

PROPONENTE:

K4 ENERGY s.r.l.

Sede in: Via Vecchia Ferriera, 22
36100 Vicenza (VI) - ITALIA
Pec: k4-energy-srl-vi@pec.it

K4 ENERGY



PROVINCIA DI ORISTANO



COMUNE DI NARBOLIA



COMUNE DI SAN VERO MILIS



REGIONE SARDEGNA

OGGETTO:

PROGETTO DEFINITIVO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO E RELATIVE
OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN CON POTENZA COMPLESSIVA DI
23,8 MW NEI COMUNI DI SAN VERO MILIS (OR) E NARBOLIA (OR)

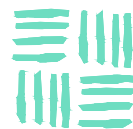
NOME ELABORATO:

CALCOLO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE

PROGETTO SVILUPPATO DA:

AGREENPOWER s.r.l.

Sede legale: Via Serra, 44
09038 Serramanna (SU) - ITALIA
Email: info@agreenpower.it



agreenpower s.r.l.

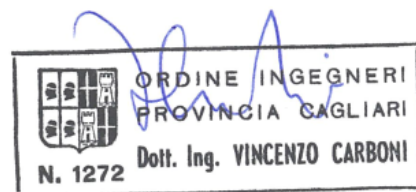
GRUPPO DI LAVORO:

Ing. Simone Abis
Ing. Giovanni Cis
Dott. Gianluca Fadda
Ing. Federico Micheli

COLLABORATORI:

Ing. Federico Miscali
Dott. Agr. Vincenzo Satta
Dott.ssa Archeol. Anna Luisa Sanna
Ing. Michele Pigliaru
Dott. Geol. Giovanni Mele
Per.Ind. Alberto Laudadio
Geom. Mario Dessì

TIMBRO E FIRMA:



SCALA:	CODICE ELABORATO	TIPOLOGIA	FASE PROGETTUALE		
-	REL24	IMPIANTO AGRIVOLTAICO	DEFINITIVO		
FORMATO:					
-					
3					
2					
1					
0	Prima emissione	Luglio 2023	Vincenzo Carboni	AGREENPOWER	AGREENPOWER
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO

1) Premessa

La presente relazione tecnica è relativa al dimensionamento delle strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici costituenti l'impianto di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, aventi potenza di **23.796,9 kWp** di potenza di picco e **21.600 kW** di potenza ai fini dell'immissione in rete, da realizzarsi su una superficie di circa 357.200 m² di terreni agricoli ubicati nel Comune di San Vero Milis in località Spinarba presso l'Azienda Agricola Guiso, denominato "Agrovoltaico San Vero Milis".

2) Localizzazione dell'impianto

L'area di impianto è ubicata a est dell'abitato di San Vero Milis, in località "Spinarba", ed è tangente alla strada provinciale 13 che collega San Vero Milis con Tramatzatza.

