



**Progetto per la costruzione e l'esercizio di un impianto  
agrovoltaico e delle relative opere connesse, di  
potenza pari a 15,51276 MW DC - 14,8 MW AC  
da realizzare in località "MASSERIA LUPARA SOTTANA"  
nel Comune di Montemilone (PZ)**

Committenza

**SIGMA BEL ENERGY S.r.l.**S.S. "Bradanica", km 39+125 snc, 85025  
Melfi (PZ) - P. Iva 02080040765

Progettazione

**Simec S.r.l.**  
Società di Ingegneria  
Via S. Pertini 35, 71020  
Rocchetta Sant' Antonio (FG)



Elaborato redatto da:

*Ing. Spagone Francesco Paolo*  
*Ordine degli Ingegneri prov.*  
*di Foggia, n. iscrizione 2192*



*Collaborazione:*  
*arch. Giuseppe Pulizzi*

**PROGETTO DEFINITIVO**

Titolo

**Disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici**

Numero documento				Scala	Formato Stampa
				-	A4
Fase	Tipo doc.	Progr. doc.	Rev.	Nome_file / Identificatore	
<b>D</b>	<b>R</b>	<b>A.11</b>	<b>0</b>	SigmaBE_MONTEM01_A11_Disciplinare_Elementi_Tecnici	

Sul presente elaborato sussiste il DIRITTO di PROPRIETA'. Qualsiasi utilizzo non preventivamente autorizzato sarà perseguito ai sensi della normativa vigente.

Rev.	Data	Descrizione revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	04/07/2022	Redazione			

---

1. CARATTERISTICHE TECNICHE DEI COMPONENTI.....	2
Moduli fotovoltaici.....	2
Convertitori di potenza.....	4
Trasformatore .....	7
Struttura di support - tracker .....	7
Gestione dei tracker e movimentazione .....	10
Quadro MT .....	10
Elettrodotto in cavo interrato a 30 kV.....	11
Cabina di Raccolta .....	14
Sottostazione elettrica MT AT 30/36 kV .....	14
Locale servizi .....	14
2. Metodologie di Calcolo.....	15
Protezione contro i contatti diretti .....	15
Protezione contro i contatti indiretti .....	15
Protezione delle condutture contro le sovracorrenti.....	18
Metodi di dimensionamento e calcolo.....	19
Protezioni contro le sovratensioni .....	22
3. Impianto di messa a terra .....	23
4. GESTIONE IMPIANTO .....	24

Il presente disciplinare ha ad oggetto il Progetto per la realizzazione di un impianto agrovoltaiico che la società SIGMA BEL ENERGY S.r.l. intende realizzare nell'agro del Comune di Montemilone (PZ), in località "Masseria Lupara Sottana", di potenza complessiva pari a 15,51276 MW DC – 14,8 MW AC.

Il progetto prevede, inoltre, la realizzazione del cavidotto MT di collegamento dall'impianto fotovoltaico alla sottostazione di consegna e trasformazione 30/36 kV, da realizzare e da collegare alla futura Stazione Elettrica di Trasformazione (SE) della RTN 36/380 kV.

Il cavidotto suddetto, della lunghezza di circa 3.680 metri sarà realizzato in cavo interrato alla tensione di 30 kV ed interesserà unicamente il territorio del Comune di Montemilone (PZ).

La sottostazione di consegna e trasformazione 30/36 kV verrà realizzata in prossimità della futura Stazione Elettrica di Trasformazione (SE) della RTN 36/380 kV, ed occuperà un'area di circa 284,7 m<sup>2</sup> (del terreno individuato catastalmente al foglio 32, mappale 66, del Comune di Montemilone).

Come previsto nella STMG di Terna, codice pratica 202000032, la sottostazione di consegna e trasformazione 30/36 kV sarà collegata, tramite cavidotto interrato, in antenna a 36 kV sulla futura Stazione Elettrica di Trasformazione (SE) della RTN 36/380 kV, da realizzare in agro del Comune di Montemilone, in località "Perillo Soprano", e da inserire in entra-esce sulla linea 380 kV "Melfi 380 – Genzano 380".

Per quanto riguarda il tipo di collegamento, le specifiche tecniche e dimensionali delle linee e delle protezioni sul lato AT di consegna, saranno indicate nella STMG fornita da Terna SpA.

Per quanto riguarda il cavidotto di collegamento, il tipo di collegamento e i relativi tracciati, si rimanda alla tavole specifiche.

## **1. CARATTERISTICHE TECNICHE DEI COMPONENTI**

### **Moduli fotovoltaici**

I moduli previsti per la realizzazione del generatore fotovoltaico sono da 615 Wp, marca Jinko Solar, modello JKM615N-78HL4 – tipo Monocristallino. (Misurazioni effettuate a condizioni standard 1000 W/m<sup>2</sup>, 25° C, AM 1.5G).

Sul prodotto è realizzato con celle ad alta efficienza, con garanzia di 12 anni sul prodotto e di 30 anni sulla produzione.

Le caratteristiche del pannello sono:

Dati caratteristici del Pannello: Mod. JKM615N-78HL4

Potenza nominale – Pmax :615 W

Efficienza: 22 %

Garanzia sul prodotto: 12 anni.

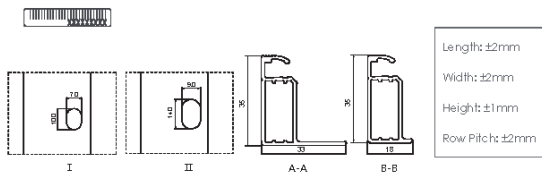
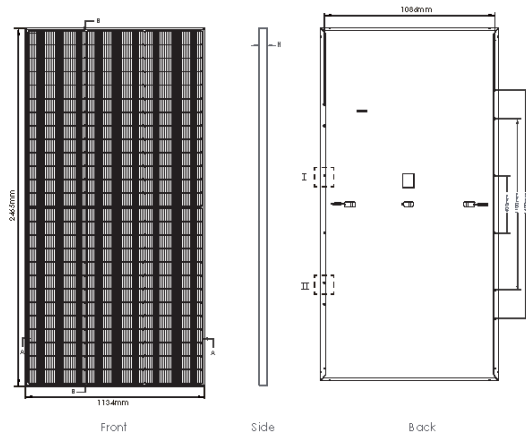
Struttura portante in alluminio.

Ricopertura con vetro temperato ad alta trasparenza ed in grado di resistere alla grandine (norma CEI/EN 61215).

Terminali d'uscita cavi pre-cablato a connessione rapida MC4.

Si riporta di seguito la scheda tecnica del modulo fotovoltaico.

