

# IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA NOMINALE DI 48.916,56 kWp "LOTTO 9"

UBICATO NEL COMUNE DI LATIANO (BR)

CODICE IDENTIFICATIVO PRATICA AU REGIONALE: MU5A7M1

Titolo Elaborato:

## CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI

### IDENTIFICAZIONE ELABORATO (MITE)

| LIVELLO PROGETTAZIONE | TIPO DOCUMENTO | CODICE IDENTIFICATIVO | DATA          | SCALA |
|-----------------------|----------------|-----------------------|---------------|-------|
| PD                    | R              | MU5A7M1_REL_04        | DICEMBRE 2022 | -     |

### REVISIONI

| REV. | DATA  | DESCRIZIONE     | ESEGUITO           | VERIFICATO         | APPROVATO          |
|------|-------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 00   | 12/22 | Prima emissione | Ing. Cosimo Totaro | Ing. Cosimo Totaro | Ing. Cosimo Totaro |
|      |       |                 |                    |                    |                    |
|      |       |                 |                    |                    |                    |

TECNICO:

**Ing. Cosimo Totaro**  
*Ordine degli Ingegneri*  
*Provincia di Brindisi n.1718*



PROPONENTE:

**ELETTRA SOL S.R.L.**  
Via Mercato, 3  
20121, Milano (MI) - Italy



PROGETTAZIONE:

**NEXTA PROJECT DEVELOPMENT**  
Via Dante, 7  
20123, Milano - ITALY

**APULIA ENERGIA S.R.L.**  
Via Sasso, 15b  
72023, Mesagne (BR) - ITALY



NEXTA PROJECT DEVELOPMENT  
NEXTA CAPITAL PARTNERS



**INDICE**

|  |    |
|--|----|
| <b>1. INDICAZIONI GENERALI</b> .....   | 2  |
| <b>2. RIFERIMENTI NORMATIVI</b> .....  | 2  |
| 2.1 NORME DI RIFERIMENTO PER LA BASSA TENSIONE.....                                  | 2  |
| 2.2 NORME DI RIFERIMENTO PER LA MEDIA TENSIONE.....                                  | 3  |
| <b>3. DESCRIZIONE DELL’IMPIANTO FV</b> .....   | 4  |
| <b>4. CRITERI DIMENSIONALI DELL’IMPIANTO FV</b> .....                                | 7  |
| 4.1 GENERATORE FOTOVOLTAICO – CRITERI DI DIMENSIONAMENTO.....                        | 7  |
| 4.2 CAVI ELETTRICI LATO C.C.– CRITERI DIMENSIONALI.....                              | 11 |
| 4.3 CAVI ELETTRICI LATO C.A. – CRITERI DIMENSIONALI.....                             | 12 |
| 4.4 CANALIZZAZIONI – CRITERI DIMENSIONALI.....                                       | 13 |
| 4.5 SOLUZIONI IMPIANTISTICHE DI PROTEZIONE CONTRO I FULMINI – CRITERI DI SCELTA..... | 13 |
| <b>5. MISURE DI PROTEZIONE DELL’IMPIANTO FOTOVOLTAICO</b> .....                      | 21 |
| 5.1 MISURE DI PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI DIRETTI.....                              | 21 |
| 5.2 MISURE DI PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI INDIRETTI.....                            | 21 |
| 5.3 MISURE DI PROTEZIONE DALLE SOVRACORRENTI.....                                    | 23 |
| 5.4 MISURE DI PROTEZIONE COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA.....                       | 24 |
| 5.5 MISURE DI PROTEZIONE CONTRO GLI EFFETTI DELLE SCARICHE ATMOSFERICHE.....         | 25 |
| <b>6. IMPIANTO DI MESSA A TERRA</b> .....  | 25 |
| <b>7. VALUTAZIONE RISCHIO FULMINAZIONE</b> .....                                     | 28 |

## **1. INDICAZIONI GENERALI**

La presente relazione sui “Calcoli Preliminari degli impianti” riporta le scelte impiantistiche in riferimento all’impianto agrivoltaico denominato “LOTTO 9” della potenza nominale di 48.916,56 kWp.

L’impianto sorgerà in agro di Latiano (BR) e sarà realizzato con moduli fotovoltaici in silicio monocristallino, con una potenza di picco di 660 Wp.

La Società Proponente intende realizzare tale impianto “agrivoltaico” ponendosi come obiettivo la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile coerentemente agli indirizzi stabiliti in ambito nazionale e internazionale volti alla riduzione delle emissioni dei gas serra ed alla promozione di un maggior contributo delle fonti energetiche rinnovabili alla produzione di elettricità nel relativo mercato italiano e comunitario.

## **2. RIFERIMENTI NORMATIVI**

### **2.1 NORME DI RIFERIMENTO PER LA BASSA TENSIONE**

- CEI 0-21: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 11-20 IVa Ed. 2000-08: Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti I e II categoria.
- CEI EN 60909-0 IIIa Ed. (IEC 60909-0:2016-12): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- IEC 60090-4 First ed. 2000-7: Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 4: Esempi per il calcolo delle correnti di cortocircuito.
- CEI 11-28 1993 Ia Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
- CEI EN 60947-2 (CEI 17-5) Ed. 2018-04: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 20-91 2010: Cavi elettrici con isolamento e guaina elastomerici senza alogeni non propaganti la fiamma con tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua per applicazioni in impianti fotovoltaici.
- CEI EN 60898-1 (CEI 23-3/1 Ia Ed.) 2004: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari.
- CEI EN 60898-2 (CEI 23-3/2) 2007: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari Parte 2: Interruttori per funzionamento in corrente alternata e in corrente continua.

- CEI 64-8 VIIa Ed. 2012: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- IEC 364-5-523: Wiring system. Current-carrying capacities.
- IEC 60364-5-52 IIIa Ed. 2009: Electrical Installations of Buildings - Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems.
- CEI UNEL 35016 2016: Classe di Reazione al fuoco dei cavi in relazione al Regolamento EU “Prodotti da Costruzione” (305/2011).
- CEI UNEL 35023 2012: Cavi di energia per tensione nominale U uguale ad 1 kV - Cadute di tensione.
- CEI UNEL 35024/1 1997: Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35024/2 1997: Cavi elettrici ad isolamento minerale per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata.
- CEI EN 61439 2012: Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT).
- CEI 17-43 IIa Ed. 2000: Metodo per la determinazione delle sovratemperature, mediante estrapolazione, per apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) non di serie (ANS).

## 2.2 NORME DI RIFERIMENTO PER LA MEDIA TENSIONE

- CEI 0-16: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 99-2 (CEI EN 61936-1) 2011: Impianti con tensione superiore a 1 kV in c.a.
- CEI 11-17 IIIa Ed. 2006: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo.
- CEI-UNEL 35027 IIa Ed. 2009: Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV a 30 kV.
- CEI 99-4 2014: Guida per l'esecuzione di cabine elettriche MT/BT del cliente/utente finale.
- CEI 17-1 VIIa Ed. (CEI EN 62271-100) 2013: Apparecchiatura ad alta tensione Parte 100: Interruttori a corrente alternata.

- CEI 17-130 (CEI EN 62271-103) 2012: Apparecchiatura ad alta tensione Parte 103: Interruttori di manovra e interruttori di manovra sezionatori per tensioni nominali superiori a 1 kV fino a 52 kV compreso.
- IEC 60502-2 2014: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV up to 30 kV – Part 2.
- IEC 61892-4 la Ed. 2007-06: Mobile and fixed offshore units – Electrical installations. Part 4: Cables.

### **3. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO FV**

#### Dati caratteristiche tecniche generali:

La centrale fotovoltaica avrà le seguenti caratteristiche generali:

- potenza fotovoltaica di 48.916,56 kWp
- potenza nominale disponibile (immiss. in rete) pari a 41.000,00kW
- produzione annua stimata: 81.403 MWh
- superficie totale sito (area recinzione): 60,69 ettari
- superfici occupate dall'impianto fotovoltaico:
  - viabilità interna al campo: 23.408 mq
  - moduli FV (superficie netta): 246.770 mq
  - cabine: 570,40 mq
  - basamenti (pali ill. e videosorveglianza): 127 mq
  - drenaggi: 5.689 mq

#### Dati caratteristiche tecniche elettromeccaniche:

Il generatore fotovoltaico nella sua totalità tra i due siti sarà costituito da:

- n. 74.116 moduli fotovoltaici CANADIAN SOLAR BiHiKu7 da 660 W;
- n. 197 tracker da 2x14 e n. 1.226 tracker da 2x28 moduli in verticale con le seguenti caratteristiche dimensionali:
  - ancoraggio a terra con pali infissi direttamente "battuti" nel terreno;
  - altezza minima da terra dei moduli 50 cm;
  - altezza massima da terra dei moduli (in orizzontale) 2,736 m;
  - pitch 10 m
  - tilt  $\pm 60^\circ$
  - azimut  $0^\circ$

- n. 205 inverter HUAWEI SUN2000-215KTL-H3 che possono lavorare in conformità alle prescrizioni presenti del Codice di Rete, configurati con configurazione: 205 inverter con 28 stringhe in serie.

