

## 5 Protezione contro i fulmini esterna

### 5.1 Dispositivi di captazione

I dispositivi di captazione di un sistema di protezione dai fulmini hanno il compito di preservare il volume da proteggere dalle fulminazioni dirette. Devono quindi essere impostati in modo da poter evitare fulminazioni incontrollate sull'edificio/struttura.

Attraverso un dispositivo di captazione ben dimensionato potranno essere ridotti gli effetti dei fulmini su una struttura.

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

- ⇒ aste;
- ⇒ fili e funi tese;
- ⇒ conduttori amagliati

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

Per stabilire la disposizione e le posizioni dei dispositivi di captazione, possono essere utilizzati tre metodi:

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

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

In seguito vengono descritti i tre diversi metodi.

#### 5.1.1 Metodi di calcolo e tipi di dispositivi di captazione

##### Metodo della sfera rotolante - "modello elettrico-geometrico"

Nel caso di fulmini nube-terra, un canale discendente avanza con passi tortuosi verso terra. Quando il canale discendente è vicino alla terra, da alcune centinaia a poche decine di metri, viene superata la rigidità dielettrica dell'aria vicina alla terra. A questo punto parte dalla terra un'altra scarica "leader" simile al canale discendente in direzione della punta del canale discendente: cioè una con-

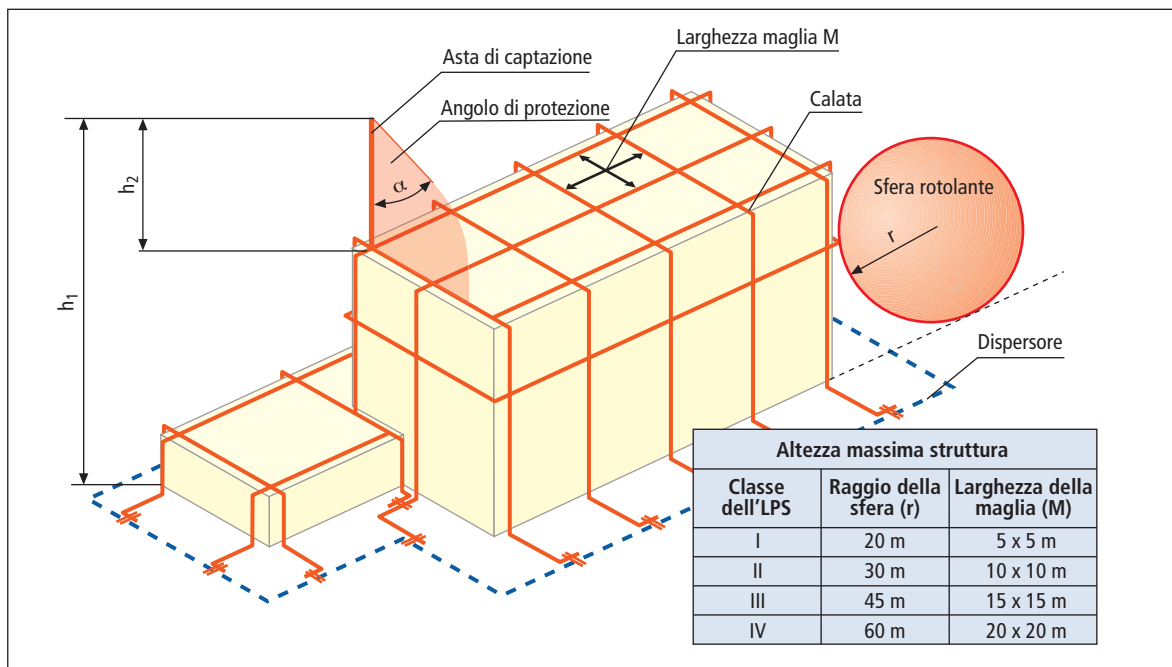


Figura 5.1.1 Metodo per la disposizione dei dispositivi di captazione su edifici alti

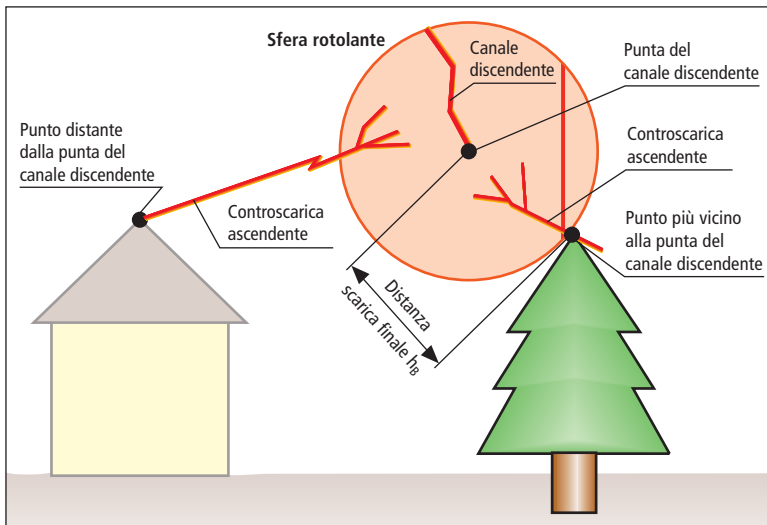


Figura 5.1.1.1 Controscarica in partenza, che determina il punto di abbattimento del fulmine



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

troscarica verso l'alto. Così viene stabilito il punto di abbattimento di un fulmine (Figura 5.1.1.1).

Il punto di partenza della controscarica verso l'alto e quindi il futuro punto di abbattimento del fulmine viene determinato soprattutto dalla punta del canale discendente. La punta del canale discendente può avvicinarsi a terra solo fino ad una determinata distanza. Questa distanza viene stabilita attraverso l'intensità di campo del terreno durante l'avvicinamento della punta del canale discendente. La minima distanza tra punta del canale discendente e punto di partenza della controscarica verso l'alto viene chiamato distanza della scarica finale  $h_B$  (corrisponde al raggio della sfera rotolante).

Appena dopo il superamento della rigidità dielettrica in un punto, si forma la controscarica verso l'alto, che, superando la distanza di scarica disruptiva finale, causa la scarica disruptiva finale. Sulla base di osservazioni dell'effetto di protezione di funi di guardia e pali dell'alta tensione, è stato elaborato il cosiddetto "modello elettrico-geometrico".

Si basa sull'ipotesi che la punta del canale discendente si avvicina agli oggetti sulla terra in modo arbitrario e non influenzato fino alla distanza della scarica disruptiva finale.

Il punto di abbattimento viene in seguito determinato dall'oggetto che presenta la distanza più breve dal canale discendente. La controscarica che parte da lì si "impone" (Figura 5.1.1.2).

### Suddivisione in classi di LPS e raggio della sfera rotolante

In prima approssimazione, esiste una proporzionalità tra il valore di cresta della corrente da fulmine e la carica elettrica accumulata nel canale discendente. Inoltre, l'intensità di campo della terra in caso di un crescente canale discendente, in prima approssimazione è dipendente in modo lineare dalla carica accumulata nel canale discendente.

Esiste quindi una proporzionalità tra il valore di cresta  $I$  della corrente di fulmine e la distanza della scarica disruptiva finale  $h_B$  (= raggio della sfera rotolante):

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

$r$  in m

$I$  in kA

La protezione contro i fulmini di edifici viene descritta nella norma CEI EN 62305-1. Questa norma definisce tra l'altro la classificazione in diverse classi di LPS e stabilisce le misure di protezione contro i fulmini da esse derivanti.

Sono definite quattro classi di LPS, basate sui corrispondenti LPL. La classe I offre la protezione più alta, mentre la classe IV offre, nel confronto, la protezione più bassa. Oltre alla classe di LPS è definita anche l'efficacia di intercettazione dei dispositivi di captazione, cioè quale percentuale delle probabili fulminazioni può essere controllata sicu-

Livello di protezione LPL	Probabilità per i valori limite dei parametri da fulmine		Raggio della sfera rotolante (distanza scarica finale $h_B$ ) $r$ in m	Minimo valore di cresta della corrente $I$ in kA
	< valori massimi secondo tabella 5 CEI EN 62305-1	> valori minimi secondo tabella 6 CEI EN 62305-1		
IV	0,84	0,97	60	16
III	0,91	0,97	45	10
II	0,97	0,98	30	5
I	0,99	0,99	20	3

Tabella 5.1.1.1 Relazioni tra livello di protezione, criterio di intercettazione  $E_p$ , distanza della scarica finale  $h_B$  e il minimo valore di cresta della corrente  $I$ . Fonte: Tabella 5,6 e 7 della CEI EN 62305-1 (CEI 81-10/1)

ramente tramite i dispositivi di captazione. Da qui si ricava il tratto della scarica disruptiva finale e quindi il raggio della sfera rotolante. Le relazioni tra livello di protezione, efficienza dei dispositivi di captazione, distanza della scarica disruptiva finale/raggio della sfera rotolante e valore di cresta della corrente sono raffigurati nella **tabella 5.1.1.1**.

Considerando come base l'ipotesi del "modello elettrico-geometrico", secondo il quale la punta del canale discendente si avvicina agli oggetti sulla terra in modo arbitrario e non influenzato fino alla distanza della scarica finale, è possibile dedurre un procedimento generale, che permette di controllare lo spazio da proteggere. Per eseguire questo procedimento della sfera rotolante è necessario un modello in scala dell'oggetto da proteggere (ad esempio in scala 1:100), sul quale siano riprodotti i bordi esterni e, all'occorrenza, i dispositivi di captazione. A seconda della posizione dell'oggetto in esame, è anche necessario includere gli edifici e oggetti circostanti, dal momento che questi potrebbero risultare efficaci come "misure di protezione naturali" per gli oggetti in esame.

E' necessario, inoltre, utilizzare una sfera rotolante in scala corrispondente al livello di protezione desiderato con il raggio corrispondente alla distanza della scarica finale (il raggio  $r$  della sfera rotolante deve a seconda del livello di protezione corrispondere in scala al raggio di 20, 30, 45 o 60 m). Il centro della sfera rotolante utilizzata corrisponde alla punta del canale discendente, verso la quale si formano le rispettive controscariche.

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

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

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

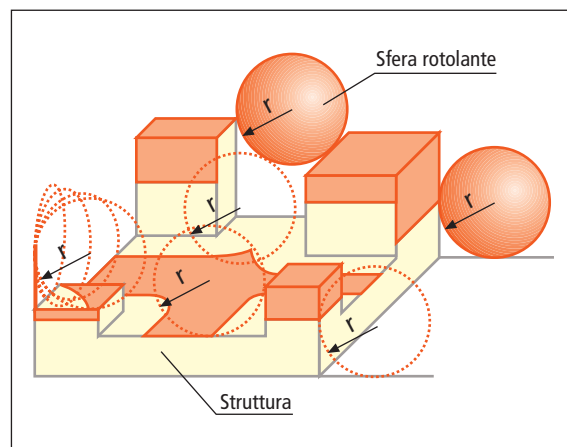


Figura 5.1.1.3 Utilizzo schematico del metodo della sfera rotolante su un edificio con una superficie complessa

### Esempio 1: nuova costruzione di un edificio amministrativo a Monaco

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

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

Come requisito per il sistema di protezione contro i fulmini è stato stabilito il livello di protezione I, cioè, il raggio della sfera rotolante nel modello era di 20 cm (Figura 5.1.1.4).

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

Attraverso l'utilizzo del metodo della sfera rotolante è stata così evitata l'installazione di impianti di captazione laddove dal punto di vista della tecnica di protezione non erano strettamente necessari. D'altro canto è stato possibile migliorare la protezione da fulminazioni dirette, ove necessario (Figura 5.1.1.5).

### Esempio 2: Duomo di Aquisgrana

Il duomo si trova nel centro storico di Aquisgrana ed è circondato da diversi edifici alti.

Direttamente vicino al duomo si trova un modello in scala 1:100, che serve a far capire meglio ai visitatori la geometria del duomo.

Gli edifici circostanti offrono al duomo di Aquisgrana, in parte, una protezione naturale contro le fulminazioni.

A questo scopo, e anche per dimostrare l'efficacia delle misure di protezione contro i fulmini, sono stati riprodotti gli edifici circostanti in scala-modello (1:100) (Figura 5.1.1.6).

La figura 5.1.1.6 mostra inoltre le sfere rotolanti dei livelli di protezione II e III (cioè con raggi di 30 cm e 45 cm) sul modello.

Lo scopo era quello di dimostrare l'aumento dei requisiti richiesti ai dispositivi di captazione con la riduzione del raggio della sfera rotolante, cioè quali zone del duomo di Aquisgrana con un livello di protezione II più elevata possono essere



Figura 5.1.1.4 Nuovo edificio amministrativo: modello con sfera rotolante del livello di protezione I  
Fonte: WBG Wiesinger



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

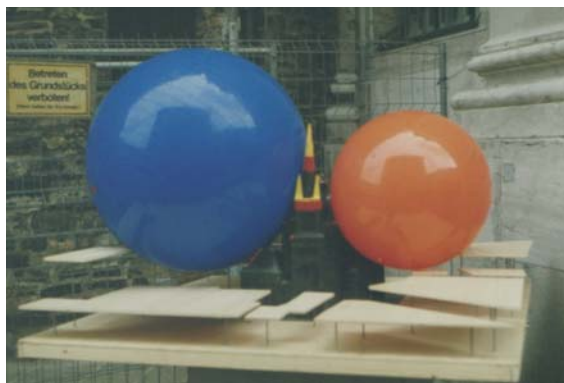


Figura 5.1.1.6 Duomo di Aquisgrana: modello con ambiente circostante e sfere rotolanti per i livelli di protezione II e III  
Fonte: Prof. Dr. A. Kern, Aquisgrana, Germania

aggiuntivamente considerate come esposte al pericolo di abbattimento del fulmine.

La sfera rotolante con raggio minore (corrispondente al livello di protezione superiore) tocca

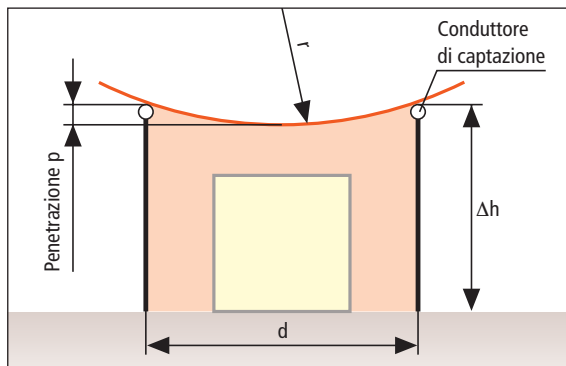


Figura 5.1.1.7 Profondità di penetrazione p della sfera rotolante

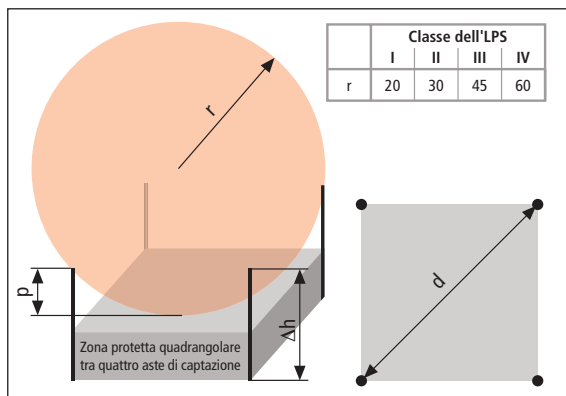


Figura 5.1.1.8 Impianto di captazione per strutture sul tetto

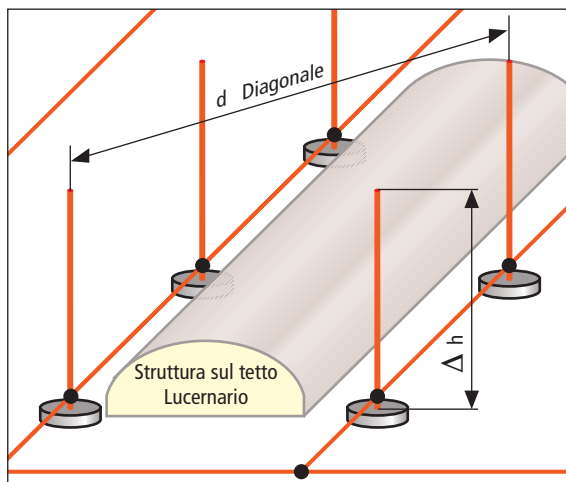


Figura 5.1.1.9 Calcolo Δh con diverse aste di captazione secondo il metodo della sfera rotolante

naturalmente il modello in tutte le parti toccate anche dalla sfera più grande. E' quindi necessario rilevare solo le parti di contatto supplementari.

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

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

$$p = r - \left[ r^2 - (d/2)^2 \right]^{1/2}$$

r raggio della sfera rotolante

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

La figura 5.1.1.7 illustra questo approccio.

Se la superficie del tetto o delle strutture poste al di sopra del tetto stesso deve essere protetta da fulminazione diretta, questo viene spesso realizzato con l'utilizzo di aste di captazione. Attraverso il posizionamento a quadrato delle aste, che di solito non vengono collegate, la sfera non rotola "su rotaie", ma penetra più in profondità, e così si aumenta la profondità di penetrazione della sfera (Figura 5.1.1.8).

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

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

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

Tabella 5.1.1.2 Flessione della sfera rotolante con due aste oppure due conduttori di captazione paralleli

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

### Metodo delle maglie

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

Per l'impianto di captazione a maglie, la flessione della sfera rotolante viene semplificata e presunta come zero.

La posizione delle singole maglie può essere scelta liberamente utilizzando il punto più alto e gli spigoli esterni dell'edificio, così come le componenti di costruzione in metallo, utilizzabili come impianto di captazione naturale.

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

Una scossalina in metallo può essere utilizzata come dispositivo di captazione e/o di calata, se le misure minime necessarie per gli elementi naturali dell'impianto di captazione vengono soddisfatti (Figura 5.1.1.10).

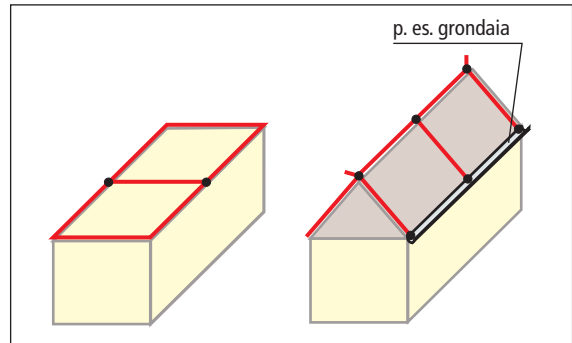


Figura 5.1.1.10 Dispositivo di captazione a maglie

### Metodo dell'angolo di protezione

Il metodo dell'angolo di protezione è dedotto dal modello di fulmine geometrico-elettrico. L'angolo di protezione viene determinato dal raggio della sfera rotolante. L'angolo di protezione paragonabile con il raggio della sfera rotolante si ottiene, quando una linea obliqua taglia la sfera rotolante in modo che le superfici così create siano di misura uguale (Figura 5.1.1.11).

Questa procedura è da utilizzare per edifici di misure simmetriche (ad esempio tetti a punta) oppure per strutture sul tetto (ad esempio antenne, tubi di sfiato).

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

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

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

Se vengono posizionate le aste di captazione per la protezione di strutture installate sulla superficie del tetto, l'angolo di protezione  $\alpha$  può variare.

Classe dell'LPS	Lato di magliatura
I	5 x 5 m
II	10 x 10 m
III	15 x 15 m
IV	20 x 20 m

Tabella 5.1.1.3 Lato di magliatura

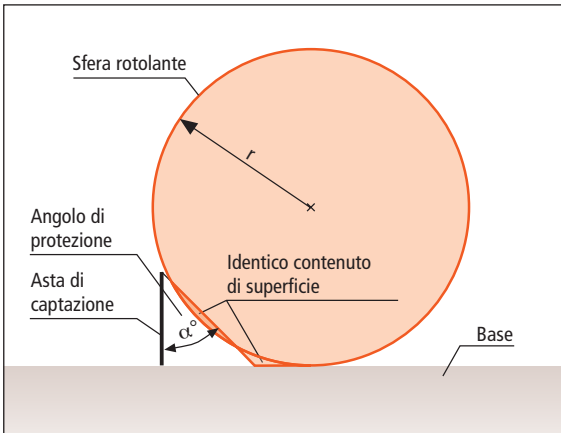


Figura 5.1.1.11 Angolo di protezione e raggio della sfera rotolante confrontabile

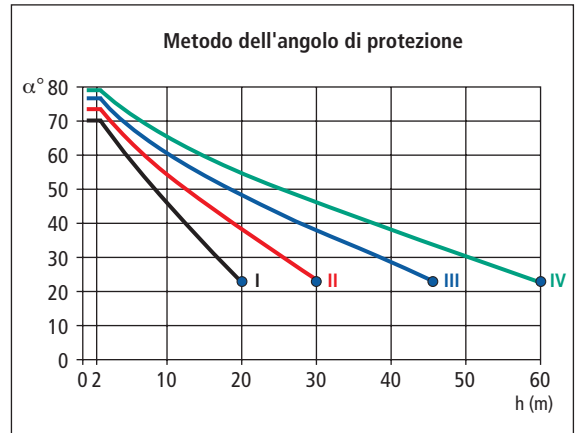


Figura 5.1.1.12 Angolo di protezione  $\alpha$  come funzione dell'altezza  $h$  in base al livello di protezione

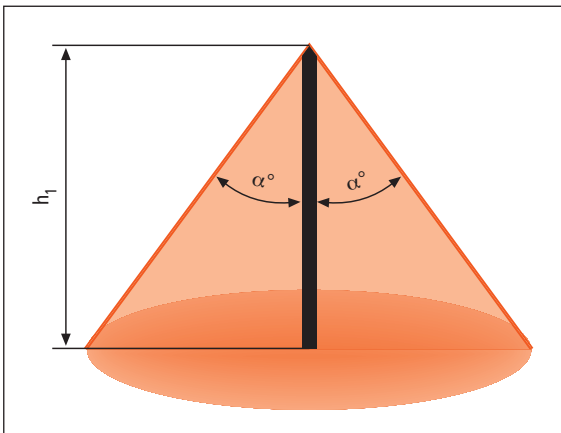


Figura 5.1.1.13 Volume protetto a forma di cono

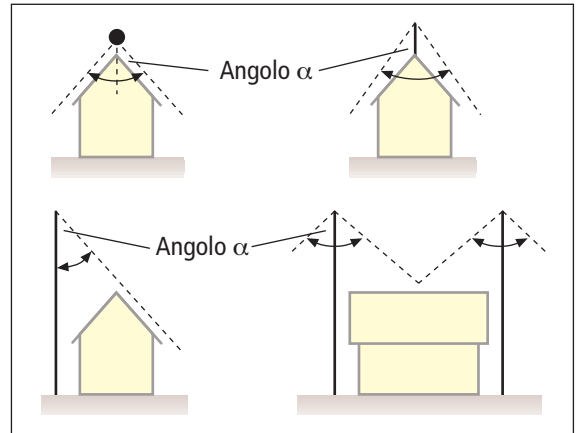


Figura 5.1.1.14 Esempio per impianto di captazione con angolo di protezione  $\alpha$

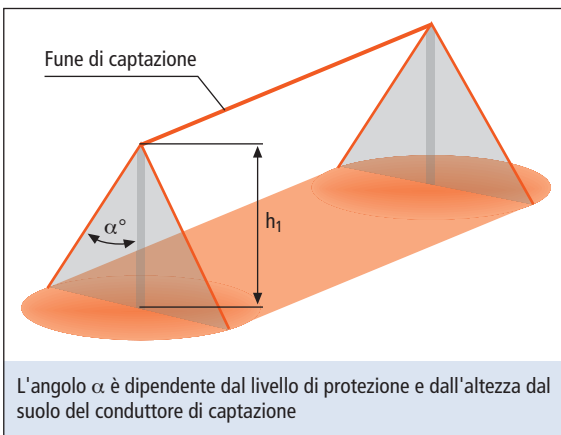


Figura 5.1.1.15 Area protetta da una funne di captazione

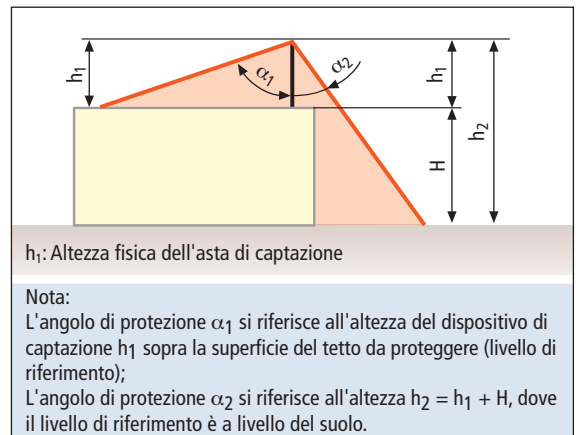


Figura 5.1.1.16 Volume protetto da un'asta di captazione verticale

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

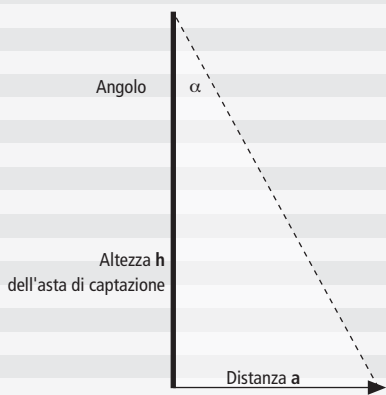


Tabella 5.1.1.4 Angolo di protezione  $\alpha$  dipendente dal livello di protezione contro i fulmini



Nella **figura 5.1.1.16** il piano di riferimento per l'angolo di protezione  $\alpha_1$  è la superficie del tetto. L'angolo di protezione  $\alpha_2$  ha come piano di riferimento il suolo, e quindi l'angolo  $\alpha_2$  secondo la **figura 5.1.1.12** e la **tabella 5.1.1.4** è minore rispetto a  $\alpha_1$ .

Nella **tabella 5.1.1.4** il rispettivo angolo di protezione può essere individuato secondo il livello di protezione e la distanza corrispondente (zona di protezione).

#### **Metodo dell'angolo di protezione per dispositivi di captazione isolati di costruzioni sul tetto**

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

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

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

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

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

#### **Dispositivi di captazione isolati e non isolati**

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

⇒ isolato

⇒ non isolato

Le due esecuzioni sono combinabili tra loro.

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

Se il tetto è fatto in materiale non infiammabile, i conduttori di captazione possono essere disposti sulla superficie della struttura (ad esempio tetto a



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



Figura 5.1.1.18 Tetto a falda con staffa portafilo



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

falda oppure tetto piano). Di solito vengono utilizzati materiali da costruzione non infiammabili. In questo modo le componenti del sistema di protezione contro i fulmini esterno possono essere montate direttamente sulla struttura (Figure 5.1.1.18 e 5.1.1.19).

Se il tetto è composto da materiali facilmente infiammabili, come ad esempio nel caso di tetti morbidi fatti p.es. di paglia, la distanza tra le parti infiammabili del tetto e l'impianto di captazione costituito da aste, funi o maglie non deve essere inferiore a 0,4 m.

Le parti facilmente infiammabili della struttura da proteggere non devono trovarsi a contatto diretto con le parti del sistema di protezione dai fulmini esterno. Non possono nemmeno trovarsi sotto la copertura del tetto, la quale in caso di fulminazio-

ne potrebbe venire perforata (vedere anche capitolo 5.1.5 sugli edifici con copertura morbida).

In caso di dispositivi di captazione **isolati**, l'intera struttura viene protetta dalla fulminazione diretta attraverso aste di captazione, pali di captazione oppure con funi tese su pali di captazione. Gli organi di captazione devono essere installati in modo da rispettare la distanza di sicurezza  $s$  dalla struttura.

Le figure 5.1.1.20 e 5.1.1.21 illustrano un tipo di struttura con dispositivi di captazione isolati.

La distanza di sicurezza  $s$  tra gli organi di captazione e la struttura deve essere rispettata.

Questi impianti isolati dalla struttura vengono spesso utilizzati quando sono presenti sul tetto dei materiali infiammabili, come ad esempio la canna palustre, oppure anche in caso di ambienti a rischio d'esplosione, quali distributori di benzina.

Si rimanda anche al capitolo 5.1.5 "Impianto di captazione per edifici con copertura morbida".

Un'altra possibilità di realizzare degli impianti di captazione isolati consiste nel fissare i dispositivi di captazione (aste, conduttori oppure funi) all'oggetto da proteggere con materiali isolanti come ad esempio resina in poliestere rinforzato.

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

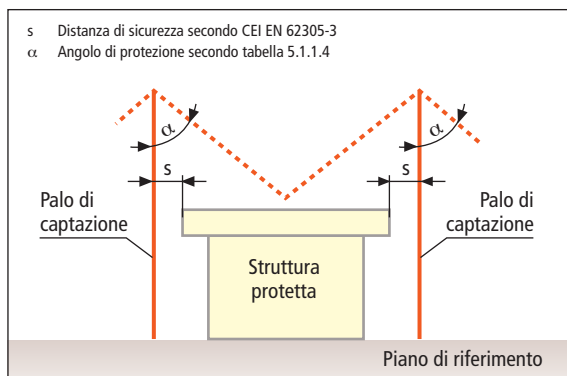


Figura 5.1.1.20 Sistema di protezione contro i fulmini isolato con due pali isolati secondo il metodo dell'angolo di protezione: proiezione su una superficie verticale

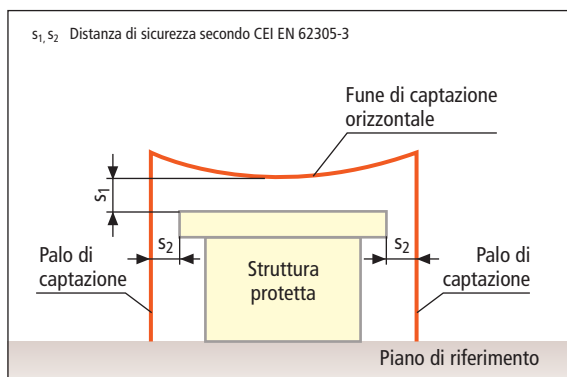


Figura 5.1.1.21 Sistema di protezione contro i fulmini isolato, composto da due pali di captazione isolati, collegati tramite una fune di captazione: proiezione su una superficie verticale attraverso due pali

### Elementi naturali di impianti di captazione

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

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

Rivestimenti in lamiera metallica, ai lati o sull'edificio da proteggere, possono essere utilizzati, se il collegamento elettrico tra le diverse parti è eseguito in modo duraturo. Per collegamento elettrico duraturo si intende ad esempio un collegamento realizzato tramite saldatura, a pressione, avvitatura oppure rivettatura.

Classe dell'LPS	Materiale	Spessore <sup>a</sup> t mm	Spessore <sup>b</sup> t` mm
I a IV	piombo	-	2,0
	acciaio (inox, zincato)	4	0,5
	titanio	4	0,5
	rame	5	0,5
	alluminio	7	0,65
	zinco	-	0,7
<sup>a</sup> t impedisce perforazione, surriscaldamento e incendio <sup>b</sup> t` solo per lamiera dove non devono essere impediti la perforazione, il surriscaldamento e l'incendio			

Tabella 5.1.1.5 Spessore minimo delle lamiere metalliche

Se il collegamento elettrico continuo non è assicurato, questi elementi devono essere ulteriormente collegati ad esempio tramite bandelle o cavi di ponticellamento.

Se lo spessore della lamiera metallica non è inferiore al valore t indicato nella **tabella 5.1.1.5** e se non è rilevante la perforazione della copertura sul punto di abbattimento del fulmine nè l'accensione dei materiali combustibili sottostanti, questo tipo di lamiera può essere utilizzato come dispositivo di captazione.

Non è prevista alcuna differenziazione degli spessori per livello di protezione.

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

Questi spessori t dei materiali richiesti, in genere, ad esempio per coperture metalliche, non possono essere rispettati.

Per tubi o serbatoi esiste tuttavia la possibilità di rispettare questi spessori minimi (spessore di parete). Tuttavia, se l'aumento di temperatura (riscaldamento) sui lati interni del tubo oppure del serbatoio risultasse pericoloso per il fluido contenuto (pericolo di incendio o di esplosione), questi non dovranno essere utilizzati come organo di captazione (vedere anche capitolo 5.1.4).

Se i requisiti relativi allo spessore minimo non ven-

gono rispettati, le parti quali tubazioni o serbatoi, devono essere poste in una zona protetta da fulmini. Queste parti naturali possono essere tuttavia in grado di condurre corrente da fulmine e possono quindi essere utilizzate come conduttore o calata. Un sottile rivestimento di vernice, 1 mm di bitume oppure 0,5 mm di PVC non sono da considerare come isolamento in caso di fulminazione diretta. Per la grande quantità di energia che viene generata durante la fulminazione diretta, questo tipo di rivestimento viene perforato.

Le parti naturali degli organi di calata non devono presentare dei rivestimenti sulle superficie di contatto.

In presenza di corpi metallici sulla superficie del tetto, queste possono essere utilizzate come impianti naturali di captazione, quando non esiste un collegamento conduttivo con l'interno dell'edificio.

Attraverso il collegamento di tubi o condutture elettriche all'interno della struttura, le correnti parziali da fulmine possono entrare all'interno dell'edificio e influenzare o addirittura distruggere gli impianti elettrici/elettronici sensibili.

Per evitare tali correnti parziali da fulmine devono essere previsti, per le costruzioni sul tetto sopraccitate, dei dispositivi di captazione isolati.

La disposizione del dispositivo di captazione isolato può avvenire secondo il metodo della sfera rotolante o dell'angolo di protezione. Un dispositivo di captazione con una larghezza di maglie corrispondente al relativo livello di protezione può essere realizzato, se per il sistema (isolato) completo può essere mantenuta la distanza di sicurezza s.

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

### 5.1.2 Dispositivi di captazione per edifici con tetto a doppio spiovente

Per dispositivi di captazione sui tetti si intendono tutti gli elementi metallici, ad esempio funi, aste, punte di captazione.

I punti di abbattimento preferiti dai fulmini, come punte di cuspidi, camini, colmi e displuvi, spigoli di cuspidi e di grondaie, parapetti, antenne e altre strutture emergenti dal tetto, devono essere dotati di impianti di captazione.

Di regola, su tetti a doppia falda viene installata sulla superficie del tetto una rete di captazione a



Figura 5.1.2.1 Dispositivo di captazione su tetto a doppio spiovente

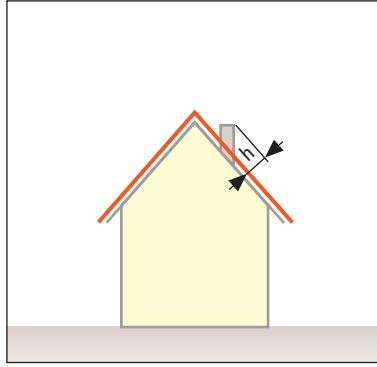


Figura 5.1.2.2 Altezza della struttura sul tetto di materiale non conduttivo (ad es. PVC),  $h \leq 0,5$  m



Figura 5.1.2.3 Dispositivo di captazione supplementare per tubi di sfiato

maglie con una larghezza di maglia realizzata secondo il livello di protezione (ad esempio 15 m x 15 m per il livello di protezione III) (Figura 5.1.2.1). La posizione delle singole maglie può essere scelta considerando l'utilizzo del colmo e degli spigoli perimetrali e gli elementi metallici utilizzati come dispositivo di captazione. I conduttori di captazione perimetrali degli edifici devono essere posati il più direttamente possibile sugli spigoli.

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

Le costruzioni sul tetto in materiale **non conduttivo** (metallico) (p. es. tubi di sfiato in PVC) vengono



Figura 5.1.2.4 Edificio con impianto fotovoltaico  
Fonte: Blitzschutz Wettingfeld, Krefeld, Germania

considerate sufficientemente protette, quando non escono più di  $h = 0,5$  m dal piano delle maglie (Figura 5.1.2.2).

Se la misura è  $h > 0,5$  m, la costruzione sporgente deve essere provvista di dispositivo di captazione (p. es. punta di captazione) e collegata al conduttore di captazione più vicino. Possono essere utilizzati per questo anche ad esempio un tondino in acciaio con un diametro di 8 mm fino ad un'altezza libera massima di 0,5 m, come illustrato nella figura 5.1.2.3.

I corpi metallici sul tetto senza collegamenti conduttivi verso l'interno della struttura non hanno necessità di essere collegati al dispositivo di captazione, se rispondono a tutti i seguenti requisiti:

- ⇒ le costruzioni sul tetto non devono sporgere dal piano delle maglie più di 0,3 m;
- ⇒ le costruzioni sul tetto possono racchiudere una superficie massima di 1 m<sup>2</sup> (ad esempio un lucernario);
- ⇒ le costruzioni sul tetto possono avere una lunghezza massima di 2 m (ad esempio coperture in lamiera).

Solo se vengono rispettati tutti e tre i requisiti, è possibile rinunciare ad un collegamento.

Inoltre, deve essere rispettata, nell'ambito di queste condizioni, la distanza di sicurezza verso gli organi di captazione e di discesa (Figura 5.1.2.4).

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



Figura 5.1.2.5 Antenna con asta di captazione isolata:  
Fonte: Oberösterreichischer Blitzschutz, Linz, Austria

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

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

L'impianto per la protezione di antenne paraboliche deve essere realizzato in modo simile a quello utilizza-

to per la protezione di camini con tubo in acciaio inossidabile all'interno.

In caso di fulminazione diretta su antenne, possono entrare delle correnti parziali da fulmine all'interno dell'edificio da proteggere attraverso gli schermi dei cavi coassiali e causare i già descritti disturbi e danneggiamenti.

Per evitare questo, le antenne vengono equipaggiate con dispositivi di captazione isolati (p. es. aste di captazione) (Figura 5.1.2.5).

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

### 5.1.3 Dispositivi di captazione per edifici con tetto piano

Per la realizzazione del dispositivo di captazione su strutture con tetti piani (Figure 5.1.3.1 e 5.1.3.2) viene utilizzato il metodo della maglia. Sulla copertura del tetto viene installata una rete di captazione a forma di maglia con la larghezza della maglia in corrispondenza al livello di protezione adattato (Tabella 5.1.1.3).

La figura 5.1.3.3 illustra l'applicazione pratica del sistema di captazione a maglia, con aste di captazione integrate per la protezione di costruzioni sul tetto come lucernari, moduli fotovoltaici oppure

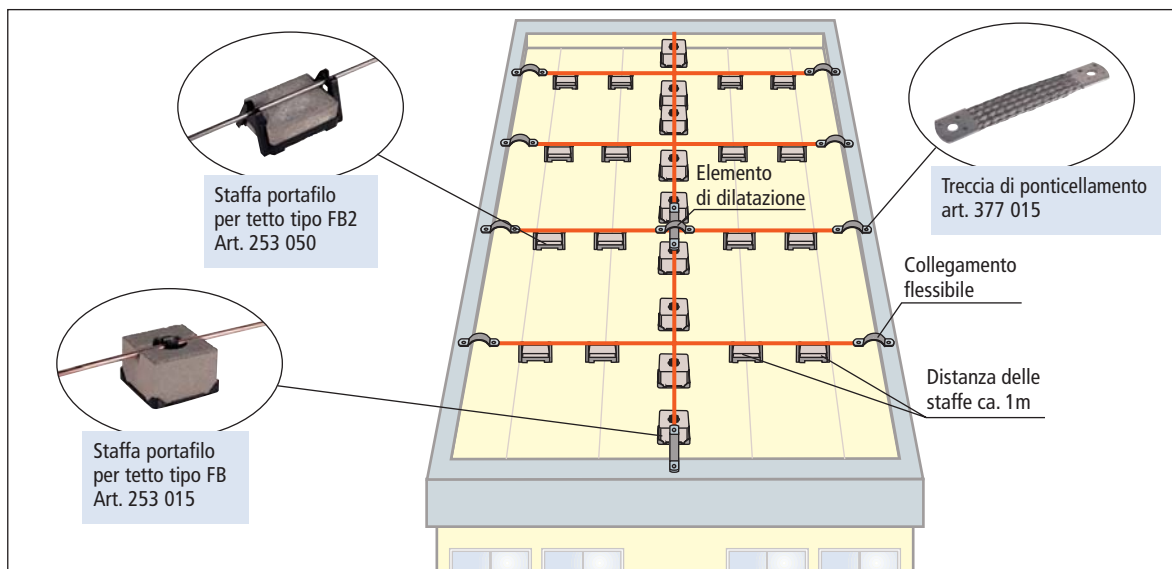


Figura 5.1.3.1 Dispositivo di captazione



Figura 5.1.3.2 Dispositivo di captazione su un tetto piano



Figura 5.1.3.3 Applicazione di aste di captazione



Figura 5.1.3.4 Ponticellamento dell'attico

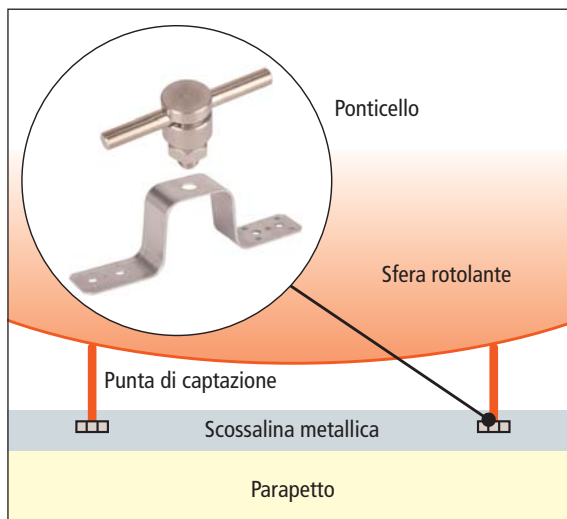


Figura 5.1.3.5 Esempio per la protezione di un attico metallico quando non è ammessa la perforazione (vista frontale)

impianti di aerazione. Il modo in cui queste strutture devono essere trattate, verrà spiegato nel capitolo 5.1.8.

Le staffe portafilo su tetti piani vengono posate a circa un metro di distanza l'una dall'altra. I conduttori di captazione vengono collegati con la scossalina, in quanto parte naturale dell'impianto di captazione. A causa della dilatazione termica dei materiali utilizzati per le scossaline, i singoli segmenti sono provvisti di "lamiere scorrevoli".

Se la scossalina viene utilizzata come organo di captazione, questi singoli segmenti devono essere intercollegati in modo duraturo ed elettricamente continuo, senza limitare la capacità di dilatazione. Questo può essere realizzato con bandelle di ponticellamento, ganasce o corde (Figura 5.1.3.4).

Anche per i sistemi di captatori e di calate devono essere considerate le dilatazioni termiche causate da sbalzi di temperatura (vedere capitolo 5.4).

In caso di fulminazione sulla scossalina possono verificarsi delle perforazioni dei materiali utilizzati. Se questo non può essere accettato, è necessario un ulteriore organo di captazione, ad esempio utilizzando delle punte di captazione, posizionate secondo il metodo della sfera rotolante (Figura 5.1.3.5).

### Staffe portafilo per coperture piane saldate in modo omogeneo

Sotto l'effetto aspirante del vento, le guaine, se fissate solo in modo meccanico, possono muoversi in orizzontale rispetto alla superficie del piano di copertura. Per impedire che le staffe portafilo per il tondino di captazione sulla superficie liscia non vengano spostati, è necessario effettuare un ulteriore fissaggio di sicurezza del tondino di captazione. Le staffe portafilo tradizionali non possono essere incollate in modo duraturo sulle guaine, dal momento che di solito non esiste una compatibilità della colla con la stessa.

Una possibilità di fissaggio semplice e sicura è quella con le staffe portafilo del tipo KF in combinazione con ganasce (tagliando delle strisce su misura) dello stesso materiale della guaina. La striscia viene incastrata nella staffa di plastica e saldata da tutti e due i lati sulla guaina. Staffe e ganasce sono da posizionare immediatamente accanto al sormonto saldato della guaina, distanziati tra loro di ca. 1 m. La striscia di guaina viene saldata con la copertura secondo le indicazioni del costruttore

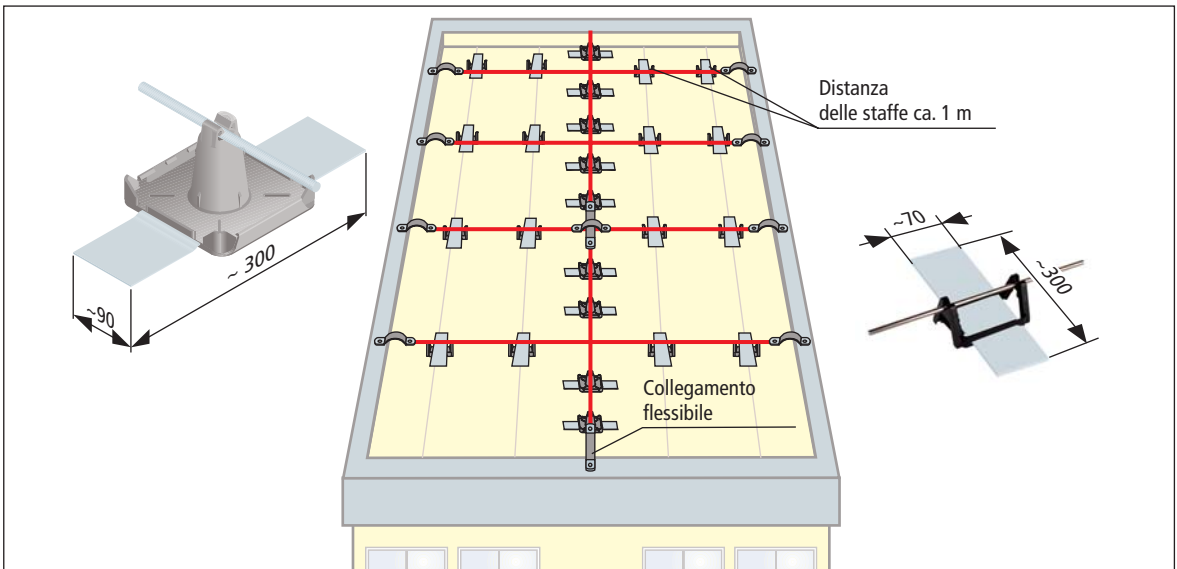


Figura 5.1.3.6 Guaina impermeabilizzante → staffa portafilo per tetto piano tipo KF / KF2

della guaina. In questo modo viene evitato lo slittamento del tondino di captazione sulle coperture piane.

Con una pendenza del tetto superiore al 5%, ogni staffa portafilo deve essere provvista di fissaggio. Le staffe portafilo, con guaine impermeabilizzanti fissate meccanicamente, devono essere posizionate immediatamente accanto al fissaggio della guaina.

Durante questi lavori occorre osservare, che i lavori di saldatura e incollatura sulla copertura impermeabile possono avere delle conseguenze sulla garanzia per l'impermeabilizzazione.

I lavori devono quindi essere eseguiti solo dopo aver consultato la ditta esecutrice della copertura, oppure devono essere eseguiti direttamente da quest'ultima (Figura 5.1.3.6).

#### 5.1.4 Dispositivi di captazione su coperture metalliche

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

La figura 5.1.4.1 illustra un esempio di costruzione di una copertura metallica.

Quando il fulmine si abbatte direttamente su di essa, nel punto d'impatto si può verificare una perforazione a causa della fusione e dell'evaporazione. La dimensione della perforazione dipende dall'energia del fulmine, oltre che dalle proprietà del materiale (ad esempio lo spessore). Il problema maggiore è il danno conseguente, ad esempio l'entrata di acqua nel punto interessato. Prima che venga notato il danno, possono passare giorni o



Figura 5.1.4.1 Copertura metallica, esecuzione con ribordatura tonda



Figura 5.1.4.2 Esempio di danno su copertura in lamiera

Adatto a tutte le classi LPS	
Distanza dei conduttori orizzontali	Altezza della punta di captazione <sup>*)</sup>
3 m	0,15 m
4 m	0,25 m
5 m	0,35 m
6 m	0,45 m
*) valori consigliati	

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

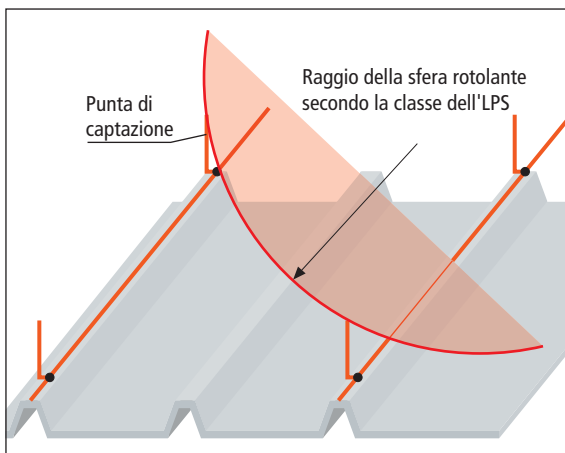


Figura 5.1.4.3 Impianto di captazione per coperture in metallo - Protezione contro la perforazione

settimane. L'impermeabilizzazione del tetto viene compromessa e/o il soffitto inizia a evidenziare tracce di umidità.