Engineering Drawings

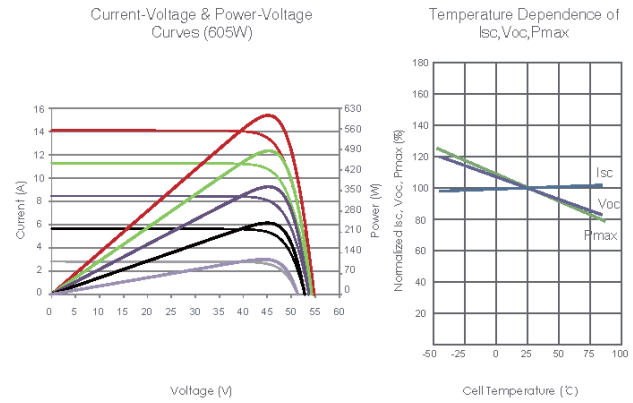


Packaging Configuration

( Two pallets = One stack )

31pcs/pallets, 62pcs/stack, 496pcs/ 40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	156 (2x78)
Dimensions	2465x1134x35mm (97.05x44.65x1.38 inch)
Weight	30.6 kg (67.46 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1x4.0mm <sup>2</sup> (+): 400mm, (-): 200mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM595N-78HL4 JKM595N-78HL4-V		JKM600N-78HL4 JKM600N-78HL4-V		JKM605N-78HL4 JKM605N-78HL4-V		JKM610N-78HL4 JKM610N-78HL4-V		JKM615N-78HL4 JKM615N-78HL4-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	595Wp	447Wp	600Wp	451Wp	605Wp	455Wp	610Wp	459Wp	615Wp	462Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	45.29V	41.93V	45.39V	42.05V	45.49V	42.16V	45.59V	42.28V	45.69V	42.39V
Maximum Power Current (Imp)	13.14A	10.67A	13.22A	10.73A	13.30A	10.79A	13.38A	10.85A	13.46A	10.91A
Open-circuit Voltage (Voc)	54.80V	52.05V	54.95V	52.20V	55.10V	52.34V	55.25V	52.48V	55.40V	52.62V
Short-circuit Current (Isc)	13.90A	11.22A	13.97A	11.28A	14.04A	11.34A	14.11A	11.39A	14.18A	11.45A
Module Efficiency STC (%)	21.29%		21.46%		21.64%		21.82%		22.00%	
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	30A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.30%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.25%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.046%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

Figura 1 – Scheda tecnica del modulo fotovoltaico della CJinko Solar, modello JKM615N-78HL4

### **Caratteristiche elettriche**

Potenza elettrica nominale: 615 W

Tolleranza rispetto alla Pmax:  $0 \div 3\%$

Tensione a circuito aperto Voc: 55,40 V

Tensione alla max potenza Vmpp: 45,69 V

Corrente di cortocircuito Isc: 14,18 A

Corrente alla max Potenza Imp: 13,46 A

Dimensione esterne: 2465x1134x35 mm

Peso: 30,6 kg

Tensione massima di lavoro: 1500 Vdc

Massima corrente inversa Ir: 30 A

Scatola di giunzione: IP 68

Altre informazioni, dettagliate, su caratteristiche operative ed elettriche relative alla capacità di produzione in funzione dei valori fisici esterni, quali temperature, umidità, irraggiamento, sono riportate nella scheda tecnica del pannello fornita dal costruttore ed allegata al presente progetto.

### **Convertitori di potenza**

L'energia derivata dalla trasformazione dell'irraggiamento solare verrà trasformata da continua in alternata mediante l'impiego di macchine statiche, l'inverter, necessarie a realizzare la trasformazione dell'energia prodotta da c.c. in c.a. ed eseguire, in automatico, il parallelo con la rete adeguando i propri parametri a quelli di rete, indipendentemente dalla quantità di energia prodotta e dalle condizioni meteo, per la successiva immissione nella rete elettrica.

La scelta dell'inverter per i sistemi fotovoltaici avviene in funzione del migliore compromesso raggiungibile nell'accoppiamento tra i pannelli fotovoltaici ed il dispositivo di conversione della potenza da c.c. in c.a. (l'inverter appunto).

Nell'impianto saranno presenti diversi tipi di tensione, in particolare sarà in c.c. all'uscita delle varie stringhe con un valore prossimo a 1073 Voc, quindi operante in bassa tensione (essendo 1500 Voc il limite normativo), quindi a seguito della conversione eseguita dagli inverter di stringa, la tensione sarà di 800 Vca, in corrente alternata.

Il layout di impianto è stato sviluppato, ipotizzando l'impiego di inverter di stringa da 200 kW nominali.

La configurazione fra inverter e pannelli fotovoltaici è rilevabile dagli elaborati grafici.

Nella presente versione progettuale, si fa riferimento al modello SUN2000-215KTL-H3 della HUAWEI, stabilendo fin da adesso la possibilità di sostituire gli stessi con altri simili per caratteristiche elettriche e dimensionali, in caso di indisponibilità sul mercato e/o in base a valutazioni di convenienza tecnico-economica al momento della realizzazione della centrale.

Si riporta di seguito la scheda tecnica dell'inverter utilizzato.



  
9  
MPP Trackers

  
99.0%  
Max. Efficiency

  
String-level  
Management

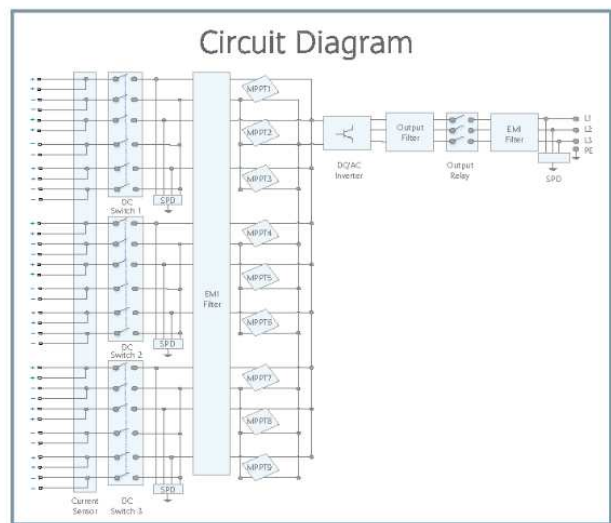
  
Smart I-V Curve  
Diagnosis Supported

  
MBUS  
Supported

  
Fuse Free  
Design

  
Surge Arresters for  
DC & AC

  
IP66  
Protection



## Technical Specifications

Efficiency	
Max. Efficiency	≥99.0%
European Efficiency	≥98.6%
Input	
Max. Input Voltage	1,500 V
Number of MPP Trackers	3
Max. Current per MPPT	100A/100A/100A
Max. PV Inputs per MPPT	4/5/5
Start Voltage	550 V
MPPT Operating Voltage Range	500 V ~ 1,500 V
Nominal Input Voltage	1,080 V
Output	
Nominal AC Active Power	200,000 W
Max. AC Apparent Power	215,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	215,000 W
Nominal Output Voltage	800 V, 3W + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Nominal Output Current	144.4 A
Max. Output Current	155.2 A
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%
Protection	
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
Communication	
Display	LED Indicators, WLAN + APP
USB	Yes
MBUS	Yes
RS485	Yes
General	
Dimensions (W x H x D)	1,035 x 700 x 365 mm (40.7 x 27.6 x 14.4 inch)
Weight (with mounting plate)	≤86 kg (191.8 lb.)
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Cooling Method	Smart Air Cooling
Max. Operating Altitude without Derating	4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity	0 ~ 100%
DC Connector	Staubli MC4 EVO2
AC Connector	Waterproof Connector + OT/DT Terminal
Protection Degree	IP66
Topology	Transformerless

Nelle posizioni indicate nelle tavole di progetto, saranno posizionati gli inverter e le cabina di trasformazione contenente:

- La protezione del trasformatore con interruttore, il sezionamento e la messa a terra della linea MT;
- Il trasformatore MT/BT 30/0,800 kV, di potenza nominale 3000 kVA;
- Quadro di parallelo inverter interruttori di protezione inverter e il dispositivo di generatore;
- Il trasformatore BT/BT 0.800/0,400 kV, di potenza nominale 50 kVA alimentazione servizi ausiliari;
- Il quadro ausiliari (condizionamento, illuminazione e prese di servizio, ecc.)
- Un gruppo di continuità (UPS) per alimentazione di servizi ausiliari e protezioni di cabina elettrica.

