



PROGETTO DEFINITIVO

COMUNE DI TRECENTA (RO)

IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE

TAVOLA:

-

SCALA:

-

NOME FILE:

0707-A060-REL_STR_REV00

COMMITTENTE:

AIEM GREEN SRL
V.le C. A. d'Europa, 9/G
45100 Rovigo
CF/P.IVA 01627270299

AIEM GREEN SRL
Viale C. Alleati d'Europa 9/G
45100 ROVIGO (RO)
P.IVA 01627270299

PROPRIETARI:

- Chinaglia Barbara
C.F. CHNBBR71D41E522Z
- Azienda Agricola Cona
di Pietro Chinaglia
P.IVA. 01129010292

PROGETTAZIONE:



Ing. Silvano Rossato
Geol. Claudio Leoncini
Geom. Giulio Zampini
Geom. Nicola Cordoli

Dott. Ing. Silvano ROSSATO

Revisione	Data	Note	Redatto	Controllato	Approvato
00	08 Gennaio 2024	Prima emissione	MD	SR	SR

TUTTI I DIRITTI SONO RISERVATI

Questo documento è di proprietà di Progettando s.r.l. e sullo stesso si riserva ogni diritto. Pertanto questo documento non può essere copiato, riprodotto, comunicato o divulgato ad altri o usato in qualsiasi maniera, nemmeno per fini sperimentali, senza autorizzazione scritta di Progettando s.r.l. Su richiesta dovrà essere prontamente reinvio a Progettando s.r.l.

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 2 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

INDICE

1	PREMESSA	4
2	DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE	6
2.1	SOSTEGNI DI ELEVAZIONE PANNELLI FOTOVOLTAICI	6
2.2	PLATEE DI FONDAZIONE CABINE DI CAMPO	7
3	INQUADRAMENTO GENERALE	8
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	9
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	11
5.1	ACCIAIO	11
5.1.1	Acciaio per carpenteria metallica	11
5.1.2	Armature per c.a.	11
5.2	CALCESTRUZZO	11
6	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	13
6.1	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRENO	13
7	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA	14
8	SOFTWARE DI CALCOLO	15
9	SOSTEGNI DI ELEVAZIONE PANNELLI FOTOVOLTAICI	16
9.1	ANALISI DEI CARICHI	16
9.2	AZIONI SULLA STRUTTURA	22
9.3	VERIFICHE	25
10	PLATEE DI FONDAZIONE CABINE DI CAMPO	30
10.1	ANALISI DEI CARICHI	30
10.2	AZIONI SULLA STRUTTURA	31
10.3	VERIFICHE	32

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	<i>PROGETTO DEFINITIVO</i> IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 3 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1 – INQUADRAMENTO IMPIANTO	5
FIGURA 2 – GEOMETRIA SOSTEGNI DI ELEVAZIONE PANNELLI FOTOVOLTAICI	7
FIGURA 3 – INQUADRAMENTO CATASTALE ED ESTRATTO PIANO INTERVENTI COMUNALE	8
FIGURA 4 – VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA	15
FIGURA 5 – DIFFERENZE NEL FLUSSO DELL'ARIA PER TETTOIE CON $\phi=0$ E $\phi=1$	18
FIGURA 6 – POSIZIONE DI APPLICAZIONE DELLA FORZA RISULTANTE – TETTOIE A SEMPLICE FALDA	18
FIGURA 7 – COEFFICIENTI DI FORZA PER TETTOIE A SEMPLICE FALDA	19
FIGURA 8 – ACCELERAZIONE SISMICA	21

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 4 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

1 PREMESSA

Con la presente relazione si illustrano i principi di base adottati circa la realizzazione di un impianto agrifotovoltaico installato su strutture a terra di potenza complessiva di 41,064380 MWp.

L'impianto sarà disposto a terra su una superficie utile di circa 54,4 ettari di terreno agricolo suddiviso in n°8 Lotti, denominati Lotto 1, Lotto 2, Lotto3, Lotto 4, Lotto 5, Lotto 6, Lotto 7 e Lotto 8.

L'impianto agrifotovoltaico sarà collegato alla rete di distribuzione dell'ente fornitore di energia elettrica, immettendo nella stessa l'energia prodotta.

Per massimizzare la produzione, i moduli fotovoltaici sono fissati a terra mediante strutture di sostegno parallele che si sviluppano in direzione Nord-Sud, con un sistema ad inseguimento monoassiale, che consente la rotazione dei moduli fino ad una inclinazione di 60° verso est/ovest; per evitare l'ombreggiamento reciproco tra le file di moduli, queste sono opportunamente distanziate in funzione della pendenza delle zone del terreno su cui insistono.

L'impianto agrifotovoltaico è dotato di appositi locali tecnici, costituiti da cabina prefabbricata disposta in posizione di confine proprietà, e cabinato modulare posto nelle vicinanze della suddetta cabina, contenenti gli organi di interruzione, manovra, conversione e trasformazione dell'energia elettrica prodotta dai moduli fotovoltaici.

La tensione di uscita dell'energia elettrica dall'impianto è pari a 20kV.

Il campo agrifotovoltaico fa capo ad un unico locale tecnico generale.

Secondo le disposizioni tecniche contenute nella norma CEI 0-16, nel locale tecnico sono contenute le apparecchiature e gli impianti per la connessione alla rete di distribuzione dell'ente fornitore di energia elettrica.

Per la realizzazione di tale impianto saranno utilizzate strutture di sostegno di tipo mobile (tracker), realizzate in acciaio da costruzione e progettate secondo gli Eurocodici. Le strutture di sostegno verranno ancorate al terreno per mezzo di infissione a percussione di pali profilati tramite macchina battipali. Questi pali saranno piantati nel terreno per una idonea profondità dal piano campagna e serviranno come punto di ancoraggio per le strutture di supporto dei pannelli. Tali strutture, realizzate per mezzo di profili in acciaio zincato tra loro collegati, andranno a creare un telaio di appoggio per i pannelli fotovoltaici. Con questa modalità di installazione dei pali di sostegno non saranno necessarie trivellazioni dell'area e saranno evitati ulteriori movimenti terra rispetto a quelli già previsti per la realizzazione delle altre opere.

Il presente elaborato intende fornire i calcoli preliminari delle strutture e degli impianti con dimensionamento delle principali opere di progetto, in particolare la verifica è svolta per i sostegni di elevazione dei pannelli fotovoltaici impiegati nell'impianto in oggetto e per le platee di fondazioni delle cabine di campo.

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 5 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	



FIGURA 1 - INQUADRAMENTO IMPIANTO

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 6 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

2 DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE

Le strutture oggetto della presente relazione sono:

- I sostegni di elevazione dei pannelli fotovoltaici impiegati nell'impianto in oggetto;
- Le platee di fondazioni delle cabine di campo.

2.1 Sostegni di elevazione pannelli fotovoltaici

L'impianto sarà costituito da moduli fotovoltaici fissati a terra mediante strutture di sostegno parallele, con un sistema ad inseguimento monoassiale, che consente la rotazione dei moduli fino ad una inclinazione di 60° verso est/ovest.

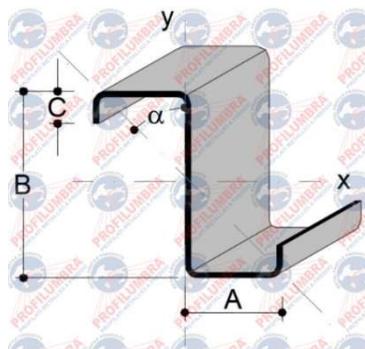
I moduli fotovoltaici previsti sono caratterizzati da pannelli di dimensioni 2384 x 1303 mm predisposti su un'unica fila e connessi mediante un corrente longitudinale di sezione quadrata.

