nube-terra)	17	Tabella 3.2.3.4	Fattore ambientale C_E	38
Figura 2.1.4	Fulmine ascendente (fulmine terra-nube)	17	Tabella 3.2.4.1	Valori della probabilità P_{TA} che la fulminazione di una struttura possa causare folgorazioni per gli esseri viventi a causa di pericolose tensioni di contatto e di passo	40
Figura 2.1.5	Meccanismo di scarica di un fulmine ascendente negativo (fulmine terra-nube)	18	Tabella 3.2.4.2	Probabilità di danno P_B che descrive le misure di protezione contro i danni fisici	40
Figura 2.1.6	Meccanismo di scarica di un fulmine ascendente positivo (fulmine terra-nube)	18	Tabella 3.2.4.3	La probabilità di danno P_{SPD} definisce la protezione coordinata contro le sovratensioni in funzione del livello di protezione contro i fulmini (LPL)	40
Figura 2.1.7	Possibili componenti di un fulmine discendente	19	Tabella 3.2.4.4	Valori dei fattori C_{LD} e C_{LI} che dipendono dalla schermatura, dalla messa a terra e dalle condizioni di isolamento	41
Figura 2.1.8	Possibili componenti di un fulmine ascendente.	19	Tabella 3.2.4.5	Valore del fattore K_{S3} che dipende cablaggio interno.	42
Figura 2.2.1	Distribuzione del potenziale elettrico in caso di caduta di un fulmine su un terreno omogeneo.	20	Tabella 3.2.4.6	Valori di probabilità P_{TU} che un fulmine su una linea entrante causi folgorazioni a esseri viventi a causa di tensioni di contatto e di passo pericolose.	42
Figura 2.2.2	Animali morti in seguito a folgorazione da tensione di passo	20	Tabella 3.2.4.7	La probabilità di danno P_{EB} definisce la "protezione equipotenziale antifulmine" in funzione del livello di protezione contro i fulmini (LPL)	42
Figura 2.2.3	Aumento del potenziale elettrico del dispersore di un edificio rispetto al potenziale di terra remoto, provocato dal valore di picco della corrente di fulmine	20	Tabella 3.2.4.8	Valori di probabilità P_{LD} in funzione della resistenza del cavo schermato R_C e della tensione di tenuta agli impulsi U_W dell'apparecchiatura	43
Figura 2.2.4	Rischio per impianti elettrici risultante da un aumento del potenziale del dispersore.	20	Tabella 3.2.4.9	Valori della probabilità P_{LI} in funzione del tipo di linea e della tensione di tenuta agli impulsi U_W dell'apparecchiatura	43
Figura 2.3.1	Tensione ad onda quadra indotta in un circuito a causa della pendenza $\Delta i/\Delta t$ della corrente di fulmine	21	Tabella 3.2.5.1	Valori del fattore di riduzione r_i in funzione del tipo di terreno o suolo	44
Figura 2.3.2	Esempio di calcolo per tensioni ad onda quadra indotte in spire a forma quadrata	21	Tabella 3.2.5.2	Valori del fattore di riduzione r_p in funzione delle misure adottate per ridurre le conseguenze dell'incendio	44
Figura 2.4.1	Conversione di energia nel punto di abbattimento del fulmine attraverso la carica della corrente di fulminazione	22	Tabella 3.2.5.3	Valori del fattore di riduzione r_r in funzione del rischio di incendio di una struttura	45
Figura 2.4.2	Effetti dell'arco elettrico del colpo breve su una superficie metallica	22	Tabella 3.2.5.4	Valori del fattore h_z che aumentano il valore relativo di una perdita L1 (perdita della vita umana) in caso di rischi particolari	45
Figura 2.4.3	Perforazione di lamiere prodotte dall'azione di archi elettrici di corrente a lunga durata	22	Tabella 3.2.5.5	Tipo di perdita L1: valori tipici medi di L_T , L_F e L_O	45
Figura 2.5.1	Aumento della temperatura e forza risultante dall'energia specifica della corrente di fulmine	23	Tabella 3.2.5.6	Tipo di perdita L2: valori tipici medi di L_F e L_O	46
Figura 2.5.2	Forza elettrodinamica tra conduttori paralleli	24	Tabella 3.2.5.7	Tipo di perdita L3: valori tipici medi di L_F	47
Figura 2.8.1	Misure di corrente di fulmine effettuate dal gruppo di ricerca austriaco ALDIS e DEHN al traliccio trasmittente ORS posto sulla sommità del monte Gaisberg presso Salisburgo	26	Tabella 3.2.5.8	Tipo di perdita L4: valori rilevanti in funzione del tipo di perdita	47
Figura 2.8.2	Colpo lungo con impulsi di corrente sovrapposti in un fulmine ascendente con carica complessiva di circa 405 As, registrato al traliccio trasmittente di Gaisberg durante una tempesta invernale	26	Tabella 3.2.5.9	Tipo di perdita L4: valori tipici medi per L_T , L_F e L_O	48
Figura 2.8.3	Fulmine negativo discendente Componente M (in alto) e corrente parziale di fulmine in una linea di alimentazione (in basso), registrati al traliccio trasmittente di Gaisberg	26	Tabella 3.2.6.1	Componenti di rischio per diversi punti di impatto (fonti di danno) e tipi di danno	49
Figura 3.2.3.1	Densità di fulmini al suolo in Italia (media dal 2010 al 2015) (fonte: CESI - SIRF)	37	Tabella 3.2.7.1	Valori tipici del rischio accettabile R_T	49
Figura 3.2.3.2	Area di raccolta equivalente A_D per fulmini diretti su una struttura isolata	38	Tabella 3.2.8.1	Misure di protezione contro fulmini e sovratensioni e loro influenza sulle singole componenti di rischio.	50
Figura 3.2.3.3	Area di raccolta equivalente A_M , A_L , A_I per fulminazione indiretta della struttura.	38	Tabella 3.2.9.1	Parametri per la stima del valore totale c_t (EN 62305-2)	51
Figura 3.2.8.1	Diagramma di flusso per la determinazione della necessità di protezione e per selezionare le misure di protezione in caso di perdite del tipo da L1 a L3	49	Tabella 3.2.9.2	Parti per stimare i valori c_a , c_b , c_c , c_s (CEI EN 62305-2)	51
Figura 3.2.9.1	Diagramma di flusso per la selezione delle misure di protezione in caso di danno economico.	51	Figura 3.3.1	Schermata di avvio del software di supporto DEHNsupport Toolbox.	53
Tabella 3.2.1.1	Fonti di danno, i tipi di danni e tipi di perdite a seconda del punto di impatto	35	Figura 3.3.1.1	Calcolo dell'area di raccolta	54
Tabella 3.2.3.1	Fattore di posizione C_D	38	Figura 3.3.1.2	Software DEHN Risk Tool, suddivisione in zone.	55
			Figura 3.3.1.3	Software DEHN Risk Tool, valutazione dei rischi	55
			Figura 3.3.3.1	Software DEHN Earthing Tool, impianto di dispersori tipo A	58
			Figura 3.3.4.1	Software DEHN Air-Termination Tool, tetto a due spioventi con sistema PV	59

Tabella 3.3.1.1	Software DEHN Risk Tool, misure (estratto)	56	Figura 5.1.5.1	Impianto di captazione per edifici con copertura morbida .	82
Figura 3.3.2.1.1	Legge di Kirchhoff con i nodi	57	Figura 5.1.5.2	Componenti per copertura morbida	82
Figura 3.3.2.1.2	Legge di Kirchhoff: esempio di edificio con una maglia sul tetto	57	Figura 5.1.5.3	Copertura morbida	83
Figura 3.3.2.1.3	Legge di Kirchhoff: esempio di edificio con impianto di captazione	57	Figura 5.1.5.4	Fattoria storica con impianto di protezione esterno (Fonte: Hans Thormählen GmbH & Co.KG.)	83
Figura 3.3.2.1.4	Resistenze dell'edificio	57	Figura 5.1.5.5	Sezione dell'edificio principale	83
Figura 3.3.2.1.5	Equazione al nodo	58	Figura 5.1.5.6	Schema e illustrazione dell'installazione della calata lungo le capriate.	84
Tabella 3.4.1.1	Periodo massimo tra i controlli di un LPS, secondo la Tabella E.2 della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)	60	Figura 5.1.5.7	Conduttura HVI attraverso il cornicione	84
Figura 4.1	Componenti di un sistema di protezione contro i fulmini.	64	Figura 5.1.6.1	Protezione contro i fulmini per tetti ad uso parcheggio - Protezione dell'edificio	85
Figura 4.2	Sistema di protezione contro i fulmini (LPS - Lightning Protection System)	64	Figura 5.1.6.2	Protezione contro i fulmini per tetti ad uso parcheggio - Protezione dell'edificio e delle persone (CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3); Allegato E)	85
Figura 5.1.1	Metodo per la definizione dei dispositivi di captazione su edifici alti	66	Figura 5.1.7.1	Tetto verde	86
Figura 5.1.1.1	Canale ascendente in partenza, che determina il punto di impatto del fulmine.	67	Figura 5.1.7.2	Impianto di captazione su tetto verde	86
Figura 5.1.1.2	Modello della sfera rotolante Fonte: Prof. Dr. A. Kern, Aquisgrana, Germania	67	Figura 5.1.7.3	Posa del conduttore sopra il manto di copertura	86
Figura 5.1.1.3	Utilizzo schematico del metodo della sfera rotolante su un edificio con una superficie molto irregolare	68	Figura 5.1.8.1	Rischio derivante dal collegamento diretto delle costruzioni sul tetto.	87
Figura 5.1.1.4	Nuovo edificio amministrativo: modello con la sfera rotolante secondo la classe LPS I. Fonte: WBG Wiesinger.	69	Figura 5.1.8.2	Impianto di captazione isolato – Protezione mediante asta di captazione	87
Figura 5.1.1.5	Nuovo edificio della sede amministrativa dell'assicurazione DAS: zone a rischio di fulminazione per classe di protezione I nella vista dall'alto (estratto) Fonte: WBG Wiesinger.	69	Figura 5.1.8.3	Asta di captazione con distanziatore.	87
Figura 5.1.1.6	Duomo di Aquisgrana: modello con ambiente circostante e sfere rotolanti per classi di protezione II e III Fonte: Prof. Dr. A. Kern, Aquisgrana, Germania	69	Figura 5.1.8.4	Sostegno angolare dell'asta di captazione	88
Figura 5.1.1.7	Profondità di penetrazione p della sfera rotolante	70	Figura 5.1.8.5	Fissaggio dell'asta di captazione	88
Figura 5.1.1.8	Impianto di captazione per strutture sul tetto e volume protetto.	70	Figura 5.1.8.6	Sistema di captazione isolato per l'impianto fotovoltaico	88
Figura 5.1.1.9	Calcolo Δh con diverse aste di captazione secondo il metodo della sfera rotolante	70	Figura 5.1.8.7	Impianto di captazione isolato per strutture sul tetto	88
Figura 5.1.2.1	Dispositivo di captazione su tetto a doppio spiovente	76	Figura 5.1.8.8	Posizionamento di un palo componibile in acciaio per la protezione contro i fulmini	88
Figura 5.1.2.2	Altezza della struttura sul tetto di materiale non conduttivo (ad es. PVC), $h \leq 0,5$ m.	76	Figura 5.1.8.9	Impianto di captazione sospeso fonte: Blitzschutz Wettingfeld, Krefeld, Germania	89
Figura 5.1.2.3	Dispositivo di captazione supplementare per tubi di sfianto	76	Figura 5.1.8.10	Tripode per aste indipendenti.	89
Figura 5.1.2.4	Edificio con impianto fotovoltaico e distanza di isolamento sufficiente. Fonte: Blitzschutz Wettingfeld, Krefeld, Germania	77	Figura 5.1.8.11	Dispositivo di captazione isolato con DEHNiso Combi	89
Figura 5.1.2.5	Antenna con asta di captazione isolata.	77	Figura 5.1.8.12	Staffa di fissaggio di una guida per palo di sostegno DEHNiso Combi	89
Figura 5.1.3.1	Dispositivo di captazione su un tetto piano	77	Figura 5.1.8.13	Dispositivo di captazione isolato con DEHNiso Combi	90
Figura 5.1.3.2	Applicazione pratica delle aste di captazione	78	Figura 5.1.9.1	Posa del la calata su un campanile	91
Figura 5.1.3.3	Treccia di collegamento della scossalina	78	Figura 5.1.10.1	Impianto eolico con ricettori integrati nelle pale	91
Figura 5.1.3.4	Esempio per la protezione di una scossalina metallica quando non è ammessa la perforazione (vista frontale)	78	Figura 5.1.10.2	Protezione contro i fulmini gli anemometri di una turbina eolica	91
Figura 5.1.3.5	Guaina impermeabilizzante - staffa portafilo per tetto piano tipo KF / KF2	79	Figura 5.1.11.1	Protezione dalle scariche dirette con aste indipendenti	92
Figura 5.1.4.1	Copertura metallica, esecuzione con ribordatura tonda	80	Figura 5.1.11.2	Metodo per la disposizione degli organi di captazione su edifici secondo CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)	93
Figura 5.1.4.2	Esempio di danno su copertura in lamiera	80	Figura 5.1.11.3	Asta di captazione indipendente con treppiede	94
Figura 5.1.4.3	Impianto di captazione per coperture in metallo - Protezione contro la perforazione	80	Figura 5.1.11.4	Suddivisione della Germania in zone di ventosità. Fonte: DIN EN 1991-1-4/NA: Azione sulle strutture - Parti 1-4: Azioni generiche – Azione del vento	94
Figura 5.1.4.5	Installazione-tipo di una copertura in lamiera grecata, staffa portafilo con cavallotto.	81	Figura 5.1.11.5	Confronto del momento flettente su aste di captazione indipendenti con e senza sostegno (lunghezza = 8,5 m)	95
Figura 5.1.4.6	Installazione-tipo per una copertura con ribordatura.	81	Figura 5.1.11.6	Modello FEM dell'asta di captazione indipendente senza sostegno (Lunghezza = 8,5 m)	95
Figura 5.1.4.4b	Staffa portafilo per tetto in metallo - Ribordatura tonda	81	Figura 5.1.11.7	Modello FEM dell'asta di captazione indipendente con sostegno (Lunghezza = 8,5 m).	96
Figura 5.1.4.7	Asta di captazione per lucernari su copertura con ribordatura tonda	81	Figura 5.1.12.1	Cavo di sicurezza su un tetto piano	97
			Figura 5.1.12.2	Installazione non corretta: il cavo di sicurezza interseca i captatori	97
			Figura 5.1.12.3	Integrazione dei cavi di sicurezza (anticaduta) nel sistema dei captatori	97
			Figura 5.1.12.4	Struttura con tetto piano - Particolare	98

