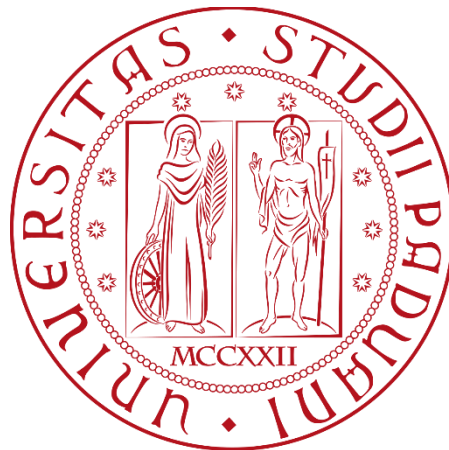


UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

**DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI
INDUSTRIALI
CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA
MECCATRONICA**



TITOLO TESI

**GUIDA ALLA NORMATIVA PER LA
PROTEZIONE CONTRO IL RISCHIO DI
SCARICHE ATMOSFERICHE**

Relatore: Prof. DIEGO DAINESE

Laureando: ARTUSI FRANCESCA

ANNO ACCADEMICO 2022 – 2023

SOMMARIO

INTRODUZIONE.....	4
SCOPO.....	4
TERMINI E DEFINIZIONI	5
INTRODUZIONE ALLA CEI EN 62305	7
CENNI STORICI	9
ORGANI DI CONTROLLO [9]	10
CAPITOLO 1	12
TEORIA.....	12
SOVRATENSIONI	12
Sovratensioni di origine interna	12
Sovratensioni di origine esterna.....	13
IL FULMINE	14
PARAMETRI DELLA CORRENTE DI FULMINE	20
Picco di corrente.....	20
Pendenza del fronte di salita	21
Carica della corrente	22
Energia specifica	23
CAPITOLO 2	26
VALUTAZIONE DEI RISCHI	26
CLASSIFICAZIONE DEI DANNI.....	27
Cause di danno.....	28
Tipi di perdita.....	29
RISCHIO	30
Procedura di valutazione del rischio.....	31
Rischio tollerabile.....	33
Motivazione economica	33
CALCOLO DELLE COMPONENTI DI RISCHIO	35
Calcolo del fattore N_x	38
Calcolo del fattore P_x	41
Calcolo del fattore L_x	46
SUDDIVISIONE DELLA STRUTTURA E DELLA LINEA	51
CONSIDERAZIONI SUL RISCHIO DI ESPLOSIONE	52
CONCLUSIONI	54
APPENDICE	56

ESEMPIO DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FULMINAZIONE	56
DATI E CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA	56
DEFINIZIONE E CARATTERISTICHE DELLE ZONE	57
AREE DI RACCOLTA	59
DETERMINAZIONE EVENTI PERICOLOSI.....	60
DETERMINAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI DANNO	61
DETERMINAZIONE DELLA PERDITA.....	62
CONCLUSIONI.....	62
Bibliografia	63

INTRODUZIONE

SCOPO

La fulminazione diretta, o nelle vicinanze, di strutture (o di linee connesse alle strutture) è un fenomeno molto pericoloso sia per le vite umane, sia per le strutture stesse, il loro contenuto e gli impianti in esse presenti nonché per le linee. Per prevenire tali conseguenze nell'ambito industriale il Testo Unico di Sicurezza sul Lavoro [1] ha fatto obbligo al datore di lavoro di provvedere affinché gli edifici, gli impianti, le strutture e le attrezzature, siano protetti dagli effetti dei fulmini. A tal fine sono state redatte a partire dagli anni '80 una serie di normative nazionali e internazionali che garantissero la sicurezza, affidabilità, efficienza e fiducia di dispositivi ed impianti esposti al rischio di scariche atmosferiche. La protezione contro i fulmini per impianti e strutture sta inoltre crescendo di importanza dal punto di vista economico e degli investimenti relativi a causa sia dell'uso sempre più diffuso dell'elettronica sia della crescente attenzione per la sicurezza dei lavoratori. In questo contesto il presente elaborato si pone l'obiettivo di dare una visione generale e completa delle procedure di valutazione del rischio descritte dalle normative attualmente in vigore in materia di protezione contro le scariche atmosferiche, cercando quanto più possibile di schematizzare e semplificare i concetti chiave delle norme in questione.

Le principali norme di riferimento per la protezione contro i fulmini sono, ad oggi, tre:

CEI EN 62305 "Protezione contro i fulmini" (CEI 81/10) (2013)

CEI EN IEC 62858 "Lightning density based on lightning location" (CEI 81/31) (2020)

CEI 81-29 "Linee guida per l'applicazione delle Norme CEI EN 62305" (2020)

In questa sede, ci si concentrerà maggiormente nell'analisi della CEI EN 62305, in quanto rappresenta il punto centrale intorno al quale orbitano le altre norme correlate. In particolare, la CEI EN IEC 62858 [2] si occupa delle misure necessarie per rendere affidabili ed omogenei i valori N_G e N_{SG} (concetto che verrà spiegato in seguito) ottenuti da una rete di localizzazione dei fulmini (LLS). Questa norma viene pubblicata nella sola lingua inglese poiché rivolta principalmente ai settori specialistici. D'altra parte, la CEI 81-29 [3] è semplicemente una Guida Tecnica alla CEI EN 62305, che quindi verrà tenuta in particolare considerazione in

questa trattazione in quanto fornisce informazioni supplementari e spiega alcuni punti non ben definiti nella norma europea.

Tutte le norme citate fino ad ora sono state elaborate e pubblicate dal Comitato Elettrotecnico Italiano, appunto CEI, il quale è ufficialmente definito come “un’Associazione di diritto privato, senza scopo di lucro, responsabile in ambito nazionale della normazione tecnica in campo elettrotecnico, elettronico e delle telecomunicazioni, che agisce con la partecipazione diretta delle corrispondenti organizzazioni di normazione europea (CENELEC – Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) e internazionale (IEC – International Electrotechnical Commission)”. Più nello specifico il Comitato Tecnico del CEI che si occupa della protezione contro i fulmini è l’omonimo CT 81 [4].

TERMINI E DEFINIZIONI

fulmine discendente: fulmine originato da un canale discendente da una nube verso terra;

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

colpo di fulmine: singola scarica elettrica di un fulmine a terra;

colpo breve: parte di un fulmine che corrisponde ad un impulso di corrente;

colpo lungo: parte di un fulmine che corrisponde ad una corrente continuativa;

colpi multipli: fulmine costituito da più colpi;

punto di impatto: punto in cui il fulmine colpisce il suolo o un oggetto a terra;

corrente di fulmine i : corrente che fluisce nel punto di impatto;

valore di picco della corrente I : valore massimo della corrente di fulmine;

carica del fulmine Q_{FLASH} : integrale della corrente del fulmine;

carica di un colpo breve Q_{SHORT} : integrale della corrente di un colpo breve;

carica di un colpo lungo Q_{LONG} : integrale della corrente di un colpo lungo;

energia specifica W/R : valore ottenuto integrando nel tempo il quadrato della corrente di fulmine per tutta la durata del fulmine stesso;

struttura da proteggere: struttura per la quale è richiesta la protezione contro il fulmine secondo la Norma CEI EN 62305, può anche essere una parte di una struttura più grande;

linea da proteggere: linea di energia o di telecomunicazione entrante in una struttura per il quale è richiesta la protezione contro il fulmine;

linea di telecomunicazione: linea di comunicazione tra apparati che possono essere installati in strutture separate, quali linee telefoniche e trasmissione dati;

linee di energia: linee di distribuzione alimentanti apparati elettrici ed elettronici installati nella struttura, quali sistemi di distribuzione a bassa tensione (BT) o ad alta tensione (AT);

impianto elettrico: impianto comprendente componenti elettrici alimentati in bassa tensione;

impianto elettronico: impianto comprendente componenti elettronici sensibili quali apparati per telecomunicazioni, calcolatori, sistemi di controllo e misura, sistemi radio, apparati elettronici di potenza;

impianti interni: impianti elettrici ed elettronici all'interno di una struttura;

danno materiale: danno alla struttura (o al suo contenuto) dovuto agli effetti meccanici, termici, chimici ed esplosivi del fulmine;

danno ad esseri viventi: danneggiamento permanente da elettrocuzione, inclusa la perdita della vita di uomini o di animali, dovuto a tensioni di contatto e di passo causate dal fulmine;

impulso elettromagnetico di fulmine *LEMP*: tutti gli effetti elettromagnetici della corrente di fulmine dovuti alle sovratensioni generate dagli accoppiamenti per via resistiva, induttiva e capacitiva e dai campi elettromagnetici irradiati;

guasto di un impianto elettrico ed elettronico: avaria permanente di un impianto elettrico ed elettronico dovuta al LEMP;

impulso: transitorio generato dal LEMP che si manifesta come una sovratensione e/o sovracorrente;

zona di protezione *LPZ*: zona in cui è definito l'ambiente elettromagnetico creato dal fulmine;

rischio *R*: valore della probabile perdita annua (persone o cose), dovuta al fulmine, riferito al valore totale (persone o cose) della struttura da proteggere;

rischio tollerabile *R_T*: massimo valore di rischio che può essere tollerato per la struttura da proteggere;

livello di protezione *LPL*: 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 in una struttura da proteggere per ridurre il rischio;

protezione contro il fulmine *LP*: sistema completo per la protezione contro il fulmine di strutture, inclusi i loro impianti interni e contenuti nonché le persone, in genere costituito da un LPS ed un SPM;

sistema di protezione contro il fulmine *LPS*: sistema completo usato per ridurre il danno materiale dovuto alla fulminazione diretta della struttura;

impianto di protezione interno: parte di un LPS costituita da collegamenti equipotenziali e/o isolamento elettrico del LPS;

corpi metallici esterni: corpi metallici di notevole dimensione lineare che penetrano nella struttura da proteggere (ad esempio tubazioni, parti metalliche di cavi, canalizzazioni, ecc.) che possono trasportare una parte della corrente di fulmine;

collegamento equipotenziale *EB*: connessione all'LPS di corpi metallici per mezzo di conduttori metallici o per mezzo di limitatori di sovratensioni al fine di ridurre le differenze di potenziale dovute alla corrente di fulmine;

sistema di protezione contro il LEMP *SPM*: sistema di misure per la protezione degli impianti interni contro gli effetti del LEMP;

schermo magnetico: schermo metallico chiuso, continuo o a maglia, che racchiude la struttura da proteggere, o parte di essa, utilizzato per ridurre i guasti negli apparati elettrici ed elettronici;

limitatore di sovratensioni *SPD*: dispositivo per limitare le sovratensioni e deviare le sovracorrenti; esso comprende almeno un componente non lineare;

sistema coordinato di SPD: SPD adeguatamente scelti, coordinati ed installati in modo da realizzare un sistema atto a ridurre i guasti nei sistemi elettrici ed elettronici;

interfacce di separazione: dispositivi atti a ridurre le sovratensioni trasmesse dalle linee entranti in una LPZ.

INTRODUZIONE ALLA CEI EN 62305

La serie di norme principali per la protezione contro le scariche atmosferiche è stato quindi detto essere la CEI EN 62305, la cui versione attualmente in vigore è la seconda edizione pubblicata dal CEI nel 2013. La sua validità ricopre praticamente tutti gli edifici escludendone, tuttavia, alcune casistiche che sono regolamentate da norme specifiche del settore:

- sistemi ferroviari;
- veicoli, navi, aerei, installazioni “offshore”;
- tubazioni sotterranee ad alta pressione;
- tubazioni, linee elettriche di potenza e di telecomunicazione installate all'esterno della struttura.

Per motivi di praticità è stata suddivisa in 4 parti:

1. EN 62305-1 (81-10/1) Protezione contro i fulmini. Principi generali. [5]

Contiene le informazioni basilari per la comprensione delle sezioni successive, tra le quali le caratteristiche del fulmine, la classificazione dei danni provocabili e parametri significativi per la simulazione degli effetti prodotti.

2. EN 62305-2 (81-10/2) Protezione contro i fulmini. Valutazione del rischio. [6]

La seconda parte della norma propone un metodo di analisi del rischio dovuto alla fulminazione degli edifici. Lo scopo di questa parte è quello di descrivere la procedura che permette la quantificazione analitica di questo rischio, che, in base alla conformità a specifici parametri di valori tollerabili, dà la necessità o meno di applicare misure preventive.

3. EN 62305-3 (81-10/3) Protezione contro i fulmini. Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone. [7]

Tratta la protezione di persone e edifici dai danni materiali e di morte che potrebbero essere causate dalla sovratensione dovuta ad un fulmine oppure da scariche pericolose. In particolare, questa sezione fornisce le prescrizioni per:

- il progetto, l'installazione, la verifica e la manutenzione di LPS per strutture, senza limitazioni in altezza;
- la realizzazione di misure di protezione contro i danni agli esseri viventi causati dalle tensioni di contatto.

4. EN 62305-4 (81-10/4) Protezione contro i fulmini. Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture. [8]

La quarta e ultima parte della Norma CEI 62305 fornisce informazioni sul progetto, l'installazione, l'ispezione, la manutenzione e la verifica del sistema di misure di protezione contro gli effetti dei disturbi elettromagnetici (LEMP) associati al fulmine per gli impianti elettrici ed elettronici nelle strutture.

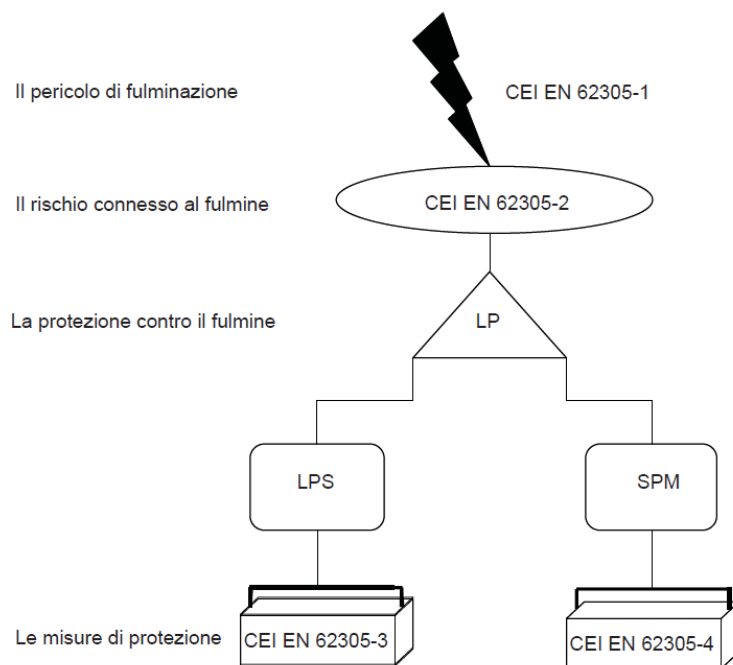


Figura 1- interconnessione tra le varie parti della CEI EN 62305

CENNI STORICI

Nell'ottobre 1984 fu pubblicata la prima edizione della norma CEI 81-1 "Protezione di strutture contro i fulmini", introducendo, all'appendice G, il primo metodo per valutare la necessità o meno di adottare misure di protezione contro il rischio di fulminazione. Sei anni dopo, nel 1990, fu presentata la norma CEI 81-3 "Valori medi del numero dei fulmini a terra per anno e per chilometro quadrato dei Comuni d'Italia, in ordine alfabetico", la quale forniva i valori ceraunici (numero di fulmini per chilometro quadrato per anno) per tutta l'Italia basandosi su una mappa elaborata da dati storici forniti da enti nazionali. Nel 1996 arrivò la CEI 81-4 "Protezione delle strutture contro i fulmini -Valutazione del rischio dovuto al fulmine". Quest'ultima, seppur in modo definito "sperimentale" dallo stesso CEI, introdusse un metodo più evoluto, tuttavia ancora rudimentale, per la valutazione del rischio dovuto ai fulmini. Si dovette aspettare però il 2006, con la prima versione della CEI EN 62305, per avere una trattazione esaustiva ed efficace della valutazione del rischio. La nuova serie normativa portò una rivoluzione nel settore e abrogava norme storiche quali la CEI 81-1, in vigore già da ventidue anni e la CEI 81-4 in vigore, all'epoca, da dieci anni. Nel febbraio 2013 entrò in vigore anche la CEI 81-2 "Guida per la verifica delle misure di protezione contro i fulmini", indirizzata principalmente ai professionisti del settore delle verifiche su impianti di protezione contro le scariche atmosferiche. Nel marzo dello stesso anno il CEI pubblicò finalmente, in italiano, la

seconda edizione della norma CEI 81-10 (EN 62305) la quale conteneva molte note aggiuntive e apportava modifiche importanti alla precedente versione. Tuttavia, per ragioni legate a regole CENELEC (Comitato Europeo di Normalizzazione Elettrotecnica), nel novembre dello stesso anno furono eliminate le note di chiarimento dalla norma con l'emissione di quattro fascicoli Errata Corrige (EC).

