

# PROTEZIONE CONTRO I FULMINI

## ANALISI E VALUTAZIONE DEI RISCHI

**Struttura:** Arena all'aperto del Parco della Musica

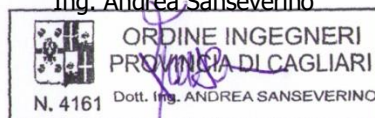
**Committente:** Fondazione Teatro Lirico Cagliari

**Indirizzo:** Via Efsio Cao di San Marco 09128 - CAGLIARI (CA)

Cagliari, 13/07/2020

### Il Tecnico

Ing. Andrea Sanseverino



## DATI GENERALI

### Committente

Nome Cognome  
Codice Fiscale  
Data di nascita  
Luogo di nascita

**Nicola Colabianchi**  
**CLBNCL57C14E811A**  
**14/03/1957**  
**Magliano de' Marsi (AQ)**

Indirizzo  
CAP - Comune  
Telefono  
E-mail  
Ruolo

**Piazza Nazzari**  
**09128 Cagliari**  
**0704082202**  
**sovrintendenza@teatroliricodicagliari.it**  
**Amministratore**

Ragione Sociale  
Codice Fiscale  
P. IVA

**Fondazione Teatro Lirico Cagliari**  
**00156220923**  
**00156220923**

Indirizzo  
CAP - Comune

**Via Efisio Cao di San Marco**  
**09128 - CAGLIARI (CA)**

Telefono  
E-mail

**0704082202**  
**sovrintendenza@teatroliricodicagliari.it**

### Tecnico

Ragione Sociale

**Sanseverino Srl**

Nome Cognome  
Qualifica  
Codice Fiscale  
P. IVA  
Data di nascita  
Luogo di nascita

**Andrea Sanseverino**  
**Ingegnere**  
**SNSNDR70S22B354C**  
**03103690925**  
**22/11/1970**  
**Cagliari**

Ordine  
N° Iscrizione

**Ingegneri della Provincia di Cagliari**  
**4161**

Indirizzo  
CAP - Comune  
Telefono  
E-mail

**Via Bacco 7/9**  
**09030 ELMAS (CA)**  
**3387716783**  
**info@sanseverinosrl.net**

# ANALISI E VALUTAZIONE SCARICHE ATMOSFERICHE

## Normativa di riferimento

Gli impianti sono realizzati a regola d'arte, come prescritto dalle normative vigenti e, in particolare, dal D.M. 22 gennaio 2008, n. 37.

Per i calcoli e la valutazione del rischio si è fatto riferimento alla norma **CEI EN 62305-2** "Protezione contro il fulmine - Parte 2: Valutazione del rischio".

## Definizioni

### **Fulmine su una struttura**

Fulmine che colpisce una struttura da proteggere.

### **Fulmine in prossimità di una struttura**

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

### **Fulmine su una linea**

Fulmine che colpisce una linea connessa alla struttura da proteggere.

### **Fulmine in prossimità di una linea**

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

### **Danni ad esseri viventi**

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

### **LEMP**

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

### **LPL**

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

### **Misure di protezione**

Misure da adottare nella struttura da proteggere per ridurre il rischio.

### **LP**

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

### **Z<sub>s</sub>**

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

### **S<sub>L</sub>**

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

### **LPS**

Sistema di protezione contro il fulmine, impianto completo usato per ridurre il danno materiale dovuto alla fulminazione diretta della struttura.

### **SPM**

Misure di protezione contro il LEMP, misure usate per la protezione degli impianti interni contro gli effetti del LEMP.

### **SPD**

Limitatore di sovratensione, dispositivo che limita le sovratensioni e scarica le correnti impulsive; contiene almeno un componente non lineare.