Figura 5.1.12.5	Esempio di posa: gruppo di collegamento per captatori . . .	98	Figura 5.1.1.20	Sistema di protezione contro i fulmini isolato con due pali isolati secondo il metodo dell'angolo di protezione: proiezione su una area verticale	74
Figura 5.2.3.1	Pali di captazione isolati dalla struttura	104	Figura 5.1.1.21	Sistema di protezione contro i fulmini isolato, composto da due pali di captazione isolati, collegati tramite una fune di captazione: proiezione su un'area verticale attraverso due pali	75
Figura 5.2.3.2	Pali di captazione con funi sospese	104	Tabella 5.1.1.5	Spessore minimo delle lamiere metalliche	75
Figura 5.2.3.3	Pali di captazione con funi tese con collegamenti trasversali (maglie).	104	Tabella 5.1.4.1	Protezione contro i fulmini per coperture in metallo - Altezza delle punte di captazione.	80
Figura 5.2.4.1	Formazione di una scarica in superficie su una calata isolata senza rivestimento speciale	105	Figura 5.1.4.4a	Staffa portafilo per tetto in metallo - Lamiera con ribordatura tonda	81
Figura 5.2.4.2	Componenti di un conduttura HVI	105	Tabella 5.2.1.1	Valori tipici della distanza tra le calate secondo CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)	99
Figura 5.2.4.3	Principio di funzionamento di un terminale / controllo di campo	106	Tabella 5.2.2.1	Aumento della temperatura ΔT in K per vari materiali conduttori	99
Figura 5.2.4.4	Vari tipi di condutture HVI	107	Figura 5.2.2.1.1	Spira in una calata	100
Figura 5.2.4.5	Protezione di un sistema PV con conduttura HVI leggera	107	Figura 5.2.2.1.2	Calate	100
Figura 5.2.4.6	Collegamento di una conduttura DEHNcon-H (conduttura HVI leggera I) all'impianto di messa a terra	108	Figura 5.2.2.1.3	Organo di captazione con collegamento alla grondaia	100
Figura 5.2.4.7	Protezione di un edificio residenziale con conduttura DEHNcon-H (conduttura HVI leggera I)	108	Figura 5.2.2.1.4	Collegamento di terra di una calata	100
Figura 5.2.4.8	Protezione di un impianto a biometano con una conduttura HVI I	108	Figura 5.2.2.2.1	Utilizzo di elementi naturali - Nuove strutture in elementi prefabbricati in calcestruzzo	102
Figura 5.2.4.9	Posa di una conduttura HVI III con terminale.	109	Figura 5.2.2.2.2	Sottostruttura metallica con giunzioni per la continuità elettrica.	102
Figura 5.2.4.10	Posa di una conduttura HVI di potenza.	109	Figura 5.2.2.2.3	Collegamento a terra della facciata metallica	102
Figura 5.2.4.11	Zona terminale	110	Figura 5.2.2.2.4	Calata lungo il pluviale	102
Figura 5.2.4.12	Utensile spellacavi HVI	110	Figura 5.2.2.3.1	Punto di sezionamento con numero di identificazione	102
Figura 5.2.4.13	Integrazione di un'antenna nell'esistente impianto di protezione contro i fulmini tramite conduttura HVI	111	Figura 5.2.2.4.1	Captatori per tetti di grande superficie - Calate interne	103
Figura 5.2.4.14	Conduttura HVI installata su un traliccio radio	111	Figura 5.2.2.5.1	Dispositivi di discesa per cortili interni	103
Figura 5.2.4.15	Conduttura HVI installata su un sistema di misura e controllo	112	Tabella 5.2.4.1	Parametri di una conduttura HVI	107
Figura 5.2.4.16	Versione per l'impiego in aree pericolose 1, facciate metalliche	112	Figura 5.4.1	Esempi dettagliati di una protezione contro i fulmini esterna su una struttura con tetto a falda e tegole	115
Figura 5.2.4.17	Versione per l'impiego in aree pericolose 2, facciate metalliche	112	Figura 5.4.2	Asta di captazione per camino	115
Figura 5.2.4.18	Protezione di un fermentatore a biogas con un conduttura HVI I	112	Figura 5.4.3	Applicazione su tetto piano	115
Tabella 5.1.1.1	Relazioni tra livello di protezione, probabilità di intercettazione E_t , distanza della scarica finale h_b e minimo valore di picco della corrente I. Fonte: Tabella 5 della norma CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1)	68	Figura 5.4.4	Misure per dispersori ad anello.	115
Tabella 5.1.1.2	Profondità di penetrazione della sfera rotolante in caso di due aste di captazione oppure due conduttori di captazione paralleli.	70	Figura 5.4.5	Punti a rischio di corrosione	115
Tabella 5.1.1.3	Larghezza delle maglie	71	Figura 5.4.2.2	Staffa portafilo DEHNSnap e DEHNgrip	119
Figura 5.1.1.10	Dispositivo di captazione a maglie	71	Figura 5.4.3.1	Staffa portafilo con DEHNSnap per tegola di colmo	120
Figura 5.1.1.11	Angolo di protezione e raggio della sfera rotolante confrontabile	71	Figura 5.4.3.2	Staffa portafilo DEHNSnap e DEHNgrip	120
Figura 5.1.1.12	Angolo di protezione α in funzione dell'altezza h in base alla classe di protezione	71	Figura 5.4.3.3	FIRSTSnap per il montaggio su staffa di colmo già esistente	120
Figura 5.1.1.13	Volume protetto a forma di cono	71	Figura 5.4.3.6	Staffa portafilo per l'adattamento diretto alla sagoma delle scanalature	121
Figura 5.1.1.14	Esempio di impianto di captazione con angolo di protezione α	72	Figura 5.4.3.7	Staffa portafilo per tetti per aggancio nella scanalatura inferiore della tegola	121
Figura 5.1.1.15	Area protetta da una fune di captazione	72	Figura 5.4.3.8	ZIEGELSnap, per il fissaggio tra tegole piatte o lastre	121
Figura 5.1.1.16	Volume protetto da un'asta di captazione verticale	72	Figura 5.4.3.4	Staffa portafilo UNISnap per tetti con graffa punzonata - Utilizzo su tegole marsigliesi e tegole piatte	120
Tabella 5.1.1.4	Angolo di protezione α in funzione della classe di protezione LPS	73	Figura 5.4.3.5	Staffa portafilo per tetti con graffa punzonata - Utilizzo su tetti in ardesia	120
Figura 5.1.1.17	Protezione di piccole strutture sul tetto da fulminazione diretta con aste di captazione	74	Figura 5.4.3.9	Staffa portafilo per tetti PLATTENsnap per costruzioni sovrapposte	121
Figura 5.1.1.18	Tetto a falda con staffe portafilo	74	Tabella 5.4.1.1	Calcolo della dilatazione termica ΔL dei conduttori metallici nella protezione contro i fulmini	116
Figura 5.1.1.19	Tetto piano con aste di captazione e staffe portafilo: protezione per lucernari	74	Tabella 5.4.1.2	Elementi di dilatazione nella protezione contro i fulmini - Applicazione raccomandata	116
			Figura 5.4.1.1	Dispositivo di captazione - Compensazione della dilatazione con treccie di collegamento	116
			Figura 5.4.2.1a	Protezione contro i fulmini esterna di una struttura industriale	117
			Figura 5.4.2.1b	Protezione contro i fulmini esterna per un'abitazione	118

Tabella 5.4.2.1a	Elementi per la protezione contro i fulmini esterna di un'abitazione	117	Figura 5.7.2.2	Sistema di riferimento per informazioni sulla tensione di passo	167
Tabella 5.4.2.1b	Elementi per la protezione contro i fulmini esterna di un'abitazione	118	Figura 5.7.2.3	Confronto tra tensioni di passo nel modello di riferimento con vari dispersori di terra. Senza considerare la ionizzazione del suolo (a sinistra), considerando la ionizzazione del suolo (a destra).	167
Figura 5.5.1	Potenziale di superficie e tensioni su dispersore di fondazione FE e dispersore di controllo SE percorso da corrente	122	Figura 5.7.2.4	Persona a cui viene applicata la tensione di passo dalla superficie del terreno.	167
Figura 5.5.2	Corrente in uscita da un dispersore a sfera.	124	Figura 5.7.2.5	Modello molto semplificato di un corpo umano per valutare la sua reazione alla tensione di passo (in rosso)	167
Figura 5.5.3	Resistenza di terra RA di un dispersore sferico Ø 20 cm a 3 m di profondità con $\rho_E = 200 \Omega m$ in base alla distanza x dal centro della sfera	124	Figura 5.7.2.6	Reazione di un corpo umano all'aumento della tensione di passo	168
Figura 5.5.4	Resistività del terreno ρ_E con diversi tipi di terreni	125	Figura 5.7.2.7	Confronto tra tensioni di passo nel modello di riferimento di vari dispersori ad anello, considerando il fattore di correzione che tiene conto della reazione del corpo umano. La ionizzazione del suolo non viene considerata (sinistra), viene considerata (destra).	168
Figura 5.5.5	Resistività del terreno ρ_E in base alla stagione senza l'influenza delle precipitazioni (profondità di interrimento del dispersore < 1,5m)	126	Tabella 5.7.2.1	Valori limite per la tensione di passo/corpo secondo varie fonti	166
Figura 5.5.6	Determinazione della resistività del terreno ρ_E con un ponte di misura a quattro morsetti secondo il metodo WENNER	126	Tabella 5.7.2.2	Simulazione dei risultati con e senza la reazione del corpo umano all'aumento della tensione di passo	168
Figura 5.5.7	Dipendenza della resistenza di terra R_A dalla lunghezza l del dispersore orizzontale con diversa resistività del terreno ρ_E	126	Figura 5.8.1	Prove in camera a nebbia salina	169
Figura 5.5.8	Tensione di terra U_E tra il conduttore di terra e la superficie del terreno, in base alla distanza dal dispersore per una bandella (lunga 8 m) a profondità diverse	127	Figura 5.8.2	Prova in una camera di Kesternich	169
Figura 5.5.9	Massima tensione di passo US in base alla profondità di interrimento per un elettrodo di terra rettilineo	127	Figura 5.8.3	Elementi nuovi e invecchiati artificialmente	171
Figura 5.5.10	Dipendenza della resistenza di terra RA dei dispersori dalla lunghezza l dei dispersori con diversa resistività del terreno ρ_E	127	Figura 5.8.4	Combinazione di prove per morsetti MV (a croce e in parallelo)	172
Figura 5.6.1	Principio della distanza di isolamento	154	Figura 5.8.5	Campioni (morsetti MV) fissati a una piastra isolante per una prova di laboratorio a corrente impulsiva	172
Figura 5.6.2	Fattori di materiale con asta di captazione su un tetto piano	155	Figura 5.8.6	Prova a trazione dei conduttori.	172
Figura 5.6.3	k_m in caso di materiali diversi con intercapedine d'aria	156	Figura 5.8.7	Scarica disruptiva attraverso un distanziale in vetroresina DEHNiso	173
Figura 5.6.4	k_m in caso di materiali diversi senza intercapedine d'aria	156	Figura 5.9.1	Definizioni secondo la Figura 1 della norma EN 50511.	174
Figura 5.6.5	Palo di captazione con $k_c = 1$	156	Figura 5.9.2	Guasti su un solo polo di una cabina di trasformazione con scheda di distribuzione a bassa tensione integrata.	177
Figura 5.6.6	Determinazione k_c per due pali con fune sospesa e dispersore di tipo B	157	Figura 5.9.3	Schema dei dispersori di una cabina di trasformazione (fonte: Niemand/Kunz; "Erdungsanlagen", page 109; VDE-Verlag)	178
Figura 5.6.7	Determinazione di k_c per un tetto spiovente con due calate	157	Figura 5.9.4	Collegamento di un dispersore all'anello dei dispersori della cabina	179
Figura 5.6.8	Tetto spiovente con quattro calate	158	Figura 5.9.5	Portata in corrente dei materiali per i dispersori	179
Figura 5.6.9	Valori del coefficiente k_c in caso di una rete di conduttori di captazione a maglia e un dispersore tipo B	158	Figura 5.9.6	Corrosione di un dispersore zincato dopo 7 anni.	180
Figura 5.6.10	Valori del coefficiente k_c in caso di un sistema di più calate, secondo la figura C.5 della norma IEC 62305-3 (EN 62305-3)	158	Figura 5.9.7	Corrosione di un dispersore zincato (sotto) e uno in acciaio inossidabile (sopra) dopo 2,5 anni.	180
Figura 5.6.11	Distribuzione della corrente in caso di più conduttori	159	Figura 6.1.1	Principio di equipotenzialità antifulmine comprendente il sistema equipotenziale principale e il sistema equipotenziale per la protezione contro i fulmini.	182
Figura 5.6.12	Esempio: struttura installata su un tetto; sistema con più calate	159	Figura 6.1.2	Barra equipotenziale K12 Art. 563 200	184
Figura 5.7.1	Tensione di passo e di contatto.	161	Figura 6.1.3	Barra equipotenziale R15 Art. 563 010	184
Figura 5.7.2	Controllo del potenziale – Principio di base e andamento del gradiente di potenziale.	162	Figura 6.1.4	Collare di messa a terra per tubi Art. 407 114	184
Figura 5.7.3	Possibile controllo del potenziale nella zona di ingresso di una struttura	162	Tabella 6.1.1.1	Dimensioni minime dei conduttori che collegano diverse barre equipotenziali tra loro o i dispersori (secondo CEI EN 62305-3 - CEI 81-10/3, Tabella 8)	185
Figura 5.7.4	Controllo del potenziale per una torre faro o un palo per radiotelegrafia.	162	Tabella 6.1.1.2	Dimensioni minime dei conduttori che collegano gli impianti metallici interni alle barre equipotenziali (secondo CEI EN 62305-3 - CEI 81-10/3, Tabella 9).	185
Figura 5.7.5	Regolazione del potenziale con collegamento al dispersore ad anello / dispersore di fondazione.	162	Figura 6.1.5	Collare di messa a terra per tubi Art. 540 910	184
Figura 5.7.1.1	Zona di protezione per una persona	163	Figura 6.1.6	Barra di collegamento equipotenziale con cablaggio passante	184
Figura 5.7.1.2	Progettazione di un conduttore CUI	163	Figura 6.2.1	DEHNbloc M per installazione conforme al concetto di zona di protezione contro i fulmini al confine O_A-1	186
Figura 5.7.1.3	Prova in tensione sotto pioggia.	164	Figura 6.2.2	Scaricatore combinato DEHNventil per installazione conforme al concetto di zona di protezione contro i fulmini al confine O_A-2	186
Figura 5.7.1.4	Conduttore CUI.	164			
Figura 5.7.1.5	(a) Spira formata da una calata e una persona (b) Mutua induttanza M e tensione indotta U_i	165			
Figura 5.7.2.1	Modello HUGO con i piedi in posizione di marcia che fungono da punti di contatto (fonte: TU Darmstadt)	166			

