SYMPOSIUM DAY

Bologna, 25 Maggio 2023

Le misure di prevenzione degli inneschi sugli Impianti fotovoltaici

- Ing. Calogero TURTURICI
  Comandante VF Bologna – Presidente STC 64C e 31J
  (calogero.turturici@vigilfuoco.it

Inquadramento

Domanda 1:

Come si progetta la sicurezza antincendi di un edificio secondo il Codice di Prevenzione Incendi?

Risposta 1:

Si progetta nel rispetto obbiettivi primari G.2.5, ovvero
a. sicurezza della vita umana
b. incolumità delle persone
c. tutela dei beni e dell'ambiente

SYMPOSIUM DAY

Inquadramento

Domanda 2:

in che modo si possono conseguire obbiettivi primari G.2.5?

Risposta 2:

progettando l'attività in modo tale da:

- a. minimizzare le cause d’incendio o d’esplosione — Prevenzione
- b. garantire la stabilità delle strutture portanti per un periodo di tempo determinato
- c. limitare la produzione e la propagazione di un incendio all’interno dell’attività
- d. limitare la propagazione di un incendio ad attività contigue
- e. limitare gli effetti di un’esplosione

SYMPOSIUM DAY

Inquadramento

Domanda 2:

in che modo si possono conseguire obbiettivi primari G.2.5?

Risposta 2:

progettando l'attività in modo tale da:

- f. garantire la possibilità che gli occupanti lascino l'attività
- g. garantire la possibilità per le squadre di soccorso di operare in sicurezza
- h. tutelare gli edifici pregevoli per arte o storia — Prevenzione
- i. garantire la continuità d'esercizio per le opere strategiche — Prevenzione
- j. prevenire il danno ambientale e limitare la compromissione dell'ambiente

SYMPOSIUM DAY

Inquadramento

Domanda 3:

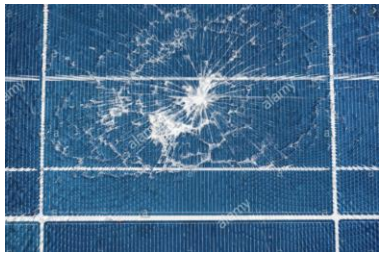
Quali sono gli strumenti per prevenire il rischio di incendio sugli impianti fotovoltaici?

Risposta 3: Un bel po'…

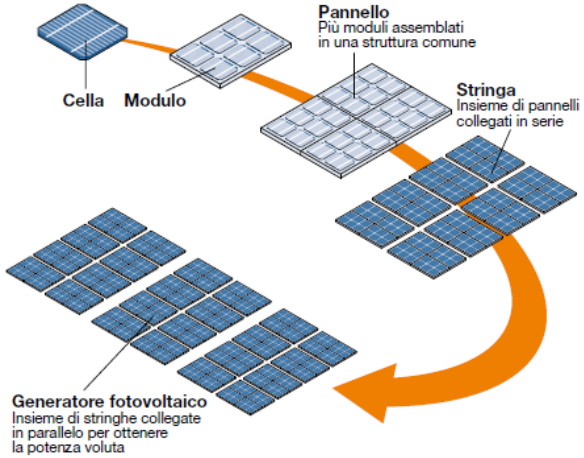
- **CEI 64-8 - Sezione 712**: “Sistemi fotovoltaici (PV)”
- **Guida CEI 82-25**: Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti
- **CEI 81-28**: Guida alla protezione contro i fulmini degli impianti fotovoltaici
- **IEC TS 62446-3**: Photovoltaic modules and plants - Outdoor infrared thermography
- **HD 60364-7-712**: Low-voltage electrical installations - Part 7-712: Requirements for special installations or locations - Photovoltaic (PV) systems (Sez. 712 CEI 64-8 in fase di aggiornamento)
- **IEC 63112:** Photovoltaic (PV) arrays – Earth fault protection equipment
- **IEC 62548:** Photovoltaic arrays – Design requirements
- **CEI EN 62446-2:** manutenzione dei sistemi fotovoltaici

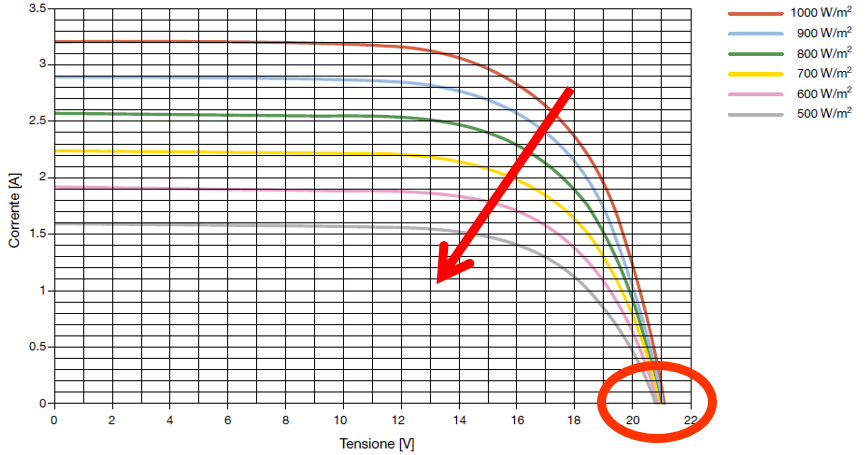
Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Danneggiamento/ombreggiamento delle celle di un modulo



Produzione delle celle in funzione del valore di irraggiamento



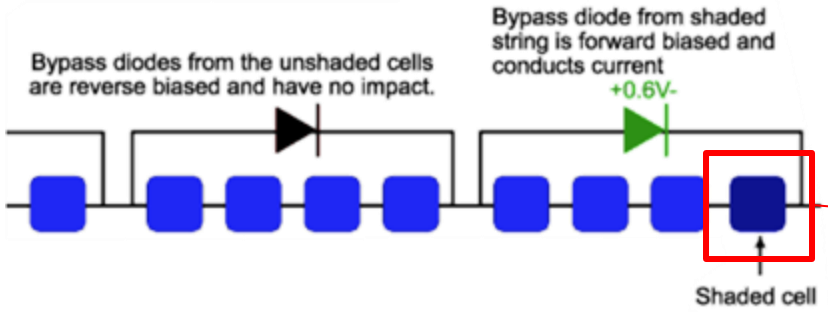


SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Danneggiamento/ombreggiamento delle celle di un modulo

Per evitare il rischio di **hotspot** (e conseguenti incendi) i moduli sono dotati di **diodi di bypass** delle celle in ombra/danneggiate



