

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MESSINA
Dipartimento di Ingegneria
Contrada Di Dio I, 98166 – Villaggio S. Agata Messina

Appunti Corso di Sistemi Elettrici

Capitolo 11. La protezione contro le sovratensioni

Anno Accademico 2015-2016

prof. ing. Bruno Azzerboni

Fonti:

Manuali, guide e cataloghi
ABB, bTicino, Gewiss, Merlin Gerin
Schneider, Siemens

Web:

www.elektro.it,
www.voltimum.it
www.electroyou.it

Sommario

11. La protezione contro le sovratensioni	3
11.1. Generalità	3
11.2. Le scariche atmosferiche	3
11.2.1. Formazione e caratteristiche del fulmine	6
11.2.2. Principio di formazione del fulmine	6
11.3. Le sovratensioni	7
11.3.1 Sovratensioni di origine interna	7
11.3.2 Sovratensioni di origine esterna	9
11.3.3 Come si propagano le sovratensioni	12
11.4. Scelta del tipo di protezione contro le sovratensioni	13
11.4.1 Quando è necessario installare le protezioni contro le sovratensioni	13
11.4.2 LPS esterno	14
11.4.3 LPS interno	14
11.5 Gli SPD (Surge Protective Device) nella protezione dalle sovratensione negli impianti elettrici utilizzatori	15
11.5.1 Dati nominali e classificazione degli SPD secondo la nuova guida C799	15
11.5.2 Tecnologia utilizzata negli SPD	18
11.5.3 Dati di targa e criteri di scelta degli SPD	21
11.5.4 Protezione scariche atmosferiche, fulmine come sorgente di danno	23
11.6. Regole generali d'installazione	24
11.6.1 Protezione dalle sovratensioni e dispositivi di protezione dai contatti indiretti	24
11.6.2 Soluzioni installative in funzione del sistema di distribuzione	26
11.6.3 La protezione di modo comune o di modo differenziale in funzione del collegamento alla terra	31
11.6.4 Schemi di collegamento degli SPD in funzione del tipo di distribuzione adottato	32
11.7. Equipotenzialità	35
11.8. I conduttori e le regole del cablaggio	37
11.9. Coordinamento degli SPD collegati in cascata	37
11.10. L'installazione degli SPD nei quadri	40
11.11 Esempi d'installazione	42

11. La protezione contro le sovratensioni

11.1. Generalità

E' noto che il fenomeno delle sovratensioni può essere causato dalla manovra di commutazione dei grandi carichi induttivi o capacitivi, interruzioni di correnti di corto circuito da guasti verso terra o nella maggior parte dei casi dalle fulminazioni dirette o indirette che si manifestano durante i temporali. I fulmini in particolare sono fenomeni di scarica violenti che producono in tempi brevissimi correnti d'intensità molto elevate che possono raggiungere e superare i 200 kA. A causa dell'enorme energia sviluppata nel breve tempo, sono eventi che si possono ripercuotere con tutto il loro potenziale distruttivo sui componenti o sugli impianti e nei casi più gravi sulle persone e sugli animali. Per prevenire i rischi dovuti a questi fenomeni di origine naturale, si rende necessario uno studio approfondito e il rilievo dei fulmini a terra per mezzo di strumenti sensibili al campo elettromagnetico prodotto dalla corrente di fulmine (fig. 1.1).

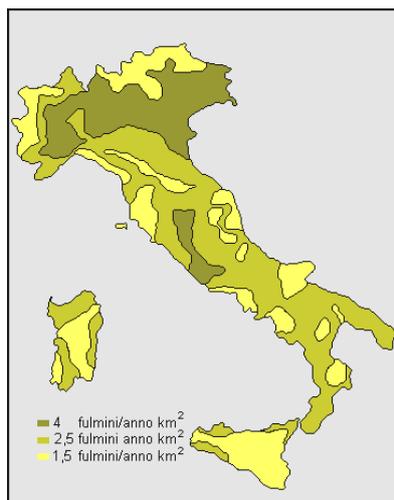


Fig. 1.1. - Valori medi della frequenza di fulminazione per unità di superficie

11.2. Le scariche atmosferiche

In caso di temporale può accadere che le nuvole e il suolo si comportino come le armature di un condensatore. L'aria è il dielettrico interposto tra queste enormi armature, una miscela di gas isolante costituita principalmente da azoto e ossigeno. La rigidità dielettrica dell'aria, in base al valore del campo elettrico che si stabilisce tra cielo e terra, può essere superata e si può verificare il fenomeno della scarica elettrica che comunemente è definito fulmine.

I temporali sono normalmente originati da particolari nubi di tipo cumuli-nembi riconoscibili dalla forma allungata a fianchi stretti e dal caratteristico colore scuro (fig. 2.2).

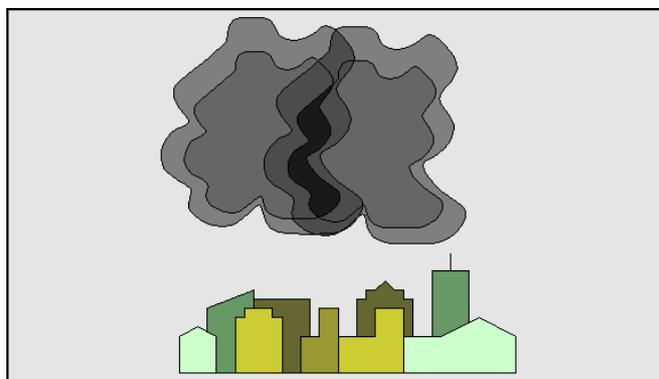


Fig. 2.2 - I temporali sono originati da nubi del tipo cumuli-nembi

La nascita di una nube temporalesca è dovuta all'aria calda che dal terreno sale verso l'alto. L'aria ascendente, raggiunta una determinata altezza, si porta a una temperatura alla quale diventa satura di vapore acqueo che condensando dà origine a una nuvola (fig. 2.3).

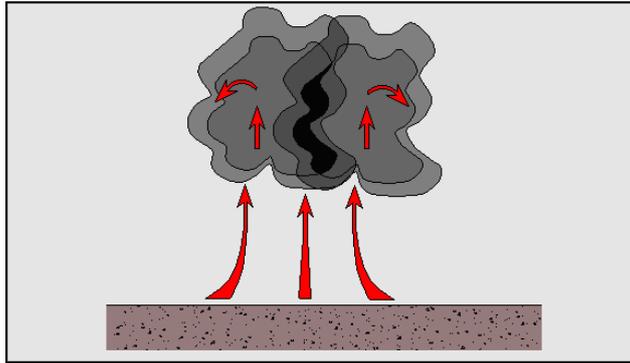


Fig. 2.3 - L'aria che sale dal suolo si carica di umidità e a una determinata altezza, il vapore acqueo condensa e si ha la formazione della nube

Il calore liberato dal processo di condensazione del vapore provoca un ulteriore riscaldamento dell'aria che è spinta nuovamente verso l'alto. Se l'aria è molto umida, si ha la formazione di cumuli stratificati, un'enorme macchina termica che può raggiungere uno spessore di 12 km ad un'altezza da terra di circa 2 km. La turbolenza di queste correnti d'aria favorisce la separazione delle gocce d'acqua che si sono formate. La teoria della formazione delle cariche elettriche all'interno della nuvola non è stata ancora del tutto chiarita. L'elettrizzazione per strofinio è l'ipotesi più accreditata. Alle alte quote, quando la temperatura dell'aria scende sotto a 0 °C, le gocce d'acqua si trasformano in cristalli di ghiaccio. Sarebbero proprio gli urti tra gocce d'acqua e cristalli di ghiaccio a generare le cariche elettriche negative e positive che si formano nella nube (fig. 2.4).

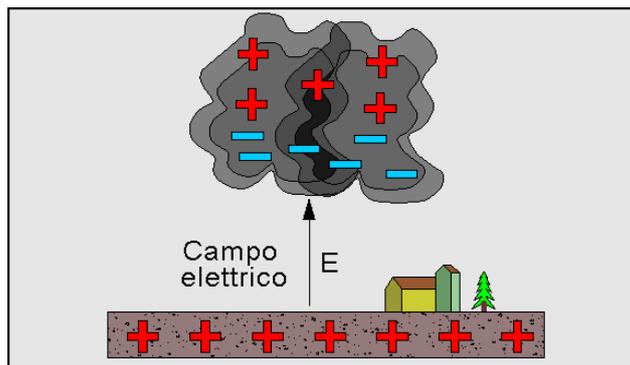


Fig. 2.4 - Formazione delle cariche elettriche in una nube temporalesca

Le cariche elettriche di segno opposto che si sono formate si separano posizionandosi in parte verso l'alto (cariche positive costituite dai cristalli di ghiaccio) e in parte verso il basso della nube (cariche negative costituite dalle goccioline di acqua).

