

PROGETTAZIONE

PROGETTO DELL'IMPIANTO DI PROTEZIONE CONTRO I FULMINI DI UNA CHIESA

Foto di Leonhard Niederwimmer da Pixabay

42 | Elettrificazione 6-7 2023 n. 768



Nel presente articolo viene riportata in maniera sintetica la relazione tecnica del progetto di un impianto di protezione contro i fulmini di una chiesa.

Alfredo Corvino

GENERALITÀ

Il progetto viene redatto in conformità delle seguenti norme tecniche (D.M. 37/08):

- Guida CEI 81-2 "Guida per la verifica delle misure di protezione contro i fulmini";
- Norma CEI EN 62305-1 (81-10/1) "Protezione contro i fulmini. Parte 1: Principi generali";
- Norma CEI EN 62305-2 (81-10/2) "Protezione contro i fulmini. Parte 2: Valutazione del rischio";
- Norma CEI EN 62305-3 (81-10/3) "Protezione contro i fulmini. Parte 3: Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone";
- Norma CEI EN 62305-4 (81-10/4) "Protezione contro i fulmini. Parte 4: Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture";
- Guida CEI 81-29 "Linee guida per l'applicazione delle norme CEI EN 62305";
- Norma CEI EN 62561-4 (81-19) "Componenti per la protezione contro i fulmini (LPC). Parte 4: Prescrizioni per i componenti di fissaggio dei conduttori";
- Norma CEI EN 62561-1 (81-24) "Componenti per la protezione contro i fulmini (LPC). Parte 1: Prescrizioni per i componenti di connessione";
- Norma CEI EN 62561-2 (81-25) "Componenti per la protezione contro i fulmini (LPC). Parte 2: Prescrizioni per i conduttori di terra e i dispersori";
- Norma CEI 64-8 "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente continua e a 1500 V in corrente continua";
- Guida CEI 0-2 "Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici";
- Norma CEI 0-21 "Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica".

Di seguito, per motivi di sintesi, del progetto vengono riportate unicamente la descrizione dell'impianto di protezione e i calcoli relativi.

VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FULMINAZIONE

La struttura interessata si trova nel centro cittadino. In funzione delle sue coordinate geografiche, è stato individuato il valore della densità di fulminazione per anno $N_g = 4,43 \text{ f/anno} \cdot \text{km}^2$ ed effettuata la valutazione del rischio di fulminazione, con il software Zeus di TuttoNormel.

Dalla valutazione del rischio della struttura, protetta con un

impianto di protezione (LPS) di III livello, risulta che il rischio residuo R_1 è molto inferiore a quello tollerabile R_T :

$$R_1 = 2,2 \cdot 10^{-9} < R_T = 1 \cdot 10^{-5}$$

per cui la struttura risulta protetta.

IMPIANTO DI PROTEZIONE (LPS)

L'LPS è di classe III, corrispondente al livello (LPL) III, del tipo a maglia, con posizionamento non isolato, ovvero sia appoggiato alla struttura. Esso, in base ai parametri della corrente del fulmine indicati dalle norme, corrisponde ad una efficienza complessiva, come capacità dell'LPS di non far subire danni alla struttura, data da:

$$E = E_c \cdot E_d = 0,91 \cdot 0,97 = 0,88$$

dove:

E_c = efficienza di captazione, come capacità dell'LPS di intercettare le scariche con corrente di picco minima;

E_d = efficienza di dimensionamento, come capacità dell'LPS di sopportare le scariche con i valori dei parametri massimi previsti dalle norme senza provocare danni alla struttura.

L'LPS è costituito da LPS esterno (LPS_{est}) e da LPS interno (LPS_{int}), dei quali di seguito vengono riportati i progetti elettrici e meccanici.

LPS esterno

L'LPS esterno ha la funzione di intercettare i fulmini sulla struttura, di condurli al suolo e di disperderli, senza provocare danni a struttura, persone e beni.

L'LPS_{est} è riportato nei disegni progettuali. Esso è costituito da:

- organi di captazione,
- organi di discesa o calate,
- dispersore.

Ai fini della realizzazione di eventuali collegamenti tra organi di captazione o calate e linee di impianti elettrici o corpi metallici esterni, da farsi al fine di evitare scariche elettriche se troppo ravvicinati, si tiene conto della distanza di sicurezza s , in m:

$$s = (k_1 \cdot k_c / k_m) \cdot l = (0,04 \cdot 0,31/1) \cdot l = 0,012 \cdot l$$

dove:

k_1 = coefficiente che per la classe III è pari a 0,04;

k_c = coefficiente che dipende dalla quota di corrente che

circola nel captatore o nella calata, che è pari a 0,31, come risulta dai calcoli successivamente riportati;

k_m dipende dal mezzo isolante, che in aria è pari 1;

l , in m, = lunghezza lungo il captatore o la calata del tratto di parallelismo con corpi metallici o linee elettriche fino alla connessione equipotenziale.

