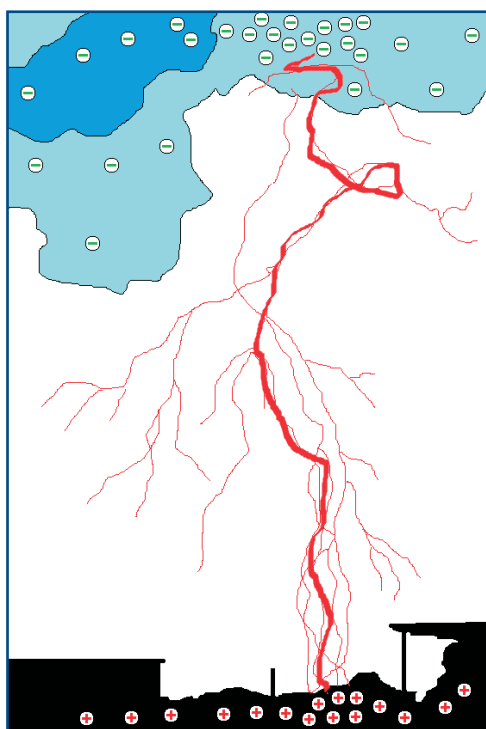


Impianti di protezione contro le scariche atmosferiche

Valutazione del rischio e verifiche



Impianti di protezione contro le scariche atmosferiche

Valutazione del rischio e verifiche

Pubblicazione realizzata da

INAIL

Dipartimento Innovazioni Tecnologiche
e Sicurezza degli Impianti, Prodotti ed Insediamenti Antropici

AUTORI

Giovanni Luca Amicucci
Fabio Fiamingo
Maria Teresa Settino

COLLABORAZIONI

Raffaella Razzano

PER INFORMAZIONI

INAIL - Dipartimento Innovazioni Tecnologiche
e Sicurezza degli Impianti, Prodotti ed Insediamenti Antropici
via Roberto Ferruzzi, 38/40 - 00143 Roma
dit@inail.it
www.inail.it

© 2016 INAIL
ISBN 978-88-7484-514-9

Gli autori hanno la piena responsabilità delle opinioni espresse nelle pubblicazioni, che non vanno intese come posizioni ufficiali dell'Inail.
Le pubblicazioni vengono distribuite gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo.
È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

Prefazione

Secondo quanto definito dal Testo Unico sulla Sicurezza del lavoro (d.lgs. 81/08 e s.m.i, artt. 80 e 84) è fatto obbligo al datore di lavoro di provvedere affinché gli edifici, gli impianti, le strutture e le attrezzature, siano protetti dagli effetti dei fulmini. A tal fine redige un documento di valutazione del rischio fulmini e predisponde, se del caso, un impianto di protezione contro le scariche atmosferiche.

Ai sensi del DPR 462/01 e della legge 30 luglio 2010, n. 122, all'INAIL è assegnato il compito di verifica a campione della prima installazione degli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche nei luoghi di lavoro.

Le norme per la valutazione del rischio sono state recentemente (2013) emesse in seconda edizione e sono state pubblicate altre novità normative che possono avere un certo impatto sugli adempimenti per essere in regola (in particolare abrogazione della guida CEI 81-3 ed emissione delle guide CEI 81-29 "Linee guida per l'applicazione delle Norme CEI EN 62305" e CEI 81-30 "Protezione contro i fulmini - Reti di localizzazione fulmini (LLS) - Linee guida per l'impiego di sistemi LLS per l'individuazione dei valori di NG di cui alla Norma CEI EN 62305-2" - quest'ultima guida nazionale sarà presto sostituita dalla norma armonizzata EN 62858:2015 "Lightning density based on lightning location systems - General principles").

L'INAIL ha preso parte all'evoluzione della normativa e svolge attività di ricerca e di formazione sulla valutazione del rischio di fulminazione.

Il presente lavoro ha lo scopo di presentare:

- la procedura per la valutazione del rischio di fulminazione di una struttura, e*
- le indicazioni per lo svolgimento delle verifiche.*

Indice

1. Il d.p.r. 462/01 per gli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche	9
1.1. Il d.p.r. 462/01 e le verifiche degli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche	9
1.2. Applicazione del d.p.r. 462/01	11
1.3. Significato delle verifiche periodiche degli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche	12
1.4. Scopo della prima verifica a campione degli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche	12
1.5. Controlli ai sensi dell'art. 86 del d.lgs.	13
2. La valutazione del rischio di fulminazione: descrizione del metodo di lavoro	14
2.1. Introduzione	14
2.2. La protezione dai fulmini	14
2.3. Il fulmine	15
2.4. Danni dovuti al fulmine	16
2.5. Obblighi del datore di lavoro	16
2.6. Valutazione del rischio di fulminazione	16
2.7. Informazioni necessarie per la procedura di valutazione del rischio	16
2.8. Classificazione degli eventi legati al fenomeno della fulminazione e possibili effetti dei fulmini	18
2.9. Tipi di perdita	20
2.10. Rischi da considerare	20
2.11. Rischio tollerabile	20
2.12. Considerazioni sul rischio di perdita di valore economico	21
2.13. Calcolo delle componenti del rischio	22
2.14. Fattori che influenzano le componenti di rischio	24
2.15. Suddivisione in zone	25
2.16. Struttura con zona singola	26
2.17. Struttura multi-zona	26
2.18. Area di raccolta	26
2.19. Struttura facente parte di un edificio	26
2.20. Numero di eventi pericolosi N_D causati da fulminazione diretta della struttura	28
2.21. Calcolo del numero medio annuo N_M di eventi pericolosi dovuti a fulmini in prossimità della struttura	29

2.22.	Calcolo del numero medio annuo N_L di eventi pericolosi dovuti a fulmini su una linea	30
2.23.	Calcolo del numero medio annuo N_L di eventi pericolosi dovuti a fulmini in prossimità di una linea	31
2.24.	Numero di eventi pericolosi N_{DJ} causati da fulminazione diretta di una struttura adiacente	32
2.25.	Valutazione della probabilità P_X di danno	32
2.26.	Probabilità P_A che un fulmine sulla struttura causi danno ad esseri viventi per elettrocuzione	33
2.27.	Probabilità P_B che un fulmine su una struttura causi danno materiale	34
2.28.	Probabilità P_C che un fulmine su una struttura causi guasti negli impianti interni	35
2.29.	Probabilità P_M che un fulmine in prossimità di una struttura causi guasti negli impianti interni	37
2.30.	Probabilità P_U che un fulmine su una linea causi danno agli esseri viventi per elettrocuzione	39
2.31.	Probabilità P_V che un fulmine su una linea causi danno materiale	41
2.32.	Probabilità P_W che un fulmine su una linea causi guasti negli impianti interni	42
2.33.	Probabilità P_Z che un fulmine in prossimità di una linea entrante causi guasti negli impianti interni	42
2.34.	Valutazione dell'ammontare della perdita L_X	43
2.35.	Perdita di vite umane (L1)	43
2.36.	Perdita inaccettabile di servizio pubblico (L2)	48
2.37.	Perdita di patrimonio culturale insostituibile (L3)	49
2.38.	Perdita economica (L4)	50
3.	Le verifiche degli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche	53
3.1.	Manutenzione e verifica dell'LP	53
3.2.	Tipi di verifica	53
3.3.	Periodicità delle verifiche	55
3.4.	Scopo delle verifiche	57
3.5.	Contenuti della verifica	57
3.6.	Esame della documentazione	58
3.7.	Esame ordinario	60
3.8.	Esame approfondito	62
4.	Protezione di apparecchiature elettriche o elettroniche: la norma CEI 81-10/4 (EN 62305-4)	65
4.1.	Guasti di apparecchiature elettriche o elettroniche	65
4.2.	Principali misure di protezione (basic SPM)	66
5.	L'evoluzione delle norme tecniche sugli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche	67
5.1.	Storia non recente delle norme tecniche per gli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche	67
5.2.	Storia recente delle norme tecniche per gli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche	68

5.3.	Contenuti e novità introdotte dalla CEI 81-29	69
5.4.	Contenuti e novità introdotte dalla CEI 81-30	72
5.5.	Commenti sulla scelta di abrogare anziché aggiornare la CEI 81-3	73
6.	Esempio: valutazione del rischio e scelta dell'LP per una struttura ospedaliera	75
6.1.	Introduzione	75
6.2.	Dati e caratteristiche di interesse	75
6.3.	Definizione delle zone nell'ospedale	77
6.4.	Rischio R1: decisione sulla necessità o meno della protezione	83
6.5.	Rischio R1: scelta delle misure di protezione	84
7.	Riferimenti	89
7.1.	Legislazione	89
7.2.	Norme tecniche	89
7.3.	Guide	89
7.4.	Bibliografia	90

1. Il d.p.r. 462/01 per gli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche

1.1. Il d.p.r. 462/01 e le verifiche degli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche

Il d.p.r. 462/01 disciplina i procedimenti relativi alle installazioni e ai dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche nei luoghi di lavoro. In particolare prevede l'invio all'Ispesl (oggi Inail), da parte del datore di lavoro, della dichiarazione di conformità ai requisiti essenziali di sicurezza dell'impianto di protezione contro le scariche atmosferiche.

Con la legge 30 luglio 2010, n. 122 di conversione con modificazioni del d.l. 78/2010, è stato stabilito che la comunicazione sia indirizzata all'Inail cui sono state attribuite le funzioni in precedenza svolte dall'Ispesl.

Il successivo d.lgs. 9 aprile 2008, n.81 e s.m.i. (Testo Unico sulla Sicurezza del lavoro, di seguito indicato come d.lgs. 81/08) ha lasciato ferme le disposizioni del d.p.r. 462/01 in materia di "verifiche periodiche", e ha introdotto, con l'art. 86, un ulteriore regime di "controllo" degli impianti elettrici e degli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche a carico del datore di lavoro.

Tabella 1 - Articoli del d.p.r. 462/01 di interesse per i sistemi di protezione dalle scariche atmosferiche

DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 22 ottobre 2001, n. 462

"Regolamento di semplificazione del procedimento per la denuncia di installazioni e dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, di dispositivi di messa a terra di impianti elettrici e di impianti elettrici pericolosi"

Art. 1 – Ambito di applicazione

1. Il presente regolamento disciplina i procedimenti relativi alle installazioni ed ai dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, agli impianti elettrici di messa a terra e agli impianti elettrici in luoghi con pericolo di esplosione collocati nei luoghi di lavoro.

[...]

Art. 2 - Messa in esercizio e omologazione dell'impianto

1. La messa in esercizio degli impianti elettrici di messa a terra e dei dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche non può essere effettuata prima della verifica eseguita dall'installatore che rilascia la dichiarazione di conformità ai sensi della normativa vigente. La dichiarazione di conformità equivale a tutti gli effetti ad omologazione dell'impianto.

2. Entro trenta giorni dalla messa in esercizio dell'impianto il datore di lavoro invia la dichiarazione di conformità all'ISPESL (oggi INAIL, in base alla legge 122/2010) ed all'ASL o all'ARPA territorialmente competenti.

[...]

Art. 3 – Verifiche a campione

1. L'ISPESL (oggi INAIL) effettua a campione la prima verifica sulla conformità alla normativa vigente degli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche ed i dispositivi di messa a terra degli impianti elettrici e trasmette le risultanze all'ASL o all'ARPA.
2. Le verifiche a campione sono stabilite annualmente dall'ISPESL (oggi INAIL) d'intesa con le singole regioni sulla base dei seguenti criteri:
 - a) localizzazione dell'impianto in relazione alle caratteristiche urbanistiche ed ambientali del luogo in cui è situato l'impianto;
 - b) tipo di impianto soggetto a verifica;
 - c) dimensioni dell'impianto.
3. Le verifiche sono onerose e le spese per la loro effettuazione sono a carico del datore di lavoro.

Art. 4 – Verifiche periodiche – Soggetti abilitati

1. Il datore di lavoro è tenuto ad effettuare regolari manutenzioni dell'impianto, nonché a far sottoporre lo stesso a verifica periodica ogni cinque anni, ad esclusione di quelli installati in cantieri, in locali adibiti ad uso medico e negli ambienti a maggior rischio in caso di incendio per i quali la periodicità è biennale.
2. Per l'effettuazione della verifica, il datore di lavoro si rivolge all'ASL o all'ARPA o ad eventuali organismi individuati dal Ministero delle attività produttive, sulla base di criteri stabiliti dalla normativa tecnica europea UNI CEI.
3. Il soggetto che ha eseguito la verifica periodica rilascia il relativo verbale al datore di lavoro che deve conservarlo ed esibirlo a richiesta degli organi di vigilanza.
4. Le verifiche sono onerose e le spese per la loro effettuazione sono a carico del datore di lavoro.

Art. 7 – Verifiche straordinarie

1. Le verifiche straordinarie sono effettuate dall'ASL o dall'ARPA o dagli organismi individuati dal Ministero delle attività produttive, sulla base di criteri stabiliti dalla normativa europea UNI CEI.
2. Le verifiche straordinarie sono, comunque, effettuate nei casi di:
 - a) esito negativo della verifica periodica;
 - b) modifica sostanziale dell'impianto;
 - c) richiesta del datore del lavoro.

Art. 8 – Variazioni relative agli impianti

1. Il datore di lavoro ha l'obbligo di comunicare tempestivamente all'ISPESL (oggi INAIL) ed all'ASL o all'ARPA:
 - la cessazione dell'esercizio;
 - le modifiche sostanziali preponderanti;
 - il trasferimento o spostamento degli impianti.

1.2. Applicazione del d.p.r. 462/01

Gli adempimenti previsti dal d.p.r. 462/01 risultano attribuiti in capo al datore di lavoro.

Tenuto conto dell'art. 80 lettera e) e dell' art. 84 del d.lgs. 81/08, sono soggetti all'obbligo di invio della dichiarazione di conformità, di cui all'art.2 del d.p.r. 462/01, gli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche relativi a luoghi di lavoro siti in strutture che, secondo la norma CEI 81-10/2 (EN 62305-2), non risultano protette dal rischio di fulminazione diretta e indiretta (in riferimento al rischio R_1 : perdita di vite umane).

Tabella 2 - Articoli del d.lgs. di interesse per i sistemi di protezione dalle scariche atmosferiche

DECRETO LEGISLATIVO 9 aprile 2008, n. 81

Testo coordinato con il DECRETO LEGISLATIVO 3 agosto 2009, n. 106

“Attuazione dell’articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”

Art. 80 – Obblighi del datore di lavoro

1. Il datore di lavoro prende le misure necessarie affinché i lavoratori siano salvaguardati da tutti i rischi di natura elettrica connessi all'impiego dei materiali, delle apparecchiature e degli impianti elettrici messi a loro disposizione e, in particolare, da quelli derivanti da:

[...]

e) fulminazione diretta ed indiretta;

[...]

2. A tal fine il datore di lavoro esegue una valutazione dei rischi di cui al precedente comma 1, tenendo in considerazione:

a) le condizioni e le caratteristiche specifiche del lavoro, ivi comprese eventuali interferenze;

b) i rischi presenti nell'ambiente di lavoro;

c) tutte le condizioni di esercizio prevedibili.

3. A seguito della valutazione del rischio elettrico il datore di lavoro adotta le misure tecniche ed organizzative necessarie ad eliminare o ridurre al minimo i rischi presenti, ad individuare i dispositivi di protezione collettivi ed individuali necessari alla conduzione in sicurezza del lavoro ed a predisporre le procedure di uso e manutenzione atte a garantire nel tempo la permanenza del livello di sicurezza raggiunto con l'adozione delle misure di cui al comma 1.

3-bis. Il datore di lavoro prende, altresì, le misure necessarie affinché le procedure di uso e manutenzione di cui al comma 3 siano predisposte ed attuate tenendo conto delle disposizioni legislative vigenti, delle indicazioni contenute nei manuali d'uso e manutenzione delle apparecchiature ricadenti nelle direttive specifiche di prodotto e di quelle indicate nelle pertinenti norme tecniche.

Art. 84 – Protezione dai fulmini

1. Il datore di lavoro provvede affinché gli edifici, gli impianti, le strutture, le attrezzature, siano protetti dagli effetti dei fulmini realizzati secondo le norme tecniche.

Articolo 86 - Verifiche e controlli

1. Ferme restando le disposizioni del decreto del Presidente della Repubblica 22 ottobre 2001, n. 462, in materia di verifiche periodiche, il datore di lavoro provvede affinché gli impianti elettrici e gli impianti di protezione dai fulmini siano periodicamente sottoposti a controllo secondo le indicazioni delle norme di buona tecnica e la normativa vigente per verificarne lo stato di conservazione e di efficienza ai fini della sicurezza.
2. Con decreto del Ministro dello sviluppo economico, di concerto con il Ministro del lavoro, della salute e delle politiche sociali, adottato sentita la Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano, sono stabilite le modalità ed i criteri per l'effettuazione delle verifiche e dei controlli di cui al comma 1.
3. L'esito dei controlli di cui al comma 1 è verbalizzato e tenuto a disposizione dell'autorità di vigilanza.

1.3. Significato delle verifiche periodiche degli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche

Secondo il d.p.r. 462/01 (art. 2), l'omologazione dell'impianto di protezione contro le scariche atmosferiche è effettuata con la dichiarazione di conformità dell'installatore. Il mantenimento nel tempo del buono stato di funzionalità dell'impianto è ottenuto tramite regolare manutenzione effettuata a cura del datore di lavoro. Infatti il d.p.r. 462/01, nell'art. 4, stabilisce che questo è tenuto a sottoporre l'impianto a regolare manutenzione.

Allo scopo di verificare la bontà delle azioni intraprese dal datore di lavoro, il legislatore ha previsto che fosse obbligatorio far sottoporre gli impianti a verifiche periodiche, sempre a cura del datore di lavoro.

La periodicità prevista per tali verifiche è di cinque anni, ad esclusione degli impianti installati nei cantieri, nei locali adibiti ad uso medico e negli ambienti a maggior rischio in caso di incendio per i quali la periodicità è biennale.

Per l'effettuazione delle verifiche il datore di lavoro può rivolgersi all'Asl o all'Arpa o ad eventuali organismi individuati dal Ministero dello Sviluppo Economico.

1.4. Scopo della prima verifica a campione degli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche

Con la prima verifica a campione di cui all'art. 3 del d.p.r. 462/01, si è voluto affidare all'Ispesl un compito di monitoraggio e di sorveglianza del corretto stato di installazione degli impianti, attualmente attestato dalla dichiarazione di conformità rilasciata dall'installatore. Tale compito è poi passato all'Inail che ha incorporato l'Ispesl in base alla legge 122/2010.

Il compito del verificatore dell'Inail è quello di monitorare lo stato di installazione, effettuando tutte le verifiche necessarie, con esami a vista e con prove, secondo la normativa e la legislazione vigenti.

Il d.p.r. 462/01 all'art. 3, precisa che le verifiche a campione sono stabilite annualmente dall'Inail, d'intesa con le singole regioni sulla base dei seguenti criteri:

- caratteristiche urbanistiche del luogo in cui è situato l'impianto (densità e tipologia degli insediamenti: es. aree metropolitane, agricole, industriali, ecc.);
- caratteristiche ambientali del luogo in cui è situato (impatto degli insediamenti sulle caratteristiche del territorio che coinvolge rischi specifici anche di natura diversa dal rischio elettrico);
- tipo di impianto soggetto a verifica (destinazione e utilizzazione dell'attività);
- dimensioni dell'impianto (estensione volumetrica e caratteristiche del sistema di alimentazione: bassa, media e alta tensione).

1.5. Controlli ai sensi dell'art. 86 del D.lgs.

Il d.lgs. ha introdotto, con l'art. 86, un ulteriore regime di "controllo" degli impianti elettrici e degli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche a carico del datore di lavoro.

Il termine "controllo" è utilizzato al fine di evitare confusione con le verifiche ai sensi del d.p.r. 462/01.

Non sono ancora state stabilite le modalità ed i criteri per l'effettuazione di tali controlli, in quanto ancora non è stato emanato il decreto di cui al comma 2 dell'art. 86, ma questi sono gli stessi di una verifica.

Non sussiste l'obbligo di affidare tali verifiche a soggetti quali quelli individuati negli artt. 4 e 7 del d.p.r. 462/01, anzi gli organismi individuati dal Ministero dello Sviluppo Economico per le verifiche periodiche ai sensi del d.p.r. 462/2001 e il personale che vi lavora non possono svolgere attività di progettazione, installazione e manutenzione nel settore degli impianti elettrici e degli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche, pertanto neanche le verifiche ai sensi dell'art. 86 del d.lgs. 81/2008.

Comunque le verifiche ai sensi dell'art. 86 del d.lgs. 81/2008 devono essere effettuate da persone qualificate e competenti nei lavori di verifica, rispettivamente degli impianti elettrici e degli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche.

Il datore di lavoro può incaricare di tali verifiche sia personale interno che personale esterno.

Il datore di lavoro deve comunque accertarsi che la persona incaricata abbia le competenze per un compito simile, altrimenti potrebbe non essere esente da colpa nel caso dovesse verificarsi qualche infortunio.

L'esito dei controlli è verbalizzato e tenuto a disposizione dell'autorità di vigilanza.

2. La valutazione del rischio di fulminazione: descrizione del metodo di lavoro

2.1. Introduzione

Come si vedrà in dettaglio nel prossimo capitolo, una verifica è articolata in un esame della documentazione ed in un esame sul campo.

Durante l'esame della documentazione il verificatore analizzerà il documento di valutazione del rischio di fulminazione per valutarne la consistenza rispetto ad assunzioni che possono essere:

- eventualmente non veritiere/errate,
- eventualmente obsolete per sopraggiunte modifiche della struttura e/o dei suoi contenuti e degli impianti e/o del loro uso.

Per tale motivo nel presente capitolo sono riportati alcuni richiami sui concetti principali riguardanti la valutazione del rischio di fulminazione.

2.2. La protezione dai fulmini

La *protezione dai fulmini (LP - lightning protection)* è realizzata attraverso:

- un *sistema di protezione dai fulmini (LPS - lightning protection system)* e/o
- opportune *misure di protezione contro le scariche elettriche (SPM - surge protection measures)*.

Il sistema LPS è a sua volta articolato in:

- un eventuale *LPS esterno* (di solito suddiviso in captatori, calate e dispersori),
- un eventuale *LPS interno*.

La verifica deve tener conto di tutti gli elementi che compongono la protezione dai fulmini (LP).

Un progettista esperto può ottimizzare (ridurre) il costo della protezione massimizzando l'efficacia (ad es. vi sono casi in cui l'LPS non è necessario e lo stesso livello di riduzione del rischio può essere ottenuto realizzando la protezione dai fulmini con altre misure).

2.3. Il fulmine

Il “fulmine a terra” è una “scarica elettrica” tra nube e suolo.

La “scarica” non avviene in modo istantaneo ma progressivo.

In particolare, si parla di “canale di fulmine”. Il canale di fulmine avanza a tratti di 20÷50m, con pause di 20÷50 μ s.

Si hanno:

- un canale discendente;
- un canale ascendente o “controscarica”.

Il punto da cui è partita la controscarica è quello fulminato.

La controscarica inizia di preferenza da strutture alte e snelle.

Quando la controscarica incontra il canale discendente si ha la corrente di fulmine (primo colpo).

Dopo il primo colpo si possono avere colpi successivi.

I colpi successivi possono essere fino a 20÷30 con intervalli di 20÷50 μ s.

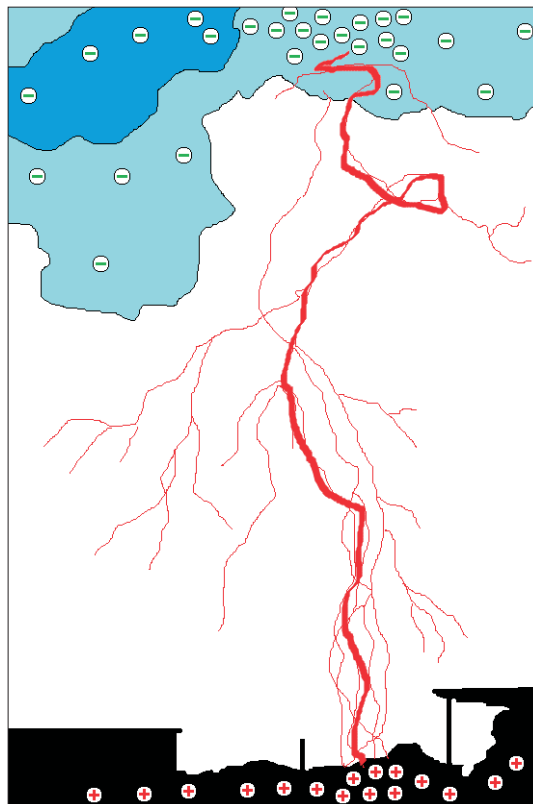


Fig. 1: Il fulmine

2.4. Danni dovuti al fulmine

Un fulmine che colpisce una struttura può causare danni:

- alla struttura stessa,
- ai suoi occupanti
- al suo contenuto, compresi i guasti agli impianti interni.

I danni possono estendersi anche alle vicinanze della struttura e possono talvolta interessare l'ambiente.

In questo caso, le dimensioni della zona interessata dai danni dipendono dalle caratteristiche della struttura e dalle caratteristiche del fulmine.