Nella premessa dei fascicoli EC fu inoltre indicato che era in preparazione una guida nazionale con lo scopo di fornire uno strumento per agevolare l'utilizzo e l'interpretazione delle norme europee della serie EN 62305. Dopo alcuni mesi (febbraio 2014) in effetti furono emesse contemporaneamente la guida CEI 81-29 dal titolo "Linee guida per l'applicazione delle Norme CEI EN 62305" e la guida CEI 81-30 "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 ". Entrambe le norme sono state abrogate rispettivamente il 1 maggio e 1 giugno 2020. Nella stessa data della sua abrogazione la guida 81-29 fu sostituita con una sua nuova versione, attualmente in vigore, aggiornata e ampliata. Per quanto riguarda la CEI 81-30, invece, fu eliminata definitivamente e sostituita dalla EN 62858, nella prima versione del 2016 (applicabile fino al 31 novembre 2022) e successivamente nella versione attuale del 2020. [9]

ORGANI DI CONTROLLO [9]

Nell'art. 80 del decreto legislativo del 9 aprile 2008, n. 81, figura, tra gli obblighi del datore di lavoro, di prendere misure necessarie affinché i lavoratori (ovvero le persone che, indipendentemente dalla tipologia contrattuale, svolgono un'attività lavorativa nell'ambito dell'organizzazione di un datore di lavoro pubblico o privato) siano salvaguardati da tutti i rischi di natura elettrica, specificando al punto e) il rischio di fulminazione diretta e indiretta [1]. Allo scopo di verificare la bontà delle azioni intraprese dal datore di lavoro secondo le norme di buona tecnica è stato emanato il d.p.r. 462/01 [10] con il quale si è voluto affidare all'ente INAIL un compito di monitoraggio e di sorveglianza del corretto stato di installazione degli impianti. In particolare, il d.p.r. in questione afferma che: "la messa in esercizio di un impianto di messa a terra e di dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche non può avvenire prima della verifica eseguita da un installatore". Una volta eseguita la verifica, l'installatore rilascerà quindi una dichiarazione di conformità, del tutto equivalente all'omologazione dell'impianto. Tale documentazione dovrà essere inviata dal datore di lavoro entro 30 giorni dalla messa in esercizio dell'impianto agli enti INAIL e ASL o ARPA territorialmente competenti. Per quanto riguarda le verifiche, l'INAIL ne prevede di quattro tipi:

- **A campione:** vengono stabilite annualmente dall'INAIL in accordo con le singole regioni sulla base dei seguenti criteri:
 - a) caratteristiche urbanistiche del luogo in cui è situato l'impianto (densità e tipologia degli insediamenti: es. aree metropolitane, agricole, industriali, ecc.);
 - b) caratteristiche ambientali del luogo in cui è situato l'impianto (impatto degli insediamenti sulle caratteristiche del territorio che coinvolge rischi specifici anche di natura diversa dal rischio elettrico);
 - c) tipo di impianto soggetto a verifica (destinazione e utilizzazione dell'attività);
 - d) dimensioni dell'impianto (estensione volumetrica e caratteristiche del sistema di alimentazione: bassa, media e alta tensione).
- **Periodiche:** il datore di lavoro è tenuto a eseguire regolare attività di manutenzione nonché di verifica periodica ogni 5 anni, ad esclusione degli impianti installati in cantieri, strutture adibite ad uso medico e negli ambienti con maggior rischio di incendio per i quali la scadenza è biennale.
- **Straordinarie:** vengono effettuate dall'ASL o dall'ARPA nei seguenti casi:
 - a) esito negativo della verifica periodica;
 - b) modifica sostanziale dell'impianto;
 - c) su richiesta del datore di lavoro.

Tutte le tipologie di verifiche sono onerose ed il costo è a carico del datore di lavoro.

È inoltre necessario secondo il d.p.r. comunicare tempestivamente all'INAIL e all'ASL o all'ARPA:

- la cessazione dell'esercizio;
- le modifiche sostanziali preponderanti;
- il trasferimento o spostamento degli impianti.

CAPITOLO 1

TEORIA

SOVRATENSIONI

Possiamo definire sovratensione una qualsiasi tensione che superi il valore di picco della massima tensione nominale a regime permanente per la quale è stato progettato il circuito. Se, per esempio, prendiamo in considerazione un circuito a bassa tensione che assorbe una certa energia, notiamo in condizione di sovratensione che si genera un picco di tensione per un determinato istante con valori multipli di quella nominale. È semplice comprendere che tensioni così alte e concentrate in millesimi di secondo possano provocare gravi danni al circuito (ad esempio: cedimento degli isolanti, incendi, danneggiamento degli apparecchi connessi alla linea, ecc...). Le sovratensioni si possono generare per diverse cause che possiamo riassumere in due categorie:

- sovratensioni di origine interna
- sovratensioni di origine esterna

Sovratensioni di origine interna

Le sovratensioni di origine interna si possono verificare in qualsiasi circuito in quanto vengono generate da una ogni manovra o guasto che alteri il normale funzionamento del sistema. Si possono inoltre manifestare sotto forma di onda sinusoidale a frequenza industriale oppure possono essere transitorie, legate cioè a situazioni di guasto o manovre con forme d'onda sinusoidali a frequenza superiore a quella di rete.

Sovratensioni di origine interna a bassa frequenza industriale:

- per improvvisa diminuzione del carico;
- per guasto a terra;
- per contatto accidentale tra alta e bassa tensione;
- per ferrorisonanza (la coesistenza di componenti capacitivi e induttivi saturabili possono creare fenomeni di risonanza a causa di isteresi nella caratteristica di magnetizzazione del ferro).

Sovratensioni di origine interna transitorie a fronte molto ripido:

- Per innesco di arco elettrico a terra
- Per manovre (es. l'apertura sotto carico di un interruttore)

Sovratensioni di origine esterna

Le sovratensioni di origine esterna sono invece tutte originate da fenomeni atmosferici temporaleschi ma possiamo comunque distinguerle a seconda che siano caratterizzate da una formazione lenta (transitorie a fronte lento) o impulsive (transitorie a fronte rapido).

Sovratensioni a fronte lento

Le sovratensioni transitorie a fronte lento si generano a causa della presenza di nubi in prossimità delle linee elettriche, più frequentemente su quelle di media tensione. Come verrà detto nel prossimo capitolo, all'interno dei cumuli sono presenti zone elettricamente cariche che creano un campo elettromagnetico con il suolo. All'interno di una linea elettrica che si trovi immersa in tale campo si verificano spostamenti di cariche che rimangono stabili fino al momento in cui la nuvola scarica verso terra. A questo punto viene a mancare la forza attrattiva sulle cariche che si erano accumulate lungo la linea generando la sovratensione che si propaga con forma d'onda impulsiva lungo i conduttori.

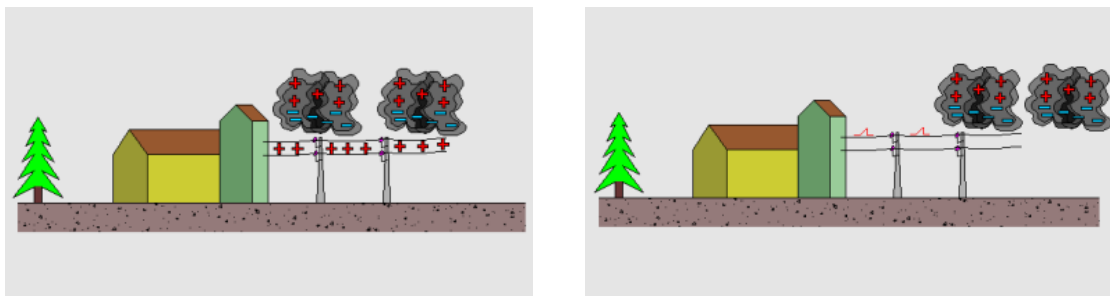


Figura 2- Meccanismo di generazione di sovratensioni esterne a fronte lento

Sovratensioni a fronte rapido

Le sovratensioni a fronte rapido sono invece prodotte per effetto della fulminazione sia diretta che indiretta e si propagano velocemente con una forma d'onda caratterizzata da un fronte di salita veloce e di discesa più lento. Nel caso il fulmine entri in contatto direttamente con le linee o con le strutture i valori massimi di sovratensione raggiungono normalmente dai 1000 ai 5000

kV, dato che il valore di cresta dell'onda di corrente del fulmine è stimabile tra alcune migliaia di ampere fino a oltre i 100 kA.

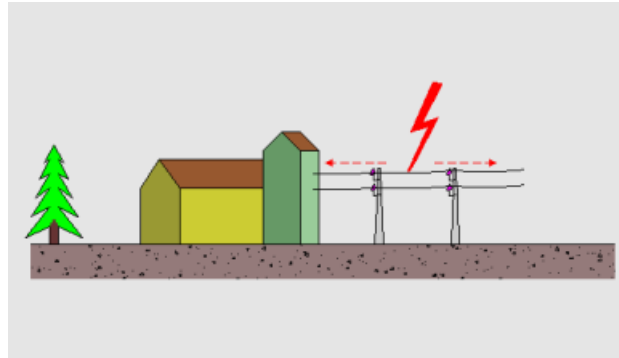


Figura 3- Fulminazione diretta

Quando invece il fulmine cade in prossimità dell'impianto, la sovratensione non si propaga lungo i conduttori ma per conduzione attraverso il campo magnetico conseguente, il quale varia nel tempo proporzionalmente all'andamento della corrente di fulmine. Questo campo magnetico indotto risulta particolarmente problematico in quanto potrebbe concatenarsi con spire dei circuiti vicini (es. circuito di messa a terra) e dare vita a ulteriori sovratensioni che dipendono dalla grandezza della spira e la pendenza della forma d'onda della corrente [11].

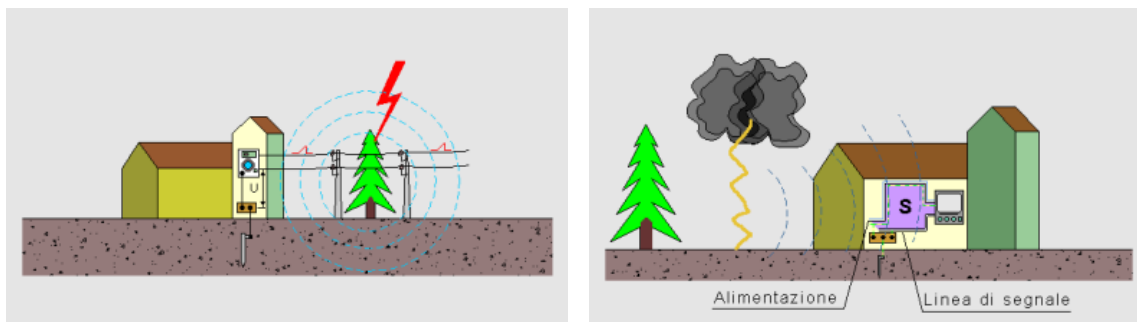


Figura 4- Fulminazione indiretta

IL FULMINE

Il fenomeno delle scariche atmosferiche verso il suolo sono eventi che si verificano più frequentemente di quanto si pensi. In Italia sono stati registrati circa 600 mila fulmini all'anno (mari esclusi), ovvero una densità media di 2 scariche per km^2 all'anno. È evidente che la densità di fulmini reale dipende da altri numerosi fattori come la conformazione geografica, l'umidità dell'aria, l'inquinamento atmosferico, il vento, ecc... Ma vediamo ora più nel

dettaglio la genesi e la propagazione della scarica elettrica in modo da poter comprendere meglio i parametri indispensabili per l'applicazione delle norme.

La formazione di fenomeni temporaleschi si origina dai moti convettivi di masse di aria calda sufficientemente umida che formano canali di correnti ascensionali con velocità verticali fino a 100 km/h. Da questi movimenti si originano i cumuli, densi ammassi di nubi tipicamente di 5-12 km di altezza e 5-10 km di diametro che si trovano nella troposfera [12]. In queste nubi coesistono gocce di acqua e particelle ghiacciate che per fenomeni elettrostatici, come attrito e nebulizzazione, si caricano elettricamente andando a creare macrozone polarizzate all'interno della stessa nube:

- nella parte alta si ha un accumulo di carica positiva,
- nella parte bassa un accumulo con carica negativa,
- alla base della nube si forma invece una piccola sacca di cariche positive. Ciò è dovuto all'effetto corona, un fenomeno per cui attorno ai corpi appuntiti situati a terra al di sotto della nube (piante, per esempio) si accumulano delle cariche positive che vengono poi trasportate verso l'alto dal vento.

Nella loro spiegazione più elementare i fulmini, quindi, non sono altro che scariche elettrostatiche tra zone con carica elettrica opposta separate da uno strato di aria. Da questo punto di vista si possono quindi definire tre tipologie di fulmini che si distinguono per intensità, quantità di carica accumulata e in relazione alla distanza fra i due poli:

- Fulmine nube-suolo;
- Fulmine nube-nube (internube);
- Fulmine intranube.

Nonostante i fulmini più dannosi siano quelli che interessano direttamente il suolo anche le scariche nube-nube non sono da sottovalutare. Durante un temporale si creano all'interno dei cumuli campi elettrici anche con intensità locali dell'ordine di numerose centinaia di kV/m. I fulmini internube vanno a compensare questa differenza di potenziale tra i centri delle cariche positive e quelli delle cariche negative ma non colpiscono mai direttamente alcun oggetto al suolo. Tuttavia, questi fulmini producono dei campi elettromagnetici impulsivi (LEMP) molto forti che costituiscono un pericolo considerevole per i sistemi elettrici ed elettronici.

Più o meno lo stesso principio vale per i fulmini nube-suolo: la differenza di potenziale tra una delle zone della nube e il terreno sottostante provoca una migrazione di cariche verso l'alto o verso il basso. Esiste quindi una ulteriore suddivisione in due categorie:

- fulmine discendente (nube-terra)
- fulmine ascendente (terra-nube)

entrambe le tipologie si differenziano a loro volta secondo la polarità: positiva o negativa a seconda che le particelle che migrano siano positive o negative.

Il fulmine discendente è la tipologia più diffusa in quanto si verifica per lo più in aree pianeggianti ed in corrispondenza di costruzioni basse. In particolare, si verificano più frequentemente quelli con polarità negativa, ovvero quando dalla nube spinge verso terra un canale discendente (leader) di cariche negative. Tale canale discendente si propaga con una velocità di circa 300 chilometri orari, e avanza a tratti di 20-50m, con pause di 20-50 μ s. Una volta arrivato in prossimità del suolo (circa 30-50m) il campo elettrico della porzione di terreno che si trova più vicino alla scarica guida (prevalentemente strutture alte e snelle come alberi, tralicci, campanili ecc...) aumenta fino a superare la rigidità dielettrica dell'aria tra nube e suolo. A questo punto si genera una "controsarica" che dal suolo si ricongiunge con la scarica guida chiudendo il canale e permettendo così il passaggio per qualche milionesimo di secondo di un'enorme quantità di corrente (un potenziale elettrico superiore a quello di tutte le centrali europee). Tutta questa energia rilasciata in un brevissimo tempo si manifesta con il surriscaldamento del canale ionizzato, il quale si illumina rendendolo visibile. Tutto questo genera un'onda d'urto che noi percepiamo sotto forma di tuono. In questa fase la scarica è definita "colpo di ritorno" ed ha una velocità di circa 1/3 di quella della luce. La polarità dei fulmini discendenti è, come già detto, nella maggior parte dei casi negativa, circa 90% contro il 10% della positiva.