Figura 6.3.1	Sistema equipotenziale per la protezione contro i fulmini con sistema di captazione isolato e conduttore HVI per impianti d'antenna professionali secondo CEI EN 62305-3 - CEI 81-10/3	186	Figura 7.4.5	Combinazione dei metodi d'integrazione secondo la Figura 7.4.4	206
Figura 6.3.2	Installazione isolata di un sistema di protezione contro i fulmini e una antenna del telefono cellulare	187	Figura 8.1.1	Utilizzo di scaricatori negli impianti di alimentazione elettrica (schema di principio)	224
Figura 6.3.3	Morsetti a molla EMC per i lati protetti e non protetti di un dispositivo BLITZDUCTOR XT per contatto schermato permanentemente a bassa impedenza con una linea di segnale schermata; con cappuccio isolante per messa a terra indiretta, fascette e strisce isolanti.	188	Figura 8.2.1	Classificazione degli scaricatori.	252
Figura 6.3.4	Sistema di collegamento di una schermatura che conduce la corrente di fulmine (SAK).	188	Figura 8.2.2	Comportamento di limitazione	253
Figura 6.3.5	Collegamento equipotenziale antifulmine con BLITZDUCTOR XT per l'allacciamento di telecomunicazione (autorizzazione Deutsche Telekom)	189	Figura 8.2.3	Applicazioni speciali	253
Figura 6.3.6	Involucro di collegamento equipotenziale DEHN per corrente di fulmine (DPG LSA) per tecnologia LSA-2/10	189	Figura 8.2.4	Tensione nominale e di riferimento	253
Figura 7.1.1	Concetto di zone di protezione da fulminazione secondo CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)	192	Figura 8.2.5	Circuito di prova per la determinazione della tensione di limitazione con velocità di salita della tensione	254
Figura 7.1.2a	Concetto di zone di protezione da fulminazione secondo CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)	193	Figura 8.2.6	Caratteristiche di innesco di uno scaricatore a gas con $du/dt = 1 \text{ kV}/\mu\text{s}$	254
Figura 7.1.2b	Concetto di zone di protezione da fulminazione secondo CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)	194	Figura 8.2.7	Circuito di prova per la determinazione della tensione di limitazione in caso di correnti di scarica nominali	255
Figura 7.3.1	Riduzione del campo magnetico attraverso schermature a griglia.	196	Figura 8.2.8	Tensione di limitazione in caso di correnti di scarica nominale	255
Figura 7.3.2a	Campo magnetico in caso di fulminazione diretta in zona LPZ I (LEMP) IEC 62305-4 (EN 62305-4) - CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)	196	Figura 8.2.9	Corrente nominale del BLITZDUCTOR XT	255
Figura 7.3.2b	Intensità del campo magnetico in caso di fulminazione diretta nella zona LPZ 2	196	Figura 9.1.1	Schema di principio di un convertitore di frequenza	274
Figura 7.3.3	Volume per apparecchi elettronici all'interno della zona LPZ 1	199	Figura 9.1.2	Connessione dello schermo del cavo d'alimentazione motore secondo i requisiti EMC.	274
Figura 7.3.4	Campo magnetico in caso di fulminazione ravvicinata (LEMP) IEC 62305-4 (EN 62305-4) - CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)	200	Figura 9.1.3	Convertitore di frequenza con azionamenti in zone LPZ 0 _A e LPZ 1	275
Figura 7.3.5	Campo magnetico in caso di fulminazione ravvicinata (LEMP) IEC 62305-4 (EN 62305-4) - CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)	200	Figura 9.2.1	Isolamento del suolo per la riduzione delle tensioni di contatto derivanti da fulminazioni su un palo di illuminazione	278
Figura 7.3.7a	Reti zincate elettrosaldate per la schermatura dell'edificio	200	Figura 9.2.2	Controllo del potenziale per la riduzione delle tensioni di passo causati da fulminazioni su un palo di illuminazione	278
Figura 7.3.7b	Utilizzo di reti zincate elettrosaldate per la schermatura, ad esempio in caso di tetto verde	200	Figura 9.2.3	Corpi illuminanti esterni 230 V su palo in zona di protezione da fulminazione LPZ 0 _A con equipotenzialità antifulmine al punto di ingresso dell'edificio	279
Figura 7.3.6	Utilizzo di barre di armatura di una struttura per la schermatura e il collegamento equipotenziale	200	Figura 9.2.4	Corpi illuminanti esterni 3x 230/400 V su palo in zona di protezione da fulminazione LPZ 0 _A con equipotenzialità antifulmine al punto di ingresso dell'edificio	279
Figura 7.3.8	Schermatura di un edificio	201	Figura 9.2.5	Corpo illuminante esterno 230 V a parete in zona di protezione da fulminazione LPZ 0 _B	279
Figura 7.3.9	Conduttore di terra /anello equipotenziale	201	Figura 9.3.1	Schema di sistema per un impianto biogas.	282
Figura 7.3.1.1	Schermo non collegato - Nessuna protezione contro l'accoppiamento capacitivo/induttivo	202	Figura 9.3.2	Applicazione del sistema DEHNiso-Combi per la protezione di un fermentatore con copertura in tela	283
Figura 7.3.1.2	Collegamento dello schermo sui due lati - schermatura contro l'accoppiamento capacitivo/induttivo	202	Figura 9.3.3	Protezione di un fermentatore con copertura in tela con pali di captazione componibili in acciaio	284
Figura 7.3.1.3	Schermo collegato su entrambi i lati - Messa a terra della schermatura diretta e indiretta	204	Figura 9.3.4	Protezione del fermentatore tramite asta di captazione isolata con un conduttore HVI (art. 819 720).	284
Figura 7.3.1.4	morsetto schermato BLITZDUCTOR XT con SAK BXT LR con messa a terra diretta o indiretta della schermatura	204	Figura 9.3.5	Protezione del fermentatore tramite asta di captazione isolata con due conduttori HVI (art. 819 750)	284
Figura 7.3.1.5	Connessione schermatura	204	Figura 9.3.6	Fermentatore realizzato con lastre metalliche avvitate.	285
Figura 7.3.1.6	Collegamento dello schermo sui due lati - schermatura contro l'accoppiamento capacitivo/induttivo	204	Figura 9.3.7	Protezione del fermentatore in lastre metalliche con dispositivo di captazione isolato (Fonte: Büro für Technik, Hösbach)	285
Tabella 7.3.1.1	Resistività schermo ρ_c per materiali diversi.	203	Figura 9.3.8	Serbatoio in acciaio saldato (Fonte: Eisenbau Heilbronn GmbH)	285
Tabella 7.3.1.2	Rigidità dielettrica	203	Figura 9.3.9	Impianto di terra ammagliato per impianto biogas.	287
Figura 7.4.1	Rete equipotenziale in una struttura	205	Figura 9.3.10	Estratto dello schema a blocchi di un impianto a biogas.	288
Figura 7.4.2	Collettore equipotenziale ad anello in un locale EDP.	205	Figura 9.3.11	Protezione da sovratensioni per l'installazione di reti informatiche	289
Figura 7.4.3	Collegamento del collettore ad anello al sistema equipotenziale attraverso punto fisso di messa a terra	205	Figura 9.3.12	Moduli scaricatore combinato con LifeCheck.	290
Figura 7.4.4	Integrazione di sistemi elettronici in rete equipotenziale secondo IEC 62305-4 (EN 62305-4)	206	Figura 9.3.13	Scaricatore di sovratensione DEHNpipe per esterno, avvitato su apparecchi in campo a due fili.	290
			Figura 9.4.1	Rappresentazione schematica di un impianto di depurazione	292
			Figura 9.4.2	Suddivisione della centrale di controllo in zone di protezione da fulminazione LPZ. Esempio: selezione dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni per il dispositivo di misura dell'ossigeno	293

Figura 9.4.3	Metodo dell'angolo di protezione secondo CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)	294	Figura 9.25.3	Limitatore di sovratensione Tipo 2 / Tipo 3 in un contenitore da incasso installato su un condotto portacavi	419
Figura 9.4.4	Equipotenzializzazione antifulmine secondo DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3), integrazione 1	295	Figura 9.26.1	Dispositivi di protezione contro le sovratensioni per un ascensore.	422
Figura 9.4.5	DEHNventil nel quadro di comando per la protezione dell'impianto di alimentazione	296	Figura 9.27.1	Lucernario situato nel volume protetto di un impianto di captazione sul tetto non metallico di una struttura dotata di protezione esterna contro i fulmini	424
Figura 9.4.6	Morsettiere DEHNconnect con dispositivo di protezione da sovratensioni integrato per la protezione dell'intero sistema CMR	296	Figura 9.27.2	Lucernario situato nel volume protetto di un'asta di captazione sul tetto metallico di una struttura dotata di calata metallica (telaino in acciaio, cemento armato con armatura interconnessa o facciata metallica collegata a terra).	425
Figura 9.4.7	Dispositivi di protezione da sovratensioni DEHNconnect. Entrata dei cavi dall'intercapedine nel pavimento	296	Figura 9.27.3	Lucernario situato nel volume protetto di un'asta di captazione sul tetto metallico di una struttura dotata di scaricatori tradizionali	426
Figura 9.5.1	Esempi di dispersori ammessi	298	Figura 9.27.4	Lucernario situato sul tetto non metallico di una struttura priva di protezione esterna contro i fulmini	427
Figura 9.5.2	Collegamento equipotenziale di protezione dell'impianto di distribuzione del segnale e dei dispositivi	299	Figura 9.28.1	Rischio dovuto alla tensione di passo e di contatto	430
Figura 9.5.3	Sistema d'antenna con collegamento equipotenziale al punto più basso dell'installazione e dispositivi di protezione contro le sovratensioni.	299	Figura 9.28.2	Installazione di una calata sulle travi laterali per garantire il mantenimento della distanza di isolamento	431
Figura 9.5.4	Antenne che non necessitano di un collegamento a terra	300	Figura 9.28.3	Installazione di un conduttore per alta tensione CUI: a) per un piccolo rifugio con due aste di captazione; b) in caso di insufficiente spessore della parete	432
Figura 9.5.5	Antenne situate all'interno del volume protetto di un sistema di captatori	300	Figura 9.28.4	Isolamento del piano di calpestio per evitare la tensione di passo: a) per mezzo di asfalto; b) per mezzo di un pavimento in legno.	432
Figura 9.5.6	Antenna con asta di captazione e distanziatori DEHNiso (tratto isolato in vetroresina)	300	Figura 9.28.5	Controllo del potenziale per ridurre la tensione di passo	433
Figura 9.5.7	Antenna con calata DEHNcon-H isolata e resistente alle alte tensioni.	300	Figura 9.28.6	Sistema di protezione antifulmine isolato con palo di captazione componibile	433
Figura 9.5.8	Antenna con dispositivi di protezione contro le sovratensioni	301	Figura 9.29.1	Unità di controllo protetta da limitatori di sovratensione in una struttura priva di sistema di protezione antifulmine esterna	436
Figura 9.5.9	Antenna con calata DEHNcon-H resistente alle alte tensioni e dispositivi di protezione contro le sovratensioni	301	Figura 9.29.2	Installazione di scaricatori per la corrente di fulmine e limitatori di sovratensione se la centralina è situata lontano dal punto di ingresso, in una struttura dotata di protezione antifulmine esterna.	437
Figura 9.5.10	Connessione cavo a banda larga con dispositivi di protezione contro le sovratensioni	302	Figura 9.29.3	Installazione di scaricatori per la corrente di fulmine se la centralina (la cui perdita è accettabile) è situata presso il punto di ingresso, in una struttura dotata di protezione contro i fulmini esterna	438
Figura 9.6.1	Dispositivi di protezione contro le sovratensioni nelle strutture agricole.	304	Figura 9.30.1	Scaricatore spinterometrico combinato DEHNshield, precablato e ottimizzato per l'applicazione	440
Figura 9.6.2	Dispositivi di protezione per i linee bus e telefoniche	305	Figura 9.30.2	Utilizzo ottimizzato per l'applicazione del DEHNshield con riferimento a un radiatore posto sotto il manto stradale all'entrata di un parcheggio sotterraneo (2a), un lampione e un sistema TVCC (2b).	441
Figura 9.7.1	Telecamera collegata a un edificio dotato di protezione contro i fulmini esterna, con dispositivi di protezione contro le sovratensioni posti ad entrambe le estremità e in grado di condurre le correnti di fulmine	308	Figura 9.30.3	Utilizzo ottimizzato per l'applicazione di DEHNshield con riferimento ad una stazione di ricarica per veicoli elettrici o una presa esterna per piscina (3a) e un sistema di barriere (3b)	442
Figura 9.7.2	Telecamera collegata a un edificio privo di protezione contro i fulmini esterna, con dispositivi di protezione contro le sovratensioni posti ad entrambe le estremità	308	Figura 9.31.1	Sistema di alimentazione centralizzato con batterie, cavo di alimentazione, cavo di alimentazione dell'armadio batterie, linea bus, linea di indicazione remota, linea LAN, linee del circuito di funzionamento continuo/attesa in zona LPZ 1 e nello stesso compartimento antincendio.	446
Figura 9.7.3	Telecamera IP con i dispositivi di protezione contro le sovratensioni posti ad entrambe le estremità	309	Figura 9.31.2	Collegamento equipotenziale antifulmine per i circuiti dell'impianto di illuminazione di sicurezza, in corrispondenza del passaggio tra edificio e suolo.	446
Figura 9.8.1	Impianto di diffusione modulare con dispositivi di protezione contro le sovratensioni	312	Figura 9.31.3	Collegamento equipotenziale antifulmine in corrispondenza di una linea E 30 e di un quadro E 30 (all'interno della parete esterna).	447
Figura 9.8.2	Altoparlante a tromba installato su una struttura priva di protezione contro i fulmini esterna	313	Figura 9.31.4	Collegamento equipotenziale antifulmine in un quadro di distribuzione convenzionale (al di fuori della parete esterna)	447
Figura 9.8.3	Altoparlante a tromba situato nel volume protetto di un impianto di captazione su una struttura esterna dotata di protezione contro i fulmini esterna	313			
Figura 9.9.1	Protezione contro fulmini e sovratensioni per un impianto di allarme con tecnologia ad impulsi	316			
Figura 9.9.2	Protezione contro fulmini e sovratensioni per un impianto di allarme con tecnologia ad anello analogico	317			
Figura 9.9.3	Protezione contro fulmini e sovratensioni per un impianto di allarme anti intrusione con tecnologia a circuito in C.C.	317			
Figura 9.24.2	Esempio di i dispositivi di protezione per il sistema di controllo della campana	414			
Figura 9.25.1	Limitatore di sovratensione Tipo 3 installato in un sistema di illuminazione per uffici	418			
Figura 9.25.2	Limitatore di sovratensione Tipo 2 / Tipo 3 in un contenitore da incasso installato sulla guida di montaggio di una lampada lineare	419			

