



# IMPIANTO FOTOVOLTAICO EG FLORA SRL

## E OPERE CONNESSE

POTENZA IMPIANTO 28,15MWp - COMUNE DI CODIGORO (FE)

### Proponente

**EG FLORA S.R.L.**

VIA DEI PELLEGRINI 22 - 20122 MILANO (MI) - P.IVA: 11616310964 - PEC: egflora@pec.it

### Progettazione

**Ing. Matteo Bono**

Via per Rovato, 29/C - 25030 Erbusco (BS)

tel.: 030/5281283 - e-mail: m.bono@solareng.it - PEC: solareng@pec.solareng.it

### Collaboratori

**Ing. Marco Passeri**

Via per Rovato, 29/C - 25030 Erbusco (BS)

tel.: 030/5281283 - e-mail: m.passeri@solareng.it - PEC: solareng@pec.solareng.it

### Coordinamento progettuale

**SOLAR ENGINEERING S.R.L.**

VIA ILARIA APLI, 4 - 46100 MANTOVA (MN) - P.IVA: 02645550209 - email: solareng@pec.solareng.it

### Titolo Elaborato

**CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO STRUTTURE E IMPIANTI**

LIVELLO PROGETTAZIONE	CODICE ELABORATO	FILENAME	RIFERIMENTO	DATA	SCALA
-----------------------	------------------	----------	-------------	------	-------

### Revisioni

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
------	------	-------------	----------	------------	-----------



COMUNE DI CODIGORO (FE)  
REGIONE EMILIA ROMAGNA



# CALCOLI PRELIMINARI DI DIMENSIONAMENTO STRUTTURE E IMPIANTI

---

# Indice

## Contenuto del documento

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>PARTE PRIMA: STRUTTURE .....</b>	<b>2</b>
<b>2. INTRODUZIONE STRUTTURE .....</b>	<b>2</b>
<b>3. CARATTERISTICHE DEI MODULI FOTOVOLTAICI .....</b>	<b>3</b>
<b>4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>5. CONCLUSIONI .....</b>	<b>3</b>
<b>PARTE PRIMA: STRUTTURE .....</b>	<b>4</b>
<b>6. INTRODUZIONE IMPIANTI .....</b>	<b>4</b>
<b>7. MATCHING STRINGA/INVERTER .....</b>	<b>4</b>
<b>8. PITCH .....</b>	<b>7</b>
<b>9. PITCH .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>10. CAVI E CADUTA DI TENSIONE .....</b>	<b>11</b>

# 1. PREMESSA

Nel presente documento sono illustrati i criteri di base per il dimensionamento delle strutture e degli impianti che interessano il presente progetto. Nella prima parte si procederà alla valutazione strutturale, ovvero, sulle strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici, nella seconda parte viene invece illustrato il dimensionamento della parte impiantistica elettrica e fotovoltaica.

## **PARTE PRIMA: STRUTTURE**

### 2. INTRODUZIONE STRUTTURE

Per la realizzazione dell'impianto si sono scelte strutture in acciaio zincato adatte alla posa in opera tramite infissione nel terreno. La lunghezza dei pali infissi è commisurata alle condizioni di carico specifiche dell'impianto (carichi di neve e vento) e alle caratteristiche di portanza del terreno interessato dall'infissione. La lunghezza del tratto dei pali infisso nel terreno è stata assunta pari a circa 1,50-2,00 metri, opportune prove di estrazione e di carico preventive potranno poi essere realizzate in sito ai fini della progettazione esecutiva dell'impianto e dell'ottimizzazione delle strutture.

Per ciascun inseguitore solare (tracker), ciascun palo sarà equipaggiato con un ritto verticale in acciaio zincato di lunghezza adeguata al fine di consentire la corretta installazione della trave centrale che rappresenta l'asse attorno a cui ruoteranno i moduli fotovoltaici in direzione Est-Ovest. La suddetta trave centrale sarà realizzata tramite tubolare in acciaio zincato sostenuta attraverso l'applicazione di appositi cuscinetti dai montanti infissi nel terreno. Per la versione a 2x39 moduli la lunghezza della trave centrale può essere approssimativamente considerata di 45 metri sostenuta da 7 montanti, per la versione a 2x26 moduli 3 metri e 5 montanti.

L'infissione dei pali, dotati di uno strato adeguato di zincatura contro la corrosione, avviene tramite battitura con apposita macchina battipalo in modo da azzerare l'utilizzo di opere in calcestruzzo ed evitare il rilascio nell'ambiente di qualsiasi residuo di lavorazione.