Con questo sistema la parte mobile ruota intorno ad un asse orizzontale posto ad altezza pari a 3.05 m fuori terra, con angolo di rotazione di $\pm 60^\circ$, sfruttando al meglio l'assorbimento dell'energia solare.

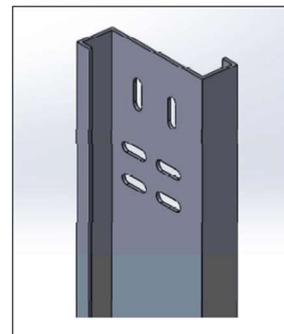
Il corrente che governa il moto della struttura è sostenuto da pilastri in acciaio a cui è collegato mediante dei cuscinetti. Nella cerniera centrale trova collocazione una ghiera metallica che, collegata ad un motore ad azionamento remoto, regola l'inclinazione del piano dei pannelli. I pilastri di sostegno sono immorsati nel terreno ad una profondità dell'ordine di alcuni metri, in funzione delle caratteristiche meccaniche e litostratigrafiche del terreno di fondazione. La modalità di immorsamento di tali profilati prevede infissione (battitura).

Per le verifiche dei sostegni di elevazione dei pannelli fotovoltaici, nei successivi capitoli, si farà riferimento al "palo z" di cui si ipotizzano le seguenti caratteristiche geometriche:

Sezione Z 20x50x200	
g [kg/m]	9.80
A [mm]	50
B [mm]	200
C [mm]	20
s [mm]	4
A [mm ²]	1248



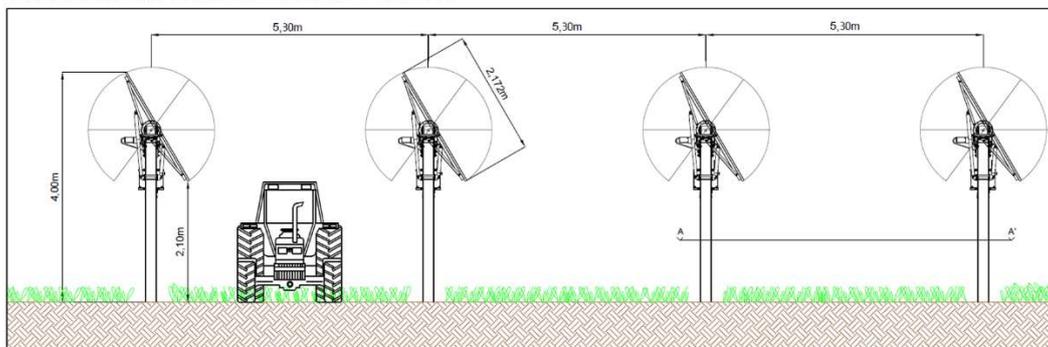
PARTICOLARE D - PALO Z



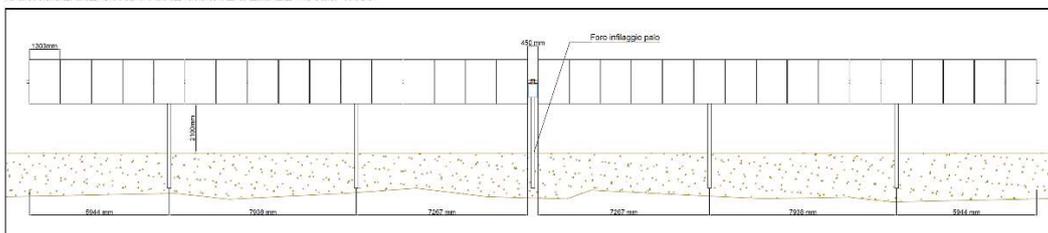
Si riporta di seguito la geometria della struttura di sostegno dei pannelli, per maggior dettaglio si rimanda agli elaborati F.F1.b3.17-PARTICOLARI COSTRUTTIVI STRUTTURE TRACKER e F.F1.b3.5-PARTICOLARI COSTRUTTIVI.

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 7 di 32
RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE		

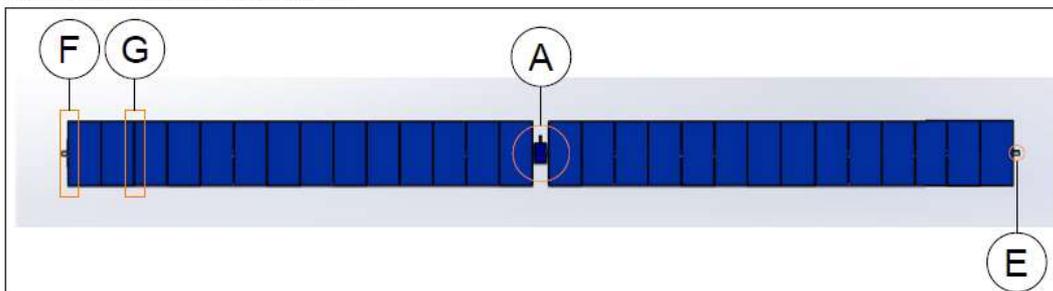
PARTICOLARE STRUTTURE VISTA FRONTALE - Scala 1:50



PARTICOLARE STRUTTURE VISTA LATERALE - Scala 1:100



PARTICOLARE STRUTTURE VISTA FRONTALE



PARTICOLARE STRUTTURE VISTA LATERALE

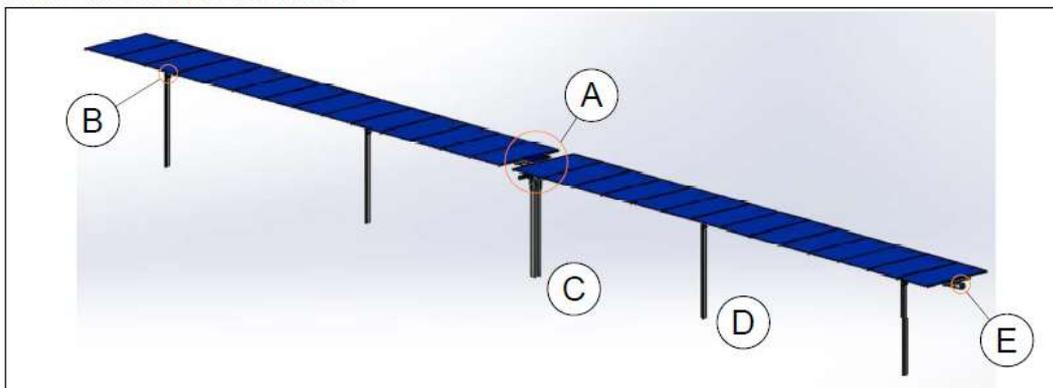


FIGURA 2 – GEOMETRIA SOSTEGNI DI ELEVAZIONE PANNELLI FOTOVOLTAICI

2.2 Platee di fondazione cabine di campo

Per le strutture di fondazione delle cabine di campo si ipotizza una platea in c.a. dallo spessore di 20 cm.

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 8 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

3 INQUADRAMENTO GENERALE

L'area di intervento si trova in Comune di Trecenta (RO) compresa tra via Tenuta Spalletti a est, Via Bassa Berguarina a nord e lo scolo Bentivoglio a sud; la quota media del terreno varia da 6.00 m a circa 4.00 m slmm.

