

# Relazione di calcolo opere civili

Progetto definitivo

Impianto agrivoltaico "F-CHORI"

Comune di Lentini (SR)

Località "Pezza Grande"

N. REV.	DESCRIZIONE	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO	
a	Prima emissione	Capital Engineering	Chorisia Solis	Coolbine	IT/FTV/F-CHORI/PDF/C/RS/023-a 25/01/2023 Giarre (CT) Via San Giuseppe, 3T chorisia.solis@pec.it

Ing. Vincenzo Massaro



Ing. Salvatore Li Vigni



Progetto di



su incarico di



Capital Engineering S.n.c.  
Via Trinacria, 52 - 90144 - Palermo  
info@capitalengineering.it

Coolbine S.r.L.  
Via Trinacria, 52 - 90144 - Palermo  
progettazione@coolbine.it

## SOMMARIO

1. PREMESSA .....	3
2. DESCRIZIONE DELLE TIPOLOGIE STRUTTURALI IPOTIZZATE .....	5
1.1 Descrizione delle strutture in progetto - TRACKER .....	6
1.1.1 Gestione dei tracker e movimentazione .....	7
3. CARICHI AGENTI SU OGNI TRACKER.....	8
4. DESCRIZIONE DELLA MODELLAZIONE STASTICA .....	8
5. CABINE ELETTRICHE .....	9
6. CONCLUSIONI.....	9

## 1. PREMESSA

Il presente documento ha lo scopo di fornire una descrizione tecnica preliminare delle strutture di sostegno relative al progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico per la generazione di energia elettrica attraverso l'utilizzo di fonte rinnovabile solare e la conversione fotovoltaica. In particolare, il progetto prevede la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato "F-Chori", da installare in un lotto di terreno nella disponibilità della società proponente, sito nel comune di Lentini (SR) in località "Pezza Grande". L'impianto è caratterizzato da una potenza in immissione di 15 MW e potenza di picco pari a 15,1 MWp.

L'impianto è costituito da 804 strutture di sostegno ad inseguimento monoassiale (tracker), aventi configurazione 2x14 moduli bifacciali con potenza pari a 670 Wp e tecnologia monocristallina, per una potenza di picco complessiva pari a 15.1 MWp.

Al fine di prediligere l'attività agricola in sito e mitigare l'impatto visivo dell'impianto agrivoltaico, lungo tutto il perimetro dell'area di impianto "F-Chori" è prevista l'installazione di una fascia arborea di mitigazione, anche detta area verde, avente larghezza di 10 m, costituita da essenze arboree comunemente coltivate in Sicilia, al fine di mitigare l'impatto visivo degli impianti stessi. In particolare si prevede la coltivazione lungo la fascia arborea di alberi di ulivo.

I tracker sono posizionati con interasse (direzione Nord-Sud) scelto in funzione dell'orografia del terreno e tale da minimizzare gli effetti di ombreggiamento tra una fila di moduli e la successiva e da permettere, tra i filari delle strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici l'attività vivaistica.

In particolare le specie scelte per l'attività vivaistica sono:

- *Chamaerops humilis*
- *Chamaerops humilis 'Cerifera'*
- *Dasyllirion serratifolium*
- *Yucca gloriosa,*

Si ricorda che i tracker fotovoltaici occupano una porzione di terreno esigua in quanto sostengono i moduli fotovoltaici tramite pali in acciaio zincato di ridotte dimensioni con sviluppo planimetrico puntuale. I pali di sostegno, inoltre, sono direttamente infissi nel terreno e non si prevede l'utilizzo di alcuna fondazione di calcestruzzo armato. Ciò consente la crescita di vegetazione spontanea al di sotto dei moduli fotovoltaici, utile per lo sviluppo di un'attività pastorale in sito.

In ottemperanza alle procedure poste in essere, è stata sottoposta al gestore di rete Terna S.p.A., formale istanza di allaccio alla RTN al fine di valutarne la fattibilità tecnica.

