



Guida all'utilizzo degli scaricatori di sovratensione

2013





**Guida all'utilizzo
degli scaricatori
di sovratensione
2013**

Prefazione

Questo testo è stato scritto a 4, 8, ... 1132 mani, cioè insieme ai Clienti che Finder ha incontrato per dare informazioni sul funzionamento e su come installare correttamente un SPD in un impianto industriale, civile o fotovoltaico.

Il linguaggio utilizzato è volutamente discorsivo per trasmettere concetti complicati nella maniera più semplice possibile. Vi sono parentesi tecniche per approfondimenti con un po' di matematica, ma nulla di cui aver paura...

Sebbene si introduca la Variante 3 della CEI 64/8 e il prEN 50539-11 per il settore fotovoltaico, questo testo non ha la presunzione di essere una guida normativa. Per questo e per ulteriori approfondimenti si rimanda alla lettura dei testi riportati in bibliografia.

Sommario

| | |
|--|-----------|
| 1 - L'origine del fulmine | pagina 1 |
| Fulmine discendente negativo | pagina 1 |
| Fulmine discendente positivo | pagina 3 |
| Fulmini ascendenti | pagina 3 |
| Perché proteggersi dalle sovratensioni? | pagina 3 |
| 2 - Tipi di fulminazione | pagina 4 |
| Principi generali | pagina 5 |
| Livello di immunità, tensione di tenuta e il danno economico | pagina 8 |
| Le sovratensioni | pagina 8 |
| Le sovratensioni di manovra | pagina 9 |
| Le sovratensioni di origine atmosferica | pagina 9 |
| Fulminazione diretta e indiretta | pagina 9 |
| Sovratensioni indotte | pagina 10 |
| Fulminazione diretta | pagina 11 |
| 3 - Funzionamento di un SPD | pagina 12 |
| Tipologie di SPD | pagina 14 |
| Lo spinterometro | pagina 14 |
| Principio di funzionamento | pagina 15 |
| Corrente susseguente | pagina 16 |
| Il varistore | pagina 17 |
| 4 - Dati di targa e applicazioni pratiche degli SPD | pagina 20 |
| Surge Protective Device... SPD in pratica | pagina 22 |
| 5 - Tecniche di installazione | pagina 24 |
| Distanza di protezione | pagina 28 |
| Sistema di SPD e il coordinamento energetico | pagina 30 |
| Sistemi di back-up: fusibili, interruttori magnetotermici e magnetotermici differenziali | pagina 32 |
| 6 - Applicazioni industriali | pagina 35 |
| Sistema TN | pagina 35 |
| Sistema IT | pagina 37 |
| Sistema TT | pagina 39 |
| Modi di protezione degli SPD | pagina 42 |
| 7 - Applicazioni nel civile | pagina 43 |
| SPD di MT | pagina 43 |
| SPD a monte o a valle del differenziale? | pagina 44 |
| CEI 64-8 Variante 3 | pagina 45 |
| 8 - Impianti fotovoltaici: protezione contro fulmini e sovratensioni | pagina 49 |
| Fulminazione diretta | pagina 49 |
| Fulminazione diretta per impianto PV a terra: | pagina 50 |
| Impianto fotovoltaico sul tetto di un edificio: | pagina 50 |
| Fulminazione indiretta | pagina 50 |
| Misure di protezione contro le sovratensioni. Protezione LATO AC | pagina 51 |
| Misure di protezione contro le sovratensioni. Protezione LATO DC | pagina 53 |
| Misure preventive | pagina 55 |
| Protezione degli SPD: fusibili o magnetotermici? prEN 50539-11 | pagina 56 |
| Esempi applicativi - Impianto fotovoltaico domestico, inverter nel sottotetto | pagina 58 |
| Esempi applicativi - Impianto fotovoltaico domestico, inverter nel seminterrato | pagina 59 |
| Esempi applicativi - Impianto fotovoltaico sul tetto di piccola potenza | pagina 60 |
| Esempi applicativi - Impianto fotovoltaico a terra | pagina 61 |
| Esempi applicativi - Impianto fotovoltaico sul tetto di media/grande potenza | pagina 62 |

1 - L'origine del fulmine

I fulmini sono scariche elettriche che si possono verificare durante l'attività temporalesca. Durante l'attività temporalesca, all'interno delle nubi, generalmente cumulonembi, avviene una separazione di cariche di polarità opposta: le cariche negative si dispongono sulla parte inferiore della nube, quelle positive sulla parte superiore.

La formazione di cariche all'estremità della nube avviene attraverso lo sfregamento di particelle di ghiaccio e di acqua messe in movimento dalle correnti d'aria calda ascendenti all'interno della nube.

Volendo rappresentare graficamente la distribuzione di cariche possiamo immaginare un grosso dipolo il cui campo elettrico si richiude nel terreno (Figura 1).

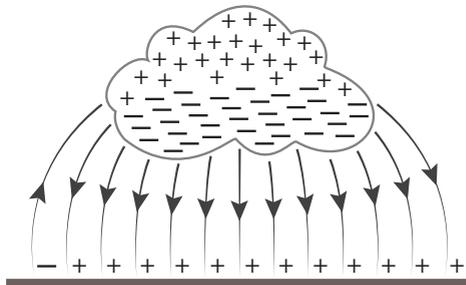


Figura 1:
distribuzione di cariche elettriche all'interno della nube
e andamento del campo elettrico

La scarica avviene quando l'intensità del campo elettrico supera il valore di rigidità dielettrica dell'aria che in caso di aria asciutta e pulita, è pari a 30 kV/cm. Durante l'attività temporalesca, a causa dell'umidità e del pulviscolo atmosferico presente, la rigidità dielettrica dell'aria crolla a pochi kV/cm, rendendo così, più facile la scarica.

Possiamo identificare tre famiglie di fulmini:

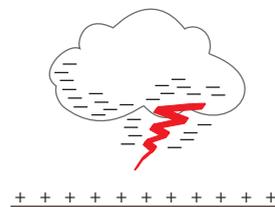
- 1) Fulmine nube-nube: quando la scarica avviene tra due nubi vicine
- 2) Fulmine intranube: quando la scarica avviene all'interno della stessa nube
- 3) Fulmine nube-terra: quando la scarica avviene tra il terreno e la nube, indipendentemente dall'origine

Proseguendo nella classificazione dei fulmini possiamo innanzitutto definire "fulmine discendente" il fulmine che parte dalla nuvola, mentre definiamo "ascendente" il fulmine che parte dal terreno. Ancora possiamo classificare i fulmini secondo la propria polarità, definita per convenzione uguale a quella della carica della nuvola: distinguiamo quindi fulmini positivi e fulmini negativi.

Fulmine discendente negativo

Descriviamo il percorso seguito da un fulmine negativo nube-terra, durante la sua formazione. Questa tipologia di fulmini per noi è quella più interessante, in quanto più frequente. Distinguiamo le seguenti fasi:

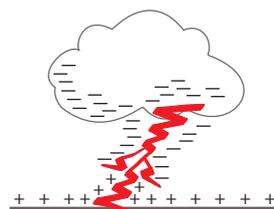
Fase 1: le cariche elettriche si accumulano in una zona della nuvola, il campo elettrico locale cresce fino a superare la rigidità dielettrica dell'aria: in quel punto avviene la prima scarica che ha una lunghezza di pochi centimetri. In questa fase iniziale, le correnti associate assumono valori che in media non superano i 500 A (occasionalmente raggiungono qualche kiloampere) e sono caratterizzate da un andamento irregolarmente piatto. Per questo motivo si parla di "corrente continua".



Fase 2: la scarica si propaga fino a quando la rigidità dielettrica dell'aria è inferiore a quella associata alle cariche elettriche: se è superiore la scarica si arresta. Essendosi aperto un canale ionizzato, altre cariche fluiscono dalla nube, intensificando il campo nel punto di arresto. Il campo elettrico riprende ad aumentare fino a generare una nuova scarica, in una nuova direzione, in corrispondenza di una rigidità dielettrica dell'aria inferiore a quella del campo elettrico. Il canale di fulmine si propaga nella direzione nube-terra, portando parte della carica elettrica della nuvola secondo il metodo descritto, con continui cambi di direzione in funzione della rigidità dielettrica dell'aria. Questo genera il caratteristico percorso a zig-zag tipico del fulmine. Analogamente a quanto succede nella nuvola, anche sul terreno si verifica una distribuzione di cariche di segno opposto alla carica elettrica portata dal canale di fulmine.



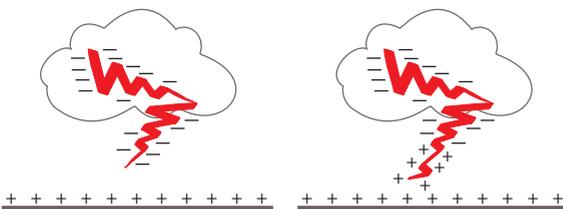
Fase 3: dal suolo nasce un canale ascendente (controschiarica) che fluisce verso l'alto fino ad incontrare il canale discendente. Quando i due canali si incontrano si stabilisce una corrente chiamata corrente di fulmine. La zona nel terreno che verrà fulminata è quella dalla quale parte la controschiarica. Avviene quindi il primo colpo di fulmine caratterizzato da una corrente con valori compresi fra i 2÷200 kA, e da fronti d'onda molto ripidi: 0.5÷100 kA/μs. In questo caso si parla di "corrente ad impulso".



Fase 4: il lampo. Il lampo non è altro che l'effetto termico e luminoso associato al passaggio della corrente di fulmine. Il riscaldamento e raffreddamento dell'aria interessato dalla corrente di fulmine ne determina fenomeni di espansione e compressione, generando il tuono.



Fase 5: scariche successive. Spesso, dopo la prima scarica, si hanno fenomeni di scarica successivi, grazie al fatto che il canale ionizzato è ormai "aperto". Queste scariche sono caratterizzate da un contributo energetico minore essendo il canale già formato.



Considerando le 5 fasi descritte possiamo quindi concludere che al primo colpo di fulmine è associata un'intensità di corrente molto elevata dati i continui "start e stop" caratterizzati da "accumuli energetici" che definiscono l'andamento a zig-zag tipico dei fulmini verso terra. Da qui si evince che la forma d'onda associata è caratterizzata da fronti d'onda di salita e discesa "lunghi": centinaia di microsecondi. I colpi successivi al primo, invece, sono caratterizzati da fronti d'onda ripidi, poiché il canale di scarica è già ionizzato e le cariche elettriche non fanno alcuna fatica ad avanzare. In questo caso si parla di decine di microsecondi. La rapidità del movimento e l'assenza di "ostacoli" nell'avanzamento della corrente, determinano un contributo energetico inferiore rispetto alle prime scariche di fulmine: si parla di decine di kiloampere contro le centinaia di kiloampere associate al primo colpo di fulmine.

Fulmine discendente positivo

I fulmini positivi si originano dalle cariche positive posizionate sulla sommità della nube. I cumulonembi sono caratterizzati da altezze elevate, quindi i fulmini positivi sono caratterizzati da un canale di scarica molto lungo. Questo si traduce in due effetti:

- Le correnti associate al fulmine positivo sono molto elevate, maggiori del primo colpo di fulmine negativo
- L'elevata lunghezza caratteristica del canale di scarica, può raggiungere i 10 km, e fa sì che dopo la prima scarica con alta probabilità, la parte di canale "più vecchia" si sia raffreddata e deionizzata, rendendo impossibile il passaggio di altra corrente, e quindi, il generarsi di scariche successive.

Fulmini ascendenti

Durante i fenomeni temporaleschi il canale di fulmine può avere origine da strutture naturali o artificiali quali alberi, tralicci, ecc. caratterizzati da una certa altezza. Questo è dovuto all'intensificazione del campo elettrico nelle parti che terminano a punta.

Il canale di fulmine ascendente si origina e si propaga verso l'alto seguendo lo stesso schema visto per i fulmini discendenti. In questo caso la controscarica partirà dalla nuvola. Così come per i fulmini discendenti negativi, una volta ionizzato il canale, saranno possibili scariche successive di pari intensità.

Perché proteggersi dalle sovratensioni?

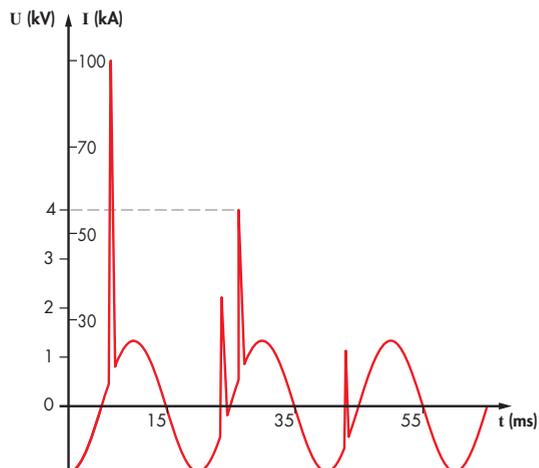
Negli ultimi anni la protezione dalle sovratensioni sta diventando una necessità a causa dell'utilizzo sempre più diffuso di componenti elettronici, come per esempio i Mosfet, molto sensibili "per natura" alle sovratensioni.

In passato sugli impianti elettrici trovavamo prodotti elettromeccanici, quali: motori, trasformatori, ecc. di per sé più resistenti a questi fenomeni impulsivi.

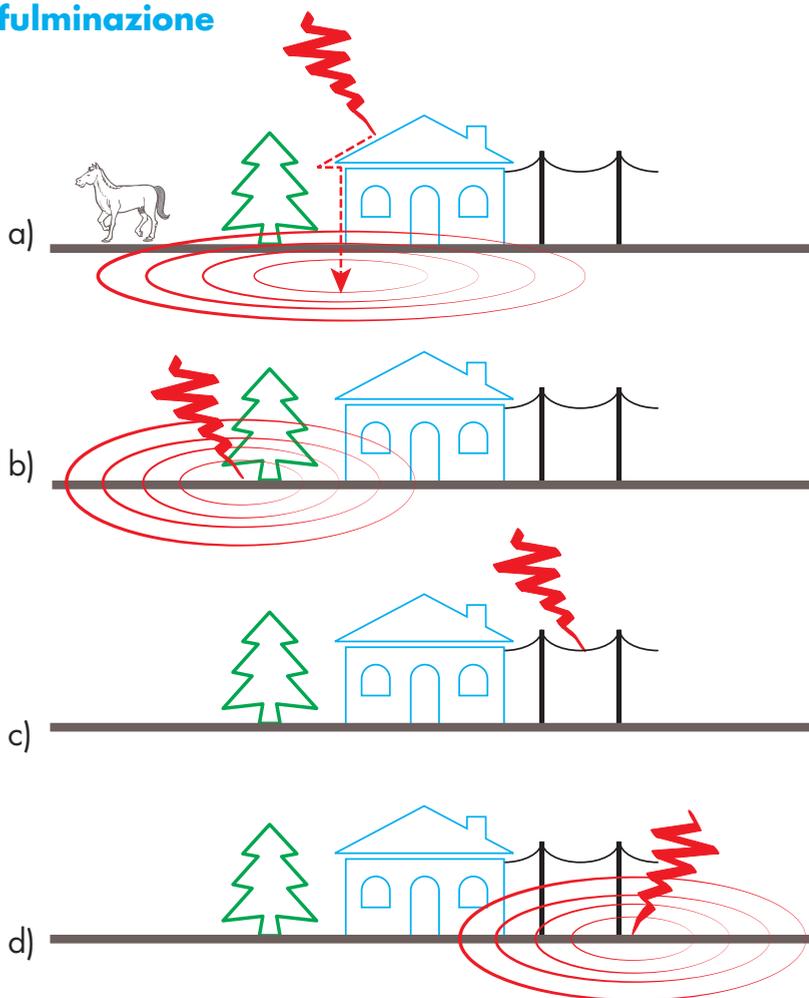
Non sono quindi aumentate le cause di guasto, ma le nostre abitazioni e le industrie si stanno popolando di dispositivi più sensibili tanto che, come vedremo, anche la Norma CEI 64/8 con la variante 3 in vigore dal 1 settembre 2011 prevede l'installazione di SPD anche nel quadro principale delle unità residenziali.

Gli SPD trovano rapida applicazione e diffusione, non perchè rappresentano una novità commerciale da proporre al mercato ma perchè rispetto ad altri sistemi di protezione alle sovratensioni, sono economici, possono essere aggiunti in un impianto preesistente, funzionano perfettamente se scelti e installati correttamente.

Rappresentazione dei valori di ampiezza della sovratensione in funzione alla causa



2 - Tipi di fulminazione



I tipi di fulminazione possono essere racchiusi nei 4 casi rappresentati.

- Fulminazione diretta dell'edificio.** Se l'edificio è dotato di impianto parafulmine il fulmine viene scaricato a terra portando in tensione l'impianto di terra e tutto ciò a cui esso è collegato. Con la fulminazione diretta si verifica sia l'accoppiamento induttivo, per esempio tra la calata di terra e una conduttura che scorre parallela ad essa, che l'accoppiamento resistivo per esempio tra la calata di terra e la tubatura del gas. Le sovratensioni che nascono per accoppiamento resistivo possono generare scariche pericolose perché contengono energia sufficiente ad innescare un incendio o distruggere le apparecchiature. L'accoppiamento resistivo tra le parti conduttrici determina inoltre la nascita di tensioni pericolose di passo e di contatto. Le tensioni di passo hanno andamento decrescente e sono pericolose sia per gli esseri umani che per gli animali.
- Fulminazione indiretta dell'edificio.** In questo caso si parla solamente di accoppiamento induttivo. Le sovratensioni sono generate dal campo magnetico associato alla corrente di fulmine che si concatena alle parti metalliche conduttrici dell'edificio.
- Fulminazione diretta della linea.** La corrente di fulmine viene partizionata in parti uguali nei due sensi, passa attraverso il trasformatore MT/BT e genera delle sovratensioni su tutto ciò che è collegato verso terra.
- Fulminazione indiretta sulla linea (accoppiamento induttivo).** Le sovratensioni indotte, che hanno ampiezza variabile tra 3÷5 kV, non hanno energia sufficiente per innescare l'incendio, ma possono distruggere le apparecchiature.

Principi generali

Prima di affrontare il complesso discorso che regola gli aspetti impiantistici, la scelta, l'installazione e l'applicazione degli SPD, conviene innanzitutto presentare le tipologie degli SPD esistenti, la suddivisione in zone degli ambienti e il valore di tenuta all'impulso delle apparecchiature elettroniche. Informazioni utili per comprendere meglio il mondo degli SPD.

A seconda del ruolo a cui sono chiamati rispondere, gli SPD, vengono definiti di Classe I, se destinati a limitare sovratensioni a cui è associata tutta o una parte della corrente di fulmine, di Classe II, se destinati a proteggere le apparecchiature da sovratensioni indotte, e di Classe III, se svolgono un ruolo di finitura, imponendo una bassa "tensione residua" (livello di protezione) sopportata dalle apparecchiature elettroniche finali.

Esistono le equivalenze di nomenclatura riportate in tabella:

| IEC | Classe I | Classe II | Classe III |
|--------|----------|-----------|------------|
| Europa | Tipo 1 | Tipo 2 | Tipo 3 |
| VDE | B | C | D |

Nel testo verranno utilizzati i termini "Classe" e "Tipo" indistintamente.

Come anticipato, a seconda del tipo di protezione che devono offrire, gli SPD vengono raggruppati per Classi; la classe di appartenenza identifica la prova a cui l'SPD è stato sottoposto in termini di corrente di scarica.

Classe (di prova) I: a questa classe appartengono gli SPD che vengono provati dal costruttore con un generatore di forma d'onda 10/350 μ s. Questa forma d'onda è quella che viene usata per simulare il primo colpo di fulmine e definisce le prestazioni dell'SPD in termini di corrente impulsiva: I_{imp} . Gli SPD di Classe I, inoltre, vengono provati in termini di corrente nominale I_n con una forma d'onda 8/20 μ s tipica delle sovratensioni indotte. Gli SPD di Classe I sono obbligatori in edifici dotati di parafulmine.

Vengono installati nel quadro principale nel punto di allacciamento con la rete elettrica.

Classe II: gli SPD appartenenti a questa classe vengono provati con un generatore di forma d'onda 8/20 μ s (tipica delle sovratensioni indotte) per definire le prestazioni in termini di corrente nominale e corrente massima, rispettivamente I_n e I_{max} . Vengono installati nei quadri di distribuzione.

Classe III: appartengono a questa classe i dispositivi che svolgono un ruolo di rifinitura, il grosso dell'energia è stato rimosso dagli SPD installati a monte. Gli SPD di Tipo 3 sono i più veloci, ed eliminano le sovratensioni residue.

Questi SPD vengono provati con un generatore di tipo combinato che genera una tensione a vuoto U_{oc} con forma d'onda 1.2/50 μ s, in grado di imprimere il valore di corrente nominale I_n avente forma d'onda 8/20 μ s.

Vengono installati in prossimità delle apparecchiature elettriche/elettroniche finali.

Di seguito vengono rappresentate le forme d'onda caratteristiche degli SPD.

Osservando la *Figura 2* si può notare come il contributo energetico, rappresentato dall'area sottesa dalle curve, sia maggiore per la forma d'onda 10/350 μ s (tipica del primo colpo di fulmine).

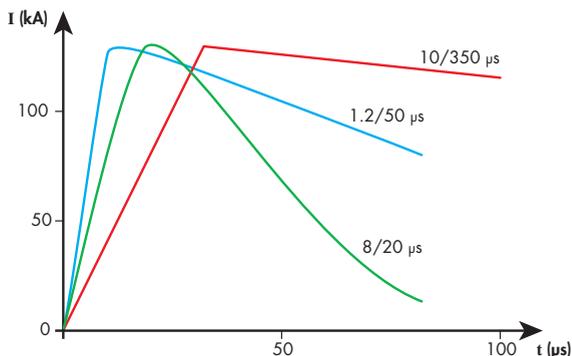


Figura 2: forme d'onda normalizzate

Con riferimento alla 62305-1, possiamo dividere l'ambiente elettromagnetico associato ad una scarica di fulmine in zone: LPZ (Lightning Protection Zone).

Misure di protezione quali LPS, cavi schermati, SPD... definiscono una zona di protezione. Le zone sono caratterizzate da significative variazioni elettromagnetiche (ad esempio intensità del campo elettromagnetico, valori della corrente di fulmine, valori di sovratensione, etc..) riconducibili alla presenza di misure di protezione.

Ad un LPZ associa un numero tra 0 e 3, quindi LPZ 1, LPZ 2... quanto più il numero è alto, tanto più gli effetti del fulmine sono attenuati.

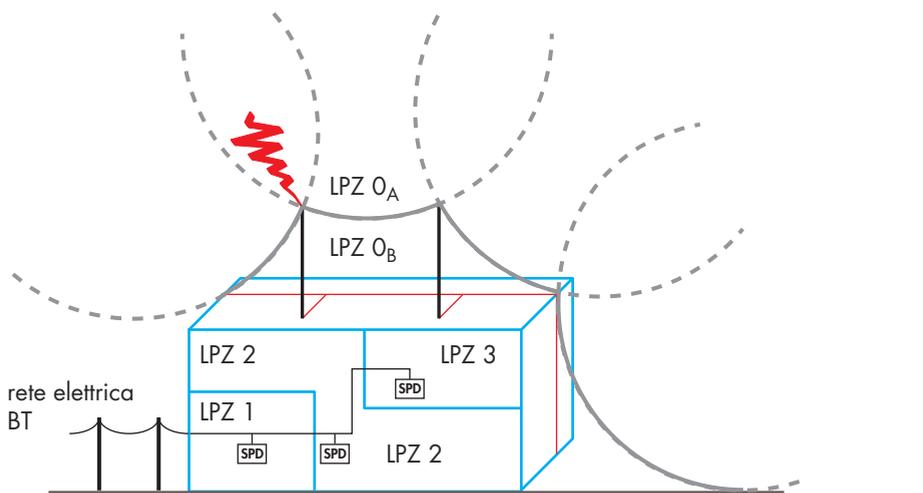
LPZ 0_A: zone libere. Non è prevista alcuna protezione, se presente siamo all'esterno del parafulmine. In questo caso siamo soggetti a fulminazioni dirette, quindi la corrente di fulmine è elevata e il campo elettromagnetico (ELM) non è attenuato.

LPZ 0_B: al di sotto del dispositivo captatore.
La corrente di fulmine è piccola, il campo ELM non è attenuato.

LPZ 1 : all'interno dell'edificio, dopo il primo SPD; la corrente di fulmine è limitata, il campo ELM è attenuato.

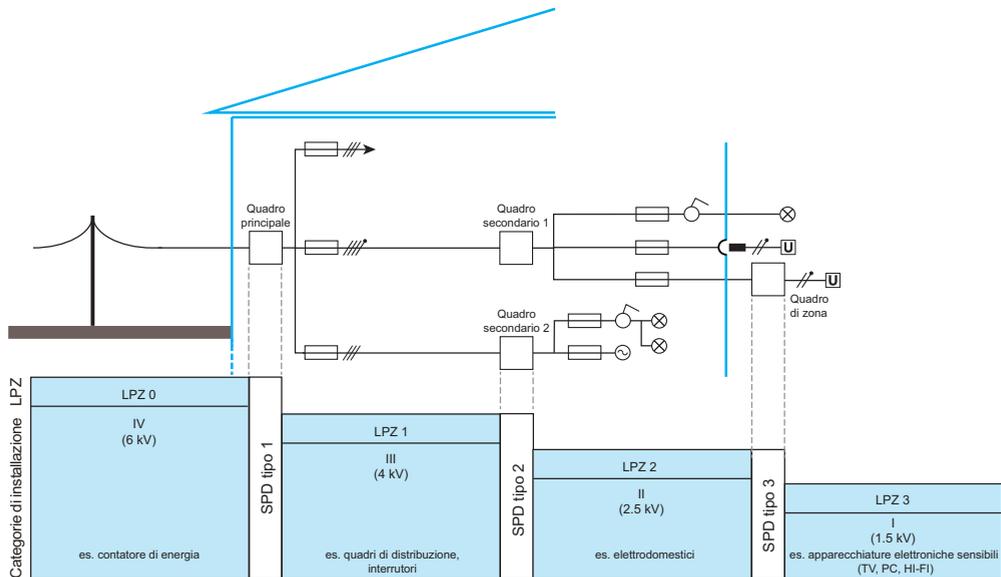
LPZ 2 : zona caratterizzata dall'aggiunta di un altro SPD. La corrente di fulmine è ulteriormente limitata, il campo ELM molto attenuato.

