



Regione Abruzzo
Provincia di Teramo
Comune di Corropoli



PROGETTO DEFINITIVO

Nome progetto

"Corropoli"

Oggetto

Progetto per la realizzazione di un impianto fotovoltaico e relative opere di connessione, con potenza nominale di 21,759 MW e una potenza in immissione di 19,80 MW, da ubicarsi nei Comuni di Corropoli (TE) e Alba Adriatica (TE).

Titolo

Relazione di calcolo preliminare strutture

Progettazione



SYNERGY S.R.L.
Via Clodoveo Bonazzi, 2
40013 - Castel Maggiore (BO)

PROGETTAZIONE:



STUDIO EKO S.R.L.
Via Giulio Pastore, 1/a
86039 - Termoli (CB)

Richiedente



CORROPOLI SOLAR S.R.L.
Via Caravaggio 125,
65125 - Pescara (PE)

FIRMA PER BENESTARE

5					
4					
3					
2					
1					
0	08/03/24	Emissione	AC	GM	LC
Rev.	Data	Motivo Revisione	Eseguito	Verificato	Approvato
Livello Progetto:		Codice di rintracciabilità:		Codice elaborato:	
PD				SYN069.PD.RC.001	
Scala:		File:		Foglio: PDF	

Sommario

Premessa.....	2
1. Descrizione delle tipologie strutturali ipotizzate.....	2
1.1. Tracker.....	2
2. Considerazioni conclusive	6

Premessa

La presente relazione descrive le opere edili, principali ed accessorie, previste dal progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte solare e delle relative opere ed infrastrutture connesse, di potenza pari a 21,759 MW DC – 19.80 MW AC e le opere necessarie per la sua connessione alla rete RTN, che la società Blusolar servizi s.r.l. intende realizzare nell'agro del Comune di Corropoli (TE), in località "Santa Scolastica".

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

Nei paragrafi seguenti verranno descritte le diverse tipologie ipotizzate per la realizzazione dell'impianto.

Si precisa che la presente costituisce una relazione preliminare e che, successivamente, in fase di redazione del progetto esecutivo tutte le opere strutturali saranno dimensionate ed opportunamente verificate nel rispetto delle vigenti normative ed in particolare in riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni - NTC 2018 (D.M. Infrastrutture 17/01/2018 – "Norme Tecniche per le costruzioni" e Circolare 21/1/2019 n. 7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17/01/2018).

Normativa di riferimento

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista, evidenziato nel prosieguo della presente relazione:

- D. M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018 (G.U. 20/02/2018 n. 42 - Suppl. Ord.) "Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni".
- Circolare 21 Gennaio 2019, n. 7/C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"
- Eurocodice 7 - "Progettazione geotecnica" - ENV 1997-1 per quanto non in contrasto con le disposizioni del D.M. 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni".

1. Descrizione delle tipologie strutturali ipotizzate

L'impianto fotovoltaico in progetto, relativamente alle strutture che lo compongono, può essere suddiviso schematicamente come segue:

1. I tracker, ovvero le strutture comprensive del sistema ad inseguimento mono assiale sulle quali vengono installati i moduli fotovoltaici;
2. Sottostazione di trasformazione e consegna 20/150 kV.

1.1. Tracker

Il progetto prevede l'installazione di 35672 moduli fotovoltaici, ognuno di potenza pari a 610 Wp, da installare su apposite strutture di sostegno costituite dagli inseguitori fotovoltaici monoassiali, denominati tracker.