Figura 9.32.1	Suddivisione elementare di un impianto in zone di protezione contro i fulmini (LPZ)	450	Figura 5.5.1.2	Dispensore di tipo B - Individuazione del raggio medio - Calcolo esemplificativo.	133
Figura 9.32.2	Sistema di captazione con aste e funi di captazione	451	Figura 5.5.1.3	Dispensore di tipo B - Individuazione del raggio medio - Calcolo esemplificativo.	133
Figura 9.32.3	Schermatura delle strutture utilizzando componenti naturali dell'edificio	452	Figura 5.5.2.1	Dispensore di fondazione con capocorda	134
Figura 9.32.4	Dispositivi di protezione in un circuito di misura intrinsecamente sicuro	453	Figura 5.5.2.2	Maglia del dispensore di fondazione	134
Figura 9.32.5	Dispositivi di protezione per circuiti di misura intrinsecamente sicuri	453	Figura 5.5.2.3	Dispensore di fondazione	135
Figura 9.32.6	Esempio di impianto di messa a terra a maglia	454	Figura 5.5.2.4	Dispensore di fondazione in uso	135
Figura 9.32.7	Esempio di collegamento della schermatura nei cavi a sicurezza intrinseca	455	Figura 5.5.2.5	Punto fisso di messa a terra	135
Figura 9.33.1	Protezione esterna isolata contro i fulmini per tetti spioventi	460	Figura 5.5.2.6	Dispensore di fondazione a maglie	135
Figura 9.33.2	Protezione esterna isolata contro i fulmini isolata per tetti spioventi - Opzione di installazione 1	461	Figura 5.5.2.7	Diametro delle barre di rinforzo	136
Figura 9.33.3	Protezione esterna isolata contro i fulmini per tetti spioventi - Opzione di installazione 2	461	Figura 5.5.2.8	Treccia di collegamento con dispersori fissi.	137
Figura 9.33.4	Protezione esterna isolata contro i fulmini per tetti piani	462	Figura 5.5.2.9	Collegamento di un dispensore di fondazione con un giunto di dilatazione	137
Figura 9.33.5	Protezione esterna isolata contro i fulmini per tetti piani - Opzione di installazione 3	462	Figura 5.5.2.10	Membrana di piastre di fondazione	137
Figura 9.33.6	Collegamento equipotenziale antifulmine per linee in ingresso	464	Figura 5.5.2.11	Uso delle membrane bugnate	137
Figura 9.34.1	Determinazione del rischio di esposizione da fulmine per un'imbarcazione da diporto col metodo della sfera rotolante per classe di LPS III	466	Figura 5.5.2.12	Membrana bugnata	137
Figura 9.34.2	Distribuzione della corrente di fulmine in un'imbarcazione da diporto a seguito della caduta di un fulmine sull'albero	466	Figura 5.5.2.13	Disposizione del dispensore di fondazione con platea di fondazione chiusa "vasca nera"	138
Figura 9.34.3	Protezione mobile contro i fulmini per una barca con un albero metallico	467	Figura 5.5.2.14	Rappresentazione tridimensionale che illustra il dispensore ad anello, il conduttore di collegamento equipotenziale e il collegamenti tramite dispositivi passanti a tenuta d'acqua in pressione	139
Figura 9.34.4	Uso di un trasformatore di isolamento per evitare la corrosione.	468	Figura 5.5.2.15	Dispositivo passante installato nel cassero.	139
Figura 9.34.5	Protezione da sovratensione elementare per un'imbarcazione da diporto (rispettare i dati tecnici forniti dal costruttore dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni)	469	Figura 5.5.2.16	Disposizione di prova (sezione) con il collegamento per la prova della pressione dell'acqua	139
Figura 9.34.6	Dettaglio dell'impianto di alimentazione in banchina dotato di scaricatore combinato per la corrente di fulmine Tipo 1	470	Figura 5.5.2.17	Dispositivo passante a tenuta d'acqua	139
Tabella 9.32.1	Disposizione degli impianti di captazione secondo la classe di LPS	451	Figura 5.5.2.18	Rivestimento impermeabile con fogli bituminosi	140
Tabella 9.32.2	Esempio di un trasmettitore di temperatura	455	Figura 5.5.2.19	Disposizione del dispensore di fondazione con platea di fondazione chiusa "vasca nera"	140
Tabella 9.33.1	Componenti consigliati per un collegamento equipotenziale antifulmine secondo la figura 9.33.6.	463	Figura 5.5.2.20	Dispensore ad anello in caso di isolamento perimetrale. Fonte: Ditta Mauermann.	141
Tabella 1.1.1	Norme per la protezione contro i fulmini valide dal dicembre 2013	10	Figura 5.5.2.21	Dettaglio di un dispensore ad anello. Fonte: Ditta Mauermann	141
Tabella 1.1.2	Integrazione alla norma tedesca DIN EN 62305	10	Figura 5.5.2.22	Disposizione del dispensore di fondazione con platea di fondazione chiusa (completamente isolata)	141
Tabella 2.5.1	Aumento della temperatura ΔT in K di diversi materiali conduttori	23	Figura 5.5.2.23	Isolamento perimetrale: riempimento con fibra di vetro granulata. Fonte: TECHNOpor Handels GmbH	142
Tabella 2.6.1	Parametri relativi alla massima corrente di fulmine e forme d'onda per i diversi componenti della corrente di fulmine	25	Figura 5.5.2.24	Dispensore di fondazione per plinti con capocorda di collegamento. Fonte: Wettingfeld, Krefeld	142
Tabella 2.7.1	Valori del parametro relativo alla massima corrente di fulmine e rispettive probabilità	25	Figura 5.5.2.25	Distanziale con morsetto a croce	143
Tabella 2.7.2	Valori del parametro relativo alla minima corrente di fulmine e rispettive probabilità	25	Figura 5.5.2.26	Disposizione del dispensore di fondazione con fondazione a nastro (muro di fondazione isolato)	143
Tabella 5.3.1	Materiale, forma e sezioni minime di conduttori di captazione, aste di captazione, aste di adduzione nel terreno e calate ^{a)} secondo la Tabella 6 della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)	114	Figura 5.5.2.27	Cemento fresco con fibra di vetro	144
Tabella 5.4.1	Combinazioni di materiali	115	Figura 5.5.3.1	Dispensore ad anello attorno a un edificio residenziale.	144
Tabella 5.5.1	Formule per il calcolo della resistenza di terra R_A per i diversi tipi di dispersori	128	Figura 5.5.4.1	Innesti dei dispersori di profondità DEHN	145
Figura 5.5.1.1	Lunghezze minime dei dispersori	133	Figura 5.5.4.2	Installazione del dispensore di profondità con supporto e martello vibratore	145
			Figura 5.5.6.1	Impianto di messa a terra interconnesso di uno stabilimento industriale	146
			Figura 5.5.7.1.1	Esempio di un elettrodo di misura non polarizzabile (elettrodo rame/solfato di rame) che fornisce un potenziale definito nell'elettrolito (disegno in sezione)	147
			Figura 5.5.7.2.1	Elemento galvanico: ferro/rame	150
			Figura 5.5.7.2.2	Elemento di concentrazione	150
			Figura 5.5.7.2.3	Elemento di concentrazione: ferro nel terreno / ferro nel calcestruzzo	150
			Figura 5.5.7.2.4	Elemento di concentrazione: acciaio zincato nel terreno / acciaio (nero) nel calcestruzzo	150

Tabella 5.5.7.2.1	Valori dei potenziali e dei tassi di corrosione dei metalli comunemente usati	150	Figura 7.7.1.1	Collettore equipotenziale ad anello e dispersore fisso per la connessione di installazioni metalliche.	213
Tabella 5.5.7.4.1	Combinazione di materiali per impianti di messa a terra con diverse condizioni di superficie ($A_C > 100 \times A_A$).	152	Figura 7.7.2.1	Sistema di protezione contro fulmini con schermatura spaziale e protezione contro le sovratensioni coordinata secondo la Figura A.1 della norma IEC 62305-4 (EN 62305-4).	214
Tabella 5.5.8.1	Materiale, forma e sezioni minime dei dispersori ^{a) e b)} secondo la Tabella 7 della norma IEC 62305-3 (EN 62305-3)	153	Figura 7.7.2.2	Dispositivo di protezione DEHNflex M contro le sovratensioni per circuiti terminali	214
Figura 5.5.11	Resistenza di terra R_A dei dispersori radiali incrociati (90°) in base alla profondità di interramento	128	Figura 7.7.2.3	Limitatore di sovratensione multipolare DEHNguard M TT	214
Figura 5.5.12	Tensione totale di terra U_E tra la linea del dispersore e la superficie di terra del dispersore radiale (90°) in funzione della distanza dal punto centrale di incrocio (profondità di interramento 0,5 m)	128	Figura 7.7.3.1	Protezione per utilizzatori elettronici industriali (p.es. un PLC) con BLITZDUCTOR XT e SPS-Protector	215
Figura 5.5.13	L'impedenza di terra convenzionale R_{Et} dei dispersori orizzontali a uno o più elementi radiali di pari lunghezza	129	Figura 7.8.1.1	Scaricatore della corrente di fulmine DEHNbloc tripolare	216
Figura 5.5.14	Fattore di riduzione p per il calcolo della resistenza di terra totale R_A di dispersori verticali collegati in parallelo	129	Figura 7.8.1.2	Limitatore di sovratensione multipolare DEHNguard M TT	216
Figura 5.5.15	Resistenza di terra R_A dei dispersori orizzontali e verticali in base alla lunghezza del dispersore l	131	Figura 7.8.1.3	Scaricatore combinato modulare DEHNventil M TNS.	216
Tabella 5.6.1	Fattore di induzione k_i	155	Figura 7.8.1.4	Curva dell'energia passante al varistore di riferimento con un SPD spinterometrico Tipo 1 posto a monte	217
Tabella 5.6.2	Coefficiente di ripartizione k_c , approccio semplificato	157	Figura 7.8.1.5	Curva dell'energia passante al varistore di riferimento con un SPD a varistore Tipo 1 posto a monte	217
Tabella 5.7.1	Distanza degli anelli e profondità del controllo del potenziale	161	Figura 7.8.2.1	Coordinamento secondo il metodo della corrente passante di due dispositivi di protezione contro la sovratensione e un apparecchio utilizzatore, in cascata (secondo norma IEC 61643-22 - CLC/TS 61643-22)	218
Tabella 5.8.1	Possibile combinazione di materiali dei dispersori e calate tra loro e con gli elementi strutturali.	170	Figura 7.8.2.2	Esempio per il coordinamento energetico nell'applicazione degli scaricatori Yellow/Line e struttura del rispettivo simbolo.	219
Tabella 5.9.1	Correnti decisive per la misura dei sistemi di messa a terra secondo la tabella 1 della norma EN 50522	176	Tabella 7.5.2.1	Capacità richiesta di condurre la corrente di fulmine impulsiva per dispositivi di protezione contro le sovratensioni Tipo 1 in funzione del livello di protezione contro i fulmini e il tipo di impianto a bassa tensione (si vedano anche le linee guida tedesche VDN "Dispositivi di protezione contro le sovratensioni Tipo 1 - Linee guida per l'uso di dispositivi di protezione contro le sovratensioni (SPD) Tipo 1 nelle reti di alimentazione" e la norma IEC 60364-5-53 - HD 60364-5 -534)	208
Tabella 5.9.2	Densità di corrente in corto circuito G (max temperatura 200 °C)	177	Tabella 7.7.1.1	Sezioni minime per collegamenti equipotenziali interni	213
Tabella 7.2.1	Gestione della protezione LEMP per nuovi edifici e per modifiche sostanziali della costruzione o dell'utilizzo di edifici secondo CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)	195	Tabella 7.8.2.1	Simboli delle classi SPD.	219
Tabella 7.3.1	Attenuazione magnetica delle maglie in caso di fulminazione ravvicinata secondo IEC 62305-4 (EN 62305-4) - CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4)	199	Tabella 7.8.2.2	Assegnazione delle classi SPD nel passaggio tra zone LPZ	220
Tabella 7.5.1	Sezioni minime secondo la norma IEC 62305-3 (EN 62305-3), tabella 8	207	Tabella 8.1.1	Classificazione dei dispositivi di protezione secondo IEC e EN	225
Figura 7.5.1.1	Collegamento EBB al dispersore fisso	207	Figura 8.1.3.1	RCD distrutto da un fulmine	228
Figura 7.5.2.1	Trasformatore all'esterno della struttura	207	Figura 8.1.3.2	Circuito di protezione "3-0" in un sistema TN-C.	228
Figura 7.5.2.2	Trasformatore all'interno della struttura (zona LPZ 0 integrata nella zona LPZ 1)	207	Figura 8.1.3.3a	Circuito di protezione "4-0" in un sistema TN-S.	229
Figura 7.5.2.3	Esempio di collegamento equipotenziale in una struttura con più ingressi per i conduttori esterni e con un anello conduttore interno che collega le barre di collegamento equipotenziale	208	Figura 8.1.3.4	Utilizzo di SPD in un sistema TN-C-S	229
Figura 7.5.2.4	Protezione contro i fulmini interna con un punto di entrata comune a tutti i servizi	209	Figura 8.1.3.3b	Circuito di protezione "3+1" in un sistema TN-S.	229
Figura 7.5.2.5	Modello di distribuzione della corrente da fulmine in caso di più carichi in parallelo - Schema monofilare	209	Figura 8.1.3.5	Utilizzo di SPD in un sistema TN-S	230
Figura 7.5.2.6	Modello di distribuzione della corrente da fulmine in caso di più carichi in parallelo - Schema monofilare	210	Figura 8.1.3.6	Utilizzo di SPD in un sistema TN - Esempio abitazione unifamiliare	230
Figura 7.5.2.7	Scaricatore combinato DEHNventil	210	Figura 8.1.3.7	Utilizzo di SPD in un sistema TN - Esempio di palazzina uffici con separazione del conduttore PEN nel quadro di distribuzione principale	231
Figura 7.5.2.8	Collettore equipotenziale antifulmine unico per impianti di alimentazione e sistemi informatici collocato in posizione centralizzata.	210	Figura 8.1.3.8	Utilizzo degli SPD in un sistema TN - Esempio di palazzina uffici con separazione del conduttore PEN nel quadro di distribuzione secondario	232
Figura 7.5.2.9	Scaricatori di corrente di fulmine nel passaggio da LPZ 0 _A a LPZ 1	210	Figura 8.1.3.9	Utilizzo degli SPD in un sistema TN - Esempio di struttura industriale con separazione del conduttore PEN nel quadro di distribuzione secondario	233
Figura 7.5.3.1	Uso degli scaricatori combinati BLITZDUCTOR XT	211	Figura 8.1.3.10	SPD utilizzati in un sistema TN - Dispositivo di protezione con prefusibile integrato	234
Figura 7.6.2.1	Un solo SPD (LPZ 0/1/2) necessario (LPZ 2 estesa all'interno di LPZ 1).	212	Figura 8.1.3.11	Utilizzo di SPD in un sistema TN - Edificio industriale 400/690 V	234
Figura 7.6.2.2	DEHNventil M TT 255.	212	Figura 8.1.4.1	Sistema TT (230/400 V); versione di circuito "3+1"	235
Figura 7.6.3.1	Guida alla combinazione delle classi SPD Yellow/Line (si veda anche la Figura 7.8.2.2).	212			