Il dispositivo generale posizionato nel vano utente della cabina di ricezione sarà costituito da un interruttore MT automatico, equipaggiato con circuito di apertura e bobina a mancanza di tensione su cui agisce la protezione generale (PG); l'interruttore sarà di tipo fisso, abbinato ad un sezionatore tripolare lato rete.

Tutti gli inverter sono dotati di sistema per seguire il punto di massima potenza dell'ingresso corrispondente alla/e stringhe su ciascun ingresso indipendente della curva caratteristica I-V (ovvero la funzione MPPT) e costruire l'onda sinusoidale in uscita con la tecnica PWM, così da contenere l'ampiezza delle armoniche entro valori assimilabili, migliorando l'efficienza di conversione in funzione dei dati di ingresso dovuto all'irraggiamento solare.

### **Trasformatore**

Il sistema di conversione prevede delle cabine di trasformazione in posizione baricentriche, per ogni sottocampo, con installazione degli inverter distribuiti nel campo che, a loro volta, sono collegati ad un gruppo di parallelo e poi al trasformatore posto in cabina.

Il sistema di parallelo, controllo, consegna, è sistemato in un locale protetto, che sarà collegato al trasformatore, posizionato all'interno del locale tecnico apposito (inverter/trafo) utilizzato per elevare il livello di tensione da 800V a 30kV.

Trasformatore trifase in resina:

Gruppo Vettoriale: Dyn11

Frequenza: 50Hz

Massima potenza in AC: 3000kVA

Tensione nominale: 30/33 kV

Massima corrente ingresso nominale: 858 A

Massima tensione di ingresso: 800 V

Collegamento Trasformatore: Stella+Triangolo

Classe di isolamento: 34kV

Classe ambientale, clim, comp.al fuoco E2-C2-F1 Tensione di c.c.: 6%

Norme: IEC 60076

### **Struttura di support - tracker**

Il progetto prevede l'installazione di 25.224 moduli fotovoltaici, ognuno di potenza pari a 615 Wp, da



istallare su apposite strutture di sostegno costituite dagli inseguitori fotovoltaici monoassiali, denominati tracker.

I tracker sono stati opportunamente dimensionati per consentire la coltivazione del terreno al di sotto degli stessi.

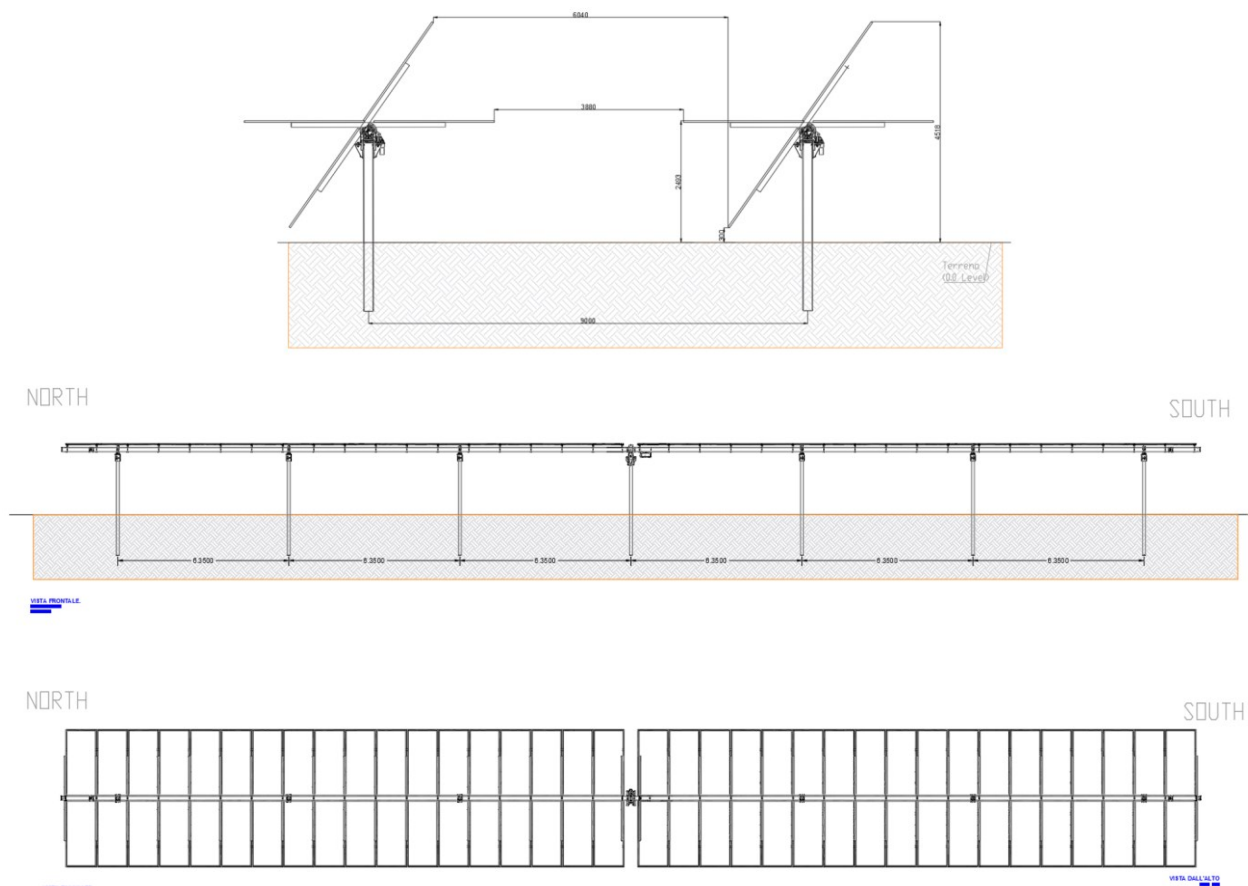
I tracker considerati nel progetto definitivo dell'impianto sono prodotti dalla SOLTEC e sono del tipo orizzontale monoasse motorizzati, ovvero aventi asse di rotazione orizzontale e mossi da attuatori lineari.

I tracker suddetti verranno installati disposti sul terreno in file parallele in tre differenti configurazioni, indicate 2Px36 (n. 320 tracker), 2Px24 (n. 29 tracker) e 2Px12 (n. 33 tracker), ove 2P sta ad indicare che su ciascuna struttura verranno installate due file parallele di moduli e X36, X24 o X12, sta ad indicare che ogni fila sarà composta rispettivamente da 36, 24 o 12 moduli fotovoltaici.

Il tracker può essere strutturalmente suddivisibile in 3 elementi principali:

- I montanti, che sorreggono l'intera struttura e trasmettono i carichi della stessa al terreno;
- L'asse di rotazione orizzontale, che consente il movimento della struttura ed alla quale è ancorata la struttura della vela;
- La struttura della vela, che costituisce la superficie sulla quale vengono disposti i moduli fotovoltaici.

Nelle figure seguenti si riportano i disegni che mostrano le caratteristiche geometriche e strutturali dei tracker, in esame viene considerato nella configurazione 2PX36.



Viste del tracker: laterali, frontale e dall'alto

Il tracker, nella configurazione 2PX36, ha una lunghezza di circa 42,27 m ed è sorretto da 7 montanti,

realizzati con profili in acciaio S 355 JR zincato a caldo, infissi nel terreno ad una profondità variabile tra 1,5 metri e 2,0 metri, a seconda della pendenza del terreno e delle caratteristiche geomorfologiche del terreno.

La profondità di infissione nel terreno sarà valutata per ogni singola struttura e verrà definita in fase di progettazione esecutiva, in seguito alle prove di carico ed alle verifiche di tenuta allo sfilaggio dei montanti.