Il sistema strutturale composto da pali infissi e ritti superiori di altezza e posizione variabile, permette anche di compensare eventuali dislivelli del terreno mantenendo costante l'allineamento e riducendo potenziali problemi di ombreggiamento tra i moduli fotovoltaici.

### 3. CARATTERISTICHE DEI MODULI FOTOVOLTAICI

Per una descrizione più completa fare riferimento al catalogo della ditta fornitrice; Nelle verifiche saranno presi in considerazione i dati tecnici riportati nella scheda tecnica fornita dal produttore, si sono comunque considerati pannelli aventi dimensioni  $B \times H = 1134 \times 2411$  (mm) con un peso proprio di circa 30,93 (kg/cad).

I pannelli hanno carcassa in alluminio e il collegamento al supporto avviene mediante staffe in alluminio o acciaio, tasselli plastici scorrevoli di tipo rinforzato e bulloneria in acciaio inox equivalente per caratteristiche alle Classi 8.8.

### 4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le verifiche strutturali preliminari sono state eseguite in accordo alle seguenti normative nazionali:

D.M. 17 Gennaio 2018: "Norme tecniche per le Costruzioni" (NTC18);

- Circolare 21 Febbraio 2019 n.7: Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.;
- Eurocodici EN 1990 con Appendice nazionale UNI
- Istruzioni CNR DT 207-2008

### 5. CONCLUSIONI

Tutti i calcoli finali relativi alle strutture in campo saranno eseguiti in fase di redazione del progetto esecutivo e saranno presentati per approvazione a tutti gli organi competenti in materia, primo fra tutti il genio civile. La relazione di calcolo e le modalità costruttive delle strutture saranno eseguite sulla falsa riga della relazione tipo che di seguito si allegata, questa relazione è allegata al solo scopo illustrativo per mostrare come sarà poi prodotto il documento in fase esecutiva, esso fa riferimento, pertanto, ad un diverso impianto rispetto a quello in esame nella presente documentazione.

## **PARTE PRIMA: STRUTTURE**

### **6. INTRODUZIONE IMPIANTI**

Nel dimensionamento tecnico degli impianti fotovoltaici risulta di notevole importanza la scelta della tensione nominale del generatore fotovoltaico, che rappresenta un compromesso, per quanto possibile ottimale, tra più esigenze tecniche, pur nel pieno rispetto dei criteri di sicurezza elettrica. Le esigenze tecniche sono rappresentate dalla ricerca del migliore accoppiamento possibile tra i livelli di tensione del generatore fotovoltaico con quelli del convertitore DC/AC, per il quale si registra un aumento dell'efficienza al diminuire del rapporto tra la tensione di ingresso e quella di uscita.

Per il generatore fotovoltaico si è scelto un valore limite per la tensione in corrente continua di 1500 V, tale valore è stato dettato prettamente dal livello tecnologico raggiunto nell'ambito della conversione da corrente continua in alternata, in poche parole attualmente 1500 V rappresenta il valore limite a cui gli inverter presenti sul mercato sono in grado di eseguire la suddetta conversione nella massima efficienza e pure la linea di demarcazione tra la bassa e la media tensione in corrente continua.

### **7. MATCHING STRINGA/INVERTER**

Il valore limite individuato per la tensione in corrente continua definisce a sua volta un elemento basilare dell'impianto fotovoltaico, la lunghezza di stringa, ovvero il numero massimo di moduli fotovoltaici che possono essere collegati in serie. I moduli individuati per la realizzazione del generatore fotovoltaico sono JINKO SOLAR modello Bifacial JKM580M-7RL4-TV da 580 W di cui a seguire si riportano i principali dati elettrici di tensione:

- Tensione a circuito aperto Voc: 50,12 V;
- Tensione alla massima potenza Vmp: 41,17 V;
- Coefficiente di temperatura della Voc: -0,28%/°C;

I valori riportati si riferiscono a misure eseguiti in condizioni di test standard (Standard Test Condition), ovvero:

- Irraggiamento: 1000W/m<sup>2</sup>;

- Temperatura della cella: 25°C;
- Air Mass: 1.5;

Occorre evidenziare che il fattore che più di tutti influenza il comportamento, e quindi la producibilità, di un modulo fotovoltaico è la temperatura. In linea di massima le prestazioni di qualunque modulo fotovoltaico, e quindi di qualunque impianto, decrescono all'aumentare della temperatura, ovvero l'impianto produrrà meno quando la temperatura atmosferica (e quindi quella di lavoro delle celle) è elevata. Tra tutti i parametri elettrici coinvolti in questo fenomeno di derating dovuto all'aumentare della temperatura, la tensione rappresenta quello che subisce le maggiori oscillazioni, in particolare, un aumento della temperatura corrisponde un decremento della tensione nominale, come evidenziato dal coefficiente di temperatura del modulo.

