



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 contattori 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 prevedente 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.

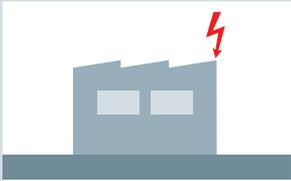
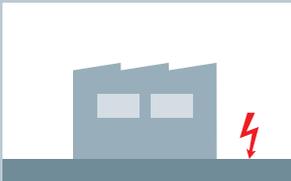
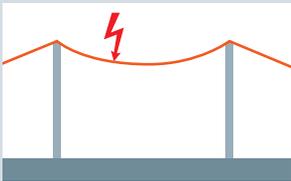
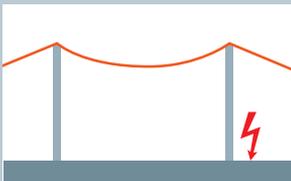
L'analisi dei rischi presentata nella norma CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) assicura che è possibile elaborare un concetto di protezione contro i fulmini compreso da tutte le parti coinvolte, in grado di soddisfare in modo ottimale i requisiti tecnici ed economici in modo da garantire la necessaria protezione 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.

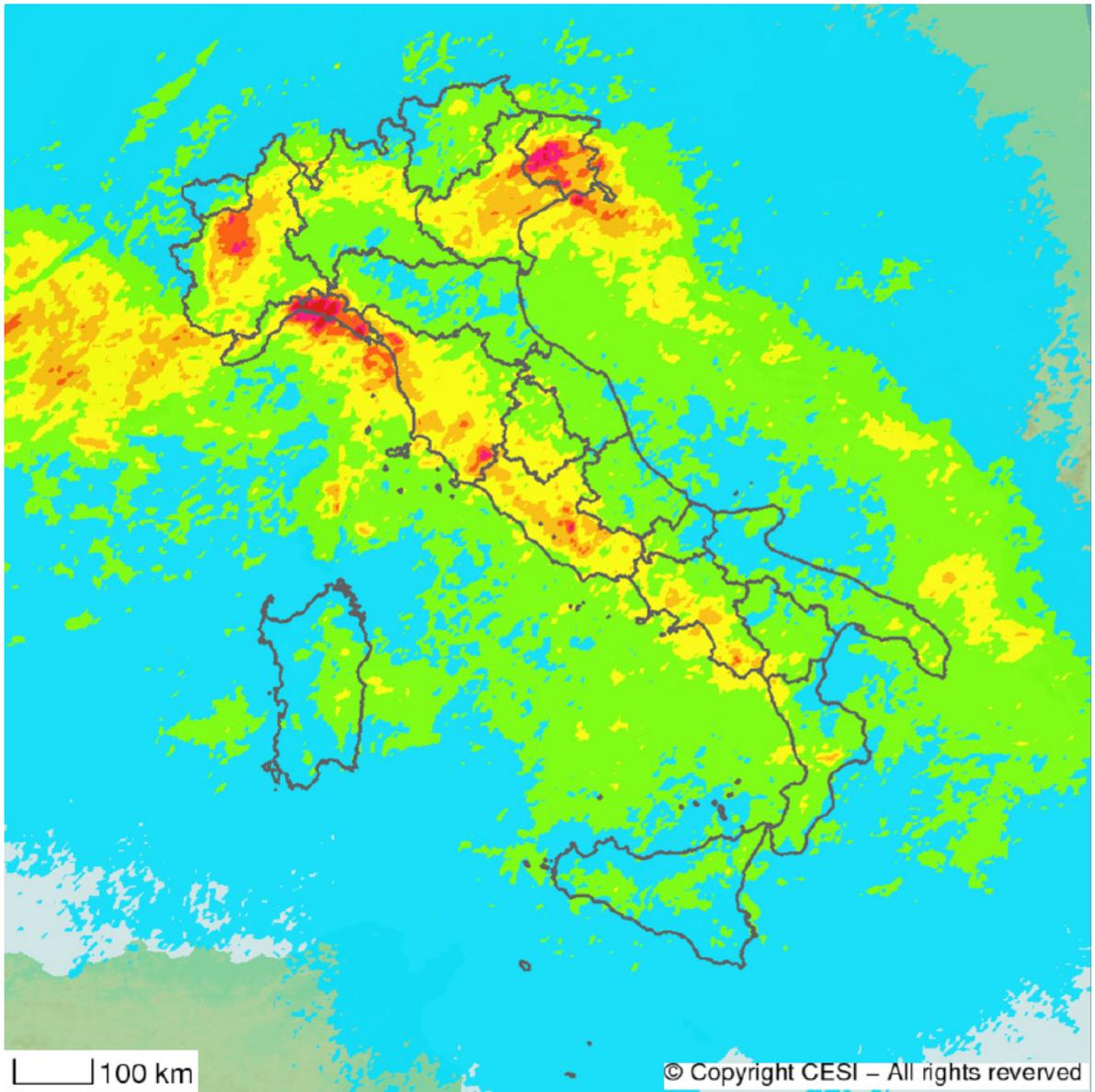
Fulminazione diretta delle linee

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)