Dato che la lunghezza massima di tali tratti esterni alla struttura risulta $l = 4$ m, si ha:

$$s = 0,012 \cdot l = 0,012 \cdot 4 = 0,1 \text{ m}$$

valore inferiore alla distanza effettiva tra elementi dell'LPS e impianto elettrico e corpi metallici, per cui non occorre effettuare altri collegamenti equipotenziali oltre quelli principali.

I componenti e gli accessori dell'LPS, come di seguito indicato, sono conformi alle norme.

Organi di captazione

Gli organi di captazione sono costituiti da conduttori in tondino di acciaio zincato, diametro 8 mm (sezione 50 mm²), posizionati lungo i vertici e le parti perimetrali e sporgenti delle coperture, disposti in modo da formare maglie di lato inferiore a $w = 15$ m.

Oltre agli elementi normali di cui sopra, come evidenziato nelle planimetrie, vengono utilizzati in un lato della copertura come tratto di captatore naturale una grondaia in acciaio, avente spessore 0,5 mm e sezione superiore a 50 mm², e sulla cupola la croce in sommità e la cerchiatura alla sua base, in anello di acciaio con sezione maggiore di 50 mm².

Dagli organi di captazione vengono effettuati sulle coperture i collegamenti con gli elementi metallici di dimensioni di non irrilevanti dimensioni (altezza 0,3 m, area 1,0 m², lunghezza 2,0 m) e con distanza non maggiore di quella di sicurezza s , come ringhiere, tiranti, tubazioni, grondaie e pluviali, tramite tratti degli stessi conduttori di captazione.

I conduttori sono fissati ad intervalli sulle superfici con componenti di fissaggio marcati dal costruttore, rispondenti alle norme, in modo tale da resistere alle sollecitazioni da azioni esterne, ambientali e derivanti dagli effetti elettrodinamici. Analogamente, le giunzioni dei conduttori tra di loro e con gli elementi metallici sono realizzati con connettori a compressione, marcati dal costruttore (classe N), rispondenti alle norme, in modo tale da resistere alle sollecitazioni da azioni esterne, accidentali e derivanti dagli effetti elettrodinamici.

Calate

Gli organi di discesa sono costituiti anch'essi da conduttori in tondino di acciaio zincato, diametro 8 mm (sezione 50 mm²), posizionati lungo le pareti della struttura e in modo equidistante per l'intero perimetro, così da avere n. 14 calate con interdistanza media non superiore a 15 m, poste in corrispondenza degli spigoli della struttura e in parti intermedie delle pareti lunghe.

Alcune calate vengono connesse i corpi metallici esterni, come pluviali e piastre di tiranti delle strutture, come riportato nei disegni, con distanza non maggiore di quella di sicurezza, con le stesse modalità previste prima per i captatori, tramite tratti degli stessi conduttori di discesa. Inoltre, le calate sono protette con idoneo tubo di materiale isolante, costituito da polietilene reticolato con spessore 3 mm, nella parte terminale verso il terreno, per motivi di protezione meccanica, per un'altezza di circa 2,50 m, e nelle zone vicine alle linee elettriche in cui la distanza non risulta maggiore di quella di sicurezza vista sopra. In quest'ultimo caso, il coefficiente km, che tiene conto dell'isolamento di un materiale in resina e non dell'aria, è molto alto, per cui la distanza di sicurezza (soltanto di qualche centimetro) è sicuramente rispettata.

I tiranti che entrano all'interno in alto su una parete in prossimità dell'altare, collegati con una calata all'esterno, data la presenza in vicinanza di una conduttura elettrica, vanno rivestiti e isolati in modo idoneo.

Su ciascuna calata, in prossimità del terreno, sul collegamento con il dispersore è previsto un punto di misura, realizzato con un morsetto in cassetta incassata a parete.

Il pericolo da tensioni di contatto per le persone in vicinanza delle calate è tollerabile, in quanto il numero delle calate è superiore a dieci e le stesse sono protette verso il suolo da tubo isolante. Rispetto al pericolo da tensioni di passo per le persone presenti sul suolo vicino le calate, lo stesso è tollerabile in quanto ne sono installate più di dieci.

Dispersore

Il dispersore è del tipo A, costituito da elementi verticali, infissi nel terreno sul perimetro esterno della chiesa, in corrispondenza di ciascuna delle quattordici calate. Non risulta possibile installare un dispersore di tipo B, in quanto la struttura in una parte del perimetro è contornata da altre costruzioni e, inoltre, in generale non risulta possibile interrare l'anello di questo tipo di dispersore alla distanza dalle mura perimetrali e alla profondità necessarie.

