

## RELAZIONE PRELIMINARE STRUTTURE

**Realizzazione di un parco Agrivoltaico di potenza nominale pari a 42 MWp, denominato “MACOMER 4” sito nel Comune di Macomer (NU).**

**Località “Nuraghe Solene”.**

PROPONENTE:



Energia Pulita Italiana 3 s.r.l.

Rev00		Data ultima elaborazione: 29/04/2022	
Redatto	Formattato	Verificato	Approvato
Ing. Canterino	Dott. Bertollo	Ing. Canterino	ENERLAND ITALIA s.r.l.
Codice Elaborato		Oggetto	
MACOMER4-PDR03		PROGETTO DEFINITIVO	

TEAM ENERLAND:

*Ing. Emanuele CANTERINO*  
*Dott. Claudio BERTOLLO*  
*Dott. Guglielmo QUADRIO*

*Dott. Agr. Patrick VASTA*  
*Ing. Annamaria PALMISANO*  
*Dott.ssa Nausica RUSSO*  
*Dott.ssa Ilaria CASTAGNETTI*

GRUPPO DI LAVORO:

*Geol. Nicola PILI*  
*Ing. Marta ZICCHEDDU*  
*Dott. Rosario PIGNATELLO*  
*Ing. Gianluca VICINO*  
*Ing. Fabio Massimo CALDERARO*  
*Ing. Vincenzo BUTTAFUOCO*  
*Dott. Agr. Vincenzo SATTA*



## INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. DESCRIZIONE DELLE TIPOLOGIE STRUTTURALI IPOTIZZATE .....	2
2.1 Descrizione delle strutture in progetto - Tracker .....	3
2.1.1 Gestione dei tracker e movimentazione .....	4
2.1.2 Carichi agenti su ogni tracker:.....	6
2.1.3 Arcarecci.....	7
2.2 Descrizione delle strutture in progetto – Cabine elettriche .....	8
3. CANTIERIZZAZIONE.....	9
4. CONCLUSIONI .....	10



## 1. PREMESSA

Con la presente relazione si propone una descrizione delle strutture costituenti l'impianto dove si intende alloggiare i moduli fotovoltaici, dando un grado di dettaglio maggiore alle stesse, facendo così riferimento alla tecnologia tracker con movimento mono assiale. Inoltre, si propone anche una descrizione delle cabine che verranno installate sulla superficie del fondo di interesse.

Come già riportato nelle altre relazioni, il progetto che si intende realizzare è riferito ad un parco Agri-voltaico con potenza nominale di circa 42 MWp, ed una potenza complessiva in immissione alla RTN pari a 45 MW, grazie anche ad un sistema di storage di potenza pari a 10 MW, dove la produzione di energia elettrica proviene da fonte solare, mediante l'ausilio di tecnologia fotovoltaica, da realizzarsi in agro del Comune di Macomer (NU) in località "Nuraghe Solene" e proposto dalla società Energia Pulita Italiana 3 s.r.l. che opera nel settore delle fonti rinnovabili per la progettazione e realizzazione di impianti per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile.

Nel progetto si prevede l'ubicazione del parco agrivoltaico su di un'area agricola in agro del Comune di Macomer (NU) in località "Nuraghe Solene" (quota media di 510 m.s.l.m.). Infatti, la zona prevista per la realizzazione dell'impianto si sviluppa grossomodo intorno alla località appena citata; a Nord-Est è presente il centro abitato del Comune di Macomer, che dista circa 3,00 km. L'area che si estende nei pressi di tale località è caratterizzata da un contesto agricolo, non di pregio, esclusivamente dedicato alla coltivazione ordinaria ed oramai scarsamente redditizia di colture cerealicole.

## 2. DESCRIZIONE DELLE TIPOLOGIE STRUTTURALI IPOTIZZATE

Come già su riportato, l'impianto Agri-fotovoltaico è caratterizzato da una tipologia di strutture ad inseguimento "tracker", poste a terra, con potenza di picco pari a circa 42 MWp<sup>1</sup>, con potenza complessiva in immissione alla RTN pari a 45 MW<sup>2</sup>, grazie anche all'installazione di un sistema storage di 10 MW a corredo.

Le soluzioni strutturali adottate per il presente parco, che vengono di seguito descritte, scaturiscono da un'attenta analisi della configurazione del sito, dagli approfondimenti geologici eseguiti e contenuti nelle relative relazioni ed elaborati grafici e dalla tipologia di impianto previsto.