I tracker considerati sono del tipo verticale monoasse motorizzati, ovvero aventi asse di rotazione orizzontale e mossi da attuatori lineari. I tracker suddetti verranno installati disposti sul terreno in file parallele in tre differenti configurazioni, indicate 1Px26 (n. 66 tracker), ove 1P sta ad indicare che su ciascuna struttura verrà installata una fila di moduli e X26, sta ad indicare che ogni fila sarà composta rispettivamente da 26 moduli fotovoltaici, 1PX52 (n. 113 tracker), 1PX78 (n. 360 tracker),

Caratteristiche principali tracker

- Tipo di inseguitore: Tracker orizzontale, monoassiale con asse di rotazione N-S
- Sistema di inseguimento: Controllo dell'inseguimento basato su orologio astronomico, auto riconfigurante ad ogni riaccensione.
- Deviazione massima: $\pm 2^\circ$
- Configurazione: 1 x V (verticale o "portrait")
- Intervallo di Inclinazione: $\pm 60^\circ$
- Movimentazione: Attuatore lineare autolubrificante.
- Bilanciamento: Struttura completamente bilanciata (asse di rotazione allineato con il baricentro della parte in movimentazione).
- Backtracking: Indipendente, sia meccanicamente che elettricamente, per ogni fila e completamente regolabile in base al montaggio ed alle pendenze su lato Est e lato Ovest.
- Alimentazione motori: Alimentazione standard AC 148V, 50/60 Hz;
- Monitoraggio: Comunicazione Wireless o wired in tempo reale tramite protocollo ModBus/TCP.
- Materiale: Acciaio strutturale con caratteristiche in accordo ai calcoli strutturali secondo norme vigenti
- Protezione superficiale: Tutti gli elementi dovranno essere in acciaio zincati a caldo secondo ISO1461:2009. Dovranno essere considerati ambienti aggressivi industriali per una durata minima di 25 anni.
- Messa a terra elettrica: Struttura metallica in continuità elettrica, con messa a terra tramite pali di fondazione.
- Altezza minima: altezza minima dei moduli dal terreno alla massima inclinazione pari a 400mm.
- Altezza massima: altezza massima dei moduli dal terreno alla massima inclinazione pari a 2000mm (per tracker a 55°).
- Tolleranze di installazione: Altezza: $\pm 20\text{mm}$; Nord/Sud: $\pm 20\text{mm}$; Est Ovest: $\pm 20\text{mm}$; Inclinazione: $\pm 2^\circ$; Torsione: $\pm 5^\circ$; Inclinazione del terreno N/S: $\pm 4^\circ$ in direzione N/S (estendibile);

Caratteristiche Sistema a inseguimento solare	
Configurazione moduli	verticale
Tipologia Tracker	Singolo Asse orizzontale indipendente
File di tracker	Indipendenti
Algoritmo di backtracking	sì
Errore tracking	$\pm 2^\circ$
Posizione protezione vento	0°
Posizione notturna	0°
Sistema motore	attuatore lineare
Motore	Produzione Europea
Alimentazione motore	alimentazione cablata in daisy chain AC, 148 V, 50/60 Hz
Possibilità di controllo manuale (manutenzione)	sì
Alimentazione distribuita Input	400V 3phase 50/60 Hz.
Alimentazione Centralizzata	fino a 800V 3phase 50/60Hz
Comunicazione	RS485 - Ethernet - (fibra opzionale) - 5GHz wi-fi wireless
Interfaccia di comunicazione	Web HMI
Minima altezza da terra con inclinazione massima	0,4 m
Sensori forniti per sicurezza vento	anemometro per direzione e velocità vento
Temperature di esercizio	$-20^\circ\text{C} / 50^\circ\text{C}$

L'inseguitore è costituito da travi scatolate a sezione quadrata, sorrette da pali con profilo a Z ed incernierate nella parte centrale dell'inseguitore al gruppo di riduzione/motore; ancorati alle travi sono i supporti dei moduli, con profilo omega e zeta. I moduli vengono fissati con bulloni e almeno uno di essi è dotato di un dado antifurto. Al variare della taglia dell'inseguitore, varia il numero di pali di fondazione. Ogni inseguitore è sempre dotato di un palo centrale di tipo HEA 160 ed un numero variabile di pali Z. Il particolare profilo dei pali Z consente una efficace penetrazione in differenti tipologie di terreni ed un'ottima tenuta alle sollecitazioni dovute alla movimentazione della struttura e carichi da vento.