La protezione contro la pioggia non è più garantita.

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

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

Gli spessori  $t$  non sono rilevanti per la copertura di un tetto. Le lamiere metalliche con spessore  $t$  possono essere utilizzate come dispositivo di captazione naturale solo se ne è ammessa la loro perforazione, il surriscaldamento e la fusione. Questo tipo di danno al tetto - poiché non è più garantita la

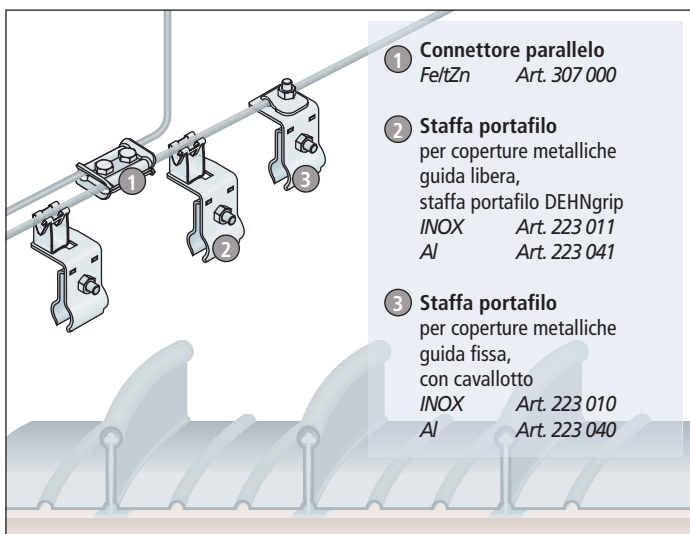


Figura 5.1.4.4a Staffa portafilo per tetto in metallo - Lamiera con ribordatura tonda



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





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

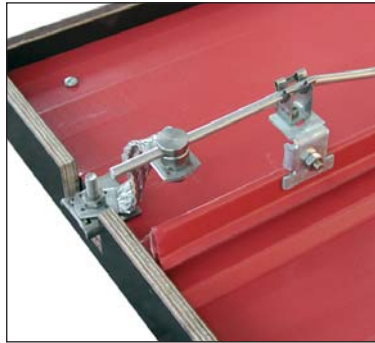


Figura 5.1.4.6 Installazione-tipo per una copertura con ribordatura



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

protezione anti-pioggia del tetto stesso - deve essere discussa con il proprietario del fabbricato. Anche nelle norme viene consigliato l'accordo con il committente.

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

E' raccomandabile installare, per il montaggio dei dispositivi di captazione, un cosiddetto "tetto a porcospino" con conduttori longitudinali e punte di captazione.

Indipendentemente dal livello di protezione, nella pratica si sono affermate le altezze delle punte di captazione indicate nella tabella 5.1.4.1.

Per il fissaggio dei conduttori e delle punte di captazione la copertura non deve essere forata. Per i vari tipi di tetti metallici (ribordato, ondulato, grecato) sono disponibili diversi tipi di staffe portafilo. Nella figura 5.1.4.4a viene rappresentata una forma possibile di esecuzione per una copertura metallica con ribordatura tonda.

Occorre osservare che, nel percorso del conduttore, la staffa portafilo che si trova nel punto più alto del tetto deve essere con blocco fisso del tondino, mentre tutte le altre staffe portafilo, a causa della dilatazione termica dovuta alla variazione di temperatura, devono essere a guida libera (Figura 5.1.4.4b).

La staffa portafilo con blocco fisso è raffigurata nella figura 5.1.4.5 con l'esempio di un tetto in lamiera grecata.

Nella figura 5.1.4.5 è rappresentata, vicino alla staffa portafilo, anche una punta di captazione. La staffa portafilo deve essere agganciata alla vite di fissaggio sopra la guarnizione del foro, per evitare in modo sicuro la possibile entrata di acqua.

Nella figura 5.1.4.6 la staffa portafilo a guida libera viene raffigurata nell'esempio di una copertura con ribordo.

Nella figura 5.1.4.6 è raffigurato altresì il collegamento alla copertura metallica in corrispondenza del bordo del tetto.

Impianti non protetti, sporgenti dal tetto, come ad esempio lucernari e coperture delle canne fumarie, sono dei punti d'impatto esposti alle fulminazioni. Per evitare una fulminazione diretta su questi impianti, devono essere installate delle aste di captazione vicino a queste sporgenze. L'altezza delle aste di captazione dipende dall'angolo di protezione  $\alpha$  (Figura 5.1.4.7).

## 5.1.5 Principio di dispositivo di captazione per edifici con copertura morbida

La disposizione secondo il livello di protezione III risponde in generale ai requisiti per un edificio di questo tipo. In casi singoli particolari, può essere eseguita una valutazione dei rischi secondo la norma CEI EN 62305-2.

Edifici con coperture morbide (tetti morbidi) richiedono una particolare posa dell'impianto di captazione.

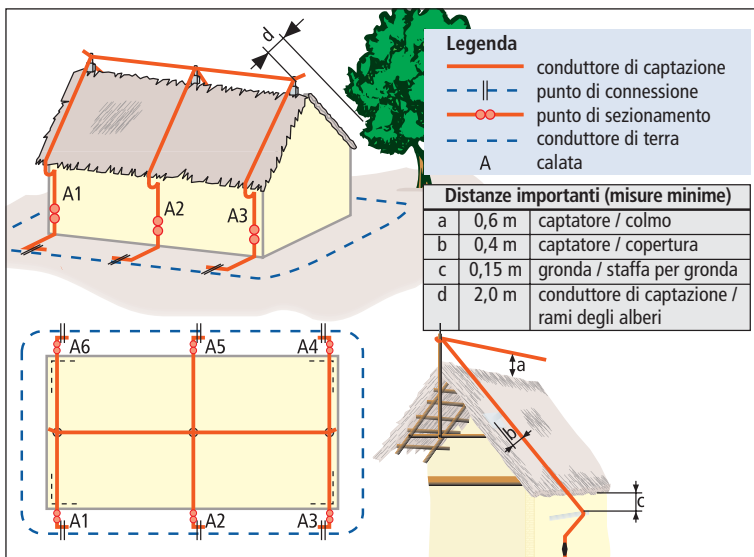


Figura 5.1.5.1 Impianto di captazione per edifici con copertura morbida

Così, i captatori a fune su tali tetti (in canna palustre, paglia o stiancia) devono essere stesi su sostegni isolanti. Anche nella zona della gronda devono essere rispettate determinate distanze.

Per il montaggio successivo di un sistema di protezione contro i fulmini su un tetto, le distanze devono essere mantenute maggiori, in modo che anche dopo una nuova copertura del tetto le misure minime vengano in ogni caso rispettate.

Se si trovano delle parti metalliche sulla copertura del tetto (come banderuole, impianti di irrigazione, scale), queste devono essere mantenute completamente entro il volume protetto di dispositivi di captazione isolati.

Se ciò non fosse possibile, è da realizzare un efficiente sistema di protezione contro i fulmini tramite impianto LPS esterno isolato con aste di captazione vicino all'edificio, oppure con funi o reti di captazione tese tra dei pali di fianco alla struttura.

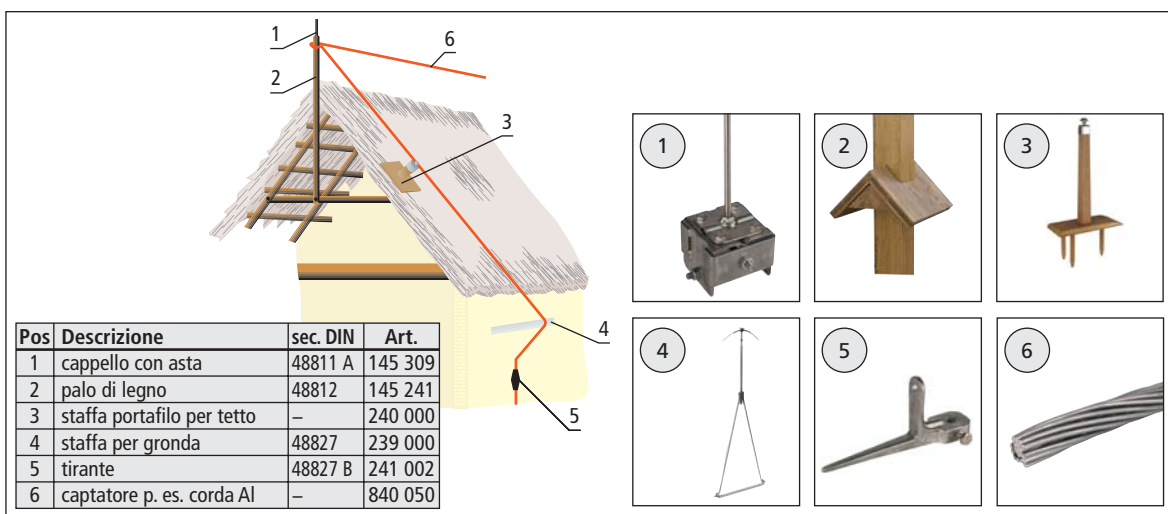


Figura 5.1.5.2 Componenti per copertura morbida



Figura 5.1.5.3 Tetto in canna palustre

Se un tetto morbido confina con una copertura metallica e l'edificio deve essere protetto con un impianto LPS esterno, tra il tetto morbido ed il resto del tetto dovrà essere inserita una copertura non conduttiva elettricamente, p. es. materiale plastico, di almeno 1 m di larghezza.

I rami degli alberi devono essere tenuti ad una distanza di almeno 2 m dal tetto morbido. Se gli alberi si trovano molto vicini ad un edificio e lo superano in altezza, sul bordo del tetto di fronte agli alberi (spigolo della grondaia, colmo) dovrà essere installata una fune di captazione, che deve essere collegata all'impianto di protezione dai fulmini. Le distanze necessarie devono essere mantenute.

Un'altra possibilità per proteggere gli edifici con tetto morbido dalla fulminazione, è l'installazione di un palo di captazione, che pone l'intero edificio all'interno del volume protetto.

Questo è descritto nel capitolo 5.1.8 "Impianti di captazione isolati" (palo di captazione componibile in acciaio per la protezione contro i fulmini).

Una nuova possibilità della protezione contro i fulmini, architettonicamente gradevole, è l'impiego di calate isolate.



Figura 5.1.5.4 Fattoria storica con impianto di protezione esterno  
(Fonte foto: Hans Thormählen GmbH & Co.KG.)

Esempio per l'installazione di calate isolate: ristrutturazione del tetto di una fattoria storica (Figura 5.1.5.4).

In riguardo ai sempre maggiori danni nel settore fulmini e sovratensioni dalla parte di alcuni assicuratori, esiste la richiesta di adottare misure di protezione contro i fulmini e sovratensioni nella stipulazione o nella modifica di contratti esistenti. La base per l'estimazione del rischio è la valutazione del rischio secondo CEI EN 62305-2 (CEI 81-10/2)

Per la fattoria storica venne eseguito un sistema di protezione contro i fulmini con livello di protezione III.

Per la progettazione del sistema di captazione sono in prima parte da determinare, con l'aiuto della sfera rotolante, le rispettive zone protette. Secondo le definizioni normative, per il livello di protezione III il raggio della sfera rotolante è di 45 m. Così per il sistema di captazione venne calcolata un'altezza di 2,30 m, che mette in zona protetta i due camini sul colmo e i tre nuovi lucernari su un lato del tetto (Figura 5.1.5.5)

Per un sostegno sufficientemente elevato del sistema di captazione e il collocamento delle calate isolate venne scelto un tubo portante in vetroresina. Per dare sufficiente stabilità meccanica, nella parte inferiore il tubo portante è realizzato in alluminio. Da quest'area per effetti induttivi possono formarsi delle scariche pericolose verso parti metalliche nelle vicinanze. Per evitare questo, nel raggio di 1 m dall'organo di captazione non si trovano delle parti collegati a terra o delle apparecchiature elettriche.

L'isolamento elettrico tra dispositivo di captazione e di calata da una parte e tra i corpi metallici e i componenti dell'impianto elettrico e del sistema informatico all'interno della struttura da proteggere dall'altra, può essere raggiunto rispettando la distanza di sicurezza  $s$  tra queste parti non isolate. La distanza di sicurezza deve essere calcolata secondo CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3). La calata isolata HVI corrisponde a una distanza di sicurezza equivalente in aria di  $s = 0,75$  m oppure in caso di muratura  $s = 1,50$  m. La sistemazione della calata è raffigurata in figura 5.1.5.6.

La conduttura HVI, viene installata all'interno del tubo portante. L'equipotenzializzazione, dovuta

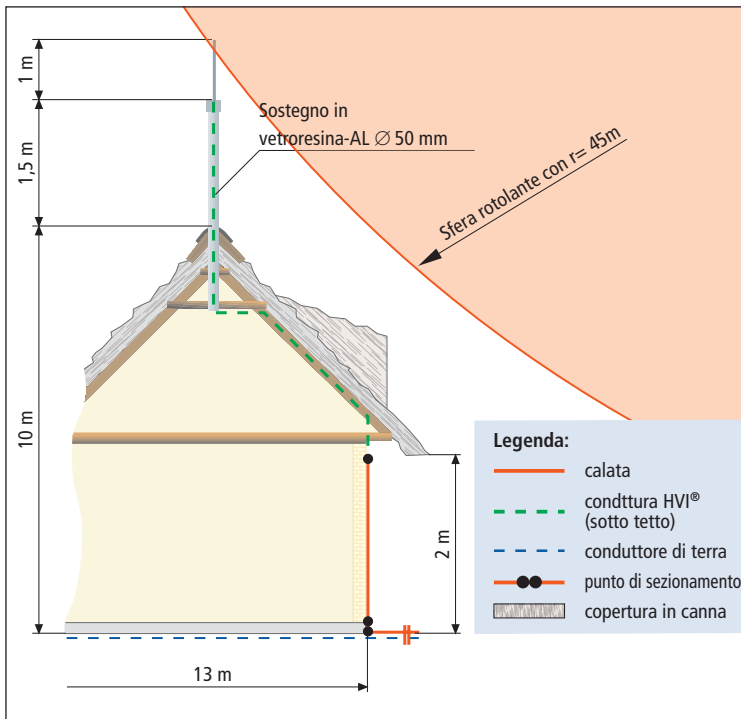


Figura 5.1.5.5 Sezione dell'edificio principale

al sistema costruttivo della conduttura HVI viene effettuata su una barra collettrice principale. Le misure equipotenziali vengono eseguite con corda flessibile H07V-K 1 x 16 mm<sup>2</sup>. Per l'ancoraggio del tubo portante viene costruito un supporto speciale (trave di legno), e le calate vengono posate di seguito lungo le capriate esistenti del tetto (Figura 5.1.5.6).

In prossimità della gronda le condutture HVI attraversano il cornicione (Figura 5.1.5.7).

Per scopi architettonici, di seguito vengono installate delle calate in alluminio. Il passaggio dalla conduttura HVI alla calata nuda non isolata in prossimità dall'impianto di terra viene eseguito secondo le istruzioni di montaggio del sistema DEHNconductor. In questo caso non era necessario adottare l'elemento finale.

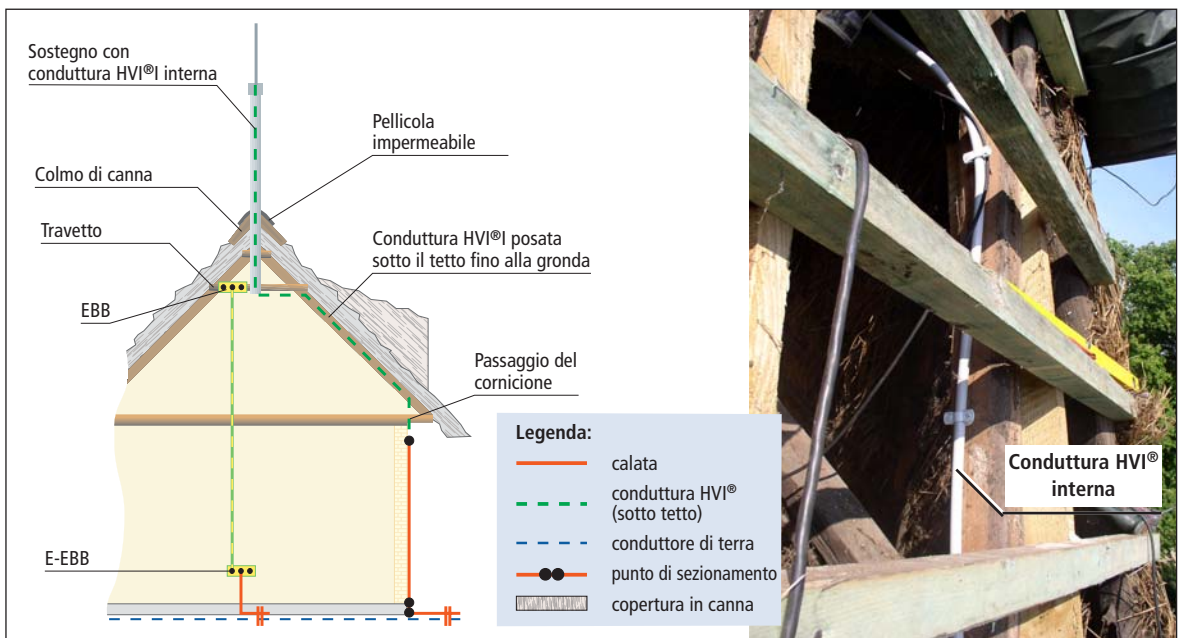


Figura 5.1.5.6 Descrizione di principio e illustrazione della posa della calata lungo le capriate



Figura 5.1.5.7 Conduittura HVI® attraverso il cornicione

### 5.1.6 Tetti carrabili e calpestabili

Su tetti calpestabili non possono essere installati dei conduttori di captazione (ad esempio con dei blocchi in calcestruzzo). Una possibile soluzione consiste nel posare i conduttori di captazione nel calcestruzzo oppure nelle giunture dei pannelli del piano calpestabile. Se il conduttore di captazione viene posato in tali giunture, negli incroci delle maglie devono essere installati, come punto di abbattimento definito, dei funghi di captazione. La larghezza delle maglie non può superare il valore corrispondente al livello di protezione

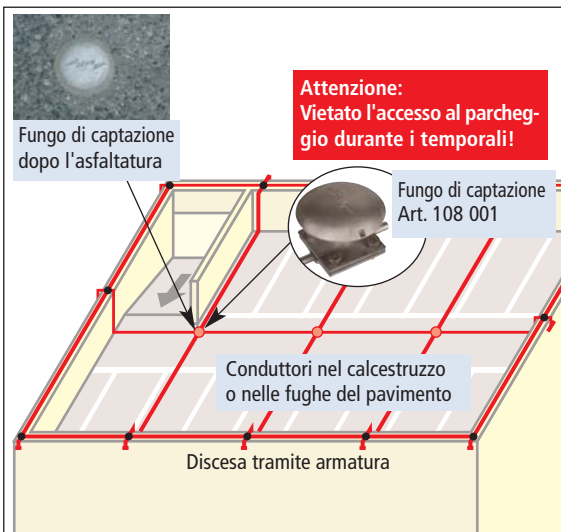


Figura 5.1.6.1 Protezione contro i fulmini per tetti ad uso parcheggio - Protezione dell'edificio

(vedere capitolo 5.1.1, tabella 5.1.1.3)

Se è garantito che durante un temporale non si trovano delle persone su tale superficie, le misure sopra indicate sono sufficienti.

Le persone che possono accedere al tetto ad uso parcheggio, devono essere avvertite con appositi cartelli, che l'accesso al tetto ad uso parcheggio in caso di temporale è vietato e deve essere liberato immediatamente fino al termine del temporale (Figura 5.1.6.1).

Se anche durante il temporale deve essere ammessa la presenza di persone sulla superficie del tetto, l'impianto di captazione dovrà essere progettato in modo che le persone con altezza presupposta di 2,5 m (con braccio alzato) risultino protette contro le fulminazioni dirette.

L'impianto di captazione può essere dimensionato attraverso il metodo della sfera rotolante o il metodo dell'angolo di protezione, a seconda del livello di protezione implementato (Figura 5.1.6.2).

Questi impianti di captazione possono essere eseguiti con funi tese oppure con aste di captazione. Queste ultime possono essere fissate ad esempio su elementi di costruzione come parapetti o simili. Inoltre, anche i pali di illuminazione, ad esempio, possono fungere da asta di captazione per la protezione delle persone. In questo caso devono tuttavia essere considerate anche le correnti parziali

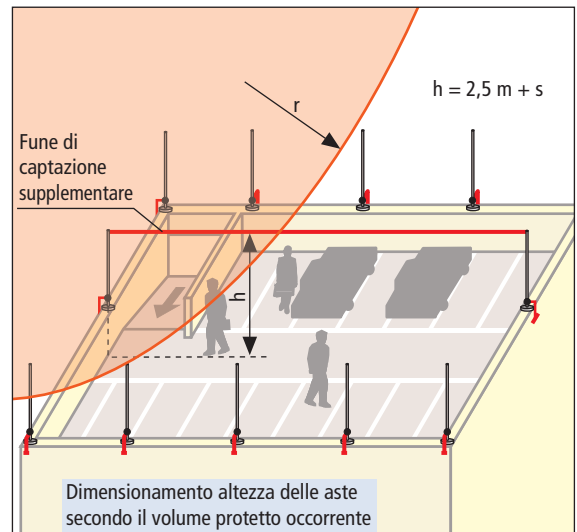


Figura 5.1.6.2 Protezione contro i fulmini per tetti ad uso parcheggio - Protezione dell'edificio e delle persone

da fulmine, che possono essere condotte all'interno dell'edificio attraverso i conduttori di alimentazione. L'equipotenzialità antifulmini per tali conduttori è assolutamente necessaria.

### 5.1.7 Impianto di captazione per tetti verdi e tetti piani

Dal punto di vista economico ed ecologico, un inverdimento del tetto può essere ragionevole. Le ragioni di questa scelta sono: insonorizzazione, protezione del manto di copertura, abbattimento della polvere presente nell'ambiente, isolamento termico supplementare, filtraggio e trattenimento dell'acqua pluviale e miglioramento naturale del clima di abitazione e di lavoro. Va aggiunto che un inverdimento del tetto in molte regioni viene incoraggiato dalle amministrazioni. Occorre tuttavia distinguere tra i cosiddetti inverdimenti estensivi e quelli intensivi. L'inverdimento estensivo richiede minore manutenzione rispetto all'inverdimento intensivo, che richiede lavori di cura come fertilizzazione, irrigazione e taglio. Per entrambi i tipi di inverdimento deve essere posato sul tetto un substrato di terra o granulato.

Questo risulta alquanto dispendioso, quando il granulato o substrato deve essere asportato di seguito a una fulminazione diretta.

Se il sistema di protezione contro i fulmini esterno non esiste, si può verificare un danneggiamento dell'impermeabilizzazione del tetto nel punto d'impatto del fulmine.

La pratica ha dimostrato che indipendentemente dal tipo di manutenzione, anche sulla superficie di un tetto verde può e deve essere installato un sistema di captazione per un impianto di protezione contro i fulmini esterno.

La norma per la protezione contro i fulmini CEI EN 62305-3 prescrive, in caso di impianto di captazio-

ne a maglie, una larghezza delle maglie dipendente dal livello di protezione scelto (vedere capitolo 5.1.1, **tabella 5.1.1.3**). Un dispositivo di captazione installato nello strato di copertura dopo alcuni anni è difficilmente da controllare, dal momento che le punte o i funghi di captazione, a causa della crescita della vegetazione, non sono più visibili e possono essere danneggiati durante i lavori di manutenzione. A questo si aggiunge il pericolo di corrosione per i conduttori di captazione inseriti nel manto di copertura.

I conduttori delle maglie di captazione distribuite in modo regolare sopra il manto di copertura sono, malgrado la crescita della vegetazione, controllabili, e è possibile in qualsiasi momento, attraverso le punte e le aste di captazione, alzare il livello dell'impianto di captazione e farlo "crescere insieme alla vegetazione". Per la creazione di impianti di captazione esistono diverse possibilità. Di solito viene installata sulla superficie del tetto, indipendentemente dall'altezza dell'edificio, una rete di captazione con una larghezza di maglie di 5 x 5 m (classe di LPS I) fino ad una larghezza massima delle maglie di 15 x 15 m (classe di LPS III). La posizione delle maglie deve essere determinata soprattutto favorendo gli spigoli esterni del tetto ed eventualmente le costruzioni metalliche utilizzate come impianto di captazione.

Come materiale per impianti di captazione su tetti verdi si è affermato il tondino in acciaio inossidabile (INOX) AISI 316.

Per l'installazione del tondino nel manto di copertura (nel substrato di terra o granulato) non deve essere utilizzato tondino in alluminio (**Figure da 5.1.7.1 a 5.1.7.3**).



Figura 5.1.7.1 Tetto verde



Figura 5.1.7.2 Impianto di captazione su tetto verde



Figura 5.1.7.3 Posa del conduttore sopra il manto di copertura

### 5.1.8 Impianti di captazione isolati

Le costruzioni sul tetto, come impianti di condizionamento e di raffreddamento, ad esempio per un elaboratore dati centrale, si trovano oggi solitamente su grandi edifici ad uso ufficio e industriali. Devono essere trattati in modo simile anche le antenne, i lucernari azionati elettricamente, le insegne pubblicitarie con illuminazione integrata e tutte le altre costruzioni emergenti sul tetto, che possiedono un collegamento conduttivo ad esempio tramite linee elettriche o canali verso l'interno dell'edificio.

Secondo lo stato attuale della tecnica di protezione contro i fulmini, queste costruzioni sul tetto vengono protette da fulminazione diretta con un impianto di captazione isolato. In questo modo si evita che le correnti parziali da fulmine possano entrare all'interno dell'edificio, dove potrebbero compromettere o addirittura distruggere gli impianti elettrici/elettronici sensibili.

In passato, queste strutture sul tetto venivano collegate direttamente.

Attraverso il collegamento diretto, correnti parziali da fulmine venivano condotte all'interno dell'edificio. Successivamente è stato introdotto il "collegamento indiretto" tramite spinterometro. Così, le fulminazioni dirette sulle strutture installate sul tetto potevano scaricarsi parzialmente attraverso il "conduttore interno", mentre in caso di fulminazione distante dall'edificio lo spinterometro non doveva raggiungere la tensione di innescò. Questa tensione di circa 4 kV veniva quasi sempre raggiunta, e quindi si infiltrava all'interno dell'edificio una corrente parziale da fulminazione, ad esempio tramite un cavo di alimentazione

elettrica. Così gli impianti elettrici o elettronici all'interno dell'edificio potevano essere disturbati o persino distrutti.

L'unico rimedio per evitare queste correnti "infiltrate", sono degli impianti di captazione isolati che rispettano la distanza di sicurezza s.

La **figura 5.1.8.1** illustra l'entrata di una corrente parziale da fulmine all'interno di una struttura.

Le più svariate costruzioni sul tetto possono essere protette così con diverse esecuzioni di impianti di captazione isolati.

#### Aste di captazione

Per le costruzioni sul tetto più piccole (ad esempio piccoli ventilatori) la protezione può essere ottenuta attraverso singole aste di captazione oppure attraverso la combinazione di diverse aste di captazione. Le aste di captazione di un'altezza fino a 2,0 m possono essere fissate indipendentemente con una o due basi in calcestruzzo (ad esempio articolo 102 010) (**Figura 5.1.8.2**).

A partire da un'altezza di 2,5 m fino a 3,0 m, le aste di captazione devono essere fissate agli oggetti da proteggere con distanziatori in materiale isolante

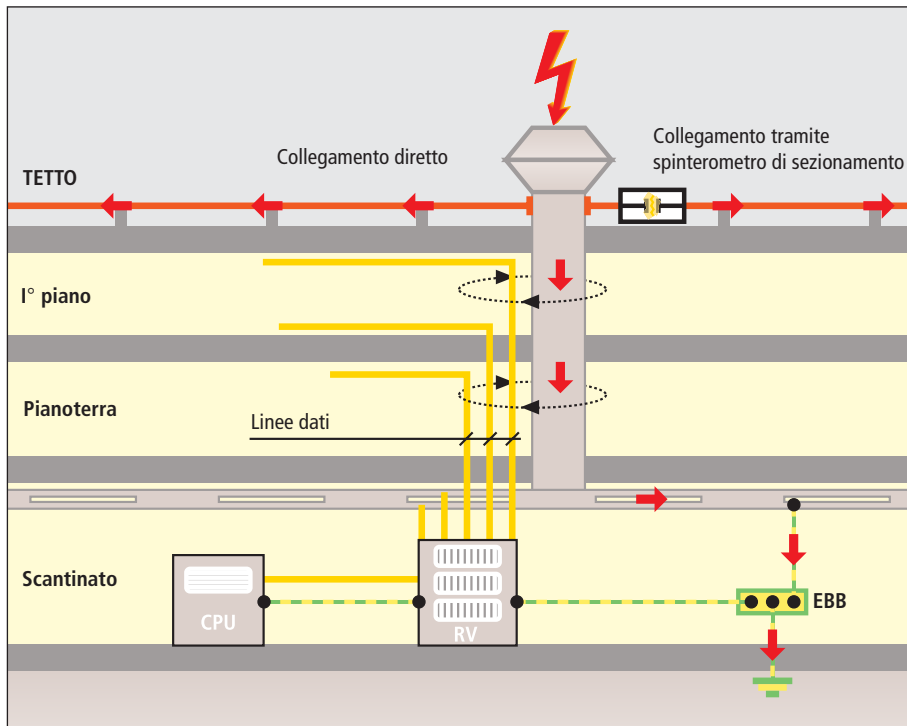


Figura 5.1.8.1 Rischio derivante dal collegamento diretto delle costruzioni sul tetto



Figura 5.1.8.2 Impianto di captazione isolato - Protezione mediante asta di captazione

(ad esempio distanziatore DEHNiso) (Figura 5.1.8.3).

Se le aste devono essere fissate anche contro le influenze laterali del vento, allora il sostegno angolare è una soluzione praticabile (Figure 5.1.8.4 e 5.1.8.5).

Se sono necessarie delle aste di captazione di altezza superiore, ad esempio per costruzioni di grandi dimensioni sul tetto, alle quali non può essere fissato niente, queste aste di captazione possono essere posate utilizzando un dispositivo di posizionamento speciale.

Con l'ausilio di un treppiede le aste di captazione possono essere posizionate senza ancoraggi fino a raggiungere un'altezza di 8,5 m. Questi telai vengono fissati al suolo con comuni basamenti in calcestruzzo sovrapposti. A partire da un'altezza libe-



Figura 5.1.8.3 Asta di captazione con distanziatore

ra di 6 m, sono necessari ulteriori sostegni, per poter resistere alle sollecitazioni del vento.

Le aste di captazione indipendenti possono essere utilizzate per varie applicazioni (ad esempio antenne, impianti fotovoltaici). Questo tipo di dispositivo di captazione si distingue per la rapidità di montaggio, dal momento che non devono essere eseguiti fori o molti avvitamenti (Figure da 5.1.8.6 a 5.1.8.7).

Se tutta la struttura o l'impianto (ad esempio impianto fotovoltaico, deposito di esplosivi) deve essere protetto con aste di captazione, devono essere utilizzati dei pali di captazione. Questi pali vengono eretti su un plinto in calcestruzzo. Con questi pali possono essere raggiunte altezze da terra fino a 19 m, oppure, per esecuzioni speciali, anche più alte. E' possibile anche tendere delle funi tra i pali, se questi sono predisposti. La lunghezza standard dei pali in acciaio componibili per



Figura 5.1.8.4 Sostegno angolare dell'asta di captazione



Figura 5.1.8.5 Fissaggio dell'asta di captazione



Figura 5.1.8.6 Sistema di captazione isolato per l'impianto fotovoltaico





Figura 5.1.8.7 Impianto di captazione isolato per strutture sul tetto



Figura 5.1.8.8 Protezione contro la corrosione nella zona di passaggio tramite un nastro anticorrosione per l'applicazione sotto terra



Figura 5.1.8.9 Posizionamento di un palo componibile in acciaio per la protezione contro i fulmini

la protezione contro i fulmini viene fornita in singoli elementi componibili, particolarmente comodi per il trasporto.

Ulteriori informazioni (ad esempio montaggio, costruzione) su questi pali telescopici in acciaio per la protezione contro i fulmini sono reperibili nelle istruzioni di montaggio n° 1574 (Figure 5.1.8.8 e 5.1.8.9).

#### Funi o conduttori tesi sopra l'edificio

Secondo CEI EN 62305-3 possono essere stese delle funi di captazione sopra l'edificio da proteggere. Le funi di captazione generano ai lati un volume protetto a forma di tenda, e alle estremità un volume protetto a forma di cono. L'angolo di protezione  $\alpha$  dipende dal livello di protezione e dall'altezza degli impianti di captazione sopra il piano di riferimento.

Il metodo della sfera rotolante con il corrisponden-

te raggio (a seconda della classe di protezione) può anche essere utilizzato per il dimensionamento dei conduttori o delle funi.

L'impianto di captazione a maglia può essere anch'esso utilizzato, mantenendo la distanza di sicurezza  $s$ , che deve essere rispettata tra le parti dell'impianto e il dispositivo di captazione. In questo caso vengono posizionati p. es. i distanziatori isolanti verticalmente su blocchi di calcestruzzo in



Figura 5.1.8.10 Impianto di captazione sospeso  
fonte: Blitzschutz Wettingfeld, Krefeld, Germania



Figura 5.1.8.11 Treppiede per aste indipendenti



Figura 5.1.8.12 Impianto di captazione isolato con DEHNiso-Combi

modo che la maglia viene stesa ad un'altezza superiore (Figura 5.1.8.10).

#### DEHNiso-Combi

Una possibilità facile da usare per installare conduttori o funi in conformità ai tre metodi di progettazione per impianti di captazione (sfera rotolante, angolo di protezione, maglia) viene offerta dalla linea di prodotti DEHNiso-Combi.

Attraverso dei tubi di sostegno in alluminio con "tratto di isolamento" (poliestere rinforzato), che vengono fissati all'oggetto da proteggere, si ottiene una posa isolata delle funi. Per mezzo di distanziatori in poliestere rinforzato viene realizzato un ulteriore percorso isolato verso le calate o gli altri dispositivi di captazione (ad esempio maglia).

Ulteriori informazioni sull'utilizzo sono reperibili negli opuscoli DS 123, DS 111 e nelle istruzioni di montaggio n° 1475.

Le esecuzioni descritte possono essere combinate liberamente tra di loro, per adattare il dispositivo di captazione alle condizioni del luogo (Figura 5.1.8.11 fino a 5.1.8.14).

### 5.1.9 Impianto di captazione per campanili e chiese

#### Protezione contro i fulmini esterna

Nei maggiori casi, un sistema di protezione contro i fulmini con livello di protezione III soddisfa i normali requisiti richiesti per chiese e campanili. In casi singoli particolari, ad esempio per edifici di grande valore culturale, deve essere eseguita un'analisi accurata dei rischi secondo CEI EN 62305-2.



Figura 5.1.8.13 Dettaglio DEHNiso-Combi

#### Navata

La navata dovrebbe avere una protezione contro i fulmini propria, che, in caso di campanile annesso, deve essere collegata attraverso la via più breve ad almeno una calata del campanile.

In caso di navata trasversale, il conduttore di captazione lungo il colmo trasversale deve avere una calata su ogni estremità.



Figura 5.1.8.14 Impianto di captazione isolato con DEHNiso-Combi

## Campanile

I campanili con un'altezza fino a 20 m devono essere provvisti di una calata. Se il campanile e la navata fanno parte della stessa costruzione, la calata deve essere collegata attraverso la via più breve con il sistema di protezione dai fulmini esterno della navata (**Figura 5.1.9.1**). Se la calata del campanile coincide con la calata della navata, può essere utilizzata una calata comune. Campanili più alti di 20 m dovrebbero avere almeno due calate. Almeno una di queste calate deve essere collegata con la protezione contro i fulmini esterna della navata attraverso la via più breve.

Le calate dei campanili generalmente devono essere posate sull'esterno dei campanili stessi. La posa all'interno del campanile non è consigliata. Anche la distanza di sicurezza verso parti metalliche e impianti elettrici del campanile (ad esempio orologi, campane) e sotto il tetto (ad esempio impianto di condizionamento, aerazione e riscaldamento) deve essere rispettata attraverso una disposizione della protezione contro i fulmini esterna adeguata. La distanza di sicurezza richiesta può - in particolare per quanto riguarda l'orologio del campanile - costituire un problema. In questo caso, per evitare scariche pericolose in alcune parti del sistema di protezione contro i fulmini esterno, la parte conduttiva verso l'interno può essere sostituita con

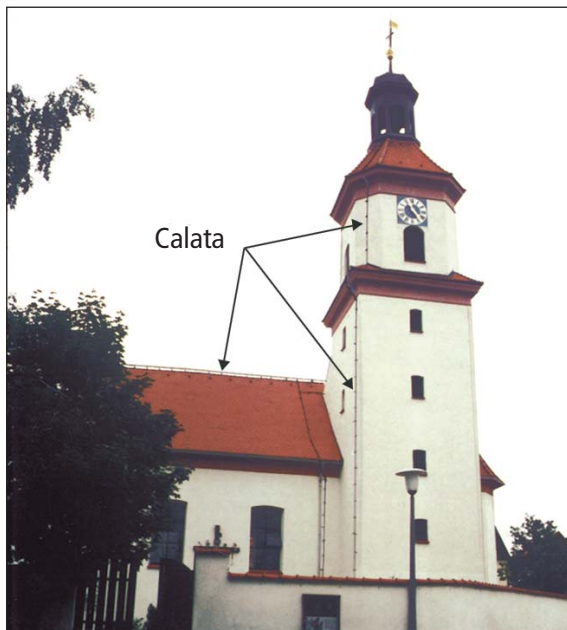


Figura 5.1.9.1 Disposizione della calata su un campanile

un elemento isolante (ad esempio con un tubo in poliestere rinforzato).

Per chiese di costruzione più recente, edificate in cemento armato, può essere utilizzata come calata l'armatura in acciaio del calcestruzzo purché sia garantita la sua continuità elettrica. Se vengono utilizzati degli elementi prefabbricati in cemento armato, l'armatura può essere utilizzata come calata solo se sugli elementi prefabbricati in cemento sono previste delle giunzioni per il collegamento continuo dell'armatura.

L'equipotenzialità antifulmini con i sistemi elettrici (impianto elettrico, telefono e diffusione sonora) viene eseguita all'ingresso nell'edificio e per il comando delle campane in alto nel campanile e all'impianto di comando.

### 5.1.10 Dispositivi di captazione per impianti a energia eolica

#### Richiesta per la protezione contro i fulmini

La IEC 61400-24 descrive le necessarie misure di protezione contro i fulmini per gli impianti a energia eolica. Nelle prescrizioni di certificazione della Lloyd Germania, viene richiesto, per impianti eolici con un'altezza del mozzo fino a 60 m, un sistema di protezione contro i fulmini della classe di LPS III, e con altezza del mozzo oltre 60 m della classe di LPS II. Per impianti offshore la richiesta aumenta a classe I. Così possono essere controllati i fulmini con correnti fino a 200.000 A. Queste richieste sono basate sulle esperienze degli impianti a energia eolica in esercizio e sulla valutazione del rischio per le strutture secondo CEI EN 62305-2.

#### Principio della protezione contro i fulmini esterna per impianti a energia eolica

La protezione contro i fulmini esterna è costituita da dispositivi di captazione e di discesa, e da un impianto di messa a terra, e protegge dai danni meccanici e dall'incendio. Le fulminazioni su impianti a energia eolica si verificano maggiormente sulle pale dei rotori. Per questo motivo devono essere integrati dei ricettori in grado di predefinire determinati punti di impatto (**Figura 5.1.10.1**).

Per condurre le correnti da fulmine accoppiate verso terra in modo controllato, i ricettori nelle pale

vengono collegati attraverso un conduttore metallico (conduttore piatto Fe/tZn 30 x 3,5mm oppure corda in rame 50 mm<sup>2</sup>) con il mozzo. Spazzole di carbonio oppure spinterometri ponticellano poi a loro volta i cuscinetti a sfera nella testa della navicella, per evitare saldature degli elementi costruttivi rotanti.

Per proteggere in caso di fulminazione le costruzioni sulla navicella, come ad esempio l'anemometro, vengono montate delle aste di captazione o "gabbie di captazione" (Figura 5.1.10.2).

Come calata viene utilizzata la torre metallica oppure, per esecuzioni in calcestruzzo precompresso, una calata annegata nel calcestruzzo (filo

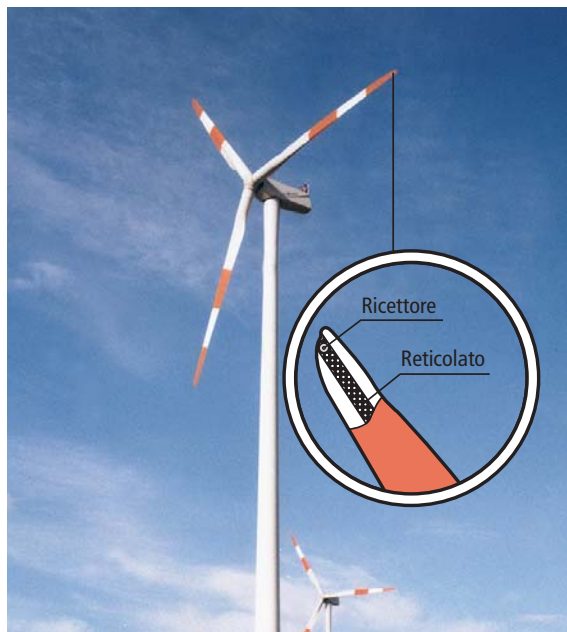


Figura 5.1.10.1 Impianto eolico con ricettori integrati nelle pale



Figura 5.1.10.2 Protezione contro i fulmini per anemometro

tondo Fe/tZn Ø8...10 mm oppure conduttore piatto Fe/tZn 30 x 3,5 mm). La messa a terra dell'impianto a energia eolica viene realizzata con un dispersore di fondazione nel basamento della torre e con un collegamento alla maglia di terra dell'edificio operativo. In questo modo viene creato un "piano equipotenziale", per evitare delle differenze di potenziale in caso di fulminazione.

### 5.1.11 Sollecitazioni dovute alle azioni del vento sulle aste di captazione

I tetti vengono sempre più frequentemente utilizzati come piano per installazioni tecniche. In particolare per ampliamenti dell'attrezzatura tecnica di un edificio, impianti voluminosi vengono installati proprio sulle superfici del tetto di grandi edifici ad uso ufficio e industriale. Di conseguenza è necessario proteggere le strutture sul tetto, come gli impianti di condizionamento, di raffreddamento, antenne di impianti di telefonia mobile su edifici ospitanti, lampioni, sfiati dei fumi e altri impianti collegati all'impianto elettrico in bassa tensione (Figura 5.1.11.1).

In base alle norme di protezione contro i fulmini vigenti della serie CEI EN 62305, queste costruzioni sul tetto possono essere protette dalla fulminazione diretta con l'installazione di un sistema di captazione isolato. In tale contesto vengono isolati sia



Figura 5.1.11.1 Protezione dalle scariche dirette con aste indipendenti

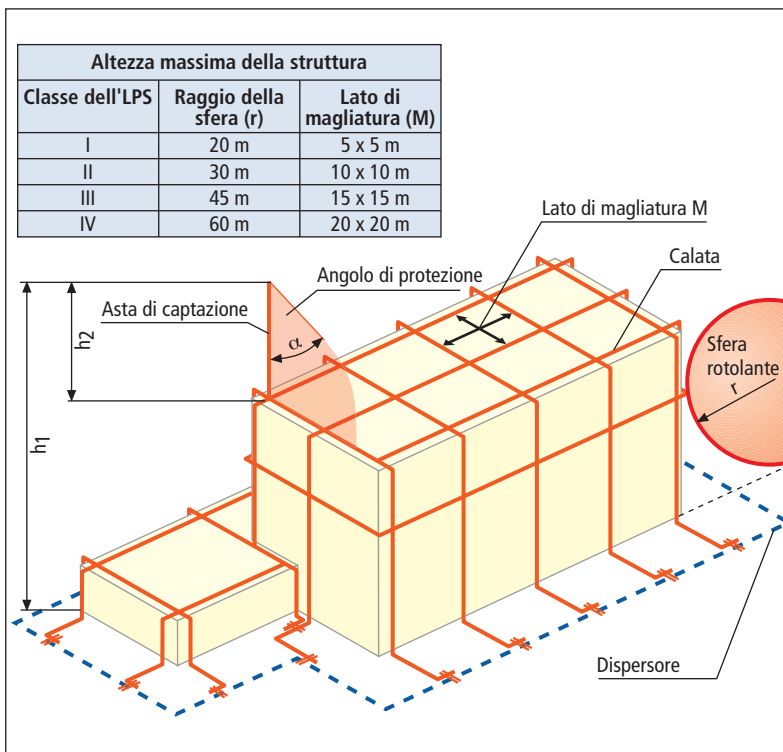


Figura 5.1.11.2 Metodo per la disposizione degli organi di captazione su edifici secondo CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)

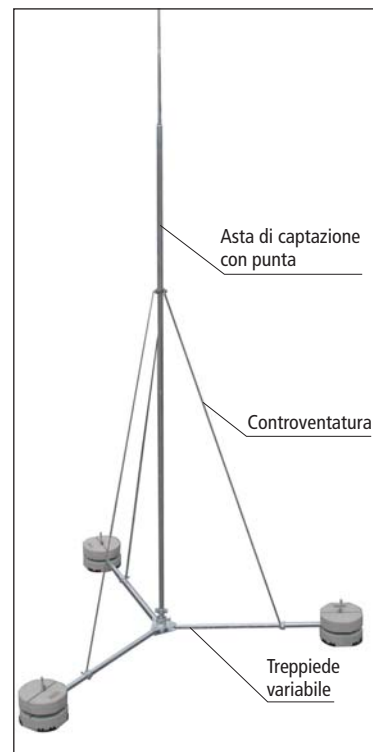


Figura 5.1.11.3 Asta di captazione indipendente con treppiede

dispositivi di captazione come aste, punte o maglie, sia calate, cioè vengono installate rispettando una distanza di sicurezza sufficiente dalle costruzioni sul tetto nel volume protetto. Attraverso la costruzione di un impianto di protezione contro i fulmini isolato si crea un volume protetto entro quale non si presumono delle fulminazioni dirette. Inoltre, viene evitata l'infiltrazione di correnti parziali da fulmine nell'impianto in bassa tensione e quindi all'interno dell'edificio. Questo è importante, dal momento che attraverso l'infiltrazione di correnti parziali da fulmine gli impianti elettrici/elettronici sensibili sono a rischio o possono essere distrutti.

Per strutture sul tetto di notevoli dimensioni viene inoltre installato un sistema di dispositivi di captazione isolati. Questi sono collegati sia tra loro sia con l'impianto di messa a terra. Le dimensioni del volume protetto corrispondente dipendono, tra l'altro, dalla quantità e dall'altezza dei dispositivi di captazione installati.

La protezione per le costruzioni sul tetto di dimensioni più piccole viene ottenuta attraverso una sola asta di captazione. In questo caso viene utilizzato il

metodo della sfera rotolante secondo norma CEI EN 62305-3 (Figura 5.1.11.2).

Con il metodo della sfera rotolante, una sfera con raggio secondo il livello di protezione scelto, viene fatta rotolare in tutte le direzioni possibili sui lati e sopra la struttura. La sfera rotolante può toccare solamente il suolo (superficie di riferimento) e/o l'impianto di captazione.

Con questo metodo si ottiene un volume protetto, all'interno del quale le fulminazioni dirette sono escluse.

Per ottenere un volume protetto il più vasto possibile, oppure per poter proteggere da fulminazioni dirette delle costruzioni sul tetto di notevoli dimensioni, l'obiettivo è quello di installare delle aste di captazione con altezza adeguata. Per questo le aste di captazione indipendenti, attraverso una disposizione della base adeguata e dei sostegni supplementari, vengono protette contro il ribaltamento e la rottura (Figura 5.1.11.3).

Alla necessità di avere un'altezza più grande possibile dell'asta di captazione indipendente si con-

trappone tuttavia una maggiore sollecitazione dell'asta dall'esposizione ai carichi del vento. Ad esempio, un aumento di velocità del vento di 40% comporta una coppia di rovesciamento raddoppiata sull'asta. Allo stesso tempo, dal punto di vista dell'utilizzo, per la facilitazione del trasporto e del montaggio, è necessaria una costruzione leggera del sistema "asta di captazione indipendente". Per l'utilizzo sicuro delle aste di captazione sui tetti deve perciò essere dimostrata la loro stabilità.

