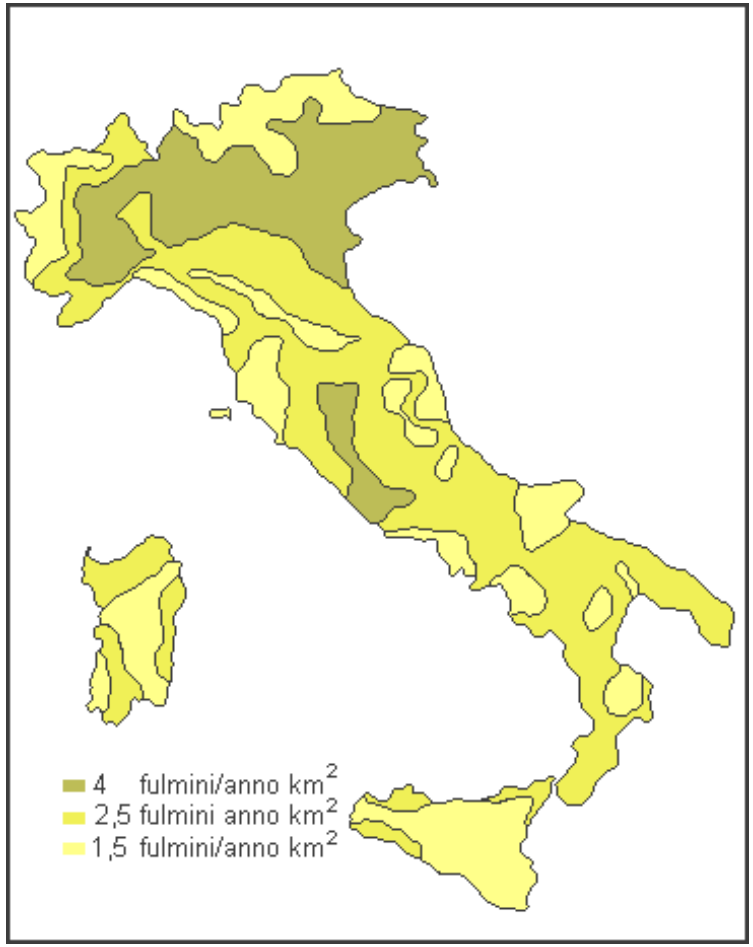
Protezione contro le scariche atmosferiche

Protezione contro le scariche atmosferiche

Le scariche atmosferiche o volgarmente chiamati fulmini, sono fenomeni di scarica violenti che producono in tempi brevissimi correnti di intensità molto elevate che possono raggiungere e superare i 200 kA.
A causa dell'enorme energia sviluppata nel breve tempo sono eventi che si possono ripercuotere con tutto il loro potenziale distruttivo sui componenti o sugli impianti e nei casi più gravi sulle persone e sugli animali.

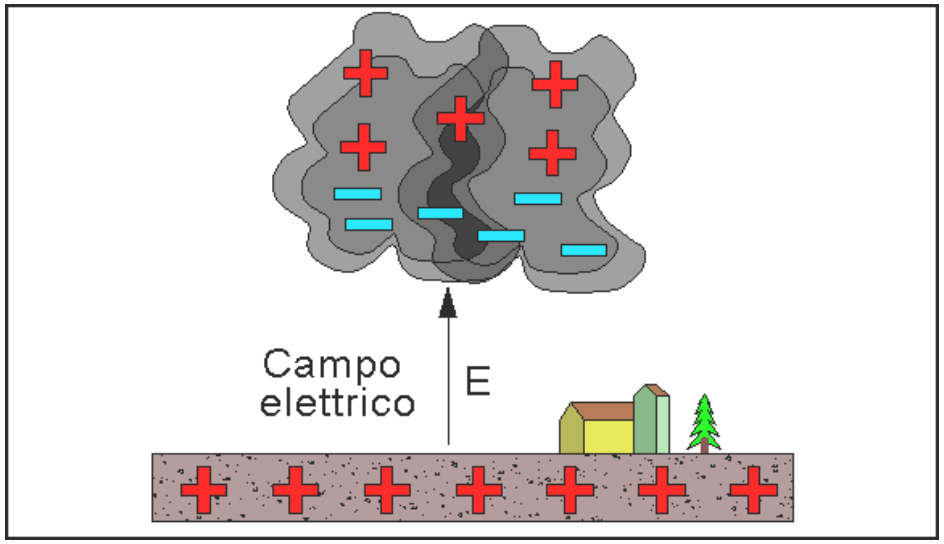


Per prevenire i rischi dovuti a questi fenomeni di origine naturale si rende necessario uno studio approfondito e il rilievo dei fulmini a terra per mezzo di strumenti sensibili al campo elettromagnetico prodotto dalla corrente di fulmine.

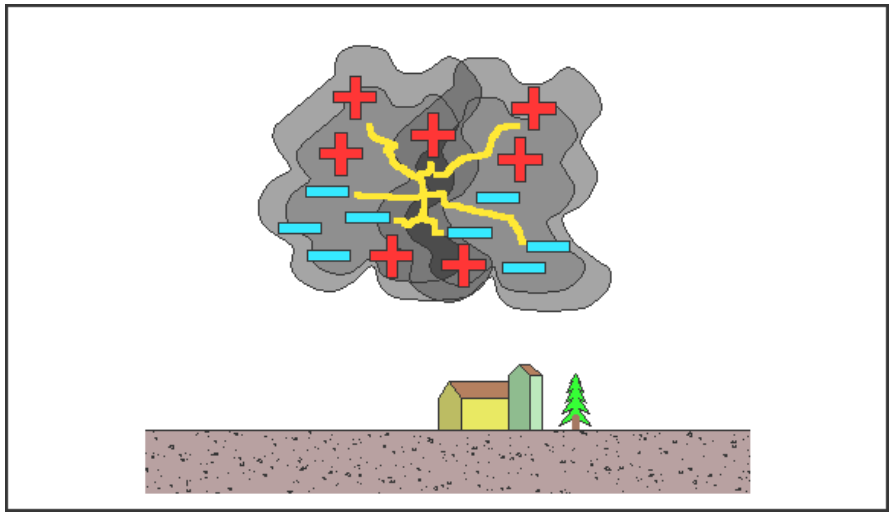
Valori medi della frequenza di fulminazione per unità di superficie

Formazione delle scariche atmosferiche

In caso di temporale può accadere che le nuvole e il suolo si comportino come le armature di un condensatore.
L'aria è il dielettrico interposto tra queste enormi armature, una miscela di gas isolante costituita principalmente da azoto e ossigeno.



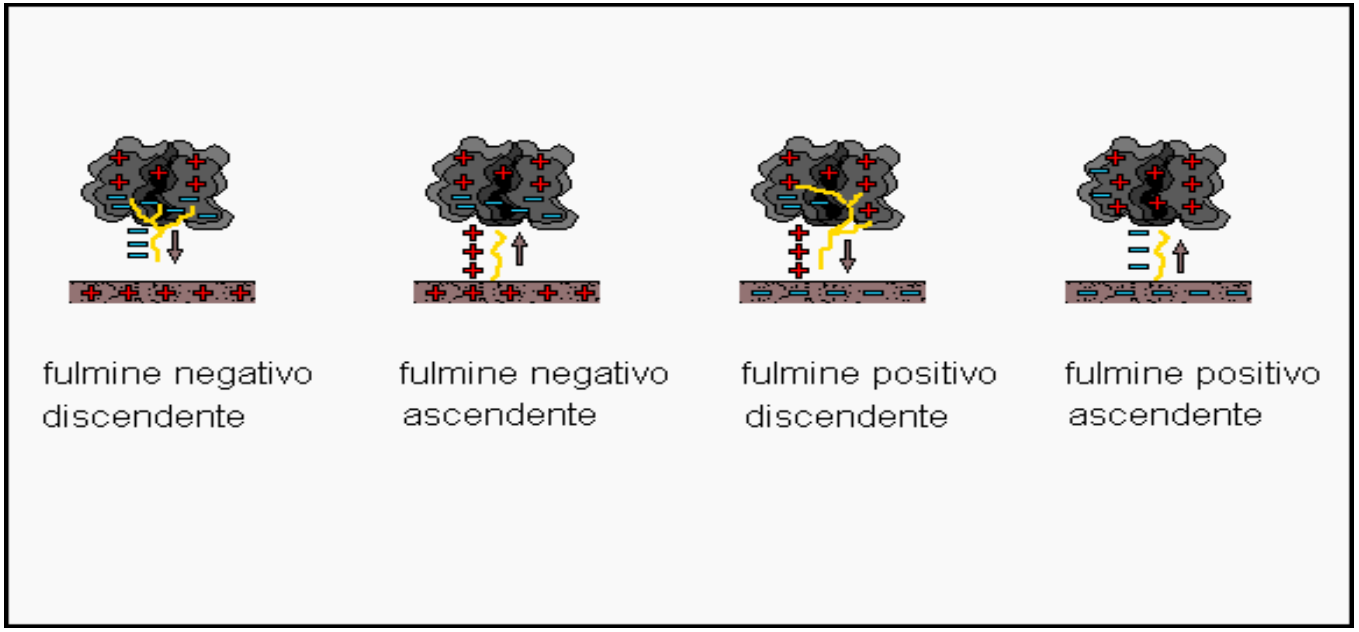
La rigidità dielettrica dell'aria, in base al valore del campo elettrico che si stabilisce tra cielo e terra, può essere superata e si può verificare il fenomeno della scarica elettrica che comunemente viene definita fulmine.



Le cariche elettriche di segno opposto che si sono formate si separano posizionandosi in parte verso l'alto (cariche positive costituite dai cristalli di ghiaccio) e in parte verso il basso della nube (cariche negative costituite dalle goccioline di acqua).
E' da questo momento che nella nuvola si formano i primi lampi.

Tipologie di scarica atmosferica

In funzione della direzione nella quale si propagano e della carica elettrica possono distinguersi in discendenti (quando hanno origine dalla nube) o ascendenti (quando hanno origine da strutture a terra), positivi o negativi.



In territori pianeggianti e in presenza di strutture di altezza modesta si verificano prevalentemente fulmini discendenti mentre su strutture esposte e/o di altezza elevata i fulmini ascendenti sono preponderanti.

La probabilità di impatto aumenta con l'altezza (CEI EN 62305-2, Allegato A) e cambiano le condizioni fisiche.

Normativa di riferimento:

Dal 1 febbraio 2007
le *Norme CEI 81-1 e CEI 81-4,*
nonché la *Guida CEI 81-8,*
vengono ***abrogate***
e sostituite dalle *Norme CEI EN 62305/1-4*

Le misure di protezione
previste secondo le precedenti
Norme CEI 81-1 e 81-4 e la Guida CEI 81-8
sono in genere ritenute egualmente idonee agli effetti della sicurezza.

Questa nuova serie di norme si applica all'esecuzione di nuove realizzazioni delle misure di protezione contro il fulmine per le strutture e i servizi ad esse connessi, nonché alle trasformazioni radicali di quelle esistenti.

La serie di Norme CEI EN 62305/1- 4 è composta dalle seguenti quattro parti:

In

CEI EN 62305-1 "Protezione contro i fulmini. Principi generali"
CEI EN 62305-2 "Protezione contro i fulmini. Valutazione del rischio"
CEI EN 62305-3 "Protezione contro i fulmini. Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone"
CEI EN 62305-4 "Protezione contro i fulmini. Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture"

La serie di Norme CEI EN 62305/1- 4 sostituisce i seguenti documenti normativi:

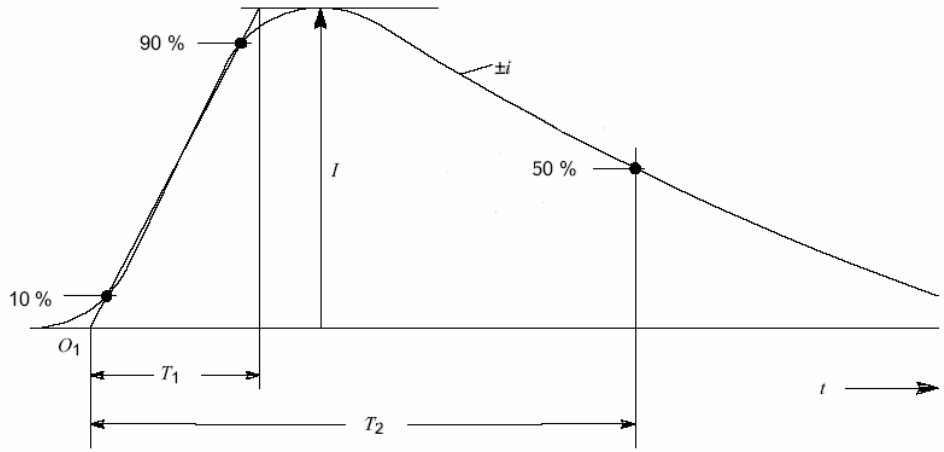
Out

Norma CEI 81- 1: *"Protezioni delle strutture contro i fulmini"*
Norma CEI 81- 4: *"Protezioni delle strutture contro i fulmini. Valutazione rischio dovuto al fulmine"*
Guida CEI 81- 8: *"Guida d'applicazione all'utilizzo di limitatori di sovratensione sugli impianti utilizzatori di bassa tensione".*

Una corrente di fulmine è costituita da uno o più colpi diversi tra loro:

- Colpi brevi aventi durata inferiore a 2 ms
- Colpi lunghi aventi durata superiore a 2 ms

Definizione dei parametri del colpo breve



Legenda

O_1 origine virtuale

I valore di picco

T_1 durata del fronte

T_2 tempo all'emivalore

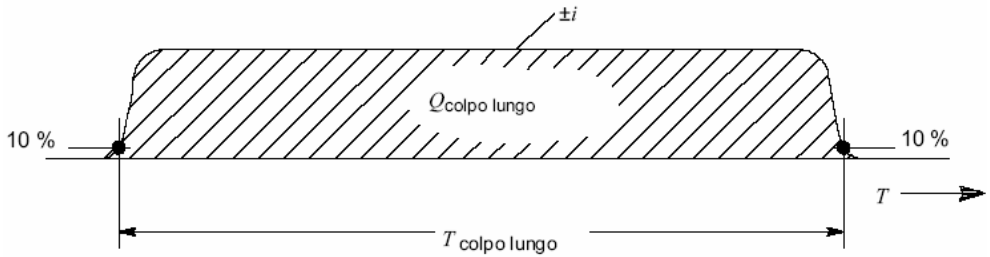
i corrente di fulmine

Definizione dei parametri del colpo lungo

Legenda

$T_{\text{colpo lungo}}$ durata di un colpo lungo

$Q_{\text{colpo lungo}}$ carica in un colpo lungo



Cause di danneggiamento:

La potenza istantanea dissipata in calore dalla corrente in un conduttore è:

$$P(t) = i^2 R$$

L'energia termica generata dalla totale corrente di fulmine è quindi data dal prodotto della resistenza ohmica del considerato componente dell'LPS e l'energia specifica della corrente.
Questa energia è espressa in Joule (J) o Watt·secondo (W·s).

$$W = R \cdot \int i^2 \cdot dt$$

Effetti delle correnti di fulmine:

Effetti termici

Gli effetti termici connessi alle correnti di fulmine sono quelli ohmici causati dal fluire di una corrente attraverso la resistenza di un conduttore o in un LPS.

Effetti resistivi

Gli effetti resistivi si verificano in ogni componente di un LPS interessato da una significativa frazione della corrente di fulmine.

La minima sezione dei conduttori deve essere sufficientemente elevata per prevenire sovratemperatura nei conduttori e pericolo d'incendio nelle vicinanze.

Per le parti esposte agli agenti atmosferici o a corrosione, oltre agli aspetti termici, devono essere considerati anche gli aspetti meccanici ed i criteri di durata nel tempo.

La valutazione del riscaldamento dei conduttori dovuto al fluire delle correnti di fulmine è talvolta necessario quando possono sorgere problemi di rischio di danno alle persone o di esplosione.

Danneggiamento termico nel punto d'impatto:
si verifica su tutti i componenti di un LPS su cui si sviluppa un arco.

La fusione e l'erosione di materiale si verifica nel *"punto di radice dell'arco"* infatti in questo punto si sviluppa una grande quantità di energia termica dovuto alla elevata densità di corrente.

Questo calore generato è maggiore di quello che può essere assorbito per conduzione dal materiale e si ha la fusione del materiale.

L'importanza del fenomeno è correlato con l'ampiezza e la durata della corrente.

Effetti meccanici:
Dipendono dalle Interazioni magnetiche che si verificano quando due conduttori sono percorsi da corrente o quando un solo conduttore forma un angolo od un cappio.

Queste interazioni magnetiche producono degli effetti meccanici, dette forze che dipendono dall'ampiezza e dalla durata della corrente e dalle caratteristiche di elasticità delle strutture meccaniche interessate.

Scariche distruttive

In generale le scariche distruttive sono importanti solo in ambienti infiammabili

Possono essere di due diversi tipi:

- **scariche termiche:** si verificano quando una corrente molto elevata è costretta ad attraversare uno spazio isolante interposto tra materiali conduttori questo accade in prossimità degli spigoli o all'interno di giunzioni.
L'intensità delle scariche termiche dipende dall'energia specifica e, conseguentemente, la condizione più critica è associata al primo colpo di fulmine.

- **scariche di tensione:** si verificano quando la corrente è costretta a fluire attraverso percorsi tortuosi, per esempio all'interno di giunti in questo caso la componente di fulmine più critica per le tensione di scarica è quindi il colpo successivo al primo colpo di fulmine.

Effetti sul sistema di captatori:

derivano sia dagli effetti meccanici che da quelli termici e anche dagli effetti di erosione dovuti all'arco.

Effetti sul sistema di calate:

sono dovuti ai fulmini possono essere divisi in due principali categorie:

Effetti termici: dovuti a riscaldamento ohmico

Effetti meccanici: connessi con l'interazione magnetica

Danni agli elementi di connessione

Gli elementi di connessione tra conduttori adiacenti di un LPS costituiscono possibili punti di debolezza meccanica e termica dove possono verificarsi sollecitazioni molto elevate.

Nel caso di connettori installati in modo da consentire la formazione di angoli retti, l'effetto principale della sollecitazione sono connessi con gli sforzi elettrodinamici che tendono, vincendo le forze di attrito, a raddrizzare i conduttori e ad aprire la connessione. con conseguente possibile formazione di arco tra i punti di contatto delle diverse parti.

Danni al sistema di dispersori:

I reali problemi connessi con il sistema di dispersori sono quelli relativi alla corrosione chimica ed ai danneggiamenti meccanici causati da sforzi diversi da quelli elettrodinamici.

In pratica l'erosione degli elettrodi di terra dovuti alla radice dell'arco sono meno importanti.

