

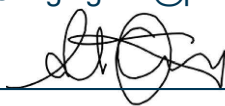

IMPIANTO FOTOVOLTAICO **EG Laguna** E OPERE CONNESSE POTENZA IMPIANTO 13.8 MWp - COMUNE DI PORTOMAGGIORE

Proponente

EG Laguna S.R.L.
VIA DEI PELLEGRINI 22 · 20122 MILANO (MI) · P.IVA: 11769770964 · PEC: eglaguna@pec.it

Progettazione

Ing. Piero FARENTI. Via Don Giuseppe Corda, SNC -
03030 Santopadre (FR) · tel.: 0776531040 · e-mail: info@farenti.it
PEC: piero@pec.farenti.it

Collaboratori

Ing. Andrea FARENTI. Via Don Giuseppe Corda, SNC - 03030 Santopadre (FR)
tel.: 0776531040 · e-mail: info@farenti.it · PEC: andrea@pec.farenti.it

Coordinamento progettuale

FARENTI S.R.L.
Via Don Giuseppe Corda, snc · 03030 Santopadre (FR) · P.Iva 02604750600 ·
Tel. 0776531040 Fax 07761800135

Titolo Elaborato

Relazione Tecnica

LIVELLO PROGETTAZIONE	CODICE ELABORATO	FILENAME	FORMATO	DATA	SCALA
Progetto definitivo	VIA.REL10	-	A4	-	-

Revisioni

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	20/07/2021	-	AF	PF	ENF
01	15/02/2022	-	AF	PF	ENF



RELAZIONE TECNICA

Index

PREMESSA.....	3
DESCRIZIONE GENERALE	3
CARATTERISTICHE GENERALI DELL'INTERVENTO.....	4
Dati di progetto	4
Attività legate alla realizzazione del progetto	4
DESCRIZIONE TECNICA DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO.....	5
Generatore fotovoltaico (vedi allegato A)	6
Struttura di supporto	8
Quadri elettrici	10
Sistema di condizionamento della potenza (inverter) – (Vedi allegato B)	11
Sistema di accumulo	13
Cabine elettriche	14
Cabina inverter/trasformazione	14
Trasformatori MT/bt	15
Trasformatore Servizi Ausiliari MT/BT	15
Cabina di Raccolta MT/HV	16
Sistema di monitoraggio delle prestazioni (sistema proprietario)	17
Stazione meteorologica	17
Rete di terra	18
Sistema di videosorveglianza	19
Sistemi antincendio	19
Recinzione	20
Viabilità interna di servizio e piazzali	20
Quadri misure fiscali (QMF e QMG)	21

OPERE CIVILI PREVISTE.....	32
VERIFICHE, PROVE E COLLAUDI	33
Prove e collaudi sui componenti prima e durante l'installazione	33
Collaudi ad installazione completata	33
RIFERIMENTI NORMATIVI E LEGISLATIVI	36
ALLEGATI.....	40
Allegato A – Data sheet modulo fotovoltaico	41
Allegato B – Data sheet inverter	42
Allegato C – Cavi elettrici	43

PREMESSA

Nel presente documento sono definite le specificità tecniche di un impianto fotovoltaico collegato alla rete elettrica di alta tensione. La progettazione e realizzazione dell'impianto fotovoltaico persegue l'ottimizzazione del risultato economico utilizzando soluzioni tecniche e prodotti la cui qualità garantisca prestazioni dell'impianto e sicurezza delle persone per tutto il periodo di esercizio.

Il presente documento consistenti in:

- Progetto preliminare
- Survey topografico
- Fotografie dell'area di posa
- STMG per il punto di connessione alla rete E-Distribuzione

Le soluzioni proposte nel presente documento si riferiscono ad assunzioni progettuali.

DESCRIZIONE GENERALE

L'impianto fotovoltaico è progettato per produrre energia elettrica in collegamento alla rete di distribuzione. La potenza di picco dell'impianto prevista è pari a 13,8 MWp il collegamento alla rete verrà realizzato tramite realizzazione di una linea in MT a 15 kV da collegare alla stazione elettrica E-Distribuzione.

L'impianto fotovoltaico verrà realizzato a terra, nel comune di Portomaggiore in provincia di Ferrara, in un terreno al Foglio 122 particella 187, avente superficie totale di circa PROJECT : 6,30 ha su una superficie totale di 21 ha.

A completamento dell'opera vengono realizzati impianti ausiliari per: protezione scariche atmosferiche, videosorveglianza, illuminazione di sicurezza, ecc.

CARATTERISTICHE GENERALI DELL'INTERVENTO

DATI DI PROGETTO

L'intervento consiste della progettazione e realizzazione di un impianto fotovoltaico collegato alla rete elettrica in alta, da installare su terreno agricolo con strutture infisse nel terreno e di disegno tale da ottimizzare la captazione dell'energia solare disponibile. Nella seguente tabella sono riassunti i dati generali del progetto.

Luogo di installazione:	Comune di Portomaggiore (FE)
Denominazione impianto:	EG LAGUNA
Potenza di picco (MWp):	13,8
Tipo strutture di sostegno:	Inseguimento del tipo monoassiale
Inclinazione piano dei moduli:	0°
Rete di collegamento:	15 kV
Gestore della rete:	E-Distribuzione
Coordinate geografiche:	Latitudine 44°41'31.74"N Longitudine 11°52'41.05"E

ATTIVITÀ LEGATE ALLA REALIZZAZIONE DEL PROGETTO

Progettazione, servizi di ingegneria e project management

- elaborazione del progetto esecutivo e degli as-built dell'impianto;
- collaudo finale d'impianto + test-run settimanale prima della consegna al Cliente;
- fornitura della documentazione tecnica e gestione dei rapporti con il gestore della rete locale;
- coordinamento della sicurezza in fase di progettazione e realizzazione
- project management (project manager, site engineer)
- direzione dei lavori

Forniture materiali

- n° 23.808 moduli fotovoltaici;
- n° 60 inverter
- n° 4 trasformatori bt/bt per servizi ausiliari;
- n° 1 sistema di monitoraggio delle prestazioni di impianto;

- n° 1 sistema antincendio per ogni cabina;
- n° 1 sistema di videosorveglianza;
- n° 1 cabina di raccolta;
- cavi di potenza e di segnali per il collegamento fra i componenti forniti;
- scomparti elettrici di MT per collegamento, protezione e misura;
- accessori di montaggio e posa (cavidotti, canaline passerelle, ecc.);
- sistema di messa a terra;
- recinzione d'impianto.

Montaggi e posa in opera dei componenti

- opere di pulitura dell'area di posa;
- opere civili (livellamento, posa cabine, cavidotti, pozzetti, cabine prefabbricate, recinzione)
- opere elettromeccaniche connesse a:
- montaggio meccanico delle strutture di supporto;
- montaggio dei moduli fotovoltaici sulle strutture di sostegno ;
- cablaggio del generatore fotovoltaico;
- posa dei quadri elettrici di parallelo e di sottocampo;
- posa e cablaggio degli inverter;
- posa e cablaggio dei quadri elettrici (parallelo, sottocampo, servizi ausiliari);
- cablaggio di collegamento fra componenti;
- posa e cablaggio linee di segnale e sistema di monitoraggio impianto;
- sistema di terra;
- opere varie: sistema antincendio e videosorveglianza

Servizi durante il funzionamento

- Servizio di Esercizio, Monitoraggio e Manutenzione degli impianti (SEMM) comprendente:
- Gestione del monitoraggio da remoto con servizio di diagnostica in tempo reale e reporting dello stato d'impianto mensile con Relazione Tecnica di Esercizio (come punto precedente);
- Gestione della manutenzione preventiva completo delle clausole di garanzia;
- Gestione della manutenzione straordinaria

DESCRIZIONE TECNICA DELL'IMPIANTO

FOTOVOLTAICO

GENERATORE FOTOVOLTAICO (VEDI ALLEGATO A)

Il modulo fotovoltaico di progetto è composto da 144 celle solari rettangolari realizzate con silicio monocristallino. Questa nuova tecnologia migliora l'efficienza dei moduli, offre un migliore aspetto estetico rendendo il modulo perfetto per qualsiasi tipo di installazione.

La protezione frontale è costituita da un vetro a tecnologia avanzata costituito da una trama superficiale che consente di ottenere performance eccellenti anche in caso di condizioni di poca luminosità. Le caratteristiche meccaniche del vetro sono: spessore 3,2 mm; superficie antiriflesso; temperato.

La cornice di supporto è realizzata con un profilo in alluminio estruso ed anodizzato.



La scelta finale del modulo fotovoltaico da utilizzare è anche legata a valutazioni sul costo totale d'impianto che le tecnologie considerate in sede progettuale comportano. Un corretto bilanciamento tra prestazioni ottenibili e costi di approvvigionamento consente di offrire la migliore soluzione per la redditività d'impianto. Il modulo proposto è TRINA SOLAR mod. TSM-580DEG20C.20 da 580W.

Le scatole di connessione, sulla parte posteriore del pannello, sono realizzate in resina termoplastica e contengono all'interno una morsettiera con i diodi di bypass, per minimizzare la perdita di potenza dovuta ad eventuali fenomeni di ombreggiamento, ed i terminali di uscita, costituiti da cavi precablati a connessione rapida impermeabile.

Tutte le caratteristiche sono rilevate a Standard Test Conditions (STC): radiazione solare 1000 W/m², spettro solare AM 1.5, temperatura 25°C.

I moduli saranno assemblati meccanicamente su apposite strutture di sostegno e collegati elettricamente in modo tale da formare le stringhe, costituite da 28 moduli in serie e presenteranno le caratteristiche tecniche riportate di seguito:

Potenza (Wp)	580Wp
Corrente di cortocircuito (Isc)	18.21 A
Tensione a vuoto (Voc)	40.9 V
Corrente ad MPP (Imp)	17.16 A

Per la determinazione dei parametri elettrici delle stringhe, sono stati assunti i seguenti valori di temperatura:

- Triferimento = 25° C;
- T_{minima} = -10° C;
- T_{massima} = 70° C.

Occorre verificare che in corrispondenza dei valori minimi di temperatura esterna e dei valori massimi di temperatura raggiungibili dai moduli fotovoltaici risultino essere verificate tutte le seguenti disuguaglianze:

$$V_{\max \min} \geq V_{\text{inv MPPTmin}}$$

$$V_{\max \max} \leq V_{\text{inv MPPT max}}$$

$$V_{\text{oc max}} < V_{\text{inv max}}$$

dove:

V_{\max} = Tensione alla massima potenza, delle stringhe fotovoltaiche

$V_{\text{inv MPPT min}}$ = Tensione minima per la ricerca del punto di massima potenza, da parte dell'inverter

$V_{\text{inv MPPTmax}}$ = Tensione massima per la ricerca del punto di massima potenza, da parte dell'inverter

V_{oc} = Tensione di circuito aperto, delle stringhe fotovoltaiche

$V_{\text{inv max}}$ = Tensione massima in c.c. ammissibile ai morsetti dell'inverter

Il modulo selezionato è provvisto di:

- IEC61215 and IEC61730 standards
- connettori rapidi
- Cavi precablati

Il progetto del generatore fotovoltaico vede l'installazione di **23.808 moduli fotovoltaici suddivisi in 4 sottocampi indipendenti** con medesime caratteristiche elettriche. Ogni sottocampo è collegato ad un suo inverter per la trasformazione da continua ad alternata.

Nelle tabelle seguenti sono riportate le caratteristiche elettriche dei sottocampi:

Caratteristiche elettriche del sottocampo da #1 a #4	
N° moduli totali	5.952
N° moduli in serie (stringa)	32
N° stringhe	186
Potenza totale di picco	3.452 kWp
Tensione alla max potenza (Vmp)	979 V
Tensione a vuoto (Voc)	1.308 V
Corrente di corto circuito (Icc)	18.21 A
Corrente alla max potenza (Imp)	17.16 A

L'impianto riduce le emissioni inquinanti in atmosfera secondo la seguente tabella annuale:

Equivalenti di produzione termoelettrica	
Anidride solforosa (SO ₂):	16.422,00 kg
Ossidi di azoto (NO _x):	20.697,82 kg
Polveri:	734,42 kg
Anidride carbonica (CO ₂):	12.235,1 t

Equivalenti di produzione geotermica	
Idrogeno solforato (H ₂ S) (fluido geotermico):	718,94 kg
Anidride carbonica (CO ₂):	138,48 t
Tonnellate equivalenti di petrolio (TEP):	5395,77 TEP

STRUTTURA DI SUPPORTO

Le strutture di supporto dei moduli fotovoltaici saranno ad inseguimento del tipo monoassiale, ad infissione nel terreno con macchina operatrice battipalo; sono costituite da tubolari metallici in acciaio zincato a caldo opportunamente dimensionati, che vengono posizionati ad un'altezza di circa 2,7-3 m e posizionati orizzontalmente seguendo la giacitura del terreno. La struttura a reticolo viene appoggiata a pilastri di forma rettangolare di medesima sezione ed infissi nel terreno ad una profondità variabile in funzione delle caratteristiche litologiche del suolo e comunque solitamente non superiori a 3,0 m. Le fondazioni sono costituite da supporti in acciaio a sezione trapezoidale aperta collocati nel terreno mediante infissione diretta, alla cui sommità verranno collegati tramite bullonatura le strutture del "tracker" di sostegno dei pannelli.