In data 20/09/2022, con codice di rintracciabilità 202201008, è stata ottenuta da Terna S.p.A. la seguente Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG), di cui si riporta di seguito un estratto (si veda l'elaborato di progetto "Preventivo di connessione e accettazione soluzione tecnica di allaccio").

## STMG

*La Soluzione Tecnica Minima Generale per Voi elaborata prevede che la Vs. centrale venga collegata in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV di una nuova stazione elettrica (SE) RTN 380/150/36 kV da inserire in entra – esce sulla linea RTN a 380 kV “Chiaramonte Gulfi - Paternò”.*

l’energia in corrente continua prodotta dai moduli fotovoltaici viene convertita in corrente alternata e trasformata al livello di tensione di 30kV. Ogni PV Station sarà collegata tramite un proprio sistema di cavi MT interrati a 30kV alla Cabina di Parallelo, per convogliare a questa l’energia prodotta dai moduli fotovoltaici.

Dalla Cabina di Parallelo, tramite un breve tratto di sistema di cavi interrati MT 30 kV, l’energia dell’intero campo fotovoltaico sarà convogliata alla Cabina di Trasformazione 30/36kV, nella quale avverrà l’innalzamento della tensione da 30 kV a 36 kV. Dalla Cabina di Trasformazione 30/36 kV, l’energia prodotta a 36kV verrà consegna alla Cabina Utente.

Infine, dalla Cabina Utente tramite un sistema di cavi interrati a 36 kV l’energia prodotta dalla componente fotovoltaica dell’impianto F-Chori verrà convogliata alla sezione 36 kV della nuova Stazione Elettrica (SE) 380/150/36kV della RTN (per maggiori dettagli sui vari collegamenti si veda l’elaborato grafico di progetto “Schema Elettrico Unifilare”).

A seguito della STMG ricevuta è stato possibile definire le seguenti opere in progetto da realizzare:

1. impianto agrivoltaico con strutture di sostegno ad inseguimento monoassiale (tracker), avente potenza di picco pari a 15,1 MWp, ubicato in località Pezza Grande nel comune di Lentini (SR);
2. opere civili, accessorie ed elettriche;
3. stazione meteorologica;
4. n. 84 Combiners box;
5. n. 4 PV Station contenenti ciascuna un inverter centralizzato, un trasformatore MT/BT, un quadro MT di protezione, un quadro BT di protezione, un trasformatore BT/BT per i servizi ausiliari;
6. n. 1 Cabina di Parallelo contenente il quadro MT di protezione, in cui si attesteranno le estremità terminali dei cavi MT in arrivo dalle singole PV Station e da cui partirà il cavidotto a 30kV per il collegamento alla Cabina di Trasformazione 30/36kV, il trasformatore MT/BT per l’alimentazione dei servizi ausiliari e il quadro BT dei servizi ausiliari;
7. n. 1 Cabina di Trasformazione 30/36kV contenente il trasformatore 30/36kV;
8. n. 1 cabina Utente contenente il quadro 36kV di protezione dell’impianto contenente i dispositivi di protezione CEI 0-16 e le apparecchiature di misura (AdM);
9. n. 1 cabina scada;