Per ciò che concerne l'ancoraggio dei montanti al terreno si precisa che il progetto non prevede la realizzazione di fondazioni in calcestruzzo armato o di altro tipo.

I montanti verranno infissi nel terreno mediante l'impiego di attrezzature battipalo; in alternativa possono essere utilizzati quali montanti pali del tipo "a vite".

Il sistema di ancoraggio al terreno previsto riduce al minimo l'impatto ambientale generato dal sistema di fondazione; inoltre con tale tecnica si semplificano e si facilitano le operazioni di dismissione delle strutture.

L'asse di rotazione orizzontale del tracker, realizzata con profili in acciaio zincati a caldo, è ancorata ai montanti tramite un apposito sistema "poli – cuscinetto" che le consente il movimento monoassiale e sostiene la struttura della vela.

L'asse di rotazione è molto vicino all'asse del baricentro della struttura; ciò consente di ridurre la coppia sulla struttura e il carico sull'attuatore.

Il dimensionamento torsionale della struttura è realizzato al fine di evitare fenomeni di instabilità dovuti all'aumento del coefficiente del "fattore di forma".

I poli sono realizzati in acciaio S 355 JR, mentre la giunzione ed il supporto del cuscinetto sono realizzati rispettivamente in acciaio S 355 JR ed in acciaio S 275 JR.

L'asse di rotazione è realizzata in acciaio S 355 JR (file esterne) ed in acciaio S 275 JR (file interne).

La struttura costituente la vela è anch'essa realizzata con profilati, gli arcarecci, in acciaio S 355 JR zincati a caldo e sezione ad omega, per consentire il bloccaggio dei moduli fotovoltaici.

Il fissaggio dei pannelli fotovoltaici viene effettuato con viti in acciaio inossidabile e rondella in acciaio inossidabile per evitare fenomeni di accoppiamento galvanico e corrosione.

Per ciò che concerne la protezione superficiale dei profili in acciaio costituenti l'intera struttura del tracker, la stessa, come detto, avviene mediante zincatura a caldo secondo la norma UNI-EN-ISO1461.

Come precedentemente scritto, i tracker si muovono lungo un'asse orizzontale, orientato nella direzione Nord –Sud.

Il sistema di movimentazione del tracker ha il compito di predisporre in maniera ottimale l'inclinazione della vela nella direzione della radiazione solare.

In relazione al movimento "basculante" che il tracker compie nell'arco di un periodo, la vela avrà un'altezza variabile da 0,30 m a 4,52 m rispetto al piano di campagna.

Il movimento della vela nell'arco di un periodo viene determinato da un algoritmo che fornisce una fase di backtracking mattutino da 0° a + 55° (ove 0° costituisce la posizione della vela parallela al terreno) e una fase di backtracking pomeridiana da -55° a 0°.

**Gestione dei tracker e movimentazione**

Ogni fila è dotata di un attuatore lineare ed un inclinometro elettronico.

L'attuatore lineare viene mosso da un motore a 24 Vc.c. con un assorbimento di corrente di 6 A; la movimentazione del sistema è ottenuta mediante un motore in corrente continua, c.c. ad alta efficienza, basso riscaldamento, senza condensatore elettrolitico. Nella versione cablata, il controllo è alimentato dalla rete elettrica. Nella versione wireless, il controllo è autoalimentato direttamente dal pannello delle stringhe.

Nella versione cablata proposta, l'alimentazione del tracker è monofase 230 AC.

La classe di isolamento è: Classe II.

Il dispositivo elettronico di controllo è una scheda elettronica protetta da una scatola di plastica, il materiale è PC + ABS resistente ai raggi UV, grado IP 65.

Ogni tracker è dotato di una scheda elettronica alimentata direttamente dai pannelli delle stringhe. L'algoritmo Sun tracker è un algoritmo astronomico con strategia di backtracking e calendario perpetuo.

Il controllo dell'algoritmo fornisce una fase di backtracking mattutino da 0° a + 55° e analogamente una fase pomeridiana di backtrack da -55° a 0°; in questa fase il sistema calcola l'angolo ottimale evitando l'ombreggiatura dei pannelli.

Durante la fase centrale "tracking diretto" da + 55° a -55°, il sistema insegue l'angolo ottimale per il localizzatore con un errore massimo pari al valore impostato. Più piccolo è l'errore di tracciamento, maggiore è il numero di stop and go dell'attuatore durante il giorno.

Il programma riguarda la funzione di localizzazione, ogni singola unità di controllo può funzionare autonomamente senza essere connessa allo SCADA.

**Quadro MT**

La connessione alla rete elettrica, di ogni sezione dell'impianto, è prevista tramite linea interrata, in entrata da ciascuna cabina di campo, al cui interno il trasformatore innalza la tensione a 30 kV, fino alla cabina di raccolta, sita in prossimità dell'accesso all'impianto, da cui partirà la linea di consegna alla stazione primaria e quindi la connessione alla stazione di Terna.

Le linee di collegamento tra le varie cabine di campo e la cabina di consegna, saranno realizzate in cavo interrato alla tensione di 30kV, in modo da ridurre le perdite lungo il tracciato.

Nella cabina di consegna posta in prossimità dell'accesso all'impianto, saranno ubicati i quadri di sezionamento e di protezione delle varie sezioni di impianto.

A partire dalla cabina di consegna del campo fotovoltaico e fino alla cabina di consegna utente, realizzata in prossimità della sottostazione di Terna, sarà realizzato un cavidotto interrato con tensione di consegna a 30kV, che opportunamente trasformata nella cabina di consegna, dopo l'elevazione da 30kV a 36 kV, mediante trasformatore, sarà collegata alla rete nazionale di Terna – RTN.

Per quanto riguarda l'impianto fotovoltaico, sono previste n.5 sezioni ciascuna costituita da n.1 cabine di campo.

A ciascuna sezione faranno capo i vari sotto-campi, in cui è suddiviso l'impianto fotovoltaico.

Per ciascuna sezione saranno presenti n.1 trasformatore.

Ad ogni cabina saranno collegati le varie linee in BT derivate degli inverter di campo di campo, che opereranno la trasformazione della potenza da continua, prodotta dai pannelli fotovoltaici, in alternata.

### **Elettrodotta in cavo interrato a 30 kV**

All'interno dell'impianto fotovoltaico i collegamenti tra le varie cabine di campo e la cabina di raccolta, saranno realizzate in cavo interrato, con tensione di esercizio di 30kV.

L'impianto è suddiviso in due macro aree, costituite rispettivamente dalle aree recintate n.1, 2 e 3 (sottocampi 1,2 e 3) e dall'area recintata n. 4 (sottocampi 4 e 5).

Nell'area recintata n.4 sono previste n. 2 cabine di trasformazione e nelle aree recintate n.1, 2 e 3 sono previste n. 3 cabine di trasformazione.

Le cabine di trasformazione delle aree recintate n.1, 2 e 3 sono collegate con una linea in entra esci, la linea deve trasferire una potenza nominale di 6,4 MVA, innalzata dai trasformatori alla tensione di 30 kV ed una corrente di linea pari a circa 123 A, in condizioni ottimali di irraggiamento.

La sezione utilizzabile per tali linee sarà di un cavo per fase da 50 mm<sup>2</sup> per collegare le 2 cabine ed un cavo da 70 mm<sup>2</sup> per giungere alla cabina di raccolta.

Le cabine di trasformazione dell'area recintata n. 4 sono collegate con una linea in entra esci, la linea deve trasferire una potenza nominale di 9,6 MVA, innalzata dai trasformatori alla tensione di 30,0 kV ed una corrente di linea pari a circa 185 A, in condizioni ottimali di irraggiamento.