Figura 8.1.4.2	Utilizzo di SPD in un sistema TT	235	Figura 8.1.8.1	DEHNguard M TNC CI 275 FM - Scaricatore Tipo 2 integrato con fusibile di protezione.	251
Figura 8.1.4.3	Utilizzo di SPD in un sistema TT – Esempio abitazione unifamiliare.	236	Figura 8.1.8.2	Struttura interna del DEHNguard M/S . . . CI (vista anteriore e posteriore)	251
Figura 8.1.4.4	Utilizzo di SPD in un sistema TT – Palazzina uffici	237	Figura 8.1.8.3	Ingombro notevolmente ridotto - Confronto dello spazio di installazione di uno scaricatore Tipo 1 convenzionale con un DEHNvenCI	251
Figura 8.1.4.5	Utilizzo di SPD in un sistema TT – Impianto industriale	238	Tabella 8.1.7.1	Coefficiente del materiale k per conduttori in rame e alluminio con diversi materiali isolanti (conforme a IEC 60364-4 -43) 247	
Figura 8.1.5.1	Utilizzo di SPD in un sistema IT.	239	Tabella 8.1.7.2	Capacità di trasporto della corrente impulsiva di fusibili NH sottoposti a correnti impulsive (8/20 µs)	249
Figura 8.1.5.2a	Sistema IT senza conduttore neutro integrato; circuito "3-0"	240	Tabella 8.2.1	Marcatura dei moduli di protezione BXT	254
Figura 8.1.5.2b	Sistema IT con conduttore neutro integrato; circuito "4-0" 240		Tabella 8.2.2	Massima corrente nominale dei moduli di protezione BXT 255	
Figura 8.1.5.2c	Sistema IT con conduttore neutro integrato; circuito "3+1" 240		Figura 8.2.10	Risposta in frequenza tipica di un BLITZDUCTOR XT	255
Figura 8.1.5.3	Utilizzo di SPD in un sistema a 690 V senza conduttore neutro integrato	240	Figura 8.2.11	Edificio con sistema di protezione contro i fulmini esterna e linee installate all'esterno dell'edificio secondo il concetto di zona protezione contro i fulmini	256
Figura 8.1.5.4	Utilizzo di SPD in un sistema a 230/400 V - Con conduttore neutro integrato (circuito 3+1)	241	Figura 8.2.12	Edificio senza LPS esterno e linee installate all'esterno	256
Figura 8.1.6.1	Dispositivi di protezione contro le sovratensioni con cablaggio a V	242	Figura 8.2.13	Edificio con sistema di protezione contro i fulmini esterna e linee installate all'interno dell'edificio secondo il concetto di zona di protezione contro i fulmini	256
Figura 8.1.6.4a	Collegamento dei dispositivi di protezione dalle sovratensioni nella diramazione	242	Figura 8.2.14	Edificio senza LPS esterno e linee installate all'interno.	256
Figura 8.1.6.2	Principio del morsetto di collegamento doppio - unità unipolare	242	Tabella 8.2.3	Criteri di scelta per sistemi di misura della temperatura	259
Figura 8.1.6.4b	Tensione massima per DEHNguard 275 in caso di diverse lunghezze di cavo collegamento	242	Figura 8.2.1.1	Accoppiatore ottico – Schema di principio	260
Figura 8.1.6.3	STAK 2X16 e STAK 25 morsetti doppi	242	Figura 8.2.2.1	Livelli di automazione dell'edificio	261
Figura 8.1.6.5	DEHNBloc Maxi S: scaricatore di corrente da fulmine coordinato con fusibile di prot. integrato per barre	243	Figura 8.2.3.1	Cablaggio generico.	262
Figura 8.1.6.7	Lunghezza massima consigliata per i dispositivi di protezione nella diramazione (IEC 60364-5-53 (HD 60364-5 -534)	243	Figura 8.2.3.2	Interferenza da fulmine nel cablaggio IT	263
Figura 8.1.6.8a	Punto di vista dell'utilizzatore - Posa sfavorevole dei conduttori	243	Figura 8.2.4.1	Calcolo di L ₀ e C ₀	265
Figura 8.1.6.6	Dehnguard CI modulare: Limitatore di sovratensioni Tipo 2 con fusibile di protezione integrato	243	Figura 8.2.4.2	Scaricatore a sicurezza intrinseca BXT ML4 BD EX 24	266
Figura 8.1.6.8b	Punto di vista dell'utilizzatore - Posa favorevole dei conduttori	243	Figura 8.2.4.3	SPD in un sistema bus a sicurezza intrinseca - resistenza di isolamento > 500 V c.a.	267
Figura 8.1.6.9	Disposizione dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni nell'impianto e lunghezza di collegamento efficace risultante	244	Figura 8.2.5.1	Installazione corretta	268
Figura 8.1.6.10	Cablaggio a V.	245	Figura 8.2.5.2	Installazione più comune	268
Figura 8.1.6.11	Cablaggio a V dello scaricatore combinato DEHNventil M TNC tramite sbarra collettiva	245	Figura 8.2.5.3	Collegamento equipotenziale non corretto.	269
Figura 8.1.6.12	Collegamento in parallelo	245	Figura 8.2.5.4	Passaggio del conduttore non corretto	269
Figura 8.1.6.13	Posa dei conduttori.	246	Figura 8.2.5.5	Separazione dei cavi nei canali.	270
Figura 8.1.7.1	SPD a una porta (one-port)	247	Figura 8.2.6.1	Invecchiamento dei componenti elettronici - "Curva a vasca da bagno"	271
Figura 8.1.7.2	SPD a due porte	247	Figura 8.2.6.2	LifeCheck scaricatore di DRC LC M1+	271
Figura 8.1.7.3	SPD one-port con cablaggio passante	247	Figura 8.2.6.3	Sorveglianza dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni per mezzo di il DRC MCM XT condizione unità di monitoraggio.	272
Figura 8.1.7.4	Esempio: DEHNventil M TNC 255.	248	Figura 8.2.15	Schema a blocchi per la misurazione della temperatura	260
Figura 8.1.7.5	Esempio: DEHNguard M TNC/TNS/TT.	248	Tabella 8.2.5.1	Separazione delle reti di telecomunicazione e linee di bassa tensione secondo la norma EN 50174-2, Tabella 4: "separazione minima s"	270
Figura 8.1.7.6	Esempio DEHNrail	249	Tabella 9.2.1	Dimensioni minime dei conduttori di terra per il collegamento dei lampioni nella zona di protezione LPZ O _A tra di loro e all'impianto di terra degli edifici	278
Figura 8.1.7.7	Prestazioni dei fusibili NH sottoposti a correnti impulsive (10/350 µs)	249	Tabella 9.3.1	DEHNiso Combi set.	283
Figura 8.1.7.8	Corrente e tensione su un fusibile 25 A-NH che sta fondendo durante la sollecitazione con corrente impulsiva di fulmine (10/350 µs)	249	Tabella 9.6.1	Esempio di dispositivi di protezione per un edificio agricolo comprendente un impianto di mungitura automatica (devono essere rispettati i dati tecnici forniti dal costruttore)	304
Figura 8.1.7.9	Utilizzo di un fusibile di protezione separato per lo scaricatore	249	Tabella 9.7.1	Dispositivi di protezione delle figure da 9.7.1 a 9.7.3	309
Figura 8.1.7.10	Riduzione della corrente susseguente attraverso il principio RADAX-Flow brevettato	250	Tabella 9.9.1	Scaricatori combinati contro fulmini e sovratensioni nelle Figure da 9.9.1 a 9.9.3	318
Figura 8.1.7.11	Selettività della corrente susseguente del DEHNventil M rispetto ai fusibili NH con diverse correnti nominali	250	Figura 9.10.1	Topologia del bus KNX con il numero massimo di dispositivi per linea, il numero massimo di linee per linea principale e il numero massimo di linee principali per linea di zona	320



Figura 9.10.2	Spira induttiva formata da due dispositivi bus KNX alimentati a bassa tensione	321	Figura 9.16.1	Metodo della sfera rotolante;	351
Figura 9.10.3	Spira induttiva formata da un dispositivo KNX installato presso una struttura metallica o tubo	321	Figura 9.16.2	Esempio di un impianto di messa a terra per stazione meteo e luce di segnalazione ostacoli al volo	352
Figura 9.10.4	Collegamento equipotenziale antifulmine al punto di ingresso del cavo bus KNX nell'edificio; dispositivi di protezione contro le sovratensioni installati nel quadro di distribuzione del sistema KNX e presso l'attuatore del riscaldatore	321	Figura 9.16.3	Impianto di terra per una turbina eolica	353
Figura 9.10.5	Non è necessario un collegamento equipotenziale antifulmine per l'estensione di zona del cavo KNX	322	Figura 9.16.4	Protezione contro i fulmini e sovratensioni di turbine eoliche	355
Figura 9.10.6	Scaricatori della corrente di fulmine installati nell'impianto di alimentazione principale e limitatori di sovratensione installati nel quadro di distribuzione del sistema KNX	322	Figura 9.16.5	Esempio di scaricatori installati presso i confini di zona in una turbina eolica.	356
Figura 9.10.7	Dispositivi di protezione contro le sovratensioni installati presso il quadro di distribuzione principale e nel quadro di distribuzione del sistema KNX	323	Figura 9.16.6	Scaricatore modulare Tipo 2 per la protezione di linee a 230/400 V	357
Figura 9.11.1	Collegamento della schermatura su entrambe le estremità - Schermatura contro l'accoppiamento capacitivo/induttivo e messa a terra diretta e indiretta della schermatura per evitare correnti di compensazione	327	Figura 9.16.7	Protezione del lato statorico del generatore	357
Figura 9.11.2	Collegamento equipotenziale di un impianto con cavi schermati	327	Figura 9.16.8	Limitatore di sovratensione coordinato Tipo 1	357
Figura 9.11.3	Dispositivo di protezione NET - Dispositivo di protezione universale contro le sovratensioni per la protezione delle linee dati del quadro di piano (adatto anche per reti di classe D) 328	328	Figura 9.16.9	Scaricatori di media tensione DEHNmid installati in un trasformatore per turbine eoliche	357
Figura 9.11.4	DEHNprotector - Dispositivo di protezione universale contro le sovratensioni per la protezione delle linee di rete e delle linee dati di una stazione di lavoro.	328	Figura 9.16.10	Protezione dell'apparecchiatura di misurazione del vento (anemometro)	358
Figura 9.11.5	Edificio amministrativo dotato di impianti con elevata richiesta di disponibilità	329	Figura 9.16.11	Esempio di i dispositivi di protezione conto le sovratensioni in un sistema di regolazione del passo delldle pale	359
Figura 9.12.1	Esempio di un sistema M-bus	332	Figura 9.16.12	Prova personalizzata nel laboratorio per le correnti impulsive	359
Figura 9.12.2	Concetto di protezione per sistema M-Bus per edifici dotati di protezione contro i fulmini esterna	334	Figura 9.17.1	Confronto: stazione radiomobile convenzionale (a sinistra) e stazione radiomobile con unità radio remota (a destra)	362
Figura 9.12.3	Concetto di protezione per sistema M-Bus per edifici privi di protezione contro i fulmini esterna	335	Figura 9.17.2	Progettazione di base dell'unità radio remote in caso di impianti montati sul tetto	363
Figura 9.13.1	PROFIBUS FMS o DP che si estende al di là un edificio dotato di protezione contro i fulmini esterna	338	Figura 9.17.3	Unità radio remote e stazione radio base (RBS) in caso di antenne montate su tralicci al suolo.	364
Figura 9.13.2	Bus a sicurezza intrinseca PROFIBUS PA in un edificio dotato di protezione contro i fulmini esterna	338	Figura 9.17.4	Schema base delle unità radio remota (RRH) in caso di livelli dei collegamenti equipotenziali fisicamente separati con quadro a corrente continua (esterno) e DEHNsecure DSE M 2P 60 FM, nonché con OVP (interno) e DEHNsecure DSE M 1 60 FM	366
Figura 9.14.1	Protezione contro i fulmini e le sovratensioni per ADSL con terminale analogico	342	Figura 9.17.5	Installazione RRH protetta da uno scaricatore Tipo 1 in un tipico ambiente di installazione	367
Figura 9.14.2	Protezione contro i fulmini e le sovratensioni per allacciamento ISDN e ADSL	342	Figura 9.17.6	Quadro ibrido precablato per 48 V CC per impianti esterni con scaricatori DEHNguard Tipo 2.	367
Figura 9.14.3	Protezione da sovratensioni per impianti di telecomunicazione con "ISDN multiplex primario"	343	Figura 9.17.7	Scaricatore spinterometrico Tipo 1 (curva caratteristica tipica)	367
Figura 9.15.1	Limitatore di sovratensione installato nel vano della morsettierra / quadro del montante metallico, per proteggere il lampione a LED dalle sovratensioni condotte causate da eventi atmosferici distanti e da operazioni di commutazione	346	Figura 9.17.8	Scaricatore a varistore Tipo 1 (curva caratteristica tipica)	367
Figura 9.15.2	Limitatore di sovratensione installato accanto al lampione a LED, con il cavo di alimentazione del lampione che passa nello spazio aperto, per proteggere il lampione a LED dall'iniezione di correnti, o come unica protezione dalle sovratensioni condotte causate da eventi atmosferici distanti e dalle operazioni di commutazione	347	Figura 9.18.1	Messa a terra funzionale dei sistemi di montaggio, se non è installata una protezione contro i fulmini esterna o se viene mantenuta la distanza di isolamento (DIN EN 62305-3, Integrazione 5)	371
Figura 9.15.3	Scaricatore combinato installato nel vano della morsettierra / quadro del montante metallico, in combinazione con un limitatore di sovratensione, per proteggere il lampione a LED dagli eventi atmosferici vicini e dalle sovratensioni condotte causate dalle operazioni di commutazione	347	Figura 9.18.2	Collegamento equipotenziale antifulmine per i sistemi di montaggio, se la distanza di isolamento non viene mantenuta	371
Figura 9.15.4	Conduttore di terra per proteggere il percorso del cavo mettere a terra il montante.	348	Figura 9.18.3	Morsetto di messa a terra UNI: un elemento intermedio in acciaio inossidabile impedisce la corrosione di contatto, stabilendo così dei collegamenti affidabili a lungo termine tra i diversi materiali conduttori	371
Figura 9.15.5	Volume protetto del percorso del cavo	348	Figura 9.18.4	Distanza tra il modulo e l'asta di captazione necessaria per evitare le ombre nette	372
			Figura 9.18.5	Curva caratteristica di una sorgente a corrente continua convenzionale rispetto alla curva caratteristica di un generatore fotovoltaico. Quando si commutano delle sorgenti FV, la caratteristica del generatore FV passa attraverso la gamma di tensione dell'arco voltaico	372
			Figura 9.18.6	Scaricatore combinato YPV SCI DEHNCombo Tipo 1 per la protezione dei sistemi fotovoltaici da sovratensioni e correnti parziali di fulmine	373
			Figura 9.18.7	Fasi di commutazione del dispositivo di commutazione a corrente continua a tre stadi integrato nel dispositivo Dehnguard M YPV SCI ... (FM)	373