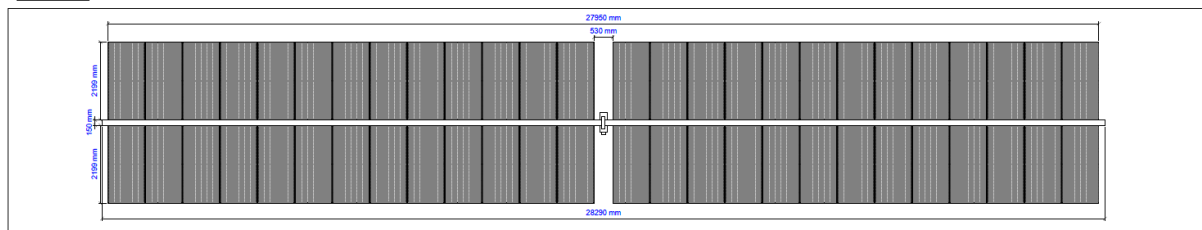
Elettricamente le strutture sono collegate alla terra di impianto per assicurare la protezione contro le sovratensioni indotte da fenomeni atmosferici.

Il portale tipico della struttura progettata è costituito dalla stringa di 32 moduli montati con una disposizione 2V42 / 2V28. Affiancando le stringhe si ottengono schiere della lunghezza opportuna in relazione alla sagoma dell'area disponibile.

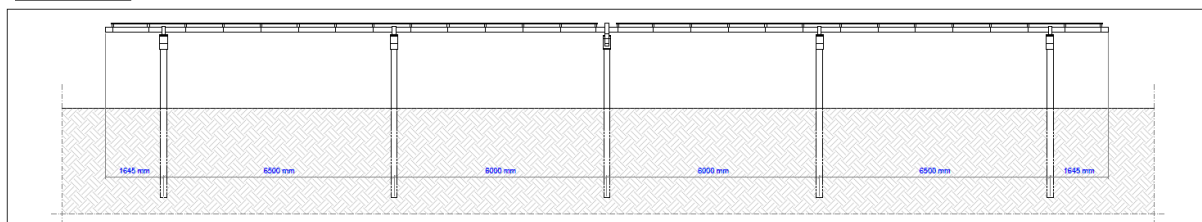
L'altezza massima delle strutture (considerando sia i tracker che i pannelli) sarà inferiore ai 4,8 m dal terreno.

Di seguito si riportano delle rappresentazioni della struttura di supporto.

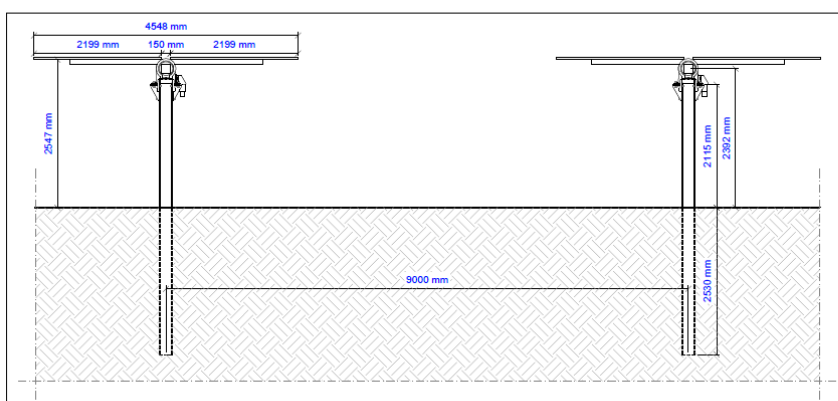
Vista dall'alto



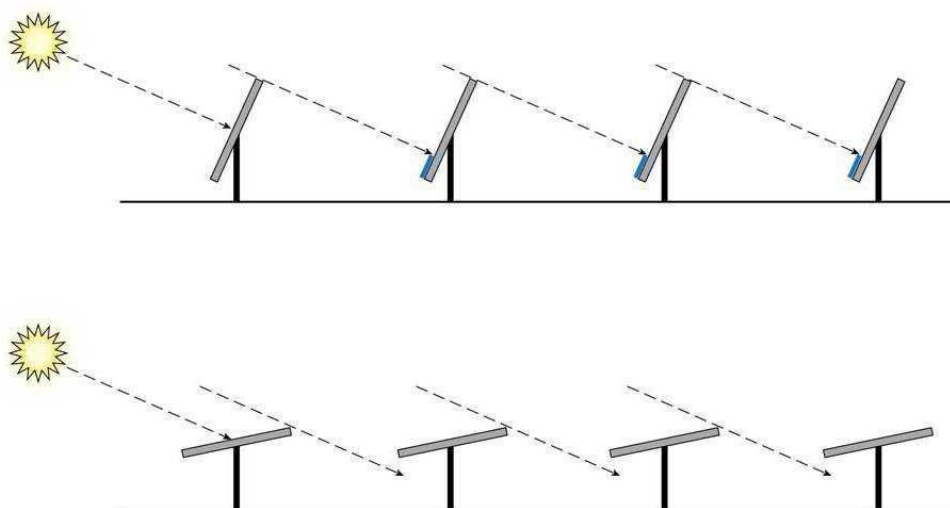
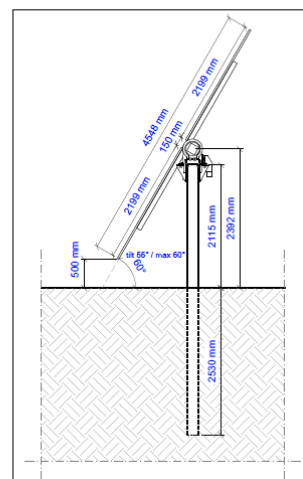
Vista frontale - Tilt 0°



Vista laterale - Tilt 0°



Vista laterale - Tilt massimo



QUADRI ELETTRICI

La realizzazione dell'impianto fotovoltaico necessita di una serie di quadri per il collegamento elettrico dei componenti sia nella sezione in corrente continua che in quella in alternata (bassa tensione e media tensione). L'installazione sarà predisposta con tutti gli elementi di protezione elettrica previsti dalla normativa vigente sia contro i contatti diretti (interruttori) che contro quelli indiretti (differenziali). Tutti i quadri elettrici installati in interno saranno caratterizzati da codici IP41. Quelli in esterno in IP65.

Quadri di parallelo stringhe in corrente continua

I quadri di parallelo hanno la funzione di:

- collegamento in parallelo delle stringhe fotovoltaiche;
- protezioni contro le correnti di ricircolo attraverso fusibili per ogni stringa
- protezione da sovratensioni indotte da fulminazioni, mediante scaricatori a stella connessi a terra e montati in modo da ridurre le impedenze di collegamento
- sezionamento in uscita delle stringhe in parallelo.
- monitoraggio delle stringhe (tensione sul parallelo e corrente di stringa)

I quadri sono previsti realizzati in PVC e fissaggio alle strutture di sostegno tramite staffe in modo che il quadro si trovi ad altezza idoneo ad interventi di manutenzione senza attrezzature aggiuntive.

Quadri di sezionamento in corrente continua

I quadri di sezionamento hanno la funzione di:

- collegamento in parallelo dei quadri di parallelo attinenti alla stessa sezione di un inverter;
- sezionamento delle sezioni di generatore fotovoltaico in ingresso.

I quadri sono previsti realizzati in PVC e fissaggio alle strutture di sostegno tramite staffe in modo che il quadro si trovi ad altezza idoneo ad interventi di manutenzione senza attrezzature aggiuntive.

Quadro generale in bassa tensione

I quadri di parallelo in alternata hanno la funzione di:

- collegamento in parallelo degli inverter;
- protezione elettrica (dispositivo di generatore secondo CEI 11-20).

I quadri sono previsti realizzati in PVC e posata a terra in interno alla cabina inverter.

Quadro servizi ausiliari di cabina (n° 1)

Il quadro generale servizi ausiliari ha la funzione di:

- alimentare e proteggere le utenze di cabina;

Il quadro è previsto realizzato in PVC e fissaggio a parete in interno alla cabina inverter/trasformazione.

Scomparti in media tensione

Gli scomparti di media tensione a 30 kV saranno de cioè con garanzia della continuità del servizio delle altre unità funzionali (ad eccezione del compartimento sbarre) e dotati di separatori di tipo metallico.

- la cella apparecchiature MT sarà sistemata nella parte inferiore frontale dell'unità, con accessibilità tramite porta incernierata o pannello asportabile. La cella contiene:

interruttore in SF6, montato su carrello, in esecuzione estraibile/asportabile, connesso al circuito principale con giunzioni flessibili imbullonate e completo di blocchi e accessori;

IMS o sezionatore rotativo di linea (chiuso/aperto sulla linea) isolato in aria;

sezionatore di messa a terra;

fusibili di media tensione;

terna di derivatori capacitivi, installati in corrispondenza dei terminali cavi;
 attacchi per l'allacciamento dei cavi di potenza;
 trasformatori di misura (TA e TV);
 canalina riporto circuiti ausiliari in eventuale cella BT;
 comando e leverismi dei sezionatori;
 sbarra di messa a terra

- la cella sbarre MT sarà ubicata nella parte superiore dell'unità e conterrà il sistema di sbarre principali in rame elettrolitico. Le sbarre attraverseranno le unità senza interposizione di diaframmi intermedi, in modo da costituire un condotto continuo. Al fine di garantire al personale le necessarie condizioni di sicurezza, la cella sbarre è segregata dalle celle apparecchiature con grado di protezione IP20 (CEI EN 60529). Le sbarre principali (comprese le derivazioni) saranno realizzate in tondo di rame rivestito con isolanti termorestringenti e dimensionate per sopportare le correnti di corto circuito dell'impianto.

SISTEMA DI CONDIZIONAMENTO DELLA POTENZA (INVERTER) – (VEDI ALLEGATO B)

I moduli fotovoltaici generano corrente continua di intensità proporzionale all'irraggiamento incidente. Affinché il sistema fotovoltaico possa funzionare in parallelo con la rete esistente, è necessario convertire la corrente continua in corrente alternata, avente le stesse caratteristiche (tensione e frequenza) di quella della rete. La conversione è effettuata da uno o più dispositivi in parallelo elettrico fra loro (inverter).

L'inverter funziona come un generatore di corrente ed è in grado di estrarre, in ogni momento, la massima potenza che il generatore fotovoltaico può fornire in quell'istante (che è variabile nel corso delle giornate in funzione della temperatura ambiente e dell'irraggiamento solare).

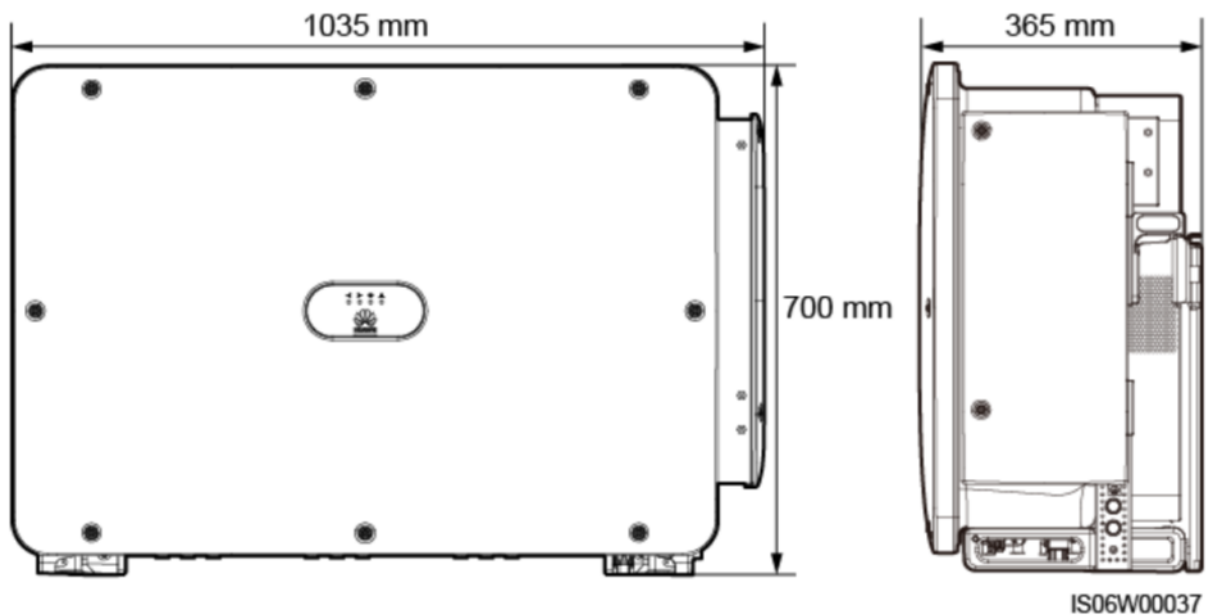
La scelta dell'inverter ottimale dipende dal tipo di impianto in progetto (tensioni, correnti, tecnologia del generatore fotovoltaico) e dalle condizioni di posa dell'apparecchiatura in campo (indoor o outdoor). Le scelte progettuali sono orientate verso quei prodotti che soddisfano i seguenti requisiti tecnici considerati dallo staff progettuale come di riferimento:

- tecnologia aggiornata con soluzioni innovative per evitare una prematura obsolescenza;
- scelta della configurazione elettrica d'impianto che minimizza i rischi di mancata produzione a seguito di un guasto (frazionamento);
- elevata affidabilità, comprovata da anni di esercizio in impianti
- funzionamento completamente automatico completo senza perdite nei periodi notturni o a basso irraggiamento
- sicurezza elettrica mutua tra rete-impianto;
- sicurezza elettrica verso il personale di manutenzione;
- completa compatibilità elettromagnetica;
- totale rispetto delle normative tecniche del settore (CEI, ENEL DV 1604, DK5940 DK5950 etc.)
- nessun assorbimento di potenza reattiva ($\cos\phi 1$, rifasamento non necessario);

Il primo scenario contempla l'utilizzo di string-inverter:

INVERTER tipo SUN2000-215KTL-H0 della HUAWEI TECHNOLOGIES

Lo string-inverter é ubicato alla fine di una fila di tracker e fissato sul palo. L'inverter é installato all'aperto, e utilizza un sistema di raffreddamento ad aria "smart air cooling" in modo da mantenere la temperatura interna nel range che evita un derating della potenza della macchina ed un veloce invecchiamento dei componenti elettronici.