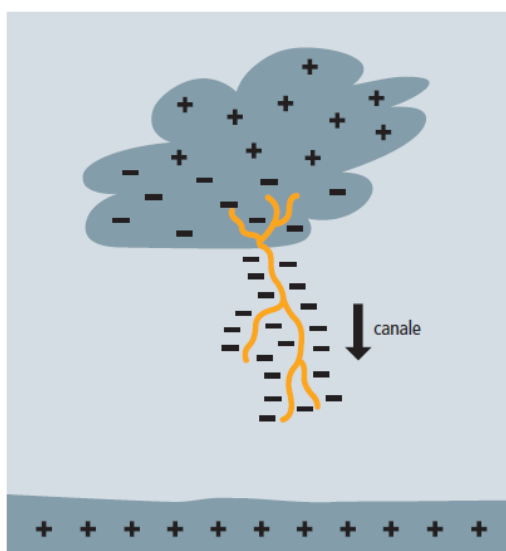


Figura 6- Fulmine terra-suolo discendente negativo

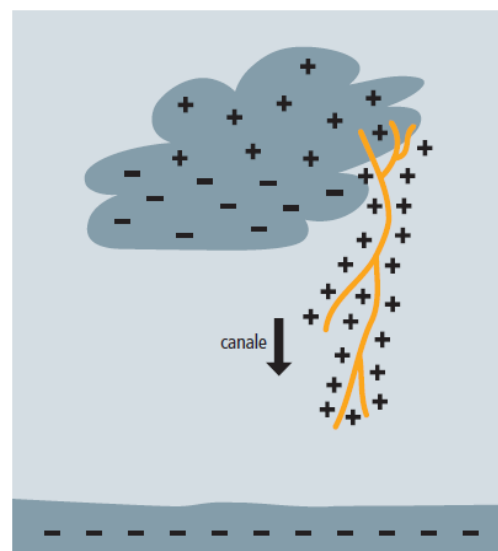


Figura 5- fulmine nube-suolo discendente positivo

Il processo di genesi di un fulmine ascendente è molto simile a quello appena spiegato per il discendente, in questo caso però l'intenso campo elettromagnetico necessario per far scaturire la scintilla o scarica guida, non viene raggiunto all'interno della nube, ma è determinato dalla distorsione di campo in prossimità dell'oggetto esposto a terra. Da questo punto sul suolo la scarica guida spinge l'accumulo di cariche (che possono essere positive o negative a seconda della polarità) verso l'alto fino a chiudersi nella nube soprastante. I punti di partenza preferenziali dei fulmini ascendenti sono le strutture molto alte e isolate, non è infatti raro che uno stesso elemento al suolo sia interessato da fenomeni di scaricare anche più volte durante lo stesso temporale.

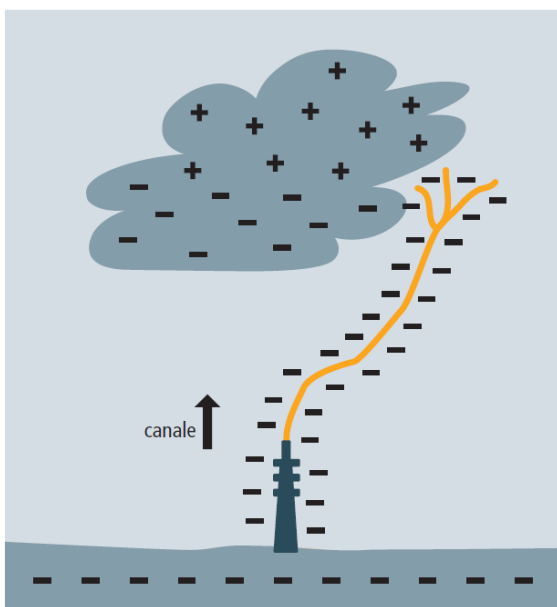


Figura 7- fulmine terra-suolo ascendente negativo

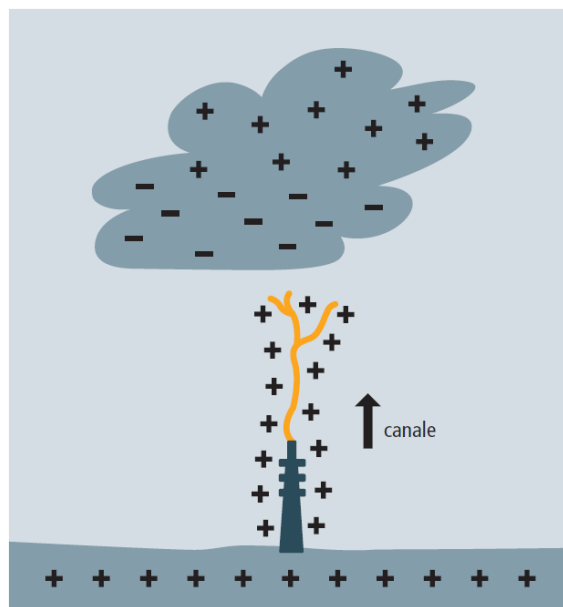


Figura 8- fulmine nube-suolo ascendente positivo

A seconda del tipo, ogni fulmine non avanza linearmente ma è composto da uno o più “colpi”, o fulmini parziali, che possono essere classificati in due modi:

- colpi brevi con durata inferiore a 2 ms;
- colpi lunghi con durata superiore ai 2 ms.

Altri parametri distintivi dei fulmini parziali sono la polarità (negativa o positiva) e la loro posizione temporale, ovvero le diverse combinazioni di colpi che si possono creare all'intero di un fulmine (primo, susseguente o sovrapposto). Di seguito riportiamo i grafici tempo-corrente, oggetto dell'allegato A della CEI 62305/1, che riassumono i possibili componenti dei fulmini discendenti ed ascendenti che si possono verificare.

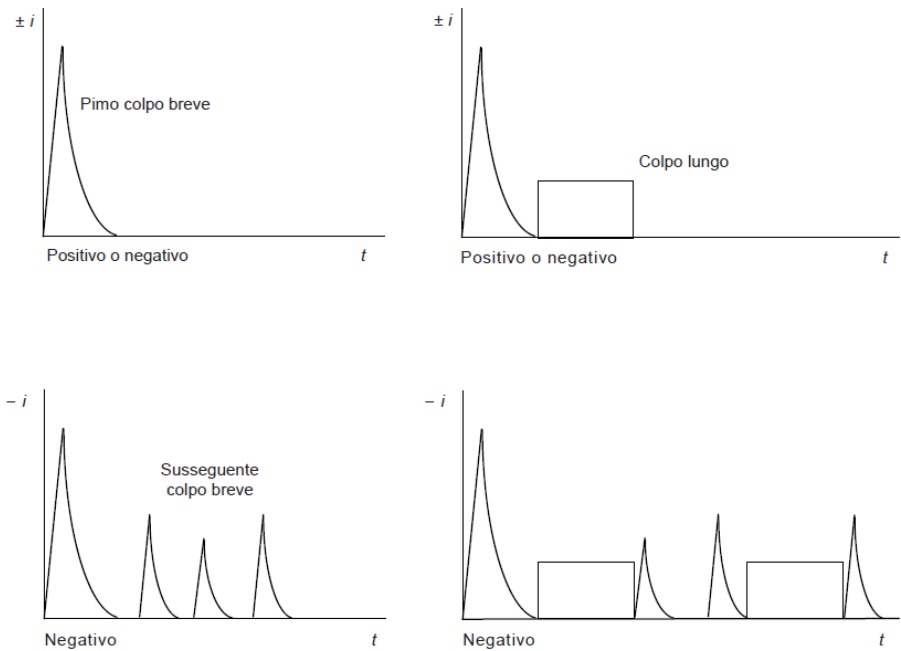


Figura 9- possibili componenti di un fulmine discendente

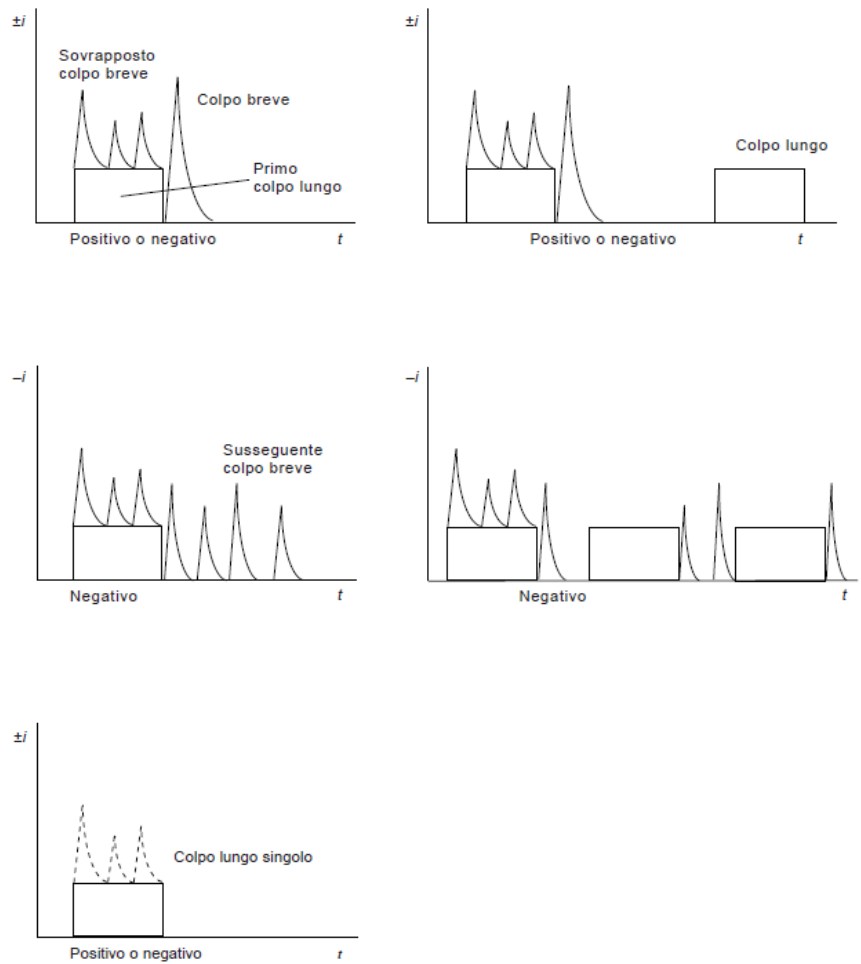
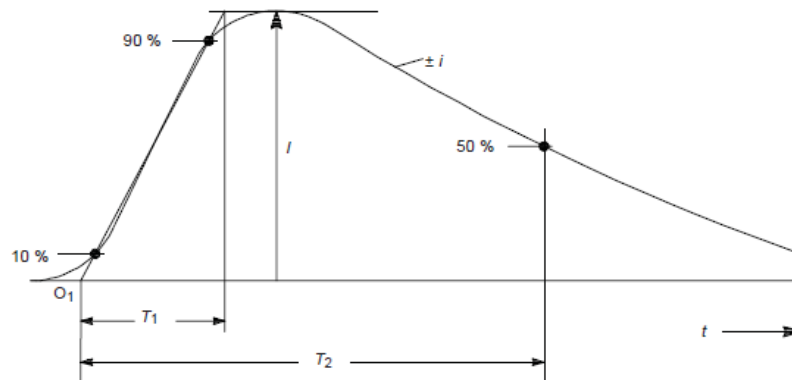


Figura 10- possibili componenti di un fulmine ascendente

Dai grafici riportati possiamo desumere i parametri fondamentali per una corretta analisi del rischio di fulminazione atmosferica:

- il valore di picco della corrente di fulmine I ;
- la carica della corrente di fulmine Q_{FLASH} , comprendente la carica del colpo breve Q_{SHORT} e la carica del colpo lunga Q_{LONG} ;
- energia specifica W/R della corrente di fulmine;
- la pendenza di/dt del fronte di salita della corrente di fulmine.

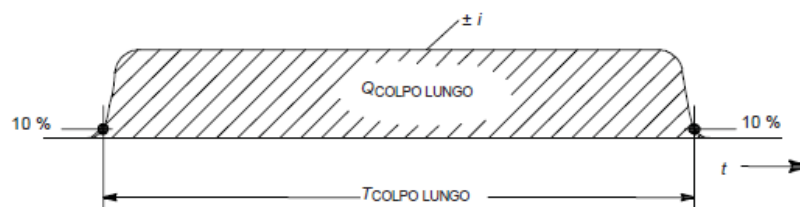
È da notare che nonostante siano in corso studi e aggiornamenti sui fulmini ascendenti, non è ancora stata confermata una scarica con correnti più elevate di quelle dei discendenti. Tutti i parametri dei colpi brevi dei fulmini ascendenti sono quindi da ritenersi inferiori a quelli dei corrispondenti discendenti [5].



Legenda

- O_1 origine virtuale
- I valore di picco
- T_1 durata del fronte
- T_2 tempo all'emivalore

Figura 11- definizione dei parametri di un colpo breve



Legenda

- $T_{COLPO LUNGO}$ durata di un colpo lungo
- $Q_{COLPO LUNGO}$ carica in un colpo lungo

Figura 12- definizione dei parametri di un colpo lungo

PARAMETRI DELLA CORRENTE DI FULMINE

La CEI EN 62305/1 è la sezione della norma dedicata ai principi generali che riguardano la protezione degli edifici contro le scariche atmosferiche. All'interno di tali principi di base ricopre grande importanza la comprensione dei parametri usati dalla norma per identificare le varie caratteristiche della corrente di fulmine. Questo aspetto viene trattato approfonditamente nelle 4 appendici della EN 62305/1, in particolare la A e B. Le appendici C e D, invece, si concentrano maggiormente sul fornire dei parametri di corrente da utilizzare nelle simulazioni preventive dei componenti e impianti. Più in particolare l'allegato C si occupa di fornire dei parametri specifici per le prove di ogni tipo di componente singolo, secondo un'analisi sistematica. Il modo in cui i parametri di fulmine rilevanti al punto di fulminazione della corrente agiscano sull'integrità fisica di un LPS (Lightning Protection System) è invece l'argomento dell'allegato D. Tutti i parametri utilizzati dalle CEI 62305 sono inoltre ottenuti dalla CIGRE (International Council on Large Electric Systems), un'organizzazione globale che si occupa degli aspetti tecnici, economici, ambientali e normativi nell'ambito dell'elettricità e alta tensione.

Come spiegato in precedenza, tali parametri sono in generale la corrente di picco I , la carica Q , l'energia specifica W/R e la pendenza media della corrente di/dt , dai quali è facile ricavare la forma d'onda di corrente per ogni tipologia di colpo, necessaria al dimensionamento dell'impianto di protezione. Ognuno dei suddetti parametri tende a dominare un diverso meccanismo di guasto: in generale gli effetti meccanici sono dovuti ai valori di picco della corrente e all'energia specifica, quelli termici all'energia specifica nel caso di accoppiamento resistivo e alla carica quando si sviluppa un arco nell'impianto. La pendenza media (di/dt) del fronte d'onda delle correnti di fulmine è invece correlata alle sovratensioni e scariche pericolose causate da accoppiamenti induttivi.

Picco di corrente

Dal punto di vista circuitale un fulmine può essere rappresentato da un generatore ideale di corrente (in quanto la corrente di fulminazione è indipendente dal carico) in parallelo a una resistenza R_{eq} che rappresenta la caduta di tensione del dispersore.

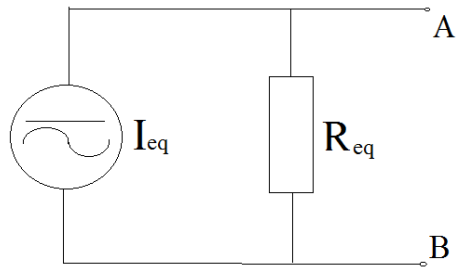


Figura 13- schema circuitale fulmine- dispersore

Nel caso più semplice, infatti, se una corrente fluisce attraverso dei conduttori si produce una caduta di tensione dipendente dall'ampiezza della corrente e dall'impedenza di conduttori, esattamente come descritto dalla legge di ohm:

$$U = I R$$

I Valore di picco della corrente di fulmine

R Resistenza di terra

Se una corrente si forma in un unico punto su una superficie conduttrice omogenea, si crea un gradiente di potenziale tra il punto di contatto e il resto delle parti conduttrici in una vasta area. Se vi si trovassero esseri viventi (persone o animali) nella zona soggetta a tale gradiente si creerebbe una tensione di passo pericolosa, la quale sta alla base del rischio di fulminazione. Più la conduttività del terreno è alta, più piatto risulterà il gradiente di potenziale e minore sarà il rischio di pericolose tensioni di passo. I meccanismi di protezione dai fulmini seguono infatti questo principio: fintato che le parti conduttrici di un edificio si trovano tutte allo stesso potenziale elevato le persone o animali all'interno dell'edificio stesso non sono in pericolo di fulminazione. Da qui l'importanza di equipotenzializzare tutte le parti conduttrici esposte ed estranee entranti nella struttura.