2.5. Obblighi del datore di lavoro

L'art. 80 del Testo Unico (d.lgs. 81/2008 e s.m.i.) prevede che il datore di lavoro *prenda le misure necessarie affinché i lavoratori siano salvaguardati dai rischi di fulminazione, a tal fine esegue una valutazione dei rischi e, sulla base di tale valutazione, adotta le misure tecniche ed organizzative necessarie.*

L'art. 84 del Testo Unico (d.lgs. 81/2008 e s.m.i.) prevede che il datore di lavoro *provveda affinché gli edifici, gli impianti, le strutture, le attrezzature, siano protetti dagli effetti dei fulmini, secondo le indicazioni delle norme tecniche.*

2.6. Valutazione del rischio di fulminazione

La valutazione del rischio è l'elemento più importante delle procedure di progettazione dei sistemi di protezione dai fulmini.

I passi da seguire sono, nell'ordine:

- la valutazione del rischio;
- il confronto con il rischio tollerabile;
- la scelta e l'adozione, se necessario, di un'opportuna protezione dai fulmini (LP), per la riduzione del rischio.

Tra i fattori che possono influenzare il rischio vi sono:

- il numero di colpi di fulmine che interessano una struttura o le sue vicinanze;
- la probabilità che ciascun colpo di fulmine sia in grado di causare danni, in relazione all'adozione o meno di un'opportuna protezione dai fulmini (LP);
- l'entità della perdita dovuta al danno da fulminazione.

2.7. Informazioni necessarie per la procedura di valutazione del rischio

Per la valutazione del rischio è necessario disporre dei seguenti dati:

- le caratteristiche ambientali e la densità dei fulmini nella zona dove la struttura e le linee entranti sono collocate;
- le caratteristiche della struttura, degli impianti, delle linee entranti e delle apparecchiature (e le rispettive tensioni di tenuta all'impulso);
- l'ammontare economico e sociale delle perdite, l'impatto ambientale dei danni, il costo delle riparazioni.

Se durante la procedura di valutazione è necessario valutare anche il contributo della protezione dai fulmini (LP), allora è necessario disporre dei seguenti ulteriori dati:

- misure di protezione eventualmente scelte per limitare i danni agli esseri viventi, contro gli effetti fisici (meccanici e termici), contro l'innesco e la propagazione degli incendi, contro l'innesco e le conseguenze delle esplosioni e per limitare le conseguenze dei guasti dovuti alle sovratensioni (precauzioni sulla posa dei circuiti, schermi, SPD (*surge protective devices*), interfacce di isolamento, ecc.).

Tabella 5 - Caratteristiche di una struttura rilevanti ai fini degli effetti del fulmine

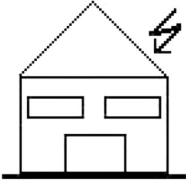
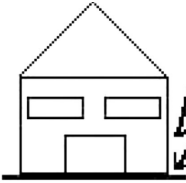
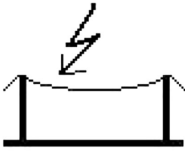
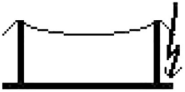
- **Tipo di costruzione** (ad es.: legno, mattoni, calcestruzzo, calcestruzzo armato, travi in acciaio);
- funzione della struttura (ad es.: abitazioni, uffici, fattorie, teatri, alberghi, scuole, ospedali, musei, chiese, prigioni, negozi, banche, fabbriche, impianti industriali, aree sportive);
- **occupanti e contenuto** (ad es.: persone, animali, presenza di materiali combustibili o non combustibili, presenza di materiali esplosivi o non esplosivi, presenza di impianti elettrici e/o elettronici caratterizzati da tensioni di tenuta più o meno elevate);
- **linee entranti** (linee di energia e di telecomunicazione);
- **esistenza di una protezione dai fulmini** (misure per ridurre il pericolo per le persone, misure per ridurre i danni materiali e misure per ridurre i guasti degli impianti interni e delle apparecchiature);
- **struttura pericolosa per l'ambiente** (struttura che, in conseguenza di una fulminazione, può dar luogo ad emissioni biologiche, chimiche o radioattive).

2.8. Classificazione degli eventi legati al fenomeno della fulminazione e possibili effetti dei fulmini

I fulmini che influenzano la struttura possono essere divisi in due gruppi:

- quello dei colpi diretti alla struttura o alle linee entranti (linee di energia e linee di comunicazione);
- quello dei colpi a terra nell'area vicino la struttura o alle linee entranti.

Tabella 6 - Cause di danno, tipi di danno e tipi di perdita secondo la norma CEI 81-10/2 (EN 62305-2)

Tipo di colpo	Esempio	Cause di danno	Tipi di danno	Tipi di perdita	Componente del rischio
Fulmine sulla struttura		S1	D1 D2 D3	L1, L4 ⁽²⁾ L1, L2, L3, L4 L1 ⁽¹⁾ , L2, L4	R _A R _B R _C
Fulmine in prossimità della struttura		S2	D3	L1 ⁽¹⁾ , L2, L4	R _M
Fulmine sulle linee entranti		S3	D1 D2 D3	L1, L4 ⁽²⁾ L1, L2, L3, L4 L1 ⁽¹⁾ , L2, L4	R _U R _V R _W
Fulmine in prossimità delle linee entranti		S4	D3	L1 ⁽¹⁾ , L2, L4	R _Z

(1) Strutture con rischio di esplosione o in cui guasti agli impianti interni sono pericolosi per la vita umana (ad es.: alcuni reparti ospedalieri).

(2) Proprietà agricole (in cui può essere perdita di animali per tensioni di contatto e passo).

I danni causati da colpi di fulmine possono essere distinti per la causa che ha originato il danno, per il tipo di danno e per la perdita che ne è scaturita (vedi la tabella 5).

Secondo la norma CEI 81-10/2 (EN 62305-2) è ragionevole distinguere:

Cause di danno:

- S1: fulmine sulla struttura;
- S2: fulmine in prossimità della struttura;
- S3: fulmine sulle linee entranti;
- S4: fulmine in prossimità delle linee entranti.

Tipi di danno:

- D1: danno ad esseri viventi per elettrocuzione;
- D2: fuoco, esplosioni, effetti chimici, distruzioni meccaniche e altri danni materiali;
- D3: fallimento/malfunzionamento di sistemi elettronici a causa di sovratensioni.

Tipi di perdita:

- L1: perdita di vite umane (cui corrisponde un rischio denominato R_1);
- L2: perdita di servizi pubblici (cui corrisponde un rischio denominato R_2);
- L3: perdita di patrimonio culturale (cui corrisponde un rischio denominato R_3);
- L4: perdita di valore economico, per strutture, materiali, attività, (cui corrisponde un rischio denominato R_4).

I possibili effetti dei fulmini variano a seconda della causa di danno.

Il fulmine su una struttura può causare:

- danni ad esseri viventi per elettrocuzione dovuta alle tensioni di passo e di contatto causate da accoppiamenti resistivi e induttivi (componente di rischio R_A);
- danni meccanici immediati, incendio e/o esplosione dovuta al plasma incandescente del canale stesso, o al riscaldamento dei conduttori connesso con il fluire della corrente (sovratemperatura inaccettabili), o alla carica trasportata (fusione del metallo), incendio e/o esplosione provocati da scariche dovute a sovratensioni risultanti da accoppiamenti resistivi e induttivi e dal fluire di parte della corrente di fulmine (componente di rischio R_B);
- guasti o malfunzionamenti degli impianti interni dovuti al LEMP (componente di rischio R_C).

Il fulmine in prossimità di una struttura può causare:

- guasti o malfunzionamenti degli impianti interni dovuti al LEMP (componente di rischio R_M).

Il fulmine su una linea entrante nella struttura può causare:

- danni ad esseri viventi per elettrocuzione dovuta alle tensioni di contatto all'interno della struttura causate dalle correnti di fulmine trasmesse tramite la linea entrante (componente di rischio R_U);

- incendio e/o esplosione iniziati da scariche dovute a sovratensioni e alle correnti di fulmine trasmesse tramite la linea entrante (componente di rischio R_v);
- guasti o malfunzionamenti degli impianti interni dovuti alle sovratensioni che si localizzano sulle linee entranti e che sono trasmesse alla struttura (componente di rischio R_w).

Il fulmine in prossimità di una linea entrante nella struttura può causare:

- guasti o malfunzionamenti degli impianti interni dovuti al LEMP (componente di rischio R_z).

2.9. Tipi di perdita

Ciascun tipo di danno relativo alla struttura da proteggere, solo o in combinazione con altri, può produrre perdite differenti.

Il tipo di perdita che può verificarsi dipende dalle caratteristiche della struttura stessa.

La norma CEI 81-10/2 (EN 62305-2) considera i seguenti tipi di perdita che possono verificarsi a causa di danneggiamenti alla struttura:

- L1: perdita di vite umane (compresi i danni permanenti);
- L2: perdita di servizio pubblico;
- L3: perdita di patrimonio culturale insostituibile;
- L4: perdita economica (della struttura e/o del suo contenuto e/o dell'attività).

Ai fini della norma, sono considerati pubblici servizi solo le forniture di gas, acqua, TV, TLC e di energia elettrica.

Le perdite di tipo L1, L2 ed L3 sono considerate perdite di valori sociali, mentre la perdita di tipo L4 è esclusivamente una perdita economica.

2.10. Rischi da considerare

Secondo la procedura indicata nella norma CEI 81-10/2 (EN 62305-2), i rischi che possono essere considerati durante la valutazione del rischio sono i seguenti rischi:

- R_1 : rischio di perdita di vite umane o di subire danni permanenti;
- R_2 : rischio di perdita di servizio pubblico;
- R_3 : rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile;
- R_4 : rischio di perdita di valore economico.

2.11. Rischio tollerabile

La protezione dai fulmini (LP) è necessaria se il rischio R è superiore al livello di rischio tollerabile R_T .

$$R > R_T$$

In questo caso deve essere adottata un'opportuna protezione dai fulmini (LP) al fine di ridurre il rischio R (R_1 , R_2 ed R_3) al di sotto del valore di rischio tollerabile R_T .

$$R \leq R_T$$

Tabella 7 - Valori di rischio tollerabile secondo la norma cei 81-10/2 (en 62305-2)

Tipo di perdita	Significato	Rischio tollerabile R_T [anni ⁻¹]
L1: Perdita di vite umane	Numero di morti all'anno, riferiti al numero totale di persone esposte al rischio	10^{-5}
L2: Perdita di servizio pubblico	Numero di utenti non serviti per durata annua del disservizio, riferiti al numero totale di utenti serviti all'anno	10^{-3}
L3: Perdita di patrimonio culturale	Valore annuo dei beni perduti, riferiti al valore totale dei beni esposti al rischio	10^{-4}

Se possono verificarsi uno o più tipi di perdita, la condizione $R \leq R_T$ deve essere soddisfatta per ciascun tipo di perdita (L1, L2 e L3).

I valori di rischio tollerabile R_T riguardanti le perdite di valore sociale sono responsabilità dei competenti comitati tecnici nazionali.

2.12. Considerazioni sul rischio di perdita di valore economico

Per quanto riguarda il rischio di perdita di valore economico, il committente è libero di scegliere se accettarlo, se cautelarsi con un'assicurazione o se mettere in atto un'opportuna protezione dai fulmini (LP).

Può essere di ausilio al committente, per effettuare la sua scelta, valutare la convenienza economica della protezione, confrontando il costo totale della perdita con e senza le misure di protezione.

Siano allora:

- C_L il costo annuo della perdita totale in assenza delle misure di protezione;
- C_{RL} il costo annuo della perdita residua in presenza delle misure di protezione scelte;
- C_{PM} il costo annuo delle misure di protezione scelte.

Se $C_L < C_{RL} + C_{PM}$, la protezione contro il fulmine può essere ritenuta non conveniente.

Se $C_L \geq C_{RL} + C_{PM}$, la protezione contro il fulmine può consentire risparmi nell'arco di vita della struttura.

2.13. Calcolo delle componenti del rischio

Il rischio può essere considerato come una somma di componenti rilevanti.

Il valore di ogni componente può essere calcolato utilizzando un'espressione simile:

$$R_x = N_x \times P_x \times L_x$$

Ciascuna delle componenti del rischio, R_x (con $X = A, B, C, M, U, V, W, Z$), dipende:

- dal numero annuo di fulmini pericolosi che possono influenzare la struttura o le linee entranti (N_x);
- dalla probabilità di danno dovuta al fulmine (P_x);
- dall'entità del danno ad esso relativo (L_x).

Il numero N_x di eventi pericolosi dipende dalla densità di fulmini al suolo (N_G) e dalle caratteristiche geometriche, ambientali e di installazione della struttura e delle linee.

La probabilità di danno P_x dipende dalle caratteristiche della struttura da proteggere, dalle caratteristiche delle linee connesse e dalle misure di protezione adottate.

La perdita conseguente L_x dipende dall'uso a cui la struttura è destinata, dalla presenza di persone, dal tipo di servizio pubblico, dal valore dei beni danneggiati e dalle misure di protezione adottate per limitare l'ammontare della perdita.

Quando il danno dovuto al fulmine in una struttura coinvolge le strutture circostanti o l'ambiente (es. emissioni chimiche o radioattive), le perdite conseguenti dovrebbero essere sommate al valore di L_x della struttura.

Componenti di rischio dovute alla fulminazione diretta della struttura

R_A : componente relativa ai danni ad esseri viventi per elettrocuzione dovuta a tensioni di contatto e di passo all'interno della struttura e all'esterno in zone fino a 3 m attorno alle calate. Possono verificarsi perdite di tipo L1 e, in strutture ad uso agricolo, anche di tipo L4 con possibile perdita di animali.

R_B : componente relativa ai danni materiali causati da scariche pericolose all'interno della struttura che innescano l'incendio e l'esplosione e che possono anche essere pericolose per l'ambiente. Possono verificarsi tutti i tipi di perdita (L1, L2, L3 ed L4).

R_C : componente relativa al guasto di impianti interni causata dal LEMP. In tutti i casi possono verificarsi perdite di tipo L2 ed L4, unitamente al tipo L1, nel caso di strutture con rischio d'esplosione e di ospedali o di altre strutture in cui il guasto degli impianti interni provoca immediato pericolo per la vita umana.

Componente di rischio dovuta a fulminazione in prossimità della struttura

R_M : componente relativa al guasto di impianti interni causata dal LEMP. In tutti i casi possono verificarsi perdite di tipo L2 ed L4, unitamente al tipo L1, nel caso di strutture con rischio d'esplosione e di ospedali o di altre strutture in cui il guasto degli impianti interni provoca immediato pericolo per la vita umana.

Componente di rischio dovuta a fulminazione diretta di una linea entrante

R_U : componente relativa ai danni ad esseri viventi per elettrocuzione dovuta a tensioni di contatto all'interno della struttura. Possono verificarsi perdite di tipo L1 e, in caso di strutture ad uso agricolo, anche perdite di tipo L4 con possibile perdita di animali.

R_V : componente relativa ai danni materiali (incendio o esplosione innescati da scariche pericolose fra installazioni esterne e parti metalliche, generalmente nel punto d'ingresso della linea nella struttura) dovuti alla corrente di fulmine trasmessa attraverso la linea entrante. Possono verificarsi tutti i tipi di perdita (L1, L2, L3 ed L4).

R_W : componente relativa al guasto di impianti interni causata da sovratensioni indotte sulla linea e trasmesse alla struttura. In tutti i casi possono verificarsi perdite di tipo L2 ed L4, unitamente al tipo L1, nel caso di strutture con rischio d'esplosione e di ospedali o di altre strutture in cui il guasto degli impianti interni provoca immediato pericolo per la vita umana.

Componente di rischio dovuta a fulminazione in prossimità di una linea entrante

R_Z : componente relativa al guasto di impianti interni causata da sovratensioni indotte sulla linea e trasmesse alla struttura. In tutti i casi possono verificarsi perdite di tipo L2 ed L4, unitamente al tipo L1, nel caso di strutture con rischio d'esplosione e di ospedali o di altre strutture in cui il guasto di impianti interni provoca immediato pericolo per la vita umana.

Le linee da considerare nella valutazione di R_U , R_V , R_W e R_Z sono solo le linee entranti. Le fulminazioni su o in prossimità di tubazioni non producono danno alla struttura a condizione che esse siano connesse alla barra equipotenziale della struttura. Se detta barra equipotenziale non è presente deve essere considerato anche questo pericolo.

Tabella 8 - Calcolo delle componenti di rischio secondo la norma CEI 81-10/2 (EN 62305-2)

Sorgente di danno → Tipo di danno ↓	S1 Fulmine sulla struttura	S2 Fulmine in prossimità della struttura	S3 Fulmine su una linea entrante	S4 Fulmine in prossimità di linea entrante
D1 Shock elettrico di esseri viventi	$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A$		$R_U = (N_L + N_{Dj}) \cdot P_U \cdot L_U$	
D2 Incendi, esplosioni, effetti chimici e meccanici	$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B$		$R_V = (N_L + N_{Dj}) \cdot P_V \cdot L_V$	
D3 Guasti di sistemi elettrici ed elettronici	$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_C$	$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_M$	$R_W = (N_L + N_{Dj}) \cdot P_W \cdot L_W$	$R_Z = N_I + P_Z \cdot L_Z$
	$L_A = L_U$	$L_B = L_V$	$L_C = L_M = L_W = L_Z$	

2.14. Fattori che influenzano le componenti di rischio

Se durante la fase di valutazione del rischio risulta che una componente di rischio ha un valore più elevato delle altre componenti, allora, al fine di ottenere una valutazione di rischio che rispetti il valore del rischio tollerabile, può essere utile adottare misure di protezione che consentano di ridurre la componente in questione.

Tabella 9 - Fattori che influenzano le componenti di rischio in una struttura

Caratteristiche della struttura e degli impianti interni / Misure di protezione	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Area di raccolta	*	*	*	*	*	*	*	*
Resistività superficiale del suolo	*							
Resistività della pavimentazione	*				*			
Barriere, isolamento, cartelli ammonitori, equipotenzializzazione del suolo	*				*			
LPS	*	*	*	*(a)	*(b)	*(b)		
Equipotenzializzazione con SPD	*	*			*	*		
Interfacce di separazione			*(c)	*(c)	*	*	*	*
Sistema di SPD			*	*			*	*
Schermatura locale			*	*				
Schermatura delle linee esterne					*	*	*	*
Schermatura delle linee interne			*	*				
Cablaggio degli impianti interni			*	*				
Rete di equipotenzialità			*					
Misure antincendio		*				*		
Rischio d'incendio		*				*		
Pericoli particolari		*				*		
Tensione di tenuta ad impulso			*	*	*	*	*	*

(a) Solo per LPS esterni a maglia.

(b) Dovuto alla presenza di connessioni equipotenziali.

(c) Solo se appartenenti all'apparato.

In tal caso, la tabella 9 può essere utilizzata per scegliere le misure di protezione più opportune o per comprendere quali caratteristiche della struttura in esame influenzano la componente di rischio di interesse.

2.15. Suddivisione in zone

Per valutare ciascuna componente di rischio, una struttura può essere suddivisa in zone Z_s aventi caratteristiche omogenee.

Le zone Z_s sono definite principalmente da:

- tipo di suolo o di pavimentazione (componenti di rischio R_A e R_U);
- compartimentazione antincendio (componenti di rischio R_B e R_V);
- schermi locali (componenti di rischio R_C e R_M).

Ulteriori zone possono essere definite in funzione di:

- disposizione degli impianti interni (componenti di rischio R_C e R_M);
- misure di protezione esistenti o previste (tutte le componenti di rischio);
- valori delle perdite L_x (tutte le componenti di rischio);

Nella suddivisione di una struttura in zone Z_s si dovrebbe tenere conto della possibilità realizzativa delle misure di protezione più adatte.

2.16. Struttura con zona singola

In una zona singola il rischio è la somma di tutte le componenti di rischio nella zona stessa.

Definire una struttura come una zona singola può portare a misure di protezione costose in quanto ciascuna misura deve essere estesa all'intera struttura.

2.17. Struttura multi-zona

Quando la struttura è suddivisa in più zone Z_s , il rischio per la struttura è la somma dei rischi relativi a tutte le zone della struttura; in ciascuna zona il rischio è la somma di tutte le componenti di rischio nella zona stessa.

La suddivisione della struttura in zone consente al progettista di prendere in considerazione le peculiari caratteristiche di ciascuna zona nella valutazione delle componenti di rischio e di scegliere le misure di protezione più adatte per ciascuna zona, consentendo una più precisa stima del rischio e riducendo il costo complessivo delle eventuali misure di protezione contro il fulmine.

2.18. Area di raccolta

Per il calcolo del numero medio di fulmini annui per chilometro quadrato, che soddisfano determinate caratteristiche utili per la valutazione delle componenti di rischio, si può far riferimento alla Figura 3 ed all'allegato A della CEI 81-10/2 (EN 62305-2). In particolare, sono introdotte le aree di raccolta dei fulmini sulla struttura, A_D , dei fulmini in prossimità della struttura, A_M , dei fulmini sulla linea, A_L , dei fulmini in prossimità della linea, A_I , e dei fulmini sulla struttura adiacente, A_{Dj} .

2.19. Struttura facente parte di un edificio

Con riferimento alla Figura 2, se la struttura S da considerare è solo una parte di un edificio B , le dimensioni della struttura S possono essere utilizzate anche per il calcolo di A_D quando sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- la struttura S è una parte separata verticalmente dell'edificio B;
- l'edificio B non presenta rischio di esplosione;
- la propagazione dell'incendio tra la struttura S e le altre parti dell'edificio B è impedita mediante pareti caratterizzate da una resistenza al fuoco di 120 minuti (REI 120) o mediante altre misure di protezione equivalenti;
- la propagazione delle sovratensioni lungo le linee comuni, se presenti, è impedita per mezzo di SPD installati nel punto d'ingresso di detta linea nella struttura o mediante altre misure di protezione equivalenti.

Se tali condizioni non sono soddisfatte devono essere utilizzate le dimensioni dell'intero edificio B.

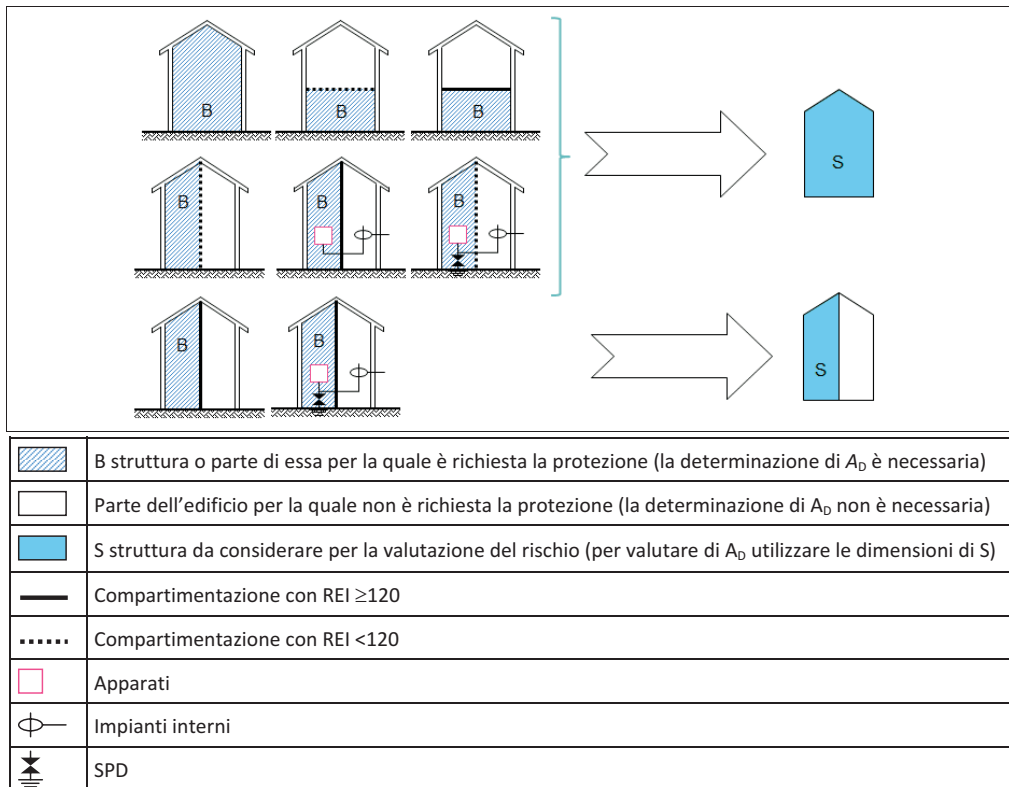


Fig. 2: Esempi di suddivisione di una struttura in zona singola o in multi-zona, sulla base della compartimentazione interna, della disposizione degli impianti e dell'adozione di misure di protezione.

2.20. Numero di eventi pericolosi N_D causati da fulminazione diretta della struttura

N_D può essere calcolato come il prodotto:

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

dove

N_G è la densità di fulmini al suolo [fulmini/(km² × anno)];

A_D è l'area di raccolta della struttura isolata [m²] (Fig. 3);

C_D è il coefficiente di posizione della struttura (Tab. 10).