E' da questo momento che nella nuvola si formano i primi lampi (fig. 2.5).

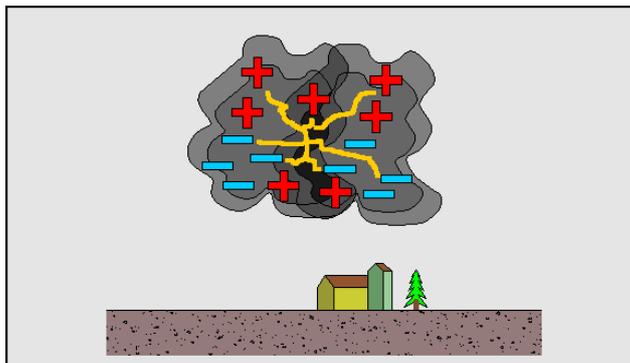


Fig. 2.5 - Nella nube si manifestano i primi lampi

La rigidità dielettrica dell'aria che in condizioni ambientali ideali è di circa 3000 kV/m può abbassarsi notevolmente per la presenza di umidità e pulviscolo atmosferico. Anche l'intensità del campo elettrico che solitamente in condizioni di tempo sereno al suolo è di circa 0,12 kV/m può essere superata a causa di un aumento della concentrazione di cariche elettriche nella nuvola e a terra. In situazioni particolari con nubi elettricamente cariche questo valore può raggiungere i 15 kV/m (fig.2.6) e può essere ulteriormente amplificato da elementi in rilievo rispetto al suolo (fig. 2.7).

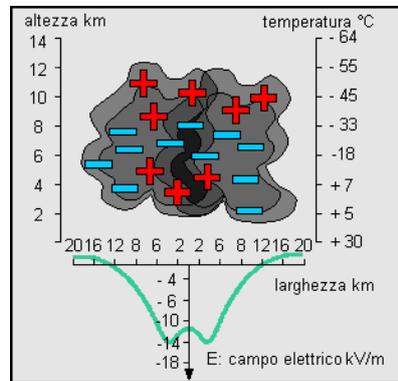


Fig. 2.6 - Valori del campo elettrico al suolo

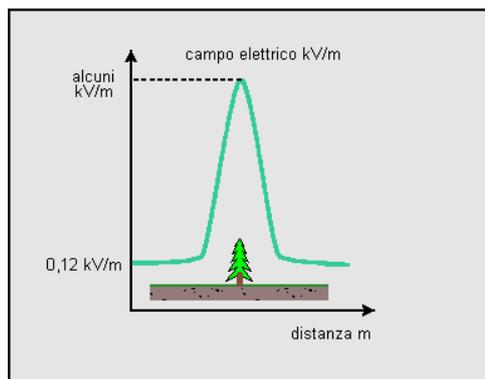


Fig. 2.7 - Il campo elettrico è rafforzato dalla presenza di elementi in rilievo rispetto al suolo

11.2.1. Formazione e caratteristiche del fulmine

I fulmini sono un fenomeno di scarica elettrica che produce in tempi brevissimi correnti d'intensità molto elevata. In funzione della direzione nella quale si propagano e della carica elettrica possono distinguersi in discendenti (quando hanno origine dalla nube) o ascendenti (quando hanno origine da strutture a terra), positivi o negativi (fig. 3.1).

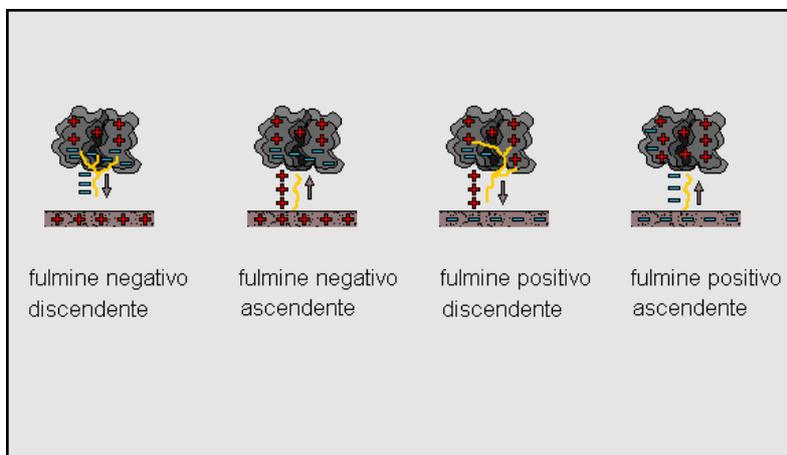


Fig. 3.1. - Tipi di fulmine

11.2.2. Principio di formazione del fulmine

Per meglio chiarire il principio di scarica riferiamoci all'esempio di uno tra i fulmini più diffusi, il *fulmine discendente* (fig. 3.2).

- 1 - A causa dell'intenso campo elettrico e della rarefazione dell'aria il fulmine potrebbe avere inizio dalla parte bassa della nube. Inizia con una saetta che si propaga a zig-zag verso terra a sbalzi successivi di 30-50 m.
- 2 - La saetta influenzata dall'azione del campo elettrico, si carica di particelle elettriche e favorisce la formazione di un canale ionizzato di forma ramificata.
- 3 - La scarica prosegue fino ad arrivare in prossimità del suolo. Il campo elettrico diventa così elevato da favorire fenomeni di effluvio (o scintille) finché uno di questi (canale di controscarica della lunghezza di alcune decine di metri) non entrerà in contatto col canale discendente.
- 4- Il contatto tra il canale discendente e di controscarica si manifesta come un arco elettrico molto luminoso (scarica di ritorno). Inizia lo scambio di cariche elettriche tra le nubi e il suolo mentre la rapida espansione dell'aria provocata dall'energia termica generata dal fulmine favorisce la formazione del tuono.
- 5 - Seguono una serie di altri archi di minore intensità (archi susseguenti) finché il fenomeno non si esaurisce.

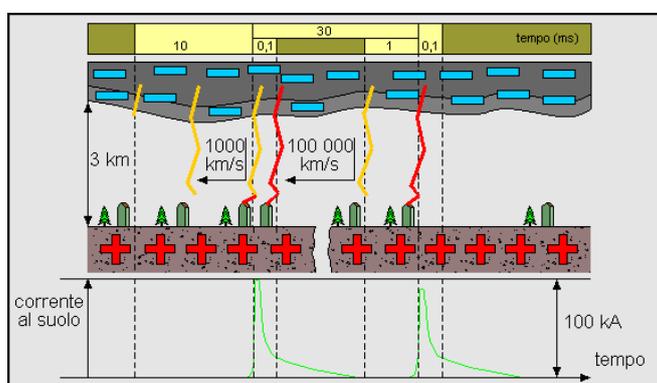


Fig. 3.2. - Fasi della scarica di un fulmine negativo discendente

11.3. Le sovratensioni

Una sovratensione è una tensione ad andamento impulsivo che si sovrappone al normale livello di tensione nominale della linea (fig. 4.1).

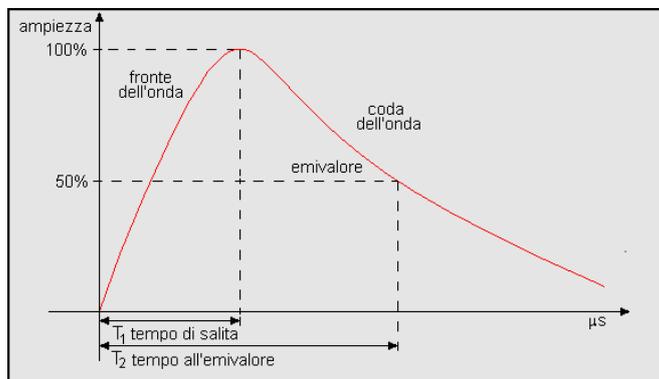


Fig. 4.1 - Caratteristica di un'onda impulsiva

Come si è visto può essere di origine interna se dipende da fenomeni interni all'impianto elettrico (fig. 4.2) oppure esterna quando è conseguenza di fenomeni elettrici che si sviluppano nell'atmosfera (fig. 4.3). Le forme d'onda normalizzate per rappresentare un'onda impulsiva sono riportate in tab. 4.1.

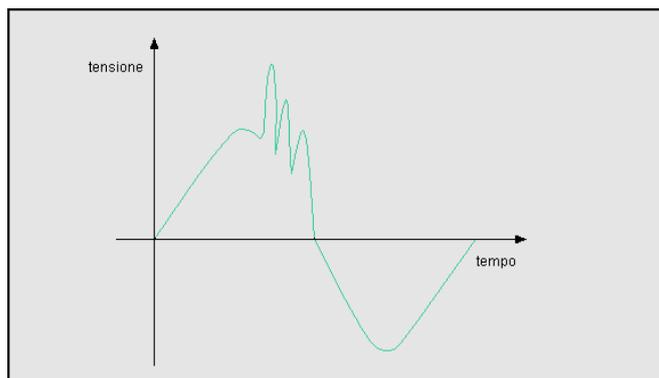


Fig. 4.2 - Sovratensione di origine interna causata da choc da manovra

11.3.1 Sovratensioni di origine interna

Le sovratensioni di origine interna possono manifestarsi con forma d'onda sinusoidale a frequenza industriale uguale a quella dei generatori stessi (bassa frequenza esercizio/sostenute) oppure possono essere transitorie legate a situazioni di guasto o manovre con forme d'onda sinusoidale a frequenza superiore a quella di rete.