La sezione utilizzabile per tali linee sarà di un cavo per fase da 50 mm<sup>2</sup> per collegare le 3 cabine ed un cavo da 70 mm<sup>2</sup> per giungere alla cabina di raccolta.

In cabina di consegna, in cui giungeranno i cavidotti di collegamento delle cabine di campo, una volta sezionati e protetti, dovranno collegare la stazione di campo con quella di Utenza posta in prossimità della stazione di Terna.

Tale cavidotto, sarà interrato ad una profondità non inferiore a 1,5 m e seguirà il tracciato riportato nella planimetria, per una lunghezza complessiva di 3.680 m.

La portata che tale cavo dovrà garantire, considerando i 14800 kVA di potenza nominale dell'impianto fotovoltaico, sarà data di circa 285 A, per cui la sezione indicativa più adatta è una linea con un cavo per fase in alluminio da 185 mm<sup>2</sup>, per ridurre le perdite e aumentare la continuità del servizio si considera una doppia linea.

Tale valore di corrente è stato calcolato considerando nulle tutte le perdite di conversione, di trasmissione, di collegamento, ed inoltre, sapendo che il rendimento dell'impianto fotovoltaico è sempre inferiore rispetto al valore nominale di circa il 20%, con una riduzione significativa anche sulla corrente erogata.

L'ultimo tratto di cavo, sempre interrato, dovrà essere scelto in funzione delle specifiche fornite da Terna Spa.

Le linee MT, che hanno una tensione nominale di 30 kV, una frequenza nominale di 50 Hz, con una corrente massima di esercizio variabile in funzione dell'irraggiamento solare, saranno realizzate cercando di minimizzare le perdite di linea e la caduta di tensione, data la potenza da trasportare e la lunghezza della stessa linea.

I cavi utilizzati saranno di tipo ARG7H1(AR)EX unipolare ad isolamento solido estruso, con conduttori di alluminio della sezione nominale 240 mm<sup>2</sup>; l'isolamento sarà costituito da una mescola a base di polietilene reticolato (XLPE) oppure da una mescola elastomerica reticolata ad alto modulo a base di gomma sintetica (HEPR), rispondente alle norme CEI, lo schermo elettrico sarà in semiconduttore estruso isolante, lo schermo fisico in alluminio, a nastro, con o senza equalizzatore, e la guaina protettiva in polietilene o PVC.

La portata richiesta di 347 A per singolo cavo è garantita dalla specifica del cavo ARG7H1EX scelto, la cui massima di 453 A è relativa alla posa a trifoglio nelle condizioni di terreno peggiori, questo garantisce una continuità di funzionamento, ed inoltre garantisce nel normale funzionamento una bassissima caduta di tensione garantendo poche perdite nel tratto di trasmissione dell'energia.

I cavi interrati, considerando il tipico, sono alloggiati in uno scavo che ha forma rettangolare con larghezza di 0,35 m e altezza (profondità) di 1,50 metri; lo strato inferiore, di circa 0,30 m, dove sono posati i cavi elettrici ed anche il cavo in fibra ottica per la trasmissione dei dati, è formato da terreno sabbia vagliata, per ottenere l'idonea resistenza termica, mentre lo strato superiore, di 0,90 - 1,00 m, è costituito da materiale arido di riempimento ovvero da terreno recuperato dal precedente scavo.

In casi particolari, di attraversamento od intersezione con altre condutture interrate, potrà essere adottata una soluzione di alloggiamento dei cavi in cunicoli prefabbricati o gettati in opera od anche in tubazioni di PVC o di ferro.

Si prevede la realizzazione di giunti ispezionabili, a distanze di circa 600 m, la cui posizione sarà definita in relazione alle interferenze in sottosuolo.

I cavi ARG7H1(AR)EX, nuovi, di tipo Air-bag possono essere posati direttamente in scavo senza letto di sabbia e tegolo di protezione. Per la loro posa è previsto l'utilizzo di corrugato pesante e un nastro monitor che ne rilevi la posizione per le successive eventuali lavorazioni.

### **Caratteristiche tecniche**

Le principali caratteristiche tecniche del cavo interrato a 30 kV sono di seguito riportate:

Materiale conduttore "anima": corda rotonda compatta rame rosso

Materiale isolante: mescola di gomma ad alto moduli G7

Schermo metallico: fili di rame

Guaina esterna: elastomero estruso

Tensione nominale (Uo/U): 12/20/30 kV

Frequenza nominale: 50 Hz

Temperatura di funzionamento: 90°C

Temperatura cortocircuito: 250°C

NORME CEI (Principali): 20-13 // 20-35

Sigla: RG7H1R

Tipologia di sezioni utilizzabili: 50/70/95/185/240/300/400

Nello scavo di posa dei cavi a 30 kV saranno interrati, ad una profondità variabile di circa 0,9 - 1,3 m, che potrà variare in relazione al tipo di terreno attraversato e al luogo di installazione, i cavi di segnale o fibra

ottica, necessari alla trasmissione dei segnali tra le cabine, la cabina di consegna di campo e quella di utenza.

In particolare, per le linee di segnale da installare all'interno dell'impianto fotovoltaico, la profondità potrà essere di 0,9 m, lungo la viabilità interna, mentre per il collegamento tra le due cabine, esterne all'impianto, la profondità dovrà essere di circa 1,30 m per evitare fenomeni di schiacciamento.

I cavi saranno posati all'interno di un letto di sabbia compatta in cui saranno previsti opportuni nastri di segnalazione.

Per incroci e parallelismi con altri servizi (cavi di telecomunicazione, tubazioni ecc) saranno rispettate le distanze previste dalle norme, tenendo conto delle prescrizioni che saranno dettate dagli Enti proprietari delle opere interessate.

**Cabina di Raccolta**

Il progetto prevede la realizzazione di una cabina di raccolta, all'interno dell'area recintata n. 2, in prossimità dell'ingresso all'impianto; la cabina sarà costituita da un manufatto in calcestruzzo prefabbricato, di nuova costruzione, all'interno del quale sarà ubicato il locale celle di media tensione.

Alla cabina di raccolta giungeranno i cavi MT provenienti dalle cabine di trasformazione; precisamente per l'area recintata n. 4 (composta dai sottocampi 4 e 5) sarà presente una linea in entra esci composta da una terna di conduttori in alluminio tipo 3x1x70 mm<sup>2</sup> XLPE 18/30 kV, e per le aree recintate n. 1, 2 e 3 (composte dai sottocampi n. 1, 2 e 3) sarà presente una linea in entra esci composta da una terna di conduttori in alluminio tipo 3x1x70 mm<sup>2</sup> XLPE 18/30 kV

L'energia raccolta verrà inviata alla cabina (o sottostazione) di consegna e trasformazione 30/36 kV tramite una terna di conduttori in alluminio tipo 3x1x185 mm<sup>2</sup> XLPE 18/30 kV.

**Sottostazione elettrica MT AT 30/36 kV**

La sottostazione (di cui si riportano planimetria e particolari elettrici negli elaborati grafici allegati) è il punto di connessione della centrale fotovoltaica con la rete di trasmissione nazionale; essa riceve l'energia prodotta dalla centrale attraverso la rete di vettoramento.

Nella sottostazione la tensione viene innalzata da 30 kV a 36 kV e consegnata alla rete tramite un collegamento interrato a tensione 36 kV con uno stallo a 36 kV della stazione di TERNA.