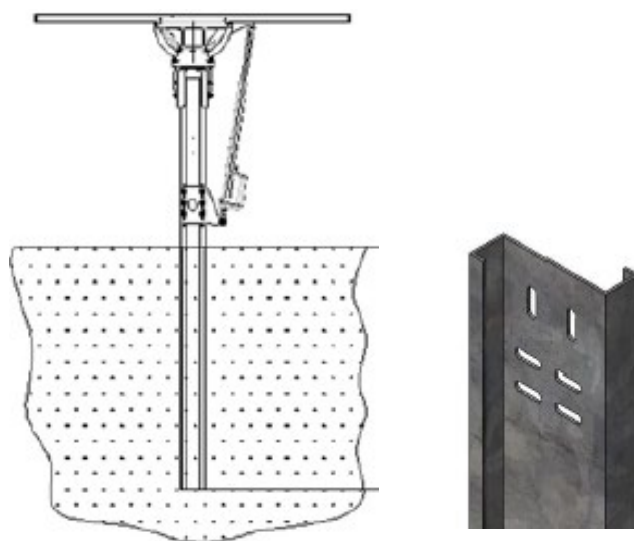
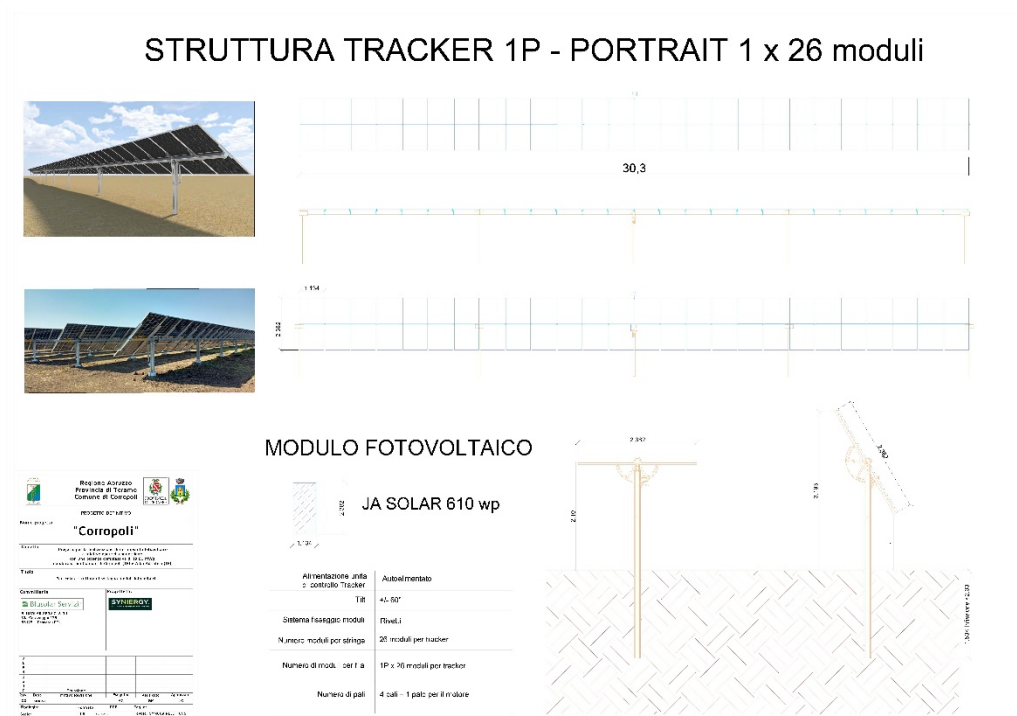


Figura 1: Palo del tracker interrato nel suolo

Nelle figure seguenti si riportano i disegni che mostrano le caratteristiche geometriche e strutturali dei tracker, in esame viene considerato nella configurazione 1PX26.



Schema della struttura di sostegno dei tracker – Vista frontale e vista dall'alto dei tracker con inclinazione 0°

Il tracker, nella configurazione 1PX26, ha una lunghezza di circa 30,30 m ed è sorretto da 5 montanti, realizzati con profili in acciaio S 355 JR zincato a caldo, infissi nel terreno ad una profondità variabile tra 1,5 metri e 2,0 metri, a seconda della pendenza del terreno e delle caratteristiche geomorfologiche del terreno.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

In relazione al movimento "basculante" che il tracker compie nell'arco di un periodo, la vela avrà un'altezza variabile da 1 m a 4,77 m rispetto al piano di campagna.