L'area dove verrà realizzato l'impianto agrifotovoltaico di progetto è individuata catastalmente al Censuario del Comune di Trecenta:

-Foglio 17, Particelle 62, 166, 167, 168, 169, 170.

-Foglio 27, Particelle 34, 206, 207, 208.

Di seguito si riporta l'estratto catastale dell'area di intervento, con l'area destinata all'impianto evidenziata in rosso.



FIGURA 3 – INQUADRAMENTO CATASTALE ED ESTRATTO PIANO INTERVENTI COMUNALE

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 9 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifiche delle strutture sono conformi alle norme attualmente in vigore:

- “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica” – Legge 5 novembre 1971, n. 1086;
- “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche” – Legge 2 febbraio 1974, n.64;
- “Norme tecniche per le costruzioni” – Decreto Ministero Infrastrutture del 17 gennaio 2018;
- “Istruzioni per l’applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17 gennaio 2018 “ – Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP.;
- UNI EN 1990:2006 13/04/2006 Eurocodice 0 - Criteri generali di progettazione strutturale.
- UNI EN 1991-1-1:2004 01/08/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-1: Azioni in generale - Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per gli edifici.
- UNI EN 1991-2:2005 01/03/2005 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-2: Carichi da traffico sui ponti.
- UNI EN 1991-1-3:2004 01/10/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve.
- UNI EN 1991-1-4:2005 01/07/2005 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento.
- UNI EN 1991-1-5:2004 01/10/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche.
- UNI EN 1992-1-1:2005 24/11/2005 Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1992-1-2:2005 01/04/2005 Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio.
- UNI EN 1993-1-1:2005 01/08/2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1993-1-8:2005 01/08/2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti.
- UNI EN 1994-1-1:2005 01/03/2005 Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1994-2:2006 12/01/2006 Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 2: Regole generali e regole per i ponti.
- UNI EN 1997-1:2005 01/02/2005 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1998-1:2005 01/03/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	<i>PROGETTO DEFINITIVO</i> IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 10 di 32
	<i>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE</i>	

- UNI EN 1998-3:2005 01/08/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici.
- UNI EN 1998-5:2005 01/01/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- CNR-DT 207 R1/2018 Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 11 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per la realizzazione delle opere in oggetto si prevede l'impiego dei materiali indicati nei paragrafi che seguono. Si indicheranno le caratteristiche prestazionali di resistenza minime e, con particolare riferimento ai calcestruzzi, anche le prescrizioni o caratteristiche da assicurare per garantire i requisiti di durabilità.

5.1 Acciaio

5.1.1 Acciaio per carpenteria metallica

Si utilizza per la carpenteria metallica:

Acciaio tipo: S 355

In conformità a quanto sopra, le caratteristiche meccaniche dell'acciaio utilizzate nell'analisi/verifiche sono le seguenti:

Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di rottura $f_{Uk} = 510 \text{ N/mm}^2$

5.1.2 Armature per c.a.

Si utilizzano per le armature degli elementi in c.a.:

Acciaio tipo: B450 C Saldabile controllato in stabilimento

In conformità a quanto sopra, le caratteristiche meccaniche dell'acciaio d'armatura utilizzate nell'analisi/verifiche sono le seguenti:

Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di rottura $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_M = 1.15$

Tensione di snervamento di progetto $f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$

5.2 Calcestruzzo

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo.

Al fine di ottenere la prestazione richiesta in funzione delle condizioni ambientali, nonché per la definizione della relativa classe, si fa riferimento alle indicazioni contenute nelle Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero alle norme UNI EN 206-1:2021 ed UNI 11104:2016.

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 12 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

Ai fini di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, dovrà essere previsto un idoneo copriferro; il suo valore, misurato tra la parete interna del cassero e la generatrice dell'armatura metallica più vicina, individua il cosiddetto "copriferro nominale".

Il copriferro nominale c_{nom} è somma di due contributi, il copriferro minimo c_{min} e la tolleranza di posizionamento h . Vale pertanto: $c_{nom} = c_{min} + h$. La tolleranza di posizionamento delle armature "h", per le strutture gettate in opera, viene assunta pari ad 5 mm in quanto si prescrive che l'esecuzione sia sottoposta ad un sistema di assicurazione della qualità, nella quale siano incluse le misure dei copriferri.

Si utilizzano i seguenti tipi di calcestruzzo e copriferri, ottenuti in base alla vita nominale della struttura $V_n = 50$ anni:

Campi di impiego	Classe di esposizione ambientale	Classe di resistenza adottata [$C(f_{ck}/R_{ck})_{min}$]	Copriferro nominale
			$c_{nom} = c_{min} + 5$ (mm)
Platea di fondazione	XC2	C25/30	55

TABELLA 5.1 – CLASSI DI CLS E COPRI FERRI MINIMI

In conformità a quanto sopra, le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo utilizzate nell'analisi/verifiche sono le seguenti:

Grandezza		u.m.	C25/30
resistenza caratteristica a compressione	f_{ck}	N/mm ²	25,00
resistenza di progetto a compressione	f_{cd}	N/mm ²	14,17
resistenza caratteristica a trazione	f_{ctk}	N/mm ²	1,80
tensione di aderenza cls-armatura	f_{bd}	N/mm ²	2,70
tensione massima di compressione (rara)	σ_c	N/mm ²	15,00
tensione massima di compressione (quasi perm.)	σ_c	N/mm ²	11,25
modulo elastico medio istantaneo	E_m	N/mm ²	31476

TABELLA 5.2 - GRANDEZZE MECCANICHE RELATIVE AL CLS

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 13 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Sulla base delle indagini svolte in data 05/09/2022, che hanno previsto l'esecuzione di n. 35 prove penetrometriche (CPT), spinte fino alla profondità massima di 10.00 m da p.c., si assumono i seguenti parametri geotecnici:

γ	18.50 kN/m ³
ϕ	0°
Cu	50-80 kN/m ²

TABELLA 6.1 – PARAMETRI GEOTECNICI ADOTTATI

Relativamente alla falda essa si trova ad una profondità media di 2.00 m dal piano campagna attuale.

6.1 Classificazione sismica del terreno

Categoria di sottosuolo

Dalla ricostruzione del quadro sismo-stratigrafico emerso dallo studio geotecnico e dalle indicazioni normative si prevede l'inserimento del sito d'indagine nella Categoria di Sottosuolo denominata **C**, così definita:

“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.”

Condizioni topografiche

Per le condizioni topografiche si fa riferimento alla classificazione riportata nella Tab. 3.2.III del DM 17/01/2018. La morfologia del territorio su cui verrà realizzata l'opera, è tale da ricadere nella Categoria Topografica **T1**.

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 14 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

7 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Per la definizione dell'azione sismica occorre definire il periodo di riferimento P_{VR} in funzione dello stato limite considerato. La vita nominale (V_N) dell'opera è stata assunta pari a **50 anni**, la classe d'uso assunta è la **I** (Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli), ed il coefficiente d'uso **$C_u = 0.7$** .

Il periodo di riferimento (V_R) per l'azione sismica, data la vita nominale e la classe d'uso, vale:

$$V_R = V_N \cdot C_u = 50 \text{ anni}$$

Il valore di probabilità di superamento del periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente, è:

$$P_{VR}(SLV)=10\%$$

Il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R espresso in anni vale:

$$T_R(SLV)=\frac{v_r}{\ln(1-P_{VR})}=332 \text{ anni}$$

Dato il valore del periodo di ritorno suddetto, tramite le tabelle riportate nell'Allegato B della norma o tramite la mappatura messa a disposizione in rete dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), è possibile definire i valori di a_g , F_0 , T_c^* .