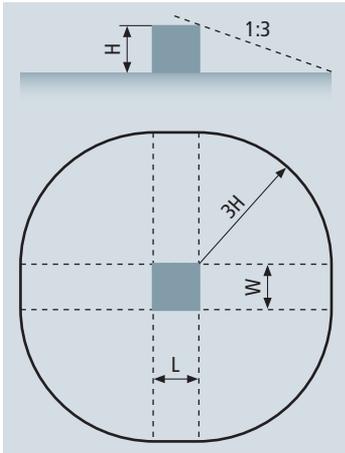


Figura 3.2.3.2 Area di raccolta equivalente A_D per fulmini diretti su una struttura isolata

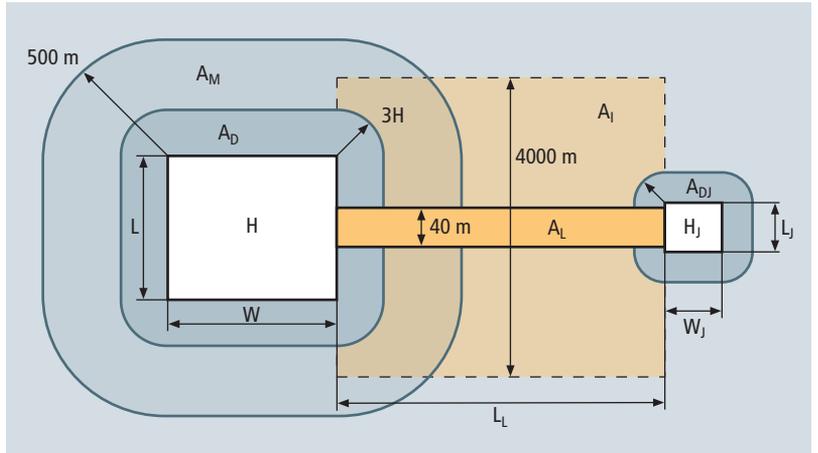


Figura 3.2.3.3 Area di raccolta equivalente A_M, A_L, A_I per fulminazione indiretta della struttura

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 **Table 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

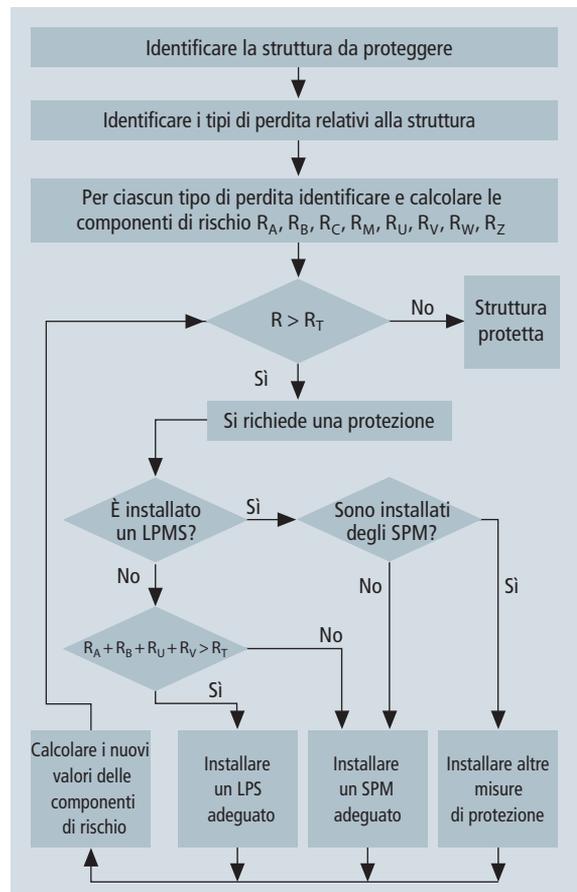


Figura 3.2.8.1 Diagramma di flusso per la determinazione della necessità di protezione e per selezionare le misure di protezione in caso di perdite del tipo da L1 a L3