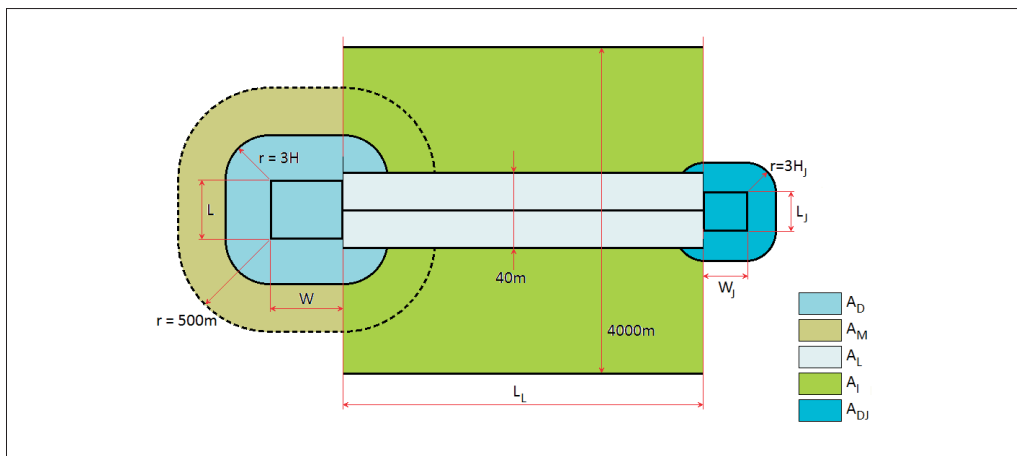


Fig. 3: Aree di raccolta fulmini per una struttura di dimensioni L×W e altezza H, interessata da una linea aerea entrante di lunghezza L_L e altezza H_j, la linea connette la struttura ad una struttura adiacente di dimensioni L_L×W_j e altezza H_j.

L'area di raccolta A_D si estende fino ad una distanza di $3H$ dal perimetro della struttura (Fig. 3, dove H è l'altezza della struttura a forma di parallelepipedo ed L e W sono le sue dimensioni in pianta, tutte in metri).

$$A_D = L \times W + 6 \times H \times (L + W) + 9 \times \pi \times H^2$$

Il coefficiente di posizione C_D di cui alla Tabella 10 serve per tener conto, nelle formule che seguono, dell'ubicazione relativa di una struttura (tale ubicazione dipende dagli oggetti circostanti e dalla topografia della zona).

Se intorno alla struttura vi sono alberi, è dalla parte della sicurezza non considerarli come oggetti circostanti ai fini della scelta di C_D , ciò perché gli alberi sono soggetti

a cambiamenti (taglio, potatura, ecc.) e, in seguito all'occorrenza di tali cambiamenti, potrebbe essere necessario dover modificare la valutazione dei rischi e possibilmente anche la scelta della protezione dai fulmini (LP).

Per quanto riguarda altri oggetti circostanti la struttura è comunque possibile scegliere di valutare l'influenza dovuta a tali oggetti considerando l'altezza relativa della struttura rispetto ad essi o al suolo, entro una distanza dalla struttura stessa pari a $3H$ ed assumendo $C_D = 1$.

Tabella 10 - Coefficiente di posizione C_D

Ubicazione relativa	C_D
Oggetto circondato da oggetti di altezza più elevata	0,25
Oggetto circondato da oggetti di altezza uguale o inferiore	0,5
Oggetto isolato: nessun altro oggetto nelle vicinanze	1
Oggetto isolato sulla cima di una collina o di una montagna	2

2.21. Calcolo del numero medio annuo N_M di eventi pericolosi dovuti a fulmini in prossimità della struttura

N_M può essere calcolato come il prodotto:

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

dove

N_G è la densità di fulmini al suolo [fulmini/(km² × anno)];

A_M è l'area di raccolta dei fulmini in prossimità della struttura [m²].

L'area di raccolta A_M si estende fino ad una distanza di 500 m dal perimetro della struttura (Fig. 3), pertanto:

$$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2$$

La distanza di 500 m dal perimetro della struttura è stata calcolata nell'ipotesi teorica di spira indotta ortogonale al campo elettromagnetico della corrente di fulmine. La guida CEI 81-29 suggerisce che, nel caso reale di spira comunque orientata rispetto al campo elettromagnetico inducente, la distanza dal perimetro della struttura può essere ridotta a 350 m.

2.22. Calcolo del numero medio annuo N_L di eventi pericolosi dovuti a fulmini su una linea

Una linea può essere costituita da più sezioni. Per ciascuna sezione il valore di N_L può essere calcolato con la seguente relazione:

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

dove

- N_L è il numero di sovratensioni di ampiezza superiore a 1 kV nella sezione di linea considerata [eventi/anno];
- N_G è la densità di fulmini al suolo [fulmini/(km² × anno)];
- A_L è l'area di raccolta dei fulmini che colpiscono la linea [m²] (Fig. 3);
- C_I è il coefficiente di installazione della linea (Tab. 11);
- C_T è il coefficiente che tiene conto del tipo di linea (Tab. 12);
- C_E è il coefficiente ambientale della linea (Tab. 13).

L'area di raccolta dei fulmini che cadono su una linea è data dalla relazione:

$$A_L = 40 \times L_L$$

dove

- L_L è la lunghezza della sezione della linea [m].

Se la lunghezza della sezione della linea non è nota può essere assunto $L_L = 1000$ m. Per consentire una stima la CEI 81-29 (punto 2.1) suggerisce che le lunghezze tipiche di linea siano:

- linea elettrica BT: 1000 m in area rurale, 300 m in area suburbana e 100 m in area urbana;
- linea elettrica MT: 4 km, non schermata, in area rurale, 1,2 km, non schermata, in area suburbana, 400 m, interrata e schermata, in area urbana;
- linea di telecomunicazioni: 1000 m sia in area urbana (interrata, schermata) sia in area rurale (aerea, non schermata).

La resistività del suolo influenza l'area di raccolta A_L della sezione interrata. In generale maggiore è la resistività del suolo e maggiore è l'area di raccolta (A_L è proporzionale a $\sqrt{\rho}$). I coefficienti di installazione riportati in Tab. 11 sono riferiti a $\rho = 400 \Omega\text{m}$.

Tabella 11 - Coefficiente di installazione della linea C_i

Percorso	C_i
Aereo	1
Interrato	0,5
Cavo interrato con percorso completamente all'interno di un dispersore magliato come in CEI 81-10/4 (EN 62305-4), punto 5.2	0,01

Tabella 12 - Coefficiente che tiene conto del tipo di linea C_T

Installazione	C_T
Linea di energia BT, linea di telecomunicazione o di segnale	1
Linea di energia AT (con trasformatore AT/BT)	0,2

Tabella 13 - Coefficiente ambientale C_E

Ambiente	C_E
Rurale	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano con edifici alti più di 20 m	0,01

2.23. Calcolo del numero medio annuo N_i di eventi pericolosi dovuti a fulmini in prossimità di una linea

Una linea può essere costituita da più sezioni. Per ciascuna sezione il valore di N_i può essere calcolato con la seguente relazione:

$$N_i = N_G \times A_i \times C_i \times C_E \times C_T \times 10^6$$

dove

N_i è il numero di sovratensioni di ampiezza superiore a 1 kV nella sezione della linea [eventi/anno];

N_G è la densità di fulmini al suolo [fulmini/(km² × anno)];

A_i è l'area di raccolta dei fulmini al suolo in prossimità della linea [m²] (Fig. 3);

- C_I è il coefficiente di installazione della linea (Tab. 11);
 C_T è il coefficiente che tiene conto del tipo di linea (Tab. 12);
 C_E è il coefficiente ambientale della linea (Tab. 13).

L'area di raccolta per fulmini in prossimità della linea è data dalla relazione:

$$A_i = 4000 \times L_L$$

dove

L_L è la lunghezza della sezione della linea [m].

Se la lunghezza della sezione di linea non è nota può essere assunto $L_L = 1000$ m. Per consentire stime più realistiche la CEI 81-29 suggerisce che in media le lunghezze tipiche di linea siano:

- linea elettrica BT: 1000 m in area rurale, 300 m in area suburbana e 100 m in area urbana;
- linea elettrica AT: 5 km, non schermata, in area rurale e 400 m, interrata e schermata, in area urbana;
- linea di telecomunicazioni: 1000 m sia in area urbana sia in area rurale.

2.24. Numero di eventi pericolosi N_{DJ} causati da fulminazione diretta di una struttura adiacente

Il numero medio annuo N_{DJ} di eventi pericolosi dovuti a fulmini su una struttura all'estremità lontana di una linea (Fig. 3) può essere valutato come il prodotto:

$$N_{DJ} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6}$$

dove

- N_G è la densità di fulmini al suolo [fulmini/(km² × anno)];
 A_{DJ} è l'area di raccolta della struttura adiacente isolata [m²] (Fig. 3);
 C_{DJ} è il coefficiente di posizione della struttura adiacente (Tab. 10);
 C_T è il coefficiente che tiene conto del tipo di linea (Tab. 12).

2.25. Valutazione della probabilità P_x di danno

Le probabilità di danno possono essere stimate in accordo con l'allegato B della norma CEI 81-10/2 (EN 62305-2). Tali probabilità sono valide se le misure di protezione da adottare sono conformi alle norme:

- CEI 81-10/3 (EN 62305-3) per le misure di protezione atte a ridurre i danni agli esseri viventi ed ai beni materiali;

- CEI 81-10/4 (EN 62305-4) per le misure di protezione atte a ridurre i guasti degli impianti interni.

Possono essere adottati anche altri valori, se giustificati.

Valori di probabilità P_x inferiori a 1 possono essere utilizzati soltanto se la misura o la caratteristica é valida per l'intera struttura o zona (Z_s) della struttura da proteggere e per tutte le relative apparecchiature.

2.26. Probabilità P_A che un fulmine sulla struttura causi danno ad esseri viventi per elettrocuzione

I valori di probabilità P_A di danno agli esseri viventi a causa di tensioni di contatto e di passo per un fulmine sulla struttura dipendono dall'LPS installato e dalle misure di protezione aggiuntive adottate:

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

dove

- P_{TA} dipende dalle misure di protezione aggiuntive contro le tensioni di passo e di contatto, quali quelle elencate nella Tab. 14 (a cui si rimanda per i valori di P_{TA});
- P_B dipende dal livello di protezione (LPL) con cui è progettato l'LPS, conformemente alla CEI 81-10/3 (EN 62305-3), i suoi valori sono riportati nella Tab. 15.

Se è adottata più di una misura di protezione, il valore di P_{TA} è il prodotto dei corrispondenti valori.

Le misure di protezione sono efficaci nella riduzione di P_A solo nel caso di strutture protette da LPS o di strutture in cui le calate naturali dell'LPS siano realizzate utilizzando le strutture portanti metalliche continue o i ferri di armatura del calcestruzzo e quando siano soddisfatte le prescrizioni della CEI 81-10/3 (EN 62305-3) relative all'equipotenzializzazione ed alla messa a terra. Maggiori informazioni si possono reperire nei punti 8.1 e 8.2 di tale norma.

Tabella 14 - Valori di probabilità P_{TA} di danno ad esseri viventi per tensioni di contatto e di passo pericolose

Misure di protezione	P_{TA}
Nessuna misura di protezione	1
Cartelli ammonitori	10^{-1}
Isolamento elettrico (es. almeno 3 mm di polietilene reticolato) delle parti accessibili (es. calate)	10^{-2}
Efficace equipotenzializzazione del suolo	10^{-2}
Barriere o strutture portanti dell'edificio utilizzate come calate	0

La guida CEI 81-29 suggerisce che, poiché le tensioni di contatto si verificano verso parti metalliche facenti parte della struttura, che possono entrare a far parte del percorso della corrente di fulmine, allora in assenza di tali parti metalliche le tensioni di contatto possono essere trascurate. Inoltre si può assumere $P_{TA}=0$ quando si verifica una delle seguenti condizioni:

- i ferri d'armatura del cemento armato o le parti metalliche della struttura sono usati come calate naturali e il loro numero non è inferiore a 10;
- la struttura è dotata di un LPS con almeno 10 calate;
- in condizioni di normale funzionamento non vi è presenza di persone, entro 3 m dalle calate del LPS;
- la resistenza verso terra di una persona (resistenza di terra di un elettrodo di 400 cm² premuto al suolo con una forza di 500 N) non è inferiore a 100 k Ω ;
- il suolo è ricoperto con uno strato di 5 cm di asfalto o 15 cm di ghiaia.

2.27. Probabilità P_B che un fulmine su una struttura causi danno materiale

I valori di probabilità P_B per un danno materiale dovuto a un fulmine su una struttura sono riportati in Tabella 15 in funzione del livello di protezione (LPL).

L'adozione di un LPS serve allo scopo di ridurre la probabilità P_B .

Tabella 15 - Valori di P_B in funzione delle misure di protezione adottate per ridurre il danno materiale

Caratteristiche della struttura	Classe dell'LPS	P_B
Struttura non protetta con LPS		1
	IV	0,2
Struttura protetta con LPS	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Struttura con organi di captazione conformi ad un LPS di Classe I e con organi naturali di discesa costituiti da uno schermo metallico continuo o dai ferri d'armatura del calcestruzzo.		0,01
Struttura con copertura metallica od organi di captazione, comprendenti eventuali componenti naturali, atti a garantire una completa protezione contro la fulminazione diretta di ogni installazione sulla copertura e con organi naturali di discesa costituiti da uno schermo metallico continuo o dai ferri d'armatura del calcestruzzo.		0,001

Valori di P_B diversi da quelli riportati nella Tabella 15 possono essere adottati se determinati da una ricerca accurata che tenga conto dei requisiti di dimensionamento e di intercettazione definiti nella CEI 81-10/1 (EN 62305-1).

2.28. Probabilità P_c che un fulmine su una struttura causi guasti negli impianti interni

La probabilità P_c che un fulmine su una struttura causi guasti negli impianti interni è data dalla relazione:

$$P_c = P_{SPD} \times C_{LD}$$

dove

P_{SPD} dipende dal sistema coordinato di SPD conforme alla CEI 81-10/4 (EN 62305-4) e dal livello di protezione (LPL) utilizzato nel progetto degli SPD utilizzati; i suoi valori sono riportati nella Tab. 16.

C_{LD} è un coefficiente che dipende dalle condizioni di schermatura, di messa a terra e di separazione della linea a cui è connesso l'impianto interno; i suoi valori sono riportati nella Tab. 17.

Tabella 16 - Valori della probabilità P_{SPD} in funzione del lpl per cui sono progettati gli SPD

LPL	P_{SPD}
Sistema di SPD assente	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
SPD con caratteristiche migliori rispetto ai requisiti richiesti per l'LPL I	0,005 – 0,001

Un sistema coordinato di SPD è una misura di protezione atta a ridurre P_c . La protezione con un sistema di SPD è efficace nella riduzione di P_c solo in strutture protette con LPS o in strutture con schermo metallico continuo o con i ferri d'armatura del calcestruzzo costituenti un LPS naturale, in cui siano rispettati i requisiti della CEI 81-10/3 (EN 62305-3) relativi all'equipotenzializzazione ed alla messa a terra.

I valori di P_{SPD} possono essere ridotti nel caso di SPD aventi caratteristiche migliori (più elevata corrente nominale I_n , livello di protezione U_p inferiore, ecc.) rispetto ai requisiti richiesti per l'LPL I nei relativi punti d'installazione [Tab. A.3 e Allegato E della CEI 81-10/1 (EN 62305-1) per informazioni relative alla probabilità di accadimento delle correnti di fulmine e Allegato D della CEI 81-10/4 (EN 62305-4) per la ripartizione della corrente di fulmine].

Tabella 17 - Valori dei coefficienti C_{LD} e C_{LI} in funzione di schermatura, messa a terra e separazione

Tipo di linea esterna	Connessione all'ingresso	C_{LD}	C_{LI}
Aerea non schermata	Non definita	1	1
Interrata non schermata	Non definita	1	1
Linea di energia con neutro a terra in più punti lungo il percorso	Nessuna	1	0,2
Linea schermata interrata (energia o TLC)	Schermo non connesso alla stessa barra equipotenziale degli apparati	1	0,3
Linea schermata aerea (energia o TLC)	Schermo non connesso alla stessa barra equipotenziale degli apparati	1	0,1
Linea schermata interrata (energia o TLC)	Schermo connesso alla stessa barra equipotenziale degli apparati	1	0
Linea schermata aerea (energia o TLC)	Schermo connesso alla stessa barra equipotenziale degli apparati	1	0
Cavo di protezione contro il fulmine o posa in condotto per la protezione di cavi contro il fulmine	Schermo connesso alla stessa barra equipotenziale degli apparati	0	0
(Nessuna linea esterna)	Nessuna connessione a linee esterne (sistema "stand-alone")	0	0
Qualsivoglia tipo	Interfacce di separazione secondo la CEI 81-10/4 (EN 62305-4)	0	0

Per le interfacce di separazione si può assumere $C_{LD} = C_{LI} = 0$ solo se esse sono protette lato linea con SPD dimensionati con il livello di protezione scelto con la valutazione del rischio.

Nella valutazione della probabilità P_c , i valori di C_{LD} riportati nella Tab. 17 sono riferiti a sistemi con impianti interni schermati; per sistemi con impianti interni non schermati dovrebbe essere assunto $C_{LD} = 1$.

Nei sistemi interni non schermati non connessi a linee esterne (sistemi "stand-alone"), o connessi a linee esterne mediante interfacce di separazione, o connessi a linee esterne realizzate con cavi di protezione contro il fulmine o con sistemi posati in condotti per la protezione dei cavi contro il fulmine, in condotti o tubi metallici, connessi alla stessa barra equipotenziale degli apparati non è necessario un sistema coordinato di SPD conforme alla CEI 81-10/4 (EN 62305-4) per ridurre P_c quando la tensione indotta U_i non supera la tensione di tenuta U_w dei sistemi interni ($U_i \leq U_w$). Per la valutazione della tensione indotta U_i si rimanda all'Allegato A della CEI 81-10/4 (EN 62305-4).

Se nella zona dove si sta effettuando il calcolo della componente R_c risulta presente più di un impianto interno, i valori di P_c sono dati da:

$$P_c = 1 - (1 - P_{c1}) \times (1 - P_{c2}) \times (1 - P_{c3}) \dots$$

dove P_{ci} sono i parametri relativi all' impianto interno $i = 1, 2, 3, \dots$

2.29. Probabilità P_M che un fulmine in prossimità di una struttura causi guasti negli impianti interni

La probabilità P_M che un fulmine in prossimità una struttura causi guasti negli impianti interni dipende dalle misure di protezione SPM (surge protection measures) installate. Le seguenti misure di protezione sono atte a ridurre P_M : LPS di tipo magliato, schermature, precauzioni nei percorsi, incremento delle tensioni di tenuta, interfacce di separazione e sistemi coordinati di SPD.

Se la protezione con un sistema di SPD non soddisfa i requisiti della CEI 81-10/4 (EN 62305-4), il valore di P_M è uguale al valore di P_{MS} .

Se la protezione con un sistema di SPD soddisfa i requisiti della CEI 81-10/4 (EN 62305-4), il valore di P_M è dato dalla relazione:

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

Nel caso di impianti interni con apparati non conformi ai livelli di resistibilità o di tensione di tenuta specificati dalle norme di prodotto, dovrebbe essere assunto $P_M = 1$. I valori del coefficiente P_{MS} sono determinati per mezzo del seguente prodotto:

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

dove

- K_{S1} tiene conto dell'efficacia della schermatura offerta alla struttura, dall'LPS o da altri schermi al confine di LPZ 0/1;
- K_{S2} tiene conto dell'efficacia della schermatura degli schermi interni alla struttura al confine di LPZ X/Y (con $X > 0$, $Y > 1$);
- K_{S3} tiene conto delle caratteristiche del cablaggio interno (Tab. 18);
- K_{S4} tiene conto della tensione di tenuta ad impulso dell'impianto da proteggere.

Nel caso di apparati provvisti di interfacce di separazione realizzate mediante trasformatori di isolamento con schermo tra gli avvolgimenti connesso a terra o mediante cavi a fibra ottica o opto isolatori, può essere assunto $P_{MS} = 0$.

All'interno di una LPZ, ad una distanza di sicurezza dallo schermo almeno pari al lato di magliatura w_m , i coefficienti K_{S1} e K_{S2} per LPS o per schermature a maglia possono essere calcolati con le seguenti relazioni:

$$K_{S1} = 0,12 \times W_{m1}$$

$$K_{S2} = 0,12 \times W_{m2}$$

dove w_{m1} [m] e w_{m2} [m] sono i lati di magliatura di uno schermo a maglia o delle calate interconnesse di un LPS a maglia, o, nel caso di LPS naturale, la spaziatura tra le colonne metalliche o tra le strutture in calcestruzzo armato.

Per schermi continui di spessore non inferiore a 0,1 mm, $K_{S1} = K_{S2} = 10^{-4}$.

Se è presente una rete di equipotenzializzazione magliata conforme ai requisiti della CEI 81-10/4 (EN 62305-4) i valori di K_{S1} e K_{S2} possono essere dimezzati.

Tabella 18 - Valori del coefficiente K_{S3} in funzione del cablaggio interno

Tipo di cablaggio interno	K_{S3}
Cavi non schermati – nessuna precauzione nella scelta del percorso al fine di evitare spire ^(a)	1
Cavi non schermati – precauzione nella scelta del percorso al fine di evitare larghe spire ^(b)	0,2
Cavi non schermati – precauzione nella scelta del percorso al fine di evitare spire ^(c)	0,01
Cavi schermati e cavi all'interno di condotti metallici ^(d)	0,0001

(a) Spire di conduttori con percorsi diversi in un edificio di grandi dimensioni (area della spira nell'ordine di 50 m²).

(b) Spire di conduttori posati nello stesso condotto o spire di conduttori con percorsi diversi in un edificio di dimensioni ridotte (area della spira nell'ordine di 10 m²).

(c) Spira di conduttori posti nello stesso cavo (area della spira nell'ordine di 0,5 m²).

(d) Schermi e condotti metallici connessi alla barra equipotenziale ad entrambe le estremità e apparati connessi alla stessa barra equipotenziale.

Se la spira che subisce induzione a causa del campo magnetico del fulmine giace in prossimità del confine dell'LPZ ed i suoi conduttori sono ad una distanza dallo schermo inferiore alla distanza di sicurezza, i valori di K_{S1} e K_{S2} sono più elevati. Per esempio, i valori di K_{S1} e K_{S2} dovrebbero essere raddoppiati quando la distanza dallo schermo è compresa 0,1 w_m e 0,2 w_m .

Per più LPZ in cascata il valore risultante di K_{S2} è dato dal prodotto dei valori di K_{S2} relativi a ciascuna LPZ.

Il massimo valore di K_{S1} e K_{S2} è limitato a 1.

Il coefficiente K_{S4} è calcolato come:

$$K_{S4} = 1/U_w$$

dove

U_w é la tensione di tenuta ad impulso dell'impianto da proteggere, in kV.

Il massimo valore di K_{S4} è limitato a 1.

Se nell'impianto interno sono presenti apparati aventi differenti livelli di tenuta ad impulso, dovrebbe essere adottato il coefficiente K_{S4} relativo al livello di tenuta ad impulso più basso.

Se nella zona dove si sta effettuando il calcolo della componente R_M risulta presente più di un impianto interno, i valori di P_M sono dati da:

$$P_M = 1 - (1 - P_{M1}) \times (1 - P_{M2}) \times (1 - P_{M3}) \dots$$

dove P_{Mi} sono i parametri relativi all'impianto interno $i = 1, 2, 3, \dots$

2.30. Probabilità P_U che un fulmine su una linea causi danno agli esseri viventi per elettrocuzione

Il valore di probabilità P_U di danno agli esseri viventi all'interno della struttura a causa delle tensioni di contatto per un fulmine su una linea entrante nella struttura dipende dalle caratteristiche dello schermatura della linea, dalla tensione di tenuta ad impulso degli impianti interni connessi alla linea, dalle misure di protezione quali barriere, cartelli ammonitori, interfacce di separazione o equipotenzializzazione mediante SPD installati all'ingresso della linea secondo la CEI 81-10/3 (EN 62305-3).

Non è necessario un sistema coordinato di SPD conforme alla CEI 81-10/4 (EN 62305-4) per ridurre P_U ; in questo caso sono sufficienti SPD secondo quanto riportato nella CEI 81-10/3 (EN 62305-3).

I valori di P_U sono dati dalla relazione:

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

dove

P_{TU} dipende dalle misure di protezione contro le tensioni di contatto, quali barriere o cartelli ammonitori; i suoi valori sono riportati nella Tab. 19;

P_{EB} dipende dalla equipotenzializzazione al fulmine (EB) conforme alla EN 62305-3 e dal livello di protezione (LPL) per cui sono progettati gli SPD; i suoi valori sono riportati nella Tab. 20;

- P_{LD} è la probabilità di guasto degli impianti interni dovuto al fulmine sulla linea connessa e dipende dalle caratteristiche della linea stessa; i suoi valori sono riportati nella Tab. 21;
- C_{LD} è un coefficiente che dipende dalle condizioni di schermatura, di messa a terra e di separazione della linea a cui è connesso l'impianto interno; i suoi valori sono riportati nella Tab. 17.

Se sono stati installati SPD per l'equipotenzializzazione secondo la CEI 81-10/3 (EN 62305-3) all'ingresso della linea, la protezione può essere migliorata realizzando la messa a terra e l'equipotenzializzazione secondo la CEI 81-10/4 (EN 62305-4).

Tabella 19 - Valori di probabilità P_{TU} che un fulmine su una linea causi danno ad esseri viventi per tensioni di contatto

Misure di protezione	P_{TU}
Nessuna misura di protezione	1
Cartelli ammonitori	10^{-1}
Isolamento elettrico	10^{-2}
Barriere	0

Se sono adottate più misure il valore di P_{TU} è dato dal prodotto dei corrispondenti valori.

