

Progetto

C. 1128

Data Scadenza Inchiesta

31-01-2014

Data Pubblicazione

2013-...

Classificazione

81-....

Titolo

**Protezione contro i fulmini – Reti di localizzazione fulmini (LLS)
Linee guida per l'impiego di sistemi LLS per l'individuazione
dei valori di N_g (Norma CEI EN 62305-2)**

Title

**Protection against lightning – Lightning Location Systems (LLS)
Guidelines for the use of LLS for identification of the values
of N_g (Standard CEI EN 62305-2)**



PREMESSA

La densità media di fulmini a terra per km² per anno - N_G - è generalmente considerata il principale indicatore dell'attività temporalesca.

Solo negli ultimi decenni la densità di fulmini a terra N_G è stata stimata sulla base di rilievi strumentali, effettuati prima con i contatori di fulmine (LFC) e poi, in epoca recente con reti di rilevamento e di localizzazione ormai diffuse nei principali Paesi industrializzati.

La determinazione di N_G nella zona in cui è ubicata la struttura da proteggere è essenziale per la valutazione del rischio da fulmine per la struttura stessa.

INTRODUZIONE

Per localizzare con precisione accettabile il punto d'impatto di un fulmine a terra è necessario l'uso di una rete d'idonei sensori di rilevamento e localizzazione, internazionalmente definite come Lightning Location System (LLS).

NOTA Una dettagliata descrizione del principio di funzionamento di una rete LLS è riportata nel Report CIGRE 376 [2].

Le reti LLS sono oggi usate in molti Paesi per costruire mappe dei valori della densità media di fulmini a terra N_G .

1 Scopo

La presente Linea Guida individua le caratteristiche delle reti LLS, citate nella Norma CEI EN 62305-2:2013, affinché i dati ottenuti da queste reti possano essere utilizzati nell'analisi del rischio prevista nella citata CEI EN.

Le raccomandazioni della presente Guida sono applicabili alle reti LLS, indipendentemente dalla tecnologia utilizzata per la strumentazione, quali:

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

e alle modalità di elaborazione dei dati, quali:

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

2 Riferimenti normativi

CEI EN 62305-2:2013 Protezione contro i fulmini. Parte 2:- *Valutazione del rischio* 3. Termini e definizioni

3 Termini e definizioni

In questo documento si applicano i seguenti termini e definizioni.

(in parentesi sono indicati i documenti da cui sono tratte le definizioni)

3.1

fulmine a terra (flash) (CEI EN 62305-1:2013)

scarica elettrica di origine atmosferica tra nuvola e terra costituita da uno o più colpi

3.2

fulmine discendente (CEI EN 62305-1:2013)

fulmine originato da un canale discendente da una nube verso terra

NOTA Un fulmine discendente consiste in un primo colpo breve, che può essere seguito da colpi brevi successivi. Uno o più colpi brevi possono essere seguiti da un colpo lungo.

3.3

fulmine ascendente (CEI EN 62305-1:2013)

fulmine originato da un canale ascendente da una struttura a terra verso la nube

NOTA Un fulmine ascendente consiste in un primo colpo lungo con o senza sovrapposizione di colpi brevi multipli. Uno o più colpi brevi possono essere seguiti da un colpo lungo.

3.4

colpo di fulmine (stroke) (CEI EN 62305-1:2013)

singola scarica elettrica di un fulmine a terra

3.5

colpo breve (CEI EN 62305-1:2013)

parte di un fulmine che corrisponde ad un impulso di corrente

NOTA Detta corrente presenta un tempo all'emivalore T_2 tipicamente inferiore a 2 ms.

3.6

colpo lungo (CEI EN 62305-1:2013)

parte di un fulmine che corrisponde ad una corrente continuativa

NOTA La durata T_{long} (intervallo compreso tra i tempi a cui si verificano il 10% del valore sul fronte ed il 10 % sulla coda) di detta corrente continuativa è tipicamente superiore a 2 ms ed inferiore a 1 s.