Relativamente alle strutture principali, l'impianto si compone dei seguenti elementi:

- PARCO FOTOVOLTAICO: costituito dai moduli e dai supporti atti a sostenerli sul terreno. Rappresenta la parte più estesa dell'impianto ed è responsabile della conversione dell'energia solare in energia elettrica in corrente continua;
- CABINE ELETTRICHE: saranno presenti fondamentalmente due classi di cabine, una destinata alla trasformazione della tensione da bassa (BT) da 800V ad alta (AT) a 36 kV, distribuite in n° 7 unità all'interno del campo; l'altra, un vero e proprio stallo di raccolta per far sì che l'intera potenza del campo venga convogliata alla stazione SE Terna, per il successivo innalzamento da AT ad AAT della tensione, per la consegna alla rete elettrica nazionale;
- CABINA SALA MONITORAGGIO: è il vero e proprio centro di monitoraggio ambientale e telemetrico dell'impianto, dove si implementano i sistemi scada e di rete ad alta tecnologia, in cui confluiscono i dati provenienti dai punti di rilevamento della rete controllo del parco stesso;

L'impianto prevede l'impiego di moduli in silicio monocristallino della potenza nominale unitaria pari a 570 Wp – in condizioni standard<sup>3</sup> - installazione in singola vela per i tracker 1Vx56 composta da 2 serie da 28 moduli, per la tipologia 1Vx28 composta da 1 serie da 28 moduli, connessi tra loro in

<sup>1</sup> Dove per potenza di picco è da intendersi il dato di potenza nominale presente solo per gli impianti fotovoltaici: essa è definita come la potenza istantanea – espressa in kWp – erogata da un pannello fotovoltaico in determinate condizioni standard, cioè con irraggiamento di 1000 W/mq, temperatura ambiente di 25°C, posizione del sole a 1.5 AM (ossia la posizione in cui il sole forma un angolo di 48° con lo zenith).

<sup>2</sup> Per valore della potenza in immissione complessivamente disponibile si intende quella disponibile, dopo gli interventi da effettuare, senza che l'utente sia disconnesso.

<sup>3</sup> Dove per condizioni standard, secondo le norme IEC/EN 60904 hanno stabilito le seguenti condizioni:

- Irraggiamento solare 1000W/mq
- Temperatura delle celle 25°C
- Distribuzione spettrale AM = 1,5

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.

## 2.1 Descrizione delle strutture in progetto - Tracker

La struttura di sostegno delle vele, costituite da tracker motorizzati mono assiali, su cui saranno alloggiati i pannelli 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, su una inclinazione del terreno compresa tra 0,0 m ad 0,6 m, lungo la linea di movimentazione, che per la tipologia tipo 1Vx28, consta di una lunghezza di 33 m, sorretta da n°3 montanti in acciaio necessario a garantire le strutture di sostegno, 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 pannelli 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 pannelli, potranno avere un'altezza variabile (nell'intorno comunque dei 3,20 m), funzionale per adattarsi ad una pendenza del terreno che varia nell'ordine del 5%. La movimentazione del tracker avrà il compito di predisporre l'inclinazione della stringa sempre nella direzione della radiazione solare, in relazione al movimento che il tracker potrà disegnare nel suo movimento "basculante", in modo da poter ottimizzare la quantità di radiazione incidente captante dalla vela, andando a disegnare un movimento circolare che potrà avere una altezza variabile in funzione delle diverse pendenze presenti sul terreno. Il sistema di sostegno deve reggere il peso del tracker e dei pannelli, 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 dell'area in esame (per maggiori dettagli vedasi la relazione geologica e successivamente a realizzarsi, se del caso, la relazione geotecnica), con la probabilità di scegliere tra la configurazione che considera la soluzione con pali infissi nel terreno, mediante l'impiego di attrezzature battipalo o pali a vite. In entrambe le soluzioni si prevedono tutti gli accorgimenti di natura strutturale, tecnologica ed installativa necessari

affinché si eviti l'utilizzo di basamenti in calcestruzzo, allo scopo di ridurre al minimo possibile l'impatto sul terreno, facilitando inoltre anche il piano di dismissione dell'impianto.

Resta inteso che eventuali cambi di configurazione strutturale possano essere adottati a valle di analisi e considerazioni oggetto del futuro progetto esecutivo.

### 2.1.1 Gestione dei tracker e movimentazione

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

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  $0^\circ$  a  $+55^\circ$  e analogamente una fase pomeridiana di backtracking da  $-55^\circ$  a  $0^\circ$ . Il sistema calcola l'angolo ottimale evitando l'ombreggiatura dei pannelli.