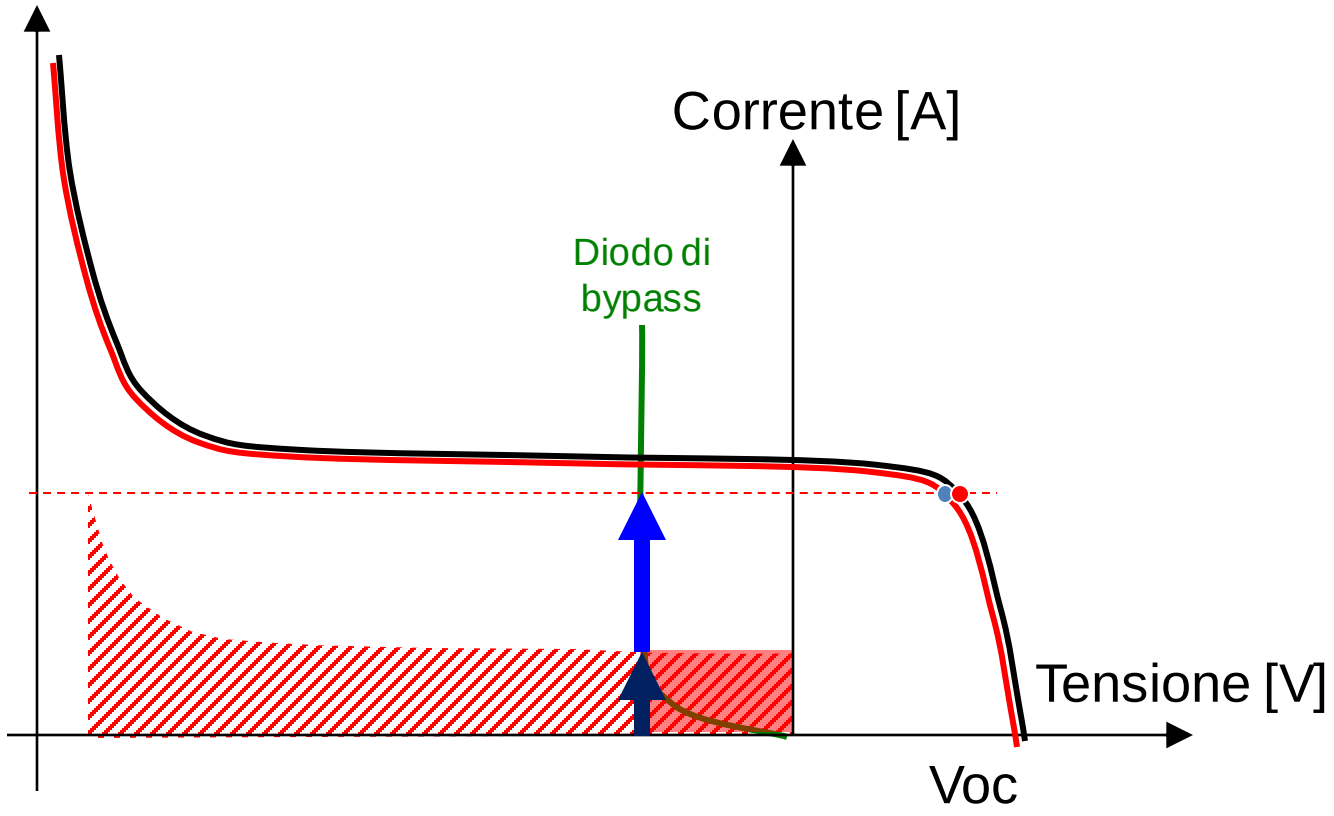
andiamo a vedere cosa succede in questa cella …

SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Danneggiamento/ombreggiamento delle celle di un modulo

Diodi di by-pass: come funzionano ?



SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

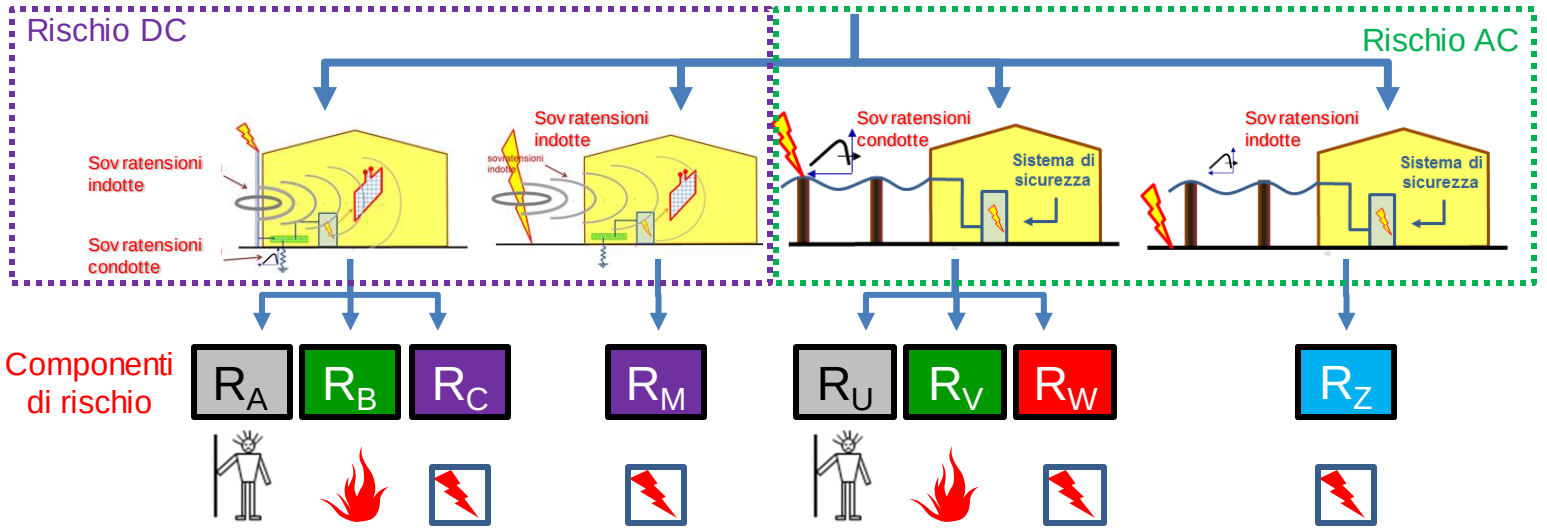
Corrente inversa sulle stringhe

- In caso di bassa produzione di una stringa rispetto alle altre collegate in parallelo, si può verificare una circolazione di una corrente inversa che può danneggiare i moduli
- L'attuale versione della Guida 82-25 ammette come dispositivi di protezione sia i diodi di blocco connessi in serie alle stringhe che i dispositivi di sovracorrente
- La nuova versione della Sezione 712, in fase di predisposizione e basata sul documento **HD 60364-7-712, non riconosce più come dispositivi di protezione i diodi di blocco** !
- L'unica soluzione ammessa rimarrà l'impiego dei **dispositivi di sovracorrente dimensionati in modo tale da limitare il valore della corrente inversa sulla stringa**

SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Sovratensioni di origine atmosferica (EN 62305)



Occupiamoci del rischio lato DC …

R_B, R_V: danno alla struttura per sovratensioni condotte (incendi/esplosioni)
R_C, R_M: guasto impianti interni per **sovratensioni indotte**
R_W: guasti impianti interni causati da **sovratensioni condotte** sulla linea
R_Z: guasto di impianti interni causato da **sovratensioni indotte** sulla linea

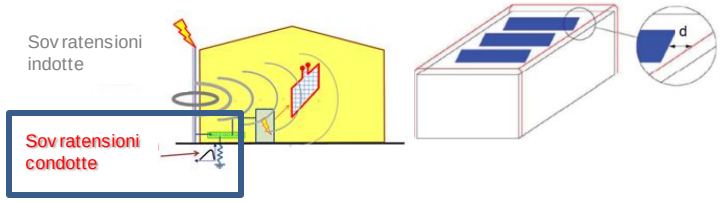
SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Sovratensioni di origine atmosferica (EN 62305)

Sovratensioni condotte *(fulminazione diretta della struttura)*

FABBRICATO DOTATO DI LPS – Impianto PV interno Zona protezione



Stato LPS

- Se d > ds ex 6.3 CEI EN 62305-3 (LPS Isolato): nessun provvedimento contro le scariche pericolose tra parti metalliche esterne del generatore e l'impianto LPS
- Se d < ds (LPS NON Isolato): scariche pericolose tra parti metalliche esterne del generatore e l'impianto LPS durante il passaggio della corrente di fulmine: vedere 6.3.3.2 CEI 81-28 ...

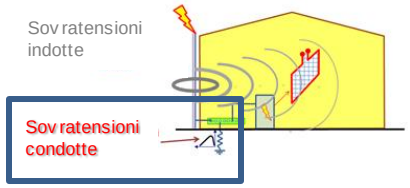
SYMPOSIUM DAY

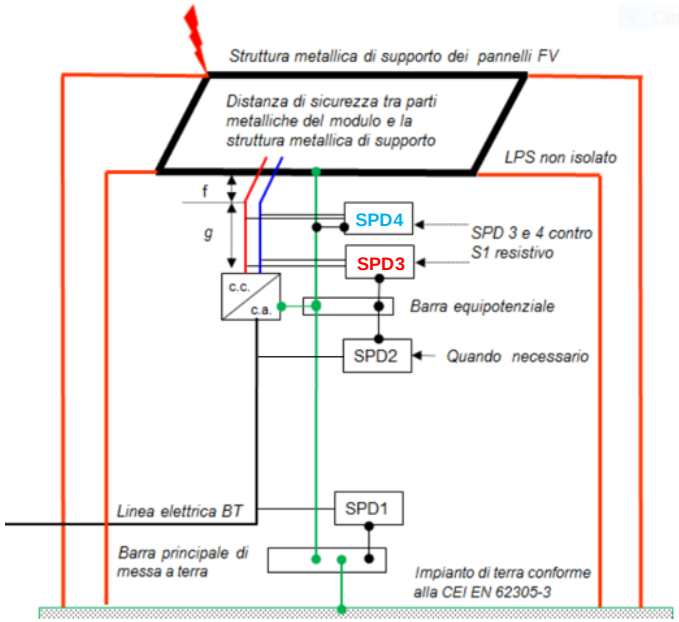
Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Sovratensioni di origine atmosferica (EN 62305)

Sovratensioni condotte *(fulminazione diretta della struttura)*

FABBRICATO DOTATO DI LPS – Impianto PV interno Zona protezione





LPS NON isolato (d < ds ex 6.3 CEI EN 62305-3):
(Rischio: scariche pericolose)
Soluzioni 6.3.3.2 CEI 81-28:

- Collegare ogni spigolo della struttura di supporto del generatore a una calata dell'impianto LPS
- Installare SPD3 e SPD4 di Classe 1 oppure
- Utilizzare un cavo PV/inverter schermato *(purché V su schermo dovuta alla frazione dalla corrente di fulmine che circola su di esso risulti ≤ alla tensione di tenuta delle apparecchiature collegate)*

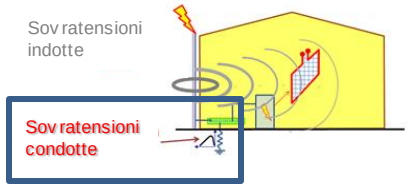
SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Sovratensioni di origine atmosferica (EN 62305)

Sovratensioni condotte *(fulminazione diretta della struttura)*

FABBRICATO DOTATO DI LPS – Impianto PV interno Zona protezione



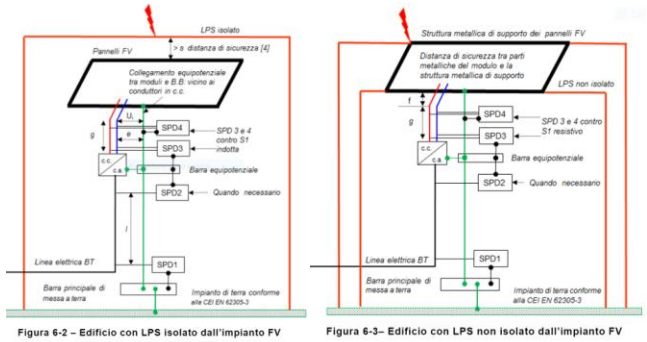


Figura 6-2 – Edificio con LPS isolato dall'impianto FV

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

In ogni caso (LPS isolato e NON) …

CEI 81-28 richiede collegamento equipotenziale tra struttura supporto generatore e barra equipotenziale dell'inverter, posato il più vicino possibile al cavo in c.c. *(per evitare accoppiamenti induttivi)*

