

PROTEZIONE CONTRO I FULMINI

Valutazione del rischio

Pubblicazione realizzata da

INAIL

Settore Ricerca
Dipartimento Processi Organizzativi
Servizio Prevenzione e Protezione

Autori

Raffaele Sabatino INAIL, *Dipartimento Processi Organizzativi, SPP Ricerca*

con la collaborazione di

Andrea Cordisco INAIL, *Dipartimento Installazioni di Produzione e Insediamenti Antropici*

CONTATTI

INAIL - Settore Ricerca
Dipartimento Processi Organizzativi
Servizio Prevenzione e Protezione
Via Alessandria, 220/E - 00198 Roma
r.spp@inail.it
r.dpo@inail.it
[**www.inail.it**](http://www.inail.it)

© 2013 INAIL

La pubblicazione viene distribuita gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo. È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

ISBN 978-88-7484-339-8

Tipolitografia Inail - Milano, dicembre 2013

INDICE

LA CORRENTE DI FULMINE	6
1.1 I FULMINI	6
1.2 SCARICHE ATMOSFERICHE E PROPAGAZIONE DELLA CORRENTE DI FULMINE	6
1.3 AMPIEZZA DELLA CORRENTE DI FULMINE (I)	8
1.4 PARAMETRI DELLA CORRENTE DI FULMINE	9
1.5 PERICOLO FULMINI	10
LO STATO DELLA NORMATIVA PER GLI IMPIANTI DI PROTEZIONE CONTRO I FULMINI	12
2.1 NORME PER L'INSTALLAZIONE	12
2.2 NORME DI PRODOTTO	13
LA METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DEI RISCHI	16
3.1 NECESSITÀ DELL'IMPIANTO LPS (LIGHTNING PROTECTION SYSTEM)	16
3.2 VALUTAZIONE DEL RISCHIO E SCELTA DEI COMPONENTI DI PROTEZIONE	16
3.3 LA NORMA CEI EN 62305-2 (SECONDA EDIZIONE)	16
3.4 DEFINIZIONE DEI TERMINI, DELLE DEFINIZIONI, DEI SIMBOLI E DELLE ABBREVIAZIONI	18
3.5 SORGENTI DI DANNO	24
3.6 TIPO DI DANNO	25
3.7 TIPO DI PERDITA	25
3.8 RISCHIO E SUE COMPONENTI	25
3.9 COMPONENTI DI RISCHIO DOVUTE A FULMINAZIONE DIRETTA DELLA STRUTTURA	26
3.10 COMPONENTE DI RISCHIO DOVUTE A FULMINAZIONE IN PROSSIMITÀ DELLA STRUTTURA	26
3.11 COMPONENTI DI RISCHIO DOVUTE A FULMINAZIONE DIRETTA DI UNA LINEA CONNESSA ALLA STRUTTURA	26
3.12 COMPONENTE DI RISCHIO DOVUTE A FULMINAZIONE IN PROSSIMITÀ DI UNA LINEA CONNESSA ALLA STRUTTURA	26
3.13 COMPOSIZIONE DELLE DIVERSE COMPONENTI DI RISCHIO	27
LA GESTIONE DEL RISCHIO	30
4.1 APPROCCIO VALUTATIVO	30
4.2 STRUTTURA DA CONSIDERARE PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO	30
4.3 RISCHIO TOLLERABILE R_T	30
4.4 PROCEDURA PER VALUTARE LA NECESSITÀ DELLA PROTEZIONE	30
4.5 MISURE DI PROTEZIONE	33
4.6 LE COMPONENTI DI RISCHIO	33
4.7 COMPONENTI DI RISCHIO DOVUTE AL FULMINE SULLA STRUTTURA (S_1)	33
4.8 COMPONENTI DI RISCHIO DOVUTE AL FULMINE IN PROSSIMITÀ DELLA STRUTTURA (S_2)	34
4.9 COMPONENTI DI RISCHIO DOVUTE A FULMINI SU UNA LINEA CONNESSA ALLA STRUTTURA (S_3)	34
4.10 COMPONENTI DI RISCHIO DOVUTE A FULMINI IN PROSSIMITÀ DI UNA LINEA CONNESSA ALLA STRUTTURA (S_4)	34
4.11 PROBABILITÀ DI DANNO	34
4.12 VALORI DI DANNO	35
4.13 PERICOLO DI ESPLOSIONE	35
4.14 SINTESI DELLE COMPONENTI DI RISCHIO PER UNA STRUTTURA	37
4.15 SUDDIVISIONE DI UNA STRUTTURA IN ZONE Z_S	38
4.16 SUDDIVISIONE DI UNA LINEA IN SEZIONI S_L	38
4.17 DETERMINAZIONE DELLE COMPONENTI DI RISCHIO IN UNA STRUTTURA SUDDIVISA IN ZONE Z_S	38
4.18 STRUTTURA CON ZONA SINGOLA	39
4.19 STRUTTURA MULTIZONA	39
4.20 ANALISI COSTI/BENEFICI PER LE PERDITE ECONOMICHE (L_4)	39

CENNI SUGLI IMPIANTI DI PROTEZIONE CONTRO I FULMINI	42
5.1 SISTEMI DI PROTEZIONE CONTRO I FULMINI (LPS)	42
5.2 SPD (SURGE PROTECTIVE DEVICE)	46
5.3 MISURE PER LA PROTEZIONE DEGLI IMPIANTI INTERNI CONTRO GLI EFFETTI DEL LEMP (SPM)	48
5.4 VERIFICHE DEI SISTEMI DI PROTEZIONE CONTRO I FULMINI	50
UN ESEMPIO DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO: EDIFICI ADIBITI AD UFFICI E LABORATORI	52
ES.1 DATI GENERALI	52
ES.2 COMPLESSO A	55
ES.3 DEFINIZIONE DELLE ZONE NEL COMPLESSO A	58
ES.4 CALCOLO DELLE QUANTITÀ NEL COMPLESSO A	63
ES.5 VALUTAZIONE DEL RISCHIO - COMPLESSO A: NECESSITÀ O MENO DELLA PROTEZIONE	65
ES.6 SCELTA DELLE MISURE DI PROTEZIONE PER IL COMPLESSO A	67
ES.7 COMPLESSO B	67
ES.8 DEFINIZIONE DELLE ZONE NEL COMPLESSO B	69
ES.9 CALCOLO DELLE QUANTITÀ NEL COMPLESSO B	70
ES.10 VALUTAZIONE DEL RISCHIO - COMPLESSO B: NECESSITÀ O MENO DELLA PROTEZIONE	72
BIBLIOGRAFIA	73

La corrente di fulmine

La corrente di fulmine

1.1 I fulmini

I fulmini sono originati da enormi differenze di potenziale che si vengono a creare all'interno delle nubi temporalesche denominate cumulonembi.

La differenza di potenziale che si viene a creare in questo tipo di sistemi è causata dall'accumulo di cariche tra le diverse zone della nube.

All'interno dei cumulonembi insorgono infatti intense turbolenze, causate da correnti ascendenti e discendenti, che accumulano le gocce di acqua più piccole e i cristalli di ghiaccio alla sommità del cumulonembo mentre le gocce divenute ormai grandi, o i chicchi di grandine, si concentrano alla base.

Le particelle di acqua e di ghiaccio più piccole tendono a caricarsi positivamente, viceversa quelle di maggiori dimensioni negativamente, ragion per cui la base del cumulonembo assume una carica negativa, la sommità positiva.

La base negativa induce, per contro, un'ulteriore carica positiva al suolo.

Quando la differenza di potenziale arriva a milioni di Volt, scatta una gigantesca scarica elettrica, il fulmine appunto, che equilibra il sistema.

Le nubi temporalesche si trovano per lo più ad un'altitudine di 8-10 chilometri, anche se tale dato può variare a seconda delle condizioni geografiche e climatiche.

I fulmini che si originano nelle nuvole si distinguono a loro volta in vari categorie: quelli che si scatenano all'interno di una nuvola, quelli che si trasmettono da una nuvola all'altra e quelli che si scaricano al suolo.

Questi ultimi costituiscono una piccola percentuale della totalità fulmini (circa il 10%), ma sono proprio quelli che, ovviamente, hanno il maggiore impatto sull'incolumità delle persone e, in generale, sulle attività umane.

A seconda dell'orografia del territorio e della presenza di elementi puntiformi, il fulmine può essere *discendente* (dalla nube alla terra) o *ascendente* (dalla terra alla nube).

1.2 Scariche atmosferiche e propagazione della corrente di fulmine

Può destare sorpresa che i fulmini colpiscano la superficie terrestre circa 100 volte al secondo (circa 8,6 milioni di volte al giorno) e l'Italia, ad esempio, secondo i dati del Sistema Italiano di Rilevamento dei Fulmini (SIRF) presso il CESI (Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano) di Milano, è colpita da circa 750.000 fulmini ogni anno.

I fulmini possono raggiungere, anche se per brevissimo tempo, temperature elevatissime, fino a 30.000°C, più di quattro volte la temperatura della superficie del sole; inoltre, il valore di picco della corrente può arrivare a 350.000 A con una tensione tra nuvola e terra, prima dell'innescio della scarica, di qualche centinaio di milioni di Volt.

Oggi in Italia è possibile determinare il punto d'impatto di un fulmine con una precisione dell'ordine di circa cinquecento metri grazie al sistema di rilevamento dei fulmini SIRF, realizzato all'inizio degli anni sessanta.

Le stazioni di misurazione distribuite sul territorio italiano sono sincronizzate e registrano l'istante in cui l'onda elettromagnetica della scarica del fulmine giunge in corrispondenza del rispettivo ricevitore.

Il punto d'impatto del fulmine viene calcolato in base alla differenza dei diversi tempi di rilevamento dell'onda.

Mentre i fulmini nube-nube provocano un pericolo per i sistemi elettrici ed elettronici a causa dei campi elettromagnetici impulsivi (LEMP), i fulmini che colpiscono il terreno, i più pericolosi, producono una compensazione della differenza di potenziale tra le cariche elettriche delle nubi e le cariche al suolo.

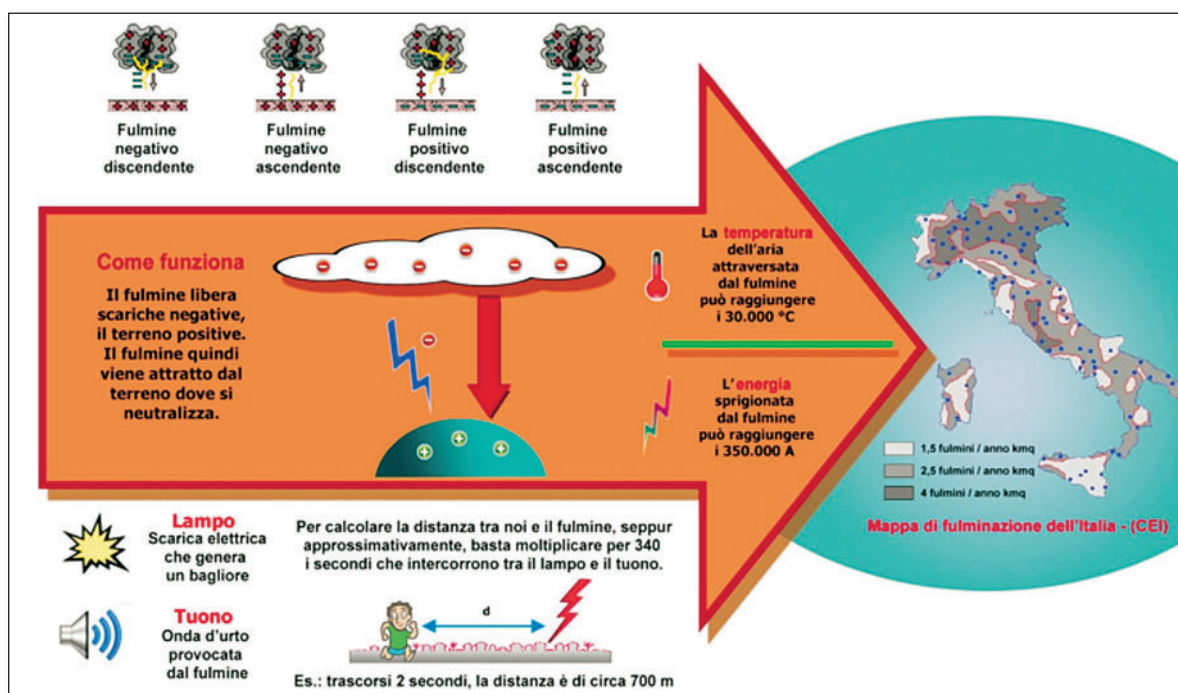
Un fulmine può provocare danni alla salute in forma diretta, se il corpo viene colpito direttamente dalla scarica, oppure indiretta, se viene colpito dalla corrente di ritorno nel terreno.

I danni più gravi sono quelli derivanti dalla fulminazione diretta, e in certi casi possono provocare la morte. Se, ad esempio, la corrente passa per il cuore può provocare un arresto cardiaco, mentre se attraversa i centri nervosi o respiratori può portare alla morte per arresto respiratorio.

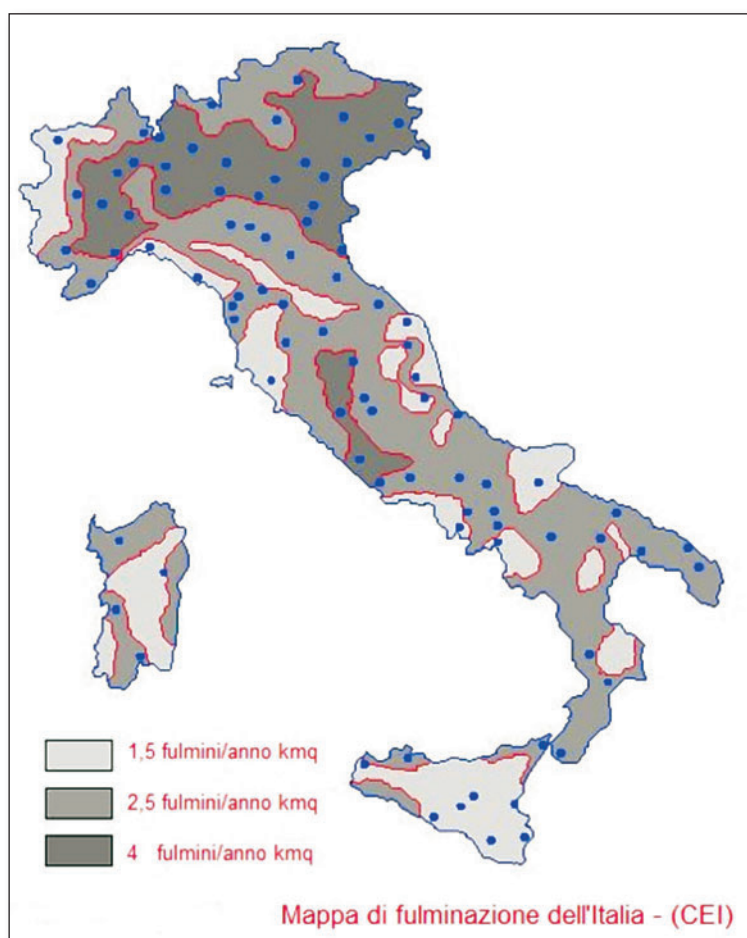
Possono causare la morte, o ferite gravi, anche le bruciature conseguenti alla fulminazione.

Altri effetti indiretti dei fulmini possono essere gli incendi e la caduta di alberi.

Danni meno gravi possono essere rappresentati da paralisi, amnesie e perdita di conoscenza per periodi compresi fra pochi minuti e alcune ore; in determinate condizioni, il bagliore del fulmine (il lampo) può causare anche disturbi alla vista e l'onda d'urto (il tuono) danni all'udito.



Come “funzionano” i fulmini



Densità di fulmini nube-terra per anno e per chilometro quadrato in Italia - (CEI)

In relazione alle conseguenze sugli oggetti colpiti da un fulmine, i fulmini *discendenti* (nube-terra) comportano una sollecitazione maggiore rispetto ai fulmini *ascendenti* (terra-nube). Alla base dei calcoli delle misure di protezione contro i fulmini vengono pertanto considerati i parametri dei fulmini *discendenti*.

A seconda del tipo, ogni fulmine è composto da uno o più fulmini parziali.

Si distinguono correnti impulsive di durata inferiore a 2 ms e correnti di lunga durata superiori a 2 ms.

Altre caratteristiche distintive dei fulmini parziali sono la polarità (negativa o positiva) e la posizione temporale nell'ambito della scarica del fulmine.

1.3 Ampiezza della corrente di fulmine (I)

Una scarica del fulmine può essere considerata come una fonte di corrente pressoché ideale.

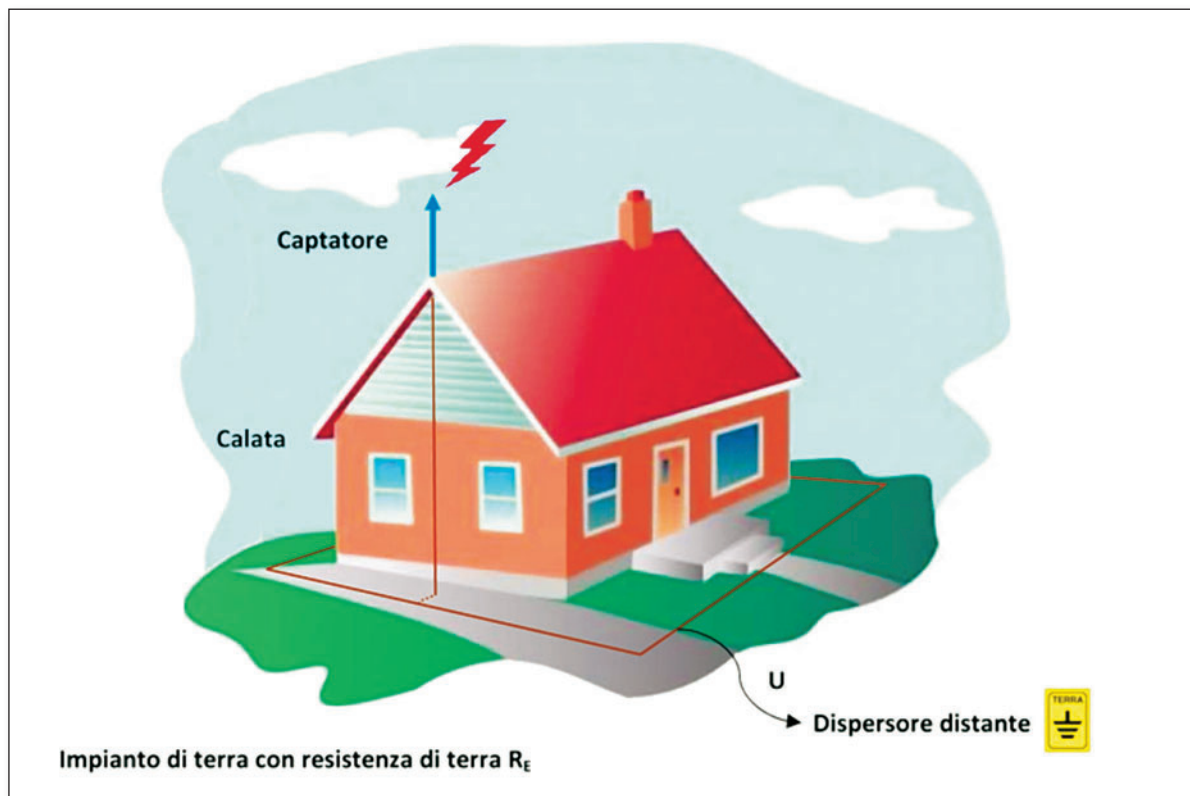
Se una corrente elettrica di questo tipo scorre attraverso parti conduttrici si avrà una caduta di tensione descritta con la legge di Ohm: $U = I \times R$.

Se una corrente si forma in un unico punto su una superficie conduttrice omogenea, si crea il cosiddetto gradiente di potenziale; se degli esseri viventi (persone o animali) si trovano all'interno del gradiente di potenziale, si forma una tensione di passo, che può avere come conseguenza una scossa elettrica pericolosa. Più la conduttività del terreno è alta, più piatto risulterà il gradiente di potenziale ed il rischio di pericolose tensioni di passo diminuisce conseguentemente.

Se il fulmine colpisce un edificio già dotato d'impianto di protezione contro i fulmini, la corrente di fulmine si scarica attraverso l'impianto di messa a terra dell'edificio e non esiste, pertanto, alcuna rischio per le persone presenti all'interno dell'edificio.

Per questo è necessario eseguire l'equipotenzializzazione di tutte le parti conduttrici che si possono toccare, presenti all'interno dell'edificio.

Se questo viene trascurato, esiste il rischio di pericolose tensioni di contatto in caso di fulminazione.



Fulmine su edificio provvisto di impianto di protezione contro i fulmini

Si segnala inoltre che l'aumento di potenziale dell'impianto di messa a terra, originato dalla corrente di fulmine, può nuocere all'isolamento dell'impianto elettrico e degli utilizzatori ad esso collegati.

Accade infatti che in caso di fulminazione il *potenziale della terra* d'esercizio non sia identico a quello dell'impianto utilizzatore installato all'interno dell'edificio.

1.4 Parametri della corrente di fulmine

Le correnti di fulmine sono costituite prevalentemente da correnti impulsive ed, eventualmente, anche da correnti di lunga durata.

Le correnti di fulmine sono normalmente correnti impresse (come se fossero generate da generatori ideali di corrente) e difficilmente sono influenzate dagli oggetti colpiti.

I parametri caratteristici sono i seguenti:

- *Valore di picco (o di cresta) I_{max}* : valore massimo raggiunto dalla corrente di fulmine in kA
- *Carica della corrente di fulmine $Q_{fulmine}$* : ($\int i \, dt$); è composta dalla carica prodotta dalla corrente impulsiva Q_{imp} e dalla carica prodotta dalla corrente di lunga durata $Q_{lungo.}$; è espressa in A.
La carica della corrente di fulmine provoca delle fusioni sui componenti del sistema di protezione contro i fulmini che vengono colpiti direttamente dal fulmine.
- *Pendenza massima*: $(di/dt)_{max}$ della corrente di fulmine; si raggiunge sul fronte della scarica e si misura in kA/ μs e determina l'altezza delle tensioni indotte elettromagneticamente
- *Energia specifica associata alla corrente di fulmine*: ($\int i^2 \, dt$); rappresenta l'energia sviluppata dalla corrente di fulmine su una resistenza di valore unitario e si misura in A^2s
Tale energia (spesso chiamata "impulso quadrato di corrente") è determinante per il riscaldamento dei conduttori attraversati dalla corrente impulsiva da fulmine, così come per l'effetto della forza esercitata sui conduttori.
Per il calcolo del riscaldamento di conduttori si parte dal presupposto che l'energia termica totale viene creata dalla resistenza ohmica dei componenti del sistema di protezione contro i fulmini.
Inoltre si presuppone che, a causa della brevità del processo, non sarà possibile alcuno scambio di calore con l'ambiente circostante.
L'energia specifica della corrente impulsiva determina così la sollecitazione che causa una deformazione reversibile o irreversibile dei componenti e del sistema di protezione.
- *Corrente massima di fulmine*: se R_E è la resistenza verso terra della struttura colpita dal fulmine, si avrà una tensione $V_{max} = R_E \times I_{max}$. Occorre comunque tenere conto anche degli effetti induttivi.
Spettro di frequenza: lo spettro della corrente di fulmine ha una banda compresa tipicamente tra 1 e 100 kHz; le armoniche possono arrivare fino a 2 MHz.

1.5 Pericolo fulmini

La fulminazione diretta, o nelle vicinanze, di strutture (o di linee connesse alle strutture) é pericolosa per le vite umane, per le strutture stesse, per il loro contenuto e per gli impianti in esse presenti.

Il *pericolo* per la struttura può consistere in:

- danni agli esseri viventi all'interno o in prossimità della struttura;
- danni alla struttura ed al suo contenuto,
- guasti dei relativi impianti elettrici ed elettronici.

Le conseguenze dei danni e dei guasti possono estendersi ai dintorni della struttura e possono, in determinati casi, interessare anche l'ambiente circostante.

Non sono noti, allo stato, dispositivi o sistemi finalizzati a modificare il naturale epilogo della fenomenologia meteorologica, al fine di prevenire la formazione dei fulmini: ciò significa che il *rischio* connesso ai fulmini non si può in alcun modo eludere.

Questo è il motivo per cui risulta essenziale l'adozione di misure di protezione contro il fulmine; se esse siano necessarie, e quali caratteristiche debbano avere (anche in termini di vantaggi economici delle misure adottate), deve essere determinato attraverso un'apposita *valutazione del rischio* che è l'argomento trattato nella presente pubblicazione.



Fulminazione diretta e indiretta

Lo stato della normativa
per gli impianti di protezione
contro i fulmini

Lo stato della normativa per gli impianti di protezione contro i fulmini

2.1 Norme per l'installazione

La prima edizione della norma CEI EN 62305 è datata aprile 2006; a seguito di numerose e articolate vicende, in sede internazionale, è stata infine pubblicata, ed è entrata in vigore il 01.03.2013, la parte 2 della seconda edizione della norma.

L'attuale edizione della norma è stata suddivisa in parti a seconda dei contenuti degli argomenti trattati, sostituendo completamente la serie di Norme CEI EN 62305:2006-04.

- **CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1) - in vigore dal 02.12.2013:**
Principi generali
 Questa parte contiene le informazioni relative al pericolo da fulmine, alle caratteristiche del fulmine e ai parametri significativi per la simulazione degli effetti prodotti dai fulmini.
- **CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) - in vigore dal 01.03.2013:**
Valutazione del rischio
 La valutazione del rischio secondo CEI EN 62305-2 si basa su un'analisi dei rischi stessi al fine di stabilire per prima cosa la necessità di una protezione contro i fulmini. Dopodiché viene stabilita la misura di protezione ottimale dal punto di vista tecnico ed economico. Infine viene determinato il rischio residuo rimanente.

