

*Progetto*

**C. 1112**

*Data Scadenza Inchiesta*

**31-01-2013**

*Data Pubblicazione*

**2012-12**

*Classificazione*

**81-....**

*Titolo*

**Protezione contro i fulmini di impianti fotovoltaici**

*Title*



CEI COMITATO ELETTROTECNICO ITALIANO

AEIT FEDERAZIONE ITALIANA DI ELETTROTECNICA, ELETTRONICA, AUTOMAZIONE, INFORMATICA E TELECOMUNICAZIONI

CNR CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

## INDICE

1	Campo di applicazione e scopo .....	3
2	Riferimenti normativi.....	3
3	Termini e definizioni .....	4
4	Sistemi e apparecchiature da proteggere.....	5
5	Necessità della protezione, scelta, dimensionamento e installazione delle misure di protezione .....	6
6	Impianti fotovoltaici a tetto.....	6
6.1	Protezione contro la fulminazione diretta dell'impianto FV .....	6
6.2	Impianto FV sul tetto di edifici o strutture senza LPS .....	7
6.3	Impianti FV sul tetto di edifici o strutture con LPS.....	9
7	Impianto fotovoltaico a terra .....	12
7.1	Generalità .....	12
7.2	Impianto FV a terra "non esposto" .....	13
7.3	Impianto FV a terra "esposto" .....	14
8	Installazione dei Limitatori di sovratensioni (SPD) negli impianti fotovoltaici .....	17
8.1	SPD installati sulla linea elettrica BT di distribuzione.....	17
8.2	Schemi d'installazione degli SPD sul lato in c.c. del generatore fotovoltaico.....	19
8.3	Sezione dei conduttori di connessione agli SPD sugli impianti fotovoltaici .....	20
8.4	Manutenzione.....	21
	Allegato A (informativo) Esempi di applicazione.....	22

## PREMESSA

Il presente progetto di Guida "*Protezione contro i fulmini di impianti fotovoltaici*" è stata preparata da un Gruppo di Lavoro misto dei Comitati Tecnici 37A, 64, 81 e 82 del CEI.

La Guida rappresenta l'applicazione della serie di Norme CEI EN 62305 dedicata agli impianti fotovoltaici.

Questa Guida sostituisce la Specifica Tecnica approvata dal CENELEC come CLC/TS 50539-12 in data 30-10-2009 e pubblicata dal CEI in data 2011-03.

## 1 Campo di applicazione e scopo

La presente Guida tratta la protezione degli impianti fotovoltaici contro i fulmini.

Gli impianti fotovoltaici considerati sono sia quelli installati su edifici (in copertura, su facciata, parapetti, frangisole, ecc.) che quelli installati su strutture edilizie di altro tipo (ad esempio serre, pergole, tettoie, pensiline, barriere acustiche e strutture temporanee). Entrambe queste tipologie sono nel seguito indicate come "Impianti fotovoltaici a tetto". Gli impianti installati a terra invece, sono nel seguito indicati come "Impianti fotovoltaici a terra".

La Guida tratta unicamente gli impianti FV connessi alla rete elettrica del distributore. Sono esclusi gli impianti per servizio isolato e gli impianti di produzione trasportabili.

Lo scopo della Guida è definire quando e quali misure di protezione sono necessarie, dove e come devono essere installate.

## 2 Riferimenti normativi

I documenti di riferimento citati nel seguito sono indispensabili per l'applicazione del presente Guida. Per quanto riguarda i riferimenti datati, si applica esclusivamente l'edizione citata. Per quanto riguarda i riferimenti non datati, si applica l'ultima edizione del documento al quale è fatto riferimento (comprese eventuali Modifiche).

- [1] CEI Norma 81-3: 1999-05, terza edizione, Valori medi del numero di fulmini a terra per anno e per chilometro quadrato dei comuni d'Italia, in ordine alfabetico Elenco dei Comuni
- [2] CEI/EN 62305-1, ed.2, Protezione contro i fulmini di strutture – Parte 1: Principi generali, CEI 81-10/1, ed.2
- [3] CEI/EN 62305-2, ed.2, Protezione contro i fulmini di strutture – Parte 2: Valutazione del rischio, CEI 81-10/2, ed.2
- [4] CEI/EN 62305-3, ed.2, Protezione contro i fulmini di strutture – Parte 3: Danni materiale alle strutture e pericolo per le persone, CEI 81-10/3, ed.2
- [5] CEI/EN 62305-4, ed.2, Protezione contro i fulmini di strutture – Parte 4: Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture, CEI 81-10, ed.2
- [6] CEI/EN 61643-11:2002 + A11:2007, Limitatori di sovratensioni di bassa tensione - Parte 11: Limitatori di sovratensioni connessi a sistemi di bassa tensione - Prescrizioni e prove (IEC 61643-1:1998, mod. + corrigendum dic. 1998, mod.), CEI 37-8
- [7] CEI/EN 61643-21, Dispositivi di protezione dagli impulsi a bassa tensione - Parte 21: Dispositivi di protezione dagli impulsi collegati alle reti di telecomunicazione e di trasmissione dei segnali - Prescrizioni di prestazione e metodi di prova
- [8] CEI EN 62109-1, Sicurezza degli apparati di conversione di potenza utilizzati in impianti fotovoltaici di potenza - Parte 1: Prescrizioni generali
- [9] CEI EN 61730-2, Qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici (FV) - Parte 2: Prescrizioni per le prove
- [10] CEI 64-8, Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua

### 3 Termini e definizioni

Ai fini del presente documento, si applicano i termini e le definizioni seguenti.

#### 3.1

##### **Impianto (o Sistema) fotovoltaico (FV)**

Insieme di componenti che producono e forniscono elettricità ottenuta per mezzo dell'effetto fotovoltaico. Esso è composto dall'insieme di moduli fotovoltaici (Campo fotovoltaico) e dagli altri componenti (BOS), tali da consentire di produrre energia elettrica e fornirla alle utenze elettriche e/o di immetterla nella rete del distributore.

#### 3.2

##### **Impianto di protezione**

##### **LPS**

impianto completo usato per ridurre il danno materiale dovuto alla fulminazione diretta della struttura

NOTA È costituito da un impianto di protezione esterno e da un impianto di protezione interno.

[EN 61643-11:2002, Definizione 3.1]

#### 3.3

##### **Limitatore di sovratensioni**

##### **SPD)**

dispositivo utilizzato per limitare le sovratensioni transitorie e deviare le correnti impulsive. Esso contiene almeno un componente non lineare

[EN 61643-11:2002, Definizione 3.1]

#### 3.4

##### **Impianto di protezione esterno**

Parte del LPS composta da un sistema di captatori, un sistema di calate e un sistema di dispersori

#### 3.5

##### **Distanza di sicurezza**

Distanza minima tra due parti conduttrici per cui non si possono verificare scariche pericolose fra esse

[EN 62305-3:2006, Definizione 3.28]

#### 3.6

##### **Equipotenzializzazione**

##### **EB**

Connessione tra corpi metallici e l'LPS, mediante connessione diretta o tramite limitatore di sovratensioni, per ridurre le differenze di potenziale dovute alla corrente di fulmine

[EN 62305-3:2006, Definizione 3.23]

#### 3.7

##### **Collettore (barra) equipotenziale**

Barra metallica mediante la quale possono essere connessi all'LPS i corpi metallici esterni, le linee di energia e di telecomunicazione ed gli altri cavi

[EN 62305-3:2006, Definizione 3.24]

#### 3.8

##### **Conduttore equipotenziale**

Conduttore utilizzato per connettere all'LPS parti conduttrici della struttura

[EN 62305-3:2006, Definizione 3.25]

### 3.9

#### Condizioni di prova standard o normalizzate

##### STC

Le Condizioni di Prova Standard o normalizzate (STC – Standard Test Conditions) di un qualsiasi dispositivo FV senza concentrazione solare, secondo la Norma CEI EN 60904-4 (par. A.1.2), nonché la Norma CEI EN 61215 par. 10.6.1 e la Norma CEI EN 61646 par. 10.6.1, consistono in:

- Temperatura di giunzione di cella:  $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ .
- Irraggiamento sul piano del dispositivo:  $1\,000\text{ W/m}^2$
- Distribuzione spettrale di riferimento: AM 1,5 secondo la Norma CEI EN 60904-3.

### 3.10

#### Tensione a vuoto in condizioni di prova normalizzate

##### $U_{OC\,STC}$

Tensione a circuito aperto misurata in condizioni di prova normalizzate su un modulo fotovoltaico, una stringa fotovoltaica, una schiera fotovoltaica, un generatore fotovoltaico, o sul lato in c.c. dell'inverter fotovoltaico

### 3.11

#### Corrente di cortocircuito in condizioni di prova normalizzate

##### $I_{SC\,STC}$

Corrente di cortocircuito misurata in condizioni di prova normalizzate su un modulo fotovoltaico, una stringa fotovoltaica, una schiera fotovoltaica, un generatore fotovoltaico

## 4 Sistemi e apparecchiature da proteggere

L'impianto da proteggere è costituito dalle apparecchiature e dal cablaggio dell'impianto fotovoltaico.

Le apparecchiature da proteggere di un impianto fotovoltaico sono:

- L'inverter, in particolare sia l'interfaccia in c.a. collegata alla rete di distribuzione elettrica BT sia l'interfaccia in c.c. collegata ai cavi provenienti dal generatore di corrente continua;
- Il generatore di corrente continua;
- Le apparecchiature per il controllo e il monitoraggio dell'impianto stesso, se presenti.

La tensione di tenuta di tali apparecchiature deve essere dichiarata dal costruttore; in mancanza di tali informazioni si possono assumere i valori riportati nella Tabella 4-1 [9, 10].

**Tabella 4-1 – Tensioni di tenuta ad impulso dell'inverter e del modulo fotovoltaico**

	$U_{OCSTC} \leq 213\text{ V}$	$U_{OCSTC} \leq 424\text{ V}$	$U_{OCSTC} \leq 849\text{ V}$	$U_{OCSTC} \leq 1500\text{ V}$
Modulo FV	2,5 kV	4 kV	6 kV	8 kV
Inverter: interfaccia in c.c.		2,5 kV	4 kV	6 kV
Inverter: interfaccia in c.a.	4 kV			

I cablaggi da proteggere contro la fulminazione diretta sono:

- i cavi di alimentazione in c.a. dal quadro generale all'inverter;
- i cavi in c.c. dal generatore di c.c. fino all'inverter;
- i cavi di segnale che collegano i sensori alla centralina di controllo e monitoraggio ed i cavi di telecomunicazione dall'ingresso nell'impianto FV fino alla centralina di controllo, se presenti. Tali impianti non sono per il momento considerati dalla presente Guida.

## 5 Necessità della protezione, scelta, dimensionamento e installazione delle misure di protezione

In generale, la valutazione della necessità di misure protezione contro i fulmini, la loro scelta e dimensionamento sono eseguiti secondo la Norma CEI EN 62305 [2-5].

L'applicazione della Norma CEI 62305-2 [3] agli impianti FV sul tetto di edifici - con l'esclusione di edifici con rischio di esplosione, rischio d'incendio ordinario o elevato, elevato numero di persone, ospedali, con pubblico servizio essenziale, musei e simili - evidenzia che il rischio di perdita di vite umane è inferiore al rischio tollerabile oppure può essere ridotto con l'installazione di limitatori di sovratensioni (SPD) all'ingresso dei servizi nell'edificio o struttura.