In progetto è stato predisposto uno spazio all'interno di una cabina prefabbricata per ospitare i trasformatori e i quadri di protezione uscita inverter (AC-combiners).

Il secondo scenario contempla l'utilizzo di inverter centrali:

INVERTER tipo "SUNGROW SG 3125 HV-MV-30 (3437kVA)

Gli inverter centrali sono posizionati in un edificio prefabbricato e dotato di ventilazione forzata in modo da mantenere la temperatura interna nel range che evita un derating della potenza della macchina ed un veloce invecchiamento dei componenti elettronici.



In progetto è stato predisposto uno spazio all'interno di una cabina prefabbricata per ospitare gli inverter centrali e relativi trasformatori BT/MT.

SISTEMA DI ACCUMULO

La capacità di carica di una batteria solare è intesa come la quantità di elettricità che una batteria può fornire e si misura in ampere ora (Ah).

Le variabili fondamentali che definiscono la capacità della batteria sono:

- tempo di caricamento, tempo di download o velocità di upload / download
- intensità di scarica
- temperatura
- tensione di scarica finale

La capacità di una batteria è determinata in base alla durata della scarica e questo valore è fornito dal produttore per una durata di 10 ore (C10) o 100 ore (C100). Questo valore è la capacità nominale (CN). Per calcolare la capacità di una batteria per uso solare, per carica o scarica, possiamo utilizzare la seguente equazione:

$$CN [Ah] = IN [A] * Durata della carica/scarica [h]$$

Essendo CN la capacità nominale della batteria e IN la corrente di carica o scarica.

Poiché gli impianti solari fotovoltaici hanno cicli di scarica lenti, viene utilizzato il termine capacità di scarica C₁₀₀.

La profondità di scarica di una batteria è la percentuale della capacità totale della batteria utilizzata durante un ciclo di carica o di scarica.

Il progetto prevede di installare in posizione adiacente alle cabine che ospiteranno gli inverter e i trasformatori un'altra cabina prefabbricata di altezza 2,43m per l'eventuale stoccaggio di sistemi di batterie nel caso in cui la legislazione nazionale/europea richieda tali dispositivi per migliorare la qualità della potenza immessa nella rete nazionale.

L'eventuale sistema di accumulo dell'impianto avrà una potenza picco pari al 7/10% della potenza picco dell'impianto fotovoltaico e seguirà dei cicli di carica/scarica del 80% / 30%.

Sarà costituito da batterie di ultima generazione (Li).

Esempio di sistema di accumulo in un impianto fotovoltaico.



CABINE ELETTRICHE

Sono previste cabine monolitiche auto-portanti in cemento armato trasportabili su camion in un unico blocco già assemblate ed allestite delle apparecchiature elettromeccaniche di serie (non dei componenti che vengono alloggiati in campo). Si appoggia a basamenti di tipo prefabbricato e sono totalmente recuperabili. Sono realizzate in calcestruzzo vibrato confezionato con cemento ad alta resistenza adeguatamente armato con pareti internamente ed esternamente trattate con un rivestimento murale plastico idrorepellente costituito da resine sintetiche pregiate, polvere di quarzo, ossidi coloranti ed additivi che garantiscono il perfetto ancoraggio sulla parete, inalterabilità del colore e stabilità agli sbalzi di temperatura. L'elemento di copertura è provvisto di un manto impermeabilizzante costituito da una guaina bituminosa elastomerica, applicata a caldo, con spessore minimo di 3 mm. ricoperta da scaglie di ardesia con funzione protettiva e riflettente dei raggi solari.

L'armatura interna del prefabbricato totalmente collegata elettricamente, crea una vera gabbia di Faraday tale da proteggere tutto il sistema da sovratensioni atmosferiche limitando inoltre, a valori trascurabili, gli effetti delle tensioni di passo e di contatto. L'armatura metallica è costituita da acciaio e rete elettrosaldata. Le caratteristiche di resistenza della cabina ne rendono idonea la posa anche in zone sismiche di Categoria sismico 2 secondo le prescrizioni previste dalla normativa vigente.

CABINA INVERTER/TRASFORMAZIONE

La cabina di conversione ha una struttura idonea ad ospitare e proteggere:

- la ricezioni cavi di sottocampo;
- gli inverter dedicati alla trasformazione da cc a ca;
- il quadro generale di bassa tensione;

- quadro servizi ausiliari per l'alimentazione in bassa tensione ed in corrente continua del sistema di acquisizione dati, servizi interni (illuminazione, antincendio ecc.), ausiliari inverter, alimentazione elettrica di emergenza (UPS) per i servizi essenziali d'impianto in caso di fuori servizio della rete di collegamento;
- ricezioni cavi dal parallelo inverter;
- trasformatore elevatore BT/MT completo di accessori;
- trasformatore abbassatore BT/BT completo di accessori destinato all'alimentazione degli ausiliari;
- scomparti MT di protezione trasformatore e risalita sbarre e misure;

TRASFORMATORI MT/BT

La scelta del trasformatore negli impianti fotovoltaici si può orientare verso due tipologie costruttive: trasformatori in olio oppure in resina. I trasformatori in olio sono certamente i più diffusi: l'olio usato come mezzo isolante e di raffreddamento è più efficace dell'aria, ma costituisce un fattore di rischio di incendio più elevato. Inoltre, i trafo in olio richiedono una manutenzione cadenzata legata al dielettrico utilizzato. Il vantaggio dell'adozione di un trafo in olio è un costo d'acquisto più contenuto e perdite minori soprattutto nel ferro. D'altro canto, i trasformatori in resina necessitano di una manutenzione contenuta legata alla sola pulizia dei condotti d'aria per il raffreddamento ed hanno un ingombro inferiore a pari potenza. Per il presente progetto è stata prevista l'esecuzione in olio.

Le macchine saranno a perdite ridotte ed in esecuzione speciale per avere tensione secondaria adeguata alla tensione di uscita degli inverter.

CABINA 1



Potenza nominale: 3437 kVA

LV/MV voltaggio: 0,6/30 kV

Tipo di raffreddamento del trasformatore: ONAN

Collegamenti: Dy11

TRASFORMATORE SERVIZI AUSILIARI MT/BT

E' previsto un trasformatore MT/BT, in esecuzione a giorno montato in box, completo di nucleo a colonna con giunti intercalati, lamierini a cristalli in carlyte, avvolgimenti in rame elettrolitico isolati con doppio smalto o carta di pura cellulosa, commutatore di tensione a 4 posizioni, dispositivi di protezione (termometro a due contatti e centralina di temperatura collegata con le termosonde inserite nei rispettivi avvolgimenti) ed isolatori a spina.

Caratteristiche tecniche:

- potenza nominale: 3437 kVA;
- tensione primaria: 30 kV;

- tensione secondaria: 600 V
- gruppo vettoriale: Dyn11;

Il primario del trasformatore servizi ausiliari sarà protetto da un fusibile abbinato ad un interruttore di manovra sezionatore, mentre per la protezione delle linee di bassa tensione attraverso le quali verranno alimentati i servizi ausiliari, si utilizzeranno interruttori automatici di tipo magnetotermico-differenziale, installati in un apposito quadro di bassa tensione denominato “quadro elettrico servizi ausiliari”.

CABINA DI RACCOLTA MT/HV

Le cabine in campo sono collegate in entra-esce fino all'unica cabina di raccolta. All'interno della cabina è installato un Quadro MT ed un Quadro BT per la gestione dei servizi ausiliari.

Il Quadro MT è in lamiera zincata ed elettrozincata/verniciata, composto da unità modulari e compatte ad isolamento in aria, equipaggiate con apparecchiature di interruzione e sezionamento isolate in SF6.

Caratteristiche tecniche:

- Tensione di isolamento 36 kV;
- Tenuta al corto circuito: 16 kA per 1 sec;
- Corrente nominale 630 A.

Il quadro elettrico di media tensione sarà costituito dai seguenti scomparti:

- 1 scomparto di arrivo linea completo di spie presenza rete, risalita sbarre, TA e TO di protezione;
- 1 scomparto di protezione generale composto da un IMS e da un interruttore a comando motorizzato. Tale scomparto costituisce anche dispositivo di interfaccia alla rete;
- 2 scomparti misure fiscali e protezioni;
- 2 scomparti partenza linee;
- 1 scomparto protezione trasformatore servizi ausiliari.

Lo scomparto interruttore generale conterrà il dispositivo generale (DG), costituito da un interruttore tripolare e un sezionatore di linea. Il dispositivo generale sarà dotato del sistema di protezione generale (SPG) richiesto dalla Norma CEI 0-16, e comprenderà i seguenti relè di protezione:

- ✓ protezione 50 e 51;
- ✓ protezione 50N e 51N;
- ✓ protezione 67N.

Lo stesso dispositivo potrà svolgere anche la funzione di protezione di interfaccia (PI) e pertanto sarà corredato delle ulteriori seguenti protezioni:

- ✓ protezione 27;
- ✓ protezione 59;
- ✓ protezione 81<;
- ✓ protezione 81>;
- ✓ protezione 59N.

Ciascuno scomparto partenza linee conterrà un dispositivo per la protezione delle linee di media tensione contro le sovracorrenti, costituito da un interruttore tripolare e da un sezionatore di linea, corredato dai seguenti relè di protezione:

- ✓ protezione 50 e 51;
- ✓ protezione 50N e 51N;

✓ protezione 67 N.

Da ciascuno scomparto linea, partirà una linea di media tensione in cavo interrato che andrà ad attestarsi sul quadro elettrico di media tensione installato all'interno della corrispondente cabina di conversione e trasformazione.

È previsto inoltre uno scomparto servizi ausiliari, all'interno del quale verrà installato un trasformatore MT/BT da 400kVA con il relativo quadro di bassa tensione per l'alimentazione dei seguenti servizi ausiliari di centrale:

✓ relè di protezione;

✓ sganciatori degli interruttori MT;

✓ relè ausiliari per la segnalazione delle avarie

SISTEMA DI MONITORAGGIO DELLE PRESTAZIONI (SISTEMA PROPRIETARIO)

Per la gestione ed il monitoraggio del sistema FV è prevista la realizzazione di un sistema di supervisione in grado di gestire l'impianto ed in grado di poter gestire eventuali espansioni future.

Il tutto sarà realizzato per mezzo di una rete di comunicazione principale di sistema che permetterà il colloquio tra la postazione di supervisione, il dispositivo di automazione (PLC) e tra quest'ultimo e le apparecchiature di campo intelligenti (protezioni, strumenti multifunzione ecc..). Il collegamento sarà costituito in maniera mista in fibra ottica e da una rete Ethernet TCP/IP per il collegamento dei terminali.

Il protocollo impiegato per tale comunicazione sarà lo standard ModBus TCP/IP.

Il PLC scambierà i dati con la postazione di supervisione locale dell'impianto costituita da un PC industriale montato sul fronte del suddetto armadio d'automazione.

Sul PC verrà installato l'applicativo di supervisione appositamente sviluppato per la gestione completa del lotto elettrico e per l'acquisizione e contabilizzazione dei consumi energetici.

Particolare attenzione verrà posta sull'implementazione del sistema di controllo della potenza in immissione, che tramite la misurazione dei valori di tensione e corrente, calcolerà la somma con segno della potenza attiva istantanea totale in entrata o in uscita e tramite comunicazione con gli inverter, analizzando il dato rilevato di potenza totale e il verso, limiterà eventuali immissioni al valore massimo impostato di 16 MW del preventivo Terna.

Infine, tramite il PLC stesso sarà possibile la gestione di un modem Web GSM che consente l'invio di messaggi SMS sul cellulare del manutentore/operatore elettrico alla comparsa di allarmi critici sull'impianto gestito.

STAZIONE METEOROLOGICA

All'interno dei campi è inoltre prevista l'impiego di stazioni meteorologiche assemblate e configurate specificatamente per il monitoraggio dell'efficienza energetica degli impianti fotovoltaici aventi i requisiti previsti dalle normative di settore (IEC9060, WMO, CEI 82-5 e IEC60904) e dotate di sistemi operativi e web-server integrati.

L'installazione tipica comprende i seguenti sensori:

- Sensore di Temperatura e Umidità Relativa dell'Aria a norma del WTO, con schermo solare a ventilazione naturale in alluminio anodizzato.
- Sensore per la misura della temperatura di pannelli fotovoltaici o superfici piane a contatto adesivo costituito da termistore con involucro di alluminio e cavo teflonato lungo 10 metri.