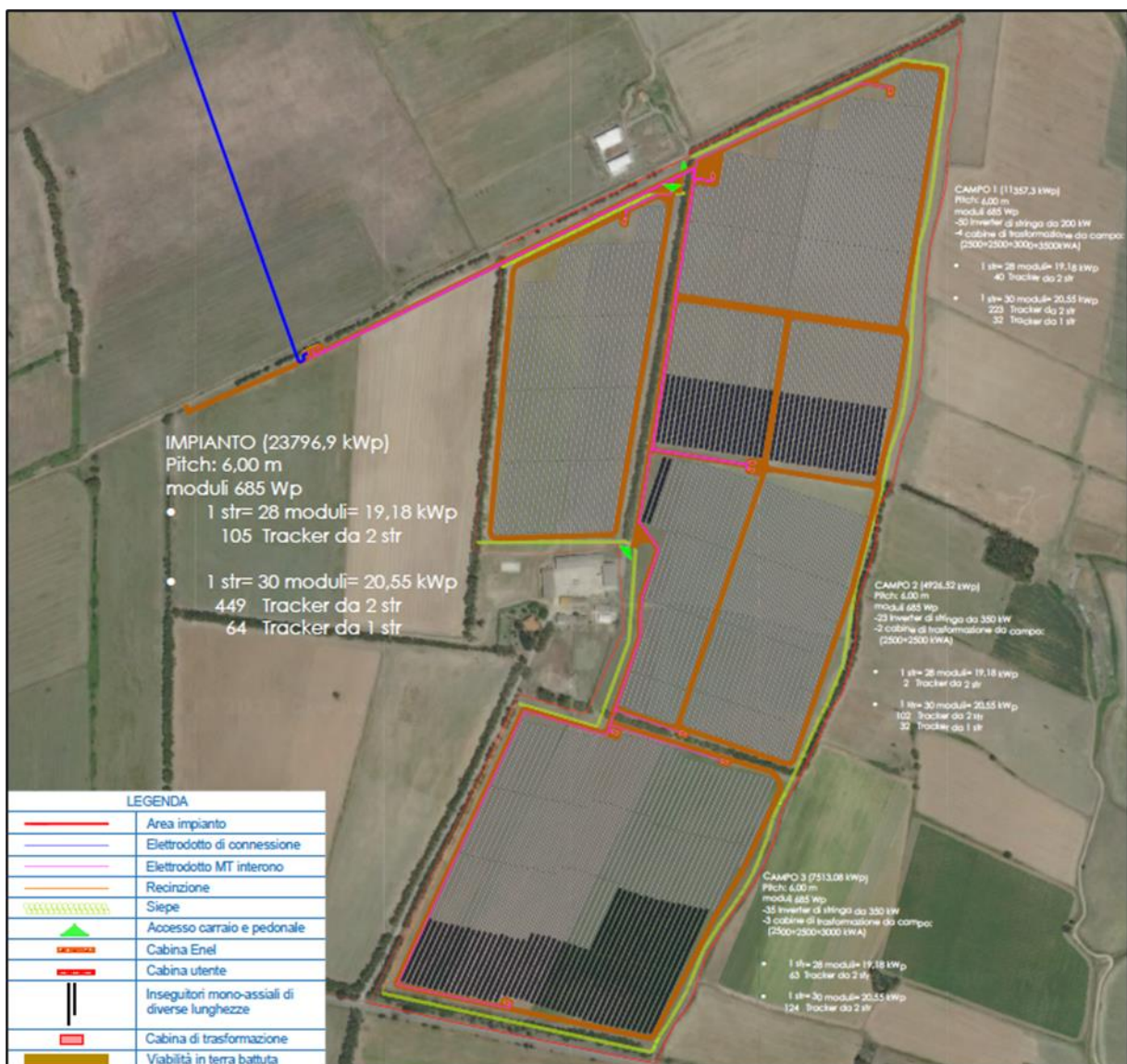


Fig. 1: area di installazione dell'impianto e layout (fornita da: Agreenpower S.r.l.)

3) Descrizione dell'opera

La presente relazione definisce la tipologia della struttura di sostegno e del suo ancoraggio al suolo.

Il tipo di struttura è ad inseguimento **solare** (tracker) con possibilità di variare l'inclinazione sull'orizzontale, della totalità dei pannelli, da 0° a $\pm 60^\circ$.

Sommariamente tale struttura è così composta:

- n. 6 colonne verticali costituenti i pali di sostegno infissi nel terreno;
- n. 1 corrente orizzontale incernierato alla sommità delle colonne di estremità;
- n. 28 arcarecci posti ad un interasse di 1303(mm);
- n. 27 pannelli fotovoltaici di dimensioni 1303x2384 (mm);

Sotto si riportano alcune immagini dei componenti sopra elencati:

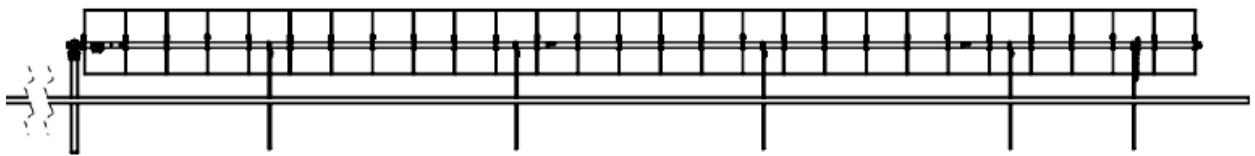


Fig. 2: particolare in elevazione impianto (schema)

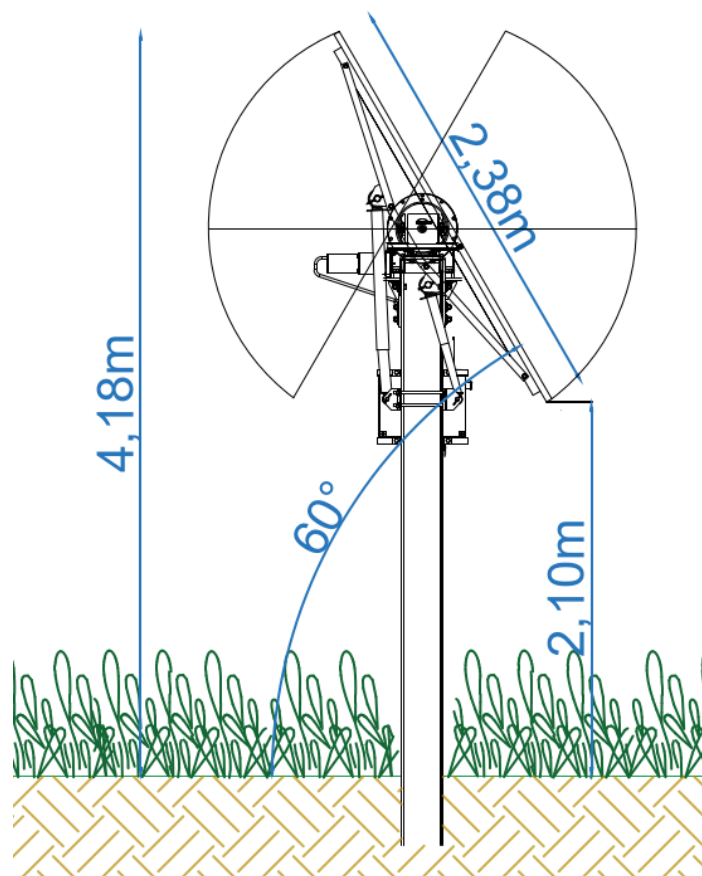


Fig. 3: vista laterale

Tabella 1: caratteristiche geometriche elementi di impianto

Tipologia	Lunghezza totale (mm)	Interasse colonne (mm)	Lung. Arcareccio (mm)	Dim. Moduli FV (mm)	Interasse moduli (mm)
Tracker	35805	6306	2384	1303x2384	1303