11.3.1.1 Sovratensioni di origine interna a bassa frequenza industriale esercizio/sostenute:

- **Per improvvisa diminuzione del carico** - Una repentina diminuzione del carico determina un aumento della tensione a causa della diminuzione della caduta di tensione sulla linea e nei generatori. Da una condizione di carico normale si può passare a una condizione a vuoto con un aumento della tensione, soprattutto nelle macchine di elevata potenza, che può raggiungere valori che si avvicinano al 130%, e oltre in casi particolari, della tensione a carico normale.
- **Per guasto franco a terra** - Al verificarsi di un guasto franco a terra, la tensione verso terra della fase soggetta a guasto si azzerava mentre quella delle due fasi integre, al termine di un periodo transitorio, assume un valore 1,73 () volte maggiore della normale tensione di fase.

- **Per contatto accidentale tra alta e bassa tensione** - Possono essere causate da un contatto accidentale tra una linea in alta tensione e una linea in bassa tensione o per il cedimento dell'isolamento tra il primario e il secondario di un trasformatore. Per ovviare a tale tipo di guasto, nella rete in bassa tensione è prevista la messa a terra del neutro in modo che il contatto tra i due sistemi a tensione diversa si tramuti in un guasto a terra rilevabile dai previsti sistemi di protezione. Affinché la tensione di terra dovuta alla corrente di guasto sul primario non si riveli pericolosa, l'impianto di terra sulla bassa tensione deve essere opportunamente dimensionato. In un sistema in bassa tensione a neutro isolato si rende indispensabile la presenza di scaricatori fra il centro stella e la terra o fra le fasi e la terra.
- **Per ferrorisonanza** - La contemporanea presenza di componenti capacitive, ad esempio condensatori di rifasamento o cavi schermati, e componenti induttive saturabili, ad esempio trasformatori, reattori in ferro, ecc., possono dar luogo a sovratensioni dovute a fenomeni di risonanza. La non linearità della caratteristica di magnetizzazione del ferro degli elementi induttivi comporta infatti la possibilità che si presentino diversi livelli di funzionamento accompagnati da elevate tensioni sui vari elementi del sistema.

16.3.1.2 Sovratensioni di origine interna transitorie a fronte molto ripido:

- **Per innesco di arco elettrico a terra** - Si manifestano quando su una linea ad alta tensione con neutro isolato si innesca accidentalmente un arco elettrico tra un conduttore e la terra. La corrente d'arco che ne deriva si richiude attraverso le capacità parassite verso terra dei conduttori provocando l'azzeramento della tensione verso terra nella fase guasta ed il contemporaneo aumento nelle fasi sane. Il fenomeno è caratterizzato da un transitorio nel quale si ha uno scambio energetico fra i condensatori parassiti e le induttanze equivalenti della linea che producono una tensione ad andamento oscillatorio che può raggiungere tra le fasi un valore massimo 2,5 volte superiore a quello nominale di esercizio. La condizione più critica si può verificare in presenza di archi verso terra di natura intermittente perché ogni oscillazione si sovrappone al livello precedentemente raggiunto e la tensione può pervenire a valori pari a circa 4 volte la tensione di esercizio.
- **Per manovre** - L'apertura sotto carico di un interruttore comporta, come sappiamo, la formazione di un arco elettrico tra i contatti ed è seguita da fenomeni transitori dovuti agli scambi energetici tra i vari elementi dell'impianto. Questo influenza le sovratensioni in formazione che possono raggiungere valori pari al 130% della tensione di esercizio massima. I fattori che determinano l'ampiezza di tali sovratensioni possono essere ricercati nella velocità di separazione dei contatti dell'interruttore, nella presenza di componenti capacitive e induttive, nell'intensità della corrente e nell'istante in cui avviene l'interruzione. Nei sistemi a alta tensione, dove sono presenti significative componenti capacitive verso terra, i fenomeni di carica e scarica dei condensatori parassiti attraverso le induttanze equivalenti della linea comportano la formazione di sovratensioni con componenti oscillatorie smorzate che possono, in situazioni estreme, essere dell'ordine del 300-400% della tensione di esercizio. Altre sovratensioni di manovra di tipo impulsivo, con valori pari a circa due volte la tensione di esercizio, si possono evidenziare durante la chiusura di un circuito che alimenta un carico capacitivo (ad es. una linea a vuoto). Un'ultima condizione da esaminare può essere quella relativa all'apertura o alla chiusura non simultanea dei poli di un interruttore. In circuiti che presentano elevate capacità parassite verso terra o di rifasamento con neutro a terra e carichi induttivi, a causa di fenomeni di risonanza a frequenza di rete o a frequenze armoniche iniettate in rete da carichi non lineari, si possono stabilire sovratensioni elevate tra i poli dell'interruttore e verso terra o massa ai capi delle capacità o del carico.

11.3.2 Sovratensioni di origine esterna

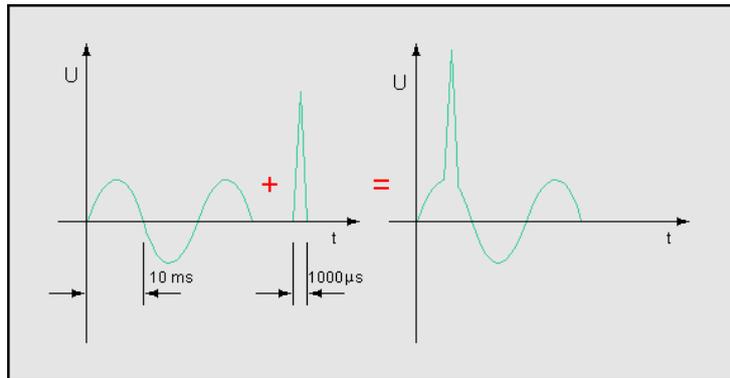


Fig. 4.3 - Sovratensione di origine esterna causata da un fulmine

Le sovratensioni di origine esterna possono essere a formazione lenta (transitorie a fronte lento) o impulsive (transitorie a fronte ripido).

Sovratensioni transitorie a fronte lento. Hanno origine da fenomeni di tipo elettrostatico dovuti alla presenza, in prossimità delle linee elettriche, di nubi cariche elettricamente (fig. 4.4).

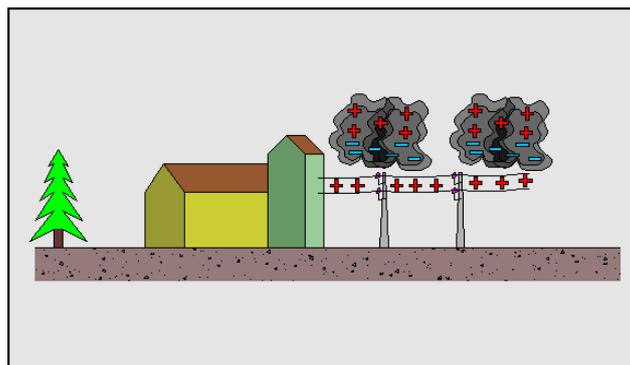


Fig. 4.4 - Sovratensioni di origine esterna a formazione lenta. Le cariche elettriche localizzate nelle stratificazioni inferiori delle nuvole determinano lo spostamento di cariche di segno opposto sulle linee sottostanti.

Le cariche elettriche, localizzate nelle stratificazioni inferiori della nuvola, determinano la migrazione di cariche di segno opposto sulle linee sottostanti. Il sistema resta stabile finché la nuvola non scarica verso terra e viene a mancare la forza attrattiva sulle cariche che si erano accumulate lungo la linea. Conseguentemente si manifesta una sovratensione che si propaga con forma d'onda impulsiva lungo i conduttori (fig. 4.5). Gli effetti di queste sovratensioni possono risultare nocivi soprattutto sulle linee a media tensione piuttosto che su quelle ad alta tensione.