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

Tutti i materiali strutturali impiegati devono essere muniti di marcatura "CE", ed essere conformi alle prescrizioni del "REGOLAMENTO (UE) N. 305/2011 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO

del 9 marzo 2011", in merito ai prodotti da costruzione.

Per la realizzazione dell'opera in oggetto saranno impiegati i seguenti materiali:

Caratteristiche acciaio																
N _{id}	γ _k	α _{T, i}	E	G	Stz	f _{yk,1} / f _{yk,2}	f _{tk,1} / f _{tk,2}	f _{yd,1} / f _{yd,2}	f _{td}	γ _s	γ _{M1}	γ _{M2}	γ _{M3,SLV}	γ _{M3,SLE}	NC _t	γ _{M7} Cnt
	[N/m ³]	[1/°C]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]							
S275 - (S275)																
001	78.500	0,00001 2	210.0 00	80.76 9	P	275,0 0	430	261,90	-	1,05	1,05	1,25	-	-	-	-
						255,0 0	410	242,86								

LEGENDA:

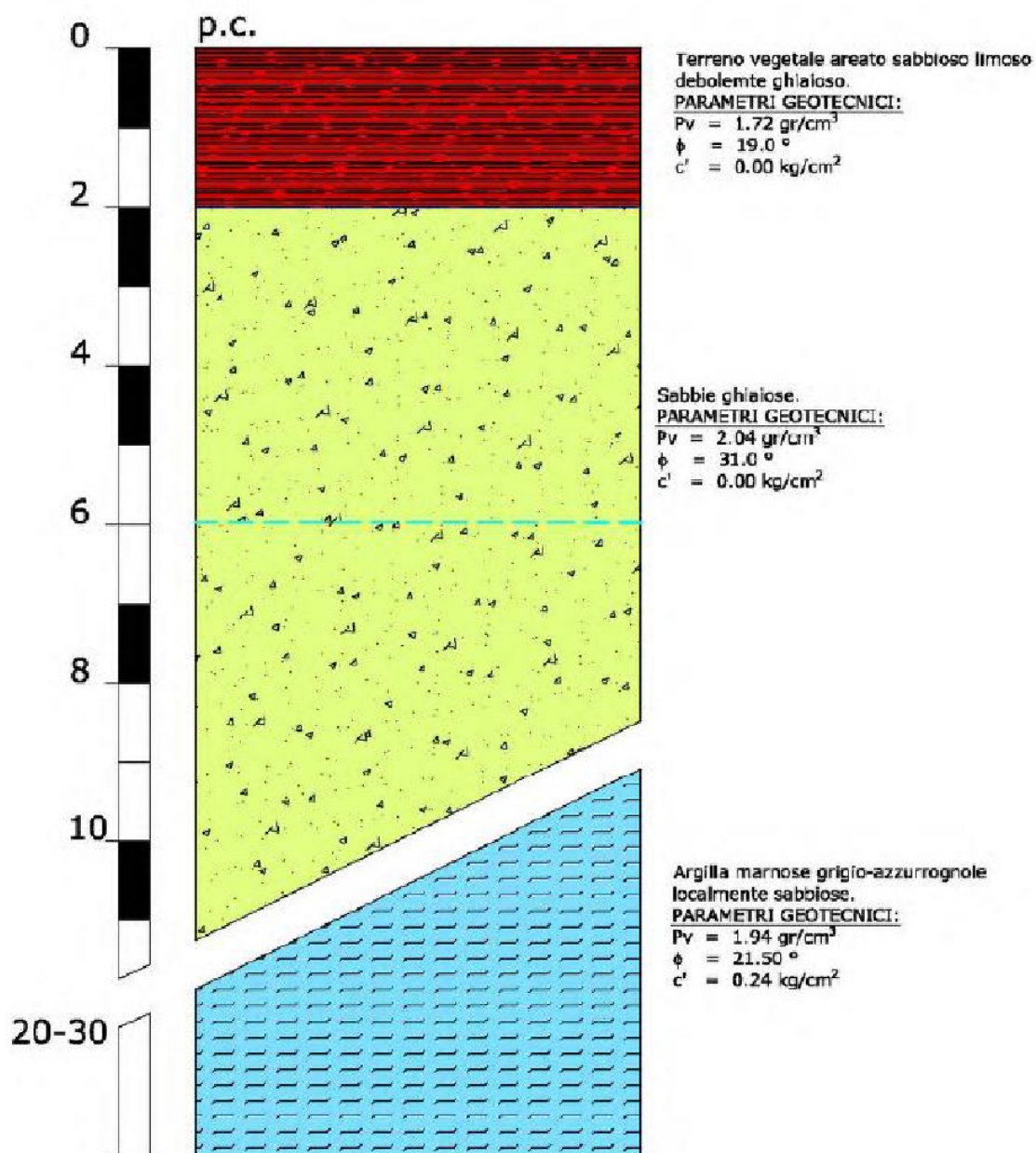
N_{id}	Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.
γ_k	Peso specifico.
$\alpha_{T,i}$	Coefficiente di dilatazione termica.
E	Modulo elastico normale.
G	Modulo elastico tangenziale.
Stz	Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).
f_{tk,1}	Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con $t \leq 40$ mm).
f_{tk,2}	Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con $40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm).
f_{td}	Resistenza di calcolo a Rottura (Bulloni).
γ_s	Coefficiente parziale di sicurezza allo SLV del materiale.
γ_{M1}	Coefficiente parziale di sicurezza per instabilità.
γ_{M2}	Coefficiente parziale di sicurezza per sezioni tese indebolite.
$\gamma_{M3,SLV}$	Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLV (Bulloni).
$\gamma_{M3,SLE}$	Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLE (Bulloni).
γ_{M7}	Coefficiente parziale di sicurezza precarico di bulloni ad alta resistenza (Bulloni - NCnt = con serraggio NON controllato; Cnt = con serraggio controllato). [-] = parametro NON significativo per il materiale.
f_{yk,1}	Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con $t \leq 40$ mm).
f_{yk,2}	Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con $40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm).
f_{yd,1}	Resistenza di calcolo (per profili con $t \leq 40$ mm).
f_{yd,2}	Resistenza di calcolo (per profili con $40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm).
NOTE	[-] = Parametro non significativo per il materiale.