Tabella 2: elevazioni

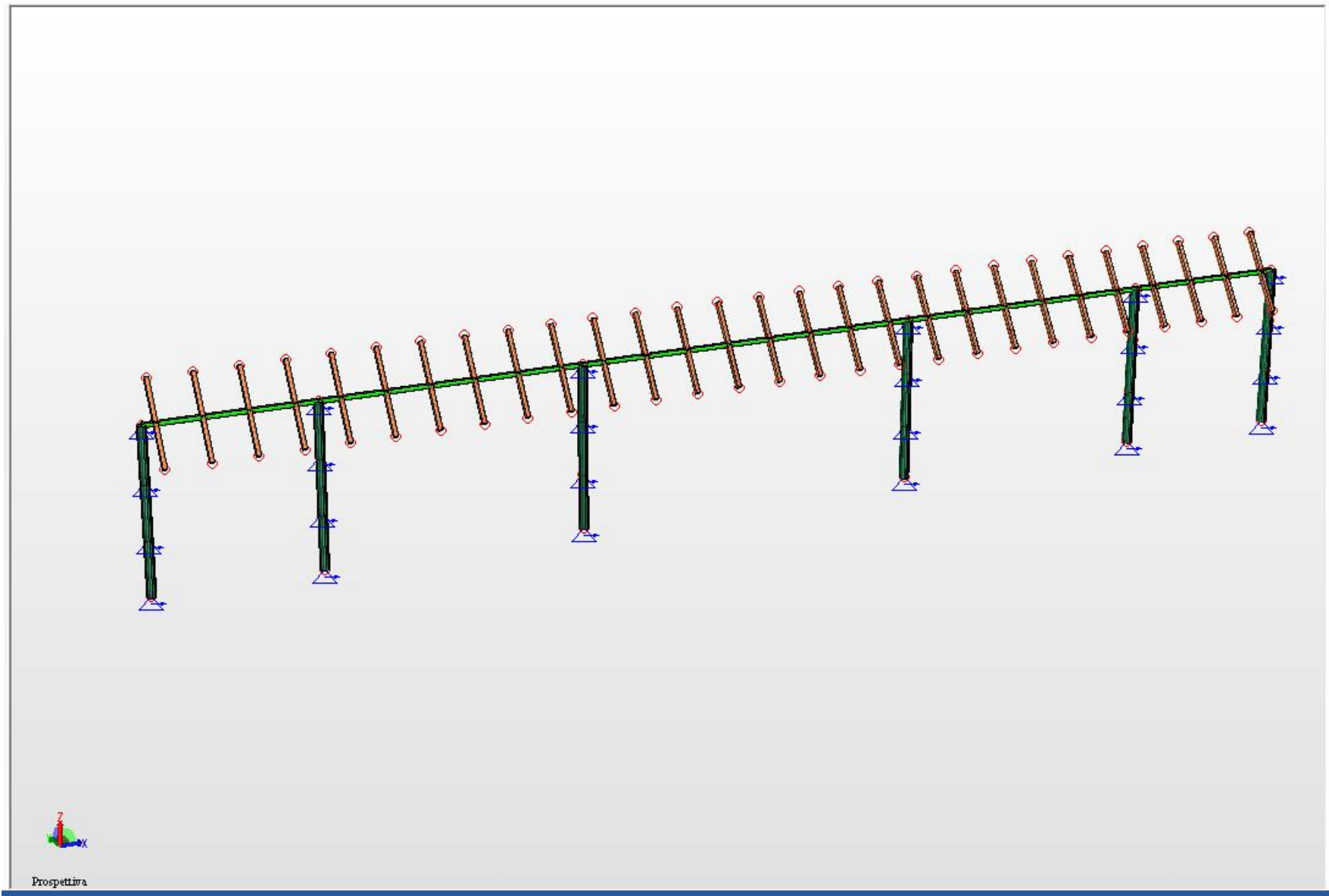
Tipologia	Altezza colonne (mm)	Altezza max (inclinazione = 0°) (mm)	Altezza max (inclinazione = 60°) (mm)
Tracker	3270	3270	4302

Tabella 3: profilati in acciaio per elementi strutturali

Tipologia	Colonne	Corrente orizzontale	Arcarecci
Tracker	HEA160	8" sch. STD	Profilo Sigma 140x45x2,8

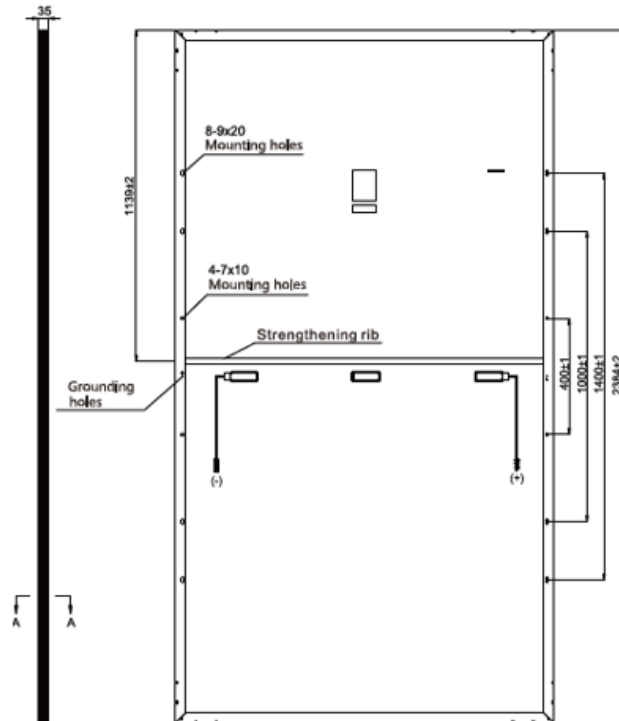
Per le colonne verticali si è impiegato acciaio S 335, mentre per il fissaggio dei moduli ed il corrente orizzontale si è considerato un acciaio S 550