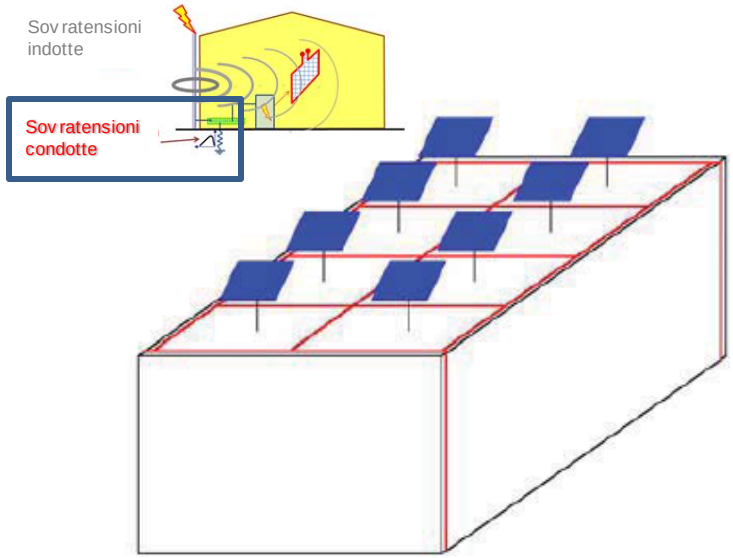
SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Sovratensioni di origine atmosferica (EN 62305)

Sovratensioni condotte *(fulminazione diretta della struttura)*

FABBRICATO DOTATO DI LPS – Impianto PV esterno a Zona protezione



Se l'impianto fotovoltaico altera la sagoma dell'edificio, necessaria nuova valutazione

CEI 81-28

La protezione contro la fulminazione diretta dell'impianto FV non è necessaria se (formula 6.1)

$$A_d \leq \frac{8 \times F_T \times 10^5}{c_d \times N_g} \quad [m^2]$$

(Ng^{-7}: numero di fulmini all'anno per km2; F_T: frequenza danno tollerabile, Cd: fattore ubicazione)

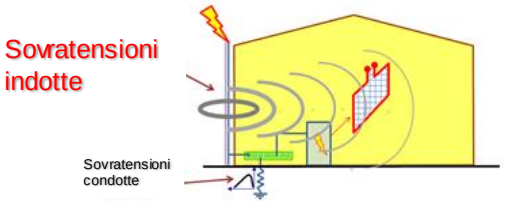
SYMPOSIUM DAY

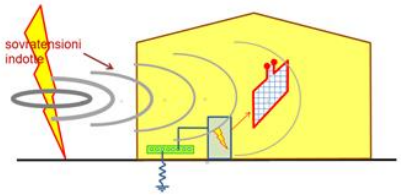
Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Sovratensioni di origine atmosferica (EN 62305)

Sovratensioni indotte dal campo elettromagnetico irradiato

(fulminazione diretta e indiretta della struttura)





Possibilità di fem indotte sulle spire formate da ogni conduttore di energia e il conduttore equipotenziale superiori ai valori di tenuta all'impulso dei moduli e del'inverter…

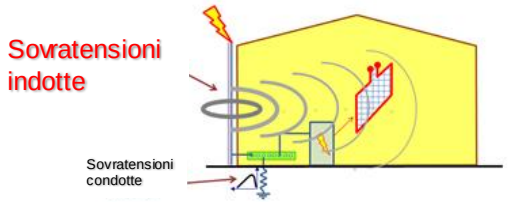
- Provvedimenti 6.3.3.1 CEI 81-28 (Ui indotte da S1)
- Provvedimenti 9.2.3 CEI 82-25 (Ui indotte da S1 e S2)

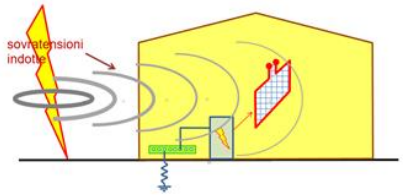
Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

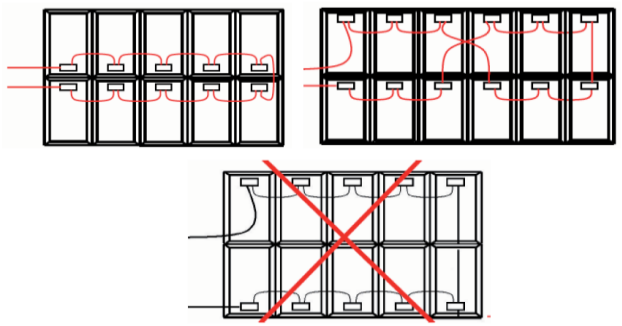
Sovratensioni di origine atmosferica (EN 62305)

Sovratensioni indotte dal campo elettromagnetico irradiato

(fulminazione diretta e indiretta della struttura)







9.2.3 Guida 82-25

- Riduzione superficie spira di accoppiamento
- Suggerita anche protezione moduli/inverter con SPD Tipo II *(decisione secondo 81-28…)*

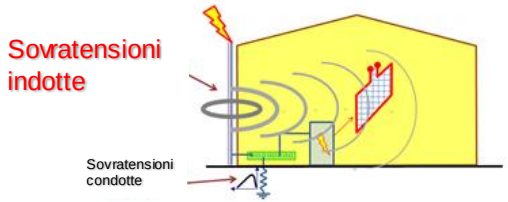
SYMPOSIUM DAY

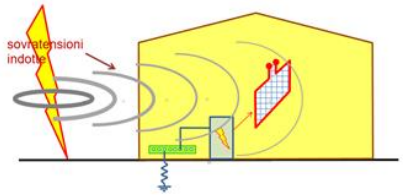
Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

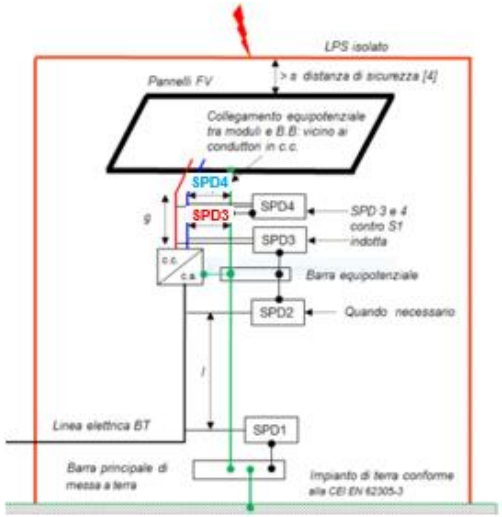
Sovratensioni di origine atmosferica (EN 62305)

Sovratensioni indotte dal campo elettromagnetico irradiato

(fulminazione diretta e indiretta della struttura)