2.Terreno di fondazione

Per modello geotecnico si intende uno schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e delle rocce comprese nel volume significativo, finalizzate all'analisi quantitativa di uno specifico problema geotecnico.

Al fine di dare solo delle prime indicazioni sulle caratteristiche geotecniche dei terreni in affioramento, di seguito ne saranno riportati i principali parametri fisico-meccanici che scaturiscono da considerazioni macroscopiche effettuate sugli affioramenti in campagna e dalla letteratura tecnica specializzata. (cfr. Relazione geologica).

Si rimanda al successivo grado di approfondimento della progettazione (progetto esecutivo) la verifica puntuale delle caratteristiche stratigrafiche, litologiche, geotecniche, idrogeologiche, sismiche dei terreni di sedime, tramite un'idonea e ragionata campagna di indagini geognostiche dirette ed indirette, che potrà confermare o meno quanto si espone di seguito:



3 Analisi dei carichi

La struttura di sostegno ed il relativo ancoraggio vengono normalmente dimensionati dai produttori in modo da rispondere alle caratteristiche strutturali definite dalle Norme Tecniche per le Costruzioni.

I carichi permanenti e accidentali agenti sulle strutture da considerare per il loro dimensionamento sono:

- Il peso proprio;
- Il carico neve;
- Il carico vento.

Altri carichi, quali il sisma e la temperatura, vengono trascurati perché meno gravosi e non cumulabili con i carichi considerati (vento e neve) o perché non comportano significativi stati tensionali strutture isostatiche). I carichi da neve e da vento vengono combinati secondo quanto previsto dalla normativa vigente per il calcolo delle sollecitazioni agenti sulle strutture.