Modello struttura per verifiche strutturali con software SAP



CARATTERISTICHE MECCANICHE E DIMENSIONALI

Dimensions of PV Module Unit: mm



MECHANICAL DATA

Solar cells	N-type
Cell configuration	132 cells (6×11+6×11)
Module dimensions	2384×1303×35mm
Weight	34kg
Superstrate	High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass
Substrate	White Back-sheet
Frame	Anodized Aluminium Alloy type 6005-2T6, Silver Color
J-Box	Potted, IP68, 1500VDC, 3 Schottky bypass diodes
Cables	4.0mm ² (12AWG), Positive(+)350mm, Negative(-)350mm (Conr
Connector	Risen Twinsel PV-SY02, IP68

4) Normativa di riferimento

- D.M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018 (aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni)
- Circolare 21 gennaio 2019 (istruzione per l'applicazione dell'aggiornamento delle N.T.C 2018;
- Eurocodice 3 (progettazione delle strutture in acciaio)

5) Materiali impiegati e resistenze di calcolo

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:

Materiale/Sollec.	V. caratt.	M.Young	M.Poisson	G	Gamma	Alfa	Altri
	(daN/cm ²)	(daN/cm ²)		(daN/cm ²)	(daN/cm ³)		
Acciaio S 335		2.100 e ⁺⁰⁶	0.30	8.077 e ⁺⁰⁵	7.85 e ⁻⁰³	1.20e ⁻⁰⁵	
Tensione ft	5100						
Tensione fd	3550						
Tensione amm.	1600						
Rapporto HRDb							1.00e ⁻⁰⁵
Rapporto HRDv							1.00e ⁻⁰⁵
Acciaio S 550		2.100 e ⁺⁰⁶	0.30	8.077 e ⁺⁰⁵	7.85 e ⁻⁰³	1.20e ⁻⁰⁵	
Tensione ft	5500						
Tensione fd	4400						
Tensione amm.	1900						
Rapporto HRDb							1.00e ⁻⁰⁵
Rapporto HRDv							1.00e ⁻⁰⁵

Significato dei simboli	
f _t	Tensione di rottura
f _y	Tensione di snervamento
f _d	Resistenza di calcolo per SL CNR-UNI 10011

6) Principi fondamentali per la progettazione strutturale

Le NTC 2018, unitamente alla circolare n. 7/2019 del C.S.LL.PP., prescrivono che le costruzioni posseggano requisiti di:

- sicurezza delle opere
- sicurezza antincendio
- durabilità
- robustezza.

Gli strumenti normativi citati, per la verifica della sicurezza, prescrivono, il ricorso al metodo semiprobabilistico agli Stati Limite Ultimi (SLU) e di Esercizio (SLE).

– Analisi dei carichi

Il capitolo 3 delle NTC 2018 descrive e definisce i carichi, nominali e/o caratteristici, relativi a costruzioni per uso civile o industriale e prescrive che sia la descrizione sia la definizione dei carichi devono essere espressamente indicate e gli elaborati progettuali.

I carichi sono in genere da considerare come applicati staticamente, salvo casi particolari in cui gli effetti dinamici devono essere debitamente valutati. Oltre che nella situazione definitiva d'uso, si devono considerare le azioni agenti in tutte le fasi esecutive della costruzione.

7) Azioni sulla struttura

Le azioni presenti sulla struttura sono:

- carichi permanenti strutturali e non strutturali;
- azione del vento;
- azione da neve;
- azione sismica.

Le azioni così ottenute sono combinate tra loro in base alle combinazioni di carico indicate dalla norma e appresso riportate. Da queste si ottengono i valori di progetto delle sollecitazioni da impiegare successivamente nelle verifiche. I calcoli e le verifiche sono condotti con il metodo semiprobabilistico degli stati limite.

– Peso proprio dei materiali strutturali

Le azioni permanenti gravitazionali associate ai pesi propri dei materiali strutturali sono derivate dalle dimensioni geometriche e dai pesi dell'unità di volume dei materiali con cui sono realizzate le parti strutturali. Per i materiali più comuni le azioni in argomento sono assunte dalla Tabella 3.1.I. delle N.T.C.

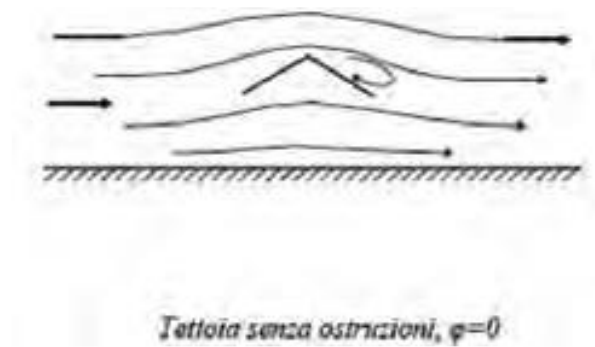
– Carichi permanenti non strutturali

Sono considerati carichi permanenti non strutturali i carichi presenti sulla costruzione durante il suo normale esercizio.

Nel caso in esame appartengono a questa tipologia i pannelli fotovoltaici.

8) Azione del vento

La struttura dell'impianto fotovoltaico è assimilabile ad una tettoia a falda singola e pertanto i criteri per valutare le azioni globali del vento sono forniti dal paragrafo C3.3.8.2, della circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 del C.S.LL.P.P. che tratta appunto di tettoie in cui lo spazio sottostante non sia delimitato in maniera permanente da pareti, ovvero sia uno spazio con coefficiente di bloccaggio $F=0$.