Per questo motivo il matching dei valori della tensione di esercizio e della tensione limite dell'inverter ha importanza vitale per il corretto funzionamento dell'impianto fotovoltaico.

Dal punto di vista progettuale si considera come range di temperatura della cella l'intervallo compreso tra -10°C e +60°C.

Per l'impianto fotovoltaico in esame si è scelto di realizzare stringhe di lunghezza 26 moduli. Anche se il valore della tensione a circuito aperto alla temperatura di progetto di -10°C supera di poco il valore limite di 1500 V è pur vero che, considerata l'ubicazione dell'impianto (latitudine), tale temperatura non potrà mai essere raggiunta e pertanto, la scelta di avere stringhe di 26 moduli è piuttosto spinta (dal punto di vista prestazionale) ma più che plausibile.

Nel presente progetto si considerano 2 scenari per quanto riguarda i sistemi di condizionamento della potenza (inverter) in modo da adattarsi alle migliori condizioni di mercato e ai requisiti della rete di immissione.

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

Lo string-inverter è ubicato alla fine di una fila di tracker e fissato sul palo. L'inverter è 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

Gli inverter individuati per lo sviluppo dei progetti in oggetto sono di marca HUAWEI modello SUN2000-215KTL-H0, come si evince dalla tabella di seguito riportata: i valori di tensione assunti dalle stringhe sono compatibili con i valori limite di funzionamento degli inverter:

DESCRIZIONE GRANDEZZA ELETTRICA	SUN2000-215KTL-H0
MPP range voltage Vdc	500 to 1500
Start voltage Vdc	550
MAX input voltage Vdc	1.500

- MPP range voltage Vdc: rappresenta l'intervallo di tensione di funzionamento del dispositivo MPP, inseguitore del punto di massima potenza;
- Start voltage Vdc: rappresenta il valore di tensione in corrispondenza del quale l'impianto fotovoltaico si mette in funzione al mattino;
- MAX input voltage Vdc: valore limite della tensione in ingresso.

Il secondo scenario contempla l'utilizzo di inverter centrali:

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.

Gli inverter considerati per il secondo scenario sono di marca SUNGROW modello SG3400HV-MV-30, come si evince dalla tabella di seguito riportata: i valori di tensione assunti dalle stringhe sono compatibili con i valori limite di funzionamento degli inverter:

DESCRIZIONE GRANDEZZA ELETTRICA	SG3400HV-MV-30
MPP range voltage Vdc (@25°C)	875 to 1300
MINIMUM input voltage / start voltage Vdc	875 / 915
MAX input voltage Vdc	1.500

- MPP range voltage Vdc (@25°C): rappresenta l'intervallo di tensione di funzionamento del dispositivo MPP, inseguitore del punto di massima potenza;
- MINIMUM input voltage / start voltage Vdc: rappresenta il valore minimo per la tensione in ingresso all'inverter e il valore di tensione in corrispondenza del quale l'impianto fotovoltaico si mette in funzione al mattino;
- MAX input voltage Vdc: valore limite della tensione in ingresso.



## 8. PITCH

Per l'impianto fotovoltaico in esame si è scelta l'installazione dei moduli su strutture inseguitori solari (tracker) con asse di rotazione parallelo al terreno, quindi con angolo di tilt pari a 0°, e inclinazione massima dei moduli di  $\pm 55^\circ$  est-ovest. Per semplicità di installazione si è scelto di organizzare tali strutture in componenti modulari (denominate tavole) tutte uguali in cui i moduli fotovoltaici sono installati su un'unica fila ad 26 oppure 39 moduli.