Per motivi di praticità i criteri per la progettazione, l'installazione e la manutenzione delle misure di protezione contro il fulmine sono considerate in due gruppi separati:

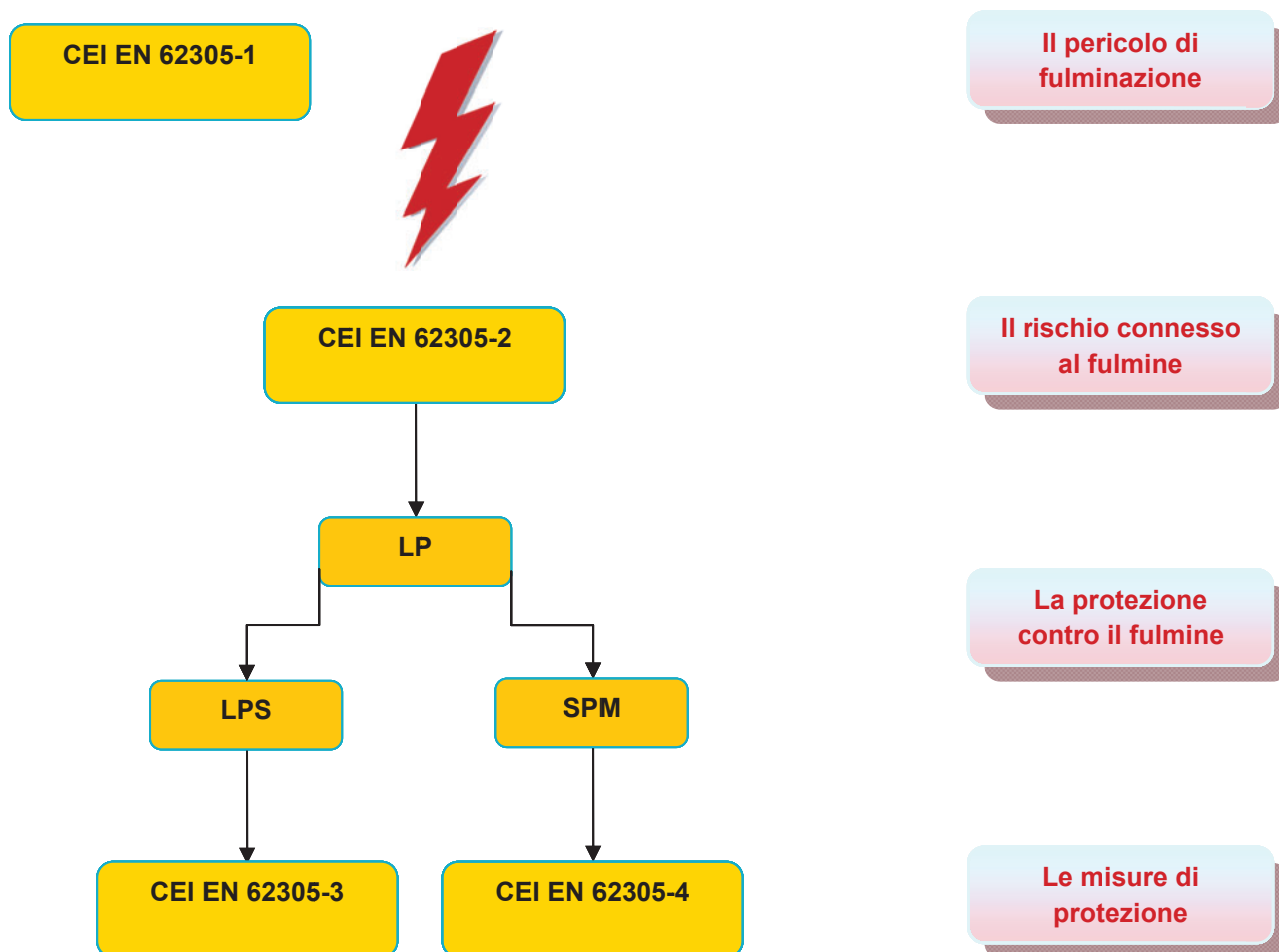
- **CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) - in vigore dal 02.12.2013:**
Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone
 Tratta la protezione di edifici e persone dai danni materiali e dal pericolo di morte, che potrebbero essere causati dall'effetto della corrente di fulmine oppure da scariche pericolose.
- **CEI EN 62305-4 (CEI 81-10/4) - in vigore dal 02.12.2013:**
Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture
 Tratta la protezione di edifici contenenti sistemi elettrici ed elettronici dagli effetti dei disturbi elettromagnetici (LEMP) prodotti dai fulmini.

Contemporaneamente alle Norme della serie CEI EN 62305 è stata pubblicata la Guida tecnica **CEI 81-2 "Guida per la verifica delle misure di protezione contro i fulmini"**.

Essa fornisce indicazioni per verificare la rispondenza alle Norme CEI EN 62305 delle misure di protezione contro i fulmini adottate a seguito della valutazione del rischio di una struttura.

La Guida è indirizzata a chi, a qualsiasi titolo, è chiamato alla verifica dei sistemi di protezione contro i fulmini.

L'interconnessione tra le parti della CEI EN 62305 è schematicamente evidenziata nello schema seguente:



2.2 Norme di prodotto

I materiali, i componenti e gli elementi dei sistemi di protezione contro i fulmini debbono essere progettati e testati per resistere alle probabili sollecitazioni elettriche, meccaniche e chimiche che potranno subire durante il loro utilizzo. Questo riguarda sia i componenti della protezione contro i fulmini *esterna* che i componenti della protezione contro i fulmini *interna*.

- **CEI EN 62561 (sette parti: 1-7):**
Componenti dei sistemi di protezione contro i fulmini (componenti di connessione, conduttori di terra e i dispersori, spinterometri, componenti di fissaggio dei conduttori, prescrizioni per la verifica di involucri di ispezione (pozzetti) e di componenti a tenuta per dispersori (passanti), prescrizioni per contatori di corrente di fulmine e prescrizioni per le miscele aventi caratteristiche avanzate per l'impianto di messa a terra).
- **CEI EN 61643-11 (CEI 37-8):**
Limitatori di sovratensione connessi a sistemi di bassa tensione - Prescrizione e prove
- **CEI EN 61643-21 (CEI 37-6):**
Dispositivi di protezione dagli impulsi collegati alle reti di telecomunicazione e di trasmissione dei segnali - Prescrizioni di prestazione e metodi di prova
- **CEI EN 50550:**
Dispositivi di protezione contro le sovratensioni a frequenza di rete per applicazioni domestiche e similari (POP)
- **prEN50539-11:**
relativa agli SPD specifici per il settore fotovoltaico

La metodologia per la valutazione dei rischi

La metodologia per la valutazione dei rischi

3.1 Necessità dell'impianto LPS (Lightning Protection System)

L'impianto di protezione contro i fulmini LPS ha il compito di proteggere edifici dalle fulminazioni dirette e, di conseguenza, da possibili incendi e comunque dalle conseguenze della corrente di fulmine.

La *valutazione del rischio* dovuto al fulmine analizza, come vedremo più avanti, un edificio con le sue caratteristiche, dimensionali e strutturali, di ubicazione, di destinazione d'uso, di compartimentazione antincendio, ecc. ed in base al tipo di impianti elettrici e di telecomunicazione presenti, o in ingresso, al carico di incendio presunto, alla presenza, o meno, di mezzi adeguati per fronteggiare o rivelare la presenza di eventuali incendi, consente di valutare se la struttura è statisticamente *autoprotetta* dai fulmini (ossia protetta in relazione alle proprie stesse caratteristiche), oppure necessita di adeguati mezzi di protezione esterni quali LPS (parafulmine, gabbia di Faraday, ecc.), SPD (limitatori di sovratensione), o accorgimenti di altra natura (mezzi di rivelazione/estinzione automatico in caso di incendi, asfaltatura del suolo, ecc.).

Quando le prescrizioni normative non contengono alcuna specificazione sui dettagli delle misure di protezione contro i fulmini, o per massima cautela, è consigliabile installare almeno un LPS (di classe III) secondo CEI EN 62305-3.

3.2 Valutazione del rischio e scelta dei componenti di protezione

Nei luoghi di lavoro, la *valutazione del rischio* di fulminazione da scariche atmosferiche, eseguita con la versione precedente della norma, deve essere rivalutata come richiesto dal d.lgs. 81/08 e s.m.i. (artt. 17, 29 e 84), essendo in vigore dal 01.03.2013 la nuova versione della norma CEI EN 62305-2.

Infatti, per gli edifici esistenti, nei quali la *valutazione del rischio* di fulminazione era già stata effettuata in base alle norme tecniche precedenti, il datore di lavoro dovrà compiere nuovamente la valutazione, in conformità alla norma CEI EN 62305-2, e se necessario dovrà individuare e realizzare le misure di protezione finalizzate a ridurre il rischio a valori non superiori a quello ritenuto tollerabile dalla norma stessa.

Una *valutazione del rischio* previdente fornisce degli elementi che permettono di prendere le decisioni opportune al fine di limitare i rischi in questione.

Le analisi dei rischi hanno come obiettivo l'oggettivazione e la quantificazione del pericolo al quale sono esposti gli edifici, e i loro contenuti, in caso di una fulminazione diretta e indiretta.

L'analisi del rischio definita nella CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2) garantisce un *progetto di protezione* contro i fulmini comprensibile per tutte le parti coinvolte (committente/datore di lavoro e valutatore) che sia ottimale sia dal punto di vista tecnico ed economico.

3.3 La norma CEI EN 62305-2 (seconda edizione)

Tale norma è applicabile alla *valutazione del rischio* dovuto a fulmini a terra.

Il suo scopo è quello di fornire la procedura per la determinazione di detto rischio; una volta che sia stato stabilito un limite superiore per il rischio tollerabile, la procedura consente la scelta di appropriate misure di protezione da adottare per ridurre il rischio al limite tollerabile o a valori inferiori.

Rispetto alla precedente edizione si segnalano alcune modifiche:

- è esclusa dallo scopo la *valutazione del rischio* relativa ai servizi connessi alla struttura;
- sono considerati i danni agli essere viventi causati da elettrocuzione all'interno della struttura;
- è ridotto da 10^{-3} a 10^{-4} il rischio tollerabile per la perdita di patrimonio culturale insostituibile;
- è considerato il danno alle strutture circostanti o all'ambiente.
- sono riportate tabelle per la stima dell'ammontare relativo della perdita in tutti i casi;
- estensione dei livelli della tensione di tenuta degli apparati fino a 1 kV.

Sono riportate equazioni più corrette per la valutazione di:

- area di raccolta relativa ai fulmini al suolo in prossimità di una struttura,
- area di raccolta relativa ai fulmini al suolo in prossimità di una linea,
- probabilità che un fulmine possa provocare danno,
- coefficienti relativi alla perdita anche nelle strutture con rischio di esplosione,
- rischio relativo ad una zona della struttura,
- ammontare della perdita.

La norma in oggetto sostituisce la CEI EN 62305-2:2006-04, pur rimanendo applicabile fino al 01.12.2013. Il rischio (R), definito come il valore della probabile perdita annua (persone o cose), dovuta al fulmine, riferito al valore totale (persone o cose) della struttura da proteggere dipende da:

- il numero annuo di fulmini che interessano la struttura;
- la probabilità che un fulmine che interessi la struttura provochi danno;
- l'ammontare medio della perdita conseguente.

In generale, il rischio per un danno da fulminazione risulta determinato, secondo la norma in questione, dalla relazione:

$$R = N \times P \times L$$

dove:

N è il numero di eventi pericolosi, P è la probabilità di danno ed L è la perdita in seguito al danno.

Il compito della *valutazione del rischio* comprende la determinazione dei tre parametri N , P e L per tutte le *componenti di rischio* rilevanti (vedi paragrafo 4.6).

Tramite un confronto tra il rischio R individuato con questo modo e il rischio accettabile R_T , possono essere determinati i requisiti, e il relativo dimensionamento, delle misure di protezione contro i fulmini.

I fulmini che interessano la struttura possono essere divisi, come anticipato, in:

- fulmini diretti sulla struttura,
- fulmini che colpiscono in prossimità della struttura, fulmini che colpiscono direttamente le linee connesse alla struttura stessa (linee di energia e di telecomunicazione) o fulmini che colpiscono in prossimità delle linee.

I fulmini che colpiscono la struttura o una linea ad essa connessa, possono causare danni materiali e pericolo per gli esseri viventi.

I fulmini che colpiscono il suolo in prossimità della struttura o della linea ed i fulmini sulla struttura o sulla linea possono causare guasti agli impianti elettrici ed elettronici dovuti alle sovratensioni derivanti dall'accoppiamento resistivo e induttivo di questi impianti con la corrente di fulmine.

Inoltre i guasti prodotti dalle sovratensioni da fulmine nelle installazioni degli utenti e nelle linee di energia possono anche generare sovratensioni di manovra nelle installazioni.

Il numero di fulmini che interessano la struttura ed il servizio dipende dalle dimensioni e dalle caratteristiche della struttura e delle linee connesse, dalle caratteristiche ambientali della struttura e delle linee, nonché dalla densità di fulmini al suolo della zona in cui la struttura e le linee sono ubicati.

La probabilità di danno dipende dalla struttura, dalle linee connesse, dalle caratteristiche delle correnti di fulmine nonché dal tipo e dall'efficienza delle misure di protezione adottate.

L'ammontare medio annuo delle perdite dipende dall'entità dei danni e dai conseguenti effetti che possono derivare dalla fulminazione.

L'effetto delle misure di protezione dipende dalla qualità di ciascuna misura di protezione e può ridurre le probabilità di danno o l'ammontare delle perdite conseguenti.

Si ribadisce che quando si desidera evitare comunque possibili rischi, la decisione di adottare misure di protezione contro il fulmine può sempre essere presa indipendentemente dal risultato di qualsivoglia *valutazione del rischio*.



3.4 Definizione dei termini, delle definizioni, dei simboli e delle abbreviazioni

Termini e definizioni

struttura da proteggere

struttura per cui è richiesta la protezione contro il fulmine in conformità alla Norma; la struttura da proteggere può essere una parte di una struttura più grande

struttura con rischio di esplosione

struttura che contiene materiali esplosivi solidi o zone pericolose come definite dalla Norma EN 60079-10-1 e EN 60079-10-2

strutture pericolose per l'ambiente

strutture che, in conseguenza di una fulminazione, possono dar luogo ad emissioni biologiche, chimiche o radioattive (come ad esempio impianti chimici, petrolchimici, nucleari, ecc.)

ambiente urbano

area con un alta densità di edifici o di abitanti e con edifici alti

ambiente suburbano

area con una densità media di edifici; la "Periferia" è un esempio di ambiente suburbano

ambiente rurale

area con una bassa densità di edifici; la "Campagna" è un esempio di ambiente rurale

tensione nominale di tenuta ad impulso U_w

tensione di tenuta ad impulso assegnata dal costruttore ad un'apparecchiatura o ad una parte di essa, per caratterizzare la capacità di tenuta del suo isolamento contro le sovratensioni [EN 60664-1:2007, definizione 3.9.2 modificata].

Per gli scopi della presente Parte della CEI EN 62305, si considera solo la tensione di tenuta fra conduttori attivi e la terra.

impianto elettrico

impianto comprendente componenti elettrici alimentati in bassa tensione

impianto elettronico

Impianto comprendente componenti elettronici sensibili quali apparati per telecomunicazioni, calcolatori, impianti di controllo e misura, impianti radio, apparati elettronici di potenza

impianti interni

impianti elettrici ed elettronici interni ad una struttura

linea

linea di energia o di telecomunicazione connessa ad una struttura per cui è richiesta la protezione

linea di telecomunicazione

linea di trasmissione usata per far comunicare fra loro apparecchiature che possono essere ubicate in strutture separate, come ad esempio una linea dati o una linea telefonica

linea di energia

linea elettrica di alimentazione delle apparecchiature elettriche ed elettroniche di impianti interni, quale, ad esempio, una linea di distribuzione di energia a bassa tensione (BT) o alta tensione (AT)

evento pericoloso

fulmine sulla o in prossimità della struttura da proteggere, sulla o in prossimità di una linea connessa alla struttura da proteggere, che può causare danno

fulmine su una struttura

fulmine che colpisce una struttura da proteggere

fulmine in prossimità di una struttura

fulmine che colpisce tanto vicino ad una struttura da proteggere da essere in grado di generare sovratensioni pericolose

fulmine su una linea

fulmine che colpisce una linea connessa alla struttura da proteggere

fulmine in prossimità di una linea

fulmine che colpisce tanto vicino ad una linea connessa alla struttura da proteggere da essere in grado di generare sovratensioni pericolose

numero di eventi pericolosi dovuti alla fulminazione diretta della struttura N_D

numero medio annuo atteso di eventi pericolosi dovuti alla fulminazione diretta della struttura

numero di eventi pericolosi dovuti alla fulminazione diretta di una linea N_L

numero medio annuo atteso di eventi pericolosi dovuti alla fulminazione diretta di una linea

numero di eventi pericolosi dovuti alla fulminazione indiretta della struttura N_M

numero medio annuo atteso di eventi pericolosi dovuti alla fulminazione indiretta della struttura

numero di eventi pericolosi dovuti alla fulminazione indiretta di una linea N_I

numero medio annuo atteso di eventi pericolosi dovuti alla fulminazione indiretta di una linea

impulso elettromagnetico del fulmine LEMP

tutti gli effetti elettromagnetici della corrente di fulmine che possono generare impulsi e campi elettromagnetici mediante accoppiamento resistivo, induttivo e capacitivo

impulso

transitorio dovuto al LEMP che si manifesta come una sovratensione e/o una sovracorrente

nodo

punto di una linea oltre il quale la propagazione di impulsi si assume trascurabile.

Esempi di nodo sono la barra di distribuzione a valle di un trasformatore AT/BT su una linea di energia, un multiplexer o un apparato xDSL su una linea di telecomunicazione. Per una linea di telecomunicazioni il "nodo" è costituito, nella maggior parte dei casi, dalla centrale di telecomunicazioni

danno materiale

danno ad una struttura (o a quanto in essa contenuto) o a un servizio causato dagli effetti meccanici, termici, chimici o esplosivi del fulmine

danni ad esseri viventi

danni, inclusa la perdita della vita, causati ad uomini o animali per elettrocuzione provocata da tensioni di contatto e di passo generate dal fulmine.

Sebbene gli esseri viventi possano subire danneggiamenti per altre cause, la dizione "danni ad esseri viventi" è riferita, in questa Parte della CEI EN 62305, solo al danno per elettrocuzione (tipo di danno D1)

guasto di un impianto elettrico o elettronico

avaria permanente di un impianto elettrico o elettronico dovuta al LEMP

probabilità di danno P_x

probabilità che un evento pericoloso possa provocare danno alla struttura da proteggere o al suo contenuto

perdita L_x

ammontare medio della perdita (uomini e beni) conseguente ad un determinato tipo di danno dovuto ad un evento pericoloso, riferito al valore complessivo (uomini e beni) della struttura da proteggere

rischio R

valore della probabile perdita media annua (uomini e beni) dovuta al fulmine, riferito al valore complessivo (uomini e beni) della struttura da proteggere

componente di rischio R_x

rischio parziale dipendente dalla sorgente e dal tipo di danno

rischio tollerabile R_T

valore massimo del rischio che può essere tollerato nella struttura da proteggere

zona di una struttura Z_s

parte di una struttura con caratteristiche omogenee, in cui può essere usato un gruppo unico di parametri per la valutazione di una componente di rischio

sezione di una linea S_L

parte di una linea con caratteristiche omogenee, in cui può essere usato un unico gruppo di parametri per la valutazione di una componente di rischio

zona di protezione LPZ

zona in cui è definito l'ambiente elettromagnetico creato dal fulmine. I confini di zona di una LPZ non sono necessariamente costituiti da elementi fisici (es.: pareti, pavimento e soffitto)

livello di protezione LPL

numero, associato ad un gruppo di valori dei parametri della corrente di fulmine, relativo alla probabilità che i correlati valori massimo e minimo di progetto non siano superati in natura.

Il livello di protezione è usato per dimensionare le misure di protezione sulla base del corrispondente gruppo di parametri della corrente di fulmine

misure di protezione

misure da adottare nella struttura da proteggere per ridurre il rischio

protezione contro il fulmine LP

sistema completo usato per la protezione contro il fulmine delle strutture, dei loro impianti interni, del loro contenuto e delle persone, costituito in generale da un LPS e dalle SPM

sistema di protezione contro il fulmine LPS

impianto completo usato per ridurre il danno materiale dovuto alla fulminazione diretta della struttura. È costituito da un impianto di protezione esterno e da un impianto di protezione interno

misure di protezione contro il LEMP - SPM

misure usate per la protezione degli impianti interni contro gli effetti del LEMP. Esse fanno parte della protezione completa contro il fulmine

schermo magnetico

schermo metallico chiuso, continuo o a maglia, che racchiude la struttura da proteggere, o una parte di essa, usato per ridurre i guasti degli impianti elettrici ed elettronici

cavo di protezione contro il fulmine

cavo speciale con isolamento incrementato il cui schermo è in continuo contatto con il suolo sia direttamente che attraverso la guaina di plastica

condotto per la protezione dei cavi contro il fulmine

condotto per cavi avente bassa resistività ed in contatto con il suolo (es.: calcestruzzo con ferri di armatura interconnessi o condotto metallico)

limitatore di sovratensione SPD

dispositivo che limita le sovratensioni e scarica le correnti impulsive; contiene almeno un componente non lineare

sistema di SPD

gruppo di SPD adeguatamente scelto, coordinato ed installato per ridurre i guasti degli impianti elettrici ed elettronici

interfacce di separazione

dispositivi atti ad attenuare gli impulsi condotti sulle linee entranti in una LPZ.

Sono compresi i trasformatori di separazione muniti di schermo connesso a terra tra gli avvolgimenti, cavi in fibra ottica privi di parti metalliche ed opto-isolatori. Le caratteristiche di tenuta di detti dispositivi sono intrinsecamente adatte allo scopo o rese tali mediante SPD

collegamento equipotenziale EB

connessione tra corpi metallici e l'LPS, mediante connessione diretta o tramite limitatore di sovratensioni, per ridurre le differenze di potenziale dovute alle correnti di fulmine

zona 0

luogo in cui è presente continuamente o per lunghi periodi o frequentemente una atmosfera esplosiva composta da una miscela di aria e sostanza infiammabile sotto forma di gas, vapore o miscela
[IEC 60050-462:2008, 426-03-03, modificata]

zona 1

luogo in cui è probabile che si verifichi occasionalmente, durante le normali operazioni, atmosfera esplosiva composta da una miscela di aria e sostanza infiammabile sotto forma di gas, vapore o miscela
[IEC 60050-462:2008, 426-03-04, modificata]

zona 2

luogo in cui, durante le normali operazioni, non è probabile che si verifichi atmosfera esplosiva composta da una miscela di aria e sostanza infiammabile sotto forma di gas, vapore o miscela ma, quando questo accade, essa persiste solo per brevi periodi.

In questa definizione, il termine "persiste" significa il periodo totale di tempo in cui esiste l'atmosfera esplosiva. Questo normalmente comprende la durata totale del rilascio più il tempo necessario all'atmosfera esplosiva per disperdersi dopo la cessazione del rilascio.

Indicazioni relative alla frequenza degli avvenimenti ed alla loro durata possono essere ottenute dai regolamenti delle specifiche industrie o applicazioni.

[IEC 60050-462:2008, 426-03-05, modificata]

zona 20

luogo in cui è presente nell'aria continuamente, o per lunghi periodi, o frequentemente, atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile
[EN 60079-10-2:2009, 6.2, modificata]

zona 21

luogo in cui è probabile si verifichi occasionalmente, durante le normali operazioni, atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile
[EN 60079-10-2:2009, 6.2, modificata]

zona 22

luogo in cui, durante le normali operazioni, non è probabile che si verifichi atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile, ma quando questo accade essa persiste solo per brevi periodi
[EN 60079-10-2:2009, 6.2, modificata]

Simboli e abbreviazioni

α	Tasso di ammortamento
A_D	Area di raccolta dei fulmini su una struttura isolata
A_{DJ}	Area di raccolta dei fulmini su una struttura adiacente
$A_{D'}$	Area di raccolta attribuita alla parte elevata del tetto
A_l	Area di raccolta dei fulmini in prossimità di una linea
A_L	Area di raccolta dei fulmini su una linea
A_M	Area di raccolta dei fulmini in prossimità di una struttura
C_D	Coefficiente di posizione
C_{DJ}	Coefficiente di posizione di una struttura adiacente
C_E	Coefficiente ambientale
C_l	Coefficiente di installazione di una linea
C_L	Costo annuo della perdita totale senza misure di protezione
C_{LD}	Coefficiente dipendente dalla schermatura, dalle condizioni di messa a terra e di separazione di una linea per fulmini sulla linea stessa
C_{LI}	Coefficiente dipendente dalla schermatura, dalle condizioni di messa a terra e di separazione di una linea per fulmini in prossimità della linea stessa
C_{LZ}	Costo della perdita in una zona
C_P	Costo delle misure di protezione
C_{PM}	Costo annuo delle misure di protezione scelte
C_{RL}	Costo annuo della perdita residua

C_{RLZ}	Costo annuo della perdita residua in una zona
C_T	Coefficiente di correzione per un trasformatore AT/BT sulla linea
c_a	Costo degli animali, in denaro
c_b	Costo della zona dell'edificio, in denaro
c_c	Costo del contenuto della zona, in denaro
c_e	Valore dei beni nei luoghi pericolosi all'esterno della struttura
c_s	Valore degli impianti interni (comprese le loro attività) nella zona, in denaro
c_t	Valore totale della struttura, in denaro
c_z	Valore del patrimonio culturale nella zona, in denaro
D_1	Danno ad esseri viventi per elettrocuzione
D_2	Danno materiale
D_3	Guasto di impianti elettrici ed elettronici
h_z	Coefficiente che incrementa le perdite in presenza di pericoli particolari
H	Altezza della struttura
H_J	Altezza della struttura adiacente
i	Tasso di interesse
K_{MS}	Coefficiente relativo all'efficacia di una misura di protezione contro il LEMP
K_{S1}	Coefficiente relativo all'efficacia dell'effetto schermante della struttura
K_{S2}	Coefficiente relativo all'efficacia di uno schermo interno alla struttura
K_{S3}	Coefficiente relativo alle caratteristiche dei circuiti interni alla struttura
K_{S4}	Coefficiente relativo alla tensione di tenuta ad impulso di un impianto interno
L	Lunghezza della struttura
L_J	Lunghezza della struttura adiacente
L_A	Perdita per danno ad esseri viventi per elettrocuzione (fulmine sulla struttura)
L_B	Perdita per danno materiale in una struttura (fulmine sulla struttura)
L_{BE}	Perdita addizionale per danno materiale all'esterno della struttura (fulmine sulla struttura)
L_{BT}	Perdita totale per danno materiale in una struttura (fulmine sulla struttura)
L_L	Lunghezza di una sezione della linea
L_C	Perdita per guasto di un impianto interno (fulmine sulla struttura)
L_F	Tipica percentuale di perdita per danni materiali in una struttura
L_{FE}	Tipica percentuale di perdita per danni materiali all'esterno della struttura
L_M	Perdita per guasto di un impianto interno (fulmine in prossimità della struttura)
L_O	Tipica percentuale di perdita per guasto di impianti interni in una struttura
L_T	Tipica percentuale di perdita per danni ad esseri viventi per elettrocuzione
L_U	Perdita per danni ad esseri viventi per elettrocuzione (fulmine sulla linea)
L_V	Perdita per danno materiale in una struttura (fulmine sulla linea)
L_{VE}	Perdita addizionale per danno materiale all'esterno della struttura (fulmine sulla linea)
L_{VT}	Perdita totale per danno materiale (fulmine sulla linea)
L_W	Perdita per guasto di un impianto interno (fulmine sulla linea)
L_X	Perdita conseguente ai danni
L_Z	Perdita per guasto di un impianto interno (fulmine in prossimità della linea)
L_1	Perdita di vite umane
L_2	Perdita di servizio pubblico
L_3	Perdita di patrimonio culturale insostituibile
L_4	Perdita economica
M	Tasso di manutenzione
N_x	Numero annuo di eventi pericolosi
N_D	Numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura
N_{DJ}	Numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura adiacente
N_G	Densità di fulmini al suolo
N_l	Numero di eventi pericolosi per fulminazione in prossimità di una linea
N_L	Numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta di una linea
N_M	Numero di eventi pericolosi per fulminazione in prossimità della struttura
n_z	Numero delle possibili persone danneggiate (vittime o utenti non serviti)
n_t	Numero totale di persone (o utenti serviti)
P	Probabilità di danno
P_A	Probabilità di danno ad esseri viventi per elettrocuzione (fulmine sulla struttura)
P_B	Probabilità di danno materiale in una struttura (fulmine sulla struttura)
P_C	Probabilità di guasto di un impianto interno (fulmine sulla struttura)
P_{EB}	Probabilità che riduce P_U e P_V dipendente dalle caratteristiche della linea e dalla tensione di tenuta degli apparati in presenza di EB