Norma CEI 81-10/1

Parte1: Principi Generali

→ Definizioni generali

→ Tipologie di danno e perdite

→ Criteri per la protezione

→ Parametri della corrente di fulmine

Si precisa che, per:

- *le strutture con rischio di esplosione,*

- *gli ospedali,*

- *le altre strutture in cui guasti di impianti interni possono provocare immediato pericolo per la vita umana in cui non sia già stato installato un impianto di protezione contro i fulmini (LPS) realizzato in conformità alle precedenti Norme CEI 81-1,*

l'idoneità delle misure di protezione deve essere verificata in conformità alla Norme vigenti.

Definizioni:

LPS:
Sistema di protezione contro i fulmini. Un L.P.S. (Lightning Protection System) è l'intero sistema usato per proteggere una struttura contro gli effetti del fulmine, esso è costituito da impianti di protezione sia esterni che interni.\

LEMP: impulso elettromagnetico di fulmine

LPZ: zona di protezione

SPD: limitatore di sovratensione

LPL: livelli di protezione contro il fulmine

LPMS: misure di protezione contro l'impulso elettromagnetico di fulmine

Norma CEI 81-10

Sono **esclusi** dalla norma i seguenti casi:

– Sistemi ferroviari;
– Veicoli, navi, aerei, installazioni “offshore”;
– Tubazioni sotterranee ad alta pressione;
– Tubazioni, linee elettriche di potenza e di telecomunicazione non connesse alla struttura.

Tipi di danni causati:

- ✓ alla struttura stessa
- ✓ ai suoi occupanti
- ✓ al suo contenuto
- ✓ agli impianti interni.

Possibili sorgenti di danno alla struttura:

La corrente di fulmine è la sorgente del danno.

Le seguenti situazioni devono essere prese in considerazione in funzione della localizzazione del punto di impatto rispetto alla struttura:

S1 *: fulmine sulla struttura;*

S2 *: fulmine vicino alla struttura;*

S3 *: fulmine sui servizi entranti nella struttura;*

S4 *: fulmine in prossimità dei servizi entranti nella struttura.*

Principali tipi di danno alla struttura:

- ✓ **D1**: danni ad esseri viventi dovuto a tensione di contatto e di passo;
- ✓ **D2**: danni materiali (incendio, esplosione, distruzione meccanica, rilascio di sostanze chimiche) dovuti agli effetti della corrente di fulmine, scariche distruttive incluse;
- ✓ **D3**: guasti agli impianti interni dovuti al LEMP.

Tipi di perdita:

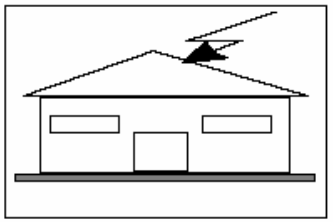
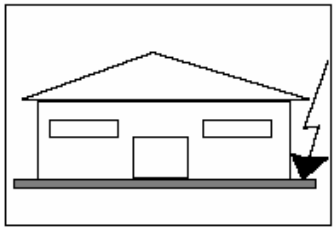
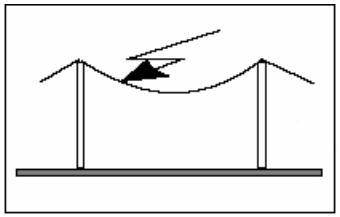
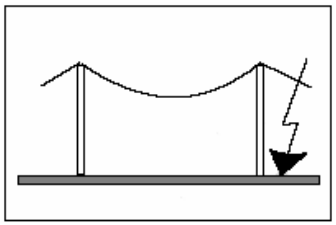
Ciascun tipo di danno, solo o in combinazione con altri, può produrre differenti perdite nell'oggetto da proteggere

Il tipo di perdita che può verificarsi dipende dalle caratteristiche dell'oggetto stesso.

La presente Norma definisce i seguenti tipi di perdita:

- **L1** : perdita di vite umane
- **L2** : perdita di servizio pubblico
- **L3** : perdita di patrimonio culturale insostituibile
- **L4** : perdita economica (struttura e suo contenuto, servizi e perdita di attività).

Tipo di servizio	Effetti del fulmine
Linee di telecomunicazione	Danni meccanici alla linea, fusione degli schermi e di conduttori cedimento dell'isolamento del cavo e degli apparati con conseguente guasto primario e perdita immediata del servizio. Guasto secondario dei cavi a fibra ottica con danno del cavo, ma senza perdita del servizio
Linee di potenza	Danneggiamento degli isolatori delle linee aeree a bassa tensione, cedimento dell'isolamento dei cavi e delle apparecchiature di linea e dei trasformatori con conseguente perdita del servizio.
Tubazioni d'acqua	Danneggiamento degli apparati elettrici ed elettronici di controllo con probabile perdita del servizio.
Tubazioni di gas e di combustibili	Perforazione delle guarnizioni non metalliche con probabile innesco di incendio e/o esplosione. Danneggiamento degli apparati elettrici ed elettronici di comando con probabile perdita del servizio.

Punto d'impatto		Sorgente di danno	Tipo di danno	Tipo i perdita
Struttura		S1	D1 D2 D3	L1, L4 L1, L2, L3, L4 L1, L2, L4
In prossimità della struttura		S2	D3	L1, L2, L4
Servizi entranti nella struttura		S3	D1 D2 D3	L1, L4 L1, L2, L3, L4 L1, L2, L4
In prossimità di un servizio		S4	D3	L1, L2, L4

Misure di protezione atte a ridurre i danni materiali

Le possibili misure di protezione sono:

1. Per le strutture: impianto di protezione contro il fulmine (LPS)
2. Per i servizi: funi di guardia

Misure di protezione atte a ridurre i guasti negli impianti elettrici ed elettronici

a) Per le strutture:

- Impianto di protezione contro il LEMP consistente nei seguenti provvedimenti utilizzabili da soli o congiuntamente:
- Messa a terra ed equipotenzializzazione;
- Schermatura;
- Percorso delle linee;
- Sistema di SPD.

b) Per i servizi

- Limitatori di sovratensione (SPD) distribuiti lungo la linea ed al termine della linea tessa
- Cavi schermati

Una protezione ideale per le strutture ed i servizi sarebbe quella di ***racchiudere l'oggetto da proteggere entro uno schermo metallico continuo***, di adeguato spessore e messo a terra, ed assicurare un'appropriata connessione dei servizi entranti nelle struttura nel punto di entrata dello schermo stesso.

Ciò eviterebbe la penetrazione delle correnti di fulmine e dei relativi campi elettromagnetici nell'oggetto da proteggere ed eviterebbe dannosi effetti termici ed elettrodinamici, nonché il verificarsi di pericolose scariche distruttive negli impianti elettrici ed elettronici.

In pratica è spesso ***impossibile o economicamente non conveniente*** adottare tale protezione che consente la realizzazione di una protezione ottimale.

Parametri della corrente di fulmine:

Le forme d'onda delle correnti dei

- primi colpi brevi 10/350 µs
- colpi brevi successivi 0,25/100 µs

possono essere definite mediante la relazione:

$$i = \frac{I}{k} \cdot \frac{(t/\tau_1)^{10}}{1+(t/\tau_1)^{10}} \cdot \exp(-t/\tau_2)$$

dove

I é il valore di picco

k é il fattore di correzione del valore di picco

t é il tempo

τ_1 costante di tempo del fronte

τ_2 costante di tempo della coda

Parametro	Primo colpo breve			Colpo breve susseguente		
	Livello di protezione			Livello di protezione		
	I	II	III - IV	I	II	III-IV
I (kA)	200	150	100	50	37,5	25
k	0,93	0,93	0,93	0,993	0,993	0,993
τ_1 (μs)	19,0	19	19	0,454	0,454	0,454
τ_2 (μs)	485	485	485	143	143	143

Dal calcolo della corrente di fulmine deriva:

Efficienza d'intercettazione di un sistema di captazione

L'efficienza d'intercettazione di un impianto di captazione dipende:

- dal minimo valore della corrente di fulmine
- dal corrispondente raggio della **sfera rotolante** cioè l'insieme dei contorni geometrici della zona protetta dall'impatto diretto del fulmine.

$$r = 10 \cdot I^{0,65}$$

dove:
r è il raggio della sfera rotolante (m)
I è il valore di picco della corrente di fulmine (kA)

Norma CEI 81-10/2

"Valutazione del rischio"

→ Analisi delle componenti del rischio

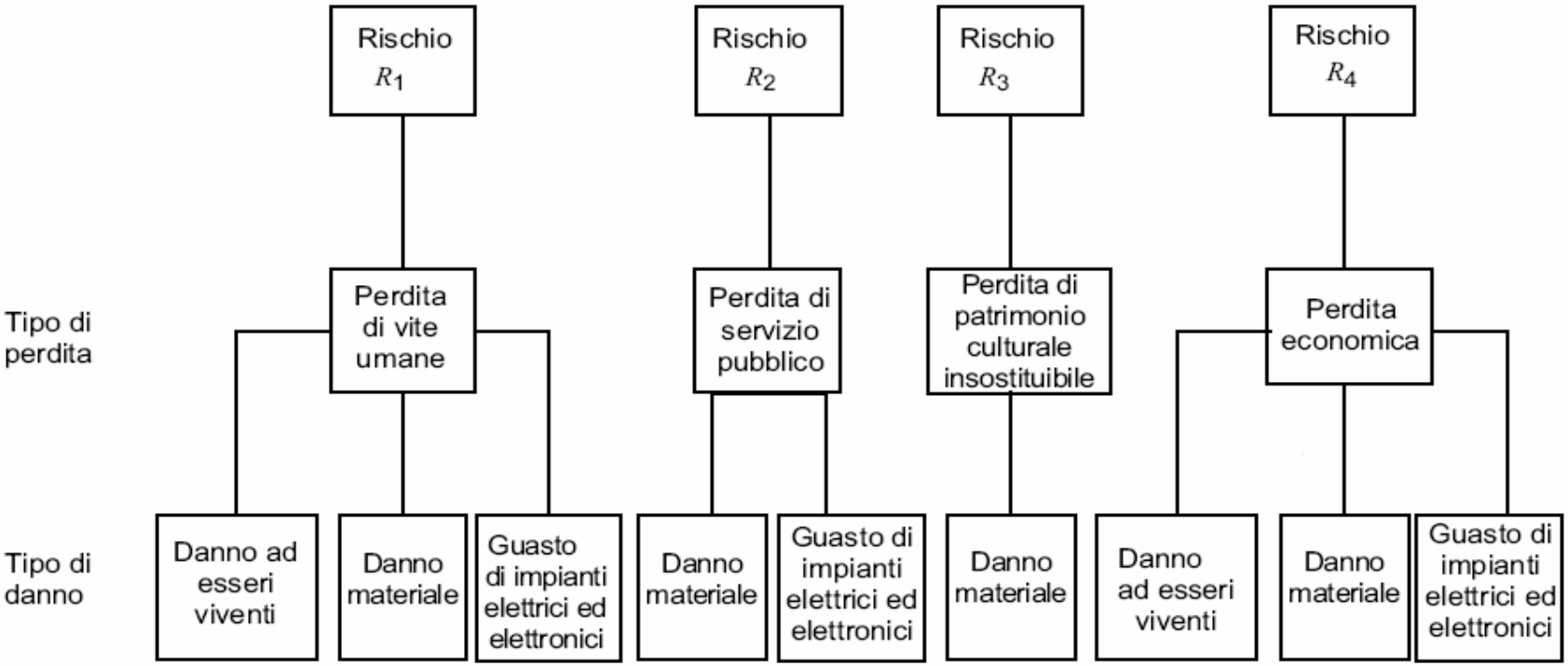
→ Convenienza economica

→ Scelta delle misure di protezione

Valutazione del rischio

Per valutare se la protezione sia o meno necessaria, deve essere effettuata la valutazione del rischio considerando:

*R*1 : perdita di vite umane
*R*2 : perdita di servizio pubblico
*R*3 : perdita di patrimonio culturale insostituibile



La protezione contro il fulmine é necessaria se il rischio R (R1, R2 ed R3) é superiore al livello di ***rischio tollerabile RT***

$$R > RT$$

In questo caso devono essere adottate misure di protezione al fine di ridurre il rischio *R* (*R*1,*R*2 ed *R*3) al valore di rischio tollerabile *R*T

$$R \leq RT$$

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

Definizione di rischio:

R = misura della probabile perdita media annua.

I rischi possono essere di 3 tipologie:

R1: rischio di perdita di vite umane;
R2: rischio di perdita di servizio pubblico;
R3: rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile;
R4: rischio di perdita economica

Ciascun rischio *R* è la somma delle sue componenti di rischio.

Perdita di vite umane:

$$R1 = (Ra + Rb + Ru + Rv) + (Rc + Rw + Rm + Rz)$$

Componenti normali

Componenti aggiunte nel caso in cui il danneggiamento delle apparecchiature possa provocare un'immediata perdita di vite umane, come nel caso degli ospedali o dei luoghi con pericolo d'esplosione.

Pedrita di pubblico servizio:

$$R2 = (Rb\backslash + Rc + Rv + Rw + Rm + Rz)$$

Perdita di patrimonio culturale insostituibile:

$$R3 = (Rb + Rv)$$

Perdita economica:

$$R4 = \underbrace{(Rb + Rc + Rv + Rw + Rm + Rz)}_{\text{Componenti normali}} + \underbrace{(Ra)}_{\text{Componenti aggiunte nel caso in cui il ci sia presenza di animali nelle strutture}}$$

Dove:

Ra: componente relativa ai danni a persone e ad esseri viventi dovuti a tensioni di contato e di passo in zone fino a 3 m all'esterno della struttura.

Ru: componente relativa ai danni ad esseri viventi dovuti a tensioni di contato all'interno della struttura.

Rb: 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.

Rv: componente relativa ai danni materiali dovuti alla fulminazione diretta di una linea di segnale

Rc: componente supplementare relativa al guasto di impianti interni causata dal LEMP.

Rw: componente supplementare relativa al danno alle apparecchiature elettriche ed elettroniche per fulminazione diretta di una linea di segnale o di energia.

Rm: componente supplementare relativa al guasto di impianti interni causata dal LEMP.

Rz: componente supplementare relativa al guasto di impianti interni causata da sovratensioni indotte sulla linea e trasmesse alla struttura

Equivalenza tra vecchie e nuove componenti

L'equivalenza nominale tra vecchie e nuove componenti di rischio è riportata nella tabella:

CEI 81-4	CEI EN 62305-2
H	A
A	B
D	C
M	M
-	U
C	V
-	W
G	Z

Componenti di rischio da considerare per ogni tipo di perdita

	Sorgenti di danno							
	Fulminazione diretta della struttura S1			*Fulminazione indiretta della struttura S2*	*Fulminazione diretta della linea entrante S1*			*Fulminazione indiretta della linea entrante S3*
	Ra	Rb	Rc	Rm	Ru	Rv	Rw	Rz
R1	X	X	X	X	X	X	X	X
R2	-	X	X	X	-	X	X	X
R3	-	X	-	-	-	X	-	-
R4	X	X	X	X	X	X	X	X

Equazioni di base:

Ciascuna componente di rischio *R*A, *R*B, *R*C, *R*M, *R*U, *R*V, *R*W e *R*Z, può essere calcolata mediante la seguente equazione generale:

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

Dove:

*N*X é il numero di eventi pericolosi
*P*X é la probabilità di danno alla struttura
*L*X é la perdita

Nx → **Numero di eventi pericolosi**

$$Nx = Ng \times Ax$$

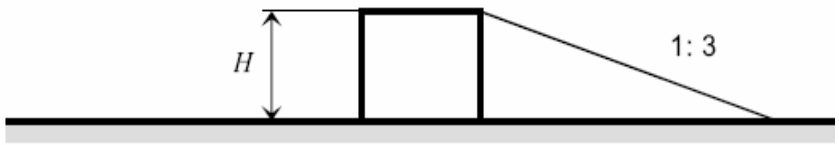
dove:

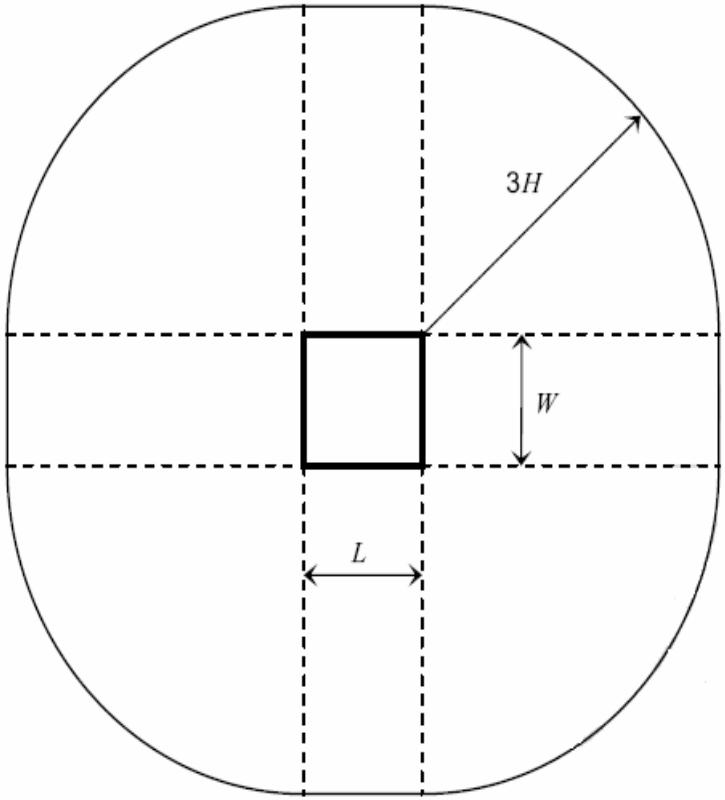
Ng densità di fulmini a terra (numero di fulmini per Km quadrato per anno)

Ax area di raccolta che a sua volta è composta da:

Ad	Fulminazione della struttura
Am	Fulmini vicini alla struttura
Al	Fulminazione dei servizio
Ai	Fulmini vicino al servizio

Calcolo dell'area di raccolta *Ad*





Per una struttura isolata in un territorio pianeggiante l'area di raccolta *A*d é l'area definita dall'intersezione tra la superficie del suolo e la retta con pendenza 1/3 che passa per le parti più elevate della struttura (toccandole) e ruota attorno ad essa.
Il calcolo del valore di *A*d può essere effettuato graficamente o matematicamente.

Caso A:
Struttura rettangolare

Per una struttura rettangolare isolata di lunghezza *L*, larghezza *W*, ed altezza *H* su un terreno pianeggiante, l'area di raccolta è uguale a:

$$A_d = L \times W + 6 \cdot \times H \times (L + W) + 9\,\pi\,(H)^2$$

Caso B:
Struttura di forma complessa

Se la struttura ha una forma complessa come elevate protrusioni sul tetto per valutare *A*d dovrebbe essere utilizzato un metodo grafico perché la differenza può risultare troppo elevata se sono utilizzate le dimensioni massime (*A*dmax) o le minime (*A*dmin)

PX → **Probabilità di danno alla struttura**

PA: Probabilità che un fulmine causi danno ad esseri viventi

PB: Probabilità che un fulmine su una struttura causi danno materiale

PC: Probabilità che un fulmine su una struttura causi guasti negli impianti interni

PM: Probabilità che un fulmine in prossimità di una struttura causi guasti negli impianti interni

PU: Probabilità che un fulmine su un servizio causi danno agli esseri viventi

PV: Probabilità che un fulmine su un servizio causi danno materiale

PW: Probabilità che un fulmine su un servizio causi guasti negli impianti interni

PZ: Probabilità che un fulmine in prossimità di un servizio entrante causi guasti negli impianti interni

Lx → Perdita dovuta al danno

La perdita *L*X é riferita all'ammontare della perdita media relativa ad un particolare tipo di danno dovuto al fulmine tenendo conto sia della sua estensione che degli effetti conseguenti.