6.3.3.1 CEI 81-28 (LPS isolato):

- Calcolare fem indotta Ui (All. A & E 62305-4)
- **Se Uw (apparecchiature) > Ui** nessun provvedimento
- **Se Uw < Ui** (o in assenza di calcolo):
  SPD tipo 2 su inverter (SPD3) e/o su quadro di parallelo QP (SPD4)
  Se QP è distante da inverter/generatore, rischio ΔV indotta su cavi di collegamento …
  2 soluzioni: cavi di collegamento schermati o in canale metallico
  (in questo modo riduco superficie spire)

SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Sovratensioni di origine atmosferica o dovute a manovra

ATTENZIONE:
nei casi residuali
(NO 62305 e NO **443.4 CEI 64-8**) …
valutazione rischi sovratensione su impianto fotovoltaico
secondo HD 60364-7-712 …
(protezione in funzione lunghezza cavo quadri di parallelo-inverter)

SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Sovratensioni di origine atmosferica o dovute a manovra

(Casi residui: NO protezione secondo 443.4 e EN 62305)

Valutazione dei rischi (712.443.102 HD 60364-7-712)

Obbligo SPD lato c.c. se $L \geq L_{crit}$

- L: lunghezza del percorso (m) tra inverter e quadri di parallelo
- L_{crit}: come da seguente tabella

Tipo di impianto	Ambienti residenziali	Impianto FV in campo libero	Ambienti non residenziali
L_{crit}	115 / N_g	200 / N_g	450 / N_g
N_g: densità fulminazione (fulmini/km²/anno) nell'area della linea di alimentazione e della struttura			

SYMPOSIUM DAY

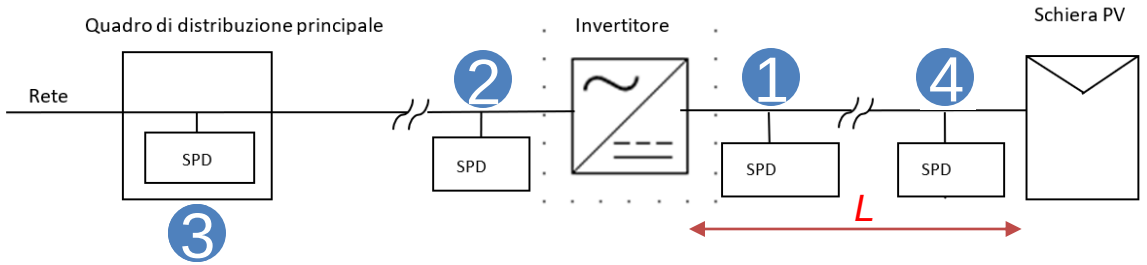
Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Sovratensioni di origine atmosferica o dovute a manovra

(Casi residui: NO protezione secondo 443.4 e EN 62305)

Valutazione dei rischi (712.443.102 HD 60364-7-712)

Obbligo SPD lato c.c. se $L \geq L_{crit}$



712.534.102.1 - Scelta della classe degli SPD (EN 61634-11)

Situazione	SPD (3)	SPD (2)	SPD (1) e (4)
Edificio senza LPS	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2
Edificio con LPS in cui viene rispettata la distanza di separazione s (6.3 EN 62305-3)	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 2*
Edificio con LPS esterno in cui non viene rispettata la distanza di separazione s	Tipo 1	Tipo 1	Tipo 1**

* *CEI 81-28 prevede SPD Tipo 2 se Uw < Ui*

** *come CEI 81-28*

SYMPOSIUM DAY

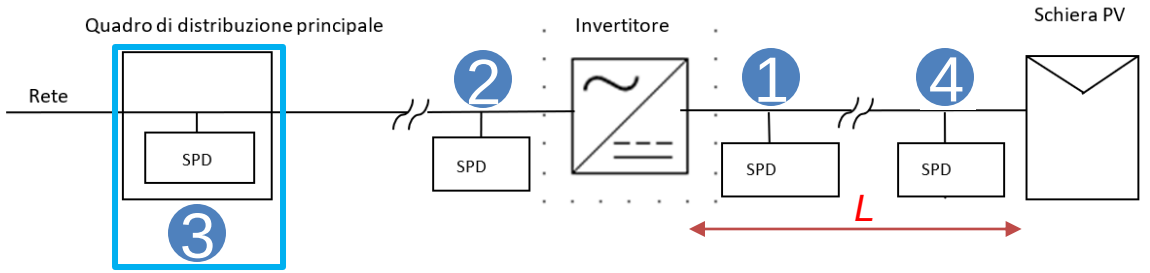
Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Sovratensioni di origine atmosferica o dovute a manovra

(Casi residui: NO protezione secondo 443.4 e EN 62305)

Valutazione dei rischi (712.443.102 HD 60364-7-712)

Obbligo SPD lato c.c. se $L \geq L_{crit}$



712.534.102.1 - Scelta della classe degli SPD (EN 61634-11)

Situazione	SPD (3)	SPD (2)	SPD (1) e (4)
Edificio senza LPS	**Tipo 2** EN 61643-11	**Tipo 2** EN 61643-11	**Tipo 2** EN 61643-11

Attenzione a tipo SPD3 in caso di edifici installati in arena non urbana …

SYMPOSIUM DAY

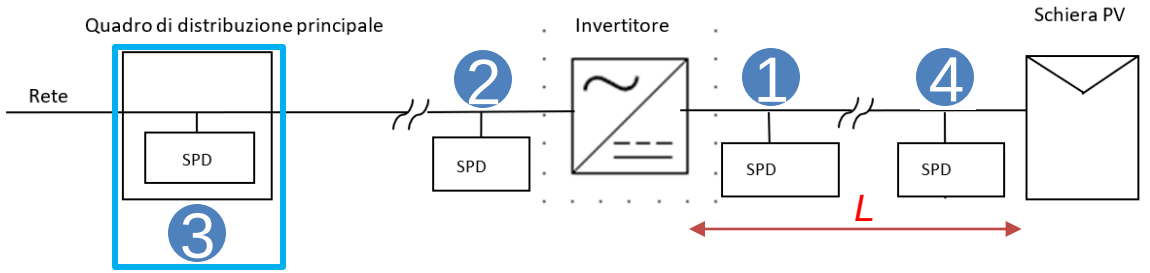
Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Sovratensioni di origine atmosferica o dovute a manovra

(Casi residui: NO protezione secondo 443.4 e EN 62305)

Valutazione dei rischi (712.443.102 HD 60364-7-712)