10. sistemi di cavi BT in corrente continua, interrati e in parte fuori terra, per il convogliamento dell'energia prodotta dai moduli fotovoltaici alle Combiner box e da queste agli inverter centralizzati contenuti nelle PV Station;
11. sistemi di cavi BT in corrente alternata, interrati e in parte fuori terra, per il convogliamento dell'energia elettrica in corrente alternata in uscita dagli inverter centralizzati ai rispettivi trasformatori MT/BT posti nelle stesse PV Station;
12. sistema di cavi interrati in media tensione a 30 kV per il collegamento di ciascuna delle PV Station alla Cabina di Parallelo e per il collegamento di quest'ultima cabina alla Cabina di Trasformazione 30/36kV;
13. sistema di cavi interrati a 36kV per il collegamento tra Cabina di Trasformazione 30/36kV e la Cabina Utente;
14. impianto di Utenza a cura del proponente composto da:
  - sistema di cavi interrato a 36kV di collegamento tra la Cabina Utente e la sezione a 36 kV di una nuova stazione elettrica (SE) della RTN 380/150/36 kV, avente lunghezza di circa 11,3 km;
15. Impianto di Rete (a cura di Terna S.p.A.) come da soluzione tecnica proposta dal Gestore di Rete adeguata al nuovo standard di connessione alla RTN a 36kV e accettata formalmente in data 27/09/2022, che prevede la realizzazione di una nuova stazione (o stallo) arrivo produttore a 36kV della nuova Stazione Elettrica (SE) RTN 380/150/36 kV, da inserire in entra – esce sulla linea RTN a 380 kV “Chiaramonte Gulfi – Paternò”.

Al termine dei lavori civili ed elettromeccanici sarà effettuato il collaudo di tutte le opere. Per quanto non espressamente indicato, si rimanda alle Normative e Pubblicazioni vigenti ed alla documentazione tecnica di progetto.

## 2. DESCRIZIONE DELLE TIPOLOGIE STRUTTURALI IPOTIZZATE

Come già detto, le strutture di sostegno dell'impianto sono del tipo ad inseguimento “tracker”, a terra, con potenza di picco prodotta complessiva pari a 15,1 MWp.

Le soluzioni strutturali adottate per l'impianto in oggetto e che vengono di seguito descritte, scaturiscono dall'analisi del sito, dagli approfondimenti geologici eseguiti contenuti nelle relative relazioni ed elaborati grafici e dalla tipologia di impianto prevista.

Relativamente alle strutture principali l'impianto è composto dai seguenti elementi:

- PARCO FOTOVOLTAICO: costituito dai moduli e dai supporti atti a sostenerli sul terreno. I moduli sono responsabili della conversione dell'energia solare in energia elettrica in corrente continua;

- **CABINE ELETTRICHE:** saranno presenti n. 4 PV Station destinate alla trasformazione della corrente continua in corrente alternata distribuite all'interno del campo, n.1 Cabina di Parallelo come hub di raccolta dell'energia proveniente dalle PV Station, n. 1 Cabina di Trasformazione 30/36kV contenente il trasformatore 30/36kV e n. 1 Cabina SCADA per il monitoraggio dell'impianto e da n. 1 Cabina Utente da cui parte il cavo di connessione 36 kV. L'impianto prevede l'impiego di moduli in silicio monocristallino della potenza nominale di 670 Wp, installazione della vela composta da n°28 moduli disposti su doppia fila orizzontale, connessi tra loro in stringhe, da posizionarsi a terra su apposita struttura in acciaio caratterizzata da tecnologia tracker, opportunamente fissati al terreno mediante sistemi di ancoraggio del tipo infissi. Il dimensionamento delle strutture di supporto e di ancoraggio sarà definito in occasione della redazione del progetto esecutivo, in seguito a prove condotte sul sito e relativa relazione di verifica statica.

### 1.1 Descrizione delle strutture in progetto - TRACKER

La struttura di sostegno delle vele, costituite da tracker motorizzati monoassiali, su cui saranno alloggiati i moduli fotovoltaici, sarà realizzata con profili in acciaio zincato a caldo. La struttura di sostegno della vela sarà realizzata con montanti in acciaio infissi nel terreno ad altezza variabile, per i diversi tracker secondo le caratteristiche geomorfologiche del terreno, con quota variabile rispetto al piano di campagna, lungo la linea di movimentazione, avente una lunghezza di circa 18,5 m, sorretta da n°3 montanti in acciaio, infissi nel terreno ad una profondità variabile tra 1,5 e 2,0 m, in funzione della pendenza del terreno, tenendo conto delle ombre che una fila di moduli può proiettare su quella successiva. La scelta della profondità di infissione nel terreno sarà anche definita in seguito alle verifiche di tenuta allo sfilamento.