Figura 9.18.8	Scaricatore spinterometrico combinato Tipo 1 DEHNlimit PV 1000 V2.	373	Figura 9.20.2	Spira di induzione dovuta a due nodi.	396
Figura 9.18.9	Limitatore di sovratensione modulare Dehnguard M YPV SCI ... (FM) Tipo 2 con circuito Y a prova di errore e dispositivo di commutazione a corrente continua a tre stadi.	374	Figura 9.20.3	Spira di induzione dovuta a una valvola magnetica collegata a un tubo metallico.	397
Figura 9.18.10	Limitatore di sovratensione Tipo 2 DEHNcube YPV SCI 1000 1M, pronto per l'installazione.	374	Figura 9.20.4	Dispositivi di protezione contro le sovratensioni per una LPT, in una configurazione che si estende oltre gli edifici.	397
Figura 9.18.11	SPD Dehnguard Tipo 2 integrato nell'inverter per i lati a corrente alternata e continua.	374	Figura 9.20.5	Dispositivi di protezione contro le sovratensioni per una FTI, in una configurazione che si estende oltre gli edifici.	397
Figura 9.18.12	Edificio senza LPS esterno - Situazione A (Integrazione 5 della norma DIN EN 62305-3).	375	Figura 9.21.1	Stazione di rifornimento di carburante dotata di impianto di protezione contro i fulmini, impianto di messa a terra ammassato, collegamento equipotenziale di protezione e funzionale e dispositivi di protezione contro le sovratensioni.	400
Figura 9.18.13	Edificio con LPS esterno e una sufficiente distanza di isolamento - Situazione B (Integrazione 5 della norma DIN EN 62305-3).	376	Figura 9.22.1	Numero di fulmini registrati in Germania dal 1996 al 2011.404	404
Figura 9.18.14	Determinazione del volume protetto utilizzando il metodo dell'angolo di protezione.	377	Figura 9.22.2	Equipotenzialità antifulmine con DEHNventil M.	405
Figura 9.18.15	Confronto tra il metodo della sfera rotante e il metodo dell'angolo di protezione, per la determinazione del volume protetto.	377	Figura 9.22.3	Conduttore HVI light DEHNconductor.	405
Figura 9.18.16	Scaricatore DEHNcube YPV SCI 1000 1M Tipo 2 per proteggere gli invertitori (1 MPPT).	378	Figura 9.22.4	Conduttore HVI installato in una torre.	405
Figura 9.18.17	Edificio con LPS esterno e insufficiente distanza di isolamento - Situazione C (Supplemento 5 della norma DIN EN 62305-3).	379	Figura 9.22.5	Volume protetto del percorso del cavo.	406
Figura 9.18.18	Esempio: edificio senza protezione contro i fulmini esterna; protezione contro le sovratensioni per un microinverter situato nel quadro di collegamento dei cavi in sito.	380	Figura 9.22.6a	Controllo del potenziale su una torre.	406
Figura 9.19.1	Confronto tra il metodo della sfera rotolante e il metodo dell'angolo di protezione per la determinazione del volume protetto.	384	Figura 9.22.6b	Controllo del potenziale su una torre.	406
Figura 9.19.2	Protezione contro i fulmini mediante distanziatori DEHNiso.	385	Figura 9.23.1	Protezione di un rifugio, con un solo ingresso e direzione di accesso definita, contro la tensione di passo e contatto.	408
Figura 9.19.3	Impianto di messa a terra secondo IEC 62305-3 (EN 62305-3).	385	Figura 9.23.2	Protezione contro le sovratensioni per le linee di alimentazione in bassa tensione e informatiche di una club house.	409
Figura 9.19.4	Fondazione a pali e a viti dotate di collegamento in grado di trasportare la corrente di fulmine tra captatori e dispersori.	386	Figura 9.23.3	Riparo per caddy e trolley integrato alle zone di allenamento, protetto contro le sovratensioni e contro le tensioni di passo e di contatto.	410
Figura 9.19.5	Morsetto a sella UNI.	386	Figura 9.23.4	Condotto in pressione con tubi di derivazione, elettrovalvole, doppino ad anello e decodificatori.	411
Figura 9.19.6	Concetto di protezione contro i fulmini per una centrale FV con inverter centralizzato.	387	Figura 9.23.5	Stazione di servizio con quadro di distribuzione elettrica, quadro di controllo del sistema di irrigazione, interfaccia PC e sistema di gestione dei dati.	411
Figura 9.19.7	Impianto fotovoltaico con I_{max} di 1000 A: corrente di cortocircuito presunta allo scaricatore FV in funzione dell'ora del giorno.	388	Figura 9.24.1	Principio di protezione contro i fulmini esterna e interna per una chiesa con campanile.	414
Figura 9.19.8	Curva caratteristica di una sorgente a corrente continua convenzionale rispetto alla curva caratteristica di un generatore fotovoltaico. Quando si commutano delle sorgenti FV, la caratteristica del generatore FV passa attraverso la gamma di tensione dell'arco voltaico.	388	Tabella 9.12.1	Massima caduta di tensione sulla linea bus.	333
Figura 9.19.9	Scaricatore combinato YPV DEHNcombo SCI Tipo 1 + Tipo 2, con circuito a prova di guasti Y e circuito e dispositivo di commutazione a corrente continua a tre stadi.	389	Tabella 9.12.2	Velocità massima di trasmissione a seconda dei dispositivi del bus (in questo caso contatori) e la capacità della linea.	333
Figura 9.19.10	Fasi di commutazione del dispositivo di commutazione a corrente continua a tre stadi integrato nel dispositivo DEHN-combo YPV SCI ... (FM).	389	Tabella 9.12.3	Valori relativi a capacità e impedenza in serie dei dispositivi di protezione da sovratensioni.	333
Figura 9.19.11	Dispositivo di protezione contro le sovratensioni nella scatola di derivazione per il monitoraggio di un generatore.	390	Tabella 9.13.1	scaricatori della corrente di fulmine e limitatori di sovratensione per bus a sicurezza intrinseca PROFIBUS PA, PROFIBUS FMS e DP.	339
Figura 9.19.12	Distribuzione della corrente per impianti fotovoltaici a terra, con inverter a stringa.	390	Tabella 9.16.1	Protezione di una turbina eolica (concetto di zona di protezione contro i fulmini secondo la figura 9.16.4) *basetta associata: BXT BAS, Rif. 920 300.	356
Figura 9.19.13	Concetto di protezione contro i fulmini per una centrale FV con inverter a stringa.	391	Tabella 9.17.1	Protezione contro i fulmini e le sovratensioni per sistemi radiomobile.	365
Figura 9.19.14	Illustrazione di principio delle spire di induzione negli impianti fotovoltaici.	392	Tabella 9.18.1	Selezione della minima capacità di scarica degli SPD a limitazione di tensione Tipo 1 (varistori) o SPD combinati Tipo 1 (cablaggio a V di varistori e spinterometri); secondo CEI CLC/TS 50539-12 (CEI 37-12) (Tabella A.1).	372
Figura 9.20.1	Struttura di un nodo LonWorks chip neuronale, ricetrasmittitore e circuito I/O.	396	Tabella 9.18.2	Selezione della minima capacità di scarica degli SPD Tipo 1 (spinterometri) o SPD combinati Tipo 1 (collegamento in parallelo di varistori e spinterometri); secondo CEI CLC/TS 50539-12 (CEI 37-12) (Tabella A.2).	373
			Tabella 9.19.1	Minima capacità di scarico per SPD Tipo 1 a limitazione di tensione o combinati e per SPD Tipo 1 a commutazione di tensione, per impianti fotovoltaici a terra in caso di LPL III; secondo CENELEC CLC/TS 50539-12 (Tabella A.3).	389
			Tabella 9.20.1	Ricetrasmittitori (i tipi più comuni sono riportati in grassetto) con le rispettive velocità di trasmissione e massima dimensione della rete.	396
			Tabella 9.20.2	Capacità di ricetrasmittitori nelle reti FTTLPT.	396
			Tabella 9.20.3	Capacità dei dispositivi di protezione da sovratensioni.	396



C. Definizioni

actiVsense

La tecnologia actiVsense è integrata negli scaricatori universali combinati per la protezione degli impianti e dei dispositivi informatici. Lo scaricatore rileva automaticamente la tensione del segnale applicato e adatta in modo ottimale il livello di protezione della tensione. Così, il dispositivo di arresto può essere utilizzato universalmente per diverse interfacce e fornisce la massima protezione per i dispositivi e i circuiti del sistema ad esso collegati in caso di guasto.

Potere di interruzione, capacità di estinzione della corrente susseguente I_{fi}

Il potere di interruzione è il valore RMS (presunto) non influenzato della rete che può essere automaticamente estinto dal dispositivo di protezione contro le sovratensioni quando si collega U_C . Può essere validato in una prova in condizioni di esercizio secondo la norma EN 61643-11 (CEI 37-8).

Categorie secondo la norma CEI EN 61643-21 (CEI 37-6).

La norma CEI EN 61643-21 - CEI 37-6) descrive un certo numero di tensioni e correnti impulsive, per la prova della capacità di trasporto della corrente e della limitazione delle interferenze dovute alle tensioni impulsive. La Tabella 3 di questa norma le elenca in categorie e ne fornisce i valori preferiti. La Tabella 2 della norma CEI CLC/TS 61643-22 (CEI 37-10) assegna le fonti di transitori alle diverse categorie di impulsi, in base al meccanismo di disaccoppiamento. La categoria C2 include l'accoppiamento induttivo (sovratensioni), la categoria D1 l'accoppiamento galvanico (correnti di fulmine). La rispettiva categoria è specificata nei dati tecnici. I dispositivi di protezione DEHN superano i valori nelle categorie specificate. Pertanto il valore esatto della capacità di trasporto delle correnti impulsive è indicato dalla corrente di scarica nominale (8/20 μ s) e dalla corrente impulsiva di fulmine (10/350 μ s).

Onda combinata

Un'onda combinata viene prodotta da un generatore ibrido (1,2 /50 μ s, 8/20 μ s) con un'impedenza fittizia di 2 Ω . La tensione a circuito aperto di questo generatore è denominata U_{OC} . U_{OC} è un indicatore preferito per gli scaricatori Tipo 3, in quanto solo questi scaricatori possono essere verificati con un'onda combinata (secondo CEI EN 61643-11 - CEI 37-8).

Frequenza limite f_C

La frequenza di taglio definisce il comportamento di uno scaricatore in un funzione della frequenza. La frequenza di taglio è quella che provoca una perdita di inserzione (a_e) pari a

3 dB in determinate condizioni di prova (si veda la norma CEI EN 61643-21 - CEI 37-6). Se non diversamente indicato, questo valore si riferisce a un sistema a 50 Ω .

Grado di protezione

Il grado di protezione IP corrisponde alle categorie di protezione descritte nella norma CEI EN 60529 (CEI 70-1).

Tempo di disconnessione t_a

Il tempo di disconnessione è il tempo che intercorre fino alla disconnessione automatica dalla rete di alimentazione in caso di guasto del circuito o delle apparecchiature da proteggere. Il tempo di disconnessione è un valore specifico risultante dall'intensità della corrente di guasto e dalle caratteristiche del dispositivo di protezione.

Coordinamento energetico dei dispositivi SPD

Il coordinamento energetico è costituito dall'interazione selettiva e coordinata della cascata di elementi di protezione (SPD) che fanno parte di un concetto generale di protezione contro i fulmini e le sovratensioni. Ciò significa che il carico totale della corrente di fulmine si divide tra i dispositivi SPD secondo la loro capacità di trasporto dell'energia. Se il coordinamento energetico non è possibile, il carico sugli SPD posti a valle non viene sufficientemente alleviato da quelli posti a monte, poiché gli SPD a monte intervengono troppo tardi, troppo poco o per niente. Di conseguenza, gli SPD posti a valle nonché gli apparecchi utilizzatori da proteggere possono essere distrutti. La norma CLC/TS 61643-12:2010 descrive le modalità di verifica del coordinamento energetico. In Italia questa Guida non è stata recepita ed è stata pubblicata la norma CEI 537-11. Gli SPD ad innesco di Tipo 1 offrono notevoli vantaggi dovuti alla loro caratteristica di commutazione della tensione (Si veda "funzione di interruzione della forma d'onda").

Gamma di frequenza

La gamma di frequenza rappresenta la banda passante o frequenza di limite di uno scaricatore, in funzione delle caratteristiche di attenuazione descritte.

Perdita di inserzione

A una data frequenza, la perdita di inserzione di un dispositivo di protezione contro le sovratensioni è definita dal rapporto tra il valore della tensione nel punto di inserimento prima e dopo l'installazione del dispositivo stesso. Se non diversamente indicato, questo valore si riferisce a un sistema a 50 Ω .

Fusibile di backup integrato

In base alla normativa di prodotto dei dispositivi SPD, devono essere utilizzati dei dispositivi di protezione contro le sovracorrenti/fusibili di backup. Ciò tuttavia richiede ulteriore spazio nel circuito di distribuzione, una lunghezza aggiuntiva per cavi che dovrebbero essere il più corti possibile secondo la norma CEI 64-8/553, tempi (e costi) aggiuntivi per l'installazione, più il dimensionamento del fusibile. Un fusibile integrato nel dispositivo SPD è l'ideale per le correnti di impulso ed elimina tutti questi inconvenienti. Il vantaggio in termini di ingombro, il cablaggio semplificato, il monitoraggio integrato del fusibile e il maggiore effetto protettivo (grazie alla minore lunghezza dei cavi di collegamento) costituiscono i vantaggi evidenti di questo concetto, integrato nelle famiglie di prodotti DEHNvenCI, DEHNbloc Maxi S, DEHNguard ... CI e V(A) NH.



LifeCheck

Ripetuti processi di scarica che superano le specifiche del dispositivo possono sovraccaricare gli scaricatori dei sistemi informatici. Al fine di garantire un'elevata disponibilità del sistema, gli scaricatori devono quindi essere sottoposti a prove sistematiche. LifeCheck consente un collaudo facile e veloce degli scaricatori.