La Tabella C3.3. XV e la relativa Figura C.3.3.21 riportano i valori dei coefficienti di forza per le tettoie a semplice falda con vento agente perpendicolarmente alla linea di colmo. I valori dei coefficienti di forza sono espressi in funzione del grado di bloccaggio.

La pressione del vento è data dall'espressione:

$p=q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$	equazione 3.3.4 - NTC 2018
---------------------------------------	----------------------------

- q_r è la pressione cinetica di riferimento;
- c_e è il coefficiente di esposizione;
- c_p è il coefficiente di pressione;
- c_d è il coefficiente dinamico

la pressione cinetica di riferimento è data dall'espressione:

$q_r=1/2 \rho v_r^2$	equazione 3.3.4 - NTC 2018
----------------------	----------------------------

con:

ρ : densità dell'aria (assunta pari a 1,25 kg/m³);

$v_r = v_b \cdot c_r$ velocità di riferimento del vento (in m/s), data da (equazione 3.3.2 - D.M. 2018):

con " v_b " velocità base di riferimento, di cui al § 3.3.1 e " c_r " coefficiente di ritorno, funzione del periodo di ritorno di progetto " T_R " espresso in anni.

In mancanza di specifiche e adeguate indagini statistiche, il coefficiente di ritorno è fornito dalla relazione

$c_r=0.75 \sqrt{(1-0.2 \ln[-\ln(1-1/T_R)])}$	Equazione 3.3.3 NTC 2018
--	--------------------------

– Velocità base di riferimento

La velocità base di riferimento v_b è il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza sul suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II NTC 2018), riferito ad un periodo di ritorno $T_R = 50$ anni.

In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche, v_b è data dall'espressione: $v_{b,0} \cdot c_a$ dove:

- $v_{b,0}$ è la velocità base di riferimento al livello del mare, assegnata nella Tab. 3.3.I in funzione della zona in cui sorge la costruzione (Fig. 3.3.1);
- c_a è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:
 $c_a = 1$ per $a_s \leq a_0$
 $c_a = 1 + k_s \cdot (a_s/a_0 - 1)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m (equazione 3.3.1.b NTC 2018)

c_e : coefficiente di esposizione, che per altezza sul suolo (z) non maggiori di 200 m è dato dalla formula:
 $c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)]$ per $z \geq z_{min}$

$c_e(z) = c_e(z_{min})$ per $z < z_{min}$

k_r , z_0 , z_{min} : parametri forniti dalla Tab. 3.3.II del par. 3.3.7 D.M. 2018 (funzione della categoria di esposizione del sito e della classe di rugosità del terreno);

- c_t : coefficiente di topografia (assunto pari ad 1).

Tabella 3.3.II – parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Categoria di esposizione del sito	K_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Fig. 3.3.1 - Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

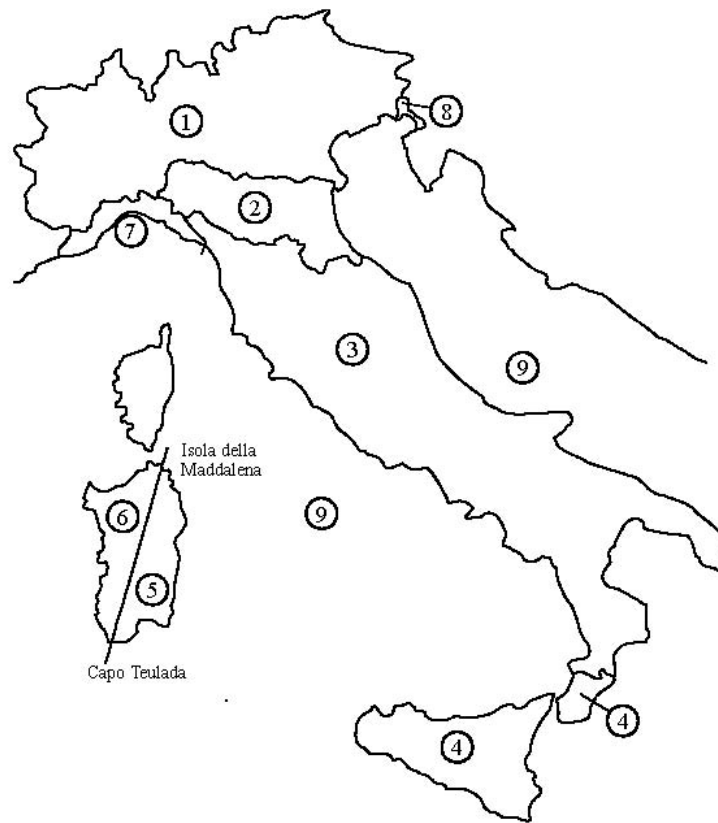


Fig. 3.3.2 definizione delle categorie di esposizione

ZONE 1,2,3,4,5						
	mare	costa	500m	750m		
	2 km	10 km	30 km			
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**

* Categoria II in zona 1,2,3,4
Categoria III in zona 5

** Categoria III in zona 2,3,4,5
Categoria IV in zona 1

ZONA 9		
	mare	costa
A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

ZONA 6					
	mare	costa	500m		
	2 km	10 km	30 km		
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