Pendenza del fronte di salita

La pendenza $\Delta i / \Delta t$ del fronte di salita della corrente di fulmine è intuitivamente la velocità con cui cresce la corrente nell'intervallo Δt e che quindi determina l'intensità delle tensioni indotte elettromagneticamente. Questo effetto si manifesta per mutua induttanza anche in tutti i circuiti aperto o chiusi, nelle vicinanze dei conduttori attraversati dalla corrente di fulmine. La tensione rettangolare U indotta durante l'intervallo t in un circuito conduttore è:

$$U = M * \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

M mutua induttanza del circuito

$\Delta i/\Delta t$ Pendenza del fronte di salita della corrente di fulmine

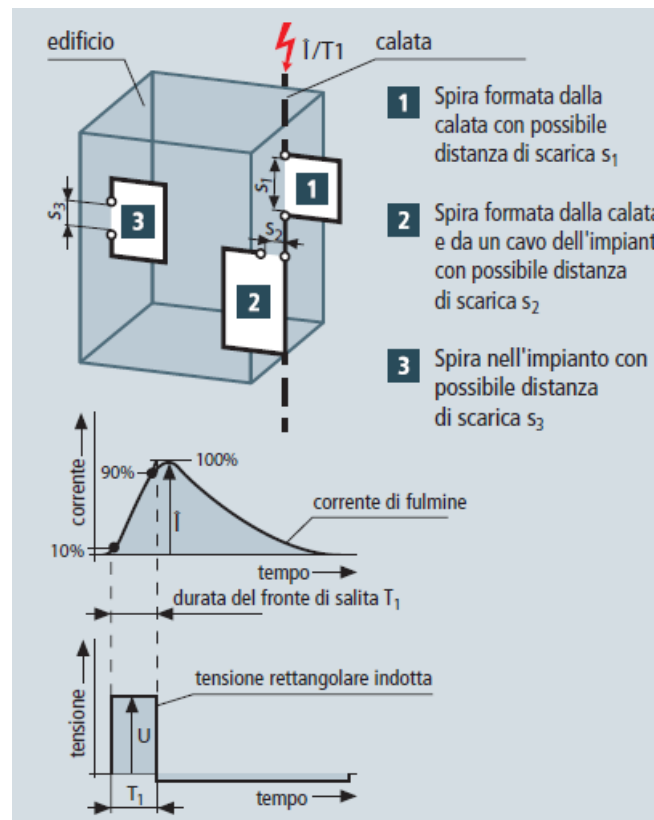


Figura 14- tensione indotta dalla corrente di fulmine

È importante notare che, come detto in precedenza, il fulmine è formato da diversi colpi che a seconda del momento in cui si verificano all'interno della scarica si distinguono in prima corrente impulsiva e correnti impulsive susseguenti. La principale differenza tra questi due tipi di colpi brevi sta proprio nella pendenza del fronte di salita: il primo colpo ha la funzione di aprire in canale tra la nube e il terreno attraverso il quale possano passare le cariche. È ovvio quindi che la corrente del primo colpo faccia più fatica a crescere rispetto ai colpi successivi che possono usufruire del canale. Per la stima della massima tensione indotta nei circuiti di conduttori viene perciò utilizzata la pendenza del fronte di salita della corrente di fulmine del colpo successivo.

Carica della corrente

Se, come già ribadito, il fulmine è composto da un susseguirsi di colpi parziali, viene da sé che la carica complessiva della scarica Q_{FLASH} sia composta dalla somma della carica dei colpi brevi Q_{SHORT} e quella dei colpi lunghi Q_{LONG} . La carica della corrente di fulmine è fondamentale per il calcolo dell'energia W nell'esatto punto di caduta del fulmine ma soprattutto in tutti quei

punti in cui potrebbe genarsi un arco elettrico attraverso uno spazio isolante. L'energia è infatti il prodotto tra la carica Q e la caduta di tensione anodo/catodo $U_{A,C}$, a sua volta dipendente, come visto nel paragrafo precedente, da altri parametri quali l'intensità di corrente e la forma d'onda:

$$Q = \int i dt$$

$$W = Q * U_{A,C}$$

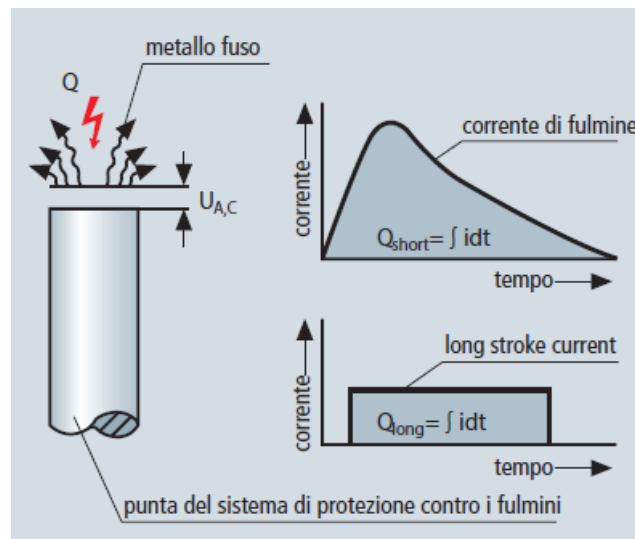


Figura 15- Conversione dell'energia nel punto di abbattimento del fulmine

Di conseguenza, questa energia liberata dall'arco elettrico provoca la fusione dei componenti del sistema di protezione contro i fulmini direttamente colpiti e sollecita anche gli spinterometri di sezionamento nonché i dispositivi di protezione contro le sovratensioni basati su tecnologia spinterometrica. Ultimamente è stato evidenziato dai test che i colpi lunghi, in quanto durano più a lungo nel tempo, causano danni peggiori per vaporizzazione e fusione di grandi volumi di isolante rispetto alla carica dei colpi brevi.

Energia specifica

Prossimo definire intuitivamente l'energia specifica della corrente di un colpo breve come l'energia trasferita dal fulmine a una resistenza di un ohm. Matematicamente la scriviamo invece come integrale del quadrato della corrente del colpo breve su un tempo pari alla durata del colpo, per questo viene spesso indicata anche come impulso quadratico di corrente:

$$\frac{W}{R} = \int i^2 dt$$

Gli effetti dell'energia specifica si traducono principalmente nel surriscaldamento dei conduttori attraversati dalla scarica impulsiva del fulmine, ma anche nella creazione delle forze attrattive e repulsive tra conduttori vicini.

Può quindi rendersi necessario il calcolo del riscaldamento dei conduttori attraversati dalla corrente di fulmine nella progettazione e installazione dei sistemi di protezione contro i fulmini dove devono essere tenuti in considerazione i rischi relativi alla protezione delle persone, al pericolo di incendio e di esplosione. Tale calcolo va fatto tenendo come ipotesi che l'energia termica totale viene creata dalla resistenza ohmica dei componenti del sistema di protezione e che non vi sia scambio termico con l'ambiente esterno vista la breve durata del fenomeno.

Anche la quantificazione della forza elettromotrice ha importanza in quanto l'energia specifica di un colpo breve determina la sollecitazione che causa una deformazione reversibile o irreversibile dei componenti e della disposizione dell'impianto di protezione contro i fulmini [12].

Di questi effetti si tiene conto durante i test previsti dalle norme di prodotto e di cui fornisce i parametri l'allegato D della CEI EN 62305/1.

CAPITOLO 2

VALUTAZIONE DEI RISCHI

Entriamo ora nel merito della trattazione della valutazione dei rischi dovuti alle scariche atmosferiche. La valutazione dei rischi associati alla possibilità che l'edificio o la linea entrante siano colpiti da un fulmine è indispensabile poiché fornisce la base sulla quale verrà progettato l'impianto di protezione vero e proprio. Questa parte preventiva della procedura è regolamentata nel dettaglio, come anticipato, nella CEI 62305/2, mentre le prescrizioni per la progettazione vera e propria dell'impianto di protezione sono raccolte nelle successive due sezioni della norma (CEI EN 62305/3 e CEI EN 62305/4).

È ormai chiaro che gli effetti provocati dall'impatto di un fulmine con il suolo non interessano solo la struttura o la linea colpita ma anche le loro vicinanze e talvolta l'ambiente circostante. Al fine di redigere un documento di valutazione del rischio di fulminazione completo è quindi necessario avere a disposizione alcune informazioni a priori:

- le caratteristiche ambientali e la densità dei fulmini nella zona dove la struttura e le linee entranti sono collocate;
- le caratteristiche della struttura, degli impianti, delle linee entranti e delle apparecchiature (e le rispettive tensioni di tenuta all'impulso);
- l'ammontare economico e sociale delle perdite, l'impatto ambientale dei danni, il costo delle riparazioni.

Se al momento della valutazione è già installato un LP (Lighting Protection) pregresso è necessario disporre anche di informazioni sulle misure di protezione eventualmente scelte:

- per limitare danni agli esseri viventi;
- contro gli effetti fisici (meccanici e termici);
- contro l'innesco e la propagazione degli incendi;
- contro l'innesco e le conseguenze delle esplosioni;
- per limitare le conseguenze dei guasti dovuti alle sovratensioni (precauzioni sulla posa dei circuiti, schermi, SPD (surge protective devices), interfacce di isolamento, ecc.).

CLASSIFICAZIONE DEI DANNI

Per oggettivizzare il più possibile la procedura di valutazione del rischio la norma CEI EN 62305 crea una classificazione schematica degli eventi possibili come rappresentato nella tabella in figura 16. Possiamo fare questa classificazione sulla base di tre distinzioni fondamentali alle quali sono associati specifici parametri di rischio, in base al punto di impatto del fulmine, al tipo di danno registrato e alle possibili perdite:

- Cause di danno:
 - S1: fulmine sulla struttura;
 - S2: fulmine in prossimità della struttura;
 - S3: fulmine sulle linee entranti;
 - S4: fulmine in prossimità delle linee entranti.
- Tipi di danno:
 - D1: danno ad esseri viventi per elettrocuzione;
 - D2: fuoco, esplosioni, effetti chimici, distruzioni meccaniche e altri danni materiali;
 - D3: fallimento/malfunzionamento di sistemi elettronici a causa di sovratensioni.
- Tipi di perdita:
 - L1: perdita di vite umane;
 - L2: perdita di servizi pubblici;
 - L3: perdita di patrimonio culturale;
 - L4: perdita di valore economico, per strutture, materiali, attività.

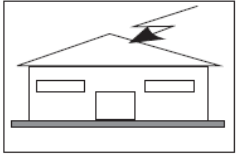
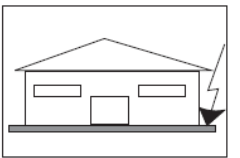
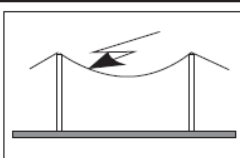
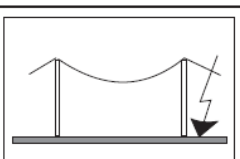
Punto d'impatto		Sorgenti di danno	Tipo di danno	Tipo di perdita
Struttura		S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^(a) L1, L2, L3, L4 L1 ^(b) , L2, L4
In prossimità della struttura		S2	D3	L1 ^(b) , L2, L4
Linea entrante nella struttura		S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^(a) L1, L2, L3, L4 L1 ^(b) , L2, L4
In prossimità di una linea		S4	D3	L1 ^(b) , L2, L4
(a) Nel caso di perdita di animali. (b) Solo per strutture con rischio di esplosione e per gli ospedali o altre strutture analoghe in cui la perdita degli impianti interni mette a rischio immediato la vita umana				

Figura 16- Classificazione di danni e perdite dovuti a un fulmine

Cause di danno

A seconda della causa di danno i possibili effetti della caduta di un fulmine variano:

- Il fulmine su una struttura può causare:
 - o danni ad esseri viventi per elettrocuzione dovuta alle tensioni di passo e di contatto causate da accoppiamenti resistivi e induttivi (componente di rischio R_A);
 - o danni meccanici immediati, incendio e/o esplosione dovuta a: plasma incandescente del canale stesso, riscaldamento dei conduttori (sovratemperatura inaccettabili), carica trasportata (fusione del metallo), scariche dovute a sovratensioni risultanti da accoppiamenti resistivi e induttivi e dal fluire di parte della corrente di fulmine (componente di rischio R_B);
 - o guasti o malfunzionamenti degli impianti interni dovuti al LEMP (componente di rischio R_C).
- Il fulmine in prossimità di una struttura può causare guasti o malfunzionamenti degli impianti interni dovuti al LEMP (componente di rischio R_M).
- Il fulmine su una linea entrante nella struttura può causare:

- danni ad esseri viventi per elettrocuzione dovuta alle tensioni di contatto all'interno della struttura causate dalle correnti di fulmine trasmesse tramite la linea entrante (componente di rischio R_U);
 - incendio e/o esplosione iniziati da scariche dovute a sovratensioni e alle correnti di fulmine trasmesse tramite la linea entrante (componente di rischio R_V);
 - guasti o malfunzionamenti degli impianti interni dovuti alle sovratensioni che si localizzano sulle linee entranti e che sono trasmesse alla struttura (componente di rischio R_W).
- Il fulmine in prossimità di una linea entrante nella struttura può causare guasti o malfunzionamenti degli impianti interni dovuti al LEMP (componente di rischio R_Z).

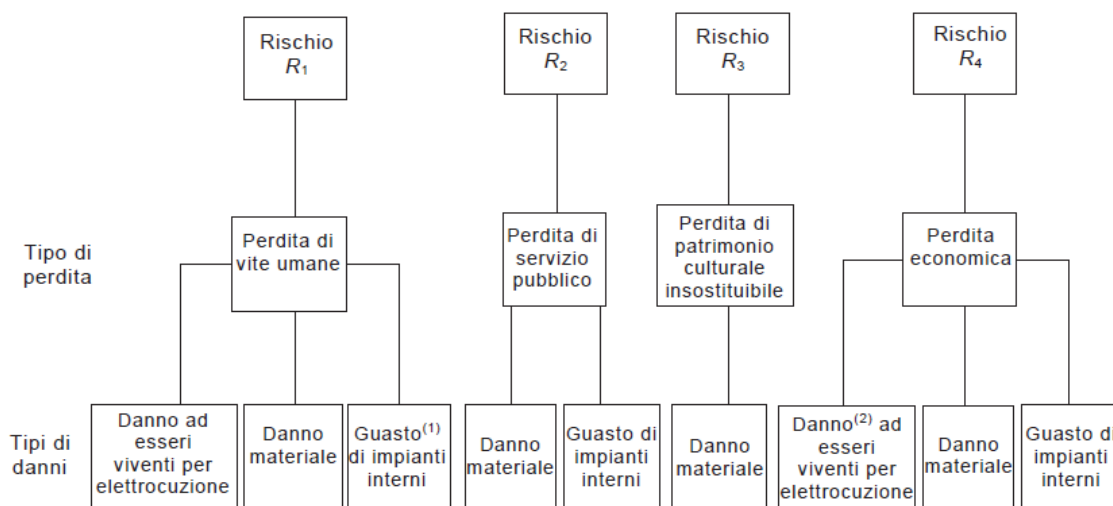
Tipi di perdita

La CEI EN 62305 individua, come accennato, quattro tipi di perdita:

- L1: perdita di vite umane (cui corrisponde un rischio denominato R1);
- L2: perdita di servizi pubblici (cui corrisponde un rischio denominato R2);
- L3: perdita di patrimonio culturale (cui corrisponde un rischio denominato R3);
- L4: perdita di valore economico, per strutture, materiali, attività, (cui corrisponde un rischio denominato R4).

Più precisamente per quanto riguarda la perdita L2 la norma considera pubblici servizi solamente le forniture di gas, acqua, TV, TLC ed energia elettrica.

È importante notare inoltre che le perdite L1, L2 e L3 sono considerate perdite di valore sociale a differenza della L4 che è esclusivamente economica. Questa distinzione è fondamentale in quanto, come vedremo, si utilizzano due diverse procedure per la valutazione di entrambi i tipi di perdita.



- (1) Solo per ospedali o altre strutture in cui il guasto degli impianti interni mette a rischio immediato la vita umana.
 (2) Solo per strutture in cui può verificarsi la perdita di animali.

Figura 17- associazione tra rischi e corrispondenti tipi di perdita e di danno

RISCHIO

La definizione ufficiale di “rischio di fulminazione” fornita dalla CEI EN 62305/2 è: “Il rischio è definito nella presente Parte della Norma CEI EN 62305 come la probabile perdita media annua dovuta al fulmine in una struttura e in un servizio”. Già dalla definizione è quindi possibile comprendere quali sono le componenti da cui dipende:

- il numero annuo di fulmini che interessano la struttura;
- la probabilità che un fulmine che interessi la struttura provochi danno;
- l’ammontare medio della perdita conseguente.

Più nello specifico i rischi vengono classificati in quattro livelli e, come già visto, associati ad altrettanti tipi di perdita:

- R1: rischio di perdita di vite umane (inclusi danni permanenti);
- R2: rischio di perdita di servizio pubblico;
- R3: rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile;
- R4: rischio di perdita economica.

Dunque, per ogni tipo di perdita che può verificarsi in una struttura sarà necessario valutare il relativo rischio. Tale calcolo del valore di rischio R (da 1 a 4) consiste nella somma delle componenti di rischio parziali relative ad ogni specifico livello (R_x). La procedura comprende quindi prima di tutto la determinazione di tre parametri N_x, P_x e L_x che andranno poi moltiplicati

per ottenere tutte le componenti R_x . Da un punto di vista più pratico i valori numerici di N_x , P_x e L_x verranno calcolati a partire dai dati raccolti in sede dell'edificio e parametri numerici forniti direttamente dalla norma.