### **Sistema di SPD**

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

## Simboli e abbreviazioni

<b>A<sub>D</sub></b>	Area di raccolta dei fulmini su una struttura isolata.
<b>A<sub>DJ</sub></b>	Area di raccolta dei fulmini su una struttura adiacente.
<b>A<sub>I</sub></b>	Area di raccolta dei fulmini in prossimità di una linea.
<b>A<sub>L</sub></b>	Area di raccolta dei fulmini su una linea.
<b>A<sub>M</sub></b>	Area di raccolta dei fulmini in prossimità di una struttura.
<b>B</b>	Struttura.
<b>C<sub>D</sub></b>	Coefficiente di posizione.
<b>C<sub>DJ</sub></b>	Coefficiente di posizione di una struttura adiacente.
<b>C<sub>E</sub></b>	Coefficiente ambientale.
<b>C<sub>I</sub></b>	Coefficiente di installazione di una linea.
<b>C<sub>L</sub></b>	Costo annuo della perdita totale senza misure di protezione.
<b>C<sub>LD</sub></b>	Coefficiente dipendente dalla schermatura, dalle condizioni di messa a terra e di separazione di una linea per fulmini sulla linea stessa.
<b>C<sub>LI</sub></b>	Coefficiente dipendente dalla schermatura, dalle condizioni di messa a terra e di separazione di una linea per fulmini in prossimità della linea stessa.
<b>C<sub>T</sub></b>	Coefficiente di correzione per un trasformatore AT/BT sulla linea.
<b>D1</b>	Danno ad esseri viventi per elettrocuzione.
<b>D2</b>	Danno materiale.
<b>D3</b>	Guasto di impianti elettrici ed elettronici.
<b>K<sub>S1</sub></b>	Coefficiente relativo all'efficacia dell'effetto schermante della struttura.
<b>K<sub>S2</sub></b>	Coefficiente relativo all'efficacia di uno schermo interno alla struttura.
<b>K<sub>S3</sub></b>	Coefficiente relativo alle caratteristiche dei circuiti interni alla struttura.
<b>K<sub>S4</sub></b>	Coefficiente relativo alla tensione di tenuta ad impulso di un impianto interno.
<b>L<sub>F</sub></b>	Tipica percentuale di perdita per danni materiali in una struttura.
<b>L<sub>O</sub></b>	Tipica percentuale di perdita per guasto di impianti interni in una struttura.
<b>L<sub>T</sub></b>	Tipica percentuale di perdita per danni ad esseri viventi per elettrocuzione.
<b>L1</b>	Perdita di vite umane.
<b>L2</b>	Perdita di servizio pubblico.
<b>L3</b>	Perdita di patrimonio culturale insostituibile.
<b>L4</b>	Perdita economica.
<b>N<sub>G</sub></b>	Densità di fulmini al suolo.
<b>n<sub>z</sub></b>	Numero delle possibili persone danneggiate (vittime o utenti non serviti).
<b>n<sub>t</sub></b>	Numero totale di persone (o utenti serviti).
<b>P</b>	Probabilità di danno.
<b>P<sub>A</sub></b>	Probabilità di danno ad esseri viventi per elettrocuzione (fulminazione sulla struttura).
<b>P<sub>B</sub></b>	Probabilità di danno materiale in una struttura (fulm. sulla struttura).
<b>P<sub>C</sub></b>	Probabilità di guasto di un impianto interno (fulm. sulla struttura).
<b>P<sub>M</sub></b>	Probabilità di guasto degli impianti interni (fulmine in prossimità della struttura).
<b>P<sub>U</sub></b>	Probabilità di danno ad esseri viventi (fulm. sulla linea connessa).
<b>P<sub>V</sub></b>	Probabilità di danno materiale nella struttura (fulm. sulla linea connessa).
<b>P<sub>W</sub></b>	Probabilità di guasto di un impianto interno (fulm. sulla linea connessa).
<b>P<sub>X</sub></b>	Probabilità di danno nella struttura.
<b>P<sub>Z</sub></b>	Probabilità di guasto degli impianti interni (fulm. in prossimità della linea connessa).
<b>P<sub>EB</sub></b>	Probabilità che riduce P <sub>U</sub> e P <sub>V</sub> dipendente dalle caratteristiche della linea e dalla tensione di tenuta degli apparati in presenza di EB (equipotenzializzazione al fulmine).
<b>P<sub>SPD</sub></b>	Probabilità che riduce P <sub>C</sub> , P <sub>M</sub> , P <sub>W</sub> e P <sub>Z</sub> , quando sia installato un sistema di SPD.
<b>P<sub>TA</sub></b>	Probabilità che riduce P <sup>A</sup> dipendente dalle misure di protezione contro le tensioni di contatto e di passo.
<b>r<sub>t</sub></b>	Coefficiente di riduzione associato al tipo di superficie.
<b>r<sub>f</sub></b>	Coefficiente di riduzione delle perdite dipendente dal rischio di incendio.

<b>r<sub>p</sub></b>	Coefficiente di riduzione delle perdite correlato alle misure antincendio.
<b>R<sub>T</sub></b>	Rischio tollerabile, valore massimo del rischio che può essere tollerato nella struttura da proteggere.
<b>R<sub>A</sub></b>	Componente di rischio (danno ad esseri viventi – fulm. sulla struttura).
<b>R<sub>B</sub></b>	Componente di rischio (danno materiale alla struttura – fulm. sulla struttura).
<b>R<sub>C</sub></b>	Componente di rischio (guasto di impianti interni – fulm. sulla struttura).
<b>R<sub>M</sub></b>	Componente di rischio (guasto di impianti interni – fulm. in prossimità della struttura).
<b>R<sub>U</sub></b>	Componente di rischio (danno ad esseri viventi – fulm. sulla linea connessa).
<b>R<sub>V</sub></b>	Componente di rischio (danno materiale alla struttura – fulm. sulla linea connessa).
<b>R<sub>W</sub></b>	Componente di rischio (danno agli impianti – fulm. sulla linea connessa).
<b>R<sub>Z</sub></b>	Componente di rischio (guasto di impianti interni – fulm. in prossimità di una linea).
<b>R1</b>	Rischio di perdita di vite umane nella struttura.
<b>R2</b>	Rischio di perdita di un servizio pubblico in una struttura.
<b>R3</b>	Rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile in una struttura.
<b>R4</b>	Rischio di perdita economica in una struttura.
<b>S</b>	Struttura.
<b>S1</b>	Sorgente di danno (fulm. sulla struttura).
<b>S2</b>	Sorgente di danno (fulm. in prossimità della struttura).
<b>S3</b>	Sorgente di danno (fulm. sulla linea).
<b>S4</b>	Sorgente di danno (fulm. in prossimità della linea).
<b>t<sub>z</sub></b>	Tempo di permanenza delle persone in un luogo pericoloso (ore/anno).
<b>w<sub>m</sub></b>	Lato di maglia.

## Valutazione del rischio fulminazione

La normativa CEI EN 62305-2 specifica una procedura per la valutazione del rischio dovuto a fulminazione e, se necessario, individua le misure di protezione necessarie da realizzare per ridurre il rischio a valori non superiori a quello ritenuto tollerabile dalla norma.

### Sorgente di rischio, S

La corrente di fulmine è la principale sorgente di danno. Le sorgenti sono distinte in base al punto d'impatto del fulmine.

- S1 Fulmine sulla struttura.
- S2 Fulmine in prossimità della struttura.
- S3 Fulmine su una linea.
- S4 Fulmine in prossimità di una linea.