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

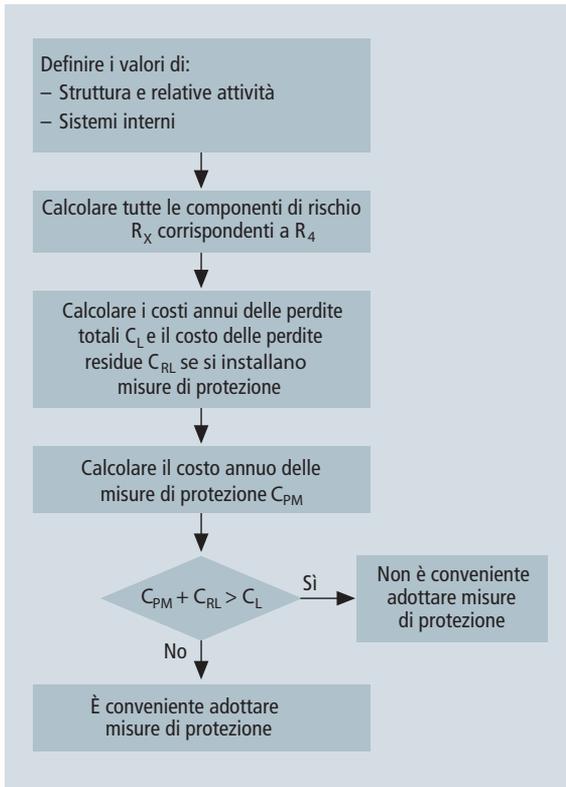


Figura 3.2.9.1 Diagramma di flusso per la selezione delle misure di protezione in caso di danno economico

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.

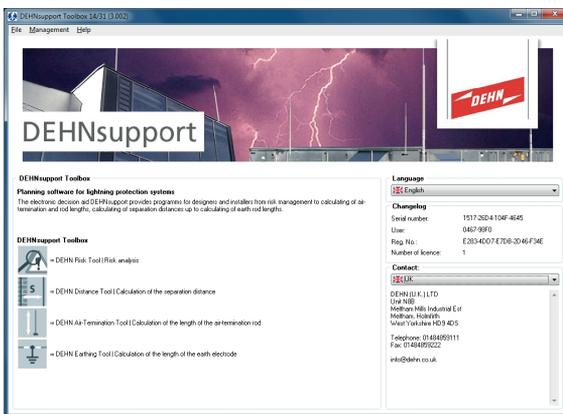


Figura 3.3.1 Schermata di avvio del software di supporto DEHNSupport Toolbox.