Procedura di valutazione del rischio

Risulta a questo punto evidente che la valutazione del rischio di fulminazione si attui, in pratica, con una procedura ben definita composta da passi sequenziali che minimizzano il rischio in maniera globale. La CEI EN 62305/2 riporta chiaramente tale procedura:

- 1) identificazione della struttura da proteggere e delle sue caratteristiche. In particolare, vanno presi in considerazione i seguenti aspetti:
 - la struttura stessa;
 - gli impianti nella struttura;
 - il contenuto della struttura;
 - le persone nella struttura e quelle nella fascia fino a 3 m all'esterno della struttura;
 - l'ambiente circostante interessato da un danno alla struttura.

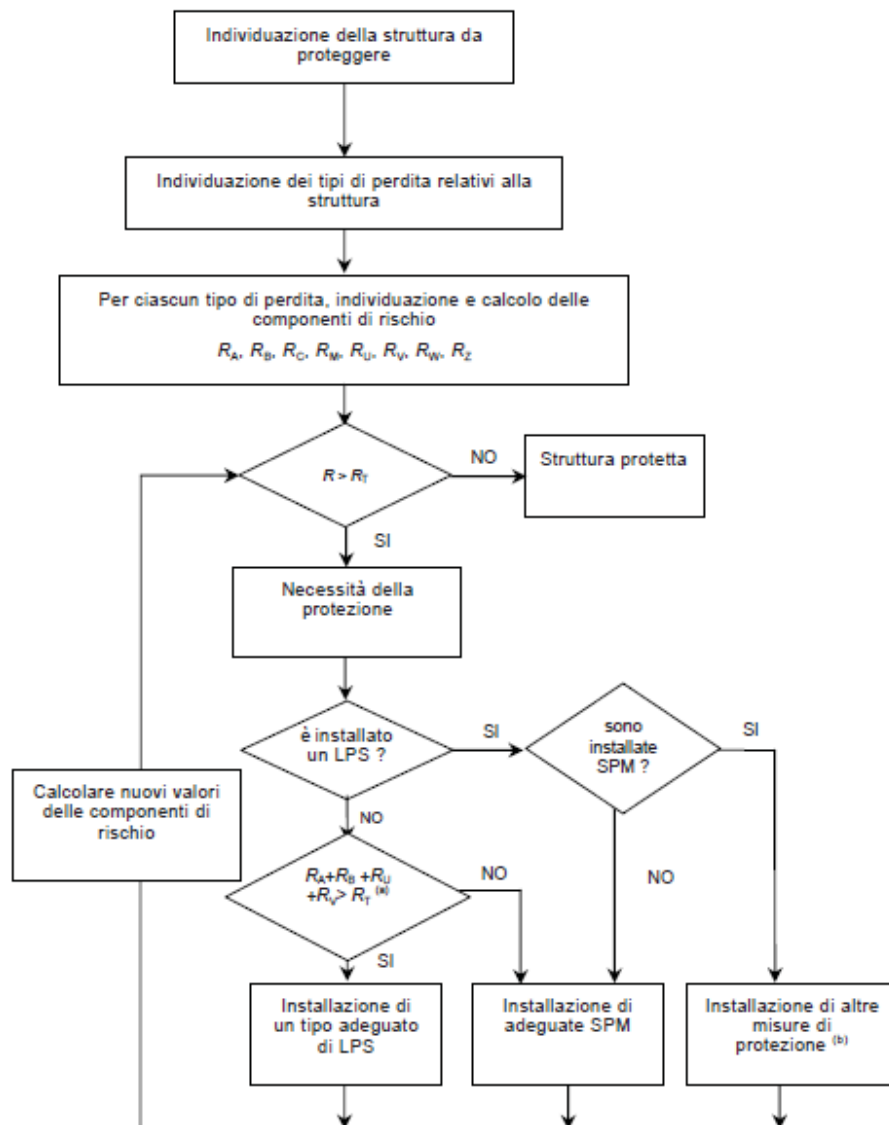
Va sottolineato che, per quanto la zona circostante all'edificio giochi un ruolo importante nella valutazione generale, la protezione non comprende le linee esterne connesse alla struttura.

- 2) Identificazione di tutti i tipi di perdita nella struttura e i corrispondenti rischi R .
Obbligatoriamente, secondo la CEI 62305/1, nella valutazione della necessità di protezione devono essere considerati i rischi R_1 , R_2 ed R_3 . Per quanto riguarda il rischio di perdita economica la norma non ne obbliga l'adempimento ma può essere giustificato anche solo sotto l'aspetto economico.

A questo punto, per il calcolo di ciascun rischio considerato vanno effettuati i seguenti passi:

- identificazione delle componenti R_x che contribuiscono al rischio;
 - calcolo della componente di rischio identificata R_x ;
 - calcolo del rischio totale R (da 1 a 3);
- 3) Valutazione della necessità di protezione mediante il confronto tra il valore R appena ottenuto e quello di rischio tollerabile R_T specifico per ogni livello di rischio.
 - Se $R < R_T$ non è necessaria alcuna protezione.
 - Se $R > R_T$ vanno adottate misure di protezione fino a rendere $R < R_T$ per ogni tipologia di rischio che interessa la struttura.

- 4) Valutazione della convenienza economica dell'adozione delle misure di protezione non strettamente necessarie. Questa analisi, specificata nell'appendice D della norma, descrive una ulteriore procedura basata sul confronto tra il costo totale di perdita con o senza protezioni.



Legenda

(a) Se $R_A + R_B < R_T$, non è necessario un LPS completo; in questo caso sono sufficienti SPD conformi alla CEI EN 62305-3.

Figura 18- diagramma di flusso della procedura di valutazione del rischio di fulminazione

Rischio tollerabile

La necessità di applicare misure di protezione contro la fulminazione è subordinata quindi alla legge generale:

$$R \leq R_T$$

dove R_T è il valore del rischio tollerabile assegnato direttamente dalla norma per ogni tipologia di rischio. È riportata nella fig. 19 la tabella fornita dalla CEI 62305/2 che elenca i valori R_T associati ai rischi R1, R2 e R3. Per quanto riguarda la perdita economica invece, anche in questo caso viene trattata separatamente nell'allegato D della norma e si basa in linea di principio sul confronto tra costi e benefici della protezione.

Tipo di perdita		R_T (1/anno)
L1	Perdita di vite umane o danni permanenti	10^{-5}
L2	Perdita di servizio pubblico	10^{-3}
L3	Perdita di patrimonio culturale insostituibile	10^{-4}

Figura 19- valori di rischio tollerabile associato alla rispettiva tipologia di perdita

Facciamo notare che i valori di R_T riportati sono responsabilità delle autorità competenti, ovvero, in particolare quello riguardante le perdite di valore sociale, dipendono dai comitati tecnici nazionali specifici. Tali autorità si riservano tuttavia il beneficio in casi particolari, come in caso di edifici a rischio di esplosione o quando il danno provocato da un fulmine a una struttura coinvolge anche strutture adiacenti o l'ambiente circostante (es. emissioni chimiche o radioattive), di richiedere misure di protezione aggiuntive non formalmente richieste dal calcolo del rischio.

Motivazione economica

Oltre alla valutazione dei rischi di perdita da L1 a L3, in molte strutture è importante anche l'aspetto economico dell'attuazione di misure di sicurezza contro i fulmini, ovvero il tipo di perdita L4. Per valutare la redditività della protezione non è però sufficiente il confronto con un valore assoluto R_T come per le altre tipologie di perdita, bensì sarà necessario considerare le diverse varianti delle misure adottabili e confrontarle tra loro con l'obiettivo di minimizzare i costi oltre che massimizzare la sicurezza. Anche in questo caso una procedura consigliata è fornita dalla norma stessa (CEI EN 62305/2):

- 1) identificazione delle componenti R_X che costituiscono il rischio R4 per una struttura;

- 2) calcolo della componente di rischio identificata R_X in assenza di misure di protezione nuove o addizionali. Le componenti R_X sono determinate a partire da valori forniti da chi redige il piano delle misure di protezione e/o dal proprietario della struttura (valori della struttura c_b , del contenuto c_c , degli impianti interni c_s e degli animali c_a), i quali, però, talvolta non sono disponibili, facilmente valutabili o addirittura non promulgabili. Al fine di risolvere questo problema la CEI EN 62305/2 fornisce nell'allegato C delle tabelle semplificate con valori standardizzati di c_t (tabella C.Z1) e dei contributi delle singole categorie valutate in percentuale in base all'ampiezza della zona o al numero di lavoratori;
- 3) calcolo del costo annuo della perdita dovuta a ciascuna componente di rischio R_X ;
- 4) calcolo del costo annuo C_L della perdita totale in assenza delle misure di protezione secondo la formula:

$$C_L = R_4 * c_t$$

Dove:

- R_4 rappresenta il rischio legato alla zona senza le misure di protezione adottate;
 - c_t rappresenta il valore complessivo della struttura;
- 5) adozione delle misure di protezione scelte;
 - 6) calcolo della componente di rischio R_X in presenza delle misure di protezione scelte;
 - 7) calcolo del costo annuo della perdita residua dovuta a ciascuna componente di rischio R_X nella struttura o servizio protetto;
 - 8) calcolo del totale costo annuale C_{RL} della perdita residua in presenza delle misure di protezione scelte. Se vengono adottate protezioni, infatti, la perdita totale risulta ridotta ma tuttavia mai nulla. Il costo annuale della perdita residua va quindi calcolato secondo la formula:

$$C_{RL} = R'_4 * c_t$$

Dove:

- R'_4 rappresenta il rischio legato alla zona con le misure di protezione adottate;
 - c_t rappresenta il valore complessivo della struttura;
- 9) calcolo del costo annuo C_{PM} delle misure di protezione scelte secondo l'equazione:

$$C_{PM} = C_p(i + a + m)$$

Dove:

- C_p rappresenta i costi delle misure di protezione;
- i rappresenta il tasso di interesse (per il finanziamento delle misure di protezione);

- a rappresenta l'ammortamento (calcolato in base alla durata delle misure di protezione);
- m rappresenta i costi di manutenzione (costi di manutenzione e ispezione).

10) confronto dei costi:

- se $C_L < C_{RL} + C_{PM}$ la protezione non è economicamente conveniente;
- se $C_L > C_{RL} + C_{PM}$ la protezione consente risparmio economico nell'arco della vita della struttura.

Va sottolineato tuttavia che questa procedura va eseguita in tutti i casi solo se è stata verificata prima la conformità alla richiesta di rischio tollerabile per i rischi da 1 a 3 e solo in una seconda fase va valutata la redditività di vari setup di protezione attuabili.

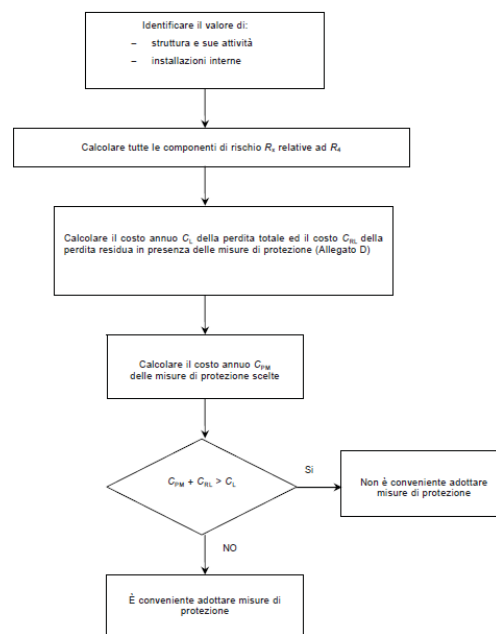


Figura 20- procedura per la valutazione della convenienza economica delle misure di protezione

CALCOLO DELLE COMPONENTI DI RISCHIO

Come è stato chiarito, ogni tipologia di rischio R1, R2, R3 ed R4 è somma di componenti specifiche dipendenti da diversi fattori. Di seguito riportiamo le componenti di rischio da considerare per ogni tipo di perdita:

- perdita di vite umane:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1} + R_{M1} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1} + R_{Z1}$$

Dove R_{C1} , R_{M1} e R_{W1} vanno considerate solamente nel caso in cui le strutture siano sottoposte a rischi di esplosione o strutture ospedaliere.

- Rischio di perdita di servizio pubblico:

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2}$$

- Rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile:

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3}$$

- Rischio di perdita economica:

$$R_4 = R_{A4} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4}$$

Dove R_{A4} , R_{U4} e R_{Z4} vanno considerati solo in caso di strutture in cui si possa verificare la perdita di animali.

Tutto questo è riassunto nella tabella in figura 21.

Sorgente di danno	Fulminazione diretta della struttura S1			Fulminazione in prossimità della struttura S2	Fulminazione diretta di una linea entrante S3			Fulminazione in prossimità di una linea entrante S4
	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Componente di rischio								
Rischio per ciascun tipo di perdita								
R_1	*	*	* ^(a)	* ^(a)	*	*	* ^(a)	* ^(a)
R_2		*	*	*		*	*	*
R_3		*				*		
R_4	* ^(b)	*	*	*	* ^(b)	**	*	*

(a) Solo 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.
(b) Soltanto in strutture in cui si può verificare la perdita di animali.

Figura 21- componenti di rischio da considerare per ciascun tipo di perdita

Le componenti di rischio possono essere classificate anche in relazione al tipo di sorgente di danno:

- 1) Componenti di rischio dovuti a fulminazione diretta della struttura:
 - R_A : relativa ai danni ad esseri viventi (compresi animali) per elettrocuzione dovuta a tensioni di contatto e di passo sia all'intero che all'esterno della struttura fino a 3 m attorno alle calate.
 - R_B : relativa alla possibilità di danni materiali, anche nell'ambiente circostante, in seguito a esplosione o incendio scaturito da scariche pericolose interne all'edificio.
 - R_C : relativa al guasto di impianti interni che nel caso di ambienti ospedalieri e a rischio esplosione può implicare perdite di tipo L1, oltre che da L2 a L4.
- 2) Componente di rischio dovuta a fulminazione in prossimità della struttura:

- R_M : uguale alla componente R_C senza però che venga considerato il contributo dato dalla presenza di una rete di equipotenzialità.
- 3) Componente di rischio dovuta a fulminazione diretta di una linea entrante:
- R_U : relativa ai danni ad esseri viventi (compresi animali) per elettrocuzione dovuta a tensioni di contatto e di passo sia all'intero che all'esterno della struttura fino a 3 m attorno alle calate.
 - R_V : relativa ai danni materiali provocati da incendi ed esplosioni innescate da scariche fra installazioni esterne e parti metalliche (di solito nel punto di ingresso della linea) trasmesse dal fulmine attraverso la linea entrante.
 - R_W : relativa a guasti interni provocati da sovratensioni trasmesse dal fulmine attraverso la linea entrante.
- 4) Componente di rischio dovuta a fulminazione in prossimità di una linea entrante:
- R_Z : relativa a guasti interni provocati da sovratensioni trasmesse dal fulmine attraverso la linea entrante.

Ora, più nello specifico si possono analizzare le singole componenti, le quali a loro volta sono ricavate dalla seguente equazione generale:

$$R_X = N_X * P_X * L_X$$

Dove:

- N_x rappresenta il numero stimato di fulmini a terra nell'area geografica considerata (allegato A);
- P_x rappresenta la probabilità di danno (allegato B);
- L_x rappresenta la perdita effettiva dovuta alla caduta del fulmine (allegato C).

Nella tabella in fig. 22 sono riportati gli specifici fattori da considerare per ogni componente.

Causa del danno Tipo di danno	S1 Fulmine sulla struttura	S2 Fulmine nelle vicinanze della struttura	S3 Fulmine diretto su una linea entrante;	S4 Fulmine diretto nelle vicinanze di una linea entrante;
D1: lesione di esseri viventi per folgorazione	$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A$		$R_V = (N_L + N_{Df}) \cdot P_V \cdot L_V$	
D2: danni fisici	$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B$		$R_V = (N_L + N_{Df}) \cdot P_V \cdot L_V$	
D3: rischio di guasto agli im- pianti elettrici ed elettronici	$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_C$	$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_C$	$R_W = (N_L + N_{Df}) \cdot P_W \cdot L_W$	$R_Z = N_I \cdot P_Z \cdot L_Z$
	$R_i = R_A + R_B + R_C$	$R_i = R_M + R_V + R_W + R_Z$		

Figura 22- calcolo delle componenti di rischio in funzione dei tipi di danno e delle sorgenti di danno

Calcolo del fattore N_x

N_x è il fattore che rappresenta, nel calcolo del fattore di rischio, la media annuale di eventi pericolosi che interessano la struttura da proteggere. È chiaro quindi che questo valore venga calcolato in dipendenza dall'attività meteorologica della regione in cui è situata la struttura, ovvero il valore N_G , l'area di raccolta corrispondente alla struttura e le caratteristiche fisiche della struttura stessa, tenendo conto di alcuni fattori di correzione. Tale calcolo è descritto dettagliatamente nell'allegato A della CEI EN 62305/2.