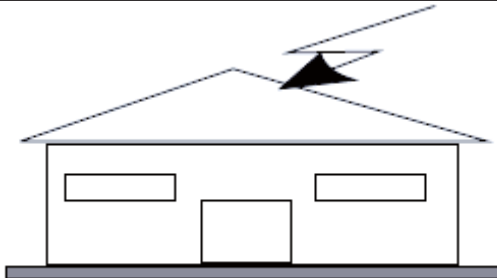
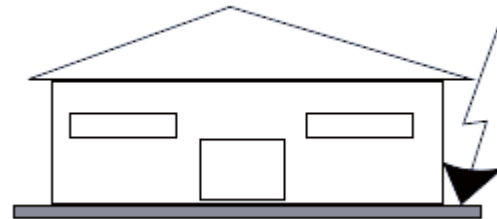

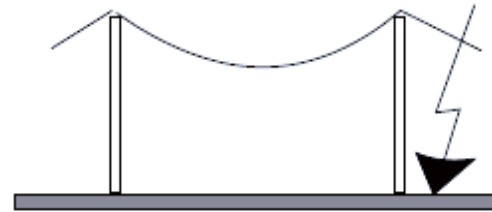
P_{LD}	Probabilità che riduce P_U , P_V e P_W dipendente dalle caratteristiche e dalla tensione di tenuta degli apparati (fulmine sulla linea connessa)
P_{LI}	Probabilità che riduce P_Z dipendente dalle caratteristiche e dalla tensione di tenuta degli apparati (fulmine in prossimità della linea)
P_M	Probabilità di guasto degli impianti interni (fulmine in prossimità della struttura)
P_{MS}	Probabilità che riduce P_M dipendente dalla schermatura, dal cablaggio e dalla tensione di tenuta degli apparati
P_{SPD}	Probabilità che riduce P_C , P_M , P_W e P_Z , quando sia installato un sistema di SPD
P_{TA}	Probabilità che riduce P_A dipendente dalle misure di protezione contro le tensioni di contatto e di passo
P_U	Probabilità di danno ad esseri viventi (fulmine sulla linea connessa)
P_V	Probabilità di danno materiale nella struttura (fulmine sulla linea connessa)
P_W	Probabilità di guasto di un impianto interno (fulmine sulla linea connessa)
P_X	Probabilità di danno nella struttura
P_Z	Probabilità di guasto degli impianti interni (fulmine in prossimità della linea connessa)
r_t	Coefficiente di riduzione associato al tipo di superficie
r_f	Coefficiente di riduzione delle perdite dipendente dal rischio di incendio
r_p	Coefficiente di riduzione delle perdite correlato alle misure antincendio
R	Rischio
R_A	Componente di rischio (danno ad esseri viventi - fulmine sulla struttura)
R_B	Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sulla struttura)
R_C	Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine sulla struttura)
R_M	Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità della struttura)
R_S	Resistenza dello schermo per unità di lunghezza del cavo
R_T	Rischio tollerabile
R_U	Componente di rischio (danno ad esseri viventi - fulmine sulla linea connessa)
R_V	Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sulla linea connessa)
R_W	Componente di rischio (danno agli impianti - fulmine sulla linea connessa)
R_X	Componente di rischio per una struttura
R_Z	Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità di una linea)
R_1	Rischio di perdita di vite umane nella struttura
R_2	Rischio di perdita di un servizio pubblico in una struttura
R_3	Rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile in una struttura
R_4	Rischio di perdita economica in una struttura
R'_4	Rischio R_4 quando siano adottate misure di protezione
S	Struttura
S_M	Risparmio annuo
S_L	Sezione di una linea
S_1	Sorgente di danno - fulmine sulla struttura
S_2	Sorgente di danno - fulmine in prossimità della struttura
S_3	Sorgente di danno - fulmine sulla linea
S_4	Sorgente di danno - fulmine in prossimità della linea
t_e	Tempo di permanenza delle persone in un luogo pericoloso all'esterno della struttura (ore/anno)
t_z	Tempo di permanenza delle persone in un luogo pericoloso (ore/anno)
T_D	Numero di giornate temporalesche per anno
U_W	Tensione nominale di tenuta ad impulso di un impianto
w_m	Lato di maglia
W	Larghezza della struttura
W_J	Larghezza della struttura adiacente
X	Pedice che identifica la componente di rischio
Z_S	Zone della struttura

3.5 Sorgenti di danno

La corrente di fulmine è la principale sorgente di danno (D).

Le sorgenti considerate sono distinte in base al punto d'impatto del fulmine (Tabella 1):

- S_1 : fulmine sulla struttura;
- S_2 : fulmine in prossimità della struttura;
- S_3 : fulmine su una linea;
- S_4 : fulmine in prossimità di una linea.

Tabella 1 - Sorgenti, tipi di danno e tipi di perdita subordinati al punto d'impatto del fulmine			Struttura	
Punto d'impatto	Esempio	Sorgente di danno	Tipo di danno	Tipo di perdita
Fulmine sulla struttura		S_1	D_1 D_2 D_3	L_1, L_4^b $L_1, L_2, L_3,$ L_4 L_1^a, L_2, L_4
Fulmine in prossimità della struttura		S_2	D_3	L_1^a, L_2, L_4
Fulmine su un servizio entrante		S_3	D_1 D_2 D_3	L_1, L_4^b $L_1, L_2, L_3,$ L_4 L_1^a, L_2, L_4
Fulmine in prossimità di un servizio entrante		S_4	D_3	L_1^a, L_2, L_4

^a Solo nel caso di strutture con rischio di esplosione, di ospedali o strutture in cui guasti di impianti interni provocano immediato pericolo per la vita umana.

^b Nel caso di strutture ad uso agricolo (perdita di animali).

3.6 Tipo di danno

Un fulmine può causare danni in rapporto alle caratteristiche della struttura da proteggere.

Alcune delle più importanti caratteristiche sono: il tipo di costruzione, il contenuto e attività, il tipo del servizio e le misure di protezione adottate.

Nelle applicazioni pratiche della determinazione del rischio si distingue tra le tre tipologie principali di danno che possono manifestarsi come conseguenza di una fulminazione.

Esse sono le seguenti (Tabella 1):

- D_1 : danno ad esseri viventi per elettrocuzione;
- D_2 : danno materiale;
- D_3 : guasto di impianti elettrici ed elettronici.

Il danno ad una struttura dovuto al fulmine può essere limitato ad una parte della stessa o estendersi all'intera struttura; esso può anche interessare le strutture vicine o l'ambiente (per esempio emissioni chimiche o radioattive).

3.7 Tipo di perdita

Ciascun tipo di danno, separatamente o in combinazione con altri, può produrre diverse perdite nella struttura da proteggere.

Il tipo di perdita che può verificarsi dipende dalle caratteristiche dell'oggetto stesso ed al suo contenuto.

Debbono essere presi in considerazione i seguenti tipi di perdita (Tabella 1):

- L_1 : perdita di vite umane (inclusi danni permanenti);
- L_2 : perdita di servizio pubblico;
- L_3 : perdita di patrimonio culturale insostituibile;
- L_4 : perdita economica (struttura, contenuto e perdita di attività).

3.8 Rischio e sue componenti

Il rischio (R) è la misura della probabile perdita media annua.

Per ciascun tipo di perdita che può verificarsi in una struttura deve essere valutato il relativo rischio.

I rischi da valutare in una struttura possono essere:

- R_1 : rischio di perdita di vite umane (inclusi danni permanenti);
- R_2 : rischio di perdita di servizio pubblico;
- R_3 : rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile;
- R_4 : rischio di perdita economica.

Per valutare i rischi R debbono essere definite e calcolate le relative *componenti di rischio* che rappresentano i *rischi parziali* dipendenti dalla sorgente e dal tipo di danno; ciascun rischio R è quindi la somma delle sue componenti di rischio.

Nell'effettuare la somma, le componenti di rischio possono essere raggruppate secondo la sorgente ed il tipo di danno.

3.9 Componenti di rischio dovute a 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 tre metri attorno alle calate.
Possono verificarsi perdite di tipo L_1 e, in strutture ad uso agricolo, anche di tipo L_4 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 (L_1 , L_2 , L_3 ed L_4);
- ✚ R_C : componente relativa al guasto di impianti interni causata dal LEMP.
In tutti i casi possono verificarsi perdite di tipo L_2 ed L_4 , unitamente al tipo L_1 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.

3.10 Componente di rischio dovute 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 L_2 ed L_4 , unitamente al tipo L_1 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.

3.11 Componenti di rischio dovute a fulminazione diretta di una linea connessa alla struttura

- ✚ 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 L_1 e, in caso di strutture ad uso agricolo, anche perdite di tipo L_4 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 (L_1 , L_2 , L_3 ed L_4).
 - ✚ 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 L_2 ed L_4 , unitamente al tipo L_1 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.
- Nota 1 - Le linee da considerare in questa valutazione sono solo le linee entranti nella struttura.
 - Nota 2 - 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 dovrebbe essere considerato anche questo pericolo.

3.12 Componente di rischio dovute a fulminazione in prossimità di una linea connessa alla struttura

- ✚ 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 L_2 ed L_4 , unitamente al tipo L_1 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.
- Nota 1 - Le linee da considerare in questa valutazione sono solo le linee entranti nella struttura.
 - Nota 2 - 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 dovrebbe essere considerato anche questo pericolo.

3.13 Composizione delle diverse componenti di rischio

Le componenti di rischio da considerare per ciascun tipo di perdita in una struttura sono:

R_1 : rischio di perdita di vita umane:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1^{(1)}} + R_{M1^{(1)}} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1^{(1)}} + R_{Z1^{(1)}}$$

- (1) Solo nel caso di strutture con rischio di esplosione e di ospedali con apparati elettrici salva vita o di altre strutture in cui guasti di impianti interni provocano immediato pericolo per la vita umana.

R_2 : rischio di perdita di servizio pubblico:

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2}$$

R_3 : rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile:

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3}$$

R_4 : rischio di perdita economica:

$$R_4 = R_{A4^{(2)}} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4^{(2)}} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4}$$

- (2) Solo in strutture in cui si può verificare la perdita di animali

Le componenti di rischio corrispondenti a ciascun tipo di perdita sono correlati nella Tabella 2.

Tabella 2 - Componenti di rischio da considerare per ciascun tipo di perdita in una struttura

Sorgente di danno	Fulminazione diretta della struttura S_1			Fulminazione in prossimità della struttura S_2	Fulminazione diretta di una linea entrante S_3			Fulminazione in prossimità di una linea entrante S_4
Componente di rischio	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
R_1	x	x	x (a)	x (a)	x	x	x (a)	x (a)
R_2		x	x	x		x	x	x
R_3		x				x		
R_4	x (b)	x	x	x	x (b)	x	x	x

(a) Solo nel caso di strutture con rischio di esplosione, di ospedali o di altre strutture, in cui guasti di impianti interni provocano immediato pericolo per la vita umana.
(b) Solo in strutture in cui si può verificare la perdita di animali.

Le caratteristiche della struttura e delle possibili misure di protezione che influenzano le componenti di rischio per una struttura sono riportate in Tabella 3.

Tabella 3 - 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	x	x	x	x	x	x	x	x
Resistività superficiale del suolo	x							
Resistività della pavimentazione	x				x			
Barriere, isolamento, cartelli monitori, equipotenzializzazione suolo	x				x			
LPS (sistema di protezione contro il fulmine)	x	x	x	x (a)	x (b)	x (b)		
Equipotenzializzazione con SPD	x	x			x	x		
Interfacce di separazione			x (c)	x (c)	x	x	x	x
Sistema di SPD (limitatore di sovratensione)			x	x			x	x
Schermatura locale			x	x				
Schermatura delle linee esterne					x	x	x	x
Schermatura delle linee interne			x	x				
Cablaggio degli impianti interni			x	x				
Rete di equipotenzialità			x					
Misure antincendio		x				x		
Rischio d'incendio		x				x		
Pericoli particolari		x				x		
Tensione di tenuta ad impulso			x	x	x	x	x	x

(a) Solo per LPS esterni a maglia.
(b) Dovuto alla presenza di connessioni equipotenziali.
(c) Solo se esse appartengono all'apparato.

La gestione del rischio

La gestione del rischio

4.1 Approccio valutativo

Secondo la nuova edizione della Norma CEI EN 62305-2 si applica la seguente procedura:

- identificazione della struttura da proteggere e delle sue caratteristiche;
- identificazione di tutti i tipi di perdita nella struttura e dei corrispondenti rischi R (R_1 , R_2 , R_3 ed R_4);
- determinazione del rischio R per ciascun tipo di perdita (R_1 , R_2 , R_3 ed R_4);
- valutazione della necessità della protezione effettuando il confronto tra i rischi R_1 , R_2 ed R_3 con il rischio tollerabile R_T ;
- valutazione della convenienza economica della protezione effettuando il confronto tra il costo totale della perdita con e senza le misure di protezione. In questo caso deve essere effettuata la valutazione della componente di rischio R_4 al fine di determinare detti costi (*Allegato D della norma*).

4.2 Struttura da considerare per la valutazione del rischio

La struttura da considerare che, come vedremo, può anche essere suddivisa in più zone, comprende:

- la struttura stessa;
- gli impianti nella struttura;
- il contenuto della struttura;
- le persone nella struttura e quelle nella fascia fino a 3 m all'esterno della struttura;
- l'ambiente circostante interessato da un danno alla struttura.

La protezione non comprende le linee esterne connesse alla struttura.

4.3 Rischio tollerabile R_T

L'identificazione dei valori di rischio tollerabili è responsabilità delle *autorità competenti*.

I valori rappresentativi del rischio tollerabile R_T , quando il fulmine coinvolge la perdita di vite umane o perdite sociali o culturali, sono riportati nella Tabella 4.

Per quanto riguarda la perdita economica (L_4), in linea di principio l'approccio è quello che prevede il confronto costi/benefici riportato nell'Allegato D della norma.

Tabella 4 - Tipici valori di rischio tollerabile R_T

Tipi di perdita		R_T
L_1	perdita di vite umane (lesione o morte di persone)	10^{-5} /anno
L_2	perdita di servizio pubblico	10^{-3} /anno
L_3	perdita di patrimonio culturale insostituibile	10^{-3} /anno

4.4 Procedura per valutare la necessità della protezione

In conformità con la CEI EN 62305-1, nella valutazione della necessità della protezione contro il fulmine debbono essere considerati i rischi R_1 , R_2 ed R_3 .

Per ciascun rischio considerato debbono essere effettuati i seguenti passi:

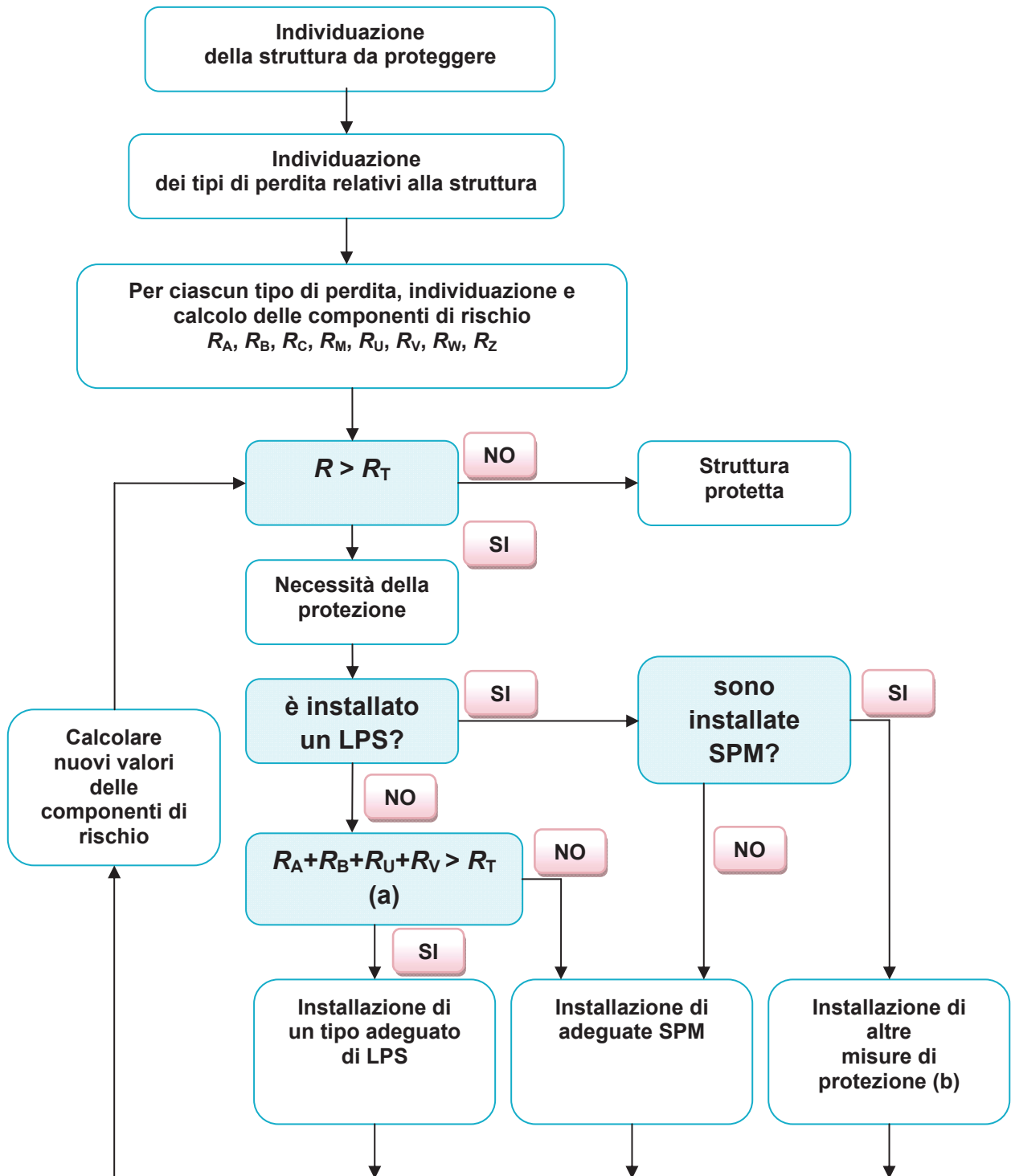
- identificazione delle componenti R_x che contribuiscono al rischio;
- calcolo della componente di rischio identificata R_x ;
- calcolo del rischio totale R ;
- identificazione del rischio tollerabile R_T ;
- confronto del rischio R con quello tollerabile R_T .



Se $R \leq R_T$ la protezione contro il fulmine non è necessaria.



Se $R > R_T$ debbono essere adottate misure di protezione al fine di rendere $R \leq R_T$ per tutti i rischi a cui è interessata la struttura.



Legenda

SPM sono le misure usate per la protezione degli impianti interni contro gli effetti del LEMP (impulso elettromagnetico del fulmine); fanno parte della protezione completa contro il fulmine.

- a) Se $R_A + R_B < R_T$ non è necessario un LPS completo, essendo sufficienti SPD conformi alla CEI EN 62305-3
- b) Vedi Tabella 3

Figura 1 - Procedura per la valutazione della necessità o meno della protezione e per la scelta delle misure di protezione

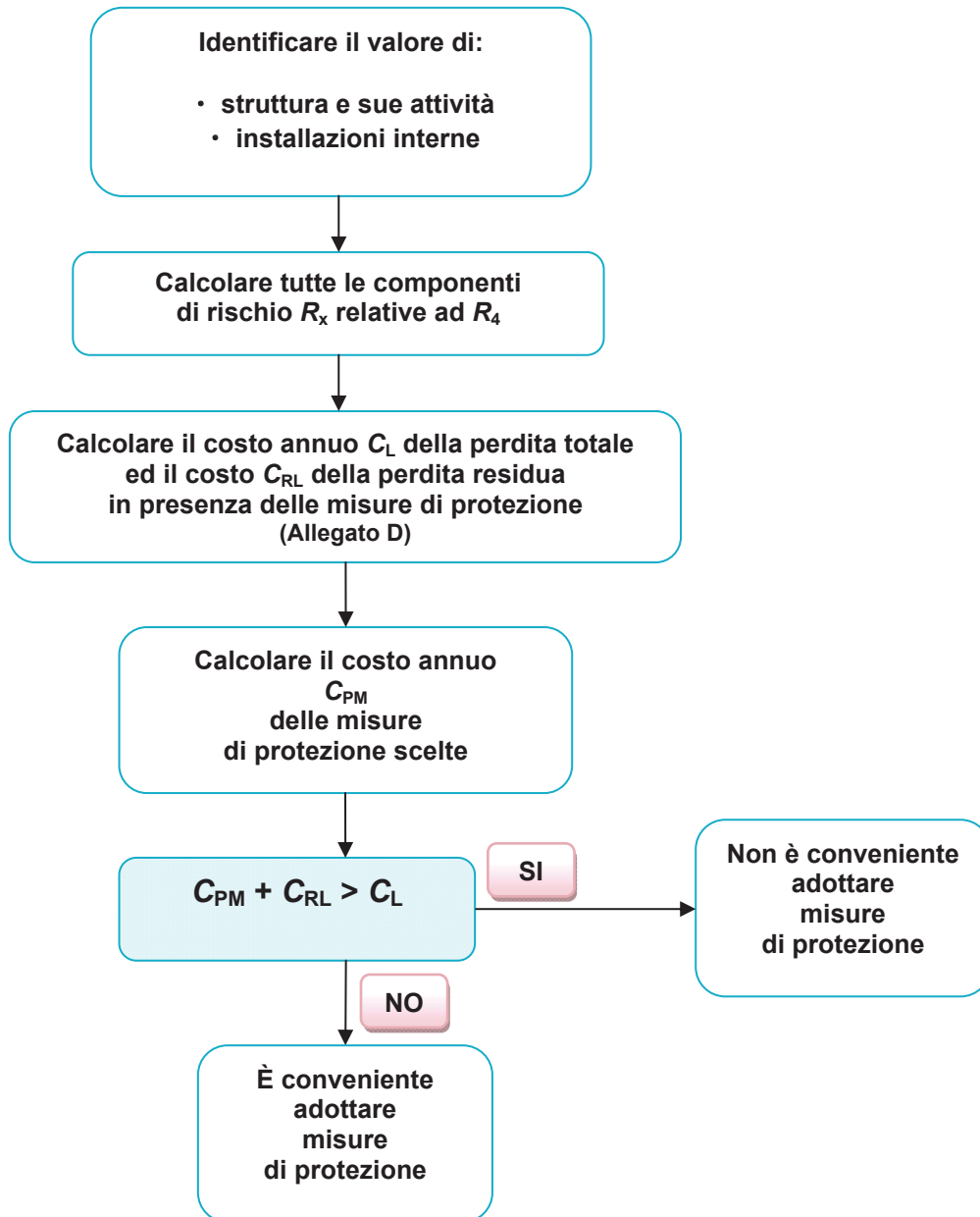


Figura 2 - Procedura per valutare la convenienza economica delle misure di protezione

4.5 Misure di protezione

Le misure di protezione sono finalizzate a ridurre il rischio secondo il tipo di danno.

Le misure di protezione debbono essere considerate efficaci solo se esse sono conformi alle prescrizioni delle relative norme:

- CEI EN 62305-3 per la protezione contro i danni agli esseri viventi e i danni materiali nella struttura;
- CEI EN 62305-4 per la protezione contro i guasti negli impianti elettrici ed elettronici.

La scelta delle misure di protezione più adatte deve essere effettuata dal progettista in funzione del peso di ciascuna componente di rischio nel rischio totale R ed in funzione degli aspetti tecnici ed economici delle diverse misure di protezione.

Debbono essere identificati i parametri critici al fine di determinare la misura di protezione più efficace per la riduzione del rischio R .

Per ciascun tipo di perdita vi è una varietà di misure di protezione che, singolarmente o in combinazione tra loro, possono realizzare la condizione $R \leq R_T$.

La soluzione da adottare deve essere scelta tenendo conto degli aspetti tecnici ed economici.

Una procedura semplificata per la scelta delle misure di protezione è illustrata nel diagramma di flusso riportato in Figura 1.

In ogni caso, l'installatore o il progettista dovrebbe identificare le componenti di rischio più critiche e ridurle tenendo in debita considerazione anche gli aspetti economici.

4.6 Le componenti di rischio

Ciascuna componente di rischio R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W ed R_Z , può essere calcolata mediante la seguente equazione generale:

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X$$

dove:

- N_X è il numero di eventi pericolosi per anno (vedi Allegato A della Norma);
- P_X è la probabilità di danno alla struttura (vedi Allegato B della Norma);
- L_X è la perdita conseguente (vedi Allegato C della Norma).

Il numero N_X di eventi pericolosi dipende dalla densità di fulmini al suolo (N_G) e dalle caratteristiche geometriche della struttura da proteggere, dai suoi dintorni, dalle linee connesse e dal suolo.

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

La perdita conseguente L_X dipende dall'uso a cui la struttura è destinata, la presenza di persone, il tipo di servizio pubblico, il 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 (ad esempio emissioni chimiche o radioattive), le perdite conseguenti dovrebbero essere sommate al valore di L_X .

4.7 Componenti di rischio dovute al fulmine sulla struttura (S_1)

Per la valutazione delle componenti di rischio relative alla fulminazione diretta della struttura si applicano le relazioni seguenti:

- componente relativa al danno ad esseri viventi per elettrocuzione (D_1): $R_A = N_D \times P_A \times L_A$
- componente relativa al danno materiale (D_2): $R_B = N_D \times P_B \times L_B$
- componente relativa ai guasti degli impianti interni (D_3): $R_C = N_D \times P_C \times L_C$

I parametri necessari alla determinazione delle componenti di rischio sono riportati nella Tabella 5.

4.8 Componenti di rischio dovute al fulmine in prossimità della struttura (S_2)

Per la valutazione delle componenti di rischio relative alle fulminazioni in prossimità della struttura si applica la relazione seguente:

- componente relativa ai guasti negli impianti interni (D_3): $R_M = N_M \times P_M \times L_M$

I parametri necessari alla determinazione delle componenti di rischio sono riportati nella Tabella 5.

4.9 Componenti di rischio dovute a fulmini su una linea connessa alla struttura (S_3)

Per la valutazione delle componenti di rischio relative a fulmini su una linea entrante si applicano le relazioni seguenti:

- componente relativa al danno ad esseri viventi per elettrocuzione (D_1): $R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$
- componente relativa al danno materiale (D_2): $R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$
- componente relativa ai guasti degli impianti interni (D_3): $R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W$

I parametri necessari alla determinazione delle componenti di rischio sono riportati nella Tabella 5.

Se la linea è costituita da più di una sezione (vedi paragrafo 4.16), i valori di R_U , R_V e R_W sono dati dalla somma dei valori di R_U , R_V e R_W relativi a ciascuna sezione di linea.

Le sezioni da considerare sono quelle comprese tra la struttura ed il primo nodo.

Nel caso di una struttura con più linee connesse con percorsi diversi il calcolo deve essere effettuato per ciascuna linea.

Nel caso di una struttura con più linee connesse con lo stesso percorso il calcolo deve essere effettuato solo per la linea con le peggiori caratteristiche cioè la linea caratterizzata dai più elevati valori di N_L ed N_i connessa all'impianto interno avente il minor valore di U_W (linea di telecomunicazione invece di linea di energia, linea priva di schermo invece di linea schermata, linea BT invece di linea AT con trasformatore AT/BT, ecc.).

Nel caso di sovrapposizione tra le aree di raccolta delle linee, l'area di raccolta sovrapposta dovrebbe essere considerata solo una volta.