Le linee di connessione alla rete elettrica, le apparecchiature ed il macchinario AT saranno dimensionati per sopportare la tensione massima nominale a frequenza industriale della sezione a 36 kV nel rispetto delle specifiche Terna e delle norme CEI.

Dal punto di vista meccanico, le apparecchiature e linee AT saranno dimensionate in modo da poter sopportare in sicurezza le sollecitazioni meccaniche e termiche derivanti da correnti di corto circuito, in conformità a quanto indicato nella Norma CEI 99\_3.

La sottostazione sarà composta, in sintesi, da:

1. un raccordo AT in cavo per la connessione alla stazione AT ;
2. un montante di trasformazione AT/MT;
3. un edificio utente in cui sono ricavati: magazzino, locali MT, locale BT, magazzino, locale misure e locali servizi igienici.
4. un edificio utente in cui sono ricavati: telecontrollo, locale MT, locale misure, locale utente.

**Locale servizi**

Il progetto prevede la realizzazione di un locale servizi, costituito da un manufatto in calcestruzzo prefabbricato, di nuova costruzione, suddiviso in:

- Un locale ufficio;
- Un locale spogliatoio;
- Un locale servizi igienici.

## 2. Metodologie di Calcolo

### Protezione contro i contatti diretti

La protezione contro i contatti diretti consiste nel proteggere le persone contro i pericoli risultanti dal contatto con le parti in tensione di un impianto elettrico.

### Protezione mediante isolamento

Le parti in tensione saranno completamente ricoperte con un isolamento che possa essere rimosso solo mediante distruzione.

### Protezione mediante involucri o barriere

Le parti in tensione saranno poste entro involucri o dietro barriere tali da assicurare almeno il grado di protezione IPXXB (dito di prova) o IPXXD (filo di prova di 1 mm) se a portata di mano. Gli involucri o le barriere devono essere rimossi solo con l'uso di chiavi o attrezzi.

### Protezione contro i contatti indiretti

La protezione contro i contatti indiretti consiste nel proteggere le persone contro i pericoli risultanti dal contatto con parti metalliche accessibili normalmente non in tensione, ma che potrebbero esserlo per cause accidentali o per cedimento dell'isolamento principale.

### Guasti in media tensione

In caso di guasto monofase a terra sulla media tensione, a monte del dispositivo generale, l'interruzione della corrente di guasto  $I_F$  è garantita dalle protezioni installate a monte sulla prima cabina di consegna.

Per il corretto dimensionamento dell'impianto di terra, dai valori di:

- Corrente di guasto monofase a terra MT ( $I_F$ )
- Tempo di eliminazione del guasto ( $t_F$ )

I guasti a terra sulle linee di media tensione presenti nell'impianto fotovoltaico saranno interrotti dalle protezioni presenti nell'impianto.

La sicurezza delle persone sarà sicuramente garantita se l'impianto di terra dell'impianto fotovoltaico garantirà una resistenza di terra  $R_E$  tale per cui (CEI 11-1, art. 9.9):

$$R_E I_{k1} \leq U_{Tp}$$

Dove  $I_{k1}$  è la massima corrente di guasto monofase a terra e  $U_{Tp}$  è la tensione di contatto ammissibile corrispondente al tempo di eliminazione del guasto delle protezioni MT.

I valori di  $U_{Tp}$ , indicati dalla norma CEI 99-3 e dalla guida CEI 11-37, sono riportati nella tabella sottostante.



**Tabella 1: Valori UTp da norma CEI 99-3 e della guida CEI 11-37**

tF (s)	UTp (V)	tF (s)	UTp (V)
0.04	800	0.55	185
0.06	758	0.60	166
0.08	700	0.64	150
0.10	660	0.65	144
0.14	600	0.70	135
0.15	577	0.72	125
0.20	500	0.80	120
0.25	444	0.90	110
0.29	400	0.95	108
0.30	398	1.00	107
0.35	335	1.10	100
0.39	300	3.00	85
0.40	289	5.00	82
0.45	248	7.00	81
0.49	220	10.00	80
0.50	213	> 10.00	75

Se la suddetta relazione  $R_E I_{k1} \leq U_{Tp}$  non potrà essere garantita, occorrerà procedere alla misura delle tensioni di contatto e di passo e verificare che esse rispettino i limiti ammessi.

Nel caso ciò non avvenga, si dovranno mettere in atto le misure di protezione di cui alla norma CEI 99-3 (equipotenzializzazione, asfaltatura, ecc.).

### Guasti in bassa tensione

La protezione contro i contatti indiretti lato bassa tensione verrà realizzata con interruzione automatica del circuito secondo quanto prescritto dalla norma CEI 64-8, art. 413.1.

Le relazioni che regolano la scelta delle caratteristiche che dovranno possedere i dispositivi di protezione, cambiano in funzione dei modi di collegamento a terra definiti TN, TT e IT.

Sistema TN = Il sistema ha un punto collegato direttamente a terra mentre le masse dell'impianto sono collegate allo stesso punto per mezzo di un conduttore di protezione. In maniera più specifica, si ha sistema TN-S quando il conduttore di neutro e il conduttore di protezione sono separati, sistema TN-C quando il conduttore di neutro e il conduttore di protezione sono combinati in un unico conduttore (PEN), sistema TN-C-S quando il sistema TN-C è limitato ad una parte dell'impianto.

Sistema TT = Il sistema ha un punto collegato direttamente a terra mentre le masse dell'impianto sono collegate ad un impianto di terra elettricamente indipendente da quello del collegamento a terra del sistema di alimentazione.

Sistema IT = Il sistema ha le parti attive separate da terra (flottante) mentre le masse dell'impianto sono collegate a terra individualmente, a gruppi o collettivamente.

Il sistema TN è relativo agli impianti in bassa tensione lato CA posti all'interno e all'esterno del locale tecnico le cui alimentazioni sono derivate dal quadro ausiliari. Il comune (neutro) è collegato alla terra del locale tecnico e le masse sono collegate ai dispersori di terra posti nelle vicinanze dei quadri di controllo. I singoli dispersori e la terra del locale tecnico sono collegati tramite conduttori di terra.

Il sistema pertanto è riconducibile al tipo TN-S.

Il sistema IT è relativo all'impianto di produzione fotovoltaico lato c.c. in cui le masse (cornici) dei moduli sono collegate a terra tramite le strutture di sostegno a loro volta francamente a terra.

I dispositivi di protezione dovranno interrompere automaticamente l'alimentazione al circuito quando, in caso di guasto, tra una parte attiva ed una massa o un conduttore di protezione sia presente una tensione di contatto superiore a 50 V in c.a e 120 V in c.c.

La tensione di contatto dovrà essere eliminata in tempi sufficientemente bassi, stabiliti convenzionalmente, individuabili dalla "curva di sicurezza" e comunque mai superiori a 5s.

Per il sistema TN la condizione da soddisfare è la seguente:

$$Z_s \cdot I_a = U_o \quad \text{dove:}$$

$Z_s$  = è l'impedenza dell'anello di guasto che comprende la sorgente, il conduttore attivo fino al punto di guasto ed il conduttore di protezione tra il punto di guasto e la sorgente

$I_a$  = è la corrente che provoca l'interruzione automatica dell'alimentazione entro il tempo definito nella tabella 41A dell'art. 413.1.3.3 delle norme C.E.I. 64-8 in funzione della tensione nominale  $U_o$

$U_o$  = è la tensione nominale in c.a. valore efficace trifase e terra che corrisponde alla tensione fase-neutro

La scelta del dispositivo nel sistema TN può essere fatta fra:

- dispositivo di protezione a corrente differenziale;
- dispositivo di protezione contro le sovracorrenti;

Più specificatamente:

- nel sistema TN-C, quando cioè le funzioni di neutro e di protezione sono combinate in un solo conduttore detto PEN, non si devono usare dispositivi di protezione a corrente differenziale;
- nel sistema TN-C-S, quando cioè le funzioni di neutro e di protezione sono combinate in un solo conduttore in una parte del sistema, se si usano dispositivi di protezione differenziale, non si deve utilizzare un conduttore PEN a valle degli stessi.