### Tipo di danno, D

Un fulmine può causare danni in funzione delle caratteristiche dell'oggetto da proteggere. Nelle pratiche applicazioni della determinazione del rischio è utile distinguere tra i tre tipi principali di danno che possono manifestarsi come conseguenza di una fulminazione. Essi sono le seguenti:

- D1 Danno ad esseri viventi per elettrocuzione.
- D2 Danno materiale.
- D3 Guasto di impianti elettrici ed elettronici.

### Tipo di perdita, L

Ciascun tipo di danno, solo o in combinazione con altri, può produrre diverse perdite conseguenti nell'oggetto da proteggere. Il tipo di perdita che può verificarsi dipende dalle caratteristiche dell'oggetto stesso ed al suo contenuto.

- L1 Perdita di vite umane (compreso danno permanente).
- L2 Perdita di servizio pubblico.
- L3 Perdita di patrimonio culturale insostituibile.
- L4 Perdita economica (struttura, contenuto e perdita di attività).

### Rischio, R

Il rischio  $R$  è la misura della probabile perdita media annua. Per ciascun tipo di perdita che può verificarsi in una struttura può essere valutato il relativo rischio.













- $R_1$  Rischio di perdita di vite umane (inclusi danni permanenti).
- $R_2$  Rischio di perdita di servizio pubblico.
- $R_3$  Rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile.
- $R_4$  Rischio di perdita economica (struttura, contenuto e perdita di attività).

### Rischio tollerabile, $R_T$

La definizione dei valori di rischio tollerabili  $R_T$  riguardanti le perdite di valore sociale sono stabilite dalla norma CEI EN 62305-2 e di seguito riportati.

- Rischio tollerabile per perdita di vite umane o danni permanenti ( $R_T = 10^{-5} \text{ anni}^{-1}$ ).
- Rischio tollerabile per perdita di servizio pubblico ( $R_T = 10^{-3} \text{ anni}^{-1}$ ).
- Rischio tollerabile per perdita di patrimonio culturale insostituibile ( $R_T = 10^{-4} \text{ anni}^{-1}$ ).

Per ogni tipologia di rischio ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  o  $R_4$ ), nella tabella seguente sono riportate le sue componenti:

Sorgente	S1			S2	S3			S4
								
Danno	D1	D2	D3	D3	D1	D2	D3	D3
								
Comp. di rischio	$R_A$	$R_B$	$R_C$	$R_M$	$R_U$	$R_V$	$R_W$	$R_Z$
$R_1$	SI	SI	SI <sup>(1)</sup>	SI <sup>(1)</sup>	SI	SI	SI <sup>(1)</sup>	SI <sup>(1)</sup>
$R_2$	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI
$R_3$	NO	SI	NO	NO	NO	SI	NO	NO
$R_4$	SI <sup>(2)</sup>	SI	SI	SI	SI <sup>(2)</sup>	SI	SI	SI

(1) Nel caso di strutture con rischio di esplosione, di ospedali o di altre strutture, in cui i guasti di impianti interni provocano immediato pericolo per la vita umana

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

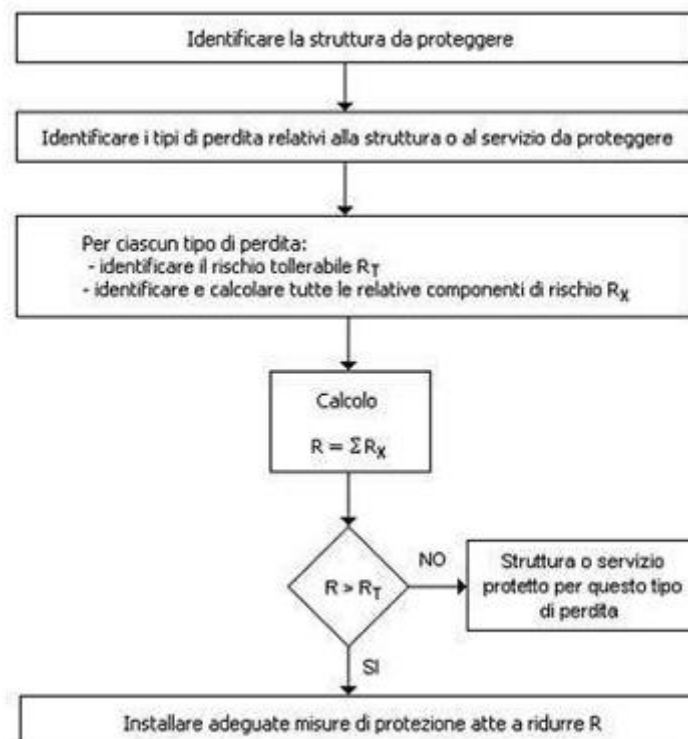
### Metodo di valutazione

Ai fini della valutazione del rischio ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  o  $R_4$ ) si deve provvedere a:

- determinare le componenti  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$ ,  $R_M$ ,  $R_U$ ,  $R_V$ ,  $R_W$  e  $R_Z$  che lo compongono;
- determinare il corrispondente valore del rischio  $R_x$ ;
- confrontare il rischio  $R_x$  con quello tollerabile  $R_T$  (tranne per  $R_4$ )

Per ciascun rischio devono essere effettuati i seguenti passi (vedi anche figura successiva):

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



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

Se  $R_X > R_T$  devono essere adottate misure di protezione al fine di rendere  $R_X \leq R_T$  per tutti i rischi a cui è interessato l'oggetto.

Per il rischio  $R_4$ , oltre a determinare le componenti e il valore del rischio  $R_4$ , deve essere effettuata la valutazione della convenienza economica della protezione effettuando il confronto tra il costo totale della perdita con e senza le misure di protezione.