LPZ 3 : aggiungiamo un altro SPD...
Siamo in corrispondenza di una presa o all'interno di un dispositivo elettronico.



Sebbene non esista alcun legame fra loro, la suddivisione degli edifici in zone, si conclude con l'introduzione del concetto di "Categorie di installazione". In questo caso non si tratta di una vera e propria suddivisione in zone, ma è un modo semplice per capire il concetto: la suddivisione avviene automaticamente in quanto i dispositivi destinati ad applicazioni "vicino" al punto di consegna dell'energia devono essere garantiti dal costruttore per sopportare dei valori minimi di sovratensione, maggiori dei dispositivi che generalmente vengono installati "lontano". "Vicino" e "lontano" sono distanze elettriche, non metriche.

Ciò significa, per esempio, che il livello di tenuta all'impulso del quadro elettrico principale deve essere almeno di 4 kV, mentre la tenuta all'impulso di un PC, di una TV, etc.. deve essere almeno 1.5 kV.



Nell'immagine precedente vengono raggruppati LPZ e categorie di installazione per riassumere quanto visto finora. Ma attenzione non esiste alcun legame fra loro! La categoria dell'impianto fornisce un'idea della tenuta all'impulso dell'apparecchiatura, LPZ fornisce un'idea sulle grandezze elettromagnetiche associate alla scarica di fulmine.

- **Categoria d'installazione (o di sovratensione) I:** a questa categoria appartengono apparecchi molto sensibili alle sovratensioni come le apparecchiature elettroniche (TV, Hi-Fi, modem, PC, PLC, ecc..). Per questi dispositivi il costruttore deve garantire una tensione di tenuta di 1.5 kV.
- **Categoria d'installazione II:** a questa categoria appartengono gli apparecchi che hanno una tenuta all'impulso pari a 2.5 kV come gli utensili portatili o gli elettrodomestici.
- **Categoria d'installazione III:** relativa agli apparecchi che fanno parte dell'impianto, come interruttori, prese, quadri, ecc. per i quali la tensione di tenuta corrisponde a 4 kV.
- **Categoria d'installazione IV:** appartengono a questa categoria i dispositivi che vengono installati a monte del quadro di distribuzione, quali per esempio i contatori. La tensione di tenuta all'impulso corrisponde a 6 kV.

Livello di immunità, tensione di tenuta e danno economico

Possiamo concludere dicendo che tutte le apparecchiature elettriche ed elettroniche sono caratterizzate da un valore di tensione che indica il livello di immunità alle sovratensioni: fino a quando la sovratensione è al di sotto del livello di immunità dell'apparecchiatura, non vi sono problemi. Se la sovratensione supera di poco questo valore possono verificarsi dei malfunzionamenti dell'apparecchiatura, per valori superiori o ripetitivi gli isolamenti dei componenti vengono stressati riducendo la vita utile; con un livello di sovratensione molto alto, invece, si può verificare un guasto permanente.



Spesso le sovratensioni possono essere di entità tale da non danneggiare immediatamente l'apparecchiatura, quindi non ci accorgiamo della loro presenza. Le ripetute sovratensioni di ampiezza modesta, vanno a compromettere la rigidità dielettrica degli isolamenti, ne riducono la vita utile riducendo così la tensione di tenuta del dispositivo. Se la sovratensione è tale da superare la tensione di tenuta dell'isolamento solido (stressato) si verifica il cedimento dell'isolante e la rottura permanente del dispositivo.

Si immagini ora di avere un inverter collegato ad una linea, soggetto a continue sovratensioni, di valore tale che non lo portano alla rottura ma ne stressano gli isolamenti. Decidiamo di aggiungere in parallelo un altro inverter. Al primo temporale quello vecchio si guasta, quello nuovo funziona ancora... Perché? A causa delle ripetute sovratensioni l'isolante del primo inverter si è indebolito, fino a permettere la rottura permanente dell'apparecchio non appena l'impulso proveniente dalla rete ne ha determinato il cedimento. Il secondo, più nuovo, continua a funzionare, in quanto il livello della sovratensione non era così elevato da guastarlo con un solo colpo.

Concludiamo questa parte introduttiva considerando anche l'aspetto economico: dietro alla rottura di un dispositivo, non vi è solo il costo della sua sostituzione, che spesso costituisce il danno economico minore, ma bisogna considerare il danno economico causato dal disservizio. Se per esempio si guasta il server di prenotazione di un'agenzia viaggi ho un danno causato dal lavoro che non può essere svolto. Pensiamo ad un aeroporto! Dunque l'SPD è sempre conveniente dal punto di vista economico.

Non dobbiamo certo dimenticare che una sovratensione può determinare danni ben più gravi, come la morte di persone, l'incendio di edifici con la perdita di opere di valore o il fermo macchina di una linea di montaggio, aspetti che non possono e non devono essere trascurati in fase di progettazione di un impianto elettrico.

Le sovratensioni

Le sovratensioni in un sistema elettrico possono essere endogene o esogene: le prime fanno riferimento alle sovratensioni di manovra, sovratensioni che vivono normalmente nella rete elettrica, e nascono durante il normale funzionamento dell'impianto. Le seconde, invece, identificano le sovratensioni di origine atmosferica.

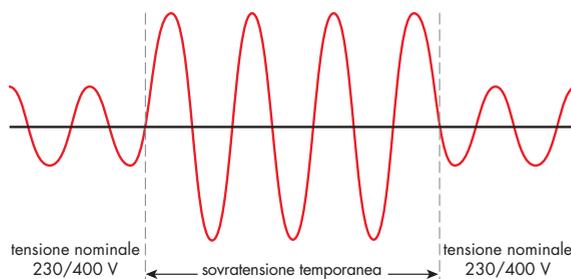
Sovratensioni di manovra

Le sovratensioni di manovra nascono dal normale funzionamento delle linee elettriche, ad esempio dalla manovra di interruttori (apertura o chiusura), sono causate da brusche variazioni di carico (inserzione di grossi carichi), arresto o marcia di motori, o brusche variazioni sulla rete come i cortocircuiti. L'andamento della sovratensione è oscillatorio smorzato, con transitori molto ripidi la cui durata può essere nell'ordine dei μ s.

In questa categoria possiamo racchiudere le sovratensioni a frequenza industriale dovute a guasti in cabina o lungo la linea. Dalle prime si differenziano per la durata, molto maggiore, e per la frequenza: 50-60 Hz.

Queste sovratensioni sono caratterizzate da ampiezze che variano tra i 2.5÷4 kV. Sono sempre presenti sulle linee di distribuzione.

Figura 3:
sovratensione temporanea
a frequenza industriale



Sovratensioni di origine atmosferica

Le sovratensioni di origine atmosferica nascono quando scocca un fulmine durante un'attività temporalesca. Il fulmine scocca in seguito all'accumulo di cariche negative in corrispondenza della nube e positive sulla terra, tra le quali si stabilisce un campo elettrico maggiore della rigidità dielettrica dell'aria che permette la scarica. In genere in seguito al primo colpo di fulmine, si verificano 3 o 4 scariche successive (vedi cap. 1).

Le sovratensioni possono essere "condotte" quando i fulmini colpiscono direttamente una linea elettrica, oppure "indotte" quando i fulmini cadono in prossimità di un edificio o di una linea. Il campo elettrico generato dal fulmine, investendo i conduttori crea le sovratensioni dannose per i dispositivi ad essi collegati.

Fulminazione diretta e indiretta

- della struttura
- in prossimità della struttura



- della linea elettrica
- in prossimità della linea elettrica

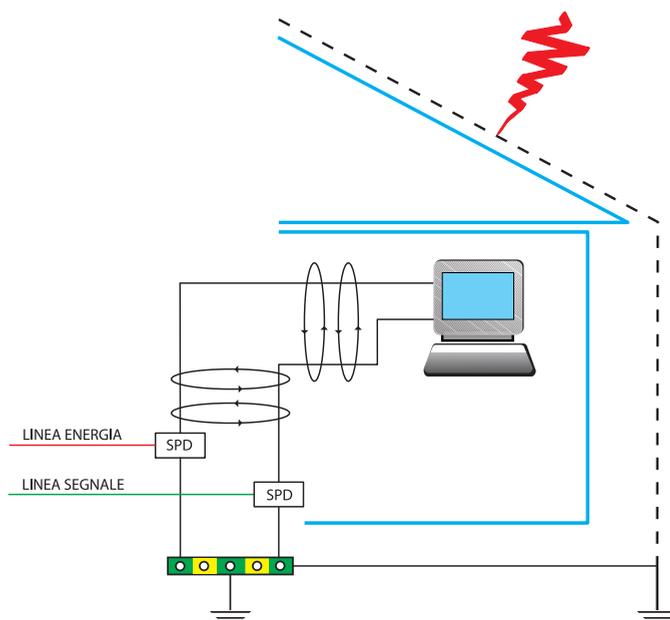


Sovratensioni indotte

E' noto che un campo magnetico variabile induce in un circuito una corrente... In presenza di un fulmine abbiamo a disposizione un grande campo elettromagnetico fortemente variabile, e i conduttori elettrici di un edificio sono un circuito (spira) di dimensioni non trascurabili. Il campo elettromagnetico del fulmine crea effetti disastrosi se si concatena ad una spira di grande diametro. Immaginare di avere a disposizione una grande spira non è difficile, basti pensare alla linea di alimentazione di un PC e la linea del telefono che si collega al modem connesso a sua volta al PC. In caso di fulminazione diretta della struttura, la corrente di fulmine che viene scaricata a terra attraverso la calata genera per accoppiamento induttivo nella spira descritta precedentemente, una sovratensione $U = Lm \cdot di/dt$

dove Lm : mutua induttanza della spira
 di/dt : pendenza della forma d'onda

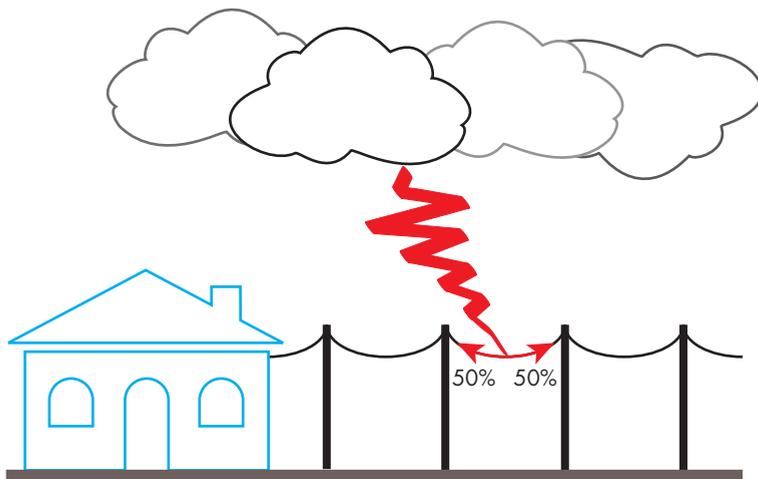
A seconda dell'estensione della spira, le sovratensioni possono superare i 10 kV !



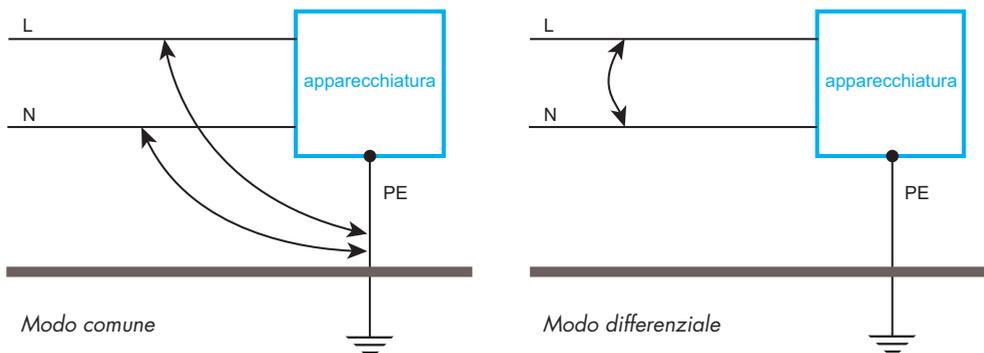
Il fenomeno dell'induzione si verifica anche con conduttori rettilinei, non necessariamente disposti in modo da costituire una spira, ad esempio tra un conduttore e la terra. Si immagini una linea elettrica: se un fulmine cade in prossimità di una linea di distribuzione, il suo campo elettromagnetico variabile induce sulla stessa delle sovratensioni che si propagano lungo la linea, analogamente a quanto vedremo in seguito per la fulminazione diretta.

Fulminazione diretta

Se un fulmine colpisce una linea elettrica la corrente di fulmine (e la sovratensione associata) si propaga nei due sensi della linea dividendosi in parti uguali. Propagandosi si modifica in forma e ampiezza, investendo le utenze che incontra.



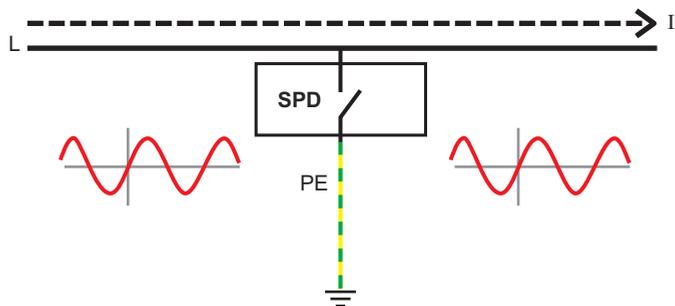
Le sovratensioni, infine, possono essere di modo comune se riferite tra il conduttore di fase e la terra, o di modo differenziale se tra i conduttori attivi.



3 - Funzionamento di un SPD

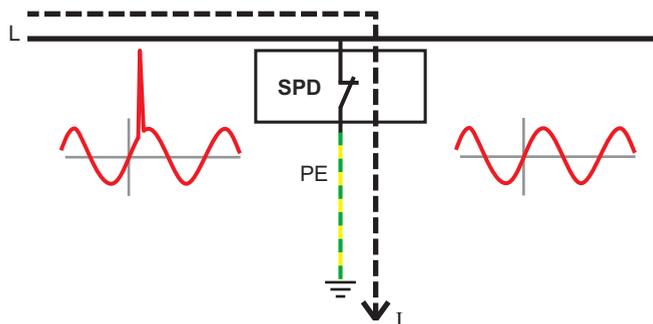
Per comprendere il funzionamento dell'SPD supponiamo di avere a disposizione un SPD ideale di cui descriviamo il funzionamento. Successivamente compariamo il funzionamento dell'SPD ideale con quello reale.

L'SPD ideale può essere descritto immaginando di avere uno scatolotto di cui non conosciamo il contenuto, collegato, per esempio, tra L-PE, che ha impedenza (Z) infinita per non alterare il funzionamento dell'impianto.



L'arrivo di una sovratensione fa scendere rapidamente a 0Ω l'impedenza ai capi della scatola permettendo di "assorbire" la corrente associata alla sovratensione. Tanto più la sovratensione è alta, minore è l'impedenza, e maggiore è la corrente drenata. Possiamo quindi immaginare un interruttore aperto all'interno dello scatolotto, che in presenza di una sovratensione si chiude cortocircuitando il circuito a valle, proteggendolo.

Il drenaggio della sovracorrente avviene mantenendo costante la tensione ai capi della scatola. Se questa tensione è compatibile con il livello di immunità e di isolamento dell'apparecchiatura, quest'ultima non verrà danneggiata.



Possiamo quindi identificare tre fasi di funzionamento dell'SPD, in cui le grandezze che entrano in gioco costituiscono i parametri di scelta dei prodotti a catalogo.

1) Fase iniziale. Supponiamo di avere lo scatolotto installato fra un conduttore attivo e la terra (ma può essere installato anche tra due fasi o fase e neutro). Ai suoi capi è presente la tensione nominale del sistema (U_n) che nel tempo può variare entro una fascia di tolleranza a seconda dell'ente distributore (in Italia +10% -15%); per questo motivo è prevista una tensione di esercizio continuativo U_c , che nel rispetto della fascia di tolleranza, garantisce il non intervento dell'SPD.

Anticipiamo il concetto di "Tensione di esercizio continuativo" U_c . E' quel valore di tensione che può essere applicato all'SPD per un tempo indefinito, per cui, sicuramente, l'SPD non interviene.

Per i sistemi TT e TN $U_c \geq 1.1 U_n$

Per i sistemi IT $U_c \geq \sqrt{3} U_n$

In questa fase il dispositivo ideale ha una impedenza infinita, mentre quello reale ha un'impedenza di valore altissimo. Ciò significa che l'SPD ideale non è attraversato da corrente verso terra, mentre quello reale è continuamente attraversato da una corrente di fuga (dipende della componentistica impiegata per realizzare l'SPD) verso terra indicata con I_c : corrente di esercizio continuativo. Questa corrente è nell'ordine dei μA .

In questa fase dobbiamo considerare anche le U_T ($T = TOV$ cioè Temporary Transient Overvoltage) cioè le sovratensioni temporanee presenti sulla linea dovute ai guasti sulla rete del distributore (sovratensioni di manovra). Queste sovratensioni devono essere sopportate dall'SPD.

2) Durante la sovratensione. L'SPD riduce la propria impedenza per drenare la corrente e mantiene costante la tensione ai capi.

In questa fase è importante il valore di tensione residua (U_{res}) che si misura ai capi dell'SPD durante l'intervento. Questo valore viene identificato tramite U_p : livello di protezione.

L' U_p è un valore di tensione scelto in una scala di valori normalizzati immediatamente superiore alla U_{res} (es: $U_{res} = 970 V$, $U_p = 1000 V$). E' importante che U_p sia inferiore alla tensione di tenuta degli isolamenti del dispositivo da proteggere. Questo valore di tensione è relativo alla corrente di scarica nominale, che per la tipologia di prova, assume forma d'onda 8/20 μs .

In questa fase è importante il dato relativo alla corrente nominale di scarica: I_n .

I_n : valore di picco di corrente che l'SPD è in grado di sopportare normalmente.

Viene definito provando l'SPD con forma d'onda di corrente 8/20 μs .

Altro dato importante è I_{max} che corrisponde al valore di picco della massima corrente che l'SPD è in grado di gestire almeno una volta senza essere danneggiato.

In genere vale la relazione: $I_{max} / I_n = 2$

3) Fase di estinzione del fenomeno. L'SPD, al termine del suo intervento, è attraversato dalla corrente a 50 Hz alimentata dal circuito in cui è inserito: corrente susseguente. Può succedere che l'SPD non sia in grado di riaprirsi (caratteristica tipica degli SPD ad innesco). La normativa di prodotto ha definito la I_{sx} che rappresenta la massima corrente che il dispositivo è in grado di sopportare ed estinguere da solo al primo passaggio per lo zero della semionda. Questo valore di corrente, tipico per gli spinterometri che generalmente trovano applicazione nel collegamento tra N-PE, deve essere maggiore uguale a 100 A.

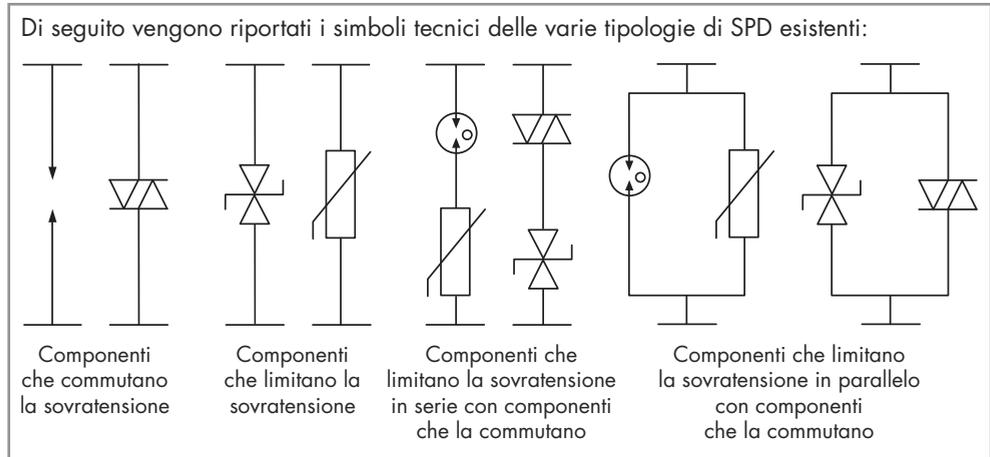
L' I_{sx} è una corrente che l'SPD è in grado di gestire e spegnere autonomamente: se la corrente di cortocircuito dell'impianto in cui è installato l'SPD è maggiore dell' I_{sx} , l'SPD deve essere protetto con l'uso di dispositivi idonei (ad esempio fusibili) per garantire l'estinzione dell'arco.

Se la $I_{cc} < I_{sx}$ posso non proteggere l'SPD, ma dato che la durata della I_{sx} non si può conoscere con esattezza, potrebbe intervenire il differenziale scollegando tutto l'impianto. Conviene quindi utilizzare sempre i fusibili di protezione.

Tipologie di SPD

Esistono tre famiglie di SPD:

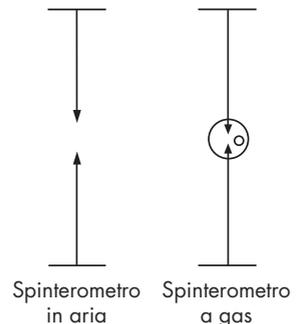
- A commutazione o a innesco. In questo caso l'elemento principale è lo spinterometro. Esistono anche a tiristore.
- A limitazione. E' la tecnologia più usata: varistore o diodi zener (o tranzorb).
- Di tipo combinato. Si ottiene dal collegamento in serie o in parallelo dei primi due.



Trascurando le tecnologie "al silicio" tranzorb, Triac, ecc.. gli SPD per le linee di energia vengono realizzati collegando opportunamente varistori e spinterometri. Analizziamo nel dettaglio questi due componenti per comprendere il loro funzionamento e capire quindi le caratteristiche degli SPD realizzati con questi componenti.

Lo spinterometro

Lo spinterometro è un dispositivo che, nella sua configurazione più semplice, viene realizzato con due elettrodi distanziati opportunamente in aria. In presenza di una sovratensione fra i due elettrodi si innesca un arco elettrico. Il valore della tensione di innesco dipende, oltre che dalla distanza fra gli elettrodi, anche dalle condizioni ambientali: temperatura, pressione e inquinamento dell'aria. Questo significa che la tensione di innesco dell'arco è fortemente condizionata, a parità di distanza, dalle altre tre variabili.

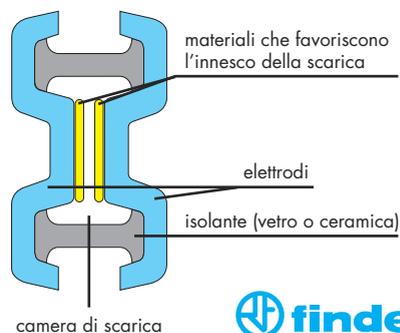


Lo spinterometro utilizzato negli SPD è definito "a gas" in quanto gli elettrodi sono contenuti in un'ampolla chiusa, contenete gas rari, quali argon e neon, che mantengono la tensione d'innesco a valori costanti. Generalmente, per questa sua caratteristica costruttiva, lo spinterometro a gas viene chiamato "GDT": Gas Discharge Tube.

Rappresentazione costruttiva di un GDT.

Gli scaricatori a gas sono caratterizzati da:

- piccole dimensioni
- capacità di scarica elevata
- elevati tempi di intervento ed alta ripetitività (il tempo che trascorre tra spegnimento e riaccensione del dispositivo può essere molto breve e quest'operazione può essere ripetuta molte volte)
- vita media particolarmente lunga



Principio di funzionamento

Uno spinterometro a gas, o GDT, può essere descritto come una resistenza variabile che entro 100 ns ne modifica il valore passando da diversi $G\Omega$, in stato di riposo, a valori inferiori all'Ohm durante una sovratensione.

Lo scaricatore ritorna al suo stato originale ad alta impedenza dopo che la sovratensione si è abbassata.

Con riferimento alla *Figura 4a*, possiamo notare che la tensione ai capi dello spinterometro sale fino alla tensione di effluvio V_1 per poi passare alla tensione di innesco, che corrisponde al valore V_2 . Al raggiungimento di questo valore tipicamente compreso tra i 70 e i 200 V, si verifica l'accensione del GDT; la corrente in gioco può variare tra i 10 mA a circa 1.5 A. Questo fenomeno, di durata A, termina col passaggio alla modalità ad arco, di durata B, a cui corrisponde un incremento di corrente a fronte di una tensione molto bassa, pari alla tensione d'arco, variabile tra 10 e 35 V.

Con il decremento della sovratensione, si ha la riduzione della corrente che fluisce nello scaricatore fino al valore necessario per mantenere attiva la "modalità ad arco".

In corrispondenza dell'estinzione della corrente che fluisce nello spinterometro, si ha l'incremento della tensione ai capi, pari al valore della tensione di estinzione V_4 .

La *Figura 4a*, mostra l'andamento della tensione durante la fase di scarica del GDT, la *Figura 4b* mostra l'andamento della corrente in funzione del tempo, quando il GDT limita una sovratensione di tipo sinusoidale, mentre la *Figura 4c* è ottenuta combinando i grafici di tensione e di corrente in funzione del tempo.