### Sollecitazioni prodotte dal vento

Poiché l'utilizzo di aste di captazione indipendenti avviene in luoghi esposti (ad esempio sui tetti), risultano delle sollecitazioni meccaniche, che in

base al luogo di utilizzo e alla velocità del vento, equivalgono alle sollecitazioni a cui vengono normalmente sottoposte le strutture portanti delle antenne. Per quanto riguarda la resistenza meccanica delle aste di captazione indipendenti, valgono principalmente gli stessi requisiti imposti alle strutture portanti di antenne.

In base al D.M. n. 19 del 16/01/96 l'Italia è divisa in nove zone, con velocità del vento dipendenti dalle zone (Figura 5.1.11.4).

Nel calcolo delle effettive sollecitazioni dovute alle azioni del vento da prevedere, oltre al carico dipendente dalla zona del vento, si aggiunge anche l'altezza dell'edificio e le condizioni locali

(coefficiente di esposizione, altitudine sul livello del mare).

Nella figura 5.1.11.4 è visibile la suddivisione in zone per l'Italia. Per questo la disposizione delle aste di captazione viene calcolata per una velocità del vento media di 145 km/h e quindi adattabile alle maggiori situazioni nelle zone 1, 2 e 3, che nell'insieme coprono all'incirca 80% del territorio italiano. Per l'installazione di aste di captazione indipendenti devono essere rispettati i seguenti requisiti dal punto di vista della sollecitazione prodotta dai carichi di vento:

- ⇒ sicurezza delle aste di captazione contro il ribaltamento;
- ⇒ sicurezza contro la rottura delle aste;
- ⇒ rispetto delle distanze di sicurezza necessarie verso l'oggetto da proteggere, anche sotto l'effetto del carico di vento (evitare flessioni inammissibili).

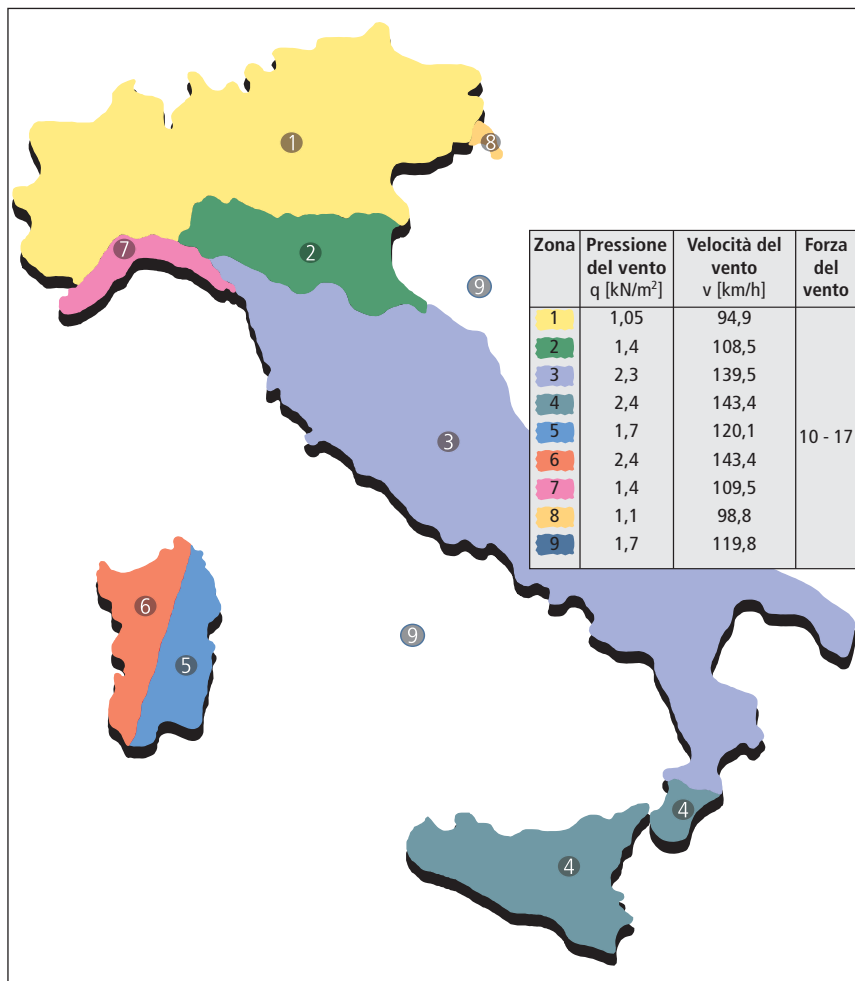


Figura 5.1.11.4 Mappa italiana con le zone di ventosità e i relativi valori per la pressione del vento e la massima velocità del vento

## Determinazione della resistenza al ribaltamento

Attraverso la pressione del vento presente (dipendente dalla velocità del vento), il coefficiente di attrito  $c_w$  e la superficie esposta al vento dell'asta di captazione, si crea sulla superficie un'azione tangente  $p_{fr}$  che causa sull'asta di captazione una coppia di rovesciamento  $M_K$  corrispondente. Per poter garantire una posizione sicura dell'asta di captazione indipendente, contro la coppia di rovesciamento  $M_K$  dovrà agire una controcoppia  $M_G$ , prodotta dal basamento. La grandezza della controcoppia  $M_G$  dipende dal peso e dal raggio del basamento. Se la coppia di rovesciamento è maggiore della controcoppia, l'asta di captazione cadrà a causa del carico dovuto al vento.

La prova di stabilità delle aste di captazione indipendenti viene effettuata attraverso calcoli statici. Nel calcolo, oltre ai valori di riferimento meccanici dei materiali utilizzati, vengono integrate anche le seguenti indicazioni:

- ⇒ **Superficie esposta al vento dell'asta di captazione:** determinata dalla lunghezza e dal diametro delle singole parti dell'asta di captazione.
- ⇒ **Superficie esposta al vento dell'ancoraggio:** le aste di captazione indipendenti di altezza elevata vengono supportate da 3 sostegni, fissati in modo uniforme attorno alla circonferenza. La superficie esposta al vento dei sostegni corrisponde alla superficie di queste sostegni proiettata su un piano ortogonale rispetto alla direzione del vento, cioè la lunghezza dei sostegni utilizzata nel calcolo risulta relativamente accorciata.
- ⇒ **Peso dell'asta di captazione del sostegno:** il peso proprio dell'asta di captazione e dei sostegni deve essere preso in considerazione per il calcolo della controcoppia.
- ⇒ **Peso del basamento:** Il basamento è una costruzione a forma di treppiede, zavorrata da blocchi in calcestruzzo. Il peso del basamento è composto dal peso proprio del treppiede e dalle masse singole dei blocchi in calcestruzzo sovrapposti.
- ⇒ **Leva di ribaltamento del basamento:** la leva di ribaltamento costituisce la distanza più corta tra il centro del treppiede e la linea/il punto intorno al quale il sistema si ribalterebbe.

La prova di stabilità risulta dal confronto delle seguenti coppie:

- ⇒ **Coppia di ribaltamento**, formata dalla forza dipendente dal carico dovuto al vento sull'asta e sui sostegni e dalla leva dell'asta di captazione.
- ⇒ **Controcoppia**, costituita dal peso del basamento, dal peso dell'asta di captazione e dei sostegni e della lunghezza della leva di ribaltamento del treppiede.

La **stabilità** è raggiunta quando il rapporto tra controcoppia e coppia di ribaltamento presenta un valore  $>1$ . Fondamentalmente si avrà che: maggiore è il rapporto tra controcoppia e coppia di ribaltamento, più grande sarà la stabilità.

Esistono le seguenti possibilità per ottenere la stabilità necessaria:

- ⇒ Per mantenere piccola la superficie esposta al vento dell'asta di captazione vengono utilizzate delle sezioni più piccole possibili. La sollecitazione sull'asta di captazione viene ridotta, per contro, tuttavia, la resistenza meccanica dell'asta di captazione diminuisce (pericolo di rottura dell'asta). E' decisivo, perciò, un compromesso tra una sezione più piccola possibile per una riduzione del carico dovuto al vento e una sezione più grande possibile per ottenere la resistenza necessaria.
- ⇒ La stabilità può essere aumentata, se vengono utilizzati dei pesi più grandi e/o dei raggi del basamento maggiori. Questo entra spesso in contraddizione con le limitate superfici di posizionamento e il requisito generale di peso minimo e trasporto facilitato.

### Realizzazione:

Per poter offrire una superficie esposta al vento più ridotta possibile, le sezioni delle aste di captazione sono state ottimizzate in base ai risultati dei calcoli. Per facilitare il trasporto e il montaggio, l'asta di captazione è costituita da un tubo in alluminio (su richiesta componibile) e un'asta di captazione in alluminio. Il basamento è ripiegabile e viene fornito in due varianti. Inclinazioni del tetto fino a  $10^\circ$  possono essere corretti.

### Determinazione della resistenza alla rottura

Oltre alla stabilità deve essere eseguita anche una prova di resistenza alla rottura dell'asta di captazione, poiché a causa del carico dovuto al vento si verificano delle sollecitazioni di flessione sull'asta

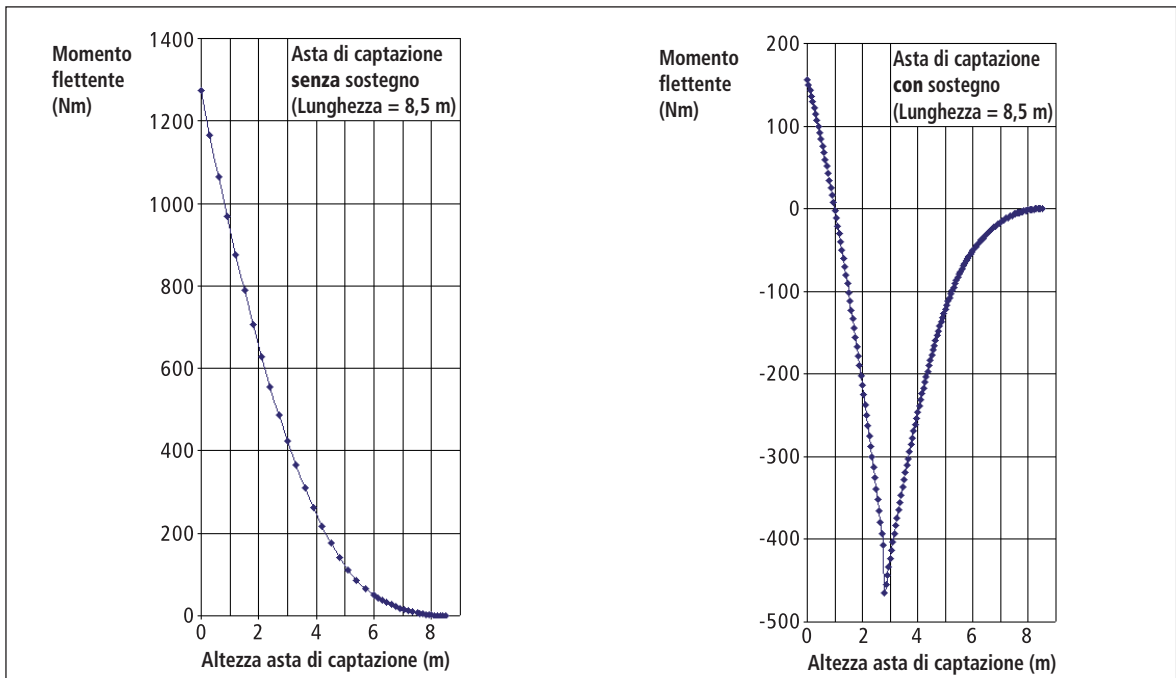


Figura 5.1.11.5 Confronto del momento flettente su aste di captazione indipendenti senza e con sostegno (lunghezza = 8,5 m)

di captazione indipendente. La flessione non deve tuttavia superare la flessione massima consentita. La sollecitazione di flessione aumenta con la lunghezza delle aste di captazione. Le aste di captazione devono essere installate in modo che, in caso di carico dovuto al vento, non si verifichino delle deformazioni sulle aste.

Poiché devono essere presi in considerazione la geometria esatta dell'asta di captazione e il comportamento non lineare dei materiali, la prova di resistenza alla rottura delle aste di captazione indipendenti viene effettuata attraverso un modello di calcolo FEM (Finite Elements Methode). Il metodo FEM è un procedimento di calcolo numerico, con il quale possono essere calcolate le flessioni e deformazioni di strutture geometriche complesse. La struttura da analizzare viene suddivisa tramite superfici e linee immaginarie in cosiddetti "elementi finiti", che vengono collegati tra loro tramite nodi.

Per il calcolo sono necessarie le seguenti indicazioni:

⇒ **Modello di calcolo FEM:**

Il modello di calcolo FEM corrisponde in forma semplificata alla geometria dell'asta di captazione indipendente.

⇒ **Caratteristiche dei materiali:**

Il comportamento del materiale viene predefinito tramite i valori di sezione, modulo di elasticità, compattezza e contrazione trasversale.

⇒ **Sollecitazioni:**

Il carico dovuto al vento viene inserito nel modello geometrico come carico di pressione.

La resistenza alla rottura viene definita attraverso il confronto della sollecitazione di flessione ammessa (valore di riferimento del materiale) e la sollecitazione di flessione massima (calcolata sul momento flettente e sulla sezione effettiva nel punto di massima sollecitazione).

La resistenza alla rottura si ottiene quando il rapporto tra i suddetti due valori è >1. Fondamentalmente vale anche in questo caso la seguente regola: più è grande il rapporto tra la sollecitazione di flessione ammessa e quella effettiva, più sarà grande la resistenza alla rottura.

Con il modello di calcolo FEM sono stati calcolati i momenti flettenti per due aste di captazione (lunghezza = 8,5 m) con sostegno e senza sostegno in funzione dell'altezza delle aste di captazione (Figura 5.1.11.5). In tale contesto si può notare l'in-



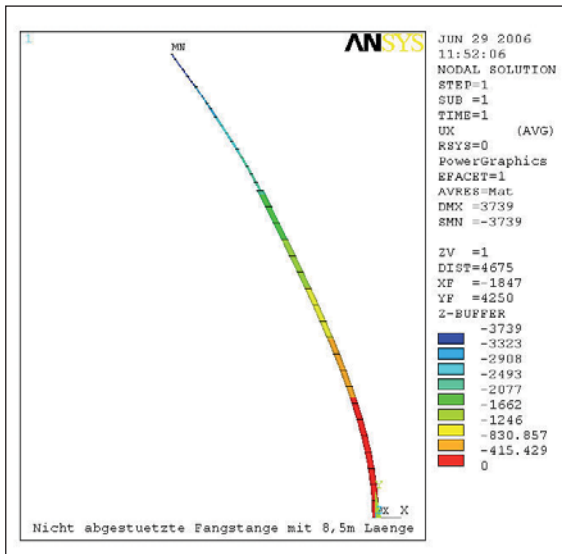


Figura 5.1.11.6 Modello FEM dell'asta di captazione indipendente senza sostegno (Lunghezza = 8,5 m)

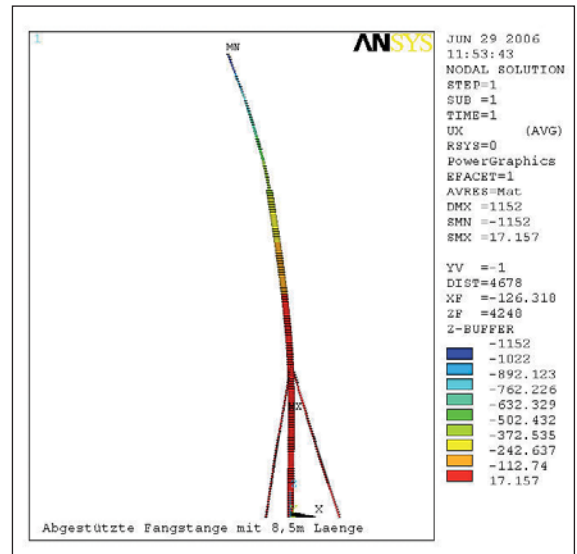


Figura 5.1.11.7 Modello FEM dell'asta di captazione indipendente con sostegno (Lunghezza = 8,5 m)

fluenza di un eventuale sostegno sulla curva dei momenti. Mentre il momento flettente massimo con asta di captazione senza sostegno nel punto di serraggio è di ca. 1270 Nm, il momento flettente si riduce grazie al sostegno a circa 460 Nm. Attraverso questo sostegno è possibile ridurre le sollecitazioni nell'asta fino al punto in cui con un carico dovuto al vento massimo presunto non venga superata la resistenza dei materiali utilizzati e quindi le aste di captazione non vengano distrutte.

#### Realizzazione:

I sostegni creano un "punto di posizionamento" supplementare attraverso il quale le sollecitazioni di flessione presenti nell'asta di captazione vengono ridotte considerevolmente. Senza sostegno supplementare le aste di captazione non resisterebbero alle sollecitazioni con velocità del vento a 145 km/h. Per questo motivo le aste di captazione a partire da un'altezza di 6 m sono dotate di sostegni.

Oltre ai momenti flettenti, il calcolo FEM fornisce anche le forze di trazione che si verificano nei sostegni e per le quali deve pure essere garantita la resistenza.

#### Determinazione della flessione dell'asta di captazione causata dal carico dovuto al vento

Un altro risultato di calcolo importante del modello FEM è la flessione della punta dell'asta di capta-

zione. I carichi dovuti al vento provocano la flessione delle aste di captazione. La flessione dell'asta ha come conseguenza una variazione del volume da proteggere. Gli oggetti da proteggere non si trovano più nel volume protetto e/o le distanze di sicurezza non vengono più rispettate.

L'utilizzo del modello di calcolo su un'asta di captazione indipendente senza e con sostegno conduce ai risultati seguenti (Figure 5.1.11.6 e 5.1.11.7).

Dal calcolo risulta, per l'esempio selezionato, uno spostamento di ca. 1150 mm della punta dell'asta di captazione con sostegno. Senza sostegno si verificherebbe uno scostamento di ca. 3740 mm, un valore teorico, che supera il limite di rottura dell'asta di captazione in esame.

#### Realizzazione:

Sostegni supplementari al di sopra di una determinata altezza dell'asta portano a una notevole riduzione di tali deviazioni. Inoltre, si riduce anche il carico di flessione sull'asta.

#### Conclusione

La resistenza al ribaltamento, alla rottura e alla flessione sono fattori decisivi per la progettazione delle aste di captazione. Basamento e asta di captazione devono essere coordinati, in modo che le sollecitazioni che si verificano a causa della velocità del vento corrispondente alla zona di installa-

zione non provochino un ribaltamento e/o un danneggiamento dell'asta.

Occorre inoltre considerare che notevoli flessioni dell'asta di captazione riducono la distanza di sicurezza e quindi potrebbero crearsi degli avvicinamenti non ammessi. Un sostegno supplementare per le aste di captazione di altezza considerevole, diventa a questo punto necessario per poter evitare queste flessioni non ammesse delle punte di captazione delle aste. Le misure descritte garantiscono che le aste di captazione indipendenti, utilizzate in modo corretto, resistono ad una velocità del vento fino a 145 kmh.

## 5.2 Calate

Per calata si intende il collegamento elettrico tra il dispositivo di captazione e l'impianto di messa a terra. Le calate devono condurre la corrente da fulmine captata verso l'impianto di messa a terra, senza creare danni all'edificio, ad esempio a causa di un eccessivo riscaldamento.

Per ridurre il rischio di danni durante la scarica della corrente da fulmine verso l'impianto di terra, le calate devono essere posate in modo tale, che dal punto d'impatto del fulmine verso terra

- ⇒ esistano diversi percorsi paralleli della corrente,
- ⇒ la lunghezza dei percorsi della corrente sia la più corta possibile (diritta, verticale, senza spire),
- ⇒ i collegamenti verso i corpi metallici della struttura siano realizzati in tutti i punti necessari (distanza  $< s$ ;  $s$  = distanza di sicurezza).

### 5.2.1 Determinazione del numero di calate

Il numero di calate dipende dalla dimensione perimetrale del tetto.

La disposizione delle calate deve essere eseguita in modo che, partendo dagli angoli della struttura, le calate siano il più uniformemente possibile distribuite su tutto il perimetro.

A seconda della struttura (ad esempio portoni, prefabbricati in calcestruzzo) le distanze tra le varie calate possono variare. Queste distanze, ad esempio da 12 m a 18 m per il livello di protezione III (valore tipico 15 m), vengono prese in considerazione anche per il calcolo della distanza di sicurezza.

In ogni caso deve essere rispettato il numero minimo delle calate necessarie, a seconda del livello di protezione.

Nella norma CEI EN 62305-3 vengono elencate le distanze tipiche tra calate e conduttori ad anello, a seconda del livello di protezione (**Tabella 5.2.1.1**). Il numero esatto di calate può essere individuato solamente tramite calcolo della distanza di sicurezza  $s$ . Se la distanza di sicurezza calcolata non può essere rispettata per il numero di calate pianificate, è possibile aumentare il numero di calate per raggiungere l'obiettivo. Attraverso percorsi di corrente paralleli viene migliorato il coefficiente di distribuzione della corrente  $k_c$ . Con questo la corrente nelle due calate si riduce e quindi è possibile mantenere la distanza di sicurezza richiesta.

Gli elementi naturali della struttura (ad esempio colonne portanti in acciaio-calcestruzzo, struttura portante in acciaio) possono essere utilizzati anch'essi come calate supplementari, purché sia garantita la loro continuità elettrica.

Attraverso collegamenti trasversali delle calate al livello del suolo (collegamento alla base) e attraverso degli anelli per gli edifici più alti, viene raggiunto un bilanciamento della distribuzione della corrente da fulmine, che riduce anch'esso la distanza di sicurezza  $s$ .

Nell'ultima fascicolo di norme CEI EN 62305, viene data grande importanza alla distanza di sicurezza. Attraverso le misure elencate, la distanza di sicurezza può essere modificata in modo positivo, e quindi la corrente da fulmine può essere scaricata in modo sicuro.

Se queste misure non sono sufficienti per mantenere la distanza di sicurezza richiesta, possono essere utilizzate anche delle condutture di nuova generazione isolate resistenti all'alta tensione (HVI). Queste vengono descritte nel capitolo 5.2.4.

Classe LPS	Distanza tipica
I	10 m
II	10 m
III	15 m
IV	20 m

Tabella 5.2.1.1 Valori tipici della distanza tra le calate secondo CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3)

q mm <sup>2</sup>	Ø	Classe LPS											
		Alluminio			Ferro			Rame			INOX		
		III + IV	II	I	III + IV	II	I	III + IV	II	I	III + IV	II	I
16		146	454	*	1120	*	*	56	143	309	*	*	*
50	8 mm	12	28	52	37	96	211	5	12	22	190	460	940
78	10 mm	4	9	17	15	34	66	3	5	9	78	174	310

\* fusione / evaporazione

Tabella 5.2.2.1 Aumento massimo della temperatura  $\Delta T$  in K di diversi materiali per calate

L'individuazione esatta della distanza di sicurezza viene descritta nel capitolo 5.6.

## 5.2.2 Calate in un sistema di protezione contro i fulmini non isolato

In primo luogo le calate vengono ancorate direttamente sull'edificio (senza alcuna distanza). Un criterio per la posa direttamente sull'edificio è l'aumento di temperatura che si verifica in caso di fulminazione sul sistema di protezione contro i fulmini.

Se la parete è composta da materiale difficilmente o moderatamente infiammabile, le calate possono essere installate direttamente sul muro o al suo interno.

In base alle indicazioni contenute nei regolamenti edilizi dei vari paesi, solitamente non vengono utilizzati materiali di costruzione facilmente infiammabili. Perciò le calate possono essere montate direttamente sugli edifici.

Il legno con una massa specifica di oltre 400 kg/m<sup>2</sup> e uno spessore di oltre 2 mm viene considerato come moderatamente infiammabile. Per questo, la calata può essere applicata anche su pali in legno. Se la parete è costituita da materiale facilmente infiammabile, le calate possono essere installate direttamente sulla superficie della parete, a condizione che l'aumento di temperatura prodotto dal passaggio di corrente non sia pericoloso.

L'aumento di temperatura massimo  $\Delta T$  in K dei diversi conduttori, a seconda del livello di protezione, è riportato nella **tabella 5.2.2.1**. In base a questi valori è di solito permesso posare le calate anche dietro ad un isolamento termico, dal momento che questi aumenti di temperatura non costituiscono pericolo di incendio per l'isolamento. L'utilizzo di un rivestimento in PVC supplementare, in caso di calata posata dentro o dietro un iso-

lamento termico, permette di ridurre l'aumento di temperatura (sulla superficie). Può essere utilizzato anche un filo di alluminio rivestito in PVC.

Se la parete è costituita da materiale facilmente infiammabile e l'aumento della temperatura delle calate può essere pericoloso, le calate dovranno essere posate in modo che la distanza tra le calate e la parete sia maggiore di 0,1 m. Gli elementi di fissaggio possono toccare la parete. E' compito del costruttore dell'edificio indicare se la parete sulla quale viene posata la calata è composta di materiale infiammabile.

La definizione esatta dei termini "difficilmente", "normalmente" e "moderatamente" infiammabile si trova nel capitolo 5 della CEI EN 62305-3.

### 5.2.2.1 Realizzazione delle calate

Le calate devono essere posizionate in modo da costituire la continuazione diretta dei conduttori di captazione. Devono essere posate in modo rettilineo e in verticale, in modo da realizzare il collegamento diretto più breve possibile verso terra.

La formazione di cappi, ad esempio attorno a gronde sporgenti oppure avancorpi, deve essere evitata. Se questo non è possibile, la distanza, misurata sul punto di ravvicinamento di due punti di una calata, e la lunghezza  $l$  della calata tra que-

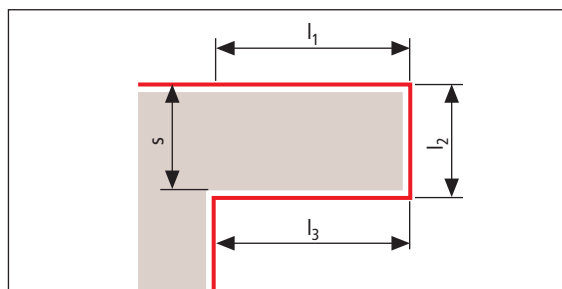


Figura 5.2.2.1.1 Cappio in una calata

sti due punti, devono soddisfare i requisiti della distanza di sicurezza  $s$  (Figura 5.2.2.1.1). La distanza di sicurezza  $s$  viene calcolata utilizzando la lunghezza complessiva:  $l = l_1 + l_2 + l_3$ .

Le calate non possono essere posate all'interno di grondaie e pluviali, anche se questi sono rivestiti di materiale isolante. L'umidità presente nei pluviali potrebbe causare una corrosione eccessiva delle calate.

Se viene utilizzato come calata l'alluminio, questo non deve essere posato direttamente (senza distanza) sopra, dentro o sotto intonaco, malta, calcestruzzo, e neppure essere interrato. Con un rivestimento in PVC la posa di alluminio in malta, intonaco o calcestruzzo è possibile, se viene garantito che il rivestimento non venga danneggiato meccanicamente e che non si verifichi una rottura dell'isolamento alle basse temperature.

Viene altresì consigliato di posare le calate in modo che verso tutte le porte e le finestre venga mantenuta la distanza di sicurezza  $s$  necessaria (Figura 5.2.2.1.2).

Nei punti di incrocio con le calate, i pluviali in metallo devono essere collegati con le calate (Figura 5.2.2.1.3).

I pluviali in metallo, anche se non utilizzati come calate, sono da collegare alla base con il sistema equipotenziale oppure con l'impianto di terra.

Attraverso il collegamento con la gronda del tetto, nella quale scorre la corrente da fulmine, il pluviale conduce anch'esso una parte della corrente da fulmine, che deve essere condotta verso l'impianto di terra. Un esempio di esecuzione è illustrato nella figura 5.2.2.1.4.

### 5.2.2.2 Elementi naturali della calata

Quando vengono utilizzati come calata degli elementi naturali della struttura, il numero di calate da installare in aggiunta può essere ridotto e in determinati casi le calate possono essere eliminate del tutto.

Come "parti naturali" dell'impianto di calata possono essere utilizzate le parti seguenti di una struttura:

- ⇒ Installazioni metalliche, a condizione che esista un collegamento continuo e duraturo tra i diversi elementi, e le loro dimensioni corrispondano ai requisiti minimi per le calate. Queste installazioni metalliche possono anche essere ricoperte di materiale isolante. L'utilizzo di tubazioni con contenuto infiammabile o esplosivo come calata non è permesso, se le guarnizioni nelle flangie/giunti non sono in metallo oppure le flangie/giunti delle tubazioni non sono collegate elettricamente.

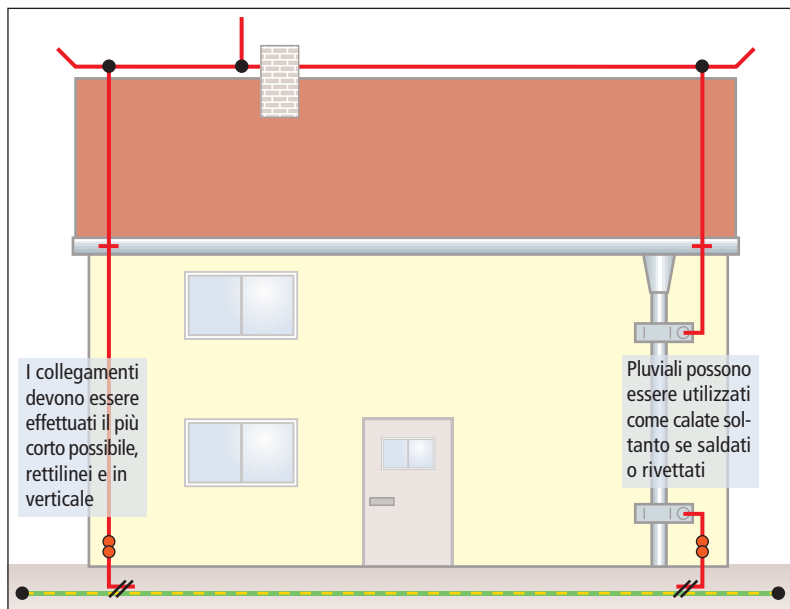


Figura 5.2.2.1.2 Calate



Figura 5.2.2.1.3 Organo di captazione con collegamento alla grondaia



Figura 5.2.2.1.4 Messa a terra pluviale

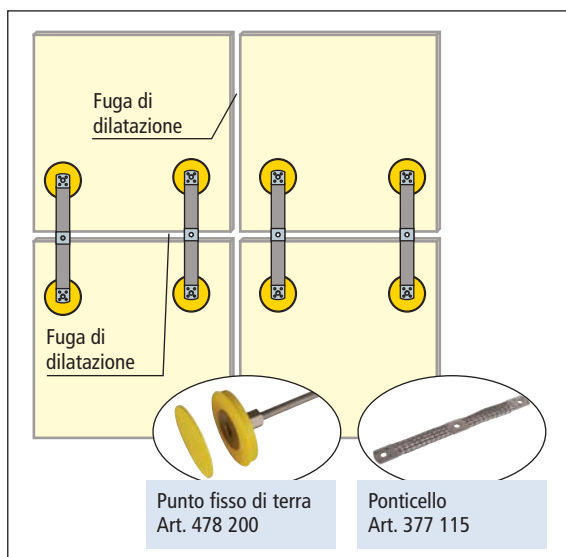


Figura 5.2.2.2.1 Utilizzo di elementi naturali - Nuove strutture in elementi prefabbricati in calcestruzzo

⇒ La struttura portante metallica della struttura

Se come calata si utilizza la struttura portante in acciaio di una costruzione oppure l'armatura elettricamente continua della struttura, non sono necessari degli anelli aggiuntivi, dal momento che questi non offrirebbero alcun miglioramento nella distribuzione della corrente.

⇒ L'armatura della struttura collegata in modo elettricamente continuo

In una struttura esistente l'armatura non può essere utilizzata come parte naturale della calata, se non è garantito che l'armatura stessa sia collegata in modo elettricamente continuo. Devono essere posate delle calate esterne separate.

⇒ Elementi prefabbricati in calcestruzzo

Negli elementi prefabbricati in calcestruzzo devono essere previsti dei punti di connessione sull'armatura. Gli elementi prefabbricati in calcestruzzo devono avere un collegamento elettricamente continuo tra tutti i punti di connessione. Le singole parti devono essere collegate tra loro durante il montaggio in cantiere (**Figura 5.2.2.2.1**).

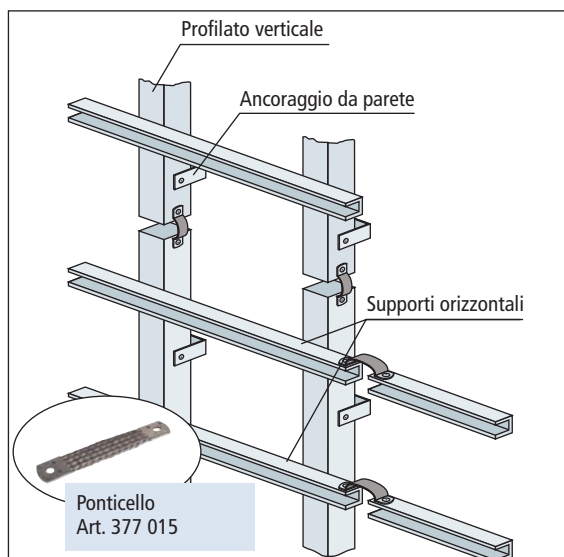


Figura 5.2.2.2.2 Sottostruttura metallica con giunzioni per la continuità elettrica

Nota:

In caso di calcestruzzo precompresso, deve essere considerato il particolare rischio di eventuali influenze meccaniche inammissibili, dovute alla corrente da fulminazione e derivanti dalla connessione al sistema di protezione contro i fulmini.

In caso di calcestruzzo precompresso il collegamento tramite tiranti o funi può essere effettuato solo se si trova al di fuori della zona di tenditura. Prima dell'utilizzo di tiranti o funi tenditrici come calate, deve essere richiesta l'approvazione del costruttore della struttura.

Se l'armatura delle strutture esistenti non è collegata in modo elettricamente continuo, essa non può essere utilizzata come calata. In questo caso dovranno essere posate delle calate esterne.

Inoltre, gli elementi delle facciate, i profilati e le sottostrutture metalliche delle facciate possono essere utilizzate come calata naturale, a condizione che:

⇒ le loro dimensioni corrispondano ai requisiti minimi delle calate. Per lamiera metalliche lo spessore non deve essere inferiore a 0,5 mm. La loro continuità elettrica verticale deve essere garantita. Se come calata vengono utilizzate le facciate metalliche, queste devono essere collegate in modo tale che i singoli pannelli in lamiera siano collegati tra loro in modo sicuro



Figura 5.2.2.2.3 Collegamento a terra della facciata metallica



Figura 5.2.2.2.4 Calata lungo il pluviale



Figura 5.2.2.3.1 Punto di misura con numero di identificazione

tramite viti, rivetti o cavallotti. Deve essere previsto un collegamento verso l'impianto di captazione e l'impianto di messa a terra in grado di sopportare la corrente di fulmine.

- ⇒ Se i pannelli in lamiera non sono collegati tra loro secondo i requisiti di cui sopra, ma lo sono le sottostrutture, in modo tale che dalla connessione al dispositivo di captazione fino alla connessione all'impianto di terra sia garantita una conduzione continua, queste possono essere utilizzati come calata (Figure 5.2.2.2.2 e 5.2.2.2.3).

I pluviali metallici possono essere utilizzati come calata naturale, purché siano intercollegati (i giunti saldati o rivettati) e lo spessore minimo del tubo sia di almeno 0,5 mm.

Se un pluviale non è collegato in modo elettricamente continuo, può essere utilizzato come supporto per il conduttore di calata supplementare. Questo tipo di utilizzo è raffigurato nella figura 5.2.2.2.4. Il collegamento in grado di condurre le correnti da fulmine del pluviale all'impianto di terra è necessario dal momento che il pluviale funge solo da sostegno per l'organo di calata.

### 5.2.2.3 Punti di misura

Presso ogni collegamento della calata con l'impianto di terra deve essere previsto un punto di misura (possibilmente sopra il collegamento all'asta di adduzione).

I punti di misura sono necessari per permettere di controllare le seguenti caratteristiche del sistema di protezione contro i fulmini:

- ⇒ connessioni delle calate attraverso il dispositivo di captazione con la calata successiva;

- ⇒ interconnessioni degli elementi di connessione attraverso l'impianto di terra, ad esempio per dispersori ad anello o dispersori di fondazione (dispersore di tipo B);

- ⇒ resistenza di terra dei singoli dispersori (dispersore di tipo A).

I punti di misura non sono necessari, se il tipo di costruzione (ad esempio costruzione in cemento armato o costruzione con struttura portante in acciaio) non permette una separazione "galvanica" della calata "naturale" dall'impianto di messa a terra (ad esempio dispersore di fondazione).

Il punto di misura può essere aperto solo con l'ausilio di un attrezzo a scopo di misurazione, altrimenti deve rimanere chiuso.

Ogni punto di misurazione deve poter essere identificato chiaramente nel disegno del sistema di protezione contro i fulmini. Di solito tutti i punti di misura vengono contrassegnati con un numero di identificazione (Figura 5.2.2.3.1).

### 5.2.2.4 Calate interne

Se i lati degli edifici (lunghezza e larghezza) sono quattro volte maggiori della distanza di calata secondo la classe di LPS scelta, dovrebbero essere installate delle calate interne (Figura 5.2.2.4.1).

La dimensione modulare per le calate interne è di ca. 40 x 40 m.

Spesso le calate interne risultano necessarie per grandi strutture a tetto piano, come ad esempio grandi capannoni industriali oppure centri di distribuzione. In questi casi i condotti attraverso la copertura del tetto dovrebbero essere installati da un conciatetti, dal momento che l'impermeabilità della copertura rientra nei suoi doveri di garanzia.

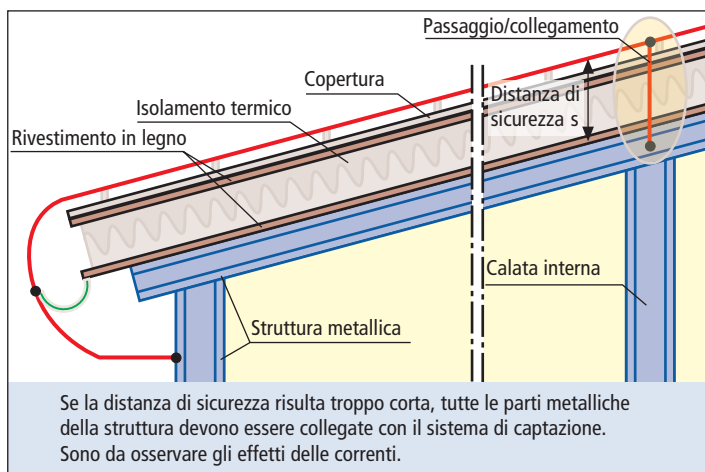


Figura 5.2.2.4.1 Dispositivo di captazione per tetti di grandi dimensioni - Calate interne

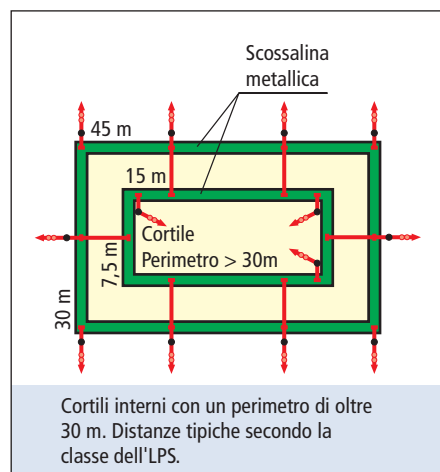


Figura 5.2.2.5.1 Dispositivi di discesa per cortili interni

Inoltre devono essere considerati gli effetti delle correnti parziali da fulmine attraverso calate interne dell'edificio. Il campo elettromagnetico risultante vicino alle calate deve essere considerato nella progettazione della protezione contro i fulmini interna (occorre considerare gli accoppiamenti su sistemi elettrici/elettronici).

### 5.2.2.5 Cortili interni

Per strutture con cortili interni chiusi con un perimetro di oltre 30 m, le calate devono essere installate con le distanze corrispondenti alla **tabella 5.2.1.1**. Devono essere posate almeno 2 calate (Figura 5.2.2.5.1).

### 5.2.3 Calate di un sistema di protezione contro i fulmini esterno isolato

Se il dispositivo di captazione è costituito da aste di captazione montate su pali indipendenti (o un unico palo), quest'ultimo funge sia da dispositivo di captazione sia da calata (Figura 5.2.3.1).

Per ognuno di questi pali è necessaria almeno una calata. I pali in acciaio o in cemento con armatura elettricamente continua non necessitano di una calata supplementare.

Per ragioni estetiche è possibile ad esempio utilizzare come dispositivo di captazione anche un palo per bandiere.

La distanza di sicurezza  $s$  tra gli organi di captazione, le calate e l'edificio deve essere rispettata in ogni caso.

Se il dispositivo di captazione è costituito da uno o più corde o funi tese, per ogni ancoraggio delle estremità, è necessaria almeno una calata (Figura 5.2.3.2).

Se l'impianto di captazione è ammagliato, cioè le singole corde o funi sospese formano tra di loro delle maglie (collegate trasversalmente), è necessario almeno una calata per ogni ancoraggio alle estremità dei conduttori (Figura 5.2.3.3).

### 5.2.4 Condutture isolate resistenti all'alta tensione - conduttura HVI®

Negli impianti di telefonia mobile, per la copertura di un'intera area, vengono utilizzati molti edifici ospitanti. Parte di questi edifici dispongono, di impianti di protezione contro i fulmini. Per una progettazione e un'esecuzione a norma dell'infrastruttura di radiotrasmissione è necessario considerare la situazione iniziale durante la progettazione.

Per i gestori di telefonia mobile esistono tipicamente **tre situazioni**:

- ⇒ l'edificio non è dotato di impianto di protezione contro i fulmini;
- ⇒ l'edificio è dotato di impianto di protezione contro i fulmini non più funzionante;
- ⇒ l'edificio è dotato di impianto di protezione contro i fulmini funzionante.

**Edificio senza impianto di protezione contro i fulmini (LPS esterno)**

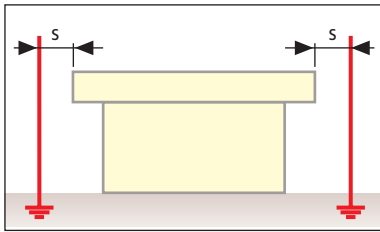


Figura 5.2.3.1 Pali di captazione isolati dalla struttura

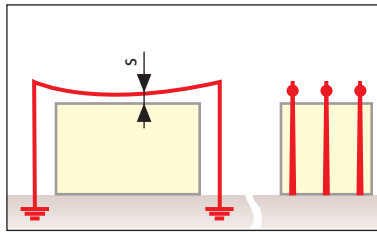


Figura 5.2.3.2 Pali di captazione con funi sospese

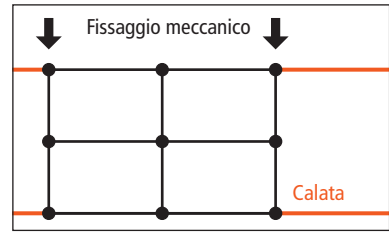


Figura 5.2.3.3 Pali di captazione con funi tese con collegamenti trasversali (maglie)

L'impianto di radiotrasmissione viene collegato all'impianto di terra. Si tratta della messa a terra dell'impianto di radiotrasmissione. Secondo il concetto di protezione da sovratensione dei gestori della rete radiomobile, nel vano contatore verrà inserita una protezione da sovratensioni supplementare.

#### Edificio dotato di impianto di protezione contro i fulmini (LPS esterno) non più funzionante

L'impianto di radiotrasmissione viene collegato alla protezione contro i fulmini esterna secondo il livello di protezione stabilito. I percorsi della corrente necessari per l'impianto di radiotrasmissione vengono analizzati e valutati. Le parti necessarie per la scarica della corrente da fulmine non più funzionanti dell'impianto esistente, come il conduttore di captazione, la calata e il collegamento all'impianto di messa a terra, vengono sostituite. I difetti riscontrati a vista su parti dell'impianto non utilizzate vengono comunicati per iscritto al proprietario dell'edificio.

#### Edificio dotato di impianto di protezione contro i fulmini (LPS esterno) funzionante

L'esperienza ha dimostrato che gli impianti di protezione contro i fulmini vengono generalmente costruiti secondo il livello di protezione III. Per determinati edifici sono prescritti dei controlli periodici. L'inserimento dell'impianto radiomobile secondo il livello di protezione scelto deve essere progettato. Per gli impianti appartenenti al livello di protezione I e II, l'ambiente circostante dell'impianto viene fotografato, così che per futuri problemi di prossimità possa essere dimostrata la situazione al momento dell'installazione dell'impianto. Se un impianto di trasmissione viene installato su un edificio con LPS esterno funzionante, per l'installazione dell'impianto vale la norma di protezione dai fulmini attuale (CEI EN 62305). Le distanze di sicurezza devono essere calcolate in

base al livello di protezione. Tutte le parti meccaniche utilizzate devono poter resistere alla corrente parziale da fulmine prevista. Per molti gestori del radiomobile tutte le strutture in acciaio e di sostegno dell'antenna devono essere eseguite per ragioni di standardizzazione secondo la classe di protezione I. Il collegamento deve essere effettuato sulla via più breve: questo, tuttavia, non rappresenta un problema, dal momento che sui tetti piani, i conduttori di captazione sono di solito disposti a maglia. Se sull'edificio ospitante è installato un LPS esterno funzionante, questo possiede una priorità più alta rispetto all'impianto di messa a terra per l'antenna.

In base al modello di progettazione in una riunione di cantiere sarà da stabilire il tipo di LPS esterno da realizzare:

- ⇒ Se anche le apparecchiature del sistema (shelter) si trovano sul tetto, è da preferire la posa del cavo di alimentazione all'esterno del fabbricato.
- ⇒ Se le apparecchiature del sistema si trovano sul tetto ed è prevista una costruzione con palo (unico) centrale, l'impianto verrà dotato di LPS isolato.
- ⇒ Se le apparecchiature del sistema si trovano all'interno dell'edificio, è preferibile la realizzazione di un LPS isolato. In questo caso occorrerà prestare attenzione a limitare le dimensioni superficiali dell'impianto per contenere i costi per LPS isolato entro un limite commercialmente accettabile.

L'esperienza ha dimostrato che in molti casi, su impianti di protezione contro i fulmini esistenti, sono presenti dei vecchi difetti, che compromettono l'efficacia dell'impianto. Anche se il "collegamento" dell'impianto di trasmissione all'LPS esterno è effettuato correttamente, questi difetti possono causare dei danni all'edificio.



Per potere installare degli impianti di antenna a norma anche in situazioni difficili, il progettista di reti di telefonia mobile aveva a sua disposizione in precedenza solo il sistema di protezione contro i fulmini isolato con dei distanziatori orizzontali. Non si poteva quindi parlare di un'esecuzione estetica, dal punto di vista architettonico, dell'impianto di antenna (Figura 5.2.4.1).

In particolare, per la realizzazione di antenne ottimizzate dal punto di vista ottico, sono da evitare i dispositivi di captazione illustrati in figura 5.2.4.1. Con la soluzione innovativa delle condutture isolate HVI® resistenti all'alta tensione, per l'installatore di impianti di protezione contro i fulmini esiste oggi un nuovo metodo per rispettare in modo semplice la distanza di sicurezza.

### 5.2.4.1 Installazione e funzionamento della calata isolata HVI®

Il concetto di base della calata isolata consiste nell'avvolgere con materiale isolante il conduttore che conduce le correnti da fulmine in modo tale, che può essere rispettata la distanza di sicurezza  $s$  necessaria verso altri parti conduttori della struttura, verso conduttori elettrici e tubazioni. Avvicinamenti non ammessi sono da evitare. Principalmente devono essere soddisfatte le seguenti richieste per la calata isolata, se vengono utilizzati materiali isolanti per evitare degli avvicinamenti non ammessi:

- ⇒ Possibilità del collegamento resistente alla corrente da fulmine della calata all'organo di captazione tramite morsetti (asta di captazione, conduttore di captazione, punta di captazione ecc.).
- ⇒ Rispetto della distanza di sicurezza  $s$  tramite sufficiente rigidità dielettrica della calata sia nella zona di connessione sia lungo il percorso della calata.
- ⇒ Sufficiente portata della corrente e adatta sezione della calata.
- ⇒ Possibilità della connessione all'impianto di terra o al sistema equipotenziale.

Avvolgendo la calata con materiali isolanti di alta rigidità dielettrica, principalmente può essere ridotta



Figura 5.2.4.1 Dispositivo di captazione isolato con distanziatori

Figura 5.2.4.2 Dispositivo di captazione isolato per radiomobile - Applicazione sistema DEHNconductor

la distanza di sicurezza  $s$ . Devono però essere osservati alcuni criteri particolari per l'alta tensione. Questo è indispensabile perché la rigidità dielettrica della calata isolata viene determinata sia dalla sistemazione stessa che dal fenomeno delle scariche superficiali.