Nell'impianto saranno inoltre presenti complessivamente:

- n. 14 cabine di trasformazione HUAWEI modello STS-3000K-H1: trattasi di container prefabbricati delle dimensioni pari a 6058x2896x2438 mm (W x H x D), così composte:
  - vano quadri BT;
  - vano trasformatore BT/BT per i servizi ausiliari 5 kVA;
  - trasformatore MT/BT;
  - vano quadro MT.
- n. 1 cabina di raccolta: cabina prefabbricata avente volumetria lorda complessiva pari a 33000x4000x6500 mm (W x H x D), al loro interno saranno installati:
  - Locale Distribuzione con quadro di distribuzione MT, trasformatore ausiliario MT/BT e quadro per i servizi ausiliari della centrale;
  - Locale Monitoraggio e Controllo con la componentistica dei sistemi ausiliari e monitoraggio.
- n.5 cabine di stoccaggio materiale (dimensioni W x H x D: 12200x2600x2440 mm): cabinato in container in acciaio o ad elementi prefabbricati;
- rete elettrica interna a MT per il collegamento tra le varie cabine di trasformazione e la cabina di raccolta;
- rete elettrica interna a 1500V tra i moduli fotovoltaici e gli inverter;
- rete elettrica interna a 800V tra gli inverter e le cabine di trasformazione;
- impianto di terra (posizionato lungo le trincee dei cavi di potenza) e maglia di terra delle cabine.

Dati caratteristiche tecniche civili:

Tutte le opere civili necessarie alla corretta collocazione degli elementi dell'impianto e al fine di garantire la fruibilità in termini di operazione e mantenimento dell'impianto nell'arco della sua vita utile:

- recinzione perimetrale a maglia metallica plastificata pari a ca. 2,25 ml dal terreno con circa 15 cm come misura di mitigazione ambientale, con pali a T infissi 60 cm;
- viabilità interna al parco larghezza di 4 metri realizzata con un materiale misto cava di cava o riciclato spessore ca. 30-50cm;

- minima regolarizzazione del piano di posa dei componenti dell'impianto fotovoltaico (strutture e cabinati) in ogni caso con quote inferiori a 1 metro al fine di non introdurre alterazioni della naturale pendenza del terreno;
- scavi a sezione ampia per la realizzazione della fondazione delle cabine elettriche e della viabilità interna e a sezione ristretta per la realizzazione delle trincee dei cavidotti MT, BT e ausiliari, in ogni caso inferiori a 1 metro all'interno delle aree recintate;
- canalizzazioni all'ingresso delle cabine, cavi inverter e cabine, cavi perimetrali per i sistemi ausiliari;
- basamenti dei cabinati (cabine di trasformazione BT/MT, cabina di raccolta e locali tecnici) e plinti di fondazione delle palificazioni per illuminazione, videosorveglianza perimetrale e recinzione;
- pozzetti per le canalizzazioni perimetrali e gli accessi nelle cabine di trasformazione;
- eventuali drenaggi in canali aperti a sezione ristretta, a protezione della viabilità interna e delle cabine, nel caso si riscontrassero basse capacità drenanti delle aree della viabilità interna o delle aree di installazione delle cabine.

Dati caratteristiche tecniche sistemi ausiliari:

I sistemi ausiliari che saranno realizzati sono:

- sistema di controllo e monitoraggio impianto fotovoltaico;
- sistema antintrusione lungo l'anello perimetrale ed in prossimità dei punti di accesso e cabine, costituito da un sistema di videosorveglianza con telecamere fisse poste su pali in acciaio, da un sistema di allarme a barriere microonde (RX-TX di circa 60 m) con centralina di gestione degli accessi;
- sistema di illuminazione lungo l'anello perimetrale ed in prossimità dei punti di accesso e cabine (si accenderà solo in caso di intrusione dall'esterno);
- rete elettrica interna a bassa tensione per l'alimentazione dei servizi ausiliari di centrale (illuminazione perimetrale, controllo, etc.).
- rete telematica interna per la trasmissione dei dati del campo fotovoltaico;
- rete idrica per l'irrigazione delle colture.

#### **4. CRITERI DIMENSIONALI DELL'IMPIANTO FV**

##### **4.1 GENERATORE FOTOVOLTAICO – CRITERI DI DIMENSIONAMENTO**

Gli impianti fotovoltaici saranno realizzati con componenti che assicurano l'osservanza delle due seguenti condizioni:

$$P_{cc} > 0.85 P_{nom} \cdot \frac{I}{I_{stc}}$$
$$P_{ca} > 0.9 P_{cc}$$

dove:

- $P_{cc}$  è la potenza in corrente continua misurata all'uscita del generatore fotovoltaico, con precisione migliore del  $\pm 2\%$ ;
- $P_{nom}$  è la potenza nominale del generatore fotovoltaico;
- $I$  è l'irraggiamento in W/mq misurato sul piano dei moduli, con precisione migliore del  $\pm 3\%$ ;
- $I_{stc} = 1.000$  W/mq, è l'irraggiamento in condizioni di prova standard;
- $P_{ca}$  è la potenza attiva in corrente alternata misurata all'uscita del gruppo di conversione della corrente continua in corrente alternata, con precisione migliore del  $\pm 2\%$ .

Al fine del rispetto delle condizioni sopra descritte gli impianti fotovoltaici oggetto della presente relazione saranno realizzati utilizzando moduli fotovoltaici ad elevate prestazioni e gruppi di conversione della corrente continua in alternata ad elevata efficienza.

Al termine dei lavori saranno effettuate tutte le verifiche tecnico-funzionali, in particolare:

- Esame a vista per accertare la rispondenza dell'opera e dei componenti alle prescrizioni tecniche e di installazione previste dal progetto definitivo;
- Verifica delle stringhe fotovoltaiche;
- Misura dell'uniformità della tensione a vuoto;
- Misura dell'uniformità della corrente di cortocircuito;
- Misura della resistenza di isolamento dei circuiti tra le due polarità lato Corrente continua e terra e lato alternata tra conduttori e terra;
- Verifica del grado di protezione dei componenti installati;
- Verifica della continuità elettrica del circuito di messa a terra e scaricatori;
- Verifica e controllo tramite battitura dei cavi di collegamento del circuito elettrico di tutto il sistema;
- Isolamento dei circuiti elettrici e delle masse;
- Corretto funzionamento dell'impianto fotovoltaico nelle diverse condizioni di potenza generata e nelle varie modalità previste dai gruppi di conversione (accensione, spegnimento, mancanza rete).



La potenza nominale dell'impianto fotovoltaico è intesa come somma delle potenze nominali dei singoli moduli fotovoltaici scelti per realizzare il generatore fotovoltaico. Il dimensionamento del generatore fotovoltaico è stato eseguito tenendo conto della superficie utile disponibile, dei distanziamenti da mantenere tra filari di moduli per evitare fenomeni di auto-ombreggiamento e degli spazi necessari per l'installazione dei locali di conversione e trasformazione, di consegna e ricezione.

Il numero di moduli necessari per la realizzazione del generatore è stato calcolato applicando la seguente relazione:

$$N \text{ moduli} = (P_n \text{ generatore}) / (P_n \text{ modulo})$$

dove:

- $P_n$  generatore è la potenza nominale del generatore fotovoltaico (misurata in W);
- $P_n$  modulo è la potenza nominale del modulo fotovoltaico (misurata in W).

L'impianto sarà suddiviso in 14 sottocampi (14 cabine di trasformazione MT/BT) per ognuno dei quali si dovrà realizzare un locale di conversione e trasformazione, all'interno del quale saranno installati i quadri elettrici di bassa tensione, i trasformatori MT/BT, i dispositivi di protezione dei montanti MT dei trasformatori, un interruttore generale MT e l'alimentazione dei dispositivi ausiliari.