Obbligo SPD lato c.c. se $L \geq L_{crit}$



CEI 81-28 - 6.2.1 Protezione linea in c.a. per i fabbricati privi di LPS

Se gli edifici non sono ubicati in area urbana, la linea elettrica BT in c.a. deve essere protetta mediante **SPD Tipo 1** installato nel quadro principale all'ingresso della linea nell'edificio

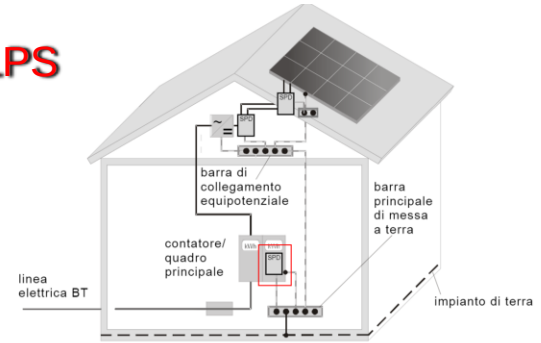


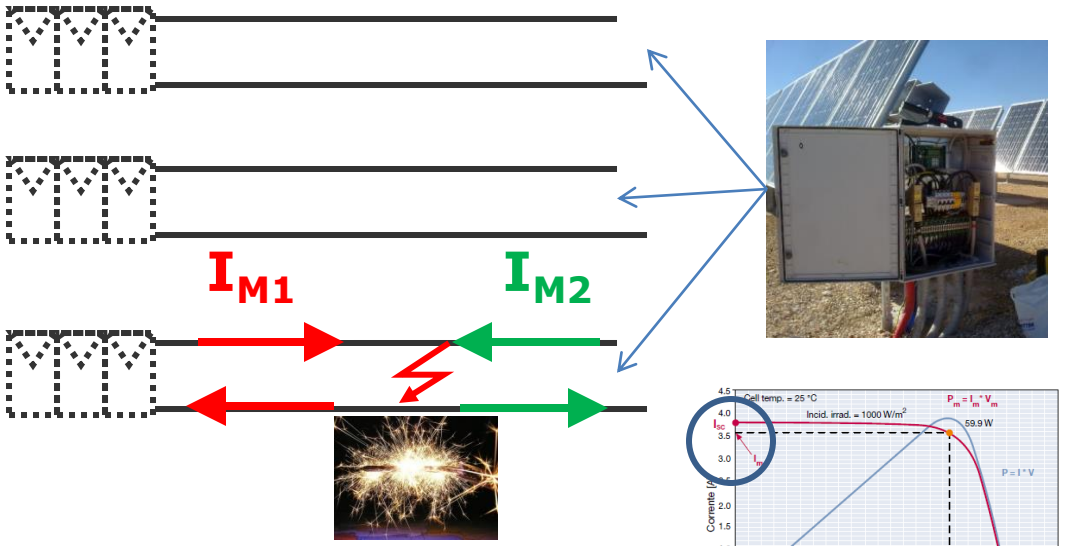
Figura 6-1 – Edificio e impianto FV senza LPS esterno

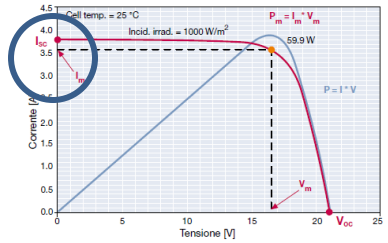
SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Guasti di isolamento

cavi in c.c. scelti ed installati in modo tale da rendere minimo il rischio di guasti a terra/cortocircuiti (art. 712.522.8.1) - CORTOCIRCUITI





IM1= ISC ≈ 1,25 In stringa:
NON SEZIONABILE CON DISPOSITIVI PROTEZIONE SOVRACC.
NECESSARIO TRANCIARE CAVI PER SPEGNERE L'ARCO ELETTRICO

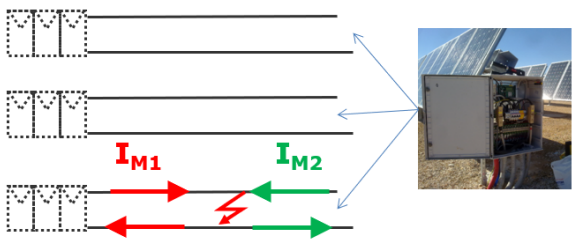
IM2= max (n-1) ISC
(dipende da posizione c.c.):
SEZIONABILE CON DISPOSITIVI DI **PROTEZIONE SOVRACORRENTI …**

SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Guasti di isolamento

cavi in c.c. scelti ed installati in modo tale da rendere minimo il rischio di guasti a terra/cortocircuiti (art. 712.522.8.1) - CORTOCIRCUITI



Protezioni dalle sovracorrenti per Ns stringhe in parallelo

(secondo 712.433 HD 60364-7-712)

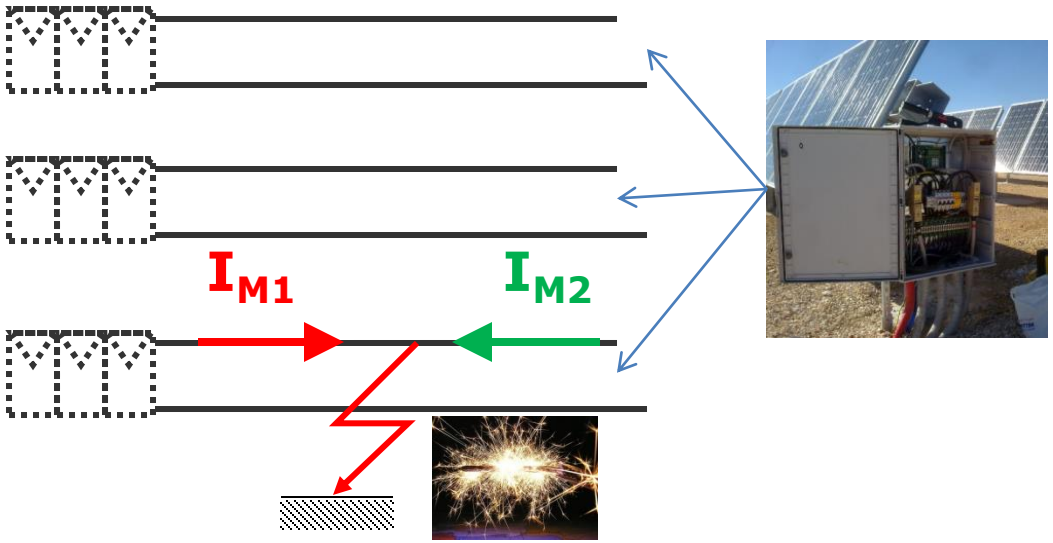
- **Attenzione 1:** devono essere protette entrambe le polarità
- **Attenzione 2_** I **diodi di blocco, ove installati, non devono essere considerati mezzi di protezione** contro le sovracorrenti **(712.432.102)**
- **Attenzione 3: se Ns ≤ 2, non è richiesto alcuna protezione contro le sovracorrenti**
- (ovvero, non è necessario proteggere dalla corrente inversa mediante diodi di blocco se la stringa può essere interessata da una corrente inversa dell'ordine di $I_{SC\ MAX}$)
- **Attenzione 4:** Il dispositivo di protezione non protegge dal rischio di innesco per arco per la corrente I_{SC} generata dalla stringa !!!

SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Guasti di isolamento

cavi in c.c. scelti ed installati in modo tale da rendere minimo il rischio di guasti a terra/cortocircuiti (art. 712.522.8.1) - GUASTI A TERRA



IM1≤ ISC ≈ 1,25 In stringa:
NON SEZIONABILE CON DISPOSITIVI PROTEZIONE SOVRACORRENTE
NECESSARIO TRANCIARE CAVI PER SPEGNERE L'ARCO ELETTRICO

IM2≤ max (n-1) ISC
(dipende da posizione c.c.):
SEZIONABILE CON DISPOSITIVI DI PROTEZIONE SOCRACCARICHI

MA per difenderci al guasto a terra abbiamo anche la HD 60364-7-712 (712.421.101.1) + IEC 63112 …

SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Guasti di isolamento

cavi in c.c. scelti ed installati in modo tale da rendere minimo il rischio di guasti a terra/cortocircuiti (art. 712.522.8.1) - GUASTI A TERRA

IEC 63112 - Monitoraggio dell'isolamento da terra del campo fotovoltaico (5)

Scopo: ridurre **rischio incendio** in caso di guasto tra il campo e la terra

- Campo FV **non separato da terra o con messa a terra funzionale**:
  (un guasto a terra provoca un flusso di corrente pericoloso)
  dispositivo di protezione da sovracorrente + **controllo isolamento (se K_{FE} è aperto)**

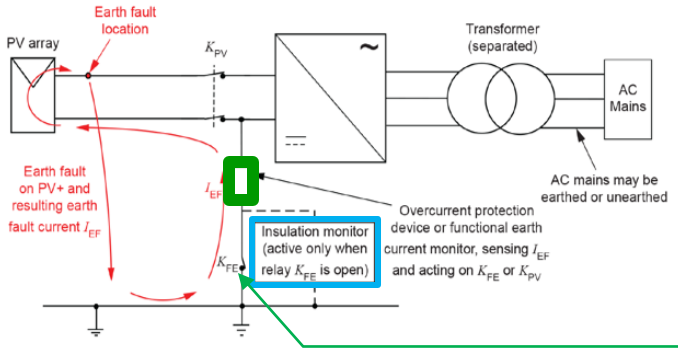


Figure A.1 – Functionally earthed (FE) system with current monitoring in the FE conductor

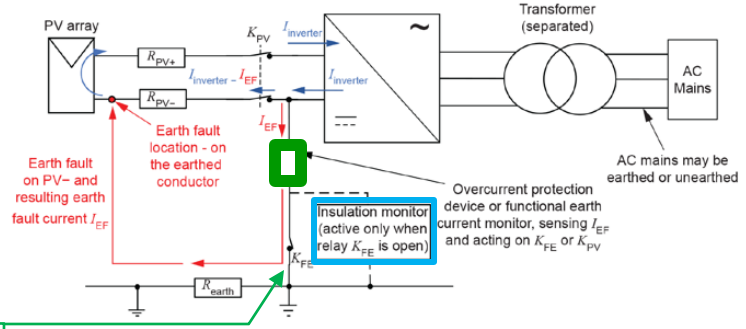


Figure A.2 – Functionally earthed (FE) system with a functionally earthed conductor fault

K_{FE}

SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Guasti di isolamento

cavi in c.c. scelti ed installati in modo tale da rendere minimo il rischio di guasti a terra/cortocircuiti (art. 712.522.8.1) - GUASTI A TERRA

IEC 63112 - Monitoraggio dell'isolamento da terra del campo fotovoltaico (5)

Scopo: ridurre **rischio incendio** in caso di guasto tra il campo e la terra

- Campo FV **non separato da terra o con messa a terra funzionale**:
  (un guasto a terra provoca un flusso di corrente pericoloso)
  dispositivo di protezione da sovracorrente + **controllo isolamento (se K_{FE} è aperto)**
  HD 60364-7-712 (712.421.101.2): dispositivo automatico secondo Tab.712.537

Caratteristiche nominali di potenza dell'intera schiera PV (valore di picco)	Massima corrente nominale I_n del dispositivo automatico di interruzione
kW	A
≤ 25	1
> 25 - 50	2
> 50 - 100	3
> 100 - 250	4
> 250	5

SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Guasti di isolamento

cavi in c.c. scelti ed installati in modo tale da rendere minimo il rischio di guasti a terra/cortocircuiti (art. 712.522.8.1) - GUASTI A TERRA

IEC 63112 - Monitoraggio dell'isolamento da terra del campo fotovoltaico (5)

Scopo: ridurre **rischio incendio** in caso di guasto tra il campo e la terra

Campo FV **senza riferimento a terra**:

dispositivo misura corrente residua + Controllo di isolamento (se Kac è aperto)

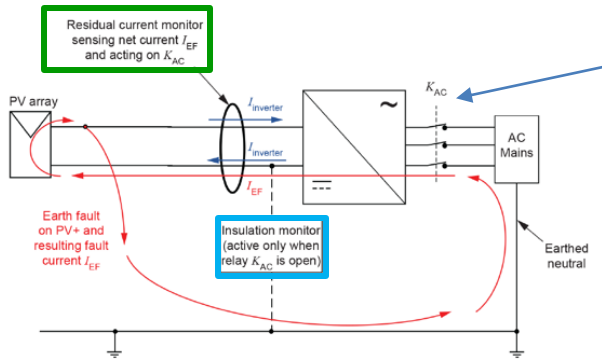


Figure A.4 – Non-separated 3-phase system with residual current monitoring on PV+/-