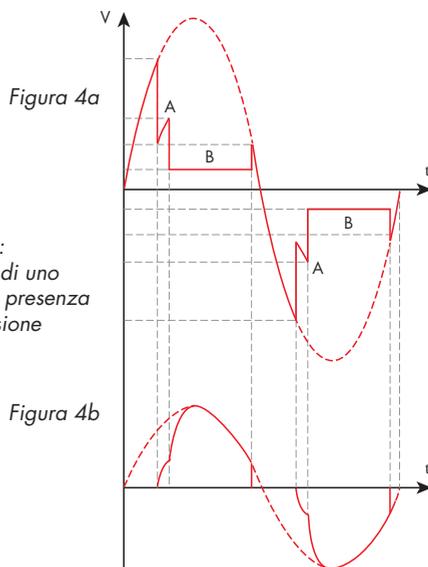
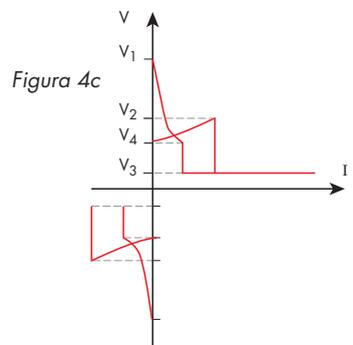


Figura 4a - b - c:
comportamento di uno
spinterometro in presenza
di una sovratensione



- V_1 Tensione di scarica
- V_2 Tensione di innesco
- V_3 Tensione d'arco
- V_4 Tensione di estinzione
- A Modalità di innesco
- B Modalità di arco

Per capire perché gli spinterometri vengono definiti dispositivi a "commutazione" e comprendere le differenze di funzionamento rispetto ai varistori semplifichiamo la *Figura 4a* nella *Figura 5*, in cui distinguiamo solo 3 fasi:

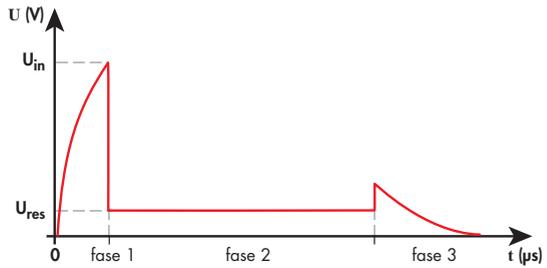


Figura 5: funzionamento semplificato del GDT

Fase 1: La scarica non è innescata (circuitto aperto)

Fase 2: Avviene la scarica, e la corrente passa attraverso l'SPD. Alla tensione di innesco (U_{in}), a cui corrisponde il livello di protezione U_p dello scaricatore, la tensione ai capi dell'SPD crolla alla U_{res} che coincide con la tensione d'arco. L'apparecchiatura protetta da un SPD a commutazione, quindi, sarà sottoposta ad una sovratensione che corrisponde a U_{in} .

Fase 3: Estinzione dell'arco.

A lato possiamo osservare la forma d'onda reale, prelevata ai capi di un GDT durante alcuni test di laboratorio.

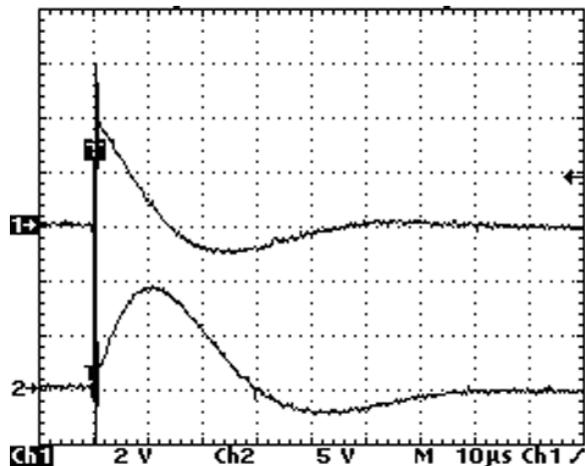


Figura 6:
intervento di un GDT

Andamento della tensione (curva in alto) e della corrente (curva in basso) rilevate durante l'intervento del GDT ottenute con un generatore di tipo combinato presso i laboratori Finder. In questo caso il valore massimo di tensione è di circa 3600 V, mentre quello di corrente è di circa 3000 A.

Corrente susseguente

Come già anticipato, durante l'intervento, la tensione ai capi del GDT è molto bassa e corrisponde alla tensione d'arco, mentre la corrente è molto elevata.

Durante la scarica, la tensione ai capi del GDT (U_{res}) raggiunge valori molto bassi, con il rischio che la tensione di rete, essendo maggiore della U_{res} , mantenga il dispositivo acceso rendendo difficoltosa o addirittura impossibile l'estinzione dell'arco. L'arco, infatti, può permanere al cessare della sovratensione, poiché sostenuto dalla tensione del circuito, e la corrente verso terra, definita corrente susseguente, può durare a lungo. La corrente susseguente coincide con la corrente di cortocircuito dell'impianto nel punto d'installazione dello spinterometro, al netto della riduzione di tensione provocata dalla presenza dell'arco.

Gli SPD collegati tra neutro e PE nei sistemi TT o TN, devono consentire dopo il loro intervento una corrente susseguente a frequenza industriale, maggiore o uguale a 100 A. Per elevati valori di corrente di cortocircuito nel punto di installazione dello spinterometro (SPD) si devono introdurre protezioni di massima corrente che intervengono quando l'arco non si estingue spontaneamente, oppure utilizzare SPD caratterizzati da un collegamento interno di tipo serie tra varistore e GDT (vedere pagina 22, esempio SPD: 7P.01.8.260.1025).

Il varistore

I varistori sono dei dispositivi che vengono utilizzati per la protezione dalle sovratensioni realizzati con un impasto ceramico e particelle di ossido di zinco (MOV) o ossido di magnesio sinterizzato.

Possono essere visti come una resistenza che cambia di valore in funzione della tensione applicata ai capi: all'aumentare della tensione, la resistenza diminuisce.

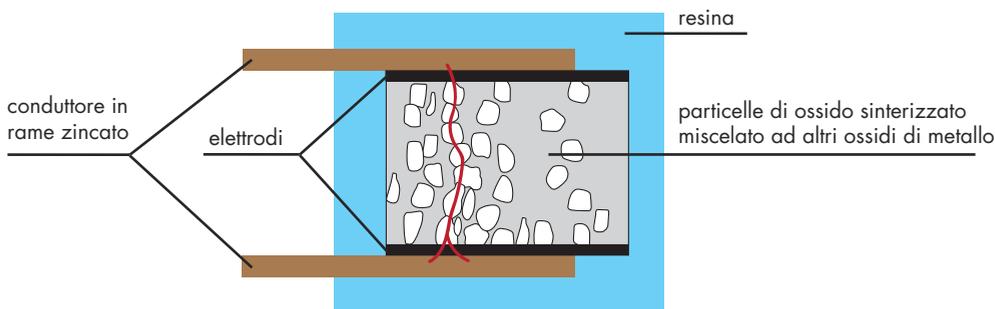
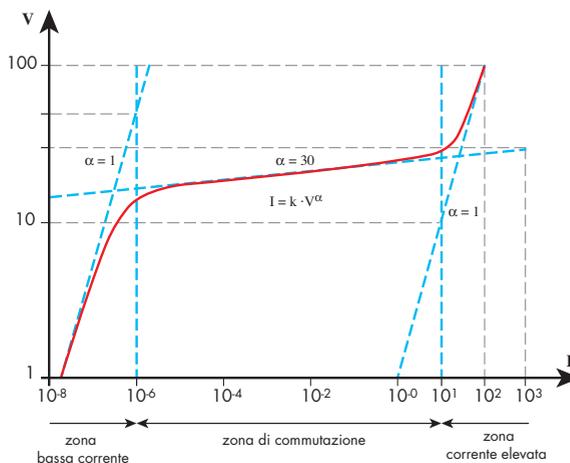


Figura 7:
caratteristica tensione-corrente
che caratterizza il funzionamento
dei varistori



Essendo realizzati con particelle metalliche, i varistori, quando vengono sottoposti ad una tensione, sono sempre attraversati da una piccola corrente di fuga. Per questo si dice che il varistore è sempre "ON", e lavora spesso, anche con piccole variazioni di tensione (regione a bassa corrente). Con il passare del tempo le particelle metalliche si saldano fra loro creando nuovi percorsi per la corrente di fuga I_c , che aumentando in valore porta al surriscaldamento e alla rottura del varistore.

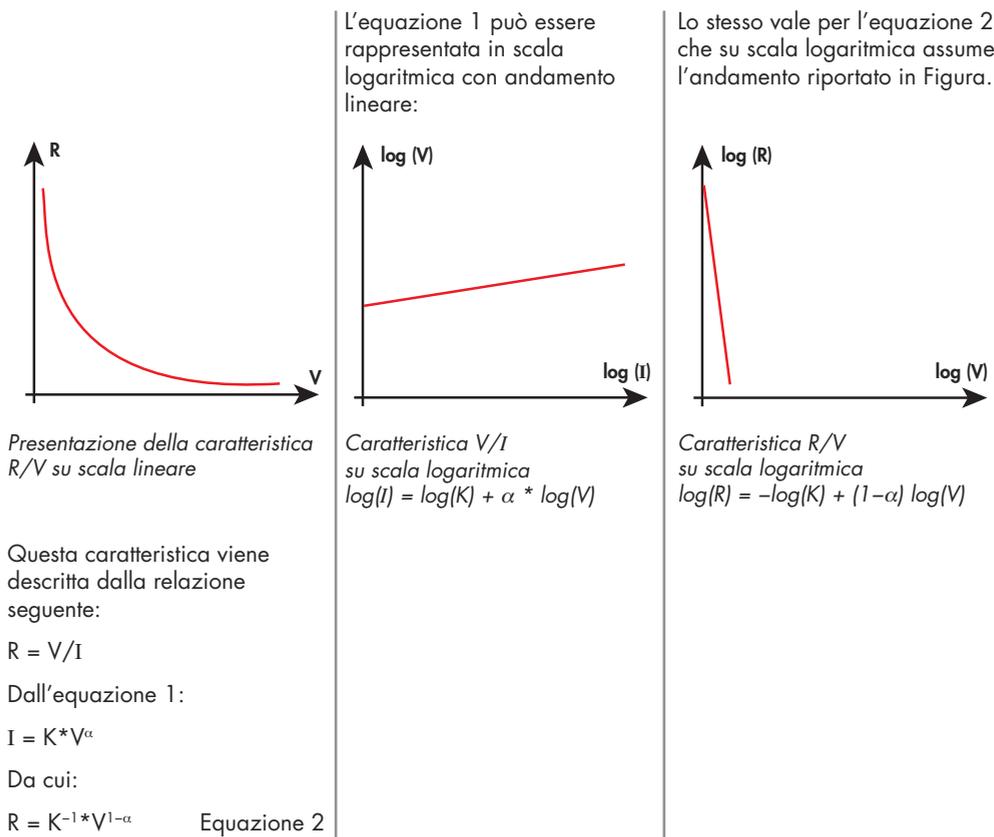
In condizioni ordinarie di funzionamento, con pochi interventi di protezione del varistore, l'aumento della I_c avviene dopo molti anni di funzionamento.

Sempre con riferimento alla *Figura 7*, la caratteristica V/I dei varistori è descrivibile attraverso funzioni esponenziali nella formula seguente:

$$I = K \cdot V^\alpha \quad (\alpha > 1) \quad \text{Equazione 1}$$

dove: I = corrente che circola nel varistore
 V = tensione applicata al varistore
 K = costante dell'elemento
 (in funzione della geometria)
 α = esponente di non linearità

Possiamo rappresentare l'andamento della resistenza del varistore in funzione della tensione e in particolare il suo rapido cambiamento in corrispondenza di un valore prestabilito.



Gli SPD realizzati con varistori vengono definiti a "limitazione" perché hanno la caratteristica di mantenere la tensione ai morsetti costante durante l'assorbimento della sovratensione, caratteristica peculiare dei varistori.

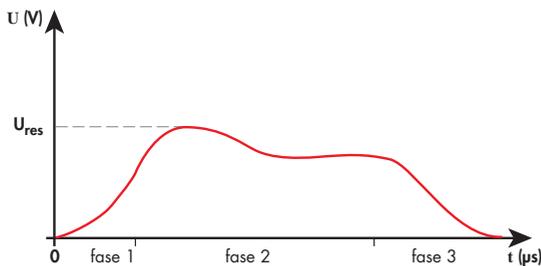
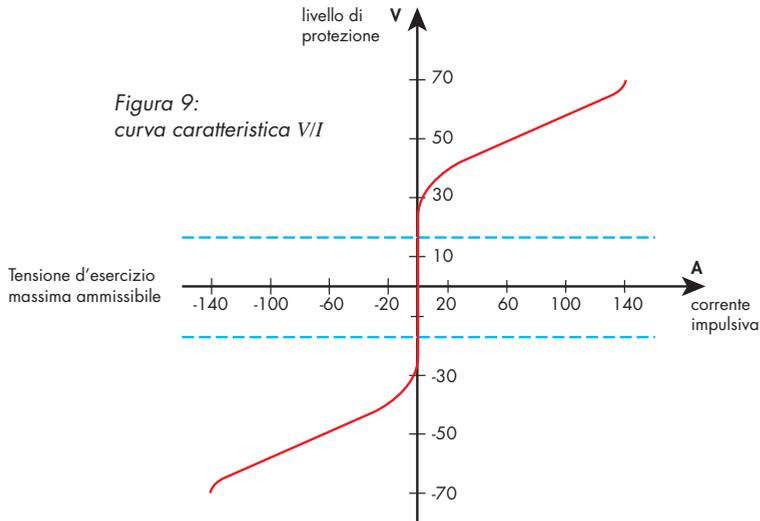


Figura 8: comportamento di un varistore in presenza di una sovratensione

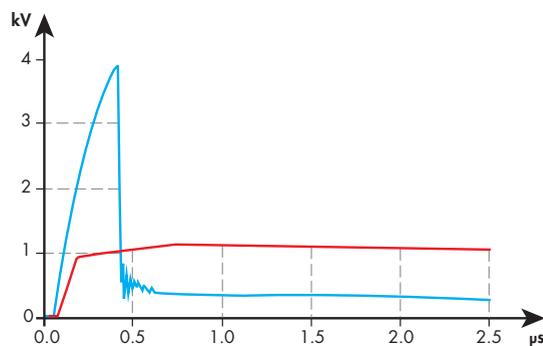
Confrontando la *Figura 8* con la *Figura 5*, si notano i diversi comportamenti di funzionamento rispetto allo spinterometro: in *Figura 5* si nota il funzionamento "ON-OFF", cioè ad una data tensione U_{in} il GDT interviene tagliando bruscamente. In *Figura 8* si nota una limitazione graduale in quanto il varistore varia la propria resistenza proporzionalmente alla tensione ai capi. La tensione ai capi rimane costante nonostante la corrente aumenti e il passaggio nella zona di conduzione avviene in pochi ns.

In *Figura 9* viene riportato l'andamento della tensione residua ai capi del varistore al variare della corrente che lo attraversa. La tensione residua ai capi del varistore dipende dalla geometria e dallo spessore della pastiglia, che opportunamente dimensionati, permettono di progettare SPD dalle diverse prestazioni e applicazioni.



Nell'immagine seguente, vengono messe a confronto le caratteristiche dei componenti a commutazione e limitazione rilevate durante alcuni test in laboratorio: in blu il GDT, in rosso il varistore. Si nota come quest'ultimo inizi a lavorare già a basse tensioni, motivo per cui viene montato fra fase e neutro.

Figura 10:
confronto fra
un varistore e un GDT



4 - Dati di targa e applicazioni pratiche degli SPD

Per poter scegliere quale tipo di SPD installare in un impianto, occorre conoscere i dati di targa che li caratterizzano.

Tensione nominale $[U_n]$: tensione nominale del sistema di alimentazione (Es: 230 V). Sebbene questo non sia un dato di targa di un SPD, occorre conoscere il valore della tensione nominale del sistema da proteggere ed essere sicuri che $U_n < U_c$.

Tensione massima continuativa $[U_c]$. E' il valore di tensione al di sotto del quale l'SPD di sicuro non interviene, e deve essere almeno pari al 110% della tensione nominale dell'impianto (U_n). Ad esempio gli SPD Finder di Classe II hanno U_c pari a 275 V (250 V + 10%).

Questo parametro costituisce il primo criterio di scelta dell'SPD ed è legato alla tensione nominale della rete, come riportato nella tabella seguente (CEI 64-8/2), che fornisce il minimo valore di U_c , in funzione del sistema di distribuzione.

| SPD collegati fra: | Sistema di distribuzione | | | |
|--|--------------------------|-----------|---------------|-----------------|
| | TN | TT | IT con neutro | IT senza neutro |
| Ciascun conduttore di fase e il neutro | 1.1 U_0 | 1.1 U_0 | 1.1 U_0 | NA |
| Ciascun conduttore di fase e il PE | 1.1 U_0 | 1.1 U_0 | U | U |
| Neutro e PE | U_0^* | U_0^* | U_0^* | NA |
| Ciascun conduttore di fase e il PEN | 1.1 U_0 | NA | NA | NA |
| Conduttori di fase | 1.1 U | 1.1 U | 1.1 U | 1.1 U |

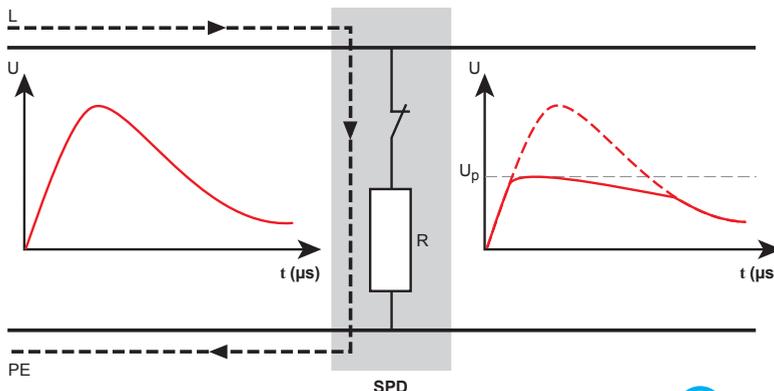
NA - non applicabile
 U_0 - tensione fase-neutro del sistema di bassa tensione
 U - tensione fase-fase del sistema di bassa tensione
 * - questi valori sono relativi alle condizioni di guasto più severe, pertanto la tolleranza del 10% non è presa in considerazione

Livello di tensione di protezione $[U_p]$: Rappresenta il massimo valore di tensione che permane ai capi dell'SPD durante il suo intervento. Se un SPD è caratterizzato da un valore di $U_p < 1.2$ kV, significa, per esempio, che una sovracorrente di 20 kA verrà limitata dallo scaricatore ad un valore massimo di 1.2 kV. Per valori inferiori, l' U_p sarà inferiore.

Dal valore associato a U_p si può dedurre la qualità dell'SPD e la bontà dei componenti utilizzati per la sua costruzione: tanto più è basso U_p , tanto più un SPD è qualitativo.

Per comprendere meglio questo dato, possiamo immaginare, ma non è così, che l' U_p sia quel valore di sovratensione che sfugge all'SPD prima che intervenga e può ancora propagarsi lungo la linea.

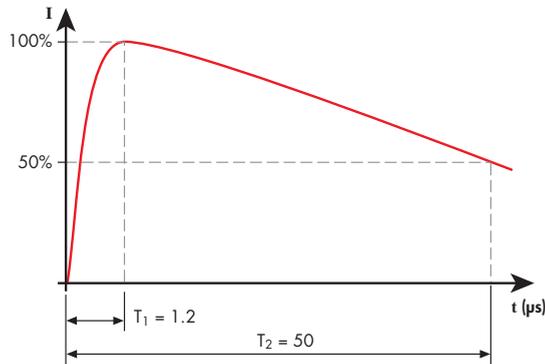
Oppure, facendo riferimento all'SPD-interruttore, possiamo schematizzare l'SPD, come un interruttore con in serie una resistenza: al passaggio di una corrente attraverso di essa per la legge di Ohm si avrà una tensione, che corrisponde, appunto, a U_p .



Tensione a vuoto [U_{oc}]: questo parametro è caratteristico per gli SPD di Classe III e corrisponde al valore di picco della tensione a vuoto del generatore di prova di tipo combinato, avente forma d'onda 1.2/50 μs (Figura 11) in grado di erogare contemporaneamente una corrente con forma d'onda 8/20 μs (Figura 12).

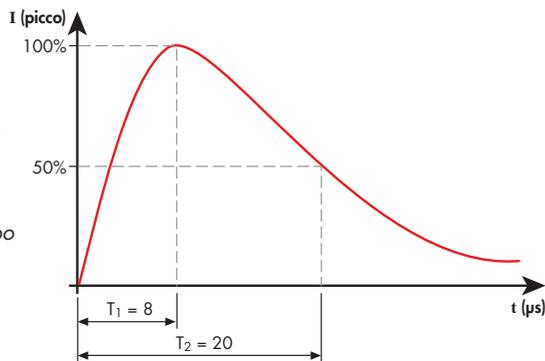
Il generatore di prova di tipo combinato viene usato per classificare le prestazioni degli SPD di Classe III.

Figura 11:
forma d'onda
di tensione 1.2/50 μs



Corrente nominale di scarica [I_n 8/20]: rappresenta il valore di picco della corrente che circola nell'SPD quando viene provato con una forma d'onda 8/20 μs. Le norme della serie EN 62305 prescrivono questa forma d'onda per simulare le correnti indotte dai fulmini sulle linee elettriche, ed è la prova caratteristica per gli SPD di Classe II.

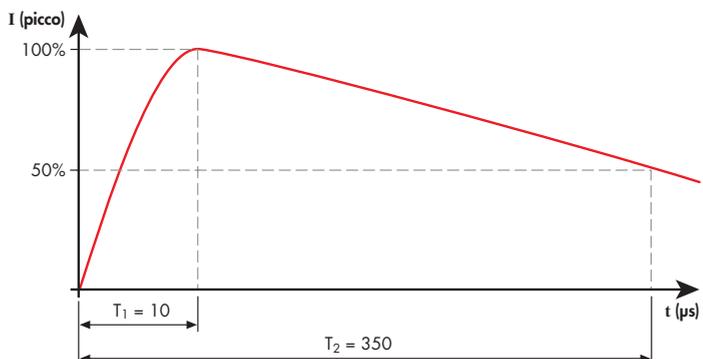
Figura 12:
forma d'onda
di corrente 8/20 μs
T₁ = 8 μs rappresenta il tempo
necessario per passare
dal 10 al 90 %
del fronte di salita
T₂ = 20 μs rappresenta il tempo
necessario per passare
al 50 % del valore
del fronte di discesa



Corrente massima di scarica [I_{max} 8/20]: Valore di picco della massima corrente con forma d'onda 8/20 μs che l'SPD può scaricare almeno una volta senza rompersi.

Corrente impulsiva [I_{imp} 10/350]: Corrisponde al valore di picco dell'impulso di forma d'onda 10/350 μs con cui viene provato l'SPD di Classe I. Questa forma d'onda viene utilizzata per simulare il primo colpo di fulmine.

Figura 13:
forma d'onda
di corrente 10/350 μs



Fusibile di protezione: per affrontare questo discorso si rimanda al paragrafo dedicato (*Sistemi di back up: fusibili, interruttori magnetotermici e magnetotermici differenziali, pagina 32*). Iniziamo a dire che anche dalla taglia massima consentita **si ha un'informazione sulla qualità dell'SPD**: tanto più è alto questo valore, tanto più il varistore usato è di qualità perchè riesce a gestire e dissipare energia autonomamente. Questo, ovviamente, si traduce in un incremento della vita del prodotto.

Disgiuntore termico

Il disgiuntore termico ha il compito di scollegare l'SPD dalla rete elettrica quando è giunto a fine vita e interviene quando la corrente di fuga caratteristica dei varistori assume un valore troppo elevato a seguito dell'invecchiamento del componente, o in seguito ad una sovratensione eccessiva.

L'intervento della protezione termica viene segnalato da una finestrella posta sul frontale dello scaricatore che cambia di colore, passando, in genere, da verde (dispositivo OK) a rosso (dispositivo guasto) e, contemporaneamente, potrebbe attivare un contatto in scambio per la segnalazione remota, che, a sua volta, potrebbe comandare per esempio un segnale luminoso o sonoro.

Il dispositivo di protezione termica può intervenire anche in seguito alla scarica di un'elevata corrente di fulmine, superiore alla I_n per segnalare che l'SPD non è più in grado di proteggere il sistema.

Surge Protective Device.... SPD in pratica

Abbiamo visto che in base alle modalità costruttive, gli SPD possono essere classificati a "limitazione", a "commutazione" e "combinati"; riportiamo in maniera schematica le caratteristiche degli SPD a limitazione e a commutazione ampiamente visti precedentemente, mentre approfondiremo l'analisi sugli SPD di tipo combinato:

SPD ad innesco, o commutazione

Vantaggi:

- Dimensioni e alte correnti di scarica
- Affidabilità
- Isolamento galvanico

Svantaggi:

- Tensione di innesco elevata (U_p alta)
- Corrente susseguente

SPD a limitazione

Vantaggi:

- Tempi di intervento ridotti (25 ns)
- Precisione nella ripetibilità delle accensioni
- Basso livello di protezione U_p
- Assenza della corrente susseguente

Svantaggi:

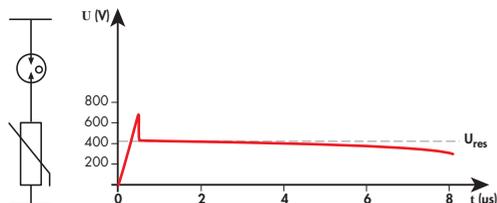
- Non garantiscono l'isolamento galvanico, quindi corrente di dispersione non nulla
- Capacità di scarica ridotta

SPD di tipo combinato

A seconda del tipo di collegamento serie o parallelo, verrà sollecitato per primo rispettivamente il GDT o il varistore.

Collegamento in serie:

Varistore e GDT sono in serie, tensione residua alta, corrente susseguente nulla.



Nel collegamento in serie viene prima sollecitato lo spinterometro: si raggiunge la tensione di innesco, nello spinterometro scocca l'arco e la tensione residua, che prima crollava alla tensione d'arco, rimane a valori più alti. Questo grazie al varistore in serie, che imponendo la sua tensione residua (molto maggiore della tensione d'arco) aiuta lo spinterometro ad estinguere l'arco e annulla la corrente susseguente.

Vantaggi:

- Isolamento galvanico garantito: assenza di correnti di dispersione
- No corrente susseguente grazie ad un'alta tensione residua

Svantaggi:

- Livello di protezione elevato (U_p alto per alta tensione di innesco)
- Capacità di scarica ridotta
- Tolleranza di innesco ampia (maggiore del varistore)

Approfondimenti

Questa tipologia di SPD è caratterizzata dalla presenza di 2 componenti collegati in serie caratterizzati da due livelli di protezione molto diversi fra loro: l'apparecchiatura che si vuole proteggere, a che valore di sovratensione è effettivamente esposta?

Impostando il ragionamento su basi teoriche, il costruttore di SPD fornisce un dispositivo del quale dichiara solo U_p che a seconda della tecnologia può coincidere con:

- a) $U_p = U_{in}$ (tensione di innesco del GDT)
- b) $U_p = U_{res}$ (tensione residua del varistore)

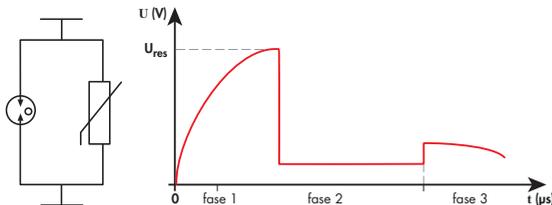
Si ricorda che è importante conoscere il valore di U_p che sarà, a parità di corrente di scarica, tanto più basso, quanto più il componente è buono.