Il rischio di perdita di vite umane è sempre inferiore al rischio tollerabile negli impianti FV a terra per la limitata presenza di persone all'interno dell'impianto.

In tali strutture esiste sempre il rischio di perdite economiche.

La convenienza d'installare misure protezione si ha quando il costo delle perdite è maggiore di quello delle misure di protezione e delle perdite residue a valle dell'adozione delle misure di protezione.

L'obiettivo di ridurre le perdite economiche può anche essere conseguito limitando il numero di danni o frequenza di danno, definendo quindi una frequenza di danno tollerabile,  $F_T$ . Tale definizione compete al proprietario o gestore dell'impianto FV.

Valori tipici sono compresi tra  $F_T = 0,1$  (un danno ogni 10 anni) e  $F_T = 0,05$  (un danno ogni 20 anni).

Definito un valore di frequenza di danno tollerabile, la Guida definisce criteri semplici per valutare la necessità di misure di protezione, la loro scelta e dimensionamento. Questi criteri si basano sulla Norma CEI EN 62305-2 [3], alla quale l'utilizzatore della Guida può in ogni caso fare riferimento.

Il Proprietario o Gestore dell'impianto FV, per ridurre in ogni caso il rischio di perdite economiche, può decidere di proteggere sempre le apparecchiature con SPD scelti ed installati secondo le indicazioni di questa Guida.

## 6 Impianti fotovoltaici a tetto

### 6.1 Protezione contro la fulminazione diretta dell'impianto FV

La struttura su cui è installato l'impianto FV può essere un edificio isolato ( $c_d = 1$ ), o circondato da edifici di altezza inferiore o della stessa altezza ( $c_d = 0,5$ ) o di altezza maggiore ( $c_d = 0,25$ ), ubicato in area rurale ( $c_e = 1$ ), suburbana ( $c_e = 0,5$ ) o urbana ( $c_e = 0,1$  con edifici fino a 20 m di altezza oppure  $c_e = 0,01$  con edifici di altezza maggiore di 20 m) [3].

La protezione contro la fulminazione diretta dell'impianto FV, per limitare la frequenza di danno a valori inferiori o uguali a quella tollerabile, non è necessaria quando l'area di captazione dell'edificio contro la fulminazione diretta  $A_d$  soddisfa la seguente relazione:

$$A_d \leq \frac{8 \times F_T \times 10^5}{c_d \times N_g} \quad (6.1)$$

dove  $N_g$  è il numero di fulmini all'anno per  $\text{km}^2$  [1],  $F_T$  è la frequenza di danno tollerabile e  $c_d$  è il fattore di ubicazione.

Quando la relazione (6.1) non è soddisfatta, occorre installare l'LPS e la protezione deve essere eseguita come indicato in 6.3.

La Norma CEI EN 62305-2 deve essere utilizzata per strutture con rischio di esplosione, rischio d'incendio ordinario o elevato, elevato numero di persone, ospedali, perdita di pubblico servizio essenziale, musei e simili per valutare la necessità dell'LPS.

Quando è necessario installare l'LPS, la protezione dell'impianto FV può quindi essere conseguita seguendo le indicazioni date in 6.3.

## **6.2 Impianto FV sul tetto di edifici o strutture senza LPS**

I seguenti par. 6.2.1 e 6.2.2 forniscono i requisiti per gli SPD da installare sulla linea elettrica BT in c.a. e in c.c. quando l'equazione (6.1) è soddisfatta, cioè quando non è necessario installare l'LPS.

### **6.2.1 Protezione della linea elettrica di bassa tensione in c.a.**

La linea elettrica BT in c.a. deve essere sempre protetta mediante limitatori di sovratensioni (SPD) installati nel quadro principale all'ingresso della linea nell'edificio, tranne che nel caso di edifici ubicati in area urbana.

L'SPD deve essere di Classe di prova I o di tipo 1 e deve avere:

- la corrente ad impulso  $I_{imp}$  maggiore o uguale a 5 kA.
- la corrente nominale di scarica  $I_n$  maggiore o uguale a 15 kA.

NOTA Se l'SPD con le caratteristiche sopra indicate è già installato all'interno dell'inverter, non è necessario prevedere un SPD all'esterno.

Per distanze tra l'SPD e l'apparecchiatura da proteggere minori o uguali a 10 m, il criterio per la scelta del livello di protezione è il seguente [5]:

$$U_p = U_{p/f} - \Delta U \leq 0,8 \times U_w - \Delta U \quad (6.2)$$

dove

$U_{p/f}$  è il livello di protezione effettivo dell'SPD;

$U_p$  è il livello di protezione dell'SPD;

$\Delta U = \Delta l \times 1 \text{ kV/m}$  è la caduta di tensione nei conduttori di collegamento dell'SPD verso i conduttori e la BB di lunghezza ( $\Delta l$ ).

NOTA Per gli SPD con intervento a innesco,  $U_{p/f}$  è il maggiore tra i valori di  $U_p$  e  $\Delta U$ .

Limitando la lunghezza complessiva dei conduttori di collegamento dall'SPD ai conduttori elettrici e alla barra di equipotenzializzazione ( $\Delta l$ ) a valori minori o uguali a 0,5 m, il livello di protezione  $U_p$  può essere minore o uguale a 2,7 kV e quindi il livello di protezione effettivo ( $U_{p/f}$ ) è minore o uguale a 3,2 kV.

Quando la distanza tra quadro principale e inverter è maggiore di 10 m, due soluzioni sono possibili:

- 1) installare un SPD di tipo 2, coordinato con quello a monte, all'ingresso dell'inverter con un livello di protezione minore delle tensione di tenuta della interfaccia in c.a. dell'inverter (4 kV). A tale fine, può essere utilizzato l'SPD all'interno dell'inverter, se presente, adeguato e coordinato (pertanto le sue caratteristiche devono essere fornite dal costruttore dell'inverter);
- 2) scegliere il livello di protezione dell'SPD nel quadro principale in modo da soddisfare la relazione (7.1), dove la tensione indotta  $U_i$  è calcolata con la relazione (7.2).

La tensione massima continuativa  $U_c$  deve essere maggiore o uguale a  $1.1 \times U_0$ , dove  $U_0$  è la tensione verso terra della linea elettrica in c.a..



### 6.2.2 Protezione della linea elettrica in c.c.

Il modulo FV deve essere protetto dalle sovratensioni condotte dalla linea elettrica BT in c.a. quando:

- l'SPD a monte ha un livello di protezione effettivo maggiore della tensione di tenuta del modulo FV;
- la sua distanza dell'SPD a monte è maggiore di 10 m.

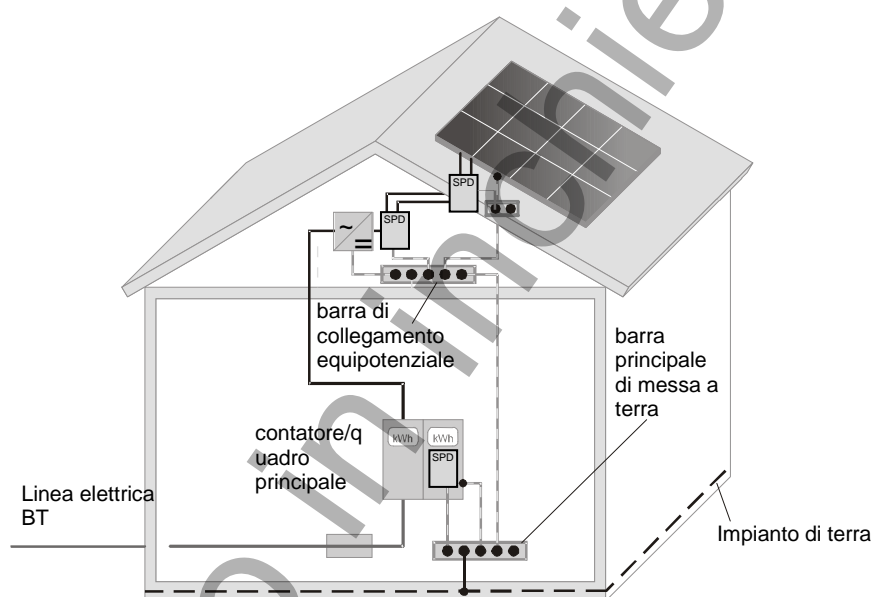
Il modulo FV e l'interfaccia in c.c. dell'inverter devono essere protette mediante SPD di Classe di prova 2 o di tipo 2 contro le sovratensioni indotte sul cavo in c.c. dai fulmini vicini all'edificio o struttura quando la sua lunghezza  $l$ , in m, è maggiore del seguente valore:

$$l > 90 \times U_w \times \left( \frac{F_T}{N_g} \right)^{0,5} \quad \text{Tetto FV o impianto FV a terra "non esposto"} \quad (6.3)$$

con  $U_w$  in kV e  $N_g$  in fulmini all'anno per km<sup>2</sup>.

Ad esempio, assumendo la tensione di tenuta delle interfacce dell'inverter e del modulo FV con il cavo in c.c. pari a 4 kV e  $F_T$  pari 0,05, la protezione è necessaria, per  $N_g = 4$  fulmini all'anno per km<sup>2</sup>, quando la lunghezza del cavo in c.c. è maggiore di 40 m (equazione 6.3). In questo caso, occorre installare un SPD di classe di prova 2 vicino all'interfaccia in c.c. dell'inverter, coordinato con quello a monte dell'inverter, e un altro SPD di Classe di prova 2 vicino al modulo FV coordinato con quello vicino l'inverter (Figura 6-1).

NOTA Nel caso di cavo schermato le interfacce delle apparecchiature con tale cavo risultano protette contro le sovratensioni indotte.



**Figura 6-1 – Edificio e impianto FV senza LPS esterno**

Il livello di protezione di tali SPD deve essere minore o uguale alla tensione di tenuta di queste interfacce per gli SPD installati all'ingresso delle apparecchiature oppure in accordo con la relazione (6.2) o le relazioni (7.1) e (7.2) per gli SPD installati ad una distanza dagli apparati a distanza rispettivamente minore o maggiore di 10 m.

La relazione (6.3) si applica agli impianti FV sul tetto e a quelli a terra "non esposti", tipicamente di modeste dimensioni (vedi par. 7.2).

Negli impianti FV a terra "esposti", tipicamente di grandi dimensioni, le suddette interfacce devono essere sempre protette mediante SPD (vedi par.7.3).

La tensione massima continuativa  $U_C$  degli SPD deve essere superiore o uguale alla massima tensione a circuito aperto del generatore fotovoltaico, in tutte le condizioni (irraggiamento e temperatura ambiente).

La tensione  $U_C$  minima deve essere superiore o uguale a 1,2 volte  $U_{OCSTC}$ .

La tensione  $U_C$  deve essere considerata per ciascun modo di protezione (+/-, +/-terra e -/ terra).

### **6.3 Impianti FV sul tetto di edifici o strutture con LPS**

#### **6.3.1 LPS**

L'installazione dell'LPS sull'edificio o struttura è necessaria quando è indispensabile per ridurre il rischio di perdita di vite umane  $R_1$  a valori inferiori al rischio tollerabile oppure quando l'equazione (6.1) non è soddisfatta.

In questo caso, un LPS di Classe III-IV (LPL III-IV, corrente del fulmine pari a 100 kA, 10/350) è in generale sufficiente per conseguire la protezione oppure la Classe dell'LPS è definita dalla valutazione del rischio  $R_1$ .

L'LPS può essere isolato (Figura 6-2) oppure non isolato (Figura (6-3) dall'impianto FV.