I suo valore dipende dal:
– numero delle persone ed tempo per cui esse rimangono nel luogo pericoloso;
– tipo e importanza del servizio pubblico;
– valore dei beni interessati dal danno.

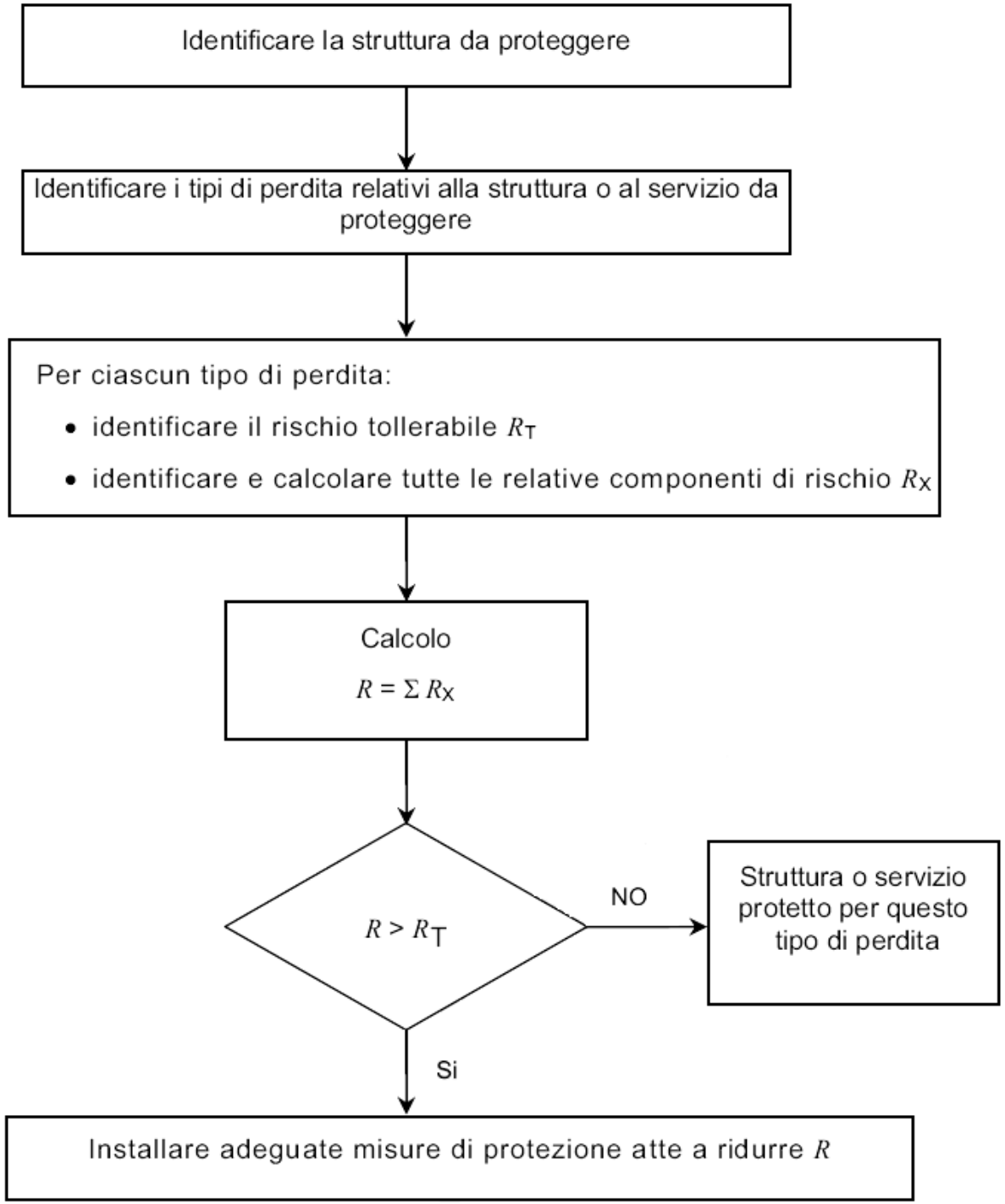
La perdita *L*X varia con il tipo di perdita considerata (L1, L2, L3 e L4) e, per ciascun tipo di perdita, con il tipo di danno (D1, D2 and D3) che ha provocato la perdita.

Sono adottati i seguenti simboli:
*L*t é la perdita dovuta alle tensioni di contatto e di passo;
*L*f é la perdita dovuta a danno materiale;
*L*o é la perdita dovuta ai guasti degli impianti interni

Rischio tollerabile RT

La definizione dei valori di rischio tollerabili *R*T riguardanti le perdite di valore sociale è responsabilità dei competenti comitati nazionali.
Valori rappresentativi di rischio tollerabile *R*T, quando il fulmine coinvolge la perdita di vite umane o perdite sociali o culturali, sono riportati nella tabella seguente:

Tipo di perdita	R_T(anni^{-1})
Perdita di vite umane o danni permanenti	10^{-5}
Perdita di servizio pubblico	10^{-3}
Perdita di patrimonio culturale insostituibile	10^{-3}



Organigramma per il calcolo del rischio

Procedura decisionale di protezione di una struttura o un servizio contro il fulmine:

– identificazione dell'oggetto da proteggere e delle sue caratteristiche;

– identificazione di tutti i tipi di perdita nell'oggetto e dei corrispondenti rischi

– determinazione del rischio *R* per ciascun tipo di perdita

– valutazione della necessità della protezione effettuando il confronto tra i rischi per una struttura 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.

Convenienza economica della protezione contro il fulmine

Oltre alla necessità della protezione contro il fulmine di un oggetto, può risultare utile valutare i benefici economici derivanti dall'adozione di *misure di protezione atti a ridurre le perdite economiche L4.*

In questo caso dovrebbe essere definito il valore del rischio di perdita economica *R*4. La definizione di *R*4 permette di valutare il costo della perdita economica con e senza le misure di protezione.

La protezione contro il fulmine è conveniente se la somma :

del costo CRL *della perdita residua in presenza delle misure di protezione ed il costo CPM delle misure di protezione*

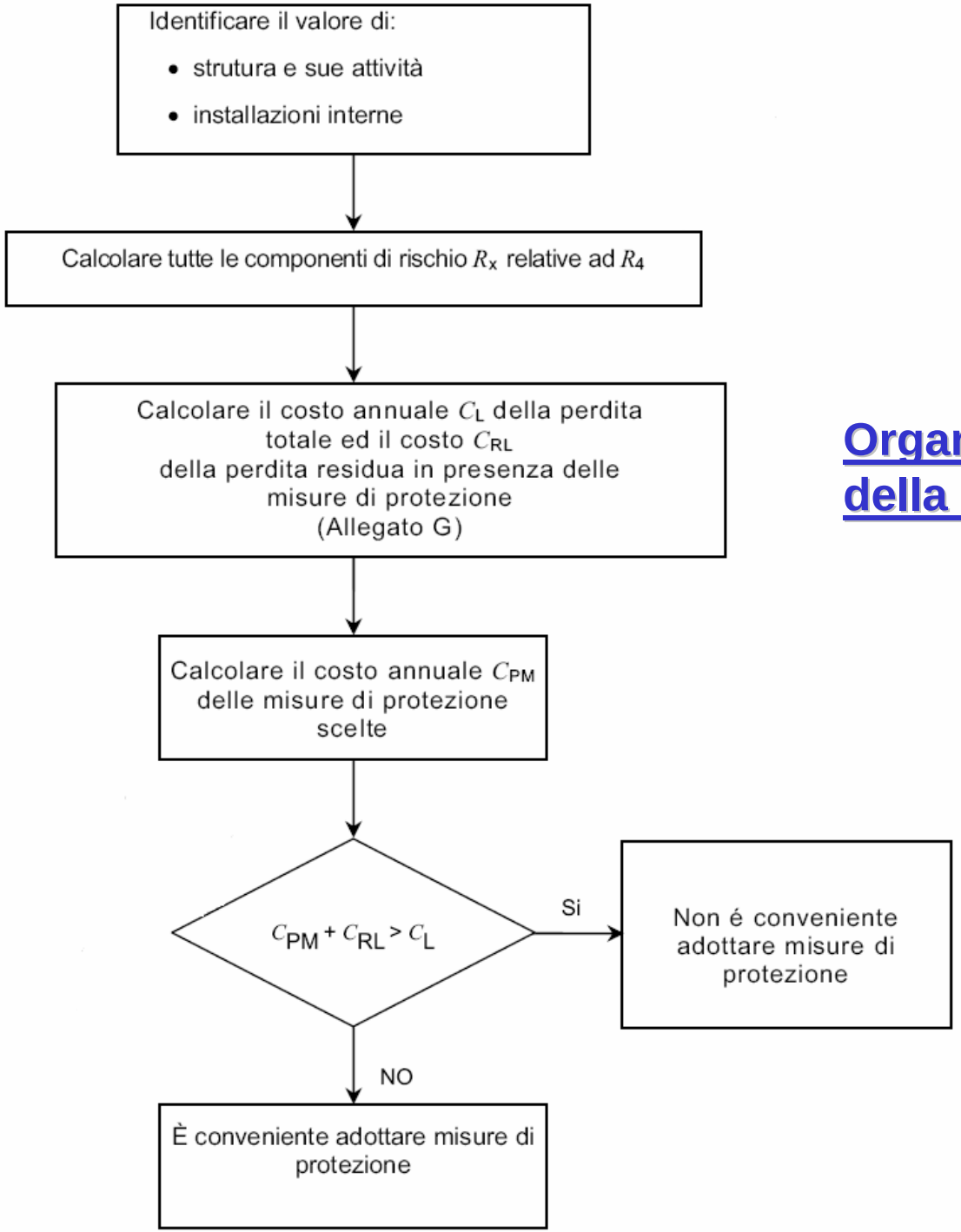
Risulta:

inferiore al costo *C*L della perdita totale in assenza delle misure di protezione:

$$CRL + CPM < CL$$

Se *C*L < *C*RL + *C*PM, la protezione contro il fulmine può essere ritenuta non conveniente.

Se *C*L = *C*RL + *C*PM, la protezione contro il fulmine può consentire risparmi nell'arco di vita della struttura.

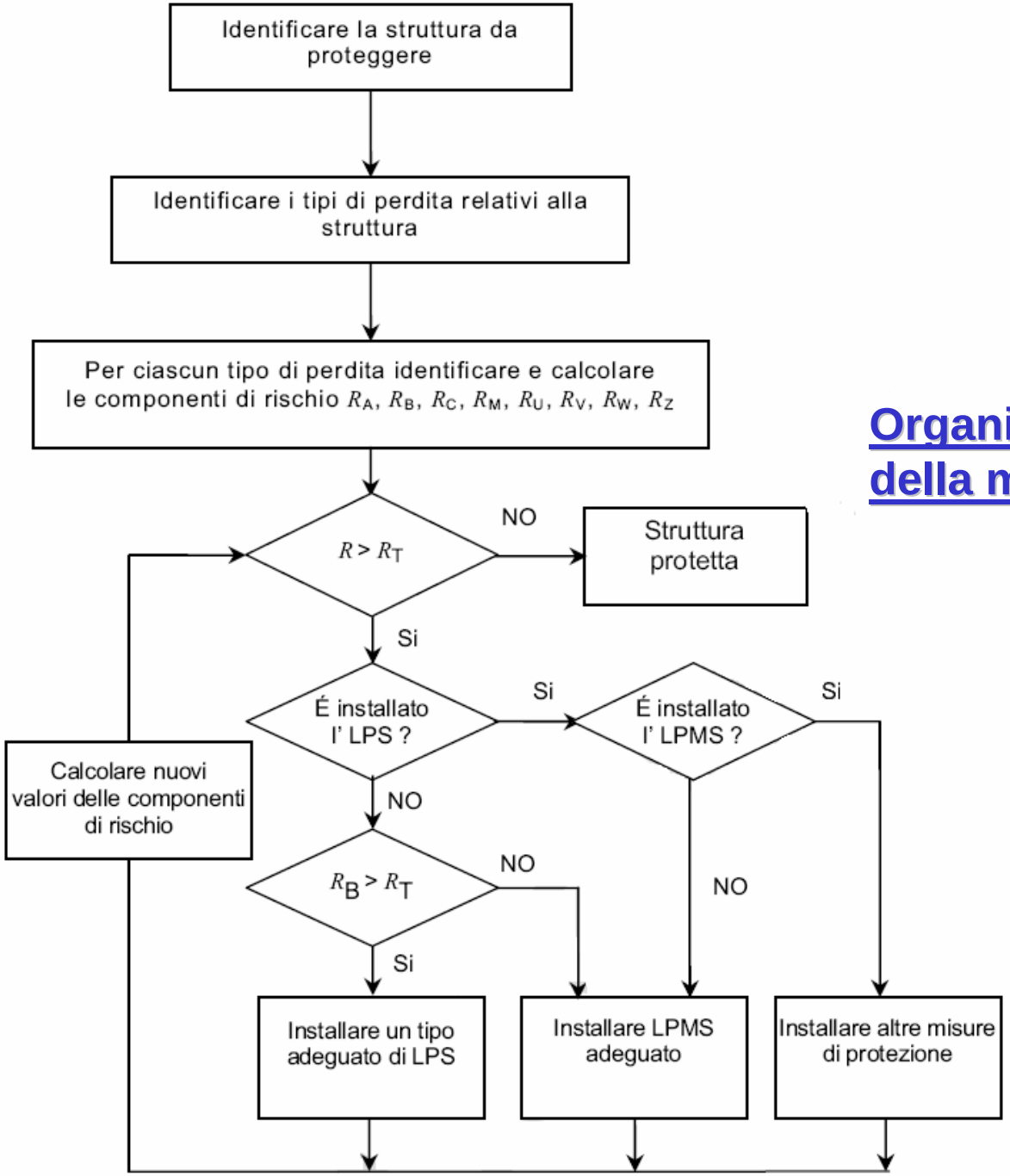


Organigramma per il calcolo della convenienza economica

Scelta delle misure di protezione

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.
Devono 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 é una varietà di misure di protezione che, singolarmente o in combinazione tra loro, possono realizzare la condizione $R \geq R_T$.
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 nei diagrammi di flusso per le strutture e per i servizi.
In ogni caso l'installatore o il progettista dovrebbe identificare le componenti di rischio più critiche e ridurle tenendo in considerazione anche gli aspetti economici.

Organigramma per la scelta della misura di protezione



Norma CEI 81-10/3

"Danno materiale per le strutture e pericolo per le persone"

→ Criteri di progettazione per ridurre il danno a persone o cose

→ Esempi applicativi

Caratteristiche di un sistema di protezione dai fulmini (LPS): sono determinate dalla struttura che deve essere protetta e dal livello di protezione prefissato.

a) Dati dipendenti dal LPS:
– parametri del fulmine
– raggio della sfera rotolante, dimensione del lato di maglia e angolo di protezione
– distanza tipica tra le calate e tra i conduttori ad anello
– distanza di sicurezza per evitare le scariche pericolose
– lunghezza minima degli elementi del dispersore

b) Dati indipendenti dal LPS:
– conduttori equipotenziali
– spessore minimo delle lastre e delle tubazioni metalliche del sistema di captatori
– materiali e condizioni d'impiego dei materiali costituenti l'LPS
– materiali, configurazioni e dimensioni minime per i sistemi di captatori, di calate e di dispersori
– dimensioni minime dei conduttori equipotenziali

Progetto dell’LPS:

L’ottimizzazione tecnica ed economica del progetto di un LPS può essere facilmente effettuata se le fasi del progetto stesso e della costruzione dell’LPS sono coordinate con le fasi del progetto e della costruzione della struttura che deve essere protetta.
In particolare dovrebbe essere prevista, nelle fase di progettazione della struttura, la possibile utilizzazione di parti metalliche della struttura come elementi dell’LPS.
Il progetto e l’installazione di un LPS su una struttura esistente deve tenere conto degli impedimenti relativi alla situazione esistente.

E’ necessaria: la continuità dei ferri d’armatura nelle strutture di calcestruzzo armato

I ferri di armatura di una struttura in calcestruzzo armato **sono considerati continui** se la maggior parte delle interconnessioni tra i ferri verticali e quelli orizzontali è effettuata mediante saldatura, o comunque in modo sicuro.
La resistenza elettrica totale, misurata con strumentazione atta allo scopo, dovrebbe essere **inferiore a 0,2 Ω.**
Se detto valore non fosse raggiunto, o se non risultasse fattibile lamisura, i ferri d’armatura **non devono essere utilizzati come calate naturali**.
In questo caso è necessaria l’installazione di calate esterne.
Nel caso di strutture in calcestruzzo armato prefabbricate, deve essere verificata la continuità elettrica dei ferri d’armatura tra gli elementi prefabbricati contigui

Impianto di protezione esterno

Scelta dell'LPS esterno

Nella maggioranza dei casi l'LPS esterno dovrebbe essere appoggiato alla struttura che deve essere protetta.
L'uso di un LPS esterno isolato dovrebbe essere preso in considerazione quando gli effetti termici ed esplosivi nel punto d'impatto, o nei conduttori percorsi dalla corrente di fulmine, *possono causare danno alla struttura o al suo contenuto*

Scopo di un LPS esterno

L'LPS esterno ha la funzione di *intercettare i fulmini sulla struttura compresi quelli sulle facciate laterali*, e di condurre la corrente di fulmine dal punto d'impatto a terra.
Ha inoltre la funzione *di disperdere la corrente nel terreno* senza che si verifichino danni termici o meccanici e scariche pericolose in quanto queste sono in grado di innescare incendi o esplosioni.

Sistema di captatori:

La probabilità che un fulmine penetri nella struttura è considerevolmente ridotta dalla presenza di un sistema di captatori opportunamente progettato.
Il sistema di captatori può essere costituito da qualsivoglia combinazione dei seguenti elementi:

a) aste (comprese le antenne);
b) funi sospese all'estremità;
c) conduttori disposti in modo da formare maglie

Posizionamento:

I componenti del sistema di captatori installati su una struttura devono essere posizionati in corrispondenza degli spigoli, dei punti esposti e dei bordi (in particolare quelli ai livelli più elevati delle facciate) secondo uno o più dei seguenti metodi.