Come indicato più volte nel corso di tutta la documentazione progettuale allegata alla richiesta di autorizzazione alla costruzione ed esercizio dell'impianto, il rendimento e la produttività dipende da numerosi fattori, tra questi riveste un ruolo sicuramente notevole il posizionamento in campo delle strutture. Tale aspetto è inerente al fatto che le strutture devono essere posizionate a terra in modo tale da non provocare ombreggiamenti reciproci, a tal fine il corretto dimensionamento dell'impianto non può prescindere dalla definizione del parametro di pitch, cioè la distanza minima a cui ciascuna struttura deve essere installata per evitare ombreggiamento sui pannelli. Come specificato, tutti i tracker avranno asse di rotazione orizzontale nord-sud e l'inclinazione massima dei moduli sarà di  $55^\circ$ .

Per minimizzare gli ombreggiamenti tra i pannelli, la distanza tra le file deve essere necessariamente maggiore di:

$$D = L \cos \beta (1 + \tan \beta / \tan \theta)$$

Essendo:

- $\beta$  (inclinazione dei moduli rispetto al piano orizzontale) =  $15^\circ$ ;
- $\theta$  (elevazione del sole sull'orizzonte a mezzogiorno del 21 Dicembre) =  $90^\circ - \text{lat.} - 23,4^\circ$ ;

Viene considerata l'elevazione del sole a mezzogiorno del 21 Dicembre in quanto è il giorno dell'anno in cui il sole, alla latitudine considerata, è più basso all'orizzonte.

Per lo sviluppo dell'impianto in esame, vagliati gli aspetti tecnici ed economici del caso, il valore di pitch è stato scelto pari a 10,5 metri.

DENOMINAZIONE IMPIANTO	EG AMBIENTALE
NUMERO TRACKER 2x39	317
NUMERO TRACKER 2x26	7

## 9. DIMENSIONAMENTO CAMPO FOTOVOLTAICO

Se il corretto dimensionamento delle stringhe in funzione dei parametri elettrici dell'inverter determina il corretto funzionamento elettrico del sistema, un altro aspetto progettuale di importanza primaria che determina invece l'aspetto prestazionale dell'impianto è quello legato alla scelta delle potenze in gioco. Infatti, in riferimento alla superficie disponibile per l'installazione del generatore fotovoltaico, è particolarmente importante la definizione della potenza di picco dell'impianto (quindi lato DC) e quella nominale di connessione alla RTN (quindi lato AC).

Tali valori definiscono un parametro molto importante per il dimensionamento dell'impianto, il rapporto DC/AC. L'importanza di questo parametro risiede nel fatto che da esso dipende il valore del PR cioè il Performance Ratio, esso rappresenta un parametro adimensionale che fornisce le prestazioni assolute di un impianto fotovoltaico. Grazie a tale parametro le performance di impianti di potenze diverse, realizzati in luoghi diversi, possono essere confrontate in modo attendibile e assoluto.

DENOMINAZIONE IMPIANTO	EG AMBIENTALE
TOTALE MODULI INSTALLATI	25.090
POTENZA PICCO IMPIANTO DC (kW)	14.552,20
POTENZA NOMINALE AC (kW)	14.600,00
POTENZA IMMISSIONE LIMITATA AC (kW)	14.550,00
DC/AC medio %	100

In linea generale al diminuire del rapporto DC/AC il valore del PR aumenta, tuttavia, ci sarà un limite minimo oltre il quale l'incremento del PR non sarà più così apprezzabile. La scelta di tali valori deve anche tener presente aspetti economici non secondari a quelli tecnici, infatti, a valori decrescenti del rapporto DC/AC corrispondono costi CAPEX (legati all'investimento iniziale) sempre più elevati.

I valori DC/AC indicati in tabella rappresentano il compromesso migliore possibile per le installazioni in oggetto. Inoltre, il costruttore degli inverter garantisce l'efficienza della conversione DC/AC per valori del suddetto rapporto molto superiori a quelli stabiliti per il progetto in oggetto.

## DETTAGLIO TECNICO SOTTOCAMPI

Di seguito si riporta il dettaglio tecnico relativo a ciascun sottocampo che consente di ottenere il rapporto DC/AC specificato:

<b>SOTTOCAMPO 1 – TRASFORMER STATION 1</b>	
N° pannelli totali (Jinko Solar 580W)	5.200
N° moduli in serie (stringa)	26
N° stringhe	200
Potenza totale di picco (kW)	3.016
N° di inverter (SUN2000-215KTL-215VA)	15
Tensione alla max potenza @STC (Vmp) [V]	1500
Tensione nominale @STC (Voc) [V]	1.080
Corrente massima di uscita inverter @STC (Imax) [A]	2.328
Corrente massima in ingresso inverter @STC (Imax)	450