- Sensore Radiazione Solare Globale a termopila a norma WMO, I Classe.
- Sensore Radiazione Solare Globale a termopila a norma WMO, I Classe con schermo a banda equatoriale manuale per la misura della sola componente diffusa della radiazione.
- Sensore Velocità Vento a norma WMO in alluminio anodizzato.
- Sensore Direzione Vento a norma WMO in alluminio anodizzato.
- Datalogger multicanale con sistema operativo e web-server integrato.
- Modulo con scheda di protezione segnali e interfaccia dotato di doppio livello di protezione segnali da sovratensioni e scariche indirette tramite scaricatori a gas e diodi speciali.
- Alimentazione di base 220V. Opzionalmente tramite pannello fotovoltaico
- Trasmissione dati di base di tipo LAN. Opzionalmente wireless, GPRS, Satellitare.
- Palo 5 metri autoportante in alluminio anodizzato anticorrosione composto da elementi (2m+3m), completo di supporti per 6 sensori, base di sostegno(20x20cm) e kit viterie in acciaio inox. Pesa 17kg.
- Cavi sensore-datalogger con terminazione a connettore PS2 o Puntalini lato datalogger e connettore 7 poli IP68 lato sensore, lunghi 5 metri
- Cavi sensore-datalogger con terminazione a connettore PS2 o Puntalini lato datalogger e connettore 7 poli IP68 lato sensore, lunghi 10 metri

Grazie ai dati forniti dai piranometri e le misure dei parametri ambientali e prestazionali (temperatura, umidità, vento, temperatura superficiale pannello ed opzionalmente corrente e tensione), è possibile ottenere un costante monitoraggio dell'impianto fotovoltaico correggendo i dati in funzione della posizione del pannello solare, attraverso uno speciale algoritmo implementato nel datalogger.



RETE DI TERRA

Il sistema di terra comprende le maglie interrato intorno alle cabine, i collegamenti tra le cabine e i collegamenti equipotenziali per la protezione dai contatti indiretti, fino agli inverter. Ciascuna maglia di terra avrà un layout secondo quanto riportato nei disegni di progetto.

L'estensione della rete di terra, realizzata con corda di rame nudo interrato e collegata alle armature di fondazione, dovrebbe garantire un valore della resistenza di terra sufficientemente basso. Solo in caso di necessità in fase di collaudo, a posa e rinterro avvenuto, si procederà all'installazione di picchetti dispersori aggiuntivi.

Tutte le parti metalliche della sezione di impianto in corrente continua (quadri elettrici, SPD, strutture metalliche di sostegno) devono essere rese equipotenziali al terreno, mediante collegamento diretto con la corda di rame nudo interrata.

Tutte le parti metalliche della sezione di impianto in corrente alternata (convertitori, quadri elettrici, SPD, trasformatori) devono essere rese equipotenziali al terreno, mediante collegamento con il centro-stella dei trasformatori MT/BT, a loro volta messi a terra.

I collegamenti di terra sono eseguiti a “regola d’arte” da personale qualificato.

La rete di terra è realizzata con i seguenti componenti principali:

- Conduttori di terra: corda di rame nudo da 95 mm² corda di rame nudo da 35 mm² cavo di rame da 240 mm² con guaina giallo/verde cavo di rame da 50 mm² con guaina giallo/verde cavo di rame da 35 mm² con guaina giallo/verde
- (eventuale) picchetti dispersori a croce in acciaio zincato da 2 m, con i relativi pozzetti di ispezione in plastica

I conduttori di terra, ove prescritto, devono essere interrati appena possibile. Le connessioni elettriche interrate devono essere realizzate con morsetti a compressione. Le connessioni fuori terra devono essere realizzate con morsetti o con piastre di derivazione.

A distanza regolare devono essere realizzati dei pozzetti di derivazione per agevolare i collegamenti fuori terra. Tutte le connessioni devono essere realizzate con materiali resistenti alla corrosione.

Ciascuna struttura di sostegno dei moduli fotovoltaici deve essere collegata ai picchetti mediante una corda di rame nudo 25 mm². La corda di rame deve essere collegata alla struttura tramite capocorda ad occhiello, bullone e rondella in acciaio zincato, fissati nell'apposito foro previsto. La corda di rame deve essere interrata appena possibile.

CONVERTITORI

Le parti metalliche non in tensione di ciascun convertitore devono essere collegate con il l'impianto di terra dell'impianto.

SISTEMA DI VIDEOSORVEGLIANZA

Gli elementi che compongono il sistema di videosorveglianza proposto sono i seguenti:

- Sottosistema di controllo anti-intrusione: protezione perimetrale con barriera ad infrarossi
- Sottosistema di controllo a circuito chiuso televisivo
- Sottosistema di comunicazione

La protezione del sistema di videosorveglianza consiste nell'installazione di un sistema antintrusione di tipo perimetrale con barriera a raggi infrarossi combinato con telecamere sorvegliate reciprocamente a circuito chiuso in modo da verificare visivamente lo stato della barriera ad infrarossi. In caso di necessità si attivano anche fari alogeni per l'illuminazione dell'area.

Il sistema antintrusione permetterà la gestione degli allarmi e la attivazione dei dispositivi sia localmente che da remoto.

I dissuasori aggiuntivi saranno sonori con sirene ad alta potenza dotate di lampade a luce flash.

SISTEMI ANTINCENDIO

Sono previsti sistemi ad estintore in ogni cabina presente e alcuni estintori aggiuntivi per eventuali focolai esterni alle cabine (sterpaglia, erba secca, ecc.).

RECINZIONE

E' prevista una recinzione perimetrale dell'area di installazione formata da rete metallica a pali infissi senza opere di fondazione. Ad integrazione, è prevista l'installazione di un cancello carrabile per un'agevole accesso all'area d'impianto.

Viabilità interna di servizio e piazzali

Sarà realizzata una stradina bianca (circa 4 m) per l'ispezione dell'area di centrale lungo tutto il perimetro dell'impianto e per l'accesso alle piazzole delle cabine. Le opere viarie saranno costituite da uno scavo di pulizia del terreno, per uno spessore di 20 centimetri, dalla fornitura e posa in opera di tessuto non tessuto (se necessario) ed infine dalla fornitura e posa in opera di brecciolino opportunamente costipato per uno spessore di 10 centimetri.

Soluzioni impiantistiche di protezione

In riferimento all'individuazione e classificazione del volume da proteggere, in accordo alle norme CEI 81-10 1/2/3/4 e CEI 82-4, il generatore fotovoltaico viene protetto contro gli effetti prodotti da sovratensioni indotte a seguito di scariche atmosferiche utilizzando scaricatori del tipo SPD di classe II sul lato DC da posizionare dentro i quadri di campo.

Protezione contro i contatti diretti

La protezione contro i contatti diretti è assicurata dall'utilizzo dei seguenti accorgimenti:

- utilizzo di componenti aventi un idoneo grado di protezione alla penetrazione di solidi e liquidi;
- collegamenti effettuati utilizzando cavo rivestito con guaina esterna protettiva, idoneo per la tensione nominale utilizzata e alloggiato in condotto portacavi (canale o tubo a seconda del tratto) idoneo allo scopo. Alcuni brevi tratti di collegamento tra i moduli fotovoltaici non risultano alloggiati in tubi o canali. Questi collegamenti, tuttavia, essendo protetti dai moduli stessi, non sono soggetti a sollecitazioni meccaniche di alcun tipo, né risultano ubicati in luoghi ove sussistano rischi di danneggiamento.

Protezione contro i contatti indiretti

Il sistema in corrente continua costituito dalle serie di moduli fotovoltaici e dai loro collegamenti agli inverter è un sistema denominato flottante cioè senza punto di contatto a terra.

La protezione nei confronti dei contatti indiretti è assicurata, in questo caso, dalle seguenti caratteristiche dei componenti e del circuito:

- protezione differenziale $I_N = 30 \text{ mA}$.
- collegamento al conduttore PE delle carcasse metalliche.

L'elevato numero di moduli fotovoltaici suggerisce misure di protezione aggiuntive rispetto a quanto prescritto dalle norme CEI 64-8, le quali consistono nel collegamento equipotenziale di ogni struttura di sostegno.

L'inverter e quanto contenuto nei quadri elettrici c.a. sono collegati al sistema di terra dell'impianto e pertanto fanno parte del sistema elettrico TN di quest'ultimo.

La protezione contro i contatti indiretti è assicurata dai seguenti accorgimenti:

- collegamento al conduttore di protezione PE di tutte le masse;
- i dispositivi di protezione inseriti nel quadro di distribuzione b.t. intervengono in caso di primo guasto verso terra con un ritardo massimo di 0,4 secondi, oppure entro 5 secondi con la tensione sulle masse in quel periodo non superiore a 50 V.

Protezione contro gli effetti delle scariche atmosferiche

Fulminazione diretta

L'impianto fotovoltaico non influisce, in modo apprezzabile, sulla forma o volumetria e pertanto non aumenta la probabilità di fulminazione diretta sul sito.

Fulminazione indiretta

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 tra cui, in particolare, gli inverter.

I terminali e i morsetti di ciascuna stringa fotovoltaica, lato corrente continua degli inverter, saranno protetti internamente con scaricatori di sovratensione.

QUADRI MISURE FISCALI (QMF E QMG)

I QMF e QMG sono costituiti da contatori bidirezionali di energia attiva/reattiva, comprensivi di dispositivo per la trasmissione remota dei dati acquisiti.

Servizi di cabina

All'interno dei locali cabine si dovranno prevedere i seguenti servizi di cabina:

- impianto di ventilazione forzata attivato con termostato;
- n. 2 plafoniere 1x36W tutte dotate di kit di emergenza autonomia minima 180 minuti;
- n.2 prese industriali di tipo industriale interbloccate 2P+T e 3P+T da 16;
- n.1 sistema di supervisione e controllo con interfaccia GPRS.

I servizi ausiliari di cabina saranno alimentati da un'utenza elettrica in BT appositamente dedicata, indipendente dal sistema di generazione locale.

Collegamenti elettrici in bassa tensione

All'interno dell'impianto di utenza si individuano tre differenti tipologie di cavi di bassa tensione:

- cavi elettrici di bassa tensione in corrente continua per il collegamento dalle stringhe agli inverter.
- cavi elettrici di bassa tensione in corrente alternata per il collegamento dagli inverter ai quadri elettrici di bassa tensione
- cavi di bassa tensione in c.a. per il collegamento dei quadri elettrici di bassa tensione agli avvolgimenti di bassa tensione di trasformatori e agli inverter di stringa;

Di seguito verranno descritte le caratteristiche delle tipologie di cavi e i criteri adottati ai fini del loro dimensionamento.

Cavi c.c. BT

Stringhe

Le stringhe fotovoltaiche normalmente sono installate a portata di mano, all'esterno e sottoposte agli agenti atmosferici. Occorre pertanto che siano in grado di resistere alle sollecitazioni meccaniche e atmosferiche cui possono essere sottoposte durante la vita dell'impianto.

Generalmente si utilizzano cavi solari del tipo FG21M21 per cablare i moduli di una stringa e cavi ordinari posati all'interno di tubi protettivi per gli altri collegamenti del circuito in c.c.

DESCRIZIONE

Cavo unipolare flessibile stagnato per collegamenti di impianti fotovoltaici. Isolamento e guaina realizzati con mescola elastomerica senza alogeni non propagante la fiamma.

Conduttore

Corda flessibile di rame stagnato, classe 5

Isolante

HEPR - tipo G21

Guaina esterna

Mescola elastomerica reticolata senza alogeni tipo M21

Colore anime

Nero

Colore guaina

Blu, rosso, nero

CARATTERISTICHE TECNICHE

Tensione massima: 1800 V c.c. - 1200 V c.a.

Temperatura massima di esercizio: 90°C

Temperatura minima di esercizio: -40°C

Temperatura minima di posa: -40°C

Temperatura massima di corto circuito: 250°C

Sforzo massimo di trazione: 15 N/mm²

Raggio minimo di curvatura: 4 volte il diametro esterno massimo

CONDIZIONI DI IMPIEGO

Per l'interconnessione di elementi di impianti fotovoltaici. Adatti per l'installazione fissa all'esterno e all'interno, entro tubazioni in vista o incassate o in sistemi chiusi simili. Adatti per la posa direttamente interrata o entro tubo interrato.

Cavi C.C quadri di parallelo stringhe – Inverter

Questi cavi si utilizzano nella configurazione con inverter centrale. Generalmente si utilizzano cavi solari del tipo AI-XZ1

DESCRIZIONE

Cavo unipolare in alluminio privo di alogeni e ignifugo.

Conduttore

Rigido di alluminio, classe 2

Isolante

XLPE, tipo DIX3

Guaina esterna

Mescola speciale priva di alogeni, tipo FLAMEX DMO1

Colore anime

Nero

Colore guaina

Nero

CARATTERISTICHE TECNICHE

Tensione: 0.6/1 kV

Temperatura massima di esercizio: 90°C

Temperatura minima di esercizio: -40°C

Temperatura minima di posa: -40°C

Temperatura massima di corto circuito: 250°C

Raggio minimo di curvatura: 5 volte il diametro esterno massimo

CONDIZIONI DI IMPIEGO

Si tratta di un cavo per installazioni fisse, in reti di distribuzione pubblica a bassa tensione. Adatto per installazioni interne, esterne e interrate.

Per il dimensionamento del cavo, la tensione nominale (fornita dal costruttore) deve essere coordinata con quella del campo FV; assumendo come tensione nominale del circuito in c.c. la tensione di stringa a vuoto incrementata cautelativamente del 20%, la scelta del cavo va effettuata in modo tale da rispettare la condizione:

$1,2 U_{ocstringa} \leq 1,5 \cdot U_0$ nel caso di sistemi floating o con un polo a terra

$1,2 U_{ocstringa} \leq 1,5 \cdot U$ nel caso di sistemi con punto centrale a terra

dove:

✓ $U_{ocstringa}$ è la tensione a vuoto di stringa [V];

✓ U_0 è la tensione di isolamento verso terra del cavo, dichiarata dal costruttore [V];

✓ U è la tensione di isolamento tra due conduttori isolati qualsiasi nel cavo, dichiarata dal costruttore [V].