– *metodo dell'angolo di protezione*: adatto per edifici di forma semplice, ma comporta limiti
– *metodo della sfera rotolante*: adatto in ogni caso
– *metodo della maglia*: adatto alla protezione di superfici piane
– *metodo della fune*: adatto per protezione di edifici particolari

Componenti naturali:

Possono essere usati come componenti naturali del sistema di captatori e, quindi, entrare a far parte del LPS i seguenti elementi di una struttura:

a) lastre metalliche di copertura della struttura da proteggere

b) componenti metallici costruttivi di tetti (capriate metalliche, ferri di armatura elettricamente continui, ecc.), al di sotto di una copertura non metallica,

c) parti metalliche come gronde, ornamenti, ringhiere, ecc., la cui sezione trasversale non sia inferiore a quella specificata per i captatori normali;

d) tubazioni e serbatoi metallici sul tetto, a condizione che essi siano costruiti con materiali aventi spessore e sezione inferiore a quella richiesta

Sistema di calate:

Al fine di ridurre la probabilità che la corrente di fulmine che fluisce nell'LPS provochi danno, le calate devono essere disposte in modo che dal punto d'impatto a terra:

a) esistano più percorsi paralleli per la corrente;

b) le lunghezze dei percorsi della corrente siano ridotte al minimo;

c) le connessioni equipotenziali alle parti conduttrici della struttura siano realizzate con le modalità prescritte.

Sistema di dispersori

Per la dispersione della corrente di fulmine nel terreno senza provocare sovratensioni pericolose, i parametri più importanti sono la forma e le dimensioni del dispersore.
Per la protezione contro i fulmini, è necessario avere un dispersore unico adatto per tutti gli scopi (LPS, protezione contro i contatti indiretti, protezione impianti telefonici, ecc.).

Sistema di dispersori:

possono essere utilizzati due tipi base di sistema di dispersori:

Dispersore di tipo A

Questo tipo di dispersore comprende elementi orizzontali o verticali, installati all'esterno della struttura da proteggere e collegati a ciascuna calata.
Il numero totale degli elementi del dispersore non dovrà essere inferiore a **due**

Dispersore di tipo B

A questo tipo di dispersore appartengono sia il dispersore ad anello esterno alla struttura in contatto col suolo per almeno l'80 % della sua lunghezza totale, sia il dispersore di fondazione. Questo tipo di dispersore può anche essere magliato.

Ancoraggi:

I captatori e le calate devono essere saldamente fissati di modo che gli sforzi meccanici, elettrodinamici o accidentali (ad esempio: vibrazioni, slittamento di placche di neve, dilatazione termica, ecc.), non possano provocare la rottura o l'allentamento dei conduttori

Giunzioni

Il numero di giunzioni lungo i conduttori deve essere il minimo possibile.
Le giunzioni dovrebbero essere effettuate per mezzo di brasatura forte, saldatura, avvitamento, bullonatura, chiodatura, morsetti a compressione.

Materiali

Materiali e dimensioni devono essere scelti tenendo conto della possibilità di corrosione sia della struttura da proteggere che del LPS.

Materiale	Configurazione	Dimensioni minime			Commento
		Picchetto Ø mm	Conduttore	Piastra mm	
Rame	Rame cordato [3]		50 mm^2		1,7 mm di diametro min di ciascun cond. elementare
	Tondo massiccio [3]		50 mm^2		8 mm di diametro
	Nastro massiccio [3]		50 mm^2		2 mm di spessore min.
	Tondo massiccio	15 [8]			2 mm di spessore della parete
	Tubo	20			2 mm di spessore min.
	Piastra massiccia			500 x 500	25 mm x 2 mm di sezione
	Piastra a graticcio			600 x 600	Minima lunghezza della configurazione a graticcio: 4,8 m
Acciaio	Acciaio zincato tondo massiccio [1] [2]	16[9]	10 mm di diametro		
	Tubo zincato [1] [2]	25			2 mm min. di spessore della parete
	Nastro massiccio zincato[1]		90 mm^2		3 mm di spessore min.
	Piastra massiccia zincata[1]			500 x 500	3 mm di spessore min.
	Piastra a graticcio zincata[1]			600 x 600	30 mm x 3 mm di sezione
	Rame ricoperto tondo massiccio[4]	14			250 µm di rivestimento minimo radiale del rame
					contenuto di rame 99,9 %
					contenuto di rame
	Tondo massiccio [5]		10 mm di diametro		
	Nastro massiccio grezzo o zincato[5][6]		75 mm^2		3 mm di spessore min.
	Cordato zincato[5] [6]		70 mm^2		1,7 mm di diametro min. di ciascun cond. elementare
	Profilato zincato [1]	50 x 50 x 3			
Acciaio inossidabile[7]	Tondo massiccio	15	10 mm di diametro		
	Nastro massiccio		100 mm^2		2 mm di spessore min.

Impianto di protezione interno

L’impianto di protezione interno ha lo scopo di evitare il verificarsi di scariche pericolose all’interno della struttura da proteggere durante il passaggio della corrente di fulmine sull’LPS esterno o su altre parti metalliche della struttura.

Scariche pericolose possono verificarsi tra l’LPS esterno e altri componenti quali:
– i corpi metallici;
– gli impianti interni;
– i corpi metallici esterni e le linee connesse con la struttura.

Connessioni equipotenziali

L'equipotenzializzazione è ottenuta connettendo l'LPS:
– alle parti strutturali metalliche;
– ai corpi metallici;
– agli impianti interni;
– ai corpi metallici esterni e linee connesse alla struttura.

Quando si effettua l'equipotenzializzazione degli impianti interni, una parte della corrente difulmine può fluire in questi impianti e questo effetto deve essere tenuto in conto.

I mezzi di connessione possono essere:
– conduttori equipotenziali, quando la continuità elettrica non è assicurata da elementi naturali;
– limitatori di sovratensione (SPD), quando non è possibile l'impiego di conduttori equipotenziali.

Le modalità con cui è effettuata l'equipotenzializzazione sono importanti e devono essere concordate con i gestori della rete di telecomunicazione, della rete di energia e con altri gestori o autorità competenti in quanto possono esistere regolamenti in conflitto tra loro.
Gli SPD devono essere installati in modo da permetterne l'ispezione.

Isolamento elettrico dell'LPS esterno

L'isolamento elettrico tra i captatori, o le calate da una parte, ed i corpi metallici interni, gli impianti elettrici, di telecomunicazione e di segnale dall'altra può essere ottenuto mantenendo fra le parti una distanza d superiore a quella di sicurezza *s* tra le parti:

$$s = k_i \frac{k_c}{k_m} l$$

dove:

ki dipende dalla classe dell'LPS scelta

kc dipende dalla corrente di fulmine che circola sulle calate

km dipende dal materiale isolante

l è la distanza (m) lungo la calata fra il punto in cui si intende verificare la distanza di sicurezza e la più vicina equipotenzializzazione fra le parti interessate.

7.1 Scopo delle ispezioni

Lo scopo delle ispezioni è quello di verificare che:

a) l'LPS rispetti il progetto conforme alla CEI EN 62305-3;

b) tutti i componenti dell'LPS siano in buone condizioni ed atti ad assicurare le funzioni alle

quali sono destinati e non vi sia corrosione;

c) tutti i servizi o costruzioni recentemente aggiunti siano incorporati nel LPS

Scopo delle ispezioni:

Lo scopo delle ispezioni è quello di verificare che:

a) l'LPS rispetti il progetto conforme alla CEI EN 62305-3;

b) tutti i componenti dell'LPS siano in buone condizioni ed atti ad assicurare le funzioni alle quali sono destinati e non vi sia corrosione;

c) tutti i servizi o costruzioni recentemente aggiunti siano incorporati nel LPS

Periodicità delle ispezioni:

Le ispezioni dovrebbero essere eseguite:

– durante la costruzione della struttura, al fine di verificare gli elementi integrati;

– dopo l'installazione dell'LPS;

– periodicamente, ad intervalli correlati alle caratteristiche della struttura da proteggere, ad esempio ai problemi di corrosione ed alla classe del LPS.

– dopo modifiche o riparazioni, o quando si abbia notizia che la struttura sia stata colpita dal fulmine.

Nel corso delle ispezioni periodiche è importante verificare i seguenti punti:

– deterioramento e corrosione degli elementi del sistema di captatori, dei conduttori e delle connessioni;

– corrosione degli elementi del dispersore;

– valore della resistenza di terra per il sistema di dispersori;

– condizione delle connessioni, delle connessioni equipotenziali e degli ancoraggi.

Misure di protezione contro le tensioni di contatto:

In alcune condizioni, la vicinanza alle calate di un LPS all'esterno della struttura può essere pericolosa per la vita, anche se l'LPS è stato progettato e costruito in conformità a questa CEI EN 62305-3.

Il pericolo è tollerabile se viene rispettata una delle condizioni seguenti:
a) la probabilità che vi sia presenza di persone, o la durata della loro presenza all'esterno della struttura in prossimità delle calate é molto bassa;
b) le calate naturali consistono in numerose colonne della struttura portante metallica o di numerosi pilastri di calcestruzzo armato e la loro continuità elettrica é garantita;
c) la resistività superficiale del suolo entro 3 m dalla calata non è inferiore a 5 k m

Se nessuna delle condizioni sopraccitate è soddisfatta, devono essere adottate misure di protezione contro il danno ad esseri viventi dovuto alle tensioni di contatto, quali:
– realizzare un isolamento delle calate esposte caratterizzato da una tensione di tenuta ad impulso (1,2/50 µs) di 100 kV, p.e. mediante almeno 3 mm di polietilene reticolato;
– mettere in opera barriere e/o cartelli indicatori atti a minimizzare le probabilità di contatto con la calata.
Le misure di protezione devono essere conformi alle relative Norme (ISO 3864-1).

Misure di protezione contro le tensioni di passo

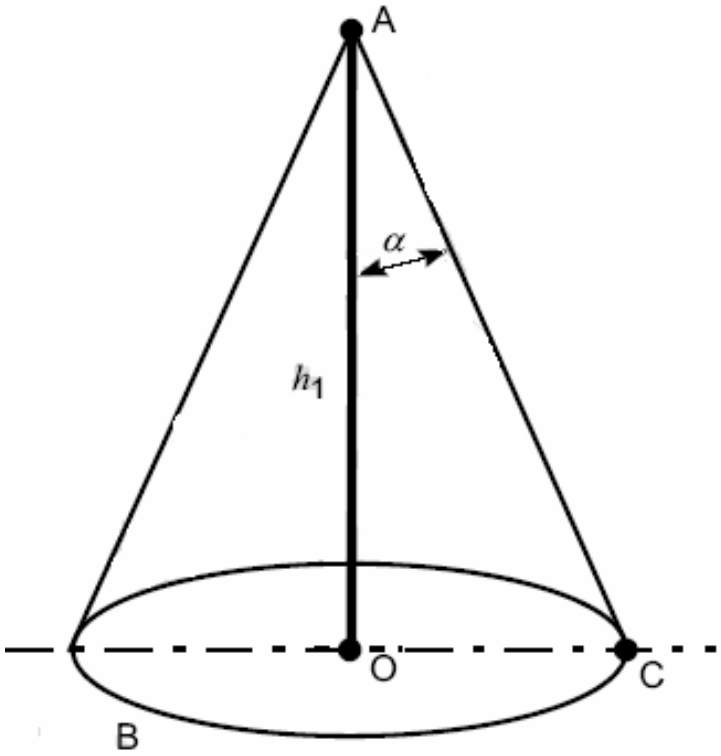
In alcune condizioni, la vicinanza alle calate di un LPS all'esterno della struttura può essere pericolosa per la vita, anche se l'LPS è stato progettato e costruito in conformità a questa CEI EN 62305-3.

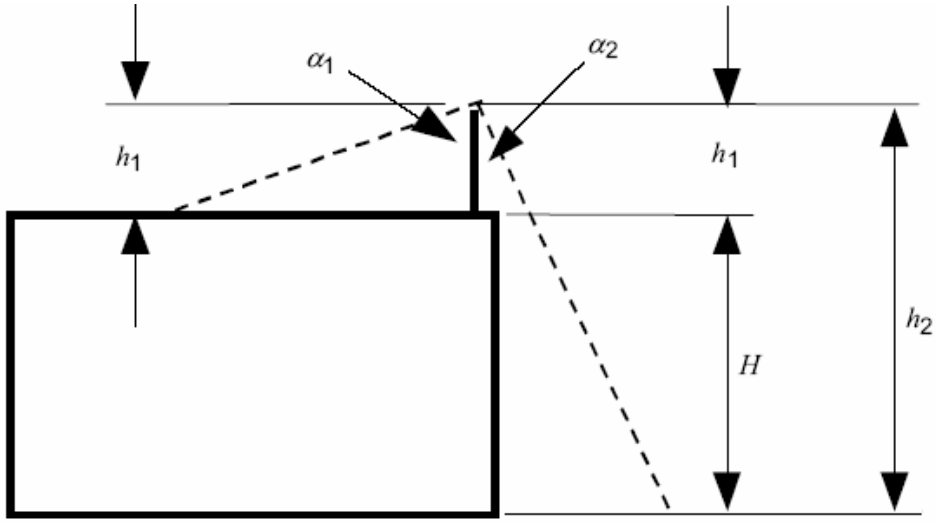
Il pericolo è tollerabile se viene rispettata una delle condizioni seguenti:
a) la probabilità che vi sia presenza di persone, o la durata di detta presenza all'esterno della struttura in un'area di raggio di 3 m attorno alla calate, é molto bassa;
b) la resistività superficiale del suolo entro 3 m dalla calata non è inferiore a 5 kΩm;

Se nessuna delle condizioni sopraccitate è soddisfatta, devono essere adottate misure di
protezione contro il danno ad esseri viventi dovuto alle tensioni di passo, quali:
– realizzare l'equipotenzializzazione mediante un sistema di dispersori a maglia;
– mettere in opera barriere e/o cartelli indicatori atti a minimizzare le probabilità di contatto con la calata.

Volume protetto da un captatore ad asta:

Il volume protetto da un'asta verticale si presume che abbia la forma di un cono circolare retto con il vertice situato nell'asse del captatore, con semi-angolo α di vertice dipendente dal livello di protezione e dall'altezza del captatore.



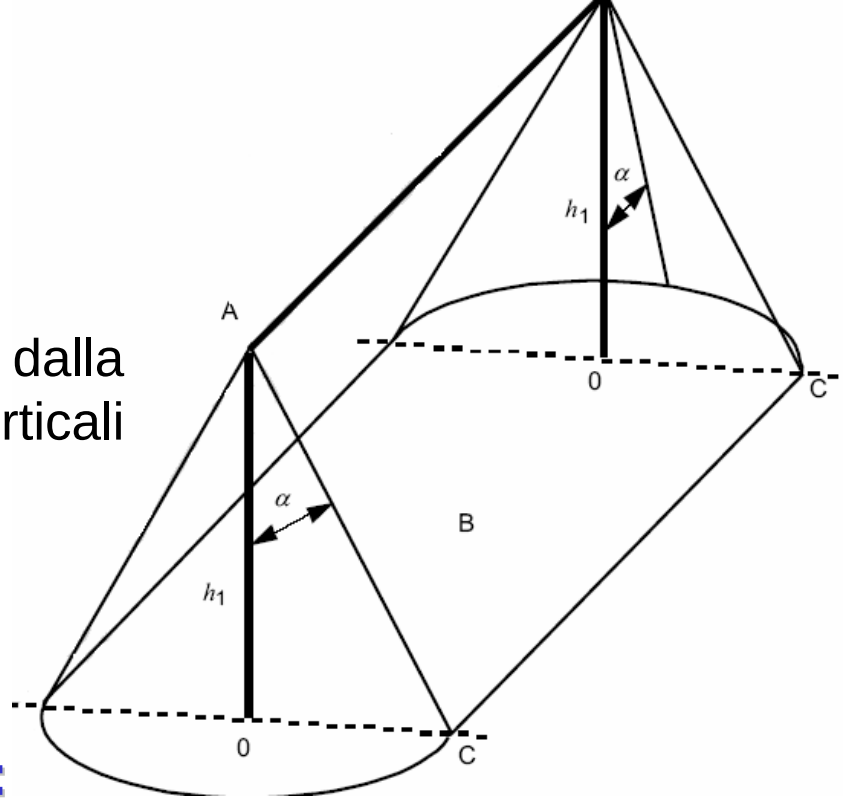


Legenda

A	Sommità di un captatore ad asta
B	Piano di riferimento
OC	Raggio dell'area protetta
h_1	Altezza di un captatore ad asta sopra il piano di riferimento dell'area che deve essere protetta
α	Angolo di protezione secondo la Tabella 2

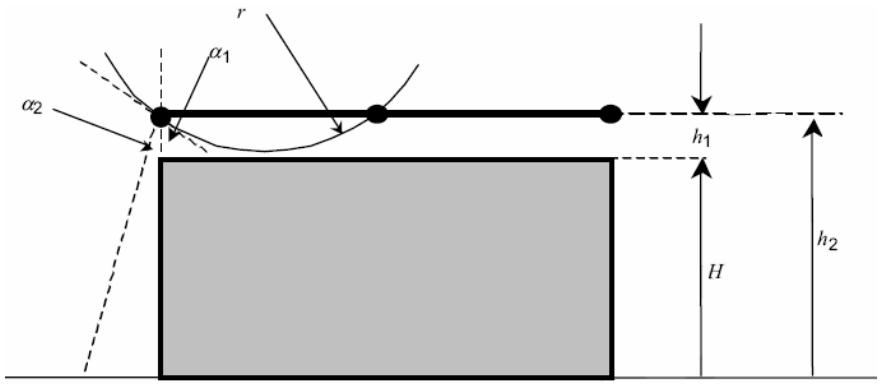
Volume protetto da un captatore a fune:

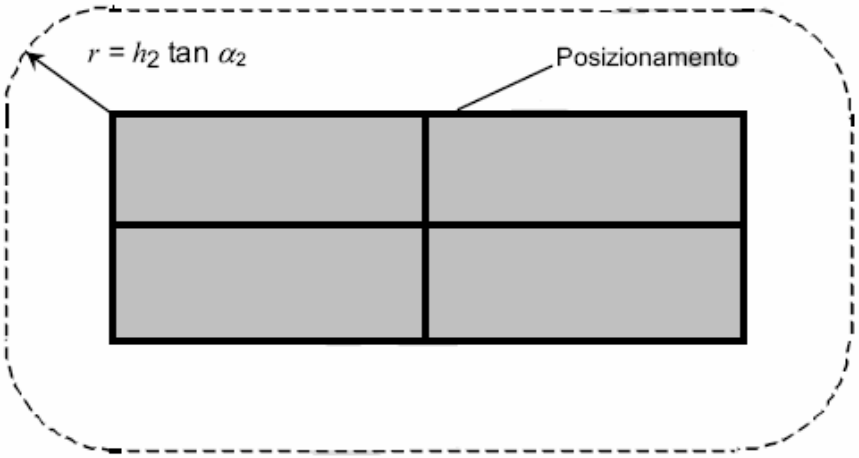
Il volume protetto da una fune è dato dalla composizione dei volumi protetti da aste verticali virtuali con i vertici sulla fune.