#### Componenti di rischio

Le componenti di rischio sono raggruppate secondo la sorgente di danno ed il tipo di danno, come si evince dalla precedente tabella.

Ciascuna delle componenti di rischio può essere calcolata mediante la seguente equazione generale:

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

dove

$N_X$  è il numero di eventi pericolosi [Allegato A, CEI EN 62305-2].

$P_X$  è la probabilità di danno alla struttura [Allegato B, CEI EN 62305-2].

$L_X$  è la perdita conseguente [Allegato C, CEI EN 62305-2].

#### Componente di rischio (danno ad esseri viventi - fulmine sulla struttura), $R_A$

Componente relativa ai danni ad esseri viventi dovuti a tensioni di contatto e di passo in zone fino a 3 m all'esterno della struttura. Possono verificarsi perdite di tipo L1 (perdita di vite umane) e, in strutture ad uso agricolo, anche di tipo L4 (perdita economica) con possibile perdita di animali.

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A$$

dove:

- $R_A$  Componente di rischio (danno ad esseri viventi - fulmine sulla struttura);
- $N_D$  Numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura [§ A.2, CEI EN 62305-2].
- $P_A$  Probabilità di danno ad esseri viventi (fulmine sulla struttura) [§ B.2, CEI EN 62305-2].
- $L_A$  Perdita per danno ad esseri viventi [§ C.3, CEI EN 62305-2].

### **Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sulla struttura), $R_B$**

Componente relativa ai danni materiali causati da scariche pericolose all'interno della struttura che innescano l'incendio e l'esplosione e che possono essere pericolose per l'ambiente. Possono verificarsi tutti i tipi di perdita: L1 (perdita di vite umane), L2 (perdita di un servizio pubblico), L3 (perdita di patrimonio culturale insostituibile) e L4 (perdita economica).

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B$$

dove:

- $R_B$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sulla struttura).
- $N_D$  Numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura [§ A.2, CEI EN 62305-2].
- $P_B$  Probabilità di danno materiale in una struttura (fulmine sulla struttura) [§ B.3, CEI EN 62305-2].
- $L_B$  Perdita per danno materiale in una struttura (fulmine sulla struttura) [§ C.3, CEI EN 62305-2].

### **Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine sulla struttura), $R_C$**

Componente relativa al guasto di impianti interni causata dal LEMP (impulso elettromagnetico del fulmine). In tutti i casi possono verificarsi perdite di tipo L2 (perdita di un servizio pubblico) e L4 (perdita economica), unitamente al rischio L1 (perdita di vite umane) nel caso di strutture con rischio di esplosione e di ospedali o di altre strutture in cui il guasto degli impianti interni provoca immediato pericolo per la vita umana.

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C$$

dove:

- $R_C$  Componente di rischio (guasto di apparati del servizio - fulmine sulla struttura);
- $N_D$  Numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura [§ A.2, CEI EN 62305-2].
- $P_C$  Probabilità di guasto di un impianto interno (fulmine sulla struttura) [§ B.4.3, CEI EN 62305-2].
- $L_C$  Perdita per guasto di un impianto interno (fulmine sulla struttura) [§ C.3, CEI EN 62305-2].

### **Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità della struttura), $R_M$**

Componente relativa al guasto di impianti interni causata dal LEMP (impulso elettromagnetico del fulmine). In tutti i casi possono verificarsi perdite di tipo L2 (perdita di un servizio pubblico) e L4 (perdita economica), unitamente al rischio L1 (perdita di vite umane) nel caso di strutture con rischio di esplosione e di ospedali o di altre strutture in cui il guasto degli impianti interni provoca immediato pericolo per la vita umana.

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M$$

dove:

- $R_M$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità della struttura);
- $N_M$  Numero di eventi pericolosi per fulminazione in prossimità della struttura [§ A.3, CEI EN 62305-2];
- $P_M$  Probabilità di guasto di un impianto interno (fulmine in prossimità della struttura) [§ B.5, CEI EN 62305-2];
- $L_M$  Perdita per guasto di un impianto interno (fulmine in prossimità della struttura) [§ C.3, CEI EN 62305-2].

### **Componente di rischio (danno ad esseri viventi - fulmine sul servizio connesso), $R_U$**

Componente relativa ai danni ad esseri viventi dovuti a tensioni di contatto all'interno della struttura dovute alla corrente di fulmine iniettata nella linea entrante nella struttura. Possono



verificarsi perdite di tipo L1 (perdita di vite umane) e, in strutture ad uso agricolo, anche di tipo L4 (perdita economica) con possibile perdita di animali.

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$$

dove:

- $R_U$  Componente di rischio (danno ad esseri viventi - fulmine sul servizio);
- $N_L$  Numero di eventi pericolosi per fulminazione sul servizio [§ A.4, CEI EN 62305-2].
- $N_{DJ}$  Numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura all'estremità "a" della linea [§ A.2 della CEI EN 62305-2].
- $P_U$  Probabilità di danno ad esseri viventi (fulmine sul servizio connesso) [§ B.6, CEI EN 62305-2].
- $L_U$  Perdita per danni ad esseri viventi (fulmine sul servizio) [§ C.3, CEI EN 62305-2].

### **Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sul servizio connesso), $R_V$**

Componente relativa ai danni materiali (incendio o esplosione innescati da scariche pericolose fra installazioni esterne e parti metalliche, generalmente nel punto d'ingresso della linea nella struttura) dovuti alla corrente di fulmine trasmessa attraverso il servizio entrante. Possono verificarsi tutti i tipi di perdita: L1 (perdita di vite umane), L2 (perdita di un servizio pubblico), L3 (perdita di patrimonio culturale insostituibile) e L4 (perdita economica).