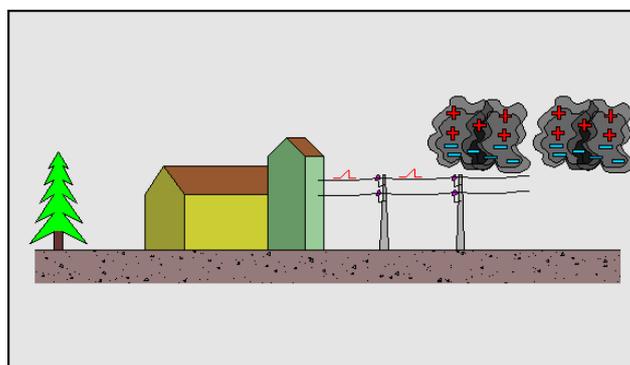


Fig. 4.5 - Sovratensioni di origine esterna a formazione lenta. Venendo meno la forza attrattiva delle nubi si liberano le cariche elettriche concentrate sulla linea determinando la formazione di sovratensioni di carattere impulsivo lungo la linea.

Sovratensioni transitorie a fronte ripido. Sono caratterizzate da una forma d'onda a fronte di salita ripido e fronte di discesa lento e sono provocate dai fenomeni di fulminazione atmosferica sia diretta che indiretta. La fulminazione diretta ha effetto sulla linea o sulle apparecchiature (gli impulsi di corrente si possono propagare fino alle abitazioni fig. 4.6) e presenta la medesima forma d'onda di tipo impulsivo della corrente di fulmine. Il valore massimo di questa sovratensione è normalmente compreso tra 1000 e 5000 kV essendo il valore di cresta dell'onda della corrente di fulmine stimabile tra alcune migliaia di ampere fino a oltre i cento chiloampere.

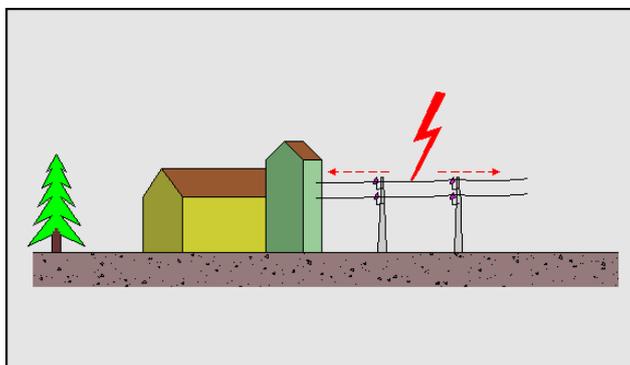


Fig. 4.6 - La corrente di fulmine si propaga anche verso le abitazioni

In caso di fulminazione indiretta il fulmine cade in prossimità dell'impianto (fig. 4.7). La corrente di fulmine non percorre l'impianto ma il campo elettromagnetico conseguente, variabile nel tempo con la stessa legge con cui varia la corrente di fulmine, interessa tutti i conduttori generando delle sovratensioni che si propagano per conduzione. Le sovratensioni che si sono formate sui conduttori creano a loro volta un campo magnetico provocando sui conduttori stessi l'insorgere di una sovratensione.

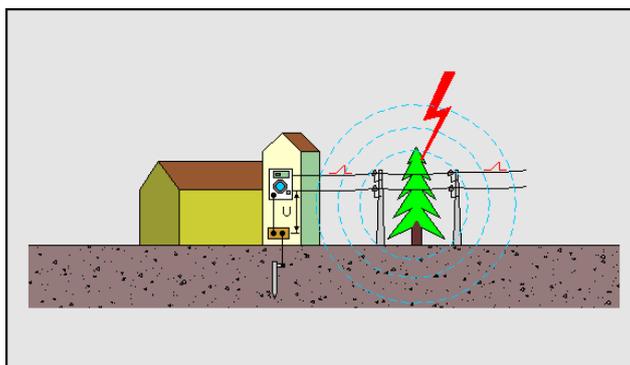


Fig. 4.7 - Le sovratensioni che si generano sui conduttori creano a loro volta un campo magnetico con la conseguente induzione sul conduttore stesso di una sovratensione

Il campo elettromagnetico può anche concatenarsi con le spire formate dai circuiti vicini, come ad esempio l'anello di terra, generando delle sovratensioni che dipendono dalla dimensione della spira e dalla pendenza della forma d'onda della corrente (fig. 4.8).

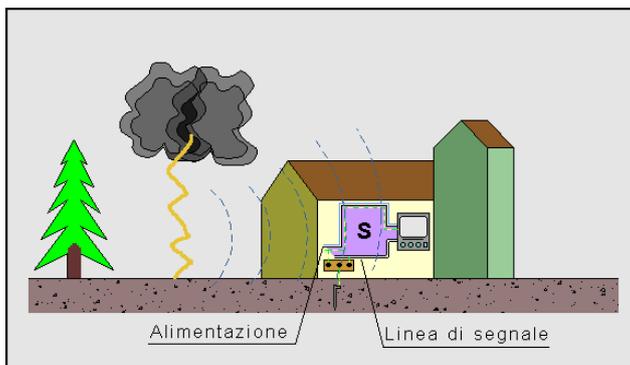


Fig. 4.8 - La sovratensione che si genera nella spira è proporzionale alla superficie S delimitata dai cavi di alimentazione e di segnale

Un colpo di fulmine a terra, come ultima conseguenza delle sovratensioni generate, può provocare infine un aumento del potenziale di terra mettendo a repentaglio l'incolumità degli animali e delle persone e nel contempo provocare danni alle installazioni collegate a terra nelle vicinanze del punto di caduta (fig. 4.9).

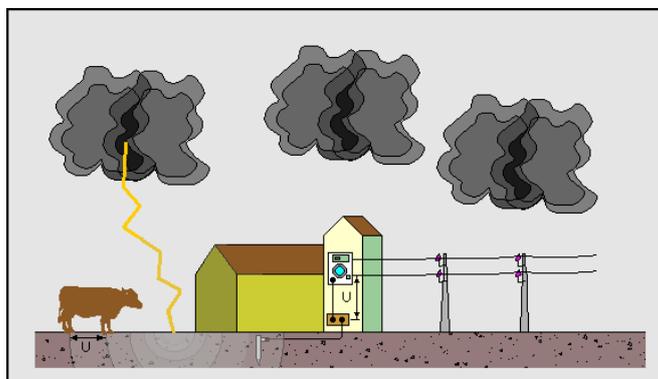
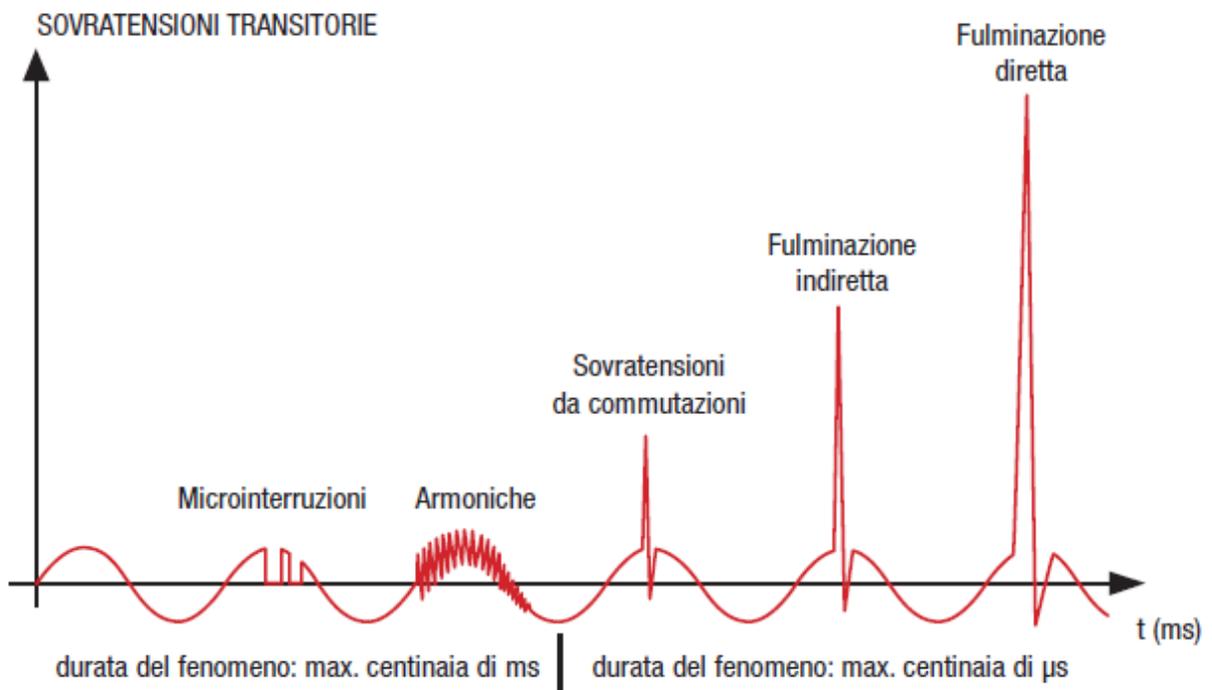


Fig. 4.9 - Un colpo di fulmine a terra può comportare l'aumento del potenziale di terra

Classe		Transitorie		
Forma d'onda				
Intervalli di frequenza o durata				
Forma d'onda normale				
Prova di tenuta normale				
Classe		Bassa frequenza		
Forma d'onda				
Intervalli di frequenza o durata				
Forma d'onda normale				
Prova di tenuta normale				

Tab. 4.1 - Classi e forme d'onda normalizzate delle tensioni e delle sovratensioni



11.3.3 Come si propagano le sovratensioni

Le sovratensioni possono manifestarsi fra le parti attive e la terra (longitudinali o di modo comune - fig.4.10a) oppure tra le parti attive (trasversali o differenziali fig. 4.10b). Nelle sovratensioni di modo comune tutti i conduttori assumono la stessa tensione verso terra perciò fra i conduttori attivi non si stabilisce alcuna sovratensione mentre sono sollecitati gli isolamenti verso terra di fase e neutro. Il pericolo maggiore lo corrono le apparecchiature dove la massa è connessa a terra essendo non trascurabili i rischi di scariche nel dielettrico. Le sovratensioni di modo differenziale interessano invece le parti attive (fase/fase o fase/neutro). In questo caso sono sollecitati gli isolamenti fra i conduttori e si presentano particolarmente pericolose per le apparecchiature elettroniche .