Per essere indipendenti dalla sistemazione e quindi dal percorso della calata, l'utilizzo di calate isolate non schermate è principalmente immaginabile. Il problema, però, non è risolvibile con un conduttore che è soltanto ricoperto da una guaina iso-

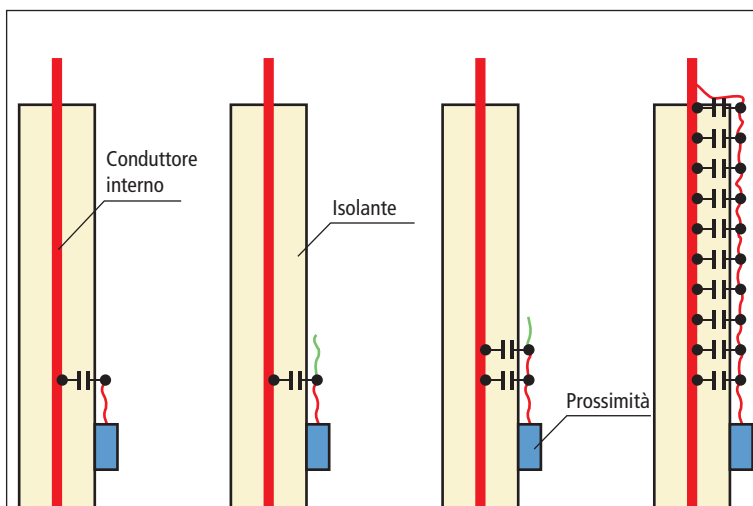


Figura 5.2.4.1.1 Sviluppo teorico di una scarica in superficie su una calata isolata senza rivestimento speciale

lante. Già con tensioni impulsive indotte relativamente piccole, si innescano delle scariche superficiali sugli avvicinamenti (p. es. tra staffe portafili metalliche collegate a terra e il punto di connessione), che possono portare a una scarica totale lungo la superficie per grandi distanze del conduttore. Critiche, riguardante l'innescò di scariche superficiali sono zone, nelle quali si incontrano materiale isolante, metalli (a potenziale di alta tensione o messi a terra) e aria. Questo ambiente, visto sotto l'aspetto dell'alta tensione, è fortemente sollecitato perchè può essere il punto di partenza per scariche superficiali e causare una ridotta rigidità dielettrica. Scariche in superficie possono istaurarsi ogni qual volta, quando componenti normali (diretti in verticale sulla superficie isolante) del campo elettrico superano la tensione d'innescò per la scarica superficiale e componenti di campo che tangenzialmente (in parallelo alla superficie isolante) propagano l'estensione della scarica superficiale (Figura 5.2.4.1.1).

La tensione di innescò della scarica in superficie determina la tenuta del sistema isolante e ha valori intorno ai 250 - 300 kV di tensione impulsiva da fulmine.

Con il cavo unipolare di esecuzione coassiale raffigurato in **figura 5.2.4.1.2** - conduttura HVI® - si possono evitare le scariche in superficie e condurre a terra in sicurezza le correnti da fulmine.

Calate isolate con controllo del campo e guaina semiconducente, tramite condizionamento mirato del campo elettrico nella zona del punto di collegamento, evitano le scariche in superficie. Permettono di condurre la corrente da fulmine nel cavo speciale e assicurano di scaricare in sicurezza la corrente da fulmine, rispettando la distanza di sicurezza  $s$  necessaria. Lo schermo semiconducente del

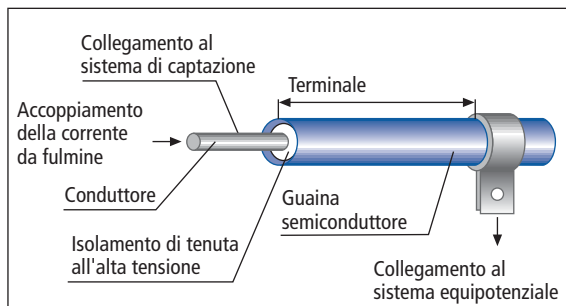


Figura 5.2.4.1.2 Componenti del conduttore HVI®

cavo coassiale scherma il campo elettrico. E' però importante, che non venga influenzato il campo magnetico che circonda il conduttore interno percorso dalla corrente.

Tramite ottimizzazione del controllo del campo si è creato un determinato terminale di cavo con una lunghezza di 1,50 m, con il quale è possibile ottenere una distanza di sicurezza in aria di  $s = 0,75$  m oppure  $s = 1,50$  m per muratura (**Figura 5.2.4.1.3**).

Questo particolare terminale del cavo viene realizzato tramite un collegamento specifico al sistema di captazione (punto di connessione) e il collegamento equipotenziale effettuato a una determinata distanza. L'intera guaina semiconducente del cavo, in confronto a un cavo con schermo metallico, possiede una resistenza sensibilmente superiore. Così, anche con molteplici collegamenti della guaina all'sistema equipotenziale, non vengono trasferite alcune correnti parziali da fulmine significanti nell'edificio.

Partendo dalla distanza di sicurezza  $s$  necessaria, con

$$L_{\max} = \frac{k_m \cdot s}{k_i \cdot k_c}$$

può essere calcolata la lunghezza massima  $L_{\max}$  di questa calata isolata.

### 5.2.4.2 Esempi di installazione

#### Applicazione per telefonia mobile

Gli impianti di telefonia mobile vengono spesso eretti su edifici ospitanti. Tra il gestore dell'impianto di telefonia mobile e il proprietario dell'edificio

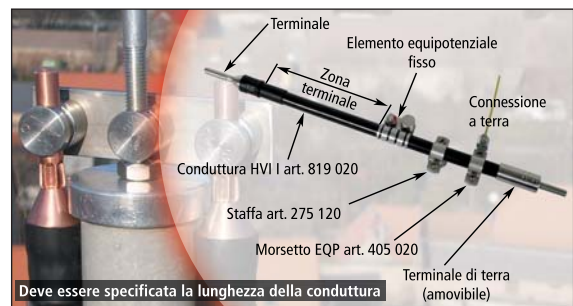


Figura 5.2.4.1.3 Conduttore HVI® I e componenti dal sistema DEHNconductor

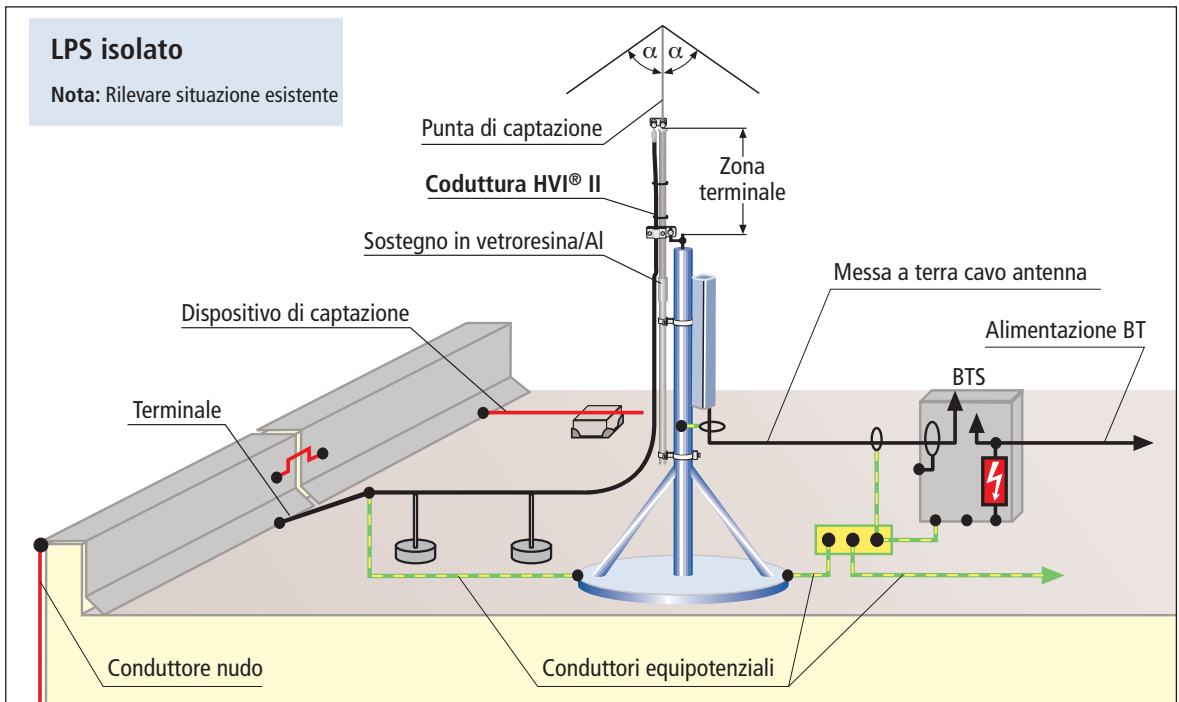


Figura 5.2.4.2.1 Integrazione di una nuova antenna 2G/3G nell'esistente impianto di protezione contro i fulmini, tramite uso del conduttore HVI®

esiste di solito un accordo, per cui la struttura non deve essere esposta a ulteriori pericoli per effetto dell'installazione dell'impianto di telefonia mobile. Per quanto riguarda la protezione contro i fulmini questo significa in particolare, che in caso di fulminazione sulla costruzione portante non deve entrare alcuna corrente parziale da fulminazione all'interno dell'edificio. Una corrente parziale da fulminazione all'interno dell'edificio metterebbe in pericolo soprattutto gli impianti elettrici ed elettronici. Nella **figura 5.2.4.2.1** è raffigurata una possibile soluzione per il "dispositivo di captazione isolato" su una costruzione portante per antenne.

La punta di captazione deve essere isolata attraverso un tubo di sostegno in materiale non conduttivo e fissata sulla struttura portante dell'antenna. L'altezza della punta di captazione deve essere stabilita tenendo conto del fatto che la struttura portante e gli eventuali dispositivi

elettronici facenti parte dell'impianto di telefonia mobile (BTS) devono essere disposti all'interno del volume protetto fornito dalle punta di captazione. Per edifici con più sistemi di antenne multiple devono essere installati diversi "dispositivi di captazione isolati".

Nelle **figure 5.2.4.2.a e b** viene raffigurato il mon-



Figura 5.2.4.2.2a Connessione alla struttura dell'antenna per il controllo del potenziale



Figura 5.2.4.2.2b Tubo di sostegno nella zona dell'antenna



Figura 5.2.4.2.3a Macchina di ventilazione con asta di captazione e fune sospesa



Figura 5.2.4.2.3b Asta di captazione, conduttore ad anello isolato su distanziatori con collegamento alla discesa isolata

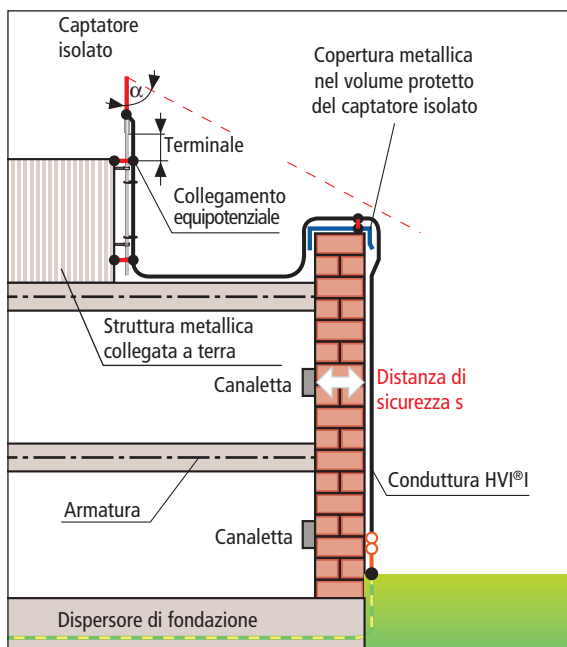


Figura 5.2.4.2.4 Rispetto della distanza di sicurezza necessaria con la calata isolata a potenziale regolato (HVI®)

taggio su un palo per antenne.

### Costruzioni sul tetto

Le strutture elettriche e metalliche installate sul tetto superano il livello del tetto stesso e sono quindi esposte alle fulminazioni. A causa dei collegamenti conduttivi con tubazioni e conduttori elettrici portati all'interno dell'edificio, esiste anche in questo caso il pericolo di correnti parziali da fulmine infiltrati all'interno dell'edificio. Per evitare ciò e per creare la distanza di sicurezza necessaria per l'intero edificio in modo semplice, è necessaria l'installazione di un dispositivo di captazione isolato con collegamento alla calata isolata (Figura 5.2.4.2.3a e 5.2.4.3b).

Così la completa struttura elettrica/metallica sovrastante il tetto si trova in zona protetta dalle scariche da fulmine dirette. La corrente da fulmine viene "deviata" dalla struttura da proteggere, e distribuita nell'impianto di terra.

Se sul tetto sono installate diverse costruzioni, secondo le illustrazioni di principio nella figura 5.2.4.2.4 devono essere installati diversi dispositivi di captazione. Questo deve avvenire in modo che tutte le costruzioni sporgenti dal tetto si trovino in una zona protetta da fulminazione (zona di protezione LPZ 0<sub>B</sub>).

### Calata

L'integrazione ottica di una calata, in riguardo alla distanza di sicurezza  $s$  necessaria, a volte è problematica.

La condotta HVI® può essere posata sulla facciata oppure anche in essa integrata (Figura 5.2.4.2.5). Con questa innovativa calata isolata si hanno così diverse possibilità per la composizione architettonica. Funzionalità e design possono

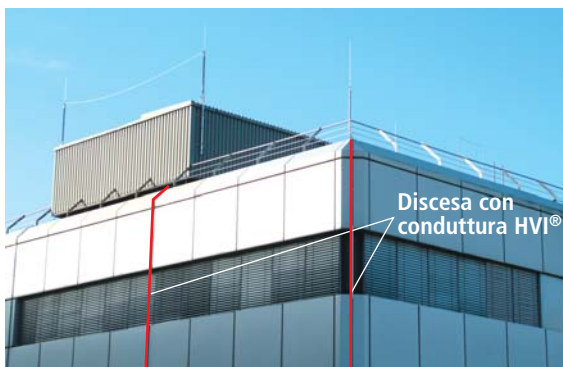


Figura 5.2.4.2.5 Dispositivo di captazione con fune sospesa e calata isolata



Figura 5.2.4.3.1 Vista totale



Figura 5.2.4.3.2 Dispositivo di captazione isolato e anello perimetrale isolato  
Fonte: H. Bartels GmbH, Oldenburg, Germania

essere uniti e così, questa tecnologia innovativa costituisce un punto fondamentale nell'edilizia moderna.

### 5.2.4.3 Esempio di progetto per edificio a uso residenziale e di formazione

#### Strutturazione dell'edificio

L'edificio illustrato nella **figura 5.2.4.3.1** è stato edificato dal piano terra fino al 6° piano in un modo di costruzione convenzionale.

In seguito è stato aggiunto il 7° piano sul tetto esistente. La facciata esterna del 7° piano è costituita da lastre metalliche.

Al 3° piano si trova il centro multimediale, il piano terra viene utilizzato per gli uffici amministrativi. Tutti gli altri piani fino al 7° piano sono destinati a uso abitativo.

La superficie del tetto del 6° e 7° piano viene circondata da un attico con copertura metallica, dove i singoli elementi non sono intercollegati in modo conduttivo.

L'edificio ha un'altezza di 25,80 m fino al piano del tetto del 7° piano (senza parapetto).

In superficie del tetto del 7° piano sono state aggiunte in seguito cinque strutture per antenne destinate alla telefonia mobile e ponti radio di diversi gestori di telefonia mobile. Le antenne sono state installate negli angoli e al centro del tetto.

La posa dei cavi (cavi coassiali) delle quattro antenne agli angoli della superficie del tetto è stata effettuata in prossimità dell'attico fino all'angolo a sud-ovest. Da qui i cavi sono stati condotti attraverso una canalina metallica, che è collegata con l'attico del tetto del 7° e 6° piano, al locale BTS al 6° piano.

La discesa dei cavi dall'antenna centrale è stata realizzata anch'essa per mezzo di una canalina metallica direttamente al 2° locale BTS sul lato nord-est dell'edificio fino al 6° piano. Anche questa canalina è collegata con gli attici perimetrali.

L'edificio era equipaggiato con un impianto di protezione contro i fulmini. La nuova installazione dell'LPS esterno per la protezione dell'edificio e delle persone è stata progettata secondo la norma di protezione contro i fulmini CEI EN 62305-3.

Durante la realizzazione degli impianti di antenne sono stati presi degli provvedimenti di equipotenzialità e di messa a terra dell'impianto secondo CEI EN 60728-11.

La messa a terra dei sistemi però non è stata effettuata al dispersore a livello del suolo separata dal LPS esterno esistente, ma direttamente al sistema di captazione.

Di conseguenza, in caso di scarica di un fulmine, le correnti parziali da fulmine vengono condotte all'interno dell'edificio attraverso gli schermi dei cavi coassiali. Queste correnti parziali da fulmine non solo mettono in pericolo le persone, ma anche

le attrezzature tecniche contenute nell'edificio stesso.

### Nuova concezione

E' stato richiesto un impianto di protezione contro i fulmini che eviti l'ingresso delle correnti parziali da fulmine nell'edificio attraverso le componenti dell'antenna (struttura portante, schermatura dei cavi e sistemi di posa). Allo stesso tempo deve essere realizzata la necessaria distanza di sicurezza s tra le strutture portanti delle antenne e l'impianto di captazione sul piano del tetto del 7° piano.

Con un impianto di protezione contro i fulmini di tipo convenzionale questo non può essere realizzato.

Utilizzando quindi un conduttore HVI® è stato costruito un impianto di protezione contro i fulmini con impianto di captazione separato. Questo ha imposto l'utilizzo dei seguenti componenti:

- ⇒ punte di captazione su tubi di sostegno isolati in poliestere rinforzato, fissate direttamente al palo d'antenna (Figura 5.2.4.2.2a);
- ⇒ calata dalla punta di captazione per mezzo di un conduttore HVI® con collegamento all'anello perimetrale isolato (Figura 5.2.4.3.2).
- ⇒ chiusura finale del terminale di connessione per impedire la scarica in superficie al terminale di connessione LPS (Figura 5.2.4.2.2a e 5.2.4.2.2b);

⇒ anello perimetrale isolato eseguito separatamente su sostegni isolati in poliestere rinforzato, altezza dei sostegni secondo il calcolo della distanza di sicurezza necessaria;

⇒ calate provenienti dall'anello perimetrale isolato che passano attraverso i rispettivi attici in metallo e la facciata metallica, condotte verso le calate al 6° piano con la necessaria distanza di sicurezza rispetto all'attico inferiore (Figura 5.2.4.3.3)

⇒ anello perimetrale supplementare, interconnessione di tutte le calate, all'altezza di ca. 15 m dell'edificio, per ridurre la necessaria distanza di sicurezza s del dispositivo di captazione e di calata (Figure 5.2.4.3.4 e 5.2.4.4.1).

I diversi passi di implementazione, descritti nel dettaglio, sono riassunti nella figura 5.2.4.3.4. E' importante anche sottolineare, che il concetto di realizzazione è stato discusso nel dettaglio con l'installatore dell'impianto, per evitare errori in fase di esecuzione.

Durante la progettazione della protezione contro i fulmini esterna si è fatta attenzione a mantenere all'interno del volume protetto/angolo di protezione dell'impianto di captazione anche il terrazzo sul tetto al 6° piano (Figura 5.2.4.3.1) e le strutture più basse (Figura 5.2.4.3.4).

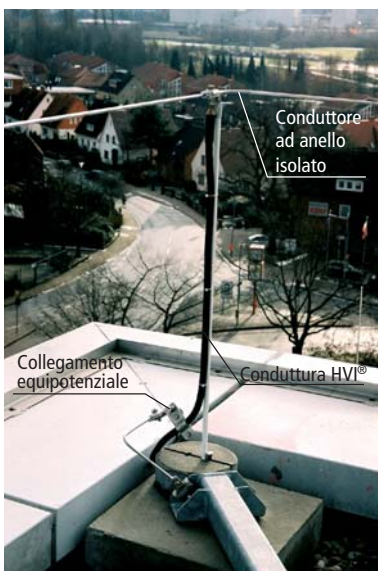


Figura 5.2.4.3.3 Calata dell'anello perimetrale isolato



Figura 5.2.4.3.4 Vista totale - Nuovo impianto di protezione da fulmini esterno

### 5.2.4.4 Distanza di sicurezza

Per calcolare la distanza di sicurezza  $s$  necessaria non doveva essere solo considerata l'altezza dell'edificio, ma anche le altezze delle singole antenne con il dispositivo di captazione isolato.

Le quattro antenne negli angoli superano il piano del tetto di 3,6 m. L'antenna centrale supera il piano del tetto di 6,6 m.

Così, considerando l'altezza dell'edificio, risultano le seguenti altezze complessive, che devono essere considerate per il calcolo dell'impianto:

- ⇒ 4 antenne negli angoli fino alla base della punta di captazione + 29,40 m;
- ⇒ 1 antenna al centro del tetto fino alla base della punta di captazione + 32,40 m;
- ⇒ tre altre aste di captazione indipendenti isolate, sul lato ovest del tetto, e due pali di captazione sul terrazzo al 6° piano, sul lato sud, realizzano il volume protetto complessivo del piano del tetto.

Come calata isolata è stato utilizzato un cavo speciale, DEHNconductor, di tipo HVI, con il quale è stato possibile mantenere la distanza di sicurezza  $s = 0,75$  (aria) / 1,5 m (muratura).

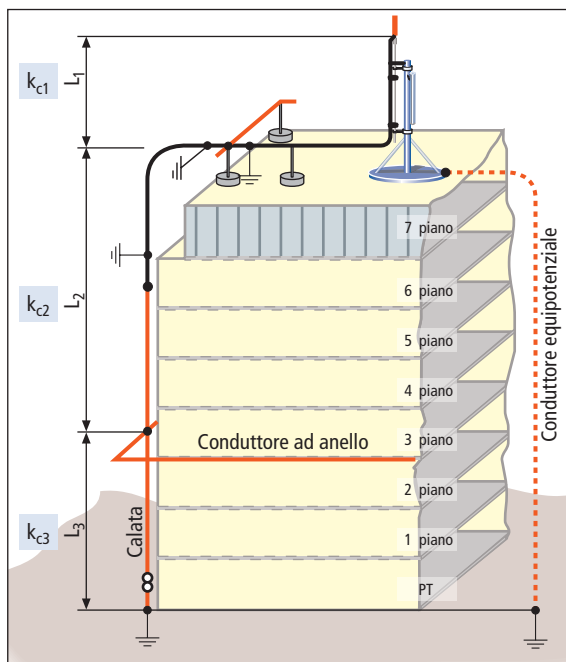


Figura 5.2.4.4.1 Calcolo della distanza di sicurezza necessaria

Il calcolo delle necessarie distanze di sicurezza è stato eseguito suddiviso per tre segmenti, come illustrato in figura 5.2.4.4.1:

- 1) Segmento dell'altezza + 32,4 m e dell'altezza + 29,4 m (antenne) fino a + 27,3 m (anello perimetrale isolato) sul piano del tetto.
- 2) Segmento da + 27,3 m fino a + 15,0 m (anello perimetrale isolato sul tetto fino all'anello supplementare inferiore).
- 3) Segmento da + 15,0 m fino a  $\pm 0$  m (anello inferiore fino al livello del suolo).

Il sistema di calata è composto da sei calate dall'anello, ad altezza +27,3 m, fino all'anello supplementare, a livello + 15,0 m. L'anello a livello + 15,0 m è collegato al dispersore ad anello tramite le sei calate della struttura residenziale e quattro ulteriori calate sulle parti dell'edificio annesso.

Questo produce una distribuzione della corrente diversificata nelle singole zone, che doveva essere considerata durante la progettazione dell'impianto di protezione contro i fulmini.

L'equipotenzialità necessaria e la messa a terra delle componenti dell'antenna sulla superficie del tetto (considerando le canaline, le facciate metalliche e gli attici sulle due superfici del tetto) sono state ottenute attraverso due ulteriori cavi di messa a terra H07V-R 1 x 25mm<sup>2</sup>, collegati al sistema equipotenziale delle singole stazioni BTS.

Con la realizzazione di questo impianto di captazione isolato sul piano del tetto e sulle strutture dell'antenna, nonché con le calate isolate nelle zone con parti metalliche dell'edificio, viene evitata l'infiltrazione di correnti parziali da fulmine all'interno dell'edificio.

## 5.3 Materiali e dimensioni minime per organi di captazione e di calata

Nella tabella 5.3.1 sono indicati le sezioni minime, la forma e il materiale impiegati per gli impianti di captazione.

Questi requisiti risultano dalla conduttività elettrica dei materiali utilizzati per condurre la corrente da fulmine (aumento di temperatura) e le sollecitazioni meccaniche durante l'utilizzo.

Materiale	Configurazione	Sezione minima mm <sup>2</sup>	Commento <sup>10)</sup>
Rame	nastro massiccio tondo massiccio <sup>7)</sup> cordato tondo massiccio <sup>3), 4)</sup>	50 <sup>8)</sup> 50 <sup>8)</sup> 50 <sup>8)</sup> 200 <sup>8)</sup>	2 mm di spessore minimo 8 mm di diametro 1,7 mm di diam. min. di ciascun cond. elementare di diametro 16 mm
Rame stagnato <sup>1)</sup>	nastro massiccio tondo massiccio <sup>7)</sup> cordato	50 <sup>8)</sup> 50 <sup>8)</sup> 50 <sup>8)</sup>	2 mm di spessore minimo 8 mm di diametro 1,7 mm di diam. min. di ciascun cond. elementare
Alluminio	nastro massiccio tondo massiccio cordato	70 50 <sup>8)</sup> 50 <sup>8)</sup>	3 mm di spessore minimo 8 mm di diametro 1,7 mm di diam. min. di ciascun cond. elementare
Lega di alluminio	nastro massiccio tondo massiccio cordato tondo massiccio <sup>3)</sup>	50 <sup>8)</sup> 50 50 <sup>8)</sup> 200 <sup>8)</sup>	2,5 mm di spessore minimo 8 mm di diametro 1,7 mm di diam. min. di ciascun cond. elementare 16 mm di diametro
Acciaio zincato a caldo <sup>2)</sup>	nastro massiccio tondo massiccio <sup>9)</sup> cordato tondo massiccio <sup>3), 4), 9)</sup>	50 <sup>8)</sup> 50 50 <sup>8)</sup> 200 <sup>8)</sup>	2,5 mm di spessore minimo 8 mm di diametro 1,7 mm di diam. min. di ciascun cond. elementare 16 mm di diametro
Acciaio inox <sup>5)</sup>	nastro massiccio <sup>6)</sup> tondo massiccio <sup>6)</sup> cordato tondo massiccio <sup>3), 4)</sup>	50 <sup>8)</sup> 50 70 <sup>8)</sup> 200 <sup>8)</sup>	2 mm di spessore minimo 8 mm di diametro 1,7 mm di diam. min. di ciascun cond. elementare 16 mm di diametro

1) Stagnatura a caldo o galvanica, spessore minimo del rivestimento 1 µm.

2) Il rivestimento dovrebbe essere liscio, continuo e privo di fondente con uno spessore minimo di 50 µm.

3) Utilizzabile solo per aste di captazione. Per applicazioni dove le sollecitazioni meccaniche come l'azione del vento non sono critiche, può essere utilizzata un'asta di max. 1 m di lunghezza con diametro 10 mm con ancoraggio aggiuntivo.

4) Utilizzabile solo per aste di adduzione.

5) Cromo ≥ 16 %, nichel ≥ 8 %, carbonio ≤ 0,03 %

6) Per l'acciaio inossidabile immerso nel calcestruzzo e/o in contatto diretto con materiali infiammabili, la sezione minima dovrebbe essere aumentata a 78 mm<sup>2</sup> (10 mm di diametro) per il tondo massiccio e a 75 mm<sup>2</sup> (3 mm di spessore) per il nastro massiccio.

7) In alcune applicazioni, dove la resistenza meccanica non è essenziale, i 50 mm<sup>2</sup> (8 mm di diametro) possono essere ridotti a 28 mm<sup>2</sup> (6 mm di diametro). In questo caso dovrebbe essere considerata la diminuzione della distanza tra gli elementi di ancoraggio.

8) Se i requisiti termici e meccanici sono importanti, queste dimensioni possono essere aumentate a 60 mm<sup>2</sup> per il nastro massiccio e a 78 mm<sup>2</sup> per il tondo massiccio.

9) La minima sezione per evitare la fusione, assumendo un'energia specifica di 10.000 kJ/Ω, è pari a 16 mm<sup>2</sup> (rame), 25 mm<sup>2</sup> (alluminio), 50 mm<sup>2</sup> (acciaio) e 50 mm<sup>2</sup> (acciaio inossidabile). Per ulteriori informazioni vedere Allegato E.

10) La tolleranza per spessore, larghezza e diametro è definita con ± 10 %.

Tabella 5.3.1 Materiale, forma e sezioni minime di conduttori di captazione, aste di captazione e conduttori di discesa



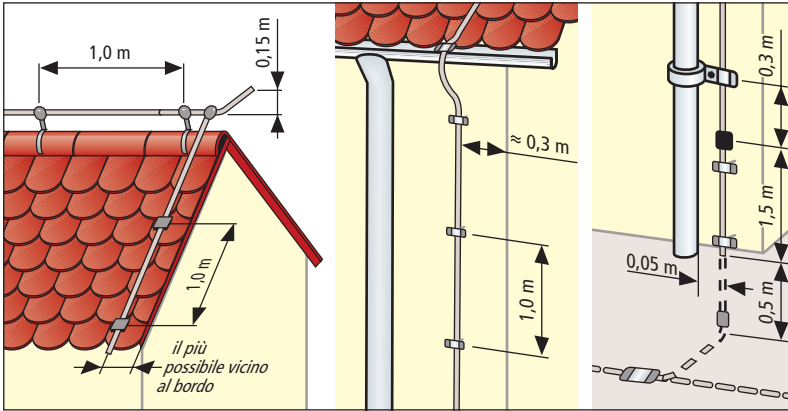


Figura 5.4.1 Esempi dettagliati di una protezione contro i fulmini esterna su una struttura con tetto a falda e tegole

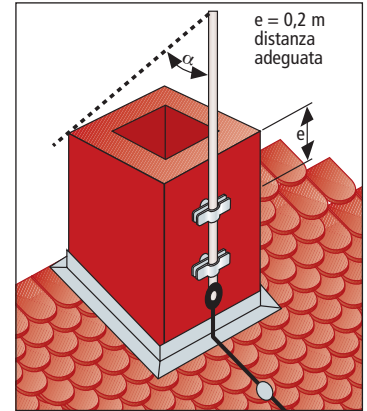


Figura 5.4.2 Asta di captazione per camino

Quando si utilizza un tondino  $\varnothing 8$  mm come punta di captazione, è ammessa un'altezza libera massima di 0,5 m. La limitazione dell'altezza per il tondino  $\varnothing 10$  mm è di 1 m di lunghezza libera.

**Nota:**

Secondo CEI EN 62305-3, capitolo 6.2.2, tabella 8, la sezione minima richiesta per un conduttore di collegamento tra barre equipotenziali è  $14 \text{ mm}^2$  ( $16 \text{ mm}^2$  Cu).

Dai test eseguiti con conduttori in rame isolati in PVC e con corrente impulsiva di 100 kA ( $10/350 \mu\text{s}$ ) è stato rilevato un aumento della temperatura di circa 56 K. Sarebbe quindi possibile utilizzare un cavo H07V-R  $1 \times 16 \text{ mm}^2$  Cu come calata oppure come conduttore di interconnessione.

## 5.4 Misure di montaggio per organi di captazione e di discesa

Le seguenti misure (Figura 5.4.1) si sono affermate nella pratica e vengono dettate soprattutto dalle forze meccaniche che agiscono sull'impianto di protezione contro i fulmini esterno.

Queste forze meccaniche si creano non tanto per effetto delle forze elettrodinamiche generate dal flusso della corrente da fulmine, quanto a causa delle forze di compressione e trazione, ad esempio in caso di dilatazione termica, dal vento o dal peso della neve.

L'indicazione sulle distanze massime di 1,2 m tra le staffe portafilo è data principalmente dalla relazione Fe/tZn (relativamente rigido). Nella pratica si

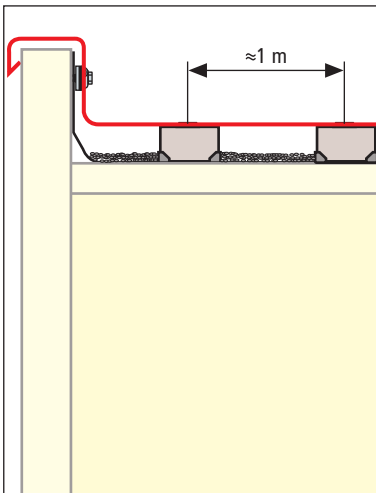


Figura 5.4.3 Applicazione su tetto piano

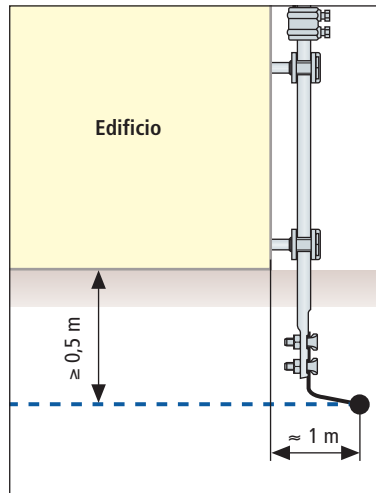


Figura 5.4.4 Misure per dispersori ad anello

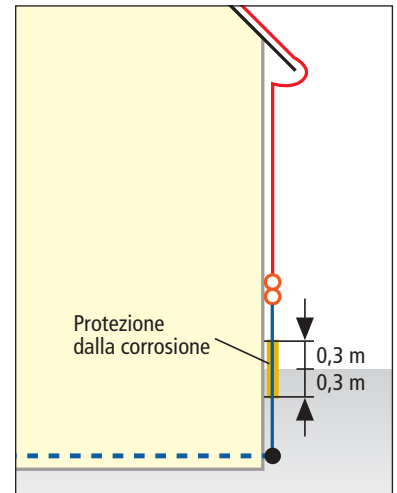


Figura 5.4.5 Punti a rischio di corrosione

	Acciaio (tZn)	Alluminio	Rame	INOX	Titanio	Stagno
Acciaio (tZn)	sì	sì	no	sì	sì	sì
Alluminio	sì	sì	no	sì	sì	sì
Rame	no	no	sì	sì	no	sì
INOX	sì	sì	sì	sì	sì	sì
Titanio	sì	sì	no	sì	sì	sì
Stagno	sì	sì	sì	sì	sì	sì

Tabella 5.4.1 Combinazioni di materiali

sono affermate, per l'utilizzo di alluminio, pure le distanze di 1 m.

Nella norma CEI EN 62305-3 vengono consigliate per la protezione contro i fulmini esterna, le seguenti misure di montaggio corrispondenti alle figure 5.4.1 e 5.4.2.

La figura 5.4.3 illustra l'utilizzo su un tetto piano. Se possibile, durante la posa delle calate dovrebbe essere rispettata la distanza di sicurezza s verso finestre, porte e altre aperture. Altre misure di montaggio importanti sono raffigurare nelle figure 5.4.3 - 5.4.5.

Posa di dispersori orizzontali (ad esempio dispersore ad anello) intorno all'edificio ad una profondità di > 0,5 m e con una distanza di ca. 1 m dall'edificio (Figura 5.4.4).

Per le adduzioni nel terreno o i collegamenti al dispersore di fondazione (dispersore ad anello) deve essere osservata la protezione dalla corrosione. Devono essere prese delle misure come l'applicazione di un nastro di protezione da corrosione oppure l'utilizzo di conduttori con rivestimento in PVC, minimo 0,3 m sopra e sotto allo strato erboso (entrata nel terreno) (Figura 5.4.5).

Una possibilità esteticamente accettabile ed esente da corrosione viene offerta da un punto fisso di messa a terra in acciaio inossidabile, annegato nel calcestruzzo.

Inoltre, per il collegamento al sistema equipotenziale all'interno dell'edificio in caso di locali umidi o bagnati, deve essere prevista una protezione contro la corrosione.

A condizione che non debbano essere presi in considerazione effetti ambientali aggressivi particola-

ri, si sono affermate le combinazioni di materiali (per impianti di captazione, calate e parti della struttura) indicate nella tabella 5.4.1. Si tratta di valori empirici desunti dall'esperienza .

#### 5.4.1 Dilatazione dei fili in metallo

Nella pratica viene spesso sottovalutata la dilatazione termica dovuta alle variazioni di temperatura di dispositivi di captazione e di calata.

Nelle norme e direttive più vecchie veniva forfettariamente suggerito di inserire circa ogni 20 m un elemento di dilatazione. Questo numero si riferiva all'uso abituale ed esclusivo di conduttori in acciaio utilizzato in passato. I valori più alti dei coefficienti di dilatazione dei materiali quali acciaio inossidabile, rame e soprattutto alluminio non venivano considerati.

Sul tetto, durante l'anno deve essere calcolato uno sbalzo di temperatura di 100 K. I cambiamenti di lunghezza risultanti, relativi ai diversi materiali dei conduttori metallici, sono rappresentati nella tabella 5.4.1.1. Si può notare che il coefficiente di dilatazione dell'alluminio è di circa 2 volte quello dell'acciaio.

Per l'utilizzo degli elementi di dilatazione valgono quindi le indicazioni riportate nella tabella 5.4.1.2. Quando si utilizzano elementi di dilatazione è necessario accertarsi che questi garantiscano una compensazione di lunghezza flessibile. La piegatura a S di conduttori metallici non è sufficiente dal momento che questi "elementi di dilatazione", spesso creati sul posto a mano, non sono abbastanza flessibili.

Materiale	Coefficiente di dilatazione $\alpha$	$\Delta L$ Formula per il calcolo $\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$ Cambiamento presunto della temperatura presunta sul tetto: $\Delta T = 100 \text{ K}$
	$\frac{1}{10^6} \frac{1}{\text{K}}$	
Acciaio	11,5	$\Delta L = 11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 100 = 0,115 \text{ cm} \approx 1,1 \text{ mm/m}$
Inox	16	$\Delta L = 16 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 100 = 0,16 \text{ cm} = 1,6 \text{ mm/m}$
Rame	17	$\Delta L = 17 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 100 = 0,17 \text{ cm} = 1,7 \text{ mm/m}$
Alluminio	23,5	$\Delta L = 23,5 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 100 = 0,235 \text{ cm} \approx 2,3 \text{ mm/m}$

Tabella 5.4.1.1 Calcolo della dilatazione termica  $\Delta L$  dei conduttori metallici nella protezione contro i fulmini



Figura 5.4.1.1 Dispositivo di captazione - Compensazione della dilatazione con bandella

Per il collegamento di impianti di captazione, ad esempio su attici in metallo attorno ai bordi del tetto, occorre accertarsi di realizzare un collegamento flessibile con elementi o dispositivi adatti. Se non viene eseguito questo collegamento flessibile, esiste il pericolo che la copertura metallica dell'attico venga danneggiata a causa della dilatazione termica. Per compensare la dilatazione termica dei conduttori di captazione, devono essere utilizzati degli elementi di dilatazione per la compensazione della lunghezza (Figura 5.4.1.1).

#### 5.4.2 Protezione contro i fulmini esterna per una struttura industriale e residenziale

La figura 5.4.2.1a mostra l'esecuzione di una protezione dai fulmini esterna per un'abitazione con garage annesso e figura 5.4.2.1b per una struttura industriale.

In seguito verranno riportati come esempio gli elementi attualmente utilizzati (Figura 5.4.2.1a e b e Tabelle 5.4.2.1a e b).

Non sono state prese in considerazione le misure di protezione contro i fulmini interne, come ad esempio l'equipotenzialità antifulmine e la protezione da sovratensioni (vedere a questo proposito il capitolo 6).

In particolare si rimanda ai sistemi di staffe DEHNSnap e DEHNgrip.

La serie di staffe in materiale plastico DEHNSnap (Figura 5.4.2.2) è idonea come componente base (tetto o muro). Con il semplice inserimento del cappuccio il conduttore viene fissato nella staffa pur mantenendo una sua completa libertà di movimento. La particolare tecnica di innesto non esercita alcun effetto di sollecitazione meccanica sulla chiusura.

Materiale	Sottofondo per l'ancoraggio dei conduttori di captazione e di calata		Distanza elementi di dilatazione in m
	morbido, p. es. tetto piano con guaine di bitume o plastica	duro, p. es. tegole o muratura	
Acciaio	X		$\approx 15$
		X	$\leq 20$
Acciaio inossidabile/Rame	X		$\approx 10$
		X	$\leq 15$
Alluminio	X	X	$\leq 10$
Utilizzo degli elementi di dilatazione, se non esiste altra compensazione della lunghezza.			

Tabella 5.4.1.2 Elementi di dilatazione nella protezione contro i fulmini - Applicazione raccomandata

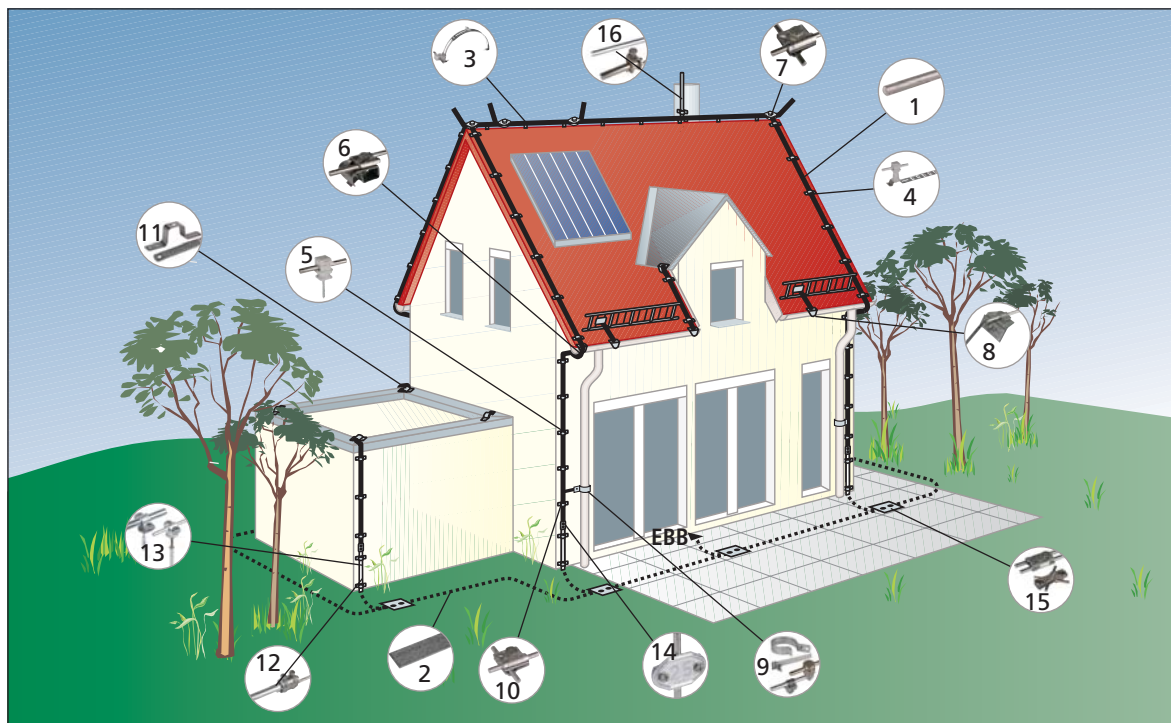


Figura 5.4.2.1a Protezione contro i fulmini esterna per un'abitazione

Pos.	Descrizione articolo	Art.	Pos.	Descrizione articolo	Art.		
1	Tondino ø 8 mm - DEHNALU, semicrudo oppure ricotto malleabile	840 008	7	Morsetto MV	Fe/tZn 390 050		
		840 018			INOX 390 059		
2	Bandella in acciaio 30 x 3,5 mm	Fe/tZn 810 335	8	Morsetto per griglia fermaneve	Fe/tZn 343 000		
	Tondino in acciaio ø 10 mm	INOX AISI 316 860 010					
3	Staffe portafilo per colmi e displuvi	Fe/tZn 202 020	9	Collare per grondaia, variabile da ø 60 - 150 mm	423 020		
		INOX 204 109			Connettore KS	301 000	
		INOX 204 249			Connettore KS	INOX 301 009	
		INOX 204 269	10	Morsetto MV	390 051		
		INOX 206 109			11	Ponticello	Alluminio 377 006
		INOX 206 239					Ponticello
4	Staffe portafilo per tetto	INOX 204 149	12	Asta di adduzione ø 16 mm completa	480 150		
		INOX 204 179			13	Staffa portasta con cavalletto e rondella di copertura Staffa portasta per isolamento termico	275 260
		Fe/tZn 202 010	273 730				
		Fe/tZn 202 050	14	Targhetta di identificazione per punti di sezionamento			480 006
		Fe/tZn 202 080					480 005
		INOX 206 209			15	Connettore parallelo	305 000
Fe/tZn 206 309	306 020						
5	DEHNsnap	204 006	Morsetto a croce	319 201			
	DEHNgrip	207 009	Morsetto SV	Fe/tZn 308 220			
	Staffa portafilo con cavalletto e rondella di copertura	275 160	Morsetto SV	INOX 308 229			
	Staffa portafilo per isolamento termico	273 740	16	Asta di captazione con attacco per connettore KS Asta di captazione bombata da ambo i lati Morsetto per asta			100 100
6	Morsetto per grondaia con ribordo	Fe/tZn 339 050			483 100		
		INOX 339 059			380 020		
		Fe/tZn 339 100					
	Morsetto per grondaia a vite unica	INOX 339 109					

Tabella 5.4.2.1a Elementi per la protezione contro i fulmini esterna di un'abitazione

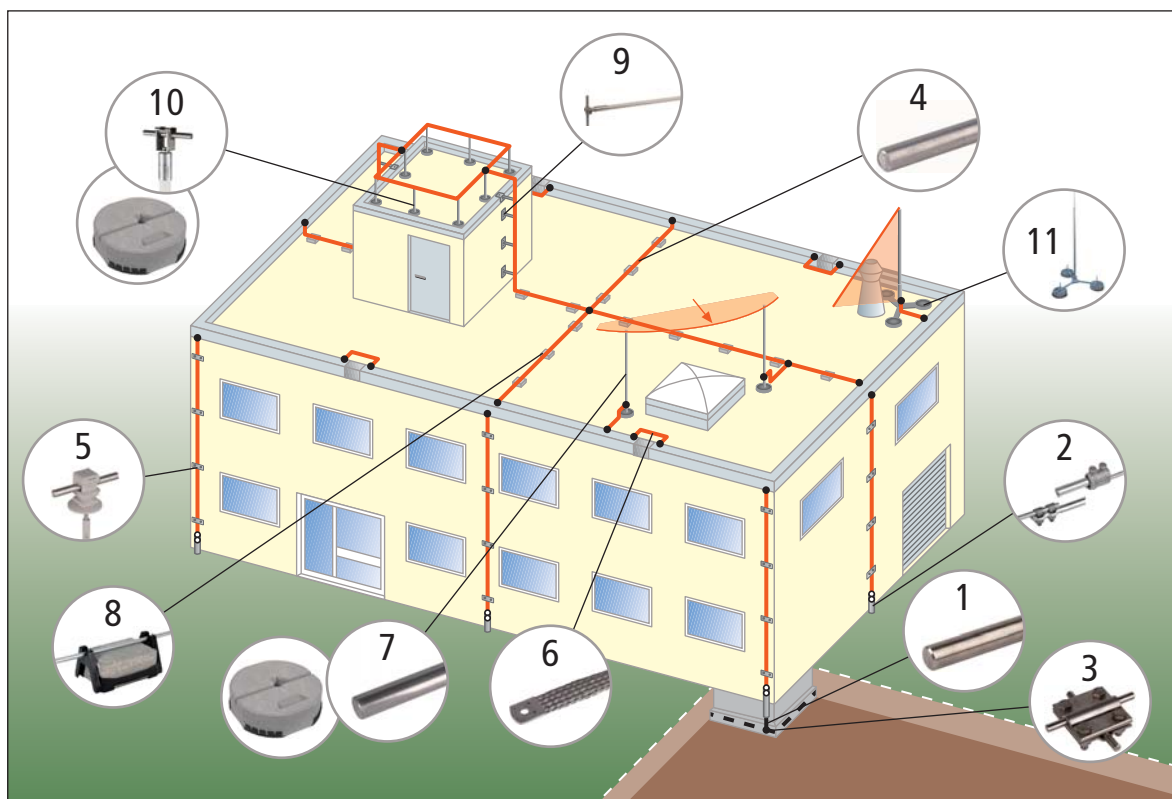


Figura 5.4.2.1b Protezione contro i fulmini esterna di una struttura industriale

Pos.	Descrizione articolo	Art.	Pos.	Descrizione articolo	Art.
1	Tondino in acciaio inossidabile $\varnothing$ 10 mm INOX	860 010	8	Staffa portafilo per tetto piano	253 050
2	Asta di adduzione-Set	Fe/tZn 480 150	9	Distanziatore DEHNiso	ZM-Fe/tZn 106 100
3	Morsetto a croce	INOX 319 209	10	Conduttore ad anello sollevato con zoccolo in cemento e base di supporto e distanziatori	INOX 102 340
4	Tondino DEHNALU®	AlMgSi 840 008			INOX 106 160
5	Staffa portafilo DEHNSnap®	204 120	11	Asta di captazione indipendente	105 500
6	Treccia di ponticellamento	Al 377 015			
7	Asta di captazione con zoccolo in cemento e base di supporto	AlMgSi 104 200 120 340			

Tabella 5.4.2.1b Elementi per la protezione contro i fulmini esterna di una struttura industriale

DEHNgrip (Figura 5.4.2.2) è un sistema di fissaggio senza viti in acciaio INOX, che è stato inserito nel programma come complemento al sistema di staffe in materiale plastico DEHNSnap.