#### **6.3.2 Protezione della linea elettrica BT in c.a.**

La linea elettrica BT in c.a. deve essere protetta con SPD di tipo 1 con i seguenti valori di corrente:

- Corrente ad impulso ( $I_{imp}$ ) maggiore o uguale a 10 kA;
- Corrente nominale di scarica ( $I_n$ ) maggiore o uguale a 15 kA.

Quando un LPS di Classe II o I è richiesto per ridurre  $R_1$ , la corrente a impulso  $I_{imp}$  diventa rispettivamente 15 o 20 kA.

Tali SPD devono essere installati nel quadro principale.

Assumendo che il conduttore PE sia distribuito nello stesso cavo dei conduttori di energia, il livello di protezione può essere scelto con la relazione (6.2) per distanze tra l'SPD e l'apparecchiatura da proteggere minori o uguali a 10 m.

In generale il livello di protezione dell'SPD è scelto mediante la relazione (7.1) dove la tensione indotta  $U_i$  è calcolata con l'Annesso A o E della Norma CEI EN 62305-4 [5].

Quando il livello di protezione dell'SPD nel quadro principale non soddisfa le precedenti condizioni, occorre installare un SPD, coordinato con quello a monte, all'ingresso dell'inverter con un livello di protezione minore della tensione di tenuta della interfaccia in c.a. dell'inverter (4 kV). Nella scelta e dimensionamento di tale SPD occorre distinguere le seguenti diverse situazioni impiantistiche:

- Inverter situato nel basamento dell'edificio (cioè la lunghezza  $l$  del tratto parallelo alle calate, indicata in Figura 6.2, è pari a zero). In questo caso l'SPD è di classe di prova 2 e, a tale fine, può essere utilizzato l'SPD all'interno dell'inverter, se presente e adeguato.
- Inverter non situato nel basamento dell'edificio (cioè la lunghezza  $l$  del tratto parallelo alle calate, indicata in Figura 6.2, è diversa da zero). In questo caso:
  - Quando l'LPS è isolato dell'impianto FV, l'SPD è di classe di prova 2 con  $I_n$  maggiore o uguale a 5 kA (quando un LPS di Classe II o I è richiesto per ridurre  $R_1$ , la corrente  $I_n$  diventa rispettivamente maggiore o uguale a 7,5 o 10 kA).
  - Quando l'LPS è non isolato dell'impianto FV, l'SPD è di Classe di prova 1 con il valore di  $I_{imp}$  calcolato con l'equazione (6.5).

La tensione massima continuativa  $U_C$  deve essere maggiore o uguale a  $1,1 \times U_0$ .

### 6.3.3 Protezione della linea elettrica in c.c.

Un collegamento equipotenziale deve essere installato tra struttura metallica di supporto dei pannelli FV e la barra di equipotenzialità vicino all'inverter (Figure 6.2 e 6.3); questo collegamento equipotenziale dovrebbe essere ubicato vicino al cavo in c.c..

Le misure di protezione sul cavo elettrico in c.c. sono differenti quando l'LPS è isolato oppure non isolato dall'impianto FV.

#### 6.3.3.1 LPS isolato

Quando la tensione  $U_i$  indotta nella spira formata da ogni conduttore di energia e il conduttore equipotenziale è maggiore della tenuta dell'inverter e/o del modulo FV, è necessario installare SPD vicino all'inverter (SPD3) e/o al modulo FV (SPD4) (Figura 6-2).

La tensione indotta  $U_i$  può essere calcolata come indicato nella Norma CEI EN 62305-4 (Annessi A ed E).

Questo calcolo può essere evitato installando sempre un SPD di tipo 2 vicino all'inverter (SPD3) e al modulo FV (SPD4); la corrente nominale di scarica  $I_n$  deve essere maggiore o uguale a 5 kA per sopportare le sovracorrenti indotte dalla fulmine sull'edificio o struttura.

NOTA 1 Quando un LPS di Classe II o I è richiesto per ridurre  $R_1$ , la corrente  $I_n$  diventa rispettivamente maggiore o uguale a 7,5 o 10 kA.

Il livello di protezione deve essere inferiore alla tensione di tenuta dell'apparecchiatura da proteggere.

L'SPD4 è in genere installato nel quadro di stringa che è ubicato ad una certa distanza dall'apparecchiatura da proteggere. In questo caso, si può utilizzare un cavo schermato tra il quadro di stringa e l'apparecchiatura oppure posare il cavo non schermato in una canaletta metallica per rendere trascurabile la tensione indotta.

NOTA 2 Se l'impiego di cavi schermati o la posa del cavo non schermato in canalette metalliche è troppo costoso rispetto ai costi causati da questo tipo di danno sul modulo FV, questi ultimi possono essere accettati (vedi 7.2.3 per il confronto sui costi).

Il suo livello di protezione è calcolato con la relazione (6.2) per distanze tra quadro di stringa e apparecchiatura minori o uguali a 10 m oppure con la seguente relazione per distanze superiori a 10 m:

$$U_p = U_{p/t} - \Delta U \leq U_w/2 - \Delta U \quad (6.4)$$

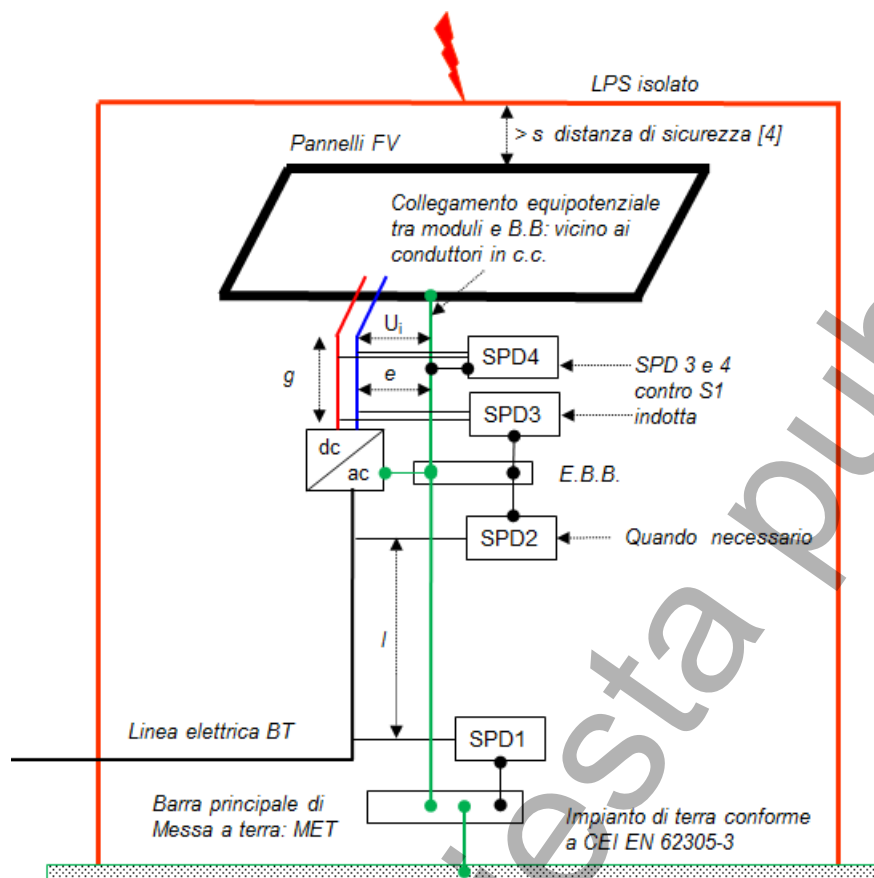


Figura 6-2 – Edificio con LPS isolato dall'impianto FV

### 6.3.3.2 LPS non isolato

Ogni spigolo del modulo FV dovrebbe essere collegato a una calata (Figura 6-3).

È necessario installare SPD di tipo 1 vicino all'inverter (SPD3) e al modulo FV (SPD4).

NOTA 1 La tensione indotta tra ogni conduttore in c.c. e il conduttore di equipotenzialità, tra struttura metallica di supporto dei pannelli FV e E.B.B., è maggiore della tensione di tenuta del modulo FV e del lato in c.c. dell'inverter.

Tali SPD devono essere dimensionati contro le sovracorrenti  $I_{imp}$  (10/350) calcolate con la seguente relazione:

$$I_{imp} = I_{LPL} \times k_c / (2 \times n) \quad (6.5)$$

dove

$n$  è il numero di conduttori ( $n$  include anche il PE, pertanto nel caso specifico di Figura 6-3,  $n = 3$ );

$I_{LPL}$  è la corrente del fulmine della Classe dell'LPS, in genere Classe III-IV, cioè 100 kA, a meno che un LPS di Classe II o I sia richiesto per ridurre il rischio  $R_1$ .

NOTA 2 Con riferimento alla Figura 6-3,  $k_c = 0.5$ , e all'LPL III, gli SPD3 e SPD4 devono avere una corrente ad impulso  $I_{imp}$  maggiore o uguale a 8,3 kA.

NOTA 3 Nel caso di cavo schermato, gli SPD non sono necessari quando la caduta di tensione nella resistenza dello schermo provocata dalla corrente  $I_{imp}$  è minore o uguale alla tensione di tenuta delle due interfacce delle apparecchiature.

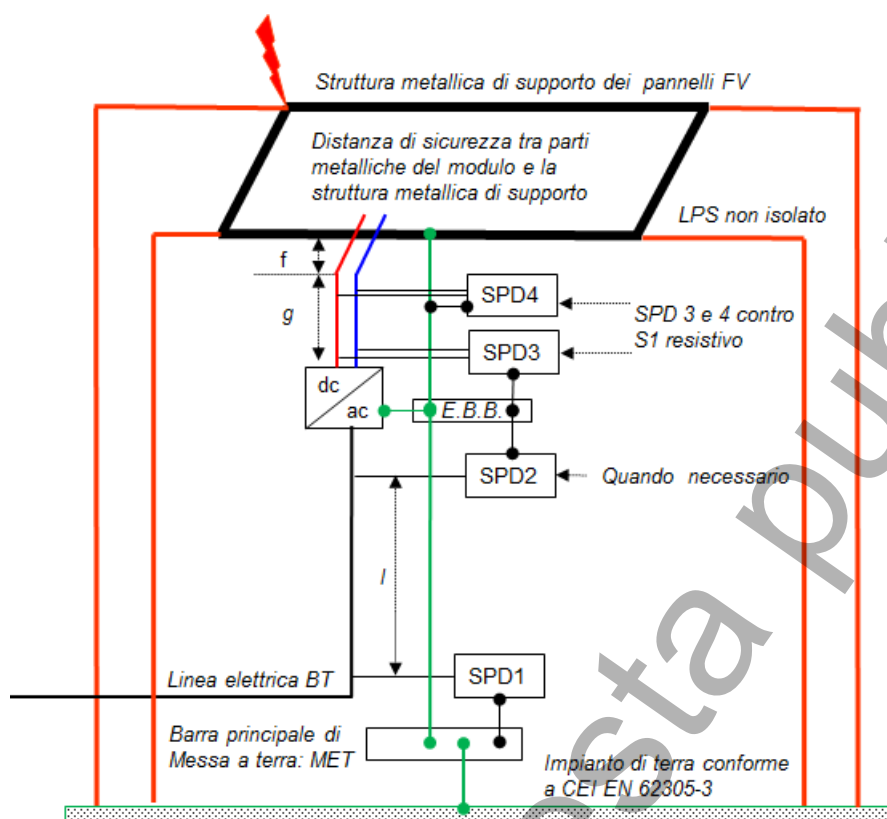


Figura 6-3– Edificio con LPS non isolato dall'impianto FV

Il livello di protezione deve essere scelto come indicato in 6.3.3.1.