Le misure dei sostegni e il dimensionamento totale sono stati scelti in modo tale che la superficie del terreno sottostante rimanga sempre accessibile e coltivabile.

In fase di progetto, per l'impianto in esame, sono stati calcolati i seguenti carichi riferiti ad un tracker:

Peso proprio, pari a circa 3.000,0 kg, composto dalla somma di:

Tabella 1: Analisi dei carichi agenti sulla fondazione

ANALISI DEI CARICHI			
P.P_{OMEGA}	Peso Proprio HEA 160	1,37	kN
P.P_{pan.}	Peso Proprio PANNELLO	0,35	kN
P_{neve}	Neve	0,48	kN/m ²
P_{vento}	Vento	0,82	kN/m ²

Carico neve:

Zona di carico neve = II

- $S_k = 0.48 \text{ kN/m}^2$
- $S = S_k = 0.48 \text{ kN/m}^2$

Carico vento:

Zona di vento = 3

Altezza riferita al livello del terreno $z < 4.00 \text{ m}$

$V_{ref} = 27 \text{ m/s}$

$q_{ref} = 0.46 \text{ kN/m}^2$

$q(z) = 0.82 \text{ kN/m}^2$ (pressione dinamica delle raffiche)

Per ciò che riguarda la resistenza al carico determinato dal vento il produttore dichiara una velocità del vento ammissibile pari a 150 km/h; tale valore è incrementato fino a 180 km/h considerando le vele in posizione “di taglio” alla direzione del vento.

Si fa presente che non esiste un catalogo universale dei criteri che definisca in modo univoco la stabilità dei sistemi fotovoltaici di inseguimento.

Le norme di riferimento in materia per i moduli fotovoltaici sono la CEI 61215 e la CEI 61646, che contemplano comunque solo un test per verificare resistenza a pressioni e depressioni pari a 5400 Pa applicate per un'ora.

Nelle schede tecniche dei moduli, questi valori vengono espressi con la formula “corrispondente a una velocità del vento di 130 km/h”.

In fase di progettazione esecutiva i calcoli strutturali dei tracker dovranno tener conto delle seguenti considerazioni:

- Il periodo di vibrazione naturale dell'intera struttura è inferiore a 1 secondo, quindi il comportamento della struttura può essere classificato "rigido";
- 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 relativo agli arcarecci devono essere utilizzati i coefficienti di norma utilizzati per le travi continue a luci uguali.
- Per la determinazione delle sollecitazioni derivanti dal carico del vento devono essere applicate le forze del vento come azioni concentrate nei punti del quarto della superficie del modulo.

4 Verifiche geotecniche

Le fondazioni delle strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici saranno costituite da pali in acciaio di profilo HEA 160.

L'avanzamento nel terreno alla profondità desiderata avviene attraverso un processo di battitura del palo. In accordo con le NTC2018, le verifiche sono state effettuate e sono stati considerate le caratteristiche meccaniche dei terreni riportate nella Relazione Geologica.

4.1 Verifica a sfilamento dei pali

Per la verifica a sfilamento del palo di fondazione è stata considerata l'azione del vento pari a 0.66 kN/m² che agisce sulla parte della struttura sottovento, in quanto risulta essere la più elevata. A vantaggio di sicurezza è stata considerata la risultante verticale agente alla superficie di azione del vento.

La combinazione di carico utilizzata è la seguente.

Dove:

$$Q_{es} = (P. P_{HEA160} + P. P_{pan.}) + (\gamma Q_i * P. vento)$$

γQ_i coefficiente parziale delle azioni variabili Q (tabella 8).

$$Q_{es} = (1.37 + 0.35) - (1.5 * 1.84) = -1.05 \text{ kN}$$

A vantaggio di sicurezza viene amplificato solo il carico vento. Essendo $S_{lim} = 14.55 \text{ kN}$ si ha un rapporto pari a:

$$S_{lim} = |13.87|$$

Q_{es}

Il rapporto tra S_{lim} e Q_{es} risulta maggiore di $\gamma_{st}=1.25$, ovvero il coefficiente laterale in trazione, come riportato nella tabella 6.4. Il della NTC2018, perciò la verifica a sfilamento del palo risulta soddisfatta.