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$$

dove:

- $R_V$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sul servizio connesso).
- $N_L$  Numero di eventi pericolosi per fulminazione sul servizio [§ A.4, CEI EN 62305-2].
- $N_{Da}$  Numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura all'estremità "a" della linea [§ A.2, CEI EN 62305-2].
- $P_V$  Probabilità di danno materiale nella struttura (fulmine sul servizio connesso) [§ B.7, CEI EN 62305-2].
- $L_V$  Perdita per danno materiale in una struttura (fulmine sul servizio) [§ C.3, CEI EN 62305-2].

### **Componente di rischio (danno agli impianti - fulmine sul servizio connesso), $R_W$**

Componente relativa al guasto di impianti interni causati da sovratensioni indotte sulla linea e trasmesse alla struttura. In tutti i casi possono verificarsi perdite di tipo L2 (perdita di un servizio pubblico) e L4 (perdita economica), unitamente al rischio L1 (perdita di vite umane) nel caso di strutture con rischio di esplosione e di ospedali o di altre strutture in cui il guasto degli impianti interni provoca immediato pericolo per la vita umana.

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W$$

dove:

- $R_W$  Componente di rischio (danno agli apparati - fulmine sul servizio connesso).
- $N_L$  Numero di eventi pericolosi per fulminazione sul servizio [§ A.4, CEI EN 62305-2].
- $N_{Da}$  Numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura all'estremità "a" della linea [§ A.2, CEI EN 62305-2].
- $P_W$  Probabilità di guasto di un impianto interno (fulmine sul servizio connesso) [§ B.8, CEI EN 62305-2].
- $L_W$  Perdita per guasto di un impianto interno (fulmine sul servizio) [§ C.3, CEI EN 62305-2].

### **Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità di un servizio connesso), $R_Z$**

Componente relativa al guasto di impianti interni causata da sovratensioni indotte sulla linea e trasmesse alla struttura. In tutti i casi possono verificarsi perdite di tipo L2 (perdita di un servizio pubblico) e L4 (perdita economica), unitamente al rischio L1 (perdita di vite umane) nel caso di

strutture con rischio di esplosione e di ospedali o di altre strutture in cui il guasto degli impianti interni provoca immediato pericolo per la vita umana.

$$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$$

dove:

- $R_Z$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità del servizio).
- $N_I$  Numero di eventi pericolosi per fulminazione in prossimità del servizio [§ A.4, CEI EN 62305-2].
- $P_Z$  Probabilità di guasto di un impianto interno (fulmine in prossimità del servizio) [§ B.9, CEI EN 62305-2].
- $L_Z$  Perdita per guasto di un impianto interno (fulmine in prossimità del servizio) [§ C.3, CEI EN 62305-2].

### **Determinazione del rischio di perdita di vite umane (R1)**

Il rischio di perdita di vite umane è determinato come somma delle componenti di rischio precedentemente definite.

$$R_1 = R_A + R_B + R_C^{(1)} + R_M^{(1)} + R_U + R_V + R_W^{(1)} + R_Z^{(1)}$$

- (1) Nel caso di strutture con rischio di esplosione, di ospedali o di altre strutture, in cui guasti di impianti interni provocano immediato pericolo per la vita umana.

dove:

- $R_A$  Componente di rischio (danno ad esseri viventi - fulmine sulla struttura).
- $R_B$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sulla struttura).
- $R_C$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine sulla struttura).
- $R_M$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità della struttura).
- $R_U$  Componente di rischio (danno ad esseri viventi - fulmine sul servizio connesso).
- $R_V$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sul servizio connesso).
- $R_W$  Componente di rischio (danno agli impianti - fulmine sul servizio connesso).
- $R_Z$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità di un servizio connesso).

### **Determinazione del rischio di perdita di servizio pubblico (R2)**

Il rischio di perdita di servizio pubblico è determinato dalla formula:

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z$$

dove:

- $R_B$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sulla struttura).
- $R_C$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine sulla struttura).
- $R_M$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità della struttura).
- $R_V$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sul servizio connesso).
- $R_W$  Componente di rischio (danno agli impianti - fulmine sul servizio connesso).
- $R_Z$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità di un servizio connesso).

### **Determinazione del rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile (R3)**

Il rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile è dato dalla formula:

$$R_3 = R_B + R_V$$

dove:

- $R_B$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sulla struttura)
- $R_V$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sul servizio connesso)

### Determinazione del rischio di perdita economica ( $R_4$ )

Il rischio di perdita economica è determinato secondo la formula:

$$R_4 = R_A^{(1)} + R_B + R_C + R_M + R_U^{(1)} + R_V + R_W + R_Z$$

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

dove:

- $R_A$  Componente di rischio (danno ad esseri viventi - fulmine sulla struttura).
- $R_B$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sulla struttura).
- $R_C$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine sulla struttura).
- $R_M$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità della struttura).
- $R_U$  Componente di rischio (danno ad esseri viventi - fulmine sul servizio connesso).
- $R_V$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sul servizio connesso).
- $R_W$  Componente di rischio (danno agli impianti - fulmine sul servizio connesso).
- $R_Z$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità di un servizio connesso).

### Esito della valutazione

Una volta noti i valori di rischio per la struttura bisogna verificare che essi siano inferiori ai rischi tollerabili.

#### Caso 1 - Struttura autoprotetta

Se per ogni rischio calcolato i valori sono inferiori ai rispettivi  $R_T$  e non sono state adottate misure di protezione, la struttura oggetto di verifica può considerarsi "Autoprotetta".