Durante la fase centrale "tracking diretto" da  $+55^\circ$  a  $-55^\circ$ , 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 dell'impianto.

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".

Per il sito è valutato per le file interne un carico di vento di area urbana.

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

Per un terreno 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.

La struttura portante su cui saranno alloggiati i pannelli fotovoltaici, sarà realizzata con profili in acciaio zincato a caldo sorretta da n°3 montanti in acciaio necessario al garantire le strutture di sostegno, infissi nel terreno ad una profondità variabile tra 1,5 e 2,0 m, in funzione della pendenza del terreno. Fuori terra la struttura montante si erge per circa 3,0 m, permettendo al modulo fotovoltaico di ruotare secondo le configurazioni geometriche su esposte e di mantenere una distanza minima dal terreno di 1,81 m quando esso è totalmente rivolto a est o ovest (in tal caso lo spigolo più alto del modulo si troverà a circa 3,74 m).

Ciascun tracker del tipo 1Vx28, porterà n°1 stringa costituita da 28 moduli, con le seguenti caratteristiche elettriche:

- Numero di moduli fotovoltaici per fila: 28 (in serie);
- Numero di moduli per ciascun tracker: 28;

In figura 1 si riporta un prospetto laterale tipo del tracker che si prevede di utilizzare, con su alloggiato il modulo fotovoltaico. La soluzione 1Vx56 è composta da 56 pannelli alloggiati e disposti secondo due file da 28 moduli l'una.

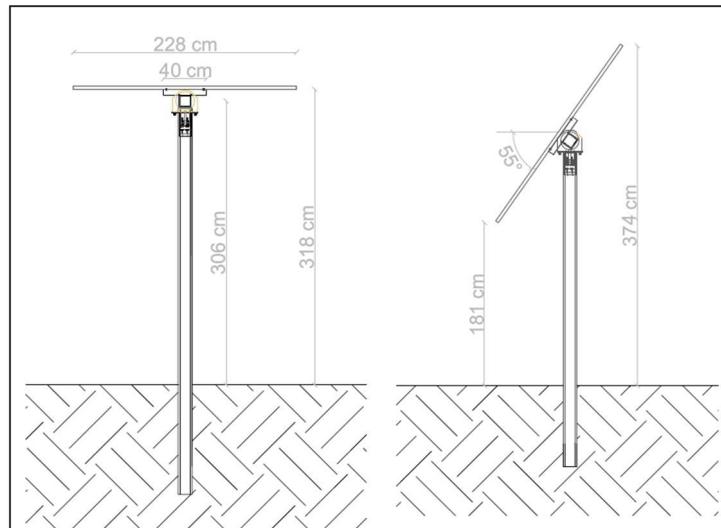


FIGURA 1: TRACKER SOLARE TIPO

### 2.1.2 Carichi agenti su ogni tracker:

Carichi permanenti:

- Peso pannelli;
- Peso struttura di supporto pannelli.

Carico neve:

- zona di carico neve III.

Carico vento:

- Zona di vento 4.

Nei vari dati forniti dai diversi produttori degli inseguitori, la voce "massima velocità del vento ammissibile" è assai controversa, in quanto sono troppo diverse le accezioni del concetto "ammissibile". Alcuni costruttori interpretano questo punto come valore limite fino al quale il sistema è ancora manovrabile. Infatti, la maggior parte degli inseguitori dispongono oggi di sensori di vento, tramite anemometri posizionati in più punti nell'impianto fotovoltaico, e si portano automaticamente in una posizione di sicurezza quando i carichi dovuti al vento minacciano l'integrità della loro meccanica.

Alcuni costruttori dichiarano una velocità del vento ammissibile di 150 km/h senza "posizioni anti tempesta". Posizionando il generatore di taglio al vento, il limite indicato risulta persino di 180 km/h. Altri sistemi resistono a velocità del vento ancora più elevate, se si dà credito ai dati forniti dai loro costruttori. Non esiste un catalogo universale dei criteri che definisca in modo univoco la stabilità dei sistemi fotovoltaici di inseguimento. La norma corrente per i moduli fotovoltaici CEI 61215 (oppure CEI

61646) contempla comunque solo un test per verificare resistenza a pressioni e depressioni di 5400 Pa applicate per un'ora. Nelle schede tecniche dei moduli, questi valori vengono espressi volentieri con la formula "corrispondente a una velocità del vento di 130 km/h", che però non è del tutto corretta. Il test CEI contempla sollecitazioni esercitate in modo uniforme, che non corrispondono esattamente agli scossoni esercitati da una tempesta furibonda. Inoltre, pressioni e depressioni vengono esercitate sul fronte del modulo, mentre non viene esercitata alcuna pressione sul suo retro; ma questo è esattamente quello che accade quando il vento investe un sistema di inseguimento prendendolo "alle spalle".