Tabella 20 - Valori di probabilità P_{EB} in funzione dell'LPL per cui sono progettati gli SPD

LPL	P_{EB}
Nessun SPD	1
III - IV	0,05
II	0,02
I	0,01
SPD con caratteristiche migliori rispetto ai requisiti richiesti per l'LPL I	0,005 – 0,001

Valori inferiori di P_{EB} sono possibili nel caso di SPD aventi caratteristiche migliori (più elevata corrente nominale I_n , livello di protezione U_p inferiore, ecc.) rispetto ai requisiti richiesti per l'LPL I nei relativi punti d'installazione [Tab. A.3 e Allegato E della CEI 81-10/1 (EN 62305-1) per informazioni relative alla probabilità di accadimento delle correnti di fulmine e Allegato D della CEI 81-10/4 (EN 62305-4) per la ripartizione della corrente di fulmine].

Tabella 21 - Valori di probabilità P_{LD} in funzione della resistenza R_s dello schermo del cavo e della tensione di tenuta ad impulso U_w degli apparati

Tipo di linea	Condizioni del percorso, dello schermo e della messa a terra	Tensione di tenuta U_w in kV					
		1	1,5	2,5	4	6	
Linee di energia o di telecomunicazione	Linea aerea o interrata, non schermata o con schermo non connesso alla barra equipotenziale a cui sono connessi gli apparati	1	1	1	1	1	
	Linea schermata aerea o interrata con schermo connesso alla stessa barra equipotenziale a cui sono connessi gli apparati	$5 \Omega/\text{km} < R_s \leq 20 \Omega/\text{km}$	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

Nelle aree suburbane sono tipicamente installati cavi di energia BT interrati privi di schermo, mentre le linee di telecomunicazione utilizzano cavi interrati muniti di schermo (con un minimo di 20 conduttori, una resistenza di schermo pari a $5 \Omega/\text{km}$, un diametro del conduttore in rame di 0,6 mm). Nelle aree rurali sono utilizzate linee di energia BT in cavo aereo prive di schermo, mentre le linee di telecomunicazione utilizzano cavi aerei privi di schermo (diametro del conduttore in rame: 1 mm). Una linea di energia AT utilizza cavi interrati muniti di schermo aventi una resistenza specifica dello schermo nell'ordine da $1 \Omega/\text{km}$ a $5 \Omega/\text{km}$.

2.31. Probabilità P_V che un fulmine su una linea causi danno materiale

Il valore di probabilità P_V di danno materiale a causa di un fulmine su una linea entrante nella struttura dipende dalle caratteristiche della schermatura della linea, dalla tensione di tenuta ad impulso degli impianti interni connessi alla linea e dalle interfacce di separazione o dalle caratteristiche degli SPD installati in conformità alla CEI 81-10/3 (EN 62305-3).

Non è necessario un sistema coordinato di SPD conforme alla CEI 81-10/4 (EN 62305-4) per ridurre P_V ; in questo caso sono sufficienti SPD secondo la CEI 81-10/3 (EN 62305-3).

I valori di P_V sono dati dalla relazione:

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

dove

P_{EB} dipende dalla equipotenzializzazione al fulmine (EB) conforme alla CEI 81-10/3 (EN 62305-3) e dal livello di protezione (LPL) per cui sono progettati gli SPD; i suoi valori sono riportati nella Tab. 20;

- P_{LD} è la probabilità di guasto degli impianti interni dovuto al fulmine sulla linea connessa e dipende dalle caratteristiche della linea stessa; i suoi valori sono riportati nella Tab. 21;
- C_{LD} è un coefficiente che dipende dalle condizioni di schermatura, di messa a terra e di separazione della linea a cui è connesso l'impianto interno; i suoi valori sono riportati nella Tab. 17.

2.32. Probabilità P_w che un fulmine su una linea causi guasti negli impianti interni

Il valore di probabilità P_w che un fulmine su una linea entrante nella struttura causi guasti negli impianti interni dipende dalle caratteristiche della schermatura della linea, dalla tensione di tenuta ad impulso degli impianti interni connessi al servizio e dalle interfacce di separazione o dal sistema coordinato di SPD installato.

I valori di P_w sono dati dalla relazione:

$$P_w = P_{SPD} \times P_{LD} \times C_{LD}$$

dove

- P_{SPD} dipende dal sistema coordinato di SPD conforme alla CEI 81-10/4 (EN 62305-4) e dal livello di protezione (LPL) utilizzato nel progetto degli SPD installati; i suoi valori sono riportati nella Tab. 16;
- P_{LD} è la probabilità di guasto degli impianti interni dovuto al fulmine sulla linea connessa e dipende dalle caratteristiche della linea stessa; i suoi valori sono riportati nella Tab. 21;
- C_{LD} è un coefficiente che dipende dalle condizioni di schermatura, di messa a terra e di separazione della linea a cui è connesso l'impianto interno; i suoi valori sono riportati nella Tab. 17.

2.33. Probabilità P_z che un fulmine in prossimità di una linea entrante causi guasti negli impianti interni

Il valore di probabilità P_z che un fulmine in prossimità di una linea entrante causi guasti negli impianti interni dipende dalle caratteristiche della schermatura della linea, dalla tensione di tenuta ad impulso degli impianti interni connessi alla linea e dalle interfacce separazione o dal sistema coordinato di SPD installato.

I valori di P_z sono dati dalla relazione:

$$P_z = P_{SPD} \times P_{LI} \times C_{LI}$$

dove

- P_{SPD} dipende dal sistema coordinato di SPD conforme alla CEI 81-10/4 (EN 62305-4) e dal livello di protezione (LPL) utilizzato nel progetto degli SPD installati; i suoi valori sono riportati nella Tab. 16;
- P_U è la probabilità di guasto degli impianti interni dovuto a un fulmine in prossimità della linea connessa e dipende dalle caratteristiche della linea stessa e degli apparati; i suoi valori sono riportati nella Tab. 22;
- C_U è un coefficiente che dipende dalle condizioni di schermatura, di messa a terra e di isolamento della linea; i suoi valori sono riportati nella Tab. 17.

Tabella 22 - Valori della probabilità P_U in funzione del tipo di linea e della tensione di tenuta ad impulso U_w degli apparati

Tipo di linea	Tensione di tenuta U_w in kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Linee di energia	1	0,6	0,3	0,16	0,1
Linee di telecomunicazione	1	0,5	0,2	0,08	0,04

Maggiori informazioni per la valutazione di P_U possono essere reperite Nella IEC/TR 82066:2002 per le linee di energia e nella ITU-T Recommendations K46 per le linee di telecomunicazione.

2.34. Valutazione dell'ammontare della perdita L_x

L'ammontare della perdita L_x è definito dal progettista dell'impianto di protezione contro le scariche atmosferiche, sulla base dei valori riportati nella CEI 81-10/2 (EN 62305-2) e delle informazioni fornite dal proprietario della struttura e/o dal datore di lavoro. I valori riportati nella CEI 81-10/2 (EN 62305-2) sono stati proposti dalla IEC e dal Comitato Nazionale, altri valori potrebbero essere adottati, in seguito ad un dettagliato esame. I valori proposti sono riferiti alle regioni temperate, ciò significa che per altre regioni potrebbero essere necessari aggiustamenti.

Le perdite dovrebbero essere determinate individualmente per ciascuna zona in cui è stata suddivisa la struttura.

2.35. Perdita di vite umane (L_1)

La perdita di vite umane dipende dalle caratteristiche della zona, che sono tenute in conto mediante fattori di incremento (h_z) e di riduzione (r_l, r_p, r_i). Si può fare riferimento alla Tab. 23.

Il massimo valore di perdita in ciascuna zona va moltiplicato per il rapporto tra il numero di persone nella zona (n_z) e il numero totale di persone (n_t) nell'intera struttura e per il rapporto tra il tempo di permanenza nella zona espresso in ore all'anno (t_z), e il numero totale di ore in un anno (8760).

Tabella 23 - Tipo di perdita L1: valori di perdita in ciascuna zona

Tipo di danno	Perdita tipica
D1	$L_A = L_U = r_t \times L_T \times n_z/n_t \times t_z/8760$
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_i \times h_z \times L_F \times n_z/n_t \times t_z/8760$
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z/n_t \times t_z/8760$

dove

- L_T è il tipico numero medio di vittime per elettrocuzione (D1) causato da un evento pericoloso relativo alla struttura considerata (Tab. 24);
- L_F è il tipico numero medio di vittime per danno materiale (D2) causato da un evento pericoloso relativo alla struttura considerata (Tab. 24);
- L_O è il tipico numero medio di vittime per guasto degli impianti interni (D3) causato da un evento pericoloso relativo alla struttura considerata (Tab. 24);
- r_t è un coefficiente di riduzione per la perdita di vite umane dipendente dal tipo di terreno o pavimentazione (Tab. 25);
- r_p è un coefficiente di riduzione per la perdita dovuta a danno materiale dipendente dai provvedimenti atti a ridurre le conseguenze dell'incendio (Tab. 26);
- r_i è un coefficiente di riduzione per la perdita dovuta a danno materiale dipendente dal rischio di incendio o dal rischio di esplosione della struttura (Tab. 27);
- h_z è un coefficiente di incremento della perdita dovuto al danno materiale nel caso sia presente un pericolo particolare (Tab. 28);
- n_z è il numero delle persone nella zona considerata;
- n_t è il numero totale di persone nella struttura;
- t_z è il tempo in ore all'anno per cui le persone sono presenti nella zona considerata.

Se una struttura è considerata come una singola zona il rapporto n_z/n_t dovrebbe essere posto uguale a 1.

Quando il valore di t_z non è noto il rapporto $t_z/8760$ dovrebbe essere posto uguale a 1. I valori della Tab. 24, presumono una presenza continua di persone nella struttura. Tali valori differiscono da quelli proposti dall'IEC in quanto sono stati assegnati dal Comitato Nazionale.

Nel caso di strutture con rischio di esplosione i valori di L_F ed L_O potrebbero aver bisogno di una valutazione più accurata che tenga conto del tipo di struttura, del rischio di esplosione, del concetto di zona, di area pericolosa e delle misure atte a ridurre il rischio.

Tabella 24 - Tipo di perdita L1: valori medi tipici di L , L_F e L_O

Tipo di danno	Valori tipici delle perdite		Tipo di struttura
D1 Danno ad esseri viventi	L_T	10^{-2}	Tutti i tipi
D2 Danno materiale	L_F	10^{-2} 10^{-2} 5×10^{-3} 2×10^{-3} 10^{-3}	Rischio di esplosione Ospedali, alberghi, civile abitazione, scuole Pubblico spettacolo, chiese, musei Industriale, commerciale Altro
D3 Guasto di impianti interni	L_O	10^{-2} 10^{-3} 10^{-4}	Rischio di esplosione Blocchi operatori e reparti di rianimazione Altre parti di ospedali (*)

(*) Solo se, nelle normali condizioni di operatività, si utilizzano apparecchiature il cui guasto provoca pericolo immediato per la vita umana. Se questa condizione non è verificata, si può assumere $L_O = 0$

Quando il danno ad una struttura si può estendere alle strutture circostanti o all'ambiente (es. emissioni chimiche o radioattive), la valutazione della perdita totale (L_{BT} e L_{VT}) dovrebbe tenere conto delle perdite aggiuntive (L_{BE} e L_{VE}):

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

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

dove

$$L_{BE} = L_{VE} = L_{FE} \times t_e/8760;$$

L_{FE} è la perdita dovuta al danno materiale all'esterno della struttura;

t_e è la durata della presenza di persone nell'area pericolosa all'esterno della struttura.

Se il valore di t_e non è noto, dovrebbe essere assunto $t_e/8760 = 1$. Le autorità competenti dovrebbero fornire informazioni/documenti per permettere la valutazione di L_{FE} .

Tabella 25 - Coefficienti di riduzione r_t in funzione del tipo di superficie del suolo o della pavimentazione

Tipo di superficie ^(b)	Resistenza di contatto [k Ω] ^(a)	r_t
Agricolo, cemento	≤ 1	10^{-2}
Marmo, ceramica	1 – 10	10^{-3}
Pietrisco, moquette, tappeto	10 – 100	10^{-4}
Asfalto, linoleum, legno	≥ 100	10^{-5}

(a) Valori misurati tra un elettrodo di 400 cm² premuto con una forza di 500N ed un punto all'infinito.

(b) Uno strato di materiale isolante, p.e. asfalto di 5 cm di spessore (o uno strato di ghiaia di 15 cm), generalmente riduce il pericolo ad un livello tollerabile.

Tabella 26 - Coefficienti di riduzione r_p in funzione delle misure per ridurre le conseguenze dell'incendio

Misure adottate	r_p
Nessuna misura	1
Una delle seguenti misure: estintori; impianto fisso di estinzione operato manualmente; impianto di allarme manuale; idranti; compartimentazione antincendio; vie di fuga protette	0,5
Una delle seguenti misure: impianto fisso di estinzione operato automaticamente; impianto di allarme automatico (a)	0,2

(a) Solo se protetto contro le sovratensioni ed altri danneggiamenti e se la squadra antincendio può intervenire in meno di 10 minuti.

Se sono adottate più misure il valore di r_p dovrebbe essere quello minore tra quelli considerati.

Nelle strutture con rischio di esplosione $r_p = 1$ in tutti i casi.

Tabella 27 - Coefficiente di riduzione r_t in funzione del rischio d'incendio o di esplosione della struttura

Rischio d'incendio	Entità del rischio	r_t
Esplosione	Zone 0, 20 ed esplosivi solidi	1
	Zone 1, 21	10^{-1}
	Zone 2, 22	10^{-3}
Incendio	Elevato	10^{-1}
	Ordinario	10^{-2}
	Ridotto	10^{-3}
Esplosione o incendio	Nulla	0

Nelle strutture con rischio d'esplosione può essere necessaria una valutazione di r_f più dettagliata.

Il carico specifico d'incendio è il rapporto tra l'energia del quantitativo totale di materiale combustibile nella struttura e la superficie complessiva della struttura stessa:

- strutture realizzate con materiali combustibili o con coperture realizzate con materiale combustibile o strutture con carico specifico d'incendio maggiore di 800 MJ/m² presentano rischio d'incendio elevato;
- strutture con carico specifico d'incendio compreso tra 800 MJ/m² e 400 MJ/m² presentano rischio d'incendio ordinario;
- strutture con carico specifico d'incendio inferiore a 400 MJ/m² o che contengono solo una modesta quantità di materiale combustibile presentano rischio d'incendio ridotto.

Ai fini del rischio di fulminazione le strutture con aree pericolose o contenenti materiali esplosivi solidi possono non essere considerate strutture con rischio di esplosione se è soddisfatta almeno una delle seguenti condizioni:

- il tempo di presenza della sostanza esplosiva è inferiore a 0,1 ore/anno;
- il volume dell'atmosfera esplosiva è trascurabile secondo la EN 60079-10 e la EN 60079-10-2;
- la zona non può essere colpita direttamente dal fulmine e sono impediti scariche pericolose nella zona stessa.

Per le zone pericolose protette da tettoie metalliche l'ultima condizione è soddisfatta se la tettoia, considerata quale organo di captazione naturale, non è soggetta a problemi di punto caldo o perforazione e gli impianti interni alla tettoia, se presenti, sono protetti contro le sovratensioni al fine di evitare scariche pericolose.

Tabella 28 - Valori del coefficiente h_z che incrementa l'ammontare relativo della perdita in presenza di pericoli particolari

Tipo di pericolo particolare	h_z
Nessuno	1
Livello ridotto di panico (p.e.: struttura limitata a due piani ed un numero di persone inferiore a 100)	2
Livello medio di panico (p.e.: strutture per eventi culturali o sportivi con numero di partecipanti tra 100 e 1000)	5
Difficoltà di evacuazione (p.e.: strutture con presenza di persone impossibilitate a muoversi, ospedali)	5
Livello elevato di panico (p.e.: strutture per eventi culturali o sportivi con numero di partecipanti maggiore di 1000)	10

In realtà il coefficiente h_z (dall'inglese "hazard") più che al panico fa riferimento alla possibile difficoltà di evacuazione della struttura che potrebbe incrementare l'entità della perdita.

2.36. Perdita inaccettabile di servizio pubblico (L2)

Il valore della perdita L_x per ciascuna zona può essere determinato in accordo con la Tab. 29 considerando che:

- la perdita di servizio pubblico è determinata dalle caratteristiche della zona dove è ubicata la struttura, che sono tenute in conto con i coefficienti di riduzione r_p ed r_i ;
- il massimo valore di perdita dovuta al danno nella zona deve essere ridotto con il rapporto tra il numero di utenti serviti dalla zona considerata (n_z) ed il numero totale di utenti serviti dall'intera struttura (n_t).

Tabella 29 - Tipo di perdita L2: valori di perdita in ciascuna zona

Tipo di danno	Perdita tipica
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_i \times L_F \times n_z/n_t$
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z/n_t$

dove

- L_F è il numero tipico medio relativo di utenti non serviti dovuto al danno materiale conseguente ad un evento pericoloso (Tab. 30);
- L_O è il numero tipico medio relativo di utenti non serviti dovuto al guasto degli impianti interni conseguente ad un evento pericoloso (Tab. 30);
- r_p è il coefficiente di riduzione della perdita dovuta a danno materiale e dipende dalle misure di protezione atte a ridurre le conseguenze dell'incendio (Tab. 26);
- r_i è il coefficiente di riduzione della perdita dovuta a danno materiale e dipende dal rischio di incendio (Tab. 27);
- n_z è il numero di utenti serviti dalla zona considerata;
- n_t è il numero totale di utenti serviti dalla struttura.

Tabella 30 - Tipo di perdita L2: tipici valori medi di L_F e L_O

Tipo di danno	Valore tipico della perdita	Tipo di struttura
D2 Danno materiale	L_F 10^{-1} 10^{-2}	Gas, acqua, energia elettrica TV, linee di telecomunicazione
D3 Guasto degli impianti interni	L_O 10^{-2} 10^{-3}	Gas, acqua, energia elettrica TV, linee di telecomunicazione

2.37. Perdita di patrimonio culturale insostituibile (L3)

Il valore della perdita L_x in ciascuna zona può essere determinato in accordo con la Tab. 31 considerando che:

- la perdita di patrimonio culturale insostituibile è determinata dalle caratteristiche della zona dove è ubicata la struttura, che sono tenute in conto con i coefficienti di riduzione r_p ed r_i ;
- il massimo valore di perdita dovuta al danno nella zona deve essere ridotto con il rapporto tra il valore (c_z) della zona ed il valore (c_i) dell'intera struttura (edificio e contenuto).

Tabella 31 - Tipo di perdita L3: valori di perdita in ciascuna zona

Tipo di danno	Valore tipico della perdita
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_i \times L_F \times c_z/c_i$

dove

- L_F è il tipico valore medio relativo di tutti i beni danneggiati dovuto al danno materiale (D2) conseguente ad un evento pericoloso (Tab. 32);
- r_p è il coefficiente di riduzione della perdita dovuta a danno materiale e dipende dalle misure di protezione atte a ridurre le conseguenze dell'incendio (Tab. 26);
- r_i è il coefficiente di riduzione della perdita dovuta a danno materiale e dipende dal rischio di incendio (Tab. 27);
- c_z è il valore del patrimonio culturale insostituibile nella zona;
- c_i è il valore totale dell'edificio e del contenuto della struttura (somma comprensiva di tutte le zone).

Tabella 32 - Tipo di perdita L3: tipici valori medi di L_x

Tipo di danno	Valore tipico della perdita		Tipo di struttura o zona
D2 Danno materiale	L_F	10^{-1}	Musei, gallerie

2.38. Perdita economica (L4)

Il valore della perdita L_x in ciascuna zona può essere determinato in accordo con la Tab. 33 considerando che:

- la perdita economica è determinata dalle caratteristiche della zona dove è ubicata la struttura, che sono tenute in conto con i coefficienti di riduzione r_t , r_p ed r_i ;
- il massimo valore di perdita dovuta al danno nella zona deve essere ridotto con il rapporto tra il valore relativo (c_z) della zona ed il valore (c_i) dell'intera struttura (animali, edificio, contenuto ed impianti interni comprensivi delle loro attività).

Il valore relativo alla zona dipende dal tipo di danno:

- D1 (danno ad animali per elettrocuzione): c_a (solo il valore degli animali);
- D2 (danno materiale): $c_a + c_b + c_c + c_s$ (valore di tutti i beni);
- D3 (guasto degli impianti interni): c_s (valore impianti interni e attività a loro connesse).

Tabella 33 - Tipo di perdita L4: valori di perdita in ciascuna zona

Tipo di danno	Perdita tipica
D1	$L_A = L_U = r_t \times L_T \times c_a/c_i$
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_i \times L_F \times (c_a + c_b + c_c + c_s)/c_i$
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times c_s/c_i$

dove

- L_T è il tipico valore medio relativo di tutti i beni danneggiati per elettrocuzione (D1) causato da un evento pericoloso (Tab. 34);
- L_F è il tipico valore medio relativo di tutti i beni danneggiati per danno materiale (D2) causato da un evento pericoloso (Tab. 34);
- L_O è il tipico valore medio relativo di tutti i beni danneggiati per guasto degli impianti interni (D3) causato da un evento pericoloso (Tab. 34);
- r_t è un coefficiente di riduzione per la perdita di animali dipendente dal tipo di terreno o pavimentazione (Tab. 25);
- r_p è un coefficiente di riduzione per la perdita dovuta a danno materiale dipendente dai provvedimenti atti a ridurre le conseguenze dell'incendio (Tab. 26);
- r_i è un coefficiente di riduzione per la perdita dovuta a danno materiale dipendente dal rischio di incendio o dal rischio di esplosione della struttura (Tab. 27);
- c_a è il valore degli animali nella zona
- c_b è il valore dell'edificio relativo alla zona;

- C_c è il valore del contenuto della zona;
 C_s è il valore degli impianti interni comprese le loro attività nella zona;
 C_t è il valore complessivo della struttura (somma comprensiva di tutte le zone per animali, edificio, contenuto ed impianti interni incluse le loro attività).

Tabella 34 - Tipo d perdita L4: tipici valori medi di L_T , L_F e L_O

Tipo di danno	Valore tipico della perdita		Tipo di struttura
D1 Danno per elettrocuzione	L_T	10^{-2}	Tutti i tipi solo se sono presenti animali
D2 Danno materiale	L_F	1 0,5 0,2 10^{-1}	Rischio di esplosione Ospedale, industriale, museo, agricola Albergo, scuola, ufficio, chiesa, pubblico spettacolo, commerciale Altro
D3 Guasto degli impianti interni	L_O	10^{-1} 10^{-2} 10^{-3} 10^{-4}	Rischio di esplosione Ospedale, industriale, ufficio, albergo, commerciale Museo, agricola, scuola, chiesa, pubblico spettacolo Altro

Nel caso di struttura con rischio di esplosione i valori di L_F ed L_O possono richiedere una valutazione più accurata, tenendo conto del tipo di struttura, del rischio di esplosione, del concetto di zona di area pericolosa e delle misure atte a ridurre il rischio. Quando il danno ad una struttura si può estendere alle strutture circostanti o all'ambiente (es. emissioni chimiche o radioattive), la valutazione delle perdite totali (L_{BT} e L_{VT}) dovrebbe tenere conto delle perdite addizionali (L_{BE} e L_{VE}):

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

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

dove

$$L_{BE} = L_{VE} = L_{FE} \times C_e/C_t;$$

L_{FE} è la tipica perdita media relativa dovuta al danno materiale all'esterno della struttura;

C_e è il valore complessivo dei beni nell'area pericolosa all'esterno della struttura.

L_{FE} dovrebbe essere valutato sulla base di documenti delle autorità competenti.

Le informazioni relative al valore degli animali c_a , al valore dell'edificio c_b , al valore del contenuto c_c ed al valore degli impianti interni comprese le loro attività c_s dovrebbero essere fornite dal proprietario della struttura/datore di lavoro.

Quando dette informazioni non siano disponibili esse possono essere dedotte dai valori proposti nelle Tabelle 35 e 36. I valori dei costi riportati in tali tabelle sono stati proposti dal CENELEC, ma altri valori possono essere definiti da ciascun comitato nazionale o dopo analisi approfondita.

Tabella 35 - Valori proposti per la determinazione di C_t

Tipo di struttura	Valori di riferimento	Totale per c_t	
Strutture non industriali	Costo della ricostruzione totale (esclusa la perdita di attività)	Ridotto	300
		Ordinario	400
		Elevato	500
Strutture industriali	Valore complessivo della struttura, incluso edificio, installazioni e contenuto (comprese la perdita di attività)	Ridotto	100
		Ordinario	300
		Elevato	500

Tabella 36 - Frazioni per la determinazione dei valori totali c_a , c_b , c_c , c_s

Condizione	Frazione per animali c_a/c_t	Frazione per edificio c_b/c_t	Frazione per contenuto c_c/c_t	Frazione per impianti interni c_s/c_t	Totale di tutti i beni $(c_a + c_b + c_c + c_s)/c_t$
Senza animali	0	75%	10%	15%	100%
Con animali	10%	70%	5%	15%	100%

Se sono utilizzati i valori delle Tabelle 35 o 36 possono essere effettuati i seguenti passi:

- determinare il valore totale c_t per l'intera struttura dalla Tab. 35;
- determinare i valori totali c_a , c_b , c_c e c_s per l'intera struttura dalla Tab. 36;

nel caso in cui i valori totali c_a , c_b , c_c e c_s sono suddivisi in più zone, i valori applicabili in ciascuna zona possono essere definiti con i seguenti rapporti:

- volume della zona/volume totale (per le strutture non industriali);
- impiegati nella zona/numero di impiegati totale (per le strutture industriali).