4.10 Componenti di rischio dovute a fulmini in prossimità di una linea connessa alla struttura (S_4)

Per la valutazione delle componenti di rischio relative a fulmini in prossimità di una linea connessa ad una struttura si applica la relazione seguente:

- componente relativa ai guasti negli impianti interni (D_3): $R_Z = (N_L + N_{DJ}) \times P_Z \times L_Z$

Se la linea è costituita da più di una sezione (vedi paragrafo 4.16), il valore di R_Z è dato dalla somma dei valori di R_Z relativi a ciascuna sezione di linea.

Le sezioni da considerare sono quelle comprese tra la struttura ed il primo nodo.

Nel caso di una struttura con più linee connesse con percorsi diversi, il calcolo deve essere effettuato per ciascuna linea.

Nel caso di una struttura con più linee connesse con lo stesso percorso, il calcolo deve essere effettuato solo per la linea con le peggiori caratteristiche, cioè la linea caratterizzata dai valori di N_L ed N_i più elevati connessa all'impianto interno avente il minor valore di U_W (linea di telecomunicazione invece di linea di energia, linea priva di schermo invece di linea schermata, linea BT invece di linea AT con trasformatore AT/BT, ecc.).

4.11 Probabilità di danno

La probabilità (P) che un fulmine provochi danni nella struttura considerata dipende da vari fattori:

- le caratteristiche della struttura;
- la resistività superficiale del suolo all'esterno della struttura e dei pavimenti all'interno della struttura;
- il contenuto all'interno della struttura;
- le caratteristiche degli impianti elettrici e di segnale presenti nella struttura;
- le misure di protezioni esistenti o adottate.

Di conseguenza, la probabilità di danno è determinata dal prodotto delle probabilità relative a tutte le misure di protezione esistenti e adottate.

Tra le diverse novità apportate nell'attuale edizione della norma, si segnala la possibilità di considerare $P = 0$ (probabilità di danno zero) e di trascurare quindi le relative componenti di rischio, per le linee elettriche, entranti nella struttura, che sono posate in tubi o canali metallici chiusi e continui collegati allo stesso nodo di terra delle apparecchiature, oppure sono "separate" da un'interfaccia isolante.

A tale scopo sono considerate interfacce isolanti: i trasformatori di separazione con schermo metallico tra gli avvolgimenti, collegato a terra, gli accoppiatori optoelettronici e i cavi di fibra ottica senza elementi metallici.

L'introduzione delle interfacce isolanti, come misura di protezione, offre al progettista una possibilità in più per ridurre il rischio, senza dovere adottare costose misure di protezione (LPS).

4.12 Valori di danno

L'entità media dei valori di danno (L) è funzione di molti elementi, tra cui:

- il tipo di perdita considerata (perdita di vite umane, perdita di servizi pubblici, perdita di patrimonio culturale, perdita economica);
- la destinazione d'uso della struttura;
- la presenza e i tempi di permanenza delle persone;
- il valore economico della struttura, del suo contenuto e delle attività svolte all'interno della stessa;
- le misure di protezione adottate per limitare il danno;
- i particolari fattori che possono amplificare il danno.

Si distinguono:

- ✚ L_T è la perdita dovuta alle tensioni di contatto e di passo;
- ✚ L_F è la perdita dovuta a danno materiale;
- ✚ L_O è la perdita dovuta ai guasti degli impianti interni.

I valori di danno sono definiti in maniera univoca ottenendosi, per convenzione, moltiplicando i valori della *Tabella C* per i coefficienti di incremento o riduzione del rischio, secondo il tipo di perdita considerata.

Se la struttura viene suddivisa in zone, è possibile ripartire il valore di danno così calcolato con un'ulteriore moltiplicazione che tenga conto per la zona considerata:

- ✓ per il rischio R_1 , del numero di persone presenti nella zona e del loro tempo di permanenza, rispetto a quelle presenti nella struttura su base annua;
- ✓ per il rischio R_2 , del numero di utenti non serviti a causa del danno nella zona, rispetto al numero totale di utenti serviti dalla struttura;
- ✓ per il rischio R_3 , del valore dei beni culturali presenti nella zona, rispetto al valore totale della struttura e del suo contenuto;
- ✓ per il rischio R_4 , del valore dei beni ottenuti nella zona, rispetto al valore totale della struttura e del suo contenuto.

Quando il danno alla struttura si può estendere anche alle strutture circostanti o all'ambiente, ad esempio a causa di emissioni pericolose chimiche o radioattive, non è più necessario dotare la struttura di misure di protezione di primo livello a prescindere dal risultato dell'analisi del rischio, come richiedeva la variante V1 del 2008 alla prima edizione della norma, ma occorre valutare tali danni come indicato nell'edizione attuale e quindi aggiungerli ai valori di danno sopra definiti.

4.13 Pericolo di esplosione

Secondo la nuova edizione della norma, ai fini della protezione contro il fulmine, il pericolo di esplosione va considerato non più solamente in presenza di luoghi di classe 0 oppure di zone 0, 20, ma anche in presenza di zone 1, 21, 2, 22.

La conseguenza immediata di tale estensione è quella di aumentare il numero di strutture classificabili "con rischio di esplosione" rendendone più complessa la *valutazione del rischio* e più critica la loro protezione.

Infatti, considerare il pericolosi esplosione, comporta:

- la necessità di valutare ai fini della perdita di vite umane anche le componenti R_C , R_M , R_W , R_Z ;
- un aumento dei valori di danno a prescindere dalla destinazione d'uso della struttura;
- una rimodulazione dei coefficienti di incremento/riduzione del rischio r_f e r_p , (*Tabella C.5 della norma 62305-2*).

Questi tre effetti, combinati tra loro, fanno sì che, se il pericolo di esplosione non viene opportunamente *circoscritto*, almeno laddove possibile, ad esempio tramite un'adeguata suddivisione in zone della struttura e/o con l'adozione di misure di protezione specifiche, occorre adottare misure di protezione costose per l'intera struttura.

La norma non considera con pericolo di esplosione le strutture in cui è soddisfatta almeno una delle seguenti condizioni:

- il tempo di permanenza della miscela esplosiva è inferiore a 0,1 h/anno;
- il volume di atmosfera esplosiva è trascurabile (*Guide CEI 31-35 e CEI 31-56*);
- la zona in cui c'è la miscela esplosiva non può essere colpita direttamente dal fulmine e sono evitate scariche pericolose.

Le prime due condizioni sono inutili, poiché corrispondono all'assenza di zone con pericolo di esplosione.

La terza condizione non è di facile applicazione; tale condizione è infatti senza dubbio soddisfatta se la struttura è dotata di un LPS conforme alla norma 62305-3, ma non è chiaro se, ad esempio, la sola presenza di strutture portanti metalliche degli edifici o di ferri d'armatura del cemento armato, ancorché non interconnessi, siano sufficienti per considerare il luogo senza pericolo di esplosione.

Spesso le zone con pericolo di esplosione sono presenti all'interno di contenitori metallici chiusi.

In tal caso il pericolo di esplosione può essere trascurato, se i contenitori metallici hanno un adeguato spessore e le eventuali linee elettriche entranti sono protette contro le sovratensioni.

Lo spessore è considerato adeguato se non può essere perforato (*Tabella 3 della norma 62305-3*) e inoltre garantisce, sulla superficie interna, qualora all'interno sia presente un'atmosfera esplosiva, cioè entro i limiti di esplosione, una temperatura superficiale inferiore alla temperatura di accensione dell'atmosfera esplosiva stessa.

La norma indica anche la temperatura raggiunta dalla superficie interna del contenitore in relazione al livello di protezione contro il fulmine considerato (LPL), al tipo di materiale e relativo spessore utilizzati (*Allegato F della norma 62305-3*.)

Nel caso in cui la temperatura raggiunta dalla parete interna non sia adeguata per evitare l'esplosione, occorre inserire il contenitore all'interno di un volume protetto (nel senso suindicato) dalla fulminazione diretta.

Tabella 5 - Parametri relativi alla valutazione delle componenti di rischio

Simbolo	Denominazione	Valore secondo l'articolo della Norma
Numero annuo medio di eventi pericolosi dovuti al fulmine		
N_D	Sulla struttura	A.2
N_M	In prossimità della struttura	A.3
N_L	Sulla linea entrante nella struttura	A.4
N_I	In prossimità della linea entrante nella struttura	A.5
N_{DJ}	Sulla struttura adiacente (Figura A.5)	A.2
Probabilità che un fulmine sulla struttura sia causa di		
P_A	Danno ad esseri viventi	B.2
P_B	Danni materiali	B.3
P_C	Guasti negli impianti interni	B.4
Probabilità che un fulmine in prossimità della struttura sia causa di		
P_M	Guasti negli impianti interni	B.5
Probabilità che un fulmine su una linea sia causa di		
P_U	Danno ad esseri viventi per elettrocuzione	B.6
P_V	Danni materiali	B.7
P_W	Guasti negli impianti interni	B.8
Probabilità che un fulmine in prossimità di una linea sia causa di		
P_Z	Guasti negli impianti interni	B.9
Perdita dovuta a		
$L_A = L_U$	Danno ad esseri viventi	C.3
$L_B = L_V$	Danni materiali	C.3 C.4 C.5 C.6
$L_C = L_M = L_W = L_Z$	Guasti negli impianti interni	C.3 C.4 C.6

La *struttura adiacente* è la struttura all'estremità lontana di una linea.

Riassuntivamente sono considerati eventi pericolosi per la struttura da proteggere:

- ⚡ i fulmini sulla struttura isolata $\longrightarrow N_D ; A_D ; S_1 (D_1, D_2, D_3);$
- ⚡ i fulmini al suolo in prossimità della struttura $\longrightarrow N_M ; A_M ; S_2 (D_3);$
- ⚡ i fulmini su una linea entrante nella struttura $\longrightarrow N_L ; A_L ; S_3 (D_1, D_2, D_3);$
- ⚡ i fulmini in prossimità di una linea entrante nella struttura $\longrightarrow N_I ; A_I ; S_4 (D_3);$
- ⚡ i fulmini su un'altra struttura (adiacente) a cui è connessa la linea $\longrightarrow N_{DJ} ; A_{DJ} ; S_3 (D_1, D_2, D_3);$

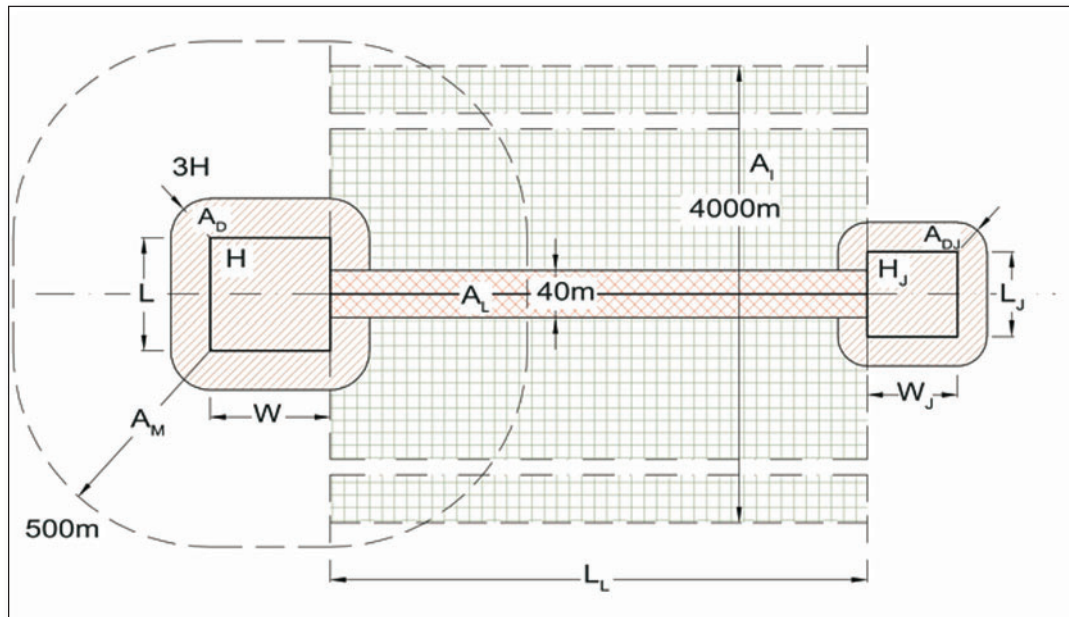


Figura A.5 - Aree di raccolta (A_D, A_M, A_I, A_L)

4.14 Sintesi delle componenti di rischio per una struttura

In funzione dei diversi tipi di danno (D) e delle diverse sorgenti di danno (S) si ha, in sintesi:

Sorgente di Danno (S_i)	Fulminazione (riferita alla struttura)			
	Diretta	Indiretta		
	S_1 Fulminazione diretta sulla struttura	S_2 Fulminazione in prossimità della struttura	S_3 Fulminazione diretta sul servizio entrante	S_4 Fulminazione in prossimità del servizio entrante
D_1 Shock elettrico di esseri viventi	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$		$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$	
D_2 Incendio, esplosione, effetti meccanici e chimici	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$		$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$	
D_3 Guasti di sistemi elettrici ed elettronici	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$	$R_M = N_M \times P_M \times L_C$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W$	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$

Se la struttura è suddivisa in zone Z_S , ciascuna componente di rischio deve essere valutata per ciascuna zona Z_S .

Il rischio totale R della struttura è la somma delle componenti di rischio relative alle zone Z_S che costituiscono la struttura.

4.15 Suddivisione di una struttura in zone Z_S

Per valutare ciascuna componente di rischio, una struttura può essere suddivisa in zone Z_S aventi caratteristiche omogenee. Tuttavia una struttura può essere, o può essere considerata, una singola zona.

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.

4.16 Suddivisione di una linea in sezioni S_L

Nella valutazione delle componenti di rischio dovute a fulmini su una linea o nelle sue vicinanze, la linea può essere suddivisa in sezioni S_L .

Tuttavia una linea può essere, od essere assunta, come un'unica sezione.

Per tutte le componenti di rischio le sezioni S_L sono principalmente definite da:

- tipo di linea (aerea o interrata),
- fattori che influenzano l'area di raccolta (C_D , C_E , C_T),
- caratteristiche della linea (schermata o meno, resistenza dello schermo).

Quando in una sezione esistono più valori per un parametro, deve essere assunto il valore che dà luogo al valore di rischio più elevato.

4.17 Determinazione delle componenti di rischio in una struttura suddivisa in zone Z_S

Le regole per la valutazione delle componenti di rischio e per la scelta dei relativi parametri sono le seguenti:

- i parametri relativi al numero N di eventi pericolosi debbono essere determinati in accordo con l'Allegato A;
- i parametri relativi alla probabilità P di danno debbono essere determinati in accordo con l'Allegato B.

Inoltre:

- per le componenti R_A , R_B , R_U , R_V , R_W , e R_Z , deve essere fissato un solo valore per ciascun parametro implicato. Quando sia applicabile più di un valore deve essere scelto quello più elevato;
- per le componenti R_C , e R_M , se nella zona risulta interessato più di un impianto interno, i valori di P_C e P_M sono dati da:

$$\begin{aligned} \circ P_C &= 1 - (1 - P_{C1}) \cdot (1 - P_{C2}) \cdot (1 - P_{C3}) \\ \circ P_M &= 1 - (1 - P_{M1}) \cdot (1 - P_{M2}) \cdot (1 - P_{M3}) \end{aligned}$$

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

- i parametri relativi all'ammontare L della perdita deve essere determinato secondo l'Allegato C.

Con l'eccezione di P_C e P_M , se in una zona esiste più di un valore per tutti gli altri parametri, deve essere assunto il valore del parametro che dà luogo al valore di rischio più elevato.

4.18 Struttura con zona singola

In questo caso è definita un'unica zona Z_S che comprende l'intera struttura. Il rischio R è la somma delle componenti di rischio R_X in questa zona.

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

4.19 Struttura multizona

In questo caso 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 stessa; in ogni zona il rischio è la somma di tutte le componenti di rischio nella zona considerata.

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

4.20 Analisi costi/benefici per le perdite economiche (L_4)

Che sia stata o meno accertata la necessità di una protezione per ridurre i rischi R_1 , R_2 , e R_3 , è utile comunque valutare la convenienza economica di adottare misure di protezione al fine di ridurre il rischio di perdita economica R_4 .

L'oggetto per il quale effettuare la *valutazione del rischio* R_4 deve essere definito tra:

- l'intera struttura;
- una parte della struttura;
- un impianto interno;
- una parte di un impianto interno;
- un apparato;
- il contenuto della struttura.

L'ammontare della perdita, il costo delle misure di protezione ed il possibile risparmio dovrebbero essere valutati in accordo con l'Allegato D.

Per alcune strutture il tipo di perdita L_4 è rilevante; in tali casi non si può calcolare con il rischio tollerabile R_T . È invece da valutare se le misure di protezione sono giustificabili dal punto di vista economico.

Valori assoluti come un definito rischio tollerabile R_T , non sono dei criteri di paragone, bensì valori relativi: diverse varianti di misure di protezione della struttura vengono paragonate fra di loro e la variante ottimale verrà realizzata, cioè quella con i più bassi costi delle perdite per il pericolo da fulminazione rimanenti.

L'applicazione nella pratica delle procedure indicate e dei dati è molto impegnativa e non sempre agevole. Questo, tuttavia, non deve esimere gli esperti nel campo della protezione contro i fulmini dall'occuparsi di questo argomento.

La valutazione quantitativa del rischio da fulminazione per una struttura costituisce un miglioramento notevole rispetto alla situazione riscontrata finora in cui le decisioni a favore o contro le misure di protezione contro i fulmini erano spesso unicamente soggettive e non sempre basate su riflessioni comprensibili per tutti i soggetti coinvolti.

Una tale valutazione quantitativa quindi rappresenta un presupposto significativo per decidere se, in che misura e quali misure di protezione da fulmini debbono essere previste per una determinata struttura.

Così, a lungo termine, verrà fornito anche un contributo all'accettazione della protezione da fulmini ed alla prevenzione di danni.

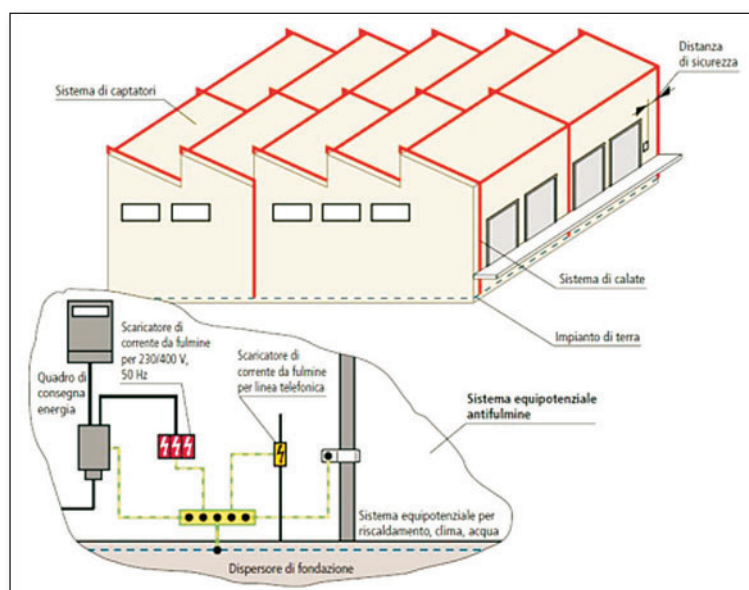
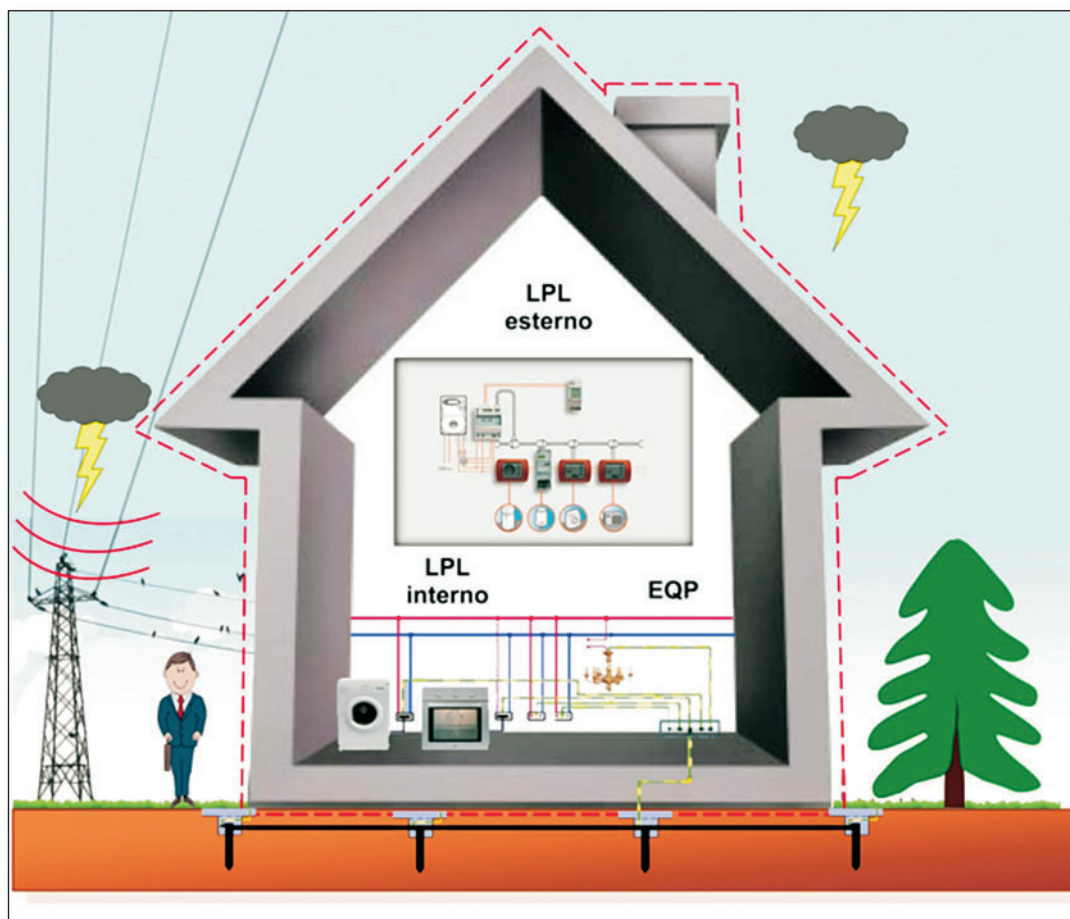
Cenni sugli impianti di protezione contro i fulmini

Cenni sugli impianti di protezione contro i fulmini

5.1 Sistemi di protezione contro i fulmini (LPS)

Gli impianti e i sistemi di protezione contro i fulmini hanno la funzione di proteggere le persone presenti negli edifici da eventuali danni o, al limite, dalla morte e le strutture da incendi e/o da danni statici.

Un sistema di protezione contro i fulmini è costituito da una protezione *esterna* e da una *interna*:



Sistemi di protezione contro i fulmini (esterna e interna)

LPS esterno

L'LPS esterno è principalmente costituito da captatori (del tipo ad asta o a maglia) collegati all'impianto di terra; la loro funzione è di creare un volume protetto, ovvero una zona che non può essere colpita da fulmini

Le funzioni della protezione contro i fulmini esterna sono quindi:

- intercettare le fulminazioni dirette con un sistema di captatori;
- condurre la corrente di fulmine in modo sicuro verso terra con un sistema di calate;
- distribuire la corrente di fulmine nella terra attraverso il sistema di dispersori.

In base ad una serie di regole costruttive sono state fissate le quattro classi di LPS I, II, III e IV corrispondenti ai livelli di protezione LPL.

Ciascuna classe di LPS comprende regole costruttive dipendenti e indipendenti dalla classe di LPS.

Si rimanda, esulando dall'oggetto della pubblicazione, alla Norma 62305-3 per gli aspetti di dettaglio.

LPS interno

Quando l'LPS esterno viene colpito da un fulmine, per un brevissimo istante l'impianto parafulmine si porta a un potenziale molto elevato con altrettanto elevate correnti in gioco.

Questo crea una considerevole differenza di potenziale tra LPS e struttura protetta, accompagnata da fenomeni di induzione elettromagnetica.

Come conseguenza si possono avere sovratensioni e scariche elettriche all'interno della struttura protetta, anche se questa non è stata colpita direttamente dal fulmine.

L'impianto interno, tramite connessioni metalliche o limitatori di sovratensione, serve ad evitare che scariche elettriche interessino la parte interna del volume protetto quando il fulmine colpisce l'impianto di protezione esterno o quando il fulmine interessa la linea di alimentazione dell'edificio o cade nelle sue immediate vicinanze.

La funzione della protezione contro i fulmini interna è, in definitiva, quella di evitare la formazione di scariche pericolose all'interno della struttura, in funzione delle protezioni degli impianti elettrici ed elettronici, mediante l'ausilio di scaricatori di corrente e/o tensione, noti anche come SPD (Surge Protective Device).

L'LPS interno è anche classificato, in funzione delle modalità di collegamento, in protezioni *in serie* e in protezioni *in parallelo*.

Protezione in serie

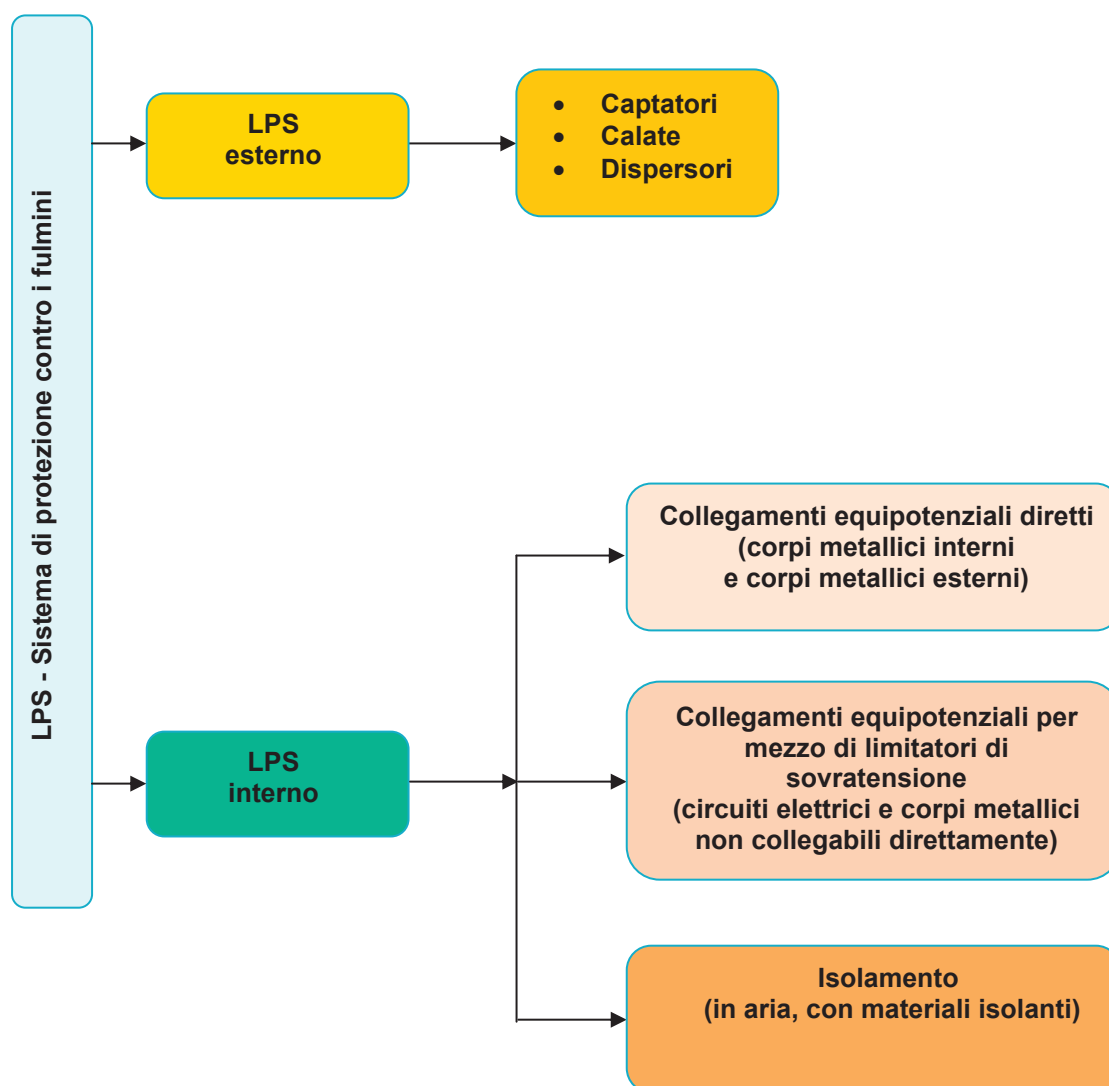
Sono installate in serie all'alimentazione dell'installazione da proteggere e debbono essere dimensionate in funzione della potenza dell'installazione stessa:

- Trasformatori: possono essere impiegati per limitare le sovratensioni e le componenti armoniche.
- Filtri: sono ottenuti impiegando resistenze, induttanze e capacità, proteggono sia dalle sovratensioni industriali o di manovra sia da quelle di origine atmosferica.
- Stabilizzatori e gruppi di continuità: adatti per la protezione di apparecchiature particolarmente sensibili per le quali deve essere garantita un'alimentazione stabile e la continuità del servizio. Non garantiscono la protezione contro le sovratensioni di origine atmosferica.