Questo sistema di staffe senza viti può essere utilizzato come staffe portafilo sia sul tetto che sul muro per conduttori  $\varnothing$  8 mm.

Una semplice pressione è sufficiente per fissare il conduttore al DEHNgrip (Figura 5.4.2.2).

### 5.4.3 Indicazioni per il montaggio di staffe portafilo per tetto

#### Tegole per colmo e displuvio:

Regolare le staffe portafilo per tetti con la vite di regolazione sulle misure corrispondenti alla tegola di colmo (Figura 5.4.3.1).

La guida del conduttore può inoltre essere regolata attraverso la staffa portafilo dal punto centrale superiore fino al punto inferiore laterale.

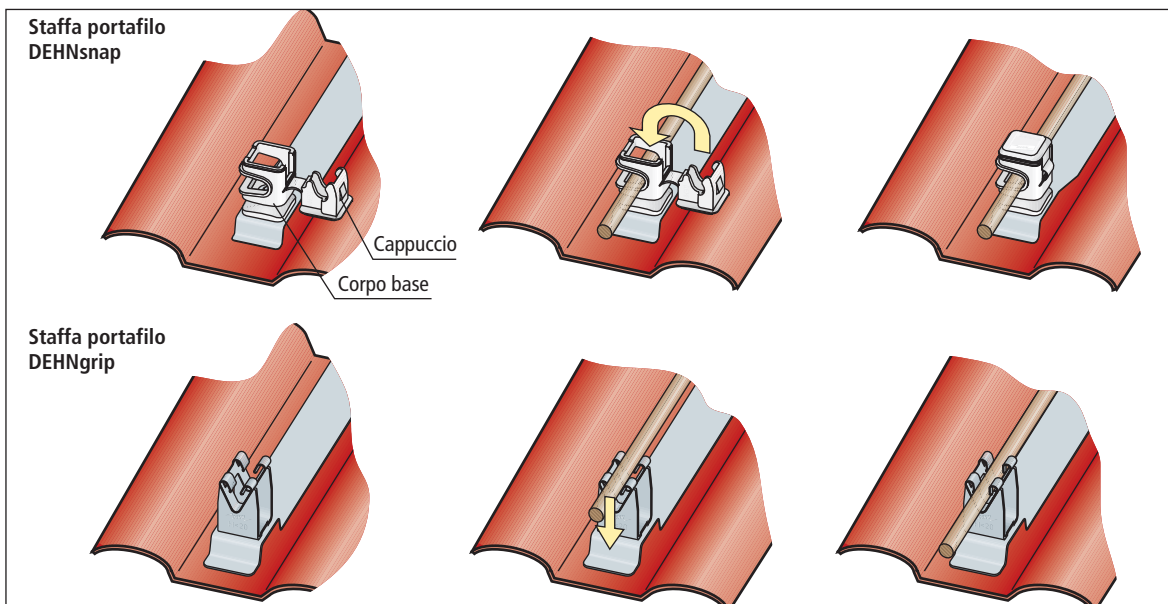


Figura 5.4.2.2 Staffa portafilo DEHNSnap e DEHNgrab

(L'allentamento della staffa portafilo è possibile ruotando la staffa o aprendo la vite di fissaggio).

⇒ Staffa portafilo per tetti SPANNsnap con staffa portafilo DEHNSnap in materiale plastico oppure staffa portafilo in acciaio inossidabile DEHNgrab (Figura 5.4.3.2).

Forza di tensione permanente attraverso molla INOX. Campo di serraggio universale di 180-

280 mm con regolazione laterale del conduttore per conduttori tondi da 8 mm.

⇒ Staffa portafilo FIRSTsnap con staffa portafilo DEHNSnap in materiale plastico, per il montaggio su graffe del colmo già esistenti per colmi non murati.

Su colmi senza presa a malta, la staffa portafilo DEHNSnap (1) (Figura 5.4.3.3) viene innesta-

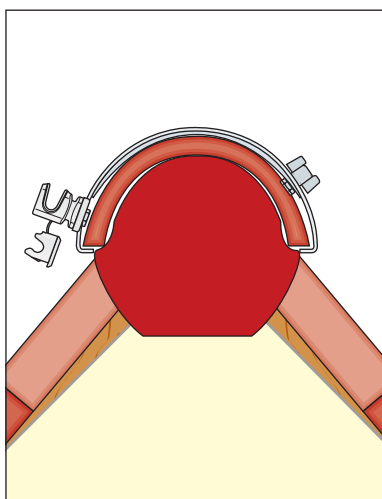


Figura 5.4.3.1 Staffa portafilo con DEHNSnap per tegola di colmo

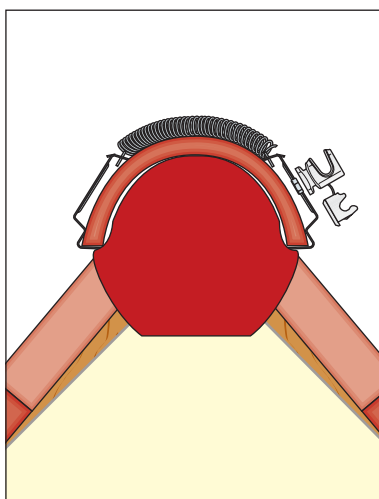


Figura 5.4.3.2 SPANNsnap con staffa portafilo in materiale plastico DEHNSnap

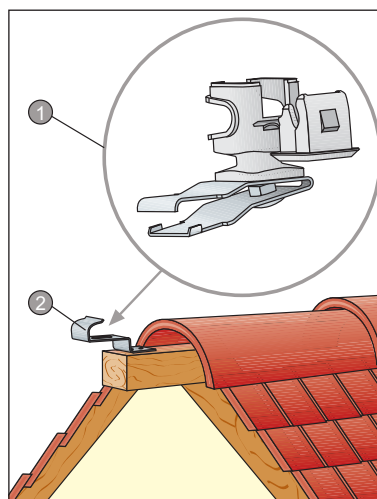


Figura 5.4.3.3 FIRSTsnap per il montaggio su staffa di colmo già esistente

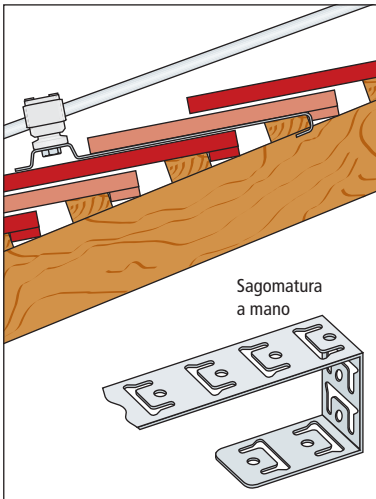


Figura 5.4.3.4 Staffa portafilo per tetti con grappa punzonata - Utilizzo su tegole marsigliesi

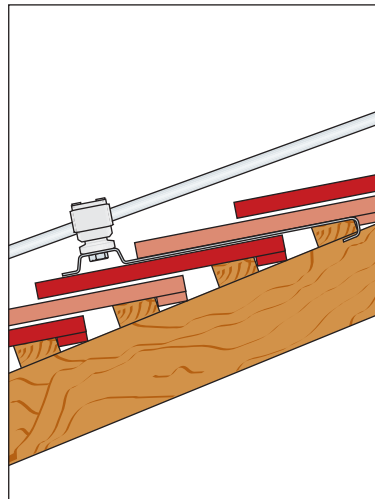


Figura 5.4.3.5 Staffa portafilo per tetti con grappa punzonata - Utilizzo su tegole piatte (ad esempio embrice)

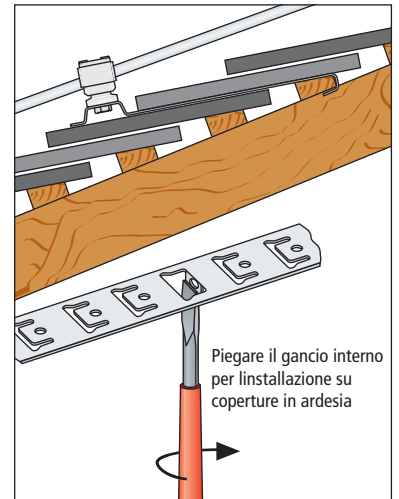


Figura 5.4.3.6 Staffa portafilo per tetti con grappa punzonata - Utilizzo su tetti in ardesia

ta sulla grappa di colmo esistente (2) e avvitata a mano (ruotando solo DEHNSnap).

#### Tegole marsigliesi:

Per le coperture dei tetti vengono utilizzate le staffe portafilo per tetti con grappa stampata. Dopo la piegatura a gomito realizzata a mano, la staffa portafilo viene agganciata nel listello del tetto e in aggiunta può essere fissata con chiodi (Figura 5.4.3.4).

#### Tegole lisce (Figura 5.4.3.5.)

#### Tetti in ardesia:

Per l'utilizzo su tetti in ardesia l'aggancio interno può essere piegato a gomito (Figura 5.4.3.6) oppure essere provvisto di elemento di fissaggio supplementare (articolo n° 204 089).

#### Tegole scanalate:

⇒ Staffa portafilo FLEXIsnap per tegole scanalate, per l'inserimento diretto sulla scanalatura (Figura 5.4.3.7).

La grappa flessibile in INOX viene inserita tra le tegole scanalate.

Premendo sulla tegola superiore, la grappa in INOX si deforma e si adatta alla scanalatura. Rimane così fissata sotto la tegola.

Questa applicazione con una grappa in alluminio permette un facile adattamento alla sagoma della scanalatura. E' prevista una rientranza per l'eventuale gancio di sicurezza esistente.

La grappa della staffa può anche essere fissata con chiodi (grappa forata).

⇒ Staffe portafilo per tetti con grappa preformata, per agganciarle alla scanalatura inferiore della tegola (Figura 5.4.3.8).

#### Tegole piatte o lastre:

La staffa portafilo DEHNSnap (1) (Figura 5.4.3.9) viene inserita con il suo dispositivo di fissaggio (2) tra le tegole piatte (3) (ad esempio embrice) oppure su lastre e avvitata a mano (ruotare soltanto DEHNSnap).

#### Costruzioni sovrapposte

La staffa portafilo DEHNSnap (1) (Figura 5.4.3.10) con morsetto (2) viene in caso di costruzione sovrapposta (3) (ad esempio lastre e ardesia naturale) infilata lateralmente e, a staffa aperta, fissata con un cacciavite.

Con delle lastre posate in obliquo, DEHNSnap può essere girata anche in modo da permettere una guida di conduttore perpendicolare.

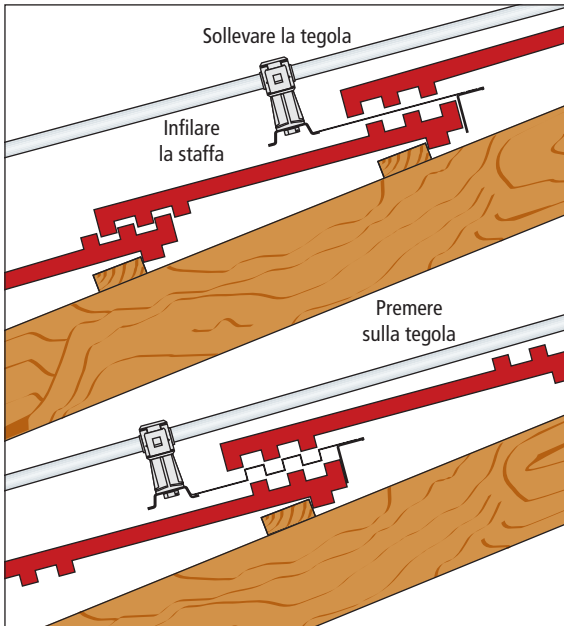


Figura 5.4.3.7 Staffa portafilo per l'adattamento diretto alla sagoma delle scanalature

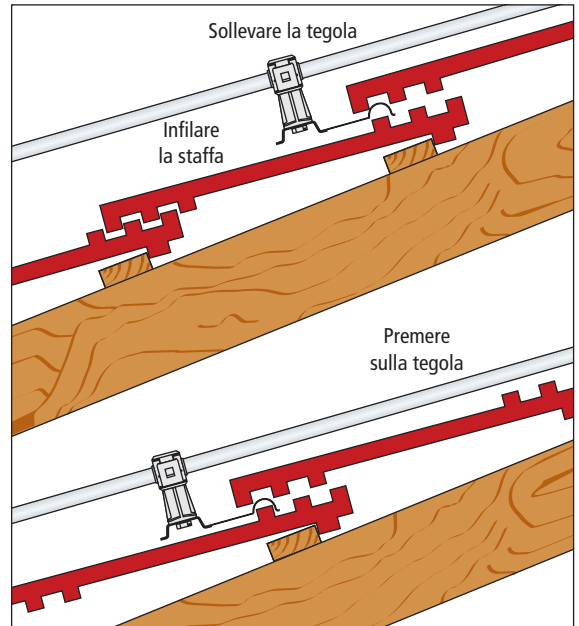


Figura 5.4.3.8 Staffa portafilo per tetti per aggancio nella scanalatura inferiore della tegola

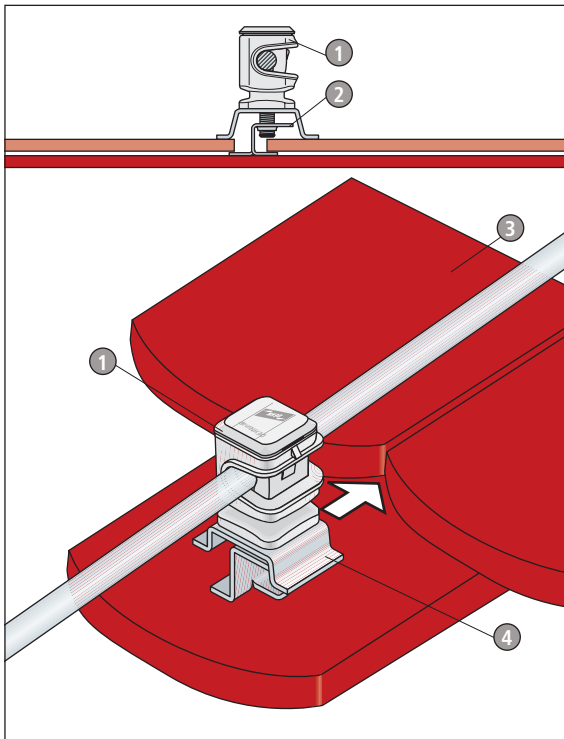


Figura 5.4.3.9 ZIEGELsnap, per il fissaggio tra tegole piatte o lastre

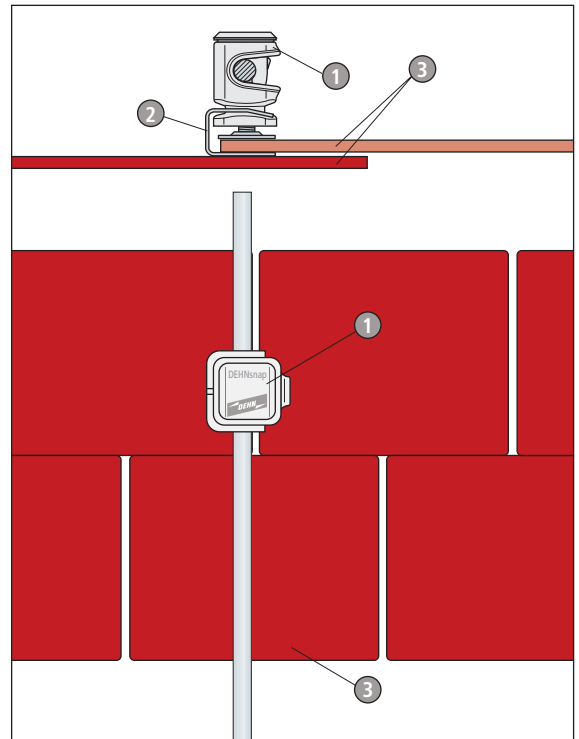


Figura 5.4.3.10 Staffa portafilo per tetti PLATTENsnap per costruzioni sovrapposte



## 5.5 Impianti di messa a terra

Un'ampia descrizione dei termini usati nella tecnologia di messa a terra è riportata nella CEI EN 62305-3 "Protezione contro i fulmini - Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone", CEI 11-1 "Impianti elettrici con tensioni superiori a 1 kV in corrente alternata", CEI 64/8 "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V" (parte 2 e 5) e CEI 64-12 "Guida per l'esecuzione dell'impianto di terra negli edifici per uso residenziale e terziario". Di seguito verranno ripetuti solo i termini necessari per comprendere le spiegazioni seguenti.

### Definizioni

#### Terra

Il terreno come conduttore il cui potenziale elettrico in ogni punto è convenzionalmente considerato uguale a zero. La parola "terra" è utilizzata anche per indicare sia la terra come luogo che la terra come materiale, ad esempio il tipo di terreno: humus, argilla, sabbia, ghiaia e roccia.

#### Terra di riferimento (terra lontana)

Parte superficiale della terra, fuori dall'area di influenza di un dispersore o di un impianto di terra, nel quale tra due punti qualsiasi non si hanno percettibili differenze di potenziale dovute alla corrente terra (Figura 5.5.1).

#### Dispersore

Conduttore in contatto elettrico con il terreno, o conduttore annegato nel calcestruzzo a contatto con il terreno (include anche dispersori di fondazione).

#### Impianto di terra

Sistema limitato localmente costituito da dispersori o parti metalliche in contatto con il terreno di efficacia uguale a quella dei dispersori (ad esempio armature di fondazioni in calcestruzzo, guaine metalliche di cavi a contatto con il terreno, ecc.).

#### Conduttore di terra

È un conduttore che collega una parte dell'impianto da mettere a terra con un dispersore o che collega tra loro più dispersori, posato fuori dal terreno o interrato nel terreno e da esso isolato.

#### Messa a terra per la protezione contro i fulmini

È la messa a terra di un impianto di protezione contro i fulmini per scaricare verso terra la corrente da fulmine.

Di seguito vengono descritti i tipi di dispersori e la loro classificazione in base a posizione, forma e profilo.

### Classificazione secondo la posizione

#### Dispersore orizzontale

È un dispersore che in genere viene interrato a una profondità di circa 1 m. Può essere costituito da tondini o nastri o conduttori cordati e disposto in modo radiale, ad anello, a maglia, oppure come una combinazione di questi.

#### Dispersore verticale

È un dispersore che viene generalmente interrato o infisso per una profondità maggiore di 1 m. Può ad esempio essere costituito da un tubo, da barra cilindrica o da altro tipo di profilo.

#### Dispersore di fondazione

Uno o più conduttori, annegati nel calcestruzzo a contatto elettrico con il terreno su un'ampia superficie.

#### Dispersore per il controllo del potenziale di terra

È un dispersore, che in base alla sua forma e collocazione, serve principalmente per ridurre il gradiente di potenziale sulla superficie del terreno piuttosto che per ottenere un definito valore di resistenza di terra.

#### Dispersore ad anello

Dispersore, che sotto terra oppure in superficie del terreno, forma un anello chiuso intorno a una struttura.

#### Dispersore di fatto

Parte metallica a contatto con la terra o con acqua direttamente o attraverso calcestruzzo, il cui scopo originale non è la messa a terra, che però soddisfa tutti i requisiti di un dispersore (armature del calcestruzzo, tubature, palificazioni metalliche, ecc.).

### Classificazione secondo la forma e il profilo

Si possono distinguere:

piatto/bandella di terra, dispersore con profilo a croce e dispersore tondo (innestabile).

### Tipi di resistenza

#### Resistività del terreno

$\rho_E$  è la resistenza specifica del terreno. Viene indicata in  $\Omega\text{m}$  e rappresenta la resistenza tra due lati opposti di un cubo di terra di 1 m.

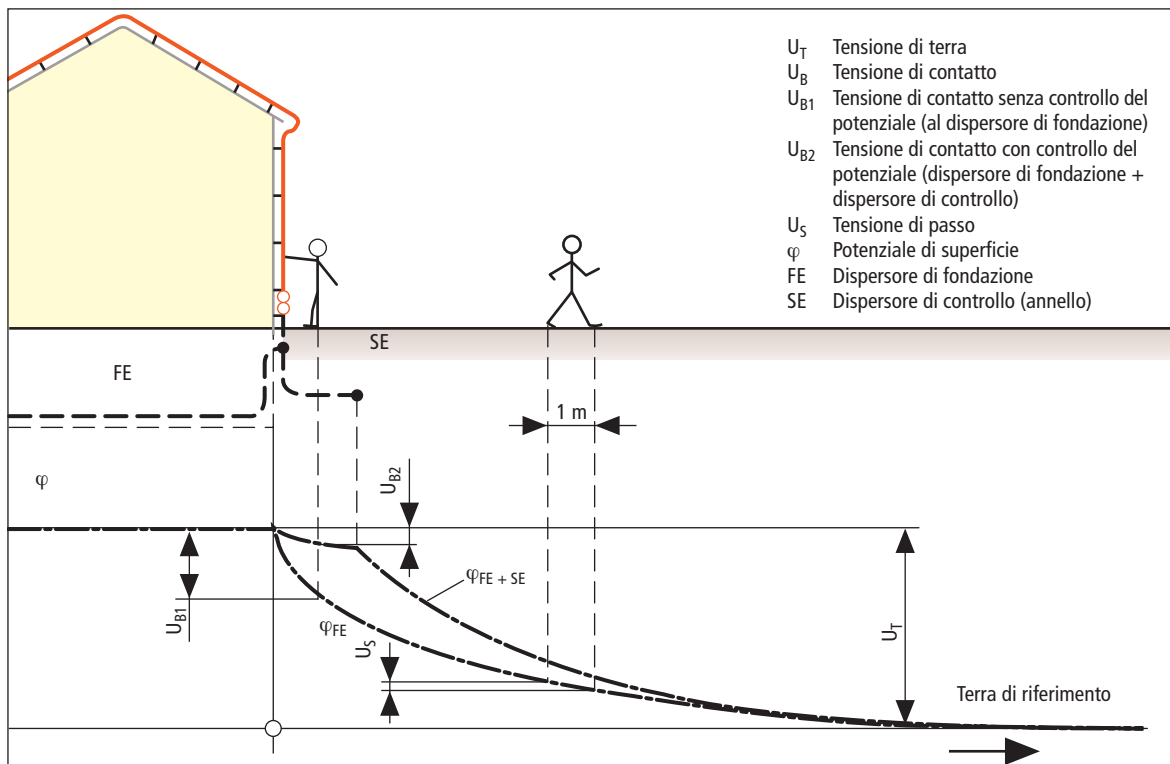


Figura 5.5.1 Potenziale di superficie e tensioni su dispersore di fondazione FE e dispersore di controllo SE percorso da corrente

### Resistenza di terra

$R_A$  di un dispersore è la resistenza tra il dispersore e la terra di riferimento.  $R_A$  è praticamente una resistenza ohmica.

### Resistenza di terra impulsiva

$R_{imp}$  è la resistenza che si riscontra durante il passaggio delle correnti da fulmine tra un punto dell'impianto di terra e la terra di riferimento.

### Tensioni su impianti di terra attraversati da corrente, controllo del potenziale

#### Tensione di terra

$U_E$  è la tensione che si verifica tra un impianto di terra e la terra di riferimento (Figura 5.5.1).

#### Potenziale di superficie del terreno

$\varphi$  è la tensione tra un punto della superficie del terreno e la terra di riferimento (Figura 5.5.1).

#### Tensione di contatto

$U_T$  è la parte del potenziale di terra a cui può essere sottoposta una persona (Figura 5.5.1), conside-

rando che la corrente può fluire attraverso il corpo umano dalla mano al piede (distanza orizzontale dalla massa toccata circa 1 m) oppure da mano a mano.

#### Tensione di passo

$U_S$  è la parte del potenziale di terra a cui può essere sottoposta una persona con un passo di 1 m, considerando la corrente che scorre attraverso il corpo umano da piede a piede (Figura 5.5.1).

#### Regolazione del potenziale

Controllo del gradiente del potenziale di terra, principalmente quello superficiale del terreno, per mezzo di dispersori (Figura 5.5.1).

#### Collegamento equipotenziale

Per gli impianti di protezione contro i fulmini è il collegamento delle masse metalliche e degli impianti elettrici con l'impianto di protezione contro i fulmini attraverso conduttori, scaricatori di corrente da fulmine o spinterometri.

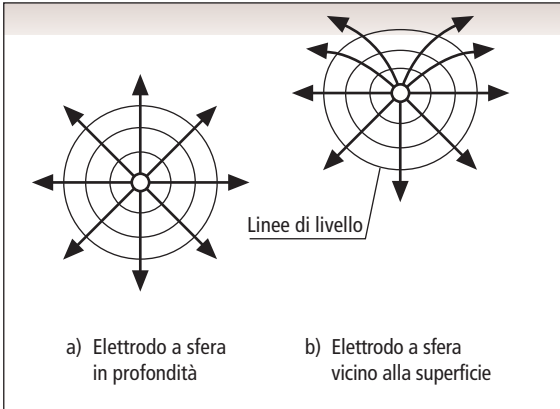


Figura 5.5.2 Corrente in uscita da un dispersore a sfera

## Resistenza di terra / resistività del terreno

### Resistenza di terra $R_A$

Il passaggio della corrente da fulmine attraverso il dispersore verso terra non avviene in un solo punto, ma interessa una determinata zona attorno al dispersore.

La forma del dispersore e il tipo di collocazione devono quindi essere scelti in modo tale, che le tensioni che agiscono sulla superficie (tensioni di contatto o di passo) non assumano valori pericolosi.

La resistenza di terra  $R_A$  di un dispersore può essere spiegata meglio immaginando una sfera di metallo interrata.

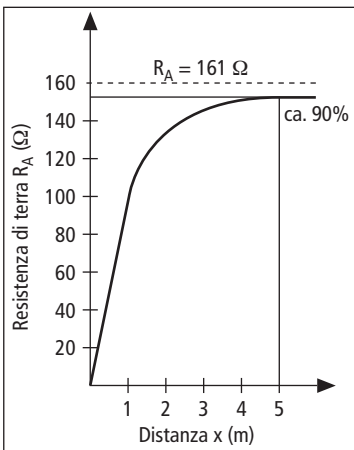


Figura 5.5.3 Resistenza di terra  $R_A$  di un dispersore a sfera con  $\varnothing$  20 cm e 3 m di profondità con  $\rho_E = 200 \Omega\text{m}$  in base alla distanza  $x$  dal centro della sfera

Se la sfera è posizionata a una profondità sufficiente, la corrente si distribuisce in modo uniforme e radiale sopra la superficie della sfera. Questo caso è raffigurato nella **figura 5.5.2a**; per confronto, nella **figura 5.5.2b** viene raffigurato il caso di una sfera interrata immediatamente sotto la superficie.

I cerchi concentrici attorno alla superficie della sfera rappresentano dei livelli di tensione costanti. La resistenza di terra  $R_A$  è composta dalle resistenze parziali dei singoli strati a sfera collegati in serie. La resistenza di un tale strato a sfera si calcola utilizzando la formula:

$$R = \rho_E \cdot \frac{l}{q}$$

dove  $\rho_E$  corrisponde alla resistività del terreno, supponendo che questo sia omogeneo,

$l$  lo spessore di uno strato a sfera immaginario e

$q$  la superficie media di questo strato a sfera.

A questo proposito, supponiamo di utilizzare una sfera di metallo di 20 cm di diametro interrata a 3 m di profondità, con una resistività di 200  $\Omega\text{m}$ .

Se ora si calcola, per i diversi strati a sfera, l'aumento della resistenza di terra, si ottiene, in base alla distanza dal centro della sfera, una curva simile a quella illustrata in **figura 5.5.3**.

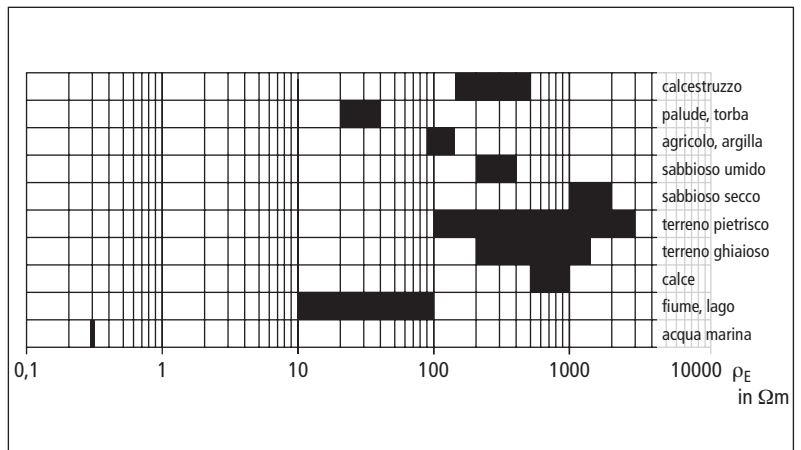


Figura 5.5.4 Resistività del terreno  $\rho_E$  con diversi tipi di terreni

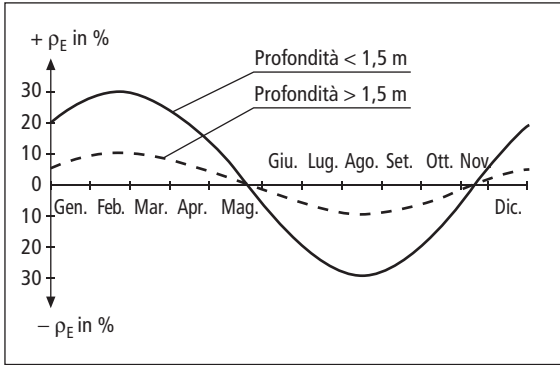


Figura 5.5.5 Resistività del terreno  $\rho_E$  in base alla stagione senza l'influenza delle precipitazioni (profondità di interrimento del dispersore  $< 1,5\text{m}$ )

La resistenza di terra  $R_A$  per il dispersore a sfera si calcola utilizzando la formula:

$$R_A = \frac{\rho_E \cdot 100}{2\pi \cdot r_K} \cdot \frac{1 + \frac{r_K}{2t}}{2}$$

$\rho_E$  resistività del terreno in  $\Omega\text{m}$

$t$  profondità di interrimento in cm

$r_K$  raggio del dispersore a sfera in cm

Questa formula fornisce per il dispersore a sfera una resistenza di terra  $R_A = 161 \Omega$ .

Dal tracciato della curva riportata nella **figura 5.5.3** si evince, che la maggior parte della resistenza di terra totale si verifica nelle dirette vicinanze del dispersore. Quindi, ad esempio ad una distanza di 5 m dal centro della sfera, è stato raggiunto già il 90% della resistenza di terra totale  $R_A$ .

### Resistività del terreno $\rho_E$

La resistività del terreno  $\rho_E$ , determinante per la grandezza della resistenza di terra di un dispersore, dipende dalla composizione del terreno, dall'umidità del terreno e dalla temperatura. Può variare entro dei limiti molto ampi.

### Valori per i diversi tipi di terreni

Nella **figura 5.5.4** sono riportati, per i diversi tipi di terreni, i campi di variazione della resistività del terreno  $\rho_E$ .

### Variazioni dipendenti dalla stagione

Molte misurazioni (bibliografia) hanno dimostrato, che la resistività del terreno può variare note-

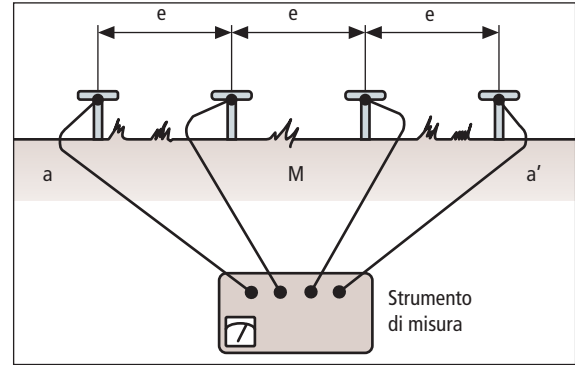


Figura 5.5.6 Determinazione della resistività del terreno  $\rho_E$  con un ponte di misura a quattro morsetti secondo il metodo WENNER

volmente a seconda della profondità di interrimento del dispersore. A causa del coefficiente di temperatura del terreno negativo ( $\alpha = 0,02 \dots 0,004$ ), le resistenze specifiche del terreno raggiungono il valore massimo in inverno e il valore minimo in estate. Si consiglia, quindi, di convertire i valori di misura dei dispersori in valori massimi presunti, dal momento che anche in condizioni di tempo sfavorevoli (temperature minime) non devono essere superati i valori ammessi. Il percorso della resistività del terreno  $\rho_E$  dipendente dalla stagione (temperatura del terreno) può essere rappresentato con un'approssimazione abbastanza buona attraverso una curva sinusoidale, che presenta il valore massimo circa a metà febbraio e il valore minimo circa a metà agosto. Analisi approfondite hanno inoltre dimostrato, che per dispersori interrati a una profondità non superiore a 1,5 m, le variazioni massime della resistività del terreno rispetto al valore medio sono di circa  $\pm 30\%$  (**Figura 5.5.5**).

Per dispersori interrati a una maggiore profondità (in particolare i dispersori verticali) le variazioni non superano il  $\pm 10\%$ . Sulla base del percorso sinusoidale della resistività del terreno riportata nella **figura 5.5.5**, la resistenza di terra  $R_A$  di un impianto di terra, misurata in un determinato giorno, può essere convertita facilmente nel valore massimo prevedibile.

### Misura

Per la determinazione della resistività del terreno  $\rho_E$  si utilizza un ponte di misurazione con 4 morsetti, che lavora secondo il metodo dell'azzeramento. La **figura 5.5.6** illustra lo schema di questo metodo di misura denominato metodo WENNER. La misura

viene effettuata da un punto centrale M fisso, che viene mantenuto per tutte le misure successive. Su un percorso segnato sul terreno a - a' vengono inserite quattro sonde di misura (paletti di terra con lunghezza 30 ... 50 cm). Dalla resistenza R misurata viene calcolata la resistività del terreno  $\rho_E$ :

$$\rho_E = 2\pi \cdot e \cdot R$$

- R resistenza misurata in  $\Omega$
- e distanza della sonda in m
- $\rho_E$  resistività del terreno media in  $\Omega\text{m}$  fino ad una profondità che corrisponde alla distanza della sonda e

Aumentando la distanza della sonda e regolando nuovamente il ponte di misura della messa a terra, è possibile individuare la curva della resistività del terreno  $\rho_E$  in base alla profondità.

### Calcolo delle resistenze di terra

Per i tipi di dispersore utilizzati frequentemente, le formule per il calcolo delle resistenze di terra sono indicate nella **tabella 5.5.1**. In pratica sono sufficienti queste formule empiriche. Le formule di calcolo esatte sono riportate nei seguenti paragrafi.

### Dispersore orizzontale rettilineo

I dispersori orizzontali vengono di solito interrati a 0,5 ... 1 m di profondità. Poiché lo strato di terreno sopra il dispersore in estate si secca e in inverno gela, si calcola la resistenza di terra  $R_A$  di questo tipo di dispersore, come se si trovasse in superficie:

Dispersore	Formula empirica	Grandezza ausiliaria
Dispersore orizzontale (radiale)	$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{l}$	-
Dispersore verticale (tondo)	$R_A = \frac{\rho_E}{l}$	-
Dispersore ad anello	$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{3 \cdot d}$	$d = 1,13 \cdot \sqrt[3]{A}$
Dispersore a maglia	$R_A = \frac{\rho_E}{2 \cdot d}$	$d = 1,13 \cdot \sqrt[3]{A}$
Dispersore a piastra	$R_A = \frac{\rho_E}{4,5 \cdot a}$	-
Dispersore a semisfera/di fondazione	$R_A = \frac{\rho_E}{\pi \cdot d}$	$d = 1,57 \cdot \sqrt[3]{V}$

- $R_A$  Resistenza di terra ( $\Omega$ )
- $\rho_E$  Resistività del terreno ( $\Omega\text{m}$ )
- l Lunghezza del dispersore (m)
- d Diametro del dispersore ad anello, dell'area equivalente o di un dispersore a semisfera (m)
- A Area ( $\text{m}^2$ ) circondata da un dispersore ad anello o a maglie
- a Lato (m) di un dispersore a piastra quadrata, con piastra rettangolare per a è da inserire:  $\sqrt{b \cdot c}$ , dove b e c indicano i due lati del rettangolo
- V Volume ( $\text{m}^3$ ) di un singolo dispersore di fondazione

Tabella 5.5.1 Formule per il calcolo della resistenza di terra  $R_A$  per i diversi tipi di dispersori



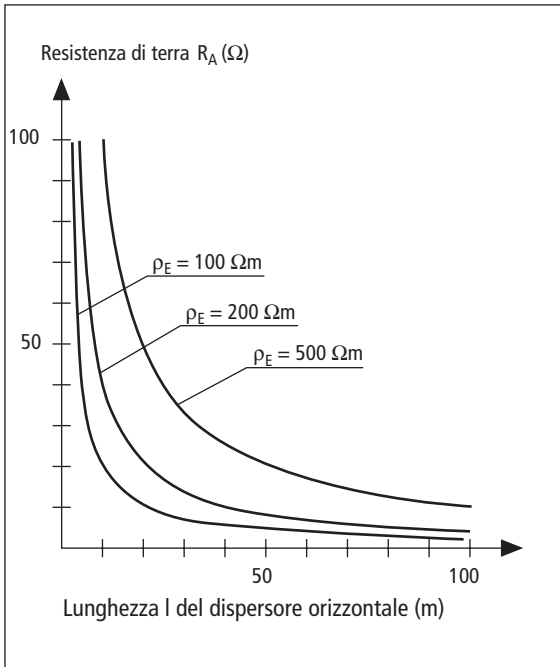


Figura 5.5.7 Dipendenza della resistenza di terra  $R_A$  dalla lunghezza  $l$  del dispersore orizzontale con diversa resistività del terreno  $\rho_E$

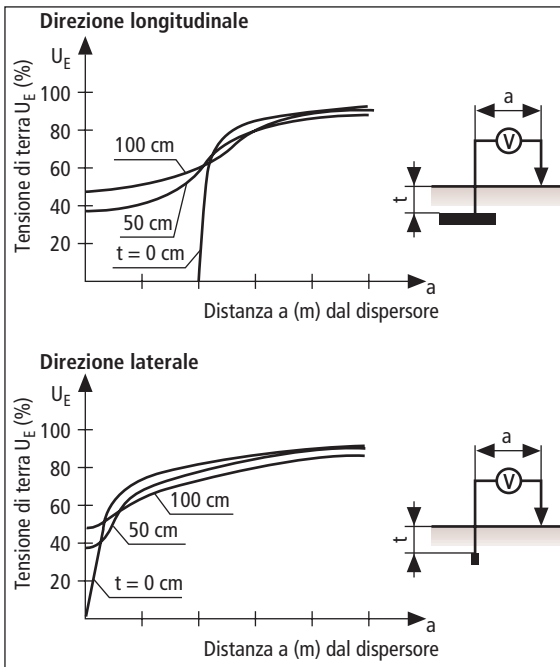


Figura 5.5.8 Tensione di terra  $U_E$  tra il conduttore di terra e la superficie del terreno, in base alla distanza dal dispersore per una bandella (lunga 8 m) a profondità diverse

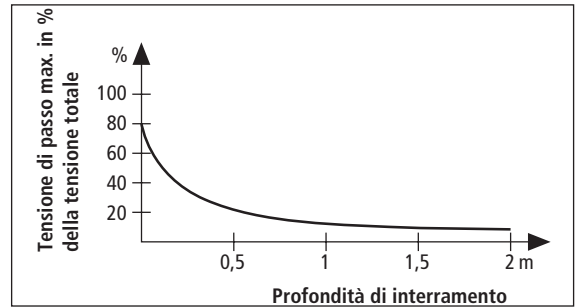


Figura 5.5.9 Massima tensione di passo  $U_s$  in base alla profondità di interrimento per una bandella di terra rettilinea

$$R_A = \frac{\rho_E}{\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r}$$

$R_A$  resistenza di terra di un dispersore orizzontale rettilineo in  $\Omega$

$\rho_E$  resistività del terreno in  $\Omega\text{m}$

$l$  lunghezza del dispersore orizzontale in m

$r$  un quarto di larghezza della bandella in acciaio in m o diametro del tondino in m

Dalla figura 5.5.7 è possibile ricavare la resistenza di terra  $R_A$  in base alla lunghezza del dispersore.

Nella figura 5.5.8 è raffigurata, per una bandella di terra di 8 m di lunghezza, la tensione di terra  $U_E$  in direzione longitudinale e trasversale.

Le figure evidenziano l'influenza della profondità di interrimento sulla tensione di terra.

Nella figura 5.5.9 viene raffigurata la tensione di passo  $U_s$  in base alla profondità di interrimento.

In pratica, il calcolo viene effettuato utilizzando la formula empirica della tabella 5.5.1:

$$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{l}$$

## Dispersore verticale

La resistenza di terra  $R_A$  di un dispersore verticale si calcola utilizzando la formula:

$$R_A = \frac{\rho_E}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r}$$

$R_A$  resistenza di terra in  $\Omega$

$\rho_E$  resistività del terreno in  $\Omega\text{m}$

$l$  lunghezza del dispersore verticale in m

$r$  raggio del dispersore verticale in m

Approssimativamente, la resistenza di terra  $R_A$  può essere calcolata con la formula empirica riportata nella **tabella 5.5.1**:

$$R_A = \frac{\rho_E}{l}$$

La dipendenza della resistenza di terra  $R_A$  dalla lunghezza del picchetto  $l$  e della resistività del terreno  $\rho_E$  è rappresentata nella **figura 5.5.10**.

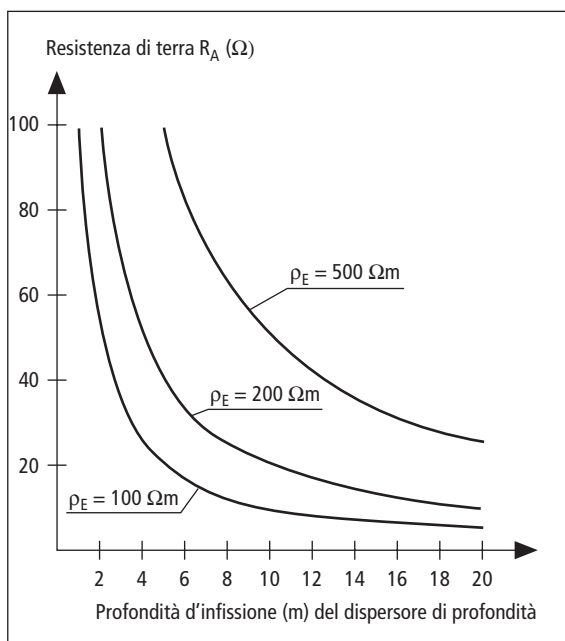


Figura 5.5.10 Resistenza di terra  $R_A$  dei dispersori di profondità in base alla loro lunghezza  $l$ , per terreni con diversa resistività  $\rho_E$

## Combinazione di dispersori

Quando vengono posati alcuni dispersori verticali in vicinanza (condizionato dalla situazione locale), la distanza tra i singoli dispersori dovrebbe corrispondere almeno alla loro profondità d'inserimento. I singoli dispersori sono da collegare tra di loro.

Le resistenze di terra calcolate in base alle formule e i risultati di misura riportati nei diagrammi valgono sia per la corrente continua che per la corrente alternata a bassa frequenza e a condizione che il dispersore abbia un'estensione relativamente limitata (poche centinaia di metri). Per lunghezze maggiori, ad esempio per dispersori orizzontali, si deve aggiungere l'impedenza per la corrente alternata.

Inoltre, le resistenze di terra calcolate non valgono per le correnti da fulmine. Qui prevale la parte induttiva, che, per una maggiore estensione dell'impianto di messa a terra, può portare a dei valori più elevati della resistenza di terra impulsiva. Aumentando la lunghezza dei dispersori orizzontali o verticali oltre i 30 m, si ottiene solamente una

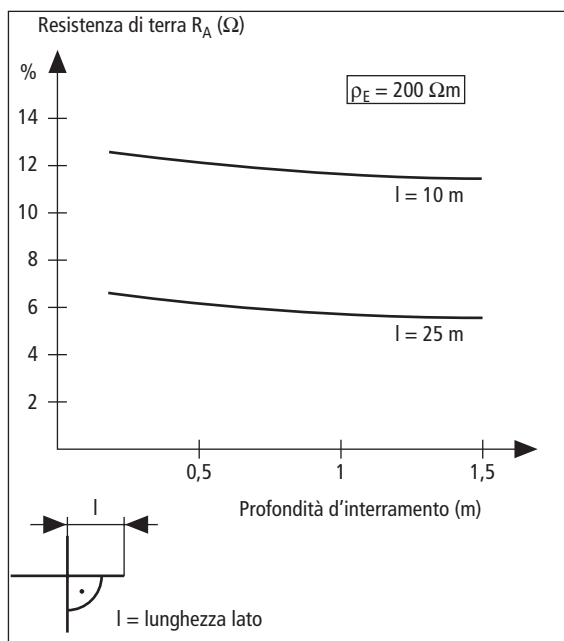


Figura 5.5.11 Resistenza di terra  $R_A$  dei dispersori radiali incrociati ( $90^\circ$ ) in base alla profondità di interrimento

diminuzione insignificante della resistenza di terra impulsiva. E' più conveniente, quindi, combinare diversi dispersori più corti. In tale contesto occorre considerare, che a causa dell'influsso reciproco, l'effettiva resistenza di terra è maggiore rispetto al valore calcolato ipotizzando di collegare in parallelo le singole resistenze.

### Dispersore radiale

I dispersori radiali disposti sotto forma di raggi sono da preferire quando in un terreno a resistività alta devono essere ottenute delle resistenze di terra relativamente basse a costi sostenibili.

La resistenza di terra  $R_A$  di un dispersore radiale, con dei lati (raggi) aperti a  $90^\circ$ , si calcola utilizzando la formula:

$$R_A = \frac{\rho_E}{4\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r} + 1,75$$

$R_A$  resistenza di terra del dispersore in  $\Omega$

$\rho_E$  resistività del terreno in  $\Omega\text{m}$

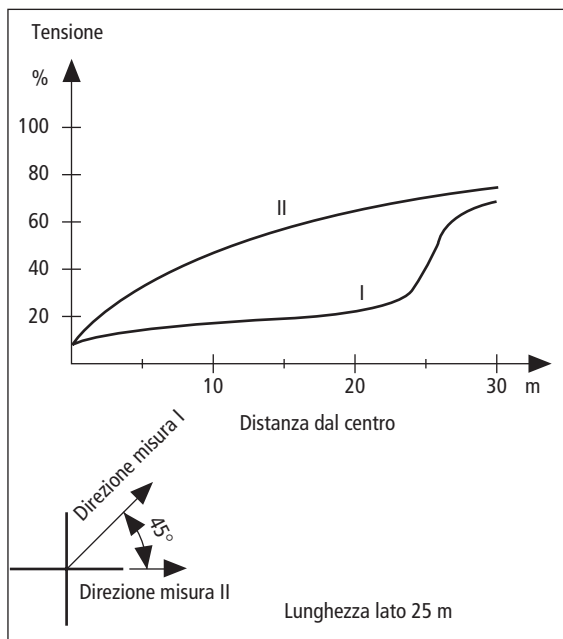


Figura 5.5.12 Tensione totale di terra  $U_E$  tra conduttore di terra e superficie del terreno del dispersore radiale ( $90^\circ$ ) in base alla distanza dal punto centrale di incrocio (profondità di interramento 0,5 m)

$l$  lunghezza dell'elemento radiale in m

$d$  metà larghezza della bandella in m oppure diametro del tondino in m

In prima approssimazione per elementi radiali di grandi dimensioni ( $l > 10\text{m}$ ) la resistenza di terra  $R_A$  può essere calcolata utilizzando la lunghezza complessiva del raggio in base alle equazioni riportate in **tabella 5.5.1**.