#### Caso 2 - Struttura protetta

Se per ogni rischio calcolato i valori sono inferiori ai rispettivi  $R_T$  e sono state adottate misure di protezione, la struttura oggetto di verifica può considerarsi "Protetta".

#### Caso 3 - Struttura NON protetta

Se almeno un rischio calcolato è superiore al rispettivo  $R_T$  devono essere adottate misure di protezione al fine di rendere il rischio inferiore.

## STRUTTURA

Dati generali	
Denominazione	<b>Arena all'aperto del Parco della Musica</b>
Destinazione d'uso	<b>Pubblico spettacolo</b>
Indirizzo	<b>Piazza Nazzari</b>
Comune	<b>CAGLIARI (CA)</b>
Cap	
$N_G$	<b>0.78 fulmini/anno km<sup>2</sup></b>
Fonte dati	<b>Sopralluogo</b>

Caratteristiche della struttura	
Ubicazione	<b>Circondato da oggetti di altezza uguale o inferiore [<math>C_D = 0.50</math>]</b>
Geometria della struttura	<b>Struttura regolare:</b> <b>Lunghezza: 80.0 m</b> <b>Larghezza: 100.0 m</b> <b>Altezza: 12.0 m</b> <b>Altezza protrusione: 0.0 m</b>  <b>Area raccolta della struttura isolata <math>A_D</math>: 25 031.50 m<sup>2</sup></b> <b>Area raccolta fulmini in prossimità della struttura <math>A_M</math>: 965 398.16 m<sup>2</sup></b>
Schermatura	<b>Assente</b> <b><math>K_{S1} = 1</math></b>
LPS	<b>Struttura non protetta con LPS [<math>PB = 1.00</math>]</b>
N° persone totali nella struttura (L1)	<b><math>n_T = 600</math></b>

## ZONE

Nella struttura sono presenti 2 zone.

I dettagli di ogni zona sono riportati nei seguenti paragrafi.

### Zona Z1 - "Zona 1"

Dati generali	
Denominazione	<b>Zona 1</b>
Tipo di zona	<b>Interna</b>
Pavimentazione	<b>Legno (<math>R \geq 100k\Omega</math>) [<math>r_t = 10^{-5}</math>]</b>
Pericoli particolari	<b>Livello ridotto di panico [<math>h_z = 2</math>]</b>
Rischio d'incendio	<b>Rischio d'incendio ordinario [<math>r_f = 10^{-2}</math>]</b>
Schermatura	<b>Assente</b> <b><math>K_{s2} = 1</math></b>
Misure antincendio	<b>Misure di protezione manuali [<math>r_p = 0.5</math>]</b>

Perdita di vite umane (L1)	
N° persone presenti ( $n_z$ )	<b>100</b>
Ore presenza/anno ( $t_z$ )	<b>768</b>
$L_T$	<b><math>10^{-2}</math></b>
$L_F$	<b><math>10^{-2}</math></b>

## Zona Z2 - "Zona 2"

Dati generali	
Denominazione	<b>Zona 2</b>
Tipo di zona	<b>Esterna</b>
Pavimentazione	<b>Marmo (<math>1k\Omega \leq R \leq 10k\Omega</math>) [<math>r_t = 10^{-3}</math>]</b>
Protezioni dalle tensioni di passo e di contatto	<b>Nessuna [PTA = 1]</b>

Perdita di vite umane (L1)	
N° persone presenti ( $n_z$ )	<b>500</b>
Ore presenza/anno ( $t_z$ )	<b>64</b>
$L_T$	<b><math>10^{-2}</math></b>
$L_F$	<b><math>10^{-2}</math></b>

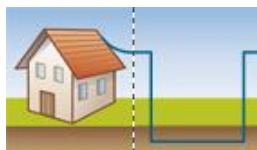
### Legenda:

- $L_T$  è la percentuale media di vittime per elettrocuzione (danno D1) causato da un evento pericoloso.
- $L_F$  è la percentuale media di vittime per danno materiale (danno D2) causato da un evento pericoloso.
- $L_O$  è la percentuale media di vittime per guasto degli impianti interni (danno D3) causato da un evento pericoloso.

## LINEE

Alla struttura è collegata una linea di seguito descritta.

### Linea L1 - "Linea 1"



Dati generali	
Denominazione	<b>Linea 1</b>
Tipo linea	<b>Linea di energia</b>
Protezione	<b>Nessuna</b>
Ambiente circostante	<b>Urbano [<math>C_e = 0.10</math>]</b>
Protezioni dalle tensioni di contatto	<b>Isolamento elettrico [<math>PTU = 0.01</math>]</b>
SPD su linea entrante	<b>Sistema SPD assente [<math>PEB = 1.00</math>]</b>
Trasformatore AT/BT	<b>Assente [<math>C_T = 1</math>]</b>

Sezioni della linea:

Tratto interrato	
Denominazione	<b>Tratto 1</b>
Lunghezza	<b>1 000 m</b>
Schermatura cavi	<b>Assente</b>
Dispersore fittamente magliato	<b>No</b>

## IMPIANTI

Nella struttura è presente un solo impianto interno di seguito descritto.