Particolare attenzione va posta sul valore N_G (Ground Flash Density) che corrisponde ufficialmente alla densità di fulmini al suolo per km^2 all'anno. Il suo valore è reso disponibile da molte reti di localizzazione di fulmini (LLS) sparse per il mondo, le quali forniscono una mappa raster (non modificabile e non ingrandibile) dalla quale sono sufficienti le coordinate geografiche per ricavare il valore di N_G corrispondente. A regolamentare i dati con cui ricavare queste mappe è stata redatta la norma CEI EN IEC 62858, in vigore dal 1 giugno 2020, la quale definisce univocamente (a differenza della norma precedente: guida CEI 81-30) come elaborare i dati raccolti dagli LLS in modo che risultino il più attendibili possibile per la valutazione del rischio di fulminazione. Nel corso degli anni è emerso che le variazioni climatiche su larga scala limitavano la validità dei dati storici raccolti dalle reti. Secondo le previsioni della nuova norma, infatti, il valore N_G ha una scadenza temporale di massimo 5 anni per garantire un tempo di campionamento sufficientemente lungo da rilevare anche le variazioni meteorologiche su scala temporale breve. Questo comporta che il datore di lavoro è chiamato a eseguire una periodica revisione della valutazione del rischio di fulminazione per mantenerla aggiornata ai dati più recenti, anche se non dovesse cambiare la norma di riferimento [13]. In alcuni casi è

possibile che il valore di N_G non sia reperibile in questo modo: la CEI EN 62305/2 allora ne consente di calcolarlo secondo una formula alternativa:

$$N_G = 0,1 * T_D$$

Dove T_D rappresenta il numero di giorni di temporale l'anno.

Come già visto nel capitolo precedente a seconda della causa di danno è necessario applicare un diverso valore N scelto tra:

- N_D : numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura;
- N_M : numero di eventi pericolosi per fulminazione in prossimità della struttura con effetti magnetici;
- N_L : numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta delle linee entranti;
- N_I : numero di eventi pericolosi per fulminazione in prossimità delle linee entranti.

Fulminazioni dirette N_D

Per i fulmini diretti alla struttura:

$$N_D = N_G * A_D * C_D * 10^{-6}$$

Dove:

- A_D è l'area di raccolta equivalente della struttura isolata, in m^2 . La norma ne specifica la modalità di calcolo per strutture rettangolari, con forme non banali e nel caso in cui sia possibile considerare solo una parte dell'impianto (solo se soddisfatti alcuni requisiti);
- C_D è il coefficiente di posizione, con il quale viene considerato l'effetto dell'ambiente (costruzioni, terreno, alberi ecc.) ottenibili dalla tabella in fig. 23.

Ubicazione relativa	C_D
Oggetto circondato da oggetti di altezza più elevata	0,25
Oggetto circondato da oggetti di altezza uguale o inferiore	0,5
Oggetto isolato: nessun altro oggetto nelle vicinanze	1
Oggetto isolato sulla cima di una collina o di una montagna	2

Figura 23- coefficiente di posizione C_D

Fulminazioni nelle vicinanze N_M

Per i fulmini nelle vicinanze della struttura:

$$N_M = N_G * A_M * 10^{-6}$$

Dove A_M è l'area di raccolta definita tracciando una linea a 500 m dal perimetro della struttura da proteggere.

Fulminazione diretta delle linee N_L

Per i fulmini diretti su una linea entrante:

$$N_L = N_G * A_L * C_I * C_E * C_T * 10^{-6}$$

Dove:

- N_L è il numero di sovratensioni all'anno nella sezione della linea con un valore massimo di almeno 1 kV;
- C_I è il fattore di installazione della linea che tiene conto del fatto che una linea sia aerea o interrata;
- C_T è il fattore che tiene conto del tipo di linea;
- C_E è il fattore ambientale che definisce la "densità edilizia" vicino alla linea entrante e quindi la probabilità di un fulmine;
- A_L è l'area di raccolta dei fulmini che colpiscono la linea in m^2 .

L'area di raccolta in questo caso è da considerarsi 40 volte la lunghezza della linea (L_L) a partire dalla linea stessa. (fig. 24) Inoltre, nel caso non si conosca con precisione il valore L_L lo si assume pari a 1000 m.

Fulminazione nelle vicinanze delle linee N_I

Per le scariche nelle vicinanze di una linea entrante con ampiezza superiore a 1 kV vale:

$$N_I = N_G * A_I * C_I * C_E * C_T * 10^{-6}$$

Dove si applicano le stesse condizioni al contorno e gli stessi fattori di correzione (C_I , C_T , C_E) visti per il calcolo di N_L .

In questo caso l'area di raccolta intorno alla linea entrante è $A_L = 4000 L_L$, ma come in precedenza se la lunghezza della linea non è nota si può usare il valore conservativo di $L_L = 1000$ m.

Il calcolo dei coefficienti N_L e N_I è necessario per ogni linea entrante nell'edificio che segua un differente percorso. Nel caso in cui due o più linee entrino nella struttura lungo il medesimo percorso, infatti, basterà calcolare i coefficienti solo per la linea che presenta le proprietà più sfavorevoli, ovvero con la più bassa resistenza di isolamento (linea di telecomunicazione invece

della linea di alimentazione, linea non schermata invece della linea schermata, linea di alimentazione a bassa tensione invece della linea ad alta tensione con un trasformatore da alta a bassa tensione, ecc.).

Fulminazione di una struttura adiacente N_{DJ}

Per i fulmini su una struttura all'estremità lontana di una linea entrante nella struttura da proteggere:

$$N_{DJ} = N_G * A_{DJ} * C_{DJ} * C_T * 10^{-6}$$

Dove:

- A_{DJ} è l'area di raccolta della struttura adiacente isolata [m²];
- C_{DJ} è il coefficiente di posizione della struttura adiacente;
- C_T è il coefficiente che tiene conto del tipo di linea.

Tutti i coefficienti C_X necessari al calcolo del numero di eventi pericolosi in tutti e cinque i casi visti fino ad ora sono reperibili nelle tabelle messe a disposizione dalla CEI EN 62305/2 nell'allegato A.

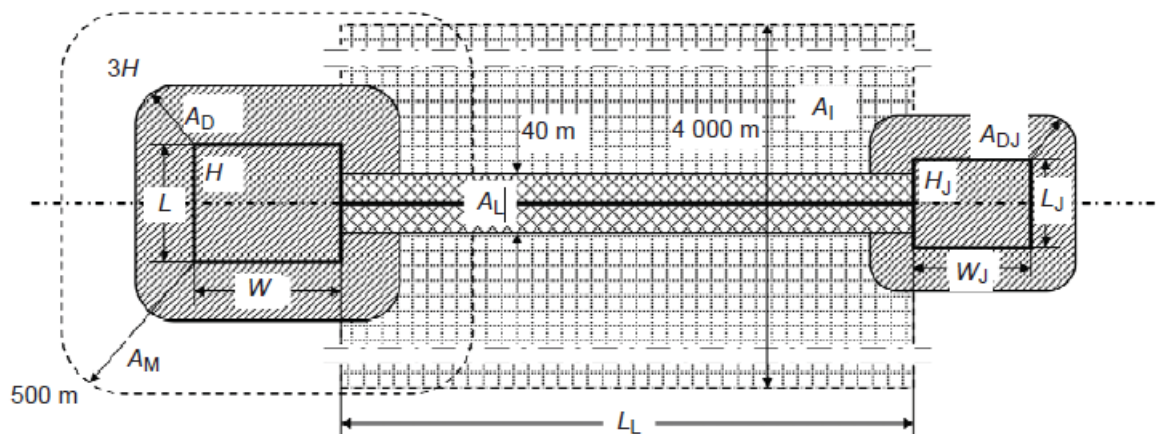


Figura 24- aree di raccolta

Calcolo del fattore P_x

Il fattore P_x per il calcolo del rischio rappresenta la “probabilità di danno”, ovvero definisce la probabilità con il quale un fulmine causa un determinato danno alla struttura o nella zona limitrofa. Come per il fattore N_x , anche questo parametro è classificabile secondo la causa di

danno (da S1 a S4), ma, a differenza del primo, è distinguibile anche in base a ogni tipologia di danno (da D1 a D3). Esistono infatti otto diversi parametri P:

- In caso di un fulmine diretto su una struttura (S1):
 - P_A Lesioni da folgorazione su esseri viventi;
 - P_B Danni fisici (incendio, esplosione, reazioni meccaniche o chimiche);
 - P_C Guasto di impianti elettrici /elettronici;
- In caso di un fulmine nei pressi di una struttura (S2):
 - P_M Guasto di impianti elettrici /elettronici;
- In caso di un fulmine diretto su una linea entrante (S3):
 - P_U Lesioni da folgorazione su esseri viventi;
 - P_V Danni fisici (incendio, esplosione, reazioni meccaniche o chimiche);
 - P_W Guasto di impianti elettrici /elettronici;
- In caso di un fulmine diretto nei pressi di una linea entrante (S4):
 - P_Z Guasto di impianti elettrici /elettronici.

Il fattore P_x può assumere solo valori ≤ 1 , dove 1 significa che ogni evento provoca sicuramente danni pericolosi. Tuttavia, una delle novità introdotte dall'attuale edizione della norma è la possibilità di considerare $P=0$, che equivale quindi a trascurare le relative componenti di rischio. Questo può avvenire però solamente in relazione a linee entranti nella struttura posate in tubi o canali metallici chiusi e continui collegati allo stesso nodo di terra delle apparecchiature, oppure se tali linee sono separate da interfacce isolanti.

Il parametro della probabilità di danno è descritto dettagliatamente nell'allegato B della norma CEI EN 62305/2, la quale ne fornisce i valori numerici attraverso tabelle ed equazioni specifiche per ogni tipologia. Va sottolineato tuttavia, che per questo particolare parametro sono ammessi anche valori differenti da quelli esplicitamente descritti dalla norma purché opportunamente giustificati da esami e valutazioni dettagliate.

Fulminazione diretta della struttura

I valori di probabilità P_A sono calcolabili con l'equazione:

$$P_A = P_{TA} * P_B$$

Dove:

- P_{TA} rappresenta il contributo fornito da misure di protezione aggiuntive contro le tensioni di passo e di contatto, i cui valori sono forniti dalla norma nella tabella B.1, allegato B, CEI EN 62305/2. Nel caso in cui fossero presenti più di una misura aggiuntiva il valore di P_{TA} corrisponderebbe al prodotto dei valori corrispondenti.
- P_B è la probabilità di danni fisici alla struttura (incendio, esplosione, reazioni meccaniche o chimiche all'interno o all'esterno di una struttura a seguito di un fulmine) e dipende dal livello di protezione (LPL) con cui è progettato il sistema di protezione (LPS) conformemente alla CEI EN 62305/3. I corrispondenti valori sono reperibili nella tabella B.2, allegato B, CEI EN 62305/2.

Per il calcolo del rischio nel caso di fulmine diretto alla struttura (S1) che provoca danni fisici (D2) il parametro della probabilità di danno è P_B descritto sopra.

La probabilità P_C che un fulmine in una struttura possa causare danni agli impianti interni è calcolabile secondo la seguente formula:

$$P_C = P_{SPD} * C_{LD}$$

Dove:

- P_{SPD} rappresenta il contributo fornito dal sistema coordinato degli SPD e dal livello di protezione antifulmini (LPL) (il tutto conformemente alla CEI EN 62305/4). I suoi valori sono reperibili nella tabella B.3, allegato B, CEI EN 62305/2.
- C_{LD} considera la schermatura, la messa a terra e le condizioni di isolamento della linea collegata all'impianto interno (tabella B.4, allegato B, CEI EN 62305/2).

Risulta chiaro, quindi, che l'obiettivo del progettista del sistema di protezione debba essere quello di diminuire i parametri P_A e P_C . Questo però avviene solamente nel caso in cui la struttura sia protetta da LPS o in cui le calate naturali dell'LPS siano realizzate utilizzando le strutture portanti metalliche continue o i ferri di armatura del calcestruzzo oltre alla necessità di soddisfacimento delle prescrizioni della CEI EN 62305/3 relative all'equipotenzializzazione ed alla messa a terra.

Fulminazione nelle vicinanze della struttura

La probabilità P_M che un fenomeno di fulminazione che interessa la zona circostante alla struttura possa causare danni agli impianti interni si calcola come segue:

$$P_M = P_{SPD} * P_{MS}$$

Dove:

- P_{SPD} è il coefficiente rappresentativo del sistema coordinato di SPD e del LPL visto per P_C .
- P_{MS} va calcolato secondo una ulteriore equazione:

$$P_{MS} = (K_{S1} * K_{S2} * K_{S3} * K_{S4})^2$$

Dove:

- K_{S1} e K_{S2} rappresentano l'efficacia schermante della struttura, dell'impianto LPS o delle altre protezioni ai confini tra zone specifiche della struttura;
- K_{S3} rappresenta le caratteristiche dei cavi interni (tabella B.5, allegato B, CEI EN 62305/2);
- K_{S4} rappresenta la tensione nominale di tenuta agli impulsi dell'impianto da proteggere.

Come anticipato, la norma in vigore consente di porre alcuni componenti P pari a zero: in questo caso P_{SM} è da considerarsi nullo nel caso di utilizzo di apparecchiature con interfacce di isolamento costituite da trasformatori con schermatura a massa tra gli avvolgimenti, cavi a fibre ottiche o foto accoppiatori.

Al fine di diminuire il valore di P_M è opportuno attuare accorgimenti che influiscano sui fattori K_X nel calcolo di P_{SM} , come per esempio un impianto di protezione a maglie, misure di schermatura, adeguati criteri di posizionamento dei cavi, una maggiore tensione nominale di tensione degli impulsi, interfacce isolate e sistemi di SPD coordinati.

Fulminazione diretta della linea

Il valore della probabilità P_U che degli esseri umani all'interno della struttura possano subire danni a causa della fulminazione diretta su una linea entrante dipende da molti fattori descritti dai parametri che compongono la seguente formula:

$$P_U = P_{TU} * P_{EB} * P_{LD} * C_{LD}$$

Dove:

- P_{TU} rappresenta il coefficiente di sicurezza dato dall'installazione di limitazioni fisiche o avvisi per la protezione dalle tensioni di contatto. I valori sono reperibili nella tabella

B.6, allegato B, CEI EN 62305/2. Inoltre, se sono presenti più di una misura di protezione di questo tipo il valore di P_{TU} sarà il prodotto dei corrispondenti valori.

- P_{BE} rappresenta la probabilità dipendente dal collegamento equipotenziale antifulmine in conformità alla norma CEI EN 62305/3 e dal livello di protezione antifulmine (LPL) per il quale sono dimensionati i dispositivi SPD. Valori riportati nella tabella B.7, allegato B, CEI EN 62305/2.
- P_{LD} rappresenta le caratteristiche della linea collegata alla struttura (tabella B.8, allegato B, CEI EN 62305/2)
- C_{LD} è il fattore che considera le condizioni di schermatura, messa a terra e isolamento della linea e può essere scelto dalla tabella B.9, allegato B, CEI EN 62305/2.

Per ridurre i valori di P_U non è necessario, quindi, un impianto coordinato di SPD secondo la CEI EN 62305/4, ma sono sufficienti gli SPD secondo la CEI EN 62305/3.

La probabilità P_V relativa ai danni fisici dovuti alla fulminazione di una linea collegata alla struttura invece si calcola ugualmente alla probabilità P_U a meno del fattore P_{TU} , ovvero:

$$P_V = P_{EB} * P_{LD} * C_{LD}$$

P_V dipende cioè dalle proprietà di schermatura della linea, dalla tensione di tenuta agli impulsi dell'impianto e dalle interfacce di isolamento o SPD presso il punto di entrata della linea. Anche in questo caso, infatti, non è necessario il sistema di coordinato di SPD per la riduzione della probabilità.

Per quanto riguarda la possibilità di danni agli impianti interni della struttura (P_W) è possibile calcolarne il valore numerico attraverso la seguente formula:

$$P_W = P_{SPD} * P_{LD} * C_{LD}$$

Ovvero, P_W dipende, oltre che dalla schermatura della linea e dalla tensione di tenuta agli impulsi dell'impianto interno, anche dai dispositivi di protezione antifulmine secondo la CEI EN 62305/4, infatti in questo caso è necessario il sistema coordinato di SPD.