In questo tipo di collegamento la corrente di esercizio continuativa è nulla ($I_c = 0$), così il varistore dura molto di più perché non è sempre "ON".

Difetti: in questo caso il GDT è pilotato dal varistore che è meno performante in termini di energia dissipata, perché dissipa sulla propria impedenza, per cui le capacità di scarica potrebbero non essere molto alte. Tuttavia, con le attuali tecnologie, è possibile comunque avere alte correnti di scarica, legate ad una lunga vita del varistore e correnti di fuga nulle.

Collegamento in parallelo:

Varistore e GDT sono in parallelo, tensione residua bassa, livello di protezione basso.



Al contrario del caso precedente, in questa configurazione circuitale, interviene prima il varistore perché caratterizzato da tempi di intervento minori dei GDT, si parla in media di 20 ns. Il costruttore fa in modo che l'incremento della tensione ai capi del varistore determini l'innesco del GDT che bypassando il varistore lo protegge e garantisce alte correnti di scarica.

Vantaggi:

- Tempi di intervento ridotti
- Alte correnti di scarica
- Basso livello di protezione (U_p bassa)
- Precisione di intervento

Svantaggi:

- Corrente susseguente non nulla (U_{res} alta)
- Corrente di dispersione non nulla

5 - Tecniche di installazione

Terminata l'analisi delle caratteristiche costruttive e funzionali degli SPD in commercio, proseguiamo con l'analisi della metodologia dell'installazione, che riveste un ruolo importante nella protezione delle apparecchiature: un'installazione malfatta rende addirittura inutile la presenza degli SPD in un impianto.

Iniziamo a vedere come e dove collegare l'SPD, introducendo il concetto di **livello di protezione effettivo $U_{p/f}$** . Il livello di protezione effettivo considera, oltre l' U_p dell'SPD, la caduta di tensione ai capi dei conduttori di connessione dell'SPD.

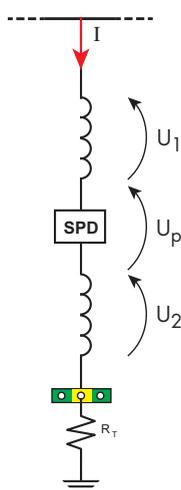
Come possiamo notare l'induttanza parassita dei conduttori gioca un ruolo fondamentale, specie se la forma d'onda di tensione è caratterizzata da una pendenza molto elevata. Se la pendenza dell'onda fosse nota, potremmo calcolare esattamente il valore di ΔU con la seguente relazione:

$$\Delta U = L \cdot di/dt$$

dove

L: induttanza del cavo

di/dt: derivata della corrente



Vale la relazione:

$$U_{p/f} = U_p + U_1 + U_2$$

$$\text{Definiamo } \Delta U = U_1 + U_2$$

$$U_{p/f} = U_p + \Delta U$$

La norma EN 62305 quantifica $\Delta U = 1 \text{ kV/m}$ per SPD di Classe I, mentre è trascurabile per la Classe II e III.

Si deduce, quindi, che realizzare collegamenti molto lunghi, sia verso l'SPD che verso l'apparecchiatura da proteggere, introduce dei valori di tensione che non siamo in grado di conoscere, che vanno a sommarsi all' U_p dello scaricatore alterando o addirittura annullando la capacità di protezione offerta dall'SPD.

La formula per calcolare il valore di protezione effettivo riportata sopra è valida per gli SPD che utilizzano il varistore. In questo caso, infatti, la caduta ΔU si verifica contemporaneamente a U_p . Se la caduta non si verifica contemporaneamente come con gli spinterometri, dobbiamo scegliere il maggiore tra ΔU e U_p . In questo caso la caduta induttiva sui collegamenti si verifica soltanto dopo l'innesco dello spinterometro, quindi non si somma a U_p .

Negli SPD combinati serie realizzati con varistore + spinterometro l' U_p totale è data dal maggiore tra U_{pGDT} e U_{pVAR} . Se realizzati con 2 varistori in serie, U_p totale è la somma degli U_p dei varistori.

Per garantire la protezione offerta dell'SPD, bisogna seguire una serie di accortezze nella fase di installazione che vengono riportate di seguito.

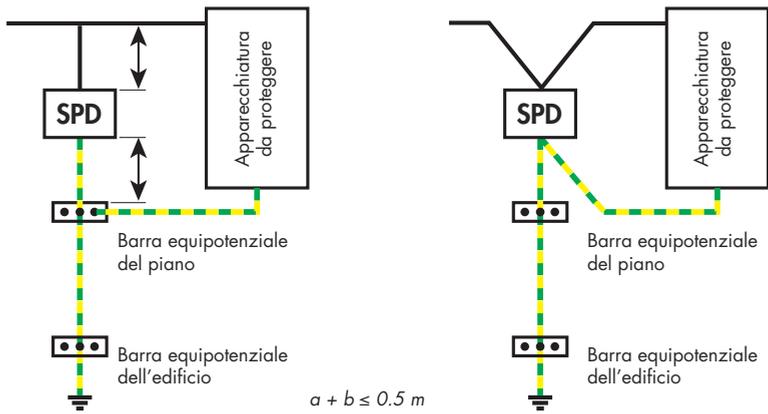
L'apparecchiatura da proteggere deve essere collegata alla barra equipotenziale a cui è collegato l'SPD, e non ad una barra equipotenziale qualsiasi presente nell'edificio "perché tanto sono tutte collegate a terra" (Figura 16). Inoltre la lunghezza dei cavi da e verso l'SPD non deve superare i 50 cm.

Questo vale per SPD di Tipo 1 quando sono interessati dalla I_{imp} (10/350 μ s).

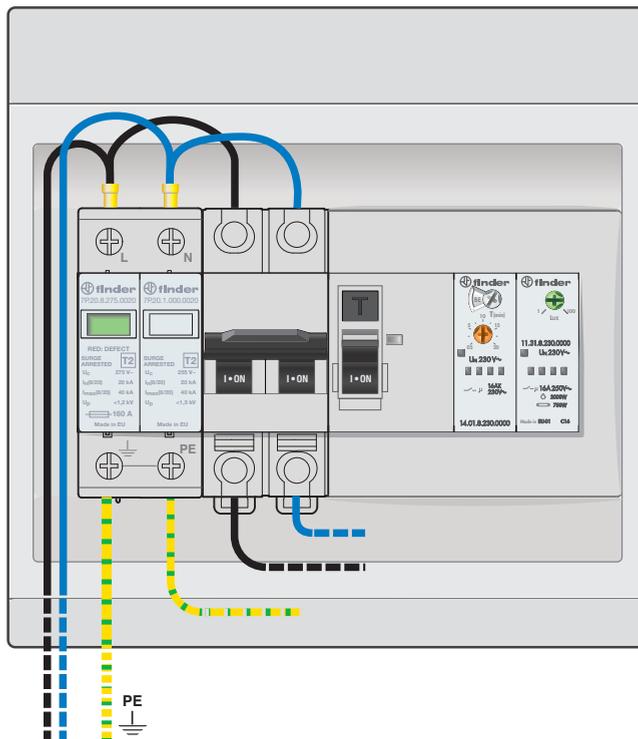
Nel caso in cui i collegamenti superino i 50 cm si deve realizzare il collegamento entra-esci che viene comunque sempre consigliato in quanto rende trascurabile il contributo ΔU .

Nel collegamento entra-esci, i cavi in ingresso e uscita dall'SPD devono essere tenuti distanti il più possibile.

Collegamento entra-esci



Installazione corretta



Alcune tecniche che aiutano a migliorare il livello di protezione consistono nel ridurre l'induttanza fra i conduttori. Questo può avvenire twistingo i conduttori (Figura 14), o utilizzando cavi schermati (Figura 15). Il collegamento ideale rimane comunque l'entra-esce.

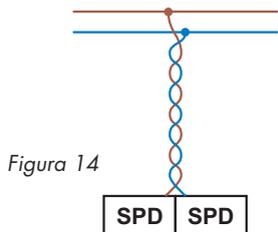


Figura 14

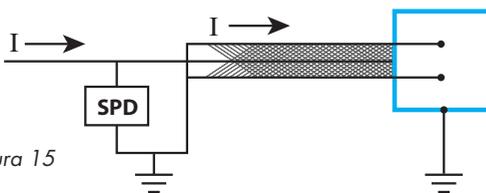


Figura 15

Riportiamo alcuni esempi di collegamenti errati: l'errore più comune consiste nell'eseguire collegamenti da e verso l'SPD molto lunghi.

A lato viene rappresentato il collegamento dell'SPD ad una barra equipotenziale qualsiasi. In questo caso viene introdotta l'induttanza che collega la barra equipotenziale a cui è collegata l'apparecchiatura da proteggere con la barra equipotenziale a cui è collegato l'SPD. In questo caso ΔU è dato dalla somma di 3 contributi, e $U_{p/f}$ assume valori sicuramente molto alti.

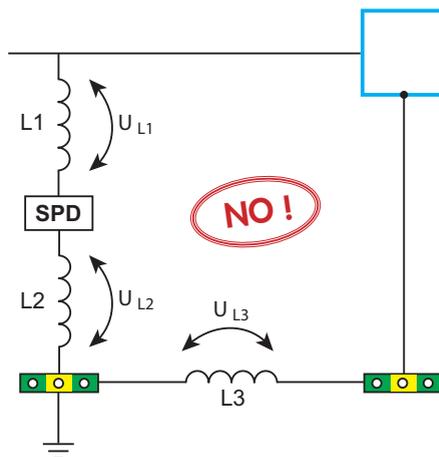


Figura 16:
collegamento errato ad
una barra equipotenziale qualsiasi

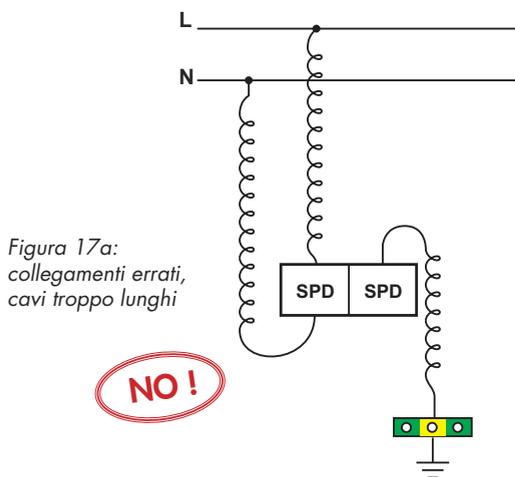


Figura 17a:
collegamenti errati,
cavi troppo lunghi

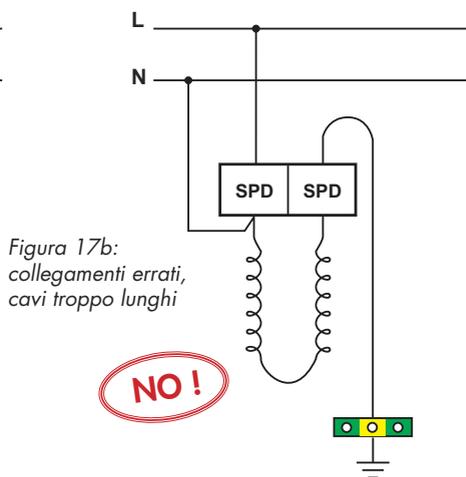
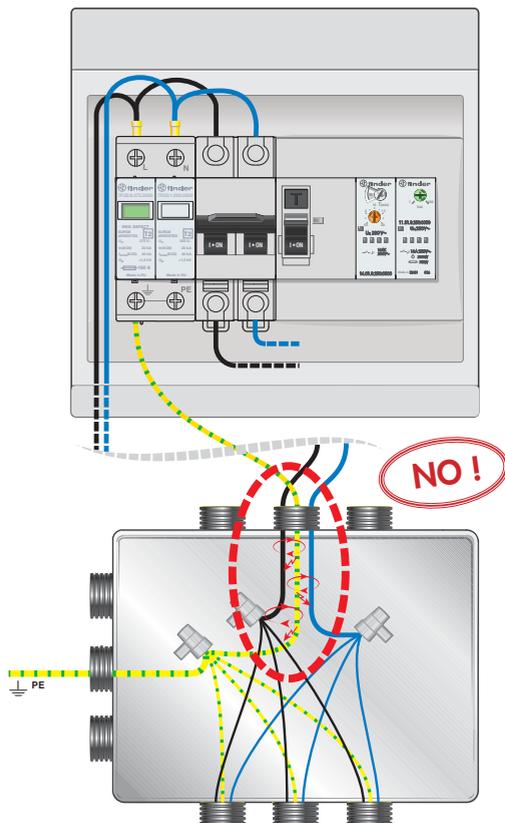


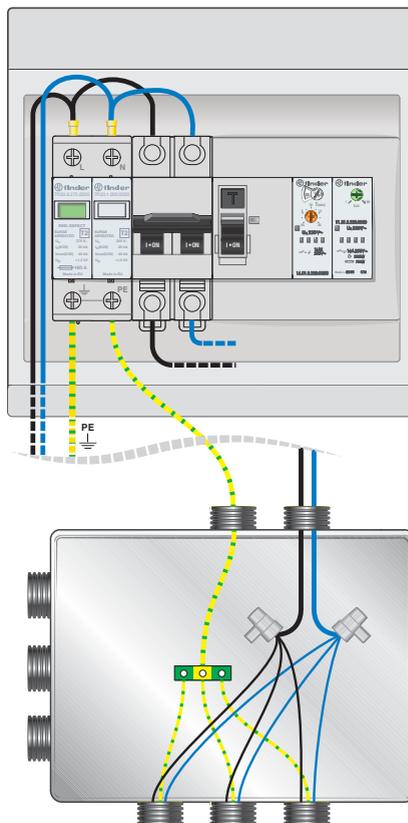
Figura 17b:
collegamenti errati,
cavi troppo lunghi

Figura 18: installazione errata.
Il conduttore di terra corre insieme ai conduttori protetti: è possibile un accoppiamento induttivo che annulla l'effetto dell'SPD.



Un altro errore da evitare è quello di far correre il conduttore di terra collegato all'SPD insieme ai conduttori protetti. In questo caso, è probabile creare delle sovratensioni indotte sui conduttori protetti.

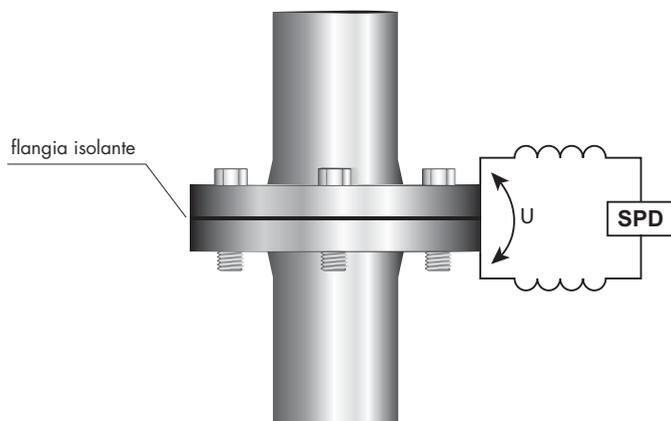
Figura 19: installazione corretta.
conduttore di terra alla barra equipotenziale, separato da fase neutro.



L'installazione corretta prevede che il conduttore di terra in uscita dall'SPD debba essere collegato ad una barra equipotenziale e viaggiare in una tubatura dedicata.

Analizziamo ancora come comportarsi nel caso in cui vengano interposte delle guarnizioni di materiale isolante con alta resistività elettrica sulle tubature metalliche (masse estranee), che creano gravi problemi in caso di sovratensioni.

Generalmente, in corrispondenza delle flange è sufficiente installare dei cavallotti per garantire la continuità elettrica non assicurata dai bulloni. In applicazioni molto rare potrebbe essere necessario installare un SPD, in questo caso la **lunghezza massima dei collegamenti è di 40 cm**.



Distanza di protezione

Conseguenza della decisione di proteggere un'apparecchiatura, è stabilire dove installare l'SPD. Tanto più l'SPD, è vicino all'apparecchiatura da proteggere, tanto meglio la protegge. Tanto più mi allontano, meno proteggerò ciò che mi interessa, ma posso aumentare la protezione verso altri dispositivi.

Un SPD installato in un quadro non protegge tutto quello che ha a valle, protegge fino a una certa distanza, compatibile con la tensione di tenuta (U_w) dei dispositivi collegati. Supponiamo che il dispositivo da proteggere abbia una tensione di tenuta pari a 2.5 kV, posso proteggerlo, per esempio, allontanandomi fino a 20 m, se U_w fosse invece pari a 4 kV, potrei proteggerlo, per esempio, allontanandomi fino a 40 m. Questi valori sono puramente esemplificativi, non hanno alcun fondamento pratico.

Attualmente la norma non stabilisce limiti sulla capacità di protezione di un SPD solo se posizionato entro 10 m dall'apparecchiatura da proteggere, ma probabilmente possiamo ipotizzare che in futuro la distanza di protezione massima potrebbe non superare i 3 m. Per essere certi della protezione offerta dall'SPD installato è sempre meglio verificare la relazione: $U_{p/f} < U_w/2$ (EN 62305).

Approfondimenti

La necessità di stabilire la distanza massima di protezione deriva dai complessi fenomeni relativi alle onde riflesse, per cui un'onda di tensione, se arriva a fondo linea e trova un carico non adattato si riflette, torna indietro e si sovrappone all'onda di tensione che si sta propagando.

Ciò significa che se la sovratensione residua (U_{res}) che rimane ai capi dell'SPD si propaga lungo la linea, trova a fondo linea un circuito aperto, si riflette, torna indietro, e per il fenomeno delle onde stazionarie, la tensione a fondo linea (quindi ai capi dell'apparecchiatura) può addirittura raddoppiare raggiungendo un valore pari a $2 U_{res}$.

Se la lunghezza dei cavi è superiore a 10 m la distanza

di installazione si può calcolare tramite la formula: $L_{po} = [U_N - U_{p/f}]/K$ [m]

con $K=25$ V/m

Immaginiamo di avere un aumento di tensione totale per ogni metro pari a:

$$\Delta U = 2 \cdot S \cdot \tau$$

dove

S: varia con la pendenza della forma d'onda: 0.8 - 0.9 rappresentano valori cautelativi e ragionevoli

τ : è il tempo necessario per percorrere il tratto di cavo

$$\tau = L/v$$

dove

v = velocità di propagazione dell'onda.

Quindi possiamo ottenere K: $K = 2 \cdot S \cdot \tau$

Da cui, la caduta per metro di cavo $\Delta U = K \cdot L$ [V/m]

Allora vale: $U_{p/f} + K \cdot L_{po} < U_W$ (questa formula non si applica al di sotto dei 10 m)

Spesso non è possibile installare un solo SPD per proteggere tutte le apparecchiature sensibili, quindi si devono installare due o più SPD in modo che gli apparati risultino installati entro la distanza di protezione offerta dall'SPD. Per fare questo bisogna installare gli SPD in cascata in modo tale che siano coordinati energeticamente.

Due o più SPD coordinati energeticamente costituiscono un SISTEMA di SPD.

Sistema di SPD e coordinamento energetico

Un sistema di SPD si ottiene collegando in successione almeno due SPD coordinati energeticamente. Con questo termine si intende che l'energia che lascia fluire il primo SPD è compatibile con quella che l'SPD a valle è in grado di sopportare.

Il coordinamento avviene "distanziando" opportunamente gli SPD, inserendo un'induttanza di adeguato valore. Questa induttanza, viste le frequenze in gioco, viene introdotta automaticamente dai cavi utilizzati nell'impianto elettrico. Le norme quantificano $1 \mu\text{H}/\text{m}$; ciò significa che se distanziamo di 5 m due SPD, inseriamo fra i 2 dispositivi un'induttanza di $5 \mu\text{H}$.

Il valore minimo dell'induttanza da inserire o, in altri termini, la lunghezza in metri di cavo utile per distanziare i prodotti, viene dichiarata dal costruttore. Tale valore, quindi, è il minimo richiesto per garantire una ripartizione delle sovratensioni in termini energetici fra l'SPD a monte e l'SPD a valle. In questo modo il primo assorbe un'energia tale da non danneggiare il secondo (appendice 4 della norma EN 62305).

Si ipotizzi di voler realizzare la protezione alle sovratensioni di un edificio installando nel quadro di distribuzione principale un SPD di Tipo 1 e nel quadro più a valle, un SPD di Tipo 2. Spesso con un solo SPD all'arrivo della linea non si protegge nulla. Va benissimo per diminuire le probabilità che si inneschino scariche pericolose, e quindi incendi: l'SPD di Classe I evita la morte delle persone, ma non protegge le apparecchiature. Questo compito viene svolto da un sistema di SPD.

Si dovrà quindi installare un SPD di Classe II più prossimo alle apparecchiature da proteggere. In prossimità di apparecchiature elettroniche sensibili e costose (PC, TV, ecc..) dovrà essere installato un SPD di Tipo 3.

Nella figura seguente viene rappresentato un sistema di protezione alle sovratensioni per un sistema TT trifase.

In questo caso viene utilizzato un SPD di Tipo 1 "Low U_p ", ad almeno 5 m di distanza viene installato un SPD di Tipo 2, e in corrispondenza delle utenze finali (comunque ad almeno 1 m di distanza dal T2) un SPD di Tipo 3.

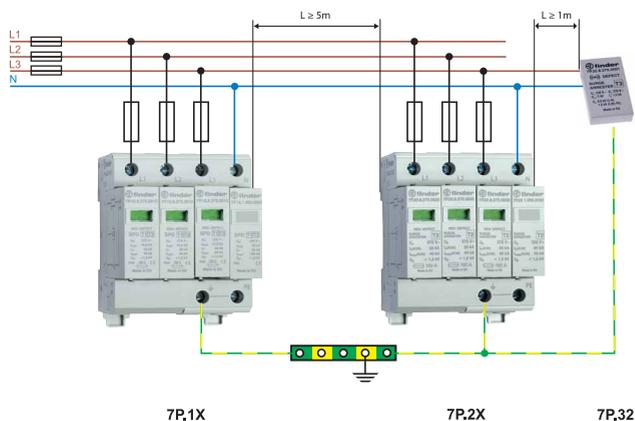


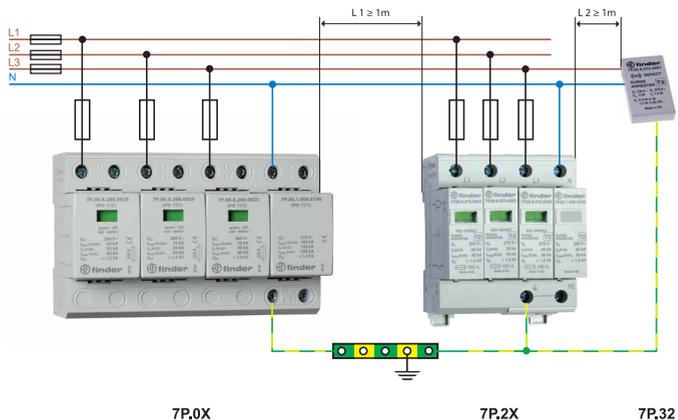
Figura 20:
coordinamento energetico
fra SPD di Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3

Gli SPD Finder di Tipo 1, garantiscono bassi valori di U_p , analoghi ai valori degli SPD Finder di Tipo 2.

Questo è stato possibile soltanto utilizzando varistori di qualità.

Un sistema di protezione analogo, ma con correnti di scarica maggiori, si ottiene utilizzando gli SPD combinati Tipo 1+2. Questi SPD svolgono esattamente le funzioni degli SPD di Classe I e di Classe II posti in cascata (si ricorda che "Classe" o "Tipo" sono sinonimi).

Figura 21:
 coordinamento energetico
 fra SPD di Tipo 1+2, Tipo 2
 e Tipo 3



Gli SPD Tipo 1+2, i "7P.0x", forniscono a tutti gli effetti la protezione offerta da un SPD di Tipo 1 e un SPD di Tipo 2 perfettamente coordinati. In Figura 21, l'SPD di Classe II è stato inserito ipotizzando un impianto di una certa estensione, ma, per impianti piccoli, dove la distanza di protezione viene rispettata, l'SPD di Tipo 2 può non essere installato (Figura 22).

Figura 22:
 coordinamento energetico
 fra SPD di Tipo 1+2 e di Tipo 3

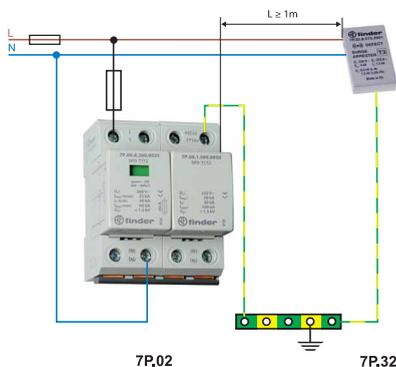
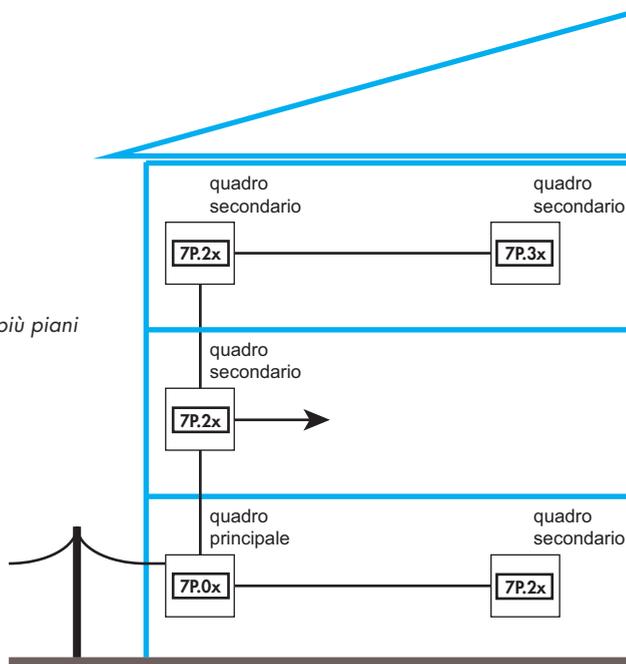


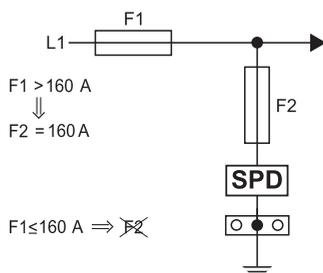
Figura 23:
 coordinamento energetico
 in un impianto distribuito su più piani



Sistemi di back-up: fusibili, interruttori magnetotermici e magnetotermici differenziali

Gli SPD possono essere installati con e senza fusibili di protezione.