La **figura 5.5.11** illustra il percorso della resistenza di terra  $R_A$  dei dispersori radiali in base alla profondità di interramento.

La **figura 5.5.12** illustra il percorso della tensione di terra.

Per i dispersori radiali l'angolo tra i singole raggi deve essere maggiore di  $60^\circ$ .

Secondo la **figura 5.5.12** per la resistenza di terra di un dispersore a maglia vale la formula:

$$R_A = \frac{\rho_E}{2 \cdot d}$$

dove  $d$  è il diametro del cerchio equivalente, cioè con la stessa superficie del dispersore a maglia, che si determina come segue:

Per misure rettangolari o poligonali del dispersore a maglia:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

$A$  superficie del dispersore a maglia

Per misure quadrate (lunghezza del lato  $b$ ):

$$d = 1,1 \cdot b$$

La **figura 5.5.13** illustra il percorso della resistenza di terra impulsiva di dispersori orizzontali a uno o più raggi per tensioni impulsive rettangolari.

Da questo diagramma si può intuire che a parità di lunghezza è più conveniente installare un dispersore radiale piuttosto che un dispersore orizzontale a un unico elemento.



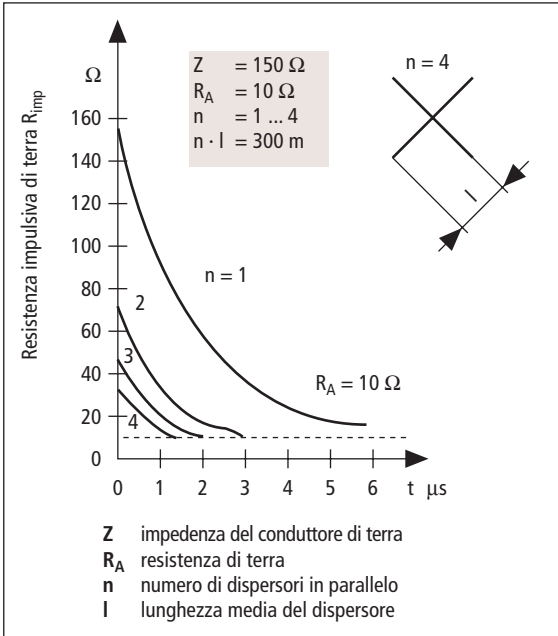


Figura 5.5.13 Resistenza di terra impulsiva  $R_{imp}$  di dispersori orizzontali a uno o più elementi radiali di pari lunghezza

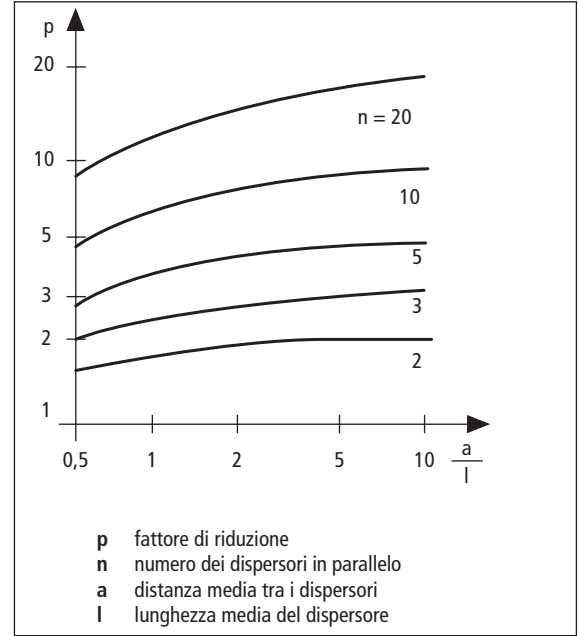


Figura 5.5.14 Fattore di riduzione  $p$  per il calcolo della resistenza di terra totale  $R_A$  di dispersori verticali collegati in parallelo

### Dispersore di fondazione

La resistenza di terra di un conduttore metallico nella fondazione in calcestruzzo può essere calcolata approssimativamente con la formula per dispersori emisferici:

$$R_A = \frac{\rho_E}{\pi \cdot d}$$

dove  $d$  è il diametro della emisfera equivalente, cioè con lo stesso volume della fondazione

$$d = 1,57 \cdot \sqrt[3]{V}$$

$V$  volume della fondazione

Per il calcolo della resistenza di terra occorre osservare, che il dispersore di terra può essere efficace solamente, se il corpo in calcestruzzo presenta una grande superficie di contatto con il terreno circostante. I rivestimenti isolanti e idrorepellenti aumentano notevolmente la resistenza di terra oppure isolano il dispersore di fondazione (Figura 5.5.2).

### Dispersori verticali collegati in parallelo

Per mantenere entro limiti ragionevoli le influenze reciproche, le distanze tra i singoli dispersori collegati in parallelo non dovrebbero essere inferiori alla profondità di infissione.

Se i singoli dispersori sono disposti a cerchio, e hanno la stessa lunghezza, la resistenza di terra può essere calcolata come segue:

$$R_A = \frac{R_{A'}}{p}$$

$R_{A'}$  è la resistenza di terra media del dispersore singolo. Il fattore di riduzione  $p$  può essere ricavato dalla figura 5.5.14 in base alla lunghezza del dispersore, la distanza tra i dispersori singoli e il numero dei dispersori.

### Combinazione di dispersori orizzontali e verticali

Se con i dispersori verticali si ottiene una resistenza di terra sufficiente, ad esempio per la maggiore umidità del terreno nei strati più profondi, i dispersori verticali devono essere infissati il più vicino possibile agli oggetti da proteggere. Se è necessario un collegamento lungo, sarà utile posa-

re in parallelo un dispersore radiale supplementare a più elementi, per abbassare la resistenza durante la salita della corrente.

La resistenza di terra di un dispersore orizzontale con dispersore verticale può essere calcolata in modo approssimativo, come se la bandella del dispersore orizzontale fosse stata prolungata per la profondità di infissione del dispersore verticale.

$$R_A \approx \frac{\rho_E}{l_{\text{orizzontale}} + l_{\text{verticale}}}$$

### Dispersore ad anello

Per dispersori ad anello a forma circolare con grande diametro ( $d > 30\text{m}$ ), la resistenza di terra viene calcolata in modo approssimativo con la stessa formula utilizzata per il dispersore orizzontale (per la lunghezza del dispersore viene utilizzata la circonferenza  $\pi \cdot d$ ):

$$R_A = \frac{\rho_E}{\pi^2 \cdot d} \cdot \ln \frac{\pi \cdot d}{r}$$

$r$  raggio del tondino oppure un quarto della larghezza del dispersore a bandella in m

Per dispersori ad anello non a forma circolare, il calcolo della resistenza di terra viene effettuato usando il diametro  $d$  di un cerchio equivalente, cioè con stessa superficie:

$$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{3 \cdot d}$$

$$d = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}}$$

$A$  superficie racchiusa dal dispersore ad anello

### Esecuzione

Secondo le norme in vigore, per ogni impianto da proteggere è necessario un impianto di terra separato, che deve essere perfettamente funzionante anche senza l'utilizzo di tubature metalliche o conduttori dell'impianto elettrico messi a terra.

Il valore della resistenza di terra  $R_A$  per la protezione contro i fulmini di un edificio o di un impianto riveste solo un'importanza secondaria. E' invece importante, che il collegamento equipotenziale a terra venga effettuato coerentemente e la corrente da fulmine si distribuisca nel terreno senza creare pericolo.

L'oggetto da proteggere viene elevato, rispetto al potenziale di riferimento di terra, attraverso la corrente di fulmine  $i$  sulla tensione di messa a terra  $U_E$

$$U_E = i \cdot R_A + \frac{1}{2} \cdot L \cdot \frac{di}{dt}$$

Il potenziale di superficie diminuisce con l'aumentare della distanza dal dispersore (**Figura 5.5.1**).

La caduta di tensione induttiva sul dispersore durante l'aumento della corrente di fulminee deve essere considerata solo per impianti di messa a terra estesi (ad esempio per lunghi dispersori orizzontali, necessari in terreni con sottosuolo roccioso ad alta resistività). In generale la resistenza di terra viene solo determinata dalla parte ohmica.

Rispetto ai conduttori isolati entranti nell'edificio, il potenziale di terra  $U_E$  presenta il suo valore massimo.

Per evitare il rischio di scariche disruptive, tali conduttori vengono collegati con l'impianto di messa a terra attraverso spinterometri o dispositivi di protezione da sovratensione (vedere catalogo DEHN protezione da sovratensioni) in modo da realizzare un collegamento equipotenziale.

Per ridurre al massimo le tensioni di contatto e di passo, è necessario limitare i valori della resistenza di terra.

L'impianto di messa a terra può essere realizzato come dispersore di fondazione, dispersore ad anello e, per edifici con grandi superfici, anche come dispersore a maglie; in casi particolari anche come dispersore unico.

I dispersori nelle fondazioni devono essere conformi alle prescrizioni della norma CEI EN 62305. Il dispersore di fondazione deve essere realizzato come anello chiuso e deve essere posto nelle fondazioni delle pareti esterne dell'edificio oppure nelle piastre di fondazione secondo CEI EN 62305. Per edifici di più grandi dimensioni, il dispersore di ter-

ra dovrebbe avere dei collegamenti trasversali, in modo da non superare la grandezza massima delle maglie di 20 m x 20 m.

Il dispersore di fondazione deve essere installato in modo che venga circondato da tutti i lati dal calcestruzzo. Con bandelle di acciaio in calcestruzzo non armato, il dispersore deve essere posato in verticale.

Deve essere eseguito un collegamento tra dispersore di fondazione e barra equipotenziale nel punto di consegna dell'energia elettrica. Il dispersore di fondazione deve essere provvisto di punti fissi di terra per il collegamento all'impianto di messa a terra delle calate destinate alla protezione contro i fulmini esterna.

A causa del pericolo di corrosione sul punto di uscita di eventuali conduttori di collegamento dal calcestruzzo, dovrebbe essere prevista una protezione aggiuntiva contro la corrosione (con rivestimento in PVC o utilizzo di acciaio inossidabile).

L'armatura delle fondazioni a piastre o strisce può essere utilizzata come dispersore di terra, purché vengano utilizzati i tipi di collegamento richiesti e le armature siano ponticellate tra le fughe di dilatazione.

I dispersori orizzontali devono essere posati ad una profondità non inferiore a 0,5 m.

La resistenza di terra impulsiva dei dispersori dipende dal valore massimo della corrente da fulmine e dalla resistività del terreno. Vedere anche la **figura 5.5.13**. La lunghezza efficace del dispersore attraversato dalla corrente di fulmine viene calcolata approssimativamente come segue:

dispersore orizzontale:

$$l_{eff} = 0,28\sqrt{\hat{i} \cdot \rho_E}$$

dispersore verticale:

$$l_{eff} = 0,2\sqrt{\hat{i} \cdot \rho_E}$$

$l_{eff}$  lunghezza efficace del dispersore in m

$\hat{i}$  ampiezza della corrente da fulmine in kA

$\rho_E$  resistività del terreno in  $\Omega$ m

La resistenza di terra impulsiva  $R_{imp}$  può essere calcolata secondo le formule riportate nella **tabella**

**5.5.1**, utilizzando come lunghezza  $l$  la lunghezza efficace del dispersore  $l_{eff}$ .

Dispersori orizzontali sono sempre vantaggiosi, quando gli strati superiori del terreno presentano una resistività inferiore a quella del sottosuolo.

Per un terreno relativamente omogeneo (quando la resistività del terreno in superficie e in profondità è circa uguale) i costi di realizzazione per dispersori orizzontali e verticali, con lo stesso valore di resistenza di terra, si equivalgono.

Secondo la **figura 5.5.15**, per un dispersore verticale serve una lunghezza pari a circa la metà di un dispersore orizzontale.

Se il terreno presenta in profondità una migliore resistività che in superficie, ad esempio grazie alla presenza di acqua sotterranea, un dispersore verticale è di solito in questi casi più conveniente di un dispersore orizzontale.

In casi specifici, la scelta tra dispersore verticale o orizzontale può essere decisa solo attraverso la misura della resistività del terreno in base alla profondità.

Poiché con dispersori verticali è possibile ottenere dei valori di resistenze di terra ottimali e costanti senza dover ricorrere a costosi lavori di scavo, questi dispersori sono adatti anche al miglioramento di impianti di messa a terra già esistenti.

### 5.5.1 Impianti di messa a terra secondo CEI EN 62305 (CEI 81-10/3)

L'impianto di messa a terra è la continuazione dell'impianto di captazione e di calata per la scarica della corrente di fulmine a terra. Altri compiti dell'impianto di messa a terra sono la realizzazione di un collegamento equipotenziale tra le calate e la ripartizione dei potenziali nelle vicinanze delle pareti della struttura.

Deve essere osservato, che per i diversi sistemi elettrici (protezione contro i fulmini, impianti in bassa tensione e impianti di telecomunicazione), è preferibile un impianto di messa a terra comune. Questo impianto di messa a terra deve essere collegato con il sistema equipotenziale (MEBB - barra equipotenziale principale).

Poiché la norma CEI EN 62305-3 si basa su una equipotenzialità antifulmine sistematica, non viene richiesto un valore particolare per la resistenza di terra. Generalmente viene tuttavia consigliata

una resistenza di terra bassa (inferiore a 10  $\Omega$ , misurata a bassa frequenza).

La norma classifica i dispersori in **tipo A** e **tipo B**.

Per tutte e due le disposizioni di tipo A e tipo B la lunghezza minima del dispersore  $l_1$  dipende dal livello di protezione LPL (**Figura 5.5.1.1**).

La resistività precisa del terreno può essere individuata solo tramite una misurazione sul posto con il "metodo WENNER" (misurazione a quattro conduttori).

### Dispersore di tipo A

I dispersori di tipo A sono dispersori a elementi radiali singoli (dispersore orizzontale), oppure dispersori verticali, che sono da collegare alla relativa calata.

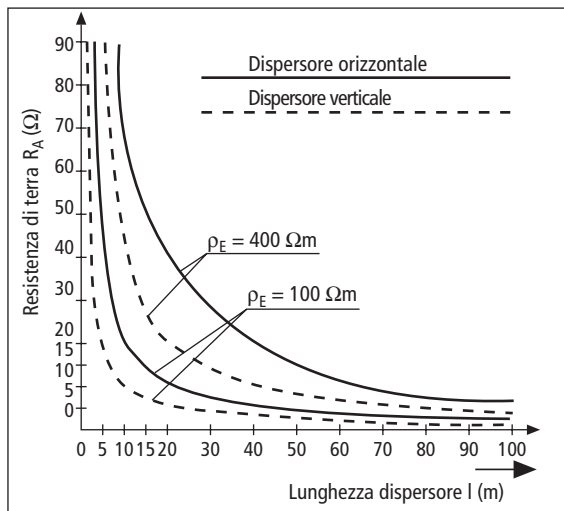


Figura 5.5.15 Resistenza di terra  $R_A$  dei dispersori orizzontali e verticali in base alla lunghezza del dispersore  $l$

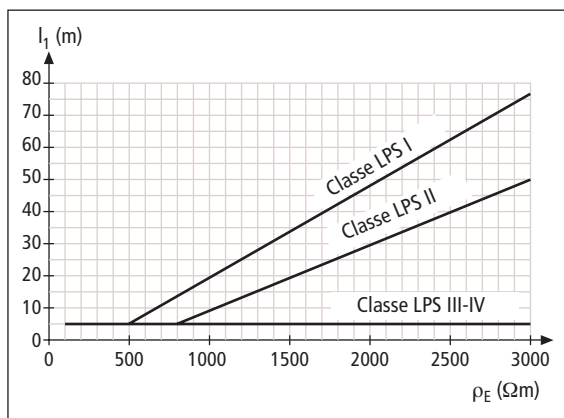


Figura 5.5.1.1 Lunghezze minime dei dispersori

Il numero minimo di dispersori di tipo A è 2.

Per i livelli di protezione LPL III e IV è richiesta una lunghezza minima del dispersore di 5 m. Per i livelli di protezione I e II, la lunghezza del dispersore viene determinata in base alla resistività del terreno. La lunghezza minima del dispersore  $l_1$  è indicata nella **figura 5.5.1.1**.

La lunghezza minima di ogni dispersore è di:

$l_1 \times 0,5$  per dispersori verticali o obliqui

$l_1$  per dispersori radiali

Questi valori individuati valgono per ogni singolo dispersore.

Per combinazioni di diversi dispersori (verticali e orizzontali) dovrebbe essere considerata la lunghezza complessiva equivalente.

La lunghezza minima del dispersore può essere trascurata, se viene raggiunta una resistenza di terra inferiore ai 10  $\Omega$ .

I dispersori verticali sono generalmente inseriti in posizione perpendicolare. Vengono infissati nel terreno naturale, che generalmente si può trovare soltanto sotto le fondazioni. Lunghezze di dispersori di 9 m si sono rivelate vantaggiose. I dispersori verticali hanno il vantaggio di trovarsi in strati di terreno più profondi, la cui resistività generalmente è inferiore rispetto agli strati più superficiali.

In condizioni di gelo, viene raccomandato di considerare come inefficace il primo mezzo metro di un dispersore verticale.

I requisiti di equipotenzialità tra le calate e il controllo del potenziale non vengono soddisfatti dal dispersore di tipo A.

Per ottenere una ripartizione uniforme della corrente, i singoli dispersori del tipo A devono essere connessi fra di loro. Questo è importante per il calcolo della distanza di sicurezza. Il collegamento dei dispersori del tipo A può essere effettuato in aria o sotto terra. Nelle installazioni successive su impianti già esistenti, per la connessione dei singoli dispersori, i relativi collegamenti possono essere realizzati anche all'interno della struttura.

### Dispersore di tipo B

I dispersori di tipo B sono dispersori ad anello posti attorno all'oggetto da proteggere oppure dispersori di fondazione. I requisiti richiesti a questi dispersori sono elencati nella CEI EN 62305.

Se non è possibile realizzare un anello chiuso all'esterno dell'edificio, devono essere installati dei conduttori all'interno per chiudere l'anello. A questo scopo possono essere utilizzate anche delle tubazioni o altri elementi metallici, purché elettricamente continui. Almeno l'80% della lunghezza del dispersore deve essere a contatto con il terreno, per poter considerare il dispersore di tipo B come base per il calcolo della distanza di sicurezza. La lunghezza minima dei dispersori di tipo B dipende dal livello di protezione. Per i livelli di protezione LPL I e II la lunghezza minima del dispersore viene stabilita in base alla resistività del terreno (**Figura 5.5.4**).

Per dispersori di tipo B il raggio medio  $r$  dell'area racchiusa dal dispersore non deve essere inferiore alla lunghezza minima  $l_1$  indicata.

Per individuare il raggio medio  $r$ , l'area da considerare viene trasformata in una superficie circolare equivalente e il raggio viene individuato come indicato nelle **figure 5.5.1.2 e 5.5.1.3**.

Di seguito viene riportato un esempio di calcolo:

Se il valore richiesto di  $l_1$  è maggiore del valore  $r$  corrispondente all'edificio, devono essere aggiunti ulteriori dispersori radiali o verticali (oppure dispersori obliqui), le cui lunghezze relative  $l_r$  (radiale/orizzontale) e  $l_v$  (verticale) risultano dalle equazioni seguenti:

$$l_r = l_1 - r$$

$$l_v = \frac{l_1 - r}{2}$$

Il numero di dispersori supplementari non deve essere inferiore al numero di calate, ma deve essere almeno uguale a 2. Questi dispersori supplementari devono essere distribuiti in modo regolare sul perimetro e collegati con il dispersore ad anello.

Se devono essere collegati dei dispersori supplementari al dispersore di fondazione, è necessario prestare attenzione al materiale dei dispersori e all'allacciamento al dispersore di fondazione. Dovrebbe essere utilizzato preferibilmente acciaio inossidabile, AISI 316 (**Figura 5.5.2.1**).

Requisiti supplementari per l'impianto di messa a terra possono essere richiesti ad esempio per i seguenti sistemi:

- ⇒ Impianti elettrici - condizioni di sezionamento in base al tipo di rete (sistema TN, TT, IT) secondo CEI 64-8/4
- ⇒ Collegamento equipotenziale secondo CEI 64-8/5
- ⇒ Sistemi elettronici - tecnologia di elaborazione e trasmissione dati
- ⇒ Messa a terra di antenne secondo CEI EN 60728-11
- ⇒ Compatibilità elettromagnetica (EMC)
- ⇒ Sottostazione MT interna o affiancata alla struttura conforme a CEI 11-1 e CEI 11-37

## 5.5.2 Impianti di messa a terra, dispersori di fondazione e dispersori di fondazione per costruzioni particolari

### Dispersori di fondazione - dispersore di tipo B

Nella Norma CEI EN 62305-3 e Guida CEI 64-12 sono indicate dettagliatamente le modalità di collegamento dei ferri di armatura per i dispersori di fondazione. Molte norme nazionali e internazionali specificano il dispersore di fondazione come dispersore preferito, perché con un'installazione a regola d'arte viene immerso nel calcestruzzo ed è così resistente alla corrosione. Le caratteristiche igroscopiche del calcestruzzo determinano generalmente una resistenza di terra sufficientemente bassa.

Il dispersore di fondazione deve essere posato come un anello chiuso nella fondazione (**Figura 5.5.2.1**) realizzando così in primo luogo anche la funzione di equipotenzialità. Devono essere considerate la divisione in maglie  $\leq 20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$  e i necessari conduttori uscenti per il collegamento alle calate della protezione contro i fulmini esterna e verso l'interno per il collegamento equipotenziale (**Figura 5.5.2.2**).

Si ricorda che l'installazione del dispersore di fondazione è una misura elettrotecnica, e deve essere eseguita o supervisionata da un **esperto di elettrotecnica** abilitato.

Il modo in cui deve essere posato il dispersore di fondazione deve essere deciso in base alla misura con la quale sarà possibile garantire che il dispersore di fondazione venga circondato da tutte le parti durante l'immersione nello stesso.

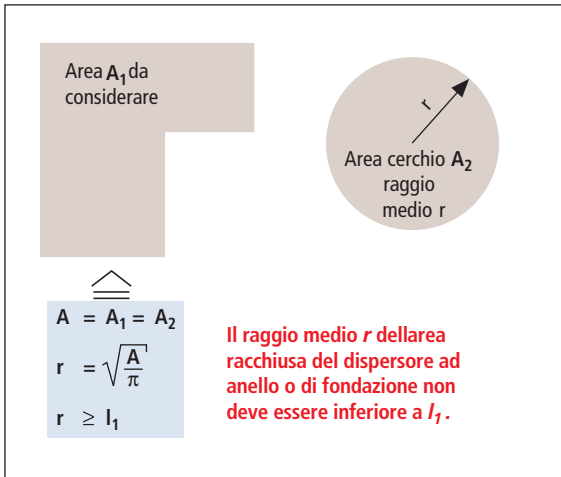


Figura 5.5.1.2 Dispersore di tipo B - Individuazione del raggio medio - Calcolo esemplificativo

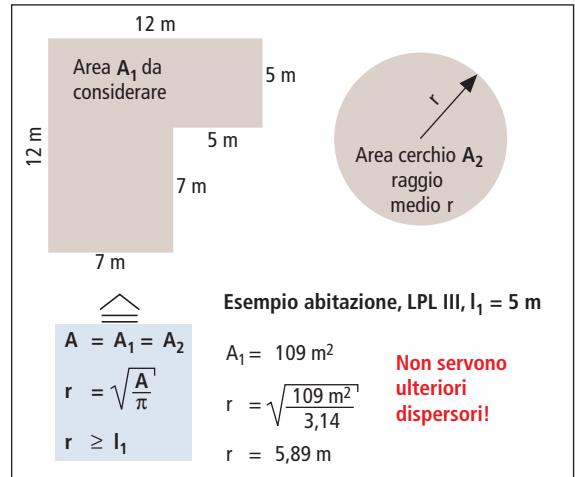


Figura 5.5.1.3 Dispersore di tipo B - Individuazione del raggio medio

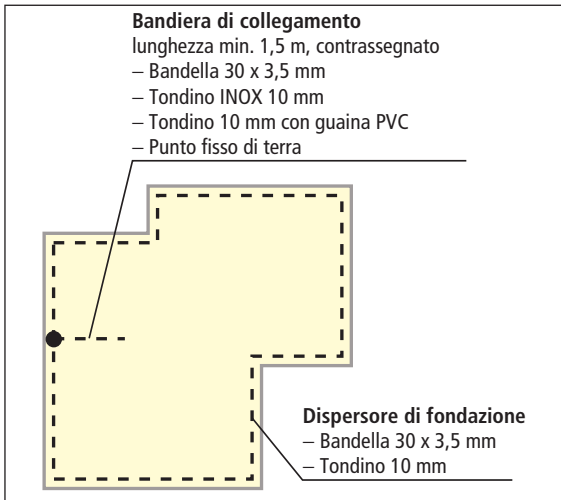


Figura 5.5.2.1 Dispersore di fondazione con conduttore uscente

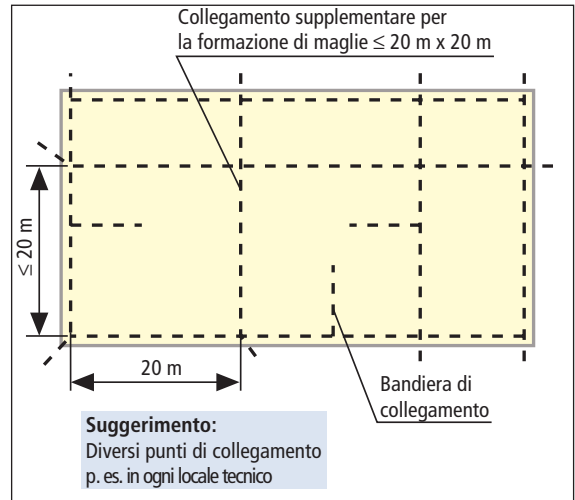


Figura 5.5.2.2 Maglia del dispersore di fondazione



Figura 5.5.2.3 Dispersore di fondazione



Figura 5.5.2.4 Utilizzo del dispersore di fondazione

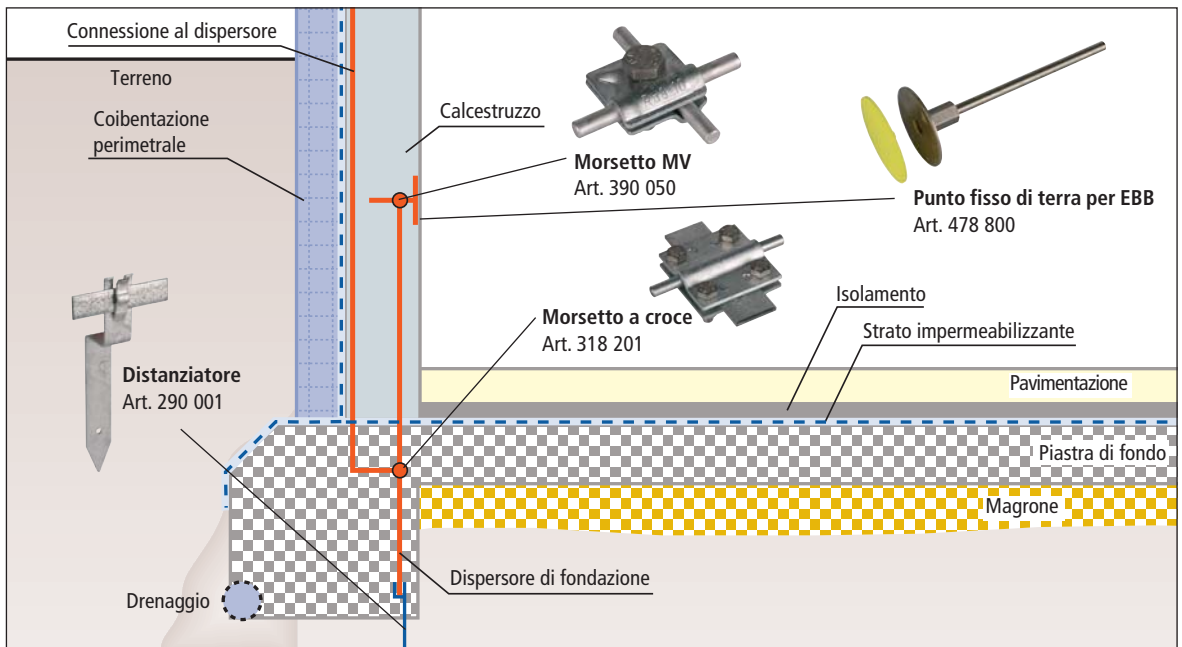


Figura 5.5.2.5 Disposizione del dispersore di terra per una fondazione a strisce (parete dell'interrato isolata)

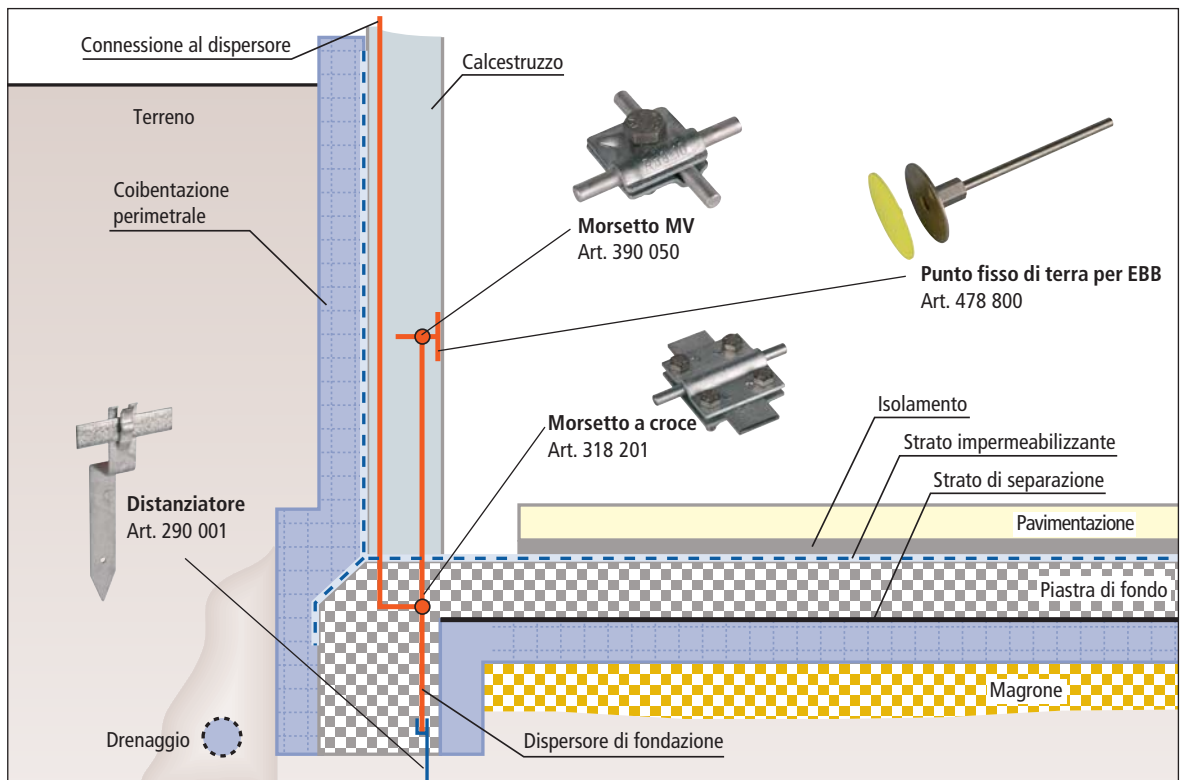


Figura 5.5.2.6 Disposizione del dispersore di terra per una fondazione a strisce (parete dell'interrato e piastra di fondazione isolate)

### Posa in calcestruzzo non armato

Nelle fondazioni non armate, ad esempio fondazioni a strisce di abitazioni (**Figura 5.5.2.3**), devono essere utilizzati dei distanziatori.

Solo con l'utilizzo di distanziatori ad una distanza di ca. 2 m verrà garantito che il dispersore di fondazione venga "sollevato" e possa così essere racchiuso dal calcestruzzo.

### Posa in calcestruzzo armato

Se vengono utilizzati reti di acciaio elettrosaldate, gabbie o ferri di armatura nelle fondazioni, il dispersore di fondazione non solo può, ma deve essere collegato con questi componenti naturali di ferro. In questo modo la funzione del dispersore di fondazione viene ancora più favorita. L'utilizzo di distanziatori non è necessario.

Attraverso i metodi moderni di inserimento del calcestruzzo con susseguente vibrazione/condensamento viene garantito, che il calcestruzzo "scorra" anche sotto al dispersore circondandolo su tutti i lati.

La **figura 5.5.2.4** mostra un esempio di utilizzo per la posa orizzontale di una bandella piatta come dispersore di fondazione. I punti di incrocio del dispersore di fondazione devono essere collegati in modo da resistere ai carichi di corrente. Come materiale per il dispersore di fondazione è sufficiente l'acciaio zincato.

Le bandiere di collegamento verso l'esterno del terreno devono essere protette ulteriormente dalla corrosione nel punto di uscita. Sono adatti ad esempio filo di acciaio con rivestimento in materia plastica (a causa del pericolo di rottura del rivestimento in materia plastica per temperature basse è necessaria una particolare cautela durante il montaggio), acciaio inossidabile altolegato AISI 416 o punti fissi di messa a terra.

Dopo un'installazione a regola d'arte il dispersore risulta circondato su tutti i lati dal calcestruzzo e diventa così resistente alla corrosione.

Per l'esecuzione di un dispersore di fondazione devono essere realizzate delle maglie grandi non più di 20 m x 20 m. Questa larghezza di maglie non è legata al livello di protezione contro i fulmini esterna. Nella tecnica di costruzione odierna, le diverse fondazioni vengono edificate con differenti forme e varianti di isolamento. Anche sulle esecuzioni di fondazioni a strisce e piastre di fondazione, devono essere tenuti in considerazione le prescrizioni sull'isolamento termico.

Per quanto riguarda i dispersori di fondazione di costruzioni nuove, l'isolamento termico/impermeabilizzazione modifica il loro inserimento e la loro disposizione.

### Isolamento termico del perimetro/basamento

Con "perimetro" è definita la zona in contatto con il terriccio di pavimenti o mura. L'isolamento perimetrale è l'isolamento termico che racchiude la struttura all'esterno. L'isolamento perimetrale posto esternamente sull'impermeabilizzazione può racchiudere la struttura senza ponte termico e protegge ulteriormente l'impermeabilizzazione da danni meccanici

Un valore decisivo nell'analisi degli effetti dell'isolamento perimetrale sulla resistenza di terra dei dispersori di fondazione, nella disposizione tradizionale nella fondazione (fondazione a striscia, piastra di fondazione), è la resistività dei pannelli per l'isolamento perimetrale.

Ad esempio, per l'espanso in poliuretano rigido con una massa specifica di 30 kg/m<sup>2</sup>, viene indicata una resistività di  $5,4 \cdot 10^{12} \Omega m$ . In contrapposizione a questo, la resistività del calcestruzzo è compresa tra 150  $\Omega m$  e 500  $\Omega m$ . Da questo è possibile dedurre, che in caso di isolamento completo del perimetro, un dispersore disposto in modo tradizionale nella fondazione praticamente non è efficace. L'isolamento termico del perimetro agisce anche elettricamente come isolatore.

Le figure seguenti mostrano le diverse possibilità di isolamento delle fondazioni e delle mura di strutture con isolamento del perimetro e del basamento (**Figure da 5.5.2.5 a 5.5.2.7**).

La disposizione del dispersore nella fondazione a strisce con isolamento ai lati esterni della piastra di fondo non deve essere giudicato come critica (**Figura 5.5.2.5 e 5.5.2.6**).

Per un isolamento completo della piastra di fondazione, il dispersore deve essere inserito sotto la stessa. In questo caso dovrebbe essere utilizzato acciaio inossidabile AISI 416 (**Figura 5.5.2.7**).

In particolare, per le costruzioni con armatura è ragionevole un'installazione di punti fissi di terra. E' indispensabile eseguire un montaggio a regola d'arte in fase di costruzione edile (**Figura 5.5.2.8**).

### Vasca nera, bianca

Per gli edifici che si trovano in zone con alto livello di falda acquifera o in posizioni, ad esempio in



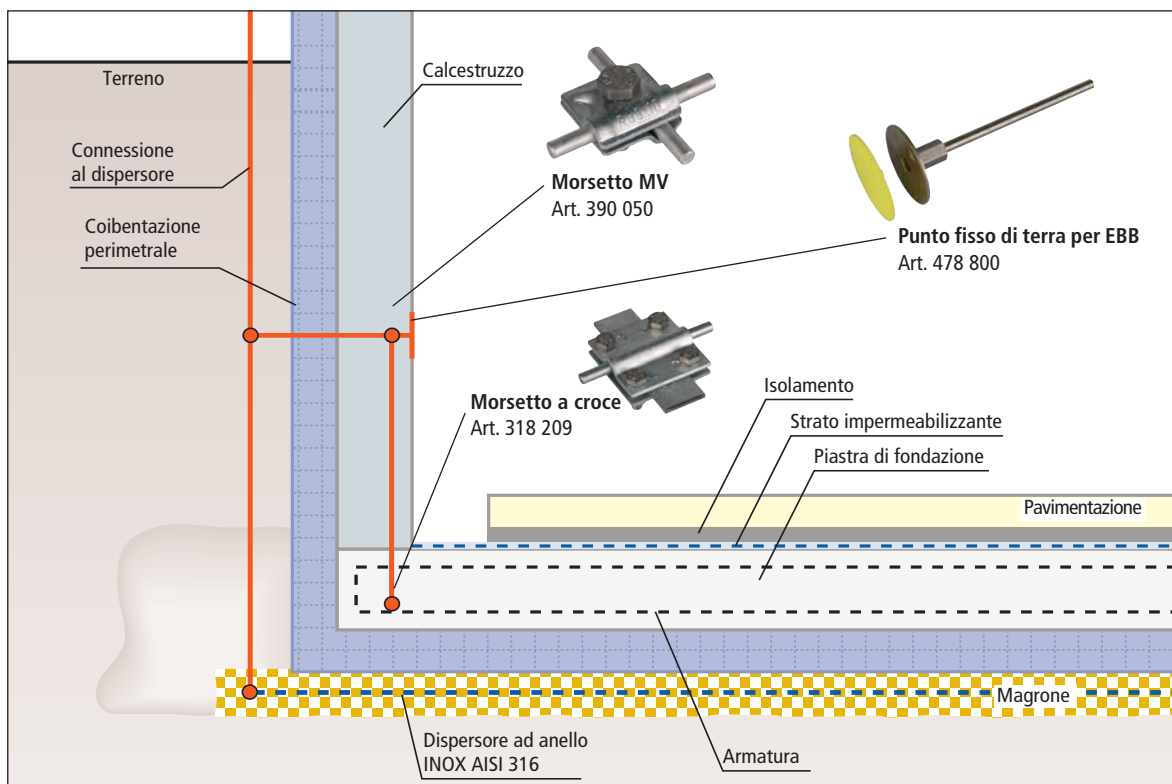


Figura 5.5.2.7 Disposizione del dispersore di terra con platea di fondazione chiusa (completamente isolata)

pendenza, con acqua "pressante", devono essere prese delle misure particolari per gli interrati contro la penetrazione di umidità. Le pareti esterne circondate da terreno e le piastre delle fondazioni sono protette dalla penetrazione di umidità in modo che sulle pareti interne non si possa formare dell'umidità dannosa.

Nella tecnica edilizia moderna esistono i due metodi citati per la protezione contro le penetrazioni d'acqua.

In questo contesto si pone la questione della garanzia di funzionalità dei dispersori di terra, affinché garantisca il mantenimento delle misure di protezione contro i contatti indiretti secondo CEI 64-8/4 e come dispersore di protezione contro i fulmini secondo CEI EN 62305-3.

#### Dispersore di fondazione per strutture con vasca bianca

Il termine "vasca bianca" viene usato in contrapposizione al termine "vasca nera": la "vasca bianca" non possiede alcun trattamento supplementa-

re sul lato rivolto verso terra, ed è quindi definita "bianca".

L'aggiunta di additivi nella preparazione del calcestruzzo rende impermeabile il corpo in calcestruzzo. In confronto agli anni addietro, oggi l'umidità non riesce più a penetrare per alcuni centimetri nella vasca bianca. Perciò è da posare un dispersore esterno alla vasca bianca.



Figura 5.5.2.8 Punto fisso di messa a terra

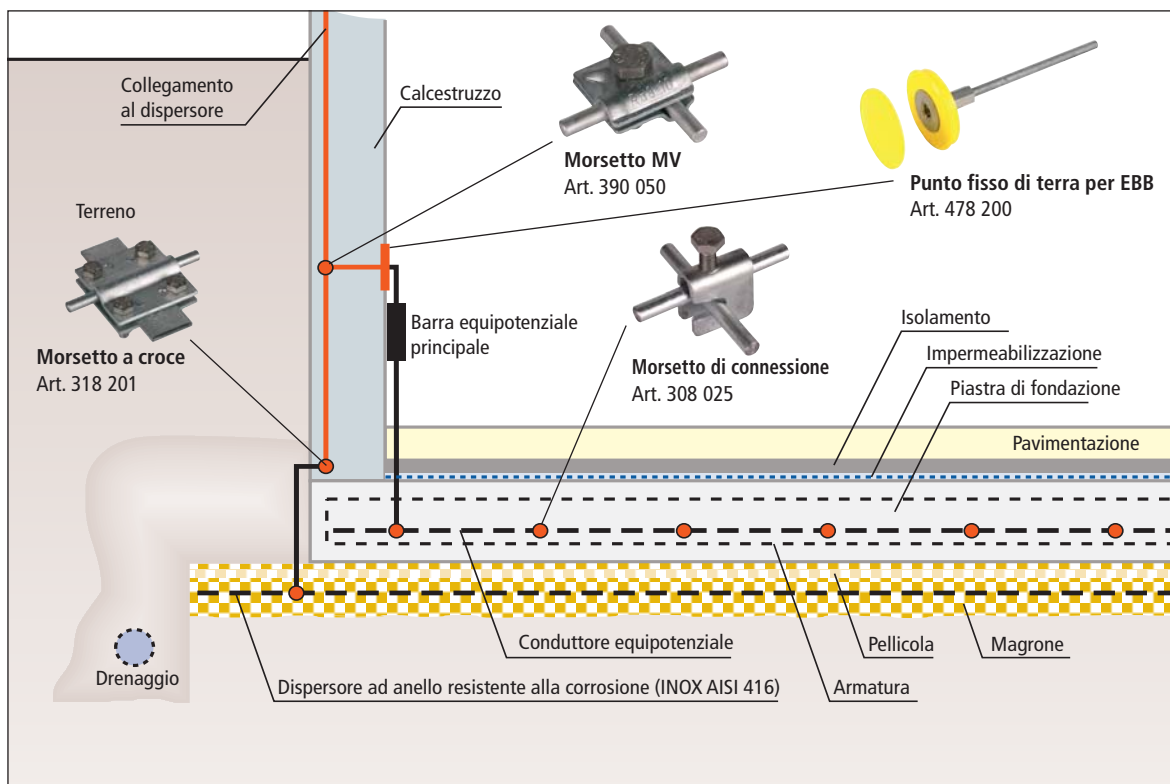


Figura 5.5.2.9 Disposizione del dispersore di fondazione con platea di fondazione chiusa "vasca bianca"

Se per il rispetto delle misure di sicurezza contro i contatti diretti/indiretti, ad esempio sistemi TT (dispositivo di sezionamento, interruttore differenziale o fusibile), è richiesto un determinato valore per la resistenza di terra, questo deve essere dimostrato attraverso misure adeguate.

La **figura 5.5.2.8** dimostra l'esecuzione di un collegamento a terra tramite punto fisso di terra.

La disposizione del dispersore di fondazione in una vasca bianca è illustrata in **figura 5.5.2.9**.

#### Dispersore per strutture con vasca nera

Il nome "vasca nera" deriva dal tipo dei vari strati di membrana in bitume applicati alle parti esterne. Il corpo della struttura viene ricoperto di bitume, sul quale poi vengono in genere applicati fino a 3 strati di membrana bituminosa.

Un dispersore ad anello inserito sopra all'impermeabilizzazione nella piastra di fondazione può servire al controllo del potenziale nell'edificio. Per l'isolamento ad alta impedenza verso l'esterno, tuttavia non è data l'azione del dispersore.

Per il rispetto dei requisiti di messa a terra, secondo diverse norme è necessaria l'installazione di un dispersore, ad esempio un dispersore ad anello esterno intorno all'edificio oppure sotto l'impermeabilizzazione nello strato di magrone. Negli edifici con vasca nera il lato della maglia dovrebbe essere di max. 10 m x 10 m.

Il collegamento del dispersore esterno al sistema equipotenziale nell'edificio dovrebbe avvenire se possibile sopra l'impermeabilizzazione dell'edificio (**Figura 5.5.2.10**), per garantire anche a lungo termine l'impermeabilità dell'edificio. Un attraversamento stagno della vasca nera è solo possibile con apposito dispositivo passante terra-edificio stagno.

#### Piastre di fondazione in fibrocemento

Si tratta di un tipo di calcestruzzo che viene formato con l'aggiunta di fibre d'acciaio al calcestruzzo liquido, e che dopo l'asciugatura costituisce una lastra di calcestruzzo con elevata portata.

Le fibre di acciaio hanno una lunghezza di ca. 6 cm e un diametro di 1-2 mm. Le fibre in acciaio sono

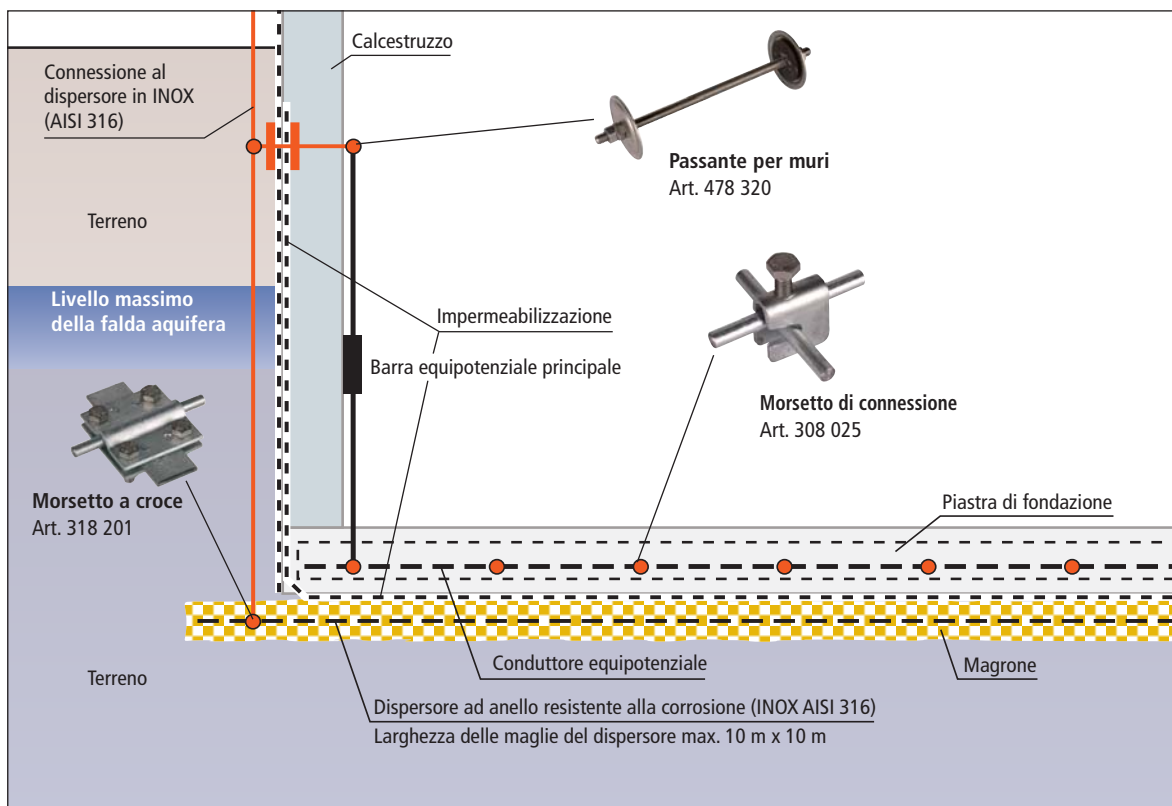


Figura 5.5.2.10 Disposizione del dispersore all'esterno dell'impermeabilizzazione "vasca nera"

leggermente ondulate e vengono miscelate al calcestruzzo liquido in modo uniforme. La parte di fibre di acciaio è di ca. 20-30 kg/m<sup>3</sup> di calcestruzzo.