I pali di sostegno dei tracker, su cui saranno montati i moduli, potranno avere un'altezza variabile, funzionale in modo da adattarsi ad una pendenza del terreno che varia nell'ordine del 3%. La movimentazione del tracker lo scopo di realizzare un'inclinazione della stringa tale da essere costantemente ortogonale alla radiazione solare, in modo da ottimizzare la quantità di radiazione incidente captata dalla vela, andando a realizzare un movimento semicircolare. Tale rotazione porterà ad avere un'altezza dei moduli variabile tra 1 m e 4,70 m rispetto al piano di campagna, sempre in funzione delle diverse pendenze presenti sul terreno.

Il sistema di sostegno deve reggere il peso del tracker e dei moduli, oltre ai carichi derivanti da condizioni ambientali avverse. Su tali pali, su cui saranno montati i sistemi "tracker", saranno posizionati le strutture di sostegno dei pannelli, realizzati in profilati zincati a caldo ad omega, per il bloccaggio dei moduli fotovoltaici. Ulteriori dettagli sul sistema di fissaggio dei moduli sono riportati nella scheda tecnica fornita dal costruttore.

Il progetto prevede di utilizzare delle strutture portanti adatte al terreno di tipo argilloso, con la possibilità di scegliere tra pali infissi nel terreno, mediante l'impiego di attrezzature battipalo o di pali a vite.

In entrambe le soluzioni non si prevedono basamenti in cemento, allo scopo di ridurre al minimo possibile l'impatto sul terreno. Inoltre si facilita anche il piano di dismissione degli impianti.

### 1.1.1 Gestione dei tracker e movimentazione

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

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

Nella versione cablata proposta, l'alimentazione del tracker è monofase 230 AC. La classe di isolamento è: Classe II. Il dispositivo elettronico di controllo è una scheda elettronica protetta da una scatola di plastica, il materiale è PC + ABS resistente ai raggi UV, grado IP 65.

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

Il controllo dell'algoritmo fornisce una fase di backtracking mattutino da 0° a + 50° e analogamente una fase pomeridiana di backtrack da -50° a 0°. Il sistema calcola l'angolo ottimale evitando l'ombreggiatura dei pannelli. Durante la fase centrale "tracking diretto" da + 50° a -50°, il sistema insegue l'angolo ottimale per il localizzatore con un errore massimo pari al valore impostato. Più piccolo è l'errore di tracciamento, maggiore è il numero di stop and go dell'attuatore durante il giorno.

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

Il controllo opera per preservare la durata delle spazzole del motore e la durata dei relè e per garantire il numero di arresti e scatti necessari per la durata prevista di 25-30 anni degli impianti.

Sarà possibile modificare e impostare i parametri di controllo per adattare il sistema alle caratteristiche del sito locale e ottimizzare la produzione di energia solare.

La soluzione di supporto per la posizione dell'attuatore è realizzata con boccia in bronzo a basso attrito, fissata con dadi su un supporto in acciaio. I perni di rotazione sono realizzati in acciaio inossidabile. L'accoppiamento elettrochimico dei materiali è esente da corrosione.

La soluzione portante per la posizione dei poli secondari è realizzata in tecnopolimero, alto modulo – basso attrito, elementi fissati al tubo 150x150, che ruotano in un supporto circolare del sedile.

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

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

Il materiale dei poli è acciaio S 355 JR, mentre il materiale della parte di giunzione e del supporto del cuscinetto è in acciaio S 355 JR e S 275 JR. Il materiale del tubo è S 355 JR (file esterne) e S 275 (file interne). Per gli arcarecci i materiali sono acciaio S 355 JR.

La protezione superficiale avviene mediante zincatura a caldo secondo la norma UNI-EN-ISO1461.