## 7 Impianto fotovoltaico a terra

### 7.1 Generalità

L'Impianto foto-voltaico a terra è in genere una struttura isolata ( $c_d = 1$ ), ubicato in area rurale ( $c_e = 1$ ).

L'Impianto FV a terra è tipicamente alimentato da una linea elettrica trifase di media tensione (MT) ( $c_i = 0,2$ ), aerea ( $c_l = 1$ ), non schermata, la cui lunghezza può essere assunta pari a 5 km, se non si dispongono di informazioni più precise.

La linea elettrica di bassa tensione in uscita dal trasformatore MT/BT si attesta nel quadro principale, dove ha origine l'impianto interno che termina sull'inverter dell'impianto FV, la cui tensione di tenuta deve essere dichiarata dal costruttore ed in genere è pari a 4 kV. Tipicamente il PE è distribuito insieme ai conduttori di fase, cioè nello stesso cavo o nella stessa conduttura.

Nell'impianto FV potrebbe entrare una linea di telecomunicazioni collegata all'apparecchiatura di controllo e monitoraggio dell'impianto FV.

La Figura 7-1 illustra un esempio di Impianto FV a terra.



Figura 7-1 – Esempio di Impianto FV a terra in area rurale

## 7.2 Impianto FV a terra “non esposto”

Questa Guida definisce un impianto FV a terra “non esposto” quando la relazione (6.1) è soddisfatta e quindi non è necessaria la protezione contro la fulminazione diretta.

I criteri di protezione definiti in 6.2 e 6.3 per il “Tetto FV” si applicano anche all’impianto FV a terra “non esposto”, con l’unica eccezione riguardante gli SPD sul cavo in c.c. installati nei quadri di stringa, che sono ubicati a distanze superiori a 10 m dall’apparecchiatura da proteggere. In questo caso, il livello di protezione effettivo degli SPD deve soddisfare le seguente relazione:

$$U_{p/f} = (U_w - U_i)/2 \quad (7.1)$$

dove  $U_i$  è la tensione indotta nella spira formata dai conduttori e terra tra i quadri di stringa e l’apparecchiatura da proteggere dai fulmini vicini all’impianto FV. Tale tensione  $U_i$  può essere stimata come segue:

$$U_i = k_{s3} \times q \times f \quad (7.2)$$

dove:

$f$  è la lunghezza della linea in c.c. tra l’SPD e apparecchiatura (m);

$q$  è la tensione indotta pari a 30 V/m;

$k_{s3}$  è uguale a 1 (in generale  $k_{s3}$  è uguale a 0,01 quando il PE è distribuito nello stesso cavo dei conduttori elettrici oppure a 0,2 quando il PE è nella stessa conduttura del cavo elettrico oppure a 1 quando il PE è distribuito in modo diverso dalle due situazioni descritte).

NOTA Nel caso di cavo in c.c. schermato la tensione  $U_i$  diventa trascurabile.

### 7.3 Impianto FV a terra “esposto”

Questa Guida definisce un impianto FV a terra “esposto” quando la relazione (6.1) non è soddisfatta e quindi è necessaria la protezione contro la fulminazione diretta.

#### 7.3.1 LPS

In questo caso un LPS di Classe IV o III (LPL III-IV, cioè corrente di fulmine pari a 100 kA, 10/350) è sufficiente.

L'LPS può essere isolato dall'impianto FV (Figura 7-2).

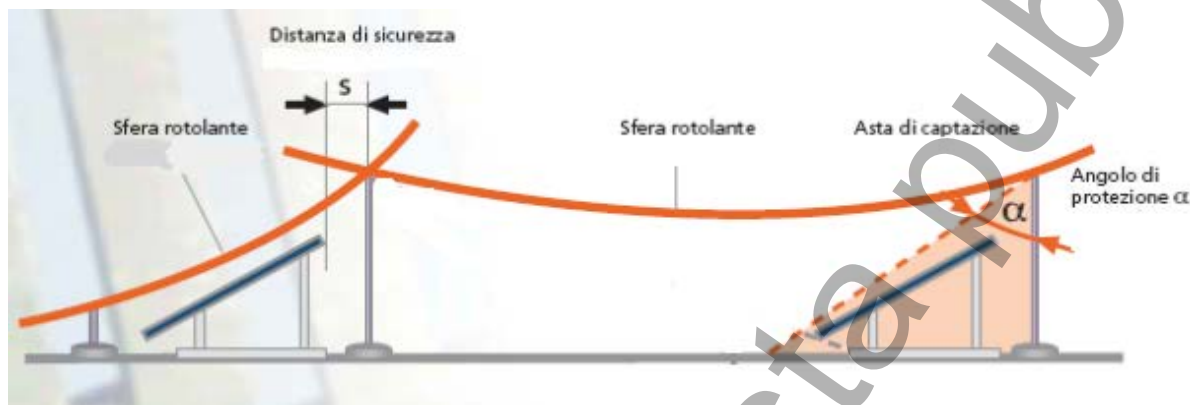


Figura 7-2 – Esempio di LPS esterno isolato dall'impianto FV

I requisiti d'installazione di un LPS esterno sono riportati nella Norma CEI EN 62305-3 [4].

Nell'impianto FV può essere presente un LPS naturale (Figura 7-3):

- il captatore è costituito dalla struttura metallica di supporto delle schiere FV.
- I pali di supporto e di ancoraggio al terreno della struttura metallica costituiscono le calate.
- Il dispersore è costituito dai pali di ancoraggio nel terreno, collegati, tipicamente, a uno o più elementi disperdenti orizzontali.

È necessario che l'LPS naturale sia conforme alla norma CEI EN 62305-3 [4].

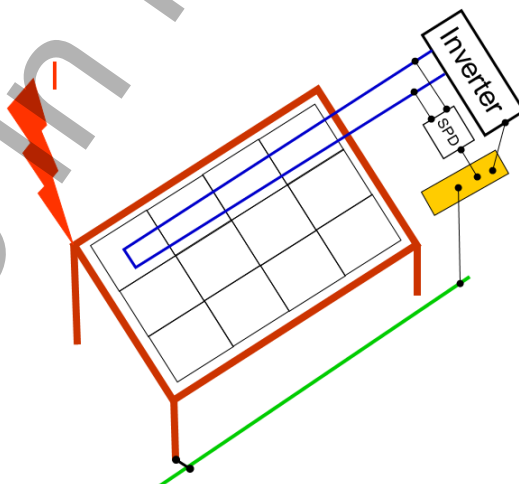


Figura 7-3 – Esempio di LPS esterno non isolato dall'impianto FV

### 7.3.2 Protezione della linea elettrica BT in c.a.

La linea elettrica BT in c.a. deve essere protetta con SPD di Classe di prova I o di tipo 1 con i seguenti valori di corrente:

- Corrente ad impulso ( $I_{imp}$ ) maggiore o uguale a 10 kA;
- Corrente nominale di scarica ( $I_n$ ) maggiore o uguale a 15 kA.

Si può seguire lo stesso criterio riportato in 6.3.2 per la scelta del livello di protezione.

La tensione massima continuativa  $U_c$  deve essere maggiore o uguale a  $1,1 \times U_0$ .

NOTA Potrebbe essere necessario proteggere con un SPD, coordinato con quello nel quadro principale, vicino alle apparecchiature ausiliarie presenti nell'impianto, che hanno in genere una tensione di tenuta pari a 2,5 kV.

### 7.3.3 Protezione della linea elettrica in c.c.

Le interfacce dell'inverter e dei moduli FV con il cavo in c.c. devono essere protette con SPD, per impiego su sistemi in c.c., di Classe di prova I o di tipo 1 con una corrente ad impulso ( $I_{imp}$ ) maggiore o uguale ai valori riportati nella Tabella 7-1.

**Tabella 7-1 – Corrente a impulso ( $I_{imp}$ ) degli SPD sul cavo in c.c.**

SPD ad innesco	SPD a limitazione	
$I_{imp}$ [kA]	$I_{imp}$ [kA]	$I_n$ [kA]
10	5	15

NOTA Nel caso di cavo schermato, gli SPD non sono necessari quando la caduta di tensione nella resistenza dello schermo provocata dalla corrente  $I_n$  è minore o uguale alla tensione di tenuta delle interfacce delle apparecchiature.

Il livello di protezione effettivo ( $U_{pf}$ ) degli SPD vicino all'inverter deve essere minore di 3,2 kV (equazione 6.2); limitando a 0,5 m la lunghezza complessiva dei collegamenti dell'SPD al conduttore e alla barra di equipotenzialità, il livello di protezione  $U_p$  degli SPD deve essere minore di 2,7 kV.

Gli SPD vicino ai moduli FV sono installati nei quadri di stringa che possono essere a distanze elevate, dell'ordine di 50-70 m, dall'apparecchiatura da proteggere; è pertanto necessario che il livello di protezione effettivo soddisfi l'equazione (7.1), dove però la tensione  $U_i$ , indotta dalla corrente del fulmine sull'impianto FV, è molto elevata.

È necessario ridurre a valori trascurabili la tensione indotta  $U_i$  nella spira formata dai due conduttori in c.c. e tra ogni conduttore e terra tra il quadro di stringa e l'apparecchiatura da proteggere. Ciò si può conseguire utilizzando, tra il quadro di stringa e l'apparecchiatura nel modulo FV, un cavo schermato oppure posando il cavo non schermato all'interno di una canaletta metallica chiusa (Figura 7-4). A tale fine, si può utilizzare la struttura metallica di supporto se la sua sezione sopporta l'impatto della corrente del fulmine (Tabella 7-2 [3]) ed è realizzata in modo costituire una canaletta chiusa (Figura 7-5).