Scelto il tipo di cavo da utilizzare si procede al dimensionamento della sezione applicando il criterio termico.

In accordo al criterio termico, la sezione S di un cavo è scelta tra quelle che, nelle condizioni di posa previste dal progetto, assicurano una portata del cavo I_z non inferiore alla corrente di impiego I_B del circuito.

Nel circuito in corrente continua, la corrente di impiego è pari a:

$I_B = 1,25 \cdot I_{sc}$ per il cavo della singola stringa;

Ai fini del corretto dimensionamento occorre verificare che:

$I_B \leq I_z = I_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$

dove:

- I_0 è la portata del cavo in condizioni standard, il cui valore è deducibile dalle tabelle della norma CEI-UNEL 35024/1 e 35026 per i cavi ordinari, o fornito direttamente dal costruttore nel caso di cavi solari;
- K_1 , K_2 , K_3 e K_4 sono dei fattori di correzione da applicare qualora le condizioni di posa siano diverse da quelle standard:
 - K_1 fattore di correzione per temperatura di posa diversa da quella standard;
 - K_2 fattore di correzione per gruppi di più circuiti installati nello stesso cavidotto;
 - K_3 fattore di correzione per cavi interrati per profondità di interramento diversa da quella standard;
 - K_4 fattore di correzione per resistività termica del terreno diversa da quella standard.

I valori K_2 , K_3 e K_4 sono deducibili dalle suddette norme.

Il valore di K_1 invece si calcola con la seguente espressione:

$$K_1 = \sqrt{[(\theta_s - \theta_a) / (\theta_s - \theta_0)]}$$

in cui:

- θ_s è la temperatura di funzionamento ininterrotto del cavo, pari a 70°C per cavi ordinari in PVC e 90°C se in EPR. Per i cavi solari viene fornito dal costruttore ed in genere è intorno a 120°C;
- θ_a è la temperatura di posa, assunta pari a 80°C per posa su retro dei moduli, 40°C per posa in tubo o canale protettivo esposto al sole, 35°C per posa all'interno di locale contenente inverter e quadri campo;
- θ_0 è la temperatura di riferimento per il calcolo della portata in condizioni standard, pari a 20°C per i cavi ordinari in posa interrata, 30°C per i cavi ordinari in posa in aria, il valore fornito dal costruttore per i cavi solari (in genere 60°C).

Scelta la sezione del cavo è necessario che la caduta di tensione percentuale sul lato corrente continua non superi un valore massimo pari al 2%.

La limitazione della caduta di tensione non dipende dalla necessità di mantenere elevata la tensione in ingresso all'inverter ma da quella di limitare le perdite di energia sulla sezione in c.c.

Ai fini del calcolo della massima caduta di tensione, è stata applicata la seguente formula:

$$\Delta V\% = r \cdot L \cdot I_{sc} / (5 \cdot U_{MPP})$$

dove:

✓ I_{sc} è la corrente di cortocircuito di stringa;

✓ r è la resistenza del cavo [Ω/km];

✓ L è la lunghezza del cavo che collega un polo della stringa all'inverter [m];

✓ U_{MPP} è la tensione di stringa nel punto di massima potenza calcolata a 25°C [V].

Cavi c.c. BT Stringhe

Questi cavi si utilizzano nella configurazione con string inverter. Normalmente sono posati a portata di mano, posti all'esterno e sottoposti agli agenti atmosferici. Occorre pertanto che siano in grado di resistere alle sollecitazioni meccaniche e atmosferiche cui possono essere sottoposti durante l'esercizio.

Generalmente si utilizzano cavi solari del tipo FG21M21 per cablare i moduli di una stringa e cavi ordinari posati all'interno di tubi protettivi per gli altri collegamenti del circuito in c.c.

DESCRIZIONE

Cavo unipolare flessibile stagnato per collegamenti di impianti fotovoltaici. Isolamento e guaina realizzati con mescola elastomerica senza alogeni non propagante la fiamma.

Conduttore

Corda flessibile di rame stagnato, classe 5

Isolante

HEPR - tipo G21

Guaina esterna

Mescola elastomerica reticolata senza alogeni tipo M21

Colore anima

Nero

Colore guaina

Blu, rosso, nero

CARATTERISTICHE TECNICHE

Tensione massima: 1800 V c.c. - 1200 V c.a.

Temperatura massima di esercizio: 90°C

Temperatura minima di esercizio: -40°C

Temperatura minima di posa: -40°C

Temperatura massima di corto circuito: 250°C

Sforzo massimo di trazione: 15 N/mm²

Raggio minimo di curvatura: 4 volte il diametro esterno massimo

CONDIZIONI DI IMPIEGO

Per l'interconnessione di elementi di impianti fotovoltaici. Adatti per l'installazione fissa all'esterno e all'interno, entro tubazioni in vista o incassate o in sistemi chiusi simili. Adatti per la posa direttamente interrata o entro tubo interrato.

Per il dimensionamento del cavo, la tensione nominale (fornita dal costruttore) deve essere coordinata con quella del campo FV; assumendo come tensione nominale del circuito in c.c. la tensione di stringa a vuoto incrementata cautelativamente del 20%, la scelta del cavo va effettuata in modo tale da rispettare la condizione:

$1,2 U_{ocstringa} \leq 1,5 \cdot U_o$ nel caso di sistemi floating o con un polo a terra

$1,2 U_{ocstringa} \leq 1,5 \cdot U$ nel caso di sistemi con punto centrale a terra

dove:

✓ U_{oc} stringa è la tensione a vuoto di stringa [V];

✓ U_o è la tensione di isolamento verso terra del cavo, dichiarata dal costruttore [V];

✓ U è la tensione di isolamento tra due conduttori isolati qualsiasi nel cavo, dichiarata dal costruttore [V].

Scelto il tipo di cavo da utilizzare si procede al dimensionamento della sezione applicando il criterio termico.

In accordo al criterio termico, la sezione S di un cavo è scelta tra quelle che, nelle condizioni di posa previste dal progetto, assicurano una portata del cavo I_z non inferiore alla corrente di impiego I_B del circuito.

Nel circuito in corrente continua, la corrente di impiego è pari a:

$I_B = 1,25 \cdot I_{sc}$ per il cavo della singola stringa;

Ai fini del corretto dimensionamento occorre verificare che:

$I_B \leq I_z = I_o \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$

dove:

- I_o è la portata del cavo in condizioni standard, il cui valore è deducibile dalle tabelle della norma CEI-UNEL 35024/1 e 35026 per i cavi ordinari, o fornito direttamente dal costruttore nel caso di cavi solari;
- K_1 , K_2 , K_3 e K_4 sono dei fattori di correzione da applicare qualora le condizioni di posa siano diverse da quelle standard:

➤ K_1 fattore di correzione per temperatura di posa diversa da quella standard;

➤ K_2 fattore di correzione per gruppi di più circuiti installati nello stesso cavidotto;

➤ K_3 fattore di correzione per cavi interrati per profondità di interramento diversa da quella standard;

➤ K₄ fattore di correzione per resistività termica del terreno diversa da quella standard.

I valori K₂, K₃ e K₄ sono deducibili dalle suddette norme.

Il valore di K₁ invece si calcola con la seguente espressione:

$$K_1 = \sqrt{[(\theta_s - \theta_a) / (\theta_s - \theta_0)]}$$

in cui:

- θ_s è la temperatura di funzionamento ininterrotto del cavo, pari a 70°C per cavi ordinari in PVC e 90°C se in EPR. Per i cavi solari viene fornito dal costruttore ed in genere è intorno a 120°C;
- θ_a è la temperatura di posa, assunta pari a 80°C per posa su retro dei moduli, 40°C per posa in tubo o canale protettivo esposto al sole, 35°C per posa all'interno di locale contenente inverter e quadri campo;
- θ_0 è la temperatura di riferimento per il calcolo della portata in condizioni standard, pari a 20°C per i cavi ordinari in posa interrata, 30°C per i cavi ordinari in posa in aria, il valore fornito dal costruttore per i cavi solari (in genere 60°C).

Scelta la sezione del cavo è necessario che la caduta di tensione percentuale sul lato corrente continua non superi un valore massimo pari al 2%.

La limitazione della caduta di tensione non dipende dalla necessità di mantenere elevata la tensione in ingresso all'inverter ma da quella di limitare le perdite di energia sulla sezione in c.c.

Ai fini del calcolo della massima caduta di tensione, è stata applicata la seguente formula:

$$\Delta V\% = r \cdot L \cdot I_{sc} / (5 \cdot U_{MPP})$$

dove:

✓ I_{sc} è la corrente di cortocircuito di stringa;

✓ r è la resistenza del cavo [Ω/km];

✓ L è la lunghezza del cavo che collega un polo della stringa all'inverter [m];

✓ U_{MPP} è la tensione di stringa nel punto di massima potenza calcolata a 25°C [V].

Cavi c.a. BT Inverter – Quadri BT (in cabina)

Questi cavi si utilizzano nella configurazione con string inverter. I cavi della sezione in corrente alternata sono quelli che consentono di collegare gli inverter ai quadri elettrici di bassa tensione.

Il loro dimensionamento è stato effettuato applicando il criterio termico.

In accordo al criterio termico, la sezione S di un cavo è scelta tra quelle che, nelle condizioni di posa previste dal progetto, assicurano una portata del cavo I_z non inferiore alla corrente di impiego I_B del circuito, assunta pari alla massima corrente erogabile da ciascun inverter (134.9 A circa).

Le linee saranno posate all'interno di tubazione protettiva in PVC, ad una profondità di posa di 1,20 m misurato dall'estradosso superiore del tubo. I tubi protettivi avranno un diametro almeno 1,3 volte quello del cavo o del cerchio circoscritto ai cavi, per permettere un facile infilaggio. All'interno della trincea di scavo la presenza dei cavi elettrici verrà segnalata con apposito nastro di segnalazione che verrà posato lungo lo scavo.

Tipologia di cavo

FG16OR16-0,6/1 kV

DESCRIZIONE

Conduttore

Conduttore a corda rotonda flessibile di rame rosso ricotto

Isolamento

Gomma HEPR ad alto modulo qualità G16 che conferisce al cavo elevate caratteristiche elettriche, meccaniche e termiche

Riempitivo termoplastico, penetrante tra le anime (solo nei cavi multipolari)

Guaina

In PVC speciale di qualità R16, colore grigio

Colore

Grigio

CARATTERISTICHE FUNZIONALI

Tensione nominale U_0/U : 600/1000 V c.a. 1500 V c.c.

Tensione massima U_m : 1200 V c.a. 1800 V c.c. anche verso terra

Tensione di prova industriale: 4000 V

Temperatura massima di esercizio: 90°C

Temperatura minima di esercizio: -15°C (in assenza di sollecitazioni meccaniche)

Temperatura massima di corto circuito: 250°C

CARATTERISTICHE PARTICOLARE

Buona resistenza agli oli e ai grassi industriali. Buon comportamento alle basse temperature. Resistente ai raggi UV.

MARCATURA

FG16OR16 0,6/1 kV, Cca-s3,d1,a3

CONDIZIONI DI POSA E TIPO DI IMPIEGO

Temperatura minima di posa: 0°C

Raggio minimo di curvatura consigliato: 4 volte il diametro del cavo

Massimo sforzo di trazione consigliato: 50 N/mm² di sezione del rame

Riferimento Guida CEI 20-67 per quanto applicabile:

Il cavo è adatto per l'alimentazione di energia nell'industria, nei cantieri, nell'edilizia residenziale. Per posa fissa all'interno e all'esterno, anche in ambienti bagnati; per posa interrata diretta e indiretta. Per all'installazione all'aria aperta, su murature e strutture metalliche, su passerelle, tubazioni, canalette e sistemi simili. Adatto per installazioni a fascio in ambienti a maggior rischio in caso d'incendio.

Cavi c.a. Quadri BT (in cabina) - Trasformatore

Questi cavi si utilizzano nella configurazione con string inverter. Si utilizzerà la medesima tipologia di cavo descritta al paragrafo precedente (FG16OR16 0,6/1 kV) Ciascun trasformatore verrà collegato al quadro elettrico generale di bassa tensione con cavi, in genere FG16OR16 0,6/1 kV, o condotti sbarre, dimensionati per portare almeno la corrente nominale secondaria del trasformatore. I cavi possono essere posati in cunicoli, passerelle, canali, tubi, sottopavimento o galleggiante.

In line a generale, si ritiene di uniformare la sezione dei cavi, considerando il valore di massima corrente pari a 1500 A, utilizzando cinque corde ognuna di sezione pari a 630 mmq per ogni fase e considerando le seguenti condizioni di esercizio:

- temperatura di esercizio del conduttore 90°C
- temperatura ambiente per posa in aria: 30°C

- temperatura del terreno per posa interrata: 20°C
- resistività termica del terreno: 1°C m/W

I cavi in parallelo devono avere la stessa sezione e lunghezza per favorire una corretta ripartizione del carico; inoltre i cavi di una stessa fase devono essere disposti, per quanto possibile, in modo simmetrico rispetto centro del fascio di cavi (per uniformare le mutue induttanze).

I condotti sbarre devono avere una corrente nominale superiore alla corrente nominale secondaria del trasformatore e una corrente nominale ammissibile di breve durata uguale o superiore alla corrente di cortocircuito nel punto di installazione.

Circa la forma di segregazione del quadro generale BT non esistono prescrizioni normative.