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

Il terreno è classificato come non corrosivo. Le fondazioni sono realizzate con sistema di martellatura diretta. I pali sono realizzati in acciaio S 355 JR più adatto per essere martellato senza deformazioni nella testa martellata. Il periodo di vibrazione naturale dell'intera struttura del tracker è inferiore a 1 secondo, quindi il comportamento della struttura può essere classificato "rigido" per quanto riguarda il calcolo.

### 3. CARICHI AGENTI SU OGNI TRACKER

Carichi permanenti:

Peso moduli;

Peso struttura di supporto moduli.

Carico neve:

zona di carico neve III.

Carico vento:

Zona di vento 4;

Altezza riferita al livello del terreno  $z < 30.00$  m;

$V_{ref} = 28$  m/s;

$P_{ref} = 0.49$  kN/m<sup>2</sup>;

$P_{max} = 5,71$  kN/m<sup>2</sup> (pressione massima del vento).

### 4. DESCRIZIONE DELLA MODELLAZIONE STATICA

Per la trasmissione dei carichi sugli elementi di supporto si utilizzano profilati di alluminio con funzione di arcarecci. Dal punto di vista statico essi vengono trattati come travi continue con sbalzi bilaterali. Durante la fabbricazione e montaggio questi possono essere giunti come travi a sbalzo (trave Gerber) con articolazioni in punti specifici. Le azioni dei carichi vento e neve per la determinazione delle sollecitazioni massime devono essere applicate sulle campate nella maniera più sfavorevole. Per il calcolo si utilizzano i coefficienti per travi continue a luci uguali. La trasmissione dei carichi della vela al supporto centrale, che viene fissato ai sei profili di appoggio conficcati nel terreno, avviene tramite arcarecci in alluminio. Per la determinazione delle sollecitazioni dei carichi variabili devono essere applicati sfavorevolmente e unilateralmente. Per la determinazione delle sollecitazioni nei componenti della sottostruttura si applicano le forze del vento come azioni concentrate nei punti del quarto della superficie del modulo.

Per ogni combinazione di carico si determinano così due posizioni di applicazione delle forze vento. La determinazione delle sollecitazioni di dimensionamento avviene attraverso l'analisi di 6 differenti combinazioni



delle azioni. Il supporto di appoggio dell'asse orizzontale, n°3 appoggi, è formato da un profilo circolare che viene conficcato nel terreno di fondazione ad una definita profondità di interramento. A questo scopo sono necessarie delle analisi del terreno e prove di carico per determinare le sollecitazioni trasmissibili, prova allo sfilamento, che verrà eseguito nel progetto esecutivo.

## **5. CABINE ELETTRICHE**

Per le cabine elettriche è previsto l'utilizzo di un'unica tipologia costruttiva, ovvero strutture prefabbricate rispondenti alle norme di sicurezza ed alla normativa tecnica per cui sono state prodotte.

Gli elementi prefabbricati poggeranno su un basamento interrato in cemento armato, dello spessore compreso tra i 40-60 cm, realizzato in opera, dotato di cavedi interni alla struttura, funzionali al contenimento dei cavidotti elettrici di entrata e di uscita. L'intera opera di appoggio descritta sarà opportunamente dimensionata in occasione delle prove condotte in sito ed alla conseguente verifica statica.

Il basamento è previsto incassato fino alla stessa quota di campagna, ottenuta dallo scotico del terreno vegetale al fine di intercettare il terreno dotato di maggiore coesione e resistenza unitaria.

Successivamente, sull'estradosso del basamento si dovrà realizzare un idoneo massetto in calcestruzzo, dello spessore di 20 cm, rinforzato da idonea rete elettrosaldada al fine di proporre il piano di spiccato ad un'altezza superiore e pari a circa 20 cm rispetto al piano di campagna e definire, contestualmente, il piano di posa della cabina prefabbricata.

## **6. CONCLUSIONI**

Il presente documento ha fornito una descrizione preliminare ed indicativa degli elementi caratterizzanti le varie opere strutturali, in termini di caratteristiche tecniche tipiche, nel progetto, demandando ad una fase successiva il dimensionamento e la definizione di dettaglio delle strutture.