Volume protetto da un captatore a maglia:

Il volume protetto da captatori a maglia è definito dalla composizione dei volumi protetti relativi ai singoli conduttori che formano la maglia.

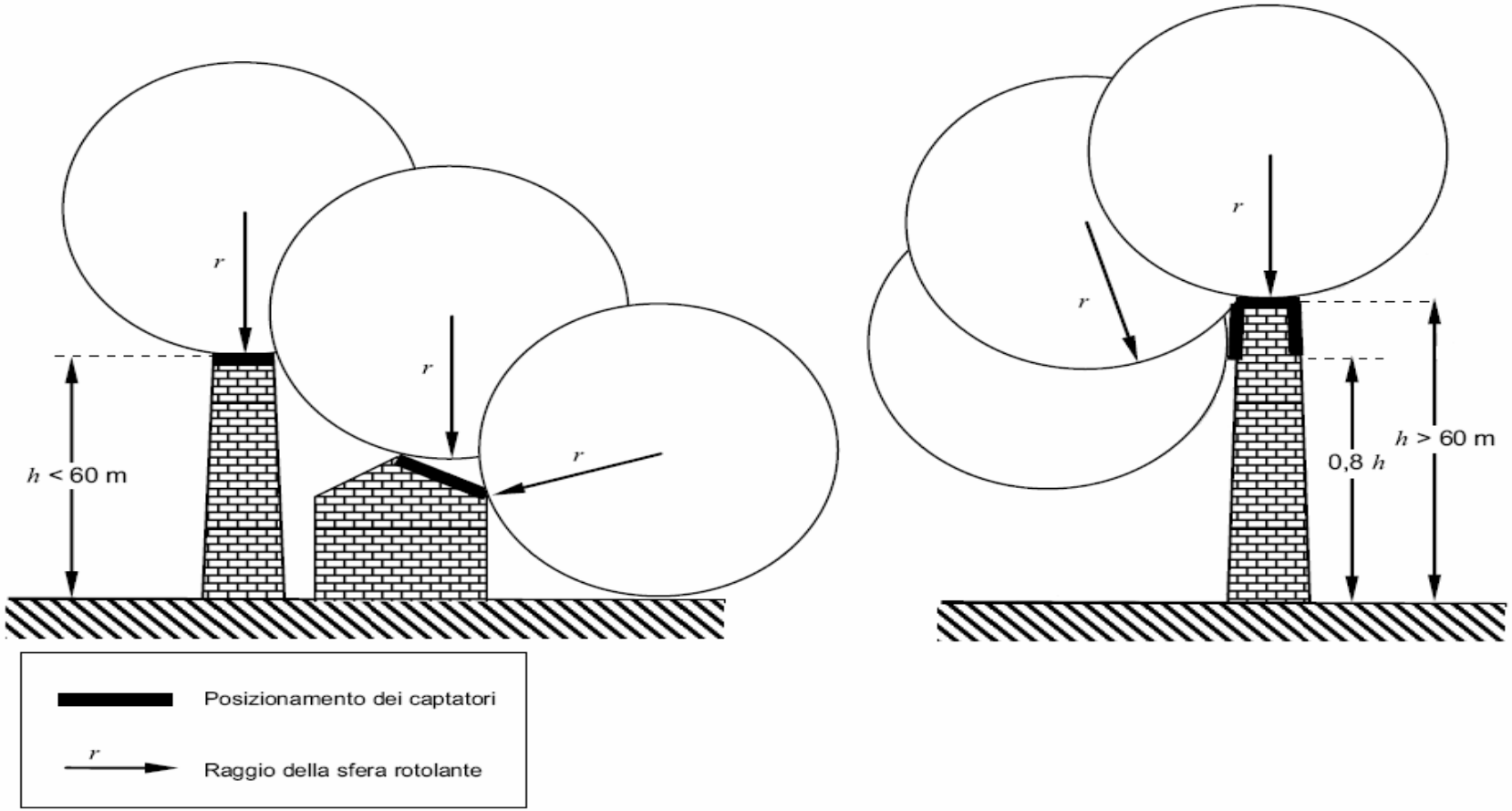




Posizionamento del sistema di captatori:

Metodo della sfera

Applicando questo metodo, il posizionamento del captatore è corretto se nessun punto della struttura da proteggere viene in contatto con una sfera, il cui raggio *r che ,dipende dalla formula citata in precedenza,* rotola sul terreno, intorno e sulla struttura in tutte le direzioni possibili così facendo la sfera dovrà toccare soltanto il terreno e/o il captatore



Sulle strutture più alte del raggio *r* della sfera rotolante, i fulmini possono colpire le facciate laterali.
Ciascun punto laterale della struttura toccato dalla sfera è un possibile punto d'impatto.
Tuttavia la probabilità di fulmini sulle pareti laterali è generalmente trascurabile per strutture di altezza inferiore a 60 m.
Infatti nelle strutture molto alte la maggior parte dei fulmini colpisce la sommità, i bordi orizzontali e gli spigoli della struttura. Solo pochi percento di tutti i fulmini colpiscono le facciate laterali della struttura.
I dati disponibili mostrano inoltre che la probabilità di fulmini laterali su strutture alte diminuisce rapidamente con l'altezza dal suolo del punto d'impatto.
Dovrebbe perciò essere installato un sistema di captatori laterali sulla parte superiore della struttura (tipicamente il 20 % superiore).
In questo caso, per il posizionamento del sistema di captatori sulla parte superiore della struttura, è applicabile solo il metodo della sfera rotolante.

Posizionamento dei captatori applicando il metodo della maglia

Per la protezione di superfici piane, si assume che una maglia protegge l'intera superficie, se vengono soddisfatte le seguenti condizioni:

a) i captatori sono posizionati su:
– linee di gronda del tetto;
– sporgenze di tetto;
– linee di colmo del tetto, se l'inclinazione del tetto supera 1/10;

b) il lato di magliatura della rete di captazione non è maggiore dei valori stabiliti dalla norma

c) la rete di captazione è sistemata in modo tale che la corrente di fulmine incontri almeno due percorsi metallici diversi fino al dispersore;

d) nelle strutture con rischio d'esplosione, nessun corpo metallico contenuto nella struttura da proteggere sporge al di fuori del volume protetto dai captatori;

e) i conduttori di captazione seguono per quanto è possibile percorsi brevi e rettilinei.

Minima sezione dello schermo dei cavi per evitare scariche pericolose

Le sovratensioni tra i conduttori attivi e lo schermo di un cavo dovute alla corrente di fulmine trasportata dallo schermo dipendono dal materiale e dalle dimensioni dello schermo, dalla lunghezza e dal tipo di posa del cavo.
Il valore minimo *S*cmin (in mm2) della sezione dello schermo per cui il cavo non necessita della protezione con SPD, è dato da:

$$S_{c\,min} = \frac{I_f \times \rho_c \times L_c \times 10^6}{U_w} \quad (mm^2)$$

dove:

I_f è la corrente (kA) che circola sullo schermo;

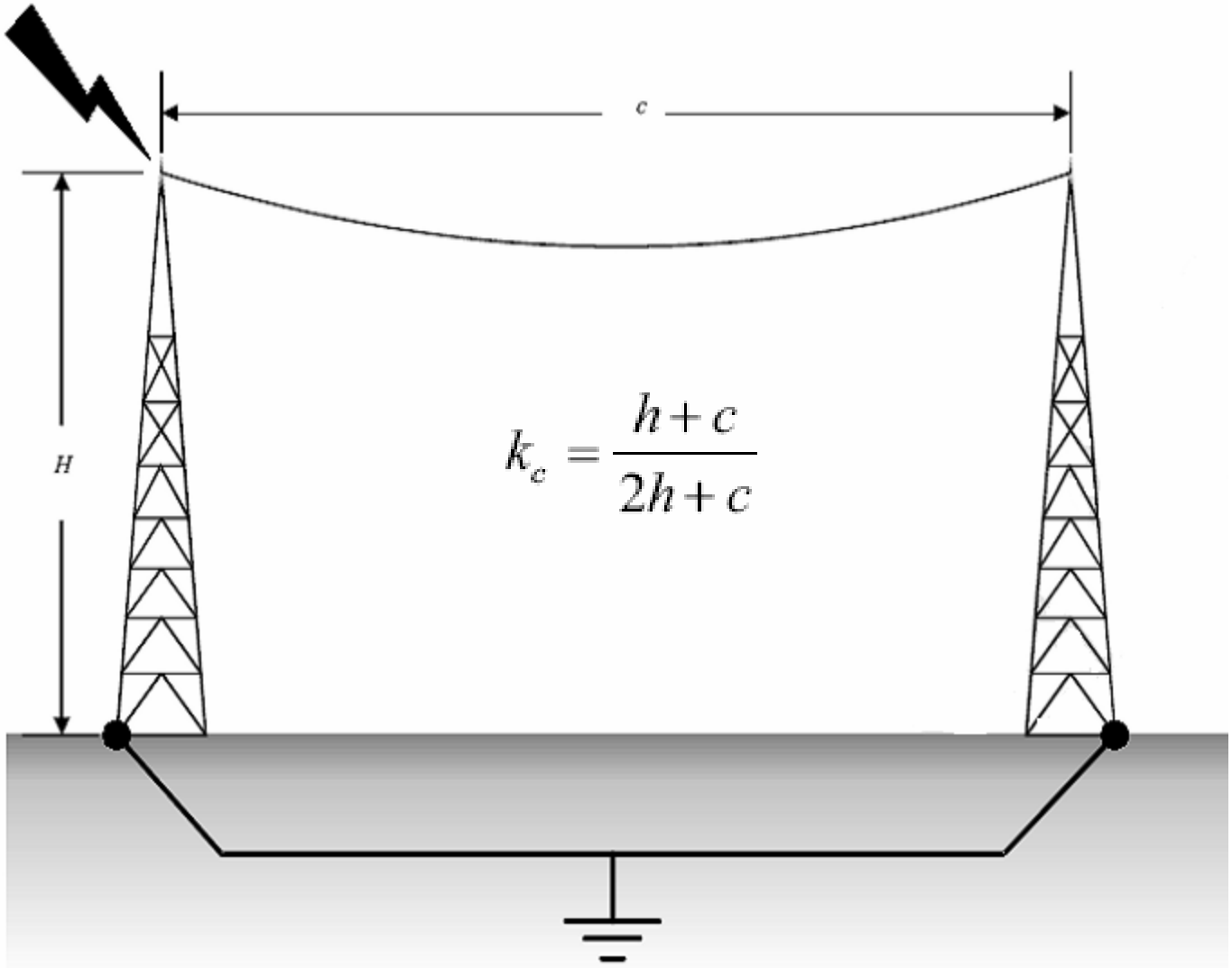
ρ_c è la resistività (Ωm) dello schermo;

L_c è la lunghezza (m) del cavo (Tab. B.1);

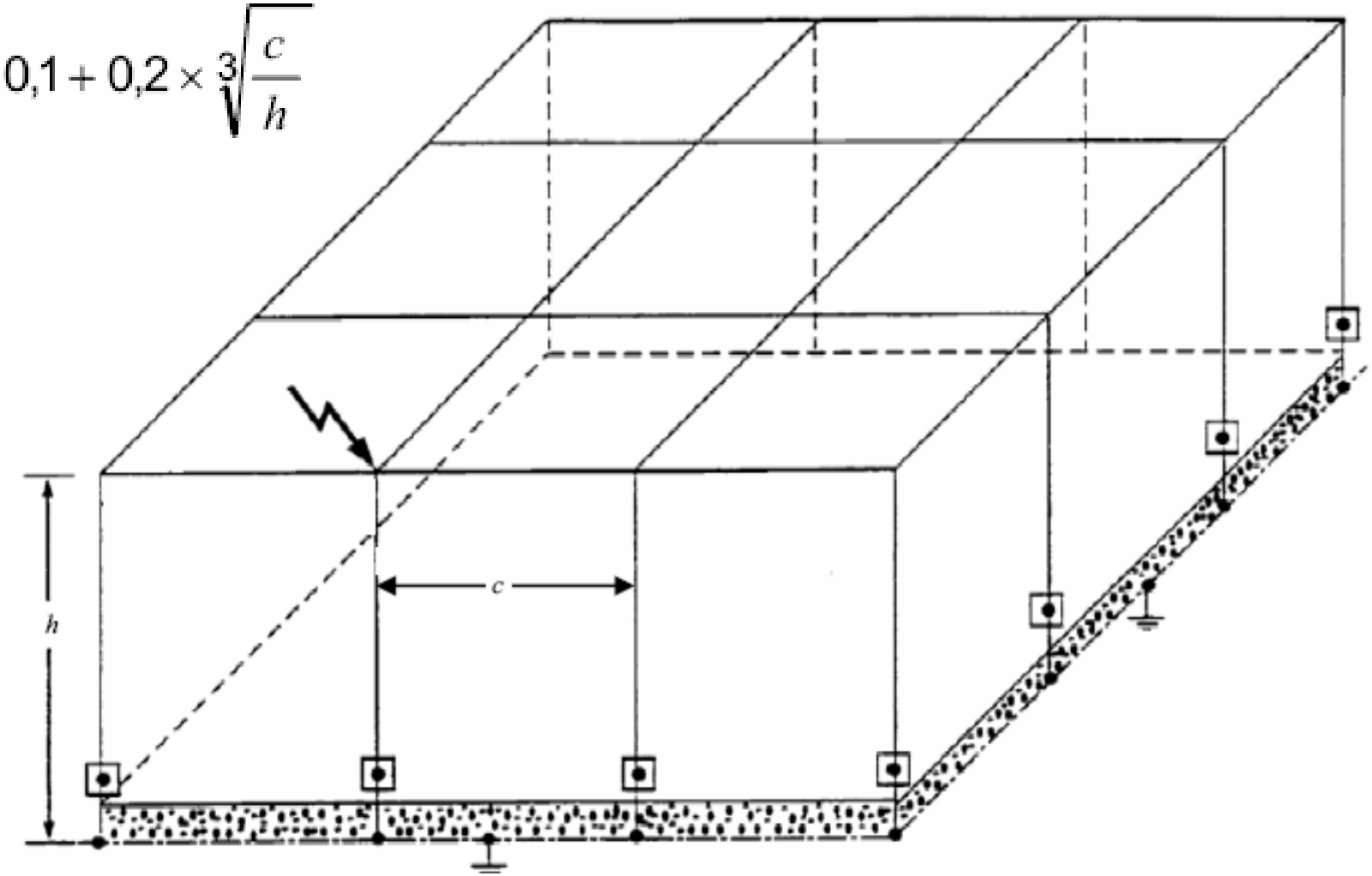
U_w è la tensione di tenuta ad impulso dell'impianto elettrico/elettronico connesso al cavo, in kV

Ripartizione della corrente di fulmine tra le calate

Il coefficiente *k*c di ripartizione della corrente di fulmine tra le calate dipende dal numero totale *n* delle calate, dalla posizione delle calate e da quella dei conduttori di interconnessione ad anello, dal sistema di captatori e da quello di dispersori



$$k_c = \frac{1}{2n} + 0{,}1 + 0{,}2 \times \sqrt[3]{\frac{c}{h}}$$



Legenda

n numero totale di calate

c distanza tra due calate adiacenti

h spaziatura (o altezza) tra i conduttori ad anello

Strutture contenenti materiali esplosivi solidi

Il progetto di un LPS per strutture contenenti materiali esplosivi solidi dovrebbe tenere conto della sensibilità del materiale nelle condizioni in cui esso é utilizzato e immagazzinato.
Per esempio, alcuni pani di materiale insensibile possono non richiedere alcun ulteriore provvedimento rispetto a quelli di questo allegato.
Tuttavia vi sono alcuni casi in cui il materiale esplosivo può essere sensibile alle rapide variazioni del campi elettrico e/o magnetico.
Per questi casi possono rendersi necessarie connessioni equipotenziali addizionali o schermature.
Per strutture contenenti materiali esplosivi solidi é raccomandabile l'installazione di un LPS esterno isolato
Strutture totalmente contenute in uno schermo di acciaio di 5 mm di spessore o equivalente (7 mm per l'alluminio) possono essere considerate protette da un captatore naturale.
Per tali strutture sono applicabili le prescrizioni relative al sistema di dispersori.
In tutte le aree in cui é presente materiale esplosivo dovrebbero essere installati limitatori di sovratensioni (SPD) in quanto componenti dell'LPS.
Quando possibile, gli SPD dovrebbero 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 é polvere esplosiva dovrebbero essere del tipo a prova di esplosione o essere racchiusi in contenitori a prova di esplosione.

Strutture contenenti aree pericolose

Tutte le parti dell'LPS esterno (captatori e calate) dovrebbero, se possibile, essere distanziate di almeno 1 m dalle zone di pericolo. Se questo non è possibile, i conduttori che passano entro 0,5 m dalla zona pericolosa dovrebbero essere privi di connessioni o avere connessioni realizzate mediante giunti a compressione o saldatura.

Applicazioni specifiche:

Stazioni di distribuzione

Alle stazioni di rifornimento per automezzi, treni, navi ecc., con zone 2 e 22, le tubazioni metalliche dovrebbero essere messe a terra come prescritto nell'Art. 5. Le tubazioni dovrebbero essere connesse alle costruzioni in acciaio ed alle rotaie, se presenti (se necessario per mezzo di spinterometri idonei per le zone di pericolo in cui sono installati), per tenere conto delle correnti della trazione ferroviaria, delle correnti vaganti, dei cortocircuitatori, dei sistemi di protezione catodica e così via. Le stazioni di alimentazione delle ferrovie elettriche sono soggette a normative nazionali.

Applicazioni specifiche:

Serbatoi

Alcuni tipi di strutture per l'immagazzinamento di liquidi che possono produrre vapori infiammabili o per l'immagazzinamento di gas infiammabili, sono essenzialmente autoprotette (se totalmente ubicate all'interno di contenitori con pareti metalliche continue di spessore non inferiore a 5 mm se di acciaio o di 7 mm se di alluminio, e senza spinterometri) e non necessitano di ulteriori protezioni.
Similmente serbatoi interrati e tubazioni non richiedono l'installazione di un sistema di captatori. La strumentazione e gli apparati elettrici installati dovrebbero essere approvati per questo uso. Le misure di protezione contro il fulmine dovrebbero essere scelte in funzione del tipo di costruzione.
Serbatoi o contenitori isolati dovrebbero essere connessi a terra secondo l'Art. 5 in funzione della massima dimensione orizzontale (diametro o lunghezza):
– fino a 20 m: una volta
– oltre 20 m: due volte

Tubazioni:

Le tubazioni metalliche aeree all’esterno delle infrastrutture di produzione dovrebbero essere connesse al dispersore ogni 30 m, o messe a terra mediante elettrodi di terra superficiali lungo il percorso.
Per le lunghe tubazioni di trasporto di liquidi infiammabili si applica quanto segue.
– Nelle sezioni di pompaggio, nelle sezioni di sliding ed installazioni similari, tutte le tubazioni entranti compreso il loro mantello metallico dovrebbero essere connesse con conduttori aventi sezione di almeno 50 mm2.
– Le tubazioni derivate dovrebbero essere connesse con specifiche connessioni saldate, o con viti auto bloccanti, alle flange delle tubazioni principali. Gli inserti isolanti dovrebbero essere cortocircuitati con spinterometri

Giunzioni

La legatura è adatta per le giunzioni interessate dalla corrente di fulmine.
Vi è il rischio che il filo della legatura esploda e danneggi il calcestruzzo.
Per le connessioni percorse da corrente di fulmine sono quindi preferibili saldature e morsetti a compressione.
Le connessioni di corpi esterni ai ferri d'armatura dovrebbero essere effettuate mediante saldature o con morsetti a compressione.
Le saldature nel calcestruzzo dovrebbero essere lunghe almeno 30 mm. I ferri che si incrociano dovrebbero essere piegati in modo da risultare paralleli per almeno 50 mm prima del punto di saldatura.
Quando i ferri saldati sono nel calcestruzzo, non è sufficiente saldarli nel punto d'incrocio o per pochi millimetri.
Queste giunzioni frequentemente si rompono durante la gettata.
Quando non è permessa la saldatura di un conduttore ad un ferro d'armatura, dovrebbero essere usati morsetti a compressione o conduttori addizionali dedicati. Detti conduttori addizionali possono essere di acciaio, di acciaio ricotto, acciaio zincato o rame. I conduttori addizionali dovrebbero essere connessi ad un numero elevato di ferri d'armatura mediante legature o morsetti a compressione al fine di trarre vantaggio degli effetti schermanti dei ferri d'armatura stessi.