**Tabella 7-2 – Spessore minimo delle lastre metalliche o delle tubazioni metalliche usate come captatori**

Materiale	Spessore [mm]
Piombo	2
Acciaio galvanizzato	0,5
Rame	0,5
Alluminio	0,65
Zinco	0,7



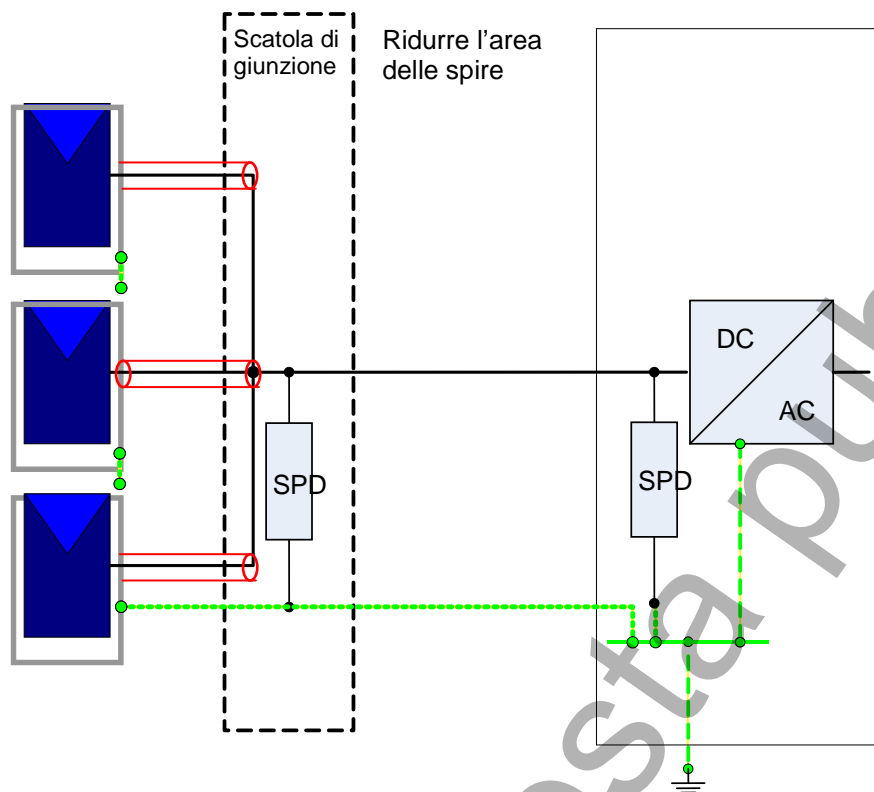


Figura 7-4 – Esempio di protezione contro le sovratensioni sul lato in c.c. di un impianto fotovoltaico

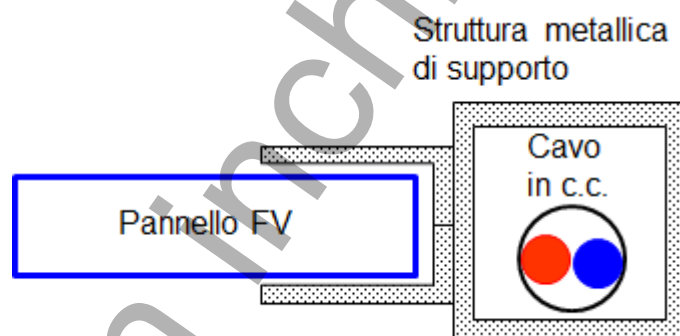


Figura 7-5 – Esempio di possibile struttura metallica di supporto dei pannelli FV

La convenienza economica nell'utilizzare cavi schermati o la posa in canalette metalliche può essere valutata confrontando il costo annuo di tali misure di protezione ( $C_{PM}$ ) con la perdita economica annua causata da tali danni ( $C_L$ ).

I danni sono causati dalla scarica tra struttura metallica e cavo in c.c. a seguito di un fulmine che colpisce la struttura metallica della schiera FV. In assenza di dati dal campo di tale tipo di danno, alcuni moduli FV della schiera colpita saranno danneggiati) ad esempio 2-3 moduli). Indicando con  $C_{FV}$  il costo di tali moduli, della manodopera per la riparazione e della perdita di produzione, la perdita annua  $C_L$  può essere stimata nel modo seguente:

$$C_L = N_d \times C_{FV} \quad (7.3)$$

dove

$N_d$  è il numero di fulmini che colpiscono le schiere in un anno.

Il costo annuo delle misure di protezione si ottiene dal costo complessivo di tali misure di protezione  $C_P$  nel modo seguente:

$$C_{PM} = C_P \times (a+i) \quad (7.4)$$

dove

$a$  è tasso d'ammortamento (ad es.  $a = 0.05$  per l'ammortamento in 20 anni)

$i$  è il tasso d'interesse

L'impiego di tali misure di protezione è conveniente quando:

$$C_L > C_{PM} \quad (7.5)$$

Se tale relazione non è verificata, conviene accettare i danni.

## 8 Installazione dei Limitatori di sovratensioni (SPD) negli impianti fotovoltaici

### 8.1 SPD installati sulla linea elettrica BT di distribuzione

Gli SPD devono essere conformi ai requisiti indicati nella Norma CEI EN 61643-11.

Gli SPD devono essere installati secondo le indicazioni della Norma CEI 64-8 [8].

Nei sistemi di alimentazione TT, è consigliata la connessione di tipo C, denominata anche 3+1 per i sistemi trifase (Figura 8-1) oppure 1+1 per i sistemi monofase (Figura 8-2).

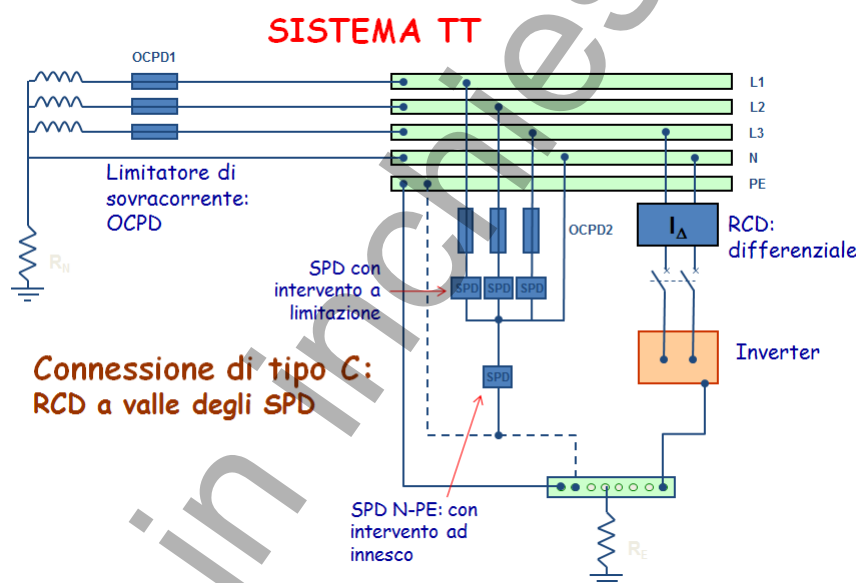
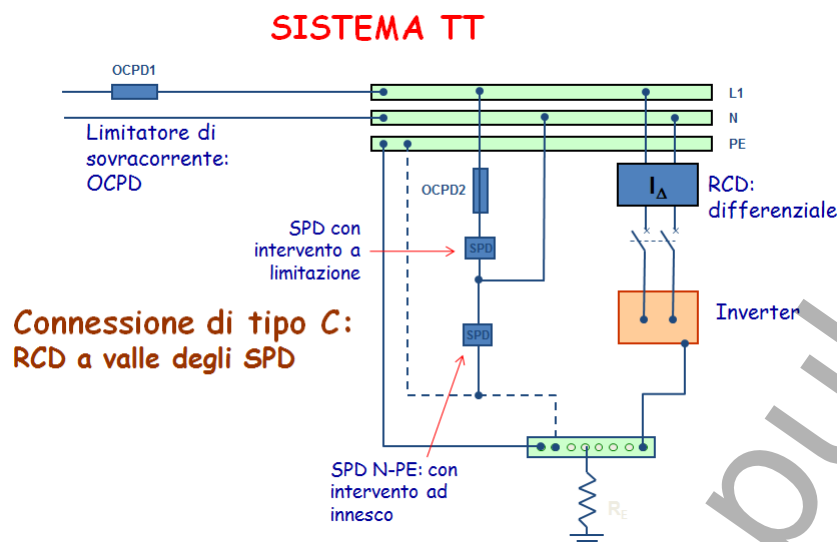
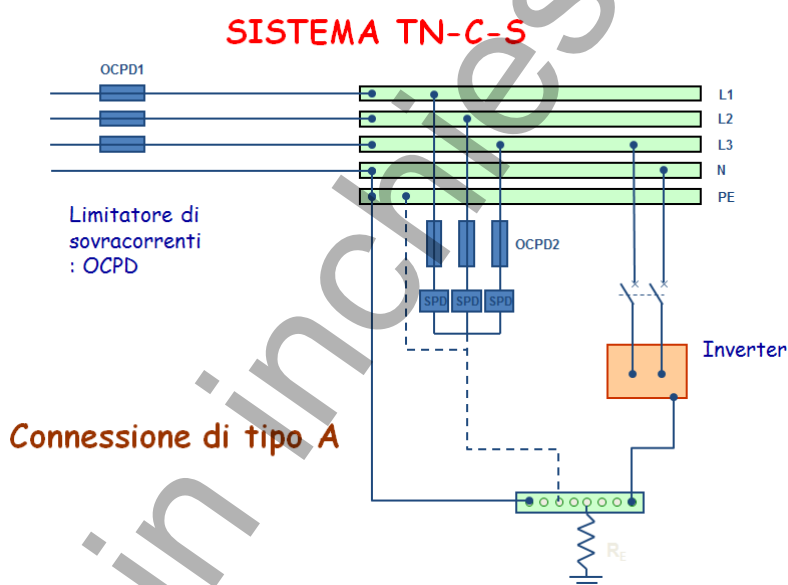


Figura 8-1 – Installazione di SPD in sistemi TT trifase



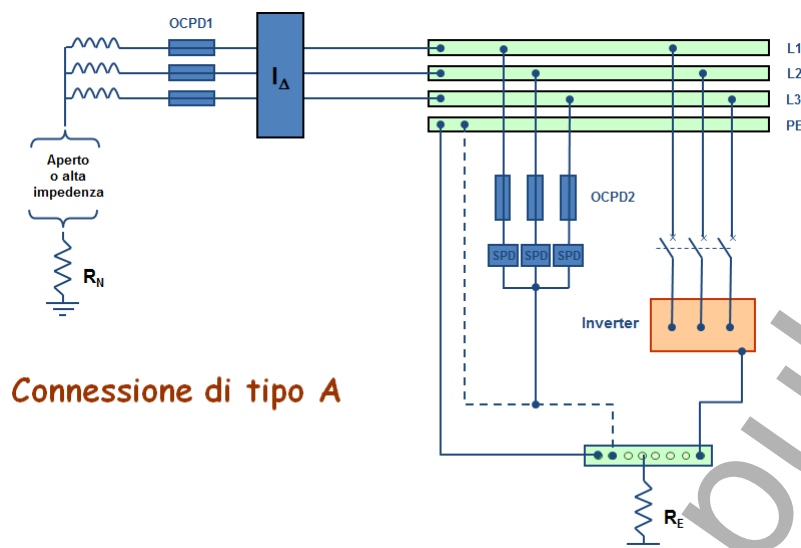
**Figura 8-2 – Installazione di SPD in sistemi TT monofase**

Nel caso di alimentazione in media tensione, è consigliato realizzare il Sistema TN-C-S per la linea elettrica BT. In questo caso, in accordo con la Norma CEI 64-8 [8], gli SPD devono essere installati secondo la connessione di tipo A (Figura 8-3).



**Figura 8-3 – Installazione di SPD in sistemi TN-C-S trifase**

Nel caso in cui si utilizzi il sistema IT per la linea elettrica BT, gli SPD devono essere installati sempre secondo la connessione di tipo A ma con il differenziale a monte degli SPD (Figura 8-4).



Connessione di tipo A

Figura 8-4 – Installazione di SPD in sistemi IT trifase

## 8.2 Schemi d'installazione degli SPD sul lato in c.c. del generatore fotovoltaico

### 8.2.1 Generalità

Per l'applicazione degli SPD sul lato in c.c. dei generatori fotovoltaici, oltre ai valori definiti nei paragrafi seguenti, altri criteri, quali la modalità di fine vita, devono essere definiti e dichiarati dal costruttore di SPD. Questi SPD sono pertanto scelti secondo le raccomandazioni dei loro costruttori.

NOTA La Norma di prodotto per gli SPD da utilizzare sull'alimentazione in c.c. dei sistemi fotovoltaici (prEN 50539-11) è in corso di preparazione da parte del CENELEC.