### Impianto I1 - "Impianto 1"

Dati generali	
Denominazione	<b>Impianto 1</b>
Linea collegata all'impianto	<b>Linea 1</b>
Zone servite dall'impianto	<b>Zona 1; Zona 2</b>
Tensione di tenuta	<b>1000</b>
Cavi impianto schermati	<b>No</b>
Schermi o condotti metallici connessi alla barra equipotenziale	<b>No</b>
Tipo cablaggio	<b>Nessuna precauzione nella scelta del percorso</b>
Tipo SPD	<b>Sistema SPD assente [PSPD =1.00]</b>



## ESITO DELLA VALUTAZIONE













### Perdite considerate e rischi tollerabili

Per la valutazione dei rischi sono state considerate le seguenti perdite:













L1 - Perdita di vite umane o danni permanenti (Rischio tollerabile  $R_T = 10^{-5}$ )

### Valutazione del rischio di perdita di vite umane R1













Numero annuo atteso di eventi pericolosi,  $N_x$

Sorgente di danno	S1			S2	S3			S4
								
Tipo di danno	D1	D2	D3	D3	D1	D2	D3	D3
								
Eventi	$N_D$			$N_M$	$N_L + N_{DJ}$			$N_I$
Struttura	$9.76 \times 10^{-3}$			0.75	-			-
Eventi	$N_D$			$N_M$	$N_L + N_{DJ}$			$N_I$
L1	-			-	$1.56 \times 10^{-3}$			0.16

Valori di probabilità di perdita di vite umane,  $P_x$













Sorgente di danno	S1			S2	S3			S4
								
Tipo di danno	D1	D2	D3	D3	D1	D2	D3	D3
								
Probabilità	$P_A$	$P_B$	$P_C$	$P_M$	$P_U$	$P_V$	$P_W$	$P_Z$
Z1	1	1	1	1	$10^{-2}$	1	1	1
- I1	-	-	1	1	-	-	-	-
- L1	-	-	-	-	$10^{-2}$	1	1	1
Z2	1	0	0	0	$10^{-2}$	1	1	1
- I1	-	-	1	1	-	-	-	-
- L1	-	-	-	-	$10^{-2}$	1	1	1

Ammontare delle perdite di vite umane,  $L_x$

Sorgente di danno	S1			S2	S3			S4
								
Tipo di danno	D1	D2	D3	D3	D1	D2	D3	D3
								

Perdite	L <sub>A</sub>	L <sub>B</sub>	L <sub>C</sub>	L <sub>M</sub>	L <sub>U</sub>	L <sub>V</sub>	L <sub>W</sub>	L <sub>Z</sub>
Z1	1.46 x 10 <sup>-9</sup>	1.46 x 10 <sup>-6</sup>	0	0	1.46 x 10 <sup>-9</sup>	1.46 x 10 <sup>-6</sup>	0	0
Z2	6.09 x 10 <sup>-8</sup>	0	0	0	6.09 x 10 <sup>-8</sup>	0	0	0

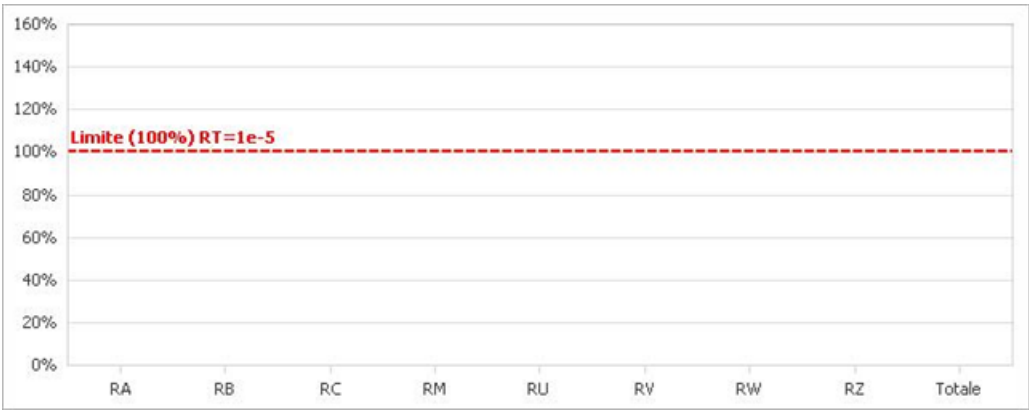
Componenti di rischio di perdita di vite umane, R<sub>x</sub>

Sorgente di danno	S1			S2	S3			S4
								
Tipo di danno	D1	D2	D3	D3	D1	D2	D3	D3
								
Rischio	R <sub>A</sub>	R <sub>B</sub>	R <sub>C</sub>	R <sub>M</sub>	R <sub>U</sub>	R <sub>V</sub>	R <sub>W</sub>	R <sub>Z</sub>
Z1	1.43 x 10 <sup>-11</sup>	1.43 x 10 <sup>-8</sup>			2.28 x 10 <sup>-14</sup>	2.28 x 10 <sup>-9</sup>		
Z2	5.94 x 10 <sup>-10</sup>	0			0	0		
Totale	6.09 x 10 <sup>-10</sup>	1.43 x 10 <sup>-8</sup>			2.28 x 10 <sup>-14</sup>	2.28 x 10 <sup>-9</sup>		

<b>Rischio di perdita di vita umana, R<sub>1,Struttura</sub></b> <b>(R<sub>1,Struttura</sub> = R<sub>A,Struttura</sub> + R<sub>B,Struttura</sub> + R<sub>C,Struttura</sub> + R<sub>M,Struttura</sub> + R<sub>U,Struttura</sub> + R<sub>V,Struttura</sub> + R<sub>W,Struttura</sub> + R<sub>Z,Struttura</sub>)</b>	<b>1.72 x 10<sup>-8</sup></b>
--	-------------------------------

**Il valore del rischio dovuto al fulmine è inferiore al valore di rischio tollerato R<sub>T</sub>.**

Grafico delle componenti di rischio



## CONCLUSIONI

Visti gli esiti delle verifiche effettuate, non è necessario realizzare alcun sistema di protezione contro i fulmini per la struttura in questione in quanto il rischio dovuto al fulmine è già al di sotto del limite tollerato.