COLLEGAMENTI ELETTRICI IN MEDIA TENSIONE

I collegamenti elettrici in media tensione riguardano, oltre ai modesti tratti in cabina, l'anello di collegamento fra le cabine di campo (trasformazione) e la cabina di raccolta, nonché la realizzazione dell'elettrodotto di connessione verso la sottostazione di trasformazione MT/AT.

Di seguito verranno descritte le caratteristiche delle tipologie di cavi e i criteri adottati ai fini del loro dimensionamento.

Le linee elettriche di media tensione di collegamento tra il quadro elettrico generale di media tensione, da prevedere all'interno del locale MT e le cabine di trasformazione saranno realizzate in cavo tripolare concentrico isolati in HEPR

Tensione nominale: 30 kV \pm 5%

Frequenza nominale: 50 Hz \pm 2%

Sistema di collegamento del neutro: isolato.

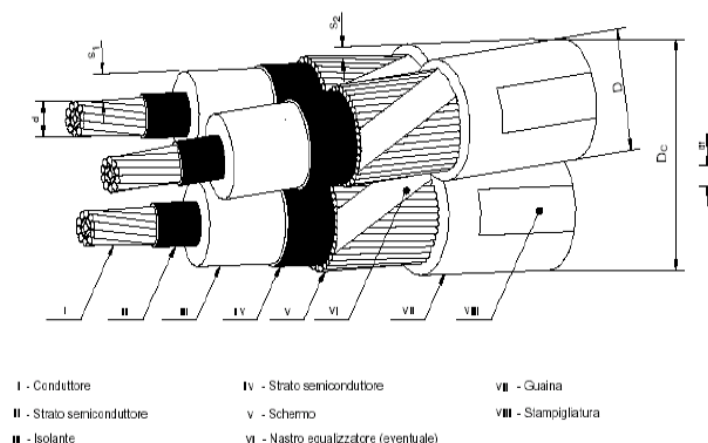
Cavo armato per posa direttamente interrata: ARE4H1R 18/30(36)kV Materiale del conduttore: Alluminio

Temperatura massima: 90°C in condizioni di esercizio normali 250°C in condizioni di corto circuito

Tensioni di riferimento 18/30 kV

Tensione nominale 30 kV

Tensione nominale massima di impiego 36 kV



Il dimensionamento dei cavi in media tensione, ovvero la determinazione della sezione ottimale, è eseguita tenendo in considerazione i seguenti parametri:

- modalità di installazione secondo le Norme IEC e CEI-UNEL
- temperatura di riferimento dell'aria 40°C

- temperatura di riferimento del terreno 20°C a 1 m di profondità
- resistività termica massima del terreno 1°K m/W

In accordo alle modalità di installazione espresse dalla Norma CEI 11-17 i tipi di installazione previsti e adottati per l'impianto in esame sono:

Cavi unipolari e multipolari interrati direttamente nel terreno: tipo di installazione "L-M1-M2"

Per i cavi unipolari si adotta la disposizione a trifoglio, con terne separate di una distanza pari a due volte il diametro esterno del cavo. I cavi tripolari vengono posati a una distanza pari al diametro esterno del cavo.

I suddetti dati sono in accordo a quanto indicato nell'appendice A della Norma CEI 20-21. Inoltre, per il dimensionamento dei cavi è utilizzata la loro corrente di impiego.

La portata di un cavo (I_z) è determinata in base ai seguenti fattori:

- temperatura dell'ambiente circostante,
- presenza o meno di conduttori attivi adiacenti,
- reale tipo di installazione.

Normalmente le portate non corrette dei cavi sono riferite dalle Norme alla sotto indicata condizione di installazione di riferimento:

- 30°C come temperatura ambiente di riferimento per i cavi posati in aria,
- 20°C come temperatura ambiente di riferimento per i cavi interrati,
- assenza di conduttori attivi adiacenti a quello in esame.

Pertanto, verranno impiegati opportuni coefficienti di correzione per determinare l'effettivo valore della portata di un cavo (I'_z) riferita alle reali condizioni di posa.

Questi coefficienti saranno:

K_1 coefficiente di correzione della temperatura ambiente (la temperatura ambiente è da intendersi come la temperatura riferita all'ambiente di posa)

K_2 coefficiente di correzione per profondità di posa

K_3 coefficiente di correzione per resistività del terreno diversa da 1 m °K/W. K_4 coefficiente di correzione per presenza di conduttori adiacenti

L'effettiva portata di un cavo sarà:

$$I'_z = I_z \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$$

I calcoli di dimensionamento termico dei cavi sono eseguiti per assicurare che la temperatura finale del cavo non superi la temperatura massima ammissibile per i componenti al fine di evitare un loro rapido deterioramento.

Il dimensionamento termico considera i seguenti fattori:

- temperatura di riferimento dell'aria ambiente 30°C
- temperatura di riferimento del suolo 20°C
- resistività termica del terreno 1°C m/W
- temperatura massima in condizioni di esercizio normali 105°C
- temperatura massima in condizioni di corto circuito 300°C
- tipo di conduttore alluminio
- tipo di isolamento HEPR
- tensione di riferimento 18/30 Kv

- portata teorica dei cavi
- coefficienti di declassamento della portata in funzione delle condizioni di posa.

La corrente ammissibile durante il corto circuito di un cavo è limitata dalla massima temperatura ammissibile per il conduttore e dalla durata del corto circuito.

Per i cavi isolati in mescola elastomerica reticolata di qualità HEPR la massima temperatura ammessa al termine del corto circuito è di 300°C.

La durata del corto circuito è in funzione del tempo di intervento delle protezioni che può essere stabilito in 500ms.

Il valore di corrente di corto circuito impiegato nei calcoli di verifica è assunto pari alla corrente di corto circuito ammissibile per il sistema di media tensione a 30 kV (16 kA). Viene trascurato il contributo dei motori asincroni di media e bassa tensione, in quanto essendo un fenomeno transitorio che si esaurisce in pochi periodi successivi all'insorgere del guasto, non ha influenza sul comportamento termico del cavo.

La corrente può essere determinata con la seguente formula:

$$I_{cc} = \frac{K \cdot S}{\sqrt{t}}$$

dove:

I_{cc} corrente di corto circuito (A)

S sezione del conduttore (mm²)

t durata del corto circuito (tempo di intervento delle protezioni)

K coefficiente che dipende dalle caratteristiche del materiale conduttore e dalla differenza di temperatura all'inizio e alla fine del corto circuito.

Con temperatura del conduttore all'inizio di 105°C e alla fine del corto circuito di 3000°C per conduttore di rame $K=143$, per conduttore di alluminio $K=87$.

La suddetta formula consente di verificare che la sezione scelta è in grado di sopportare la massima corrente di guasto prevista per il sistema di media tensione in esame in funzione del tempo di intervento delle protezioni rispettando i limiti ammissibili di temperatura.

Il dimensionamento delle condutture elettriche deve essere tale da mantenere, in condizioni normali di esercizio, la caduta di tensione tra l'origine dell'impianto utilizzatore e qualunque apparecchio utilizzatore entro i limiti ammessi e definiti.

La caduta di tensione in linea è calcolata con la seguente formula:

$$\Delta V = K \times L \times I \times (R \times \cos \varphi + X \times \sin \varphi)$$

nella quale:

L = lunghezza della linea espressa in km

I = corrente di impiego o corrente di taratura espressa in A

R = resistenza (a 80°) della linea in Ω

X = reattanza della linea in Ω

$\cos \varphi$ = fattore di potenza

k = 1,73 per linee trifasi

La presenza dei cavi sarà segnalata attraverso un nastro di segnalazione posato a 20-30 cm al di sopra del cavo stesso.

Una volta terminata la posa del cavo, prima di sigillare le teste è consigliabile tagliare uno o due metri di cavo alle due estremità, poiché potrebbero aver subito danni meccanici e/o infiltrazioni di umidità.

Gli eventuali giunti ed i terminali andranno eseguiti a regola d'arte secondo le istruzioni del fabbricante da personale qualificato.

OPERE CIVILI PREVISTE

Le opere civili che saranno realizzate consistono in:

- livellamento e preparazione superficie con rimozione di asperità naturali affioranti
- eventuale demolizione strutture sotterranee;
- compattazione del terreno nelle aree dedicate alla viabilità interna;
- formazione viabilità interna in strato di brecciolino compattato lungo l'intero perimetro dell'Impianto e circolazione interna per le esigenze di sicurezza (ronde) e manutenzione;
- formazione di recinzione senza fondazione (infissa) a maglia 50x50mm con cancello carrabile e pedonabile;
- allestimento area cantiere con moduli prefabbricati e bagni chimici;
- scavi a sezione obbligata e reinterri per i cavidotti di impianto;
- platee cabine.

VERIFICHE, PROVE E COLLAUDI

Nel seguito sono elencate le prove ed i collaudi che saranno effettuati sull'opera e sui suoi componenti in aggiunta alle azioni di sorveglianza ed ispezione che la DL e coordinatori della sicurezza svolgono all'interno dei rispettivi mandati regolati dalle leggi dello stato ancorchè dal contratto fra le parti.

Le prove ed i collaudi hanno efficacia contrattuale se svolti in contraddittorio Appaltatore e Committente (attraverso suoi delegati).

Si sottolinea che risultano indispensabili per poter completare pienamente prove e collaudi le seguenti attività a cura della Committenza:

- Attivazione del contratto traffico dati per il sistema di acquisizione dei dati
- Attivazione del contratto per antiintrusione e videosorveglianza e del conseguente intervento

PROVE E COLLAUDI SUI COMPONENTI PRIMA E DURANTE L'INSTALLAZIONE

I componenti che costituiscono l'impianto saranno progettati, costruiti e sottoposti alle prove previste nelle norme ed alle prescrizioni di riferimento del Costruttore. In particolare, si sottolinea l'effettuazione di:

- Prima della spedizione dei moduli fotovoltaici in cantiere:
Verifica della corrispondenza tra i flash test (se forniti dal Costruttore) ed i valori di tolleranza nominale dei moduli oggetto della fornitura
- Prima della spedizione dei quadri elettrici in cantiere:
ispezione visiva sui quadri elettrici ed accertamento della corrispondenza dei componenti con quanto riportato nel progetto;
presa visione dei verbali di collaudo interni e delle certificazioni di prodotto secondo la normativa vigente prodotte dall'Appaltatore o subfornitori;
- Prima dell'inizio dei lavori di montaggio in cantiere:
accertamento della corrispondenza dei componenti con quanto riportato nel progetto;
accertamento della presenza di eventuali rotture o danneggiamenti dovuti al trasporto sui componenti giunti in cantiere;
- Durante l'esecuzione dei lavori
ispezioni e prove (eventualmente presso Enti o Istituti riconosciuti) al fine di verificare che la fornitura dei materiali e/o le opere eseguite corrispondano alle prescrizioni contrattuali.
Verifica su ognuna delle stringhe d'impianto di:
isolamento verso massa (telaio-modulo) dei due morsetti cortocircuitati;
tensione a vuoto;

COLLAUDI AD INSTALLAZIONE COMPLETATA

Collaudo finalizzato ad accertare l'avvenuta realizzazione dell'opera secondo contratto e la sua funzionalità (realizzabile completamente solo in presenza di rete elettrica e contratto di cessione)

Collaudo off-grid

- su tutte le opere: ispezione al fine di verbalizzare la

- × rispondenza dell'impianto al progetto approvato e rivisto "as built" dall'Appaltatore
 - × la realizzazione dell'opera secondo le disposizioni contrattuali
 - × stato dell'area di installazione (terreno, recinzione, cabine, accessi, sistema di sorveglianza ed illuminazione)
- generatore fotovoltaico
 - × ispezione integrità superficie captante
 - × verifica pulizia della superficie captante
 - × verifica posa dei cavi intramodulo
- strutture di sostegno
 - × rispondenza al layout di progetto e assemblaggio secondo progetto
 - × ispezione integrità strutturale e montaggio
- quadri di parallelo
 - × prova a sfilamento dei cavi
 - × battitura delle tensioni e correnti delle stringhe
 - × verifica della integrità degli scaricatori
 - × misure di resistenza di isolamento di tutti i circuiti
 - × verifica della corretta marcatura delle morsettiere e terminali dei cavi
 - × verifica della corretta targhetatura delle apparecchiature interne ed esterne
 - × verifica della messa a terra di masse e scaricatori;
- quadri di sottocampo
 - × prova a sfilamento dei cavi
 - × battitura delle tensioni
 - × misure di resistenza di isolamento di tutti i circuiti
 - × verifica della corretta marcatura delle morsettiere e terminali dei cavi
 - × verifica della corretta targhetatura delle apparecchiature interne ed esterne
 - × verifica della messa a terra di masse e scaricatori;
- inverter
 - × prova a sfilamento dei cavi
 - × battitura delle tensioni in ingresso
- sistema di acquisizione dati
 - × presenza componenti del sistema
- sistemi accessori: verifiche funzionali (videosorveglianza, illuminazione, ventilazione cabina)
- documentazione di progetto: verifica della presenza di tutte le certificazioni e collaudi sui componenti necessarie all'accettazione dell'opera;

Collaudo GRID
- prove funzionali generali:
 - × avviamento e fermata inverter
 - × scatto e ripristino protezioni di interfaccia alla rete
 - × interblocchi fra organi di manovra
- verifica tecnico-funzionale dell'impianto (strumentazione a cura Appaltatore):
 - × verifica della condizione: $P_{cc} > 0,85 P_{nom} * I / I_{STC}$, ove:
 - P_{cc} è la potenza (in kW) misurata all'uscita del generatore fotovoltaico, con precisione migliore del 3%,
 - P_{nom} è la potenza nominale (in kW) del generatore fotovoltaico;
 - I è l'irraggiamento (in W/m^2) misurato sul piano dei moduli, con precisione migliore del 3%;
 - I_{STC} è l'irraggiamento in condizioni standard *pari a 1000 W/m^2* ,

Tale condizione deve essere verificata per $I > 600 \text{ W/m}^2$

- × verifica della condizione: **$P_{ca} > 0,9 P_{cc}$** , ove:
 P_{ca} è la potenza attiva (in kW) misurata all'uscita del gruppo di conversione, con precisione migliore del 2%;

Tale condizione deve essere verificata per $P_{ca} > 90\%$ della potenza di targa del gruppo di conversione della corrente continua in corrente alternata

Qualora nel corso delle verifiche venga rilevata una temperatura sulla faccia posteriore dei moduli fotovoltaici superiore a 40°C è ammessa la correzione in temperatura della potenza misurata

- Test Run (realizzabile solo con presenza di rete, contratto di cessione energia e contratto di comunicazione wireless)

Il Test Run d'impianto segue la messa in servizio del sistema ed è finalizzato a verificare la funzionalità d'esercizio dell'impianto nel tempo secondo lo spirito contrattuale EPC. Nel corso del Test Run l'Appaltatore è tenuto alla sorveglianza dell'esercizio ma non sono consentite prove sull'impianto che non possano essere registrate dal sistema di acquisizione dei dati.