3. Le verifiche degli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche

3.1. Manutenzione e verifica dell'LP

L'efficacia della *protezione dai fulmini* (LP - lightning protection - per la cui definizione si rimanda al par. 2.2 del presente documento) dipende, oltre che dalla qualità dei suoi componenti e della loro installazione, anche dalla manutenzione e dalle verifiche effettuate su di essa. Infatti la protezione dai fulmini tende a perdere la sua efficacia con il passare del tempo a causa dell'invecchiamento e dell'usura (tra cui quella dovuta al fulmine) cui sono soggette alcune sue parti.

Pertanto, è bene che la manutenzione dell'LP sia effettuata con regolarità, al fine di evitarne il deterioramento e per assicurarsi che continui a svolgere la propria funzione nel tempo rispettando i requisiti di sicurezza.

A tale scopo è opportuno che il progettista dell'LP stabilisca, d'accordo con il proprietario e l'installatore un programma di manutenzione (manutenzione programmata) ed un programma di verifiche periodiche, coordinati tra loro.

Se durante una verifica sono rilevati guasti all'LP il proprietario dello stesso deve esserne informato ed è tenuto ad effettuare le riparazioni necessarie al più presto.

La manutenzione e le verifiche sono trattate nella guida CEI 81-2, che offre una trattazione sistematica, completa ed estesa di quanto già accennato nel cap. 7 e nell'allegato E.7 della CEI 81-10/3 (EN 62305-3).

3.2. Tipi di verifica

Su di un impianto di protezione contro le scariche atmosferiche possono essere svolte verifiche di tipo diverso:

- l'installatore effettua una verifica prima di rilasciare la dichiarazione di conformità allo stato dell'arte ai sensi del DM 37/08;
- dopo l'installazione il proprietario dell'impianto può scegliere di far effettuare ad una persona competente di sua fiducia una verifica di collaudo per controllare la conformità dell'installazione al progetto;
- l'Inail effettua la verifica iniziale a campione di cui all'art.3 del d.p.r. 462/01;
- il datore di lavoro richiede ai soggetti individuati nell'ambito di applicazione del d.p.r. 462/01 le verifiche periodiche di cui all'art. 4 di tale decreto;

- e le eventuali verifiche straordinarie di cui all'art. 7 dello stesso decreto;
- il datore di lavoro provvede affinché gli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche siano periodicamente sottoposti a verifica (denominata "controllo" per distinguerla da una "verifica" ai sensi del d.p.r. 462/01) secondo le indicazioni delle norme di buona tecnica e la normativa vigente, per verificarne lo stato di conservazione e di efficienza ai fini della sicurezza (d.lgs., art. 86, comma 1) (si veda il paragrafo 1.5 del presente documento).

Una verifica è articolata in un esame della documentazione ed in un esame sul campo (adattato dalla definizione 1.3.14 e dal punto 3 della CEI 81-2). L'esame sul campo a sua volta può essere un esame ordinario o un esame approfondito (quest'ultimo comprende anche eventuali misure o prove).

Esame della documentazione

Accertamento svolto sulla documentazione tecnica per valutarne la conformità alle norme e la consistenza rispetto alle assunzioni adottate, che potrebbero essere non veritiere/errate o obsolete, a causa di modifiche della struttura e/o dei suoi contenuti e degli impianti e/o del loro uso.

Esame sul campo

Accertamento svolto sul campo dopo aver svolto l'esame della documentazione. Può essere un esame ordinario o un esame approfondito.

Esame ordinario

Accertamento svolto, senza l'uso di utensili o di mezzi di accesso, alla ricerca di eventuali difetti dei componenti che sono evidenti allo sguardo (ad esempio mancanza di ancoraggi, connessioni interrotte, involucri rotti, corrispondenza dati di targa, ecc.). È detto anche esame a vista. L'esame ordinario è una parte della verifica (la verifica nel suo insieme comprende anche l'esame della documentazione).

Esame approfondito

Accertamento effettuato in aggiunta ad un esame ordinario. Serve per identificare quei difetti (ad esempio connessioni non effettuate, morsetti lenti, ecc.) che, normalmente, possono evidenziarsi soltanto accedendo ai componenti per mezzo di attrezzi (ad esempio strumenti, utensili e scale) e/o effettuando misure o prove. L'esame approfondito è una parte della verifica (la verifica nel suo insieme comprende anche l'esame della documentazione).

L'esame approfondito può essere necessario in funzione:

- dello stato di conservazione dell'impianto (accuratezza della manutenzione, esistenza di modifiche o manipolazioni non autorizzate, manutenzioni non appropriate, vetustà dell'impianto e dei relativi componenti, ecc.);
- delle condizioni ambientali (esposizione ad atmosfere corrosive, a prodotti chimici);
- della qualità della documentazione esibita.

Misure e prove

Accertamenti effettuati per verificare il comportamento di un componente in risposta ad una sollecitazione (prova) o per acquisire il valore di un parametro fisico (misura).

3.3. Periodicità delle verifiche

L'art. 4 del d.p.r. 462/01 prevede che il datore di lavoro richieda ai soggetti individuati nell'ambito di applicazione del decreto stesso una serie di verifiche periodiche che servono ad assicurare allo Stato che il datore di lavoro stia effettuando quanto è necessario perché la protezione dai fulmini conservi nel tempo i suoi requisiti di sicurezza.

La periodicità di tali verifiche potrebbe non essere sufficiente, poiché l'uso e l'usura dell'impianto potrebbero far venir meno i requisiti di sicurezza nell'intervallo di tempo tra due di tali verifiche. L'art. 86 del d.lgs. 81/08 ricorda allora al datore di lavoro che è opportuno seguire le indicazioni delle norme per attuare ulteriori "controlli" dello stato dell'impianto, in modo da rilevare tempestivamente possibili guasti.

È bene eseguire le ulteriori verifiche ("controlli"):

- dopo modifiche o riparazioni (ad es.: lavori o manutenzioni sulla copertura), o quando si abbia notizia che la struttura, le linee entranti o le loro vicinanze siano stati colpiti da un fulmine;
- ad intervalli di tempo correlati alle caratteristiche della struttura da proteggere.

Tali intervalli di tempo possono essere determinati sulla base dei seguenti fattori:

- i possibili effetti di danno caratteristici della struttura protetta;
- condizioni ambientali (ad esempio ambienti con atmosfere corrosive richiedono intervalli di verifica più brevi);
- caratteristiche dell'LP, dei componenti e dei materiali.

È opportuno effettuare una verifica con esame approfondito dell'impianto almeno ogni due anni per gli LPS con livello di protezione I e II. Sistemi in condizioni critiche è consigliabile che siano esaminati approfonditamente ogni anno (ad esempio: parti di LPS esposte a severi sforzi meccanici come le bandelle flessibili in zone molto ventose, SPD su tubazioni, connessioni esterne a cavi, ecc.).

La frequenza delle verifiche del sistema LPS, del sistema di SPD, delle misure di protezione dalle scariche SPM (surge protective measures) e delle altre misure di protezione, è rispettivamente riportata nelle tabelle 37, 38, 39 e 40, riprese dalla guida CEI 81-2.

Se è necessario misurare la variazione stagionale della resistenza di terra, si può eseguire la misura stagionalmente, oppure può essere eseguita programmando verifiche ad intervalli di 14 ÷ 15 mesi.

Tabella 37 - Intervallo di tempo tra due verifiche successive di un LPS

Livello protezione	Esame ordinario [mesi]	Esame approfondito [mesi]	Situazioni critiche Esame approfondito [mesi]
I e II	12	24	12
III e IV	24	48	12

Per LPS utilizzati in strutture con rischio di esplosione è opportuno che sia effettuato un esame a vista ogni 6 mesi. Le situazioni critiche sono relative a strutture ove vi è presenza di un numero elevato di persone, ove vi sono impianti sensibili, ove il danno si può estendere alle strutture ed all'ambiente circostante (come ad esempio emissioni tossiche, contaminazione, ecc..), ove vi è pericolo immediato per la vita umana.

Tabella 38 - Intervallo di tempo tra due verifiche successive di un sistema SPD

Livello protezione	Esame ordinario [mesi]	Esame approfondito [mesi]	Situazioni critiche Esame approfondito [mesi]
I e II	6	12	6
III e IV	12	24	6
No LPS	12	24	6

Dopo ogni fulminazione è opportuno effettuare un esame a vista dello stato degli SPD, a meno che non sia stato realizzato un sistema di segnalazione remota. Sugli impianti dove sono installati gli SPD, le situazioni critiche, sono relative a strutture ove possono verificarsi guasti che determinano un pericolo immediato per la vita umana. Gli SPD possono guastarsi anche per sovratensioni diverse dalla fulminazione.

Tabella 39 - Intervallo di tempo tra due verifiche successive delle SPM (surge protective measures)

Livello protezione	Esame ordinario [mesi]	Esame approfondito [mesi]	Situazioni critiche Esame approfondito [mesi]
Sistemi di SPD	6	12	6
Schermi magnetici	12	24	12
Equipotenzializzazione	12	24	12

Dopo ogni fulminazione è opportuno effettuare un esame a vista dello stato degli SPD, a meno che non sia stato realizzato un sistema di segnalazione remota. Le situazioni critiche, sono relative a strutture ove i guasti di impianti interni dovuti all'impulso elettromagnetico (LEMP) possono provocare pericolo immediato per la vita umana. L'intervallo di verifica dei sistemi SPD è differente rispetto alla tabella 38 in quanto si fa riferimento a misure di protezione contro il LEMP.

Tabella 40 - Intervallo di tempo tra due verifiche successive di altre misure di protezione

Strutture non dotate di LPS esterno	Strutture dotate di LPS esterno	[mesi]
Stessa frequenza definita per l'esame approfondito, determinata dal livello di protezione dell'LPS	Caratteristiche del suolo e/o della pavimentazione	60
	Barriere, isolamento, cartelli ammonitori, equipotenzializzazione del suolo	60
	Misure antincendio	60

Per svolgere la verifica è opportuno acquisire dichiarazioni e report dei controlli delle misure antincendio

3.4. Scopo delle verifiche

Lo scopo delle verifiche è quello di accertarsi che:

- la valutazione del rischio di fulminazione sia coerente e utilizzi dati di ingresso veritieri;
- la protezione dai fulmini LP sia conforme al progetto, nel rispetto della norma CEI 81-10 (EN 62305);
- i componenti dell'LPS e le misure di protezione SPM siano in buone condizioni ed atti ad assicurare le funzioni per cui sono stati installati;
- le costruzioni, gli impianti e le linee aggiunti di recente siano stati incorporati nella valutazione del rischio di fulminazione e nell'LP.

È opportuno che le verifiche dell'LP siano effettuate da personale specializzato nella protezione contro il fulmine.

Al verificatore dovrebbero essere forniti:

- la valutazione del rischio di fulminazione;
- il rapporto di progetto dell'LP contenente tutta la documentazione necessaria (come i criteri di progetto, la descrizione tecnica ed i relativi disegni);
- i rapporti relativi alla manutenzione ed alle precedenti verifiche.

3.5. Contenuti della verifica

La verifica ordinaria è attuata tramite:

- esame della documentazione e
- esame ordinario (a vista).

La verifica approfondita è attuata tramite:

- esame della documentazione e
- esame approfondito (che include misure e prove).

Al termine della verifica il verificatore emette il rapporto della verifica.

Durante la verifica si devono prendere tutte le precauzioni per garantire la sicurezza delle persone ed evitare danni ai beni ed ai componenti installati.

Durante eventuali manifestazioni temporalesche è pericoloso eseguire verifiche, prove e operazioni di manutenzione dell'impianto di protezione contro le scariche atmosferiche.

Nel corso delle verifiche periodiche è importante controllare i seguenti punti:

- coerenza del documento di valutazione del rischio di fulminazione;
- difetti o deterioramento dell'LP o dei suoi elementi.

3.6. Esame della documentazione

La documentazione tecnica è esaminata sotto gli aspetti della completezza e della conformità alle norme.

È necessario valutarne la consistenza rispetto ad assunzioni che possono essere:

- eventualmente non veritiere/errate;
- eventualmente obsolete per sopraggiunte modifiche della struttura e/o dei suoi contenuti e degli impianti e/o del loro uso.

L'analisi della documentazione riveste particolare importanza, in quanto le misure di protezione non sono univocamente individuate dal tipo di struttura e dalla sua destinazione d'uso, ma dipendono dalle scelte effettuate dal progettista per ridurre il rischio durante la procedura di valutazione dello stesso.

Infatti, le eventuali misure di protezione indicate nel progetto sono scelte in base al confronto tra il valore del rischio calcolato ed il valore del rischio tollerabile.

Il riconoscimento di idoneità della documentazione è propedeutico alla prosecuzione della verifica.

L'esame della documentazione riguarda essenzialmente i seguenti documenti:

- la valutazione del rischio di fulminazione;
- il progetto della protezione dai fulmini LP (che includa il programma di manutenzione, il programma delle verifiche periodiche, il sistema LPS e le misure per la protezione contro le scariche SPM);
- la dichiarazione di conformità ai sensi del DM 37/08, art. 7;
- gli eventuali rapporti relativi alle verifiche e alle manutenzioni.

Esame del documento di valutazione del rischio di fulminazione

Il documento di valutazione del rischio di fulminazione deve essere elaborato in conformità alla norma CEI 81-10/2 (EN 62305-2) e deve contenere i seguenti dati:

- identificazione e caratteristiche della struttura da proteggere;
- identificazione di tutti i tipi di perdita della struttura;
- determinazione del rischio per ciascun tipo di perdita;
- valutazione della necessità di protezione della struttura sulla base del confronto tra i rischi R_1 , R_2 e R_3 ed il rispettivo rischio tollerabile R_T ;

- livello di protezione richiesto;
- misure di protezione da adottare.

L'esame del documento di valutazione del rischio di fulminazione è effettuato allo scopo di verificare che il documento sia coerente, che siano presenti tutti i dati di ingresso utilizzati per la valutazione del rischio e per la scelta delle misure di protezione, inoltre che tali dati non siano cambiati nel tempo.

La mancata disponibilità del documento di valutazione del rischio di fulminazione non consente l'esecuzione della verifica.

Esame del progetto della protezione dai fulmini LP

L'esame è volto ad accertare che il documento contenga almeno una relazione ed eventuali elaborati grafici che richiama le seguenti informazioni:

- elenco delle leggi e norme tecniche di riferimento, comprese le norme di prevenzione incendi;
- individuazione ed ubicazione della struttura da proteggere;
- dimensioni in pianta, altezza e forma della struttura;
- caratteristiche dell'LPS adottato:
 - livello di protezione richiesto per l'LPS e livello di protezione adottato;
 - parametri caratteristici del fulmine, relativi al livello di protezione adottato;
 - caratteristiche dell'LPS esterno da realizzare con informazioni sul dimensionamento e posizionamento dei captatori, delle calate e dei dispersori;
 - eventuali vincoli architettonici per stabilire se l'LPS deve essere isolato o non isolato;
 - (eventuale) isolamento elettrico dell'LPS esterno;
 - vincoli da rispettare per la connessione del dispersore dell'LPS a quello di altri impianti ed eventuali provvedimenti contro la corrosione;
 - dimensionamento del dispersore per la protezione contro le sovratensioni;
 - caratteristiche dell'LPS interno da realizzare, con caratteristiche, numero e ubicazione dei collegamenti equipotenziali diretti e tramite ISG (spinterometro di separazione - isolating spark gap) di parti strutturali metalliche, corpi metallici, impianti interni, corpi metallici esterni e linee connesse alla struttura;
- caratteristiche delle misure di protezione SPM adottate:
 - caratteristiche del sistema di SPD (surge protection device) da realizzare per la protezione contro le sovratensioni (caratteristiche, numero e ubicazione degli SPD sulle linee elettriche entranti nella struttura);
 - eventuali misure di protezione addizionali o particolari.

La mancata disponibilità della documentazione di progetto non consente l'esecuzione della verifica.

Esame della dichiarazione di conformità ai sensi del DM 37/08

La dichiarazione di conformità va redatta ai sensi del DM 37/08, art. 7, dall'impresa

installatrice o dall'ufficio tecnico interno di un'impresa non installatrice, ed è il documento con il quale chi ha realizzato l'impianto dichiara la rispondenza dell'opera realizzata al progetto ed alla regola dell'arte, previa l'effettuazione obbligatoria delle verifiche iniziali.

Nei luoghi di lavoro essa costituisce, ai sensi del d.p.r. 462/01, anche il documento per l'omologazione dell'impianto di protezione contro le scariche atmosferiche.

La dichiarazione dovrebbe contenere:

- i dati del dichiarante, che devono coincidere con quelli dell'allegata copia del certificato di riconoscimento dei requisiti tecnico professionali rilasciato dalla C.C.I.A.A.;
- la descrizione schematica dell'impianto realizzato;
- la definizione del tipo di intervento;
- la presenza dei dati del committente, di quelli dell'immobile e della proprietà;
- la dichiarazione di aver rispettato il progetto;
- la dichiarazione di aver controllato l'impianto ai fini della sicurezza e della funzionalità con esito positivo, avendo eseguito le verifiche richieste dalle norme e dalle disposizioni di legge;
- l'individuazione delle leggi e/o norme tecniche seguite per la realizzazione delle misure di protezione;
- una relazione con la tipologia dei materiali utilizzati;
- il libretto o istruzioni di uso e manutenzione dell'opera realizzata rilasciato da chi ha installato la stessa.

3.7. Esame ordinario

L'esame ordinario può essere articolato nei seguenti esami:

- esame ordinario della struttura;
- esame ordinario LPS esterno;
- esame ordinario LPS interno;
- esame ordinario SPM (misure di protezione degli impianti interni dal LEMP).

Esame ordinario della struttura

L'esame ordinario della struttura riguarda i seguenti sistemi ed elementi considerati nel documento di valutazione del rischio:

- caratteristiche superficiali del suolo;
- caratteristiche superficiali della pavimentazione;
- barriere, isolamento, cartelli ammonitori, equipotenzializzazione del suolo;
- tensione di tenuta a impulso degli impianti e delle apparecchiature interne;
- misure antincendio;
- pericoli particolari;
- LPS (vedi le relative sezioni);
- sistema di SPD;
- schermatura locale;

- schermatura delle linee esterne;
- schermatura delle linee interne;
- cablaggio degli impianti interni;
- rete dei collegamenti equipotenziali.

Esame ordinario LPS esterno

L'esame ordinario dell'LPS esterno riguarda i seguenti sistemi ed elementi considerati nel progetto:

- la sezione dei captatori e delle calate previste dal progetto, che deve essere adeguata;
- le connessioni dell'LPS che non devono presentare rotture o interruzioni;
- gli elementi che possono essere indeboliti dalla corrosione, in particolare a livello del suolo;
- le connessioni a terra visibili, che devono essere intatte (funzionalmente operanti);
- le connessioni ed i componenti visibili, che devono essere ancorati alla superficie di fissaggio, ed i componenti che assicurano la protezione meccanica, che devono essere intatti ed efficienti;
- gli ampliamenti o le modifiche alla struttura protetta, che non devono richiedere protezioni addizionali;
- le condizioni dell'LPS esterno o di eventuali spinterometri all'esterno della struttura, che non devono mostrare segni di danno;
- le connessioni equipotenziali dei servizi, che devono essere realizzate in modo corretto;
- i conduttori equipotenziali all'interno della struttura, che devono essere presenti ed intatti (funzionalmente operanti);
- le distanze di sicurezza previste dal progetto, che devono essere rispettate;
- i criteri per i luoghi all'aperto previsti dal progetto (isolamento delle calate, barriere, sezionamenti, fissaggi, ecc.), che devono essere rispettati;
- i materiali, che devono essere conformi a quanto definito nel documento di progetto e devono rispondere ai requisiti minimi indicati nelle tabelle della norma CEI 81-10/3 (EN 62305-3).

Qualora dall'esame risultasse che vi sono parti dell'LPS esterno allentate, rotte o indebolite dalla corrosione, allora è opportuno procedere all'immediata riparazione delle stesse.

La verifica ai fini manutentivi di un LPS esterno comporta, nella maggioranza dei casi, l'esposizione al rischio di caduta. Nel corso di una simile attività devono essere messe in atto le disposizioni del d.lgs. 81/08 ed in particolare quanto previsto al Titolo IV, Capo II "Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro nelle costruzioni e nei lavori in quota".

Esame ordinario LPS interno

L'esame ordinario dell'LPS interno riguarda i seguenti sistemi ed elementi considerati nel progetto:

- le connessioni equipotenziali di ogni linea entrante, che devono essere realizzate correttamente;
- i conduttori equipotenziali all'interno della struttura, che devono essere presenti ed intatti (funzionalmente operanti);
- gli eventuali spinterometri di separazione (ISG), che devono essere integri;
- i corpi metallici (quali ad esempio canaline, tubazioni, canali di condizionamento, ecc.), che devono essere direttamente collegati all'LPS o devono essere posizionati a distanza superiore alla distanza di sicurezza calcolata e definita in progetto;
- lo stato dei segnalatori (cambio di colore della finestrella indicatrice), l'eventuale presenza di bruciature sul componente o i danni evidenti allo stato dei dispositivi di distacco esterno ove presenti.

Esame ordinario SPM (Misure di protezione degli impianti interni dal LEMP)

L'esame ordinario delle SPM (surge protection measures) deve verificare:

- l'assenza di connessioni scollegate nonché di rotture accidentali nei conduttori e nelle giunzioni;
- l'assenza di segni di indebolimento dell'installazione a causa di corrosioni, soprattutto a livello del suolo;
- l'integrità dei conduttori equipotenziali e degli schermi dei cavi;
- l'assenza di ampliamenti e modifiche che richiederebbero ulteriori misure di protezione;
- l'assenza di danno agli SPD ai loro fusibili e ai dispositivi di distacco;
- il mantenimento dei percorsi dei circuiti previsti nel progetto;
- il rispetto delle distanze di sicurezza degli schermi locali.

3.8. Esame approfondito

Effettuato in aggiunta all'esame ordinario, utile ad identificare quei difetti (ad esempio connessioni non effettuate, morsetti lenti, ecc.) che possono evidenziarsi soltanto con l'accesso ai componenti, cosa che normalmente avviene usando attrezzi (ad esempio strumenti, utensili e scale).

L'esame approfondito comprende, inoltre, anche le seguenti prove strumentali:

- prova di continuità;
- misura della resistenza di terra del sistema di dispersori.

Il verificatore procede anche all'esame della documentazione relativa ad eventuali riparazioni, modifiche, interventi manutentivi, ecc.

Nel seguito sono riportate in dettaglio anche indicazioni sull'esame approfondito degli SPD.

Prova di continuità

Si verifica la continuità tra i diversi punti di misura, in modo da accertare l'intercon-

nessione elettrica tra il sistema di captatori, le calate, i conduttori di interconnessione ad anello, il dispersore locale e le masse estranee interne ed esterne al volume, nonché l'interconnessione degli SPD.

La verifica deve essere analogamente estesa anche alle strutture adiacenti, per accertarsi dell'efficienza delle connessioni.

La tensione di misura può essere continua o alternata. La tensione a circuito aperto non deve superare 24V e non deve essere inferiore a 4V. La corrente di misura non deve essere inferiore a 0,2 A.

Quando i ferri di armatura sono utilizzati come componenti naturali dell'LPS, la corrente iniettata dovrebbe essere dell'ordine di 10 A.

La prova di continuità dei ferri di armatura, quando fanno parte dell'LPS, va eventualmente effettuata qualora non vi fosse idonea documentazione in tal senso.

Misura della resistenza di terra

La geometria e le dimensioni degli elementi del dispersore sono importanti per la protezione contro i fulmini.

Durante l'installazione è bene installare effettuare la misura di resistenza del dispersore, possibilmente in diverse condizioni ambientali.

Durante le verifiche periodiche è utile effettuare la misura della resistenza di terra in modo da confrontare il valore ottenuto con le misure precedenti al fine di identificare eventuali corrosioni o danni del dispersore.

Il sistema di dispersori considerato è quello relativo all'installazione dell'LPS (dispersore locale).

Se la resistenza di terra del dispersore supera i 10 Ω , si deve verificare che il dispersore sia conforme alla Fig.3 della norma CEI 81-10/3 (EN 62305-3) art. 5.4.2.1 (riportata sotto nella fig. 4).

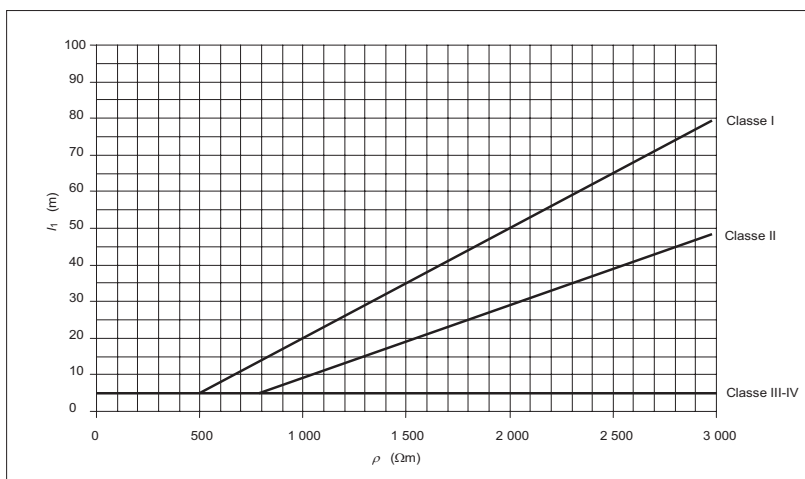


Fig. 4: Lunghezza minima l_1 di ciascun elemento del dispersore in funzione della classe dell'LPS.