Per il sistema IT la condizione da soddisfare è la seguente:

---

$$RE \cdot I_d = U_L \quad \text{dove:}$$

RE = è la resistenza del dispersore al quale sono collegate le masse

$I_d$  = è la corrente di guasto del primo guasto di impedenza trascurabile tra un conduttore di linea ed una massa

$U_L$  = è la tensione limite convenzionale assunta a 50V per i sistemi in c.a e a 120V per i sistemi in c.c.

L'utilizzo di inverter grid connected permette la realizzazione di un sistema assimilabile al tipo IT. Nel caso di cedimento dell'isolamento nella parte c.c. si crea una debole corrente di primo guasto, dovuta unicamente alla generazione fotovoltaica c.c., che fluisce attraverso lo stesso inverter. La protezione interna nell'inverter rileva l'abbassamento del livello d'isolamento dell'impianto c.c. e genera un allarme sul pannello dell'inverter stesso. In caso di secondo guasto il sistema si trasforma nel tipo TNS e i fusibili di protezione intervengono aprendo il circuito c.c.

Si precisa che per l'impianto in questione, in cui sono adottati moduli fotovoltaici, apparecchiature e sistemi di cablaggio in classe II, si realizza una protezione di tipo passivo che non necessita di interruzione automatica del circuito secondo CEI 64-8 art. 413.2.

Resta inteso che, nonostante l'intervento dei dispositivi di protezione (fusibili), ai capi delle stringhe permangono tensioni pericolose (>120V) mentre ai morsetti dei moduli fotovoltaici permane un livello di tensione al di sotto delle tensioni di contatto limite stabilite dalle norme.

In conclusione occorre che prima di ogni operazione di manutenzione all'impianto fotovoltaico si rilevino eventuali segnalazioni di allarme emesse dagli inverter e si operi con dovuta cautela sul circuito in corrente continua soprattutto lungo e ai capi delle linee di collegamento delle stringhe agli inverter.

### **Protezione delle condutture contro le sovracorrenti**

I conduttori attivi devono essere protetti da uno o più dispositivi al verificarsi di sovracorrenti che possono essere causate da sovraccarichi o da corto circuiti.

I dispositivi che assicurano tali protezioni sono:

- interruttori automatici provvisti di sganciatori di sovracorrente;
- fusibili.

### **Protezione contro i sovraccarichi**

Al fine di evitare le correnti di sovraccarico che provocherebbero un riscaldamento nocivo all'isolamento o all'ambiente circostante, una conduttura, avente corrente di impiego  $I_b$  e portata  $I_z$  ( $I_b \leq I_z$ ), deve essere protetta da un dispositivo avente corrente nominale  $I_n$  e corrente convenzionale di funzionamento  $I_f$  tali che soddisfino le condizioni:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_f \leq 1,45 \times I_z$$

Gli interruttori conformi alle norme C.E.I. 23-3 e 17-5 soddisfano la seconda condizione.

**Protezione contro i corto circuiti**

I dispositivi di protezione devono interrompere le correnti di corto circuito che possono verificarsi nell'impianto in modo tale da garantire che nel conduttore non si raggiungano temperature pericolose secondo la relazione:

$$I^2t \leq K^2 S^2 \quad \text{dove:}$$

$I^2t$  = Integrale di Joule, cioè l'energia specifica passante in un tempo uguale alla durata del corto circuito;

$K$  = Coefficiente caratteristico di ogni cavo;

$S$  = Sezione del conduttore.

**Protezione lato c.c.**

I cavi dell'impianto fotovoltaico sono scelti per la massima corrente che i moduli possono generare nella condizione più gravosa, cioè alla corrente di corto circuito  $I_{sc}$ , quindi si può ragionevolmente ritenere che essi siano protetti contro i sovraccarichi dovuti a sovracorrenti.

I dispositivi di protezione sono scelti perciò per interrompere le correnti di corto circuito che, in un impianto fotovoltaico, possono essere determinate da:

- guasto tra due poli del sistema c.c.;
- guasto a terra nei sistemi con un punto a terra;
- doppio guasto a terra nei sistemi isolati da terra.

I dispositivi sono generalmente fusibili vengono installati sia nel quadro di parallelo stringhe (per proteggere il cavo di stringa contro la sovracorrente dovuta alla somma delle correnti delle altre stringhe in parallelo) che all'ingresso dell'inverter (per proteggere il cavo di collegamento tra questo e il quadro di parallelo stringa).

**Protezione lato c.a.**

Anche i cavi tra gli inverter ed il punto di parallelo sono dimensionati per la massima corrente prodotta risultando quindi superfluo prevedere una protezione contro le sovracorrenti dovute ai sovraccarichi.

Si prevede pertanto la protezione contro le sovracorrenti dovute ai cortocircuiti che coincide solitamente con l'interruttore generale di bassa tensione in quanto adatto alle forti correnti lato rete.

Infatti, in caso di cortocircuito, l'inverter limita la corrente in uscita ad un valore massimo pari a circa il doppio della propria corrente nominale facendo intervenire le protezioni interne mentre il cortocircuito viene alimentato direttamente dalla rete.

**Metodi di dimensionamento e calcolo****Dimensionamento cavi**

Il dimensionamento dei cavi è tale da garantire la protezione della conduttura alle correnti di sovraccarico. In base alla norma CEI 64-8/4 (par. 433.2) il dispositivo di protezione deve essere coordinato con la conduttura in modo tale che siano soddisfatte le condizioni:

$$a) I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$b) I_f \leq 1.45 I_z$$

Per soddisfare alla condizione a) è necessario dimensionare il cavo in base alla corrente nominale della protezione a monte.

Dalla corrente  $I_b$  viene determinata la corrente nominale della protezione a monte (valori normalizzati) e con questa si procede alla scelta della sezione.

La scelta viene fatta in base alla tabella che riporta la corrente ammissibile  $I_z$  in funzione del tipo di isolamento del cavo che si vuole utilizzare, del tipo di posa e del numero di conduttori attivi; la portata che il cavo dovrà avere sarà pertanto:

$$I_z \text{ minima} = I_n/k$$

dove il coefficiente  $k$  di declassamento tiene conto anche di eventuali paralleli.

La sezione viene scelta in modo che la sua portata (moltiplicata per il coefficiente  $k$ ) sia immediatamente superiore a quella calcolata tramite la corrente nominale ( $I_z$  minima). Gli eventuali paralleli vengono calcolati, nell'ipotesi che essi abbiano tutti la stessa sezione, lunghezza, posa, etc. (par. 433.3), considerando la portata minima come risultante della somma delle singole portate (declassate dal numero di paralleli nel coefficiente di declassamento per prossimità).

La condizione b non necessita di verifica in quanto gli interruttori che rispondono alla norma 23.3 IV Ed. hanno un rapporto tra corrente convenzionale di funzionamento  $I_f$  e corrente nominale  $I_n$  minore di 1.45 e costante per tutte le tarature inferiori a 125A. Per le apparecchiature industriali, invece, le norme CEI 17.5 e IEC 947 stabiliscono che tale rapporto può variare in base alla corrente nominale ma deve comunque rimanere minore o uguale a 1,45. Ne deriva che in base a queste normative la condizione b sarà sempre soddisfatta.