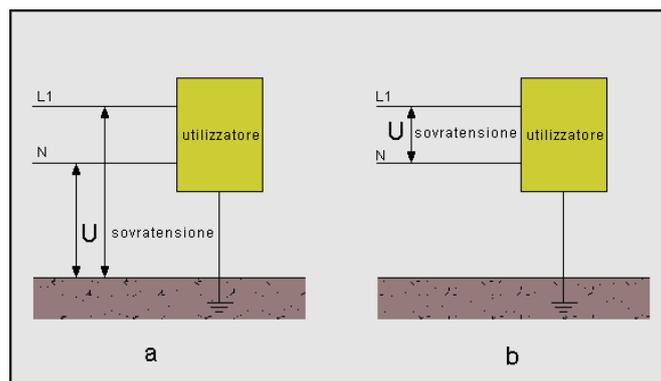


Fig. 4.10 - Le sovratensioni possono manifestarsi fra le parti attive e la terra (longitudinali o di modo comune - a) oppure tra le parti attive (trasversali o differenziali - b)

11.4. Scelta del tipo di protezione contro le sovratensioni

11.4.1 Quando è necessario installare le protezioni contro le sovratensioni

Non è sempre necessario installare delle protezioni contro le sovratensioni, dipende dal tipo e dal valore del rischio considerato. Un edificio può essere autoprotetto dalla fulminazione diretta, e quindi senza LPS (**Lightning Protection System, sistema di protezione dai fulmini**), ma potrebbe ugualmente avere bisogno di una protezione contro la fulminazione indiretta. Sappiamo che un fulmine può scaricarsi nelle vicinanze dell'edificio inducendo tensioni nei circuiti elettrici interni allo stesso edificio. Se l'edificio contiene installazioni essenziali o sensibili oppure in presenza di linee aeree entranti il rischio non è più trascurabile e occorre prendere provvedimenti contro le sovratensioni (Norma 81-1, appendice G). Il rischio, infatti, è limitato per le apparecchiature elettromeccaniche che vengono provate per un minuto ad una tensione di 1500 V e con impulsi di tensione di brevissima durata non inferiori a 2,5 kV, ma non lo è per le apparecchiature elettroniche che in genere sopportano sovratensioni di poco superiori a 1 kV se sono separate dalla rete mediante trasformatore e di circa 2 volte la tensione nominale se non lo sono. Il fulmine può colpire le linee elettriche, di energia o di segnale, e le sovratensioni conseguenti si propagano lungo le linee penetrando all'interno dell'edificio. In particolare la protezione da quest'ultimo tipo di sovratensioni è prescritta dalla norma CEI 64-8 che prende anche in considerazione quelle di origine interna generate da sovratensioni di manovra. Le sovratensioni originate dai fulmini sono generalmente le più critiche da arginare perciò, risolto il problema della loro protezione, si può ritenere soddisfatta anche la protezione per quelle di origine interna. Le protezioni contro le sovratensioni possono essere fondamentalmente di due tipi: primarie (LPS esterno) e secondarie (LPS interno) (fig. 5.1). L' LPS esterno deve essere in grado di intercettare il fulmine, di condurre e di disperdere a terra la corrente provocata dal fulmine mentre L' LPS interno deve evitare la formazione di scariche pericolose.

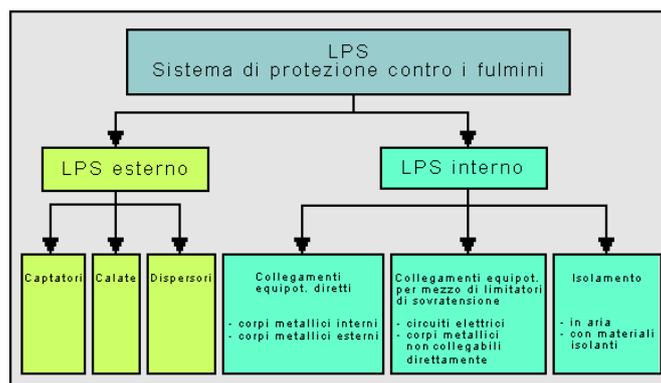


Fig. 5.1 - Elementi di un sistema LPS di protezione

11.4.2 LPS esterno

Con l'installazione di un LPS esterno si intende proteggere le strutture dal rischio di fulminazione diretta. I mezzi per ottenere tale scopo sono i captatori (intercettazione), le calate (conduzione) e il dispersore (dispersione a terra della corrente). Quando i captatori e le calate sono isolati dalla struttura si parla di LPS esterno isolato (richiesto dalla Norma quando si vuole evitare che una parte, seppur minima, della corrente interessi l'interno dell'edificio da proteggere, ad esempio quando è presente il rischio di esplosione), altrimenti si parla di LPS esterno non isolato. L'isolamento lo si ottiene con opportuno distanziamento in aria o con interposizione di materiali isolanti.

11.4.3 LPS interno

L'LPS esterno, se si vuole limitare il rischio di scariche e sovratensioni pericolose nel caso di fulminazione diretta, non può prescindere da un ben dimensionato LPS interno. Tale sistema prevede la predisposizione di tutte le misure di protezione atte a limitare gli effetti elettromagnetici della corrente di fulmine. Con modalità diverse a seconda che l'LPS esterno sia isolato o non isolato si dovranno realizzare adeguati collegamenti equipotenziali, diretti quando possibile o attraverso limitatori di sovratensione negli altri casi (conduttori attivi). Ovviamente in quest'ultimo caso l'equipotenzialità si ottiene solo durante il passaggio della corrente di fulmine attraverso il limitatore di sovratensione. L'LPS interno è classificato, in funzione del modo di collegamento, in protezioni serie e protezioni parallelo.

11.4.3.1 Protezioni serie

Sono installate in serie all'alimentazione dell'installazione da proteggere e devono essere dimensionate in funzione della potenza dell'installazione stessa:

- *Trasformatori*: Possono essere impiegati per limitare le sovratensioni e le componenti armoniche.
- *Filtri*: Sono ottenuti impiegando resistenze, induttanze e capacità, *proteggono sia dalle sovratensioni industriali o di manovra sia da quelle di origine atmosferica.*
- *Stabilizzatori e gruppi di continuità*: Adatti per la protezione di apparecchiature particolarmente sensibili per le quali devono essere garantite un'alimentazione stabile e la continuità del servizio. *Non garantiscono la protezione contro le sovratensioni di origine atmosferica.*

11.4.3.2 Protezione in parallelo

Sono le protezioni più utilizzate perché si adattano bene alla potenza dell'installazione da proteggere:

- *Scaricatori di sovratensione* - Sono impiegati, nei luoghi ove si opera la trasformazione MT/BT, in uscita dai trasformatori oppure nei sistemi a neutro isolato per scaricare a terra le eventuali sovratensioni.
- *Scaricatori per basse tensioni* - Possiedono una capacità di scarica limitata ma sono installabili all'interno dei quadri di distribuzione. Se opportunamente coordinati garantiscono una discreta protezione dalle sovratensioni sia di origine esterna, sia di origine interna.

11.5 Gli SPD (Surge Protective Device) nella protezione dalle sovratensione negli impianti elettrici utilizzatori

Gli effetti delle sovratensioni si possono manifestare in diversi punti dell'impianto in bassa tensione. Per poterli contenere entro limiti accettabili per l'impianto e le apparecchiature occorre installare gli SPD. Il principio di funzionamento di tali dispositivi si fonda sulla capacità di innescare un arco elettrico tra una parte dell'impianto e l'impianto di terra quando si manifesta una sovratensione e di ripristinare l'isolamento quando l'impulso di tensione si annulla. Sono presenti sul mercato in grande quantità, con tecnologie costruttive e caratteristiche anche molto diverse fra loro. Di seguito vengono classificati e descritti i componenti più comuni presenti sul mercato.