Se si riscontra un incremento significativo del valore di resistenza di terra è consigliabile eseguire ulteriori ricerche per determinare i motivi e valutare le azioni per migliorare la situazione.

I dispersori in terreni rocciosi devono avere i requisiti dell'art. E.5.4.3.5. della norma CEI 81-10/3 (EN 62305-3); il requisito dei 10Ω in questo caso non è valido.

Esame approfondito degli SPD

Dopo aver esaminato la documentazione di progetto e i criteri di scelta degli SPD, è necessario rilevare i seguenti elementi:

- l'ubicazione nei quadri elettrici degli SPD di energia;
- l'ubicazione in contenitori dedicati degli SPD per reti di telecomunicazione e/o di segnale;
- la sezione dei collegamenti, come definito nel progetto;
- la corrispondenza dei dati di targa ai criteri di progetto, in particolare la corrente nominale di scarica (I_n), il livello di protezione (U_p), la corrente di scarica (I_{imp}) per gli SPD provati con la corrente 10/350 μ s (classe di prova I per gli SPD di energia) e la tensione continuativa (U_c) per gli altri SPD di energia;
- la presenza di eventuali disconnettori interni o esterni all'SPD e la segnalazione del loro stato (cambio di colore della finestrella indicatrice);
- l'assenza di segni di danno agli SPD o ai fusibili inseriti a monte degli stessi come organo di sezionamento o come interruzione della corrente susseguente alla frequenza di rete;
- il coordinamento degli SPD, nel caso ve ne sia più di uno, secondo i criteri dichiarati dallo stesso produttore ovvero documentati da calcoli o prove;
- lo stato degli eventuali circuiti di segnalazione e di allarme a distanza e la loro efficienza;
- la presenza degli SPD sulle linee di energia e sugli altri servizi connessi a strutture dichiarate indipendenti dal punto di vista del danno o a LPZ diverse, secondo i criteri definiti in progetto.

4. Protezione di apparecchiature elettriche o elettroniche: la norma CEI 81-10/4 (EN 62305-4)

4.1. Guasti di apparecchiature elettriche o elettroniche

Le apparecchiature elettriche o elettroniche sono soggette a guasti dovuti all'*impulso elettromagnetico* (LEMP - Lightning Electro-Magnetic Pulse).

Per evitare guasti in simili apparecchiature connesse agli impianti interni è necessario adottare adeguate *misure di protezione* (SPM).

La protezione contro il LEMP si basa sul concetto di *zona di protezione* (LPZ - Lightning Protection Zone).

La zona contenente gli impianti che devono essere protetti può essere divisa in più LPZ.

Queste zone sono definite come parti ideali di spazio (o di impianto interno), in cui la severità del LEMP è compatibile con il livello di tenuta delle apparecchiature e degli impianti contenuti all'interno.

Zone successive (cioè più interne) sono caratterizzate da significative variazioni della severità del LEMP (rispetto ai livelli permessi nelle zone più esterne).

I confini di una LPZ sono definiti dalle misure di protezione in essa adottate.

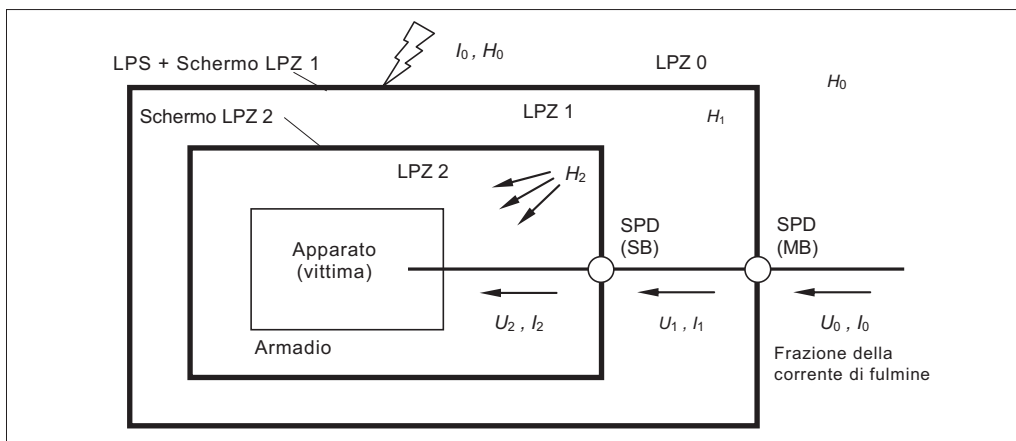


Fig. 5: SPM con schermatura delle LPZ e protezione con sistema di SPD. Apparato protetto contro gli impulsi condotti ($U_2 < U_0$ e $I_2 < I_0$) e contro il campo magnetico irradiato ($H_2 < H_0$) [CEI 81-10/4 (EN 62305-4)]

4.2. Principali misure di protezione (basic SPM)

Le principali misure di protezione contro il LEMP comprendono:

- **messa a terra ed equipotenzializzazione** [art. 5, CEI 81-10/4 (EN 62305-4)]
Il sistema di dispersori conduce e disperde nel terreno la corrente di fulmine. La rete d'interconnessione equipotenziale minimizza le differenze di potenziale e può ridurre il campo magnetico.
- **schermatura magnetica e percorsi dei cavi** [art. 6, CEI 81-10/4 (EN 62305-4)]
Gli schermi locali attenuano all'interno della LPZ il campo magnetico associato alla fulminazione (diretta, o in prossimità della struttura), riducendo di conseguenza gli impulsi all'interno. La schermatura dei circuiti interni mediante cavi schermati o condotti metallici minimizza gli impulsi indotti nelle linee interne. La scelta di appropriati percorsi delle linee può minimizzare le spire d'induzione, riducendo di conseguenza gli impulsi. La schermatura delle linee esterne entranti nella struttura riduce gli impulsi trasmessi agli impianti interni. Schermi locali, cavi schermati e scelta dei percorsi dei circuiti interni sono provvedimenti che possono essere adottati congiuntamente o separatamente.
- **Protezione con Sistema di SPD** [art. 7, CEI 81-10/4 (EN 62305-4)]
Il Sistema di SPD limita, all'interno della struttura, gli effetti degli impulsi sia di origine esterna che interna alla struttura.
- **Interfacce isolanti** [art. 8, CEI 81-10/4 (EN 62305-4)]
Le interfacce isolanti limitano gli effetti degli impulsi condotti sulle linee entranti nella LPZ.

Altre SPM possono essere adottate da sole o in combinazione.

Le SPM devono essere in grado di sopportare le sollecitazioni di esercizio (per esempio temperatura, umidità, atmosfera corrosiva, vibrazioni, tensioni e correnti) previste nel punto d'installazione.

La scelta delle SPM più appropriate può essere effettuata utilizzando il metodo di valutazione del rischio indicato dalla CEI 81-10/2 (EN 62305-2), tenendo conto dei fattori tecnici ed economici.

L'Allegato B dà informazioni pratiche per la realizzazione di SPM nelle strutture esistenti.

L'equipotenzializzazione (EB - equipotential bonding) secondo la CEI 81-10/3 (EN 62305-3) protegge solo dalle scariche pericolose. La protezione degli impianti interni contro gli impulsi richiede l'uso di un sistema di SPD.

Ulteriori informazioni relative alla realizzazione di SPM possono essere reperite nella IEC 60364-4-44.

5. L'evoluzione delle norme tecniche sugli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche

5.1. Storia non recente delle norme tecniche per gli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche

Nell'ottobre 1984 fu pubblicata la prima edizione della norma CEI 81-1 "Protezione di strutture contro i fulmini", introducendo, all'appendice G, il primo metodo per valutare la necessità o meno di adottare misure di protezione. La valutazione si limitava a calcolare il numero di fulmini che potenzialmente potevano colpire la struttura in esame e, in base alla destinazione d'uso della stessa, confrontarlo con un valore definito tollerabile.

Nel 1990 fu pubblicata la prima edizione della norma CEI 81-3 "Valori medi del numero dei fulmini a terra per anno e per chilometro quadrato dei Comuni d'Italia, in ordine alfabetico". Tale norma, aggiornata nel tempo due volte nel 1994 e nel 1999, forniva i valori ceraunici (numero di fulmini per chilometro quadrato per anno) per tutta l'Italia ed era basata su una mappa elaborata su dati storici forniti principalmente dalla RAI e dall'ENEL grazie alle statistiche relative al numero di fulminazioni rispettivamente di antenne e di tralicci sul territorio nazionale.

Nel 1996 fu pubblicata la prima edizione della norma CEI 81-4 "Protezione delle strutture contro i fulmini -Valutazione del rischio dovuto al fulmine". Quest'ultima, seppur in modo definito "*sperimentale*" dallo stesso CEI, introdusse un metodo più evoluto, tuttavia ancora rudimentale, per la valutazione del rischio dovuto ai fulmini, consentendo una migliore selezione delle misure di protezione adottabili; infatti, sino ad allora l'unico metodo era stato quello suggerito dalla citata CEI 81-1.

Nel 2002 fu pubblicata la prima edizione della guida CEI 81-8 "Guida d'applicazione all'utilizzo di limitatori di sovratensioni sugli impianti elettrici utilizzatori di bassa tensione".

Nel 2006 il CEI pubblicò la prima edizione della serie normativa EN 62305, formata da quattro fascicoli e precisamente:

- CEI EN 62305-1 "Principi generali", indica i principi generali che sono alla base della protezione contro il fulmine di strutture, impianti e persone.
- CEI EN 62305-2 "Valutazione del rischio", si riferisce alla valutazione del rischio dovuto a fulmini a terra, ed ha lo scopo di fornire la procedura per la determinazione di detto rischio.
- CEI EN 62305-3 "Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone", defini-

sce i requisiti per la protezione contro i fulmini contro i danni materiali e alle persone mediante un impianto di protezione.

- CEI EN 62305-4 “Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture”, fornisce elementi sul progetto, l’installazione, la manutenzione e la verifica delle misure di protezione per gli impianti interni elettrici ed elettronici per ridurre il rischio di danni permanenti dovuti all’impulso elettromagnetico (LEMP) associato al fulmine.

La nuova serie normativa rivoluzionava il settore riguardante il tema della protezione dei fulmini e abrogava norme storiche quali la CEI 81-1, in vigore già da ventidue anni e la CEI 81-4 in vigore, all’epoca, da dieci anni. Altra norma che finiva il proprio ciclo, durato quattro anni fu la CEI 81-8, restava invece vigente una norma storica, la CEI 81-3.

5.2. Storia recente delle norme tecniche per gli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche

Nel febbraio 2013 entrò in vigore la CEI 81-2 “Guida per la verifica delle misure di protezione contro i fulmini”, indirizzata principalmente ai professionisti del settore verifiche su impianti di protezione contro le scariche atmosferiche (si pensi, ad esempio, agli *organismi individuati dal Ministero dello Sviluppo Economico* ai sensi del d.p.r. 462/01). Nella guida sono descritte, riprendendo e rielaborando quanto già contenuto nella CEI 81-10/3 (EN 62305-3), le attività necessarie per effettuare verifiche.

Nel marzo del 2013 il CEI pubblicò, in italiano, la seconda edizione della norma CEI 81-10 (EN 62305). La norma fu integrata dal Comitato Nazionale 81 con molteplici note di chiarimento. La nuova edizione introduceva molte novità, rispetto alla prima edizione del 2006.

Nel luglio 2013 fu pubblicata la CEI 81-28 dal titolo “Guida alla protezione contro i fulmini degli impianti fotovoltaici”, lo scopo era di indicare quando, dove e come sono necessarie misure di protezione per la protezione dei campi fotovoltaici sia connessi alla rete elettrica del distributore (con esclusione dei campi stand-alone), sia installati su edifici (su coperture, facciate, parapetti, frangisole, ecc.) sia su serre, pergole, tettoie, pensiline, barriere acustiche e strutture temporanee.

Per ragioni legate a regole CENELEC, nel novembre dello stesso anno furono eliminate le note di chiarimento della norma CEI 81-10 (EN 62305) introdotte dal Comitato Nazionale 81 con l’emissione di quattro fascicoli Errata Corrige (EC). Nella premessa nazionale dei fascicoli di Errata Corrige (EC) fu inoltre indicato che era in preparazione una guida nazionale utile a fornire uno strumento per agevolare l’utilizzo e l’interpretazione delle norme europee della serie EN 62305.

Dopo alcuni mesi (febbraio 2014) in effetti furono emesse contemporaneamente la guida CEI 81-29 dal titolo “Linee guida per l’applicazione delle Norme CEI EN 62305” e la guida CEI 81-30 “Protezione contro i fulmini - Reti di localizzazione fulmini (LLS) - Linee guida per l’impiego di sistemi LLS per l’individuazione dei valori di N_0 ”.

5.3. Contenuti e novità introdotte dalla CEI 81-29

Riguardo la guida tecnica CEI 81-29 questa fornisce, come già accennato, informazioni supplementari per il corretto utilizzo in ambito nazionale delle Norme CEI 81-10 (EN 62305) in particolare con l'ausilio di:

- note esplicative ai corrispondenti articoli della Norma Europea; in particolare si segnalano i seguenti punti: "Nodo", "Densità di fulmini a terra", "Tensione indotta" e "Punto caldo";
- informazioni supplementari su specifici argomenti non completamente sviluppati dalla Norma Europea, quali: "Frequenza di danno e perdite economiche" e "Perdite di vite umane".

Nodo [art. 3.1.25, CEI 81-10/2 (EN 62305-2)]

Riguardo al tema del Nodo è chiarito che per una linea elettrica questo è individuabile, nella maggior parte dei casi, dalla stazione AT/MT e non, come spesso erroneamente inteso dalla sbarra BT del trasformatore MT/BT¹. Riguardo le linee di segnale (telecomunicazioni in particolare) il "nodo" è costituito, nella maggior parte dei casi, dalla centrale di telecomunicazioni.

Sono altresì "nodi":

- la cassetta di protezione lungo linea all'interno della quale sono installati gli SPD, quando la linea dalla cassetta fino all'edificio del cliente è in cavo schermato;
- il Multiplex o le apparecchiature per i servizi a larga banda installate in armadi lungo linea.

La guida in ultimo suggerisce, riguardo questo tema, valori applicabili di distanza dei nodi dalla struttura considerata, quando queste sono difficili da individuare con certezza.

Tensione indotta [Art. A.5, CEI 81-10/4 (EN 62305-4)]

I fulmini sulla struttura (Sorgente di danno S1) e i fulmini a terra in prossimità della struttura (Sorgente di danno S2) possono indurre una tensione U_i nel circuito fra SPD e apparecchiatura che, sommandosi al livello di protezione effettivo risultante $U_{P/F}$, definito come la tensione dell'SPD in uscita risultante dal livello di protezione e dalla caduta di tensione sulle connessioni (art. C.2.1, CEI 81-10/4) $U_{P/F}$ riduce l'effetto protettivo del SPD. La tensione indotta U_i aumenta con la pendenza del fronte d'onda della corrente di fulmine inducente, la lunghezza del circuito, la distanza fra conduttori attivi e PE, l'area della spira formata dal circuito di energia con quello di segnale, e diminuisce per la presenza di schermature della struttura, di zone della struttura, dei circuiti.

¹ La barra di distribuzione del trasformatore MT/BT potrebbe essere considerata "nodo" soltanto se le linee che si diramano dalla essa sono numerose (almeno 10) e molto lunghe (almeno 1 km di lunghezza): praticamente mai.

Una valutazione della tensione indotta U_i , precisa ma molto laboriosa, può essere fatta con i criteri indicati nell'art. A.5 della CEI 81-10/4 (EN 62305-4). Nella guida CEI 81-29 sono riportati i passi per un calcolo semplificato.

Densità di fulmini a terra [art. A.1, CEI 81-10/2 (EN 62305-2)]

La guida rimanda per tale argomento alla guida CEI 81-30.

Punto caldo [art. 5.2.5, CEI 81-10/3 (EN 62305-3)]

Un fulmine che colpisce una tubazione o un serbatoio metallico può causare la fusione del metallo nel punto colpito e, se lo spessore del metallo non è sufficiente, perfino la sua perforazione. Ma anche se lo spessore della parete metallica fosse sufficiente ad evitarne la perforazione, la temperatura che si raggiunge sulla superficie interna della parete potrebbe innescare l'incendio o l'esplosione delle sostanze o della miscela facilmente infiammabile o esplosiva contenuta nel serbatoio o trasportata dalla tubazione.

Responsabile del riscaldamento e della fusione del metallo in corrispondenza del punto di impatto è principalmente la carica Q trasportata dalla corrente di fulmine.

La temperatura massima che si raggiunge sulla superficie interna di una parete metallica in corrispondenza del punto di impatto è riportata nella guida per LPL I ($Q = 200$ C) e LPL III-IV ($Q = 100$ C).

Il rivestimento della superficie interna della parete metallica con un rivestimento isolante riduce notevolmente la temperatura che essa può raggiungere se colpita da un fulmine.

Frequenza di danno e perdite economiche [CEI 81-10/2 (EN 62305-2)]

La frequenza di danno tollerabile è un parametro che permette di semplificare la valutazione del rischio di perdita economica.

Al paragrafo 1.2 della guida CEI 81-29 è indicato che la necessità della protezione contro il fulmine per ridurre il rischio di perdita di valore economico R_4 andrebbe valutata in base al rapporto fra il costo delle misure di protezione e il beneficio economico ottenuto con la loro adozione.

I danni dovuti ai fulmini possono rappresentare un'importante perdita economica nei paesi industrializzati, soprattutto in assenza di adeguate misure di protezione correttamente installate.

Non sempre, in fase di valutazione del rischio, è possibile riuscire a quantificare il valore economico delle perdite, con o senza misure di protezione. In tal caso, la guida CEI 81-29 introduce la frequenza di danno per decidere la convenienza e l'adeguatezza delle misure di protezione da adottare.

La frequenza di danno F è il numero di volte in un anno che un fulmine può causare un danno alla struttura da proteggere nelle varie situazioni che si possono presentare in funzione della localizzazione del punto d'impatto rispetto alla struttura (sorgenti di danno).

La frequenza di danno F può essere valutata per ogni sorgente di danno che può interessare una struttura:

- F_{S1} : frequenza di danno dovuti a fulmini sulla struttura (sorgente S1);
- F_{S2} : frequenza di danno dovuti a fulmini vicino alla struttura (sorgente S2);
- F_{S3} : frequenza di danno dovuti a fulmini sulle linee entranti nella struttura (sorgente S3);
- F_{S4} : frequenza di danno dovuti a fulmini vicino alle linee entranti nella struttura (sorgente S4).

La frequenza di danno F è la somma delle frequenze di danno relative alle varie sorgenti:

$$F = F_{S1} + F_{S2} + F_{S3} + F_{S4}$$

Ciascuna frequenza, F_x (con $X = S1, S2, S3, S4$), dipende:

- dal numero annuo di fulmini pericolosi che possono influenzare la struttura o le linee entranti (N_x), che a loro volta dipendono dalla densità di fulmini al suolo (N_G) e dalle caratteristiche geometriche, ambientali e di installazione della struttura e delle linee;
- dalla probabilità di danno dovuta al fulmine (P_x), che a sua volta dipende dalle caratteristiche della struttura da proteggere, dalle caratteristiche delle linee connesse e dalle misure di protezione adottate.

Per il calcolo si possono adottare le seguenti formule:

$$F_{S1} = N_D \times [1 - (1 - P_A) \times (1 - P_B) \times (1 - P_C)]$$

$$F_{S2} = N_M \times P_M$$

$$F_{S3} = (N_L + N_{Dj}) \times [1 - (1 - P_U) \times (1 - P_V) \times (1 - P_W)]$$

$$F_{S4} = N_i \times P_z$$

Le probabilità P_A e P_U in tali formule si riferiscono solo ad aziende agricole in cui vi è la possibilità di perdita di animali a causa di tensioni di contatto e passo causate da scariche atmosferiche.

È possibile, per il rischio R_4 (perdita di valore economico), valutare la convenienza della protezione sulla base del confronto della frequenza di danno F con la frequenza di danno tollerabile F_T .

Fissare il valore di frequenza di danno tollerabile F_T è responsabilità del proprietario o del gestore della struttura, anche tenendo conto delle caratteristiche del servizio svolto, della vita attesa per la struttura e per gli impianti interni, dell'organizzazione per la manutenzione e riparazione e dei costi associati.

Secondo la guida CEI 81-29 il valore di F_T non dovrebbe essere superiore a 0,1 ($F_T \leq 0,1$), interpretabile come un danno ogni 10 anni.

A tale procedura si potrebbe obiettare che non tutti i danni hanno lo stesso esito economico (vi sono quelli di entità trascurabile e quelli più onerosi).

Perdita di vite umane [Tab. C2, CEI 81-10/2 (EN 62305-2)]

I dati statistici disponibili nei paesi industrializzati indicano che il rischio R1 presente nelle strutture è in genere molto minore di quello valutabile con i valori di perdite suggeriti dalla norma CEI 81-10/2 (EN 62305-2). Una riduzione dei valori tipici di L_T , L_F e L_o è allo studio.

5.4. Contenuti e novità introdotte dalla CEI 81-30

La densità media di fulmini a terra per km² per anno, N_G , è, come indicato nella premessa della CEI 81-30, generalmente considerata il principale indicatore dell'attività temporalesca ed è, come noto, alla base della valutazione del rischio fulmini. Negli ultimi decenni questa è stata stimata sulla base di rilievi strumentali, effettuati prima con i contatori di fulmine (LFC) e poi, in epoca recente con reti di rilevamento e di localizzazione ormai diffuse nei principali Paesi industrializzati.

Scopo della CEI 81-30 è stato quindi quello di individuare, in assenza di normativa internazionale, le caratteristiche delle reti LLS, citate nella norma CEI 81-10/2 (EN 62305-2), affinché i dati ottenuti da queste reti potessero essere utilizzate nell'analisi del rischio prevista nella citata CEI 81-10/2 (EN 62305-2).

Le raccomandazioni applicabili alle reti LLS, individuate indipendentemente dalla tecnologia utilizzata per la strumentazione dalla guida, sono relative al:

- efficienza di rilevamento della rete LLS;
- precisione di localizzazione del punto di impatto;
- qualità dei dati misurati;
- discriminazione dei fulmini nube - suolo (CG) e nube - nube (CC);

e, non ultimo alle modalità di elaborazione dei dati, quali:

- numerosità del campione trattato;
- dimensioni dell'area minima di calcolo in cui ricadono i dati da elaborare;
- durata minima del periodo di rilevamento dati.

A titolo puramente indicativo, rinviando per maggiori dettagli alla guida medesima, diremo qui che per i valori di N_G calcolati sul territorio italiano tramite le regole indicate nella norma, e tenendo in considerazione i casi di orografia particolare del territorio, una griglia con celle quadrate di lato non inferiore a $L = 5$ km, porta ad una valutazione di N_G ritenuta adeguata dal Comitato Nazionale 81 per poter essere utilizzata come dato di ingresso per la valutazione del rischio secondo la norma CEI 81-10/2 (EN 62305-2).

Allo stesso modo sempre in riferimento alla CEI 81-30 il valore di N_G , ottenuto per ciascuna cella del territorio, può essere approssimato con regola matematica all'intero più vicino (ovvero, se X indica le cifre a sinistra della virgola decimale, allora $X,49$ deve essere approssimato con X , mentre $X,50$ deve essere approssimato con $X+1$), tranne per i valori inferiori ad 1, che sono tutti riportati all'unità, non essendo significativo fornire valori intermedi.

Sulla base di questa norma è stata abrogata² (maggio del 2014) la storica CEI 81-3 “Valori medi del numero dei fulmini a terra per anno e per chilometro quadrato dei Comuni d’Italia, in ordine alfabetico”; obbligando di fatto tutti i datori di lavoro, ai sensi dell’art. 29³ del D.lgs. 81/2008, ad una revisione delle valutazioni del rischio fatte, anche se aggiornate all’ultima edizione (la seconda) della CEI EN 62305.

Attualmente sono disponibili due fonti utilizzabili per reperire il dato della frequenza di fulminazione: il ProDis, che è un servizio online a pagamento fornito dal CEI, in veste di editore, in collaborazione con il CESI-SIRF⁴ e il servizio, senza costi aggiuntivi, ma con un limite annuale di circa 80 consultazioni, fornito ai possessori del software ZEUS distribuito a pagamento dalla rivista TuttoNorme1 (editore noto nel settore degli impianti elettrici).

Vale la pena di osservare che con l’abrogazione della norma CEI 81-3 il valore di N_G (già N_i) è passato dall’essere un dato avente valenza normativa ad un dato senza alcuna valenza normativa; determinando, cosa non da poco, che la responsabilità dello stesso grava unicamente sul tecnico che lo assume.

Questa guida nazionale sarà presto sostituita dalla norma armonizzata EN 62858:2015 “Lightning density based on lightning location systems - General principles”.

5.5. Commenti sulla scelta di abrogare anziché aggiornare la CEI 81-3

I valori di N_G , utilizzati nella valutazione dei rischi secondo la CEI 81-10/2 (EN 62305-2) non hanno valenza normativa (sono venduti dal CEI in veste di editore, non di ente normatore).