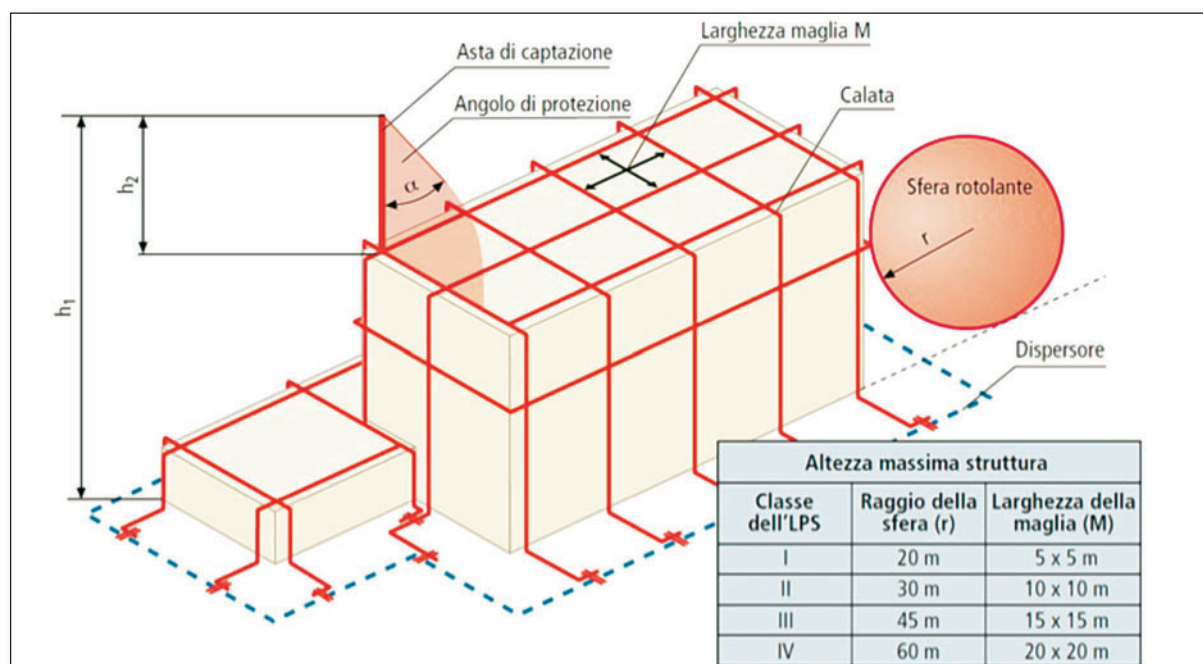
Protezione in parallelo

Sono le protezioni più utilizzate perché si adattano bene alla potenza dell'installazione da proteggere:

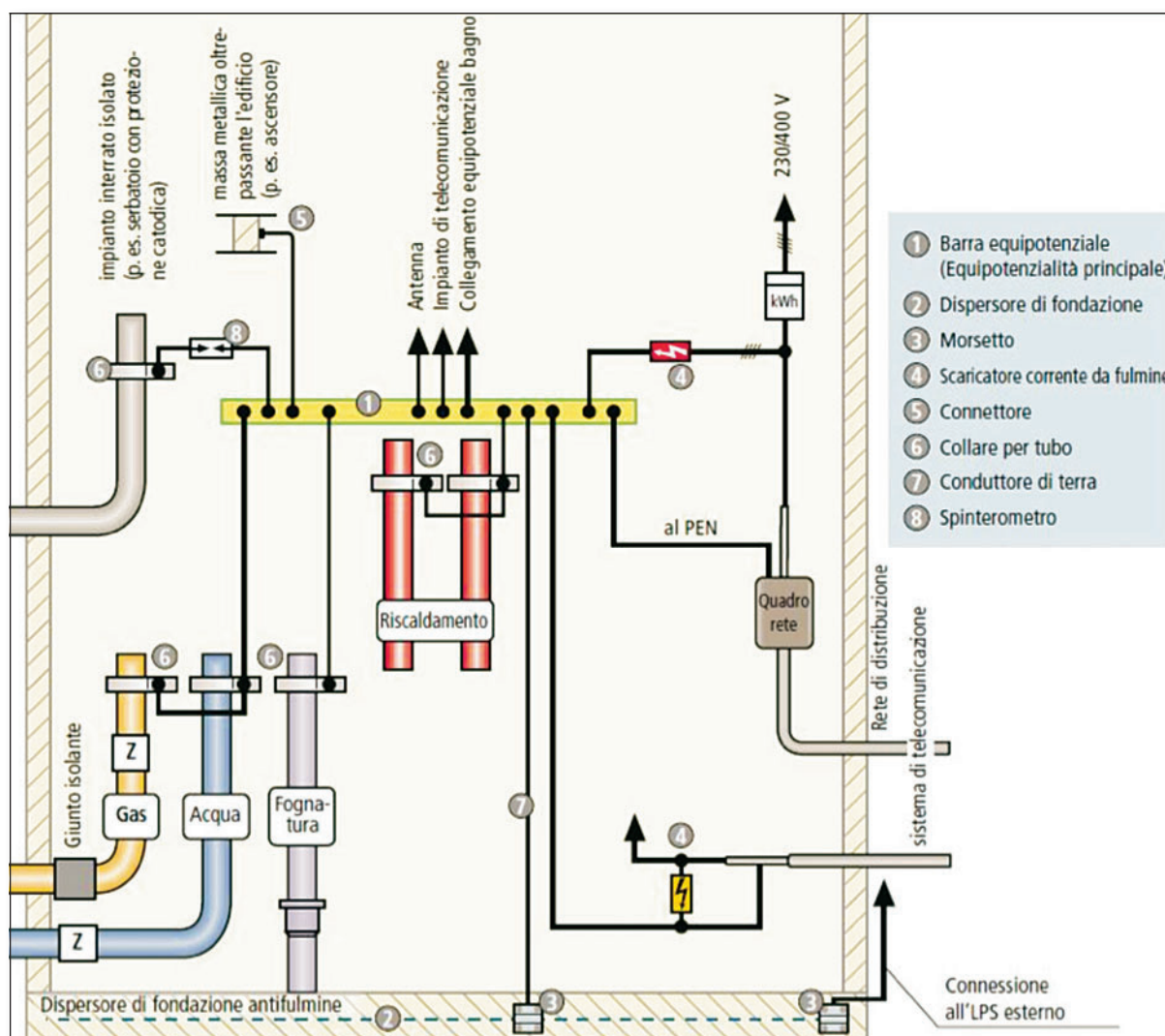
- Scaricatori di sovratensione: sono impiegati, nei luoghi ove si opera la trasformazione MT/BT, in uscita dai trasformatori oppure nei sistemi a neutro isolato per scaricare a terra le eventuali sovratensioni.
- Scaricatori per basse tensioni: possiedono una capacità di scarica limitata ma sono installabili all'interno dei quadri di distribuzione; se opportunamente coordinati garantiscono una discreta protezione dalle sovratensioni sia di origine esterna sia di origine interna.



Schematizzazione di un sistema di protezione contro i fulmini (LPS)



Metodo della "sfera rotolante" per la disposizione e le posizioni dei dispositivi di captazione su edifici alti



Equipotenzialità antifulmine (sistema equipotenziale principale e per la protezione contro i fulmini)

5.2 SPD (Surge Protective Device)

Per poter contenere, entro limiti accettabili, gli effetti delle sovratensioni negli impianti elettrici utilizzatori occorre installare gli SPD.

Il principio di funzionamento di tali dispositivi si basa sulla capacità di innescare un arco elettrico tra una parte dell'impianto e l'impianto di terra allorché si manifesti una sovratensione e di ripristinare l'isolamento quando l'impulso di tensione si annulla.

Per collegare in modo corretto gli scaricatori, la norma impone che il conduttore di protezione (terra) dell'edificio raggiunga direttamente il quadro elettrico.

A valle della *valutazione del rischio* di fulminazione sarà quindi scelta la tipologia di scaricatore più adatto.

Occorre sottolineare come la scelta ottimale degli SPD costituisca un compito rilevante che richiede, pertanto, conoscenze specifiche.

In ambito residenziale, una volta installato nel quadro elettrico, lo scaricatore riduce il rischio di guasti ai dispositivi elettrici collegati all'impianto.

Si consideri che circa il 70% dei guasti alle apparecchiature elettroniche domestiche è causato da sovratensioni di origine atmosferica o di manovra effettuate dall'ente erogatore.

Gli SPD presenti sul mercato presentano tecnologie costruttive e caratteristiche anche molto diverse fra loro; essi debbono soddisfare i requisiti specificati dalla IEC 61643-1 ed IEC 61643-21

Si suddividono in tre classi:

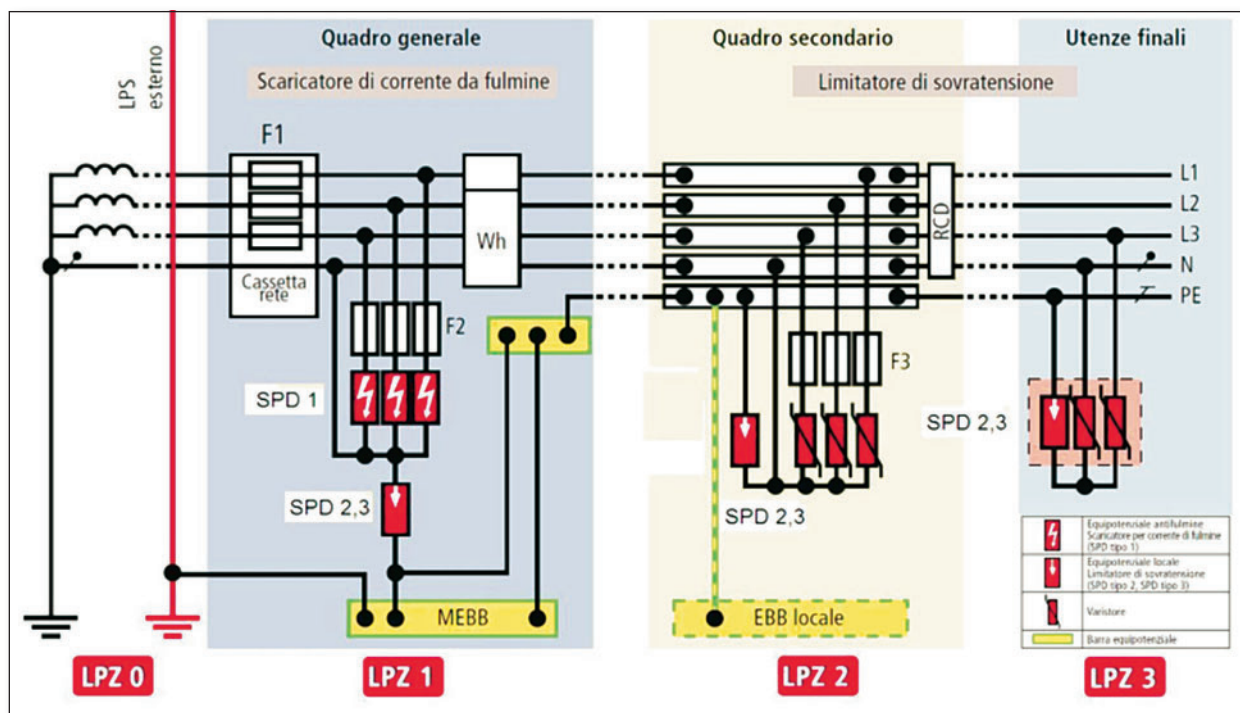
- gli SPD di tipo 1 sono detti scaricatori di corrente di fulmine;
- gli SPD di tipo 2 sono detti limitatori di sovratensioni e sono indicati per installazioni fisse;
- gli SPD di tipo 3 sono limitatori di sovratensioni e proteggono gli apparecchi finali e si trovano nei loro pressi.

In tutte le aree in cui è presente materiale esplosivo debbono essere installati limitatori di sovratensioni, in quanto componenti dell'LPS (vedi anche paragrafo 4.13); quando possibile, gli SPD debbono essere installati fuori dalle aree in cui sono presenti materiali esplosivi solidi.

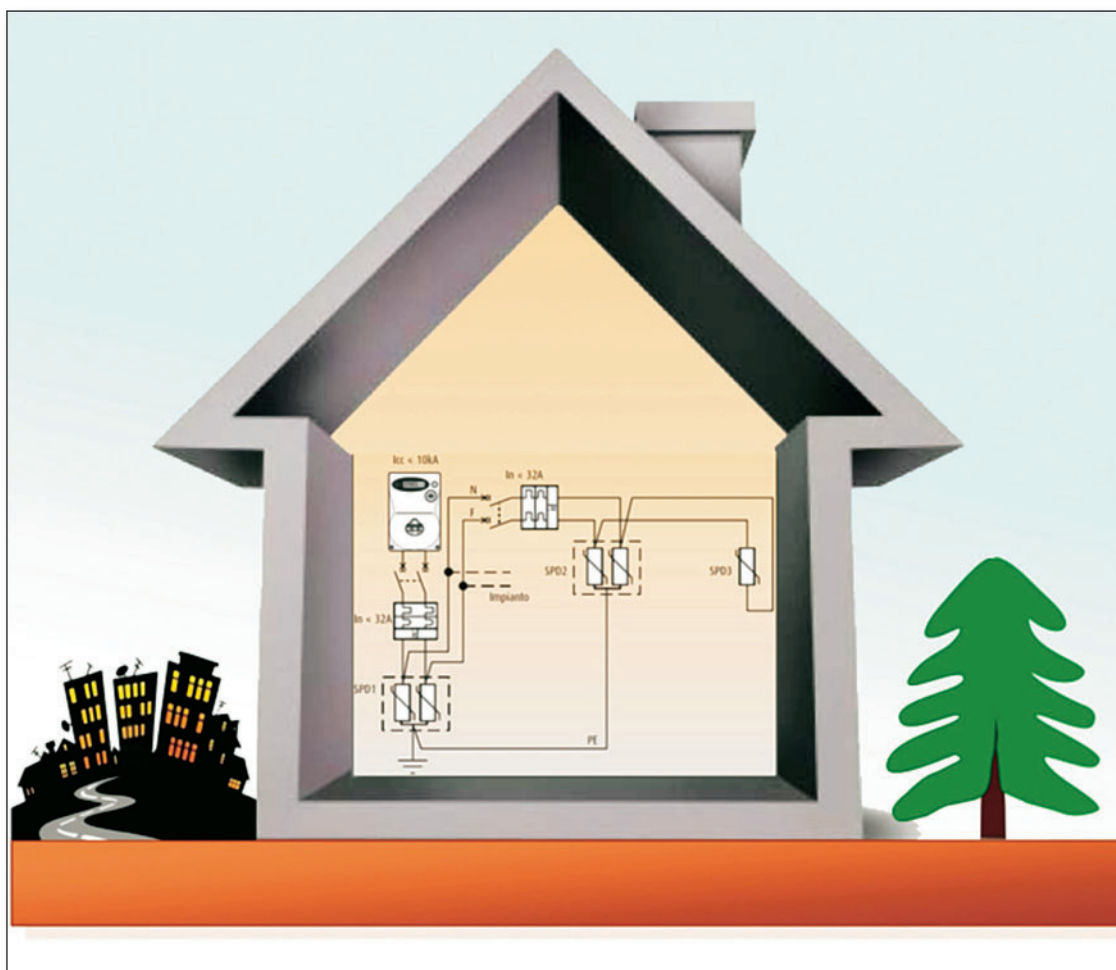
Gli SPD installati in aree in cui sono presenti esplosivi "esposti", o in cui vi è polvere esplosiva, debbono essere del tipo a prova di esplosione.

Rimandando, esulando dall'oggetto della pubblicazione, alla Norma 62305 per gli aspetti inerenti la scelta e l'installazione degli SPD si evidenzia, per sommi capi, quanto segue:

- Gli SPD installati all'ingresso delle linee entranti debbono essere provati per la corrente di fulmine (onda 10/350 μ s) che li attraversa (fulminazione diretta dell'edificio o della linea); debbono pertanto essere di tipo 1. Gli SPD possono essere di tipo 2 (onda 8/20 μ s) se risulta trascurabile N_D e N_L .
- Il valore della corrente di scarica di un SPD è dipendente dal LPL richiesto e dal tipo di fulminazione, diretta o indiretta, (*Tabelle E.2 e E.3 della norma 62305-1*).
- Sui conduttori che collegano l'SPD ai conduttori attivi e alla barra equipotenziale, la corrente di scarica, all'atto del funzionamento dello scaricatore, provoca delle cadute di tensione induttive che si vanno a sommare alla tensione residua sul SPD.
- Tali cadute di tensione tendono a diminuire, al limite vanificandolo l'effetto, il livello di protezione U_p dello scaricatore. La norma determina il livello di protezione effettivo (U_p/U_f) di un SPD:
 - sommando ad U_p la caduta di tensione ΔU , se questa si verifica contemporaneamente a U_p (caso dei varistori);
 - come il maggiore tra U_p e la caduta di tensione ΔU , se questa non si verifica contemporaneamente a U_p (caso degli spinterometri).
- La nuova edizione della norma modifica, significativamente, i criteri per la scelta del livello di protezione degli SPD, al fine di tener conto dei fenomeni di caduta di tensione sui collegamenti.
- In relazione alla fulminazione *indiretta* della struttura occorre sottolineare come i potenziali effetti, relativi alla tensione indotta, vadano tenuti sempre in considerazione, a meno delle eccezioni menzionate (*Allegato E della norma 62305-4*).
- In relazione alla fulminazione *diretta* della struttura occorre sottolineare come la tensione indotta, vada considerata solamente laddove sia presente un LPS, a meno delle eccezioni menzionate (*Allegato E della norma 62305-4*). Se i valori della tensione indotta risultano assai elevati non è possibile proteggere le apparecchiature tramite SPD installati nel quadro generale; è probabilmente necessario, in tali casi, installare ulteriori SPD nelle vicinanze, o direttamente, ai morsetti dell'apparecchiatura da proteggere.



Schema per l'utilizzo di scaricatori negli impianti di alimentazione elettrica (vedi anche paragrafo seguente)



Esempio di installazione SPD in ambiente residenziale - Sistema di distribuzione TT monofase (230V a.c.)

5.3 Misure per la protezione degli impianti interni contro gli effetti del LEMP (SPM)

Gli impianti elettrici ed elettronici sono soggetti a guasti dovuti all'impulso elettromagnetico (LEMP).

Per evitare guasti negli impianti interni è quindi necessario progettare e adottare SPM.

La protezione contro il LEMP si basa sul concetto di zona di protezione LPZ (Lightning Protection Zones): la zona contenente gli impianti che debbono essere protetti deve essere divisa in LPZ (zona in cui è definito l'ambiente elettromagnetico creato dal fulmine).

Tali zone sono parti ideali di spazio (o di impianto interno) definite, in cui la *severità* del LEMP è compatibile con il livello di tenuta degli impianti interni contenuti.

Con rischi LEMP diversi, possono essere adattati i locali di un edificio a seconda della tenuta all'impulso necessaria per il sistema elettronico.

Per zone esterne si ha:

- LPZ 0A - zona in cui il pericolo è costituito dalla fulminazione diretta e dall'intero campo elettromagnetico non attenuato del fulmine. Gli impianti interni possono essere interessati da impulsi dovuti all'intera corrente di fulmine;
- LPZ 0B - zona protetta contro la fulminazione diretta, ma dove persiste il pericolo dell'intero campo elettromagnetico non attenuato del fulmine. Gli impianti interni possono essere interessati da impulsi dovuti a frazioni significative della corrente di fulmine.

Per zone interne (protette contro la fulminazione diretta) invece si ha:

- LPZ 1 - zona in cui gli impulsi di corrente sono limitati dalla ripartizione della corrente di fulmine e da interfacce isolanti e/o da SPD al confine della zona stessa. Schermi locali possono attenuare il campo elettromagnetico.
- LPZ 2 ... n - zone in cui gli impulsi sono ulteriormente limitati dalla ripartizione della corrente di fulmine e da interfacce isolanti e/o da SPD aggiuntive al confine delle zone stesse. Schermi locali aggiuntivi possono attenuare ulteriormente il campo elettromagnetico.

Le LPZ si realizzano installando SPM, per esempio installando un Sistema di SPD e/o schermi magnetici.

In funzione del numero, del tipo e del livello di tenuta degli apparati da proteggere, possono essere definite appropriate LPZ.

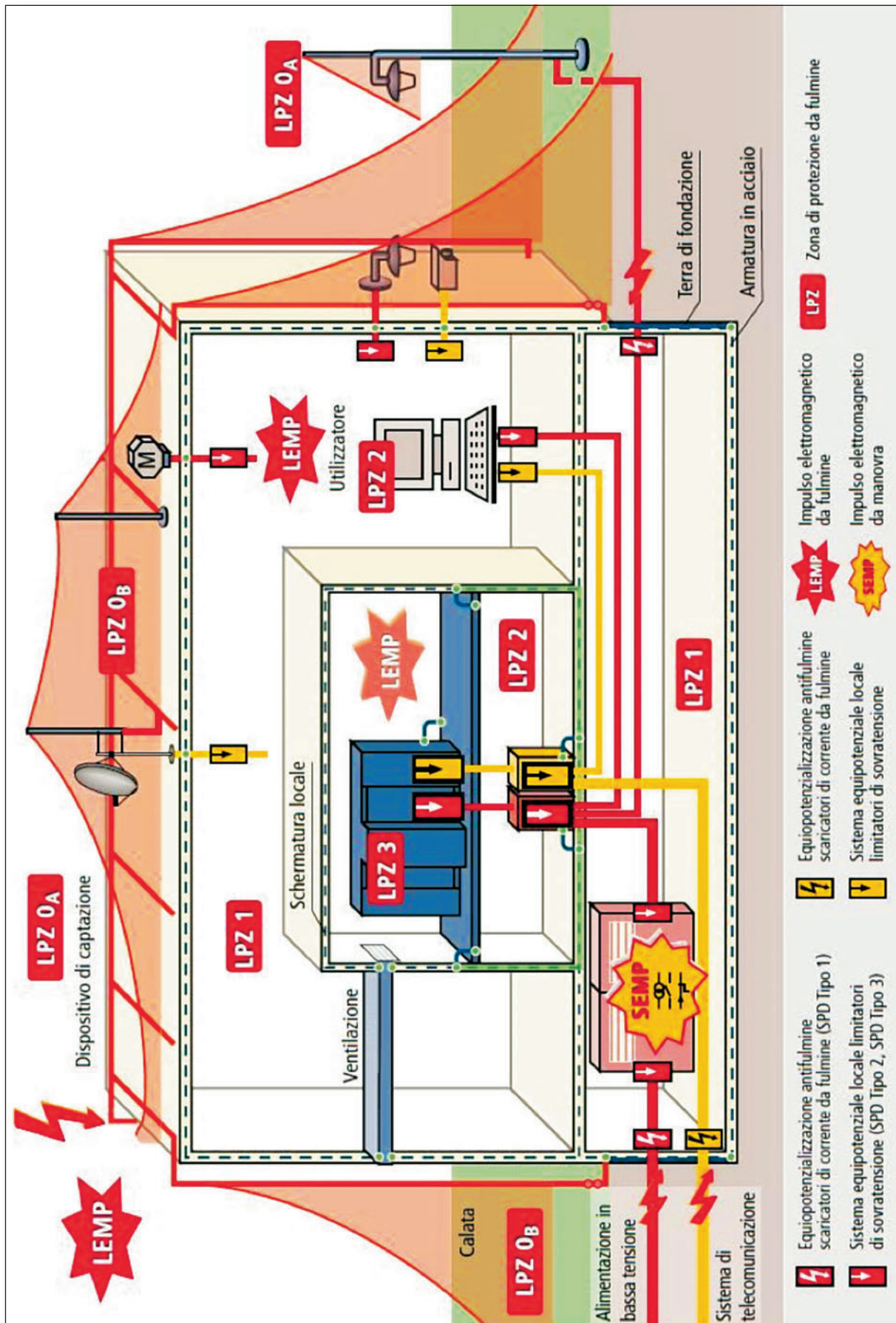
Queste possono includere zone locali ristrette (per esempio involucro dell'apparato) o zone estese (intera struttura).

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

Il dimensionamento degli SPD segue il concetto di protezione da fulminazione a zone LPZ.

Ai passaggi da una zona all'altra debbono essere installati gli SPD con le relative caratteristiche necessarie, seguendo il corretto coordinamento tra SPD ad innesco (spinterometri) per la corrente di fulmine e gli SPD a limitazione (varistori) per le sovratensioni.

Si rimanda, esulando dall'oggetto della pubblicazione, alla Norma 62305-4 per gli aspetti inerenti la progettazione, la scelta e l'installazione delle misure di protezione contro il LEMP.



5.4 Verifiche dei sistemi di protezione contro i fulmini

Periodicità delle verifiche

Come detto, per stabilire quali misure di protezione contro i fulmini siano necessarie ai fini della sicurezza, o convenienti sul piano economico, è indispensabile effettuare l'analisi del rischio secondo la norma 62305-2. Una volta determinato il rischio, individuate le eventuali opportune misure di protezione (LPS, sistemi di SPD, schermature magnetiche, protezioni antincendio, ecc.) occorre garantirne, al pari di ogni impianto tecnologico, l'efficienza nel tempo mediante la regolare manutenzione e le verifiche periodiche.

Si evidenzia che le verifiche ispettive contemplate dalla Norma non sostituiscono, in alcun modo, i controlli di manutenzione che debbono seguire una specifica programmazione temporale.