- verifica del sistema di acquisizione dati:
 - × acquisizione di tutti i dati elencati a progetto
 - × taratura delle soglie di allarme e comunicazione password utente
 - × registrazione eventi e sincronizzazione temporale
 - × visualizzazione software da locale e da remoto
 - × archiviazione dati da locale e da remoto
 - × scarico dati da remoto
- elaborazione dei dati di esercizio in Test Run:
 - × report di Test Run

RIFERIMENTI NORMATIVI E LEGISLATIVI

La normativa e le leggi di riferimento da rispettare per la progettazione e realizzazione degli impianti fotovoltaici sono:

Per la progettazione e realizzazione degli impianti fotovoltaici:

- Legge 186/68: Disposizione concernente la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni e impianti elettrici ed elettronici
- DM 14 gennaio 2008: Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
- Circ. 4 luglio 1996: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"
- CEI 0-2: Guida per la definizione della documentazione di progetto per impianti elettrici
- CEI 0-3: Guida per la compilazione della dichiarazione di conformità e relativi allegati per la legge n. 46/90
- CEI 0-16: Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti AT e MT delle imprese distributrici di energia elettrica
- CEI EN 61936-1: Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a.
- CEI EN 50522: Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in corrente alternata
- CEI 11-28: Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali a bassa tensione
- CEI 13-4;Ab: Sistemi di misura dell'energia elettrica - Composizione, precisione e verifica
- CEI EN 60076-11: Trasformatori di potenza Parte 1: Generalità
- CEI EN 50588-1 Trasformatori di media potenza a 50Hz, con U_{max} per l'apparecchiatura non superiore a 36kV Parte1: Prescrizioni generali
- CEI-UNEL 35011;V2: Cavi per energia e segnalamento Sigle di designazione
- CEI EN 50618: Cavi elettrici per impianti fotovoltaici
- CEI-UNEL 3535;Ab3: Cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750 V
- CEI-UNEL 357;Ab2: Cavi isolati con polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750 V
- CEI IEC 60287-1-1/A1: Cavi elettrici - Calcolo della portata di corrente Parte1-1: Equazioni per il calcolo della portata di corrente (fattore di carico 100 %) e calcolo delle perdite – Generalità
- CEI IEC 60287-3-1: Cavi elettrici - Calcolo della portata di corrente Parte 3-1: Condizioni operative - Condizioni di riferimento del sito
- CEI IEC 60287-3-2: Cavi elettrici - Calcolo della portata di corrente Parte 3-2: Condizioni di servizio - Ottimizzazione economica della sezione del conduttore dei cavi
- CEI 64-8: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua
- CEI 64-8/7 sezione 712: Sistemi fotovoltaici solari (PV) di alimentazione
- CEI 81-3;Ab: Valori medi del numero dei fulmini a terra per anno e per chilometro quadrato dei Comuni d'Italia, in ordine alfabetico

- CEI 82-25; V1-V2: Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa tensione
- CEI EN 50524: Fogli informativi e dati di targa dei convertitori fotovoltaici
- CEI EN 50461: Celle solari - Fogli informativi e dati di prodotto per celle solari al silicio cristallino
- CEI EN 60099-1;Ab: Scaricatori - Parte 1: Scaricatori a resistori non lineari con spinterometri per sistemi a corrente alternata
- CEI EN 61439-1:Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) Parte 1: Regole generali
- CEI EN 61439-1/EC: Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) Parte 1: Regole generali
- CEI EN 61439-3:Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) Parte 3: Quadri di distribuzione destinati ad essere utilizzati da persone comuni (DBO)
- CEI EN 61439-1:Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) Parte 1: Regole generali
- CEI EN 61439-6:Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) Parte 6: Condotti sbarr
- CEI EN 61439-3/EC: Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) Parte 3: Quadri di distribuzione destinati ad essere utilizzati da persone comuni (DBO)
- CEI EN 60445: Principi base e di sicurezza per l'interfaccia uomo-macchina, marcatura e identificazione - Individuazione dei morsetti e degli apparecchi e delle estremità dei conduttori designati e regole generali per un sistema alfanumerico
- CEI EN 60529/EC: Gradi di protezione degli involucri (codice IP)
- CEI EN 60555-1:Disturbi nelle reti di alimentazione prodotti da apparecchi elettrodomestici e da equipaggiamenti elettrici simili Parte 1: Definizioni
- CEI EN 60904-1:Dispositivi fotovoltaici Parte 1: Misura delle caratteristiche fotovoltaiche tensione-corrente
- CEI EN 60904-2:Dispositivi fotovoltaici Parte 2: Prescrizioni per i dispositivi fotovoltaici di riferimento
- CEI EN 60904-3:Dispositivi fotovoltaici Parte 3: Principi di misura per dispositivi solari fotovoltaici (FV) per uso terrestre, con spettro solare di riferimento
- CEI EN 60909-0:Correnti di cortocircuito nei sistemi trifase in corrente alternata Parte 0: Calcolo delle correnti
- CEI EN IEC 61000-3-2: Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 3-2: Limiti - Limiti per le emissioni di corrente armonica (apparecchiature con corrente di ingresso ≤ 16 A per fase)
- CEI EN 61215-1:Moduli fotovoltaici (FV) per applicazioni terrestri - Qualifica del progetto e omologazione del tipo Parte 1: Prescrizioni per le prove
- CEI EN 61215-1-1: Moduli fotovoltaici (FV) per applicazioni terrestri - Qualifica del progetto e omologazione del tipo Parte 1-1: Prescrizioni particolari per le prove di moduli fotovoltaici (FV) in silicio cristallino
- CEI EN 61215-1-2: Moduli fotovoltaici per applicazioni terrestri - Qualifica del progetto e omologazione del tipo Parte 1-2: Requisiti particolari per la prova dei moduli fotovoltaici (FV) a film sottile in tellururo di cadmio (CdTe)
- CEI EN 61215-1-3: Moduli fotovoltaici per applicazioni terrestri - Qualifica del progetto e omologazione del tipo Parte 1-3: Requisiti particolari per la prova dei moduli fotovoltaici (FV) a film sottile in silicio amorfo
- CEI EN 61215-1-4: Moduli fotovoltaici per applicazioni terrestri - Qualifica del progetto e omologazione del tipo Parte 1-4: Requisiti particolari per la prova dei moduli fotovoltaici (FV) a film sottile in seleniuro di rame-indio- gallio (CIGS) e in seleniuro di rame-indio (CIS)

- CEI EN 61215-2: Moduli fotovoltaici (FV) per applicazioni terrestri - Qualifica del progetto e omologazione del tipo Parte 2: Procedure di prova
- CEI EN 61724: Rilievo delle prestazioni dei sistemi fotovoltaici Linee guida per la misura, lo scambio e l'analisi dei dati
- CEI EN 61724-1: Prestazioni dei sistemi fotovoltaici Parte 1: Monitoraggio
- IEC 61727:2004 : Photovoltaic (PV) systems - Characteristics of the utility interface
- CEI EN IEC 61730-1: Qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici (FV) Parte

Prescrizioni per la costruzione

- CEI EN IEC 61730-1/EC: Qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici (FV) Parte
- CEI EN 61730-2/A1: Qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici (FV) Parte

Prescrizioni per le prove

- CEI EN 61829: Campo fotovoltaico (FV) - Misura in sito delle caratteristiche I-V
- CEI EN 62053-21/A1: Apparat per la misura dell'energia elettrica (c.a.) – Prescrizioni particolari - Parte 21: Contatori statici di energia attiva (classe 1 e 2)
- CEI EN 62053-23 (CEI 13-45): Apparat per la misura dell'energia elettrica (c.a.) – Prescrizioni particolari - Parte 23: Contatori statici di energia reattiva (classe 2 e 3)
- CEI EN 62093 (CEI 82-24): Componenti di sistemi fotovoltaici - moduli esclusi (BOS) - Qualifica di progetto in condizioni ambientali naturali
- CEI EN 62108: Moduli e sistemi fotovoltaici a concentrazione. Qualifica del progetto e approvazione di tipo
- CEI IEC/TS 62271-210: Apparecchiatura ad alta tensione Parte 210: Qualificazione sismica per apparecchiatura prefabbricata con involucro metallico e con involucro isolante per tensioni nominali superiori a 1 kV fino a 52 kV compreso
- CEI EN 62305-1: Protezione contro i fulmini Parte 1: Principi generali
- CEI EN 62305-1/EC: Protezione contro i fulmini Parte 1: Principi generali
- CEI EN 62305-2: Protezione contro i fulmini Parte 2: Valutazione del rischio
- CEI EN 62305-2/EC: Protezione contro i fulmini Parte 2: Valutazione del rischio
- CEI EN 62305-3: Protezione contro i fulmini Parte 3: Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone
- CEI EN 62305-4: Protezione contro i fulmini Parte 4: Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture
- CEI EN 62305-4/EC: Protezione contro i fulmini Parte 4: Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture
- IEC 60364-7-712:2017: Low voltage electrical installations - Part 7-712: Requirements for special installations or locations - Solar photovoltaic (PV) power supply systems
- UNI 10349: Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici.
- Guida CEI 82-25/V2: Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di media e bassa tensione
- Norme UNI/ISO per le strutture meccaniche di supporto e di ancoraggio dei moduli fotovoltaici;

- Delibera AEEG n. 281/05 e s.m.i. Delibere AEEG n.28/06 e n.100/06, Condizioni per l'erogazione del servizio di connessione alle reti elettriche con tensione nominale superiore ad 1 kV i cui gestori hanno l'obbligo di connessione di terzi;
- Delibera AEEG n. 40/06, per integrare la deliberazione n. 188/05;

Per la sicurezza e la prevenzione degli infortuni:

- DL 81/2008: Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro
- DM 37/08: Dichiarazioni di conformità impianti
- DM 19/05/2010: Modifica degli allegati al DM 22 gennaio 2008, n. 37
- DPR 151/2011: Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione incendi
- Delibera AEEG n. 88/07, Disposizioni in materia di misura dell'energia elettrica prodotta da impianti di generazione;
- Delibera AEEG n. 89/07, Condizioni tecnico economiche per la connessione degli impianti di produzione di energia elettrica alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi a tensione nominale minore o uguale ad 1 kV;
- Delibera AEEG n. 90/07, Attuazione del decreto del ministro dello sviluppo economico, di concerto con il ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare 19 Febbraio 2007;
- Direttive ENEL (Guida per le connessioni alla rete elettrica di ENEL distribuzione);
- Delibera ARG/elt 99/08 dell'AEG Allegato A (Condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione di energia elettrica TICA);
- Quanto altro previsto dalla vigente normativa di legge, ove applicabile.

ALLEGATI

Allegato A – Data sheet modulo fotovoltaico

Allegato B – Data sheet inverter

Allegato C – Cavi elettrici

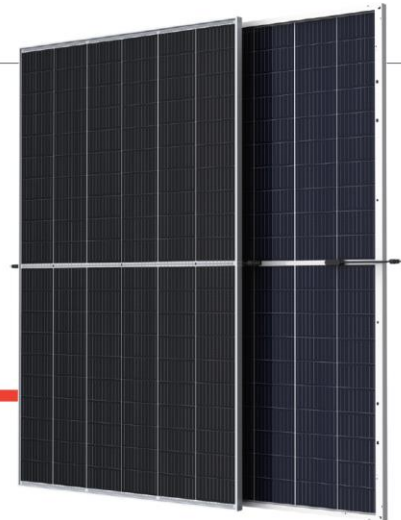
ALLEGATO A – DATA SHEET MODULO FOTOVOLTAICO

Mono Multi Solutions

Preliminary

THE Vertex

BIFACIAL DUAL GLASS MONOCRYSTALLINE MODULE



600W
MAXIMUM POWER OUTPUT

21.2%
MAXIMUM EFFICIENCY

0~+5W
POSITIVE POWER TOLERANCE

Founded in 1997, Trina Solar is the world's leading total solution provider for solar energy. With local presence around the globe, Trina Solar is able to provide exceptional service to each customer in each market and deliver our innovative, reliable products with the backing of Trina as a strong, bankable brand. Trina Solar now distributes its PV products to over 100 countries all over the world. We are committed to building strategic, mutually beneficial collaborations with installers, developers, distributors and other partners in driving smart energy together.