Definito il layout dell'impianto (soluzione con inverter di stringa) il numero di moduli della stringa e il numero di stringhe da collegare in parallelo, sono stati determinati coordinando opportunamente le caratteristiche dei moduli fotovoltaici con quelle degli inverter scelti, rispettando le seguenti 4 condizioni:

1. la massima tensione del generatore fotovoltaico deve essere inferiore alla massima tensione di ingresso dell'inverter;
2. la massima tensione nel punto di massima potenza del generatore fotovoltaico non deve essere superiore alla massima tensione del sistema MPPT dell'inverter;
3. la minima tensione nel punto di massima potenza del generatore fotovoltaico non deve essere inferiore alla minima tensione del sistema MPPT dell'inverter;
4. la massima corrente del generatore fotovoltaico non deve essere superiore alla massima corrente in ingresso all'inverter.

Per la verifica delle suddette condizioni sono state applicate le formule di seguito riportate.

#### Verifica della condizione 1

La massima tensione del generatore fotovoltaico è la tensione a vuoto di stringa calcolata alla minima temperatura di funzionamento dei moduli, in genere assunta pari a:

- 10° C per le zone fredde;

0° C per le zone meridionali e costiere.

La tensione massima del generatore fotovoltaico alla minima temperatura di funzionamento dei moduli si calcola con la seguente espressione:

$$UMAXFV (\theta_{min}) = N_s \cdot UMAX_{modulo} (\theta_{min}) [V]$$

dove  $N_s$  è il numero di moduli che costituiscono la stringa,  $UMAX_{modulo} (\theta_{min})$  è la tensione massima del singolo modulo alla minima temperatura di funzionamento.

Quest'ultima può essere calcolata con la seguente espressione:

$$UMAX_{modulo} (\theta_{min}) = U_{oc} (25^\circ C) - \beta \cdot (25 - \theta_{min})$$

dove:

- $U_{oc} (25^\circ C)$  è la tensione a vuoto del modulo in condizioni standard il cui valore viene dichiarato dal costruttore;
- $\beta$  è il coefficiente di variazione della tensione con la temperatura, anch'esso dichiarato dal costruttore.

Deve risultare pertanto:

$UMAXFV (\theta_{min}) = N_s \cdot UMAX_{modulo} (\theta_{min}) = N_s \cdot [ U_{oc} (25^\circ C) - \beta (25 - \theta_{min}) ] \leq U_{maxinverter}$   
essendo  $U_{maxinverter}$  la massima tensione in ingresso all'inverter, deducibile dai dati di targa.

### Verifica della condizione 2

La massima tensione del generatore fotovoltaico nel punto di massima potenza rappresenta la tensione di stringa calcolata con irraggiamento pari a 1.000 W/mq, e può essere calcolata con la seguente espressione:

$$UMPPTMAX FV (\theta_{min}) = N_s \cdot UMPPTMAX_{modulo} (\theta_{min})$$

dove:

- $N_s$  è il numero di moduli collegati in serie;
- $UMPPTMAX_{modulo} (\theta_{min})$  è la massima tensione del modulo FV nel punto di massima potenza calcolabile

nel seguente modo:

$$UMPPTMAX \text{ modulo } (\theta_{min}) = UMPPT - \beta \cdot (25 - \theta_{min})$$

essendo UMPPT la tensione del modulo in corrispondenza del punto di massima potenza, dichiarata dal costruttore.

Ai fini del corretto coordinamento occorre verificare che:

$$UMPPTMAX \text{ FV } (\theta_{min}) = N_s \cdot [UMPPT - \beta \cdot (25 - \theta_{min})] \leq UMPPTMAX \text{ INVERTER}$$

dove UMPPTMAX INVERTER è la massima tensione del sistema MPPT dell'inverter, deducibile dai dati di targa.

### Verifica della condizione 3

La minima tensione del generatore fotovoltaico nel punto di massima potenza è la tensione di stringa calcolata con:

- irraggiamento pari a 1.000 W/mq
- temperatura  $\theta_{max}$  pari a 70-80°C

e può essere calcolata con la seguente espressione:

$$UMPPT \text{ min FV} = N_s \cdot UMPPT \text{ min modulo}$$

dove:

- $N_s$  è il numero di moduli collegati in serie;
- UMPPTmin modulo è la tensione minima del modulo nel punto di massima potenza, calcolabile nel seguente modo:

$$UMPPTmin \text{ modulo} = UMPPT_{modulo} - \beta \cdot (25 - \theta_{max})$$

Ai fini del corretto coordinamento deve risultare:

$$UMPPTmin \text{ FV} = N_s \cdot [UMPPT_{modulo} - \beta \cdot (25 - \theta_{max})] \geq UMPPT \text{ min INVERTER}$$

essendo UMPPT min INVERTER la minima tensione nel punto di massima potenza del sistema MPPT dell'inverter, deducibile dai dati di targa.

### Verifica della condizione 4

La massima corrente del generatore FV è data dalla somma delle correnti massime erogate da ciascuna stringa in parallelo.

La massima corrente di stringa è calcolabile nel seguente modo:

$$I_{stringa,Max} = 1,25 \cdot I_{sc}$$

dove:

- Istringa,Max è la massima corrente erogata dalla stringa;
- Isc è la corrente di cortocircuito del singolo modulo;
- 1,25 è un coefficiente di maggiorazione che tiene conto di un aumento della corrente di cortocircuito del modulo a causa di valori di irraggiamento superiori a 1.000 W/mq.

Per il corretto coordinamento occorre verificare che:

$$I_{maxFV} = N_p \cdot 1,25 \cdot I_{sc} \leq I_{max \text{ Inverter}}$$

dove:

- I<sub>max FV</sub> è la massima corrente in uscita dal generatore fotovoltaico;
- N<sub>p</sub> è il numero di stringhe in parallelo;
- I<sub>max inverter</sub> è la massima corrente in ingresso all'inverter.

#### 4.2 CAVI ELETTRICI LATO C.C.– CRITERI DIMENSIONALI

La scelta delle sezioni dei cavi è effettuata in base alla loro portata nominale (calcolata in base ai criteri di unificazione e di dimensionamento riportati nelle Tabelle CEI-UNEL), alle condizioni di posa e di temperatura, al limite ammesso dalle Norme per quanto riguarda le cadute di tensione massime ammissibili ed alle caratteristiche di intervento delle protezioni secondo quanto previsto dalle vigenti Norme CEI 64-8.

Tuttavia, al fine di garantire un elevato standard delle prestazioni di generazione, i cavi sono dimensionati in modo da limitare la caduta di tensione e perdita media percentuale secondo il seguente dettaglio:

#### **VALORI AMMISSIBILI (Valori Massimi)** **Lato in corrente continua (DC)**

| Caduta di tensione percentuale DC (*)   |       |
|---|-------|
| Caduta di tensione percentuale DC: Tratto stringhe-inverter distribuiti                   | 2.00% |
| Totale caduta di tensione percentuale massima DC  | 2.00% |
| Perdite medie percentuali DC  |       |
| Perdite medie percentuali DC non deve superare all'interno dell'intero parco fotovoltaico | 1.00% |

(\*) Valori di riferimento i valori massimi di funzionamento in condizioni standard (STC) (I<sub>mppt</sub> e V<sub>mppt</sub>).

In allegato viene riportato l'elenco dei cavi dei circuiti in corrente continua.

#### 4.3 CAVI ELETTRICI LATO C.A. – CRITERI DIMENSIONALI

La scelta delle sezioni dei cavi è effettuata in base alla loro portata nominale (calcolata in base ai criteri di unificazione e di dimensionamento riportati nelle Tabelle CEI-UNEL), alle condizioni di posa e di temperatura, al limite ammesso dalle Norme per quanto riguarda le cadute di tensione massime ammissibili ed alle caratteristiche di intervento delle protezioni secondo quanto previsto dalle vigenti Norme CEI 64-8.

Tuttavia, per i cavi di distribuzione dell'energia prodotta, al fine di garantire un elevato standard delle prestazioni di generazione, i cavi di potenza sono dimensionati in modo da limitare la caduta di tensione e perdita media percentuale secondo il seguente dettaglio:

| <b>VALORI AMMISSIBILI (Valori Massimi)</b>   |       |
|--|-------|
| <b>Lato in corrente alternata (AC)</b>   |       |
| Caduta di tensione percentuale AC  |       |
| Caduta di tensione percentuale AC: Tratto tra inverter e cabine di trasformazione                          | 1.50% |
| Caduta di tensione percentuale AC: Tratto tra ultima cabina trasformazione e la cabina ricezione del campo | 0.50% |
| <hr/>  |       |
| Totale caduta di tensione percentuale massima AC   | 2.00% |
| Perdite medie percentuali AC   |       |
| Perdite medie percentuali AC non deve superare all'interno dell'intero parco fotovoltaico                  | 2.00% |

Caduta di tensione percentuale totale (DC + AC) dai capi dei pannelli fino al punto di consegna sarà limitata sotto il 5%.