3.7

colpi multipli (CEI EN 62305-1:2013)

fulmine costituito in media da 3-4 colpi con un intervallo tipico tra loro di circa 50 ms

NOTA Sono riportati eventi che presentano fino a poche decine di colpi con intervalli tra loro compresi fra 10 ms e 250 ms

3.8

punto di impatto (CEI EN 62305-1:2013)

punto in cui il fulmine colpisce il suolo o un oggetto sovrastante (es.: struttura, LPS, linee, alberi, ecc.)

NOTA Un fulmine può presentare più di un punto di impatto.

3.9

Densità di fulmini a terra (CEI EN 62305-2:2013)

N_G

numero medio annuo di fulmini a terra per kilometro quadro

3.10

rete di localizzazione fulmini

rete di sensori, funzionanti in mutua interazione per il rilevamento e la localizzazione spazio-temporale dei fulmini, internazionalmente definita come Lightning Location System (LLS).

3.11

efficienza di rilevamento di una rete LLS

rapporto tra il numero di eventi rilevati dalla rete LLS e il numero degli eventi realmente accaduti in una data regione.

3.12

fulmine (o colpo) nube-suolo (CG)

un fulmine (colpo) che si propaga dalla nube fino al suolo o viceversa.

3.13

fulmine (o colpo) nube-nube (CC)

un fulmine (colpo) che si propaga tra due nubi (o tra nube e aria, o all'interno di una nube), senza interessare il suolo.

3.14

raggio ottimale di rilevamento di un sensore

raggio o distanza al suolo entro cui un sensore di data tecnologia sia teoricamente in grado di rilevare il segnale emesso da un fulmine per l'intero spettro del picco di corrente.

3.15

Ellisse di errore della localizzazione del punto di impatto al suolo

Per una rete LLS, la matrice di errore del calcolo del punto di impatto al suolo o localizzazione, ove gli errori sono assunti casuali, può essere rappresentata come una gaussiana tridimensionale avente sezioni orizzontali ellittiche, ognuna corrispondente ad un determinato livello di confidenza, centrata sul punto di impatto calcolato. L'ellisse di errore della localizzazione si ottiene sezionando, al voluto livello confidenza, la gaussiana tridimensionale con sezione parallela al suolo: ove non diversamente specificato, si fornisce solitamente l'ellisse di errore al 50% del livello di confidenza. Tale ellisse risulta rappresentata dal suo semiasse maggiore, semiasse minore, eccentricità e inclinazione dell'asse maggiore rispetto al nord.

4 Reti LLS

4.1 Reti di localizzazione fulmini

Per la localizzazione dei fulmini, sono oggi disponibili vari tipi di reti di rilevamento e localizzazione al suolo, basate su diverse tecniche e diverse tipologie di sensori.

I sensori rilevano, nel campo di frequenza prescelto, VLF, LF o VHF, il campo elettromagnetico irradiato dalla corrente di fulmine.

Per poter essere utilizzati allo scopo del calcolo di NG si considerano sufficientemente precisi solo i sensori che utilizzano almeno i campi di frequenza LF, essendo gli unici in grado di soddisfare le richieste di qualità del dato descritte al cap.5.

4.2 Tecniche di Localizzazione Del Punto Di Impatto

Nell'ambito dei sensori per banda di campo elettromagnetico LF, le tecniche utilizzate per localizzare il punto di impatto di un fulmine o del singolo colpo a terra sono diverse:

- a) individuazione della direzione del campo magnetico (magnetic direction finders: MDF);
- b) determinazione del tempo di arrivo del segnale (time-of-arrival:TOA);
- c) una combinazione di entrambe le tecniche (MDF+TOA).

Anche se è consentito l'uso delle tecniche a) o b), tuttavia sono da preferire le reti LLS che utilizzano la tecnica c).