Calate;

I ferri d’armatura delle pareti, le colonne e le strutture metalliche portanti possono essere usati come calate naturali.
Dovrebbero essere previsti morsetti sul tetto per facilitare la connessione con il sistema di captatori e, a meno che il dispersore di fondazione non sia l’unico dispersore, anche morsetti a livello del suolo per facilitare la connessione con il sistema di dispersori.
Quando uno specifico ferro d’armatura è utilizzato come calata, dovrebbe essere posta attenzione al posizionamento lungo il percorso verso terra di detto ferro: è opportuno che esso sia nella stessa posizione ed utilizzato lungo tutto il percorso, garantendo così la sua continuità elettrica.
Quando la continuità verticale della calata naturale non può essere garantita, realizzando un percorso diretto dal tetto al suolo, è opportuno siano installati conduttori addizionali dedicati. Questi conduttori addizionali dedicati dovrebbero essere connessi a ferri d’armatura.
Quando sorgono difficoltà sul percorso più diretto per la calata (p.e. per l’esistenza di altri edifici), dovrebbe essere aggiunto un sistema di calate esterno.

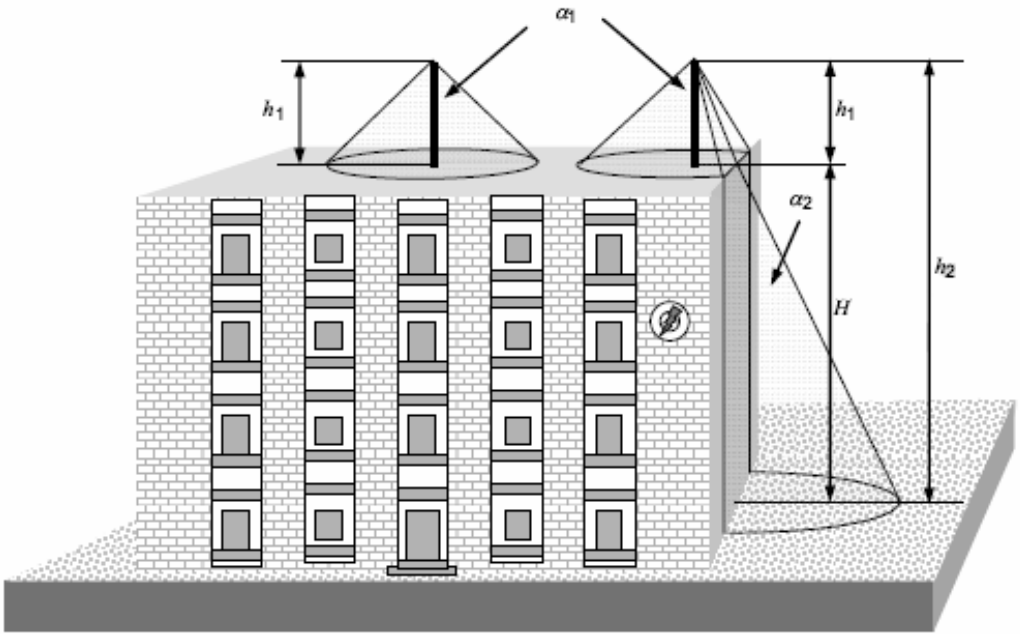
Le calate interne a ciascun pilastro e le pareti dovrebbero essere interconnesse mediante i loro ferri d'armatura e soddisfare le condizioni relative alla continuità elettrica.
I ferri d'armatura di ciascun elemento prefabbricato ed i ferri d'armatura dei pilastri e delle pareti dovrebbero essere connessi a quelli dei pavimenti e del tetto prima che sia effettuata la gettata dei pavimenti e del tetto stesso.
All'interno degli elementi gettati in opera che costituiscono la struttura, per esempio pareti, pilastri, scale e guide d'ascensore, sono presenti in grande quantità parti conduttrici.
Quando le pavimentazioni sono anch'esse gettate in opera, le calate in ciascun pilastro e pareti dovrebbero essere interconnesse mediante i loro ferri d'armatura per assicurare una uniforme distribuzione della corrente di fulmine. Se le pavimentazioni sono costituite da pannelli prefabbricati, queste connessioni non sono in genere possibili.
Elementi prefabbricati utilizzati come facciate sospese non sono efficaci nella protezione contro il fulmine perché non sono previste connessioni. Se si ritiene utile realizzare una protezione veramente efficace degli apparati all'interno della struttura, come ad esempio un edificio per uffici con una elevata quantità di apparati per l'elaborazione dei dati e reti di calcolatori, è opportuno che i ferri d'armatura di detti elementi della facciata siano connessi tra loro ed a quelli della struttura di supporto in modo da consentire alla corrente di fulmine di fluire completamente sulla superficie esterna della facciata.

Dispersore di fondazione:

Per grandi strutture ed impianti industriali le fondazioni sono generalmente realizzate in calcestruzzo armato. I ferri d'armatura, le piastre di fondazione e le pareti perimetrali sotto il livello del suolo costituiscono un eccellente sistema di dispersori.
I ferri di fondazione e quelli delle pareti interrate possono essere impiegati come dispersore di fondazione.
Questo metodo realizza un buon dispersore al minimo costo. Il "locale" metallico costruito dai ferri della struttura costituisce, in genere, un buon potenziale di riferimento per il sistema elettrico di energia e per le installazioni elettriche ed elettroniche.

Metodo dell'angolo di protezione:

I conduttori di captazione, le aste e le maglie dovrebbero essere posizionati in modo che tutte le parti della struttura da proteggere siano all'interno della superficie generata proiettando i punti dei conduttori di captazione sul piano di riferimento con un angolo α rispetto alla verticale in tutte le direzioni.



Legenda

H Altezza dell'edificio sul piano di riferimento (terreno)

h_1 Lunghezza captatore ad asta

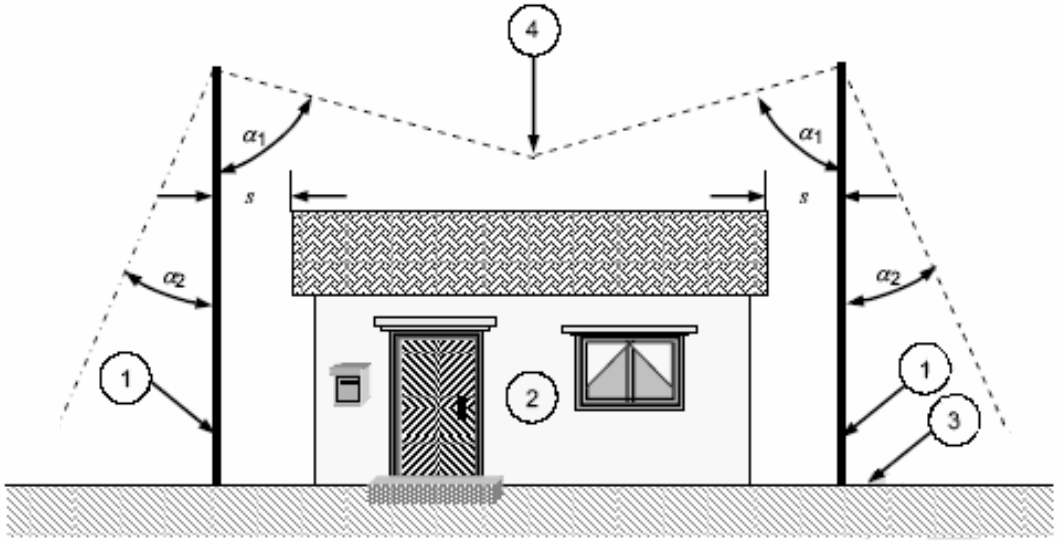
h_2 $h_1 + H$, altezza dell'asta di captazione sul terreno

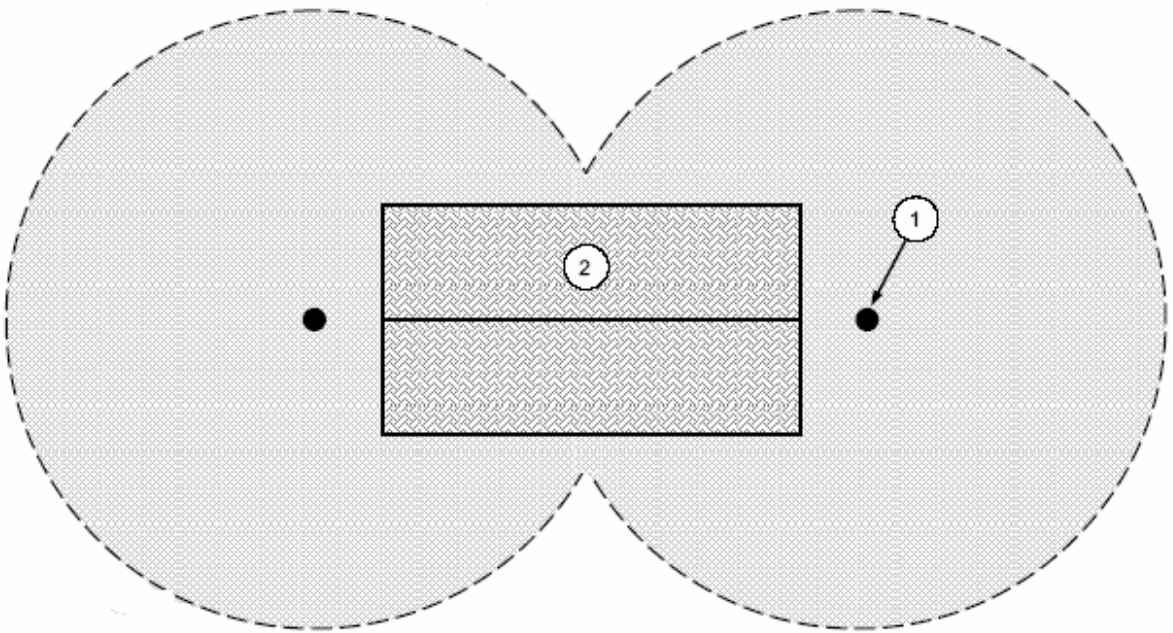
α_1 angolo di protezione corrispondente all'altezza del captatore ad asta $h = h_1$, essendo l'altezza sopra la superficie del tetto che deve essere protetta (piano di riferimento)

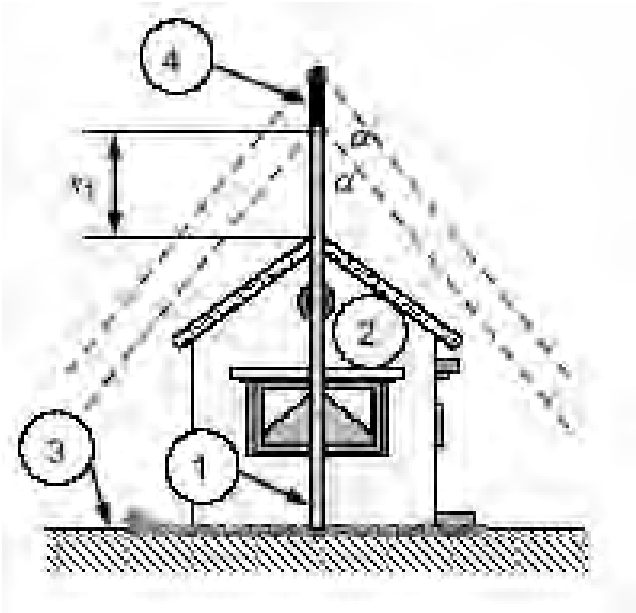
α_2 angolo di protezione corrispondente all'altezza h_2

Legenda

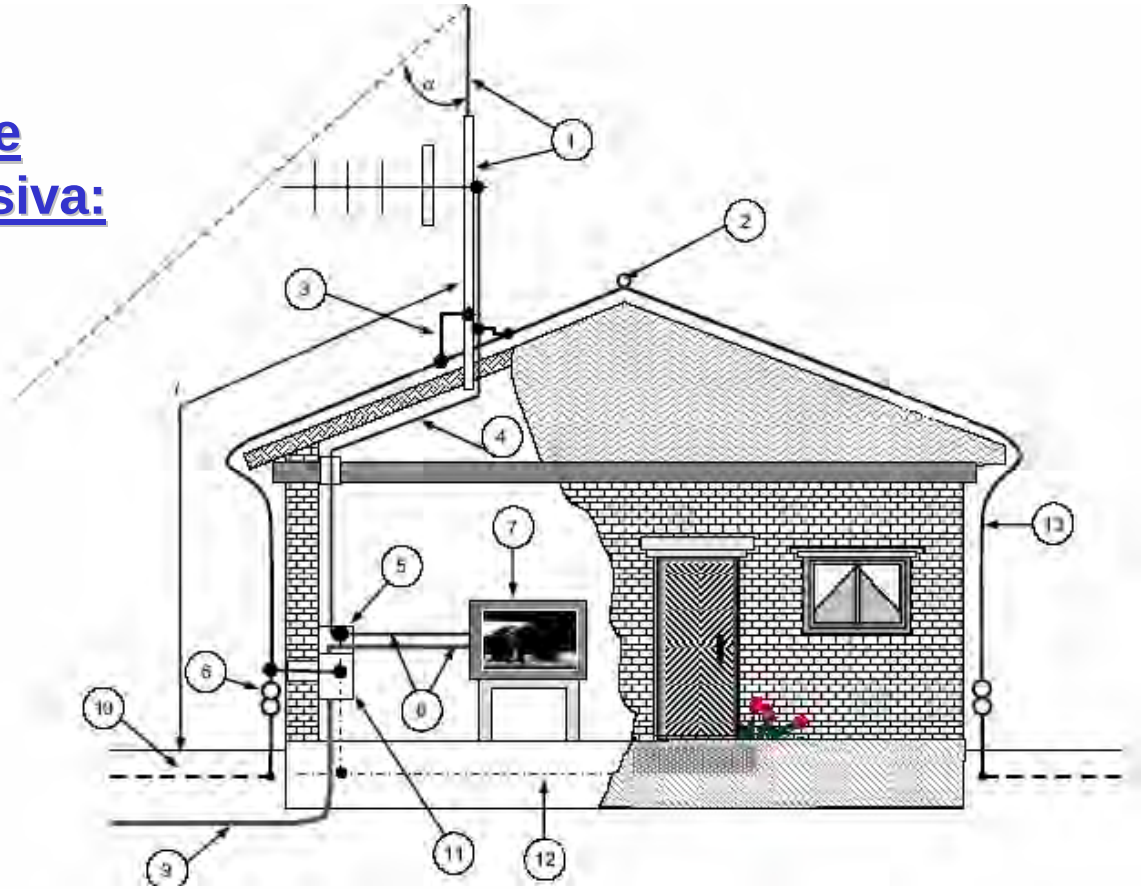
1	Captatore ad asta
2	Struttura da proteggere
3	Suolo assunto quale piano di riferimento
4	Intersezione tra i i coni di protezione
s	Distanza di sicurezza
α_1, α_2	Angoli di protezione







Metodo dell'angolo di protezione con l'utilizzo dell'antenna televisiva:

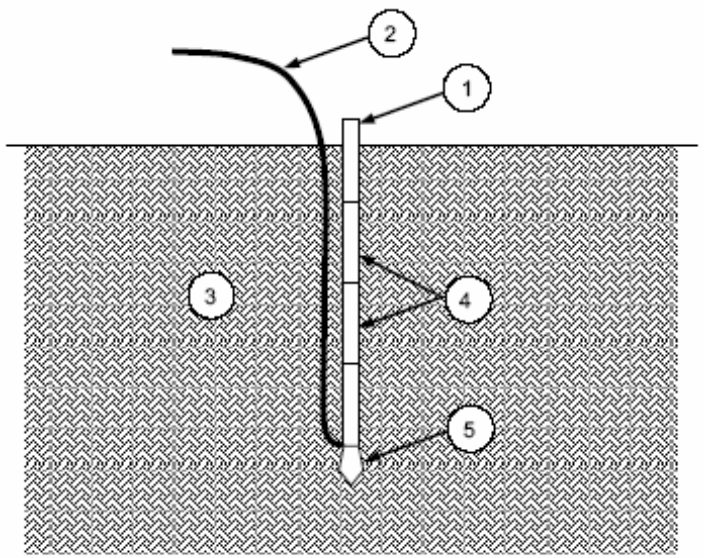


Legenda

1 Sostegno metallico
2 Conduttore di captazione sul bordo del tetto
3 Giunzione tra la calata ed il supporto dell'antenna
4 Cavo d'antenna
5 Barra equipotenziale principale; lo schermo del cavo é connesso alla barra equipotenziale
6 Punto di misura
7 TV
8 Percorso parallelo del cavo d'antenna ed il cavo elettrico di energia
9 Cavo elettrico di energia
10 Sistema di dispersori
11 Quadro principale di distribuzione energia elettrica con SPD
12 Dispersore di fondazione
13 Conduttore dell'LPS
l Lunghezza da considerare per il calcolo della distanza di sicurezza
α Angolo di protezione

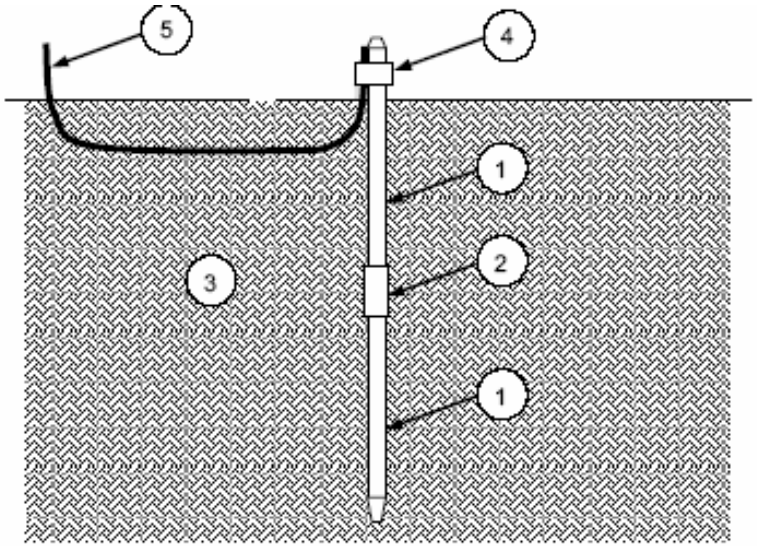
Dispersore di tipo A con elementi radiali e verticali

Gli elementi radiali del dispersore dovrebbero essere connessi alle estremità inferiori delle calate attraverso punti di misura. Gli elementi radiali del dispersore possono terminare, se opportuno, con elementi verticali (picchetti).
Ciascuna calata dovrebbe essere munita di un dispersore.