Fulminazione nelle vicinanze della linea

Quando una linea non viene colpita direttamente ma nelle sue immediate vicinanze possiamo escludere che si verifichino correnti di fulmine piuttosto elevate, ma è probabile che vengano indotte delle tensioni elettromagnetiche. Va quindi calcolato anche il fattore P_Z che

rappresenta la probabilità di danni agli impianti interni al verificarsi di questo evento. Si ricava dalla seguente formula:

$$P_Z = P_{SPD} * P_{LI} * C_{LI}$$

Dove:

- P_{SPD} che, come nei casi precedenti, introduce la dipendenza dal sistema coordinato di SPD e dal LPL;
- P_{LI} dipende dalle caratteristiche della linea (tabella B.9, allegato B, CEI EN 62305/2)
- C_{LI} tiene conto della schermatura, della protezione, della messa a terra e delle proprietà isolanti della linea.

Calcolo del fattore L_X

L'ultimo parametro da considerare nel calcolo del rischio è il fattore di perdita, che consente di valutare le conseguenze dovute a un danno causato dalla fulminazione della struttura o delle zone circostanti. Il parametro L_X è suddiviso secondo il tipo di perdita (da L1 a L4) e, per ciascun tipo di perdita, analogamente ai fattori N e P, secondo il tipo di danno (da D1 a D3). L'allegato C della CEI EN 62305/2 fornisce gli elementi per il calcolo dei quattro tipi di perdite. Tuttavia, valori riportati dalla norma sono basati su dati puramente indicativi forniti dalla IEC. Fermo restando che è raccomandato utilizzare le equazioni riportate dalla EN 62305 come fonte primaria per il calcolo di L_X , appare chiaro che valori più accurati possano essere utilizzati per i calcoli proposti se stabiliti dal CEI o in seguito a dettagliati esami.

Perdita di vite umane (L1)

Il valore della perdita di vite umane dipende fortemente dalle caratteristiche della zona secondo le equazioni riportate nella figura 25:

Tipo di danno	Perdita tipica
D1	$L_A = L_U = r_t \times L_T \times n_z/n_t \times t_r/8760$
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_t \times h_z \times L_F \times n_z/n_t \times t_r/8760$
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_o \times n_z/n_t \times t_r/8760$

Figura 25- valori di perdita per il tipo L1

Dove:

- L_T rappresenta la percentuale media tipica delle vittime che hanno subito lesioni da folgorazione (D1) a causa di un evento pericoloso;

- L_F rappresenta la percentuale media tipica delle vittime che hanno subito lesioni per effetto di danni fisici (D2) a causa di un evento pericoloso;
- L_O rappresenta la percentuale media tipica delle vittime che hanno subito lesioni a causa di guasti degli impianti interni (D3) a causa di un evento pericoloso;
- r_t rappresenta un fattore di riduzione della perdita di vite umane in funzione del tipo di suolo;
- r_p rappresenta un fattore di riduzione della perdita dovuta a danni fisici in funzione delle misure adottate per ridurre le conseguenze degli incendi;
- r_f rappresenta un fattore di riduzione della perdita dovuta a danni fisici in funzione del rischio di incendio o esplosione;
- h_z rappresenta un fattore di incremento della perdita dovuta a danni fisici quando è presente un particolare pericolo;
- n_z rappresenta il numero di persone nella zona;
- n_t rappresenta il numero totale di persone nella struttura;
- t_z rappresenta il tempo in ore all'anno durante il quale nella zona sono presenti delle persone;
- il denominatore 8760 rappresentano le ore dell'anno.

Come già accennato, la CEI EN 62305/2 specifica i valori di L_T , L_F e L_O per le strutture classificate in modo sommario (vedi tab. C.2, allegato C, CEI EN 62305/2). In questo caso i valori possono essere adattati ai singoli casi tenendo però in considerazione il numero di persone suscettibili di essere colpite, la loro mobilità indipendente e la loro esposizione agli effetti del fulmine. Inoltre, sempre per i valori di L_F e L_O può rendersi necessaria una valutazione più accurata nel caso di zone della struttura a rischio esplosione.

Ulteriore attenzione va posta anche nel caso di strutture in cui una eventuale fulminazione provochi danni, oltre che alla struttura stessa, anche alle strutture e all'ambiente circostante, come per esempio emissioni chimiche o radioattive. In questo caso nel calcolo delle perdite totali (L_{BT} e L_{BV}) va tenuto conto anche delle ulteriori perdite di vite umane a causa di danni fisici (L_{BE} e L_{VE}) secondo le seguenti equazioni:

$$L_{BT} = L_B + L_{BE}$$

$$L_{VT} = L_V + L_{VE}$$

$$L_{BE} = L_{VE} = L_{FE} \frac{t_e}{8760}$$

Dove:

- L_{FE} è la perdita di danni fisici all'esterno della struttura. Il suo valore dovrebbe essere fornito dall'ente che si occupa di redigere i documenti relativi alla protezione dalle esplosioni;
- t_e è il tempo di permanenza delle persone all'interno della zona pericolosa esterna alla struttura. Se il suo valore non è noto si può assumere $t_e/8760=1$.

Perdita inaccettabile di servizio pubblico (L2)

Per quanto riguarda la perdita di servizio pubblico, a seconda delle proprietà della struttura e del tipo di servizio interrotto, si possono avere fino a sei valori:

$$L_B = L_V = r_p * r_f * L_F * \frac{n_z}{n_t}$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O * \frac{n_z}{n_t}$$

Dove:

- L_F rappresenta la percentuale media tipica degli utenti non serviti a causa di danni fisici (D2) in caso di un evento pericoloso;
- L_O rappresenta la percentuale media tipica degli utenti non serviti a causa di un guasto agli impianti interni (D3) in caso di un evento pericoloso;
- r_p rappresenta un fattore di riduzione della perdita dovuta a danni fisici in funzione delle misure adottate per ridurre le conseguenze degli incendi;
- r_f rappresenta un fattore di riduzione della perdita dovuta a danni fisici in funzione del rischio di incendio o esplosione;
- n_z rappresenta il numero di utenti serviti nella zona;
- n_t rappresenta il numero totale di utenti serviti nella struttura;

La norma CEI EN 62305/2 fornisce specifiche indicazioni riguardo ai valori medi tipici di L_F e L_O in base al tipo di servizio e alla sua importanza nel pubblico, come riportato nella tabella C.8, allegato C, CEI EN 62305/2. È importante sottolineare che, anche in questo caso, tali valori possono essere adattati e modificati in base alle specifiche caratteristiche delle strutture considerando però anche l'esposizione ai fulmini e eventuali scostamenti significativi.

Perdita di patrimonio culturale (L3)

I valori L_X legati alla perdita di patrimonio culturale insostituibile sono due:

$$L_B = L_V = r_p * r_f * L_F * \frac{c_z}{c_t}$$

Dove:

- L_F rappresenta la percentuale media tipica dei beni danneggiati a causa di danni fisici (D2) in caso di un evento pericoloso;
- r_p rappresenta un fattore di riduzione della perdita dovuto a danni fisici, che tiene conto delle misure adottate per limitare le conseguenze degli incendi;
- r_f rappresenta un fattore di riduzione della perdita dovuto a danni fisici in relazione al rischio di incendio o esplosione;
- c_z rappresenta il valore del patrimonio culturale della zona;
- c_t rappresenta il valore complessivo dell'edificio e dei suoi contenuti.

Il valore medio tipico di L_F in questo caso può essere reperito nella tabella C.10, allegato C, CEI EN 62305/2.

Perdita di valore economico (L4)

Il valore totale di una struttura dipende da molti fattori (animali, edifici, contenuti...), è quindi evidente che vi siano fino a otto valori di perdita:

Tipo di danno	Perdita tipica
D1	$L_A = L_U = r_t \times L_T \times C_a/C_t$
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times (C_a + C_b + C_c + C_s)/C_t$
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times C_s/C_t$

Dove:

- L_T rappresenta la percentuale media tipica del valore economico di tutti i beni danneggiati a causa di folgorazioni (D1) in caso di un evento pericoloso;
- L_F rappresenta la percentuale media tipica del valore economico di tutti i beni danneggiati a causa di danni fisici (D2) in caso di un evento pericoloso;
- L_O rappresenta la percentuale media tipica del valore economico di tutti i beni danneggiati a causa di guasti degli impianti interni (D3) in caso di un evento pericoloso;

- r_t rappresenta un fattore di riduzione della perdita di animali in funzione del tipo di terreno o suolo;
- r_p rappresenta un fattore di riduzione della perdita dovuta a danni fisici in funzione delle misure adottate per ridurre le conseguenze degli incendi;
- r_f rappresenta un fattore di riduzione della perdita dovuta a danni fisici in funzione del rischio di incendio o esplosione;
- c_a rappresenta il valore degli animali nella zona;
- c_b rappresenta il valore dell'edificio in rapporto alla zona;
- c_c rappresenta il valore del contenuto nella zona;
- c_s rappresenta il valore degli impianti interni nella zona, comprese le rispettive attività;
- c_t rappresenta il valore totale di una struttura (somma di tutte le zone per animali, edifici, contenuti, impianti interni e le rispettive attività).

Inoltre, se la possibilità di perdita di valore economico a causa di fulminazioni sulla struttura coinvolge anche le strutture o l'ambiente circostante (ad esempio, a causa di emissioni chimiche o radioattive), è necessario, quando si valutano le perdite totali (L_{BT} e L_{VT}), considerare anche le perdite aggiuntive dovute ai danni fisici (L_{BE} e L_{VE}):

$$L_{BT} = L_B + L_{BE}$$

$$L_{VT} = L_V + L_{VE}$$

$$L_{BE} = L_{VE} = L_{FE} * \frac{c_e}{c_t}$$

Dove:

- L_{FE} perdita a causa di danni fisici all'esterno della struttura;
- c_e valore totale dei beni in una posizione pericolosa esterna alla struttura;
- L_{FE} viene fornito dall'ente che redige i documenti relativi alla protezione dalle esplosioni.

Simbolo	Denominazione	Valore secondo l'articolo della Norma
Numero annuo medio di eventi pericolosi dovuti al fulmine		
N_D	Sulla struttura	A.2
N_M	In prossimità della struttura	A.3
N_L	Sulla linea entrante nella struttura	A.4
N_I	In prossimità della linea entrante nella struttura	A.5
N_{DJ}	Sulla struttura adiacente (Figura A.5)	A.2
Probabilità che un fulmine sulla struttura sia causa di		
P_A	Danno ad esseri viventi	B.2
P_B	Danni materiali	B.3
P_C	Guasti negli impianti interni	B.4
Probabilità che un fulmine in prossimità della struttura sia causa di		
P_M	Guasti negli impianti interni	B.5
Probabilità che un fulmine su una linea sia causa di		
P_U	Danno ad esseri viventi per elettrocuzione	B.6
P_V	Danni materiali	B.7
P_W	Guasti negli impianti interni	B.8
Probabilità che un fulmine in prossimità di una linea sia causa di		
P_Z	Guasti negli impianti interni	B.9
Perdita dovuta a		
$L_A = L_U$	Danno ad esseri viventi	C.3
$L_B = L_V$	Danni materiali	C.3 C.4 C.5 C.6
$L_C = L_M = L_W = L_Z$	Guasti negli impianti interni	C.3 C.4 C.6

Figura 26- riassunto parametri del rischio

SUDDIVISIONE DELLA STRUTTURA E DELLA LINEA

Per migliorare il grado di specificità dei parametri utilizzati nella valutazione del rischio, la norma CEI EN 62305/2 suggerisce la possibilità di suddividere la struttura da proteggere in zone Z_S , determinabili in base all'omogeneità dalle proprie caratteristiche.

Le zone Z_S sono principalmente definite dai seguenti fattori:

- Il tipo di suolo o pavimentazione, che influisce sulle componenti di rischio R_A e R_U .
- La compartimentazione antincendio, che contribuisce alle componenti di rischio R_B e R_V .
- La presenza di schermi locali, che impattano sulle componenti di rischio R_C e R_M .
- La disposizione degli impianti interni, che può influenzare le componenti di rischio R_C e R_M .
- Le misure di protezione già esistenti o previste, che riguardano tutte le componenti di rischio.
- I valori delle perdite L_X , che riguardano tutte le componenti di rischio.

Se si decide quindi di adottare una valutazione multizona il rischio per l'intera struttura R sarà dato dalla somma dei rischi associati a ciascuna zona. All'interno di ogni zona, il rischio è determinato dalla somma delle componenti di rischio specifiche di quella zona. Questo consente

si adattare le misure di protezione in base alla specificità di ogni area della struttura, ottimizzando così l'efficacia delle precauzioni contro i fulmini e riducendo i costi complessivi.

Rimane comunque possibile, se ritenuto utile, considerare l'intera struttura come un'unica zona. In questo caso il rischio totale considerato R sarebbe la somma di tutte le componenti R_x valutate sull'intera struttura. Tuttavia, considerare una singola zona potrebbe portare a misure di protezione costose in quanto ciascuna misura dovrà essere estesa all'intera struttura.

Le stesse considerazioni valgono per le linee entranti nella struttura da proteggere. La linea può essere suddivisa in sezioni S_L definite da:

- tipo di linea (interrata o aerea);
- fattori che influenzano l'area di raccolta (C_D , C_E , C_T);
- caratteristiche della linea (presenza o assenza di schermatura, resistenza dello schermo).

Quando in una sezione esistono più valori per un parametro va scelto quello che da luogo a una componente di rischio più conservativa, ovvero quello più alto.

Come per la suddivisione in zone, anche in questo caso è possibile considerare l'intera linea come un'unica sezione se ritenuta sufficientemente omogenea da non comportare costi aggiuntivi di protezione [14].

CONSIDERAZIONI SUL RISCHIO DI ESPLOSIONE

Succede spesso che la struttura da proteggere presa in considerazione sia soggetta a rischio di esplosione. In questi casi le aree vengono classificate secondo le direttive ATEX e le norme specifiche a seconda della probabilità e alla durata dell'atmosfera esplosiva (ad esempio, Zona 0, Zona 1, Zona 2 per gas/vapori; Zona 20, Zona 21, Zona 22 per polveri). La nuova versione della norma ha introdotto un'estensione nella valutazione del rischio di esplosione legato ai fulmini: oltre alle zone 0 e 20, ora vanno considerate anche le zone 1, 21, 2 e 22 come potenziali aree di rischio. Questo ampliamento comporta conseguenze significative, rendendo più complessa la valutazione del rischio e la protezione delle strutture [14].

In particolare, considerare il pericolo di esplosione richiede:

- La valutazione delle componenti R_C , R_M , R_W e R_Z anche per quanto riguarda la perdita di vite umane.
- Un aumento dei valori di danneggiamento indipendentemente dalla destinazione d'uso della struttura.

- Una ricalibrazione dei coefficienti di incremento/riduzione del rischio r_f e r_p , come indicato nella Tabella C.5, allegato C, CEI EN 62305/2.

Interazione di questi tre effetti implica necessariamente l'adozione di misure di protezione più costose e complicate per l'intera struttura. Tuttavia, è possibile mitigare tali costi suddividendo adeguatamente la struttura in zone e utilizzando misure di protezione più specifiche per ciascuna zona, laddove possibile.

CONCLUSIONI

In conclusione, la presente tesi ha fornito una guida per la valutazione dei rischi associati alle scariche atmosferiche. L'obiettivo principale è stato quello di fornire una panoramica quanto più esaustiva dei passi fondamentali da seguire durante il processo di valutazione dei rischi al fine di progettare strategie di protezione mirate, efficaci e finanziariamente efficienti.

Durante lo svolgimento della ricerca, si è cercato di mettere in risalto gli aspetti cruciali della procedura di valutazione: innanzitutto, la comprensione delle caratteristiche delle scariche atmosferiche e dei potenziali danni che possono causare agli edifici, agli apparecchi elettrici ed elettronici e agli esseri viventi. In secondo luogo, si è cercato di fornire una metodologia chiara e strutturata per la valutazione vera e propria dei rischi connessi alla fulminazione in tutte le sue declinazioni, che può essere usata come guida pratica.

Attenzione però che la presente tesi non ha l'ambizione di sostituire un'attenta lettura delle norme ufficiali e le linee guida specifiche fornite dalle organizzazioni competenti del settore. Le norme come la CEI EN 62305 e le altre normative nazionali e internazionali pertinenti vanno consultate attentamente per garantire la conformità normativa e la corretta implementazione dei sistemi di protezione. Questa guida si propone invece di offrire una panoramica generale e fare chiarezza sui principi fondamentali della valutazione dei rischi e di aiutare il lettore a sviluppare un approccio sistematico ed efficace alla procedura. Tuttavia, va ribadito che per i dettagli specifici e le informazioni aggiornate si rimanda alle norme ufficiali e alle leggi vigenti nel proprio Paese.

È importante sottolineare inoltre che la valutazione dei rischi contro le scariche atmosferiche è un processo dinamico e continuo. Alla luce sia dell'avanzamento tecnologico delle strutture e apparecchiature da proteggere sia della sempre maggiore comprensione della natura dei fulmini, i dati raccolti e le conoscenze acquisite vanno costantemente aggiornati. Pertanto, le indicazioni della tesi vanno adattate alle specifiche esigenze e alle circostanze locali di ogni contesto.