### 8.2.2 Schemi d'installazione

Possibili schemi d'installazione degli SPD sul cavo in c.c. del sistema fotovoltaico sono riportati nelle Figura 8-4 e 8-5 rispettivamente per i sistemi non messi a terra e messi a terra.

La protezione contro le sovratensioni può essere una connessione di modo singolo degli SPD di protezione (A, B, C, x, y, z nelle Figure 8-5 e 8-6) oppure un SPD multipolo. I componenti utilizzati negli SPD possono essere componenti con intervento a limitazione oppure ad innesco oppure una loro combinazione.

Commento: è possibile indicare una soluzione preferibile?

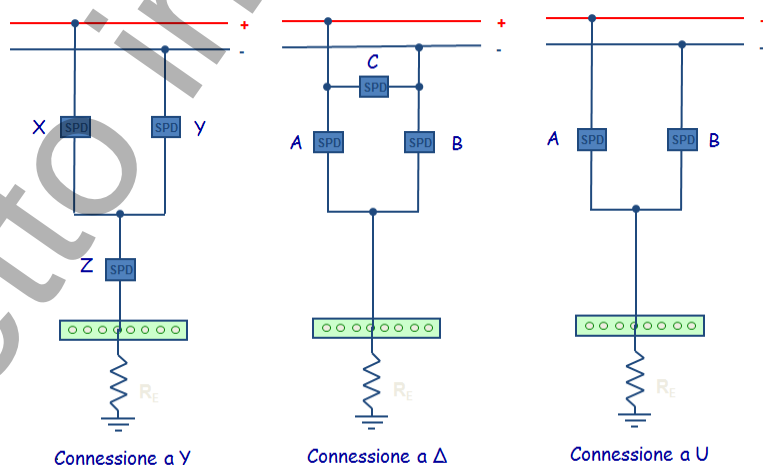
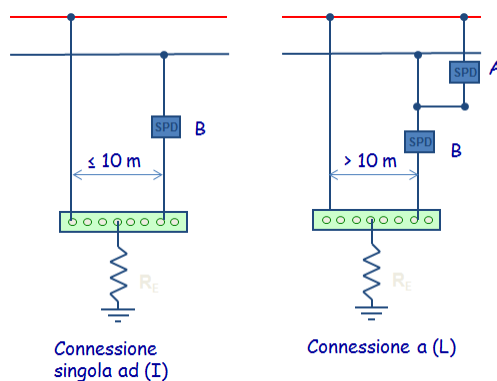


Figura 8-5 – Protezione contro le sovratensioni sul lato in c.c. dei sistemi fotovoltaici non messi a terra



NOTA Se il conduttore + nella connessione ad I) non è messo a terra direttamente (per es. per mezzo di un fusibile), si applica la connessione a (L) per proteggere il sistema fotovoltaico anche in caso di una connessione a terra scollegata.

**Figura 8-6 – Protezione contro le sovratensioni sul lato in c.c. dei sistemi fotovoltaici messi a terra**

### 8.2.3 Prescrizioni supplementari al comportamento di sovraccarico dell'SPD installato sul lato in c.c. dei sistemi fotovoltaici

Gli SPD negli impianti fotovoltaici possono essere danneggiati:

- da fughe termiche dovute ad un numero eccessivo di sollecitazioni in seguito a colpi di fulmine non superiori alle loro caratteristiche, ma che portano ad una lenta distruzione dei loro componenti interni;
- dal passaggio in cortocircuito dovuto ad una sollecitazione che va oltre le loro caratteristiche, portando così ad una degradazione improvvisa della loro impedenza.

Se l'SPD va in cortocircuito, la corrente di guasto dipende dal numero di stringhe, dal luogo del guasto e dal livello di irraggiamento. Ciò rende la rivelazione del cortocircuito all'interno di un impianto fotovoltaico molto difficile perché possono presentarsi correnti di guasto che non farebbero intervenire un dispositivo di protezione contro le sovracorrenti dell'impianto.

In questi casi, l'SPD:

- deve essere munito di un dispositivo di protezione dedicato adatto per funzionare qualunque sia la corrente prodotta dai moduli fotovoltaici.

I dispositivi che assicurano il distacco dell'SPD alla fine della sua durata di vita sono:

- dispositivi di distacco incorporati;
- dispositivi di distacco esterni installati in serie con l'SPD e coordinati con il comportamento di fine vita dell'SPD (fusibili, interruttori);
- o una combinazione dei sistemi precedenti.

Le caratteristiche dei dispositivi di distacco o del fusibile sono indicate dal costruttore dell'SPD.

### 8.3 Sezione dei conduttori di connessione agli SPD sugli impianti fotovoltaici

La sezione minima dei conduttori di collegamento degli SPD verso i conduttori e verso la barra di equipotenzialità deve essere maggiore o uguale a  $6 \text{ mm}^2$  di rame. La sezione del conduttore verso la barra di equipotenzialità deve essere di  $16 \text{ mm}^2$  quando la corrente del fulmine ( $I_{\text{imp}}$ ) che lo attraversa è maggiore o uguale a 50 kA (vedi Annesso B di [4]). La sezione dei conduttori di connessione dall'SPD ai conduttori attivi non deve essere inferiore alla sezione dei conduttori attivi del circuito associato con un massimo di  $16 \text{ mm}^2$ .

#### 8.4 Manutenzione

La manutenzione degli SPD, con l'eventuale sostituzione, deve essere eseguita secondo il piano di manutenzione. Gli SPD devono essere installati in modo che possano essere ispezionati.

Gli SPD possono essere sovraccaricati a causa di correnti di fulmine eccezionalmente elevate o a causa di sollecitazioni ripetitive. Pertanto, gli SPD dovrebbero essere inclusi in un sistema di controllo e monitoraggio complessivo del generatore fotovoltaico.

I sistemi di controllo dovrebbero soddisfare i requisiti d'installazione e di sicurezza per i componenti utilizzati nei generatori fotovoltaici.

## Allegato A (informativo)

### Esempi di applicazione

#### A.1 Impianto FV a tetto

##### A.1.1 Impianto FV da 3 kW su edificio di civile abitazione

Si consideri un impianto FV da 3 kW installato sul tetto di un edificio isolato ( $c_d = 1$ ) di civile abitazione, in area rurale con una densità di fulmini a terra ( $N_g$ ) pari a 4 fulmini all'anno per  $\text{km}^2$ .

L'edificio ha le seguenti caratteristiche:

- Dimensioni 20x30x10(h) m;
- Ridotto rischio d'incendio ( $r_f = 10^{-3}$ ),
- Cemento come pavimento interno ( $r_u = 10^{-2}$ )
- Nessun livello di panico.

Si è inoltre assunto che ci sia sempre la presenza di persone all'interno dell'edificio.

Sul tetto è stata installata 1 stringa con 12 pannelli.

La tensione a circuito aperto in c.c. ( $U_{ocstd}$ ) è minore o uguale a 360 V e quindi, in accordo con la Tabella 4.1, la tensione di tenuta delle apparecchiature dell'impianto FV è stata assunta pari a:

- 4 kV per l'interfaccia sia dell'inverter con il cavo in c.a. sia del modulo FV con il cavo in c.c.;
- 2.5 kV per l'interfaccia in c.c. dell'inverter.

La lunghezza massima del cavo in c.c. è pari a 25 m, mentre il PE è distribuito nello stesso cavo dei conduttori elettrici BT in c.a.. La distanza del quadro di stringa dai moduli FV è minore di 10 m.

La linea elettrica di alimentazione BT in area rurale è area, non schermata, lunga 1000 m e il sistema è monofase TT con  $U_0$  pari a 230 V.

L'inverter è senza trasformatore d'isolamento. Il quadro principale è ubicato ad una distanza inferiore a 10 m dall'inverter.

Il proprietario dell'impianto ha scelto come valore tollerabile della frequenza di danno il valore  $F_T = 0,1$ , cioè un danno ogni 10 anni.

Il valore limite per l'installazione dell'LPS è dato dalla relazione (6.1):

$$A_d \leq \frac{8 \times F_T \times 10^5}{c_d \times N_g} = \frac{8 \times 0,1 \times 10^5}{1 \times 4} = 20000 \text{ m}^2$$

L'area di raccolta  $A_d$  è pari a 6427  $\text{m}^2$  [3] ed è inferiore al valore limite; pertanto non è necessario installare l'LPS.

In accordo con il par. 6.2, occorre installare sulla linea elettrica BT, nel quadro principale, un SPD di Classe di prova I o di tipo 1 con  $I_{imp} \geq 5 \text{ kA}$  e  $I_n \geq 15 \text{ kA}$ .

La lunghezza complessiva dei conduttori di collegamento dall'SPD ai conduttori elettrici BT e verso la barra equipotenziale  $\Delta I$  è pari a 0,5 m.

In questo caso (vedi equazione 6.2):

$$U_p = U_{p/i} - \Delta U = U_{p/i} - \Delta I \times dI/dt = 3.2 - 0.5 \times 1 = 2.7 \text{ kV}$$

Tuttavia è consigliato scegliere il livello di protezione effettivo minore o uguale a 2,5 kV, quindi  $U_p \leq 2 \text{ kV}$ .

Questo SPD protegge il lato in c.a. dell'inverter perché la distanza tra il quadro principale e l'inverter è minore di 10 m.

Scegliendo un SPD provato contro la Tensione Temporanea (TOV), la tensione massima continuativa  $U_c$  deve essere maggiore o uguale a  $1,1 \times U_0 = 1,1 \times 230 = 255 \text{ V}$ .

In definitiva, per proteggere l'inverter, s'installa soltanto un SPD nel quadro principale con le seguenti caratteristiche:

- $I_{imp} \geq 5 \text{ kA}$
- $I_n \geq 15 \text{ kA}$
- $U_p \leq 2 \text{ kV}$
- $U_c \geq 255 \text{ V}$

Poiché il sistema è TT monofase, in accordo con il par. 8.1, gli SPD s'installano secondo la schema di connessione C o 1+1 (vedi Figura 8-2). L'SPD tra Neutro e PE (N-PE) deve essere con intervento ad innesco e deve avere valori di  $I_{imp}$  e  $I_n$  pari al doppio di quelli sopra indicati, cioè:

- $I_{imp} \geq 10 \text{ kA}$
- $I_n \geq 30 \text{ kA}$

La necessità di proteggere le apparecchiature collegate al cavo in c.c. si valuta con la relazione (6.3):

$$l > 90 \times U_w \times \left( \frac{F_t}{N_g} \right)^{0.5} = 90 \times 2.5 \times \left( \frac{0.1}{4} \right)^{0.5} = 35.6 \text{ m}$$

Poiché la lunghezza del cavo in c.c. è pari a 25 m, non occorre proteggere le apparecchiature collegate a tale cavo contro le sovratensioni indotte dai fulmini vicino all'edificio.

Il livello di protezione effettivo di 2,5 kV dell'SPD nel quadro principale protegge anche l'interfaccia in c.c. dell'inverter che ha una tensione di tenuta di 2,5 kV, mentre non protegge l'interfaccia del modulo FV perché la tensione di 2,5 kV può raddoppiare su tale interfaccia. Quindi è necessario installare un SPD di Classe di prova 2, vicino al modulo FV, coordinato con quello nel quadro principale. Il costruttore di SPD indicherà la corrente nominale di tale SPD, ad esempio 5 kA.