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

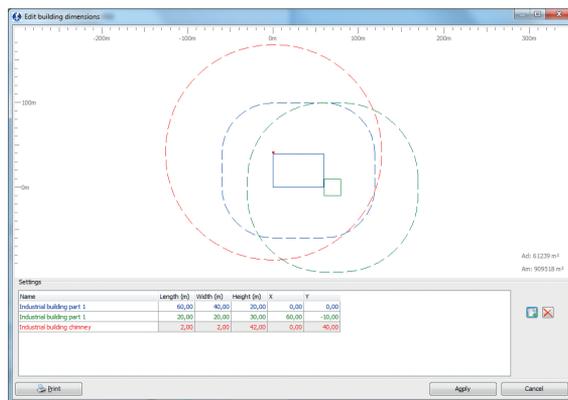


Figura 3.3.1.1 Calcolo dell'area di raccolta

- ➔ 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

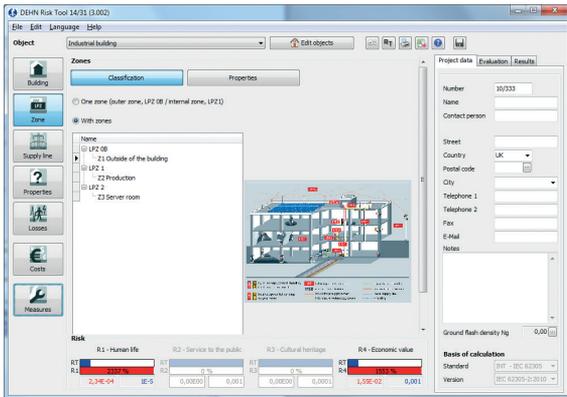


Figura 3.3.1.2 Software DEHN Risk Tool, suddivisione in zone

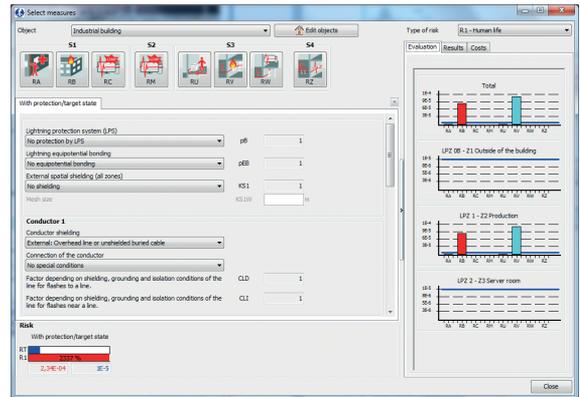


Figura 3.3.1.3 Software DEHN Risk Tool, valutazione dei rischi

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):

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

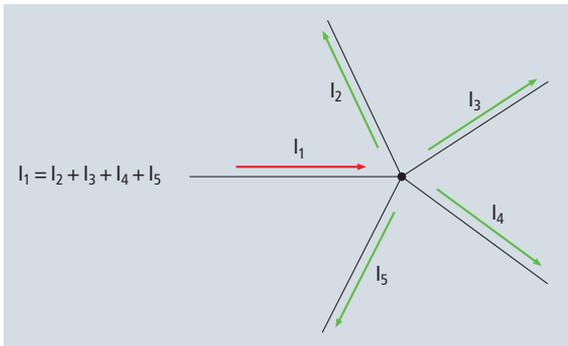


Figura 3.3.2.1.1 Legge di Kirchhoff con i nodi

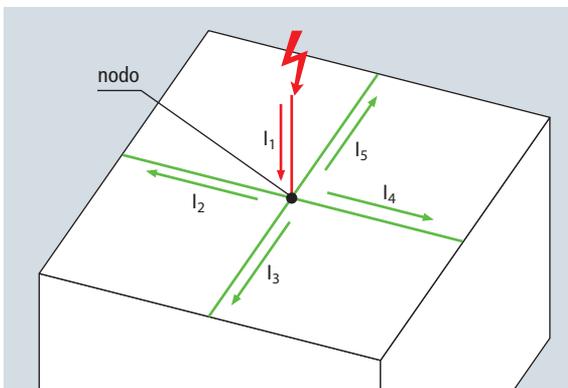


Figura 3.3.2.1.2 Legge di Kirchhoff: esempio di edificio con una maglia sul tetto

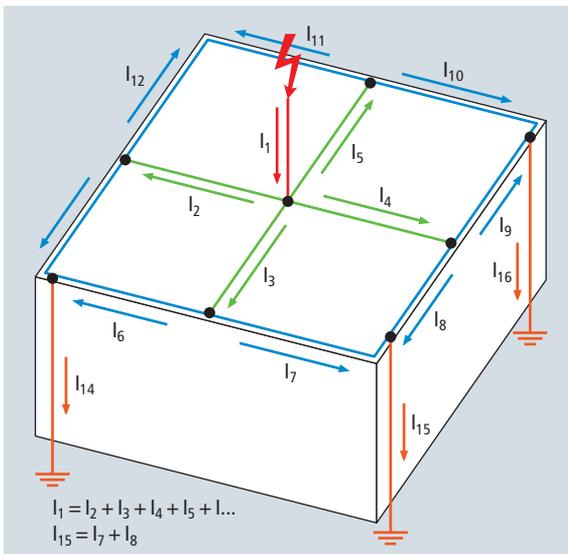


Figura 3.3.2.1.3 Legge di Kirchhoff: esempio di edificio con impianto di captazione

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).