Legenda

1 Tratto superiore del picchetto
2 Conduttore del dispersore
3 Terreno
4 Picchetto corto
5 Punta d'infissione



Legenda

1 Picchetto estensibile
2 Giunzione
3 Terreno
4 Morsetto
5 Conduttore di terra

Norma CEI 81-10/4

"Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture"

→ Criteri di progettazione per ridurre il danno ad apparati elettronici

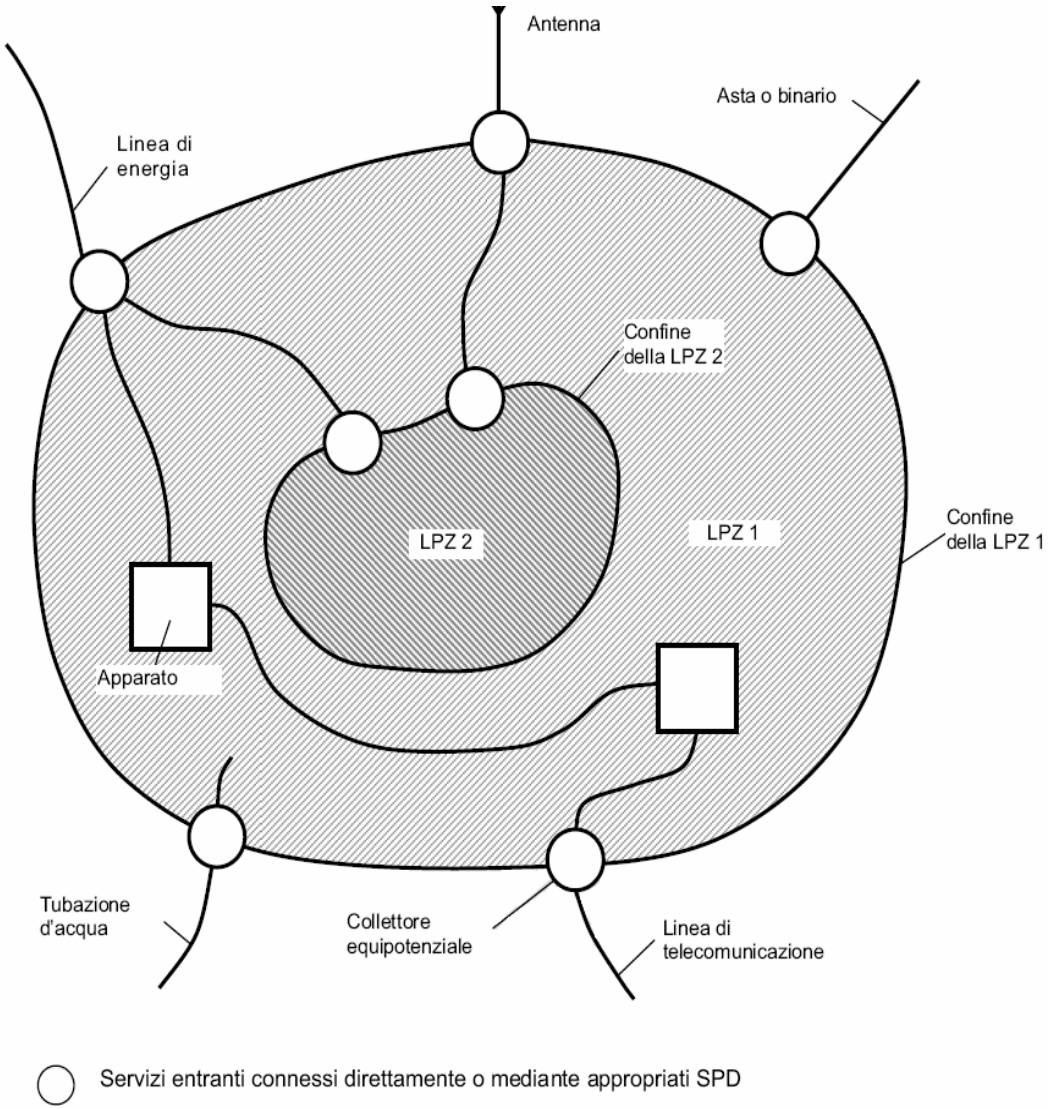
→ Suddivisione in zone della struttura da proteggere

Progetto ed installazione di misure di protezione contro l'impulso elettromagnetico del fulmine (LEMP)

Gli impianti elettrici ed elettronici sono soggetti a guasti dovuti all'impulso elettromagnetico (LEMP). Per evitare guasti negli impianti interni è quindi necessario adottare misure di protezione contro il LEMP.

La protezione contro il LEMP si basa sul concetto di zona di protezione (LPZ): il volume contenente gli impianti che devono essere protetti può essere diviso in LPZ.

Queste zone sono volumi ideali definiti, in cui la severità del LEMP è compatibile con il livello di tenuta degli impianti interni al volume



Suddivisione in zone della struttura da proteggere:

La nuova normativa permette di poter suddividere la struttura da proteggere in " ZONE", questo permette di ottenere una più precisa valutazione del rischio.
Per ogni zona deve essere definita la componente di rischio corrispondente.
Il rischio totale della struttura R è la somma delle componenti di rischio relative alle zone Zs della struttura.

Le zone possono essere definite tramite:

- Tipo di suolo
- Compartimentazione antincendio
- Schermi locali
- Disposizione degli impianti interni
- Misure di protezione esistenti o previste
- Valori delle perdite Lx

LPZ → Zone di protezione

(Lightning Protection Zone)

Zone esterne alla struttura

LPZ 0 →è la zona esposta ai campi elettromagnetici di un fulmine senza attenuazione ed è sottoposta alla corrente impulsiva di scarica piena o parziale.

È suddivisa in:

LPZ 0A → zona esposta a scariche dirette. Il pericolo è costituito da impulsi di scarica diretta e dall'interno campo elettromagnetico del fulmine

LPZ 0B → zona protetta contro la scarica diretta. Esposta al pericolo di impulsi di scariche parziali da fulmine ed al campo elettromagnetico non attenuato del fulmine

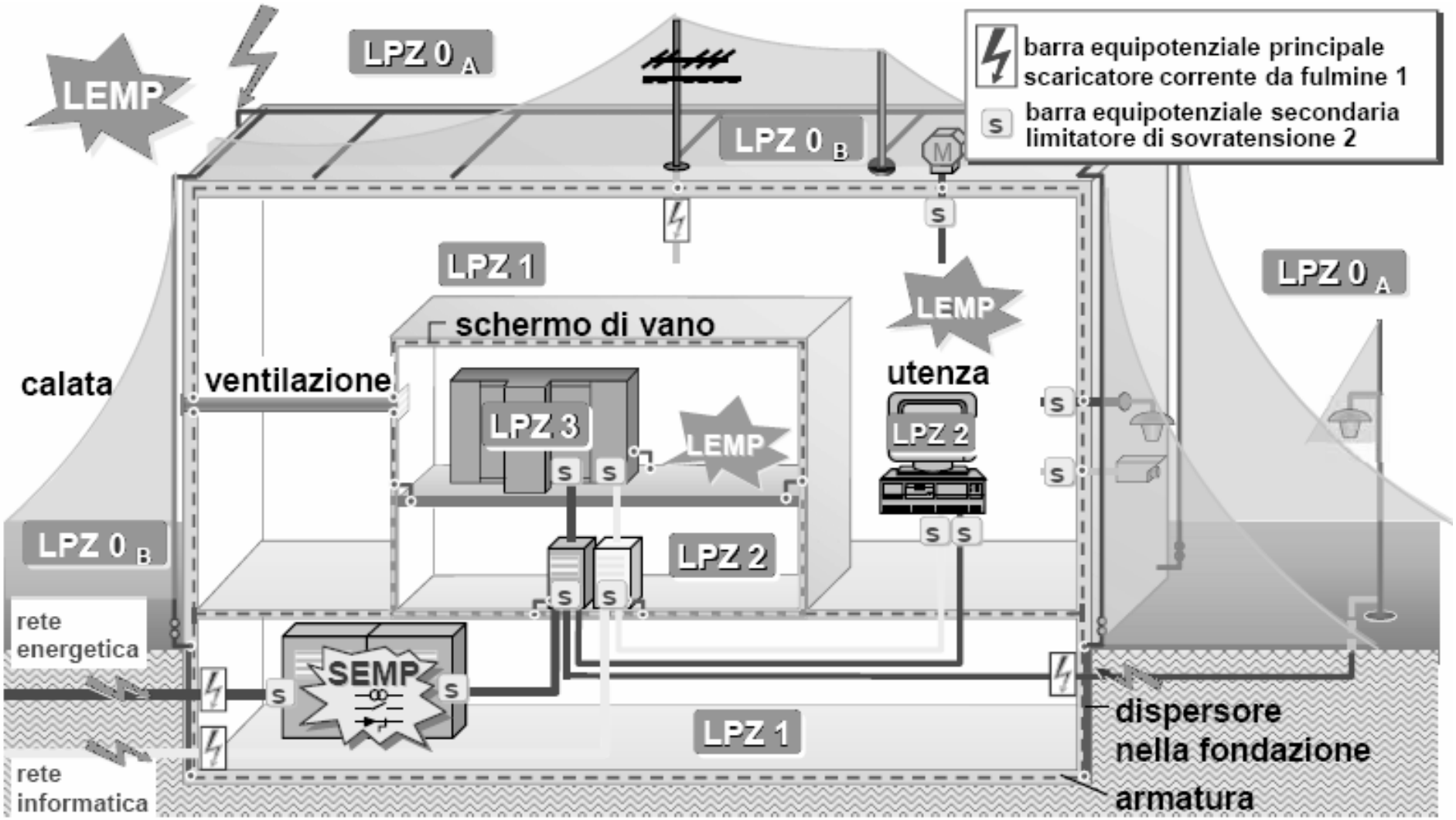
Zone interne alla struttura

(protette da scarica diretta)

LPZ 1 →correnti impulsive ridotte per la ripartizione della corrente e da SPD ai confini della zona stessa. Il campo elettromagnetico può essere ridotto con schermi

LPZ 2…n → Correnti impulsive ulteriormente ridotte per suddivisione della corrente e da SPD ai confini delle zone. Il campo del fulmine è normalmente ridotto da schermatura

LPZ definito con LPS



Progetto di un LPMS:

Un LPMS può essere progettato per proteggere un apparato solo contro gli impulsi o anche contro il campo elettromagnetico.

- Un LPMS costituito da schermi locali e da un Sistema di SPD protegge contro i campi magnetici irradiati e contro gli impulsi condotti
- L'uso di schermi in cascata e del Sistema di SPD può ridurre il campo magnetico irradiato e gli impulsi a livelli di pericolosità bassi.
- Un LPMS costituito da uno schermatura della LPZ 1 e di SPD all'ingresso di LPZ 1 protegge contro il campo magnetico irradiato e le sovratensioni condotti
- Un LPMS costituito da linee schermate e dagli involucri metallici degli apparati protegge contro i campi magnetici irradiati.

Gli SPD all'ingresso di LPZ 1 proteggono contro le sovratensioni condotti.

Per ottenere un livello inferiore di pericolo, può essere necessario un Sistema di SPD.

Principali misure di protezione in un LPMS

•Messa a terra ed equipotenzializzazione

Il sistema di dispersori conduce e disperde nel terreno la corrente di fulmine.
La rete di interconnessione equipotenziale minimizza le differenze di potenziale e può ridurre il campo magnetico.

•Schermatura magnetica e percorsi dei cavi

Gli schermi locali attenuano all'interno della LPZ il campo magnetico associato alla fulminazione diretta, o in prossimità, della struttura e riducono gli impulsi interni. La schermatura dei circuiti interni mediante cavi schermati o canalette metalliche minimizza gli impulsi indotti nelle linee interne.
La scelta di appropriati percorsi delle linee può minimizzare le spire d'induzione e ridurre gli impulsi. La schermatura delle linee esterne entranti nella struttura riduce gli impulsi trasmessi agli impianti interni.

•Protezione con Sistema di SPD

Il Sistema di SPD limita gli effetti degli impulsi esterni ed interni alla struttura.
La messa a terra e l'equipotenzializzazione per tutte le linee con conduttori metallici dovrebbero sempre essere effettuate nel punto d'ingresso nella struttura, direttamente o mediante SPD.

Minima sezione dei componenti delle connessioni equipotenziali

Componenti delle connessioni equipotenziali		Materiali	Sezioni mm^2
Collettori equipotenziali (rame o acciaio zincato)		Cu, Fe	50
Conduttori dai collettori equipotenziali al sistema di dispersori o ad altri collettori equipotenziali		Cu Al Fe	14 22 50
Conduttori dagli elementi metallici interni ai collettori equipotenziali		Cu Al Fe	5 8 16
Conduttore per le connessioni agli SPD	Classe I Classe II Classe III	Cu	5 3 1

Fulmini su ponteggi e gru

Generalità

In base alle vigenti disposizioni legislative, le strutture metalliche installate all'aperto, quali gru, ponteggi e simili, *di notevoli dimensioni*, devono essere protette contro i fulmini.

Secondo l'art. 39 del DPR 547/55, infatti:
"Le strutture metalliche degli edifici e delle opere provvisionali, i recipienti e gli apparecchi metallici di notevoli dimensioni, situati all'aperto, devono, per se stessi o mediante conduttore e spandenti appositi, risultare collegati elettricamente a terra in modo da garantire la dispersione delle scriche atmosferiche".

Come è noto, al fine di dare un significato appropriato alle "notevoli dimensioni" occorre valutare il rischio di fulminazione della struttura metallica. Le dimensioni sono notevoli quando il rischio di fulminazione supera il rischio ritenuto tollerabile dalle norme di buona tecnica.

Finora, per stabilire se una struttura metallica richiedeva la protezione, si utilizzava la procedura semplificata di cui all'Appendice G della norma CEI 81-1. Con l'entrata in vigore delle norme EN 62305 (CEI 81-10) tale procedura è abrogata e occorre pertanto effettuare il calcolo del rischio complesso secondo le nuove norme per stabilire se occorre proteggere e denunciare, ai sensi del DPR 462/01, le strutture metalliche.

Quando è necessaria la protezione contro i fulmini:

La protezione contro i fulmini comporta l'applicazione delle norme CEI 81-10, con complicazioni tecniche e pratiche.

È quindi consigliabile effettuare tale protezione solo quando effettivamente necessaria (struttura di notevoli dimensioni), anche per evitare inutili procedure burocratiche (denuncia ai sensi del DPR 462/01). Per stabilire se la struttura è di notevoli dimensioni occorre effettuare l'analisi del rischio secondo la norma CEI 81-10/2.

Se il rischio calcolato (R) è inferiore a quello tollerato dalla norma ($Rt = 10^{-5}$), la struttura non è da considerare di notevoli dimensioni (struttura autoprotetta). Quando il rischio calcolato supera quello ammesso dalla norma, la struttura va considerata di notevoli dimensioni e deve essere protetta contro i fulmini, secondo quanto stabilito dalla norma CEI 81-10.

Analisi del rischio:

Il rischio relativo al fulmine che colpisce una struttura metallica si riferisce alla perdita di vite umane (rischio R1), a causa di tensioni di contatto e di passo. Le strutture metalliche qui considerate, infatti, presentano per definizione un rischio di incendio nullo. Per tale motivo l'incendio non è considerato una causa di danno per le persone.

La norma trascura il rischio relativo alle tensioni di contatto e di passo solo se, nei pressi della struttura (convenzionalmente fino a 3 m), la probabilità che siano presenti persone o la durata della loro presenza è molto bassa.

La norma non specifica cosa intende per *probabilità o durata molto bassa*, e dunque ammettiamo in genere, a favore della sicurezza, che tale probabilità non sia molto bassa.

Se il terreno presenta però una levata resistività superficiale, le tensioni di contatto e di passo diventano trascurabili. La norma ha assunto come limite la resistività superficiale di 5 kΩm, al di sopra di tale valore non occorre alcun collegamento a terra.

Un terreno asfaltato (5 cm), o ricoperto di uno strato di ghiaia (15 cm), è appunto in queste condizioni; lo stesso dicasi per un terreno roccioso, ad esempio basalto, porfido, ecc

Se il terreno ha una resistività superficiale inferiore a 5 kΩm bisogna calcolare il rischio R1 secondo la procedura di cui alla norma CEI 81-10/2.
Il rischio è la somma di diversi rischi parziali chiamati “componenti di rischio”.

Nel caso specifico, l’unica componente di rischio da calcolare è quella relativa alle tensioni di contatto e di passo (componente A) per fulminazione diretta della struttura

Calcolo della componente del rischio

La componente di rischio Ra vale:

$$Ra = Nd \times Pa \times ra \times Lt$$

dove:

- Nd è la frequenza di fulminazione diretta della struttura (fulmini/annno);
- Pa è la probabilità di danno ad esseri viventi;
- ra è il coefficiente di riduzione del rischio secondo il tipo di suolo;
- Lt è il valore della perdita media annua relativa per tensioni di contatto e di passo.