Comprehensive Products and System Certificates

IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716
ISO 9001: Quality Management System
ISO 14001: Environmental Management System
ISO14064: Greenhouse Gases Emissions Verification
ISO45001: Occupational Health and Safety Management System



Trina solar

PRODUCTS

TSM-DEG20C.20

POWER RANGE

580-600W



High customer value

- Lower LCOE (Levelized Cost Of Energy), reduced BOS (Balance of System) cost, shorter payback time
- Lowest guaranteed first year and annual degradation; extended 30-year warranty
- Designed for compatibility with existing mainstream system components
- Higher return on Investment



High power up to 600W

- Up to 21.2% module efficiency with high density interconnect technology
- Multi-busbar technology for better light trapping effect, lower series resistance and improved current collection



High reliability

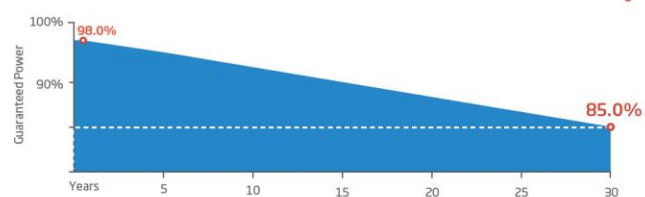
- Minimized micro-cracks with innovative non-destructive cutting technology
- Ensured PID resistance through cell process and module material control
- Resistant to harsh environments such as salt, ammonia, sand, high temperature and high humidity areas
- Mechanical performance up to 5400 Pa positive load and 2400 Pa negative load
- Certificated to fire class A

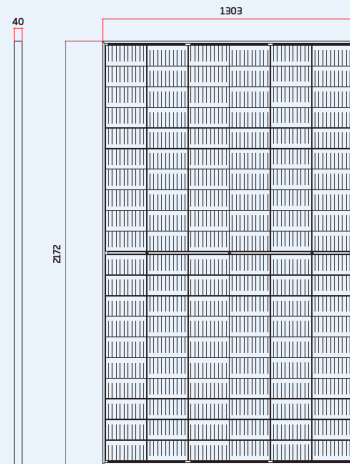
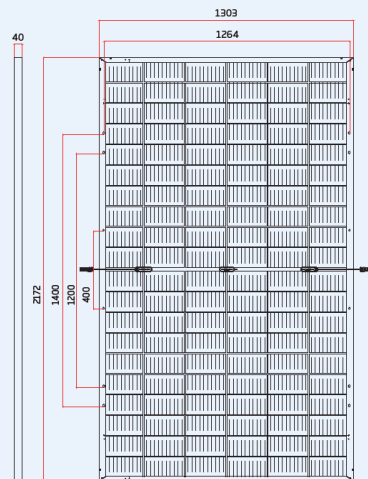
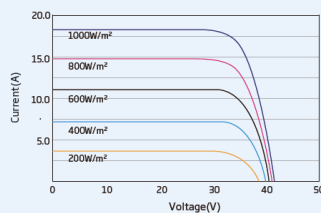
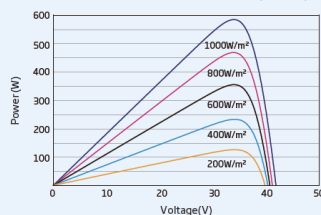


High energy yield

- Excellent IAM (Incident Angle Modifier) and low irradiation performance, validated by 3rd party certifications
- The unique design provides optimized energy production under inter-row shading conditions
- Lower temperature coefficient (-0.34%) and operating temperature
- Up to 25% additional power gain from back side depending on albedo

Trina Solar's Vertex Bifacial Dual Glass Performance Warranty



DIMENSIONS OF PV MODULE(mm)

Front View

Back View
I-V CURVES OF PV MODULE(590 W)

P-V CURVES OF PV MODULE(590W)

ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	580	585	590	595	600
Power Tolerance- P_{MAX} (W)	0 ~ +5				
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	33.8	34.0	34.2	34.4	34.6
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	17.16	17.21	17.25	17.30	17.34
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	40.9	41.1	41.3	41.5	41.7
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	18.21	18.26	18.31	18.36	18.42
Module Efficiency η_m (%)	20.5	20.7	20.8	21.0	21.2

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.
*Measuring tolerance: $\pm 3\%$.

Electrical characteristics with different power bin (reference to 10% Irradiance ratio)

Total Equivalent power - P_{MAX} (Wp)	621	626	631	637	642
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	33.8	34.0	34.2	34.4	34.6
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	18.36	18.41	18.46	18.51	18.55
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	40.9	41.1	41.3	41.5	41.7
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	19.48	19.54	19.59	19.65	19.71
Irradiance ratio (rear/front)	10%				

Power Bifaciality: 70 \pm 5%.

ELECTRICAL DATA (NOCT)

Maximum Power- P_{MAX} (Wp)	439	443	447	451	454
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	31.5	31.7	31.9	32.0	32.2
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	13.93	13.97	14.01	14.06	14.10
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	38.5	38.7	38.9	39.1	39.3
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	14.68	14.72	14.76	14.80	14.84

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	120 cells
Module Dimensions	2172 \times 1303 \times 40 mm (85.51 \times 51.30 \times 1.57 inches)
Weight	35.3 kg (77.8 lb)
Front Glass	2.0 mm (0.08 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	POE/EVA
Back Glass	2.0 mm (0.08 inches), Heat Strengthened Glass (White Grid Glass)
Frame	40mm(1.57 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²), Portrait: 280/280 mm(11.02/11.02 inches) Landscape: 2050/2050 mm(80.71/80.71 inches)
Connector	MC4 EVO2 / TS4*

*Please refer to regional datasheet for specified connector.

TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43°C ($\pm 2^\circ\text{C}$)
Temperature Coefficient of P_{MAX}	- 0.34%/°C
Temperature Coefficient of V_{OC}	- 0.25%/°C
Temperature Coefficient of I_{SC}	0.04%/°C

(Do not connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)

WARRANTY

12 year Product Workmanship Warranty
30 year Power Warranty
2% first year degradation
0.45% Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
Max Series Fuse Rating	35 A

PACKAGING CONFIGURATION

Modules per 40' container: 448 pieces

ALLEGATO B – DATA SHEET INVERTER

SUN2000-215KTL-H0 Technical Specifications

Efficiency	
Max. Efficiency	99.00%
European Efficiency	98.60%
Input	
Max. Input Voltage	1,500 V
Max. Current per MPPT	30 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	50 A
Start Voltage	550 V
MPPT Operating Voltage Range	500 V ~ 1,500 V
Nominal Input Voltage	1,080 V
Number of Inputs	18
Number of MPP Trackers	9
Output	
Nominal AC Active Power	200,000 W
Max. AC Apparent Power	215,000 VA
Max. AC Active Power ($\cos\phi=1$)	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 (189.6 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

SOLAR.HUAWEI.COM

ALLEGATO C – CAVI ELETTRICI

SEZIONE CC – CAVI CABLAGGIO GENERATORE FV

Energia solare
Solar energy

FG21M21 

0,6/1 kV



Informazioni per la scelta dei cavi / Cables selection data

Formazione nominale <i>Nominal cross-section</i> (n x mm ²)	Diametro conduttore indicativo <i>Conductor diameter (approx.)</i> (mm)	Spessore isolante minimo medio <i>Insulation thickness (min. medium)</i> (mm)	Spessore guaina minimo medio <i>Sheath thickness (min. medium)</i> (mm)	Diametro esterno massimo <i>Outer diameter (max.)</i> (mm)	Peso indicativo <i>Weight (approx.)</i> (kg/km)	Resistenza elettrica in c.c. a 20 °C massima <i>Electrical D.C. resistance at 20 °C (max.)</i> (Ω/km)	Portata di corrente a 60 °C in aria singolo cavo <i>Current carrying capacity at 60 °C in air 1 cable</i> (A)
1 x 1,5	1,5	0,7	0,8	5,1	35	13,7	30
1 x 2,5	2,0	0,7	0,8	5,7	46	8,21	41
1 x 4	2,5	0,7	0,8	6,2	60	5,09	55
1 x 6	3,0	0,7	0,9	6,9	85	3,39	70
1 x 10	3,9	0,7	1,0	8,2	130	1,95	98
1 x 16	5,0	0,7	1,0	9,3	195	1,24	132
1 x 25	6,4	0,9	1,1	11,4	290	0,795	176
1 x 35	7,7	0,9	1,1	12,8	376	0,565	218
1 x 50	9,2	1,0	1,2	14,8	535	0,393	276
1 x 70	11,0	1,1	1,2	16,9	740	0,277	347
1 x 95	12,5	1,1	1,3	18,7	940	0,210	416
1 x 120	14,2	1,2	1,3	20,7	1215	0,164	488
1 x 150 (*)	15,8	1,4	1,4	23,5	1530	0,132	566
1 x 185 (*)	17,5	1,6	1,4	25,2	1820	0,108	644
1 x 240 (*)	20,1	1,7	1,5	28,3	2340	0,0817	775

Per portate di corrente in diverse condizioni di posa vedi CEI 20-91; V2

For current carrying capacity in different installation conditions refer to CEI 20-91; V2

SEZIONE CC E CA – CAVI DI CABLAGGIO IN TRINCEA

FG160R16 0,6/1 kV G16TOP



FG160R16

sezione nominale	diametro indicativo conduttore	spessore medio isolante	diametro esterno massimo	peso indicativo del cavo	resistenza massima a 20 °C in c. c.	30 °C in aria	portata di corrente (A) con temperatura ambiente di 30 °C in tubo in aria	20 °C interrato in tubo	20 °C interrato	raggio minimo di curvatura
conductor cross-section	approximate conductor diameter	average insulation thickness	maximum outer diameter	approx. weight	maximum DC resistance at 20 °C	in open air at 30 °C	in duct in air at 30 °C	permissible current rating (A) in buried duct at 20 °C		minimum bending radius
(mm²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(Ω/km)			ρ=1°C m/W	ρ=1,5°C m/W	(mm)

2 conduttori / 2 cores - tab. CEI-UNEL 35318

1,5	1,5	0,7	12,0	150	13,3	26	22	24	23	36	31	108
2,5	2,0	0,7	13,0	190	7,98	36	30	31	30	47	41	117
4,0	2,5	0,7	14,2	240	4,95	49	40	41	39	61	55	128
6,0	3,0	0,7	15,4	310	3,30	63	51	52	49	77	68	139
10,0	3,9	0,7	17,3	440	1,91	86	69	70	66	105	92	156
16,0	5,0	0,7	19,4	600	1,21	115	91	92	86	136	120	175
25,0	6,4	0,9	23,0	850	0,780	149	119	118	111	177	156	207
35,0	7,7	0,9	25,7	1130	0,554	185	145	145	136	212	185	231
50,0	9,2	1,0	29,3	1580	0,386	225	175	180	168	252	221	264
70,0	11,0	1,1	33,1	2050	0,272	300	220	230	217	335	289	298

3 conduttori / 3 cores - tab. CEI-UNEL 35318

1,5	1,5	0,7	12,5	170	13,3	23	19,5	20	19	30	26	112
2,5	2,0	0,7	13,6	220	7,98	32	26	26	25	40	36	122
4,0	2,5	0,7	14,9	280	4,95	42	35	33	32	51	45	134
6,0	3,0	0,7	16,2	370	3,30	54	44	43	41	65	56	146
10,0	3,9	0,7	18,2	530	1,91	75	60	59	55	88	78	164
16,0	5,0	0,7	20,6	740	1,21	100	80	76	72	114	101	185
25,0	6,4	0,9	24,5	1060	0,780	127	105	100	93	148	130	220
35,0	7,7	0,9	27,3	1420	0,554	158	128	122	114	178	157	246
50,0	9,2	1,0	31,2	1960	0,386	192	154	152	141	211	185	281
70,0	11,0	1,1	35,6	2700	0,272	246	194	189	174	259	227	320
95,0	12,5	1,1	40,0	3430	0,206	298	233	226	206	311	274	360
120,0	14,2	1,2	44,4	4390	0,161	346	268	260	238	355	311	400
150,0	15,8	1,4	49,5	5400	0,129	399	300	299	272	394	345	445

3 conduttori con giallo/verde / 3 cores with yellow/green - tab. CEI-UNEL 35318

1,5	1,5	0,7	12,5	170	13,3	26	22	24	23	36	31	112
2,5	2,0	0,7	13,6	220	7,98	36	30	31	30	47	41	122
4,0	2,5	0,7	14,9	280	4,95	49	40	41	39	61	55	134
6,0	3,0	0,7	16,2	370	3,30	63	51	52	49	77	68	146
10,0	3,9	0,7	18,2	530	1,91	86	69	70	66	105	92	164
16,0	5,0	0,7	20,6	740	1,21	115	91	92	86	136	120	185
25,0	6,4	0,9	24,5	1060	0,780	149	119	118	111	177	156	220
35,0	7,7	0,9	27,3	1420	0,554	185	146	145	136	212	185	246
50,0	9,2	1,0	31,2	1960	0,386	225	175	180	168	252	221	281
70,0	11,0	1,1	35,6	2700	0,272	289	221	223	207	310	272	320
95,0	12,5	1,1	40,0	3430	0,206	352	265	265	245	371	325	360
120,0	14,2	1,2	44,4	4390	0,161	410	305	310	284	423	370	400
150,0	15,8	1,4	49,5	5400	0,129	399	300	299	272	394	345	445