4.2 Verifica a ribaltamento dei pali

Per la verifica a ribaltamento del palo è stata utilizzata la teoria di BROMS, che caratterizza il comportamento flessionale del palo con un comportamento di tipo rigido-perfettamente plastico. Sulla base di analisi teoriche e di osservazioni sperimentali si assume che la resistenza p del terreno abbia l'andamento riportato in figura (cfr. FONDAZIONI di Carlo Viggiani):

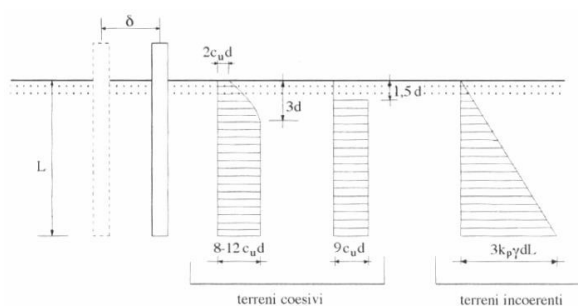


Figura 6: resistenza limite del terreno

Il terreno in esame è incoerente perciò si è proceduto a calcolare la forza ribaltante in testa al palo ipotizzando il palo impedito di ruotare in testa:

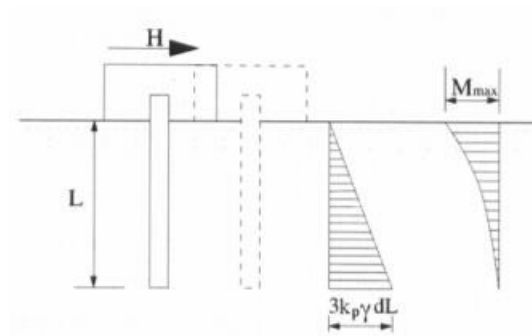


Figura 7: resistenza limite del terreno di un palo corto impedito di ruotare in testa

$$H = 1.5 * L^2 * k_p * \gamma * d$$

Dove:

- $L=2.50$ m: profondità di infissione del palo;
- $k_p = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi} = 3.12$: coefficiente di spinta passiva;
- N/m^3 : peso di volume
- $d = 0.16$ m: Lato lungo del profilo HEA160

$$H = 1.5 * 2.50^2 * 3.12 * 20.4 * 0.16 = 95.53 \text{ kN}$$

Il momento stabilizzante risulta pari a:

$$M_{stabilizzante} = \frac{2}{3} * H * L$$

$$M_{stabilizzante} = \frac{2}{3} * 95.53 * 2.50 = 159.22 \text{ kNm}$$

Questo momento viene confrontato con quello ribaltante che si ottiene dalla componente

$$M_{ribaltante} = P_{vento} * A_{pan.} * b$$

Dove b = braccio di azione della componente orizzontale, che è pari a 2.20 m, ovvero l'altezza del palo da terra al colmo, mentre $A_{pan.}$ =area del pannello pari a 2.79 m².

$$M_{ribaltante} = 0.66 * 2.79 * 2.20 = 4.05 \text{ kNm}$$

Essendo $M_{stabilizzante} \geq M_{ribaltante}$

5 Considerazioni conclusive

Il progetto come fin qui descritto e relativamente alle strutture da realizzare, prevede la realizzazione in opera di manufatti e l'installazione di manufatti prefabbricati da assemblare e/o installare direttamente in sito. I tracker, verranno forniti dalle ditte produttrici comprensivi di tutti gli elaborati inerenti al loro calcolo strutturale.

Le strutture da realizzare in opera, quali la control room, la cabina utente, etc. verranno calcolate in fase di progettazione esecutiva.

Pertanto il progetto esecutivo per la realizzazione dell'impianto, al quale si rimanda in una successiva fase, sarà corredato da tutti gli elaborati di tipo strutturale redatti in conformità alla normativa vigente in materia di costruzioni in zone sismiche.