4.3 Composizione dell'evento di fulmine

Il tipo di sensori utilizzato dovrebbe consentire di rilevare il segnale elettromagnetico emesso dalla corrente di ciascun colpo di fulmine (stroke). Dovrebbe inoltre essere in grado di distinguere le tipologie di scarica nube-nube e nube-suolo. [2]

Il software di trattamento dei dati dovrebbe ricomporre poi i colpi rilevati in un unico dato di fulmine (flash) rispettando tutte le seguenti regole:

- a) si considera ogni colpo avvenuto in un tempo minore o uguale a 1 s dal primo colpo;
- b) il punto di impatto al suolo calcolato per il colpo dovrebbe essere a distanza minore o uguale a 10 km dal punto di impatto del primo colpo;
- c) l'intervallo di tempo tra un colpo e il successivo dovrebbe essere inferiore a 500 ms;

La posizione di localizzazione del fulmine (punto di impatto) è assunta uguale a quella del primo colpo registrato.

4.4 Archiviazione dei dati

Nel database relativo ai fulmini nube-suolo ciascun dato dovrebbe essere relativo ad un fulmine e riportare le informazioni calcolate dal sistema LLS, di cui le principali possono essere:

- Data
- Tempo di accadimento (hh:mm:ss:milionesimidisecondo)
- Latitudine del punto di impatto
- Longitudine del punto di impatto
- Valore del picco di corrente
- Polarità della corrente
- Numero di colpi successivi
- χ^2
- Ellisse di errore

5 LLS - Caratteristiche richieste

Le caratteristiche di prestazione di una rete di localizzazione (LLS) determinano la qualità dei dati di fulmine disponibili per il calcolo di N_G .

Si ritiene adeguato per la valutazione del rischio dovuto al fulmine un valore di N_G con un errore entro i limiti di $\pm 20\%$.

Possono essere utilizzati per il calcolo di N_G i dati provenienti da qualunque LLS che sia in grado di identificare i fulmini nube-suolo (CG) e di determinare con precisione il punto di impatto dei colpi di fulmine (strokes).

Le caratteristiche di prestazione di un LLS possono essere determinate in vari modi, compreso l'auto referenzialità (tramite l'uso di un'analisi statistica dei parametri, quali la deviazione standard dell'errore sulla misura del tempo dei sensori, la dimensione del semiasse maggiore dell'ellisse di errore della localizzazione, con confidenza al 50%, il numero dei sensori coinvolti nella misura; normalmente questi valori sono forniti dal costruttore dell'LLS o dai dati di uscita dell'LLS medesimo) e il confronto con dati rilevati a terra con l'ausilio di altre tecniche.

Per il calcolo di N_G con adeguata precisione sono richieste le seguenti caratteristiche di prestazione delle reti LLS.

5.1 Caratteristiche fondamentali delle reti di localizzazione LLS

L' Efficienza di Rilevamento (DE - Detection Efficiency), la Precisione di Localizzazione (LA - Location Accuracy), la Precisione di classificazione, parametri le cui caratteristiche minime per il calcolo di N_G sono specificate nel paragrafo successivo, dipendono da alcune caratteristiche fondamentali della rete di localizzazione. E' opportuno che i proprietari, gestori, distributori dei dati di una rete LLS considerino i fattori riportati sotto, nel progettare e mantenere la propria rete, per garantire che i dati di fulmine prodotti siano adeguati al calcolo di N_G .

- **Distanza tra Sensori Adiacenti (Sensor Baseline):** la scelta della distanza al suolo tra sensori adiacenti, in un LLS, è influenzata dall'area che si desidera coprire e dalla sensibilità dei singoli sensori al campo elettromagnetico. La distanza tra sensori adiacenti è uno dei fattori che determinano la DE e LA di una rete LLS. La distanza tra sensori adiacenti dovrebbe essere tale da garantire i criteri necessari per il calcolo di N_G detti più avanti.
Una distanza tra sensori adiacenti minore o uguale a due volte il raggio ottimale di rilevamento per il tipo di sensori impiegati è in genere ritenuta appropriata.
- **Sensibilità del Sensore (Sensor sensitivity):** in una rete LLS la sensibilità di ciascun sensore al campo elettromagnetico determina l'abilità della rete di rilevare eventi di fulmine per diversi valori di picco di corrente. La sensibilità di un sensore è determinata da vari fattori, come la soglia di trigger, il guadagno della catena elettronica, la larghezza di banda di frequenza del campo elettromagnetico rilevabile, il rumore elettromagnetico di fondo.
La sensibilità dei sensori in un LLS dovrebbe essere tale che gli eventi di fulmine con picco di corrente tra 5 kA e 300 kA (in modulo) siano rilevati e riportati dalla rete stessa.
- **Tempo di Funzionamento dei Sensori:** il tempo di funzionamento di ciascun sensore in una rete LLS determina in parte i valori di DE e LA della rete. Le variazioni temporali e spaziali di DE e LA sono dovute alla posizione dei sensori che sono funzionanti e che contribuiscono al calcolo.
È pertanto necessario provvedere a che il maggior numero di sensori della rete sia funzionante e per più tempo possibile nel periodo di analisi dei dati.