11.5.1 Dati nominali e classificazione degli SPD secondo la nuova guida C799

Un SPD ideale dovrebbe possedere corrente nominale di scarica infinita, tempo di innesco e tensione residua nulli ed essere in grado di interrompere tutte le correnti susseguenti fino al valore della corrente presunta di corto circuito nel punto di installazione. Il dispositivo ideale non esiste perché la tensione residua dipende dalla corrente di scarica e il tempo d'innesco è funzione inversa della tensione d'innesco.

La piena comprensione di quanto proposto e dei suggerimenti per la selezione e installazione degli SPD, rende necessaria una corretta definizione e piena comprensione di numerosi termini tecnici.

- **SPD in Classe di prova I (IEC 61643-1/A1) o tipo 1 (CEI EN 61643-11/A11):** SPD provato con la corrente nominale di scarica I_n e con la corrente impulsiva I_{imp} . Sono costruiti per sopportare gran parte della corrente di fulmine. La corrente di prova I_{imp} , quando si deve verificare la massima capacità di scarica, presenta una forma d'onda 10/350 microsecondi, tipica della corrente di fulmine. Per verificare la corrente nominale di scarica I_n la corrente di prova assume, invece, la forma d'onda 8/20 microsecondi. Possono scaricare gran parte della corrente di fulmine e quindi sono utilizzati dove il rischio di fulminazione diretta è elevato: all'ingresso delle linee di alimentazione in strutture dotate di LPS esterno, nelle strutture senza LPS esterno quando è indispensabile ridurre alcune componenti di rischio, sulle linee aeree entranti nelle strutture con l'ultimo tratto interrato inferiore a 150 m e sui quadri elettrici sia primari che secondari per collegarsi, attraverso il PE, all'LPS esterno.
- **SPD in Classe di prova II (IEC 61643-1/A1) o tipo 2 (CEI EN 61643-11/A11):** SPD provato con la corrente nominale di scarica I_n e con la max. corrente di scarica I_{max} . Sono provati con una corrente di prova con forma d'onda 8/20 microsecondi, sia per la verifica della corrente nominale di scarica I_n sia di quella massima I_{max} . Non sono adatti alla protezione contro le scariche dirette ma possono essere impiegati quando si debbano scaricare correnti provocate da sovratensioni indotte o piccole parti della corrente di fulmine: all'ingresso delle linee di alimentazione delle strutture senza LPS esterno, nei quadri divisionali se distano più di 10 m dal quadro principale, nei quadri delle strutture senza LPS esterno nelle quali è necessario ridurre alcune componenti di rischio e nei quadri elettrici di strutture ubicate in zone con una elevata frequenza di fulminazione per unità di superficie.
- **SPD in Classe di prova III (IEC 61643-1/A1) o tipo 3 (CEI EN 61643-11/A11):** SPD provato con il generatore combinato. Sono provati con un generatore in grado di fornire contemporaneamente una corrente di prova con forma d'onda 8/20 microsecondi a circuito chiuso in cortocircuito e una tensione con forma d'onda 1,2/50 microsecondi a circuito aperto. Questo tipo di SPD può essere usato per la protezione di apparecchiature collegate a circuiti già protetti con SPD di classe I o II. Possono essere installati nelle vicinanze delle apparecchiature da proteggere e all'ingresso di quadri divisionali.
- **SPD con intervento a "innesco":** Un SPD che, in **assenza di sovratensioni**, ha un'alta impedenza, ma che può cambiare rapidamente verso una bassa impedenza in presenza di una sovratensione impulsiva. Tali sono, ad esempio, gli SPD che utilizzano come dispositivi d'innesco gli spinterometri, i tiristori ed i triac.
- **SPD con intervento a "limitazione":** Un SPD che, in **assenza di sovratensioni**, ha un'alta impedenza, che si riduce con continuità con l'aumentare della tensione e della corrente impulsiva. Tali sono, ad esempio, gli SPD che utilizzano dispositivi non lineari, quali i varistori ed i diodi.
- **SPD di tipo combinato:** Un SPD che incorpora sia componenti di tipo ad innesco che componenti di tipo a limitazione (collegati in serie, in parallelo o combinazioni di esse) e che può intervenire in entrambe le modalità in relazione alle caratteristiche della tensione applicata.
- **SPD N-PE:** Apparecchio di protezione previsto per l'installazione tra il conduttore N e PE.
- **SPD multipolare:** E un tipo di SPD con più modi di protezione, o una combinazione di SPD elettricamente interconnessi e offerti come un'unità.

- **Tensione massima continuativa U_c :** Valore efficace massimo ammissibile alla frequenza nominale che può essere applicato in funzionamento permanentemente (in pratica coincide con la tensione nominale dell'SPD). Dipende dal modo di collegamento del neutro e dal tipo di protezione offerta dallo scaricatore (modo comune o modo differenziale)
- **Frequenza nominale f :** Solitamente 50 o 60 Hz.
- **Corrente impulsiva I_{imp} :** Valore di picco della corrente con forma d'onda 10/350 microsecondi che circola nell'SPD. Utilizzata per la prova degli SPD di classe I adatti alla protezione contro la corrente di fulmine o da fulminazione diretta.
- **Corrente nominale di scarica I_n in kA:** Valore di cresta dell'onda dell'impulso di corrente 8/20 microsecondi di prova. Questo valore non deve essere superato perché altrimenti non è garantita l'integrità del dispositivo e l'annullamento di una eventuale corrente susseguente (corrente, sostenuta dalla sorgente a frequenza industriale, che fluisce tramite l'SPD al termine dell'impulso di sovratensione) che può essere paragonata ad un cortocircuito. Utilizzata per la prova degli SPD di classe II.
- **Corrente nominale dell'interruttore o fusibile di protezione.**
- **Anno di costruzione** Per i dispositivi soggetti a invecchiamento.
- **Livello di protezione U_P :** Valore di tensione, scelto tra una serie di valori preferenziali, che determina il comportamento dell'SPD nel limitare la tensione tra i suoi terminali. Tali valori di tensione devono essere coordinati con i valori delle tensioni di tenuta degli apparecchi da proteggere. La protezione risulta tanto più efficace quanto più è basso il livello di protezione U_P rispetto al valore della tensione di tenuta delle apparecchiature a valle.
- **Tempo d'innescamento ad impulso t_i :** Periodo che intercorre tra il momento in cui si manifesta l'impulso e l'inizio della scarica.
- **Tensione a vuoto U_{oc} :** Valore di picco della tensione a vuoto con forma d'onda 1,2/50 microsecondi fornita dal generatore di prova combinato in grado di erogare contemporaneamente una corrente di corto circuito con forma d'onda 8/20 microsecondi. Utilizzato per la prova degli SPD di classe III.
- **Corrente massima di scarica I_{max} :** Massima corrente (non utilizzata per la classificazione dell'SPD) con forma d'onda 8/20 microsecondi che l'SPD è in grado di sopportare almeno una volta senza danneggiarsi. Questo valore di corrente è utilizzato per classificare gli SPD di classe II adatti alla protezione contro le sovratensioni originate da fulminazione indiretta. L'eventuale corrente di guasto dovrà essere interrotta per mezzo di un sistema di protezione esterno (interruttore magnetotermico o fusibili) installato a monte dell'SPD.
- **Corrente continuativa I_c :** Corrente di dispersione verso il PE, del valore di qualche milliampere, tollerata in funzionamento ordinario quando ai capi dell'SPD è applicata la tensione continuativa U_c . Tale corrente se non correttamente valutata potrebbe influire (interventi indesiderati) sul corretto funzionamento degli interruttori differenziali installati a monte dell'SPD.
- **Tensione residua U_{res} :** Valore di picco della tensione che si stabilisce ai capi dell'SPD durante il passaggio della corrente di scarica. Tale valore deve essere più basso della tensione di tenuta ma, onde evitare che si stabiliscano correnti di scarica al cessare della sovratensione, superiore a quello della tensione massima dell'impianto.
- **Livello di protezione effettivo U_{prot} :** È il valore della tensione che si stabilisce tra i conduttori dell'impianto e la barra equipotenziale durante il passaggio della corrente di scarica o d'impulso. Dipende dal livello di protezione dell'SPD e dalla caduta di tensione induttive nei collegamenti.