Per stabilire quando installare i fusibili possiamo far riferimento allo schema:



F1 rappresenta il dispositivo di protezione principale alle sovracorrenti. Se F1 è maggiore al valore di corrente indicato a catalogo come "Protezione massima si sovracorrente", allora l'SPD deve essere protetto con un fusibile di back-up della taglia seguente:

Per SPD Tipo 1+2 (7P.0x): 250 A

Per SPD Tipo 1+2 (7P.1x): 160 A

Per SPD Tipo 2 (7P.2x): 160 A

Utilizzare fusibili di taglie inferiori a quelle riportate è controproducente perché determinano una riduzione delle caratteristiche dell'SPD: se sottodimensionati, infatti, i fusibili esplodono con correnti di fulmine inferiori a quelle di targa dell'SPD, riducendone quindi le prestazioni.

Un discorso analogo si può fare se si utilizzano interruttori magnetotermici-differenziali e magnetotermici puri: in laboratorio sono stati testati diversi magnetotermici curva C, con I_n da 25 A e 32 A: questi durante il passaggio della sovracorrente con forma d'onda 8/20 μs intervenivano aprendo i contatti, come se ci fosse un guasto. I valori in gioco erano molto bassi: si parla di correnti di 5 kA contro i 20 kA di corrente nominale dell'SPD. Si evince quindi che inserire un interruttore automatico di back-up comporta la riduzione delle prestazioni dell'SPD che quindi funzionerà correttamente solo con correnti minori.

Ciò significa che:

- Solo una parte della sovracorrente viene limitata
- L'SPD non si danneggia ma viene scollegato dall'impianto fino a quando un operatore ripristina l'interruttore
- La norma non li vieta, ma precisa che i differenziali incrementano l' $U_{p/f}$, con conseguente riduzione della distanza di protezione e maggior sollecitazione degli isolamenti
- I magnetotermici dei vari produttori sono molto diversi fra loro, quindi non si può stabilire a priori il comportamento con l'SPD.

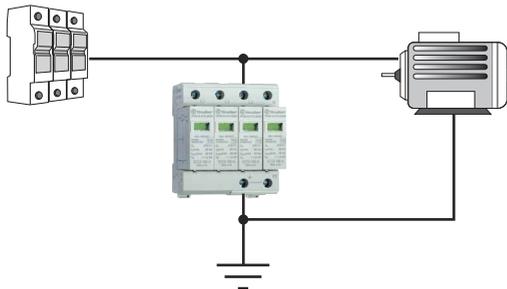
Concludendo, quindi, dai test eseguiti si è notato che magnetotermici da 63 A, curva C, permettono all'SPD di lavorare fino a 38 kA, contro i suoi 40 kA di I_{max} , non ancora sufficienti per dichiarare la perfetta corrispondenza ai dati di targa. Si consiglia, quindi, di utilizzare sempre i fusibili che non peggiorano in alcun modo l' $U_{p/f}$ e sono standard nel loro funzionamento indipendentemente dal costruttore.

E' importante verificare, per un SPD spinterometrico, che il valore nominale di interruzione della corrente susseguente sia superiore al valore della corrente di cortocircuito nel punto di installazione. Gli SPD Finder, senza fusibile, hanno una capacità di estinzione della corrente susseguente pari a 100 A.

Con l'uso del fusibile il valore di tenuta alla corrente di cortocircuito aumenta fino a 35 kA.

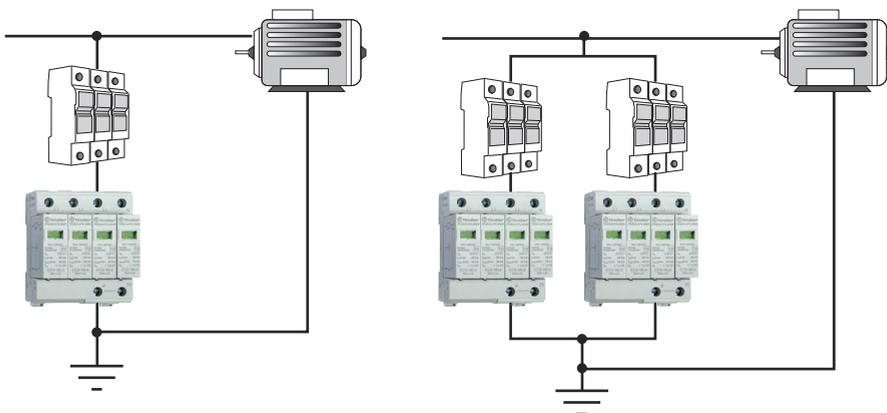
Le protezioni di back-up possono essere installate in modo da privilegiare la protezione o la continuità dell'alimentazione (quindi del servizio) del dispositivo da proteggere.

Priorità della protezione:



In questo caso il fusibile protegge, oltre che l'SPD, anche il dispositivo da proteggere. Se un fusibile salta perché l'SPD si è danneggiato a causa di un'elevata sovracorrente, si verifica un fermo macchina.

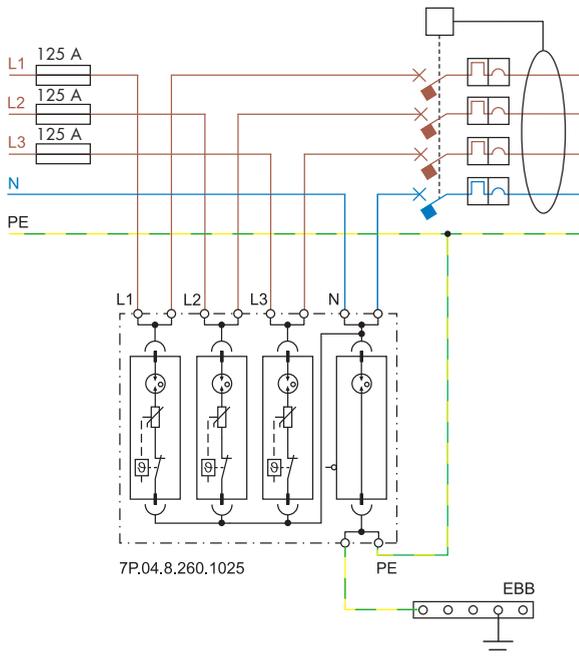
Priorità dell'alimentazione:



Nella priorità dell'alimentazione, i fusibili proteggono solamente l'SPD. In questo caso, se interviene un fusibile perché l'SPD si è danneggiato a causa di un'elevata sovracorrente, l'apparecchiatura continua a funzionare, quindi non perdo il servizio ma la macchina non è più protetta. Se si ritiene opportuno il sistema di protezione alle sovratensioni può essere ripetuto due volte.

Collegamento seriale (V-shape)

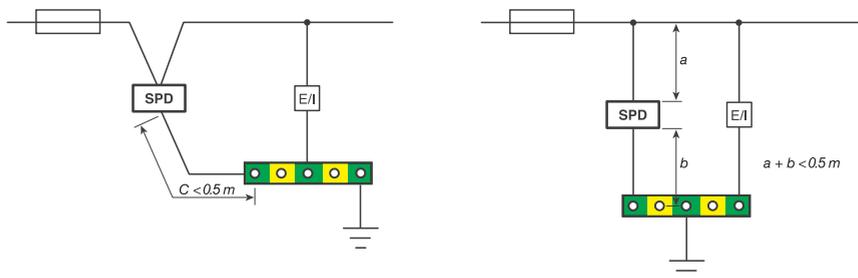
Il collegamento seriale (V-shape) permette di incrementare l'efficacia della protezione eliminando il contributo della tensione induttiva introdotta dai conduttori di connessione dell'SPD, durante il drenaggio della sovracorrente. Il limite di questa installazione è dato dalla corrente nominale del sistema che dovendo attraversare il doppio morsetto dell'SPD non può superare i 125 A.



Per sistemi in cui la corrente nominale è maggiore a 125 A, si deve procedere con la classica installazione dell'SPD in parallelo al sistema (T-shape).

Conduttori di collegamento

A seconda della tipologia di collegamento, seriale (V-shape) o parallelo (T-shape), occorre prestare attenzione che la lunghezza e la sezione minima dei conduttori che alimentano gli SPD vengano rispettate:



I conduttori di collegamento dell'SPD devono essere il più corti possibile e rettilinei. Le sezioni dei conduttori di collegamento fra SPD e conduttori attivi della linea elettrica sono le stesse utilizzate nell'impianto elettrico nel punto di installazione dell'SPD. Le sezioni dei conduttori di collegamento verso terra devono avere delle sezioni minime ben precise come indicato in tabella (per conduttori in rame):

| SPD | Sezione minima mm ² |
|------------|--------------------------------|
| Classe I | 6 |
| Classe II | 4 |
| Classe III | 1.5 |

6 - Applicazioni industriali

Premessa

Nel campo industriale i criteri di installazione sono analoghi a quelli del settore civile, la differenza impiantistica risiede solo nel numero di fasi. Gli impianti industriali possono essere TN, IT e TT, questi ultimi specifici, anche, per il settore civile.

Con riferimento alla EN 60364, dalla quale deriva la CEI 64-8, vengono definiti tre tipi di sistemi di distribuzione che differiscono in funzione del collegamento a terra del sistema dei conduttori attivi e dal collegamento a terra delle masse:

Per la loro classificazione vengono utilizzate due lettere che assumono il seguente significato:

1° lettera: T = neutro è collegato a terra

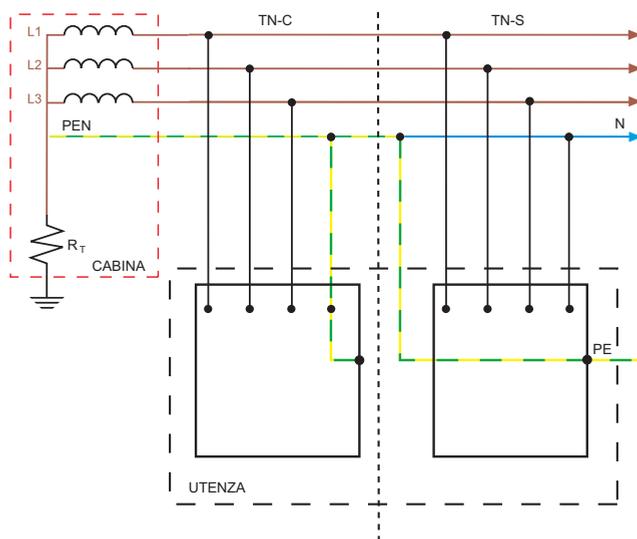
1° lettera: I = neutro non è collegato a terra oppure collegato a terra tramite un'impedenza

2° lettera: T = masse collegate a terra

2° lettera: N = masse collegate al neutro del sistema

Iniziamo quindi ad analizzare i metodi di installazione degli SPD nel settore industriale, più complesso in quanto più articolato, analizzando nell'ordine i sistemi TN, IT, e in ultimo il sistema TT che farà da ponte di collegamento per gli impianti civili.

Sistema TN



Nel sistema TN il neutro del sistema è collegato direttamente all'impianto di terra. Le masse sono collegate al conduttore di neutro direttamente (TN-C) o tramite un conduttore di protezione (TN-S). Se il conduttore di neutro funge anche da conduttore di protezione prende il nome di PEN.

Con riferimento alla Variante 2 della CEI 64-8, la modalità corretta di installazione degli SPD richiede la connessione di "Tipo A" che prevede gli SPD installati fra i conduttori attivi e il conduttore di protezione principale oppure fra i conduttori attivi e il collettore principale di terra. Tra i due deve essere scelto il percorso più breve.

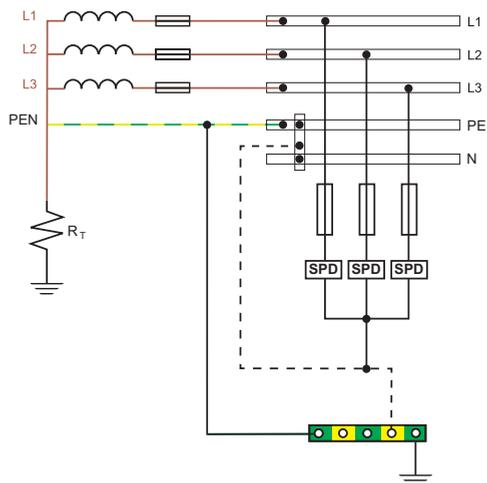


Figura 24: connessione di "Tipo A": SPD fra conduttori attivi e PEN

In corrispondenza del quadro secondario, un sistema TN-C, potrebbe diventare TN-S, e come dispositivi di protezione dai contatti indiretti possono essere utilizzati gli interruttori differenziali (RCD) come mostrato nella Figura 25.

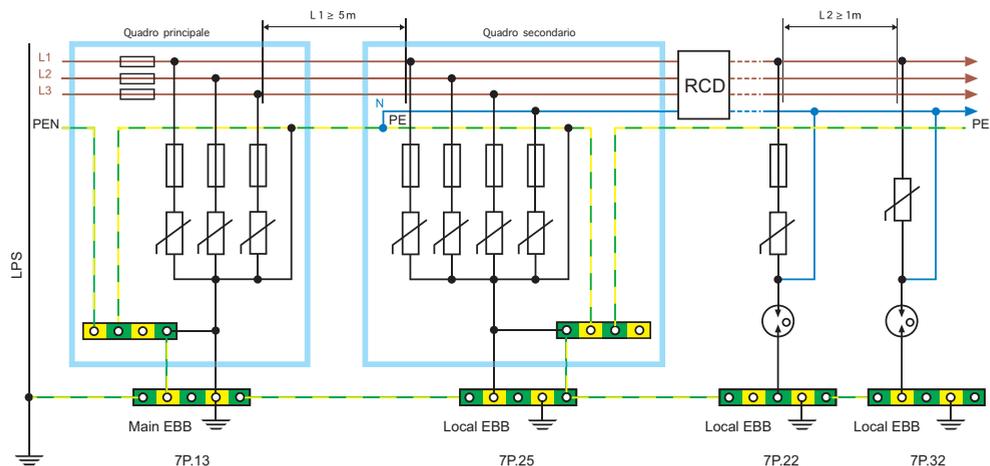
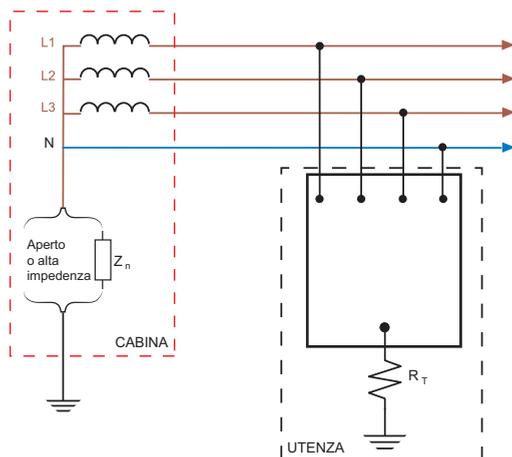


Figura 25: connessione di "Tipo A" e coordinamento energetico effettuato con SPD Finder

Nel quadro principale, a valle dei dispositivi di massima corrente, viene quindi installato un SPD di Tipo 1, nel quadro secondario, a monte del differenziale, un SPD di Tipo 2 che sarà di tipo "4+0" essendo dotato di 4 varistori.

A valle del differenziale, potranno essere usati degli SPD di Classe II con configurazione 1+1.

Sistema IT



Nel sistema IT il neutro è isolato o collegato a terra tramite impedenza di alto valore (per il 230/400 V centinaia di Ohm), mentre le masse sono collegate ad una terra locale. Questo è un sistema utilizzato per impianti con particolari esigenze di continuità di esercizio. Anche questa tipologia impiantistica richiede la connessione di "Tipo A".

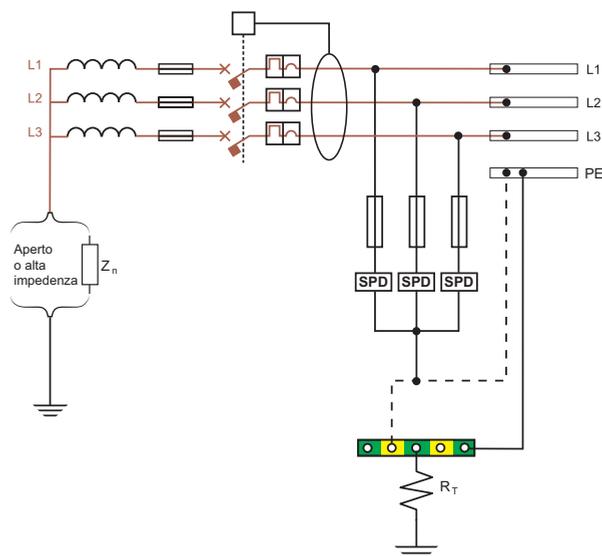


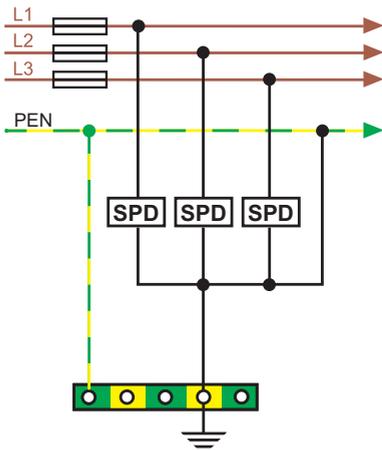
Figura 26: connessione di "Tipo A": SPD fra conduttori attivi e PE

Come anticipato, il sistema IT viene utilizzato in particolari condizioni, per esempio in quelle industrie in cui la produzione non può essere interrotta in nessun caso. Al primo guasto un sistema IT diventa un TT o TN, per cui, il sistema continua a funzionare correttamente in modo che la produzione non si fermi.

Al primo guasto il PE assume il potenziale della fase difettosa ma non è un problema perché il PE e tutte le parti che possono essere toccate contemporaneamente assumono lo stesso potenziale quindi non si possono avere d.d.p. pericolose. Questo implica che in fase di progettazione delle protezioni da sovratensione in un sistema IT 230/400 V, in caso di SPD difettoso, si avrà una tensione di 400 V sull' SPD non difettoso.

A seconda del tipo di IT se a neutro distribuito o non distribuito si devono scegliere SPD idonei tenendo conto della tensione che si può presentare in caso di guasto sugli SPD.

Sistema IT con Neutro NON distribuito



$$U_n \leq 400 \text{ V AC}$$

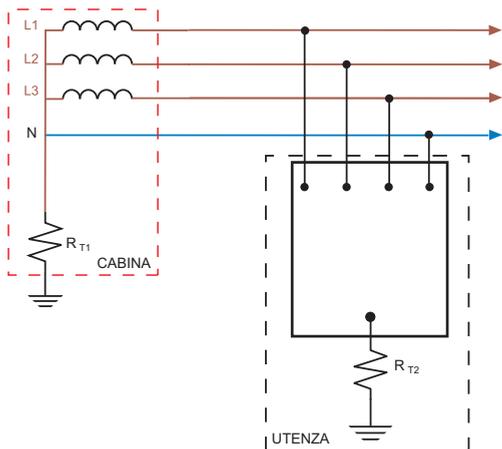
SPD L-PE:
 $U_c = 600 \text{ V AC}$

quindi:

$$3 \times \text{SPD } U_c = 600 \text{ V AC}$$

Per i sistemi IT con neutro distribuito il valore nominale di interruzione della corrente susseguente per gli SPD connessi fra Neutro e PE deve essere lo stesso che per gli SPD connessi fra fase e neutro.

Sistema TT



Nel Sistema TT: il neutro è collegato direttamente a terra mentre le masse sono collegate ad un impianto di terra locale indipendente da quello del neutro.

Con riferimento alla Variante 2 della CEI 64-8, nei sistemi TT, gli SPD possono essere collegati alla rete elettrica seguendo la connessione "Tipo B" o "Tipo C". La connessione "Tipo B" prevede gli SPD collegati tra ciascuno dei conduttori attivi e il conduttore di protezione principale, oppure, se il percorso è minore, tra ciascuno dei conduttori attivi e il collettore principale di terra.

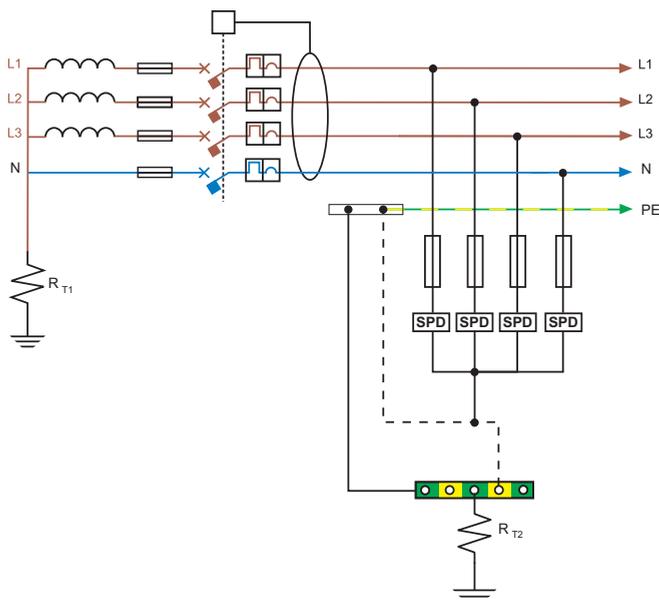


Figura 27: connessione di "Tipo B": gli SPD collegati alle fasi e al neutro vengono riferiti a terra

La connessione di "Tipo C" prevede il collegamento degli SPD tra ciascun conduttore di fase e il neutro e fra il conduttore di neutro e il conduttore di protezione o, se il percorso è minore, fra il neutro e il collettore principale di terra.

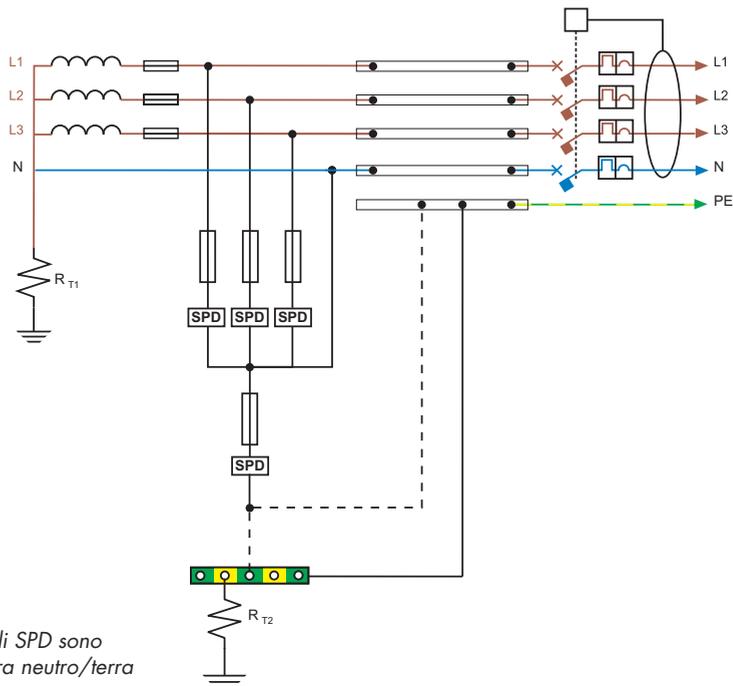


Figura 28:
connessione di "Tipo C": gli SPD sono collegati tra fasi/neutro e tra neutro/terra

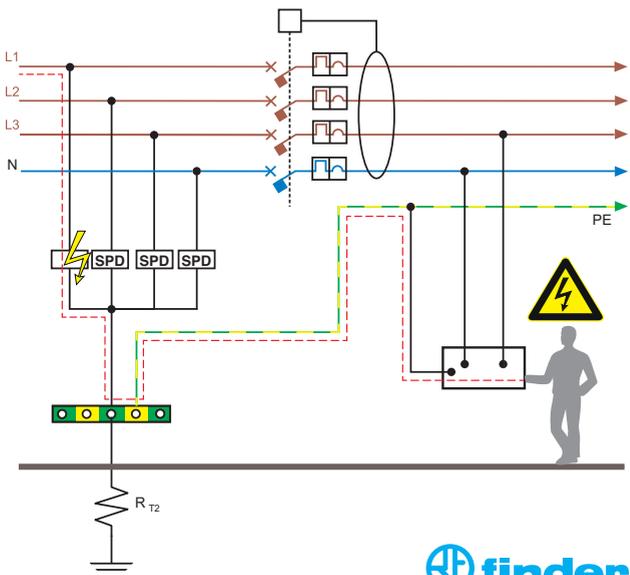
Nella connessione di "Tipo B" gli SPD vengono collegati a valle del differenziale, quindi un'eventuale sovratensione, attraversa il differenziale prima di giungere all'SPD. Ciò significa che un differenziale normale, in seguito alle sollecitazioni elettrodinamiche associate alle sovracorrenti, può esplodere o semplicemente aprirsi, interrompendo il circuito. I differenziali di tipo S vengono testati, fra l'altro, con 10 impulsi di sovratensione con forma d'onda 8/20 μ s e ampiezza 3 kV, per evitarne l'intervento tempestivo permettendo all'SPD di funzionare correttamente. Questo però solo per bassi valori di sovratensioni, poi anch'essi possono distruggersi.

Conviene quindi installare gli SPD a monte del differenziale, come schematizzato nella connessione di "Tipo C". In questo caso, però, gli SPD devono avere una configurazione "3+1": varistori tra fase e neutro, GDT tra neutro e terra.

E' importante rispettare la configurazione "3+1" perché con 4 varistori (configurazione "4+0"), introduco un punto debole potenzialmente pericoloso nell'impianto. Immaginiamo di avere installato in un sistema TT un SPD realizzato da 4 varistori collegati secondo la connessione di "Tipo B" a monte del differenziale.

In caso di guasto di un varistore una certa quantità di corrente va verso terra portando in tensione le masse.

L'interruttore differenziale, essendo a valle del guasto, non lo percepisce e non apre il circuito. In questo modo, quindi, le masse collegate all'impianto di terra vengono sottoposte ad una tensione pericolosa per le persone.