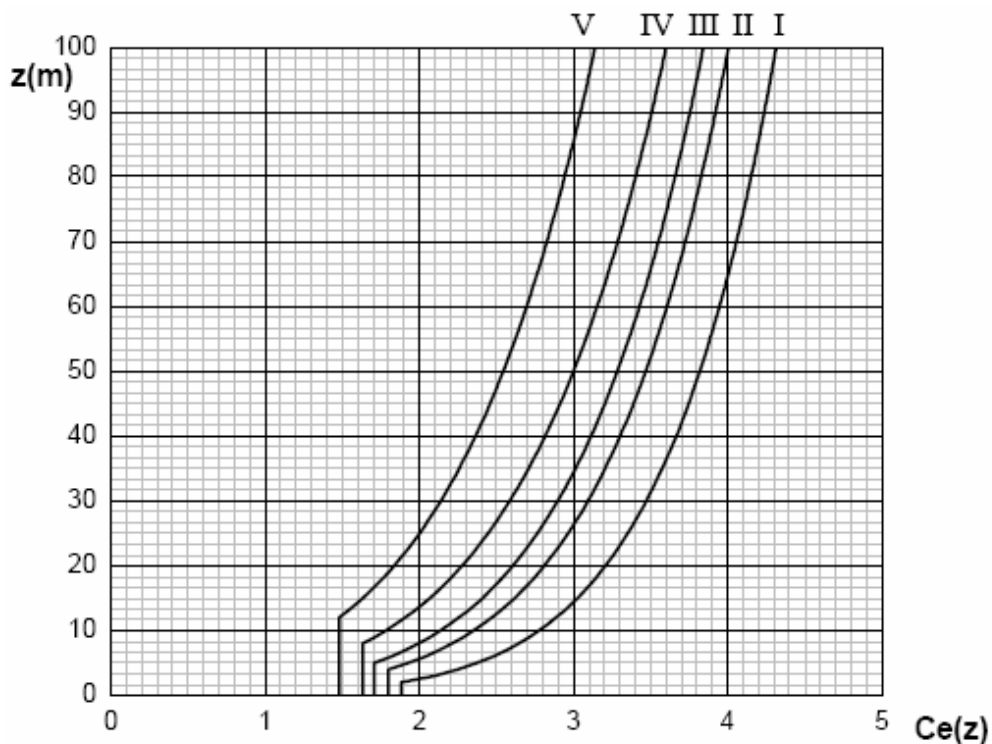
ZONE 7,8			
	mare	costa	
	1.5 km	0.5 km	
A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*

* Categoria II in zona 8
Categoria III in zona 7

Tab. 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa); b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa) c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate,)

Fig. 3.3.3- andamento del coefficiente di esposizione c_e in funzione dell'altezza sul suolo (per $c_t=1$)



Per la tettoia a falda singola il coefficiente di forma C_p coincide con il coefficiente di forza C_f che è funzione del grado di bloccaggio e dell'inclinazione α della tettoia.

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

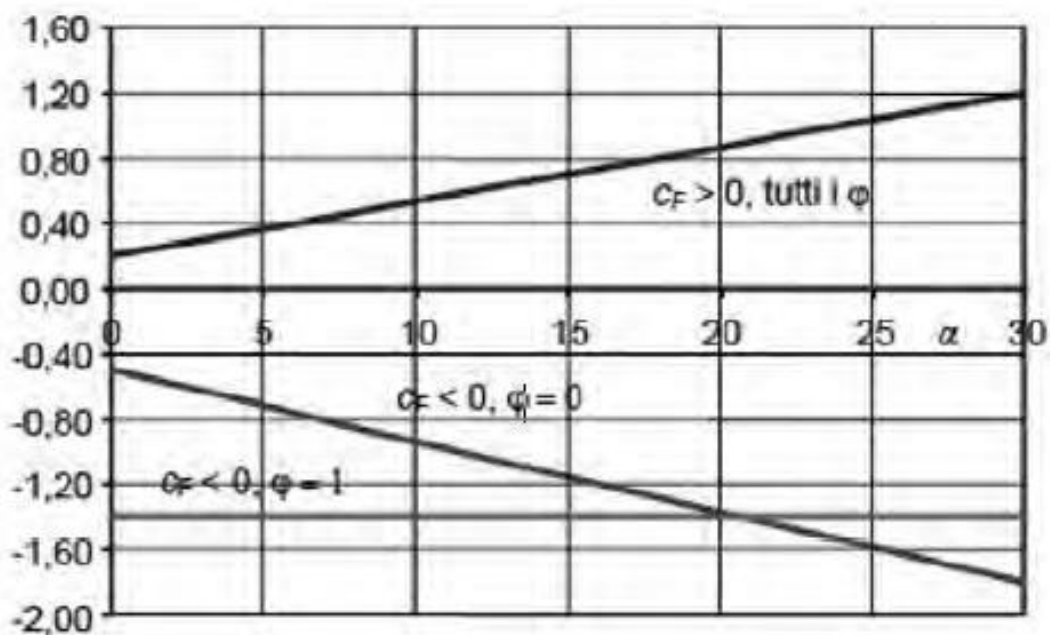
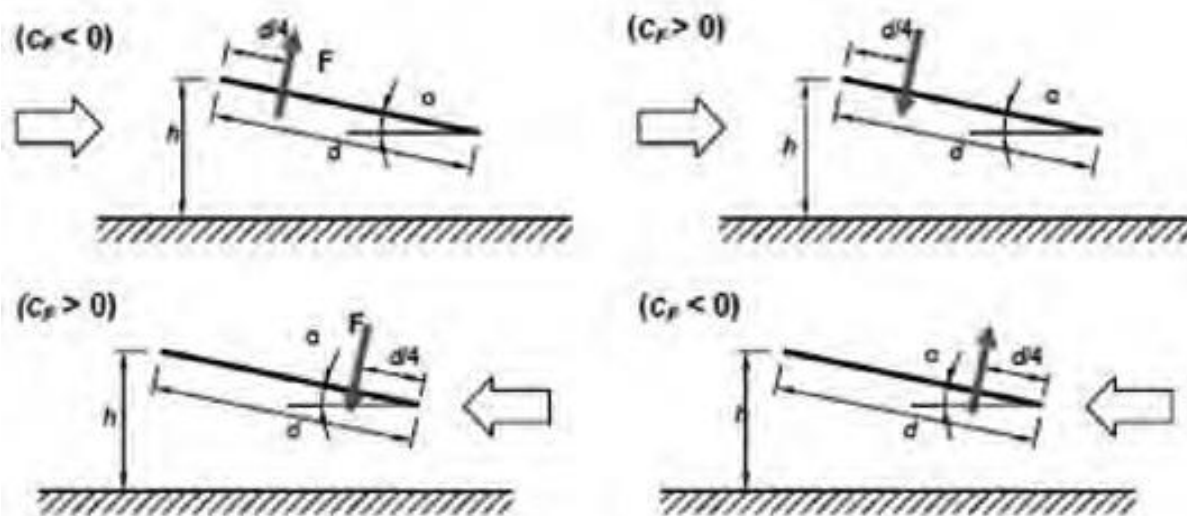