Attraverso questa miscela, la piastra in calcestruzzo diventa altamente resistente alle sollecitazioni, non solo per quanto riguarda la pressione, ma anche la trazione, e offre inoltre - rispetto alla tradizionale piastra in calcestruzzo con armatura - una maggiore elasticità.

Il calcestruzzo liquido viene gettato sul posto ed è possibile formare una superficie estremamente liscia senza giunture anche per grandi superfici. Viene ad esempio utilizzato per le piastre di fondazione in calcestruzzo di grossi capannoni.

Il fibrocemento è senza armatura, quindi per la messa a terra deve essere installato un dispersore ad anello aggiuntivo o una rete a maglie. Il conduttore di terra può essere inserito nel calcestruzzo, e - se è costituito da materiale zincato - deve essere circondato su tutti i lati. Questo sarà difficilmente realizzabile sul posto.

Si raccomanda perciò di installare sotto la successiva piastra di calcestruzzo, dell'acciaio inossidabile alto-legato e resistente alla corrosione, AISI 316. Devono essere previsti i relativi punti di connessione.

#### Nota:

L'installazione di dispersori o conduttori di terra e componenti di connessione nel calcestruzzo deve essere eseguita da persone qualificate. Se questo non è possibile, l'impresa edile può eseguire questo lavoro solamente se è garantita la supervisione di un esperto.

### 5.5.3 Dispersori ad anello - Dispersore di tipo B

Su tutte le nuove costruzioni la CEI 64-12 consiglia un dispersore di fondazione. L'impianto di messa a terra per costruzioni esistenti può essere eseguito come dispersore ad anello (Figura 5.5.3.1).

Questo dispersore deve essere realizzato come anello chiuso attorno all'edificio oppure, se questo

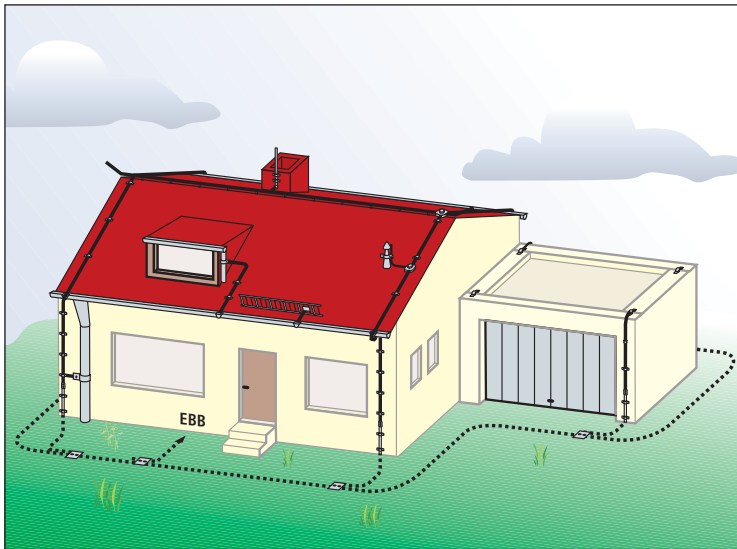


Figura 5.5.3.1 Dispersore ad anello attorno a un'abitazione

non è possibile, deve essere effettuato un collegamento per chiudere l'anello all'interno dell'edificio. L'80% dei conduttori del dispersore deve essere a contatto con il terreno. Se 80% non può essere raggiunto, è necessario verificare se servono dispersori di tipo A supplementari.

I requisiti riguardo alla lunghezza minima dei dispersori per ogni livello di protezione devono essere rispettati (vedere capitolo 5.5.1).

Durante la posa del dispersore ad anello è necessario accertarsi che questo venga posato ad una profondità di > 0,5 m e a una distanza di 1 m dall'edificio.

Se il dispersore viene inserito come descritto in precedenza, riduce la tensione di passo e serve in questo modo al controllo del potenziale intorno all'edificio.

Il dispersore ad anello dovrebbe essere posato nel sottosuolo preesistente. L'inserimento in terreno di riporto oppure riempito di calcinacci peggiora la resistenza di terra.

Per quanto riguarda la scelta del materiale del dispersore ai fini della corrosione devono essere considerate le condizioni locali. È vantaggioso l'utilizzo dell'acciaio inossidabile. Questo materiale per dispersori non corrode e non richiede in futuro interventi di risanamento impegnativi e costose dell'impianto di messa a terra, come la rimozione di selciato, coperture di asfalto o anche scale, per posare un nuovo conduttore.

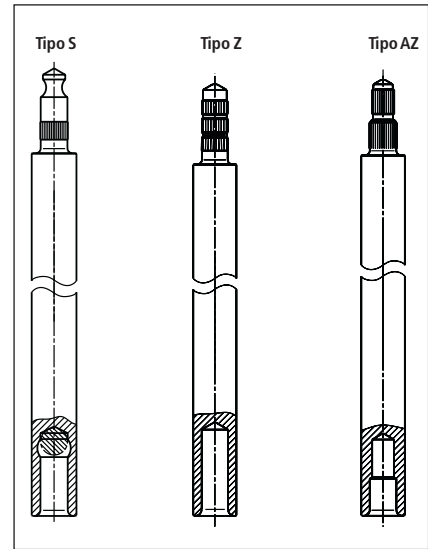


Figura 5.5.4.1 Innesti dei dispersori di profondità DEHN

Inoltre i punti di collegamento devono essere protetti in modo particolare contro la corrosione.

#### 5.5.4 Dispersori verticali - Dispersore di tipo A

I dispersori verticali componibili del sistema DEHN vengono prodotti con acciaio speciale e zincati a caldo in bagno oppure sono realizzati in acciaio inossidabile altolegato AISI 316 (il dispersore in acciaio inossidabile altolegato viene utilizzato in zone ad alto rischio di corrosione). Caratteristica particolare di questi dispersori di profondità è il loro punto di innesto, che permette la giunzione dei dispersori senza manicotti e incremento di diametro.

Ogni barra possiede sull'estremità inferiore una foratura, mentre l'altra estremità presenta il corrispondente perno (Figura 5.5.4.1).

Per il tipo di dispersore "S", l'inserto in metallo morbido si deforma nella foratura durante l'infissione, costituendo così un collegamento elettrico e meccanico eccezionale.

Per il tipo di dispersore "Z", l'alta qualità dell'innesto viene raggiunta tramite un perno a zigrinatura multipla.

Per il tipo di dispersore "AZ", l'alta qualità del giunto viene raggiunta tramite l'innesto a gradini e a doppia zigrinatura.



Figura 5.5.4.2 Installazione del dispersore di profondità con supporto e martello vibratore

I vantaggi del dispersore di profondità DEHN sono:

- ⇒ la giunzione speciale:  
nessun incremento del diametro, quindi per tutta la sua lunghezza il dispersore si trova a stretto contatto con il terreno
- ⇒ si innesta automaticamente durante l'infissione delle barre
- ⇒ infissione facile con martelli vibratori (**Figura 5.5.4.2**) o manualmente con mazza
- ⇒ vengono raggiunti valori di resistenza costanti, dal momento che i dispersori di profondità raggiungono strati di terreno non influenzati da variazioni di umidità o temperatura dovute alle stagioni
- ⇒ alta resistenza alla corrosione tramite zincatura a caldo (spessore dello strato di zinco 70  $\mu\text{m}$ )
- ⇒ anche gli innesti dei dispersori di profondità zincati sono zincati a caldo
- ⇒ semplice immagazzinaggio e possibilità di trasporto dovuto alla lunghezza delle singole barre di 1,5 m o 1 m.

### 5.5.5 Dispersori in terreni rocciosi

Per sottosuoli rocciosi e pietrosi spesso dei dispersori orizzontali come i dispersori ad anello o radiali sono l'unica possibilità di realizzare un impianto di messa a terra.

Per l'installazione dei dispersori viene posato del materiale tondo o piatto sul terreno pietroso o roccioso. Il dispersore dovrebbe essere ricoperto di magrone, calcestruzzo minerale o simile.

Per il dispersore è vantaggioso l'utilizzo di acciaio inossidabile, AISI 316. I punti di collegamento dovrebbero essere eseguiti con particolare cura e protetti da corrosione (nastro anti corrosione).

### 5.5.6 Interconnessione di impianti di messa a terra

Un impianto di messa a terra può avere diversi compiti.

Il compito di una terra di protezione è quello di collegare in modo sicuro al potenziale di terra gli impianti elettrici e le apparecchiature e di proteggere persone e materiali in caso di guasto elettrico. L'impianto di terra per sistemi di protezione contro i fulmini provvede a condurre la corrente in modo sicuro dalle calate nel terreno.

La terra funzionale ha il compito di garantire il funzionamento sicuro e privo di disturbi degli impianti elettrici ed elettronici.

L'impianto di messa a terra di una struttura deve essere in grado di svolgere tutti questi compiti nell'insieme. In caso contrario potrebbero verificarsi delle differenze di potenziale tra i sistemi collegati ai diversi impianti di terra.

Come terra funzionale delle apparecchiature elettroniche, un tempo veniva realizzata nella pratica una "terra pulita", separata dalla terra di protezione e dai fulmini. Questo è molto svantaggioso e può persino essere pericoloso. In caso di fulminazione, nell'impianto di terra si verificano altissime differenze di potenziale fino ad alcune centinaia di kV, il che può provocare la distruzione di sistemi elettronici e mettere in pericolo delle persone. Per questo motivo le norme CEI EN 62305-3 e -4 richiedono un collegamento equipotenziale continuativo all'interno della struttura.

La messa a terra dei sistemi elettronici all'interno di una struttura può essere costruita a forma radiale, centrale o a maglie. È da preferire la struttura a maglie. Questo dipende sia dall'ambiente elettromagnetico che anche dalle caratteristiche dei siste-

mi elettronici. Se una struttura relativamente grande è composta da più di un edificio e se esistono dei conduttori elettrici tra questi edifici, attraverso il collegamento dei singoli sistemi di terra, la resistenza di terra (totale) può essere ridotta (Figura 5.5.6.1). Inoltre, le differenze di potenziale tra gli edifici vengono ridotte notevolmente. Nel contempo viene anche ridotta la sollecitazione di tensione dei collegamenti elettrici ed elettronici. Dal collegamento dei singoli sistemi di messa a terra degli edifici dovrebbe risultare una rete a maglie. La rete a maglie di messa a terra dovrebbe essere impostata in modo da collegarsi agli impianti di messa a terra negli stessi punti, in cui vengono collegati i dispositivi di discesa verticali. Quanto più stretta è la rete di maglie della messa a terra, tanto più ridotte sono le differenze di potenziale tra gli edifici in caso di fulminazione. Questo dipende dalla superficie complessiva della struttura. Si sono affermate come convenienti le larghezze di maglie 20 m x 20 m fino a 40 m x 40 m. Se, ad esempio, sono presenti camini alti (punti di fulminazione più esposti), dovrebbero essere installati, attorno alla relativa parte della struttura, dei collegamenti in modo stretto e, se possibile, a forma radiale con collegamenti trasversali ad anello (controllo dei potenziali). Per la scelta del materiale per i condut-

tori della maglia di terra deve essere considerato l'aspetto corrosione e compatibilità dei materiali.

## 5.5.7 Corrosione dei dispersori

### 5.5.7.1 Impianti di messa a terra con particolare attenzione alla corrosione

I metalli che si trovano in contatto diretto con il terreno o l'acqua (elettroliti), possono corrodersi a causa di correnti parassite, terreno aggressivo e formazione di elementi galvanici. Una protezione contro la corrosione attraverso un rivestimento continuo, cioè una separazione dei metalli dal terreno, non è possibile con i dispersori, dal momento che tutti i rivestimenti normalmente utilizzati fino ad ora possedevano un'elevata resistenza elettrica e perciò l'azione del dispersore veniva neutralizzata.

I dispersori a materiale uniforme possono essere a rischio di corrosione a causa di un terreno aggressivo o a causa della formazione di elementi di concentrazione. Il pericolo di corrosione dipende dal materiale e da tipo e composizione del terreno.

Sempre più spesso si osservano dei danni da corrosione dovuti alla formazione di elementi galvanici. Questa formazione di elementi tra diversi metalli con potenziali metallo/elettrolito molto diversi è

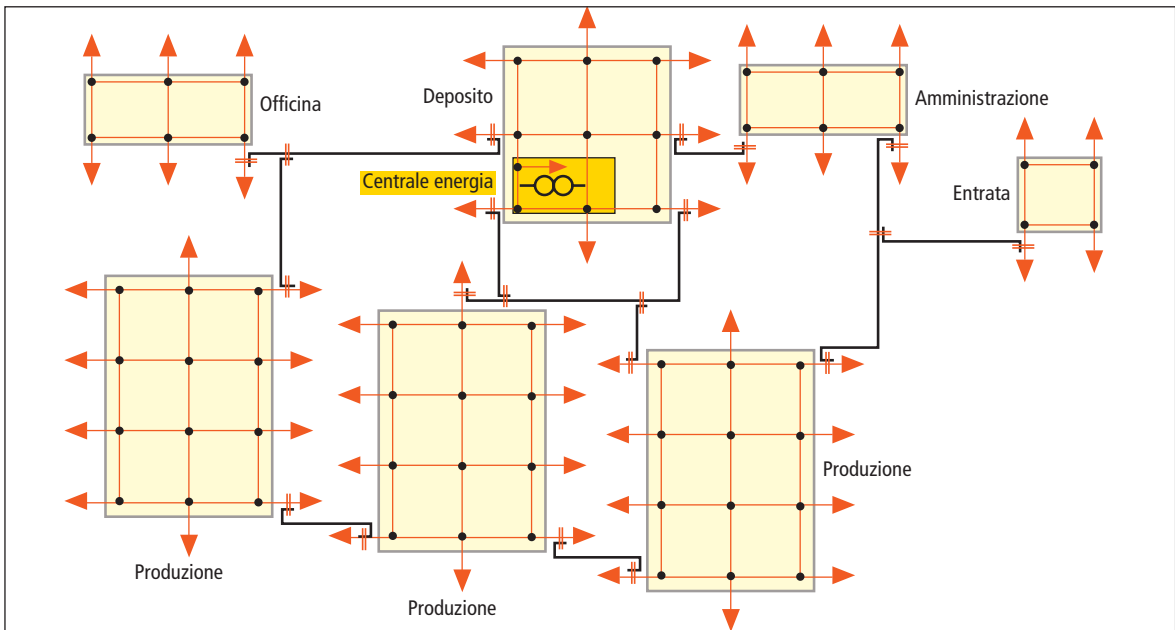


Figura 5.5.6.1 Impianto di messa a terra interconnesso di uno stabilimento industriale

già nota da molti anni. Per molti versi ancora sconosciuta è invece la cognizione, che anche armature di fondazioni in calcestruzzo possono diventare il catodo di un elemento e come tali provocare corrosioni su altri impianti.

Con il metodo di costruzione modificato - strutture in cemento armato sempre più grandi e superfici metalliche libere nel terreno sempre più piccole - il rapporto della superficie anodo/catodo diventa sempre più sfavorevole, e il pericolo di corrosione di metalli meno nobili aumenta inevitabilmente.

In molti casi sono state sospettate altre cause di corrosione, ad esempio le correnti alternate. Grazie a ripetute misure, tuttavia, è stato provato che le correnti alternate con frequenza  $16\frac{2}{3}$  e 50 Hz e con le densità di corrente riscontrate in pratica, non possono essere la causa della corrosione riscontrata sui materiali nudi usati di solito nel terreno.

Una separazione elettrica di impianti con effetto anodico, per evitare questa formazione di elementi, è possibile solo in casi eccezionali. Oggi, l'obiettivo che viene perseguito, è l'integrazione di tutti i dispersori, incluse le parti metalliche in contatto con il terreno, in modo da ottenere un collegamento equipotenziale e quindi la massima sicurezza contro tensioni di contatto troppo elevate in caso di guasto e di fulminazione.

Negli impianti ad alta tensione, i dispersori della terra di protezione ad alta tensione vengono sempre più spesso collegati alla terra d'esercizio per l'impianto in bassa tensione. Inoltre la CEI 64-8/4 richiede l'integrazione delle tubazioni e degli altri impianti nelle misure di protezione dal contatto diretto/indiretto. Per evitare o comunque ridurre i pericoli di corrosione, l'unica via potrebbe rimanere quindi la scelta dei materiali più idonei per i dispersori.

Esperienza decennale nella tecnica della messa a terra e ampi studi preliminari danno molteplici

risultati interessanti, che sono rilevanti per i dispersori, anche per quelli utilizzati in impianti di protezione contro i fulmini.

Di seguito vengono descritti i processi di base che determinano l'effetto corrosione.

Da questi e dalla grande quantità di materiali per dispersori finora elaborata, verranno dedotte speciali misure di protezione da corrosione specialmente per quanto riguarda i dispersori per la protezione contro i fulmini.

### Termini utilizzati nella protezione contro la corrosione e nelle misurazioni relative alla corrosione

#### Corrosione

È la reazione di un materiale metallico con il suo ambiente circostante, che porta ad un peggioramento delle caratteristiche del materiale metallico e/o del suo ambiente circostante. La reazione è nella maggior parte dei casi di carattere elettrochimico.

#### Corrosione elettrochimica

È una corrosione, durante la quale si verificano dei processi elettrochimici. Si verificano esclusivamente in presenza di un elettrolito.

#### Elettrolito

È una materia che conduce ioni (ad esempio terreno, acqua, sali disciolti).

#### Elettrodo

È un materiale in un elettrolito che conduce elettroni. Il sistema elettrodo-elettrolito forma una semi-cella.

#### Anodo

È un elettrodo dal quale fluisce corrente continua verso l'elettrolito.

#### Catodo

È un elettrodo verso quale fluisce corrente continua dall'elettrolito.

#### Elettrodo di riferimento

È un elettrodo di misura usato per determinare il potenziale di un metallo nell'elettrolito.

#### Solfato di rame/elettrodo

È un elettrodo di riferimento difficilmente polarizzabile, costituito da rame in una soluzione di solfato di rame saturo.

L'elettrodo in solfato di rame è l'elettrodo di riferimento più comune per la misura del potenziale di oggetti metallici che si trovano sotto terra (Figura 5.5.7.1.1).

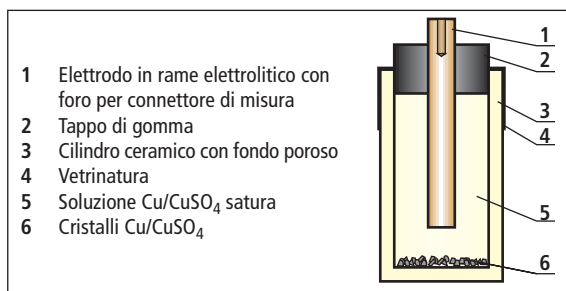


Figura 5.5.7.1.1 Esempio di un elettrodo di misura non polarizzabile (elettrodo rame/solfato di rame) per la presa di un potenziale nell'elettrolito (disegno in sezione)

## Elemento di corrosione

È un elemento galvanico con densità di corrente parziale localmente diverse per lo scioglimento dei materiali. Anodi e catodi dell'elemento di corrosione si possono formare:

### ⇒ sul materiale

a causa di metalli diversi (corrosione di contatto) o componenti diversi di una materia (corrosione selettiva o intercristallina)

### ⇒ sull'elettrolito

a causa di concentrazioni diverse di determinate sostanze aventi caratteristiche stimolatorie o inibitorie per lo scioglimento dei metalli.

## Potenziali

### Potenziale di riferimento

Potenziale di un elettrodo di riferimento riferito all'elettrodo di idrogeno standard.

### Potenziale elettrico

È il potenziale elettrico di un metallo o di un corpo solido che conduce elettroni in un elettrolito.

## 5.5.7.2 Formazione di elementi galvanici, corrosione

I processi di corrosione si possono spiegare chiaramente con l'aiuto di un elemento galvanico.

Se ad esempio una barra metallica viene immersa in un elettrolito, gli ioni con carica positiva passano nell'elettrolito e al contrario vengono anche assorbiti dal composto metallico gli ioni positivi dall'elettrolito. Si parla in questo contesto di "pressione di soluzione" del metallo e di "pressione osmotica" della soluzione. A seconda della grandezza di queste due pressioni, o è maggiore la quantità di ioni della barra che passano nella soluzione (la barra diventa negativa rispetto alla soluzione), oppure è maggiore la quantità di ioni dell'elettrolito che si depositano sulla barra (la barra

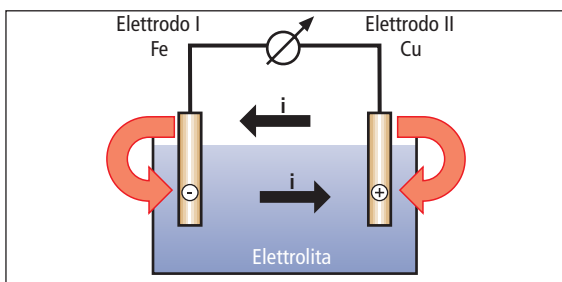


Figura 5.5.7.2.1 Elemento galvanico: ferro/rame

diventa positiva rispetto all'elettrolito). Si crea quindi una tensione tra due barre metalliche nell'elettrolito.

Nella pratica, i potenziali dei metalli nel terreno vengono misurati con un elettrodo di solfato di rame. L'elettrodo è composto da una barra in rame, immersa in una soluzione di solfato di rame (il potenziale di riferimento di questo elettrodo di riferimento rimane costante).

Analizziamo ora il caso, in cui due barre di materiali diversi vengono immerse nello stesso elettrolito. Su ogni barra nell'elettrolito si crea una tensione di una determinata grandezza. Con un voltmetro si può misurare la tensione tra le due barre (elettrodi); tale tensione rappresenta la differenza tra i potenziali dei singoli elettrodi rispetto all'elettrolito.

Come si verifica quindi il flusso di corrente nell'elettrolito e con esso il trasporto di sostanza, e quindi la corrosione?

Se si collega, come indicato in questo esempio, l'elettrodo di rame e l'elettrodo di ferro attraverso un amperometro fuori dall'elettrolito, si constaterà il seguente fenomeno (Figura 5.5.7.2.1): nel circuito elettrico esterno la corrente  $i$  circola da + verso -, quindi dall'elettrodo in rame "più nobile" secondo la tabella 5.5.7.2.1 verso l'elettrodo in ferro.

Nell'elettrolito invece la corrente  $i$  dovrà fluire dall'elettrodo in ferro "più negativo" verso l'elettrodo in rame, per poter chiudere il circuito elettrico. Questo significa, molto genericamente, che il polo negativo emette ioni positivi verso l'elettrolito e diventa così l'anodo dell'elemento galvanico, cioè viene disciolto. La dissoluzione del metallo si verifica nelle zone di passaggio della corrente nell'elettrolito.

Una corrente di corrosione può crearsi anche attraverso un elemento di concentrazione (Figura 5.5.7.2.2). In questo caso due elettrodi dello stesso metallo vengono immersi in elettroliti diversi.

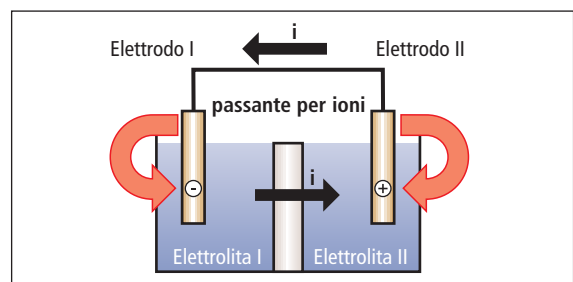


Figura 5.5.7.2.2 Elemento di concentrazione



L'elettrodo nell'elettrolito II con maggiore concentrazione di ioni metallici diventa elettricamente più positivo rispetto all'altro. Questo processo viene anche descritto come polarizzazione. Collegando i due elettrodi si ottiene un flusso di corrente  $i$ , e l'elettrodo elettrochimicamente più negativo si dissolve.

Un tale elemento di concentrazione può ad esempio essere formato da due elettrodi di ferro, di cui uno viene annegato nel calcestruzzo, mentre l'altro si trova nel terreno (**Figura 5.5.7.2.3**).

Attraverso il collegamento di questi due elettrodi, il ferro nel calcestruzzo diventa il catodo dell'elemento di concentrazione, e quello nel terreno diventa l'anodo; quest'ultimo viene distrutto, per effetto della perdita di ioni.

In genere, per la corrosione elettrochimica, vale la regola per cui quanto più grandi sono gli ioni e quindi più piccola è la loro carica (cioè  $i$  è proporzionale alla massa degli atomi del metallo), tanto più grande sarà il trasporto di metallo collegato al flusso di corrente  $i$ .

Nella pratica si considerano le correnti che scorrono in un determinato periodo, ad esempio in un anno. Nella **tabella 5.5.7.2.1** sono indicati i valori che esprimono l'effetto della corrente da corrosione (densità di corrente) attraverso la quantità di metallo disciolto. Le misure della corrente da corrosione rendono quindi possibile il calcolo anticipato della quantità di grammi che verrà erosa in un determinato periodo.

	Denominazione	Simbolo	Unità	Rame	Piombo	Stagno	Ferro	Zinco
1	Potenziale di corrosione libero nel terreno <sup>1)</sup>	$U_{M-Cu/CuSO_4}$	V	0 a -0,1	-0,5 a -0,6	-0,4 a -0,6 <sup>2)</sup>	-0,5 a -0,8 <sup>3)</sup>	-0,9 a -1,1 <sup>5)</sup>
2	Potenziale di protezione catodica nel terreno <sup>1)</sup>	$U_{M-Cu/CuSO_4}$	V	-0,2	-0,65	-0,65 <sup>2)</sup>	-0,85 <sup>4)</sup>	-1,2 <sup>5)</sup>
3	Equivalenti elettrochimico	$K = \frac{\Delta m}{I t}$	kg/(A • anno)	10,4	33,9	19,4	9,1	10,7
4	Tasso di corrosione lineare con $J = 1 \text{ mA/dm}^2$	$W_{lin} = \frac{\Delta s}{t}$	mm/anno	0,12	0,3	0,27	0,12	0,15

<sup>1)</sup> Misurato sull'elettrodo in rame/solfato di rame saturo (Cu/Cu SO<sub>4</sub>).

<sup>2)</sup> I valori vengono controllati con le prove eseguite al momento. Il potenziale di rame stagnato dipende dallo spessore del rivestimento di stagno e si colloca - considerando i rivestimenti di stagno abituali di pochi  $\mu\text{m}$  - tra i valori di stagno e rame nel terreno.

<sup>3)</sup> Questi valori valgono anche per acciaio a bassa lega. Il potenziale di acciaio nel calcestruzzo (ferri per armatura di fondazione) dipende fortemente dalle influenze esterne. Misurato su un elettrodo di rame/solfato di rame saturo ammonta generalmente da -0,1 a -0,4 V. Per un collegamento conduttivo metallico con impianti di grande superficie sotterranei, realizzati in metallo con potenziali più negativi, viene polarizzato catodicamente e raggiunge valori fino a circa -0,5 V.

<sup>4)</sup> In terreni anaerobici il potenziale di protezione dovrebbe essere di -0,95 V.

<sup>5)</sup> L'acciaio zincato a caldo, con rivestimento in zinco, secondo la tabella sopra illustrata, presenta uno strato chiuso esterno di zinco puro. Il potenziale dell'acciaio zincato nel terreno corrisponde perciò circa al valore indicato per lo zinco. In caso di perdita del rivestimento in zinco, il potenziale diventa più positivo e può raggiungere, nell'eventualità di una perdita completa del rivestimento, il valore dell'acciaio. Il potenziale dell'acciaio zincato a caldo nel calcestruzzo presenta circa gli stessi valori iniziali. Nel corso del tempo, il potenziale può diventare più positivo, anche se valori più positivi di -0,75 V non sono finora stati riscontrati. Il rame zincato a caldo con un rivestimento di zinco di almeno 70  $\mu\text{m}$  possiede anch'esso un rivestimento esterno chiuso in zinco puro. Il potenziale del rame zincato a caldo nel terreno corrisponde perciò al valore indicato per lo zinco nel terreno. Per uno strato di zinco più sottile o in caso di corrosione dello strato in zinco, il potenziale diventa più positivo, ma valori limite sono al momento ancora incerti.

Tabella 5.5.7.2.1 Valori potenziali e tassi di asporto dei metalli comunemente usati

Ancora più interessante, in termini pratici, è tuttavia la previsione se e in che lasso di tempo si verifichino crateri o buchi in seguito a corrosione su dispersori, contenitori in acciaio, tubi ecc. È quindi importante sapere se l'attacco della corrente deve essere supposto su tutta la superficie o solo in singoli punti.

Per l'attacco da corrosione non è solo determinante la grandezza della corrente di corrosione, ma in particolare la sua densità, quindi la corrente per unità di superficie.

Questa densità di corrente spesso non può essere determinata direttamente. In questi casi vengono utilizzate come aiuto le misure di potenziale, dalle quali si può ricavare l'entità della "polarizzazione" esistente. Verrà ora spiegato brevemente il comportamento di polarizzazione degli elettrodi.

Analizziamo il caso, in cui una bandella di acciaio zincato, che si trova in un terreno sia collegata con l'armatura in acciaio (nera) di una fondazione in calcestruzzo (**Figura 5.5.7.2.4**). Secondo le nostre misure, si verificano le seguenti differenze di potenziale rispetto all'elettrodo di solfato di rame:

Acciaio, (nero) nel calcestruzzo: - 200 mV

Acciaio, zincato, nella sabbia: - 800 mV

Tra questi due metalli esiste quindi una differenza di potenziale di 600 mV. Se ora vengono collegati al di fuori del terreno, scorrerà una corrente  $i$  nel circuito esterno dal tondino nel cemento armato verso l'acciaio nella sabbia, e nel terreno dall'acciaio nella sabbia verso l'acciaio dell'armatura.

L'entità della corrente  $i$  dipende ora dalla differenza di tensione, dalla conducibilità del terreno e dalla polarizzazione dei due metalli.

Generalmente si constata che la corrente  $i$  nel terreno viene generata in caso di cambiamenti di sostanza.

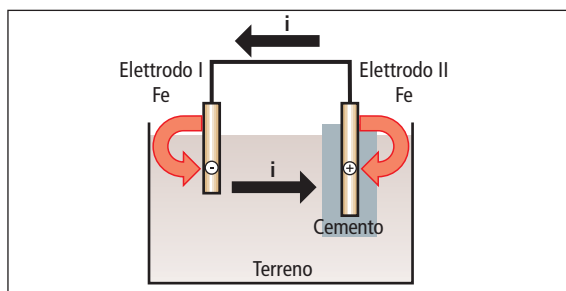


Figura 5.5.7.2.3 Elemento di concentrazione: ferro nel terreno / ferro nel calcestruzzo

Un cambiamento di sostanza significa però anche che si modifica la tensione dei singoli metalli rispetto al terreno. Questo spostamento di potenziale attraverso la corrente di corrosione  $i$  viene definito polarizzazione. L'entità della polarizzazione è direttamente proporzionale alla densità della corrente. Fenomeni di polarizzazione si verificano sull'elettrodo negativo e positivo. Tuttavia, le densità di corrente sui due elettrodi sono per lo più diverse.

#### A titolo esplicativo, consideriamo il seguente esempio:

Una condotta di gas in acciaio ben isolata e interrata, è collegata a dispersori di rame.

Quando la condotta isolata presenta anche solo piccole imperfezioni, su queste appare una elevata densità di corrente e la conseguenza è una rapida corrosione dell'acciaio.

Sul lato di ingresso della corrente con una superficie molto più grande dei dispersori in rame, invece, la densità di corrente è minima.

Di conseguenza, con una condotta in acciaio isolata più negativa si verificherà una maggiore polarizzazione rispetto ai dispersori in rame positivi. Ci sarà quindi un trasferimento del potenziale della condotta di acciaio verso valori più positivi. Di conseguenza diminuisce anche la differenza di potenziale tra i due elettrodi. L'entità della corrente di corrosione dipende quindi anche dalle caratteristiche di polarizzazione degli elettrodi.

L'intensità della polarizzazione può essere valutata attraverso la misura dei potenziali degli elettrodi con l'interruzione del circuito di corrente. Si interrompe il circuito, per evitare la caduta di tensione nell'elettrolito. Solitamente per questo tipo di misure vengono utilizzati degli strumenti con registrazione, dal momento che spesso, dopo l'interruzione della corrente da corrosione, subentra una veloce depolarizzazione. Se ora viene misura-

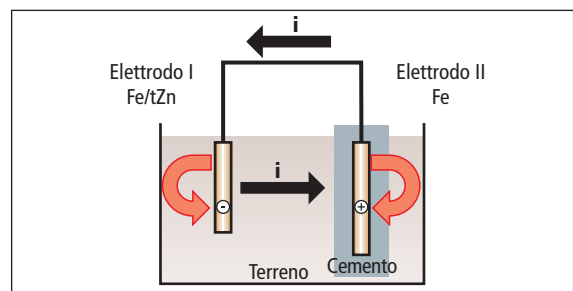


Figura 5.5.7.2.4 Elemento di concentrazione: acciaio zincato nel terreno / acciaio (nero) nel calcestruzzo

ta una forte polarizzazione sull'anodo (l'elettrodo negativo) (quindi si nota un chiaro spostamento verso il potenziale più positivo), significa che esiste un serio pericolo di corrosione per l'anodo.

Torniamo al nostro elemento di corrosione: acciaio (nero) nel calcestruzzo/acciaio zincato nella sabbia (Figura 5.5.7.2.4). Rispetto ad un elettrodo di solfato di rame molto distante, è possibile, a seconda del rapporto tra la superficie anodica e catodica e della polarizzabilità degli elettrodi, misurare un potenziale degli elementi interconnessi tra - 200 e - 800 mV.

Se ad esempio la superficie della fondazione in calcestruzzo è molto grande rispetto alla superficie del filo di acciaio zincato, su quest'ultimo si produrrà una densità di corrente anodica alta, quindi verrà polarizzato molto vicino al potenziale dell'acciaio di armatura e verrà distrutto in un tempo relativamente breve.

Una polarizzazione positiva alta indica quindi sempre un alto pericolo di corrosione.

Per la pratica è quindi importante conoscere i limiti a partire dai quali uno spostamento di potenziale positivo indica un pericolo di corrosione elevato. Purtroppo per questo non è possibile indicare un valore preciso, valevole in ogni caso; già solo le influenze delle varie composizioni dei terreni sono troppo numerose. I campi di spostamento del potenziale, invece, possono essere fissate per i terreni naturali.

### Riassunto

Una polarizzazione inferiore a + 20 mV in genere non è pericolosa. Gli spostamenti di potenziale, che vanno oltre i + 100 mV, sono invece sicuramente pericolosi. Tra 20 mV e 100 mV ci saranno sempre

casi, in cui la polarizzazione provocherà fenomeni di corrosione considerevoli.

In sintesi si può quindi affermare che:

la condizione per la formazione di elementi di corrosione (elementi galvanici) è sempre la presenza di anodi e catodi metallici, collegati in modo da condurre elettroliticamente.

Anodi e catodi si creano per effetto di:

⇒ **Materiali:**

- materiali diversi o caratteristiche diverse della superficie di un metallo (corrosione da contatto),
- componenti strutturali diversi (corrosione selettiva o intercrystallina).

⇒ **Elettroliti:**

concentrazione diversa (ad esempio salinità, aereazione).

Con questi elementi di corrosione le zone anodiche hanno sempre un potenziale metallo/elettrolito più negativo della zona catodica.

I potenziali metallo/elettrolito vengono misurati con un elettrodo di solfato di rame saturo, che viene posto nelle immediate vicinanze del metallo nel o sul terreno. La differenza di potenziale provoca una corrente continua sul collegamento metallico conduttivo tra anodo e catodo nell'elettrolito, che passa dall'anodo, a causa della dissoluzione del metallo nell'elettrolito, e poi rientra nel catodo.

Per la valutazione della densità di corrente anodica  $J_A$  viene spesso utilizzata la "regola della superficie":

$$J_A = \frac{U_K - U_A}{\varphi_K} \cdot \frac{A_K}{A_A} \text{ in A/m}^2$$

- $J_A$  densità media di corrente anodica
- $U_A, U_K$  rispettivamente potenziale anodico e catodico in V
- $\varphi_K$  resistività della polarizzazione del catodo in  $\Omega\text{m}^2$
- $A_A, A_K$  rispettivamente superficie anodica e catodica in  $\text{m}^2$

La resistività della polarizzazione è il rapporto tra la tensione di polarizzazione e la corrente cumulativa di un elettrodo misto (un elettrodo, sul quale si verifica più di una reazione elettrodica).

Materiali con superficie piccola	Materiali con superficie grande			
	Acciaio zincato	Acciaio	Acciaio in cemento	Rame
Acciaio zincato	+	+ <small>asporto zinco</small>	-	-
Acciaio	+	+	-	-
Acciaio in cemento	+	+	+	+
Acciaio con riv. Cu	+	+	+	+
Rame/INOX	+	+	+	+
+ può essere collegato    - non può essere collegato				

Tabella 5.5.7.4.1 Combinazione di materiali per impianti di messa a terra con diverse condizioni di superficie ( $A_K > 100 \times A_A$ )

Nella pratica, per la valutazione della velocità di corrosione, possono essere individuate approssimativamente la tensione di elemento trascinante  $U_K - U_A$  e la grandezza delle superfici  $A_K$  e  $A_A$  mentre i valori di  $\varphi_A$  (resistività della polarizzazione del catodo) e  $\varphi_K$  non sono determinabili con esattezza sufficiente. Questi dipendono dai materiali dell'elettrodo, dagli elettroliti e dalle densità di corrente, rispettivamente anodica e catodica.

Da risultati di analisi effettuate finora può essere dedotto, che  $\varphi_A$  è molto più piccola di  $\varphi_K$ .

Per  $\varphi_K$  valgono i seguenti valori:

acciaio nel terreno	ca. $1 \Omega m^2$
rame nel terreno	ca. $5 \Omega m^2$
acciaio nel calcestruzzo	ca. $30 \Omega m^2$

Dalla regola della superficie si può tuttavia rilevare che sia su condutture e contenitori in acciaio rivestiti, con piccoli difetti nel rivestimento, collegati con dispersori in rame, sia su conduttori di terra in acciaio zincato, collegati con impianti di terra estesi in rame o fondazioni in cemento armato molto grandi, si verificano forti fenomeni di corrosione.

Attraverso la scelta di materiali adatti, questi rischi di corrosione per i dispersori possono essere evitati o ridotti. Per raggiungere una durata di vita sufficiente, devono essere rispettate le dimensioni minime dei materiali (**Tabella 5.5.8.1**).

### 5.5.7.3 Scelta dei materiali per i dispersori

Nella **tabella 5.5.8.1** sono elencati i materiali oggi usati per i dispersori e le dimensioni minime.

#### Acciaio zincato a caldo

L'acciaio zincato a fuoco è anche adatto all'anneggiamento nel calcestruzzo. I dispersori di fondazione, conduttori di terra e collegamenti equipotenziali in acciaio zincato nel calcestruzzo possono essere collegati con i ferri per armatura.

#### Acciaio con rivestimento in rame

In caso di acciaio con rivestimento in rame, per il materiale del rivestimento valgono le stesse considerazioni fatte per il rame nudo.

Un danneggiamento del rivestimento in rame causa tuttavia un forte pericolo di corrosione per il nucleo in acciaio, perciò deve essere sempre presente uno strato di rame completo e continuo.

#### Rame nudo

Il rame nudo è molto resistente per via della sua posizione nella graduatoria dei potenziali elettrolitici. Inoltre, nella interconnessione con dispersori o altre installazioni nel terreno, realizzati in un materiale "meno nobile" (ad esempio acciaio), viene protetto ulteriormente a livello catodico, tuttavia a scapito dei metalli "meno nobili".

#### Acciai inossidabili

Certi acciai inossidabili altolegati nel terreno sono passivi e resistenti alla corrosione. Il potenziale di corrosione libero di acciai inossidabili altolegati nei terreni solitamente aerati si colloca nella maggior parte dei casi nelle vicinanze dei valori del rame. Materiali per dispersori in acciai inossidabili, per la passivazione della loro superficie dopo alcune settimane, si comportano neutri verso altri (più e meno nobili) materiali.

Acciai inossidabili dovrebbero contenere almeno 16% di cromo, 5% di nichel e 2% di molibdeno.

In seguito ad ampie misure è risultato che solo un acciaio inossidabile altolegato ad esempio AISI 316 è sufficientemente resistente alla corrosione nel terreno.

#### Altri materiali

Altri materiali possono essere utilizzati, se sono particolarmente resistenti alla corrosione per determinati ambienti, oppure se sono almeno equivalenti ai materiali elencati nella **tabella 5.5.8.1**.

### 5.5.7.4 Interconnessione di dispersori costituiti da materiali diversi

La densità di corrente degli elementi, che si verifica durante l'interconnessione elettrica di due diversi metalli interrati, provoca la corrosione del metallo che funge da anodo (**Tabella 5.5.7.4.1**). Questo dipende principalmente dal rapporto della grandezza della superficie catodica  $A_K$  rispetto alla grandezza della superficie anodica  $A_A$ .

Il progetto di ricerca "Comportamento nei confronti della corrosione dei materiali per dispersori" ha portato al seguente risultato per la scelta dei materiali usati per i dispersori, in particolare per quanto riguarda l'interconnessione di materiali diversi:

La corrosione maggiore si verifica solo se il rapporto tra le superfici è:

$$\frac{A_K}{A_A} > 100$$

In generale, si può partire dal presupposto che il materiale con il potenziale più positivo diventi il catodo. L'anodo di un elemento di corrosione effettivamente presente può essere riconosciuto dal fatto che questo, dopo l'apertura del collegamento conduttivo, presenta il potenziale più negativo.

Dopo un'interconnessione con installazioni in acciaio interrato, i seguenti materiali per dispersori si comportano, nei terreni (che costituiscono lo strato di copertura), sempre in modo catodico:

- rame nudo,
- rame stagnato,
- acciaio inossidabile altolegato.

#### **Armatura in acciaio di fondazioni in calcestruzzo**

L'armatura in acciaio di fondazioni in calcestruzzo può presentare un potenziale molto positivo (simile al rame). Il dispersore e i conduttori di terra che vengono collegati con l'armatura di grosse fondazioni in cemento armato, dovrebbero perciò essere realizzati in acciaio inossidabile o rame. Questo vale soprattutto anche per collegamenti corti nelle immediate vicinanze delle fondazioni.

#### **Inserimento di spinterometri**

Come già accennato, è possibile interrompere il collegamento conduttivo tra impianti interrati con potenziali molto diversi, attraverso l'inserimento di spinterometri. Nel caso normale non potrà più circolare una corrente di corrosione. In caso di sovratensione, lo spinterometro si innesca, e collega gli impianti per tutta la durata della sovratensione. Sui dispersori di protezione o funzionali, tuttavia, non possono essere installati spinterometri, poiché questi dispersori devono sempre essere collegati all'impianto.

#### **5.5.7.5 Altre misure per la protezione da corrosione**

##### **Conduttori in acciaio zincato per il collegamento dai dispersori di fondazione verso le calate**

I conduttori in acciaio zincato dei dispersori di fondazione per il collegamento alle calate devono essere posati in calcestruzzo o muratura fino sopra al livello del suolo.

Se i conduttori di collegamento vengono posati nel terreno, l'acciaio zincato deve essere dotato di rivestimento in calcestruzzo o materia plastica, oppure devono essere utilizzati dei collegamenti con cavi isolati, acciaio inossidabile o punti fissi di messa a terra.

All'interno della muratura i conduttori di terra possono essere portati verso l'alto anche senza protezione da corrosione.

#### **Aste di adduzione in acciaio zincato**

I punti di adduzione nel terreno in acciaio zincato devono essere protetti da corrosione, partendo dalla superficie del terreno, 0,3 m verso l'alto e verso il basso. Strati di bitume non sono generalmente sufficienti. La protezione deve essere garantita da un rivestimento che non assorba umidità, ad esempio nastro in butile-caucciù o tubo restringente.

#### **Connessioni e collegamenti sotterranei**

Le superfici di taglio e i punti di collegamento nel terreno devono essere eseguiti in modo da assicurare uguale resistenza alla corrosione dello strato di protezione da corrosione del materiale del dispersore. Perciò i punti di collegamento nel terreno devono essere protetti con rivestimento adeguato, ad esempio avvolti con una striscia di protezione da corrosione.

#### **Rifiuti aggressivi**

Durante il riempimento di buche e fossi, nei quali vengono interrati dei dispersori, scorie e carbone non devono venire a diretto contatto con il materiale del dispersore; la stessa cosa vale per calcinacci.

#### **5.5.8 Materiali e dimensioni minime per dispersori**

Nella **tabella 5.5.8.1** sono indicate le sezioni minime, la forma e il materiale dei dispersori.

### **5.6 Isolamento elettrico della protezione contro i fulmini esterna - Distanza di sicurezza**

Esiste il pericolo di scariche incontrollate tra parti della protezione contro i fulmini esterna e impianti metallici ed elettrici all'interno dell'edificio, quando è insufficiente la distanza tra l'impianto di captazione o discesa da una parte e le installazioni metalliche ed elettriche all'interno di una struttura da proteggere dall'altra parte.

Materiale	Configurazione	Dimensioni minime			Commento
		Picchetto Ø mm	Conduttore	Piastra mm	
Rame	Cordato <sup>3)</sup>  Tondo massiccio <sup>3)</sup> Nastro massiccio <sup>3)</sup> Tondo massiccio Tubo Piastra massiccia Piastra a graticcio	15 <sup>8)</sup> 20	50 mm <sup>2</sup>  50 mm <sup>2</sup> 50 mm <sup>2</sup>	500 x 500 600 x 600	1,7 mm diam. min. di ciascun conduttore elementare 8 mm di diametro 2 mm di spessore minimo  2 mm spessore della parete 2 mm di spessore minimo Sezione 25 mm x 2 mm, lunghezza min. della configurazione a graticcio: 4,8 m
Acciaio	Tondo massiccio zincato <sup>1), 2)</sup> Tubo zincato <sup>1), 2)</sup> Nastro massiccio zincato <sup>1)</sup> Piastra massiccia zincata <sup>1)</sup> Piastra a graticcio zincata <sup>1)</sup> Tondo massiccio ricoperto di rame <sup>4)</sup>  Tondo massiccio grezzo <sup>5)</sup> Nastro massiccio grezzo o zincato <sup>5), 6)</sup> Cordato zincato <sup>5), 6)</sup>	16 <sup>9)</sup>  25   14	Diametro 10 mm  90 mm <sup>2</sup>    Diametro 10 mm 75 mm <sup>2</sup>  70 mm <sup>2</sup>	500 x 500 600 x 600	2 mm spessore della parete 3 mm di spessore minimo  3 mm di spessore minimo Sezione 30 mm x 3 mm  250 µm di rivestimento min. radiale del rame con 99,9 % contenuto di rame  3 mm di spessore minimo  1,7 mm diam. min. di ciascun conduttore elementare
Acciaio inossidabile <sup>7)</sup>	Tondo massiccio Nastro massiccio	15	Diametro 10 mm 100 mm <sup>2</sup>		2 mm di spessore minimo

1) Il rivestimento in zinco deve essere liscio, continuo e privo di residui, valore medio 50 µm per materiali tondi e 70 µm per materiali piatti.  
2) La filettatura deve essere eseguita prima della zincatura.  
3) Può anche essere stagnato.  
4) Il rame dovrebbe essere legato in modo fisso e permanente all'acciaio.  
5) Ammesso soltanto se completamente annegato nel calcestruzzo.  
6) Ammesso soltanto se correttamente connesso almeno ogni 5 m ai ferri d'armatura delle parti esposte della fondazione.  
7) Cromo ≥ 16 %, nichel ≥ 5 %, molibdeno ≥ 2 %, carbonio ≤ 0,08 %.  
8) In alcuni paesi è ammesso 12 mm.  
9) Aste di adduzione sono usati e in alcuni paesi per connettere la calata nel punto in cui essa entra nel terreno.

Tabella 5.5.8.1 Materiale, forma e sezioni minime dei dispersori

Le installazioni metalliche, ad esempio condotti dell'acqua, aria condizionata o elettrici, producono delle spire induttive nell'edificio, dentro ai quali - a causa del campo magnetico del fulmine che cambia rapidamente - possono venire indotte delle tensioni impulsive. Deve quindi essere evitato che attraverso queste tensioni impulsive si verifichi una scarica incontrollata, che potrebbe anche essere causa di incendio.

Una scarica disruptiva, ad esempio su conduttori elettrici, potrebbe causare grossi danni alle installazioni e alle utenze connesse. La **figura 5.6.1** illustra il principio della distanza di sicurezza.