Per quanto riguarda la disposizione dei percorsi dei cavi, viene data preferenza al metodo parallelo o perpendicolare rispetto alla disposizione delle file delle vele fotovoltaiche. Sono ammesse disposizioni inclinate per le connessioni tra gli inverter e la cabina di trasformazione e di norma detti percorsi, saranno fatti convergere ai margini della viabilità interna e/o dei percorsi e lontano dai pali delle strutture di supporto dei moduli.

La portata delle condutture (nei tratti ove presente) sarà commisurata alla potenza totale da installare.

#### 4.4 CANALIZZAZIONI – CRITERI DIMENSIONALI

Il dimensionamento della canalizzazione segue i seguenti criteri di dimensionamento:

- Il diametro interno dei tubi sarà maggiore o al limite uguale a 1,4 volte il diametro del cerchio circoscritto al fascio dei cavi in esso contenuti, in ogni caso non inferiore a 16mm.
- Il numero di cavi installati all'interno delle canaline e dei tubi non deve occupare più del 50% dello spazio disponibile nei canali.
- I tubi devono avere un diametro sufficientemente grande per permettere ai cavi contenuti all'interno di essere facilmente svitati e riavvitati senza danneggiare né i cavi o i tubi.

In particolare, occorrerà attenzione che:

- le estremità di tutte le linee interrato siano protette e collegate alle apparecchiature mediante un collegamento con passacavo in PVC e con un traverso e pozzetto di ispezione, in modo da garantire la protezione meccanica contro gli urti accidentali per tutta la lunghezza del percorso.
- i tubi vengano sigillati alle loro estremità con materiale adeguato ad assicurare opportuna tenuta d'acqua.
- i livelli di protezione contro il contatto diretto saranno quelli previsti dalle norme, utilizzando gli accessori necessari (angoli, diramazioni, ecc.). Più specificamente tutti i cavi di alimentazione con tensioni nominali diverse devono essere separati da barriere adeguate.

#### 4.5 SOLUZIONI IMPIANTISTICHE DI PROTEZIONE CONTRO I FULMINI – CRITERI DI SCELTA

Di seguito viene illustrata la valutazione del rischio di fulminazione delle strutture facenti parti degli impianti fotovoltaici in progetto.

Per i calcoli e la valutazione del rischio si è fatto riferimento alla norma CEI EN 62305-2 "Norme per la protezione contro i fulmini - Parte 2: Valutazione del rischio".

#### **Definizioni**

Fulmine su una struttura: fulmine che colpisce una struttura da proteggere;

Fulmine in prossimità di una struttura: fulmine che colpisce tanto vicino ad una struttura da proteggere da essere in grado di generare sovratensioni pericolose;

Fulmine su una linea: fulmine che colpisce una linea connessa alla struttura da proteggere;

Fulmine in prossimità di una linea: fulmine che colpisce tanto vicino ad una linea connessa alla struttura da proteggere, da essere in grado di generare sovratensioni pericolose;

Danni ad esseri viventi: danni, inclusa la perdita della vita, causati a uomini o animali per elettrocuzione provocata da tensioni di contatto e di passo generate dal fulmine;

LEMP: Impulso elettromagnetico del fulmine, tutti gli effetti elettromagnetici della corrente di fulmine che possono generare impulsi e campi elettromagnetici mediante accoppiamento resistivo, induttivo e capacitivo;

LPL: Livello di protezione, numero, associato ad un gruppo di valori dei parametri della corrente di fulmine, relativo alla probabilità che i correlati valori massimo e minimo di progetto non siano superati in natura;

Misure di protezione: misure da adottare nella struttura da proteggere per ridurre il rischio;

LP: Protezione contro il fulmine, sistema completo usato per la protezione contro il fulmine delle strutture, dei loro impianti interni, del loro contenuto e delle persone, costituito in generale da un LPS e dalle SPM;

ZS: Zona di una struttura, parte di una struttura con caratteristiche omogenee, in cui può essere usato un gruppo unico di parametri per la valutazione di una componente di rischio;

SL: Sezione di una linea, parte di una linea con caratteristiche omogenee, in cui può essere usato un unico gruppo di parametri per la valutazione di una componente di rischio;

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

SPM: Misure di protezione contro il LEMP, misure usate per la protezione degli impianti interni contro gli effetti del LEMP;

SPD: Limitatore di sovratensione, dispositivo che limita le sovratensioni e scarica le correnti impulsive; contiene almeno un componente non lineare

Sistema di SPD: Gruppo di SPD adeguatamente scelto, coordinato ed installato per ridurre i guasti degli impianti elettrici ed elettronici.

### **Simboli e abbreviazioni**

**A<sub>D</sub>** Area di raccolta dei fulmini su una struttura isolata;

**A<sub>DJ</sub>** Area di raccolta dei fulmini su una struttura adiacente;

**A<sub>I</sub>** Area di raccolta dei fulmini in prossimità di una linea;

**A<sub>L</sub>** Area di raccolta dei fulmini su una linea;

**A<sub>M</sub>** Area di raccolta dei fulmini in prossimità di una struttura;

**B** Struttura;

**C<sub>D</sub>** Coefficiente di posizione;

**C<sub>DJ</sub>** Coefficiente di posizione di una struttura adiacente;

**C<sub>E</sub>** Coefficiente ambientale;

**C<sub>I</sub>** Coefficiente di installazione di una linea;

**C<sub>L</sub>** Costo annuo della perdita totale senza misure di protezione;

**C<sub>LD</sub>** Coefficiente dipendente dalla schermatura, dalle condizioni di messa a terra e di separazione di una linea per fulmini sulla linea stessa;

**C<sub>LI</sub>** Coefficiente dipendente dalla schermatura, dalle condizioni di messa a terra e di separazione di una linea per fulmini in prossimità della linea stessa;

**C<sub>T</sub>** Coefficiente di correzione per un trasformatore AT/BT sulla linea;

- D1** Danno ad esseri viventi per elettrocuzione;
- D2** Danno materiale;
- D3** Guasto di impianti elettrici ed elettronici;
- K<sub>S1</sub>** Coefficiente relativo all'efficacia dell'effetto schermante della struttura;
- K<sub>S2</sub>** Coefficiente relativo all'efficacia di uno schermo interno alla struttura;
- K<sub>S3</sub>** Coefficiente relativo alle caratteristiche dei circuiti interni alla struttura;
- K<sub>S4</sub>** Coefficiente relativo alla tensione di tenuta ad impulso di un impianto interno;
- L<sub>F</sub>** Tipica percentuale di perdita per danni materiali in una struttura;
- L<sub>O</sub>** Tipica percentuale di perdita per guasto di impianti interni in una struttura;
- L<sub>T</sub>** Tipica percentuale di perdita per danni ad esseri viventi per elettrocuzione;
- L1** Perdita di vite umane;
- L2** Perdita di servizio pubblico;
- L3** Perdita di patrimonio culturale insostituibile;
- L4** Perdita economica;
- N<sub>G</sub>** Densità di fulmini al suolo;
- n<sub>z</sub>** Numero delle possibili persone danneggiate (vittime o utenti non serviti);
- n<sub>t</sub>** Numero totale di persone (o utenti serviti);
- P** Probabilità di danno;
- P<sub>A</sub>** Probabilità di danno ad esseri viventi per elettrocuzione (fulmine sulla struttura);
- P<sub>B</sub>** Probabilità di danno materiale in una struttura (fulmine sulla struttura);
- P<sub>C</sub>** Probabilità di guasto di un impianto interno (fulmine sulla struttura);
- P<sub>M</sub>** Probabilità di guasto degli impianti interni (fulmine in prossimità della struttura);
- P<sub>U</sub>** Probabilità di danno ad esseri viventi (fulmine sulla linea connessa);
- P<sub>V</sub>** Probabilità di danno materiale nella struttura (fulmine sulla linea connessa);
- P<sub>W</sub>** Probabilità di guasto di un impianto interno (fulmine sulla linea connessa);
- P<sub>X</sub>** Probabilità di danno nella struttura;
- P<sub>Z</sub>** Probabilità di guasto degli impianti interni (fulmine in prossimità della linea connessa),
- P<sub>EB</sub>** Probabilità che riduce P<sub>U</sub> e P<sub>V</sub> dipendente dalle caratteristiche della linea e dalla tensione di tenuta degli apparati in presenza di EB (equipotenzializzazione al fulmine);
- P<sub>SPD</sub>** Probabilità che riduce P<sub>C</sub>, P<sub>M</sub>, P<sub>W</sub> e P<sub>Z</sub>, quando sia installato un sistema di SPD;
- P<sub>TA</sub>** Probabilità che riduce P<sub>A</sub> dipendente dalle misure di protezione contro le tensioni di contatto e di passo;
- r<sub>t</sub>** Coefficiente di riduzione associato al tipo di superficie;
- r<sub>f</sub>** Coefficiente di riduzione delle perdite dipendente dal rischio di incendio;
- r<sub>p</sub>** Coefficiente di riduzione delle perdite correlato alle misure antincendio;
- R<sub>T</sub>** Rischio tollerabile, valore massimo del rischio che può essere tollerato nella struttura da proteggere;