<b>SOTTOCAMPO 2 – TRASFORMER STATION 1</b>	
N° pannelli totali (Jinko Solar 580W)	5.070
N° moduli in serie (stringa)	26
N° stringhe	195
Potenza totale di picco (kW)	2.941
N° di inverter (SUN2000-215KTL-215VA)	15
Tensione alla max potenza @STC (Vmp) [V]	1500
Tensione nominale @STC (Voc) [V]	1.080
Corrente massima di uscita inverter @STC (Imax) [A]	2.328
Corrente massima in ingresso inverter @STC (Imax)	450

<b>SOTTOCAMPO 3 – TRASFORMER STATION 1</b>	
N° pannelli totali (Jinko Solar 580W)	5.252
N° moduli in serie (stringa)	26
N° stringhe	202
Potenza totale di picco (kW)	3.046
N° di inverter (SUN2000-215KTL-215VA)	15
Tensione alla max potenza @STC (Vmp) [V]	1500
Tensione nominale @STC (Voc) [V]	1.080
Corrente massima di uscita inverter @STC (Imax) [A]	2.328
Corrente massima in ingresso inverter @STC (Imax)	450

<b>SOTTOCAMPO 4 – TRASFORMER STATION 1</b>	
N° pannelli totali (Jinko Solar 580W)	4.836
N° moduli in serie (stringa)	26
N° stringhe	186
Potenza totale di picco (kW)	2.805
N° di inverter (SUN2000-215KTL-215VA)	14
Tensione alla max potenza @STC (Vmp) [V]	1500
Tensione nominale @STC (Voc) [V]	1.080
Corrente massima di uscita inverter @STC (Imax) [A]	2.328
Corrente massima in ingresso inverter @STC (Imax)	450

<b>SOTTOCAMPO 5 – TRASFORMER STATION 1</b>	
N° pannelli totali (Jinko Solar 580W)	4.732
N° moduli in serie (stringa)	26
N° stringhe	182
Potenza totale di picco (kW)	2.744
N° di inverter (SUN2000-215KTL-215VA)	14
Tensione alla max potenza @STC (Vmp) [V]	1500
Tensione nominale @STC (Voc) [V]	1.080
Corrente massima di uscita inverter @STC (Imax) [A]	2.328
Corrente massima in ingresso inverter @STC (Imax)	450

## 10. CAVI E CADUTA DI TENSIONE

Tutte le scelte progettuali devono essere finalizzate alla massima producibilità dell'impianto fotovoltaico, a tale scopo è fondamentale che tutte le perdite energetiche in campo siano ridotte il più possibile al fine di non inficiare la produzione di energia elettrica. Come ogni sistema fisico anche quello fotovoltaico è composto da numerose componenti sia attive che passive che assorbono e dissipano energia durante il loro esercizio standard.

Tra queste, la componente sicuramente più importante è quella relativa ad inverter e trasformatori ma è anche quella dove è possibile incidere meno in termini di progettualità in quanto le performance sono garantite dal costruttore e pertanto nello sviluppo dell'impianto ci si può limitare solo a scegliere apparecchiature il più prestazionali possibili. Dove invece è possibile incidere in termini di contenimento delle perdite è sulla trasmissione dell'energia elettrica lungo tutto il tratto dalla produzione alla connessione in rete. Poiché la trasmissione dell'energia prodotta da un impianto fotovoltaico avviene via cavo, ciò significa che occorre porre particolare attenzione nella scelta dei cavi da utilizzare per collegare i vari componenti di impianto.

La tensione è il parametro che è necessario controllare con lo scopo di limitare le perdite lungo il tracciato, in particolare l'obiettivo è quello di limitare la caduta di tensione entro un certo limite che per gli impianti in esame è stato fissato in circa 1,2% - 1,3% lato corrente continua e circa 0,2% - 0,3% lato corrente alternata in media tensione. Le prestazioni descritte dipendono dalla lunghezza delle varie tratte considerate e dalla sezione dei cavi utilizzati per i collegamenti. Quanto concerne gli impianti in questione tanto per il lato in corrente continua quanto per il lato in media tensione le sezioni dei cavi saranno individuate nel range di sezioni 150 / 240 mmq. Fa eccezione la sezione dei cavi per il collegamento alla SSE che dipendono dalla distanza di quest'ultima. A livello di progettazione esecutiva sarà possibile procedere con un calcolo dettagliato di quanto esposto.