Tali SPD sono installati nel quadro di stringa ad una distanza massima di 10 m del modulo FV, pertanto il livello di protezione  $U_p$  deve soddisfare l'equazione 8.2:

$$U_{pf} = U_p = 0.8 \times U_w = 0.8 \times 2.5 = 2 \text{ kV}$$

La tensione massima continuativa è data da:

$$U_c \geq 1.2 \times U_{ocstd} \geq 1.2 \times 360 \geq 432 \text{ V}$$

Tali SPD sono installati secondo la connessione a U indicata in Figura 8-5.

NOTA I risultati dell'approccio semplificato sopra descritto sono ora confrontati con quelli che si ottengono con la valutazione del rischio in accordo con la Norma CEI EN 62305-2 [3].



Il valore calcolato del rischio  $R_1$  è pari a  $2 \times 10^{-5}$  ed è superiore al rischio tollerabile  $R_{T1}$  pari a  $10^{-5}$ . In questo caso è sufficiente installare sulla linea elettrica BT di alimentazione dell'edificio SPD dimensionati con LPL III ( $P_{EB} = 0.05$ ) per ridurre le componenti di rischio  $R_U$  e  $R_V$  ottenendo  $R_1 = 0,37 \times 10^{-5}$ . Quindi per conseguire la protezione, non occorre l'LPS ma è sufficiente installare SPD di Classe di prova I o di tipo 1 con  $I_{imp} = 5$  kA.

Nel calcolo del rischio di perdita economica ( $R_4$ ) si assume che la perdita dovuta alle sovratensioni  $L_o$  sia pari al valore  $10^{-4}$ , suggerito dalla Norma CEI EN 62305-2 per gli edifici di civile abitazione. Il valore del rischio tollerabile  $R_{4T}$  è pari a  $10^{-5}$ , ottenuto dal prodotto della frequenza di danno tollerabile ( $F_T$ ) pari a 0,1, definita dal proprietario dell'impianto FV, e della perdita  $L_o$ .

Il valore calcolato del rischio di perdita economica  $R_4$  dell'impianto FV è pari a  $55 \times 10^{-5}$  ed è maggiore del rischio tollerabile  $R_{4T}$ .

Per ridurre il rischio  $R_4$  a valori inferiori a quello tollerabile occorre installare:

- sulla linea elettrica BT:
  - un sistema coordinato di SPD dimensionato con LPL III per ridurre la componente di rischio  $R_W$  ( $I_{imp} = 5$  kA);
  - un sistema coordinato di SPD dimensionato con LPL Ix1,5 per ridurre la componente di rischio  $R_Z$  ( $I_n = 7,5$  kA);
- sulla linea in c.c.: non è necessario ridurre la componente di rischio RM (danni alle apparecchiature per fulmini vicino all'impianto FV).

Installando tali protezioni, il rischio  $R_4$  diventa pari a  $0,83 \times 10^{-5}$  e quindi è inferiore al rischio tollerabile.

Il calcolo eseguito in conformità alla Norma CEI EN 62305-2 conferma i risultati ottenuti con la procedura semplificata.

#### **A.1.2 Impianto FV da 20 kW su capannone industriale**

Si consideri un impianto FV da 20 kW installato sul tetto di un capannone industriale ( $c_d = 1$ ), in area suburbana con una densità di fulmini a terra ( $N_g$ ) pari a 1,5 fulmini all'anno per  $km^2$ .

Il capannone ha le seguenti caratteristiche:

- Dimensioni: 2 blocchi affiancati a pianta rettangolare 29x6x8-9(h) m;
- Ridotto rischio d'incendio ( $r_f = 10^{-3}$ );
- Cemento come pavimento interno ( $r_u = 10^{-2}$ );
- Nessun livello di panico.

Si è inoltre assunto che ci sia sempre la presenza di persone all'interno del capannone industriale.

Sul tetto sono installate 4 stringhe da 20 pannelli ognuna.

La tensione a vuoto in c.c. ( $U_{ocstd}$ ) è minore o uguale a 612 V e quindi, in accordo con la Tabella 4.1, la tensione di tenuta di tutte le apparecchiature è stata assunta pari a:

- 4 kV per l'interfaccia sia in c.a. che in c.c. dell'inverter;
- 6 kV per l'interfaccia del modulo FV con il cavo in c.c..

La lunghezza massima del cavo in c.c. è pari a 50 m, mentre il PE è distribuito nello stesso cavo dei conduttori elettrici BT in c.a.. Il quadro elettrico principale è ad una distanza minore di 10 m dall'inverter.

La linea elettrica di alimentazione BT in area suburbana ( $c_e = 0,5$ ) è interrata ( $c_i = 0,5$ ), non schermata, lunga 400 m e il sistema è trifase TT con  $U_0$  pari a 230 V.

L'inverter è senza trasformatore d'isolamento.

Il proprietario dell'impianto ha scelto come valore tollerabile della frequenza di danno il valore  $F_T = 0,05$ , cioè un danno ogni 20 anni.

Il valore limite per l'installazione dell'LPS è dato dalla relazione (6.1):

$$A_d \leq \frac{8 \times F_T \times 10^5}{c_d \times N_g} = \frac{8 \times 0,05 \times 10^5}{1 \times 1,5} = 26667 \text{ m}^2$$

L'area di raccolta  $A_d$  è pari a  $4634 \text{ m}^2$  [3], è inferiore al valore limite pertanto non è necessario installare l'LPS.

In accordo con il par. 6.2, occorre installare sulla linea elettrica BT, nel quadro principale, un SPD di Classe di prova I o di tipo 1 con  $I_{imp}$  pari a 5 kA e con  $I_n = 15 \text{ kA}$ .

La lunghezza complessiva dei conduttori di collegamento dall'SPD ai conduttori elettrici BT e verso la barra equipotenziale  $\Delta l$  è pari a 0,5 m.

In questo caso (vedi equazione 6.2):

$$U_p = U_{p/i} - \Delta U = U_{p/i} - \Delta l \times di/dt = 3,2 - 0,5 \times 1 = 2,7 \text{ kV}$$

Tuttavia è consigliato scegliere il livello di protezione effettivo minore o uguale a 2,5 kV, quindi  $U_p \leq 2 \text{ kV}$ .

Questo SPD protegge il lato in c.a. dell'inverter perché la distanza tra il quadro principale e l'inverter è minore di 10 m.

Scegliendo un SPD provato contro la Tensione Temporanea (TOV), la tensione massima continuativa  $U_c$  deve essere maggiore o uguale a 255 V.

In definitiva, per proteggere l'inverter, si installa soltanto un SPD nel quadro principale con le seguenti caratteristiche:

- $I_{imp} \geq 5 \text{ kA}$
- $I_n \geq 15 \text{ kA}$
- $U_p \leq 2 \text{ kV}$
- $U_c \geq 255 \text{ V}$

Poiché il sistema è TT trifase, in accordo con il par. 8.1, gli SPD s'installano secondo la schema di connessione C o 3+1 (vedi Figura 8-3). L'SPD tra Neutro e PE (N-PE) deve essere con intervento ad innesco e deve avere valori di  $I_{imp}$  e  $I_n$  pari a 4 volte quelli sopra indicati, cioè:

- $I_{imp} \geq 20 \text{ kA}$
- $I_n \geq 60 \text{ kA}$

La necessità di proteggere le apparecchiature collegate al cavo in c.c. si valuta con la relazione (6.3):

$$l > 90 \times U_w \times \left( \frac{F_T}{N_g} \right)^{0,5} = 90 \times 4 \times \left( \frac{0,05}{1,5} \right)^{0,5} = 65,7 \text{ m}$$

Poiché la lunghezza massima del cavo in c.c. è pari a 50 m, non occorre proteggere le apparecchiature collegate a tale cavo contro le sovratensioni indotte dai fulmini vicino all'edificio.

Il livello di protezione effettivo di 2,5 kV dell'SPD nel quadro principale protegge sia l'interfaccia in c.c. dell'inverter che ha una tensione di tenuta di 4 kV, sia l'interfaccia del modulo FV perché il livello di protezione effettivo pari 2,5 kV anche raddoppiando su tale interfaccia risulta inferiore alla tensione di tenuta pari a 6 kV. Quindi non è necessario installare SPD sul circuito in c.c..

NOTA I risultati dell'approccio semplificato sopra descritto sono ora confrontati con quelli che si ottengono con la valutazione del rischio secondo la Norma CEI EN 62305-2 [3].

Il valore calcolato del rischio  $R_1$  è pari a  $0.16 \times 10^{-5}$  ed è inferiore al rischio tollerabile  $R_{T1}$  pari a  $10^{-5}$ .

Nel calcolo del rischio di perdita economica ( $R_4$ ) si assume che la perdita dovuta alle sovratensioni  $L_o$  sia pari al valore di  $10^{-2}$ , suggerito dalla Norma CEI EN 62305-2 per le strutture industriali. Il valore del rischio tollerabile  $R_{4T}$  è pari a  $5 \times 10^{-4}$ , ottenuto dal prodotto della frequenza di danno tollerabile ( $F_T$ ) pari a 0,05, definita dal proprietario dell'impianto FV, e della perdita  $L_o$ .

Il valore calcolato del rischio di perdita economica  $R_4$  dell'impianto FV è pari a  $23 \times 10^{-4}$  ed è maggiore del rischio tollerabile  $R_{4T}$ .

Per ridurre il rischio  $R_4$  a valori inferiori a quello tollerabile occorre installare:

- sulla linea elettrica BT:
  - un sistema coordinato di SPD dimensionato con LPL III per ridurre la componente di rischio  $R_W$  ( $I_{imp} = 5$  kA);
  - un sistema coordinato di SPD dimensionato con LPL I per ridurre la componente di rischio  $R_Z$  ( $I_n = 5$  kA);
- sulla linea in c.c.: non è necessario ridurre la componente di rischio RM (danni alle apparecchiature per fulmini vicino all'impianto FV).

Installando tali protezioni, il rischio  $R_4$  diventa pari a  $4.6 \times 10^{-4}$  e quindi è inferiore al rischio tollerabile.

Il calcolo eseguito in conformità alla Norma CEI EN 62305-2 conferma i risultati ottenuti con la procedura semplificata.

L'eventuale installazione di SPD sul circuito in c.c., contro le sovratensioni indotte dai fulmini a terra vicino alla struttura, ridurrebbe il rischio a circa  $10^{-4}$ , che equivale ad una frequenza di danno di circa 1 danno ogni 100 anni.

## **A.2 Impianto FV a terra**

Si consideri un impianto FV a terra da 1,9 MW, isolato, installato in area rurale con una densità di fulmini a terra ( $N_g$ ) pari a 2.5 fulmini all'anno per  $km^2$  e con le seguenti dimensioni: 200x200x3(h) m.

Tale area include tutte le schiere FV e l'edificio operativo.

L'impianto FV è costituito da 9500 moduli distribuiti in 500 stringhe ognuna formata da 19 moduli.

L'impianto FV ha un rischio d'incendio ridotto ( $r_f = 10^{-3}$ ), terreno come pavimento interno ( $r_u = 10^{-2}$ ), 1000 ore all'anno di presenza di persone e nessun livello di panico.

La tensione a vuoto in c.c. ( $U_{ocstd}$ ) è pari  $\leq 616$  V e quindi, in accordo con la Tabella 4.1, la tensione di tenuta di tutte le apparecchiature è stata assunta pari a:

- 4 kV per l'interfaccia in c.a. dell'inverter;
- 4 kV per l'interfaccia in c.c. dell'inverter
- 6 kV per l'interfaccia del modulo FV con il cavo in c.c..

La massima lunghezza del cavo in c.c. è pari a 200 m: distanza tra inverter e apparecchiatura da proteggere nel pannello FV.