- **Corrente susseguente I_s** : Corrente a frequenza industriale che può circolare verso terra al cessare della sovratensione. Se l'impedenza non ripristina l'isolamento verso terra la corrente assume valori tanto più alti quanto maggiore è la differenza tra tensione nominale U_n e tensione residua U_{res} sull'SPD. Tale corrente può raggiungere valori prossimi al corto circuito determinando l'intervento dei dispositivi di protezione e la messa fuori servizio dell'SPD. Questo problema, presente soprattutto negli spinterometri, può essere evitato installando SPD con una tensione residua maggiore della tensione nominale.
- **Tensione di tenuta U_{tenuta}** : E' il massimo valore di tensione ad impulso sopportabile dall'apparecchiatura senza danneggiarsi.
- **Tensione d'inesco dell'SPD U_i** : Deve essere inferiore a quella della tensione di tenuta U_{tenuta} delle apparecchiature da proteggere.
- **Corrente di scarica totale (I_{total})**: Corrente che fluisce attraverso il conduttore di terra di un SPD multipolare durante la prova della corrente totale di scarica.
- **Tenuta al corto circuito**: Corrente di cortocircuito massima presunta che l'SPD è in grado di sopportare.
- **Capacità di estinzione autonoma della corrente seguente di rete (I_f)**: Capacità dell'SPD di estinguere autonomamente la corrente seguente di rete senza l'intervento della limitazione di sovracorrente di back-up.
- **NFC No Follow Current®**: Caratteristica dell'SPD che impedisce la circolazione della corrente seguente di rete, prevenendo così l'intervento intempestivo delle protezioni di sovracorrente.
- **Livello di protezione (U_p)**: Valore di tensione che caratterizza il comportamento dell'SPD nel limitare la tensione tra i suoi terminali, e scelto generalmente tra una serie di valori preferenziali.
- **Dispositivo di distacco**: Dispositivo per disconnettere un SPD dal sistema in caso di guasto dell'SPD. Esso previene un guasto permanente nel sistema e fornisce un'indicazione ottica.
- **Sovratensione temporanea (TOV)**: Sovratensione oscillatoria smorzata (o debolmente smorzata) alla frequenza di rete e di relativamente lunga durata.
- **Comportamento dell'SPD in caso di Sovratensione temporanea (TOV)**: Un SPD deve resistere ad una TOV senza modifiche della sua funzionalità oppure guastarsi in modo sicuro. Verifica della modalità di guasto alla TOV. Verifica della modalità di tenuta alla TOV.
- **Sistema APS (Active and Passive Safety)**: Sistema di sicurezze attive e passive per la minimizzazione di possibili problemi prima del fine vita a circuito aperto degli SPD per fotovoltaico.

11.5.2 Tecnologia utilizzata negli SPD

Gli SPD possono essere suddivisi in funzione della tecnologia adottata.

- **Spinterometro** - Possono essere in aria (fig. 5.2) o in gas (fig. 5.3). Presentano un'impedenza elevata in assenza di sovratensione (assenza di corrente di fuga alla tensione di esercizio), ma quando avviene l'innesco riducono rapidamente a pochi volt la tensione ai loro capi. Sono costituiti da due elettrodi fra i quali, al manifestarsi di una sovratensione, si innesca un arco elettrico che si estingue quando la corrente scende al di sotto di qualche decina di ampere. Il valore della tensione di innesco non è sempre costante perché dipende dalle condizioni di pressione, umidità e presenza di impurità nell'aria o nel gas. Negli spinterometri in gas la tensione d'innesco risulta generalmente più costante perché la scarica avviene in un involucro protetto rispetto l'ambiente. Si riduce però, rispetto ad uno spinterometro in aria, la capacità di scarica perché diventa più problematico smaltire il calore prodotto dall'arco. Il ritardo con cui talvolta può avvenire l'innesco dipende dal valore della tensione necessaria a provocarlo che cresce con la ripidità del fronte d'onda della sovratensione. Non sempre questi dispositivi garantiscono la sicura estinzione dell'arco perché a volte la tensione di esercizio del sistema, quando è superiore a quella d'arco, può sostenere l'arco stesso. Questo è un problema che occorre risolvere perché la corrente, in queste condizioni, è quella di corto circuito nel punto di installazione. Per correnti della decina di ampere si può intervenire con dispositivi che allungano e raffreddano l'arco ma, per correnti elevate, il problema può essere risolto solo installando interruttori o fusibili a monte dello spinterometro. Sono caratterizzati da elevate correnti nominali di scarica: fino a 60 kA con forma d'onda 10/350 microsecondi e 100 kA con forma d'onda 8/80 microsecondi. La tensione d'innesco e quella residua sono dell'ordine dei 4 kV e sono comunemente classificati di classe I.

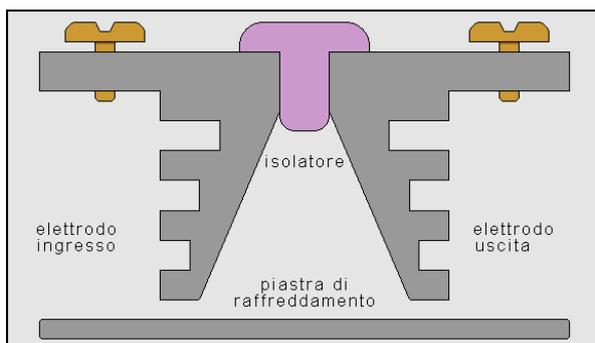


Fig. 5.2 - Spinterometro in aria

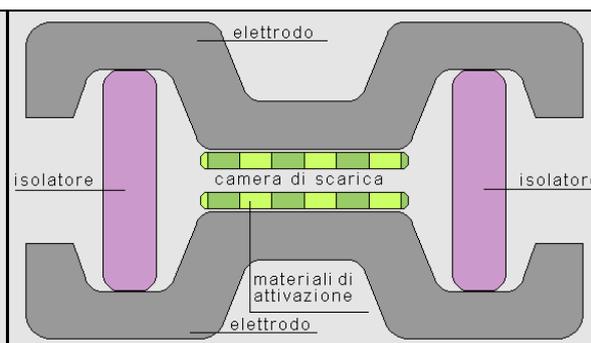


Fig. 5.3 - Spinterometro in gas

- **Varistore** - Si tratta di un dispositivo ad ossido di zinco o carburo di silicio molto diffuso sul mercato (fig. 5.4). Quando è sottoposto alla tensione di esercizio presenta un'impedenza molto elevata che si riduce, tendendo a zero, al crescere della tensione. Si determina in tal modo un vero e proprio corto circuito che favorisce la rapida dispersione della corrente verso terra con la tensione ai capi del varistore che si mantiene praticamente costante. Si utilizza in condizioni non particolarmente severe: correnti di scarica dell'ordine dei 10-15 kA con impulso 8/20 microsecondi, tensioni d'innesco che possono variare da pochi volt a qualche kV e quando è richiesto il sicuro ripristino dell'isolamento al venir meno della sovratensione. Con forme d'onda 10/350 microsecondi, tipiche della corrente di fulmine, le correnti nominali di scarica non superano i 4 kA. Il varistore è soggetto a progressivo degrado a causa della piccola corrente di fuga presente alla tensione di esercizio e del numero di interventi che è chiamato ad effettuare. Ad ogni sovratensione subita la corrente di fuga aumenta provocando nel tempo la fine vita del dispositivo che è bene sia segnalata tramite diodo led. Sono normalmente classificati di classe II.

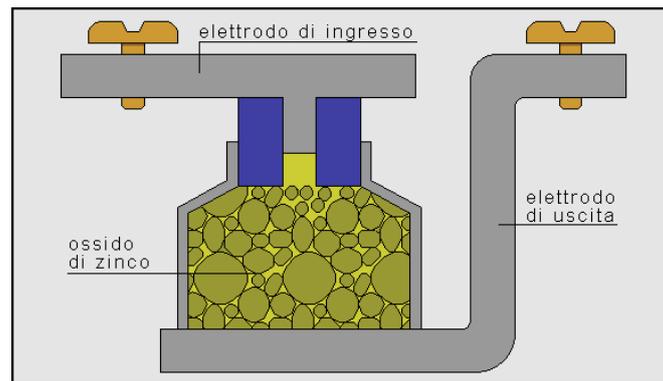


Fig. 5.4 – Varistore

- **Diodi soppressori (diodi Zener)** - Presentano una curva che si avvicina alla curva ideale e sono caratterizzati da tempi di risposta molto rapidi e da basse correnti di fuga. Possono però sopportare energie specifiche limitate rispetto agli spinterometri e ai varistori e sono quindi utilizzati, in associazione ad altre protezioni, per la protezione terminale delle apparecchiature. Il principio di funzionamento sfrutta le caratteristiche del diodo Zener (fig. 5.5), molto robusto e in grado di sopportare correnti di qualche centinaio di ampère, protetto mediante un fusibile. Questi componenti sono spesso incorporati in connettori o adattatori a presa-spina, classificati abitualmente in classe III.