Riguardo alle verifiche periodiche, queste comprendono sia le verifiche ispettive, effettuate ai sensi del d.p.r. 462/01 (in linea generale, si ritiene che l'aumento del livello di protezione debba essere considerato nell'ambito di nuova denuncia), sia i controlli di manutenzione di cui al d.lgs. 81/08 e s.m.i..

La norma CEI EN 62305-3 stabilisce la periodicità di verifica dell'LPS.

La guida CEI 81-2 consiglia la periodicità delle verifiche per le varie misure di protezione.

La guida CEI 81-2 distingue, inoltre, tra esame *ordinario* e *approfondito*.

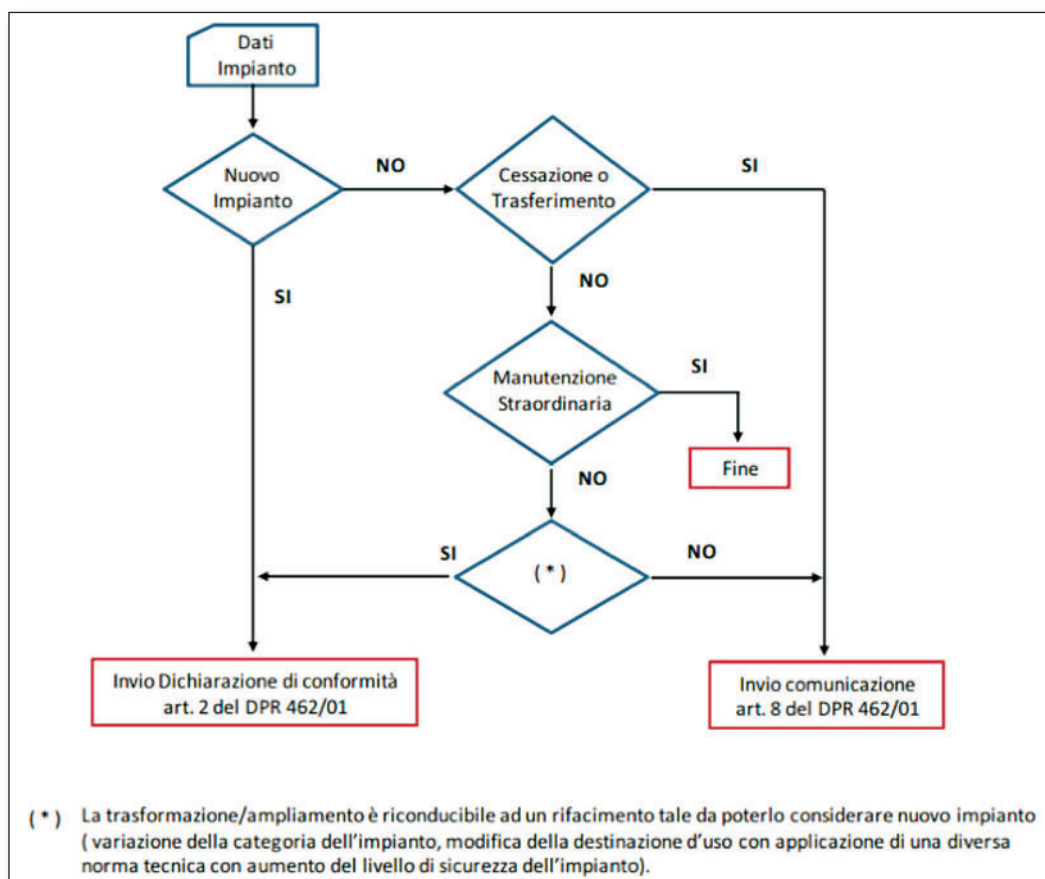
Il primo tipo di esame è, sostanzialmente, un controllo visivo finalizzato all'accertamento dell'integrità dei componenti dell'LPS.

Il secondo, comprendendo il primo, prevede l'utilizzo di strumenti idonei ed è finalizzato ad un'indagine più profonda, tesa ad evidenziare eventuali difetti non diversamente rilevabili, al controllo della resistenza di terra del dispersore e della continuità dei vari componenti dell'impianto.

Rapporto di verifica

Al termine di ogni verifica, il verificatore dovrebbe compilare un rapporto, da conservare insieme alla documentazione di progetto ed ai precedenti rapporti di manutenzione e verifica.

A tal fine, la guida CEI 81-2, fornisce un'apposita check-list dalla quale è tratto il rapporto di verifica relativo all'LPS.



Flusso delle verifiche ispettive d.p.r. 462/01

Un esempio
di valutazione del rischio:
edifici adibiti ad uffici
e laboratori

Un esempio di valutazione del rischio: edifici adibiti ad uffici e laboratori

ES.1 Dati generali

L'esemplificazione proposta ha lo scopo di fornire semplici indicazioni relative alla *valutazione del rischio* e di illustrare i principi contenuti nella norma EN 62305-2.

Esso non intende in alcun modo ritenersi risolutivo, in generale, della complessa problematica fin qui esaminata, rimandando ovviamente ai casi pratici la risoluzione dei diversi aspetti peculiari e delle specifiche caratteristiche delle strutture e degli impianti che si è chiamati a valutare.

Si ipotizzano, quali strutture da proteggere (Figure 1 e 2), una *struttura* adibita ad uso uffici e laboratori di ricerca, dotato di locali archivio e di centro elaborazione dati (Complesso A nelle Figure 1, 2, 3 e 4) ed un *struttura* adibita ad esclusivo uso uffici (Complesso B nelle Figure 1, 2, 5 e 6).

Le linee di energia e di telecomunicazione sono interrate.

Per questo tipo di strutture sono d'interesse sia la perdita di vite umane (L_1) che quella economica (L_4). In accordo con il *Datore di Lavoro* non è richiesta la valutazione della perdita economica; non sarà pertanto considerato il rischio R_4 relativo alla relativa perdita (L_4).

Allo scopo di valutare la necessità, o meno, della protezione dovrà pertanto essere determinato il rischio R_1 per la perdita di vite umane (L_1), mediante le componenti di rischio R_A , R_B , R_U e R_V (Tabella 2 della norma), e confrontato con il valore del rischio tollerabile $R_T = 10^{-5}$ (Tabella 4 della norma).

Tabella 2 - Componenti di rischio da considerare per ciascun tipo di perdita in una struttura

Sorgente di danno	Fulminazione diretta della struttura S_1			Fulminazione in prossimità della struttura S_2	Fulminazione diretta di una linea entrante S_3			Fulminazione in prossimità di una linea entrante S_4
	R_A	R_B	R_C		R_U	R_V	R_W	
Componente di rischio	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8
	x	x	x (a)	x (a)	x	x	x (a)	x (a)
		x	x	x		x	x	x
		x				x		
	x (b)	x	x	x	x (b)	x	x	x

(a) Solo nel caso di strutture con rischio di esplosione, di ospedali o di altre strutture, in cui guasti di impianti interni provocano immediato pericolo per la vita umana.
(b) Solo in strutture in cui si può verificare la perdita di animali.

Tabella 4 - Tipici valori di rischio tollerabile R_T

Tipi di perdita	R_T
L_1 perdita di vite umane (lesione o morte di persone)	10^{-5} /anno
L_2 perdita di servizio pubblico	10^{-3} /anno
L_3 perdita di patrimonio culturale insostituibile	10^{-3} /anno

Dovranno quindi essere scelte le opportune misure di protezione per ridurre tale rischio ad un valore pari o inferiore a quello tollerabile.

Nota

Alcune delle ipotesi assunte nell'esemplificazione proposta, ove non di pura fantasia, fondano su presupposti di tipo cautelativo in relazione ai dettagli inerenti le caratteristiche strutturali e impiantistiche dei complessi esaminati.



Le strutture oggetto della *valutazione dei rischi* (Figure 1 e 2) sono una adibita ad uso uffici e laboratori di ricerca, dotato di locali archivio e di centro elaborazione dati (Complesso A nelle Figure 1, 2, 3 e 4) ed un'altra adibita ad esclusivo uso uffici (Complesso B nelle Figure 1, 2, 5 e 6).



Figura 1 - Vista aerea (Bing Maps online)

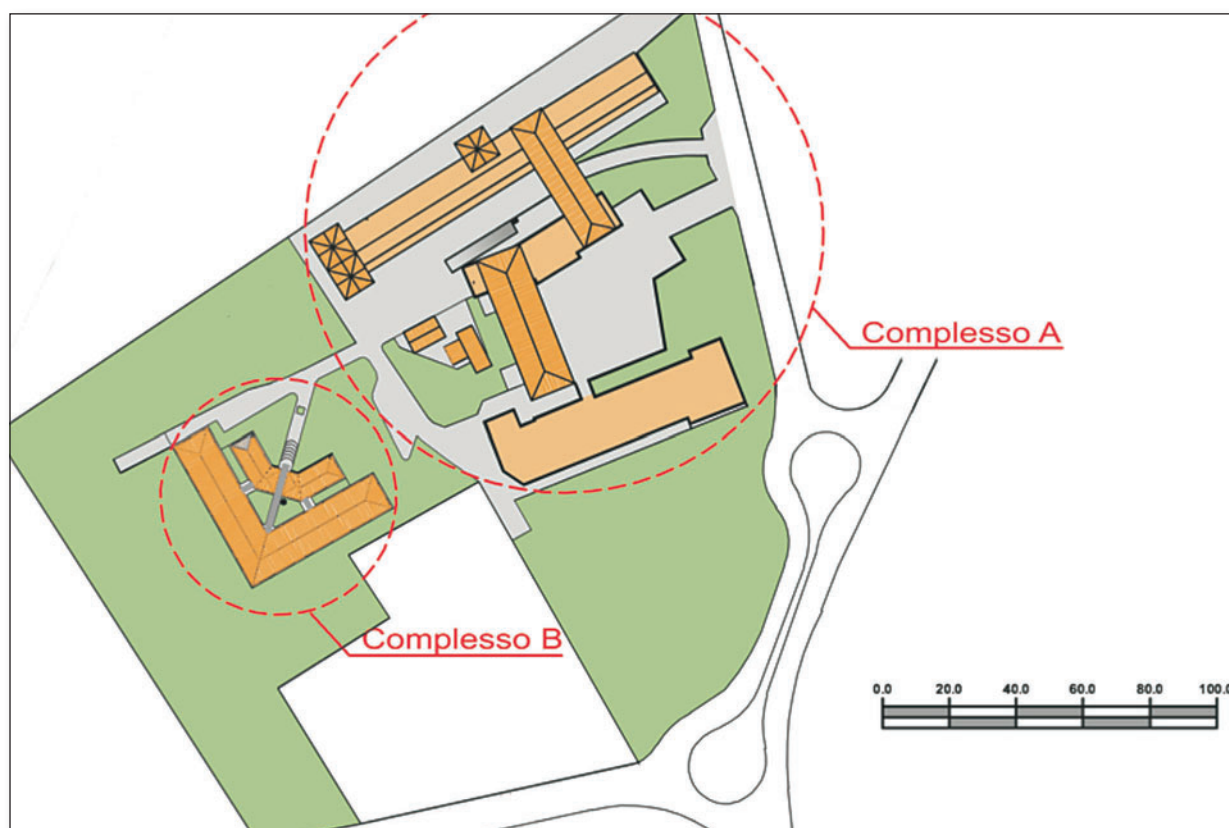


Figura 2 - Planimetria d'insieme delle strutture da proteggere (Complessi A e B)

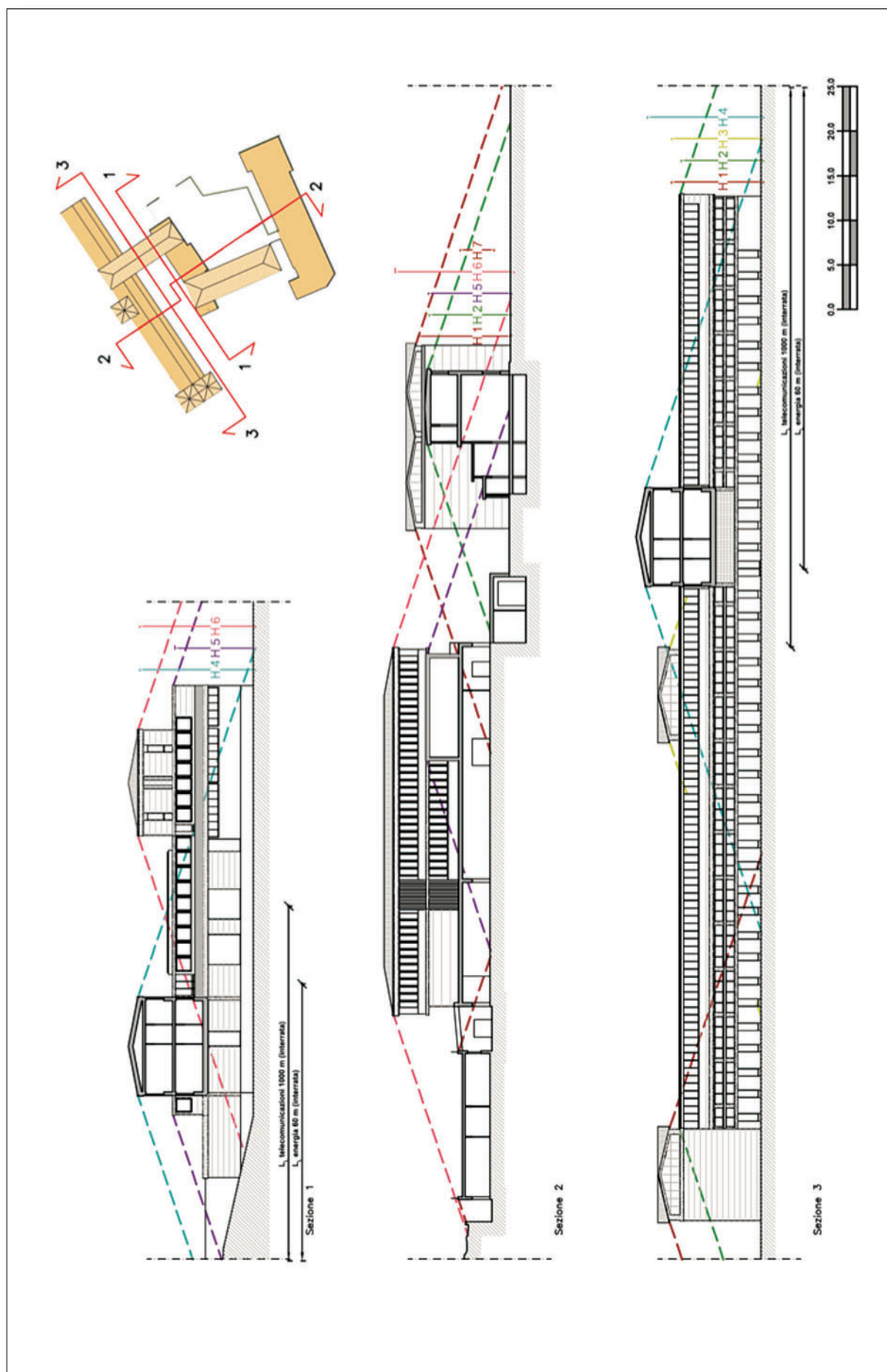


Figura 3 - Sezioni schematiche della struttura da proteggere (Complesso A)

ES.2 Complesso A

La *struttura*, ubicata in territorio pianeggiante, è composta da sette blocchi collegati fra di loro, e sarà considerata, in favore della sicurezza, senza *nessun altro oggetto nelle vicinanze*.

La densità di fulmini al suolo è $N_G = 4$ fulmini per km^2 all'anno.

Questo valore è ottenibile dalle reti di localizzazione di fulmini al suolo, esistenti in molte aree del mondo.

Se non è disponibile la mappa di N_G , nelle regioni temperate il valore di N_G può essere così stimato:

$$N_G \sim 0,1 T_D$$

dove T_D è il numero di giornate temporalesche in un anno, *Thunderstorm day*, (che può essere ottenuto dalle mappe isocerauniche); i dati per la *struttura* e per i suoi dintorni sono riportati nella Tabella A.

Parametro	Commento	Simbolo	Valore	Riferimento nella norma
Densità di fulmini al suolo ($1/\text{km}^2/\text{anno}$)		N_G	4	
Dimensioni (m)		L, W, H	Vedi Figure 2, 3 e 4	A.2
Coefficiente di posizione	Struttura isolata	C_D	1	Tab. A.1
LPS	Nessuno	P_B	1	Tab. B.2
Equipotenzializzazione	Nessuna	P_{EB}	1	Tab. B.7
Schermatura della struttura	Nessuna	K_{S1}	1	Eq. (B.5)

Tabella A - Complesso A: caratteristiche della struttura e dei suoi dintorni

Tabella A.1 - 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

Tabella B.2 - 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
Struttura protetta con LPS	IV	0,2
	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

- Nota 1 - Valori di P_B diversi da quelli riportati nella Tab. B.2 possono essere adottati se derivati da una accurata ricerca che tenga conto dei requisiti di dimensionamento e di intercettazione definiti nella CEI EN 62305-1.
- Nota 2 - Le caratteristiche dell'LPS, comprese quelle degli SPD per l'equipotenzializzazione al fulmine, sono riportate nella CEI EN 62305-3.

Tabella B.7 - 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
Nota 4	0,005 - 0,001

- Nota 4 - 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 della CEI EN 62305-1:2011 per informazioni relative alla probabilità di accadimento delle correnti di fulmine e Allegato E della CEI EN 62305-1:2011 e Allegato D della CEI EN 62305-4:2011 per la ripartizione della corrente di fulmine). Gli stessi Allegati possono essere usati per SPD caratterizzati da una più elevata probabilità P_{EB} .

Eq. (B.5): $K_{S1} = 0,12 \times w_{m1}$

Nel caso in esame si veda la Nota 3 (Nota 3 - Il massimo valore di K_{S1} e K_{S2} è limitato a 1)

I dati relativi alle linee entranti e agli impianti interni a loro connessi sono riportati nella Tabella B per le linee di energia e nella Tabella C per le linee di telecomunicazione.

Parametro	Commento	Simbolo	Valore	Riferimento nella norma
Lunghezza (m)		$L_{L/P}$	60	
Coefficiente di installazione	Interrato	$C_{I/P}$	0,5	Tab. A.2
Coefficiente per il tipo di linea	Linea AT	$C_{T/P}$	0,2	Tab. A.3
Coefficiente ambientale della linea	Rurale	$C_{E/P}$	1	Tab. A.4
Schermatura della linea (Ω/km)	Non schermata	R_S	1	Tab. B.8
Schermatura, messa a terra, separazione	Nessuna	$C_{LD/P}$	1	Tab. B.4
		$C_{LI/P}$	1	
Struttura adiacente	Nessuna	L_J, W_J, H_J	-	
Coefficiente di posizione della struttura adiacente	Nessuna	$C_{DJ/P}$	-	Tab. A.1
Tensione di tenuta degli impianti interni (kV)		$U_{W/P}$	2,5	
	Parametri risultanti	$K_{S4/P}$	0,4	Eq. (B.7)
		$P_{LD/P}$	1	Tab. B.8
		$P_{LI/P}$	0,3	Tab. B.9

Tabella B - Complesso A: linee di energia

Si ha infatti:

lunghezza $L_{L/P}$ della sezione della linea si assume $L_{L/P} = 60 \text{ m}$

Tabella A.2 - 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 (5.2 della CEI EN 62305-4:2011)	0,01

Tabella A.3 - 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 A.4 - Coefficiente ambientale C_E

Ambiente	C_E
Rurale	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano con edifici alti (altezza degli edifici maggiore di 20 m)	0,01

Tabella B.8 - 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	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
		$R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04

- Nota 5 - Nelle aree urbane e 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 $5 \Omega/\text{km}$. I Comitati Nazionali possono fornire informazioni più dettagliate al fine di meglio rappresentare le condizioni nazionali delle linee di energia e di telecomunicazione ⁽¹⁾.

(1) Nota del comitato italiano In media le lunghezze tipiche di linea sono:

- 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 telecomunicazioni: 1000 m sia in area urbana sia in area rurale.

Tabella B.4 - Valori dei coefficienti C_{LD} e C_{LI} in funzione delle condizioni di schermatura, di messa a terra e di separazione ⁽¹⁾

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 entro condotto per la protezione dei 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 CEI EN 62305-4	0	0

- Nota 3 - Nella valutazione della probabilità P_C , i valori di C_{LD} riportati nella Tab. B.4 sono riferiti a sistemi con impianti interni schermati; per sistemi con impianti interni non schermati dovrebbe essere assunto $C_{LD} = 1$.
- Nota 4 - 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 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 vedi l'Allegato A della CEI EN 62305-4:2011.

- (1) Nota del comitato italiano** Per le interfacce di separazione si può assumere $C_{LD} = C_{LI} = 0$ solo se esse sono protette lato linea con SPD dimensionati con l'LPL scelto mediante la valutazione del rischio (vedi anche CEI 81-10/4, art. 8 e C.2.2).

Eq. (B.7): $K_{S4} = 1/U_w$

Nel caso in esame risulta: $K_{S4} = 1/2,5 = 0,4$

Tabella B.9 - Valori della probabilità P_{LI} in funzione dal 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

Parametro	Commento	Simbolo	Valore	Riferimento nella norma
Lunghezza (m)		$L_{L/T}$	1000	
Coefficiente di installazione	Interrato	$C_{I/T}$	0,5	Tab. A.2
Coefficiente per il tipo di linea	Linea di telecomunicazione	$C_{T/T}$	1	Tab. A.3
Coefficiente ambientale della linea	Rurale	$C_{E/T}$	1	Tab. A.4
Schermatura della linea (Ω/km)	Non schermata	R_s	1	Tab. B.8
Schermatura, messa a terra, separazione	Nessuna	$C_{LD/T}$	1	Tab. B.4
		$C_{LI/T}$	1	
Struttura adiacente	Nessuna	L_J, W_J, H_J	-	
Coefficiente di posizione della struttura adiacente	Nessuna	$C_{DJ/T}$	-	Tab. A.1
Tensione di tenuta degli impianti interni (kV)		$U_{W/T}$	1,5	
	Parametri risultanti	$K_{S4/T}$	0,67	Eq. (B.7)
		$P_{LD/T}$	1	Tab. B.8
		$P_{LI/T}$	0,5	Tab. B.9

Tabella C - Complesso A: linee di telecomunicazione

Poiché la lunghezza $L_{L/T}$ della sezione della linea non è nota si assume $L_{L/T} = 1000$ m (vedi A.4 e A.5)

ES.3 Definizione delle zone nel Complesso A

Sono definite le seguenti zone:

- Z_1 (area ingresso);
- Z_2 (aree verdi);
- Z_3 (aree parcheggio);
- Z_4 (locali archivio);
- Z_5 (uffici);
- Z_6 (centro elaborazione dati);
- Z_7 (laboratori di ricerca).

Considerato che:

- ✓ il tipo di superficie del suolo è diverso nell'aree esterne, nelle aree verdi e all'interno della struttura;
- ✓ la struttura è divisa, essenzialmente, in due compartimenti antincendio separati: il primo è costituito dagli uffici unitamente al centro elaborazione dati e ai laboratori (Z_5 , Z_6 e Z_7) mentre il secondo si identifica con la zona archivio (Z_4);
- ✓ nelle zone interne Z_1 , Z_4 , Z_5 , Z_6 e Z_7 , sono presenti impianti interni collegati alle linee di energia e di telecomunicazione;
- ✓ non esiste alcun schermo locale.

Nelle varie zone all'interno ed all'esterno della *struttura* sono presenti in totale 396 persone.

Il numero di persone presenti è diverso nelle varie zone e la distribuzione puntuale è riportata in Tabella D.

Tali valori saranno utilizzati per suddividere i valori di perdite totali in frazioni competenti a ciascuna zona.

Zona	Numero di persone	Tempo di presenza (ore/anno)
Z_1 (area ingresso)	5	8760
Z_2 (aree verdi)	10	8760
Z_3 (aree parcheggio)	20	8760
Z_4 (locali archivio)	5	8760
Z_5 (uffici)	280	8760
Z_6 (centro elaborazione dati)	5	8760
Z_7 (laboratori di ricerca)	71	8760
Totale	$n_t = 396$	-

Tabella D - distribuzione delle persone nelle varie zone

Dalle valutazioni effettuate, i valori medi dell'ammontare annuo della perdita connessa con il rischio R_1 (Tabella C.2 della norma) per l'intera struttura sono:

- $L_T = 10^{-2}$ (all'esterno della struttura)
- $L_T = 10^{-2}$ (all'interno della struttura)
- $L_F = 10^{-3}$ classificato come "altro"

Tipo di danno	Valori tipici delle perdite	Tipo di struttura
D_1 Danno ad esseri viventi	L_T	10^{-2} Tutti i tipi
D_2 Danno materiale	L_F	10^{-2} Rischio di esplosione
		10^{-2} Ospedali, alberghi, civile abitazione, scuole
		5×10^{-3} Pubblico spettacolo, chiese, musei
		2×10^{-3} Industriale, commerciale
		10^{-3} Altro
D_3 Guasto di impianti interni	L_O	10^{-2} Rischio di esplosione
		10^{-3} Blocchi operatori e reparti di rianimazione
		10^{-4} Altre parti di ospedali (*)

(*) **Nota del comitato italiano** Solo se è previsto, nelle normali condizioni di operatività, l'uso di apparecchiature il cui guasto provochi immediato pericolo per la vita umana. Se questa condizione non è verificata, si può assumere $L_O = 0$.

Tabella C.2 - Tipo di perdita L1: Valori medi tipici di L_T , L_F e L_O

Detti valori complessivi saranno quindi ridotti, per ciascuna zona, tenendo conto del numero di persone potenzialmente in pericolo nella zona rispetto al numero totale di persone presenti nella struttura. Le caratteristiche risultanti delle zone da Z_1 a Z_7 sono riportate nelle Tabelle da E a M.

Parametro	Commento	Simbolo	Valore	Riferimento nella norma
Superficie del pavimento	Ceramica	r_t	10^{-2}	Tab. C.3
Misure di protezione contro l'elettrocuzione	Nessuna	P_{TA}	1	Tab. B.1
Rischio di incendio	Ordinario	r_i	10^{-2}	Tab. C.5
Protezione antincendio	Estintori, ecc.	r_p	0,5	Tab. C.4
Schermo di zona	Nessuno	K_{S2}	1	Eq. (B.6)
L_1 : Perdita di vite umane	Pericoli particolari: panico medio	h_z	5	Tab. C.6
	D_1 : tensioni di contatto e passo	L_T	10^{-2}	Tab. C.2
	D_2 : danno materiale	L_F	10^{-3}	
	D_3 : guasto degli impianti interni	L_O	0	
Coefficiente persone nelle zone	$n_z/n_t \times t_z/8760 = 5/396 \times 8760/8760$	-	0,0126	

Tabella E - Complesso A: coefficienti validi per la zona Z_1 (area ingresso)

Si ha infatti:

Tabella C.3 - Coefficiente di riduzione r_t in funzione del tipo di superficie del suolo o della pavimentazione

Tipo di superficie (b)	Resistenza di contatto $k\Omega$ (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 500 N ed un punto all'infinito.
(b) Uno strato di materiale isolante, per es.: asfalto di 5 cm di spessore (o uno strato di ghiaia di 15 cm), generalmente riducono il pericolo ad un livello tollerabile.

Tabella B.1 - Valori di probabilità P_{TA} che un fulmine causi danno ad esseri viventi per tensioni di contatto e di passo pericolose ⁽¹⁾

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

- (1) **Nota del comitato italiano** 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. In assenza di tali parti metalliche le tensioni di contatto possono essere trascurate.