- $a_g \rightarrow$ accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria A, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;
- $F_0 \rightarrow$ valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^* \rightarrow$ periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $S \rightarrow$ coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_t).

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali, date dal prodotto delle forze di gravità per le accelerazioni sismiche massime attese al suolo.

Nel seguito si riportano le tabelle riassuntive dei parametri che caratterizzano il sito in questione, Comune di Trecenta in Provincia di Rovigo, le cui coordinate sono 11.4610 Long. e 45.0300 Lat.

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 15 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

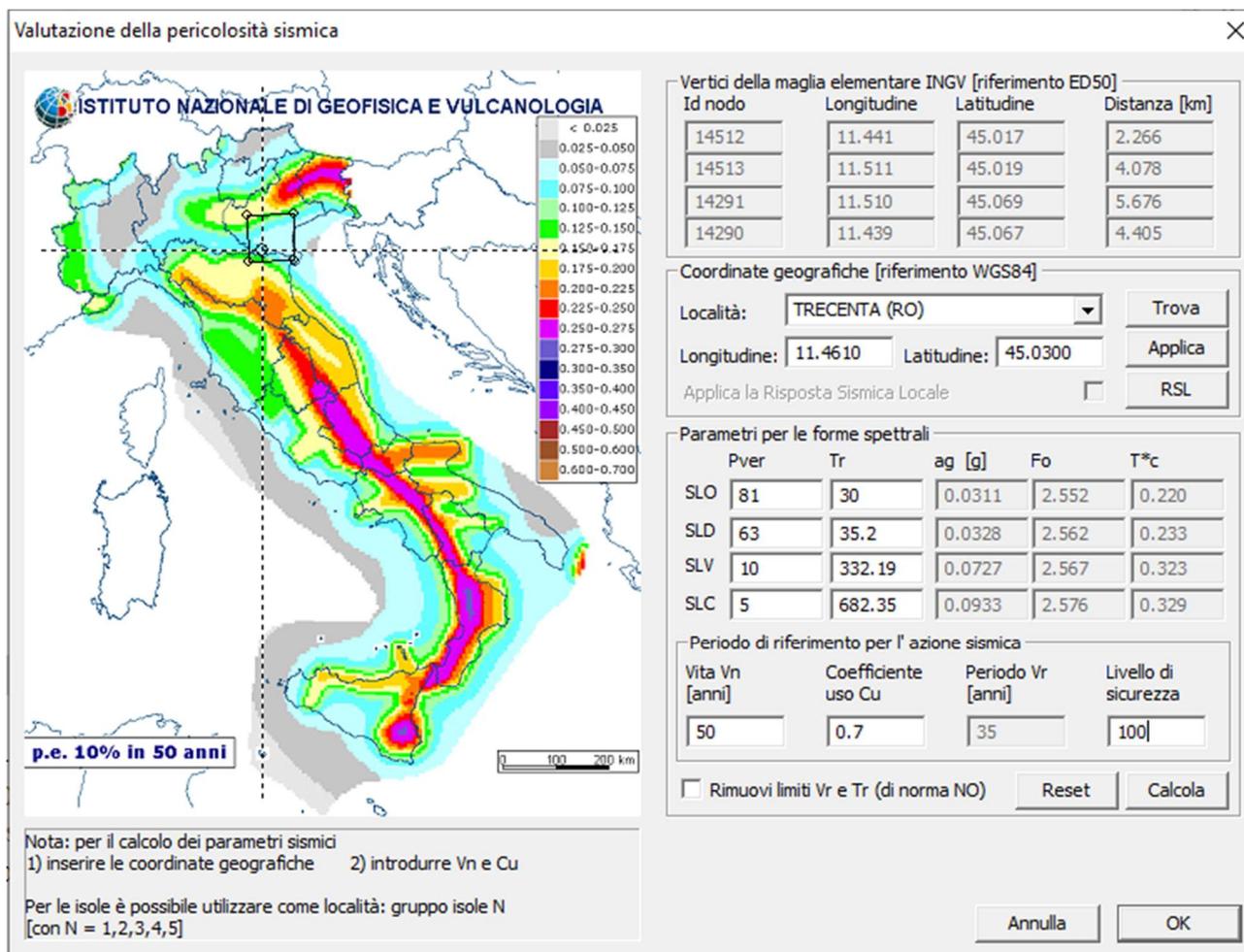


FIGURA 4 – VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

8 SOFTWARE DI CALCOLO

Si sono utilizzati i seguenti software di calcolo:

- Microsoft Excel® della Microsoft Corporation.

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 16 di 32
RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE		

9 SOSTEGNI DI ELEVAZIONE PANNELLI FOTOVOLTAICI

I carichi agenti, valutati come scarico in fondazione delle strutture sovrastanti a sostegno dei pannelli fotovoltaici, vengono riportati di seguito. Sono state poi considerate le combinazioni più gravose, ovvero quelle che consentono di valutare il massimo sforzo normale di compressione e trazione e il massimo momento in fondazione.

9.1 Analisi dei carichi

-Pesi propri e carichi permanenti

I pesi propri e i carichi permanenti sono i seguenti:

P.P Z 20x50x200 sp.4	9.80	kg/m
P.P tubo acciaio sez. quadrata 100x100 sp 4	12.06	kg/m
P.P profilo a C h200 testa palo	25.30	kg/m
P.P. Pannelli	11.50	kg/m ²

-Carico da neve

Normativa di riferimento:

D.M. 17 gennaio 2018 - NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Cap. 3 - AZIONI SULLE COSTRUZIONI - Par. 3.3 e 3.4

Circolare n.7 - 21 gennaio 2019 C.S.LL.PP.

NEVE

Il carico della neve sulle coperture è calcolato in relazione ai seguenti parametri:

Zona: macro area derivante dalla suddivisione del territorio nazionale;

Esp.: zona topografica di esposizione al vento;

Ce: coefficiente di esposizione al vento;

TR: periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

as: altitudine del sito;

qsk: valore caratteristico del carico della neve al suolo (per Tr = 50 anni);

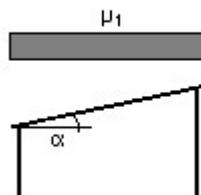
Zona	Esposizione	Ce	TR	as	qsk
II	Zona normale	1.00	50 anni	11 m	1.00

Copertura ad una falda:

Angolo di inclinazione della falda $\alpha = 30.0^\circ$

$m_1 = 0.80 \Rightarrow Q_1 = 0.80 \text{ kN/mq}$

Schema di carico:



ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 17 di 32
RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE		

-Carico da vento

La velocità del vento è calcolata in relazione ai seguenti parametri:

Zona: macro area derivante dalla suddivisione del territorio nazionale (NTC - Tab. 3.3.I);

Vb,0: velocità base della zona (NTC - Tab. 3.3.I);

a0: altitudine base della zona (NTC - Tab. 3.3.I);

ks: parametro in funzione della zona in cui sorge la costruzione (NTC - Tab. 3.3.I);

as: altitudine del sito;

TR: periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

Vb: velocità di riferimento calcolata come segue:

$$Vb = Vb,0 \text{ per } as \leq a0$$

$$Vb = Vb,0 (1 + ks ((as / a0) - 1)) \text{ per } a0 < as \leq 1500 \text{ m}$$

per $as > 1500 \text{ m}$ vanno ricavati da opportuna documentazione o da indagini comprovate