La formula per il calcolo della distanza di sicurezza è difficile nell'applicazione a livello pratico. La formula è:

$$s = k_i \frac{k_c}{k_m} \cdot l(m)$$

considerando che:

- $k_i$  dipende dal livello di protezione scelto per l'impianto di protezione contro i fulmini,
- $k_c$  dipende dalla disposizione geometrica (coefficiente di distribuzione della corrente),
- $k_m$  dipende dal materiale nel punto di prossimità, e

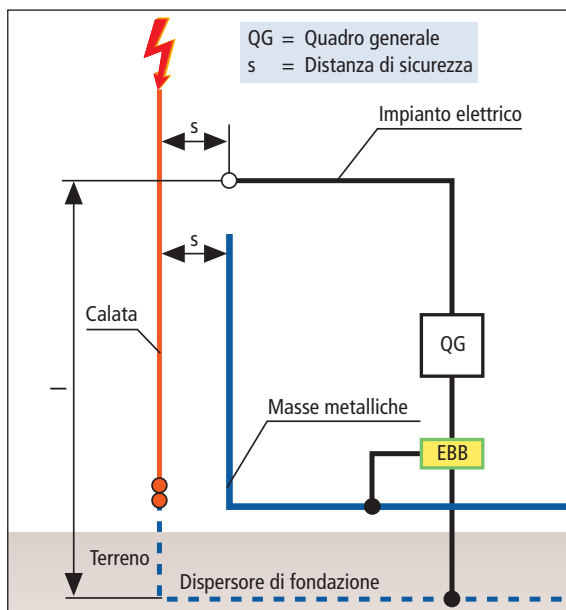


Figura 5.6.1 Rappresentazione di principio - Distanza di sicurezza

$l$  (m) lunghezza, lungo l'organo di captazione o della calata, dal punto nel quale deve essere calcolato la distanza di sicurezza, fino al prossimo nodo equipotenziale.

Il coefficiente  $k_i$  (fattore di induzione) del relativo livello di protezione indica il pericolo costituito dalla ripidità della corrente.

Il fattore  $k_c$  considera la distribuzione di corrente nel sistema di calate dell'impianto di protezione contro i fulmini esterno. Nella norma sono indicate diverse formule di calcolo per  $k_c$ . Per ottenere, soprattutto per le strutture più alte, delle distanze di sicurezza realizzabili nella pratica, viene raccomandata l'installazione di anelli perimetrali, cioè una interconnessione delle calate. Questa interconnessione permette di raggiungere un bilanciamento del flusso di corrente, che riduce la distanza di sicurezza necessaria.

Il fattore di materiale  $k_m$  considera le caratteristiche isolanti dell'ambiente circostante. Per questo calcolo le caratteristiche isolanti dell'aria vengono supposte con un fattore 1. Tutti gli altri materiali, che vengono utilizzati nella costruzione (ad esempio muratura, legno, ecc.) hanno una proprietà isolante dimezzata rispetto a quella dell'aria.

Altri fattori di materiale non vengono nominati. Eventuali valori contrastanti devono essere dimostrati con specifiche prove tecniche. Per il poliestere rinforzato con fibra di vetro (PRFV), utilizzato

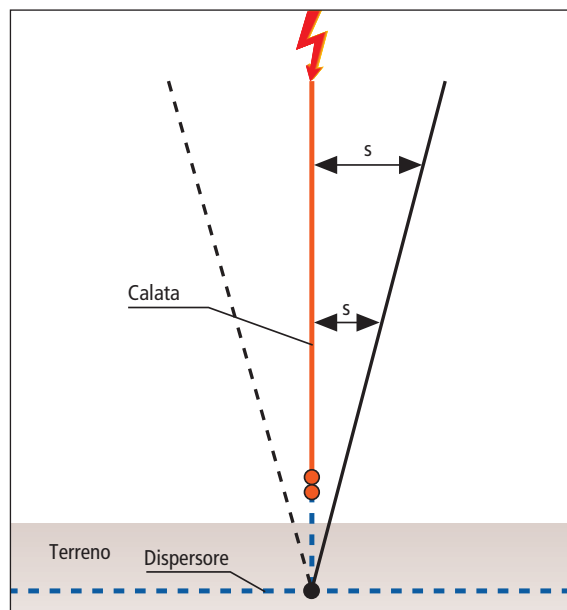


Figura 5.6.2 Differenza di potenziale in relazione all'altezza

per i prodotti di impianti di captazione isolati della DEHN+SÖHNE (DEHNiso-distanziatore, DEHNiso-Combi), viene specificato il fattore 0,7. Tale fattore può essere impiegato nel calcolo come gli altri fattori di materiale.

La lunghezza  $l$  è la distanza reale lungo il dispositivo di captazione e di calata, misurata dal punto al quale dovrà essere calcolato la distanza di sicurezza, fino al prossimo collegamento equipotenziale o al prossimo livello d'equipotenzialità antifulmine.

Ogni struttura con un'equipotenzialità antifulmine ha, in prossimità della superficie del terreno, un livello equipotenziale del dispersore di fondazione o di terra. Tale livello rappresenta la quota di riferimento per la determinazione della distanza  $l$ .

Se per un edificio di altezza elevata deve essere creato un livello d'equipotenzialità antifulmine, questo deve essere eseguito ad esempio su un'altezza di 20 m per tutti i conduttori elettrici ed elettronici nonché per tutte le installazioni metalliche. Il collegamento d'equipotenzialità antifulmine deve essere realizzato con gli **dispositivi di protezione da sovratensioni di Tipo 1**.

Altrimenti, anche per edifici alti, come base per la lunghezza  $l$  deve essere considerato come riferimento il livello equipotenziale del dispersore di fondazione.

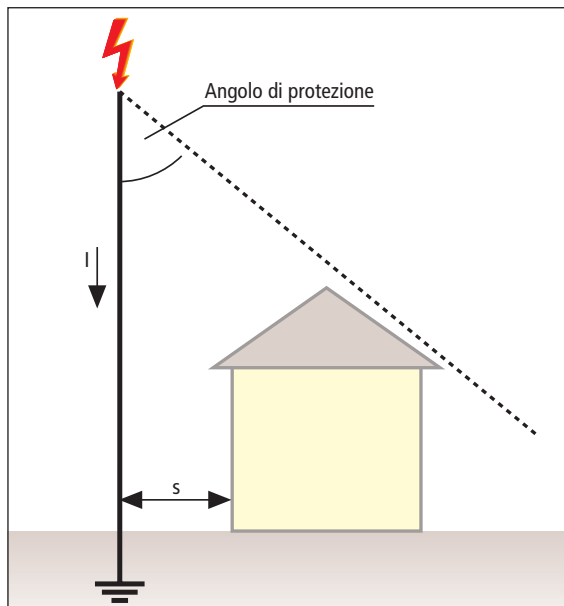


Figura 5.6.3 Palo di captazione con  $k_c = 1$

Più alti sono gli edifici, più diventa difficile rispettare le distanze di sicurezza richieste.

La differenza di potenziale tra le installazioni dell'edificio e le calate è uguale a zero vicino al livello del suolo. Con l'aumento dell'altezza aumenta anche la differenza di potenziale. Questo può essere rappresentato come un cono rovesciato (Figura 5.6.2).

Da questo si evince che la distanza di sicurezza da rispettare in cima a un edificio o sul tetto è massima e diminuisce in direzione dell'impianto di messa a terra.

Può, quindi, risultare necessario calcolare più volte la distanza dalle calate, con una diversa distanza  $l$ .

Il calcolo del coefficiente di distribuzione della corrente  $k_c$  risulta spesso difficile a causa della diversa costruzione degli edifici.

Se viene eretta una singola asta di captazione, ad esempio vicino all'edificio, la corrente da fulmine scorre tutta in questa unica asta. Il fattore  $k_c$  è quindi uguale a 1.

La corrente da fulmine in questo caso non si può distribuire e quindi è spesso difficile mantenere la distanza di sicurezza. Nella figura 5.6.3 questo può essere ottenuto posizionando il palo ancora più lontano dall'edificio.

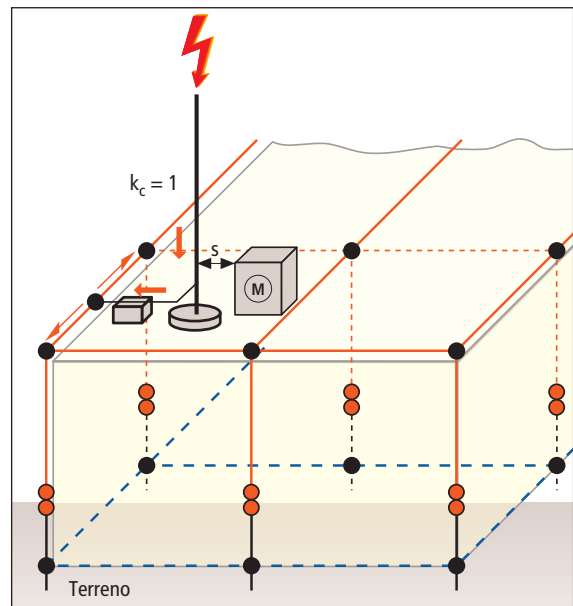


Figura 5.6.4 Tetto piano con asta di captazione e ventilatore



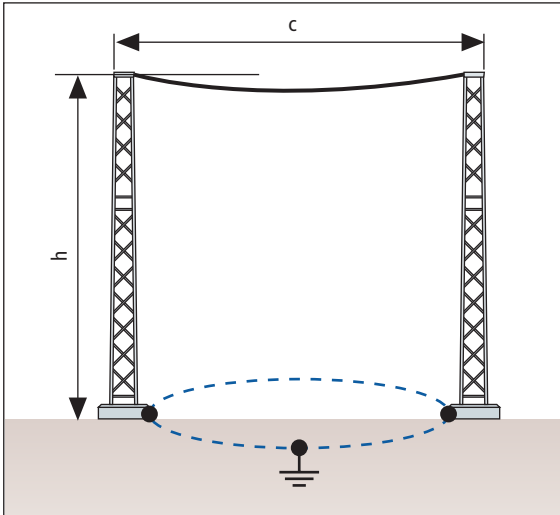


Figura 5.6.5 Determinazione di  $k_c$  per due pali con fune sospesa e dispersore di tipo B

Una situazione molto simile si verifica anche per le aste di captazione, ad esempio per le costruzioni sul tetto. Fino al prossimo collegamento dell'asta al conduttore di captazione o alla calata, questo percorso definito porta il 100% ( $k_c = 1$ ) della corrente da fulmine (Figura 5.6.4).

Se tra due aste o pali di captazione viene tesa una corda, la corrente da fulmine può distribuirsi su due percorsi (Figura 5.6.5). La distribuzione avviene tuttavia in base ad impedenze diverse, quindi non al 50% e 50%, dato che il fulmine non sempre colpisce il centro del dispositivo, ma può anche colpire lungo il percorso del dispositivo di captazione. Per il calcolo del fattore  $k_c$ , nella formula viene considerato il caso meno favorevole.

Questo calcolo presuppone un impianto di messa a terra di tipo B. Se sono presenti dispersori singoli del tipo A, questi devono essere collegati tra loro.

$$k_c = \frac{h + c}{2h + c}$$

- h lunghezza della calata
- c distanza tra le aste o pali di captazione

L'esempio seguente mostra il calcolo del coefficiente per un tetto spiovente con due calate (Figura

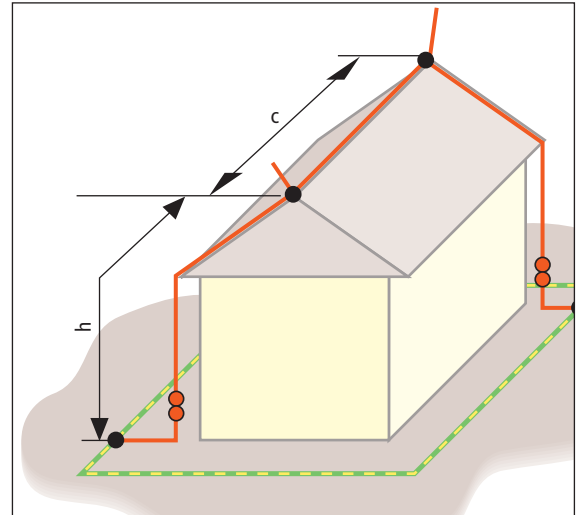


Figura 5.6.6 Determinazione di  $k_c$  per un tetto spiovente con 2 calate

ra 5.6.6). E' presente un impianto di messa a terra di tipo B (dispersore ad anello o di fondazione).

$$k_c = \frac{9 + 12}{2 \cdot 9 + 12} = 0,7$$

La disposizione delle calate, illustrata nella figura 5.6.6, non dovrebbe essere più applicata neppure su una casa unifamiliare. Utilizzando due ulteriori calate, quindi 4 calate in totale, il coefficiente di distribuzione della corrente viene migliorato notevolmente (Figura 5.6.7). Per il calcolo viene utilizzata la seguente formula:

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

- h lunghezza dalla calata fino alla gronda come punto meno favorevole per l'accoppiamento da fulminazione
- c distanza tra le calate
- n numero complessivo delle calate

$$k_c = \frac{1}{2 \cdot 4} + 0,1 + 0,2 \sqrt[3]{\frac{12}{4}}$$

Risultato:  $k_c \approx 0,51$

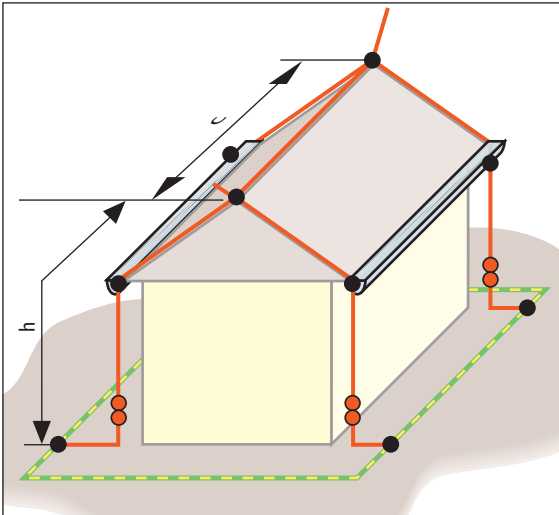


Figura 5.6.7 Tetto spiovente con 4 calate

Per edifici con tetti piani il coefficiente di distribuzione della corrente viene calcolato come segue.

Viene presupposta una disposizione di dispersori di tipo B (Figura 5.6.8).

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

- h distanza o altezza tra gli anelli
- c distanza tra le calate
- n numero complessivo delle calate

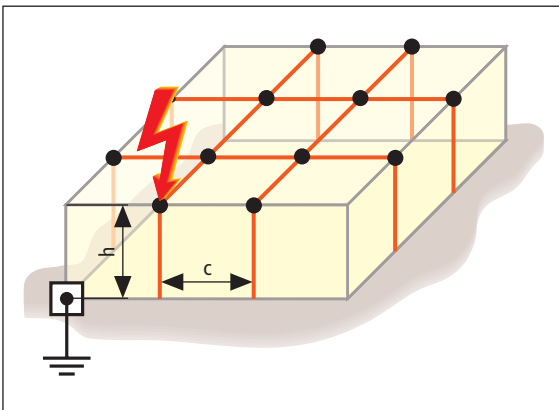


Figura 5.6.8 Valori del coefficiente  $k_c$  in caso di una rete di conduttori di captazione a maglia e un dispersore tipo B

Si presume che le distanze tra le calate siano uguali. Se la distanza non è uniforme, per  $c$  viene considerata la distanza più lunga.

Se sul tetto piano si trovano delle costruzioni o dei lucernari (Figura 5.6.9), per il calcolo della distanza di sicurezza devono essere considerati due coefficienti di distribuzione della corrente. Per l'asta di captazione vale il coefficiente  $k_c = 1$  fino al prossimo dispositivo di captazione/calata.

Il calcolo del coefficiente di distribuzione della corrente  $k_c$  per il proseguimento dell'impianto di captazione e di calate avviene come descritto sopra. Per un ulteriore chiarimento viene determinata ora la distanza di sicurezza  $s$  per un tetto piano con strutture sul tetto.

### Esempio:

Su un edificio con livello di protezione III sono stati montati dei lucernari ad azionamento elettrico.

Dati dell'edificio:

- ⇒ lunghezza 40 m
- ⇒ larghezza 30 m
- ⇒ altezza 14 m
- ⇒ impianto di terra, dispersore di fondazione di tipo B
- ⇒ numero delle calate: 12
- ⇒ distanza tra le calate:
  - min. 10 m
  - max. 15 m
- ⇒ altezza dei lucernari con azionamento elettrico: 1,5 m

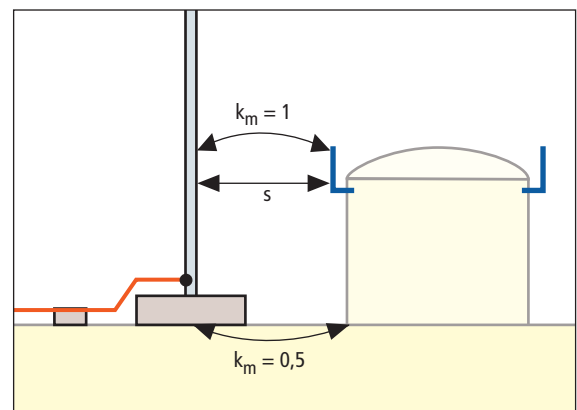


Figura 5.6.9 Fattori di materiale con asta di captazione su un tetto piano

Il calcolo del coefficiente di distribuzione della corrente  $k_c$  per l'edificio è:

$$k_c = \frac{1}{2 \cdot 11} + 0,1 + 0,2 \sqrt[3]{\frac{15}{14}}$$

Risultato:  $k_c \approx 0,35$

Il fattore  $k_c$  per l'asta di captazione non deve essere calcolato, quindi  $k_c = 1$ .

In riferimento alla ripartizione della corrente viene considerato che l'asta di captazione posizionata è sullo spigolo del tetto e che si trova al di fuori della maglia di captazione.

Calcolo della distanza di sicurezza per lo spigolo superiore del tetto dell'edificio:

Come fattore di materiale  $k_m$  viene scelto quello relativo alla muratura  $k_m = 0,5$ .

$$s = 0,05 \frac{0,35}{0,5} 14(m)$$

Risultato:  $s \approx 0,49m$

Calcolo della distanza di sicurezza per l'asta di captazione:

A causa della posizione dell'asta di captazione sul tetto piano il fattore di materiale è  $k_m = 0,5$ .

$$s = 0,05 \frac{1}{0,5} 1,5(m)$$

Risultato:  $s = 0,15 m$

Questa distanza di sicurezza calcolata sarebbe corretta, se l'asta di captazione fosse posata a livello del suolo (livello dell'equipotenzialità antifulmine).

Per ottenere la distanza di sicurezza completa e corretta, occorre aggiungere la distanza di sicurezza dell'edificio:

$$S_{tot} = S_{edificio} + S_{asta di captazione}$$

$$= 0,49 m + 0,15 m$$

$$S_{tot} = 0,64 m$$

Attraverso questo calcolo si ottiene, nel punto più alto del lucernario, una distanza di sicurezza di 0,64 m. Questa distanza di sicurezza è stata determinata con il fattore di materiale 0,5 per muratura.

Installando l'asta di captazione con un basamento in cemento su solaio (muratura), al piede dell'asta di captazione non è presente la completa caratteristica di isolamento dell'aria (Figura 5.6.9). Alla base in cemento è sufficiente una distanza di sicurezza di  $s_{edificio} = 0,49m$  (muratura).

Se per fabbricati alti vengono creati dei livelli equipotenziali antifulmine a diverse altezze includendo tutte le installazioni metalliche e conduttori elettrici ed elettronici per mezzo di scaricatori di corrente da fulmine (SPD Tipo I), può essere eseguito il seguente calcolo. In particolare vengono calcolate le distanze verso i conduttori installati su un solo livello equipotenziale antifulmine, oppure installazioni che si estendono anche su più livelli.

Questo presuppone un impianto di terra o sistema equipotenziale realizzato con un dispersore di fondazione o ad anello (tipo B), oppure una rete a maglia (Figura 5.6.10).

Come già accennato, possono essere installati ulteriori anelli attorno all'edificio (cintura) per il bilanciamento della corrente da fulmine, per cui la distanza di sicurezza viene influenzata positivamente. Nella figura 5.6.10 viene rappresentato il principio degli anelli attorno all'edificio, senza che all'altezza degli anelli stessi venga realizzato un livello equipotenziale antifulmine con l'utilizzo di scaricatori di corrente da fulmine.

Ai singoli segmenti sono stati attribuiti diversi coefficienti di ripartizione della corrente  $k_c$ . Se si deve determinare la distanza di sicurezza per una costruzione sul tetto, deve essere utilizzata la lunghezza totale dal livello equipotenziale del dispersore fino alla punta più alta della costruzione sul tetto (somma delle lunghezze parziali). Se deve essere individuata la distanza di sicurezza totale  $s_g$ , si deve calcolare con la seguente formula:

$$s_g = \frac{k_i}{k_m} (k_i \cdot l_g + k_{c3} \cdot l_3 + k_{c4} \cdot l_4)$$

Con questa forma di esecuzione degli anelli supplementari intorno al fabbricato, al suo interno non vengono introdotte alcune correnti parziali da fulmine.

Se la distanza di sicurezza non può essere mantenuta per l'intero impianto, neanche con diverse calate ed anelli supplementari, esiste la possibilità di definire lo spigolo superiore dell'edificio come livello equipotenziale dai fulmini (+/-0). Questo livello equipotenziale da fulmine sulla copertura del tetto viene di solito realizzata per palazzi molto alti, dove la distanza di sicurezza non può essere rispettata per questioni fisiche.

A questo scopo devono essere integrate nel collegamento equipotenziale tutte le installazioni metalliche e tutti i conduttori elettrici ed elettronici per mezzo di scaricatori di correnti da fulmine (SPD tipo I). Questo nodo equipotenziale viene collegato direttamente anche con la protezione contro i fulmini esterna. Attraverso le misure descritte in precedenza, le distanze di sicurezza sugli spigoli

superiori dell'edificio vengono poste a 0. Lo svantaggio di questa forma di esecuzione è dato dal fatto che tutti i conduttori, le installazioni metalliche, ad esempio le armature, le guide dell'ascensore ed anche le calate conducono corrente da fulmine. Gli effetti di queste correnti su sistemi elettrici ed elettronici devono essere considerati durante la progettazione del sistema di protezione contro i fulmini interno (protezione da sovratensioni).

E' vantaggioso una distribuzione della corrente da fulmine su una vasta area .

## 5.7 Tensione di passo e di contatto

Nella norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-10/3) viene fatto notare, che in casi particolari all'esterno di un edificio in prossimità delle calate, la tensione di contatto o di passo può essere mortale, anche se il sistema di protezione contro i fulmini è stato progettato a norma.

Casi particolari sono, ad esempio, le zone di ingresso, zone coperte di strutture con alta frequenza di visitatori come teatri, cinema, centri commerciali, nei quali sono presenti le calate nude e i dispersori nelle immediate vicinanze.

Per strutture particolarmente esposte (a rischio fulminazione) che sono liberamente accessibili al pubblico, possono pure essere necessarie delle misure contro le tensioni di passo e di contatto.

Queste misure (ad esempio regolazione del potenziale) vengono applicate in primo luogo a chiese, torri di osservazione, rifugi, pali di illuminazione negli impianti sportivi e ponti.

I raggruppamenti di persone possono essere diversi a seconda del luogo (ad esempio la zona di ingresso di centri commerciali o zone di salita delle torri di osservazione). Sono così necessarie misure per ridurre la tensione di passo e di contatto solo nelle zone ad elevato rischio.

Qui viene applicato il controllo del potenziale, isolamento del suolo o altre misure descritte più avanti. Le singole misure di protezione possono anche essere combinate tra loro.

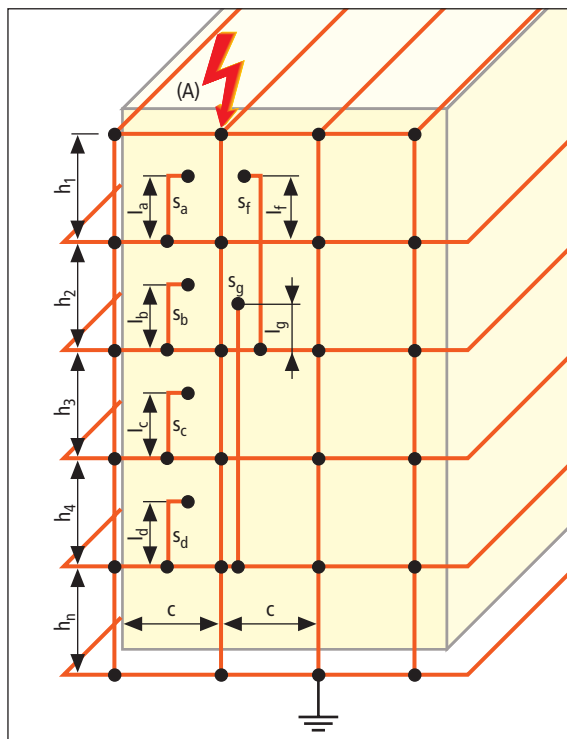


Figura 5.6.10 Valori del coefficiente  $k_c$  in caso di una maglia a funi di captazione, anelli che collegano le calate e il dispersore di tipo B

### Definizione della tensione di contatto

La tensione di contatto è quella tensione che agisce su una persona tra la sua posizione a terra e il punto di contatto con la calata.

Il percorso della corrente passa dalla mano attraverso il corpo verso i piedi (Figura 5.7.1).

Il pericolo di una tensione di contatto troppo elevata non esiste per le costruzioni con struttura portante in acciaio o in cemento armato, a condizione che l'armatura sia collegata in modo permanente e continuativo e le calate siano posate nel calcestruzzo.

Inoltre per le facciate metalliche può essere trascurata la tensione di contatto, se queste sono state incluse nel sistema equipotenziale e/o utilizzate come elementi naturali di calata.

Se nelle zone a rischio all'esterno della struttura, esiste (sotto il terreno) del calcestruzzo armato con un collegamento sicuro dell'armatura al dispersore di fondazione, questa misura migliora il percorso del gradiente di potenziale e agisce come controllo del potenziale. La tensione di passo in questo caso può essere trascurata nell'analisi.

Il pericolo che una persona subisca un danno a causa del contatto con la calata può essere ridotto adottando le seguenti misure:

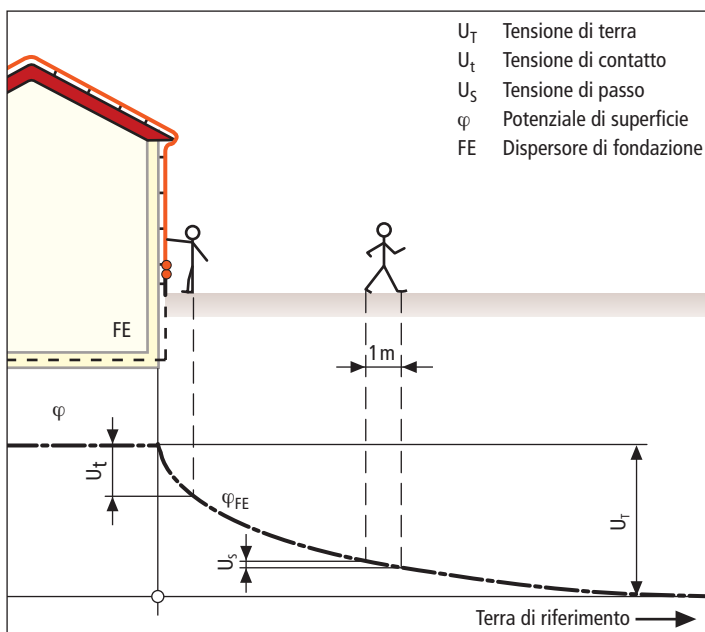


Figura 5.7.1 Rappresentazione - Tensioni di contatto e di passo

⇒ la calata viene rivestita di materiale isolante (min. 3 mm polietilene reticolato con resistenza dielettrica di  $100kV\ 1,2/50\ \mu s$ )

⇒ la posizione delle calate può essere modificata, ad esempio, non utilizzando le zone di ingresso di una struttura.

⇒ la probabilità di raggruppamento di persone può essere ridotta utilizzando dei cartelli segnaletici o cartelli di divieto; possono essere utilizzate anche delle barriere.

⇒ la resistività dello strato superficiale del suolo, entro una distanza di 3 m dalla calata, non è inferiore a  $5000\ \Omega m$ .

Di solito questo requisito viene soddisfatto utilizzando uno strato di asfalto di 5 cm oppure uno strato di ghiaia con spessore di 15 cm.

⇒ Addensamento della rete di maglie dell'impianto di terra adottando la regolazione del potenziale

### Nota

Un pluviale, anche se non viene definito come calata, può rappresentare un pericolo per le persone che ne vengono a contatto. In questo caso si può ad esempio sostituire il tubo metallico con un tubo in PVC (altezza: 3 m).

### Definizione della tensione di passo

La tensione di passo è una parte del potenziale di terra, che può essere bypassata da una persona con un passo di 1 m, considerando che il percorso della corrente nel corpo umano passa da piede a piede (Figura 5.7.1).

La tensione di passo dipende dalla forma del gradiente.

Come è visibile dalla raffigurazione, la tensione di passo diminuisce con l'allontanamento dalla struttura. Quindi il rischio per le persone diminuisce con l'aumento della distanza dalla struttura.

Per ridurre la tensione di passo possono essere applicate le seguenti misure:

⇒ l'accesso di persone alle zone a rischio può essere impedito (ad esempio con barriere o cancelli)

- ⇒ riduzione del lato di maglia nella rete di terra - regolazione del potenziale
- ⇒ la resistività dello strato superficiale del suolo entro 3 m dalla calata non deve risultare inferiore a  $5000 \Omega\text{m}$ .

Di solito questo requisito viene soddisfatto da uno strato di asfalto di 5 cm oppure uno strato di ghiaia con spessore 15 cm..

Se molte persone possono trovarsi frequentemente in una zona a rischio vicino alla struttura da proteggere, dovrebbe essere prevista la regolazione del potenziale per la protezione delle persone.

La regolazione del potenziale è sufficiente, se la caduta della resistenza superficiale nella zona da proteggere non è superiore a  $1 \Omega/\text{m}$ .

A questo proposito dovrebbe essere installato, oltre al dispersore di fondazione, un dispersore ad anello aggiuntivo, ad una distanza di 1 m dalla struttura e ad una profondità di 0,5 m. Se sulla struttura è già presente un impianto di messa a terra sotto forma di dispersore ad anello, questo costituisce già il "primo anello" della regolazione del potenziale.

Ulteriori dispersori ad anello dovrebbero essere installati ad una distanza di 3 m dal primo e dagli altri dispersori ad anello. Con l'aumentare della distanza dalla struttura la profondità deve essere aumentata (con incrementi di 0,5 m) (vedere **tabella 5.7.1**).

Se su una struttura viene realizzata la regolazione del potenziale, questa deve essere installata nel seguente modo (**Figura 5.7.2 e 5.7.3**):

Le calate devono essere collegate a tutti gli anelli della regolazione del potenziale.

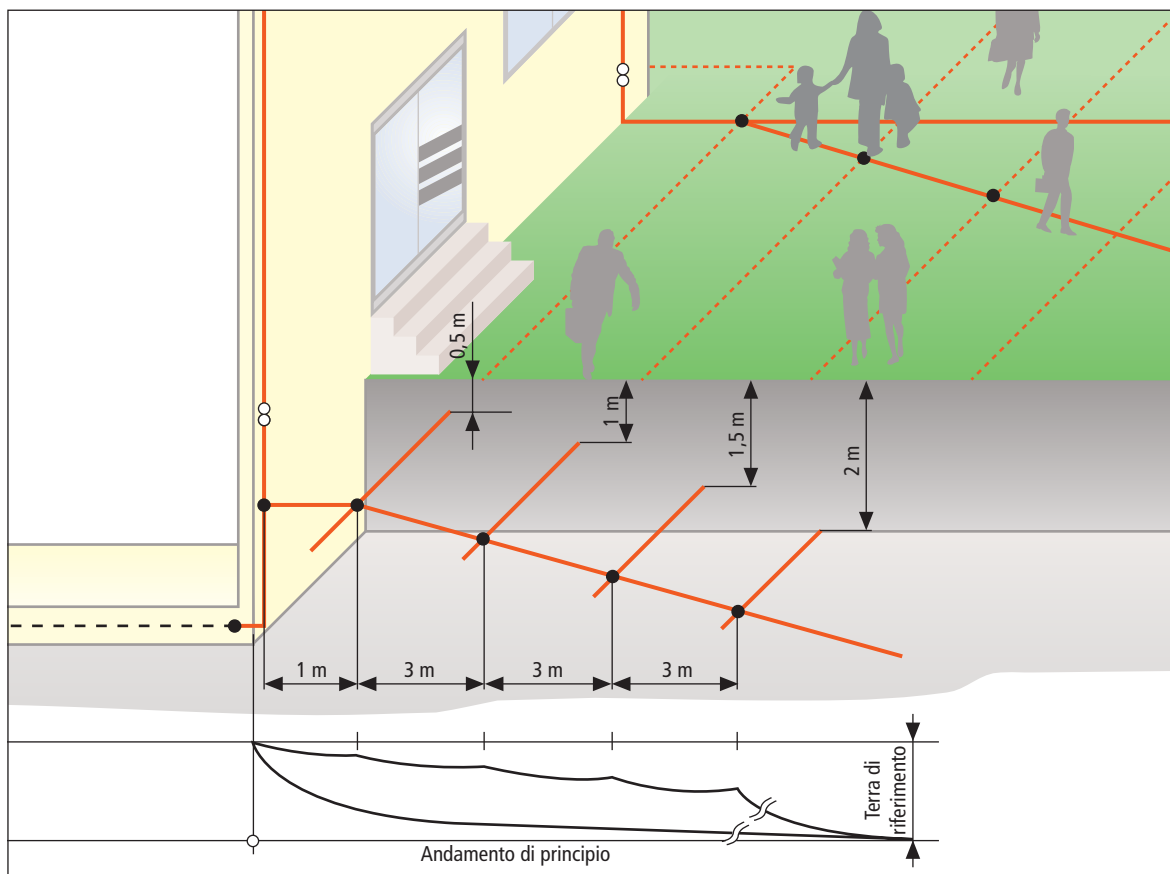


Figura 5.7.2 Regolazione del potenziale – Illustrazione schematica e andamento del gradiente

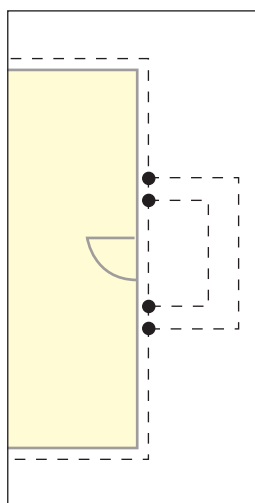


Figura 5.7.3 Possibile regolazione del potenziale nella zona di ingresso

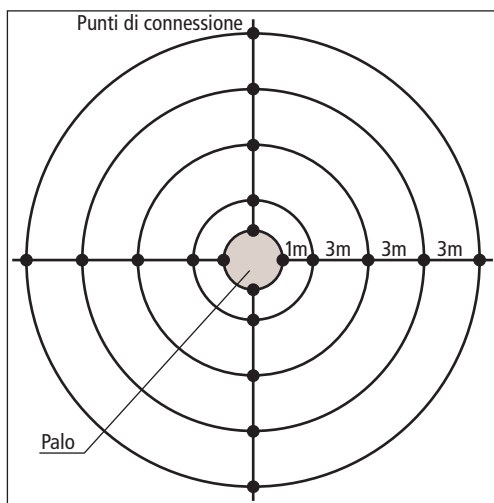


Figura 5.7.4 Esecuzione della regolazione del potenziale per una torrefaro o palo di radiotelegrafia

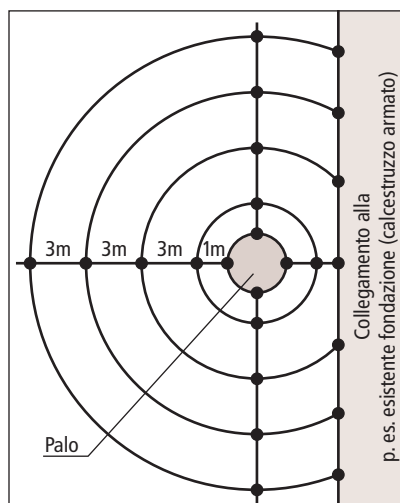


Figura 5.7.5 Regolazione del potenziale con collegamento al dispersore ad anello / dispersore di fondazione

Tra i singoli anelli devono essere effettuato almeno due collegamenti (Figura 5.7.4).

Se i dispersori ad anello (dispersori di regolazione) non possono essere realizzati in modo circolare, dovranno essere intercollegati tra tutte le estremità dei dispersori ad anello. Dovrebbero essere realizzati almeno due collegamenti all'interno dei singoli anelli (Figura 5.7.5).

Per la scelta dei materiali da utilizzare per i dispersori ad anello deve essere considerata la possibile sollecitazione corrosiva (capitolo 5.5.7).

Considerando la formazione di elementi galvanici tra dispersore di terra e dispersore ad anello, si è affermato il materiale INOX AISI 316.

I dispersori ad anello possono essere realizzati con tondino  $\varnothing$  10 mm o a bandella 30 x 3,5 mm.

### 5.7.1 Controllo delle tensioni di contatto delle calate per impianti di protezione contro i fulmini

L'area pericolosa, per le tensioni di passo di contatto, per le persone che si soffermano all'esterno di un edificio si estende ad una distanza fino a 3 m dall'edificio e ad un'altezza di 3 m. Questa aria da proteggere in altezza corrisponde alla distanza di sicurezza  $s$  in aggiunta all'altezza massima raggiungibile di una persona con braccio teso verso l'alto (Figura 5.7.1.1).

	Distanza dalla struttura	Profondità
1 Anello	1 m	0,5 m
2 Anello	4 m	1,0 m
3 Anello	7 m	1,5 m
4 Anello	10 m	2,0 m

Tabella 5.7.1 Distanza degli anelli e profondità della regolazione di potenziale

Particolari richieste per misure di protezione valgono per zone di ingresso e parti aggettanti di strutture con elevata frequenza di pubblico come teatri, cinema, centri commerciali, scuole ed asili, dove nelle immediate vicinanze non siano presenti delle calate isolate e dispersori per la protezione contro i fulmini.

Per strutture particolarmente esposte (pericolo di fulmine) dove è possibile il libero accesso al pubblico, come per esempio rifugi, possono pure essere necessari delle misure contro le tensioni di contatto troppo elevate.

Nella valutazione del rischio per una struttura secondo CEI EN 62305-2 viene considerato il pericolo per le persone nel parametro L1 (perdita di vite umane in una struttura).

Il pericolo da tensioni di contatto può essere ridotto con le seguenti misure:

- ⇒ La calata viene ricoperta con materiale isolante (min. 3 mm polietilene reticolato; con rigidità dielettrica di 100 kV (1,2/50  $\mu$ s))
- ⇒ La posizione delle calate viene modificata (p. es. non posizionare le calate nella zona di ingresso di una struttura)
- ⇒ La resistività dello strato superficiale del terreno a una distanza fino a 3 m dalla calata non è inferiore a 5 k $\Omega$ m.
- ⇒ La probabilità di affollamento di persone può essere ridotta con cartelli indicatori o ammonitori, possono essere installate anche delle barriere.

Le misure di protezione contro le tensioni di contatto non sempre sono sufficienti per una efficace protezione delle persone. La richiesta, per esempio della copertura di isolante a tenuta di alta tensione di una calata esposta, non è sufficiente se non si prendono contemporaneamente delle misure di protezione dalle scariche in superficie dell'isolamento. Questo è di particolare importanza, quando devono essere considerate anche condizioni atmosferiche come p.es. precipitazioni (umidità).

In una calata isolata, come anche in una calata nuda, in caso di fulminazione, si istaura una tensione molto elevata. Questa tensione viene però separata dalla persona tramite l'isolante. Siccome il corpo umano, in riferimento all'isolante può essere considerato un buon conduttore, lo strato isolante viene sollecitato con quasi la totale tensione di contatto.

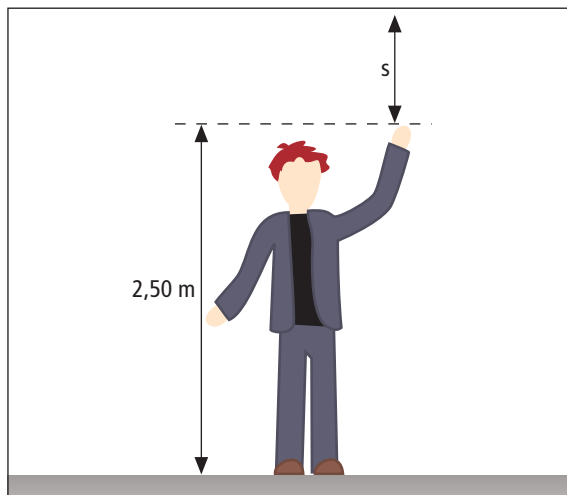


Figura 5.7.1.1 Zona di protezione per una persona

ne di contatto. Se l'isolamento non resiste alla tensione, identica alla calata nuda, una parte della corrente da fulmine, può circolare verso terra attraverso il corpo umano. Per una affidabile protezione delle persone dalle tensioni di contatto è quindi indispensabile di evitare, sia la scarica disruptiva dell'isolamento, che anche una scarica in superficie lungo la distanza isolata. Un sistema coerente, come il conduttore CUI soddisfa tutti i requisiti della tenuta alla scarica disruptiva nonché la tenuta alla scarica in superficie per la protezione dalla tensione di contatto.

### Costruzione del conduttore CUI

Il conduttore CUI è composto dal conduttore interno in rame con una sezione di 50 mm<sup>2</sup> e ricoperto da una guaina isolante di polietilene reticolato resistente all'alta tensione con spessore di ca. 6 mm (Figura 5.7.1.2).

Per una migliore protezione dagli agenti atmosferici il conduttore è ricoperto da un ulteriore strato sottile di polietilene (PE). La calata isolata viene collocata sull'intera zona pericolosa, significa che il conduttore CUI viene installato in verticale per 3 m sopra il livello del suolo. Il terminale superiore del conduttore viene collegato alla calata proveniente dal sistema di captazione e il terminale inferiore connesso all'impianto di terra.

Oltre alla tenuta alla scarica disruptiva dell'isolamento, deve essere osservato anche il pericolo delle scariche in superficie tra il punto di connessione della calata nuda e la mano della persona in contatto con il conduttore. Questa problematica delle scariche in superficie, già conosciuta nella tecnica dell'alta tensione, viene ulteriormente aggravata dalla presenza di strati estranei come per esempio la pioggia. E' stato dimostrato in esperimenti, che

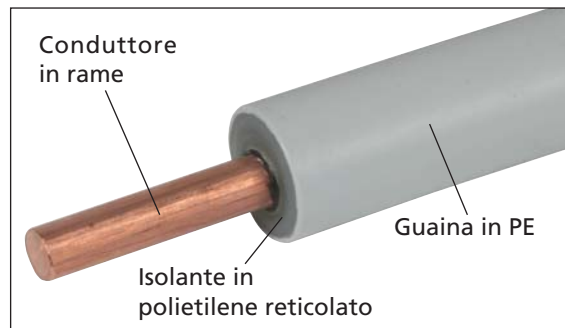


Figura 5.7.1.2 Costruzione del conduttore CUI





Figura 5.7.1.3 Prova in tensione sotto pioggia

cie lungo la guaina isolante. Con le prove di tensione in condizioni di pioggia viene dimostrata la sicurezza di funzionalità del conduttore CUI sia in riferimento alla tenuta alle scariche disruptive che relativa alla tenuta alle scariche in superficie con tensioni impulsive fino a 100 kV (1,2/50µs). Con queste prove sotto pioggia, una definita quantità d'acqua, con una stabilita conducibilità elettrica e un raggio del getto d'acqua a ca. 45°, viene spruzzata sul conduttore (Figura 5.7.1.3).

Il conduttore CUI viene già preconfezionato con elemento di connessione per il collegamento alla calata (punto di sezionamento) e se necessario può essere accorciato sul posto per il collegamento all'impianto di terra. Il prodotto è fornibile ad una lunghezza da 3,5 m e da 5 m e con adatte staffe portafilo di materiale plastico oppure in metallo (Figura 5.7.1.4).

su una calata isolata senza ulteriori provvedimenti e in presenza di pioggia, si possono formare delle scariche in superficie per oltre 1 m. Tramite applicazione di una adeguata aletta alla calata isolata sul conduttore CUI viene creato una sufficiente zona asciutta, che impedisce le scariche in superfi-

Con il conduttore speciale CUI possono essere controllate le tensioni di contatto sulle calate con semplici provvedimenti e modesto dispendio per l'installazione. Così il pericolo per le persone, nelle zone ad alto rischio, viene ridotto sensibilmente.

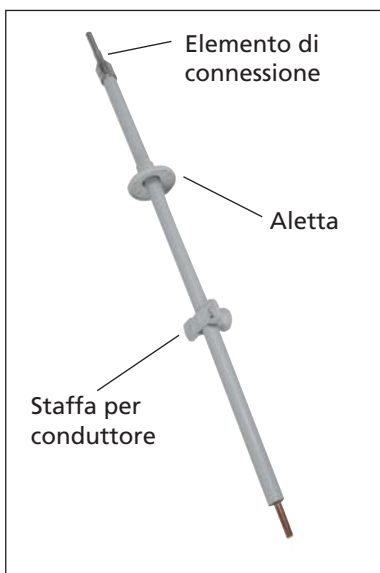


Figura 5.7.1.4 Illustrazione conduttore CUI

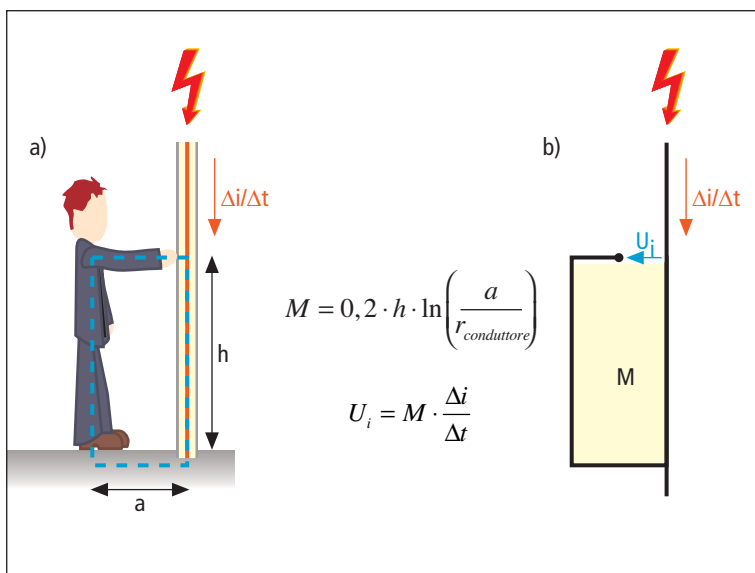


Bild 5.7.1.5 (a) Spira calata persona (b) Induttanza mutua M e tensione indotta  $U_i$

## Accoppiamento induttivo in caso di impulsi con elevate ripidità

Relativo al pericolo per le persone, deve essere osservato anche il campo magnetico del sistema con le sue conseguenze all'ambiente in prossimità delle calate. Nelle spire d'installazione estese, per esempio in prossimità delle calate, possono rivelarsi tensioni di alcuni 100 kV, che possono causare enormi perdite economiche. Anche il corpo umano, a causa delle sue caratteristiche di conduttori forma, insieme alla calata isolata e il terreno conduttivo, una spira con una induttanza mutua  $M$ , nella quale possono essere indotte delle tensioni  $U_i$  elevate (Figure 5.7.1.5a e 5.7.1.5b). Il sistema calata-persona funziona in questo caso come un trasformatore.

Questa tensione accoppiata agisce sull'isolamento, perchè il corpo umano e il suolo nel frattempo, possono essere considerati conduttivi. Se la sollecitazione

della tensione diventa troppo elevata, provoca una scarica disruptiva o in superficie dell'isolamento. La tensione indotta trascina di seguito attraverso questa spira una corrente, con grandezza dipendente dalle resistenze e l'induttanza propria della spira, con possibile pericolo di vita per la persona soggetta. L'isolamento deve quindi resistere a queste sollecitazioni di tensione. La prescrizione normativa di 100 kV con forma dell'impulso  $1,2/50\mu s$  include questi impulsi di tensione elevati ma molto brevi, che si manifestano soltanto durante la fase di salita della corrente ( $0,25\mu s$  con impulso susseguente da fulmine negativo). Aumentando la profondità d'interramento della calata isolata si estende anche la spira e così anche l'induttanza mutua. Così aumenta gradualmente la tensione indotta e la sollecitazione dell'isolamento, che deve essere considerato nell'osservazione del rispettivo accoppiamento induttivo.