Tabella C3.3. XV - Coefficienti di forza per tettoie a semplice falda (α in $^\circ$).

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

Figura C3.3.22

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



Per la configurazione con inclinazione dei pannelli pari a 50° avremo

Per $c_f > 0$: $c_f = 0.2 + \alpha/30 = 0.2 + 50/30 = 1.86$

Per $c_f < 0$: $c_f = -0.5 - 1.3 * (\alpha/30) = -2.77$

Per il calcolo di progetto della tettoia si considerano le condizioni di carico più gravose tra le quattro indicate nella Figura C3.3.22, dove la forza risultante $F = q_p(z) L^2 c_F$

9) Calcolo dell'azione del vento

Per comodità di lettura si riporta appresso l'espressione di calcolo della pressione, sulla struttura, originata dal vento:

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

$$q_r = 49 \text{ (daN/mq)}$$

$$c_e = 1.80$$

$$c_p = c_f = 1.86$$

per $c_f > 0$ e $\alpha = 50^\circ$ abbiamo

$$p (+) = 49 * 1.80 * 1.86 = 164 \text{ (daN/mq)}$$

per $c_f < 0$ e $\alpha = 50^\circ$ abbiamo

$$p (-) = 49 * 1.80 * (-2.77) = 244 \text{ (daN/mq)}$$

Per pannelli inclinati di 0° avremo:

$$\text{per } c_f > 0: p (+) = 49 * 1.80 * 0.2 = 17.64 \text{ (daN/mq)}$$

$$\text{per } c_f < 0: p (-) = 49 * 1.80 * (-0.5) = 44.10 \text{ (daN/mq)}$$

10) Azione della neve

Il carico della neve è stato calcolato seguendo le prescrizioni del §3.4 delle NTC 2018 e le integrazioni della Circolare n. 7 del 2019. Il carico da neve, calcolato come di seguito riportato, è stato combinato con le altre azioni variabili definite al §2.5.3, ed utilizzando i coefficienti di combinazione della Tabella 2.5.I del D.M. 2018. Il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_e \cdot C_t$$

dove:

q_{sk} è il valore di riferimento del carico della neve al suolo, di cui al § 3.4.2;

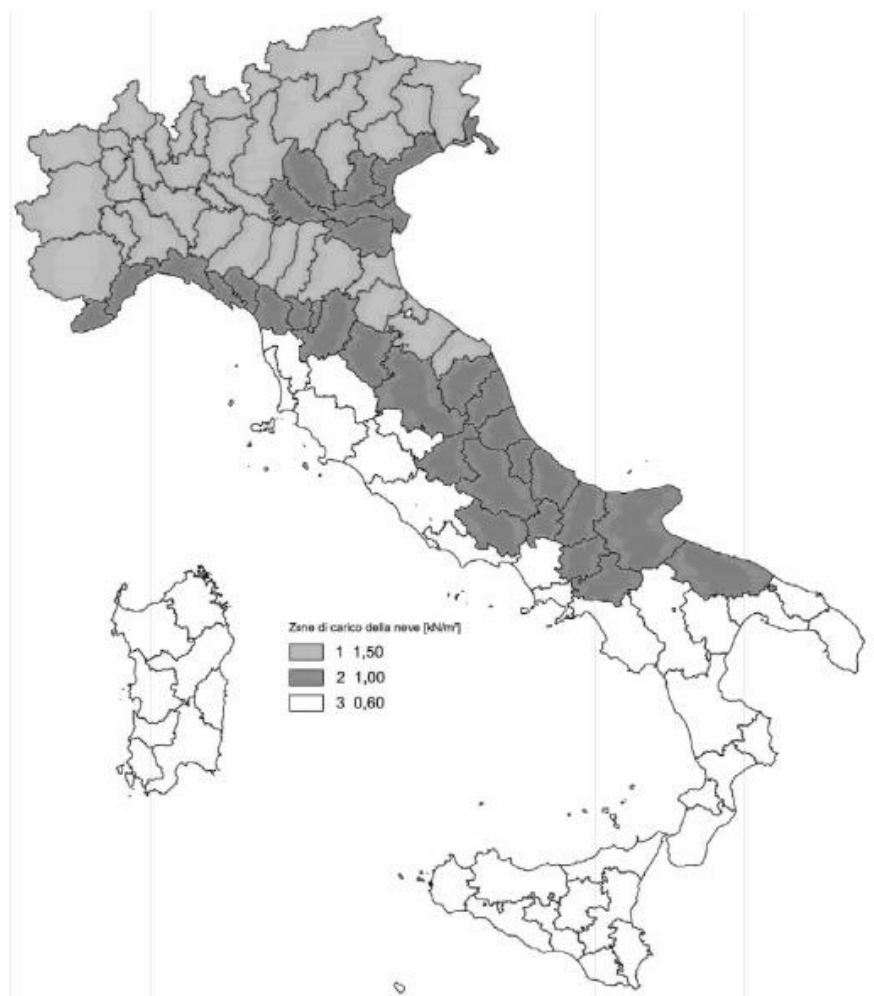
μ_i è il coefficiente di forma della copertura, di cui al § 3.4.3;