NOTA: I dati rilevati dovrebbero possibilmente essere corretti per gli effetti dei fuori-servizio di uno o più sensori o linee di trasmissione in ciascun giorno del periodo in esame. La correzione dovrebbe essere applicata in modo da non introdurre distorsioni al comportamento meteorologico reale [2].

5.2 Qualità dei dati raccolti

La qualità del singolo dato di fulmine calcolato, può essere valutata mediante il test del χ^2 ridotto, che dà una stima dell'affidabilità dei risultati trovati:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{(m_j - m_j^*)^2}{e_j^2}}{x}$$

dove

n = numero totale di misure,

m_j = valore misurato,

m_j^* = valore atteso,

e_j = deviazione standard,

x = gradi di libertà del sistema (n° delle misure - n° dei parametri calcolati).

È opportuno che il test sia eseguito, per ogni dato, sulla base di tutti i parametri coinvolti nel calcolo del fulmine. Il valore massimo di χ^2 ridotto dovrebbe essere inferiore a 10.

5.3 Efficienza di rilevamento della rete (Detection Efficiency - DE)

Il valore medio annuo dell'efficienza di rilevamento di un LLS per i fulmini nube-suolo (CG) dovrebbe essere pari ad almeno 80% in tutta l'area sita all'interno del sistema di localizzazione. Tale area è definita come la regione all'interno del confine identificato dai sensori adiacenti più esterni della rete.

Reti di localizzazione LLS e tecnologie realizzative diverse avranno valori diversi di sensibilità nella individuazione dei fulmini, ma in ogni caso le prestazioni della rete peggiorano sempre più allontanandosi all'esterno del confine della rete di localizzazione (confine identificato dai sensori adiacenti più esterni della rete).

Come regola generale, i dati di fulmine rilevati al di fuori dal confine della rete, ma al massimo entro una distanza circa uguale al raggio ottimale di rilevamento dei sensori, possono comunque essere considerati per il calcolo di N_G , poichè in questa area la DE della rete si considera ancora di livello sufficiente.

5.4 5Precisione di localizzazione (Location Accuracy - LA)

La precisione di localizzazione di ogni singolo fulmine deve essere nota. Solitamente la precisione viene espressa tramite il semiasse maggiore dell'ellisse di errore.

La precisione di localizzazione media (valore al 50%), di un LLS per fulmini nube-suolo dovrebbe essere al massimo di 1km in tutte le zone interne al confine della rete.

5.5 Precisione di classificazione (Classification Accuracy)

In una rete LLS con una Efficienza di Rilevamento per i fulmini coerente con i criteri per il calcolo di N_G , se troppi colpi nube-suolo sono mal classificati come colpi nube-nube o viceversa, questo porta rispettivamente a valori erroneamente bassi o alti di N_G . Questo è soprattutto valido per fulmini nube-suolo a colpo singolo. È richiesta una precisione di classificazione (percentuale di fulmini nube-suolo non mal classificati come nube-nube) di almeno l'85%.

Per valutare la precisione di classificazione di una rete sono utilizzabili vari metodi: confronto con dati reali di riferimento (misure su torri o con innesco per mezzo di razzi), confronto con reti di precisione di classificazione nota, confronto delle curve di frequenza di picco di corrente per nube-suolo con curve di letteratura).