Tali valori non dovranno essere minori di quelli previsti per $as = 1500 \text{ m}$

Cr: coefficiente di ritorno in funzione del periodo di ritorno TR

Vr: velocità di riferimento riferita al periodo di ritorno TR

Zona	Vb,0	a0	ks	as	TR	Vb	Cr	Vr
1	25 m/s	1000 m	0.40	11 m	50 anni	25.00 m/s	1.000	25.00 m/s

Pressione cinetica di riferimento, $qr = r Vr^2 / 2 = 0.39 \text{ kN/mq}$

dove: r è la densità dell'aria (assunta convenzionalmente costante = 1,25 kg/mc)

Esposizione: Cat. III - Entroterra fino a 500 m di altitudine

Da cui i parametri della tabella 3.3.II delle NTC

Kr	z0	z min
0.20	0.10 m	5 m

Classe di rugosità del terreno: C (NTC - Tab. 3.3.III)

Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D

L'azione del vento sulle costruzioni è determinata dai seguenti parametri:

Cp: coefficiente di pressione;

Cd: coefficiente dinamico;

Ct: coefficiente di topografia;

Ce: coefficiente di esposizione (funzione di z , $z0$ e Ct);

z : altezza sul suolo.

Cp	Cd	Ct	Ce	z
1.00	0.60	1.00	1.71	4.00 m

Pressione del vento **a meno del Cp** ($Cp=1$), $p = qb Ce Cp Cd = 0.40 \text{ kN/mq}$

Il pannello può essere approssimato ad una tettoia, per la valutazione globale dell'azione del vento su coperture in cui lo spazio sottostante non è delimitato in maniera permanente da pareti, si fa riferimento a quanto riportato nella Circolare 21 gennaio 2019 al Capitolo C3.3.8.2.

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 18 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

Si definisce grado di bloccaggio Φ , il rapporto tra l'area esposta al vento di un'eventuale ostruzione presente al di sotto della tettoia e l'area totale della superficie ortogonale alla direzione del vento al di sotto della tettoia. Si definiscono due situazioni limite:

- $\Phi=0$ corrisponde all'assenza di ostruzioni al di sotto della tettoia (tettoia libera);
- $\Phi=1$ corrisponde alla situazione in cui lo spazio al di sotto della tettoia risulti completamente ostruito.

La condizione $\Phi=1$ è sostanzialmente diversa da quella prevista per gli edifici in quanto l'eventuale ostruzione può essere offerta anche da elementi che non delimitano completamente o permanentemente lo spazio al di sotto della tettoia.

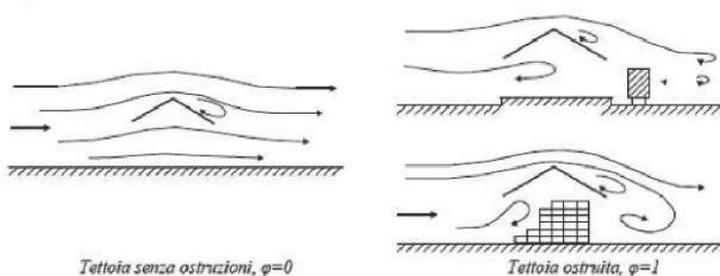
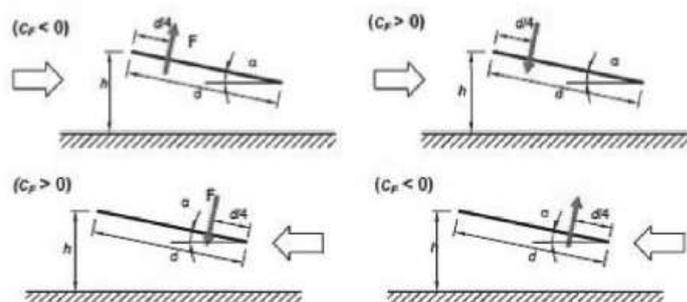


Figura C3.3.20 - Differenze nel flusso dell'aria per tettoie con $\phi=0$ e $\phi=1$

FIGURA 5 – DIFFERENZE NEL FLUSSO DELL'ARIA PER TETTOIE CON $\Phi=0$ E $\Phi=1$

La Circolare 21 gennaio 2019 al Capitolo C3.3.8.2 schematizza l'azione del vento sulle tettoie attraverso la forza F risultanti dal campo di pressioni sulla superficie della falda della tettoia, dirette ortogonalmente ad essa. Tali forze sono quantificate dal prodotto dei coefficienti di forza, c_F , per la superficie della falda in esame e sono applicate nei punti indicati nella seguente immagine (caso di tettoia a semplice falda).



Tettoie a semplice falda: posizione del punto di applicazione della forza risultante in funzione della direzione di provenienza del vento e della direzione della forza

Figura C3.3.22

FIGURA 6 – POSIZIONE DI APPLICAZIONE DELLA FORZA RISULTANTE – TETTOIE A SEMPLICE FALDA

I valori dei coefficienti di forza sono espressi in funzione del grado di bloccaggio Φ e dell'inclinazione α della falda.

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 19 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

Si considerano due casi differenti:

- Condizione più sfavorevole per le verifiche di compressione e trazione del palo di fondazione:

- $\alpha = 30^\circ$;
- $\Phi = 0$ (assenza di ostruzioni al di sotto della tettoia);
- $L^2 = 17.60 \text{ m}^2$

- Condizione più sfavorevole per le verifiche a carico orizzontale:

- $\alpha = 60^\circ$;
- $\Phi = 0$ (assenza di ostruzioni al di sotto della tettoia);
- $L^2 = 17.60 \text{ m}^2$

Di conseguenza si ha:

$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 60^\circ$
$c_F = 1.2$ per valori positivi	$c_F = 2.2$ per valori positivi
$c_F = -1.8$ per valori negativi	$c_F = -3.1$ per valori negativi

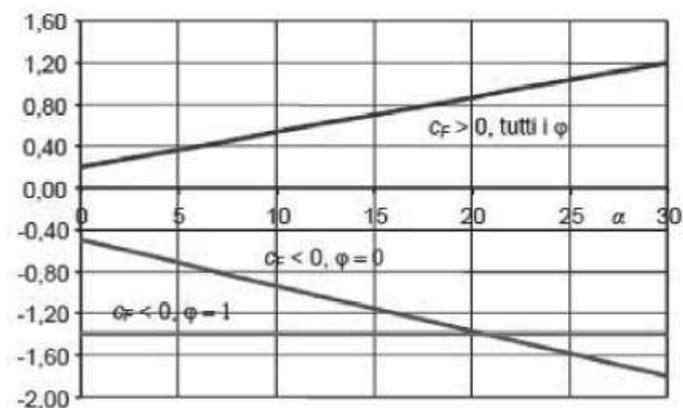


Figura C3.3.21 - Coefficienti di pressione complessiva per tettoie a semplice falda

Tabella C3.3.XV - Coefficienti di forza per tettoie a semplice falda (α in $^\circ$).

Valori positivi	Tutti i valori di φ	$c_F = +0,2 + \alpha/30$
Valori negativi	$\varphi = 0$	$c_F = -0,5 - 1,3 \cdot \alpha/30$
	$\varphi = 1$	$c_F = -1,4$

FIGURA 7 – COEFFICIENTI DI FORZA PER TETTOIE A SEMPLICE FALDA

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 20 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

La forza risultante è pari a $F=q_p(z) L^2 c_F$.