Le condutture dimensionate con questo criterio sono pertanto protette contro le sovracorrenti.

Dalla sezione del cavo di fase deriva il calcolo dell' $I^2t$  del cavo o massima energia specifica ammessa dal cavo come:

$$I^2t = K^2S^2$$

La costante  $K$  viene data dalla norma 64-8/4 (par. 434.3), in funzione del materiale conduttore e del materiale isolante.

### **Cadute di tensione**

Le cadute di tensione sono valutate in base alle tabelle UNEL 35023-70.

In accordo con queste tabelle la caduta di tensione di un singolo ramo vale:

$$cdt(I_b) = k_{cdt} \times I_b \times (L_c / 1000) \times [ R_{cavo} \times \cos\varphi + X_{cavo} \times \sin\varphi ] \times 100/V_n [\%]$$

dove:

$k_{cdt} = 2$  per sistemi monofase

$k_{cdt} = 1.73$  per sistemi trifase.

I parametri  $R_{cavo}$  e  $X_{cavo}$  sono ricavati dalla tabella UNEL in funzione al tipo di cavo (unipolare/multipolare) e in base alla sezione dei conduttori; i valori della  $R_{cavo}$  riportate sono riferiti a 80°C, mentre la  $X_{cavo}$  è riferita a 50Hz, entrambe sono espresse in ohm/km.

La caduta di tensione da monte a valle (totale) di un'utenza viene determinata tramite la somma delle cadute di tensione, assolute di un solo conduttore, dei rami a monte all'utenza in esame, da questa viene successivamente determinata la caduta di tensione percentuale riferendola al sistema (trifase o monofase) e alla tensione nominale dell'utenza in esame.

**Dimensionamento conduttori di protezione**

Le norme CEI 64.8 (par. 543.1) prevedono due metodi di dimensionamento dei conduttori di protezione:

- determinazione in relazione alla sezione di fase;
- determinazione tramite calcolo.

Il primo criterio consiste nel calcolare la sezione secondo il seguente schema:

- $S_{pe} = S_f$  se  $S_f < 16 \text{ mm}^2$ ;
- $S_{pe} = 16 \text{ mm}^2$  se  $16 \leq S_f \leq 35$ ;
- $S_{pe} = S_f / 2$  se  $S_f > 35 \text{ mm}^2$ .

Il secondo criterio consiste nel determinarne il valore tramite l'integrale di Joule.

Il metodo adottato in questo progetto è il secondo.

**Calcolo dei guasti**

Il calcolo dei guasti viene fatto in modo da determinare le correnti di cortocircuito minime e massime immediatamente a valle della protezione (inizio linea) e a valle dell'utenza (fine della linea).

Le condizioni in cui vengono determinate sono:

- guasto trifase (simmetrico);
- guasto fase terra (dissimmetrico).

I parametri alle sequenze di ogni utenza sono inizializzati da quelli della utenza a monte e i primi vanno, a loro volta, ad inizializzare i parametri della linea a valle.

**Calcolo delle correnti massime di cortocircuito**

Il calcolo viene eseguito nelle seguenti condizioni:

- la tensione nominale deve essere moltiplicata per il fattore di tensione pari a 1;
- l'impedenza di guasto minima è calcolata alla temperatura di 20 °C.

**Calcolo delle correnti di cortocircuito**

Il calcolo viene eseguito nelle seguenti condizioni:

- la tensione nominale deve essere moltiplicata per il fattore di tensione pari a 1;
- l'impedenza di guasto minima è calcolata alla temperatura di 20 °C.

trascurando l'abbassamento della tensione di linea e l'innalzamento della temperatura si avrebbe:

$$I_{cc} = \frac{V}{\sqrt{R^2 + L^2}}$$

La Norma 64-8 propone una formula che tiene conto dei parametri prima trascurati, precisando che "i valori ottenuti con tale formula servono per la verifica della tempestività di intervento dei dispositivi di protezione, ma non per la determinazione del potere di interruzione":

$$I_{cc} = \frac{0.8 \cdot V \cdot S}{1.5 \cdot \rho \cdot 2l}$$

dove:

$I_{cc}$  = corrente di corto-circuito in A

0.8 = fattore che tiene conto dell'abbassamento di tensione

V = tensione in V

S = sezione del conduttore in mm<sup>2</sup>

1.5 = fattore che tiene conto dell'aumento di temperatura

$\rho$  = resistività del conduttore a 20°C in mm<sup>2</sup>/m

2 = fattore per monofase

l = lunghezza della linea in m

### **Protezioni contro le sovratensioni**

Sui terminali di ogni quadro di parallelo stringhe (QPS) sono stati adottati scaricatori di sovratensione (SPD) tipo CPT CS3 al fine di garantire una protezione contro le sovratensioni indotte dalle scariche di origine atmosferica.

Le caratteristiche degli scaricatori sono riportate nel datasheet allegato

### 3. Impianto di messa a terra

#### Messa a terra lato locale tecnico (cabina MT/BT)

L'impianto di messa a terra sarà costituito:

- dagli schermi metallici dei cavi MT, collegati a terra ad entrambe le estremità;
- dagli anelli di terra delle cabine, realizzati con tondino in acciaio di sezione almeno 50 mm<sup>2</sup>;
- da quattro picchetti in acciaio zincato, lunghezza almeno 1,5 m, posti ai vertici dell'anello;
- dai nodi di terra delle cabine e dai conduttori di protezione ed equipotenziali.

All'impianto di terra dovranno essere collegate tutte le masse, le masse estranee, ed il conduttore neutro.

#### Messa a terra lato campo fotovoltaico

L'impianto di messa a terra sarà costituito:

- dalle strutture metalliche di sostegno dei moduli fotovoltaici collegate alla terra del capannone;
- dai collegamenti alla terra dell'impianto fotovoltaico posizionati nei quadri di controllo

All'impianto di terra dovranno essere collegate tutte le masse e le masse estranee dell'impianto.

La determinazione della sezione del conduttore di protezione è calcolata con la formula:

$$S_p^{2 \cdot K^2} = I^2 \cdot t$$

dove:

$S_p$  = Sezione del conduttore di protezione;

$I$  = Corrente di guasto che percorre il conduttore di protezione per un guasto franco a massa;

$t$  = Tempo di intervento del dispositivo di protezione;

$K$  = Valore caratteristico del conduttore.



#### 4. GESTIONE IMPIANTO

Il sistema di controllo dell'impianto potrà avvenire tramite due tipologie di controllo: locale e/o remoto:

- Controllo locale: monitoraggi tramite PC centrale e locale, da ubicarsi nella cabina di impianto, con personale in grado di operare con controlli in campo munito di apposite attrezzature in loco, per il controllo di eventuali anomalie presenti;
- Controllo remoto: gestione a distanza dell'impianto tramite modem GPRS con scheda di rete Data-Logger montata a bordo degli inverter.

Il sistema di controllo con software dedicato, permetterà l'interrogazione in ogni istante dell'impianto, al fine di verificare la funzionalità degli inverter installati, con la possibilità di visionare le funzioni di stato, comprese le eventuali anomalie di funzionamento.

Le principali grandezze controllate dal sistema saranno:

- Potenze dell'inverter;
- Tensione di campo dell'inverter;
- Corrente di campo dell'inverter;
- Radiazioni solari;
- Temperatura ambiente;
- Velocità del vento;
- Letture dell'energia attiva e reattiva prodotte.

La connessione tra gli inverter e il PC avverrà tramite un box acquisizione (convertitore USB/RS485 MODBUS).