Sulla base di quanto affermato dal CEI e dal CESI-SIRF, la responsabilità di eventuali danni derivanti dall’utilizzo dei valori di N_G non è imputabile a tali enti ma solo a chi ha utilizzato i dati. Come dire che se il dato non è esatto (e la guida CEI 81-30 lascia intendere che, nel caso peggiore, l’incertezza sui valori di N_G potrebbe arrivare anche al 20%), allora si declina qualsiasi:

- responsabilità civile nei confronti di chi è chiamato ad installare misure di sicurezza inutili, nelle località in cui i nuovi valori di N_G sono maggiori di quelli effettivi;
- responsabilità civile e penale per eventuali danni a persone o cose dovuti a fulmini nelle località in cui i nuovi valori di N_G sono minori di quelli effettivi.

² Il fascicolo informa dell’abrogazione della Guida CEI 81-3:1999-05 a partire dal 30 giugno 2014

³ “La valutazione dei rischi deve essere rielaborata in relazione al grado di evoluzione della tecnica, della prevenzione o della protezione o a seguito di infortuni significativi o quando i risultati della sorveglianza sanitaria ne evidenzino la necessità. A seguito di tale rielaborazione, le misure di prevenzione debbono essere aggiornate se necessario.

⁴ Il Sistema di rilevamento è composto da 16 sensori situati sul territorio Italiano. Per aumentare le prestazioni sono inoltre utilizzati sensori posti in vicinanza del confine Italiano, in Francia, in Svizzera, in Austria e in Spagna.

I valori effettivi di N_G potranno essere ottenuti solo a posteriori sulla base della reale attività ceraunica, si ricorda infatti che i valori attualmente resi disponibili dal CEI e dal CESI-SIRF si basano sui dati raccolti negli undici anni dal 2000 al 2010.

Esistono forti perplessità sulla oggettività dei dati forniti dai sistemi di localizzazione dei fulmini. Infatti:

- i dati resi disponibili dalle reti LLS variano da gestore a gestore: nello stesso punto, si hanno valori sensibilmente differenti a seconda del gestore che rileva i dati, perché è diversa la posizione della griglia in cui è suddiviso il territorio;
- per uno stesso gestore, i dati variano a seconda della modalità di elaborazione utilizzata, (diversi passi della griglia, diversi algoritmi di correzione del dato per accrescerne l'affidabilità, ecc.).

Si garantisce la certificazione del software utilizzato per l'elaborazione dei valori di N_G , ma è una certificazione del software, non del database.

Una norma come la 81-3, essendo unica sul territorio nazionale poteva essere utilizzata anche in sede giuridica, cosa non più possibile ora, poiché le diverse reti LLS forniscono dati diversi, ma ugualmente validi, per una stessa località. È vero che il fulmine è un fenomeno aleatorio, ma la scelta (di evidente carattere commerciale) di abrogare un riferimento certo quale era la CEI 81-3 ha reso aleatorio il risultato della valutazione del rischio, cosa difficilmente accettabile a livello giuridico.

6. Esempio: valutazione del rischio e scelta dell'LP per una struttura ospedaliera

6.1. Introduzione

Nell'allegato E della norma CEI 81-10/2 (EN 62305-2) sono trattati alcuni esempi relativi alla valutazione del rischio. L'obiettivo è quello di aiutare l'utente nell'uso della norma, evidenziando un metodo di raccolta dei dati e proponendo, laddove necessario, misure di protezione adottabili.

Nella presente sezione è stato riproposto l'esempio E.4 (ospedale), assumendo in ingresso gli stessi dati, ma modificando la valutazione del rischio e la scelta dell'LP alla luce di quanto definito nella guida nazionale CEI 81-29 (emessa in data successiva alla pubblicazione della CEI 81-10/2 (EN 62305-2)) e sulla base di valutazioni condotte su strutture dello stesso tipo.

È evidente che l'esempio rimane comunque una semplificazione della complessità che si può incontrare conducendo la valutazione del rischio per una struttura ospedaliera reale.

6.2. Dati e caratteristiche della struttura di interesse

Nella CEI 81-10/2 (EN 62305-2) sono stati determinati il rischio R_1 (perdita di vite umane) ed il rischio R_4 (perdita di valore economico), ma nel presente lavoro non è stata effettuata la valutazione di R_4 , in quanto al suo posto è stata utilizzata la frequenza di danno F (par. 5.3) per scegliere ulteriori misure di protezione.

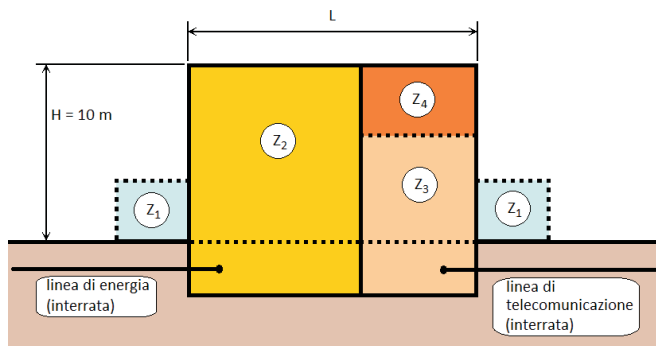


Fig. 6: Struttura presa in considerazione (ospedale) e sua suddivisione in zone.

L'ospedale è ubicato in territorio pianeggiante senza alcuna struttura nelle adiacenze. La densità di fulmini al suolo è $N_G = 4$ fulmini/(km² × anno).

I dati relativi alla struttura ed ai suoi dintorni sono specificati nella Tab. 41.

Tabella 41 - Caratteristiche della struttura e dei suoi dintorni

Parametro	Commento	Simbolo	Valore
Densità di fulmini al suolo (1/km ² /anno)		N_G	4 fulmini/(km ² × anno)
Dimensioni della struttura		L, W, H	50 m, 150 m, 10 m
Coefficiente di posizione della struttura	Isolata	C_D	1
LPS	Nessuno	P_B	1
Equipotenzializzazione	Nessuna	P_{EB}	1
Schermo esterno alla struttura	Nessuno	K_{S1}	1

I dati relativi alle linee entranti ed ai relativi impianti interni sono riportati nelle Tabelle 42 ed 43, rispettivamente per la linea di energia e la linea di telecomunicazione.

Tabella 42 - Linea di energia

Parametro	Commento	Simbolo	Valore
Lunghezza (m)		L_L	1200 m
Coefficiente di installazione	Interrata	C_i	0,5
Coefficiente per il tipo di linea	Linea MT (con trasformatore MT/BT)	C_T	0,2
Coefficiente ambientale	Suburbana	C_E	0,5
Schermatura della linea (Ω/km)	Schermo connesso alla stessa barra equipotenziale degli apparati	R_s	$1 \Omega/\text{km} < R_s \leq 5 \Omega/\text{km}$
Schermatura, messa a terra, separazione	Schermo connesso alla stessa barra equipotenziale degli apparati	C_{LD}	1
		C_{Li}	0
Struttura adiacente (m)	Nessuna	L_j, W_j, H_j	–
Coeff. di posizione struttura adiacente	Nessuna	C_{Dj}	–
Tensione di tenuta degli impianti interni		U_w	2,5 kV
	Parametri risultanti	K_{S4}	0,4
		P_{LD}	0,6
		P_{Li}	0,3

Con l'introduzione della CEI 81-29, la nota del comitato italiano presente nella CEI 81-10/2 (EN 62305-2), riguardante la lunghezza tipica delle linee (elettriche e di telecomunicazione), è stata superata dalla Tab. 2.1 della stessa linea guida. Pertanto, a favore della sicurezza e avendo ipotizzato un'area suburbana e linee interrata, sono state assunte le seguenti lunghezze, presenti nelle Tabelle 42 e 43:

- linea di energia $L_L = 1200$ m (anche se nella CEI 81-29 tale lunghezza è riferita ad una linea aerea);
- linea di telecomunicazioni $L_L = 1000$ m.

È stato assunto (sempre secondo la Tab. 2.1 della CEI 81-29) che la resistenza specifica dello schermo della linea di energia in MT abbia valori compresi tra $1 \Omega/\text{km}$ e $5 \Omega/\text{km}$.

Tabella 43 - Linea di telecomunicazione

Parametro	Commento	Simbolo	Valore
Lunghezza (m)		L_L	1000 m
Coefficiente di installazione	Interrata	C_i	0,5
Coefficiente per il tipo di linea	Linea di telecomunicazione	C_T	1
Coefficiente ambientale	Suburbana	C_E	0,5
Schermatura della linea (Ω/km)	Schermo connesso alla stessa barra equipotenziale degli apparati	R_s	$1 \Omega/\text{km} < R_s \leq 5 \Omega/\text{km}$
Schermatura, messa a terra, separazione	Schermo connesso alla stessa barra equipotenziale degli apparati	C_{LD}	1
		C_U	0
Struttura adiacente (m)	Nessuna	L_J, W_J, H_J	20 m, 30 m, 5 m
Coeff. di posizione struttura adiacente	Nessuna	C_{DJ}	1
Tensione di tenuta degli impianti interni	Parametri risultanti	U_w	1,5 kV
		K_{S4}	0,67
		P_{LD}	0,8
		P_{Li}	0,5

6.3. Definizione delle zone nell'ospedale

Sono individuate le seguenti zone:

- 1) Z_1 (esterno dell'edificio);
- 2) Z_2 (camere di degenza);
- 3) Z_3 (blocco operatorio);
- 4) Z_4 (unità cure intensive).

La suddivisione è dovuta ai seguenti elementi:

- il tipo di superficie è diverso all'esterno ed all'interno della struttura;
- esistono due separate compartimentazioni anti incendio: la prima è costituita dal blocco camere di degenza (Z_2) e la seconda dal blocco operatorio unitamente all'unità di cure intensive (Z_3 e Z_4);
- in tutte le zone interne (Z_2 , Z_3 e Z_4) sono presenti impianti interni connessi alle linee di energia e telecomunicazione;
- non esistono schermi di zona;
- l'unità di cure intensive Z_4 contiene una notevole quantità di apparati elettronici sensibili e può essere adottato uno schermo di zona come misura di protezione.

Nelle diverse zone, interne ed esterne dell'ospedale, sono presenti complessivamente 1000 persone. Il numero di persone ed il tempo di permanenza in ciascuna zona sono differenti. La distribuzione in ciascuna zona è riportata nella Tab. 44. Questi valori sono utilizzati nel seguito al fine di suddividere i valori totali di perdita nelle frazioni che competono a ciascuna zona.

Tabella 44 - Suddivisione delle persone tra le diverse zone

Zona	Numero di persone (n_i)	Tempo di presenza (ore/anno)
Z_1 (esterno dell'edificio)	10	8760
Z_2 (camere di degenza)	950	8760
Z_3 (blocco operatorio)	35	8760
Z_4 (unità cure intensive)	5	8760
Totale	$n_i=1000$	

Per una struttura complessa come un ospedale non è consigliabile ripartire tutte le attività in poche zone. La struttura dovrebbe essere suddivisa in molte più zone che presentino caratteristiche omogenee (per es. all'interno dell'ospedale oltre alle zone prettamente terapeutiche vi sono anche le zone comuni, gli uffici, i locali tecnici, la cucina e il bar, ecc.), ciò permetterebbe di scegliere le misure di protezione più adatte per ogni zona. Inoltre, valutando il numero delle persone presenti in ogni zona ed il rispettivo tempo di permanenza si può ottenere un valore per il rischio complessivo R_1 significativamente ridotto. Infatti, non è pensabile che il tempo di presenza di tutte le persone sia di 24 ore al giorno: sicuramente il numero di persone presenti 24 ore su 24 è ridotto rispetto al totale delle persone che a vario titolo sono nella struttura. Infine, all'interno della struttura le stesse persone possono soggiornare, in tempi diversi, in zone diverse.

In tutti gli esempi della CEI 81-10/2 (EN 62305-2) il rischio R_1 è calcolato con i valori tipici medi di perdita annua (L_T , L_F , L_O) indicati dalla norma internazionale, tali valori

differiscono da quelli riportati nella Tab. C.2 dell'edizione italiana della norma stessa. Per fare in modo che l'esempio sia allineato all'edizione italiana, sono stati utilizzati i seguenti valori conformi alla Tab. C.2 (riportati nella Tab. 24 del paragrafo 2.35):

- $L_T = 10^{-2}$ nelle zone Z_1 , Z_2 , Z_3 e Z_4 ;
- $L_F = 10^{-2}$ nelle zone Z_2 , Z_3 e Z_4 all'interno della struttura;
- $h_z = 1$ nella zona Z_1 all'esterno della struttura;
- $h_z = 5$ nelle zone Z_2 , Z_3 e Z_4 all'interno della struttura per la difficoltà di evacuazione;
- $L_O = 10^{-3}$ nella zona Z_3 (blocco operatorio) e nella zona Z_4 (unità cure intensive);
- $L_O = 10^{-4}$ nella zona Z_2 (camere di degenza).

Nella zona Z_2 non si è scelto $L_O = 0$ perché si è assunto che nelle normali condizioni di operatività siano utilizzate nelle camere di degenza apparecchiature il cui guasto possa provocare immediato pericolo per la vita umana. In realtà tale scelta (che dipende dalle politiche sanitarie dell'ospedale) porta ad avere valori di rischio più alti nella zona e questo ha come conseguenza la necessità di dover adottare misure di prevenzione più onerose al fine di ridurre il rischio. Pertanto, se si hanno informazioni certe sul fatto che nelle normali condizioni di operatività non siano utilizzate nelle camere di degenza apparecchiature il cui guasto possa provocare immediato pericolo per la vita umana, allora può essere scelto $L_O = 0$ nella zona Z_2 con conseguente riduzione dei valori delle componenti di rischio.

I valori tipici medi di perdita annua sono stati utilizzati per calcolare in ciascuna zona le relazioni della Tab. 23 del capitolo 2, sulla base del numero di persone danneggiate, rispetto al numero totale di persone, e del loro tempo medio annuo di presenza. Le caratteristiche risultanti delle zone da Z_1 a Z_4 sono riportate nelle Tabelle da 45 a 48.

Tabella 45 - Coefficienti validi per la zona Z_1 (esterno dell'edificio)

Parametro	Commento	Simbolo	Valore
Tipo di suolo	Cemento	r_t	10^{-2}
Misure contro l'elettrocuzione	Nessuna	P_{TA}	1
Rischio di incendio	Nulla	r_f	0
Protezione antincendio	Nessuna	r_p	1
Schermatura locale interna	Nessuna	K_{S2}	1
L1: perdita di vite umane	Pericoli particolari: Nessuno	h_z	1
	D1: tensioni di contatto e passo	L_T	10^{-2}
	D2: danno materiale	L_F	0
	D3: guasto degli impianti interni	L_O	0
Coeff. per persone nelle zone	$(n_z/n_1) \times (t_z/8760) = (10/1000) \times (8760/8760)$	-	0,01

Tabella 46 - Coefficienti validi per la zona z₂ (camere di degenza)

Parametro	Commento	Simbolo	Valore
Tipo di suolo	Linoleum	r _f	10 ⁻⁵
Misure contro l'elettrocuzione	Nessuna	P _{TA}	1
Rischio di incendio	Ordinario	r _f	10 ⁻²
Protezione antincendio	Manuali	r _p	0,5
Schermatura locale interna	Nessuna	K _{S2}	1
Energia <i>Cablaggio interno</i>	Non schermato (conduttori nello stesso condotto)	K _{S3}	0,2
<i>Sistema di SPD</i>	Nessuna	P _{SPD}	1
Telecom. <i>Cablaggio interno</i>	Non schermato	K _{S3}	1
<i>Sistema di SPD</i>	Nessuna	P _{SPD}	1
L1: perdita di vite umane	Pericoli particolari: Nessuno	h _z	5
	D1: tensioni di contatto e passo	L _T	10 ⁻²
	D2: danno materiale	L _F	10 ⁻²
	D3: guasto degli impianti interni	L _O	10 ⁻⁴
Coeff. per persone nelle zone	$(n_z/n_i) \times (t_z/8760) = (950/1000) \times (8760/8760)$	-	0,95

Tabella 47 - Coefficienti validi per la zona z₃ (blocco operatorio)

Parametro	Commento	Simbolo	Valore
Tipo di suolo	Linoleum	r _f	10 ⁻⁵
Misure contro l'elettrocuzione	Nessuna	P _{TA}	1
Rischio di incendio	Ridotto	r _f	10 ⁻³
Protezione antincendio	Manuali	r _p	0,5
Schermatura locale interna	Nessuna	K _{S2}	1
Energia <i>Cablaggio interno</i>	Non schermato (conduttori nello stesso condotto)	K _{S3}	0,2
<i>Sistema di SPD</i>	Nessuna	P _{SPD}	1
Telecom. <i>Cablaggio interno</i>	Non schermato	K _{S3}	1
<i>Sistema di SPD</i>	Nessuna	P _{SPD}	1
L1: perdita di vite umane	Pericoli particolari: Nessuno	h _z	5
	D1: tensioni di contatto e passo	L _T	10 ⁻²
	D2: danno materiale	L _F	10 ⁻²
	D3: guasto degli impianti interni	L _O	10 ⁻³
Coeff. per persone nelle zone	$(n_z/n_i) \times (t_z/8760) = (35/1000) \times (8760/8760)$	-	0,035

Tabella 48 - Coefficienti validi per la zona z_a (unità cure intensive)

Parametro	Commento	Simbolo	Valore	
Tipo di suolo	Linoleum	r_t	10^{-5}	
Misure contro l'elettrocuzione	Nessuna	P_{TA}	1	
Rischio di incendio	Ridotto	r_f	10^{-3}	
Protezione antincendio	Manuali	r_p	0,5	
Schermatura locale interna	Nessuna	K_{S2}	1	
Energia	<i>Cablaggio interno</i>	Non schermato (conduttori nello stesso condotto)	K_{S3}	0,2
	<i>Sistema di SPD</i>	Nessuna	P_{SPD}	1
Telecom.	<i>Cablaggio interno</i>	Non schermato	K_{S3}	1
	<i>Sistema di SPD</i>	Nessuna	P_{SPD}	1
L1: perdita di vite umane	Pericoli particolari: Nessuno	h_z	5	
	D1: tensioni di contatto e passo	L_T	10^{-2}	
	D2: danno materiale	L_F	10^{-2}	
	D3: guasto degli impianti interni	L_O	10^{-3}	
Coeff. per persone nelle zone	$(n_z/n_i) \times (t_z/8760) = (5/1000) \times (8760/8760)$	-	0,005	

In tutte le zone sono state fatte le seguenti assunzioni, che sono più realistiche (e restrittive) rispetto alle assunzioni dell'esempio E.4 della CEI 81-10/2 (EN 62305-2):

- le protezioni antincendio sono presenti e danno luogo ad un coefficiente $r_p = 0,5$, ciò perché nelle strutture sanitarie è di solito installata almeno una delle seguenti misure o misure superiori: estintori; impianto fisso di estinzione operato manualmente; impianto di allarme manuale; idranti; compartimentazione antincendio; vie di fuga protette;
- le linee di telecomunicazioni (telefonia e LAN) usualmente non sono di tipo schermato, pertanto $K_{S3} = 1$, poiché i conduttori attivi (ad esempio i conduttori del doppino) sono posati di solito in canali differenti rispetto al PE (che è posato assieme ai circuiti di potenza) e ciò può dar luogo a spire anche estese (si veda la Tabella 18).

Le aree di raccolta ed il numero atteso di eventi pericolosi sono riportati rispettivamente nelle Tabelle 49 e 50 (dove è stato aggiunto un pedice “*P*” ai parametri relativi alla linea di energia ed un pedice “*T*” ai parametri relativi alla linea di telecomunicazioni).

Tabella 49 - Area di raccolta della struttura e delle linee

	Simbolo	Risultato (m ²)
Struttura	A _D	2,23 × 10 ⁴
	A _M	5,25 × 10 ⁵
Linea di energia	A _{L/P}	4,80 × 10 ⁴
	A _{I/P}	4,80 × 10 ⁶
	A _{DJ/P}	–
Linea di telecom.	A _{L/T}	4,00 × 10 ⁴
	A _{I/T}	4,00 × 10 ⁶
	A _{DJ/T}	2,81 × 10 ³

Tabella 50 - Numero atteso annuo di eventi pericolosi

	Simbolo	Risultato (m ²)
Struttura	N _D	8,92 × 10 ⁻²
	N _M	2,10
Linea di energia	N _{L/P}	9,60 × 10 ⁻³
	N _{I/P}	9,60 × 10 ⁻¹
	N _{DJ/P}	–
Linea di telecom.	N _{L/T}	4,00 × 10 ⁻²
	N _{I/T}	4,00
	N _{DJ/T}	2,25 × 10 ⁻³

6.4. Rischio R₁: decisione sulla necessità o meno della protezione

I valori delle probabilità P_x e delle componenti di rischio per la struttura priva di protezione sono riportati rispettivamente nelle Tabelle 51 e 52.

Tabella 51 - Valori della probabilità P per la struttura non protetta

Tipo di danno	Simbolo	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
Elettrocuzione	P _A	1		1	
	P _{UIP}	—		0,6	
	P _{UIT}	—		0,8	
D2 Danno materiale	P _B	—		1	
	P _{VIP}	—		0,6	
	P _{VIT}	—		0,8	
D3 Guasto degli impianti interni	P _C	—		1	
	P _M	—		0,448	
	P _{W/P}	—		0,6	
	P _{W/T}	—		0,8	
	P _{Z/P}	—		0	
	P _{Z/T}	—		0	

Tabella 52 - Rischio R₁ per la struttura non protetta

Tipo di danno	Simbolo	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Struttura
D1 Elettrocuzione	R _A	8,92×10 ⁻⁹	8,47×10 ⁻⁹	3,12×10 ⁻¹⁰	4,46×10 ⁻¹¹	9,80×10 ⁻⁸
	R _U =R _{UIP} + R _{UIT}	—	4,44×10 ⁻⁹	1,63×10 ⁻¹⁰	2,34×10 ⁻¹¹	4,63×10 ⁻⁹
D2 Danno materiale	R _B	—	2,12×10 ⁻⁵	7,81×10 ⁻⁶	1,12×10 ⁻⁶	2,13×10 ⁻⁵
	R _V =R _{VIP} + R _{VIT}	—	1,11×10 ⁻⁵	4,09×10 ⁻⁶	5,84×10 ⁻⁶	1,11×10 ⁻⁵
D3 Guasto degli impianti interni	R _C	—	8,47×10 ⁻⁶	3,12×10 ⁻⁷	4,46×10 ⁻⁸	8,83×10 ⁻⁶
	R _M	—	8,94×10 ⁻⁵	3,29×10 ⁻⁶	4,70×10 ⁻⁷	9,32×10 ⁻⁵
	R _W =R _{W/P} + R _{W/T}	—	4,44×10 ⁻⁵	1,63×10 ⁻⁷	2,34×10 ⁻⁸	4,63v10 ⁻⁶
	R _Z = R _{Z/P} + R _{Z/T}	—	—	—	—	—
Totale		8,92×10⁻⁹	13,5×10⁻⁵	3,89×10⁻⁶	5,55×10⁻⁷	R₁=14×10⁻⁵

Poiché $R_1 = 14 \times 10^{-5}$ è maggiore del valore tollerabile $R_T = 10^{-5}$, è necessaria la protezione contro il fulmine della struttura.

Si osservi come il valore ottenuto sia 5 volte inferiore al valore riportato nell'allegato

E della CEI 81-10/2 (EN 62305-2) (dove $R_1=69,96 \times 10^{-5}$); inoltre aumentando il numero di zone e stimando meglio le presenze delle persone (numero e ore) è probabile che il valore si possa ridurre ancora.

6.5. Rischio R1: scelta delle misure di protezione

Il rischio R_1 è dovuto principalmente a:

- guasti degli impianti interni (rispettivamente componenti $R_M = 64\%$ e $R_C = 6\%$ del rischio complessivo);
- danni materiali (componenti principali $R_B = 15\%$ e $R_V = 8\%$ del rischio complessivo).

La zona che contribuisce in misura maggiore al rischio è Z_2 (in tale zona si ha il 97% del rischio complessivo).

Si possono adottare alcune misure di protezione che hanno l'effetto di ridurre le componenti di rischio:

- R_B ed R_V ad esempio possono essere ridotte dotando l'intero edificio di un LPS conforme alla CEI 81-10/3 (EN 62305-3); inoltre l'equipotenzializzazione delle linee all'ingresso è un provvedimento obbligatorio in presenza dell'LPS e permette di ridurre le componenti R_U e R_V ;
- adottando misure di protezione contro le conseguenze dell'incendio più onerose rispetto a quelle già esistenti (es.: impianto automatico di allarme), si possono ridurre ulteriormente le componenti R_B ed R_V ;
- R_C ed R_M invece possono essere ridotte dotando gli impianti interni di energia e telecomunicazione, in particolare nella zona Z_2 , di un sistema di SPD conforme alla CEI 81-10/4 (EN 62305-4); oppure, come misura alternativa (ma maggiormente gravosa), si può ricorrere all'uso di adeguati schermi locali a maglia conformi alla CEI 81-10/4 (EN 62305-4), per ridurre la componente R_M .

Combinando diversi elementi di queste misure di protezione, per esempio installando le misure riportate nella tabella 53, il rischio R_1 per la struttura assume il nuovo valore $9,23 \times 10^{-6}$, inferiore al rischio tollerabile $R_T = 10^{-5}$.