Si riassumono di seguito i risultati ottenuti:

$\alpha = 30^\circ$

Azione del vento massima (cf > 0):	8.46 kN	$F_{vert.}$	7.33 kN
		$F_{oriz.}$	4.23 kN
Azione del vento minima (cf < 0):	-12.70 kN	$F_{vert.}$	-11.00 kN
		$F_{oriz.}$	-6.35 kN

$\alpha = 60^\circ$

Azione del vento massima (cf > 0):	15.52 kN	$F_{vert.}$	7.76 kN
		$F_{oriz.}$	13.44 kN
Azione del vento minima (cf < 0):	-21.87 kN	$F_{vert.}$	-10.93 kN
		$F_{oriz.}$	-18.94 kN

-Azione sismica

La massa sismica per cui deve essere valutata l'azione sismica equivale alla massa del palo stesso sommata alle masse che gravano su di esso; nel caso specifico si ha:

P.P Z 20x50x200 sp.4	0.30 kN
P.P tubo acciaio sez. quadrata 100x100 sp 4	0.96 kN
P.P profilo a C h200 testa palo	0.10 kN
P.P. Pannelli	2.02 kN

La somma di tali valori è stata amplificata del 10% per tenere conto del peso delle stringature e collegamenti elettrici.

$$M_{sismica} = 1.1 \cdot \sum P.P. = 3.73 \text{ kN}$$

Con riferimento a quanto definito dalla NTC 2018 al paragrafo 7.3.3.2 - Analisi lineare statica, l'azione sismica viene così definita:

$$E_d = S_d \cdot M_{sismica} \cdot \lambda/g$$

Dove:

- $S_d = 0.0727 \text{ g}$
- λ è un coefficiente pari a 0,85 se $T_1 < 2T_C$ e la costruzione ha almeno tre orizzontamenti, uguale a 1,0 in tutti gli altri casi.

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 21 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

Le sollecitazioni indotte dal sisma risultano pari a $E_d = 0.27$ kN e sono molto inferiori a quelle dovute dal vento. L'azione sismica può quindi essere trascurata.

Parametri per le forme spettrali					
	Pver	Tr	ag [g]	Fo	T*c
SLO	81	30	0.0311	2.552	0.220
SLD	63	35.2	0.0328	2.562	0.233
SLV	10	332.19	0.0727	2.567	0.323
SLC	5	682.35	0.0933	2.576	0.329

FIGURA 8 – ACCELERAZIONE SISMICA

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 22 di 32
RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE		

9.2 Azioni sulla struttura

Le verifiche strutturali e geotecniche delle fondazioni sono state effettuate con l'Approccio 2, come definito nelle NTC2018 al paragrafo 2.6.1, attraverso la combinazione A1+M1+R3.

Le azioni sono state amplificate tramite i coefficienti relativi alla colonna A1 della tabella Tab.6.2.I delle NTC2018.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

TABELLA 9.1 – COEFFICIENTI PARZIALI PER LE AZIONI O PER L'EFFETTO DELLE AZIONI – TAB.6.2.I NTC2018

I valori dei parametri geotecnici del terreno sono stati ridotti tramite i coefficienti della colonna M1 della tabella Tab.6.2.II delle NTC2018.

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

TABELLA 9.2 – COEFFICIENTI PARZIALI PER I PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO – TAB.6.2.II NTC2018

I valori di resistenza del terreno sono stati verificati tramite i coefficienti della colonna R3 – Pali Infissi definiti nella Tabella Tab.6.4.II delle NTC2018.

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	γ_R	(R3)	(R3)	(R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale ^(*)	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

^(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

TABELLA 9.3 – COEFFICIENTI PARZIALI DA APPLICARE ALLE RESISTENZE CARATTERISTICHE A CARICO VERTICALE DEI PALI – TAB.6.4.II NTC2018

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 23 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

I carichi considerati nelle verifiche vengono riportati di seguito:

P.P Z 20x50x200 sp.4	9.80 kg/m	L 3.05 m	0.30 kN
P.P tubo acciaio sez. quadrata 100x100 sp 4	12.06 kg/m	L 8.00 m	0.96 kN
P.P profilo a C h200 testa palo	25.30 kg/m	L 0.40 m	0.10 kN
P.P. Pannelli	11.50 kg/m ²	A 17.60 m ²	2.02 kN
Neve	0.80 kN/m ²	A 17.60 m ²	14.08 kN

Vento $\alpha=30^\circ$

Vento massima (Cf > 0)	0.48 kN/m ²	A 17.60 m ²	8.47 kN	$\gamma =$	1.5	$\Psi_0 =$	0.6
Vento minima (Cf < 0)	-0.72 kN/m ²	A 17.60 m ²	-12.70 kN				

Vento massima vert	0.42 kN/m ²	A 17.60 m ²	7.33 kN
Vento massima orizz	0.24 kN/m ²	A 17.60 m ²	4.23 kN

Vento minima vert	-0.63 kN/m ²	A 17.60 m ²	-11.00 kN
Vento minima orizz	-0.36 kN/m ²	A 17.60 m ²	-6.35 kN

Vento $\alpha=60^\circ$

Vento massima (Cf > 0)	0.88 kN/m ²	A 17.60 m ²	15.53 kN	$\gamma =$	1.5	$\Psi_0 =$	0.6
Vento minima (Cf < 0)	-1.24 kN/m ²	A 17.60 m ²	-21.88 kN				

Vento massima vert	0.44 kN/m ²	A 17.60 m ²	7.76 kN
Vento massima orizz	0.76 kN/m ²	A 17.60 m ²	13.45 kN

Vento minima vert	-0.62 kN/m ²	A 17.60 m ²	-10.94 kN
Vento minima orizz	-1.08 kN/m ²	A 17.60 m ²	-18.95 kN

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 24 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

Compressione (SLU):

Per la verifica a capacità portante del palo di fondazione è stata considerata l'azione del vento massima ($cf > 0$). L'angolo di inclinazione del pannello è stato considerato pari a 30° , in quanto, in questo caso, risulta essere la condizione più sfavorevole.

$$N_{c,neve\ princ} = (0.30+0.96+0.10+2.02) \cdot 1.3 + 14.08 \cdot 1.5 + 7.33 \cdot 1.5 \cdot 0.6 = 32.13 \text{ kN}$$

$$N_{c,vento\ princ} = (0.30+0.96+0.10+2.02) \cdot 1.3 + 14.08 \cdot 1.5 \cdot 0.5 + 7.33 \cdot 1.5 = 25.97 \text{ kN}$$

Trazione (SLU):

Per la verifica a sfilamento del palo di fondazione è stata considerata l'azione del vento minima ($cf < 0$). L'angolo di inclinazione del pannello è stato considerato pari a 30° , in quanto, in questo caso, risulta essere la condizione più sfavorevole. A favore di sicurezza è stata considerata la risultante verticale agente sulla superficie di azione del vento e viene amplificato il solo carico vento.

$$N_{t,vento\ princ} = (0.30+0.96+0.10+2.02) - 11.00 \cdot 1.5 = -13.11 \text{ kN}$$

Azione orizzontale (SLU):

Per la verifica a carico orizzontale del palo di fondazione è stata considerata l'azione del vento minima ($cf < 0$). L'angolo di inclinazione del pannello è stato considerato pari a 60° , in quanto, in questo caso, risulta essere la condizione più sfavorevole. A favore di sicurezza è stata considerata la risultante orizzontale agente sulla superficie di azione del vento e viene amplificato il solo carico vento.

$$T_{vento\ princ} = 18.95 \cdot 1.5 = 28.42 \text{ kN}$$

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 25 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