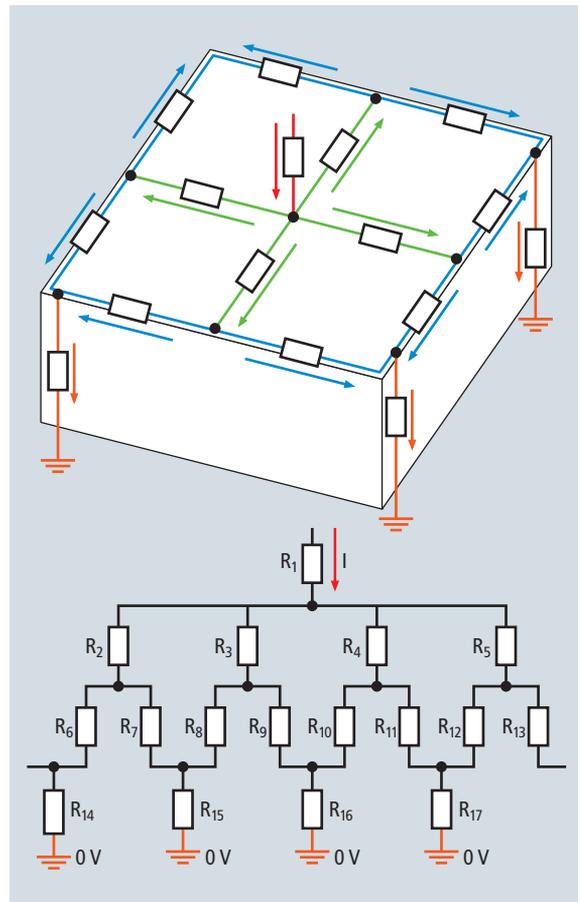


Figura 3.3.2.1.4 Resistenze dell'edificio

➔ **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.

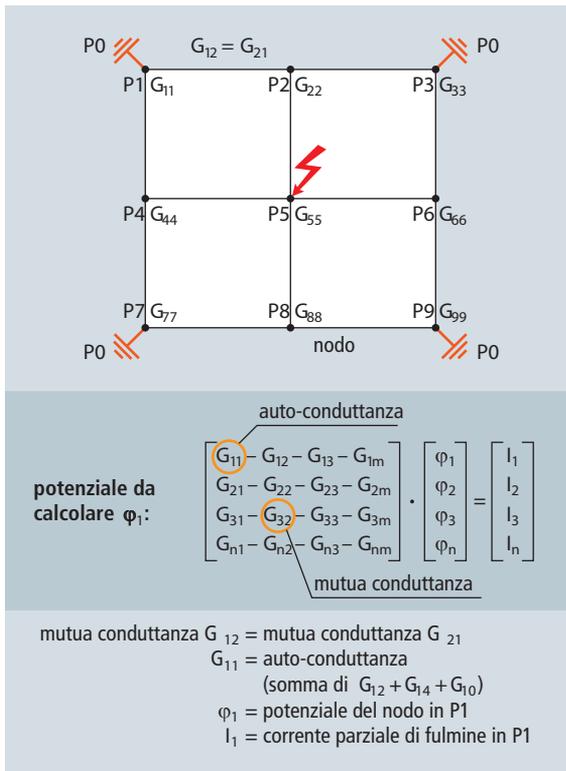


Figura 3.3.2.1.5 Equazione al nodo

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 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-

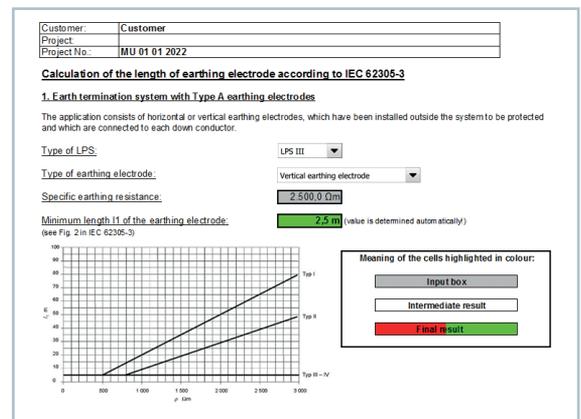


Figura 3.3.3.1 Software DEHN Earthing Tool, impianto di dispersori tipo A

Customer:	Customer
Project:	
Project No.:	MU 01 01 2022

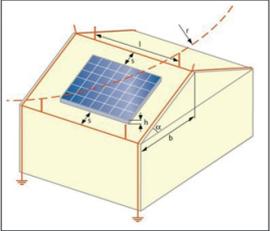
Determining of the air-termination rod height with the rolling sphere method according to IEC 62305-3

The minimum height of the air-termination rod can be exactly calculated by means of the rolling sphere method. Contrary to the protective angle method, you will obtain an exact value for the height of the air-termination rod required for the protection of an object. The radii of the individual rolling spheres are determined by means of the types of LPS!

Meaning of the cells highlighted in colour:

Input box Intermediate result Final result

Calculation for four air-termination rods with inclined roof area:
(e.g. PV systems at roof tops of houses or barns)



Type of LPS= LPS III

Rolling sphere radius $r=$ 45 m

Angle of roof inclination $\alpha=$ 30°

Length from air-termination rod to air-termination rod $l=$ 5,00 m

Width from air-termination rod to air-termination rod $b=$ 7,50 m

Height of object $h=$ 0,15 m

Minimum height of the air-termination rod for protection of the structure:
air-termination rod > 0,49 m

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 addizionali,
- ➔ 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 eseguiti 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.