Tabella 53 - 2 Misure di protezione da adottare per ridurre il rischio R1

Intera struttura
LPS di livello III (Tab. 15 – $P_B = 0,1$)
Linea di energia → SPD arrivo linea: livello III (Tab. 16 – $P_{SPD} = 0,05$)
Linea di telecomunicazione → SPD arrivo linea: livello II (Tab. 16 – $P_{SPD} = 0,02$)
Zona Z ₂ : Camere di degenza
Impianto interno: Energia → Sistema di SPD: livello IV (Tab. 16 – $P_{SPD} = 0,05$)
Impianto interno: Telecomunicazione → Sistema di SPD: livello II (Tab. 16 – $P_{SPD} = 0,02$)

Tabella 54 - Valori della probabilità P per la struttura protetta con le misure della Tab. 53

Tipo di danno	Simbolo	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
D1 Elettrocuzione	P _A	0,1	0,1		0,1
	P _{U/P}	—	0,03		0,03
	P _{U/T}	—	0,016		0,016
D2 Danno materiale	P _B	0,1	0,1		0,1
	P _{V/P}	—	0,03		0,03
	P _{V/T}	—	0,016		0,016
D3 Guasto degli impianti interni	P _C	—	0,069		1
	P _M	—	0,00921		0,448
	P _{W/P}	—	0,03		0,03
	P _{W/T}	—	0,16		0,6
	P _{Z/P}	—	0		0
	P _{Z/T}	—	0		0

Tabella 55 - 3 Rischio R_1 per la struttura protetta con le misure della Tab. 53

Tipo di danno	Simbolo	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Struttura
D1 Elettrocuzione	R _A	$8,92 \times 10^{-9}$	$8,47 \times 10^{-10}$	$3,12 \times 10^{-11}$	$4,46 \times 10^{-12}$	$9,80 \times 10^{-9}$
	R _U =R _{U/P} + R _{U/T}	—	$1,05 \times 10^{-10}$	$3,88 \times 10^{-12}$	$5,54 \times 10^{-13}$	$1,09 \times 10^{-10}$
D2 Danno materiale	R _B	—	$2,12 \times 10^{-6}$	$7,81 \times 10^{-9}$	$1,12 \times 10^{-9}$	$2,13 \times 10^{-6}$
	R _V =R _{V/P} + R _{V/T}	—	$2,63 \times 10^{-7}$	$9,69 \times 10^{-10}$	$1,38 \times 10^{-10}$	$2,64 \times 10^{-7}$
D3 Guasto degli impianti interni	R _C	—	$5,85 \times 10^{-7}$	$3,12 \times 10^{-7}$	$4,46 \times 10^{-8}$	$9,42 \times 10^{-7}$
	R _M	—	$1,84 \times 10^{-6}$	$3,29 \times 10^{-6}$	$4,70 \times 10^{-7}$	$5,60 \times 10^{-6}$
	R _W =R _{W/P} + R _{W/T}	—	$1,05 \times 10^{-7}$	$1,63 \times 10^{-7}$	$2,34 \times 10^{-8}$	$2,92 \times 10^{-7}$
	R _Z =R _{Z/P} + R _{Z/T}	—	—	—	—	—
Totale		$8,92 \times 10^{-9}$	$4,91 \times 10^{-6}$	$3,77 \times 10^{-6}$	$5,39 \times 10^{-7}$	R₁=$9,23 \times 10^{-6}$

Nell'effettuare l'analisi del rischio per una committenza ospedaliera può essere richiesto di non limitarsi a valutare solo le protezioni da adottare per limitare il rischio di perdita di vite umane (rischio R_1) a valori non superiori a quello ritenuto tollerabile dalla norma CEI 81-10/2 (EN 62305-2), ma di verificare anche che il fulmine non comprometta in modo inaccettabile la funzionalità e le prestazioni della struttura e degli impianti in essa contenuti.

Secondo la guida CEI 81-29, un modo agevole per verificarlo senza ricorrere alla valutazione del rischio R_4 è quello di fare riferimento alla frequenza di danno F (si veda il paragrafo 5.3).

Il valore della frequenza di danno tollerabile (F_T) può essere definito dal proprietario

o gestore della struttura in relazione alle proprie necessità, ad es. in relazione all'affidabilità richiesta agli impianti.

La guida CEI 81-29 suggerisce che il valore massimo di F_T non superi 0,1. Se la struttura è divisa in zone tale valore non dovrebbe essere superato in nessuna zona.

La frequenza di danno F è calcolata, come riportato nel paragrafo 5.3, sommando le diverse componenti:

F_{S1} : frequenza di danno dovuta a fulmini sulla struttura;

F_{S2} : frequenza di danno dovuta a fulmini vicino alla struttura;

F_{S3} : frequenza di danno dovuta a fulmini sulle linee entranti nella struttura;

F_{S4} : frequenza di danno dovuta a fulmini vicino alle linee entranti nella struttura.

Se F supera F_T allora è opportuno installare misure di protezione per limitare la frequenza di danno a valori non superiori a quello proposto dalla Guida CEI 81-29 o a quello definito dal proprietario o gestore della struttura.

A seguito dell'adozione delle misure di protezione scelte per ridurre il rischio R_1 , la frequenza di danno F assume i valori riportati nella Tab.56.

Tabella 56 - 4 Frequenza di danno a seguito dell'adozione delle misure della Tab. 53

	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
F_{S1}	$8,92 \times 10^{-3}$	$1,45 \times 10^{-2}$	$8,92 \times 10^{-2}$	$8,92 \times 10^{-2}$
F_{S2}	0,00	$1,93 \times 10^{-2}$	$9,41 \times 10^{-1}$	$9,41 \times 10^{-1}$
F_{S3}	0,00	$2,19 \times 10^{-3}$	$4,70 \times 10^{-2}$	$4,70 \times 10^{-2}$
F_{S4}	0,00	0,00	0,00	0,00
Totale	$8,92 \times 10^{-3}$	$3,60 \times 10^{-2}$	1,08	1,08

Purtroppo anche con l'adozione delle misure di protezione adottate a seguito delle scelte per ridurre il rischio R_1 , il valore della frequenza di danno non risulta accettabile nelle zone Z_3 e Z_4 (Tabella 56). Osservando i valori della frequenza di danno riportati nella tabella 56, nelle zone 3 e 4 (le più critiche a livello ospedaliero) si riscontra una frequenza di danno più elevata (87% del totale di ciascuna zona), ciò è dovuto agli effetti di accoppiamenti induttivi con fulmini che cadono vicino alla struttura (frequenza di danno F_{S2}).

In questo caso è possibile risolvere il problema adottando un sistema di SPD (sia sugli impianti che sui servizi di telecomunicazione) in entrambe le zone.

Le misure da adottare complessivamente saranno quindi quelle riportate nella Tab. 57. Si riportano di seguito, per comodità, la tabella dei nuovi valori delle probabilità (Tab. 58), la tabella delle nuove frequenze di danno (Tab. 59, da cui risulta che $F_{Si} < F_T$, per $i=1, 2, 3, 4$) e la tabella dei nuovi valori delle componenti di R_1 (Tab. 60, da cui risulta che continua a valere $R_1 < R_T$).

C'è da notare che una valutazione completa del rischio R_4 potrebbe dar luogo alla scelta di misure aggiuntive meno onerose rispetto a quelle scelte attraverso la valutazione della frequenza di danno F .

Tabella 57 - 5 Misure di protezione complessivamente adottate

Intera struttura	
LPS di livello III (Tab. 15 – $P_B = 0,1$)	
Linea di energia → SPD arrivo linea: livello I (Tab. 16 – $P_{SPD} = 0,01$)	
Linea di telecomunicazione → SPD arrivo linea: livello II (Tab. 16 – $P_{SPD} = 0,02$)	
Zona Z ₂ : Camere di degenza	
Impianto interno: Energia → Sistema di SPD: livello IV (Tab. 16 – $P_{SPD} = 0,05$)	
Impianto interno: Telecomunicazione → Sistema di SPD: livello II (Tab. 16 – $P_{SPD} = 0,02$)	
Zona Z ₃ : Blocco operatorio	
Impianto interno: Energia → Sistema di SPD: livello IV (Tab. 16 – $P_{SPD} = 0,05$)	
Impianto interno: Telecomunicazione → Sistema di SPD: livello IV (Tab. 16 – $P_{SPD} = 0,05$)	
Zona Z ₄ : Unità di cure intensive	
Impianto interno: Energia → Sistema di SPD: livello IV (Tab. 16 – $P_{SPD} = 0,05$)	
Impianto interno: Telecomunicazione → Sistema di SPD: livello IV (Tab. 16 – $P_{SPD} = 0,05$)	

Tabella 58 - Valori della probabilità P per la struttura protetta con le misure della Tab. 57

Tipo di danno	Simbolo	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
D1 Elettrocuzione	P_A	0,1	0,1	0,1	
	$P_{U/P}$	–	0,03	0,03	
	$P_{U/T}$	–	0,016	0,016	
D2 Danno materiale	P_B	0,1	0,1	0,1	
	$P_{V/P}$	–	0,03	0,03	
	$P_{V/T}$	–	0,016	0,016	
D3 Guasto degli impianti interni	P_C	–	0,069	0,0975	
	P_M	–	0,00921	0,0225	
	$P_{W/P}$	–	0,03	0,04	
	$P_{W/T}$	–	0,016	0,6	
	$P_{Z/P}$	–	0	0	
	$P_{Z/T}$	–	0	0	

Tabella 59 - 6 Frequenza di danno a seguito dell'adozione delle misure della Tab. 57

	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
F _{S1}	$8,92 \times 10^{-3}$	$1,45 \times 10^{-2}$	$1,67 \times 10^{-2}$	$1,67 \times 10^{-2}$
F _{S2}	0,00	$1,93 \times 10^{-2}$	$4,73 \times 10^{-2}$	$4,73 \times 10^{-2}$
F _{S3}	0,00	$2,19 \times 10^{-3}$	$3,40 \times 10^{-3}$	$3,40 \times 10^{-3}$
F _{S4}	0,00	0,00	0,00	0,00
Totale	$8,92 \times 10^{-3}$	$3,60 \times 10^{-2}$	$6,74 \times 10^{-2}$	$6,74 \times 10^{-2}$

Tabella 60 - 7 Rischio R₁ per la struttura protetta con le misure della Tab. 57

Tipo di danno	Simbolo	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Struttura
D1 Elettrocuzione	R _A	$8,92 \times 10^{-9}$	$8,47 \times 10^{-10}$	$3,12 \times 10^{-11}$	$4,46 \times 10^{-12}$	$9,80 \times 10^{-9}$
	R _U =R _{U/P} + R _{U/T}	—	$1,05 \times 10^{-10}$	$3,88 \times 10^{-12}$	$5,54 \times 10^{-13}$	$1,09 \times 10^{-10}$
D2 Danno materiale	R _B	—	$2,12 \times 10^{-6}$	$7,81 \times 10^{-9}$	$1,12 \times 10^{-9}$	$2,13 \times 10^{-6}$
	R _V =R _{V/P} + R _{V/T}	—	$2,63 \times 10^{-7}$	$9,69 \times 10^{-10}$	$1,38 \times 10^{-10}$	$2,64 \times 10^{-7}$
D3 Guasto degli impianti interni	R _C	—	$5,85 \times 10^{-7}$	$3,04 \times 10^{-8}$	$4,35 \times 10^{-9}$	$6,20 \times 10^{-7}$
	R _M	—	$1,84 \times 10^{-6}$	$1,66 \times 10^{-7}$	$2,37 \times 10^{-8}$	$2,03 \times 10^{-6}$
	R _W =R _{W/P} + R _{W/T}	—	$1,05 \times 10^{-7}$	$8,18 \times 10^{-9}$	$1,16 \times 10^{-9}$	$1,14 \times 10^{-7}$
	R _Z = R _{Z/P} + R _{Z/T}	—	—	—	—	—
Totale		$8,92 \times 10^{-9}$	$4,91 \times 10^{-6}$	$2,13 \times 10^{-7}$	$3,05 \times 10^{-8}$	R₁=$5,16 \times 10^{-6}$

7. Riferimenti

7.1. Legislazione

- [1] D.m. 22 gennaio 2008 n. 37 e successive modificazioni ed integrazioni "Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione".
- [2] Legge 46/90 art. 14 "Verifiche".
- [3] D.p.r. 22 ottobre 2001 n. 462 "Regolamento di semplificazione del procedimento per la denuncia di installazioni e dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, di dispositivo di messa a terra di impianti elettrici e di impianti elettrici pericolosi".
- [4] D.lgs. del 9 Aprile 2008 n. 81 e successive modificazioni ed integrazioni "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007 n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro".

7.2. Norme tecniche

- [5] CEI 81-10/1 (EN 62305-1) "Protezione contro i fulmini - Parte 1: Principi generali".
- [6] CEI 81-10/2 (EN 62305-2) "Protezione contro i fulmini - Parte 2: Valutazione del rischio".
- [7] CEI 81-10/3 (EN 62305-3) "Protezione contro i fulmini - Parte 3: Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone".
- [8] CEI 81-10/4 (EN 62305-4) "Protezione contro i fulmini - Parte 4: Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture".
- [9] CEI 64-8 "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua".

7.3. Guide

- [10] Circolare Ispesl n. 17/2002 - Applicazione del d.p.r. 22 ottobre 2001, n. 462,

“Regolamento di semplificazione del procedimento per la denuncia di installazioni e dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, di dispositivi di messa a terra e di impianti elettrici pericolosi”

- [11] Circolare Ispesl 13/2004 - Applicazione del d.p.r. 22 ottobre 2001, n. 462,
- [12] Guida tecnica Inail, Aprile 2012, “d.p.r. 462/01 - Guida tecnica alla prima verifica degli impianti di protezione dalle scariche atmosferiche e impianti di messa a terra”
- [13] CEI 81-2 “Guida per la verifica delle misure di protezione contro i fulmini”.
- [14] CEI 0-2 “Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici”.
- [15] CEI 0-10 “Guida alla manutenzione degli impianti elettrici”.
- [16] CEI 0-14 “Guida all’applicazione del d.p.r. 462/01 relativo alla semplificazione del procedimento per la denuncia di installazioni e dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, di dispositivi di messa a terra degli impianti elettrici e di impianti elettrici pericolosi”.
- [17] CEI 64-14 “Guida alle verifiche degli impianti elettrici utilizzatori”.

7.4. Bibliografia

- [18] G.L. Amicucci, G. Platania, F.M. Oddi, A. Orlandi, Laboratory Characterisation of Lightning Induced Effects on Communication Cables, Proceedings of the 25th International Conference on Lightning Protection - ICLP, September 18-22, 2000, Rhodes, Greece, pp. 679 - 684.
- [19] G.L. Amicucci, G. Platania, La Compatibilità Elettromagnetica delle apparecchiature, Settimana Europea per la Prevenzione, La Sicurezza e la Salute sui Luoghi di Lavoro: Prospettive per un’Efficace Azione sul Territorio, October 19, 2000, La Spezia, Italy.
- [20] G. L. Amicucci, G. Platania, F. M. Oddi, L. Di Lollo, Effetti indotti sui cavi per comunicazione da fulminazione indiretta: una caratterizzazione sperimentale, Prevenzione Oggi n. 3-XIII, Ispesl, 2001, ISSN 1120-2971.
- [21] G. L. Amicucci, Valutazione del rischio dovuto a fulminazione diretta e indiretta di strutture civili e industriali, Seminario di studio per la Presentazione delle Ricerche Ispesl, Fiuggi, Italy, 12-13 Giugno 2001.
- [22] G. L. Amicucci, B. D’Elia, G. Platania, Dependability of surge protective devices due to lightning flashes, Proceedings of the 26th International Conference on Lightning Protection - ICLP, September 2-6, 2002, Cracow, Poland, , ISBN 83-910689-5-1.
- [23] G. L. Amicucci, B. D’Elia, P. Gentile, A method to assess the frequency of damage due to indirect lightning flashes, Proceedings of the 26th International

- Conference on Lightning Protection - ICLP, September 2-6, 2002, Cracow, Poland, ISBN 83-910689-5-1.
- [24] G. L. Amicucci, B. D'Elia, G. Di Gregorio, C. Mazzetti, Z. Flisowski, R. Tomassini, SPD protective distance for effective protection against lightning overvoltages, Proceedings of the International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC Europe, September 9-13, 2002, Sorrento, Italy.
- [25] G. L. Amicucci, B. D'Elia, G. Di Gregorio, C. Mazzetti, G. Platania, P. Gentile, Probabilistic analysis of varistor dependability due to lightning flashes, Proceedings of the 7th International Conference on Probabilistic Methods Applied to power systems - PMAPS, September 22-26, 2002, Napoli, Italy, ISBN 88-7146-619-5.
- [26] G. L. Amicucci, B. D'Elia, P. Gentile, Mean Time to Failure of Metal Oxide Varistors Under Lightning Stress, Proceedings of the IEEE Conference Power Tech 2003, June 23-26, 2003, Bologna, Italy, ISBN 0-7803-7968-3.
- [27] G.L. Amicucci, B. D'Elia, P. Gentile, M. Mazzaro, Gli SPD (Surge Protective Device) nella protezione dalle sovratensioni dei sistemi di sicurezza integrati a protezione degli edifici patrimonio culturale insostituibile, Atti II Convegno Scientifico Nazionale "Sicurezza nei Sistemi Complessi", Bari, 16-17 ottobre 2003.
- [28] G.L. Amicucci, B. D'Elia, P. Gentile, M. Mazzaro, Metodologia per la valutazione del rischio di fulminazione diretta ed indiretta. Applicazione ad un edificio di pregevole valore storico ed artistico, Atti II Convegno Scientifico Nazionale "Sicurezza nei Sistemi Complessi", Bari, 16-17 ottobre 2003.
- [29] G. L. Amicucci, B. D'Elia, Reliability of surge protective devices stressed by lightning, Journal of Electrostatics, vol.60, no. 2-4, March 2004, pp.247-256.
- [30] G. L. Amicucci, C. Mazzetti, Probabilistic method for reliability assessment of metal oxide varistors under lightning stress, COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 23, no. 1, 2004, pp. 263-276, ISSN 0332-1649.
- [31] G. L. Amicucci, C. Mazzetti, P. Gentile, Influence of Lightning, Switching and Temporary Overvoltages on Reliability of Metal Oxide Varistors, Proceedings of the 27th International Conference on Lightning Protection - ICLP, September 13-16, 2004, Avignon, France.
- [32] G. L. Amicucci, F. Fiamingo, M. Marzinotto, C. Mazzetti, G. B. Lo Piparo, Z. Flisowski, Protection against Lightning Overvoltages of Electrical and Electronic Systems: Evaluation of the Protection Distance of an SPD, Proceedings of the 27th International Conference on Lightning Protection - ICLP, September 13-16, 2004, Avignon, France.
- [33] G. L. Amicucci, P. Gentile, Reliability evaluation of metal oxide varistors supporting maintenance management, 1st International Conference on Safety and Security Engineering, SAFE 2005, 13-15 Giugno 2005, Roma, Italy.

- [34] G. L. Amicucci, G. Platania, C. Mazzetti, F. Fiamingo, Valutazione del rischio di danno degli apparati elettrici ed elettronici dovuto a fulminazione atmosferica, Fogli di Informazione n. 1-XIX, Ispesl, 2006, ISSN 1724-8248.
- [35] G. L. Amicucci, P. Gentile, Reliability evaluation of metal oxide varistors for maintenance scheduling, Risk Analysis V: Simulation and Hazard Mitigation (Risk Analysis 2006), WIT Press, Edited by V. Popov and C.A. Brebbia, Wessex Institute of Technology, UK, 2006, ISBN: 1-84564-172-8.
- [36] G. L. Amicucci, G. Platania, C. Mazzetti, F. Fiamingo, Gestione del rischio dovuto a sovratensione per la protezione e la sicurezza delle apparecchiature negli ambienti di lavoro, Fogli di Informazione n. 3-XIX, Ispesl, 2006, ISSN 1724-8248.
- [37] G. L. Amicucci, F. Fiamingo, Z. Flisowski, G. B. Lo Piparo, C. Mazzetti, A probabilistic approach to the selection and location of protection measures against lightning overvoltages, Proceedings of the 28th International Conference on Lightning Protection - ICLP, September 17-22, 2006, Kanazawa, Japan.
- [38] G. L. Amicucci, G. Platania, G. Di Gregorio, R. Tommasini, Valutazione della distanza di protezione degli SPD, Fogli di Informazione n. 4-XIX, Ispesl, 2006, ISSN 1724-8248.
- [39] F. Fiamingo, M. Marzinotto, C. Mazzetti, Z. Flisowski, G. B. Lo Piparo, G. L. Amicucci, Evaluation of SPD protection distance in low-voltage systems, Journal of Electrostatics, vol.65, no. 5-6, May 2007, pp. 363-370.
- [40] G. L. Amicucci, Laws and rules for electrical plants in Italy, FISUEL, Annual General Meeting, London, May 17-19th, 2007
- [41] G. L. Amicucci, F. Fiamingo, Z. Flisowski, G.B. Lo Piparo, C. Mazzetti, Surge Protective Devices for low voltage systems: practical approach for the protection distance evaluation, IEEE Power Tech 2007, EPFL, Losanna, 1-7 luglio 2007.
- [42] G. L. Amicucci, F. Fiamingo, Risk assessment of photovoltaic installations due to lightning, Proceedings of the 29th International Conference on Lightning Protection, 23rd - 26th June 2008 - Uppsala, Sweden.
- [43] G. L. Amicucci, L. Di Lollo, D. Ranieri, R. Razzano, Compatibilità elettromagnetica, Ispesl - Dipartimento Tecnologie di Sicurezza/Ufficio Relazioni con il Pubblico - Schede Tecniche, (2009), ISBN 978-88-89415-47-9.
- [44] G. L. Amicucci, F. Fiamingo, Impianti elettrici ospedalieri, Ispesl - Dipartimento Tecnologie di Sicurezza/Ufficio Relazioni con il Pubblico - Schede Tecniche, (2009), ISBN 978-88-89415-46-0
- [45] G. L. Amicucci, F. Fiamingo, Power quality in sala operatoria, Congresso Nazionale SISQT "La sicurezza e la qualità nei trapianti", Firenze, 12-14 novembre 2009.
- [46] G. L. Amicucci, F. Fiamingo, Il rischio di fulminazione dei sistemi di generazione fotovoltaica, Prevenzione Oggi, Ispesl, Vol. 5, n. 1/2, gennaio-giugno 2009 - ISSN 1120-2971.

- [47] G. L. Amicucci, F. Fiamingo, Lightning risk to photovoltaic power generating systems, *Prevention Today*, Ispesl, Vol. 5, n. 1/2, January - June 2009 - ISSN 1120-2971.
- [48] G. L. Amicucci, F. Fiamingo, G.B. Lo Piparo, B. Kuca, Z. Flisowski, C. Mazzetti, Protection of electrical and electronic systems against surges by an isolation transformer, *EMD 2009*, Bialystok, Poland, 23-25 September 2009.
- [49] G. L. Amicucci, La sicurezza elettrica nei locali ad uso medico, "Costozero", n. 3, aprile 2010, pp. 70-71, Ed. del Mediterraneo.
- [50] F. Fiamingo, G. L. Amicucci, La sicurezza elettrica in ospedale, *Atti Convegno Ispesl-Università di Napoli "Federico II" "La sicurezza degli impianti elettrici e dei dispositivi medici nelle strutture sanitarie"*, Napoli, 10 Maggio 2010.
- [51] G. L. Amicucci, F. Fiamingo, La qualità dei parametri elettrici in sala operatoria, "Costozero", n. 9, novembre 2010, pp. 67-68, Ed. del Mediterraneo.
- [52] G. L. Amicucci, F. Fiamingo, et al., Protection of electrical and electronic systems against surges by an isolation transformer, "PRZEGL D ELEKTROTECHNICZNY" (Electrical Review), R. 86 NR. 3/2010 - ISSN 0033-2097.
- [53] F. Fiamingo, G. L. Amicucci, L'utilizzo degli interruttori differenziali in ambito ospedaliero: obblighi normativi e criticità, *Atti 6° Forum Risk Management in Sanità*, "Sicurezza in sala operatoria", Arezzo, 24 novembre 2011.
- [54] G. L. Amicucci, F. Fiamingo, La protezione dai fulmini degli impianti nucleari: principi di valutazione del rischio e panoramica delle misure di protezione, rapporto interno Inail, febbraio 2012.
- [55] G. L. Amicucci, F. Fiamingo, Fotovoltaico: la valutazione del rischio di fulminazione, "Costozero", n. 4, maggio 2012, pp. 46-47, Ed. del Mediterraneo.
- [56] G. L. Amicucci, F. Fiamingo, Tomasz Kisielewicz, Risk assessment of photovoltaic installations, due to lightning, according to IEC 62305 - 2nd Edition, 2012 International Conference on Lightning Protection (ICLP), Vienna, Austria
- [57] G. L. Amicucci, F. Fiamingo, La nuova norma per i lavori sugli impianti elettrici, "Costozero", febbraio 2014, Ed. del Mediterraneo.
- [58] G.L. Amicucci, F. Fiamingo, F. Di Tosto, La sicurezza nelle operazioni di verifica degli impianti elettrici in BT, *Convegno Inail "La sicurezza nei lavori in presenza di rischio elettrico - Le nuove regole"*, presso l'Auditorium Inail di Ple Pastore, Roma, 11 marzo 2014
- [59] G. L. Amicucci, F. Fiamingo, Le verifiche dei sistemi fotovoltaici, "Costozero", n. 4, luglio/agosto 2014, Ed. del Mediterraneo.
- [60] V. Carrescia, N_g mutevole, N_g plurimo, *Tuttonormel* n. 12, 2014, pp. 8-9.
- [61] V. Carrescia, Rischio N_g , *Tuttonormel* n. 1, 2015, p. 10.
- [62] V. Carrescia, I valori di N_g , *Tuttonormel* n. 5, 2015, pp. 3-5.