La linea elettrica di alimentazione è in area rurale, è composta da due tratti:

- Primo tratto: linea MT aerea, non schermata e lunga 5000 m;
- Secondo tratto: 500 m in cavo MT interrato schermato.

L'impianto elettrico BT è distribuito secondo lo schema TN-S, con  $U_0$  pari a 230 V, e il PE è distribuito nello stesso cavo dei conduttori elettrici BT.

L'impianto FV ha 4 inverter senza trasformatore d'isolamento.

La Figura A.1 riporta lo schema elettrico dell'impianto.

Il proprietario dell'impianto ha scelto come valore tollerabile della frequenza di danno il valore  $F_T = 0,05$ , cioè un danno ogni 20 anni.

Il valore limite per l'installazione dell'LPS è dato dalla relazione (6.1):

$$A_d \leq \frac{8 \times F_T \times 10^5}{c_d \times N_g} = \frac{8 \times 0.05 \times 10^5}{1 \times 2.5} = 16000 \text{ m}^2$$

L'area di raccolta  $A_d$ , pari a 47454 m<sup>2</sup>, è maggiore del valore limite, pertanto è necessario installare l'LPS (l'LPS risulterebbe necessario anche se  $F_T = 0.1$ ).

In accordo con il par.7.3, occorre installare:

- un LPS di Classe III-IV;
- SPD di Classe di prova I o di tipo 1 con  $I_{imp} \geq 10 \text{ kA}$  e  $I_n \geq 15 \text{ kA}$  sulla linea elettrica BT, nel quadro principale (par. 7.3.2);
- SPD a limitazione di Classe di prova I o di tipo 1 con  $I_{imp}$  maggiore o uguale a 5 kA e  $I_n$  maggiore o uguale a 15 kA, in accordo con la Tabella 7-1 sulle interfacce delle apparecchiature collegata al cavo in c.c..

Il livello di protezione effettivo ( $U_{p/ft}$ ) dell'SPD nel quadro principale deve essere minore di 4 kV.

La lunghezza complessiva dei conduttori di collegamento dall'SPD ai conduttori elettrici BT e verso la barra equipotenziale  $\Delta l$  è pari a 0,5 m, quindi:

$$U_p \leq U_{p/ft} - \Delta U = 0.8 \times U_{p/ft} - \Delta l \times di/dt = 3.2 - 0.5 \times 1 = 2.7 \text{ kV}$$

Il quadro principale è a una distanza minore di 10 m dall'inverter, pertanto l'SPD, nel quadro principale, protegge l'inverter.

Scegliendo un SPD provato contro la Tensione Temporanea (TOV), la tensione massima continuativa  $U_c$  deve essere maggiore o uguale a 255 V.

In definitiva per proteggere l'inverter si installa, nel quadro principale, SPD di Classe di prova I o di tipo 1 con le seguenti caratteristiche:

- $I_{imp} \geq 10 \text{ kA}$
- $I_n \geq 15 \text{ kA}$
- $U_c \geq 255 \text{ V}$
- $U_p \leq 2.7 \text{ kV}$

Poiché il sistema è TN trifase, in accordo con il par. 8.1, gli SPD s'installano secondo la schema di connessione A (vedi Figura 8-3).

Il livello di protezione effettivo ( $U_{pf}$ ) degli SPD sui conduttori in c.c. vicino all'inverter deve essere inferiore a  $0,8 \times U_w = 0,8 \times 4 = 3,2$  kV (equazione 6.2).

Limitando a 0.5 m la lunghezza complessiva dei collegamenti dall'SPD ai conduttori di energia e alla barra di equipotenzializzazione, il livello di protezione  $U_p$  degli SPD deve essere inferiore a 2.7 kV.

Il livello di protezione degli SPD installati nel quadro di stringa devono soddisfare l'equazione 7.1:

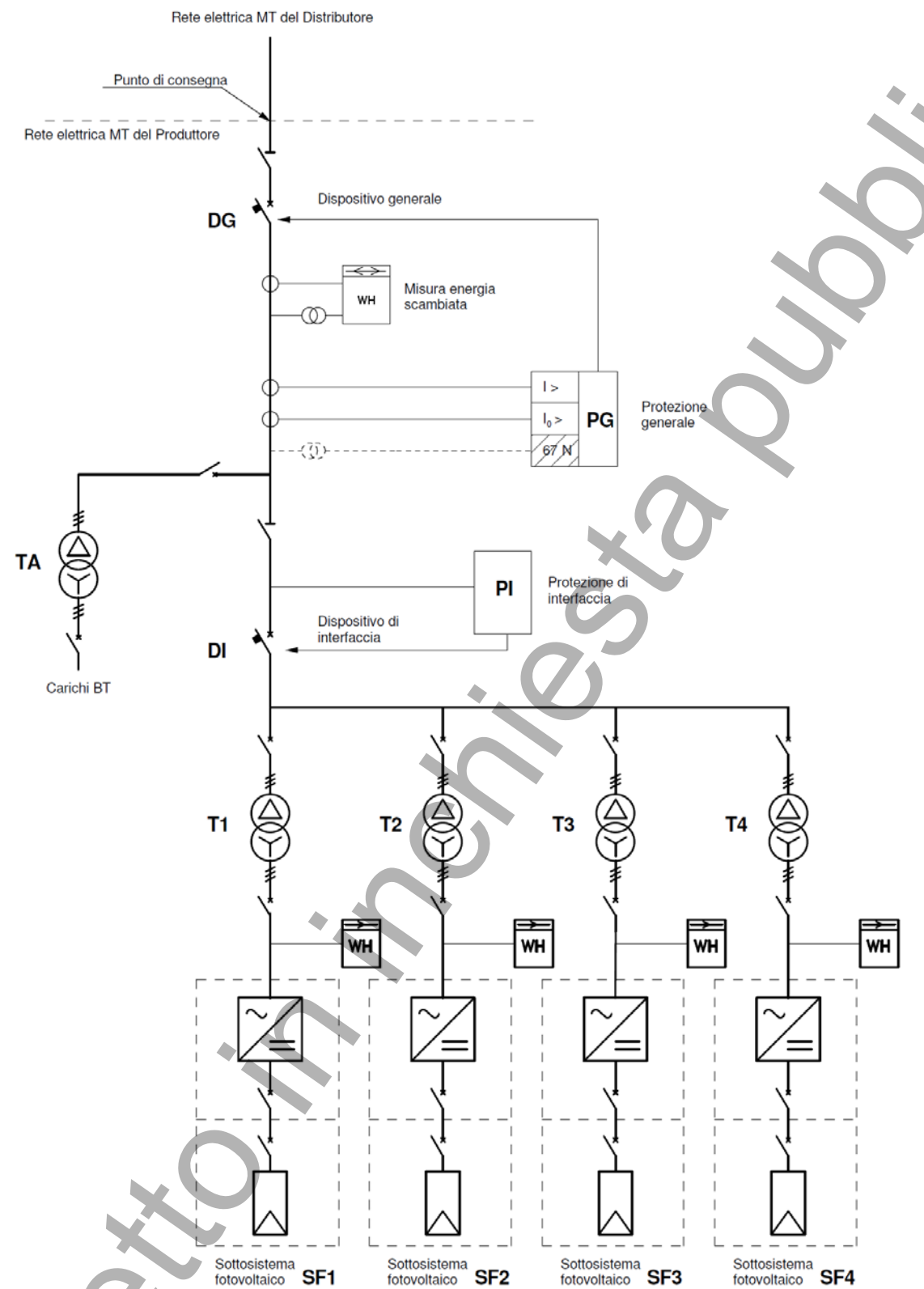
$$U_{p/f} = (U_w - U_i)/2 = (6 \text{ kV} - U_i)/2$$

La tensione indotta  $U_i$  è molto elevata e deve essere resa trascurabile mediante l'impiego di un cavo schermato tra il quadro di stringa e il modulo FV oppure posando il cavo non schermato all'interno di una canaletta metallica; in questo caso, il livello di protezione effettivo ( $U_{pf}$ ) degli SPD sul cavo di energia in c.c., installati nel quadro di stringa, deve essere inferiore a 3 kV (equazione 7.1); limitando a 0.5 m la lunghezza complessiva dei collegamenti dall'SPD ai conduttori di energia e alla barra di equipotenzializzazione, il livello di protezione  $U_p$  degli SPD deve essere inferiore a 2.5 kV.

La massima tensione continuativa è data da:

$$U_c \geq 1,2 \times U_{ocstd} \geq 1,2 \times 616 \geq 739 \text{ V}$$

Tali SPD sono installati secondo la connessione a Y indicata in Figura 8-5.



**Figura A.1 – Schema elettrico dell'impianto**

NOTA I risultati dell'approccio semplificato sono ora confrontati con quelli ottenuti mediante la valutazione del rischio in accordo con la Norma CEI EN 62305-2 [3].

Il valore calcolato del rischio  $R_1$  è pari a  $2.75 \times 10^{-6}$  ed è inferiore al rischio tollerabile  $R_{T1}$  pari a  $10^{-5}$ .

Nel calcolo del rischio di perdita economica ( $R_4$ ) si assume che la perdita dovuta alle sovratensioni  $L_o$  sia pari al valore di  $10^{-2}$ , suggerito dalla Norma CEI EN 62305-2 per le strutture di distribuzione elettrica. Il valore del rischio tollerabile  $R_{4T}$  è pari a  $0.5 \times 10^{-3}$ , ottenuto dal prodotto della frequenza di danno tollerabile ( $F_T$ ) pari a 0.05, definita dal proprietario dell'impianto FV, e della perdita  $L_o$ .

Il valore calcolato del rischio  $R_4$  è pari a  $21 \times 10^{-3}$  ed è maggiore del rischio tollerabile  $R_{4T}$ , definito dal proprietario dell'impianto FV.

Per ridurre il rischio  $R_4$  a valori inferiori a quello tollerabile occorre installare:

- Sull'impianto FV: un LPS di Classe IV;
- sulla linea elettrica BT:
  - un sistema coordinato di SPD dimensionato con LPL III per ridurre la componente di rischio  $R_c$  ( $I_{imp} = 10$  kA);
  - un sistema coordinato di SPD dimensionato con LPL III per ridurre la componente di rischio  $R_W$  ( $I_{imp} = 5$  kA);
  - un sistema coordinato di SPD dimensionato con LPL Ix3 per ridurre la componente di rischio  $R_Z$  ( $I_n = 15$  kA);
- sulla linea in c.c.: un sistema coordinato di SPD dimensionato con LPL III per ridurre la componente di rischio  $R_c$  (sorgente di danno S1) ( $I_{imp} = 5$  kA,  $I_n = 15$  kA).

Con queste misure di protezione, il rischio  $R_4$  è  $0.32 \times 10^{-3}$ , inferiore al rischio tollerabile  $R_{4T} = 0.5 \times 10^{-3}$ .

La valutazione del rischio conferma le misure di protezione scelte seguendo la procedura semplificata.

La presente Norma è stata compilata dal Comitato Elettrotecnico Italiano e beneficia del riconoscimento di cui alla legge 1° Marzo 1968, n. 186.

Editore CEI, Comitato Elettrotecnico Italiano, Milano – Stampa in proprio  
Autorizzazione del Tribunale di Milano N. 4093 del 24 Luglio 1956

*Responsabile:* Ing. R. Bacci

Comitato Tecnico Elaboratore  
**CT 81 – Protezione contro i fulmini**

Altre norme di possibile interesse sull'argomento