- R<sub>A</sub>** Componente di rischio (danno ad esseri viventi – fulmine sulla struttura);  
**R<sub>B</sub>** Componente di rischio (danno materiale alla struttura – fulmine sulla struttura);  
**R<sub>C</sub>** Componente di rischio (guasto di impianti interni – fulmine sulla struttura);  
**R<sub>M</sub>** Componente di rischio (guasto di impianti interni – fulmine in prossimità della struttura);  
**R<sub>U</sub>** Componente di rischio (danno ad esseri viventi – fulmine sulla linea connessa);  
**R<sub>V</sub>** Componente di rischio (danno materiale alla struttura – fulmine sulla linea connessa);  
**R<sub>W</sub>** Componente di rischio (danno agli impianti – fulmine sulla linea connessa);  
**R<sub>Z</sub>** Componente di rischio (guasto di impianti interni – fulmine in prossimità di una linea);  
**R1** Rischio di perdita di vite umane nella struttura;  
**R2** Rischio di perdita di un servizio pubblico in una struttura;  
**R3** Rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile in una struttura;  
**R4** Rischio di perdita economica in una struttura;  
**S** Struttura;  
**S1** Sorgente di danno (fulmine sulla struttura);  
**S2** Sorgente di danno (fulmine in prossimità della struttura);  
**S3** Sorgente di danno (fulmine sulla linea);  
**S4** Sorgente di danno (fulmine in prossimità della linea);  
**t<sub>z</sub>** Tempo di permanenza delle persone in un luogo pericoloso (ore/anno);  
**w<sub>m</sub>** Lato di maglia.

#### Valutazione del rischio fulminazione

La normativa CEI EN 62305-2 specifica una procedura per la valutazione del rischio dovuto a fulminazione e, se necessario, individua le misure di protezione necessarie da realizzare per ridurre il rischio a valori non superiori a quello ritenuto tollerabile dalla norma.

#### Sorgente di rischio, S

La corrente di fulmine è la principale sorgente di danno. Le sorgenti sono distinte in base al punto d'impatto del fulmine.

- S1** Fulmine sulla struttura;  
**S2** Fulmine in prossimità della struttura,  
**S3** Fulmine su una linea;  
**S4** Fulmine in prossimità di una linea.

#### Tipo di danno, D

Un fulmine può causare danni in funzione delle caratteristiche dell'oggetto da proteggere. Nelle pratiche applicazioni della determinazione del rischio è utile distinguere tra i tre tipi principali di danno che possono manifestarsi come conseguenza di una fulminazione:

- D1 Danno ad esseri viventi per elettrocuzione;
- D2 Danno materiale;
- D3 Guasto di impianti elettrici ed elettronici.

Tipo di perdita, L

Ciascun tipo di danno, solo o in combinazione con altri, può produrre diverse perdite conseguenti nell'oggetto da proteggere. Il tipo di perdita che può verificarsi dipende dalle caratteristiche dell'oggetto stesso ed al suo contenuto:

- L1 Perdita di vite umane (compreso danno permanente);
- L2 Perdita di servizio pubblico;
- L3 Perdita di patrimonio culturale insostituibile.

Rischio, R

Il rischio R è la misura della probabile perdita media annua. Per ciascun tipo di perdita che può verificarsi in una struttura può essere valutato il relativo rischio:

- R1 Rischio di perdita di vite umane (inclusi danni permanenti);
- R2 Rischio di perdita di servizio pubblico;
- R3 Rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile;
- R4 Rischio di perdita economica (struttura, contenuto e perdita di attività).

Rischio tollerabile, RT












La definizione dei valori di rischio tollerabili RT riguardanti le perdite di valore sociale sono stabilite dalla norma CEI EN 62305-2 e di seguito riportati:

Rischio tollerabile per perdita di vite umane o danni permanenti ( $RT = 10^{-5}$  anni<sup>-1</sup>);

Rischio tollerabile per perdita di servizio pubblico ( $RT = 10^{-3}$  anni<sup>-1</sup>);

Rischio tollerabile per perdita di patrimonio culturale insostituibile ( $RT = 10^{-4}$  anni<sup>-1</sup>).

Per ogni tipologia di rischio ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  o  $R_4$ ), nella tabella seguente sono riportate le sue componenti:

| Sorgente         | S1  |   |   | S2  | S3  |   |   | S4  |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
|                  |   |  |   |   |  |   |  |   |
| Danno            | D1  | D2  | D3  | D3  | D1  | D2  | D3  | D3  |
|                  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Comp. di rischio | R <sub>A</sub>  | R <sub>B</sub>  | R <sub>C</sub>  | R <sub>M</sub>  | R <sub>U</sub>  | R <sub>V</sub>  | R <sub>W</sub>  | R <sub>Z</sub>  |
| R <sub>1</sub>   | SI  | SI  | S <sub>I</sub> (1)  | S <sub>I</sub> (1)  | SI  | SI  | S <sub>I</sub> (1)  | S <sub>I</sub> (1)  |
| R <sub>2</sub>   | NO  | SI  | SI  | SI  | NO  | SI  | SI  | SI  |
| R <sub>3</sub>   | NO  | SI  | NO  | NO  | NO  | SI  | NO  | NO  |
| R <sub>4</sub>   | S <sub>I</sub> (2)  | SI  | SI  | SI  | S <sub>I</sub> (2)  | SI  | SI  | SI  |

(1) Nel caso di strutture con rischio di esplosione, di ospedali o di altre strutture, in cui i guasti di impianti interni provocano immediato pericolo per la vita umana

(2) Soltanto in strutture in cui si può verificare la perdita di animali.

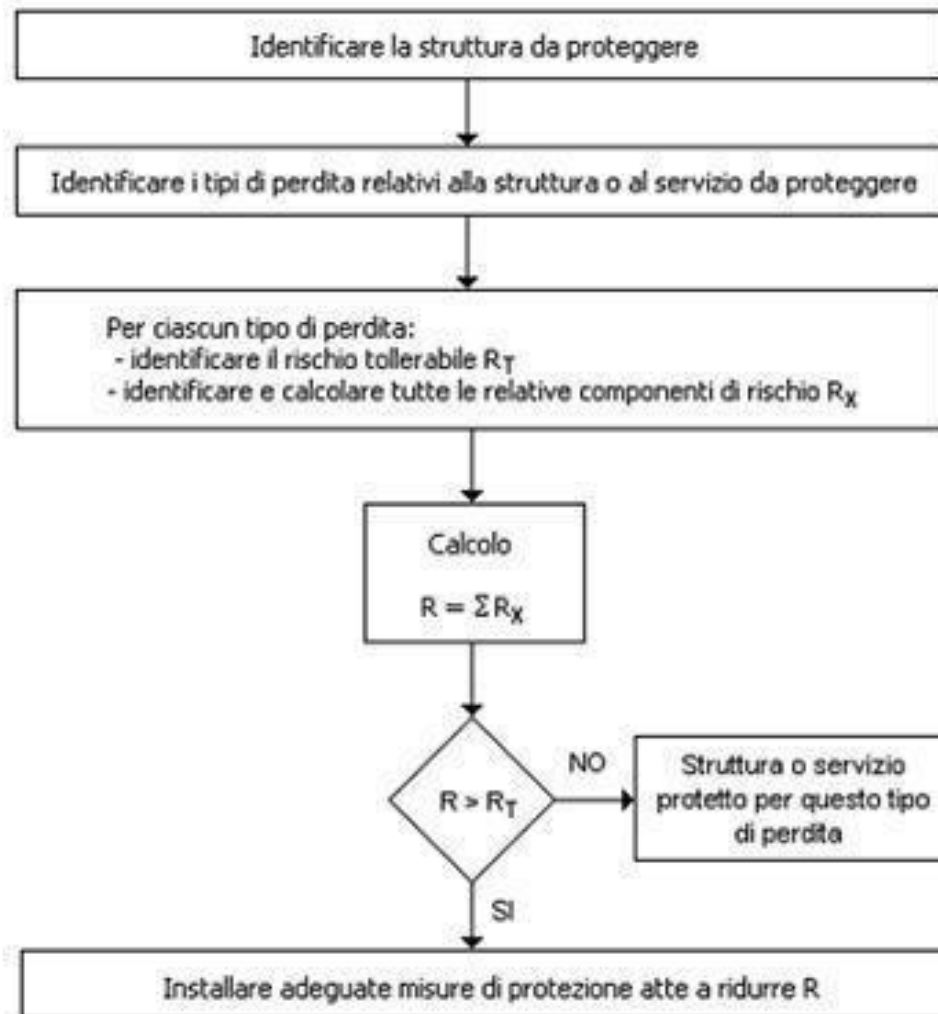
### Metodo di valutazione

Ai fini della valutazione del rischio (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> o R<sub>4</sub>) si deve provvedere a:

- determinare le componenti R<sub>A</sub>, R<sub>B</sub>, R<sub>C</sub>, R<sub>M</sub>, R<sub>U</sub>, R<sub>V</sub>, R<sub>W</sub> e R<sub>Z</sub> che lo compongono;
- determinare il corrispondente valore del rischio R<sub>x</sub>;
- confrontare il rischio R<sub>x</sub> con quello tollerabile R<sub>T</sub> (tranne per R<sub>4</sub>).

Per ciascun rischio devono essere effettuati i seguenti passi (vedi anche figura successiva):

- identificazione delle componenti R<sub>x</sub> che contribuiscono al rischio;
- calcolo della componente di rischio identificata R<sub>x</sub>;
- calcolo del rischio totale R;
- identificazione del rischio tollerabile R<sub>T</sub>;
- confronto del rischio R con quello tollerabile R<sub>T</sub>.



Determinazione del rischio di perdita di vite umane (R1)

Il rischio di perdita di vite umane è determinato come somma delle componenti di rischio precedentemente definite:

$$R_1 = R_A + R_B + R_C^{(1)} + R_M^{(1)} + R_U + R_V + R_W^{(1)} + R^{(1)}$$

(1) Nel caso di strutture con rischio di esplosione, di ospedali o di altre strutture, in cui guasti di impianti interni provocano immediato pericolo per la vita umana dove:

- $R_A$  Componente di rischio (danno ad esseri viventi - fulmine sulla struttura);
- $R_B$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sulla struttura);
- $R_C$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine sulla struttura);
- $R_M$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità della struttura);

- $R_U$  Componente di rischio (danno ad esseri viventi - fulmine sul servizio connesso);
- $R_V$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sul servizio connesso);
- $R_W$  Componente di rischio (danno agli impianti - fulmine sul servizio connesso);
- $R_Z$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità di un servizio connesso).

Determinazione del rischio di perdita di servizio pubblico ( $R_2$ )

Il rischio di perdita di servizio pubblico è determinato dalla formula:

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z$$

dove:

- $R_B$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sulla struttura);
- $R_C$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine sulla struttura);
- $R_M$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità della struttura);
- $R_V$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sul servizio connesso);
- $R_W$  Componente di rischio (danno agli impianti - fulmine sul servizio connesso);
- $R_Z$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità di un servizio connesso).

Determinazione del rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile ( $R_3$ )

Il rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile è dato dalla formula:

$$R_3 = R_B + R_V$$

dove:

- $R_B$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sulla struttura);
- $R_V$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sul servizio connesso).

Determinazione del rischio di perdita economica ( $R_4$ )

Il rischio di perdita economica è determinato secondo la formula:

$$R_4 = R_A^{(1)} + R_B + R_C + R_M + R^{(1)} + R_V + R_W + R_Z$$

(1) Solo in strutture in cui si può verificare la perdita di animali

dove:

- $R_A$  Componente di rischio (danno ad esseri viventi - fulmine sulla struttura);
- $R_B$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sulla struttura);
- $R_C$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine sulla struttura);
- $R_M$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità della struttura);
- $R_U$  Componente di rischio (danno ad esseri viventi - fulmine sul servizio connesso);
- $R_V$  Componente di rischio (danno materiale alla struttura - fulmine sul servizio connesso);

- $R_w$  Componente di rischio (danno agli impianti - fulmine sul servizio connesso);
- $R_z$  Componente di rischio (guasto di impianti interni - fulmine in prossimità di un servizio connesso).

## **5. MISURE DI PROTEZIONE DELL’IMPIANTO FOTOVOLTAICO**

L’impianto fotovoltaico è progettato al fine di assicurare:

- la protezione delle persone e dei beni contro i pericoli ed i danni derivanti da loro utilizzo nelle condizioni previste;
- il suo corretto funzionamento per l’uso previsto.

Sono quindi state adottate le seguenti misure di protezione, relativa alla protezione dai contatti diretti, protezione dai contatti indiretti, protezione dalle sovracorrenti ed al sezionamento.

### **5.1 MISURE DI PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI DIRETTI**

Protezione totale contro i pericoli derivanti da contatti con parti in tensione, realizzata in conformità al cap. 412 della Norma CEI 64-8 mediante:

- Isolamento delle parti attive, rimovibile solo mediante distruzione ed in grado di resistere a tutte le sollecitazioni meccaniche, chimiche, elettriche e termiche alle quali può essere sottoposto nel normale esercizio;
- Involucri idonei ad assicurare complessivamente il grado di protezione IP XXB (parti in tensione non raggiungibili dal filo di prova) e, sulle superfici orizzontali superiori a portata di mano, il grado di protezione IP XXD (parti in tensione non raggiungibili dal filo di prova).

A tal fine saranno impiegati cavi a doppio isolamento (o cavi a semplice isolamento posati entro canalizzazioni in materiale isolante) e le connessioni verranno racchiuse entro apposite cassette con coperchio apribile mediante attrezzo.

### **5.2 MISURE DI PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI INDIRETTI**

Protezione contro i pericoli risultanti dal contatto con parti conduttrici che possono andare in tensione in caso di cedimento dell’isolamento principale, realizzata sul lato BT AC dell’impianto mediante l’interruzione automatica dell’alimentazione secondo il paragrafo 413.1 della norma CEI 64.8, collegando all’impianto generale di terra tutte le masse presenti negli ambienti considerati ed impiegando interruttori automatici, il tutto coordinato in modo da soddisfare la condizione di cui all’art. 413.1.3.3. della norma CEI stessa.

Per quanto riguarda la protezione dei contatti indiretti sul lato corrente alternata, tutti i dispositivi elettrici connessi e quindi anche degli inverter ed i componenti del quadro di interfaccia, fanno parte dello stesso sistema elettrico classificabile come “TN”.

Quindi la protezione contro i contatti indiretti è assicurata dai seguenti accorgimenti:

- collegamento al conduttore di protezione PE di tutte le masse e le masse estranee dell'impianto;
- scelta e coordinamento dei dispositivi di interruzione automatici della corrente di guasto, in conformità a quanto prescritto dalla Norma CEI 64-8;
- ricerca ed eliminazione del primo guasto a terra;
- utilizzo di dispositivi di protezione a corrente differenziale tali da garantire il rispetto della seguente relazione nei tempi riportati nella tabella che segue:

$$Z_S \times I_a \leq U_0$$

dove:

|       |  |
|-------|--|
| $Z_s$ | è l'impedenza dell'anello di guasto comprensiva dell'impedenza di linea e dell'impedenza della sorgente  |
| $I_a$ | è la corrente che provoca l'interruzione automatica del dispositivo di protezione in Ampere, secondo le prescrizioni della norma 64-8/4; quando il dispositivo di protezione è un dispositivo di protezione a corrente differenziale, la $I_a$ è la corrente differenziale $I \cdot n$ . |
| $U_0$ | tensione nominale in c.a. (valore efficace della tensione fase – terra) in Volt  |

| <b><math>U_0(V)</math></b> | <b>Tempo di interruzione (s)</b> |
|----------------------------|----------------------------------|
| 120                        | 0,8                              |
| 230                        | 0,4                              |
| 400                        | 0,2                              |
| >400                       | 0,1                              |

*Tempi massimi di interruzione per sistemi TN*

Per ridurre il rischio di contatti pericolosi il campo fotovoltaico lato corrente continua, il sistema è gestito come IT, cioè flottante da terra, dove nessun polo viene messo a terra. Affinché un contatto accidentale sia realmente pericoloso occorre entrare in contatto contemporaneamente con entrambe le polarità del campo. Il contatto accidentale con una sola delle polarità non ha praticamente conseguenze, a meno che una delle polarità del campo non sia casualmente a contatto con la massa. Per prevenire tale eventualità gli inverter sono muniti di un opportuno dispositivo di rivelazione degli squilibri verso massa, che ne provoca l'immediato spegnimento e l'emissione di una segnalazione di allarme. Invece eventuali guasti a livello inverter, sono monitorati dai dispositivi di protezione degli stessi inverter.