Si può inoltre assumere $P_{TA} = 0$ quando si verifica una delle seguenti condizioni:

- a. 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;
- b. la struttura è dotata di un LPS con almeno 10 calate;
- c. in condizioni di normale funzionamento non vi è presenza di persone, entro 3 m dalle calate del LPS;
- d. 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 kΩ;
- e. il suolo è ricoperto con uno strato di 5 cm di asfalto o 15 cm di ghiaia;

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

- Nota 1 - 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 EN 62305-3 relative all'equipotenzializzazione ed alla messa a terra.
- Nota 2 - Per maggiori informazioni vedi 8.1 e 8.2 della CEI EN 62305-3:2011.

Tabella C.5 - Coefficiente di riduzione r_f in funzione del rischio d'incendio o di esplosione della struttura

Rischio	Entità del rischio	r_f
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

- Nota 4 - In caso di strutture con rischio d'esplosione può essere necessaria una più dettagliata valutazione di r_f .
- Nota 5 - Strutture realizzate con materiali combustibili, strutture con coperture realizzate con materiale combustibile o strutture con carico specifico d'incendio maggiore di 800 MJ/m² sono considerate a rischio d'incendio elevato.
- Nota 6 - Strutture con carico specifico d'incendio compreso tra 800 MJ/m² e 400 MJ/m² sono considerate a rischio d'incendio ordinario.
- Nota 7 - Strutture con carico specifico d'incendio inferiore a 400 MJ/m² o strutture che contengono solo una modesta quantità di materiale combustibile sono considerate a rischio d'incendio ridotto.
- Nota 8 - 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.
- Nota 9 - Ai fini di questa Parte della CEI EN 62305 le strutture con aree pericolose o contenenti materiali esplosivi solidi non dovrebbero essere considerate strutture con rischio di esplosione se è soddisfatta almeno una delle seguenti condizioni:
 - a) il tempo di presenza della sostanza esplosiva è inferiore a 0,1 ore/anno;
 - b) il volume dell'atmosfera esplosiva è trascurabile secondo la EN 60079-10 [3] e la EN 60079-10-2 [4];
 - c) la zona non può essere colpita direttamente dal fulmine e sono impediti scariche pericolose nella zona stessa.
- Nota 10 - Per le zone pericolose all'interno di contenitori metallici la condizione c) è soddisfatta se il contenitore, considerato quale organo di captazione naturale, impedisce perforazioni o problemi di punto caldo e gli impianti interni al contenitore, se presenti, sono protetti contro le sovratensioni al fine di evitare scariche pericolose.

Tabella C.4 - Coefficiente di riduzione r_p in funzione delle misure atte a 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 (solo se protetto contro le sovratensioni ed altri danneggiamenti e se la squadra antincendio può intervenire in meno di 10 minuti)	0,2

Se sono adottate più misure dovrebbe essere considerato, per il valore di r_p , il valore minore tra quelli sopracitati. Nelle strutture con rischio di esplosione, $r_p = 1$ in tutti i casi.

Eq. (B.6): $K_{S2} = 0,12 \times w_{m2}$

Nel caso in esame si veda la Nota 3 (Nota 3 - Il massimo valore di K_{S1} e K_{S2} è limitato a 1)

Tabella C.6 - 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 (per es.: struttura limitata a due piani ed un numero di persone inferiore a 100)	2
Livello medio di panico (per es.: strutture destinate ad eventi culturali o sportivi con un numero di partecipanti compreso tra 100 e 1000 persone)	5
Difficoltà di evacuazione (per es.: strutture con presenza di persone impossibilitate a muoversi, ospedali)	5
Livello elevato di panico (per es.: strutture destinate ad eventi culturali o sportivi con un numero di partecipanti maggiore di 1000 persone)	10

Parametro	Commento	Simbolo	Valore	Riferimento nella norma
Tipo di suolo	Vegetale	r_t	10^{-2}	Tab. C.3
Misure di protezione contro l'elettrocuzione	Nessuna	P_{TA}	1	Tab. B.1
Rischio di incendio	Nullo	r_i	0	Tab. C.5
Protezione antincendio	Nessuna	r_p	1	Tab. C.4
Schermo di zona	Nessuna	K_{S2}	1	Eq. (B.6)
L_1 : Perdita di vite umane	Pericoli particolari: nessuno	h_z	1	Tab. C.6
	D_1 : tensioni di contatto e passo	L_T	10^{-2}	Tab. C.2
	D_2 : danno materiale	L_F	10^{-3}	
	D_3 : guasto degli impianti interni	L_O	0	
Coefficiente persone nelle zone	$n_z/n_t \times t_z/8760 = 10/396 \times 8760/8760$	-	0,0253	

Tabella F - Complesso A: coefficienti validi per la zona Z_2 (aree verdi)

Parametro	Commento	Simbolo	Valore	Riferimento nella norma
Tipo di suolo	Asfalto/porfido	r_t	10^{-5}	Tab. C.3
Misure di protezione contro l'elettrocuzione	Nessuna	P_{TA}	1	Tab. B.1
Rischio di incendio	Nullo	r_i	0	Tab. C.5
Protezione antincendio	Nessuna	r_p	1	Tab. C.4
Schermo di zona	Nessuno	K_{S2}	1	Eq. (B.6)
L_1 : Perdita di vite umane	Pericoli particolari: nessuno	h_z	1	Tab. C.6
	D_1 : tensioni di contatto e passo	L_T	10^{-2}	Tab. C.2
	D_2 : danno materiale	L_F	10^{-3}	
	D_3 : guasto degli impianti interni	L_O	0	
Coefficiente persone nelle zone	$n_z/n_t \times t_z/8760 = 20/396 \times 8760/8760$	-	0,0505	

Tabella G - Complesso A: coefficienti validi per la zona Z_3 (aree parcheggio)

Parametro	Commento	Simbolo	Valore	Riferimento nella norma
Tipo di suolo	Ceramica	r_t	10^{-3}	Tab. C.3
Misure contro l'elettrocuzione (fulmine sulla struttura)	Nessuna	P_{TA}	1	Tab. B.1
Misure contro l'elettrocuzione (fulmine sulla linea)	Nessuna	P_{TU}	1	Tab. B.6
Rischio di incendio	Elevato	r_i	10^{-1}	Tab. C.5
Protezione antincendio	Estintori, ecc.	r_p	0,5	Tab. C.4
Schermo di zona	Nessuno	K_{S2}	1	Eq. (B.6)
Energia	Cablaggio interno (conduttori nello stesso condotto)	K_{S3}	0,2	Tab. B.5
	Sistema di SPD	P_{SPD}	1	Tab. B.3
Telecomunicazione	Cablaggio interno (larghe spire > 10 m ²)	K_{S3}	1	Tab. B.5
	Sistema di SPD	P_{SPD}	1	Tab. B.3
L_1 : Perdita di vite umane	Pericoli particolari: panico ridotto	h_z	2	Tab. C.6
	D_1 : tensioni di contatto e passo	L_T	10^{-2}	Tab. C.2
	D_2 : danno materiale	L_F	10^{-3}	
	D_3 : guasto degli impianti interni	L_O	0	
Coefficiente persone nelle zone	$n_z/n_t \times t_z/8760 = 5/396 \times 8760/8760$	-	0,0126	

Tabella H - Complesso A: coefficienti validi per la zona Z_4 (locali archivio)

Si ha infatti:

Tabella B.6 - Valori di probabilità P_{TU} che un fulmine su una linea causi danno d'esseri viventi per pericolose tensioni di contatto

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

- Nota 3 - Se sono adottate più misure, il valore di P_{TU} è dato dal prodotto dei corrispondenti valori.

Tabella B.5 - 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 m ²). 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 m ²). c) Spira di conduttori posti nello stesso cavo (area della spira nell'ordine di 0,5 m ²). d) Schermi e condotti metallici connessi alla barra equipotenziale ad entrambe le estremità e apparati connessi alla stessa barra equipotenziale.	

Tabella B.3 - 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
Nota 2	0,005 - 0,001

- Nota 1 - La protezione con un sistema di SPD è efficace nella riduzione di PC solo in strutture protette con LPS o in strutture con schermo metallico continuo o con i ferri d'armatura del calcestruzzo funzionanti come un LPS naturale in cui siano rispettati i requisiti della CEI EN 62305-3 relativi all'equipotenzializzazione ed alla messa a terra.
- Nota 2 - I valori di P_{SPD} possono essere ridotti nel caso di SPD aventi caratteristiche di protezione 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 della CEI EN 62305-1:2011 per informazioni relative alla probabilità di accadimento delle correnti di fulmine e Allegato E della CEI EN 62305-1:2011 e Allegato D della CEI EN 62305-4:2011 per la ripartizione della corrente di fulmine). Gli stessi allegati possono essere usati per SPD caratterizzati da P_{SPD} più elevate.

Parametro		Commento	Simbolo	Valore	Riferimento nella norma
Tipo di suolo		Ceramica	r_t	10^{-3}	Tab. C.3
Misure contro l'elettrocuzione (fulmine sulla struttura)		Nessuna	P_{TA}	1	Tab. B.1
Misure contro l'elettrocuzione (fulmine sulla linea)		Nessuna	P_{TU}	1	Tab. B.6
Rischio di incendio		Ordinario	r_f	10^{-2}	Tab. C.5
Protezione antincendio		Estintori, ecc.	r_p	0,5	Tab. C.4
Schermo di zona		Nessuno	K_{S2}	1	Eq. (B.6)
Energia	Cablaggio interno	Non schermato (conduttori nello stesso condotto)	K_{S3}	0,2	Tab. B.5
	Sistema di SPD	Nessuno	P_{SPD}	1	Tab. B.3
Telecomunicazione	Cablaggio interno	Non schermato (larghe spire > 10 m ²)	K_{S3}	1	Tab. B.5
	Sistema di SPD	Nessuno	P_{SPD}	1	Tab. B.3
L_1 : Perdita di vite umane		Pericoli particolari: panico medio	h_z	5	Tab. C.6
		D_1 : tensioni di contatto e passo	L_T	10^{-2}	Tab. C.2
		D_2 : danno materiale	L_F	10^{-3}	
		D_3 : guasto degli impianti interni	L_O	0	
Coefficiente persone nelle zone		$n_z/n_t \times t_z/8760 = 280/396 \times 8760/8760$	-	0.7071	

Tabella I - Complesso A: coefficienti validi per la zona Z_5 (uffici)

Parametro		Commento	Simbolo	Valore	Riferimento nella norma
Tipo di suolo		Ceramica	r_t	10^{-3}	Tab. C.3
Misure contro l'elettrocuzione (fulmine sulla struttura)		Nessuna	P_{TA}	1	Tab. B.1
Misure contro l'elettrocuzione (fulmine sulla linea)		Nessuna	P_{TU}	1	Tab. B.6
Rischio di incendio		Elevato	r_f	10^{-1}	Tab. C.5
Protezione antincendio		Estintori, ecc.	r_p	0,5	Tab. C.4
Schermo di zona		Nessuno	K_{S2}	1	Eq. (B.6)
Energia	Cablaggio interno	Non schermato (conduttori nello stesso condotto)	K_{S3}	0,2	Tab. B.5
	Sistema di SPD	Nessuno	P_{SPD}	1	Tab. B.3
Telecomunicazione	Cablaggio interno	Non schermato (larghe spire > 10 m ²)	K_{S3}	1	Tab. B.5
	Sistema di SPD	Nessuno	P_{SPD}	1	Tab. B.3
L_1 : Perdita di vite umane		Pericoli particolari: panico ridotto	h_z	2	Tab. C.6
		D_1 : tensioni di contatto e passo	L_T	10^{-2}	Tab. C.2
		D_2 : danno materiale	L_F	10^{-3}	
		D_3 : guasto degli impianti interni	L_O	0	
Coefficiente persone nelle zone		$n_z/n_t \times t_z/8760 = 5/396 \times 8760/8760$	-	0,0126	

 Tabella L - Complesso A: coefficienti validi per la zona Z₆ (centro elaborazione dati)

Parametro		Commento	Simbolo	Valore	Riferimento nella norma
Tipo di suolo		Ceramica	r_t	10^{-3}	Tab. C.3
Misure contro l'elettrocuzione (fulmine sulla struttura)		Nessuna	P_{TA}	1	Tab. B.1
Misure contro l'elettrocuzione (fulmine sulla linea)		Nessuna	P_{TU}	1	Tab. B.6
Rischio di incendio		Elevato	r_f	10^{-1}	Tab. C.5
Protezione antincendio		Estintori, ecc.	r_p	0,5	Tab. C.4
Schermo di zona		Nessuno	K_{S2}	1	Eq. (B.6)
Energia	Cablaggio interno	Non schermato (conduttori nello stesso condotto)	K_{S3}	0,2	Tab. B.5
	Sistema di SPD	Nessuno	P_{SPD}	1	Tab. B.3
Telecomunicazione	Cablaggio interno	Non schermato (larghe spire > 10 m ²)	K_{S3}	1	Tab. B.5
	Sistema di SPD	Nessuno	P_{SPD}	1	Tab. B.3
L_1 : Perdita di vite umane		Pericoli particolari: panico medio	h_z	5	Tab. C.6
		D_1 : tensioni di contatto e passo	L_T	10^{-2}	Tab. C.2
		D_2 : danno materiale	L_F	10^{-3}	
		D_3 : guasto degli impianti interni	L_O	0	
Coefficiente persone nelle zone		$n_z/n_t \times t_z/8760 = 71/396 \times 8760/8760$	-	0.1793	

 Tabella M - Complesso A: coefficienti validi per la zona Z₇ (laboratori di ricerca)

ES.4 Calcolo delle quantità nel Complesso A

I valori delle aree di raccolta sono riportati nella Tabella N e quelli del numero atteso di eventi pericolosi nella Tabella O.

Oggetto	Simbolo	Equazione	Riferimento nella norma	Risultato (m ²)
Struttura	A_D	MAX tra A_{DMIN} e A_D'	A.2	~ 20500
	A_M	Non applicabile (D_3 non considerato)	A.7	---
Linea di energia	$A_{L/P}$	$A_{L/P} = 40 \times L_{L/P}$	A.9	2400
	$A_{I/P}$	$A_{I/P} = 4000 \times L_{L/P}$	A.11	240000
	$A_{D/J/P}$	Nessuna struttura adiacente	A.2	---
Linea di telecomunicazione	$A_{L/T}$	$A_{L/T} = 40 \times L_{L/T}$	A.9	40000
	$A_{I/T}$	$A_{I/T} = 4000 \times L_{L/T}$	A.11	400000
	$A_{D/J/T}$	Nessuna struttura adiacente	A.2	---

Tabella N - Complesso A: aree di raccolta della struttura e delle linee

A_D area di raccolta dei fulmini che colpiscono sulla struttura:

circa le dimensioni della *struttura* si veda il punto "A.2.1.2 Struttura di forma complessa" della norma dove è chiarito che, in tali casi, al fine di pervenire ad un valore approssimato accettabile dell'area di raccolta A_D dovrebbe essere utilizzato un *metodo grafico* (si veda la Figura A.3 della norma).

Un valore approssimato accettabile dell'area di raccolta A_D è il *massimo* tra $A_{D\text{MIN}}$, calcolata mediante la relazione (A.2) assumendo la minima altezza della struttura H_{MIN} , e l'area di raccolta attribuibile alla più elevata protrusione sul tetto A_D' (vedi Figura 4)

$$A_{D\text{MIN}} = L \times W + 2 \times (3 \times H_{\text{MIN}}) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H_{\text{MIN}})^2$$

$$A_D' = \pi \times (3 \times H_p)^2$$

dove H_p (H_{MAX}) è l'altezza della protrusione (ad es.: su un tetto).

$A_{L/P}$ area di raccolta dei fulmini che colpiscono la linea di energia (m^2):

$$A_{L/P} = 40 \times L_{L/P} = 2400 \text{ m}^2$$

$A_{I/P}$ area di raccolta dei fulmini al suolo in prossimità della linea di energia (m^2):

$$A_{I/P} = 4000 \times L_{L/P} = 240000 \text{ m}^2$$

$A_{L/T}$ area di raccolta dei fulmini che colpiscono la linea di telecomunicazione (m^2):

$$A_{L/T} = 40 \times L_{L/T} = 40000 \text{ m}^2$$

$A_{I/T}$ area di raccolta dei fulmini al suolo in prossimità della linea di telecomunicazione (m^2):

$$A_{I/T} = 4000 \times L_{L/T} = 4000000 \text{ m}^2$$

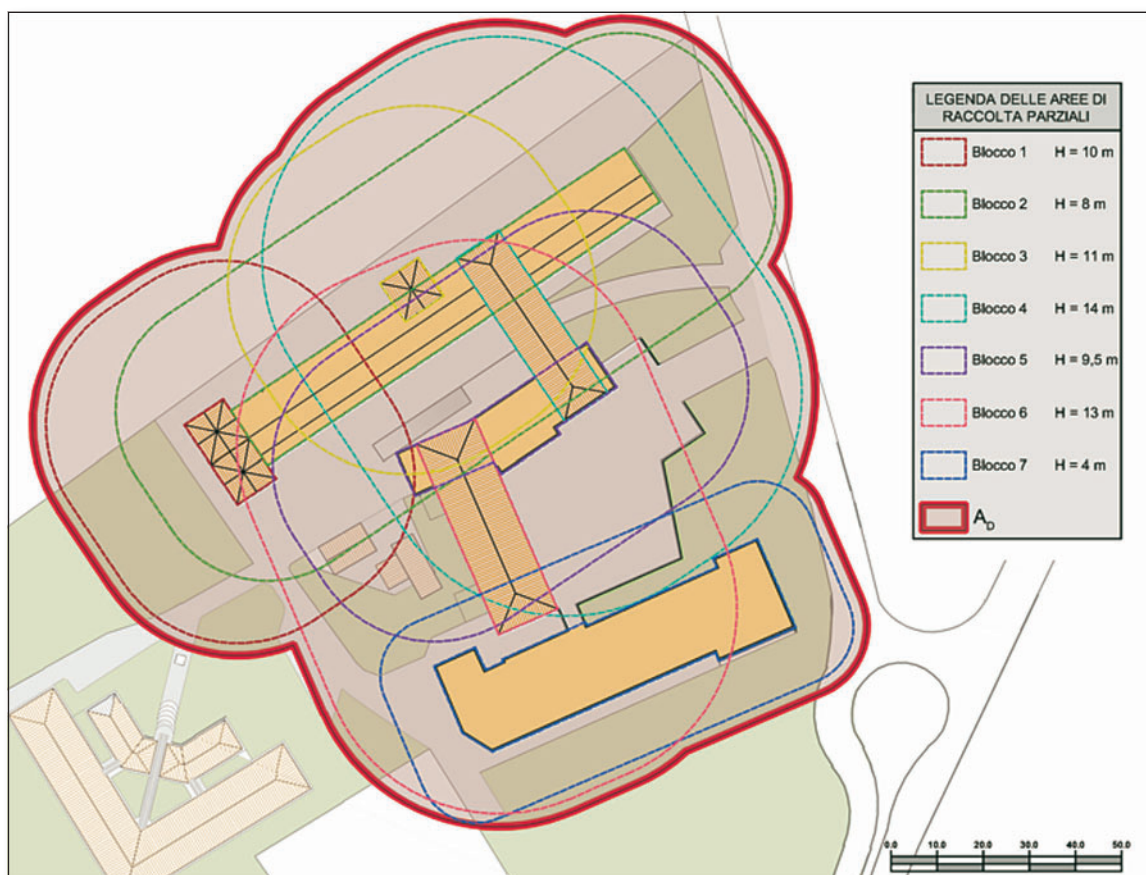


Figura 4 - Area di raccolta A_D (vedi anche Figure 2 e 3)

Oggetto	Simbolo	Equazione	Riferimento nella norma	Risultato (1/anno)
Struttura	N_D	$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$	A.4	$8,2 \times 10^{-2}$
	N_M	$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6}$	A.6	---
Linea di energia	$N_{L/P}$	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$	A.8	$9,6 \times 10^{-4}$
	$N_{I/P}$	$N_{I/P} = N_G \times A_{I/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$	A.10	---
	$N_{D/J/P}$	Nessuna struttura adiacente	A.5	---
Linea di telecomunicazione	$N_{L/T}$	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$	A.8	8×10^{-2}
	$N_{I/T}$	$N_{I/T} = N_G \times A_{I/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$	A.10	---
	$N_{D/J/T}$	Nessuna struttura adiacente	A.5	---

Tabella O - Complesso A: numero atteso annuo di eventi pericolosi

- N_D numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura:
 $N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} = 4 \times 20500 \times 1 \times 10^{-6} = 8,2 \times 10^{-2}$
- $N_{L/P}$ numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della linea di energia:
 $N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6} = 4 \times 2400 \times 0,5 \times 1 \times 0,2 \times 10^{-6} = 9,6 \times 10^{-4}$
- $N_{I/P}$ numero di eventi pericolosi per fulminazione in prossimità della linea di energia (nel caso in esame, in base alle ipotesi assunte, l'equazione non è applicabile):
 $N_{I/P} = N_G \times A_{I/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6} = 4 \times 240000 \times 0,5 \times 1 \times 0,2 \times 10^{-6} = 9,6 \times 10^{-2}$
- $N_{L/T}$ numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della linea di telecomunicazione:
 $N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6} = 4 \times 40000 \times 0,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-6} = 8 \times 10^{-2}$
- $N_{I/T}$ numero di eventi pericolosi per fulminazione in prossimità della linea di telecomunicazione (nel caso in esame, in base alle ipotesi assunte, l'equazione non è applicabile):
 $N_{I/T} = N_G \times A_{I/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6} = 4 \times 4000000 \times 0,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-6} = 8$

ES.5 Valutazione del rischio - Complesso A: necessità o meno della protezione

Riassumendo, si hanno i risultati riportati nella Tabella P:

Tipo di Danno	Simbolo	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Struttura
D_1 Danno per elettrocuzione	R_A	$1,03 \times 10^{-7}$	$2,07 \times 10^{-7}$	$4,14 \times 10^{-10}$	$1,03 \times 10^{-8}$	$5,80 \times 10^{-7}$	$1,03 \times 10^{-8}$	$1,47 \times 10^{-7}$	$1,06 \times 10^{-6}$
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$	$1,02 \times 10^{-7}$			$1,02 \times 10^{-8}$	$5,72 \times 10^{-7}$	$1,02 \times 10^{-8}$	$1,45 \times 10^{-7}$	$8,40 \times 10^{-7}$
D_2 Danno materiale	R_B	$2,58 \times 10^{-8}$			$1,03 \times 10^{-7}$	$1,45 \times 10^{-6}$	$1,03 \times 10^{-7}$	$3,68 \times 10^{-6}$	$5,36 \times 10^{-6}$
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$	$2,55 \times 10^{-8}$			$1,02 \times 10^{-7}$	$1,43 \times 10^{-6}$	$1,02 \times 10^{-7}$	$3,63 \times 10^{-6}$	$5,29 \times 10^{-6}$
Totale		$2,57 \times 10^{-7}$	$2,07 \times 10^{-7}$	$4,14 \times 10^{-10}$	$2,26 \times 10^{-7}$	$4,03 \times 10^{-6}$	$2,26 \times 10^{-7}$	$7,60 \times 10^{-6}$	$R_1 = 1,25 \times 10^{-5}$
Tollerabilità		$R_1 > R_T$: è necessaria la protezione contro il fulmine							$R_T = 10^{-5}$

 Tabella P - Complesso A: valori delle componenti del rischio R_1 per la struttura non protetta

Per ciascuna zona Z_i si avrà, relativamente alla fulminazione diretta della struttura (S_1):

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad \text{per la componente relativa al danno ad esseri viventi per elettrocuzione (D_1)}$$

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad \text{per la componente relativa al danno materiale (D_2)}$$

Per ciascuna zona Z_i si avrà, relativamente alla fulminazione su una linea connessa alla struttura (S_3):

$$R_U = (N_L + N_{D,J}) \times P_U \times L_U \quad \text{per la componente relativa al danno ad esseri viventi per elettrocuzione (D_1)}$$

$$R_V = (N_L + N_{D,J}) \times P_V \times L_V \quad \text{per la componente relativa al danno materiale (D_2)}$$

Sommando, naturalmente, gli effetti relativi alle linee di energia e a quelle di telecomunicazione.

Essendo:

$$P_A = P_{TA} \times P_B = 1 \times 1 = 1$$

con L_A , L_B , L_U ed L_V che si ricavano dalla Tabella C.1 della Norma

Tipo di Danno	Perdita tipica	Equazione
D_1	$L_A = r_t \times L_T \times n_z/n_t \times t_z/8760$	(C.1)
D_1	$L_U = r_f \times L_T \times n_z/n_t \times t_z/8760$	(C.2)
D_2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z/n_t \times t_z/8760$	(C.3)
D_3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z/n_t \times t_z/8760$	(C.4)

 Tabella C.1 – Tipo di perdita L_1 : Valori di perdita in ciascuna zona

dove:

- L_T è la percentuale media di vittime per elettrocuzione (D_1) causato da un evento pericoloso (Tab. C.2);
 - L_F è la percentuale media di vittime per danno materiale (D_2) causato da un evento pericoloso (Tab. C.2);
 - L_O è la percentuale media di vittime per guasto degli impianti interni (D_3) causato da un evento pericoloso (Tab. C.2);
 - r_t è un coefficiente di riduzione per la perdita di vite umane dipendente dal tipo di terreno o pavimentazione (Tab. C.3);
 - 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. C.4);
 - r_f 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. C.5);
 - h_z è un coefficiente di incremento della perdita dovuto al danno materiale nel caso sia presente un pericolo particolare (Tab. C.6);
 - n_z il numero delle persone nella zona;
 - n_t è il numero di persone nella struttura;
 - t_z è il tempo in ore all'anno per cui le persone sono presenti nella zona.
- Nota 1 - Se una struttura è considerata come una singola zona il rapporto n_z/n_t dovrebbe essere posto uguale a 1.
 - Nota 2 - Quando il valore di t_z non è noto, il rapporto $t_z/8760$ dovrebbe essere posto uguale a 1.

e le Probabilità $P_{U/P}$, $P_{U/T}$, $P_{V/P}$ e $P_{V/T}$:

$P_{U/P}$ e $P_{U/T}$ (Probabilità che un fulmine su una linea sia causa di *danno ad esseri viventi per elettrocuzione*)

$P_{V/P}$ e $P_{V/T}$ (Probabilità che un fulmine su una linea sia causa di *danni materiali*)

Tipo di Danno	Simbolo	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7
D_1 Danno per elettrocuzione	P_A				1			
	$P_{U/P}$	1			1	1	1	1
	$P_{U/T}$	1			1	1	1	1
D_2 Danno materiale	P_B				1			
	$P_{V/P}$	1			1	1	1	1
	$P_{V/T}$	1			1	1	1	1

 Tabella Q - Complesso A: valori della probabilità P per la struttura non protetta

$$P_{U/P} = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD/P} \times C_{LD/P} = 1 \times 1 \times 1 \times 1 = 1$$

$$P_{U/T} = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD/T} \times C_{LD/T} = 1 \times 1 \times 1 \times 1 = 1$$

$$P_{V/P} = P_{EB} \times P_{LD/P} \times C_{LD/P} = 1 \times 1 \times 1 = 1$$

$$P_{V/T} = P_{EB} \times P_{LD/T} \times C_{LD/T} = 1 \times 1 \times 1 = 1$$

Pertanto, per la zona Z_1 , ad esempio, si avrà:

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A = 82 \times 10^{-3} \times 1 \times (10^{-2} \times 10^{-2} \times 1,26 \times 10^{-2}) = 1,03 \times 10^{-7}$$

$$R_U = R_{U/P} + R_{U/T} = (N_{U/P} + N_{DJP}) \times P_{U/P} \times L_U + (N_{U/T} + N_{DJT}) \times P_{U/T} \times L_U = 9,6 \times 10^{-4} \times 1 \times 1,26 \times 10^{-6} + 8 \times 10^{-2} \times 1 \times 1,26 \times 10^{-6} = 1,02 \times 10^{-7}$$

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B = 8,2 \times 10^{-2} \times 1 \times (0,5 \times 10^{-2} \times 5 \times 10^{-3} \times 1,26 \times 10^{-2}) = 2,58 \times 10^{-8}$$

$$R_V = R_{V/P} + R_{V/T} = (N_{V/P} + N_{DJP}) \times P_{V/P} \times L_V + (N_{V/T} + N_{DJT}) \times P_{V/T} \times L_V = 9,6 \times 10^{-4} \times 1 \times 3,15 \times 10^{-7} + 8 \times 10^{-2} \times 1 \times 3,15 \times 10^{-7} = 2,55 \times 10^{-8}$$

i risultati per le altre zone sono stati raggruppati nella Tabella P.