Gli elementi del dispersore sono costituiti da picchetti in

profilato a croce di acciaio zincato, 50 · 50 · 3 mm, infissi in apposite buche verticali, ottenute su un suolo praticamente roccioso e riempite con uno strato di terreno vegetale, ricoperte da calcestruzzo. Essi hanno una lunghezza

$$l = 0,5 \cdot l_1 = 0,5 \cdot 5 = 2,50 \text{ m}$$

come previsto dalle Norme.

A un elemento del dispersore, in prossimità del locale in cui è posto il quadro elettrico generale, è connesso al nodo principale di terra dell'impianto di terra della chiesa, tramite un conduttore con isolante giallo-verde di sezione 16 mm². Il dispersore è unico sia per la protezione contro i fulmini sia per la protezione contro i contatti indiretti.

Come elemento di interconnessione delle calate, che garantisce anche una migliore distribuzione della corrente del fulmine, viene installato nella zona di contatto tra pareti e suolo una corda di rame avente sezione 50 mm², ricoperta nell'angolo con uno strato di calcestruzzo. Tale elemento contribuisce di fatto anche ad abbassare il valore della resistenza di terra.

LPS interno

L'LPS interno ha lo scopo di evitare durante il passaggio della corrente del fulmine la formazione di scariche laterali, pericolose per la struttura, persone e beni. Per questo è necessario effettuare l'equipotenzialità verso:

- corpi metallici interni ed esterni, costituiti dalla tubazione dell'acqua;
- impianti elettrici interni ed esterni, costituiti dalla linea elettrica di alimentazione della Chiesa.

A tal fine, viene effettuato il collegamento equipotenziale fisso con la tubazione dell'acqua, che è anche una massa estranea (ai fini della protezione contro i contatti indiretti), sul nodo principale di terra posto in un locale presso un ingresso al piano terra, tramite un conduttore con isolante giallo-verde, avente sezione 6 mm².

Per l'equipotenzialità degli impianti elettrico, invece, al solo scopo della protezione di persone e beni, viene installato un limitatore di sovratensione (SPD) nel quadro elettrico generale nell'ingresso, posto all'uscita del contatore.

Ai fini della scelta della capacità di scarica dell'SPD e della sezione dei conduttori equipotenziali di collegamento, occorre determinare la parte di corrente $I_F = K_e \cdot I$, che interessa corpi metallici e linee esterne, e la parte di corrente $I_C = K_c \cdot I$ che interessa corpi metallici e linee interne. Pertanto, occorre

calcolare i coefficienti k_c e k_e .

Il coefficiente di ripartizione della corrente tra le calate risulta:

$$k_c = 1/(2 \cdot n) + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{(C_s/h)}$$

dove:

n = numero delle calate, pari a 14;

C_s = distanza tra le calate, al massimo 15 m;

h = distanza tra gli anelli di interconnessione delle calate, pari a 24 m.

Pertanto, si ha:

$$k_c = 1/(2 \cdot 14) + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{(15/24)} = 0,31$$

Per quanto riguarda la determinazione del coefficiente di ripartizione della corrente di fulminazione che va ad interessare corpi metallici e impianti esterni, esso si calcola con la relazione:

$$k_e = [Z/(n_1 \cdot Z + Z_1)]$$

dove:

$Z = 10 \Omega$ è l'impedenza convenzionale del dispersore;

$Z_1 = 16 \Omega$ è l'impedenza di ciascuno dei corpi metallici e delle linee esterne, corrispondente alla resistività del suolo

$\rho = 500 \Omega\text{m}$;

$n_1 = 1 + 1 = 2$ è il numero totale dei corpi metallici e delle linee esterne.

Pertanto, tenendo conto che al livello III di protezione dell'LPS corrisponde un valore di picco della corrente di fulmine $I = 100 \text{ kA}$, si ha:

$$k_e = [10/(2 \cdot 10 + 16)] = 0,28$$

$$I_f = k_e \cdot I = 0,28 \cdot 100 = 28 \text{ kA}$$

È necessario valutare se la corrente I_f che interessa le linee entranti può danneggiare l'isolamento dei conduttori. A tal fine, tenendo conto che la linea entrante è costituita da un cavo tetrapolare non schermato, avente sezione del singolo conduttore $S_c' = 10 \text{ mm}^2$ e numero dei conduttori $n'=4$, verificando la condizione:

$$I_f = 28 < 8 \cdot n' \cdot S_c' = 8 \cdot 4 \cdot 10 = 320 \text{ kA}$$

Passando alla scelta del valore di I_{imp} dell'SPD dell'impianto interno e dei collegamenti per linee e corpi metallici interni è necessario tener conto della corrente I_c che attraversa l'LPS. La corrente I che si considera secondo la Norma CEI EN 62305-3 (81-10/3) è quella corrispondente al livello III di protezione dell'LPS, e cioè 100 kA, ottenendo:

$$I_c = 0,31 \cdot 100 = 31 \text{ kA}$$

Questo valore va diviso per il numero delle anime dei conduttori attivi $n' = 4$, per cui si ha:

$$I_c' = I_c/n' = 31/4 = 7,8 \text{ kA}$$

Ai fini della scelta della I_{imp} dell'SPD, può essere assunta come indicato dalla Norma CEI 64-8, tra i valori preferenziali $I_{imp} \geq 12,5 \text{ kA}$ valore superiore a I_c' e a quello indicato nella tabella della Norma CEI EN 62305-1 (5 kA).