Si prevede inoltre l'interconnessione di tutte le strutture metalliche di fissaggio dei moduli fotovoltaici con un conduttore equipotenziale da 6mmq in modo da poter garantire una continuità elettrica di tutte le masse estranee.

### 5.3 MISURE DI PROTEZIONE DALLE SOVRACORRENTI

Protezione contro il surriscaldamento degli isolanti dei cavi e contro gli sforzi elettromeccanici prodotti nei conduttori e nelle connessioni causati da correnti di sovraccarico o di cortocircuito, realizzata mediante dispositivi unici di interruzione (interruttori magnetotermici o fusibili) installati all'origine di ciascuna condotta ed aventi caratteristiche tali da interrompere automaticamente l'alimentazione in occasione di un sovraccarico o di un cortocircuito, secondo quanto prescritto nel Cap. 43 e nella sez.473 della Norma CEI 64-8 facendo riferimento alle tabelle CEI-UNEL relative alla portata dei Cavi in regime permanente.

Le sezioni dei cavi per i vari collegamenti sono state scelte in modo da assicurare una durata di vita soddisfacente dei conduttori e degli isolanti agli effetti termici causati dal passaggio della corrente elettrica per periodi prolungati in condizioni normali di funzionamento. Tutti gli interruttori automatici magnetotermici e magnetotermici differenziali previsti a monte di ogni condotta, sul lato in corrente alternata, sono dimensionati in modo da proteggere i cavi sia dal sovraccarico, che dal cortocircuito. Secondo la normativa CEI 64-8 le caratteristiche di funzionamento del dispositivo di protezione delle condutture elettriche dai sovraccarichi devono rispondere alle seguenti due condizioni:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad \text{ed} \quad I_f \leq 1,45 * I_z \quad \text{dove:}$$

$I_b$  è la corrente di impiego,  $I_n$  è la corrente nominale dell'interruttore,  $I_z$  è la portata del cavo e  $I_f$  è la corrente convenzionale di sicuro funzionamento.

Per la parte in corrente continua del sistema non si prevede la protezione dai sovraccarichi in quanto la massima corrente erogabile dal campo fotovoltaico nel punto di massima potenza è approssimabile, come valore, alla massima corrente che il campo è in grado di erogare (corrente di corto-circuito). È quindi condizione sufficiente alla verifica della protezione dal sovraccarico che:

$$I_b \leq I_z$$

dove:

$I_b$  corrisponde alla massima corrente erogabile dal campo fotovoltaico mentre  $I_z$  è la corrente in regime permanente della condotta elettrica.

La seconda condizione risulta verificata utilizzando interruttori magnetotermici commerciali nei quali la corrente convenzionale di intervento  $I_f = 1,45 I_n$ .

Per quanto riguarda il corto circuito nella sezione di impianto in corrente continua, come già detto, la protezione è assicurata dalla caratteristica di generazione tensione-corrente dei moduli fotovoltaici che limitano la corrente di corto-circuito ad un valore noto e di poco superiore alla



corrente massima erogabile al punto di funzionamento alla massima potenza, con la quale potenza sono state dimensionate le condutture elettriche.

Per gli impianti in corrente alternata occorre proteggere le condutture elettriche dalle correnti di corto-circuito provenienti dalla rete. Si verifica in particolare la condizione che:

$$I^2 t < K^2 S^2$$

dove:

$I^2 t$  è l'integrale di Joule per la durata del corto circuito in  $A^2 \cdot s$  cioè lasciata transitare nel cavo dalla corrente di corto-circuito.

K è la costante caratteristica dei cavi;

S è la sezione del conduttore di protezione in  $mm^2$ .

In definitiva, analizzando le curve di intervento del dispositivo di protezione scelto, le sezioni dei cavi adottate, e le correnti di corto-circuito presunte nel punto di consegna dell'energia dovrà verificarsi che in condizioni di corto-circuito l'energia lasciata transitare dal dispositivo di protezione, prima dell'intervento, non danneggi la conduttura elettrica interessata.

#### 5.4 MISURE DI PROTEZIONE COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA

La protezione del sistema di generazione fotovoltaico nei confronti sia della rete di autoproduzione che della rete di distribuzione pubblica è realizzata in conformità a quanto previsto dalla norma CEI 11-20 e smi con riferimento a quanto contenuto nei documenti di unificazione Enel / Terna. L'impianto dovrà essere equipaggiato con un sistema di protezione che si articola su 3 livelli:

- Dispositivo generale.
- Dispositivo di sicurezza;
- Dispositivo del generatore;

Il riconoscimento di eventuali anomalie sulla rete avviene considerando come anomali le condizioni di funzionamento che fuoriescono da un determinato range di parametri che vengono monitorati sul lato a 36kV:

- minima e massima tensione di fase;
- minima e massima corrente di fase
- minima e massima frequenza;
- corrente direzionale di terra;
- massima tensione omopolare;

## 5.5 MISURE DI PROTEZIONE CONTRO GLI EFFETTI DELLE SCARICHE ATMOSFERICHE

L'impianto fotovoltaico non influisce sulla forma o sul volume del sito di installazione pertanto non aumenta la probabilità di fulminazione diretta delle strutture.

Per quanto riguarda la fulminazione indiretta, i moduli fotovoltaici sono in alto grado insensibili alle sovratensioni atmosferiche, che invece possono risultare pericolose per le apparecchiature elettroniche di condizionamento della potenza. L'abbattersi di scariche atmosferiche in prossimità dell'impianto può provocare il concatenamento del flusso magnetico associato alla corrente di fulmine con i circuiti dell'impianto fotovoltaico, così da provocare sovratensioni in grado di mettere fuori uso i componenti del sistema, tra cui in particolare gli inverter. I morsetti degli inverter sono protetti internamente con propri SPD ed in caso di sovratensioni i varistori collegano una od entrambe le polarità dei cavi a massa e provocano l'immediato spegnimento degli inverter.

La protezione contro le fulminazioni indirette è inoltre attuata mediante percorsi di cablaggio minimi al di fuori dei canali di protezione, privi di spire e con i conduttori di andata e ritorno mantenuti raggruppati. Sono inoltre adottate le misure di protezione del quadro elettrico a 36kV e ed in particolare:

- realizzazione dei necessari collegamenti equipotenziali;
- installazione di SPD all'ingresso.

Le strutture metalliche dell'impianto verranno collegate all'impianto di terra unico dell'impianto fotovoltaico.

## 6. IMPIANTO DI MESSA A TERRA

L'impianto di terra è unico per lato di bassa tensione e a 36kV e sarà conforme alle prescrizioni della norma CEI 99-3 e dimensionato sulla base della corrente di guasto a terra sulla rete a 36kV di alimentazione e del tempo di eliminazione del guasto a terra da parte dei dispositivi di protezioni a 36kV.

I conduttori di terra e di protezione avranno sezione adeguata a sopportare le eventuali sollecitazioni meccaniche alle quali potrebbero essere sottoposti in caso di guasti, calcolata e/o dimensionata secondo quanto stabilito dalle norme CEI. La sezione dei conduttori sarà tale che la massima corrente di guasto non provocherà sovratemperature inammissibili per essi.

### Rete di terra

All'interno del campo fotovoltaico sarà realizzata una rete di terra costituita da conduttori nudi di rame o in acciaio zincato del tipo per posa nel terreno e dispersori in rame in prossimità delle cabine a 36kV, a cui saranno collegati, mediante conduttori e sbarre equipotenziali in rame. La rete di terra sarà interrata ad una profondità di almeno 0,5m lungo le trincee dei cavi ac. e la sezione del conduttore di protezione principale rimarrà invariata per tutta la sua lunghezza.

A tale rete saranno collegate tutte le strutture metalliche di supporto dei moduli e tutte le masse estranee (recinzione, etc) e le armature dei prefabbricati oltre che tutte le masse dei componenti elettrici di classe I. Le giunzioni fra elementi del dispersore saranno protette contro le corrosioni.