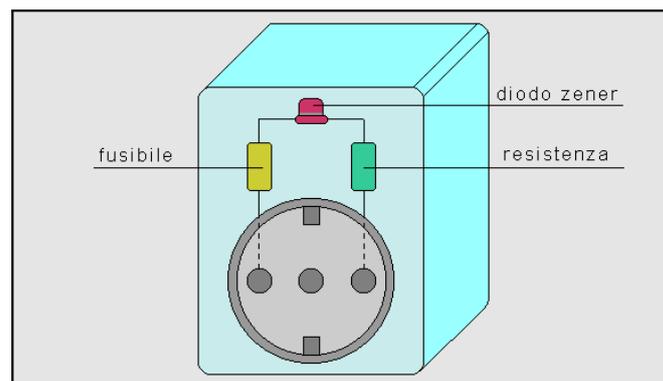


Fig. 5.5. - Diodo soppressore (diodo Zener)

- **SPD di tipo combinato** - La combinazione può essere ottenuta connettendo in serie o in parallelo tra di loro uno spinterometro e un varistore. La combinazione in serie agevola l'estinzione dell'arco e garantisce l'isolamento nelle condizioni di normale esercizio. Queste caratteristiche si ripercuotono positivamente sulla durata di vita del limitatore perché si evita il corto circuito sul dispositivo e, in condizioni di funzionamento ordinario, il varistore non è percorso da nessuna corrente di fuga. Quando si vogliono ottenere correnti di scarica elevate, tempi di intervento rapidi e tensione quasi costante ai capi dell'SPD si utilizzano dispositivi combinati con varistore e spinterometro collegati in parallelo. Il varistore garantisce l'intervento senza ritardo alla tensione fissata mentre lo spinterometro permette di innalzare il valore della tensione ai capi dell'SPD e, intervenendo, di limitare l'energia specifica passante a valori accettabili per lo spinterometro.

Le principali caratteristiche dei componenti utilizzati sono riportate in fig. 5.6.

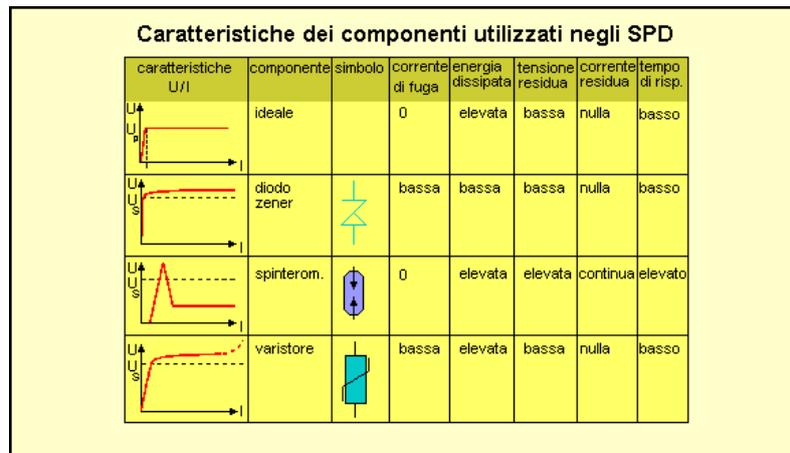


Fig. 5.6 - Principali caratteristiche degli scaricatori di sovratensioni

11.5.3 Dati di targa e criteri di scelta degli SPD

In funzione della classe di prova degli SPD, in fig. 5.7 sono rappresentati alcuni esempi di targhe e in tab. 5.1 sono riassunti i criteri di scelta.

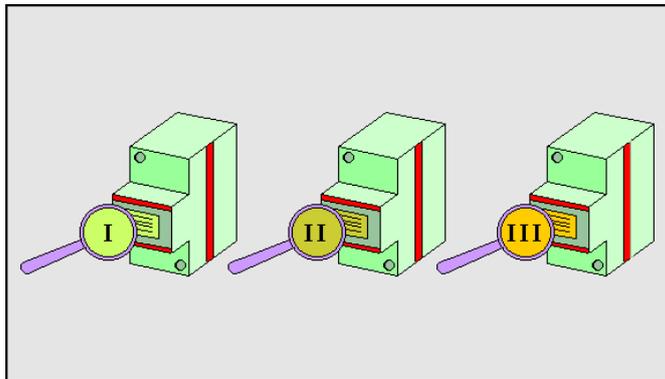


Fig. 5.7 - Classificazione degli SPD e esempi di dati di targa

Protezione	Criteri di scelta	Classe di prova	Funzione svolta	Parametro di scelta
Sovratensioni per fulminazione diretta	<p>Ingressi di linee di alimentazione delle strutture dotate di LPS esterno</p> <p>Sui quadri elettrici primari e secondari, delle strutture dotate di LPS esterno, collegati attraverso PE direttamente alle calate e ai dispersori dell'LPS esterno.</p> <p>Linee aeree entranti nelle strutture con tratto interrato minore di 150 m</p> <p>Sulle strutture senza LPS esterno sulle quali è stato necessario ridurre le componenti di rischio A-D-C previste dalla norma 81-4</p>	I	Scarica la corrente di fulmine	<p>I_{imp} 10/350 microsecondi (kA)</p>
Sovratensioni per fulminazione indiretta	<p>Ingresso di linee di alimentazione delle strutture senza LPS esterno nel quadro principale di distribuzione</p> <p>Nei quadri secondari quando la distanza dal quadro principale è maggiore della distanza di protezione (maggiore di 10 m)</p>	II	Elimina le sovratensioni generate dal fulmine deviando la corrente	<p>I_n 8/20 microsecondi (kA)</p>

	<p>Nei quadri delle strutture senza LPS esterno sulle quali è stato necessario ridurre le componenti di rischio D-M-G previste dalla Norma CEI 81-4</p> <p>Nei quadri elettrici di edifici con apparecchiature sensibili ubicati in luoghi ad elevato numero di fulmini al suolo</p>			
Sovratensioni per accoppiamento induttivo	In prossimità delle utenze finali, nelle prese fisse o mobili multiple, o nei quadri intermedi.	III	Protegge gli apparecchi dalle sovratensioni indotte	<p>Uoc 1,2/50 microsecondi (kV)</p>

Tab. 5.1 - Tabella riassuntiva dei criteri di scelta degli SPD in funzione della classe di prova

11.5.4 Protezione scariche atmosferiche, fulmine come sorgente di danno

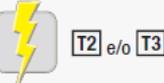
La **protezione da scariche atmosferiche** è un'assicurazione necessaria: i fulmini vengono considerati dalla norma CEI 81-10 come sorgenti di danno che, a secondo del diverso punto di impatto, producono diversi tipi di danno in una struttura ed in un servizio. Ciascun tipo di danno, da solo o in combinazione con gli altri, può produrre diversi tipi di perdita:

I danni causati da fulmini possono essere i seguenti:

- D1 Danni a esseri viventi dovuto a tensioni di contatto e di passo;
- D2 Danni materiali (incendio, esplosione, distruzione meccanica, rilascio di sostanze chimiche) dovuti agli effetti della corrente del fulmine, scariche “distruttive” incluse;
- D3 Guasti agli impianti interni dovuti all’impulso elettromagnetico del fulmine (LEMP).

Ad ogni tipo di perdita è associata una componente di rischio R. Il rischio R è la misura della probabile perdita media annua. Per ciascun tipo di perdita che può verificarsi in una struttura o in un servizio deve essere valutato il relativo rischio.

<i>Perdita</i>	<i>Rischio</i>
L1 Perdita vite umane nella struttura	R1 Rischio perdita vite umane nella struttura
L2 Perdita servizio pubblico nella struttura	R2 Rischio perdita servizio pubblico nella struttura
L3 Perdita eredità culturale nella struttura	R3 Rischio perdita eredità culturale nella struttura
L4 Perdita economica nella struttura	R4 Rischio perdita economica nella struttura
L'2 Perdita servizio pubblico in un servizio	R'2 Rischio perdita servizio pubblico in un servizio
L'4 Perdita economica in un servizio	R'4 Rischio perdita servizio in un servizio

Causa	Fulmine Sorgente di danno	Effetto	Soluzione: Utilizzare SPD tipo
 Fulmine sulla struttura	 S1		 T1 e T2
 Fulmine vicino alla struttura	 S2		 T2
 Fulmine sul servizio	 S3		 T1
 Fulmine vicino al servizio	 S4		 T2 e/o T3

Tipologie di SPD:

-  SPD per scariche dirette ed indirette.
SPD Tipo 1 e Tipo 2 T1 e T2
-  SPD per scariche dirette.
SPD Tipo 1 T1
-  SPD per scariche indirette.
SPD Tipo 2 o Tipo 3 T2 e/o T3

L’approccio moderno alla **protezione contro i fulmini** di una struttura è basato fondamentalmente sull’analisi del rischio, in accordo con la norma CEI 81-10. Tale norma richiede di valutare il confronto tra il rischio calcolato R ed il rischio accettabile o massimo tollerato R_t ; tale che sia: $R \leq R_t$.

L’analisi del rischio effettuata in conformità con la norma CEI 81-10 garantisce per la Legislazione Italiana DM 37/08 il rispetto della regola dell’arte.