Interponendo un GDT tra neutro e terra, possiamo ovviare a questo problema:

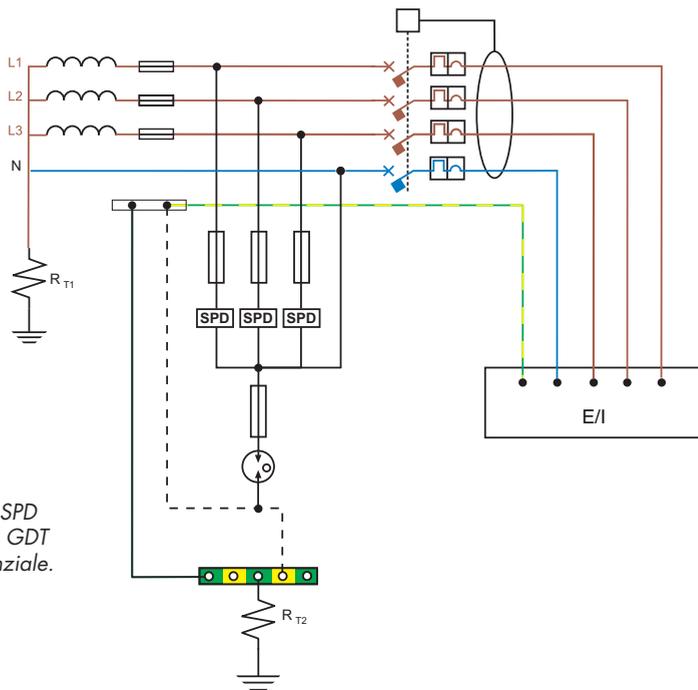


Figura 29:
collegamento di un SPD
dotato di varistori + GDT
a monte del differenziale.

Con la configurazione "3+1", le masse collegate a valle del differenziale non possono andare in tensione in caso di guasto del varistore in quanto il GDT garantisce una separazione galvanica verso terra garantendo la sicurezza per le persone.

Se l'edificio è dotato di parafulmine (LPS) deve essere utilizzata la connessione di "Tipo C", la connessione "Tipo B" non si può usare.

Questo è dovuto al fatto che, quando un fulmine viene scaricato a terra attraverso la calata, l'impianto di terra va in tensione. L'SPD interviene richiudendo la sovratensione sulla linea che è a potenziale 0.

I dispositivi collegati all'impianto vengono sollecitati da una sovratensione pari alla U_{res} dell'SPD.

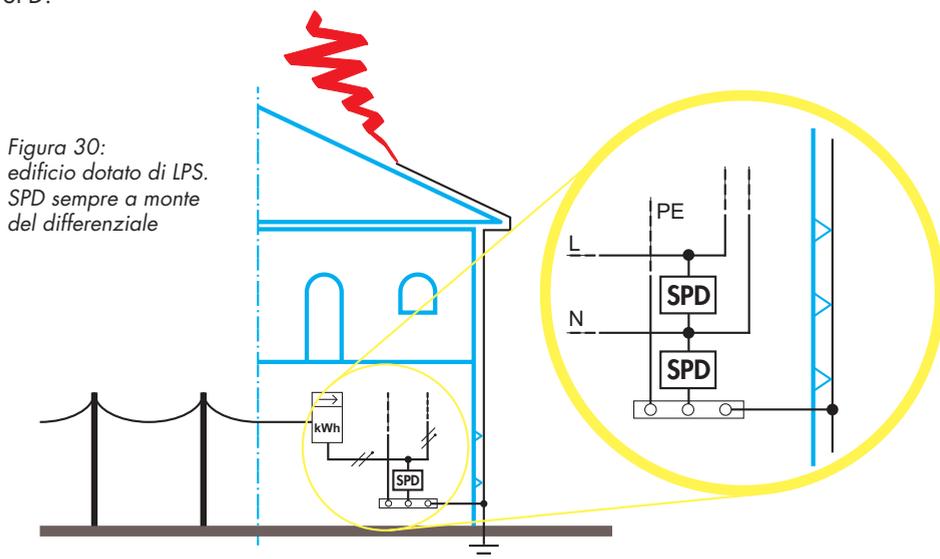


Figura 30:
edificio dotato di LPS.
SPD sempre a monte
del differenziale

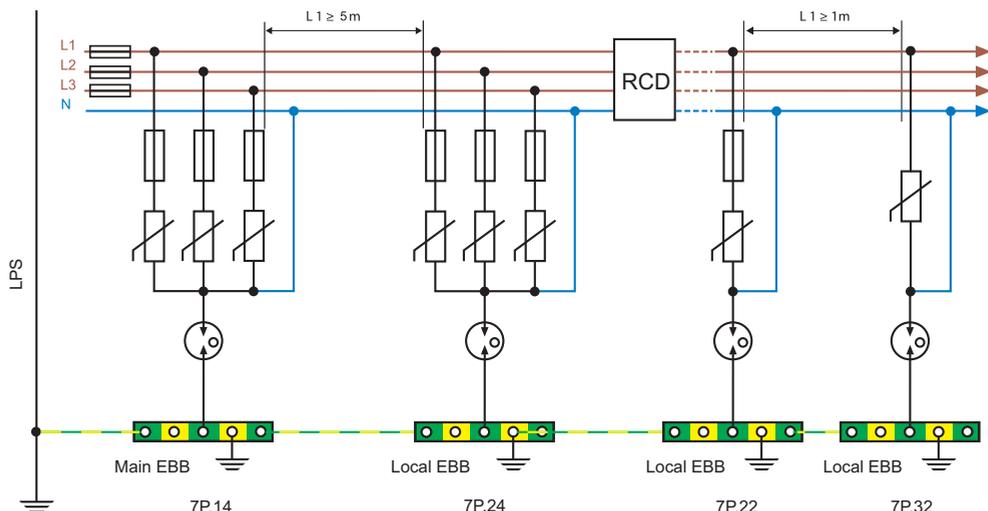


Figura 31: connessione di "Tipo C" e coordinamento energetico effettuato con SPD Finder

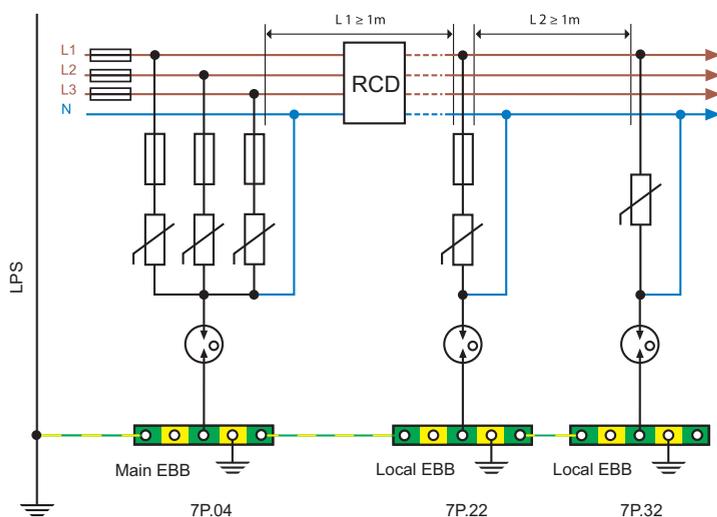


Figura 32: connessione di "Tipo C" e coordinamento energetico effettuato con SPD Finder di tipo combinato

Modi di protezione degli SPD

Riassumendo possiamo dire che gli SPD possono essere connessi con diverse modalità, come indicato precedentemente, secondo le connessioni di "Tipo A", "Tipo B" e "Tipo C", come schematizzato nella tabella (CEI 64-8/2):

| SPD collegati fra ciascun conduttore di: | Configurazione nel sistema nel punto di installazione dell'SPD | | |
|--|--|--------------------|--------------------|
| | Connessione tipo A | Connessione tipo B | Connessione tipo C |
| Fase e il neutro | NA | NA | • |
| Fase e il PE | NA | • | NA |
| Neutro e il PE | NA | • | • |
| Fase e il PEN | • | NA | NA |
| Conduttori di fase | + | + | + |

• - Richiesto
 NA - Non applicabile
 + - Facoltativo

7 - Applicazioni nel civile

Spesso si ritiene che nei sistemi civili, quali case, ville, appartamenti, non sia necessario installare scaricatori di sovratensione dimenticando, però, che anch'essi sono connessi ad una linea elettrica in media tensione, avente una certa estensione, soggetta a sovratensioni di manovra e fulminazioni dirette e indirette.

La protezione ottimale si realizza installando nel quadro principale, un SPD di Classe I in corrispondenza del punto di consegna dell'energia elettrica, dopo il contatore. Nel quadro secondario viene invece installato, secondo il coordinamento energetico, un SPD di Classe II. In alternativa si può installare nel quadro principale un SPD di Tipo combinato 1+2 che svolge le due funzioni (permettendo di risparmiare soldi e dimensioni).

SPD di MT

Sulla linea MT di distribuzione dell'energia elettrica, vengono installati SPD a protezione dei dispositivi dedicati al normale funzionamento della stessa, e SPD di MT possono essere installati nelle cabine di trasformazione a protezione dei trasformatori. In questo caso abbiamo un incremento delle probabilità di guasto delle apparecchiature domestiche: durante l'intervento dell'SPD, l'impianto di terra della casa può raggiungere tensioni nell'ordine delle decina di kV, che troviamo sugli elettrodomestici.

Vediamo il perché: supponiamo di avere un SPD per MT installato nelle vicinanze di un'abitazione, come in *Figura 33*.

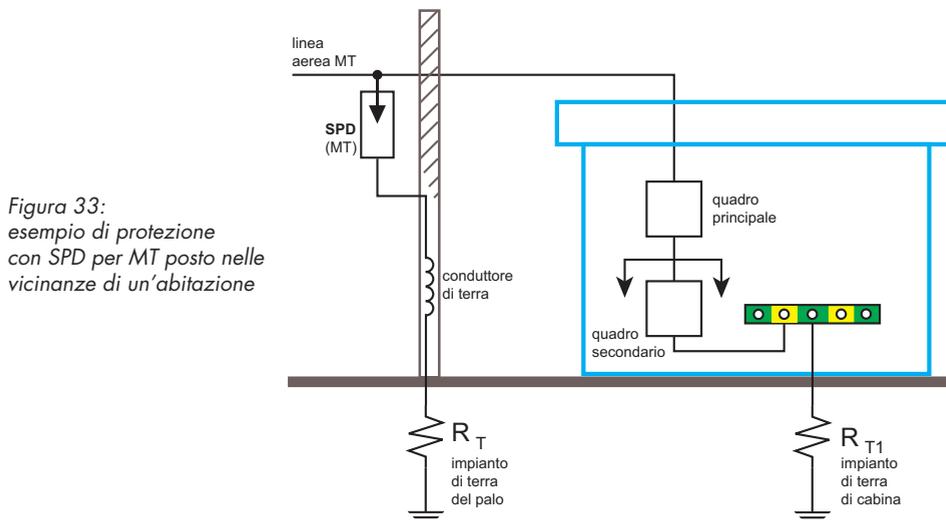


Figura 33:
esempio di protezione
con SPD per MT posto nelle
vicinanze di un'abitazione

Il palo è dotato di impianto di terra, così come l'abitazione.

Supponiamo che una sovracorrente con forma d'onda $8/20 \mu s$, e ampiezza 2 kA si propaghi lungo la linea.

Quando incontra l'SPD questo interviene, scaricando a terra la corrente.

Tra la linea e la terra abbiamo una differenza di potenziale data dalla somma di tre contributi:

- La tensione residua dell'SPD. $U_{res} = 1.5 \text{ kV}$
- La caduta di tensione lungo il conduttore di terra del palo $\Delta U = 2 \text{ kV}$
- Il valore di tensione a cui si porta l'impianto di terra durante la scarica.

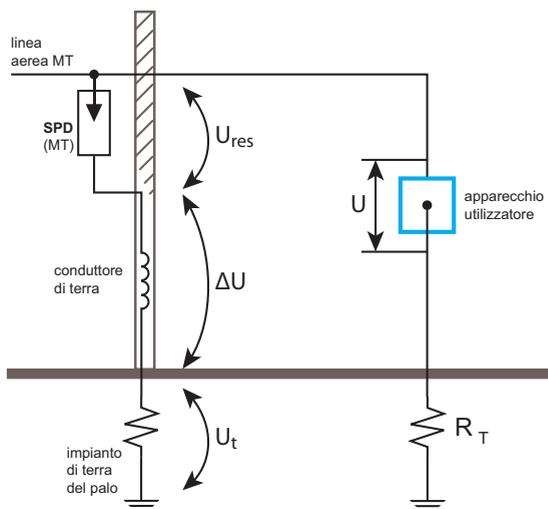
Supponendo una resistenza di terra di 5Ω , $U_t = 10 \text{ kV}$

Ai capi dell'apparecchio utilizzatore si avrà quindi una sovratensione pari a:

$$U = U_{res} + \Delta U + U_t = 1.5 + 2 + 10 = 13.5 \text{ kV}$$

Si osservi che la forma d'onda considerata in quest'esempio, è relativa ad una sovratensione indotta, non stiamo parlando di fulminazione diretta; ciononostante, le sollecitazioni a cui sono sottoposti gli isolamenti dei dispositivi connessi a terra sono molto elevate, e la probabilità di guasto irreversibile è molto alta.

Con l'introduzione di un sistema di protezione alle sovratensioni idoneo, realizzabile anche con SPD di Tipo 1+2, la sovratensione proveniente dall'impianto di terra viene richiusa sulla linea, proteggendo così i dispositivi elettronici connessi alla rete e all'impianto di terra.



SPD a monte o a valle del differenziale?

Per i sistemi TT domestici conviene installare gli SPD a monte del differenziale per proteggerlo e per non dover utilizzare differenziali ritardati (si invita il lettore a rivedere le caratteristiche dei differenziali di Tipo S e i loro vincoli normativi).

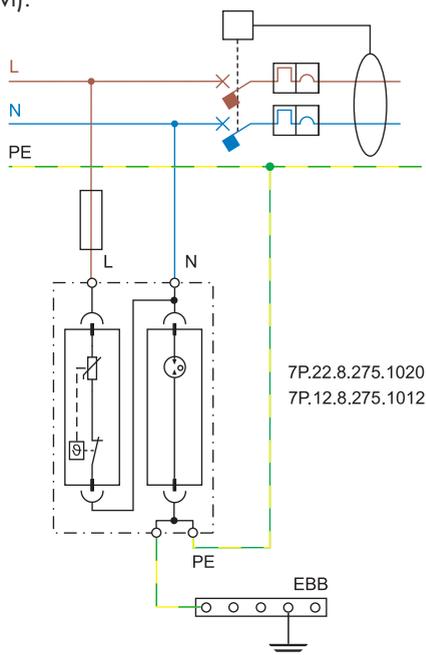


Figura 34:
applicazione degli SPD
nei sistemi monofase

Come rappresentato in Figura 34, l'SPD deve avere la configurazione "1+1", deve esserci quindi un GDT che assicura la separazione galvanica tra neutro e terra. Questo, in caso di guasto, assicura di non avere delle tensioni pericolose sulle masse collegate all'impianto di terra. A valle del differenziale è possibile installare indifferentemente SPD con varistore e GDT o due varistori.

CEI 64-8/3

Di seguito viene analizzata la Variante 3 della CEI 64-8, in quanto prescrive l'utilizzo di SPD in ambienti residenziali: "Si ricorda che un circuito elettrico di un impianto, è l'insieme di componenti di un impianto alimentati da uno stesso punto e protetti contro le sovracorrenti da uno stesso dispositivo di protezione".

Occorre precisare che, in questi casi, in caso di fulminazione, la maggior probabilità di rischio è legata alla perdita economica - (L4-R4) perdita di beni quali TV, lavastoviglie, condizionatori, sistemi hi-fi, etc... - salvo quei casi in cui la componente R1 è alta. L'analisi della Variante 3 viene svolta evidenziando solo alcuni aspetti impiantistici, si rimanda quindi il lettore alla Variante 3 della Norma.

Generalità

La nuova Variante 3 alla norma CEI 64-8 "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua" è entrata in vigore il 01/09/2011 e si riferisce ad unità immobiliari ad uso residenziale mono o plurifamiliari, o all'interno dei condomini.

Il pacchetto di norme ha lo scopo di garantire la sicurezza delle persone, dei beni, e di migliorare in termini di prestazioni e affidabilità l'impianto domestico.

La Variante 3 si applica ai nuovi impianti e ai rifacimenti completi di impianti esistenti in occasione di ristrutturazioni.

La Variante 3 introduce, per la prima volta, il concetto di prestazione dell'impianto che viene espresso tramite tre livelli L1, L2 e L3 che differiscono fra loro, fondamentalmente, per la struttura e la dotazione minima che caratterizza l'impianto elettrico.

I tre livelli hanno in comune:

- I. Potenze minime di 3 kW per unità abitative <75 m², di 6 kW per metrature superiori.
- II. L'impianto deve essere suddiviso almeno su 2 circuiti distinti, ognuno dotato del suo differenziale per ridurre il disservizio in caso di guasto. Se a valle del contatore è installato un interruttore differenziale, questo deve garantire la selettività totale con i differenziali a valle. Se l'interruttore generale del sistema è di tipo differenziale, deve essere dotato di dispositivo di richiusura automatica.
La Variante prevede l'utilizzo di nuove tipologie di differenziali in funzione del carico installato sulla linea, ad esempio differenziali di tipo A per la protezione dei circuiti che alimentano lavatrici e/o condizionatori fissi.
- III. Nel quadro principale dell'abitazione DEVE esserci il conduttore di protezione proveniente dall'impianto di terra dell'edificio al fine di permettere la corretta messa a terra dell'SPD.

Livelli di prestazione

L1: livello minimo previsto dalla Variante 3 CEI 64-8: prevede almeno 2 interruttori differenziali e un numero minimo di punti-prese e punti-luce in funzione della metratura e tipologia di ogni locale.

L2: rispetto a L1 prevede un numero maggiore dei componenti dell'impianto oltre che servizi ausiliari:
- Videocitofono
- Anti intrusione
- Sistemi di controllo carichi

L3: dotazioni impiantistiche ampie ed innovative: domotica che va a beneficio del risparmio energetico all'interno dell'abitazione.

Un sistema domotico deve gestire almeno 4 delle seguenti funzioni:

- Controllo degli scenari (tapparelle, etc..)
- Anti intrusione
- Gestione comando luci
- Gestione della temperatura anche da remoto
- Controllo carichi
- Sistemi anti allagamento e/o rivelazione gas
- Diffusione sonora
- Rilevazione incendio

Elenco non esaustivo, solo esemplificativo, le singole funzioni domotiche possono essere inserite nei livelli L1 e L2.

La Variante 3 in pratica....

Ogni abitazione deve essere dotata di uno o più quadri di distribuzione. I quadri devono prevedere almeno 2 moduli liberi per successive modifiche impiantistiche, idealmente devono prevedere il 15 % dei moduli in più rispetto a quelli effettivamente usati.

Il quadro principale deve essere raggiunto direttamente dal conduttore di protezione proveniente dall'impianto di terra dell'edificio per la corretta messa a terra dell'SPD.

Nel quadro principale deve essere installato un interruttore generale facilmente accessibile all'utente. Se l'interruttore generale è un differenziale, questo deve garantire la selettività totale rispetto le protezioni a valle. Si consiglia l'uso di interruttori differenziali caratterizzati da un'elevata resistenza contro scatti intempestivi.

Nelle applicazioni civili, il sistema di distribuzione utilizzato è il TT, e tutt'ora, prevede l'utilizzo di differenziali di tipo AC che funzionano correttamente per correnti differenziali di natura sinusoidale, ma sono poco sensibili a correnti verso terra con componenti continue.

Come anticipato, la Variante 3 prevede l'installazione di differenziali di tipo A o B sulle linee dedicate, per esempio per alimentare lavatrici o condizionatori. Questo a causa dei convertitori statici utilizzati per l'alimentazione DC e per il comando motore.

I differenziali di tipo A, sono adatti per correnti alternate sinusoidali come il tipo AC, inoltre sono assicurati per componenti unidirezionali e pulsanti unidirezionali sovrapposti a componenti continue.

I differenziali di tipo B hanno lo sgancio assicurato come per i differenziali tipo A, inoltre intervengono per correnti alternate sinusoidali con frequenza massima pari a 1000 Hz, per correnti differenziali pulsanti unidirezionali raddrizzate, e per correnti differenziali continue.

Punti di prelievo di energia e di comando

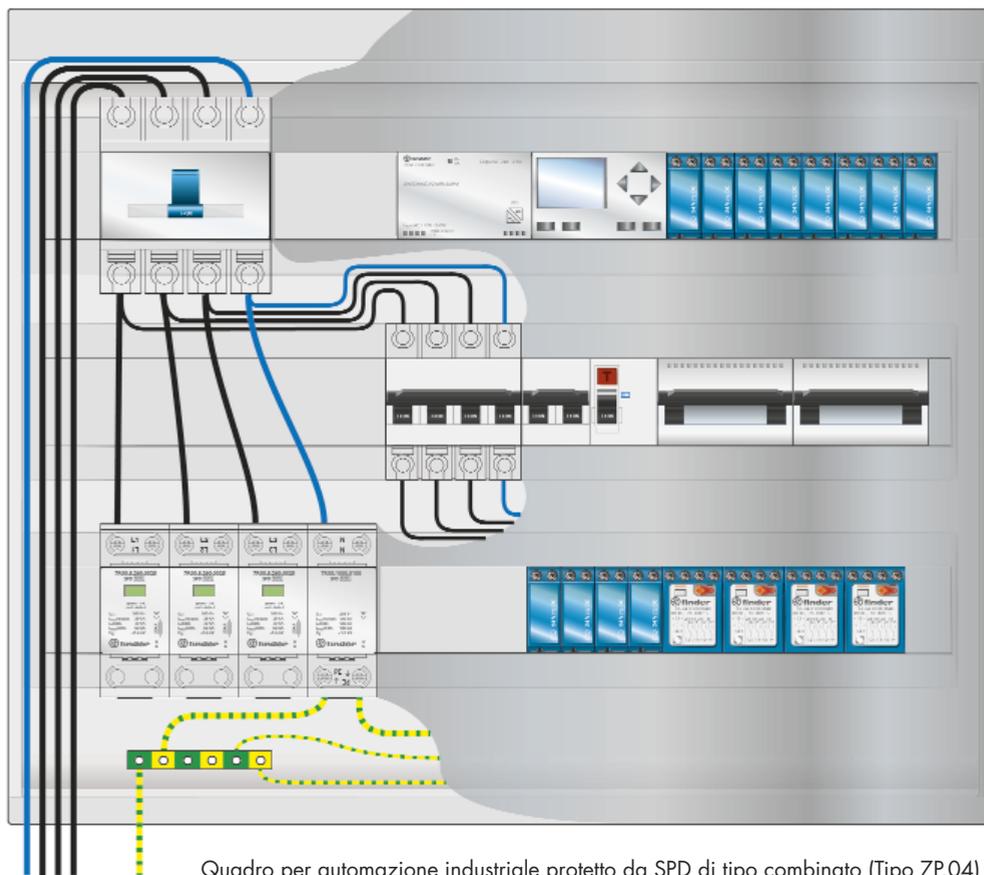
Accanto alle prese di telefonia e linea dati deve essere prevista almeno una presa energia.

Le prese TV richieste dalla tabella A della Variante 3, devono avere accanto la predisposizione per 6 prese energia.

L'interruttore luce di un locale deve essere posto in prossimità della porta, all'interno o all'esterno del locale.

Se il comando luce è per punti luce esterni, deve essere dotato di spia di segnalazione di "accesso".

Esempi di installazione per applicazioni industriali



8 - Impianti fotovoltaici: protezione contro fulmini e sovratensioni

Nella progettazione di un impianto fotovoltaico si pone molta attenzione alla protezione dello stesso da fulminazioni dirette e indirette, più di quanto si faccia per un impianto elettrico ordinario. Il motivo, probabilmente, è solamente psicologico, poiché un impianto ordinario è esposto agli effetti del fulmine esattamente come un impianto PV, ma questo viene installato all'aperto, sui tetti, spesso su strutture metalliche, in aree verdi con alberi o tralicci per la distribuzione elettrica, elementi che fanno aumentare la probabilità di fulminazioni a terra.

L'impianto ordinario, invece, si ritiene protetto dai rischi di fulminazione diretta e indiretta perché è annegato nel cemento. Nulla di più sbagliato! Infatti il cemento non contribuisce a realizzare una schermatura nei confronti degli effetti del campo elettromagnetico di fulmine. La schermatura, come noto, si realizza solamente con conduttori metallici molto vicini fra loro, quindi, per esempio, la si ottiene con una fitta maglia metallica ottenuta con le armature annegate nel cemento o con una gabbia di Faraday.

Per stabilire se e quali misure di protezione contro i fulmini adottare, occorre effettuare "l'analisi del rischio" secondo la EN 62305-2 (CEI 81-10/2) nei confronti della struttura da proteggere. I danni che il fulmine può provocare vanno dalla morte delle persone, all'innescò di incendi, esplosioni, o avaria delle apparecchiature elettroniche con conseguente perdita economica per la mancata produzione.

Con riferimento alla EN 62305 i rischi da considerare, a seconda della destinazione d'uso della struttura sono:

R₁: perdita di vite umane

R₂: perdita dei servizi (TV, H₂O, gas, elettricità...)

R₃: perdita del patrimonio culturale (es: museo)

R₄: perdite economiche (mancata produzione energia elettrica, ecc..)

A seconda del tipo di impianto si effettueranno analisi diverse:

Impianto a terra: l'analisi del rischio sarà relativa ad una parte dell'edificio o ad un'area ben precisa.

Impianto sul tetto: l'analisi del rischio comprende l'intero edificio.

Dall'analisi del rischio emerge il rischio di fulminazione diretta e indiretta dell'impianto che si vuole proteggere.

Si parla di fulminazione diretta nel caso in cui un fulmine colpisca direttamente una struttura o di fulminazione indiretta se cade in prossimità di una struttura. In questo caso tutti i conduttori elettrici, compresi quelli provenienti dai pannelli fotovoltaici (lato DC) sono esposti a sovratensioni indotte causate dal campo elettromagnetico del fulmine.

Lo stesso può accadere sulle linee entranti e/o uscenti dal campo fotovoltaico: in caso di fulminazione diretta o indiretta di una linea MT collegata all'impianto PV, si ha l'iniezione della corrente di fulmine sul lato AC del campo con l'inevitabile distruzione del lato AC dell'inverter.