Risultando $R_1 = 1,25 \times 10^{-5}$ maggiore del valore tollerabile $R_T = 10^{-5}$, la protezione contro il fulmine della struttura si rende **necessaria**.

ES.6 Scelta delle misure di protezione per il Complesso A

Il rischio R_1 nella struttura è concentrato principalmente nella zona Z_7 (laboratori di ricerca) e nella zona Z_5 (uffici) a causa dei danni materiali dovuti alla potenziale fulminazione diretta della struttura, o su una linea connessa; le relative componenti R_B ed R_V infatti costituiscono, se sommate, circa il 58% relativamente alla zona Z_7 e circa il 23% relativamente alla zona Z_5 del rischio totale R_1 (Tabella P).

Tali componenti preponderanti del rischio si possono ridurre, ad esempio, intervenendo con diverse soluzioni, combinando le potenzialità delle misure di protezione adottabili.

Nel caso in esame si ipotizza di:

- ✚ proteggere la *struttura* con un LPS di Classe IV in conformità alla CEI EN 62305-3, riducendo in tal modo la componente R_B ($P_B = 0,2$).
Tale LPS, peraltro, includendo obbligatoriamente l'equipotenzializzazione all'ingresso, mediante SPD progettati per un LPL IV ($P_{EB} = 0,05$) riduce le componenti R_U ed R_V .
- ✚ installare e/o potenziare gli impianti di estinzione e rivelazione dell'incendio, in modo da ridurre le componenti R_B ed R_V .
Si dovrà prevedere, pertanto, un impianto fisso di estinzione automatico e un l'impianto di rivelazione allarme automatico nelle zone Z_7 (laboratori di ricerca) e Z_5 (uffici) ($r_p = 0,2$).

I valori di rischio della Tabella P si riducono, conseguentemente, ai valori riportati nella Tabella R, avendo gli interventi previsti ridotto il rischio R_1 ad un valore inferiore al rischio tollerabile R_T .

La soluzione operativa suggerita non è l'unica possibile; le possibilità offerte dalle diverse misure di protezione che si possono adottare consentono al progettista di eseguire, avendo come bussola il miglior criterio tecnico, la più adeguata analisi costi/benefici.

Situazione post interventi	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Totale	Tollerabilità
	$3,22 \times 10^{-8}$	$4,15 \times 10^{-8}$	$8,28 \times 10^{-11}$	$2,83 \times 10^{-8}$	$2,89 \times 10^{-7}$	$2,83 \times 10^{-8}$	$4,03 \times 10^{-7}$	$R_1 = 8,23 \times 10^{-7}$	$R_1 \leq R_T$

Tabella R - Complesso A: rischio R_1 per la struttura protetta

ES.7 Complesso B

Si passa ora ad esaminare il Complesso B il quale, come detto, è adibito ad esclusivo uso uffici.

I dati per la *struttura* e per i suoi dintorni sono riportati nella Tabella A.

Parametro	Commento	Simbolo	Valore	Riferimento nella norma
Densità di fulmini al suolo (1/km ² /anno)		N_G	4	
Dimensioni (m)		L, W, H	Vedi Figure 2, 5 e 6	A.2
Coefficiente di posizione	Struttura isolata	C_D	1	Tab. A.1
LPS	Nessuno	P_B	1	Tab. B.2
Equipotenzializzazione	Nessuna	P_{EB}	1	Tab. B.7
Schermatura della struttura	Nessuna	K_{S1}	1	Eq. (B.5)

Tabella A - Complesso B: caratteristiche della struttura e dei suoi dintorni

Ove non diversamente evidenziato, sono validi i coefficienti della valutazione effettuata per il Complesso A.

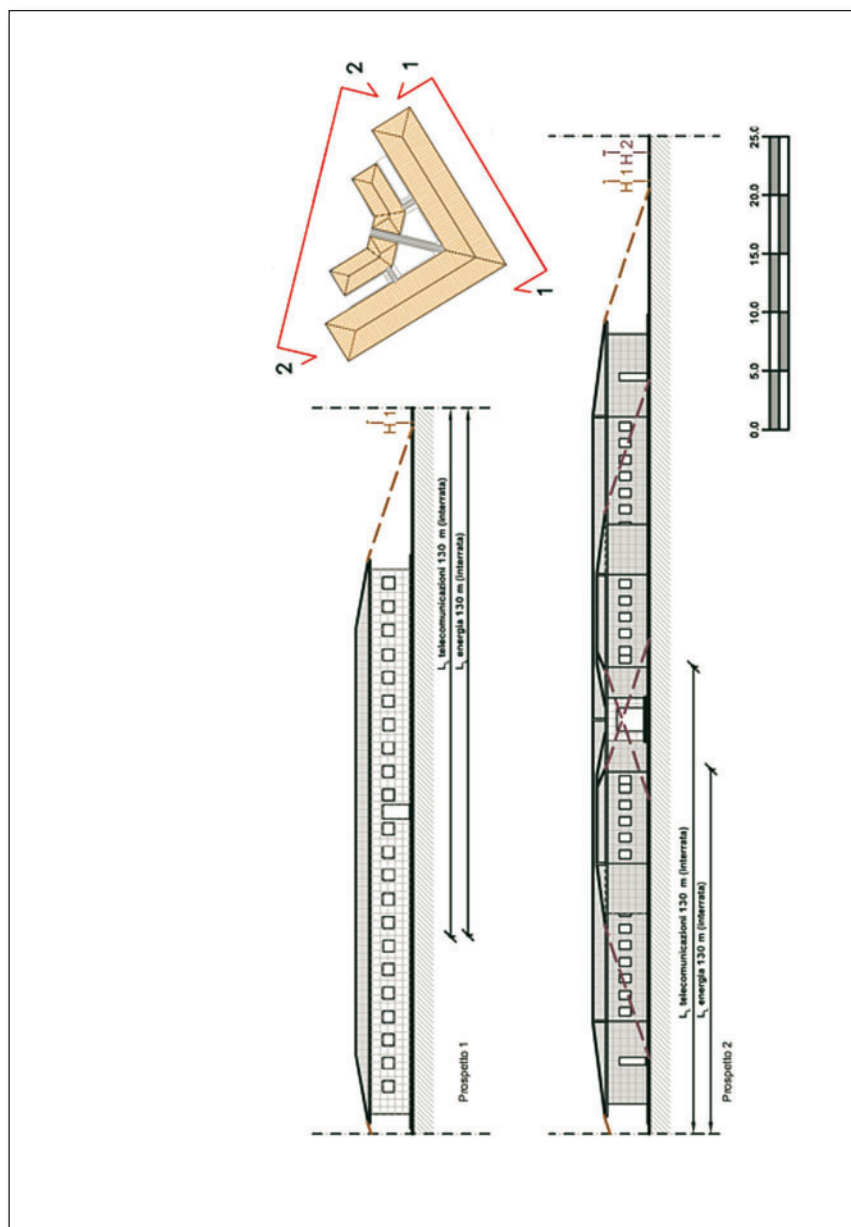
I dati relativi alle linee entranti e agli impianti interni a loro connessi sono riportati nella Tabella B per le linee di energia e nella Tabella C per le linee di telecomunicazione.

Parametro	Commento	Simbolo	Valore	Riferimento nella norma
Lunghezza (m)		$L_{L/P}$	130	
Coefficiente di installazione	Interrato	$C_{I/P}$	0,5	Tab. A.2
Coefficiente per il tipo di linea	Linea BT	$C_{T/P}$	1	Tab. A.3
Coefficiente ambientale della linea	Rurale	$C_{E/P}$	1	Tab. A.4
Schermatura della linea (Ω/km)	Non schermata	R_s	1	Tab. B.8
Schermatura, messa a terra, separazione	Nessuna	$C_{LD/P}$	1	Tab. B.4
		$C_{LI/P}$	1	
Struttura adiacente	Blocco 5	L_J, W_J, H_J	48, 13, 9,5	
Coefficiente di posizione della struttura adiacente	Blocchi 1, 3, 4, 6	$C_{DJ/P}$	0,25	Tab. A.1
Tensione di tenuta degli impianti interni (kV)		$U_{W/P}$	2,5	
Parametri risultanti		$K_{S4/P}$	0,4	Eq. (B.7)
		$P_{LD/P}$	1	Tab. B.8
		$P_{LI/P}$	0,3	Tab. B.9

Tabella B - Complesso B: linee di energia

Parametro	Commento	Simbolo	Valore	Riferimento nella norma
Lunghezza (m)		$L_{L/T}$	130	
Coefficiente di installazione	Interrato	$C_{I/T}$	0,5	Tab. A.2
Coefficiente per il tipo di linea	Linea di telecomunicazione	$C_{T/T}$	1	Tab. A.3
Coefficiente ambientale della linea	Rurale	$C_{E/T}$	1	Tab. A.4
Schermatura della linea (Ω/km)	Non schermata	R_s	1	Tab. B.8
Schermatura, messa a terra, separazione	Nessuna	$C_{LD/T}$	1	Tab. B.4
		$C_{LI/T}$	1	
Struttura adiacente	Blocco 5	L_J, W_J, H_J	48, 13, 9,5	
Coefficiente di posizione della struttura adiacente	Blocchi 1, 3, 4, 6	$C_{DJ/T}$	0,25	Tab. A.1
Tensione di tenuta degli impianti interni (kV)		$U_{W/T}$	1,5	
Parametri risultanti		$K_{S4/T}$	0,67	Eq. (B.7)
		$P_{LD/T}$	1	Tab. B.8
		$P_{LI/T}$	0,5	Tab. B.9

Tabella C - Complesso B: linee di telecomunicazione



ES.8 Definizione delle zone nel Complesso B

Sono definite le due zone:

- Z_1 (aree verdi);
- Z_2 (uffici).

Parametro	Commento	Simbolo	Valore	Riferimento nella norma
Tipo di suolo	Vegetale	r_t	10^{-2}	Tab. C.3
Misure di protezione contro l'elettrocuzione	Nessuna	P_{TA}	1	Tab. B.1
Rischio di incendio	Nullo	r_i	0	Tab. C.5
Protezione antincendio	Nessuna	r_p	1	Tab. C.4
Schermo di zona	Nessuna	K_{S2}	1	Eq. (B.6)
L_1 : Perdita di vite umane	Pericoli particolari: nessuno	h_z	1	Tab. C.6
	D_1 : tensioni di contatto e passo	L_T	10^{-2}	Tab. C.2
	D_2 : danno materiale	L_F	10^{-3}	
	D_3 : guasto degli impianti interni	L_O	0	
Coefficiente persone nelle zone	$n_z/n_t \times t_z/8760 = 14/104 \times 8760/8760$	-	0,1346	

Tabella D - Complesso A: coefficienti validi per la zona Z_1 (aree verdi)

Parametro		Commento	Simbolo	Valore	Riferimento nella norma
Tipo di suolo		Ceramica	r_t	10^{-3}	Tab. C.3
Misure contro l'elettrocuzione (fulmine sulla struttura)		Nessuna	P_{TA}	1	Tab. B.1
Misure contro l'elettrocuzione (fulmine sulla linea)		Nessuna	P_{TU}	1	Tab. B.6
Rischio di incendio		Ordinario	r_f	10^{-2}	Tab. C.5
Protezione antincendio		Estintori, ecc.	r_p	0,5	Tab. C.4
Schermo di zona		Nessuno	K_{S2}	1	Eq. (B.6)
Energia	Cablaggio interno	Non schermato (conduttori nello stesso condotto)	K_{S3}	0,2	Tab. B.5
	Sistema di SPD	Nessuno	P_{SPD}	1	Tab. B.3
Telecomunicazione	Cablaggio interno	Non schermato (larghe spire > 10 m ²)	K_{S3}	1	Tab. B.5
	Sistema di SPD	Nessuno	P_{SPD}	1	Tab. B.3
L_1 : Perdita di vite umane		Pericoli particolari: panico medio	h_z	5	Tab. C.6
		D_1 : tensioni di contatto e passo	L_T	10^{-2}	Tab. C.2
		D_2 : danno materiale	L_F	10^{-3}	
		D_3 : guasto degli impianti interni	L_O	0	
Coefficiente persone nelle zone		$n_z/n_t \times t_z/8760 = 90/104 \times 8760/8760$	-	0.8654	

Tabella E - Complesso B: coefficienti validi per la zona Z_2 (uffici)

ES.9 Calcolo delle quantità nel Complesso B

I valori delle aree di raccolta sono riportati nella Tabella E e quelli del numero atteso di eventi pericolosi nella Tabella F.

Oggetto	Simbolo	Equazione	Riferimento nella norma	Risultato (m ²)
Struttura	A_D	MAX tra A_{DMIN} e A_D'	A.2	~ 4120
	A_M	Non applicabile (D_3 non considerato)	A.7	---
Linea di energia	$A_{L/P}$	$A_{L/P} = 40 \times L_{L/P}$	A.9	5200
	$A_{I/P}$	$A_{I/P} = 4000 \times L_{L/P}$	A.11	520000
	$A_{DJ/P}$	$A_{DJ/P} = L_J \times W_{J/P} + 2 \times (3 \times H_{J/P}) \times (L_{J/P} + W_{J/P}) + \pi \times (3 \times H_{J/P})^2$	A.2	6650
Linea di telecomunicazione	$A_{L/T}$	$A_{L/T} = 40 \times L_{L/T}$	A.9	5200
	$A_{I/T}$	$A_{I/T} = 4000 \times L_{L/T}$	A.11	520000
	$A_{DJ/T}$	$A_{DJ/T} = L_{J/T} \times W_{J/T} + 2 \times (3 \times H_{J/T}) \times (L_{J/T} + W_{J/T}) + \pi \times (3 \times H_{J/T})^2$	A.2	6650

Tabella F - Complesso B: aree di raccolta della struttura e delle linee

A_D area di raccolta dei fulmini che colpiscono sulla struttura (è stato utilizzato un *metodo grafico*):
 $A_D = 4120 \text{ m}^2$ circa

$A_{L/P}$ area di raccolta dei fulmini che colpiscono la linea di energia (m²):
 $A_{L/P} = 40 \times L_{L/P} = 5200 \text{ m}^2$

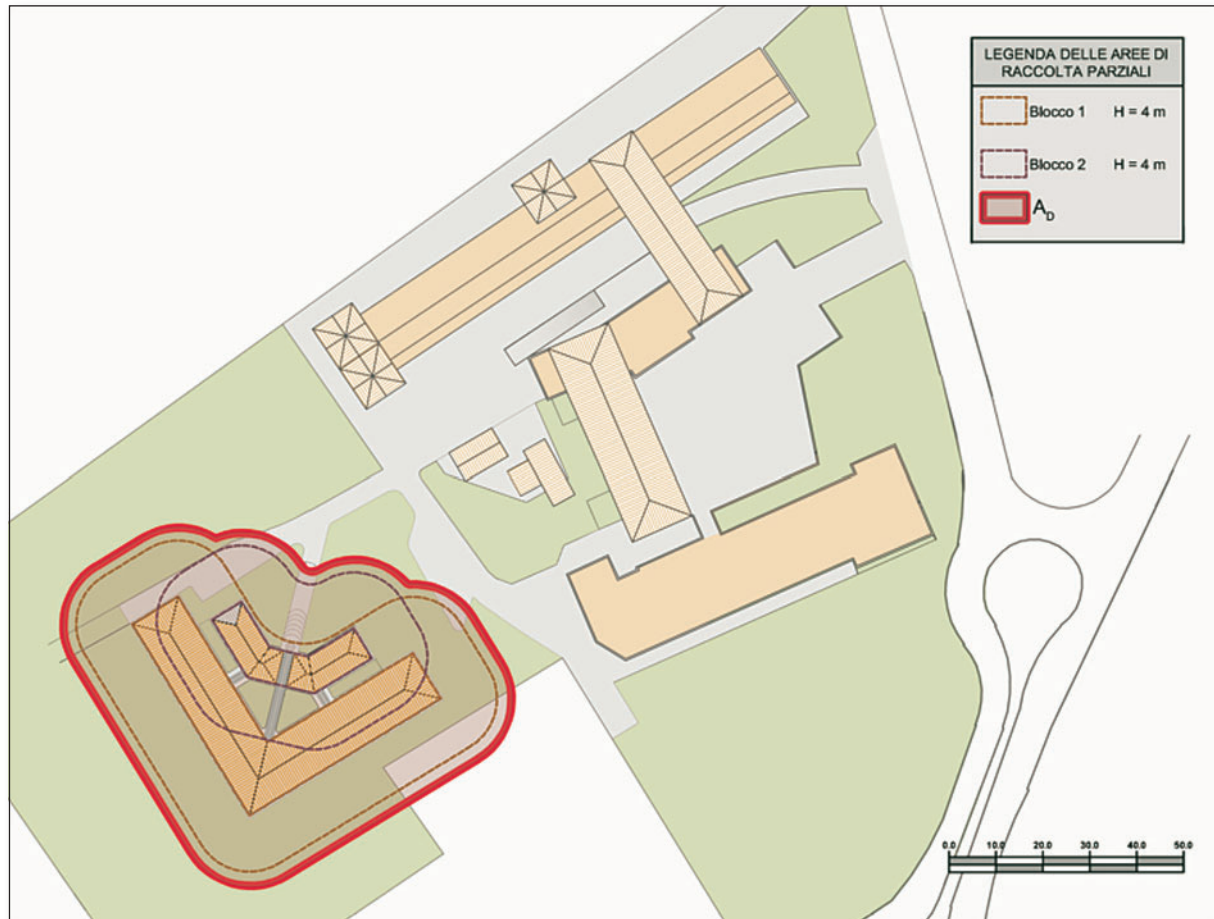
$A_{I/P}$ area di raccolta dei fulmini al suolo in prossimità della linea di energia (m²):
 $A_{I/P} = 4000 \times L_{L/P} = 520000 \text{ m}^2$

$A_{DJ/P}$ area di raccolta dei fulmini su una struttura all'estremità lontana della linea di energia (m²):
 $A_{DJ/P} = 6650 \text{ m}^2$

$A_{L/T}$ area di raccolta dei fulmini che colpiscono la linea di telecomunicazione (m²):
 $A_{L/T} = 40 \times L_{L/T} = 5200 \text{ m}^2$

$A_{I/T}$ area di raccolta dei fulmini al suolo in prossimità della linea di telecomunicazione (m²):
 $A_{I/T} = 4000 \times L_{L/T} = 520000 \text{ m}^2$

$A_{DJ/T}$ area di raccolta dei fulmini su una struttura all'estremità lontana della linea di telecomunicazione (m²):
 $A_{DJ/T} = 6650 \text{ m}^2$


 Figura 6 - Area di raccolta A_D (vedi anche Figure 2 e 5)

Oggetto	Simbolo	Equazione	Riferimento nella norma	Risultato (1/anno)
Struttura	N_D	$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$	A.4	$1,6 \times 10^{-2}$
	N_M	$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6}$	A.6	---
Linea di energia	$N_{L/P}$	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$	A.8	$1,0 \times 10^{-2}$
	$N_{I/P}$	$N_{I/P} = N_G \times A_{I/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$	A.10	---
	$N_{D/J/P}$	$N_{D/J/P} = N_G \times A_{D/J/P} \times C_{D/J/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$	A.5	$6,7 \times 10^{-3}$
Linea di telecomunicazione	$N_{L/T}$	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$	A.8	$1,0 \times 10^{-2}$
	$N_{I/T}$	$N_{I/T} = N_G \times A_{I/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$	A.10	---
	$N_{D/J/T}$	$N_{D/J/T} = N_G \times A_{D/J/T} \times C_{D/J/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$	A.5	$6,7 \times 10^{-3}$

Tabella G - Complesso B: numero atteso annuo di eventi pericolosi

- N_D** numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura:
 $N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} = 4 \times 4120 \times 1 \times 10^{-6} = 1,6 \times 10^{-2}$
- $N_{L/P}$** numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della linea di energia:
 $N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6} = 4 \times 5200 \times 0,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-6} = 1,0 \times 10^{-2}$
- $N_{I/P}$** numero di eventi pericolosi per fulminazione in prossimità della linea di energia (nel caso in esame, in base alle ipotesi assunte, l'equazione non è applicabile):
 $N_{I/T} = N_G \times A_{I/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6} = 4 \times 520000 \times 0,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-6} = 1,04$
- $N_{D/J/P}$** numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura adiacente (energia):
 $N_{D/J/P} = N_G \times A_{D/J/P} \times C_{D/J/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6} = 4 \times 6650 \times 0,25 \times 1 \times 10^{-6} = 6,7 \times 10^{-3}$
- $N_{L/T}$** numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della linea di telecomunicazione:
 $N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6} = 4 \times 5200 \times 0,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-6} = 1,0 \times 10^{-2}$

$N_{I/T}$ numero di eventi pericolosi per fulminazione in prossimità della linea di telecomunicazione (nel caso in esame, in base alle ipotesi assunte, l'equazione non è applicabile):

$$N_{I/T} = N_G \times A_{I/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6} = 4 \times 520000 \times 0,5 \times 1 \times 1 \times 10^{-6} = 1,04$$

$N_{D/J/T}$ numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura adiacente (telecomunicazione):

$$N_{D/J/T} = N_G \times A_{D/J/T} \times C_{D/J/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6} = 4 \times 6650 \times 0,25 \times 1 \times 10^{-6} = 6,7 \times 10^{-3}$$

ES.10 Valutazione del rischio - Complesso B: necessità o meno della protezione

Riassumendo, si hanno i risultati riportati nella Tabella H:

Tipo di Danno	Simbolo	Z_1	Z_2	Struttura
D_1 Danno per elettrocuzione	R_A	$2,15 \times 10^{-7}$	$1,38 \times 10^{-7}$	$3,54 \times 10^{-7}$
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		$3,46 \times 10^{-7}$	$2,89 \times 10^{-7}$
D_2 Danno materiale	R_B		$2,89 \times 10^{-7}$	$3,46 \times 10^{-7}$
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		$7,23 \times 10^{-7}$	$7,23 \times 10^{-7}$
Totale		$2,15 \times 10^{-7}$	$1,50 \times 10^{-6}$	$R_1 = 1,71 \times 10^{-6}$
Tollerabilità		$R_1 < R_T$: non è necessaria la protezione contro il fulmine		$R_T = 10^{-5}$

Tabella H - Complesso B: valori delle componenti del rischio R_1 per la struttura non protetta

Relativamente alla fulminazione diretta della struttura (S_1):

$R_A = N_D \times P_A \times L_A$ per la componente relativa al danno ad esseri viventi per elettrocuzione (D_1)

$R_B = N_D \times P_B \times L_B$ per la componente relativa al danno materiale (D_2)

Relativamente alla fulminazione su una linea connessa alla struttura (S_3):

$R_U = (N_L + N_{D,J}) \times P_U \times L_U$ per la componente relativa al danno ad esseri viventi per elettrocuzione (D_1)

$R_V = (N_L + N_{D,J}) \times P_V \times L_V$ per la componente relativa al danno materiale (D_2)

Sommando, naturalmente, gli effetti relativi alle linee di energia e a quelle di telecomunicazione.

Essendo:

$$P_A = P_{TA} \times P_B = 1 \times 1 = 1$$

e le Probabilità $P_{U/P}$, $P_{U/T}$, $P_{V/P}$ e $P_{V/T}$:

Tipo di Danno	Simbolo	Z_1	Z_2
D_1 Danno per elettrocuzione	P_A	1	
	$P_{U/P}$		1
	$P_{U/T}$		1
D_2 Danno materiale	P_B	1	
	$P_{V/P}$		1
	$P_{V/T}$		1

Tabella I - Complesso B: valori della probabilità P per la struttura non protetta

$$P_{U/P} = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD/P} \times C_{LD/P} = 1 \times 1 \times 1 \times 1 = 1$$

$$P_{U/T} = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD/T} \times C_{LD/T} = 1 \times 1 \times 1 \times 1 = 1$$

$$P_{V/P} = P_{EB} \times P_{LD/P} \times C_{LD/P} = 1 \times 1 \times 1 = 1$$

$$P_{V/T} = P_{EB} \times P_{LD/T} \times C_{LD/T} = 1 \times 1 \times 1 = 1$$

con L_A , L_B , L_U ed L_V che si ricavano dalla Tabella C.1 della Norma

Risultando $R_1 = 1,71 \times 10^{-6}$ minore del valore tollerabile $R_T = 10^{-5}$, la protezione contro il fulmine della struttura **non** si rende necessaria.

Infatti, sulla base della l. 186/68 (Norme di buona tecnica), che individua nelle norme CEI la *regola dell'arte*, è possibile ritenere assolto ogni obbligo giuridico che richieda la protezione contro le scariche atmosferiche per la *struttura* in esame.

Bibliografia

- Decreto Legislativo 9 aprile 1994 n. 81 e sue modifiche e integrazioni;
- Comitato Elettrotecnico italiano. Protezione contro i fulmini. Parte 1: Principi generali. Milano: CEI; 2013. CEI 81-10/1:2013 (CEI EN 62305-1);
- Comitato Elettrotecnico italiano. Protezione contro i fulmini. Parte 2: Valutazione del rischio. Milano: CEI; 2013. CEI 81-10/1:2013 (CEI EN 62305-2);
- Comitato Elettrotecnico italiano. Protezione contro i fulmini. Parte 3: Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone. Milano: CEI; 2013. CEI 81-10/1:2013 (CEI EN 62305-3);
- Comitato Elettrotecnico italiano. Protezione contro i fulmini. Parte 4: Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture. Milano: CEI; 2013. CEI 81-10/1:2013 (CEI EN 62305-4);
- DEHN Italia S.p.A. - BLITZPLANER: Manuale per la protezione contro i fulmini;
- BTicino S.p.A. - Guida tecnica 08: Distribuzione SPD;
- www.elektro.it
- TUTTONORMEL - Guida all'applicazione delle norme nel settore elettrico - n. 3 marzo 2013;
- TUTTONORMEL - Guida all'applicazione delle norme nel settore elettrico - n. 6 giugno 2013;
- INAIL Settore Ricerca, Certificazione e Verifica - Dipartimento Certificazione e Conformità dei Prodotti e Impianti d.p.r. 462/01 - Guida tecnica alla prima verifica degli impianti di protezione dalle scariche atmosferiche e impianti di messa a terra: Aprile 2012.

Alcune immagini sono tratte da manuali della DEHN Italia S.p.A. che si ringrazia per l'autorizzazione all'utilizzo e la disponibilità dimostrata.