9.3 Verifiche

PREDIMENSIONAMENTO E VERIFICHE PALI - TERRENI COESIVI

I pilastri in esame sono del tipo:

Z20x50x200 L= 6.05 m

Le sollecitazioni massime sul singolo palo sono:

$N_{\text{compr. sul singolo palo}} =$	32.13 kN
$N_{\text{traz. sul singolo palo}} =$	13.11 kN
$T_{\text{sul singolo palo}} =$	28.42 kN

n_{pali}	1
-------------------	---

Resistenza geotecnica a carico verticale dei pali

La resistenza geotecnica dei pali soggetti a carico verticale di compressione è determinata con il seguente metodo di calcolo. Il carico limite Q_{lim} è pari al contributo della resistenza laterale S sommato alla resistenza di punta P :

$$Q_{\text{lim}} = P + S$$

La **resistenza laterale S** è data da:

$$S = P \cdot L \cdot s$$

dove P è il perimetro della sezione del palo, L è la lunghezza del palo ed s è definita come segue:

$$s = c_u \cdot \alpha$$

Il coefficiente α viene definito come segue (Viggiani, 1999):

Altri autori (Viggiani, 1999) suggeriscono invece (c_u in kPa):

per pali battuti:		
$c_u < 25$	$\alpha = 1$	(Eq. 17.5)
$25 < c_u < 70$	$\alpha = 1 - 0,011 (c_u - 25)$	
$70 < c_u$	$\alpha = 0,5$	

per pali trivellati:		
$c_u < 25$	$\alpha = 0,7$	(Eq. 17.6)
$25 < c_u < 70$	$\alpha = 0,7 - 0,008 (c_u - 25)$	
$70 < c_u$	$\alpha = 0,35$	

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 26 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

La **resistenza di punta P** è data da:

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot (C_u \cdot N_c + \sigma_{v0,p})$$

in cui A_p è l'area di base del palo, q_p è la capacità portante unitaria, C_u è la resistenza al taglio in condizioni non drenate del terreno alla profondità della base del palo, $\sigma_{v0,p}$ è la tensione verticale totale alla punta, e N_c è un fattore di capacità portante, il cui valore è assunto pari a 9.

Molto spesso il peso del palo W_p e il termine $A_p \sigma_{v0,p}$ sono trascurati, poiché quasi si compensano. Quindi si ha:

$$Q_p = A_p \cdot 9 \cdot C_u$$

Si riporta il calcolo della resistenza geotecnica dei pali così determinata.

Dati palo:

· Lunghezza totale palo	6.05 m
· Lunghezza infissione palo	3.00 m
· Profilo palo	Z20x50x200
· N° verticali indagate	10
· ξ_3	1.4

(Tab.6.4.IV NTC2018 - Coefficienti parziali ξ in funzione del numero di verticali indagate).

Resistenza laterale (M1):

Strato	z	P	A	α	Cu	s = $\alpha \cdot C_u$	$Q_{lat,k}$
	m	m	m ²		kN/m ²	kN/m ²	kN
1	3.00	0.60	0.001248	0.615	60	36.9	66.42

Capacità portante di punta si trascura(M1):

$$Q_{p,k} = A_p \cdot 9 \cdot C_u = 0 \text{ kN}$$

Resistenza SLU a compressione (A1+M1+R3):

$$\gamma_{tot} = 1.30$$

$$\text{Resistenza SLU a compressione (A1+M1+R3)} = (Q_{lat,k} + Q_{p,k}) / (\xi_3 \cdot \gamma_{tot}) = 36.49 \text{ kN}$$

Resistenza SLU a trazione (A1+M1+R3):

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 27 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

$$\cdot \gamma_{st} = 1.25$$

$$\cdot \text{Resistenza SLU a trazione (A1+M1+R3)} = Q_{lat,k} / (\xi_3 \cdot \gamma_{st}) = 37.95 \text{ kN}$$

La verifica geotecnica dei pali in combinazione A1+M1+R3 risulta pertanto soddisfatta se $R_d > E_d$.

$N_{Rd,c} =$	36.49 kN	>	$N_{Ed,c} =$	32.13 kN	VERIFICA SODDISFATTA
$N_{Rd,t} =$	37.95 kN	>	$N_{Ed,t} =$	13.11 kN	VERIFICA SODDISFATTA

Resistenza strutturale a compressione/trazione dei pali

Caratteristiche acciaio:

profilo laminato a caldo, tipologia

qualità dell'acciaio

normativa di riferimento

spessore nominale dell'elemento

resistenza caratteristica a snervamento

resistenza caratteristica di rottura

a sezione aperta
S 355
UNI EN 10025-2
$t \leq 40 \text{ mm}$

$$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{tk} = 510 \text{ N/mm}^2$$

I pali sono caratterizzati da profili **Z20x50x200** di acciaio di classe **S355** con resistenza nominale massima a snervamento $N_{pl,Rd}$ pari a **422 kN**.

Resistenza a compressione N_{rd} :

$$N_{pl,Rd} = A \times f_{yk} / \gamma_{M0} = 422 \text{ kN}$$

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

Si esegue il calcolo della resistenza strutturale del profilo dei pali in combinazione A1+M1+R3:

$$\cdot \gamma_s = 1.15$$

$$\cdot \text{Resistenza strutturale (A1+M1+R3)} = N_{pl,Rd} / \gamma_s = 366.91 \text{ kN}$$

La verifica strutturale dell'armatura dei pali in combinazione A1+M1+R3 risulta soddisfatta se $R_d > E_d$.

$N_{str,c,Rd} =$	366.91 kN	>	$N_{Ed,max} =$	32.13 kN	VERIFICA SODDISFATTA
$N_{str,t,Rd} =$	366.91 kN	>	$N_{Ed,max} =$	13.11 kN	VERIFICA SODDISFATTA

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 28 di 32
RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE		

In questo caso la resistenza strutturale è superiore a quella geotecnica a compressione/trazione, pertanto la resistenza del palo è data dalla capacità portante geotecnica. La verifica strutturale è sempre soddisfatta se lo è anche quella geotecnica.

Resistenza geotecnica a carico orizzontale dei pali

La resistenza geotecnica dei pali soggetti a carico orizzontale è determinata con il metodo di calcolo proposto da Broms (1964). Il carico limite Q_{lim} è funzione del momento di plasticizzazione del profilo M_{pl} , della geometria del palo e del tipo di terreno in cui è immerso.

Momento di plasticizzazione

$y_{M0} =$	1.05	
$f_{yk} =$	355	N/mm ²
$W_{pl} =$	87.33	cm ³
$M_{pl,y,Rd} = W_{pl} \times f_{yk} / y_{M0} =$	29.53	kNm

Tipo di terreno

	Coesivo	
γ'	8.5 kN/m ³	peso di unità di volume del terreno (se è presente la falda $\gamma = \gamma'$)
ϕ'	- °	
Cu	60 kN/m ²	

Dati palo:

· Lunghezza palo	3.00 mm
· Momento di plasticizzazione tubo armatura	29.53 kNm
· Tipo comportamento del terreno	Coesivo
· Peso di volume efficace medio del terreno γ'	8.50 kN/m ³
· Angolo di attrito efficace medio del terreno ϕ'	0 °
· N° verticali indagate	10
· ξ_3	1.40
· Carico limite orizzontale caratteristico (Broms)	84.71 kN/palo

Considerando un palo vincolato in testa con incastro rigido, si ottiene la resistenza così determinata.