Fulminazione diretta

Prima di iniziare a progettare un sistema di protezione dalle sovratensioni per un impianto fotovoltaico si deve innanzitutto valutare il rischio relativo alle perdite di vite umane (R₁). Si ricorda che l'unico sistema per proteggere una struttura dalla fulminazione diretta è la gabbia di Faraday, o un parafulmine (LPS).

Anche nel caso di impianti fotovoltaici, sia a terra che su un edificio, occorre prima di tutto valutare il rischio relativo delle perdite di vite umane (R₁).

In seconda battuta occorre fare valutazioni dal punto di vista economico (R₄): è il caso di proteggere l'inverter e pannelli dalle sovratensioni? Un fermo produzione quanto mi costa in assistenza (oltre la perdita di produzione)? Per la massima sicurezza, installo anche un parafulmine (LPS)?

Circa le prime domande, in fase di progetto, si deve valutare quanto costa l'assistenza per un danno causato da fulminazione, in quanto tempo l'assistenza interviene e risolve il problema (riparazione del prodotto, installazione, ecc..), e nel caso di un fermo macchina, quanto costa non produrre. Si deve quindi valutare col committente il grado di rischio che è disposto ad accettare. Per ciò che riguarda l'LPS, invece, in genere non conviene proteggere un impianto PV con un LPS in quanto gli oneri sono così elevati che il rapporto spesa/benefici non è conveniente. Inoltre occorre considerare che l'LPS viene realizzato con aste captatrici e funi sospese che creano ombreggiamenti del campo e ne fanno quindi diminuire la resa. L' LPS, quindi, viene installato solo quando strettamente necessario, al contrario degli SPD che rappresentano sempre il sistema di protezione più economico ed efficiente possibile.

Fulminazione diretta per impianto PV a terra:

Nel caso di impianti fotovoltaici a terra, si parte col presupposto che ci possano sempre essere persone presenti (R_1), si devono quindi sempre considerare le tensioni di passo V_p , e di contatto V_c , mentre il rischio d'incendio è praticamente trascurabile.

Negli impianti a terra il parametro fondamentale per un buon progetto è la resistività del suolo ρ_0 : se $\rho_0 = 5 \text{ k}\Omega$ è come se avessi un tappeto isolante e V_p è trascurabile (5 cm di asfalto o 15 cm di ghiaia dovrebbero garantire tale valore ohmico), se il campo PV è su un terreno agricolo, invece, devo fare l'analisi del rischio.

Impianto fotovoltaico sul tetto di un edificio:

Se si deve realizzare un impianto PV sul tetto di un edificio, non si deve stabilire a priori che questo sia auto protetto, occorre sempre effettuare l'analisi del rischio o chiederla al committente. Se l'edificio è già dotato dell'LPS e realizzo un impianto fotovoltaico sul tetto, la frequenza di fulminazione potrebbe aumentare perché, per esempio, i pannelli inclinati e non integrati, aumentano l'altezza dell'edificio esponendolo maggiormente alle fulminazioni dirette. In tal caso, per esempio, posso ridurre la maglia da 20 x 20 cm a 15 x 15 cm, a meno che l'LPS non appartenga alla classe più severa: la Classe I.

Se l'edificio è dotato di LPS, occorre:

- Occuparsi dell'equipotenzialità per evitare scariche trasversali
- Collegare SPD tra captatori e calate
- Evitare che le strutture metalliche utilizzate per il campo PV diventino captatori naturali

In pratica: la realizzazione dell'impianto PV avviene in stretto contatto con il progettista dell'LPS.

Fulminazione indiretta

Le fulminazioni indirette possono dar luogo a sovratensioni e scariche pericolose rispettivamente per accoppiamento induttivo e accoppiamento resistivo.

L'accoppiamento resistivo si verifica quando un fulmine colpisce una linea elettrica e la corrente, propagandosi sulla linea, entra nell'edificio. Se i valori della sovratensione sono elevati e superano la tenuta degli isolamenti dei componenti interessati (dispositivi elettronici, cavi, ecc...) si possono innescare incendi.

Le sovratensioni che nascono per accoppiamento induttivo vengono generate dal campo elettromagnetico del fulmine che, essendo fortemente variabile, investendo i conduttori dell'impianto PV (o AC standard) genera delle sovratensioni. Queste sovratensioni non sono in grado di generare incendi, ma sono in grado di distruggere le apparecchiature.

Per realizzare un buon sistema di protezione per un'apparecchiatura, si deve far riferimento alla tensione di tenuta del dispositivo e non al livello di immunità (questi dati vengono forniti dai costruttori). Il livello di immunità è un valore di tensione che, se superato, causa malfunzionamenti del dispositivo. Più ci allontaniamo da questo valore, più riduciamo la vita utile dell'apparecchiatura, ma non si determinano danni irreversibili.

La tensione di tenuta è il massimo valore di tensione che può essere sopportato da un'apparecchiatura, e, se superato, si hanno danni irreversibili.

| Tensione del sistema | | Tensione di tenuta all'impulso [V] | | | |
|----------------------|------|------------------------------------|------|------|-------|
| [V] | | Categoria di sovratensione | | | |
| AC | DC | I | II | III | IV |
| 50 | 71 | 330 | 500 | 800 | 1500 |
| 100 | 141 | 500 | 800 | 1500 | 2500 |
| 150 | 213 | 800 | 1500 | 2500 | 4000 |
| 300 | 424 | 1500 | 2500 | 4000 | 6000 |
| 600 | 849 | 2500 | 4000 | 6000 | 8000 |
| 1000 | 1500 | 4000 | 6000 | 8000 | 12000 |

Tensione di tenuta all'impulso (1.2/50 μ s) per sistemi a bassa tensione (CEI EN 62109-1:2010-12)

Se consideriamo un inverter questo ha 2 collegamenti col mondo esterno: lato DC per connettersi con i pannelli e il lato AC per connettersi alla rete elettrica; ciò significa che deve essere protetto tramite l'ausilio di SPD su entrambi i lati.

Misure di protezione contro le sovratensioni

Protezione LATO AC

Iniziamo con l'analizzare le sovratensioni che si verificano per accoppiamento resistivo, che sono le più energetiche e quindi pericolose.

E' importante ricordare che le sovratensioni che nascono per accoppiamento resistivo possono generare scariche pericolose perché contengono energia sufficiente per innescare un incendio o distruggere le apparecchiature collegate alla rete AC.

L'accoppiamento resistivo tra le parti conduttrici determina, inoltre, la nascita di tensioni pericolose di passo e di contatto. Le tensioni di passo hanno andamento decrescente e sono pericolose sia per gli esseri umani che per gli animali.

Un tipico esempio di accoppiamento resistivo è dato da un fulmine che si scarica sulla linea elettrica e si propaga lungo di essa.

Gli impianti PV sono collegati alla rete elettrica e sono quindi soggetti a questo tipo di sovratensioni.

L'inverter, quindi, deve essere protetto sia dalle sovratensioni indotte, che dalle sovratensioni che vengono portate dalla linea elettrica dovute a fulminazione diretta e indiretta.

L'inverter potrebbe essere dotato di trasformatore di isolamento, che di per se rappresenta un ottimo filtro per le sovratensioni, in questo caso l'SPD protegge il trasformatore.

In assenza di trasformatore, o in caso non si sappia se il trasformatore è dotato di schermo collegato a terra, è necessario installare uno o più SPD nel punto di consegna dell'energia elettrica.

Gli SPD devono avere le seguenti caratteristiche:

- Classe I caratterizzati da una $I_{imp} \geq 10$ kA
- Per i sistemi TN e TT la $U_c \geq 1.1 U_o$. Per i sistemi IT $U_c \geq \sqrt{3} U_o$. U_o è la tensione verso terra.
- Livello di protezione effettivo, $U_{p/f} \leq k U_{w,inverter}$.

Dove: k: coefficiente di sicurezza che tiene conto dell'invecchiamento dell'SPD.

In questo caso si assume $K = 0.9$

$U_{w,inverter}$: Valore di tenuta all'impulso dell'inverter.

Considerando una caduta ΔU di 1 kV/m causata dalle induttanze parassite dei cavi, $U_{p/f}$ deve essere calcolato opportunamente a seconda degli SPD utilizzati:

$U_{p/f} = U_c + \Delta U$ per SPD a limitazione (varistori)

$U_{p/f} = \text{MAX}(U_c, \Delta U)$ cioè il massimo valore tra i due, per SPD a commutazione, quindi spinterometri.

- Capacità di estinguere la corrente di cortocircuito a 50 Hz con o senza fusibile, superiore alla corrente di cortocircuito nel punto di installazione.

Si ricorda che l'onda di sovratensione che passa dall'SPD di Classe I (di ampiezza $U_{p/f}$) è soggetta a fenomeni di oscillazione e riflessione che ne possono far raddoppiare il valore esponendo l'inverter a valori che possono sollecitarne l'isolamento verso terra. Inoltre, oltre al propagarsi di una sovratensione di ampiezza $2 U_{p/f}$ si può sommare ai conduttori una sovratensione indotta che la CEI 64-8 identifica pari a 40 V per ogni metro di cavo che separa l'SPD T1 dall'inverter (40 V/m).

Da qui si capisce, quindi, che gli SPD di classe prima installati nel punto di consegna dell'energia elettrica sono sufficienti alla protezione dell'inverter solo se è soddisfatta la relazione:

$$U_{p/f} \leq kU_w/2$$

Se la regola sopra non viene rispettata, si devono installare SPD aggiuntivi, di Classe II. In questo caso è necessario seguire le prescrizioni per il coordinamento degli SPD fornite dal costruttore.

Gli SPD di classe II devono avere le seguenti caratteristiche:

- $I_n \geq 5 \text{ kA}$
- Per i sistemi TN e TT la $U_c \geq 1.1 U_o$. Per i sistemi IT $U_c \geq \sqrt{3} U_o$. U_o è la tensione verso terra.
- Capacità di estinguere la corrente di cortocircuito a 50 Hz con o senza fusibile, superiore alla corrente di cortocircuito nel punto di installazione.

Per impianti interni, la norma permette di trascurare i fenomeni di induzione, che possono essere trascurati anche quando i conduttori attivi sono schermati, intubati in canaline metalliche chiuse, oppure quando i conduttori attivi e PE sono cordati e l'analisi del rischio esclude la necessità di un LPS.

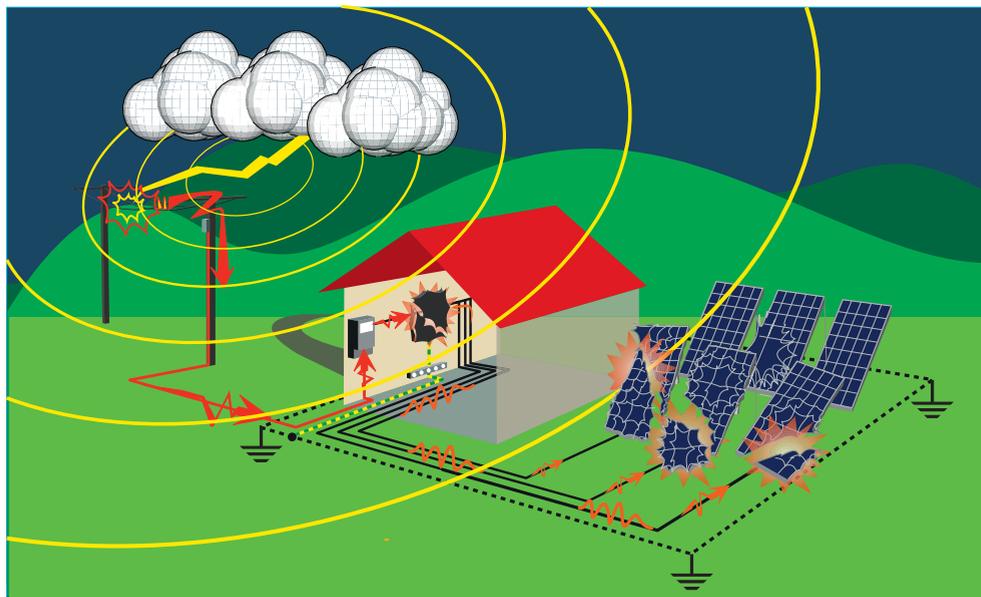


Figura 35: somma dei vari effetti del fulmine: accoppiamento resistivo e induttivo

Per ridurre quindi il valore delle sovratensioni entro limiti sicuramente sopportabili dall'inverter, occorre installare nelle immediate vicinanze dello stesso un SPD di Classe II con le seguenti caratteristiche:

- $I_n \geq 10 \text{ kA}$
- $U_c > 1.1 U_o$ per sistemi TT o TN (con U_o tensione verso terra)
- $U_c > 1.73 U_o$ per sistemi IT
- $U_p < (0.9 U_w)/2$
- Capacità di estinguere la corrente di cortocircuito nel punto di installazione con o senza fusibili.

Se gli SPD vengono installati a protezione di impianti interni, la norma permette di trascurare i fenomeni di induzione, quindi gli SPD devono essere caratterizzati da $U_p < (0.9 U_w)/2$, in modo da assicurarsi di non superare la U_w del dispositivo da proteggere anche in presenza di fenomeni di oscillazione.

Dal punto di vista normativo, si può trascurare la presenza delle sovratensioni indotte, qualora l'analisi del rischio abbia escluso la necessità di installare un LPS, oppure i cavi del sistema abbiano una delle seguenti caratteristiche:

- Cavi schermati
- Cavi posati in canalina metallica
- Cavi cordati

Queste caratteristiche fanno parte delle misure preventive che verranno analizzate in seguito.

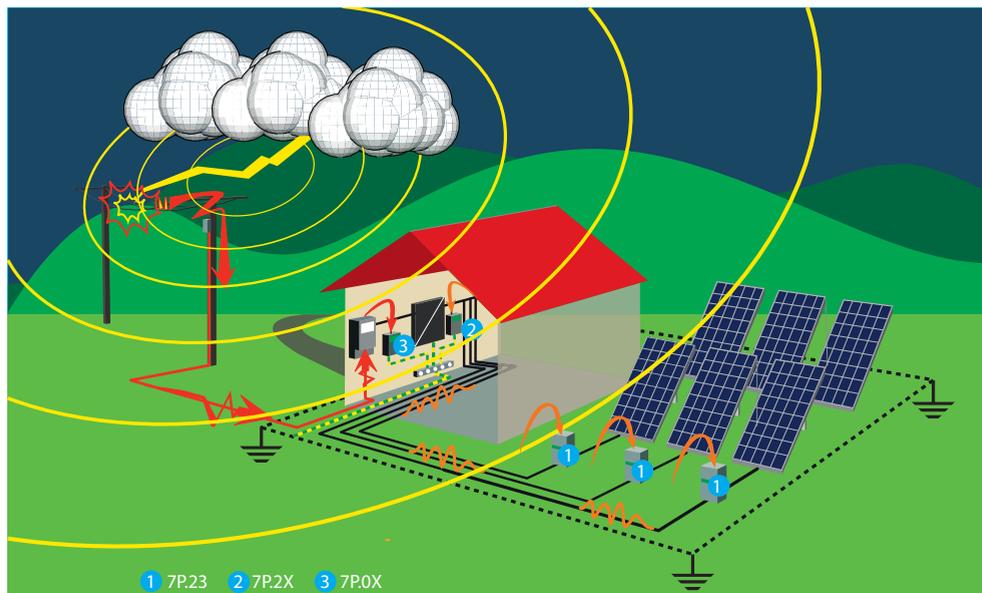


Figura 36: effetto della presenza degli SPD energeticamente coordinati

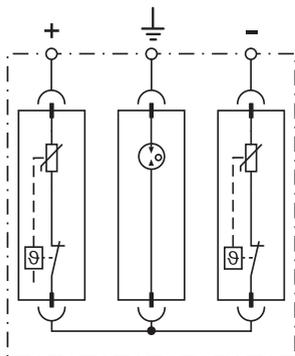
Protezione LATO DC

La trattazione seguente fa riferimento solamente ad impianti privi di LPS, questo perché, come detto in precedenza, l'LPS viene installato solo se l'analisi del rischio lo richiede, in quanto i costi realizzativi sono elevati e l'LPS fa diminuire il rendimento del campo fotovoltaico.

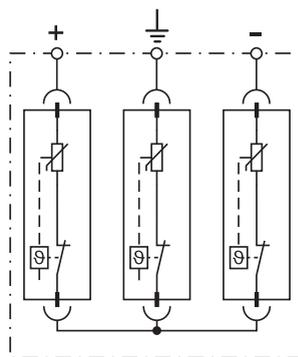
Il "lato DC" di un impianto fotovoltaico viene sollecitato dalle sovratensioni indotte dai fulmini quando cadono in prossimità dello stesso.

Occorre anticipare che in corrente continua non si possono installare spinterometri se non in serie ai varistori, questo perché, dato che la corrente continua non passa mai per lo zero, una volta innescato l'arco nello spinterometro, non si spegne più se non con l'aiuto dei varistori che, terminata la sovratensione, tornano ad elevati valori di resistenza, limitando la corrente e consentendo l'estinzione dell'arco nello spinterometro.

Nelle figura seguente vengono riportate le due soluzioni circuitali utilizzabili che rappresentano il collegamento a "Y". Si può notare che lo spinterometro è in serie ad un varistore, uno per ogni polo.



Collegamento a Y
con lo spinterometro verso terra.



Collegamento a Y
realizzato con 3 varistori.

La protezione completa sul lato DC si ottiene installando SPD di Classe II alle estremità della linea, quindi nelle immediate vicinanze dell'inverter e dei moduli fotovoltaici. Per ottimizzare l'opera i cavi devono essere introdotti in canaline metalliche, come verrà esposto più avanti nelle misure preventive.

La protezione ideale si realizza utilizzando cavi schermati, collegati a terra da entrambe le estremità e collegando a terra gli SPD adeguati. In realtà, però, è raro utilizzare cavi schermati dato il costo elevato, quindi si ricorre all'utilizzo dei soli SPD, anche quando l'inverter è protetto da SPD interni perchè:

- 1) Non si conoscono i dati di targa degli SPD utilizzati all'interno dell'inverter
- 2) In caso di guasto degli SPD interni (in seguito all'intervento) si deve chiamare l'assistenza per la manutenzione (per non far scadere la garanzia) con l'inevitabile fermo macchina e la mancata produzione.

Facendo riferimento al TS-62257-7-1, i valori minimi che devono avere gli SPD che vengono utilizzati in protezione di inverter e pannelli sono i seguenti:

- SPD Classe II
- $U_c \geq 1.2 NU_{ocstc}$
(1.2: coefficiente di sicurezza che tiene conto delle variazioni di tensione dei pannelli dovute alle variazioni di temperatura)
N = numero di pannelli che compongono la stringa
 U_{ocstc} = valore della tensione a vuoto del pannello in condizioni standard
- $U_p < KU_w$ (K = 0.9 è un coefficiente di sicurezza che tiene conto dell'invecchiamento dell'SPD)
 U_w = valore di tenuta all'impulso dell'inverter)
- $I_{max} = 5 \text{ kA}$ (minimo valore accettabile)
- Capacità di estinguere la corrente di cortocircuito nel punto di installazione con o senza fusibili.

La distanza a cui deve essere posizionato l'SPD dall'inverter è in funzione di U_w , U_p , dall'area della spirale dei conduttori fotovoltaici e dal percorso seguito dal PE (stessa conduttura, o stesso cavo multipolare, PE separato dai conduttori attivi). Si consiglia di posizionare sempre l'SPD il più vicino possibile all'inverter.

L'SPD va montato a monte dell'interruttore di sezionamento e manovra, perché se questo è aperto protegge l'inverter, ma non i moduli.

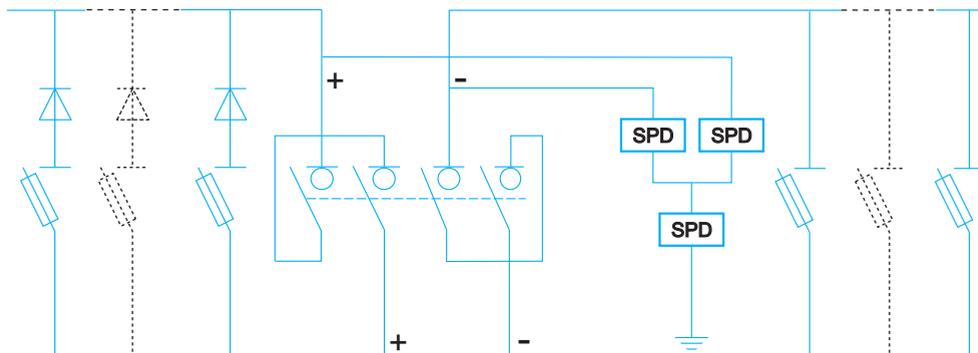


Figura 37: installazione dell'SPD a monte dell'interruttore di manovra e sezionamento

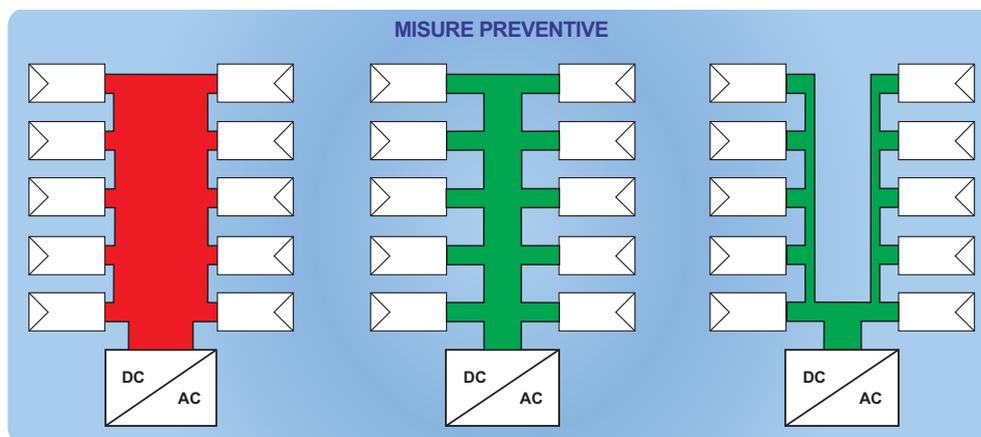
Misure preventive

Consistono negli accorgimenti che possono essere realizzati in fase di costruzione dell'impianto e si basano sull'utilizzo di schermi e la minimizzazione delle spire:

- 1) Cavi schermati, teoricamente twistati, canaline metalliche, tubi ecc. sono schermi normalmente usati.

La schermatura migliore si ottiene con schermi continui, anziché a calza. Talvolta si utilizzano involucri privi di coperture, caratterizzati da un effetto schermante limitato.

- 2) Una buona installazione è basata sulla realizzazione di spire con ampiezza minore possibile. Questo perché il campo elettromagnetico del fulmine, concatenandosi con i conduttori (fotovoltaici e non) crea delle sovratensioni proporzionali alle dimensioni della spira.



La sovratensione indotta nell'area rossa è maggiore che nelle aree verdi, per cui si tende a realizzare le configurazioni impiantistiche schematizzate in verde caratterizzate da una spira minore dall'area rossa.

Gli accorgimenti descritti generalmente sono costosi, quindi scarsamente applicati. Gli SPD, invece, continuano ad essere il sistema più economico ed efficace per realizzare un sistema di protezione dalle sovratensioni, soprattutto se associati ad un impianto realizzato, comunque, con tutti gli accorgimenti utili per massimizzarne le prestazioni.

Protezione degli SPD: fusibili o magnetotermici? prEN 50539-11

Probabilmente la domanda più diffusa è relativa alla protezione di back-up degli SPD in applicazioni fotovoltaiche. In genere le correnti di stringa sono basse e questo induce a pensare di proteggere l'SPD con fusibili di piccola taglia o magnetotermici con basse correnti nominali per essere sicuri del loro intervento. Niente di più sbagliato, perché declassa l'SPD e ne limita fortemente la capacità di protezione.

In sede europea, ma anche a livello di Comitato Tecnico Italiano, i costruttori di SPD stanno lavorando alla norma di prodotto relativa agli SPD specifici per il settore fotovoltaico: EN50539-11. Attualmente, è in fase di votazione, a livello Cenelec, il progetto di norma prEN50539-11. Tale progetto normativo mira alla realizzazione di prodotti caratterizzati da componentistica di qualità per avere complessivamente un prodotto molto affidabile, più semplice da installare e soprattutto sicuro.

La norma 50539-11 prevede prove di laboratorio sul prodotto molto severe, specie nella simulazione del comportamento a fine vita dell'SPD (per invecchiamento o sovratensione). Questi test, nati dall'esperienza pratica fatta in diversi anni su piccoli e grandi sistemi fotovoltaici, hanno comportato lo sviluppo e la realizzazione di nuovi e più performanti varistori, da parte dei costruttori di componenti, e la realizzazione di nuovi disgiuntori termici, per i costruttori di SPD.

La norma, quindi, introduce nuovi concetti e definizioni a cui il progettista deve fare riferimento: questi valori, se rispettati, aiutano a risolvere l'annosa questione della protezione di back-up: sia i fusibili che i magnetotermici diventano inutili.

U_{cpv} : massima tensione continuativa (DC) che può essere applicata all'SPD: può essere vista come la massima tensione generata dalla stringa. Dato specifico del sistema fotovoltaico.

I_{cpv} : corrente che scorre tra i conduttori + e - della stringa quando è presente la tensione U_{cpv} . Dato specifico del sistema fotovoltaico.

I_{scpv} : massima corrente di corto circuito nel punto di installazione dell'SPD. Dato specifico del sistema fotovoltaico.

I_{scwpv} : massima corrente di corto circuito del generatore fotovoltaico che l'SPD è in grado di sopportare.
Il disgiuntore termico interno è in grado di scollegare senza problemi l'SPD a fine vita fino alla I_{scwpv} .

La norma richiede all'SPD di essere in grado di sopportare i valori di correnti di scarica dichiarati con l'applicazione della massima tensione continuativa operativa U_{cpv} , senza modificare le proprie caratteristiche.

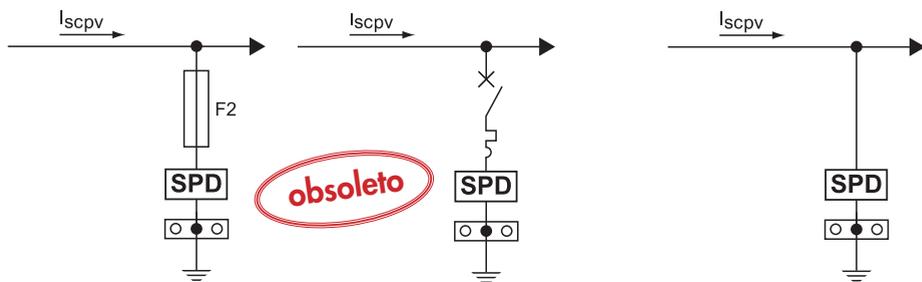
Inoltre, in caso di guasto, l'SPD deve essere in grado di sopportare la I_{scpv} senza introdurre situazioni di pericolo.