Quindi la struttura è da considerarsi **PROTETTA**.

In forza della legge n° 186 del 01/03/1968 che individua nelle norme CEI la regola dell'arte, si può ritenere assolto ogni obbligo giuridico, anche specifico, che richieda la protezione contro le scariche atmosferiche.



# INDICE

<b>DATI GENERALI</b>	<b>2</b>
Committente	2
Tecnico	2
<b>ANALISI E VALUTAZIONE SCARICHE ATMOSFERICHE</b>	<b>3</b>
Normativa di riferimento	3
Definizioni	3
Simboli e abbreviazioni	4
Valutazione del rischio fulminazione	5
Metodo di valutazione	6
Componenti di rischio	7
Determinazione del rischio di perdita di vite umane (R1)	10
Determinazione del rischio di perdita di servizio pubblico (R2)	10
Determinazione del rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile (R3)	10
Determinazione del rischio di perdita economica (R4)	11
Esito della valutazione	11
<b>STRUTTURA</b>	<b>12</b>
<b>ZONE</b>	<b>13</b>
Zona Z1 - "Zona 1"	13
Zona Z2 - "Zona 2"	14
<b>LINEE</b>	<b>15</b>
Linea L1 - "Linea 1"	15
<b>IMPIANTI</b>	<b>16</b>
Impianto I1 - "Impianto 1"	16
<b>ESITO DELLA VALUTAZIONE</b>	<b>17</b>
Perdite considerate e rischi tollerabili	17
Valutazione del rischio di perdita di vite umane R1	17
Numero annuo atteso di eventi pericolosi, NX	17
Valori di probabilità di perdita di vite umane, PX	17
Ammontare delle perdite di vite umane, LX	17
Componenti di rischio di perdita di vite umane, RX	18
Grafico delle componenti di rischio	18
<b>CONCLUSIONI</b>	<b>19</b>
<b>INDICE</b>	<b>21</b>



Valore Ng **0.78**

Informazioni sulla posizione	
Coordinate	39.2259747113031° N
	9.122078811520957° E
Comune	Cagliari
Codice Istat	20092009
Provincia	CA
Regione	Sardegna

## CONDIZIONI DI UTILIZZO E VALIDITA' DEI DATI

- Il valore di Ng riportato dall'applicazione è calcolato esclusivamente sulla base delle coordinate geografiche (Latitudine e Longitudine, formato WGS84) fornite dall'utente. Il CEI - Comitato Elettrotecnico Italiano non si assume alcuna responsabilità in merito all'affidabilità degli strumenti utilizzati per la rilevazione delle coordinate stesse, ivi incluso lo strumento gratuito "CEI FindIT" messo a disposizione a puro titolo di ausilio e/o verifica. Parimenti, è responsabilità dell'utente la verifica di precisione e accuratezza di eventuali rilevatori GPS utilizzati per rilevazioni sul campo.

- I valori di Ng forniti dall'applicazione derivano da rilevazioni ed elaborazioni effettuate da CESI S.p.A. facendo ricorso allo stato dell'arte della tecnologia e delle conoscenze tecnico-scientifiche in materia.

- CEI ProDiS possiede le caratteristiche indicate dalla Guida Tecnica CEI 81-30 affinché i dati resi disponibili possano essere utilizzati nell'analisi del rischio prevista dalla norma europea CEI EN 62305-2.

- I dati relativi alle indicazioni geografiche fornite dall'applicazione fanno riferimento ai database geografici messi a disposizione dall'ISTAT. Tali dati si riferiscono alla situazione di Comuni, Province e Regioni prima del censimento 2011.

- La precisione delle conversioni di coordinate comporta un errore all'incirca di 100 m. L'applicazione è costruita in modo da tenere in considerazione le inevitabili approssimazioni dovute al calcolo numerico e, pertanto, i valori forniti risultano sempre conservativi.

- Il valore di Ng fornito è legato esclusivamente alle coordinate inserite: non esiste alcuna relazione tra il valore di Ng ed il Comune in cui ricadono le coordinate geografiche (WGS84).

- Piccole variazioni di coordinate possono portare a valori diversi di Ng a causa della natura discreta della mappa cartografica su cui insiste l'applicazione. Si raccomanda, pertanto, di verificare con la massima attenzione possibile i valori inseriti, nonché di evitare il riutilizzo del dato per posizioni distanti più di 100 m (tolleranza all'errore).

- Dati interpolati e/o dedotti con qualsiasi algoritmo a partire da quelli forniti dall'applicazione non hanno alcuna attinenza con il modello fisico sottostante e, pertanto, non devono essere utilizzati nei calcoli.

- I dati di probabilità cartografica (Ng) sono di proprietà di CEI - Comitato Elettrotecnico Italiano e di CESI S.p.A. Senza il consenso scritto da parte del CEI - Comitato Elettrotecnico Italiano, è vietata la divulgazione dei suddetti dati, anche a titolo gratuito, sotto qualsiasi forma e con qualsiasi mezzo, fatti salvi i fini progettuali e/o di verifica per cui avviene la consultazione.

- E' fatto esplicito divieto di ricostruire il database dei dati cartografici, anche parzialmente, a partire dai dati forniti dall'applicazione.

- Per tutto quanto non esplicitamente citato nelle presenti condizioni, si rimanda alla Licenza d'uso dei prodotti CEI (<http://webstore.ceiweb.it/LicenzaUso.aspx>).