In conclusione, speriamo che questa tesi possa dare un valido contributo per gli esperti del settore e per tutti coloro coinvolti nella protezione contro i danni causati dalle scariche atmosferiche.

APPENDICE

ESEMPIO DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FULMINAZIONE

A completamento della trattazione teorica proposta in questo elaborato viene qui riportato un esempio di valutazione contro le scariche atmosferiche redatto per un edificio adibito a uffici [15]. L'obiettivo è quello di aiutare il lettore nell'uso della norma, mettendo in evidenza un metodo di raccolta ed elaborazione dei dati. A questo scopo nell'allegato E della CEI EN 62305/2 sono trattati ulteriori esempi relativi alla valutazione del rischio per diversi tipi di struttura.

DATI E CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA

Il sito che si vuole proteggere è costituito da uno stabilimento industriale composto da tre edifici separati, che verranno pertanto valutati separatamente: il corpo uffici, il deposito odorizzanti e la palazzina manutenzione. In questa trattazione ci si focalizzerà sul corpo uffici.

La palazzina uffici si estende su una superficie di 200 mq.



Figura 27- vista impianto industriale da proteggere

Il fabbricato ha struttura in cemento armato con ferri d'armatura continui e raggiunge un'altezza massima di circa 7 metri. All'interno dell'edificio opera un numero massimo indicativo di 15

persone. Sono presenti sistemi di segnalazione ed estinzione degli incendi, composti da pulsanti manuali d'allarme, estintori ed idranti antincendio.

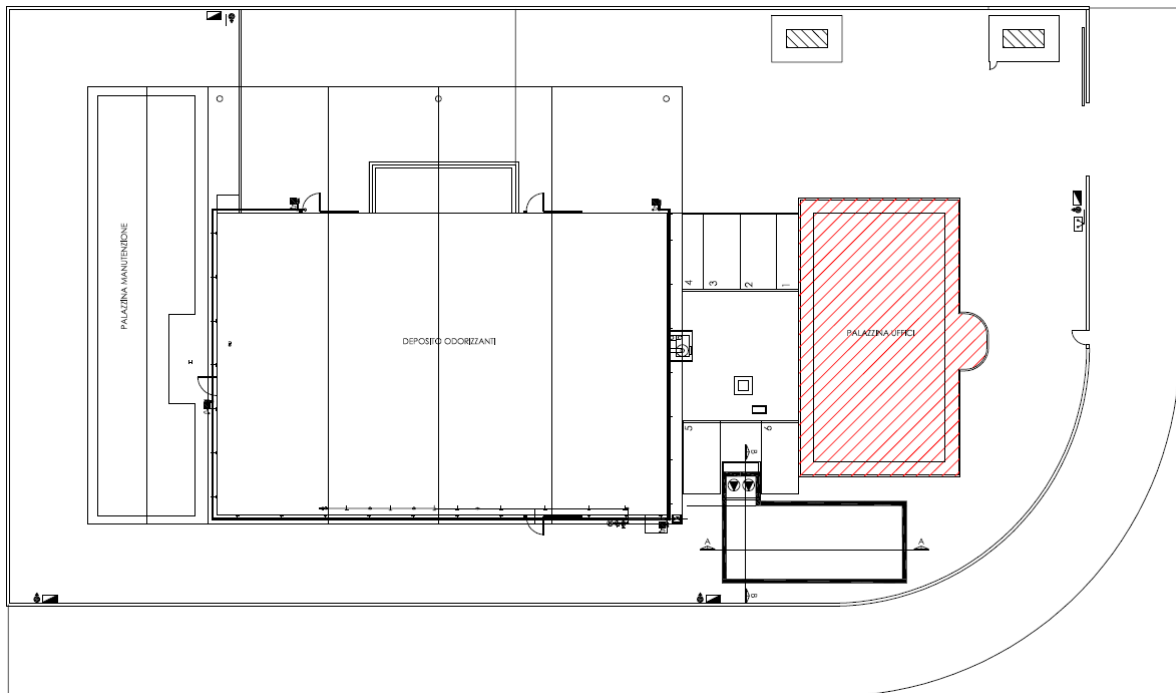


Figura 28- planimetria generale del complesso; in rosso la palazzina uffici

La linea di alimentazione principale è in bassa tensione 400V ed è derivata dal contatore di energia elettrica. Sono presenti altre linee in ingresso all'edificio, sia di energia elettrica sia di segnale.

Sono presenti degli scaricatori di sovratensione in corrispondenza dell'ingresso della linea elettrica principale in bassa tensione, oltre che all'interno del quadro generale; non sono invece presenti scaricatori di sovratensione all'interno dei sottoquadri.

Per questo tipo di strutture sono d'interesse sia la perdita di vite umane (L1) che quella economica (L4). In accordo con il Datore di Lavoro non è richiesta la valutazione della perdita economica; non sarà pertanto considerato il rischio R4 ma solamente il rischio R1.

DEFINIZIONE E CARATTERISTICHE DELLE ZONE

L'edificio in oggetto è sprovvisto di un impianto di protezione contro i fulmini LPS. La palazzina uffici ha caratteristiche costruttive, quantità e tipologia di materiali omogenei, pertanto verrà considerata un'unica zona: Zona Uffici. Tutto l'edificio è invece provvisto di protezioni manuali antincendio come estintori, idranti e pulsanti manuali d'allarme.

Ai fini della valutazione del rischio, secondo la norma CEI EN 62305-2, la presenza di zone con pericolo di esplosione può essere trascurata se esse non possono essere colpite direttamente dal fulmine e sono impedito scariche pericolose nelle zone stesse (nota 9, allegato C, CEI 62305/2 [6]). Nel caso in oggetto è possibile trascurare il pericolo di esplosione. Infatti, per evitare che il fulmine possa colpire direttamente la zona pericolosa, non è richiesto un LPS naturale conforme alla norma CEI EN 62305-3, ma è sufficiente che la struttura abbia uno “scheletro” metallico. Lo “scheletro” metallico può avere forma qualsiasi ed essere anche ricoperto di materiale isolante. Inoltre, non è richiesto un numero minimo di elementi verticali che svolgano la funzione di calata o prescritte eventuali interdistanze minime tra gli elementi stessi. Le zone con pericolo di esplosione individuate lungo le pareti esterne dell’edificio (generate da valvole o flange delle condutture del GPL), possono ritenersi protette contro la fulminazione diretta in quanto situate all’interno del cono di protezione dell’edificio stesso; inoltre, non sono presenti impianti elettrici in corrispondenza di tali zone.

Per il serbatoio di deposito del GPL, essendo esterno all’edificio e separato dallo stesso, è stata valutata con apposita relazione di valutazione del rischio delle atmosfere esplosive ATEX per la presenza di gas. La zona può comunque ritenersi protetta contro la fulminazione diretta in quanto situata all’interno del cono di protezione dell’edificio stesso.

Pertanto, tenuto conto di:

- compartimenti antincendio esistenti e/o che sarebbe opportuno realizzare;
- i tipi di superficie del suolo all'esterno della struttura, i tipi di pavimentazione interni ad essa e l'eventuale presenza di persone;
- le altre caratteristiche della struttura e, in particolare il lay-out degli impianti interni e le misure di protezione esistenti;

è stata individuata una zona ai fini della valutazione, avente le seguenti caratteristiche:

- Tipo di zona: interna
- Tipo di pavimentazione: ceramica ($r_t=0,001$)
- Rischio di incendio: nessuno
- Pericoli particolari: ridotto rischio di panico ($h=2$)
- Protezioni antincendio: manuali ($r_p=0,5$)
- Schermatura di zona: assente
- Protezioni contro le tensioni di contatto e di passo: nessuna

AREE DI RACCOLTA

Secondo l'allegato A della Norma CEI EN 62305/2 sono state valutate graficamente le aree di raccolta A_d per la fulminazione diretta e A_m per la fulminazione indiretta della struttura. Sono riportate rispettivamente nelle figure 29 e 30.

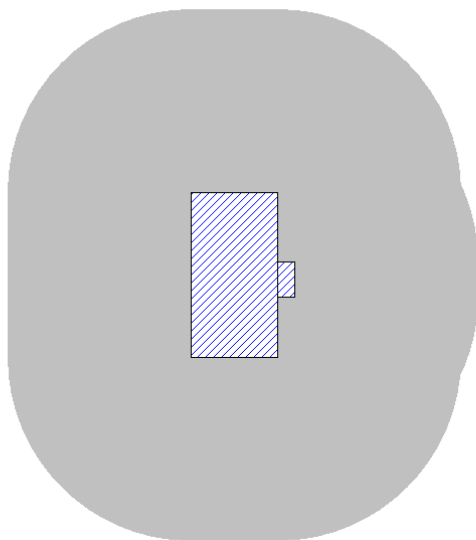


Figura 29- area di raccolta A_d : $2,82 \cdot 10^{-3}$ km²

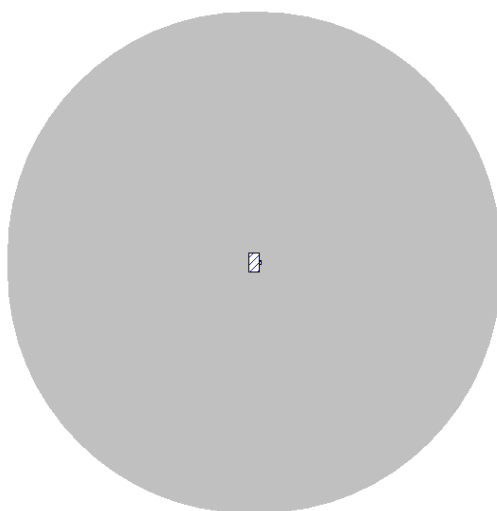


Figura 30- area di raccolta A_m : $3,86 \cdot 10^{-1}$ km²

Sempre in accordo con l'allegato A della Norma CEI EN 62305/2, le aree di raccolta A_L e A_I di ciascuna linea elettrica esterna sono state analiticamente valutate come segue:

Linea di alimentazione elettrica in bassa tensione:

$$A_L = 0,031200 \text{ km}^2$$

$$A_I = 3,120000 \text{ km}^2$$

Linea cancelli motorizzati:

$$A_L = 0,000800 \text{ km}^2$$

$$A_I = 0,080000 \text{ km}^2$$

Linea telefonica:

$$A_L = 0,040000 \text{ km}^2$$

$$A_I = 4,000000 \text{ km}^2$$

Linea illuminazione esterna:

$$A_L = 0,000800 \text{ km}^2$$

$$A_I = 0,080000 \text{ km}^2$$

DETERMINAZIONE EVENTI PERICOLOSI

Si è ricavato dal database di "TuttoNormel" la densità annua di fulmini a terra per chilometro quadrato nel comune in cui è ubicata la struttura:

$$N_G = 6,98 \text{ fulmini}/(\text{anno km}^2)$$

Si può dunque calcolare il numero di eventi pericolosi dovuti a fulminazione diretta N_D e indiretta N_M della struttura risulta pari a:

$$N_D = N_G * A_D * C_D * 10^{-6} = 2,69$$

$$N_M = N_G * A_M * 10^{-6} = 9,84 * 10^{-3}$$

Allo stesso modo il numero di eventi pericolosi dovuti a fulminazione diretta N_L e indiretta N_I delle linee connesse alla struttura sono calcolati attraverso le formule:

$$N_L = N_G * A_L * C_I * C_E * C_T * 10^{-6}$$

$$N_I = N_G * A_I * C_I * C_E * C_T * 10^{-6}$$

Delle quali risulta:

Linea di alimentazione elettrica in bassa tensione:

$$N_L = 0,054444 \text{ km}^2 \quad N_I = 5,444400 \text{ km}^2$$

Linea cancelli motorizzati:

$$N_L = 0,001396 \text{ km}^2 \quad N_I = 0,139600 \text{ km}^2$$

Linea telefonica:

$$N_L = 0,069800 \text{ km}^2 \quad N_I = 6,980000 \text{ km}^2$$

Linea illuminazione esterna:

$$N_L = 0,001396 \text{ km}^2 \quad N_I = 0,139600 \text{ km}^2$$

DETERMINAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI DANNO

I valori delle probabilità di danno (P) per il calcolo delle varie componenti di rischio considerate sono:

- $P_A = 1,00E+00$
- $P_B = 1,0$
- $P_C \text{ (IMPIANTI ELETTRICI)} = 1,00E+00$
- $P_C \text{ (IMPIANTI DATI)} = 1,00E+00$
- $P_C = 1,00E+00$
- $P_M \text{ (IMPIANTI ELETTRICI)} = 8,00E-04$
- $P_M \text{ (IMPIANTI DATI)} = 4,44E-01$
- $P_M = 4,45E-01$
- $P_U \text{ (IMPIANTI ELETTRICI)} = 6,00E-03$
- $P_V \text{ (IMPIANTI ELETTRICI)} = 6,00E-03$
- $P_W \text{ (IMPIANTI ELETTRICI)} = 1,20E-02$
- $P_Z \text{ (IMPIANTI ELETTRICI)} = 0,00E+00$
- $P_U \text{ (IMPIANTI DATI)} = 8,00E-01$
- $P_V \text{ (IMPIANTI DATI)} = 8,00E-01$
- $P_W \text{ (IMPIANTI DATI)} = 8,00E-01$
- $P_Z \text{ (IMPIANTI DATI)} = 0,00E+00$

DETERMINAZIONE DELLA PERDITA

In accordo con quanto riportato nell'Allegato C della Norma CEI EN 62305-2 sono stati determinati i seguenti tipi di perdita:

- perdita per tensioni di contatto e di passo (relativa a R1) $L_A = L_U = 2,33 \cdot 10^{-6}$
- perdita per danno fisico (relativa a R1) $L_B = L_V = 0,00$

CONCLUSIONI

Con i dati e i calcoli effettuati fino ad ora è quindi possibile ricavare il valore totale di rischio R1:

- $R_A: 2,29E-08$
- $R_B: 0,00E+00$
- $R_U(\text{IMPIANTI ELETTRICI}): 7,61E-10$
- $R_V(\text{IMPIANTI ELETTRICI}): 0,00E+00$
- $R_U(\text{IMPIANTI DATI}): 1,30E-07$
- $R_V(\text{IMPIANTI DATI}): 0,00E+00$

Totale:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{U1} + R_{V1} = 1,54 * 10^{-7}$$

Il rischio totale per la Palazzina Uffici risulta pertanto pari a $1,54 \cdot 10^{-7}$ esso è inferiore al rischio tollerabile $1 \cdot 10^{-5}$ prescritto dalla normativa vigente.

BIBLIOGRAFIA

- [1] «D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81, Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro,» in *Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30 aprile 2008 - Suppl. Ordinario n. 108*.
- [2] «BS EN IEC 62858, Lightning density based on lightning location,» 2019.
- [3] «CEI 81-29, Linee guida per l'applicazione delle Norme CEI EN 62305,» 2014-02.
- [4] «<https://www.ceinorme.it/il-cei/>».
- [5] «CEI EN 65305-1, CEI 81-10/1, Protezione contro i fulmini, Parte 1: principi generali,» 2013-02.
- [6] «CEI EN 62305-2, CEI 81-10/2, Protezione contro i fulmini, Parte 2: Valutazione del rischio,» 2013-02.
- [7] «CEI EN 62305-3, 81-10/3, Protezione contro i fulmini, Parte 3: Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone,» 2013-02.
- [8] «CEI EN 62305-4. 81-10/4, Protezione contro i fulmini; Parte 4: Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture».
- [9] M. T. S. Giovanni Luca Amicucci. Giovanni Luca Amicucci, «Impianti di protezione contro le scariche atmosferiche, Valutazione del rischio e verifiche,» *INAIL, dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti ed insediamenti antropici*, 2016.
- [10] «DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 22 ottobre 2001, n. 462».
- [11] B. Azzerboni, «Appunti Corso di Sistemi Elettrici, Capitolo 11. La protezione contro le sovratensioni,» Università degli Studi di Messina.
- [12] DEHN + SÖHNE – BLITZPLANER, Guida alla protezione contro i fulmini, terza edizione 2016.
- [13] <https://www.vegaengineering.com/news/norma-cei-en-iec-62858-rischio-fulminazione/>.
- [14] D. P. O. S. R. Raffaele Sabatino INAIL, protezione contro i fulmini, valutazione del rischio, INAIL, Settore Ricerca Dipartimento Settori Organizzativi Servizio Prevenzione e Protezione, 2013.
- [15] D. Dainese, «VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA SCARICHE ATMOSFERICHE, INTEGRAZIONE DEL DOCUMENTO DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO AI SENSI DEL D.LGS. 81/08 E S.M.I.».