La frequenza di fulminazione Nd è data dal prodottoè data da :

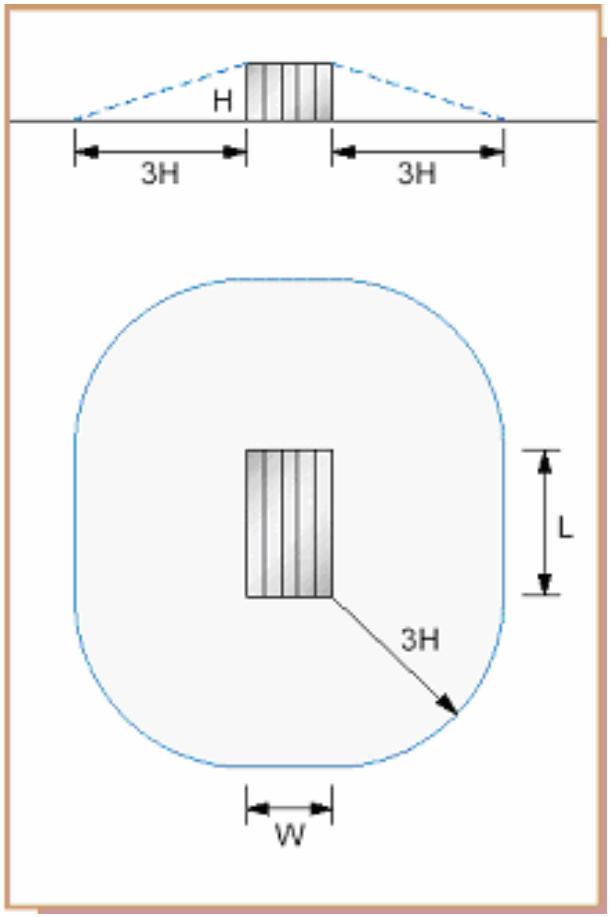
$$Nd = Nt \times Cd \times Ad$$

dove

- Nt è il valore di fulmini a terra all'anno e la silometro quadrato,
- Cd è il coefficiente di posizione
- Ad è l'area di raccolta della struttura.

Area di raccolta Ad

La nuova norma non ha modificato il modo di calcolare l'area di raccolta Ad. L'area di raccolta è definita dall'intersezione tra la superficie del suolo e la retta con pendenza 1/3 che passa per le parti più elevate della struttura (toccandole) e ruota attorno ad essa.



Per una struttura di forma complessa l'area di raccolta Ad va calcolata in modo grafico.

Per una struttura rettangolare di lunghezza L(m), larghezza W(m) ed altezza H(m), isolata ed ubicata su un terreno pianeggiante, l'area di raccolta (m^2) può essere calcolata analiticamente nel seguente modo:

$$\boxed{Ad = L\,W + 6\,H\,(L + W) + 9\,\pi\,H^2}$$

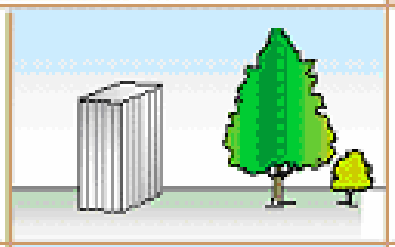
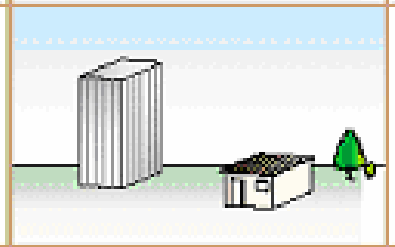
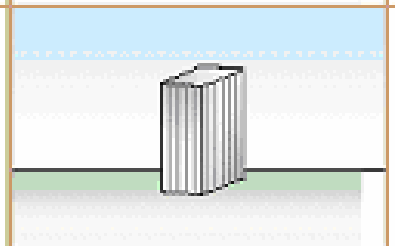
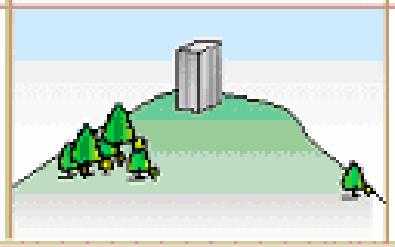
Coefficiente di posizione Cd:

Il *coefficiente di posizione Cd* sostituisce il vecchio *coefficiente di posizione C* della norma CEI 81-1 non solo nel nome, ma anche nella sostanza. I valori numerici del coefficiente sono uguali tra le due norme, tabella 1, ma la loro scelta è influenzata da due novità.

La nuova norma considera tra le strutture circostanti anche gli alberi. Il formatore forse ha pensato a una piccola *casetta in Canadà* immersa nella foresta di conifere e non al singolo albero, la cui altezza cambia verso l'alto (motu proprio) o verso il basso (dopo la potatura). Nella scelta del coefficiente di posizione Cd è quindi consigliabile, a favore della sicurezza, trascurare l'influenza di qualche albero circostante la struttura.

La seconda novità riguarda il caso in cui la struttura considerata sia circondata da altre strutture di pari altezza. In questo caso la vecchia norma CEI 81-1 considerava C = 0,25, la nuova norma, più severa, assume Cd = 0,5.

Disposizione relativa della struttura	Cd
Struttura situata in un'area con alberi o strutture di altezza maggiore	0,25
Struttura situata in un'area con alberi o strutture di altezza minore o uguale	0,5
Struttura isolata: non esistono alberi o strutture	1
Struttura isolata sulla cima di una collina o di una montagna	2

Disposizione relativa della struttura		C_d
Struttura situata in un'area con alberi o strutture di altezza maggiore		0,25
Struttura situata in un'area con alberi o strutture di altezza minore o uguale		0,5
Struttura isolata: non esistono alberi o strutture		1
Struttura isolata sulla cima di una collina o di una montagna		2

Probabilità di danno per tensioni di contatto e di passo

La probabilità Pa che un fulmine sulla struttura causi danno ad esseri viventi per tensioni di contatto e di passo è riportato nella seguente tabella:

Misure di protezione	Agisce su	Pa
Nessuna misura di protezione	-	1
Isolamento elettrico della struttura	Tensione di contatto	10^{-2}
Equipotenzializzazione del suolo	Tensione di passo	10^{-2}
Cartelli ammonitori	Tensione di contatto e di passo	10^{-1}
Barriere	Tensione di contatto e di passo	0

Se sono adottate più misure di protezione, si assume il prodotto dei corrispondenti valori di Pa. L'isolamento elettrico della struttura va realizzato con almeno e mm di polietilene reticolato, oppure con materiale avente una tensione di tenuta all'impulso di 100 kV, forma d'onda 1,2/50 µs. Tale misura di protezione non è realistica per i ponteggi e le gru. L'equipotenzializzazione del suolo riguarda una fascia di 3 m intorno alla struttura. Potrebbe trattarsi di una rete elettrosaldata utilizzata per la pavimentazione. La norma non indica come ottenere l'equipotenzializzazione su tale area. È opportuno, infine, non considerare le misure di protezione "cartelli ammonitori" perché poco efficaci e le "barriere", anche se previste dalla norma CEI 81-10/2, perché poco adatte ai ponteggi e alle gru.

Influenza del tipo di suolo

La norma CEI 81-1 stabiliva la frequenza di fulminazione accettabile secondo il valore di resistività superficiale del suolo intorno alla struttura metallica.
La misura della resistività superficiale del suolo è praticamente inattuabile sul posto sicché la nuova norma riferisce il coefficiente di riduzione del rischio (ra) al valore della resistenza di terra di un elettrodo avente superficie di 400cm², premuto al suolo con una forza di 50Ø N.
I valori del coefficiente di riduzione ra sono indicati nella seguente tabella:

Tipo di suolo (esempi)	Resistenza di terra Dell'elettrodo di prova (kΩ)	ra
Vegetale, cemento	< 1	0,01
Marmo, ceramica	1 ÷ 10	0,001
Pietrisco, moquette, tappeto	10 ÷ 100	0,0001
Asfalto, linoleum, legno	> 100	0,00001

Valore delle perdite:

Il valore delle perdite (Lt) indica l'ammontare relativo della perdita di vite umane dovute a tensioni di contatto e di passo su base annua.
Il valore di Lt può essere valutato mediante la seguente relazione:

$$Lt = (np/nt) \cdot (tp/8760)$$

dove:

- Np è il numero delle possibili vittime;
- Nt è il numero atteso di persone (nella struttura);
- tp è il tempo all'anno, espresso in ore,

per cui le persone sono presenti nel luogo pericoloso all'esterno della struttura;

- 8760 è il numero di ore in un anno.

Si noti che nella condizione peggiore il valore delle perdite vale Lt = 1.
Assumere Lt = 1 significa considerare in pericolo tutte le persone presenti per 24 ore su 24 per 365 giorni all'anno.
Laddove la determinazione di np, nt e tp è incerta o difficoltosa, la norma suggerisce di assumere Lt = 0,01.

Alcuni esempi:

A) Ponteggio

Si consideri un ponteggio (forma a L) addossato ad un edificio, ubicato nel comune di Bologna (Nt = 2,5 fulmini/km² anno), avente le seguenti dimensioni:

Larghezza: 2 m;
Lunghezza: 150 m;
Altezza 35 m.

Si noti che, a favore della sicurezza, la lunghezza assunta per il ponteggio è pari al suo sviluppo lineare ($Ad = 6.69 \cdot 10^{-2}$ km²).

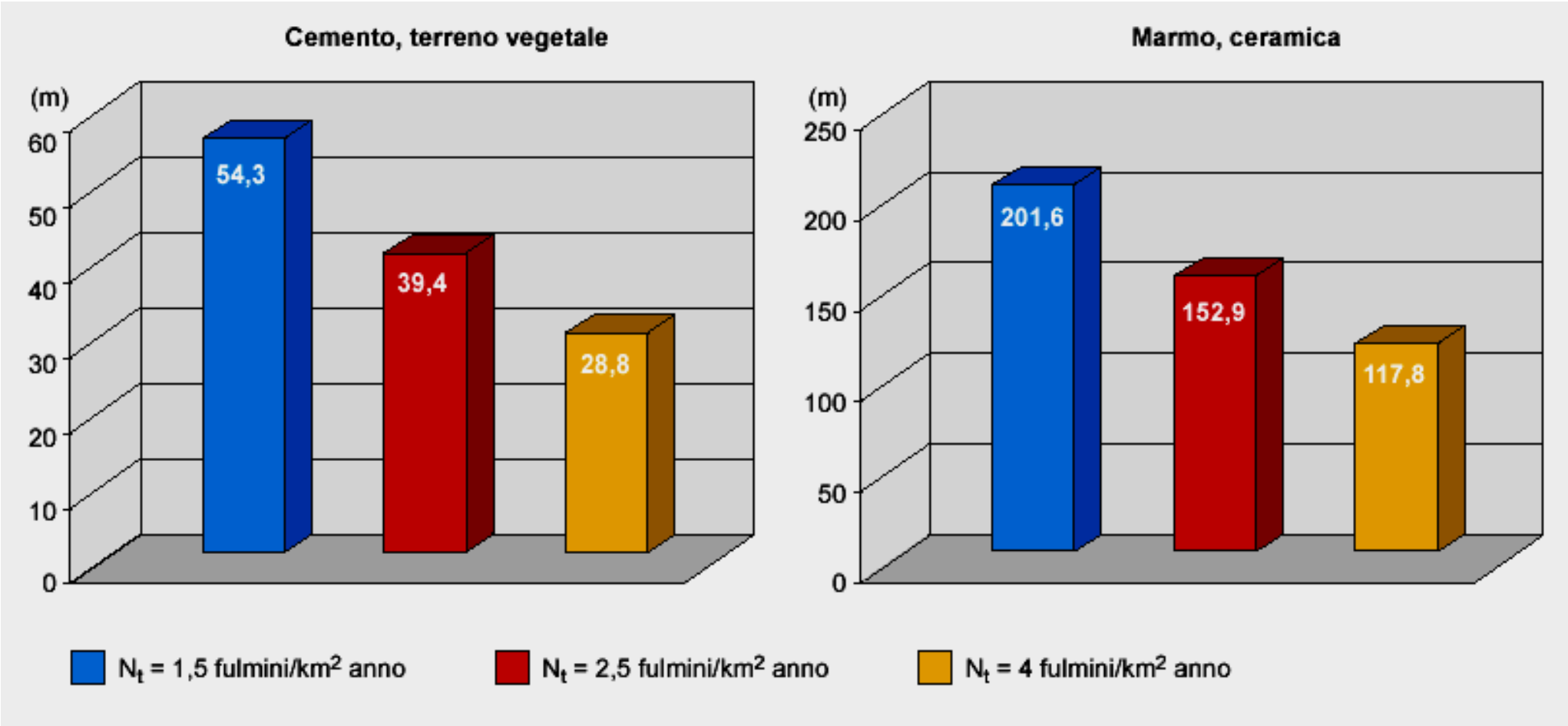
Il coefficiente di posizione vale Cd = 0,5 in quanto il ponteggio è addossato all'edificio in costruzione di altezza uguale o inferiore.

Non sono presenti misure di protezione contro le tensioni di contatto e di passo (Pa = 1) ed il suolo circostante è asfaltato (ra = 0,00001). Si assume un valore per le perdite di vite umane pari a Lt = 0,01.

Il rischio calcolato ($Ra = 8,36 \cdot 10^{-9}$) risulta inferiore al limite tollerato dalla norma ($Rt = 10^{-5}$) e pertanto non occorre adottare misure di protezione e denunciare, ai sensi del DPR 462/01, il ponteggio.

La fig. 3 illustra come varia l'altezza del ponteggio (larghezza di 2 m, lunghezza di 150 m) oltre la quale, al cambiare del tipo di suolo e del valore di Nt, occorre adottare misure di protezione.

Il grafico illustra come varia l'altezza del ponteggio (larghezza di 2 m, lunghezza di 150 m) oltre la quale, al cambiare del tipo di suolo e del valore di Nt, occorre adottare misure di protezione.



B) Gru

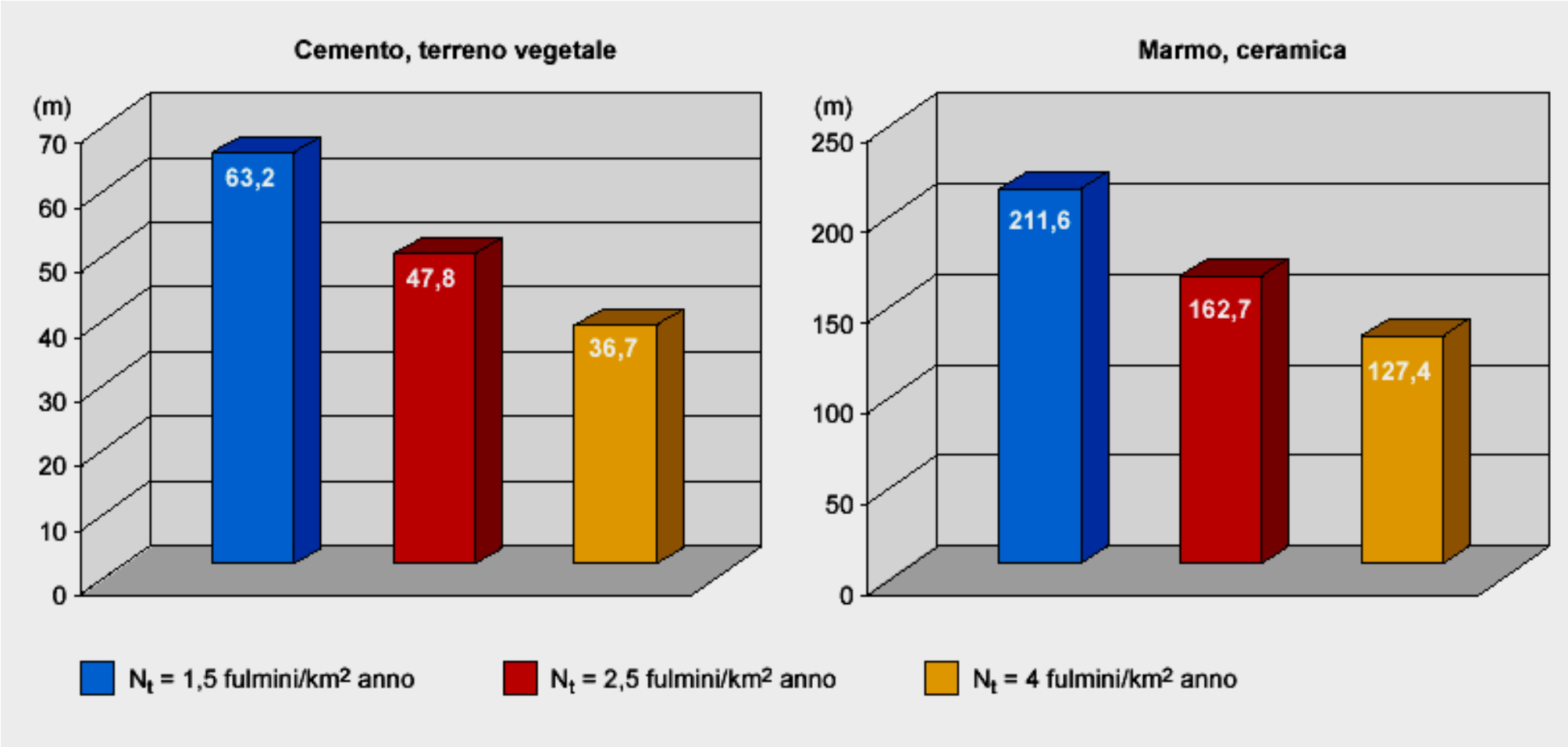
Si consideri una gru al servizio di un cantiere edile, ubicato nel comune di Roma (Nt = 4 fulmini/km² anno), avente le seguenti dimensioni:

Larghezza del braccio: 1,5 m;
Lunghezza del braccio: 52 m;
Altezza: 40 m.

L'area di raccolta della gru per fulminazione diretta vale $Ad = 5{,}82 \cdot 10^{-2}$ km². Le strutture circostanti la gru sono altezza inferiore, pertanto, il coefficiente di posizione vale Cd = 0,5.

Non sono presenti misure di protezione contro le tensioni di contatto e di passo (Pa = 1) ed il suolo circostante la gru è vegetale (ra = 0,01). Si assume un valore per le perdite di vite umane pari a Lt = 0,01.

Il rischio calcolato ($Ra = 1{,}16 \cdot 10^{-5}$) supera il limite tollerato dalla norma ($Rt = 10^{-5}$) e pertanto occorre adottare misure di protezione e denunciare, ai sensi del DPR 462/01, la gru. La fig. 5 illustra come varia l'altezza della gru (larghezza del braccio 1,5 m, lunghezza del braccio 52m) oltre la quale, al cambiare del tipo di suolo e del valore di Nt, occorre adottare misure di protezione



Gli esempi e l'esperienza pratica evidenziano come la protezione sia richiesta in casi particolari, ma per capire se si rientra in tale condizione occorre effettuare l'analisi del rischio.

Ponteggi, gru e DPR 462/01

L'entrata in vigore del DPR 462/01 ha modificato, come noto, le procedure di omologazione e verifica degli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche , TNE 4/02.

Il DPR 462/01 ha abrogato il modello A con il quale si trasmetteva la denuncia all'Ispesl, ma non ha modificato l'art. 39 del DPR 547/55 che indica la necessità diproteggere le strutture metalliche di notevoli dimensioni.
Se il ponteggio o la gru sono autoprotetti e quindi non sono di notevoli dimensioni, non occorre fare nulla.

Se, invece, il ponteggio o la gru richiedono un impianto di protezione, occorre inviare, entro 30 giorni dalla messa in servizio della struttura, copia della dichiarazione di conformità relativa all'impianto di protezione (priva di allegati) all'Asl/Arpa ed all'Ispesl territorialmente competenti per adempiere all'obbligo di denuncia ed incaricare, ogni due anni, l'Asl'Arpa od un organismo abilitato per le verifiche periodiche.