Ciò significa, che, per costruzione, l'SPD è in grado di sopportare e gestire la corrente I_{scpv} .

Quindi possiamo scrivere la seguente regola:

Se la massima corrente di corto circuito di stringa (I_{scpv}) è minore o uguale a I_{scwpv} l'SPD può essere installato direttamente tra i conduttori dstringa (+ e -) senza installare alcun sistema di protezione di back-up quali fusibili o interruttori automatici.

Generalmente i valori I_{scwpv} sono alti, per esempio gli SPD Finder hanno valori di I_{scwpv} compresi tra i 63 e i 125 A, a seconda della tensione del sistema fotovoltaico.



Criteria obsoleti di protezione degli SPD

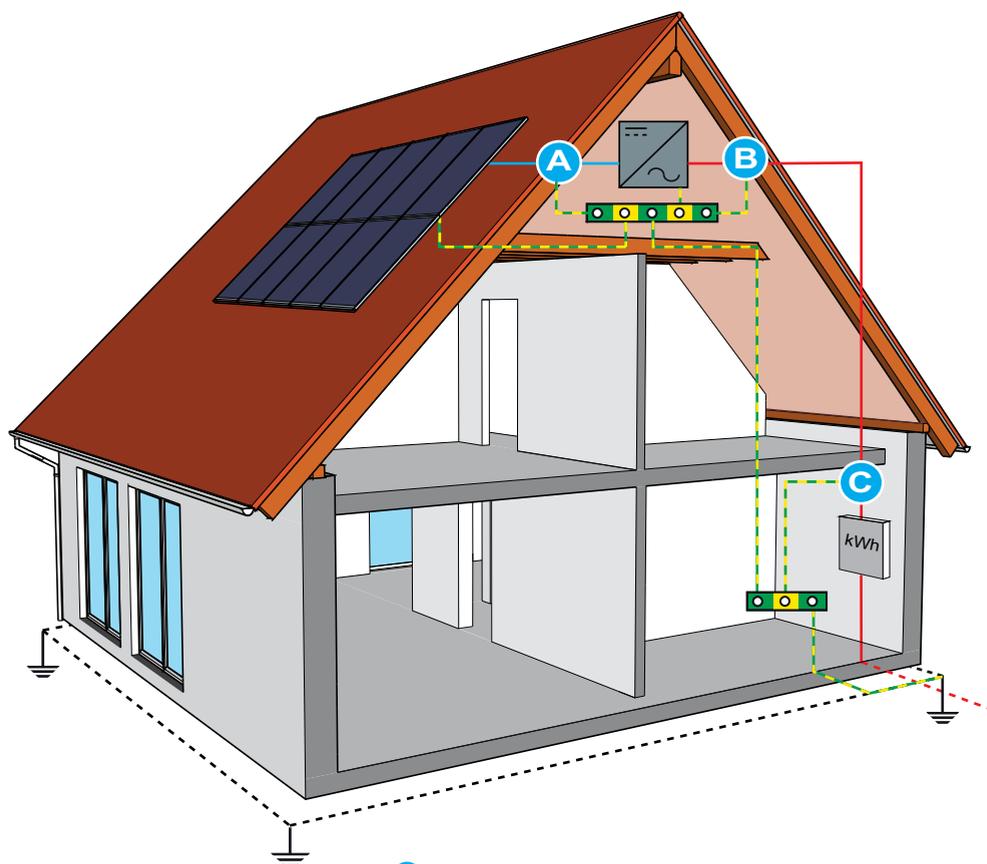
Nuovo criterio di installazione degli SPD

Nota

Al momento della scrittura del testo la norma è a livello di progetto, quindi le definizioni potrebbero subire cambiamenti. Si invita il lettore ad effettuare accertamenti tecnici.

Esempi applicativi - Tavola 1

Impianto fotovoltaico domestico, inverter nel sottotetto



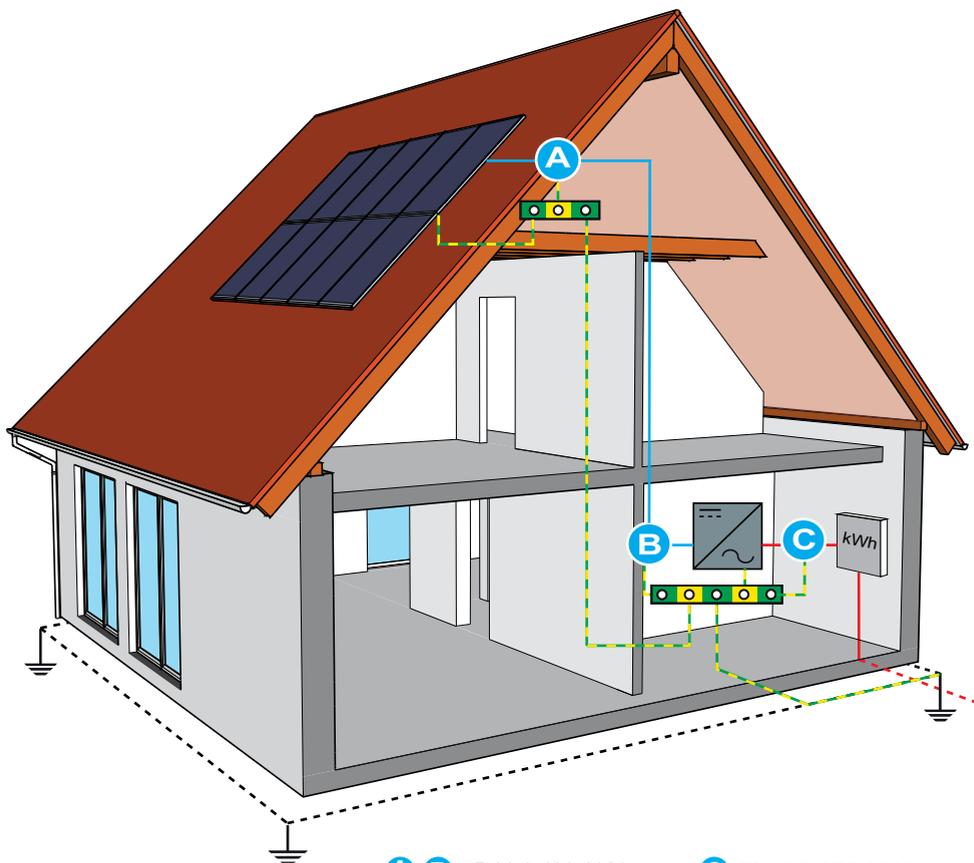
A 7P.26.9.420.1020
(420 V - Tipo 2)
7P.23.9.750.1020
(750 V - Tipo 2)
7P.23.9.000.1015
(1020 V - Tipo 2)
7P.26.9.000.1015
(1020 V - Tipo 2)
7P.23.9.200.1015
(1200 V - Tipo 2)

B 7P.22.8.275.1020
(monofase - Tipo 2)

C 7P.12.8.275.1012
(monofase - Tipo 1+2)
7P.02.8.260.1025
(monofase - Tipo 1+2)

Esempi applicativi - Tavola 2

Impianto fotovoltaico domestico, inverter nel seminterrato

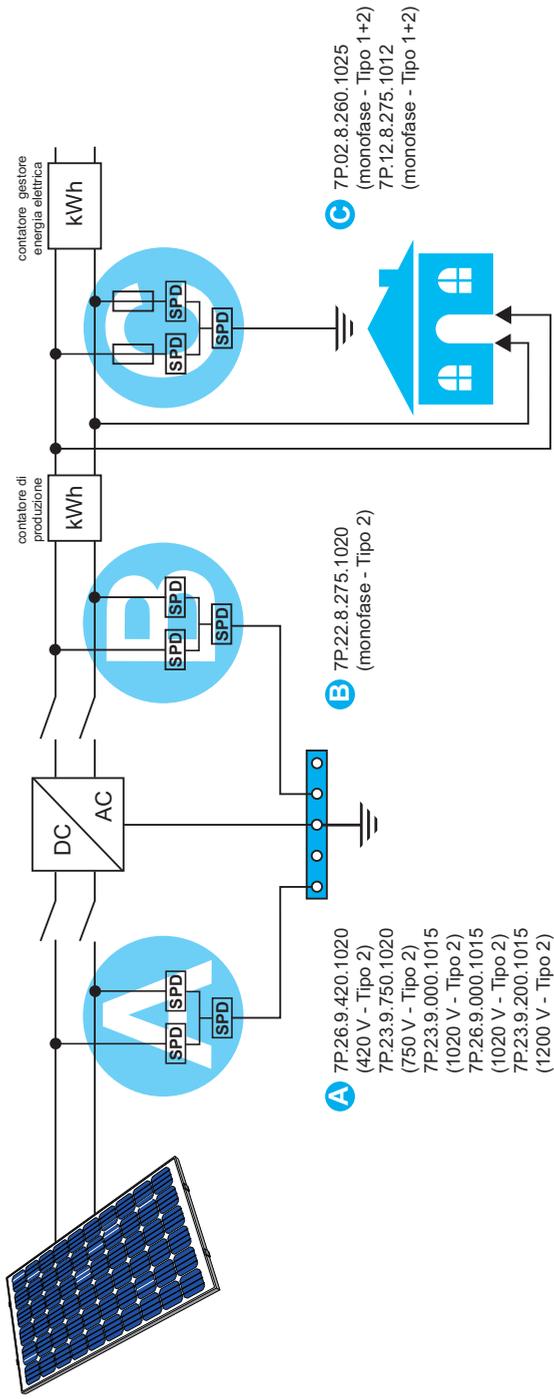


A B 7P.26.9.420.1020
(420 V - Tipo 2)
7P.23.9.750.1020
(750 V - Tipo 2)
7P.23.9.000.1015
(1020 V - Tipo 2)
7P.26.9.000.1015
(1020 V - Tipo 2)
7P.23.9.200.1015
(1200 V - Tipo 2)

C 7P.12.8.275.1012
(monofase - Tipo 1+2)
7P.02.8.260.1025
(monofase - Tipo 1+2)

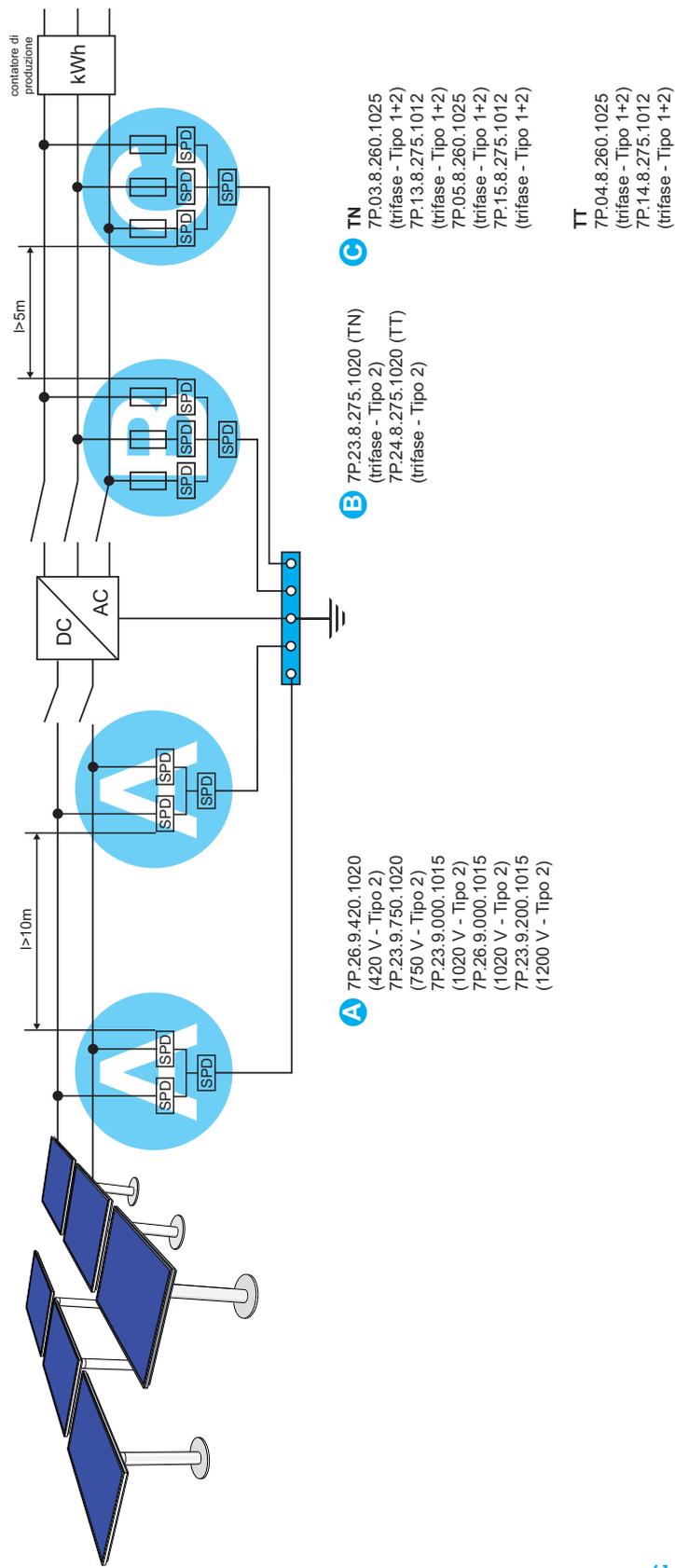
Esempi applicativi - Tavola 3

Impianto fotovoltaico sul tetto di piccola potenza



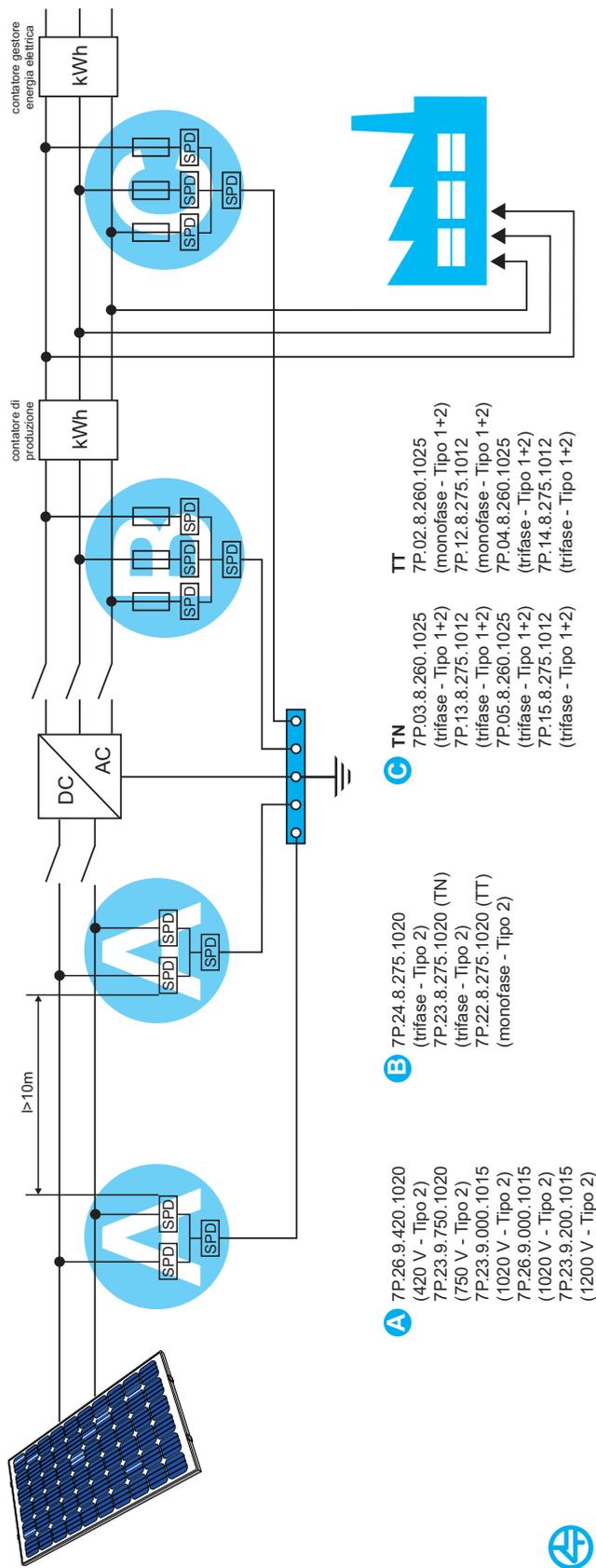
Esempi applicativi - Tavola 4

Impianto fotovoltaico a terra



Esempi applicativi - Tavola 5

Impianto fotovoltaico sul tetto di media/grande potenza



Finder produttore di relè e temporizzatori dal 1954



Nel 1954 nasce la Finder ad Almese (Torino).

Dall'anno di fondazione, l'azienda ha concentrato il suo impegno nella produzione di relè, temporizzatori e apparecchiature per civile e terziario con oltre 10.000 prodotti diversi.

Oggi, Finder è il produttore di categoria con il maggior numero di omologazioni.



Il sistema qualità aziendale di Finder è certificato secondo le norme ISO 9001 e ISO 14001.



Nel confermare la propria attenzione all'ambiente ed alle normative vigenti, dall'anno 2006 Finder può certificare la conformità alla Direttiva RoHS di tutti i prodotti a catalogo.

www.finder.it

**Finder propone la gamma 7P:
gli scaricatori di sovratensione per la vostra sicurezza.**

7P.01.8.260.1025



7P.02.8.260.1025



7P.03.8.260.1025



7P.04.8.260.1025



7P.05.8.260.1025



7P.12.8.275.1012



7P.13.8.275.1012



7P.14.8.275.1012



7P.15.8.275.1012



7P.21.8.275.1020



7P.22.8.275.1020



7P.23.8.275.1020



7P.24.8.275.1020



7P.25.8.275.1020



7P.26.9.420.1020



7P.23.9.750.1020



7P.23.9.000.1015



7P.26.9.000.1015



7P.23.9.200.1015



7P.09.1.255.0100



7P.03.9.000.1012



7P.32.8.275.2003



Bibliografia

Manuale degli impianti Elettrici - Editoriale Delfino - Nona Edizione 2010

Le guide blu, impianti a Norme CEI - Vol. 15 Fotovoltaico - TuttoNormel - Edizioni TNE - Febbraio 2009

Protezione contro le sovratensioni - TuttoNormel - Edizioni TNE - Maggio 2008

Corsi sulla normativa Elettrica "Impianti fotovoltaici" - TuttoNormel - Maggio 2009

Corsi sulla normativa Elettrica "Protezione contro i fulmini e le sovratensioni" - TuttoNormel - Novembre 2008

Atti dei Convegno "La più recente normativa CEI per la sicurezza e l'efficienza energetica degli impianti elettrici" - Comitato Elettrotecnico Italiano - Ottobre 2010

www.epcos.com

www.elektro.it

Norme: CEI EN 62305-3 (81-10/3)
CEI EN 62305-4 (81-10/4)
CEI EN 61643-11
prEN 50539-11
CEI 64/8



FINDER FRANCE Sarl
Avenue d'Italie - BP 40
Zone Ind. du Pré de la Garde
F-73302 ST. JEAN DE MAURIENNE Cédex
Tel. +33/479/83 27 27
Fax +33/479/59 80 04
finder.fr@finder.fr



S.P.R.L. FINDER BELGIUM B.V.B.A.
Bloemendaal, 5
B - 1547 BEVER
Tel. +32/54/30 08 68
Fax +32/54/30 08 67
finder.be@findernet.com



FINDER PLC
Opal Way - Stone Business Park
STONE, STAFFORDSHIRE,
ST15 0SS - UK
Tel. +44 (0)1785 818100
Fax +44 (0)1785 815500
finder.uk@findernet.com



FINDER AB
Skruvsgatan 5
SE - 211 24 Malmö
Tel: +46 40 93 77 77
Fax: +46 40 93 78 78
finder.se@findernet.com



FINDER ApS
Postbox 26
DK - 2770 Kastrup
Tel. +45 60 22 44 77



FINDER ELÉCTRICA S.L.U.
C/ Severo Ochoa, 6
Pol. Ind. Cap de l'Horta
E - 46185 La Pobla de Vallbona (VALENCIA)
Apto. de correos 234
Tel. +34-96 272 52 62
Fax +34-96 275 02 50
finder.es@findernet.com



FINDER PORTUGAL, LDA
Travessa Campo da Telheira, n° 56
Vila Nova da Telha,
P - 4470 - 828 - MAIA
Tel. +351/22 99 42 900 - 1 - 6 - 7 - 8
Fax +351/22 99 42 902
finder.pt@finder.pt



FINDER ECHIPAMENTE srl
Str. Clujului nr. 75 F,
401180 TURDA
jud. CLUJ - ROMANIA
Tel. +40 264 403 888
Fax +40 264 403 889
finder.ro@finder.ro



FINDER COMPONENTES LTDA.
Rua Olavo Bilac, 326
Bairro Santo Antonio
São Caetano do Sul - SÃO PAULO
CEP 09530-260 - BRASIL
Tel. +55/11/2147 1550
Fax +55/11/2147 1590
finder.br@findernet.com



FINDER ARGENTINA
Calle Martín Lezica, 3079
San Isidro - Buenos Aires
CP B1642GJA - ARGENTINA
Tel. +54/11/5648.6576
Fax +54/11/5648.6577
finder.ar@findernet.com



FINDER GmbH
Hans-Böckler-Straße 44
D - 65468 Trebur-Astheim
Tel. +49 / 6147/2033-0
Fax. +49 / 6147/2033-377
info@finder.de



FINDER RELAIS NEDERLAND B.V.
Dukdalfweg 51
NL - 1041 BC AMSTERDAM
Tel. +31/20/615 65 57
Fax +31/20/617 89 92
finder.nl@findernet.com



FINDER RELAIS VERTRIEBS GmbH
Industriezentrum NÖSüd
Straße 2a, Objekt M40
A - 2351 WIENER NEUDORF
Tel. +43/2236/86 41 36 - 0
Fax +43/2236/86 41 36 - 36
finder.at@findernet.com



FINDER CZ, s.r.o.
Radiová 1567/2b
102 00 Praha 10
Tel. +420 286 889 504
Fax +420 286 889 505
finder.cz@findernet.com



FINDER-Hungary Kereskedelmi Kft.
HU - 1046 BUDAPEST
Kiss Ernő u. 1-3.
Tel. +36/1-369-30-54
Fax +36/1-369-34-54
finder.hu@findernet.com



FINDER (SCHWEIZ) AG
Industriestrasse 1a, Postfach 23
CH - 8157 DIELSDORF (ZH)
Tel. +41 44 885 30 10
Fax +41 44 885 30 20
finder.ch@finder-relais.ch



FINDER RELAYS, INC.
4191 Capital View Drive
Suwanee, GA 30024 - U.S.A.
Tel. +1/770/271-4431
Fax +1/770/271-7530
finder.us@findernet.com



RELEVADORES FINDER, S.A. de C.V.
Calle 2 Sur 1003-C
Chipilo de Francisco Javier Mina
C.P. 74325 Chipilo, Puebla - MEXICO
Tel. +52/222/2832392 - 3
Fax +52/222/2832394
finder.mx@findernet.com



FINDER OOO
Elektrozavodskaya street 24-1
107023 MOSCOW
RUSSIAN FEDERATION
Tel. +7/495/229 4929
Fax +7/495/229 4942
finder.ru@findernet.com



FINDER ASIA Ltd.
Room 901 - 903, 9F, Premier Center,
20 Cheung Shun Street, Cheung Sha Wan,
Kowloon, Hong Kong
Tel. +852 3188 0212
Fax +852 3188 0263
finder.hk@finder-asia.com

FILIALI FINDER

**PIEMONTE, LIGURIA, VALLE D'AOSTA
FINDER S.p.A.**
Via Pavia 116/B - 10098 RIVOLI (TO)
tel. 011.9596766 - 011.9575725
fax 011.9596448
Finder.IT.TO@finder.it

**LOMBARDIA
FINDER S.p.A.**
Via Piero Portaluppi 11/2 - 20138 MILANO
tel. 02.5060849 - fax 02.58018430
Finder.IT.MI@finder.it

**VENETO, TRENTINO ALTO ADIGE,
FRIULI VENEZIA GIULIA
FINDER S.p.A.**
Via Breda 36/A - 35010 LIMENA (PD)
tel. 049.8840838 - 049.8841049
fax 049.8840871
Finder.IT.PD@finder.it

**EMILIA ROMAGNA, REP. S. MARINO
FINDER S.p.A.**
Via Speranza 3H
40068 SAN LAZZARO DI SAVENA (BO)
tel. 051.450102 - fax 051.450561
Finder.IT.BO@finder.it

**TOSCANA, LAZIO, MARCHE,
UMBRIA, ABRUZZO
FINDER TRE S.r.l.**
Via Traversa Fiorentina, 10 - 59100 PRATO
tel. 0574.639757 - fax 0574.636583
Finder.IT.PO@finder.it

**CAMPANIA, MOLISE, Potenza e prov.
FINDER S.p.A.**
Via Salvatore di Giacomo 2/A
Monteruscillo - 80078 POZZUOLI (NA)
tel. 081.3050011 - fax 081.3050006
Finder.IT.NA@finder.it

AGENTI FINDER

**CALABRIA
AGENZIA MURDOCCA di Larosa Rosanna**
Via Garibaldi 7 - 89042 GIOIOSA JONICA (RC)
tel. 0964.51419 - 0964.419809
murdocca@finder.it

**PUGLIA, Matera e prov.
BARNABEI Rappresentanze & C. Sas**
Via Michele Mitolo 23 - 70124 BARI
tel. 080.5041938/989 - fax 080.5041992
barnabei@finder.it

**SICILIA
FIORE Rappresentanze Snc**
Via Lombardia 7/B - 90144 PALERMO
tel. 091.6269961 - fax 091.6269953
fioire@finder.it

**SARDEGNA
SILUX di Pietro Sergi & C. Sas**
Via S. Tommaso d'Aquino 17 (scala B)
09134 PIRRI (CA)
tel. / fax 070.506337
silux@finder.it

Numero Verde
800-012613