Il sistema dell'impianto elettrico, trifase di bassa tensione, è TT. L'SPD adottato è tetrapolare, classe I e II, tipo combinato S+L, cioè a innesco tra neutro e PE (spinterometro) e a limitazione tra le fasi e il neutro (varistori), tipo di collegamento CT1 (formazione 3+1), nel quadro generale, a monte dei dispositivi differenziali. Tra le caratteristiche dell'SPD, è necessario considerare gli altri parametri più importanti.

La tensione massima continuativa deve risultare

$$U_{sc} \geq 1,1 \cdot U_0 = 1,1 \cdot 230 = 253 \text{ V}$$

tra fase e PE, per cui si può scegliere tra i valori preferenziali $U_c = 335 \text{ V}$.

Per quanto riguarda la scelta della tensione di protezione U_p dell'SPD, apparecchi ed impianti elettrici interni posti all'ingresso della struttura (fino ad una distanza di circa 10 m) risultano protetti se la tensione di tenuta U_w , corrispondente al loro livello d'isolamento (2,5 kV per le linee di energia), risulta non inferiore alla tensione $U_{p/f}$ del livello di protezione effettivo.

La lunghezza delle connessioni tra dispositivo e linea e tra dispositivo e messa a terra è non superiore a 0,5 m, per cui si può assumere $U_{p/f} = 1,2 \cdot U_p$, e quindi:

$$U_p \leq U_w/1,2 = 0,8 \cdot U_w$$

Pertanto, il livello di protezione dell'SPD deve essere:

$$U_p \leq 0,8 \cdot 2,5 = 2 \text{ kV}$$

Passando alla scelta della sezione dei collegamenti dell'SPD, con numero di conduttori $n' = 4$, occorre verificare che, l'energia E_p che fluisce durante il passaggio della corrente del fulmine sia non superiore a quella E_a tollerabile del cavo di sezione S:

$$E_p = \int i^2 dt < E_a = K^2 \cdot S^2$$

Occorre tener conto che l'energia specifica connessa a un LPS di III livello risulta $E_p = 2500 \text{ kJ}/\Omega$, corrispondente ad una corrente massima di $I = 100 \text{ kA}$. Considerando che la corrente massima che interessa un singolo conduttore risulta

$$I'_F = I_F/n' = I_F/4 = 28/4 = 7 \text{ kA}$$

ad essa è associata effettivamente un'energia passante:

$$E_p = (I'_F/I)^2 \cdot E_p = (7/100)^2 \cdot 2500 = 12,3 \text{ kJ}/\Omega$$

Per i collegamenti alle anime del cavo si impiegano conduttori di sezione 6 mm^2 , con isolamento in PVC, a cui corrisponde un'energia $E_a = 476,1 \text{ kJ}/\Omega$, che risultano idonei, in quanto si ha:

$$E_p = 12,3 < E_a = 476,1 \text{ kJ}/\Omega$$

Per il collegamento al PE si impiega un conduttore di sezione 16 mm^2 .

Per tener conto della capacità dell'SPD di non danneggiarsi in caso di cortocircuito, il valore della massima corrente di cortocircuito I_{sccr} a cui può essere sottoposto deve risultare non inferiore alla corrente di cortocircuito presunta al contatore, che risulta $I_{cc} = 10 \text{ kA}$.

Tenendo conto dei valori dei parametri sopra riportati, a valle dell'interruttore generale del quadro elettrico viene previsto un SPD Zotuplimiter modello L 13/40 230 ff 3+1, del tipo 1 e 2, protetto da un sezionatore con fusibili, collegato di modo comune 3+1 alle fasi e neutro e al PE, avente le seguenti principali caratteristiche:

- tensione massima continuativa $U_c = 335/255 \text{ V}$
- corrente ad impulso $I_{imp} = 13/52 \text{ kA}$
- corrente nominale di scarica $I_n = 35/52 \text{ kA}$
- livello di protezione $U_p \leq 1,5 \text{ kV}$
- tenuta alla corrente di cortocircuito $I_{sccr} = 100 \text{ kA}$ con fusibili