Resistenza SLU a carico orizzontale (A1+M1+R3):

· $\gamma_{tot} =$	1.30	
· Resistenza SLU a carico orizzontale (A1+M1+R3)=	$H_{lim} / (\xi_3 \cdot \gamma_{tot}) =$	46.54 kN

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 29 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

La verifica geotecnica a carico orizzontale dei pali in combinazione A1+M1+R3 risulta pertanto soddisfatta se $R_{orizz,d} > E_{orizz,d}$

$$H_{Rd,orizz} = 46.54 \text{ kN} > H_{Ed,orizz} = 28.42 \text{ kN}$$

VERIFICA SODDISFATTA

Resistenza strutturale a taglio dei pali

I pali sono caratterizzati da profili **Z20x50x200** di acciaio di classe **S355**. La verifica della resistenza strutturale dei pali in combinazione A1+M1+R3 a taglio combinato con sollecitazione assiale risulta soddisfatta se:

$$\frac{N^{1.5}}{N_{Rd}} + \frac{V^{1.5}}{V_{Rd}} \leq 1$$

dove N e V sono rispettivamente la sollecitazione assiale e di taglio agenti sul palo, mentre N_{Rd} e V_{Rd} sono le rispettive resistenze del tubo di armatura.

Resistenza a taglio V_{rd}

Area palo resistente a taglio

$$A_v = 1.04 h t_w = 832 \text{ mm}^2 \quad (\text{EC3-5.4.6(4)})$$

Resistenza a taglio in assenza di torsione

$$V_{c,RD} = A_v f_{yk} / \sqrt{3} \gamma_{M0}$$

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$V_{c,RD} = 162 \text{ kN}$$

Considerando la combinazione più gravosa agente a taglio sul palo in oggetto si ottiene:

$$\frac{32.13^{1.5}}{367} + \frac{28.42^{1.5}}{162} = 0.099 < 1$$

VERIFICA SODDISFATTA

La verifica strutturale dell'armatura dei pali in combinazione A1+M1+R3 a sollecitazione combinata di trazione/compressione e taglio risulta pertanto verificata.

Le verifiche svolte nel presente capitolo sono definite in una fase preliminare di calcolo sulla scorta delle indagini condotte, propedeuticamente alla fase realizzativa saranno ad ogni modo eseguiti in sito dei campi prova per verificare la profondità di infissione dei pali in funzione del profilo impiegato.

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 30 di 32
RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE		

10 PLATEE DI FONDAZIONE CABINE DI CAMPO

I carichi agenti sulle platee di fondazione delle cabine vengono riportati di seguito. Sono state poi considerate le combinazioni più gravose.

10.1 Analisi dei carichi

-Pesi propri e carichi permanenti

Si considerano cabine di campo tipo SUNWAY SKID 5400 di dimensioni 16.20 (L) x 2.40 (H) x 2.90 (D) m, con peso di circa 26 t.

-Carico da neve

Normativa di riferimento:

D.M. 17 gennaio 2018 - NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Cap. 3 - AZIONI SULLE COSTRUZIONI - Par. 3.3 e 3.4

Circolare n.7 - 21 gennaio 2019 C.S.LL.PP.

NEVE

Il carico della neve sulle coperture è calcolato in relazione ai seguenti parametri:

Zona: macro area derivante dalla suddivisione del territorio nazionale;

Esp.: zona topografica di esposizione al vento;

Ce: coefficiente di esposizione al vento;

TR: periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

as: altitudine del sito;

qsk: valore caratteristico del carico della neve al suolo (per Tr = 50 anni);

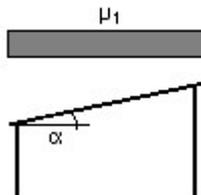
Zona	Esposizione	Ce	TR	as	qsk
II	Zona normale	1.00	50 anni	11 m	1.00

Copertura ad una falda:

Angolo di inclinazione della falda $\alpha = 0^\circ$

$m_1 = 0.80 \Rightarrow Q_1 = 0.80 \text{ kN/mq}$

Schema di carico:



-Carico di categoria

Si considera un carico di categoria E - Aree per immagazzinamento e uso commerciale ed uso industriale, ai sensi del prospetto 3.1.II della NTC2018, pari a 250 kg/m^2 .

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 31 di 32
RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE		

10.2 Azioni sulla struttura

Le verifiche strutturali e geotecniche delle fondazioni sono state effettuate con l'Approccio 2, come definito nelle NTC2018 al paragrafo 2.6.1, attraverso la combinazione A1+M1+R3.

Le azioni sono state amplificate tramite i coefficienti relativi alla colonna A1 della tabella Tab.6.2.I delle NTC2018.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

TABELLA 10.1 – COEFFICIENTI PARZIALI PER LE AZIONI O PER L'EFFETTO DELLE AZIONI – TAB.6.2.I NTC2018

I valori dei parametri geotecnici del terreno sono stati ridotti tramite i coefficienti della colonna M1 della tabella Tab.6.2.II delle NTC2018.

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

TABELLA 10.2 – COEFFICIENTI PARZIALI PER I PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO – TAB.6.2.II NTC2018

I valori di resistenza del terreno sono stati verificati tramite i coefficienti della colonna R3 – Pali Infissi definiti nella Tabella Tab.6.4.II delle NTC2018.

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	γ_R	(R3)	(R3)	(R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale ^(*)	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

^(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

TABELLA 10.3 – COEFFICIENTI PARZIALI DA APPLICARE ALLE RESISTENZE CARATTERISTICHE A CARICO VERTICALE DEI PALI – TAB.6.4.II NTC2018

ELABORATO.: -	COMUNE di TRECENTA PROVINCIA di ROVIGO	Rev.: 00
Data: 08/01/2024	PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIFOTOVOLTAICO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA PER VENDITA DI ENERGIA	Pagina 32 di 32
	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	

10.3 Verifiche

Si tratta di cabine di campo con dimensioni in pianta di:

$$L_c = 1620 \text{ cm}$$

$$B_c = 290 \text{ cm}$$

e dal peso dichiarato da scheda tecnica di 26 t

Per la fondazione si ipotizza una platea in c.a. delle dimensioni di:

$$L_F = 1720 \text{ cm}$$

$$B_F = 390 \text{ cm}$$

$$s_F = 20 \text{ cm}$$

impiegando cls C 25/30 ed acciaio B450C.

Sul terreno di fondazione si può valutare un'azione Ed pari a:

$$Ed = PP_{cabina} \cdot \gamma_G + Q_{neve} \cdot \gamma_Q + Q_{CATE} \cdot \gamma_Q \cdot \Psi_0 = (26000/1720 \cdot 390) \cdot 1.3 + 0.008 \cdot 1.5 + 0.025 \cdot 1.5 \cdot 1 = 0.10 \text{ daN/cm}^2$$

Valore ammissibile per le stratigrafie presenti in loco.

Le sollecitazioni sono modeste, si adotta quindi l'armatura minima per le platee di fondazione che viene definita dalle NTC 2018 al punto 7.2.5:

Le platee di fondazione in calcestruzzo armato devono avere armature longitudinali, secondo due direzioni ortogonali e per l'intera estensione, in percentuale non inferiore allo 0,1% dell'area della sezione trasversale della platea, sia inferiormente sia superiormente.

$$\% = 0.10\%$$

(NTC 2018 al paragrafo 7.2.5)

$$A_{fmin} = 2.50 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Si impiega una rete Φ 10/20x20 pari a 3.93 cm²/m sia inferiormente, sia superiormente. La platea è verificata.