Il problema del vento riveste un'importanza fondamentale. Non si tratta solo del rischio di una perdita totale, ma in primis dei premi assicurativi legati all'assicurazione degli impianti, e in secondo luogo dell'usura. Componenti che funzionano costantemente in prossimità del proprio limite di carico richiedono anche interventi di riparazione o sostituzione più frequenti, il che fa aumentare i costi per kWh. Ne consegue una chiara tendenza ai sistemi mono assiali; i quali fruttano una produzione energetica inferiore ai biassiali, ma sono anche sensibilmente più economici da produrre, oltre a essere meno soggetti a guasti. Il successo di questi sistemi sembra dare ragione a chi valorizza maggiormente la stabilità e la facilità di manutenzione rispetto a un contenimento relativo della produzione energetica. Nel settore degli impianti di grande taglia si sta inoltre diffondendo sempre di più una variante ancora più semplice, ovvero l'inseguimento sull'asse orizzontale. Il vantaggio consiste nell'altezza ridotta della costruzione e nella conseguente minore vulnerabilità al vento, con un fabbisogno di superficie quasi identico rispetto ai montaggi convenzionali. Inoltre, questa soluzione offre la possibilità di movimentare mediante tiranterie interi campi di moduli utilizzando un solo azionamento.

### 2.1.3 Arcarecci

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 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 tre 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 infisso 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.

## **2.2 Descrizione delle strutture in progetto – Cabine elettriche**

Per le cabine elettriche è previsto l'utilizzo di diverse tipologie costruttive, ovvero strutture prefabbricate con dimensioni diverse a seconda del ruolo a cui esse asserviscono, rispondenti alle norme di sicurezza ed alla normativa tecnica per cui sono state prodotte.

Per le cabine di sottocampo, dove avverrà la trasformazione BT/AT si prevedono strutture prefabbricate con dimensioni maggiori o uguali a 9200 x 5000 mm. Per le cabine di consegna si prevedono strutture prefabbricate con dimensioni pari a 12000 x 5000 mm, mentre per la cabina di monitoraggio, che fungerà da sala di monitoraggio e controllo per gli addetti ai lavori, essa presenterà dimensioni di 15000x 5000 mm.

Gli elementi prefabbricati poggeranno su un basamento interrato in calcestruzzo 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 strutturale.

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 elettrosaldata 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.

### 3. CANTIERIZZAZIONE

La fase di cantiere comprende la quasi totalità delle opere necessarie alla realizzazione di un parco fotovoltaico e per questo costituisce la fase più impegnativa di tutto il processo. Difatti nel cantiere sono concentrate l'insieme delle azioni che effettivamente determinano la trasformazione del luogo che ospita l'impianto, sia durante i lavori, sia nel periodo successivo.

Le opere di cantiere sono strettamente legate alla tipologia ed alle dimensioni dell'impianto fotovoltaico che si intende realizzare, oltre ovviamente alla sua estensione. In ogni caso è indispensabile considerare che ogni azienda impegnata nella realizzazione di impianti fotovoltaici necessita di specifiche condizioni cantieristiche al momento della collocazione degli elementi delle strutture nella loro sede definitiva.

L'organizzazione del cantiere seguirà le seguenti fasi principali:

- sistemazione del sito;
- posa dei cavi per il trasporto dell'energia elettrica;
- installazione delle strutture in acciaio porta moduli;
- realizzazione delle infrastrutture al fine di effettuare l'allaccio alla rete di consegna in alta tensione.

## 4. CONCLUSIONI

La presente relazione 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.

Si ricorda che la tecnologia adottata, che prevede l'installazione di inseguitori monoassiali, evita che ci siano zone stabilmente in ombra ed altre bruciate dal sole. Ruotando e mantenendo la migliore esposizione, questi moderni girasoli, realizzano una fascia ombreggiante che copre con una certa continuità l'intera superficie del terreno da est a ovest.

Il sistema di irrigazione a pioggia, installato per incrementare la produzione agricola di foraggio, sarà realizzato in stretto connubio tra coltivazione e sistema solare, utilizzando come sostegni le medesime strutture dei tracker. Ciò permetterà di integrare quasi totalmente la parte vegetale il sistema solare Agrivoltaico.