Corrente di fulmine impulsiva I_{imp}

La corrente di fulmine impulsiva è una corrente impulsiva avente una curva standardizzata con forma d'onda 10/350 μ s. Con i suoi parametri (ampiezza, carica, energia specifica), essa riproduce la sollecitazione delle correnti di fulmine naturali. Gli scaricatori della corrente di fulmine e gli scaricatori combinati devono essere in grado di scaricare tali correnti impulsive di fulmine diverse volte senza subire la distruzione.

Protezione contro le sovracorrenti sul lato di rete / fusibile di backup dello scaricatore

Il dispositivo di protezione contro le sovracorrenti (ad esempio fusibile o magnetotermico) situato esternamente allo scaricatore, sul lato in ingresso, serve a interrompere la corrente susseguente (alla frequenza di rete) non appena viene superato il potere di interruzione del dispositivo. Non occorrono fusibili di backup supplementari perché il fusibile di backup è già integrato nel dispositivo SPD.

Tensione massima continuativa di esercizio U_c

La tensione massima continuativa di esercizio (massima tensione di funzionamento ammissibile) è il valore efficace (RMS) della tensione massima applicabile ai morsetti del dispositivo di protezione da sovratensioni durante il funzionamento. Questa è la tensione massima sullo scaricatore nello stato di non conduzione, che riporta il dispositivo in questo stato dopo

l'intervento e la successiva scarica. Il valore di U_c dipende dalla tensione nominale del sistema da proteggere e dalle specifiche installazione (IEC 60364-5-534).

Tensione massima continuativa di esercizio U_{CPV} per un sistema fotovoltaico (FV)

Valore della massima tensione continua che può essere applicata in modo permanente ai morsetti del dispositivo SPD. Al fine di garantire che U_{CPV} sia superiore alla massima tensione a circuito aperto del sistema fotovoltaico in caso di influenze esterne (ad es. temperatura ambiente, irraggiamento solare), U_{CPV} deve essere maggiore di questa massima tensione a circuito aperto di un fattore 1,2 (secondo la norma CEI CLC/TS 50539-12 - CEI 37-12). Questo fattore 1,2 previene l'errato dimensionamento del dispositivo SPD.

Massima corrente di scarica I_{max}

La massima corrente di scarica è il massimo valore di picco dell'impulso di corrente a 8/20 μ s che il dispositivo può scaricare in sicurezza.

Capacità massima di trasmissione

La massima capacità di trasmissione definisce la massima potenza ad alta frequenza che può essere trasmessa attraverso un dispositivo di protezione contro le sovratensioni coassiale senza interferire con l'elemento di protezione.

Corrente di scarica nominale I_n

La corrente di scarica nominale è il valore di picco dell'impulso di corrente a 8/20 μ s per la quale il dispositivo di protezione contro le sovratensioni è dimensionato secondo un certo programma di prove, e che il dispositivo stesso può scaricare diverse volte.

Corrente di carico nominale (corrente nominale) I_L

La corrente di carico nominale è la massima corrente di funzionamento ammissibile che può passare in permanenza attraverso i corrispondenti morsetti.

Tensione nominale U_N

La tensione nominale è la tensione nominale del sistema da proteggere. Il valore della tensione nominale spesso serve a identificare il tipo di dispositivi di protezione contro le sovratensioni per i sistemi informatici. Tale valore viene indicato come valore RMS per impianti a corrente alternata.

Scaricatore N-PE

Dispositivi di protezione progettati esclusivamente per l'installazione tra conduttori N e PE.

Temperatura di esercizio T_U

La temperatura di funzionamento è il campo di temperature in cui i dispositivi possono essere utilizzati. Per i dispositivi non soggetti ad auto-riscaldarsi, tale temperatura corrisponde a quella ambiente. L'aumento di temperatura dei dispositivi soggetti ad auto-riscaldarsi non deve superare il valore massimo indicato.

Circuito di protezione

I circuiti di protezione sono costituiti da più dispositivi di protezione a più stadi e in cascata. I singoli stadi possono essere costituiti da spinterometri, varistori, elementi a semiconduttore e tubi a scarica di gas (si veda coordinamento energetico).

Corrente nel conduttore di protezione I_{PE}

La corrente nel conduttore di protezione è la corrente che passa attraverso il collegamento PE quando il dispositivo di protezione contro le sovratensioni è collegato alla massima tensione continua di esercizio U_C , secondo le istruzioni di installazione e senza il carico dei dispositivi utilizzatori.

Contatto di telesegnalazione

Un contatto di telesegnalazione permette di sorvegliare facilmente a distanza il dispositivo e a fornire un'indicazione del suo stato di funzionamento. Dispone di un morsetto a tre poli sotto forma di un contatto di commutazione mobile. Questo contatto può essere utilizzato come contatto aperto o chiuso e può quindi essere facilmente integrato nel sistema di controllo dell'edificio, nel dispositivo di controllo del quadro di commutazione, eccetera.

Tempo di intervento t_A

Il tempo di risposta caratterizza soprattutto la risposta dei singoli elementi di protezione utilizzati nello scaricatore. A seconda della velocità di salita du/dt (della tensione dell'impulso) o di/dt (della corrente dell'impulso), i tempi di intervento possono variare entro certi limiti.

Perdita di ritorno

In applicazioni ad alta frequenza, la perdita di ritorno è il modo in cui molte parti dell'onda "di andata" sono riflesse in corrispondenza del dispositivo di protezione contro le sovratensioni. Si tratta di una misura diretta di come un dispositivo di protezione è in sintonia con l'impedenza caratteristica del sistema.

Tecnologia SCI

Le correnti continue passano sul lato del generatore di un sistema fotovoltaico. I dispositivi di protezione utilizzati sul lato del generatore possono essere sovraccaricati in varie situazioni (ad esempio: carico impulsivo, guasti nell'iso-



lamento) e non deve mettere a repentaglio il sistema fotovoltaico. In un sistema fotovoltaico, tuttavia, una capacità di disconnessione insufficiente in corrente continua può provocare un incendio. I tradizionali dispositivi di protezione contro le sovratensioni presentano solo un sezionatore sotto forma di un semplice meccanismo di interruzione, come quelli utilizzati in genere per dispositivi in corrente alternata. Mancando il passaggio attraverso la tensione zero che spegne l'arco spinterometrico, l'arco persiste e può provocare un incendio. La tecnologia SCI brevettata da DEHN + SÖHNE con estinzione attiva dell'arco è la soluzione ideale. In caso di sovraccarico viene aperto un contatto e prodotto un corto circuito. In tal modo un eventuale ad arco di commutazione viene estinto attivamente, rapidamente e in sicurezza. Il fusibile FV integrato nel percorso di corto-circuito interviene immediatamente dopo lo spegnimento dell'arco garantendo l'isolamento elettrico sicuro (interruzione). Pertanto tutti gli scaricatori FV DEHN + SÖHNE combinano in un unico dispositivo la protezione contro le sovratensioni, l'incendio e la protezione delle persone.

Resistenza in serie

Si tratta della resistenza in direzione del flusso del segnale tra l'ingresso e l'uscita del dispositivo scaricatore.

Attenuazione della schermatura

Relazione tra la potenza entrante in un cavo coassiale e la potenza irradiata dal cavo attraverso il conduttore di fase.

Limitatori di sovratensione (SPD)

I dispositivi di protezione contro la sovratensione sono costituiti principalmente da resistori con valore della resistenza dipendente dalla tensione (varistori, diodi soppressori) e/o spinterometri (percorsi di scarica). I dispositivi di protezione contro le sovratensioni vengono utilizzati per proteggere gli altri dispositivi e impianti elettrici dalle sovratensioni eccessive e/o per stabilire dei collegamenti equipotenziali. I dispositivi di protezione contro le sovratensioni sono suddivisi nelle seguenti categorie:

a) in base all'utilizzo

- Dispositivi di protezione per impianti e dispositivi di alimentazione (famiglia di prodotti Red/Line) per tensioni nominali fino a 1000 V,
 - secondo la norma CEI EN 61643-11:2014 in SPD Tipo 1 / 2 / 3
 - secondo la norma IEC 61643-11:2011 in SPD di Classe I / II / III
- Dispositivi di protezione dedicati a impianti e dispositivi informatici (famiglia di prodotti Yellow/Line) per la protezione delle apparecchiature elettroniche per le reti di tele-

comunicazioni e segnalazione, con tensione nominale fino a 1000 V in corrente alternata (valore efficace) e 1500 V in corrente continua, contro gli effetti diretti e indiretti di fulmini e altri transitori.

- secondo le norme IEC 61643-21:2009 e CEI EN 61643-21:2010 (CEI 37-6).

- ➔ Spinterometri per impianti di messa a terra o collegamenti equipotenziali (famiglia di prodotti Red/Line).
- ➔ Dispositivi di protezione per impianti fotovoltaici (famiglia di prodotti Red/Line) per tensioni nominali fino a 1500 V.
 - secondo la norma CEI EN 50539-11:2014 (CEI 37-16) in SPD Tipo 1/2

b) secondo la loro capacità di scarica della corrente impulsiva ed effetto protettivo

- ➔ Scaricatori della corrente di fulmine e scaricatori coordinati per la protezione degli impianti e dei dispositivi utilizzatori dalle interferenze derivanti dalla fulminazione diretta o dai fulmini che cadono nelle vicinanze (installati al confine tra le zone LPZ 0_A e 1).
- ➔ Scaricatori delle sovratensioni per la protezione degli impianti, delle apparecchiature e dei dispositivi utilizzatori nei confronti dei fulmini, delle sovratensioni di commutazione, nonché dalle scariche elettrostatiche (sono installati al confine a valle delle zone LPZ 0_B).
- ➔ Scaricatori combinati per la protezione degli impianti, delle apparecchiature e dei dispositivi utilizzatori dalle interferenze derivanti dalla fulminazione diretta o dai fulmini che cadono nelle vicinanze (sono installati al confine tra le zone LPZ 0_A e 1 nonché tra le zone LPZ 0_A e 2).

Dati tecnici dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni

I dati tecnici dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni comprendono informazioni sulle loro condizioni di impiego secondo le rispettive:

- ➔ applicazioni (ad esempio, installazione, condizioni di rete, temperatura),
- ➔ prestazioni in caso di interferenza (ad esempio, capacità di scarica della corrente impulsiva, capacità di estinzione della corrente susseguente, livello di protezione della tensione, tempo di risposta),
- ➔ prestazioni durante il funzionamento (ad esempio, corrente nominale, attenuazione, resistenza di isolamento),
- ➔ prestazioni in caso di guasto (ad esempio, prefusibile, sezionatore, a prova di guasto, segnalazione remota opzionale).

Tenuta alla corrente di corto circuito

La tenuta al corto circuito è il valore della possibile corrente di cortocircuito alla frequenza di rete gestita dal dispositivo di protezione contro le sovratensioni quando è collegato a monte il rispettivo massimo prefusibile.

Corrente nominale di corto circuito I_{SCPV} di un SPD in un impianto fotovoltaico (FV)

La massima corrente di corto circuito che il dispositivo SPD può sopportare, da solo o in combinazione con i relativi dispositivi di disconnessione.

Sovratensione temporanea (TOV)

Per un breve periodo di tempo possono essere presenti delle sovratensioni temporanee al dispositivo di protezione contro le sovratensioni, a causa di un guasto nell'impianto ad alta tensione. Questo evento va chiaramente distinto da un transiente causato da un fulmine o da un'operazione di commutazione con durata non superiore a circa 1 ms. L'ampiezza U_T e la durata di questa sovratensione temporanea sono specificati nella norma CEI EN 61643-11 - CEI 37-8 (200 ms, 5 s o 120 min) e vengono provati singolarmente per gli SPD secondo la configurazione dell'impianto (TN, TT, ecc.). Il dispositivo SPD può presentare: (a) una modalità di guasto affidabile (sicurezza in caso di sovratensioni temporanee, o TOV) oppure (b) una resistenza alle TOV (nel senso che il dispositivo resta completamente operativo durante e dopo una TOV).

Sezionatore termico

I dispositivi di protezione delle reti di alimentazione sono dotati di resistori controllati in tensione (varistori) e presentano di solito un sezionatore termico integrato che li scollega dalla rete in caso di sovraccarico, segnalando nel contempo tale situazione. Se viene superata una certa temperatura, il sezionatore risponde al calore prodotto dal varistore sovraccarico e scollega dalla rete il dispositivo di protezione contro le sovratensioni. Il sezionatore è progettato per scollegare il dispositivo di protezione sovraccarico in tempo per evitare un incendio. Non è destinato ad assicurare la protezione contro il contatto indiretto. È possibile verificare il funzionamento di tali sezionatori termici mediante un sovraccarico o invecchiamento simulato.

Corrente di scarica I_{totale}

Corrente che fluisce attraverso il collegamento PE, PEN o di terra di un SPD multipolare durante la prova di verifica della corrente di scarica totale. Questa prova viene utilizzata per determinare il carico totale, se la corrente passa contemporaneamente attraverso diversi percorsi di protezione in un SPD multipolare. Questo parametro è decisivo per valutare la capacità di scarico totale gestita in modo affidabile dalla somma dei singoli percorsi di un SPD.

Livello di protezione U_p

Il livello di protezione della tensione di un dispositivo di protezione contro le sovratensioni è il massimo valore istantaneo della tensione ai capi del dispositivo stesso, determinata dalle singole prove standardizzate:

- ➔ tensione impulsiva di innesco 1,2/50 μ s (100 %)
- ➔ tensione di scarica con un fronte di salita di 1kV/ μ s
- ➔ tensione residua misurata con una corrente di scarica nominale I_n

Il livello di protezione della tensione caratterizza la capacità del dispositivo di limitare le sovratensioni a un livello residuo. Il livello di protezione della tensione definisce il punto di installazione rispetto alla categoria di sovratensione, secondo la norma CEI EN 60664-1 (CEI 109-1) negli impianti di alimentazione. Per i dispositivi di protezione contro le sovratensioni da utilizzare nei sistemi informatici, il livello di protezione della tensione deve essere adattato al livello di immunità dell'apparecchio da proteggere (CEI EN 61000-4-5: 2015 - CEI 110-30).

Interruttore della forma d'onda

Il coordinamento energetico dei dispositivi SPD di Tipo 1 varia notevolmente a causa della loro progettazione tecnica. L'esperienza ha dimostrato che impulsi 10/350 μ s della corrente di fulmine, anche di modesta ampiezza, sovraccaricano o persino distruggono i dispositivi SPD



Tipo 1 se sono a varistore. Al contrario, i dispersori Tipo 1 spinterometrici possono trasportare praticamente tutta la corrente di fulmine. In modo simile a un interruttore della forma d'onda, essi riducono l'energia a un livello accettabile. Il vantaggio è che il tempo di dimezzamento della corrente di fulmine impulsiva 10/350 μ s si riduce, a causa della riduzione del tempo di impulso e del comportamento commutativo dei dispersori Tipo 1. Ciò alleggerisce notevolmente il carico dei dispositivi SPD posti a valle.