6 Elaborazione dati

6.1 Dati da elaborare

Per lo scopo prefisso in questa Guida, il parametro da elaborare è numero medio annuo di fulmini a terra al km² all'anno. Sono da considerare i soli dati relativi ai fulmini del tipo nube-suolo, positivi e negativi, ascendenti e discendenti.

6.2 Area d'indagine

L'area d'indagine della presente comprende l'intero territorio italiano, compreso fra:

Lat min = 35,000 N

Lat max = 47,000 N

Long min = 6,000 E

Long max = 20,000 E

L'area d'indagine può essere limitata anche a parti del territorio italiano.

E' importante che la rete di localizzazione LLS utilizzata sia in grado di coprire l'area indicata con le caratteristiche richieste ai paragrafi precedenti.

L'area di indagine deve essere suddivisa in una griglia costituita da celle quadrate di lato (L) espresso in chilometri. Per ciascuna cella viene calcolato il valore di N_G .

6.3 Campione dati elaborati

Il campione dei dati da elaborare dipende, per un dato valore di N_G , dal periodo di osservazione e dalle dimensione della cella considerata secondo la seguente relazione:

$$N_G * T_{obs} * A_{cell} \geq 8 \quad (1)$$

dove:

N_G : è la densità media di fulmini al suolo, in km⁻² anno⁻¹

T_{obs} : è il periodo di osservazione, in numero di anni

A_{cell} : è l'area della singola cella, in km²

Il periodo di osservazione deve essere sufficientemente lungo per tener conto delle variazioni meteorologiche annuali.

NOTA La dimensione della cella viene scelta in modo che il suo lato ed il periodo di osservazione siano coerenti con la formula (1), determinata con la distribuzione di Poisson e la legge degli eventi rari, ottenendo un'incertezza di meno del 20% sul valore di N_G (al 90% del valore di confidenza) [3].

Le dimensioni della singola cella utilizzata dovrebbero essere in ogni caso compatibili con la precisione di calcolo del sistema LLS; pertanto la dimensione minima di cella permessa, a prescindere dalla densità N_G e dal periodo di osservazione, non può essere inferiore alla mediana (valore al 50%) della precisione di localizzazione del LLS, ovvero del semiasse maggiore dell'ellisse di errore (M).

Anche in questo caso, i fulmini localizzati dal sistema LLS entro la precisione mediana dal bordo di ciascuna cella, potrebbero essere caduti al di fuori, e viceversa. Per correggere questo effetto, sebbene staticamente non rilevante, si può decidere di ottenere il valore di N_G di ciascuna cella calcolando la media pesata del numero di fulmini caduti entro le seguenti aree:

- area più interna alla cella interna (cella con lato uguale a quello scelto (L) meno la lunghezza (M), area A1 in Fig. 1;
- area della corona di spessore M interna alla cella, area A2 in Fig. 1;
- area della corona di spessore M esterna alla cella, area A3 in Fig. 1.