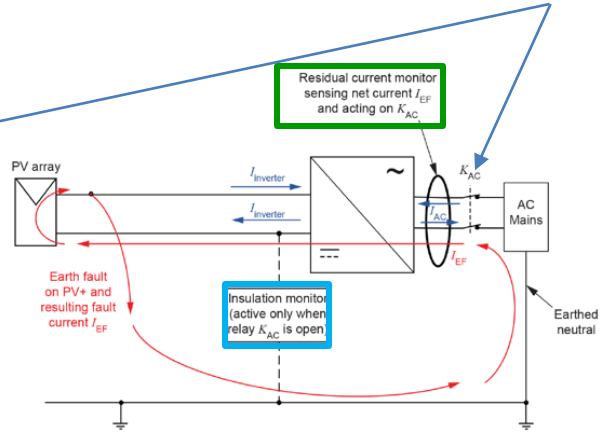


Figure A.5 – Non-separated 1-phase system with residual current monitoring on the AC side

SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Guasti di isolamento

cavi in c.c. scelti ed installati in modo tale da rendere minimo il rischio di guasti a terra/cortocircuiti (art. 712.522.8.1) - GUASTI A TERRA

IEC 63112 - Monitoraggio dell'isolamento da terra del campo fotovoltaico (5)

Scopo: ridurre **rischio incendio** in caso di guasto tra il campo e la terra

Campo FV **senza riferimento a terra**:

Attenzione a HD 60364-7-712 (712.538.101):

SE

P > 100 kWp

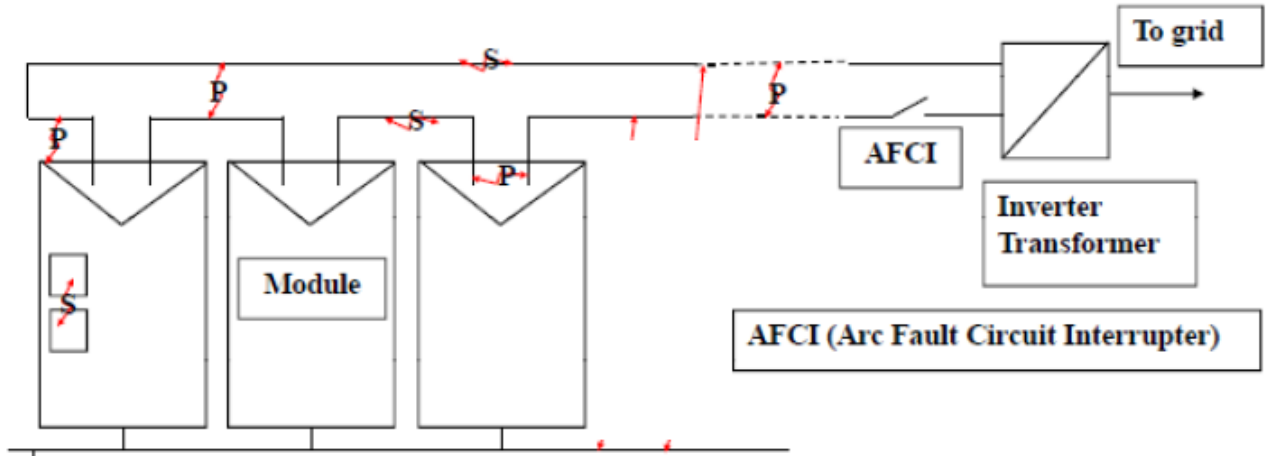
PREVISTO ANCHE

dispositivo localizzazione guasto (IFLS secondo IEC 61557-9)

SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO DI INNESCO

Archi serie e parallelo



Attenzione:
Un AFCI posto nei quadri di stringa può spegnere solo gli archi serie !
Per gli archi parallelo servirebbero soluzioni a bordo modulo !

Problemi:

- Durante un arco in serie l'impedenza di guasto dell'arco serie riduce la corrente del carico, che manterrà il suo valore al di sotto di In.
- Durante un arco in parallelo tra fase e neutro, la corrente è limitata dall'impedenza dell'impianto e dall'impedenza d'arco e risulta < I_{CS}

Soluzione: In America vale NFPA 70E (NEC art.690.11) che per i sistemi fotovoltaici con Vn >80V prescrivono la protezione con un **A**rc **F**ault **C**ircuit **I**nterrupter conforme alla norma di prodotto UL1699B (a breve disponibile IEC 63027 attualmente in stato FDIS …)

SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO PROPAGAZIONE

Attenzione ai cavi CEI EN 50618 !!!

"Cavi elettrici per impianti fotovoltaici"

CEI 82-25 - Paragrafo 6 – Condutture per corrente continua

Raccomandati cavi per applicazioni fotovoltaiche **CEI 20-91 (oggi CEI EN 50618)** per le

alte temperature di funzionamento e resistenza a UV che, **tuttavia**, sono **cavi Eca**

Soluzione: posa in canaline metalliche IP4X

SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO PROPAGAZIONE

Attenzione ai cavi CEI EN 50618 !!!

"Cavi elettrici per impianti fotovoltaici"

Soluzione: posa in canaline metalliche IP4X

Ma bisogna prestare attenzione anche ai cavi non propaganti l'incendio …

SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - RISCHIO PROPAGAZIONE

Attenzione ai cavi non propaganti l'incendio !!!

Secondo Guida CEI 20-67 posso usare cavi con guaina in EPR a norma CEI 20-22 *(oggi Cca-s3, d1, a3)* tenendo conto della riduzione della portata del cavo secondo i coefficienti per alta temperatura proposti dalla norma CEI-UNEL 35024/1:

Portate CEI UNEL 35024/1

(Cavi no CEI 20-91):

- **K = 0,58 retro modulo (θ = 70°C)**
- **K = 0,41 canale al sole (θ = 80°C)**

In caso contrario …

Sovraccarico → degrado isolante → cortocircuito → innesco !

SYMPOSIUM DAY

Impianti PV - MANUTENZIONE

IEC TS 62446-3

Photovoltaic modules and plants – Outdoor infrared thermography

Periodicità procedure di ispezione (5.1)

L'intervallo consigliato per le ispezioni termografiche periodiche è di **quattro anni**, ma … possono essere definiti dai codici elettrici nazionali e dalle norme di sicurezza per gli impianti elettrici…

IEC 62446-1 (in fase di aggiornamento)

5.1 Per un sistema FV, l'intervallo tra le verifiche non deve essere superiore a quello richiesto dal sistema elettrico in c.a. a cui è collegato …

CEI 64-8:2021: 2 anni in 751 !

SYMPOSIUM DAY

SYMPOSIUM DAY

Bologna, 25 Maggio 2023

Le misure di prevenzione degli inneschi sugli Impianti fotovoltaici

- Ing. Calogero TURTURICI
  Comandante VF Bologna – Presidente STC 64C e 31J
  (calogero.turturici@vigilfuoco.it

Grazie per l'attenzione !