#### Rete di terra cabine

L'impianto di terra delle cabine sarà costituito, conformemente alle prescrizioni della Norma CEI EN 50522 ed alle prescrizioni della Guida CEI 11-37, da una maglia di terra realizzata con conduttori nudi in rame elettrolitico di sezione non inferiori a 35 mm<sup>2</sup> o equivalenti in piattina in acciaio zincato, interrati ad una profondità di almeno 0,7 m, collegati a dispersori in rame infissi al suolo in prossimità degli angoli della rete di terra delle cabine.

#### Messa a Terra di cabina

Le cabine di trasformazione avranno collegati alla rete di terra della cabina i seguenti elementi:

- il centro stella dell'avvolgimento secondario (neutro);
- le carpenterie metalliche;
- le carcasse dei trasformatori;
- le manopole dei sezionatori;
- i comandi degli interruttori automatici;
- i telai delle finestre e delle porte metalliche;
- i cassoni di contenimento delle apparecchiature.

I suddetti collegamenti faranno capo singolarmente ad un collettore di terra posizionato all'interno della cabina di trasformazione, allo scopo di eseguire le necessarie misurazioni. Saranno montate su bulloni zincati, verniciate in giallo e le connessioni fra le stesse saranno realizzate con saldatura a castolin. L'intero sistema di terra soddisferà alle corrispondenti norme C.E.I. (11-1) con particolare riguardo alle tensioni di passo e di contatto.

#### Collegamenti equipotenziali

I conduttori di protezione, per i collegamenti ai nodi di terra delle masse metalliche di tutte le apparecchiature e condutture elettriche in AC e di tutte le eventuali masse metalliche estranee accessibili, saranno costituiti da corda di rame flessibile, isolata in PVC giallo-verde, di tipo non propagante l'incendio a Norme CEI 20-22. Saranno costituiti da cavi unipolari facenti parte della stessa condotta dei conduttori attivi e da anime di cavi multipolari.

Tutti i conduttori di protezione equipotenziale avranno colorazione giallo-verde e la loro destinazione sarà identificata, nei punti principali di connessione, mediante targhette. Detti conduttori in parte saranno contenuti all'interno dei cavi multipolari impiegati per l'alimentazione delle varie utenze, in parte costituiranno dorsali indipendenti comuni a più circuiti.

I morsetti di collegamento alle masse metalliche avranno caratteristiche tali da assicurare un contatto sicuro nel tempo.

#### Conduttori di terra – Sezioni

La sezione del conduttore di protezione principale rimarrà invariata per tutta la sua lunghezza e la sezione sarà adeguata a sopportare le eventuali sollecitazioni meccaniche alle quali potrebbero essere sottoposti in caso di guasti, calcolata e/o dimensionata secondo quanto stabilito dalle norme CEI, tale che la massima corrente di guasto non provocherà sovratemperature inammissibili per essi. La sezione dei collegamenti equipotenziali avrà sezione variabile non inferiore a quella indicata dall'art. 543.1.1 della norma CEI 64-8 che esprime il relativo calcolo nella seguente relazione:

$$S_p = \text{RADQ} (I_2 t) / K$$

dove:

- $S_p$  sezione del conduttore di protezione (mm<sup>2</sup>),
- I valore efficace della corrente di guasto che può percorrere il conduttore di protezione per un guasto di impedenza trascurabile (A);
- t il tempo di intervento del dispositivo di protezione (s);
- K fattore il cui valore dipende dal materiale del conduttore di protezione, dell'isolamento e di altre parti e dalle temperature iniziali e finali.

La Norma CEI EN 60439-1 definisce un metodo che permette di stabilire la sezione del conduttore di protezione in funzione della sezione dei conduttori attivi, a condizione che sia utilizzato lo stesso materiale dei conduttori attivi.

| <b>Sezione dei conduttori attivi<br/>(mmq)</b> | <b>Sezione minima del<br/>PE (mmq)</b> |
|--|--|
| $S \leq 16$                                    | S                                      |
| $16 \leq S < 35$                               | 16                                     |
| $35 \leq S \leq 400$                           | S/2                                    |
| $400 \leq S \leq 800$                          | 20                                     |
| $S \leq 800$                                   | S/4                                    |

I conduttori impiegati per collegamenti equipotenziali nelle cabine avranno sezione minima pari alla metà della sez. del conduttore di protezione principale dell'impianto e per le connessioni agli armadi verranno impiegati conduttori di sezione anche superiore.

## **7. VALUTAZIONE RISCHIO FULMINAZIONE**

L'impianto in esame è ubicato in un'area in cui il numero di fulmini all'anno per kmq è pari a  $N_g = 3,40$  fulmini/kmq anno (CEI EN 62305 - CEI EN IEC 62858).

Per l'impianto in oggetto le strutture da proteggere sono le seguenti:

- impianto FV (FV);
- cabina di campo o di trasformazione (CP);
- cabina di consegna o di ricezione (CC).

Come si evince dagli schemi elettrici allegati, gli impianti fotovoltaici sono connessi con le cabine di campo, e tutte le cabine di campo sono collegate a mezzo cavidotto e trafo alle cabine di consegna. Sulla base delle caratteristiche delle strutture in esame e delle modalità di collegamento tra di esse si può affermare quanto segue:

- relativamente alle cabine campo, la componente NDa che tiene conto del rischio di danno materiale causato da un fulmine che colpisce la struttura connessa a quella in esame, può ritenersi nullo, in quanto le cabine di campo sono tra loro separate da due trasformatori. Pertanto, ai fini del calcolo del rischio dovuto a fulminazione indiretta lo schema equivalente da considerare è quello dove la singola cabina di campo è connessa con la cabina di consegna;
- relativamente alla cabina di consegna, poiché le linee che alimentano le cabine di campo sono caratterizzate per buona parte dallo stesso percorso, ai fini del calcolo della probabilità di fulminazione indiretta tali linee sono schematizzate come unica linea equivalente, di lunghezza non superiore a 1.000 m, ossia alla massima lunghezza da considerare ai fini del calcolo;
- ai fini del calcolo delle probabilità PU e PV, per tale linea è stata considerata cautelativamente una tensione di tenuta all'impulso  $U_m = 6$  kV, anche se, trattandosi di linee con tensione 36kV, la tensione di tenuta all'impulso è senz'altro maggiore;
- sempre ai fini del calcolo delle probabilità PU e PV, tale linea è caratterizzata da uno schermo avente resistenza  $R_s < 1 \Omega/\text{km}$ ;
- per la linea di collegamento tra cabina campo e FV, trattandosi di una linea di bassa tensione, sono stati considerati i seguenti parametri:  $U_m = 1$  kV e  $1 < R_s < 5 \Omega/\text{km}$ ;
- la resistività del suolo ove è interrata tale linea non è nota quindi si assume  $500 \Omega \text{ m}$ .

Altri parametri da considerare sono legati al tipo di struttura:

### Struttura di tipo industriale

- Tipo di suolo fino a 5m di distanza dalla struttura:
  - Cabina di ricezione, Cabina campo: tipo prefabbricato;
  - FV: vegetale;

- Rischio di incendio:
  - FV: ridotto;
  - Cabina di consegna, Cabina campo: ordinario;
- Rischio ammissibile: 10-5 (n° morti/anno);
- Coefficiente di posizione delle strutture:
  - Cabina di consegna, Cabina utente: Cd = 0,5 (struttura circondata da strutture di altezza uguale inferiore);
  - FV: Cd = 0,5 (struttura circondata da strutture di altezza uguale o inferiore).

Il rischio complessivo R1 è dell'ordine di 9E-06 è inferiore a quello tollerato RT = 1E-05 in quanto sono previsti idonei SPD a vari livelli di tensione che riducono il rischio a un livello inferiore a quello tollerato.

Scelta degli scaricatori SPD (Surge Protective Device)

Al fine di ridurre il rischio complessivo R1 devono essere previsti SPD su tutte le linee entranti negli edifici collegate all'impianto utilizzatore (escluse quelle provenienti dall'impianto fotovoltaico), aventi le caratteristiche in classe III. Riguardo alla protezione dagli effetti di una fulminazione indiretta sulle apparecchiature provenienti dall'impianto fotovoltaico si potrà ricorrere, a dispositivi in classe II per l'attenuazione delle sovratensioni (SPD Surge Protective Device) inseriti nei quadri di campo o dispositivi di conversione del campo.

Conclusioni valutazione del rischio fulminazione

Gli impianti fotovoltaici sono protetti contro il fulmine in relazione alla perdita di vite umane (rischio R1), per mezzo degli scaricatori SPD installati all'arrivo linea e dagli SPD installati in campo. Non è stato valutato, invece, il rischio di perdite economiche (rischio R4), e non sono stati adottati i provvedimenti eventualmente necessari, avendo il committente espressamente accettato tale rischio.