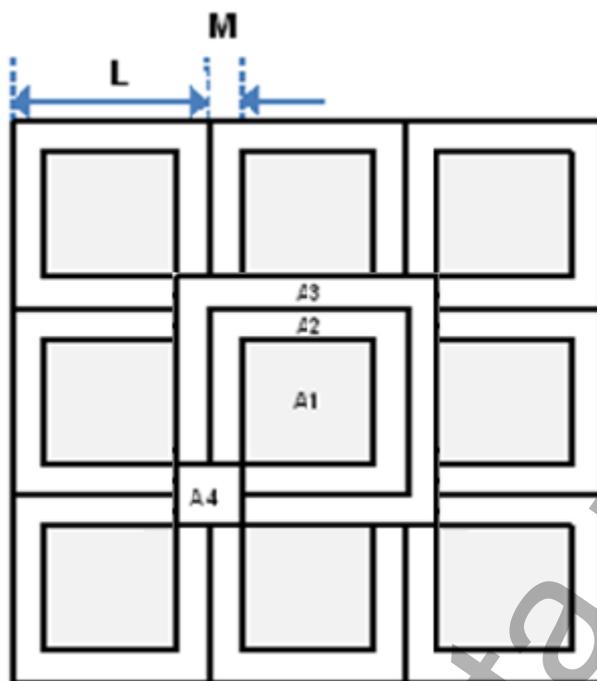


Figura 1 – Suddivisione in celle del territorio

6.4 Dimensione di cella e coefficiente C_D

Poiché l'uso dei dati di fulmine rilevati da reti LLS porta generalmente ad una rappresentazione precisa del comportamento temporalesco, celle di calcolo particolarmente piccole tendono ad evidenziare comportamenti locali e di orografia. Questo significa che, soprattutto in corrispondenza di picchi orografici, si possono evidenziare valori di N_G particolarmente alti.

Dato che nella attuale normativa CEI EN 62305-2:2013 si tiene già conto dell'effetto della posizione di una struttura isolata su una cima orografica, tramite il coefficiente di localizzazione $C_D = 2$, è necessario scegliere la dimensione della singola cella di calcolo di N_G , oltre che tramite le regole sopra esposte, anche valutando l'effetto concomitante di C_D .

Per i valori di N_G calcolati sul territorio italiano tramite le regole sopra esposte, e controllando i casi di orografia particolare sul territorio, si è verificato che una griglia con celle quadrate di lato non inferiore a $L = 5$ km, porta ad una realistica valutazione di N_G che consente di utilizzare detti valori di N_G come dati di ingresso per la valutazione del rischio secondo la norma CEI EN 62305-2:2013.

NOTA La risoluzione degli effetti locali diminuisce all'aumentare della dimensione della cella.

6.5 Fasce di discretizzazione

Si raccomanda che il valore di N_G ottenuto per ciascuna cella del territorio, sia approssimato con regola matematica all'intero più vicino (ovvero $N,49 \equiv N$ e $N,51 \equiv N+1$), tranne per i valori inferiori ad 1, che vengono tutti riportati all'intero, non essendo significativo fornire valori intermedi.

6.6 Effetti ai bordi

Quando un punto geografico cade all'interno di una cella di calcolo di N_G , si possono verificare tre situazioni geometriche:

- 1) il punto cade pienamente all'interno della cella (Area A1 – Fig. 1);
- 2) il punto cade vicino al bordo che separa due celle, entro una distanza (M);
- 3) il punto cade nell'area di incrocio tra quattro celle (area A4 - Fig. 1).

In questi casi, volendo operare con griglia fissa ed in modo cautelativo a favore della sicurezza si può assegnare al punto rispettivamente il:

- 1) valore di N_G della cella
- 2) valore di N_G maggiore tra quello delle due celle
- 3) valore di N_G maggiore tra quello delle 4 celle

6.7 Stabilità dei dati

Il periodo di stabilità dei dati non deve essere inferiore a quello della Norma CEI EN 62305-2 in cui sono utilizzati.

Bibliografia

- [1] Diendorfer G., "Some Comments on the achievable Accuracy of Local Ground Flash Density Values", Proc. of the 29th ICLP, Uppsala, Sweden, 2008.
- [2] CIGRE Report 376, April 2009, Working Group C4.404: Cloud-to Ground Lightning Parameters derived from Lightning Location Systems - The Effects of System Performance.
- [3] Bernardi M., Tommasini R., "Number of lightning to earth in Italy", Proc. of the 31st ICLP, Vienna, Austria, 2012.

Progetto in inchiesta pubblica

La presente Norma è stata compilata dal Comitato Elettrotecnico Italiano e beneficia del riconoscimento di cui alla legge 1° Marzo 1968, n. 186.

Editore CEI, Comitato Elettrotecnico Italiano, Milano – Stampa in proprio
Autorizzazione del Tribunale di Milano N. 4093 del 24 Luglio 1956

Direttore Responsabile: Ing. R. Bacci

Comitato Tecnico Elaboratore
CT 81-Protezione contro i fulmini

Altre norme di possibile interesse sull'argomento

PROGETTO