Tutti i dispositivi di DEHN + SÖHNE della linea di prodotto Red/Line e Yellow/Line sono energeticamente coordinati. Inoltre, tutti gli scaricatori Tipo 1 della famiglia Red/Line sono basati su spinterometri e quindi si comportano come interruttori della forma d'onda.

Famiglia di SPD Yellow/Line

Tutti gli scaricatori DEHN per l'impiego in sistemi informatici sono compresi nelle categorie Yellow/Line e sono contrassegnati con il simbolo corrispondente nelle specifiche tecniche e sulla rispettiva targhetta.

D. Abbreviazioni

3G	Standard radio mobile di terza generazione	FBIP	Pannello segnalatore vigili del fuoco
4G	Standard radio mobile di quarta generazione	FBOP	Pannello operativo vigili del fuoco
ABB	Ausschuss für Blitzschutz und Forschung im VDE (Comitato per protezione contro i fulmini e la ricerca del VDE)	FC	Convertitore di frequenza
AC	Accoppiatore di area	FD	Distributore di piano
AC	Alternating Current - corrente alternata	FEM	Metodo degli elementi finiti (Finite Element Method)
ALDIS	Sistema di rilevazione e informazione austriaco sui fulmini	FTT	Ricetrasmittitore a topologia libera (Free Topology Transceiver)
ATEX	Linee Guida per la protezione contro le esplosioni dell'Unione europea (dal Francese: <i>AT</i> mosphère <i>EX</i> plosive)	G	Generatore
BBU	Unità in banda base (Baseband Unit)	GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungs-wirtschaft e.V. (Associazione assicurativa tedesca)
BD	Building Distribution - Distributore di edificio	GRP	Vetroresina (Glass-fibre Reinforced Plastic)
C	Cabina cavi	gG	Protezione completa (fusibile di impiego generale)
CBN	Sistema equipotenziale comune	gL	Protezione completa dei cavi e delle linee
CCP	Protezione catodica anticorrosione	GPS	Sistema di posizionamento globale (Global Positioning System)
CD	Armadio di distribuzione a livello di comprensorio (o di distretto)	HF	Alta frequenza
CEI	Comitato Elettrotecnico Italiano	HV	Alta tensione
CHP	Cogeneratore (Combined Heat and Power Station)	HVI	Isolamento ad alta tensione (High Voltage Insulation)
CP	Punto di consolidamento	IEC	Commissione elettrotecnica internazionale
CPS	Alimentazione centrale	I/O	Input/Output
CPU	Unità di elaborazione centrale (Central Processing Unit)	ISDN	Rete digitale di servizio integrata (Integrated Services Digital Network)
CTRL	Dispositivo di controllo (Controller)	IT	Tecnologia dell'informazione (Information Technology)
CC	Corrente continua (Direct Current)	ITE	Apparecchiatura informatica (Information Technology Equipment)
DCF	Segnale orario per gli orologi radiocontrollati in Germania	KD	Deposito chiavi (Key Depot)
DDC	Controllo Digitale Diretto	KEMA	Keuring van Elektrotechnische Materialen te Arnhem (Ispezione delle apparecchiature elettriche ad Arnhem)
DIN	Deutsches Institut für Normung (Ente normatore tedesco)	KNX	Standard per la domotica
DNO	Gestore della rete di distribuzione	LAN	Rete locale (Local Area Network)
EB	Collegamento equipotenziale	LC	Accoppiatore di linea
EBB	Barra equipotenziale	LED	Diodo luminoso (Light-Emitting Diode)
EMC	Compatibilità elettromagnetica (EMC)	LEMP	Impulso elettromagnetico dovuto a un fulmine (Lightning electromagnetic Pulse)
ERP	Punto di riferimento di terra	LF	Bassa frequenza
Ex	Area in cui possono formarsi atmosfere esplosive	LON	Rete operativa locale (Local Operating Network)
Ex(i)	Sicurezza intrinseca	LPL	Livello di protezione contro i fulmini
EU	Unità di elaborazione nella centrale di commutazione		

LPS	Impianto di protezione contro i fulmini	SELV	Tensione bassissima di sicurezza (Safety Extra-Low Voltage)
LPT	Ricetrasmittitori alimentati attraverso il collegamento (Link Power Transceiver)	SEMP	Impulso elettromagnetico di commutazione (Switching Electromagnetic Puls)
LPZ	Zona di protezione contro i fulmini	SPD	Limitatore di sovratensione (Surge Protective Device)
LTE	Evoluzione a lungo termine, uno standard radio-mobiliare (Long Term Evolution)	SPM	Misura di protezione contro le sovratensioni Surge Protection Measure()
LV	Bassa tensione	SS	Servizi di sicurezza
MLVDB	Quadro principale di distribuzione di rete a bassa tensione	StSt	Acciaio Inox
M	Contatore	T	Cabina di trasformazione
M	Motore	TO	Unità di collegamento per telecomunicazioni
MCE	Apparecchiatura di controllo e misura (Measuring and Control Equipment)	TE	Apparecchio trasmittente
MDB	Quadro generale di distribuzione (Main Distribution Board)	TMA	Amplificatore da traliccio (Tower-Mounted Amplifier)
EBB	Barra equipotenziale principale (Main Earthing Busbar)	TO	Presa per telecomunicazioni, terminale utente (Telecommunications Outlet)
MOV	Varistore a ossido metallico (Metal Oxide Varistor)	TOV	Sovratensione temporanea (Temporary Overvoltage)
MT	Trasduttore di misura (Measuring Transducer)	UMTS	Uno standard radiomobiliare (Universal Mobile Telecommunications System)
MV	Media tensione	U	Utilità
APL	Terminazione di rete	UPS	Gruppo di continuità (Uninterrupted Power Supply)
NTBA	Terminazione di rete per un accesso base ISDN	VDB	Verband Deutscher Blitzschutzfirmen e.V. (Associazione delle aziende tedesche del settore antifulmini)
OFC	Cavo a fibre ottiche (Optical Fibre Cable)	VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e.V. (Associazione tedesca delle tecnologie elettriche, elettroniche e informatiche)
PE	Conduttore di protezione	VDEW	Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V. (Associazione tedesca del settore elettrico)
PE	Polietilene	VDN	Verband der Netzbetreiber e.V. beim VDEW (Associazione tedesca dei gestori di rete presso il VDEW)
PEN	Conduttore neutro di protezione	VDS	Unternehmen des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) mit den Bereichen Brandschutz, Security und Bildungszentrum & Verlag (Società appartenente all'associazione tedesca delle compagnie assicurative operante nel campo degli incendi, sicurezza, formazione ed editoria)
PEX	Polietilene reticolato	VS	Interruttore di ventilazione
PLC	Controllore a logica programmabile	VS/C	Alimentazione / Reattore
PP	Sezionatore telefono	ZDC	Pressofusione in zinco
PSU	Alimentatore	ZVDH	Zentralverband des deutschen Dachdeckerhandwerks (Associazione centrale tedesca dei conciatetti)
PV (FV)	Fotovoltaico		
RBS	Stazione radio base		
RCD	Dispositivo di protezione a corrente differenziale		
RE	Elemento di rilascio		
RET	Brandeggio telecomandato (Remote Electrical Tilt)		
RRH	Unità radio remote (Remote Radio Head)		
RRU	Unità radio remote (Remote Radio Unit)		
SCI	Interruzione corto circuito		
SDB	Quadro di distribuzione secondario		
SDS	Sistema di rilevamento del fumo		
SEB	Quadro di consegna energia		

E. Simboli tecnici

Simbolo	Descrizione	Simbolo	Descrizione	Simbolo	Descrizione
	Equipotenzialità antifulmini; SPD di corrente di fulmine		Barra equipotenziale		Conduttore PE
	Equipotenzialità locale; limitatore di sovratensioni		Fusibile (generale)		Conduttore N
	Equipotenzialità antifulmini; SPD di Tipo 1 della famiglia Yellow/Line		Resistore; componente di disaccoppiamento (generale)		Conduttore PEN
	Equipotenzialità locale; SPD di Tipo 2 - 4 della famiglia Yellow/Line		Resistore variabile		Terra (generale)
	Equipotenzialità antifulmini; scaricatore di corrente di fulmine SPD Tipo 1)		Termistore variabile		Punto di sezionamento
	Equipotenziale locale; limitatore di sovratensioni (SPD Tipo 2, SPD Tipo 3)		Diodo		Giunzione
	Scaricatore di corrente da fulmine per zone Ex		Diodo luminoso (LED)		Morsetto di collegamento
	Limitatore di sovratensioni per zone Ex		Diodo a valanga bidirezionale		Motore
	Scaricatore combinato per alimentatori e impianti telematici		Condensatore		Generatore
	Scaricatore a media tensione		Indicatore luminoso		Sensore di temperatura
	Spinterometro di sezionamento		Trasformatore		Pres a e spina
	Varistore		Induttore (reattore, avvolgimento, bobina)		Pres a con contatto di terra
	Scaricatore a gas (singolo)		Involucro		Pres a dell'antenna
	Prova scaricatore LifeCheck		Contatore		Interruttore / pulsante
	Concetto di protezione contro i fulmini		Inverter		Sezionatore fusibile
	Zona con pericolo di esplosione		Modulo FV		Interruttore magnetotermico
	Zona con pericolo di esplosione		Cavo schermato		Schema unifilare dei conduttori con numeri e linee

Simboli delle classi SPD		
Caratteristica	Simbolo	Descrizione
Capacità di scarica di uno scaricatore (secondo le categorie della norma IEC 61643-21 - CEI EN 61643-21 - CEI 37-6)	TYPE 1	Impulso D1 (10/350 μ s), corrente di fulmine impulsiva $\geq 2,5$ kA/ conduttore o ≥ 5 kA/ totale • Supera la capacità di scarica di TYPE 2 - TYPE 4
	TYPE 2	Impulso C2 (8/20 μ s), carico impulsivo aumentato $\geq 2,5$ kA/ conduttore o ≥ 5 kA/ totale • Supera la capacità di scarica di TYPE 3 - TYPE 4
	TYPE 3	Impulso C1 (8/20 μ s), carico impulsivo $\geq 0,25$ kA/ conduttore o $\geq 0,5$ kA/ totale • Supera la capacità di scarica di TYPE 4
	TYPE 4	Carico $<$ TYPE 3
Effetto protettivo di uno scaricatore (limitazione sotto il livello di prova secondo la norma CEI EN 61000-4-5 - CEI 110-30)	P1	Livello di prova richiesto per l'apparecchio utilizzatore: 1 o superiore
	P2	Livello di prova richiesto per l'apparecchio utilizzatore: 2 o superiore
	P3	Livello di prova richiesto per l'apparecchio utilizzatore: 3 o superiore
	P4	Livello di prova richiesto per l'apparecchio utilizzatore: 4
Coordinamento energetico (con un altro scaricatore Yellow/ Line)	+	Scaricatore dotato di impedenza di disaccoppiamento, adatto per il coordinamento con uno scaricatore contrassegnato con \square
	\square	Scaricatore adatto per il coordinamento con un scaricatore dotato di impedenza di disaccoppiamento +

Assegnazione delle classi SPD nel passaggio tra zone LPZ				
Percorso dei conduttori	Soluzione per lo scaricatore	Esempio di assegnazione delle classi SPD nel passaggio tra zone LPZ		
		verso LPZ 1	verso LPZ 2	verso LPZ 3
da LPZ 0 _A	Scaricatori combinati	TYPE 1 P1		
	Scaricatori in cascata	TYPE 1+	TYPE 2 P1	
		TYPE 1 C	+TYPE 3 P1	
da LPZ 0 _B	Scaricatori combinati	TYPE 1 P1		
	Limitatori di sovratensione	TYPE 2 P1 o TYPE 2 P1		
	Scaricatori in cascata	TYPE 2 C	+TYPE 3	
da LPZ 1	Scaricatori combinati	–	TYPE 1 P1	
	Limitatori di sovratensione	–	TYPE 2 P1 o TYPE 2 P1	
da LPZ 2	Scaricatori combinati	–	TYPE 1 P1	
	Limitatori di sovratensione	–	–	TYPE 2 P1
		–	–	TYPE 3 P1
		–	–	TYPE 4 P1

F. Indice





Brochure DEHN

Protezione da sovratensioni per l'alimentazione elettrica	
DEHNsecure protegge le applicazioni in corrente continua	DS 187E
DEHNshield® – Scaricatore combinato ottimizzato per l'applicazione	DS 193E
Più spazio nel quadro di commutazione - Scaricatori con fusibile integrato	DS 196E
Protezioni contro sovratensioni e incendi - Scaricatore con tecnologia SCA per circuiti a corrente continua	DS 215E
Protezione da sovratensioni per reti informatiche	
DEHNgate – Scaricatori coassiali	DS 137E
BLITZDUCTOR® XT – Scaricatori di corrente e limitatori di sovratensioni modulari	DS 143E
DEHNrapid® LSA – Protezione modulare antifulmine e contro le sovratensioni	DS 145E
Guida alla selezione per la famiglia Yellow/Line	DS 150E
Messa a terra per la protezione contro i fulmini	
Conduttore isolato CUI resistente alle tensioni elevate	DS 139E
Soluzioni affidabili per impianti di captazione	DS 151E
Innovazione nella protezione antifulmine - Conduttore HVI®	DS 212E
Apparecchiature di sicurezza	
DEHNcare® protegge i lavoratori esposti agli archi elettrici	DS 185E
Sicurezza nelle operazioni sugli impianti elettrici - Dispositivi di messa a terra e corto circuito	DS 191E
Sicurezza nelle operazioni sugli impianti in tensione - Sistema mobile di protezione contro gli archi elettrici DEHNarc	DS 223E
Interventi in sicurezza - Ispezioni periodiche dei dispositivi di messa a terra e di corto circuito	DS 239E
DEHNshort protegge dagli archi elettrici	DS 241E

Cataloghi	
Catalogo della protezione contro le sovratensioni	DS 401E
Catalogo principale della protezione antifulmine e della messa a terra	DS 427E
Catalogo principale delle apparecchiature di sicurezza	DS 396E
Brochure per i settori di mercato	
DEHN protegge i generatori eolici	DS 103E
DEHN protegge le stazioni radiomobile	DS 104E
DEHN protegge gli impianti a biogas	DS 144E
DEHN protegge gli impianti ferroviari	DS 180
DEHN protegge i sistemi di sicurezza	DS 197E
DEHN protegge gli impianti del gas	DS 214E
DEHN protegge gli impianti di alimentazione e distribuzione	DS 243E
Brochure generali	
DEHN protegge.	DS 509E
DEHN arresta le sovratensioni	DS 614E
Quando il fulmine colpisce	DS 661E
DEHNsupport Toolbox	DS 709E
DEHN Test Centre	DS 113E
DEHN Service	DS 158E