C_e è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.4.4;

C_t è il coefficiente termico di cui al § 3.4.5.

Si assume che il carico della neve agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

Il valore di q_{sk} (in kN/mq) è calcolato in base alla posizione ed all'altitudine (as) secondo quanto indicato nella seguente tabella:



Valori di riferimento del carico della neve al suolo, q_{sk} (cfr. 3.4.2 NTC 2018)

zona	$a_s < 200$ (m)	$a_s > 200$ (m)
III	$q_{sk} = 0.60$ (kN/mq)	$q_{sk} = 0.51[1+(a_s/481)^2]$ (kN/mq)

Tabella C3.4.I coefficienti di forma per il carico di neve (circolare n. 7 2019).

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha > 60^\circ$
μ_1	0.8	$0.8*(60-\alpha)/30$	0.00
μ_2	$0.8+0.8*\alpha/30$	1.6	

Valori di C_E per diverse classi di esposizione (Tab. 3.4.I NTC 2018)

Topografia	Descrizione	C_E
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati o alberi più alti	0.90
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi	1.00

Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1.10
----------	--	------

Ct è il coefficiente termico, cautelativamente pari ad 1 (cfr. 3.4.5 NTC 2018)

Poiché anche il carico neve è funzione dell'inclinazione della superficie su cui si deposita, ovvero dell'inclinazione dei pannelli fotovoltaici, avremo le seguenti due situazioni limite:

Per $\alpha = 0^\circ \Rightarrow q_s = 0.48$ (kN/mq);

Pr $\alpha = 50^\circ \Rightarrow q_s = 0.08$ (kN/mq).

11) Azione sismica

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al §3.2 del D.M. 2018 "Norme tecniche per le Costruzioni".

Si riportano di seguito le coordinate geografiche del sito:

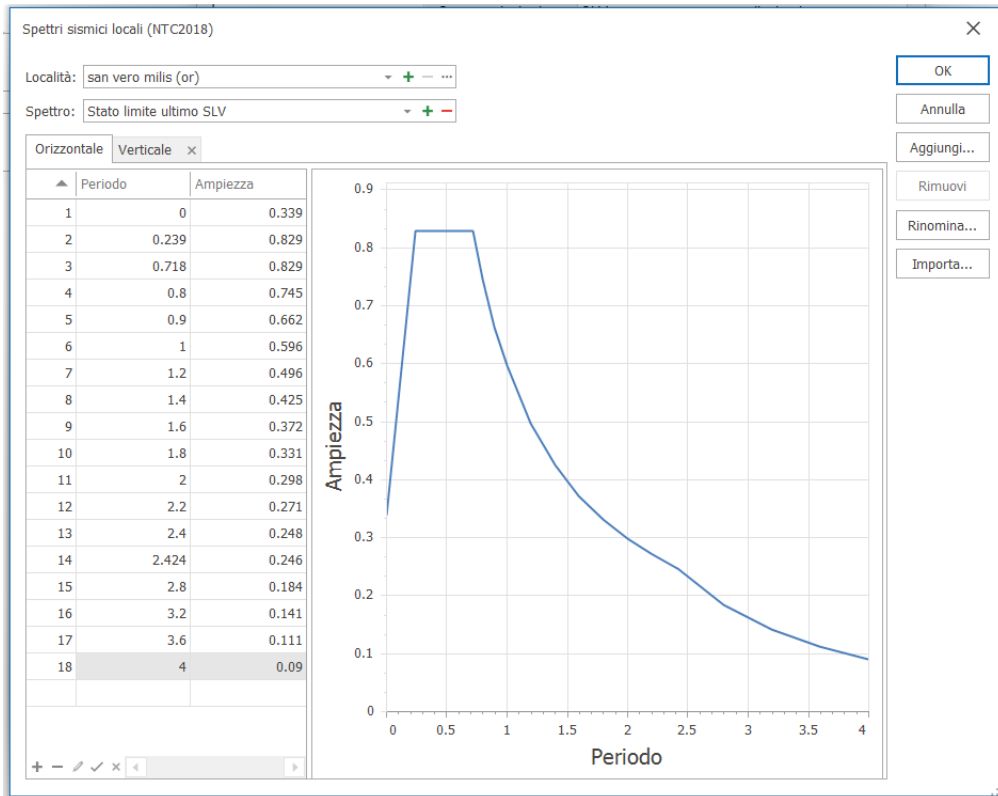
Latitudine	Longitudine	Altitudine
(°)	(°)	(m)
40° 0' 56"	8° 35' 57"	10

L'opera in oggetto è stata progettata per una vita nominale di 50 (anni) e per una classe d'uso CU II.

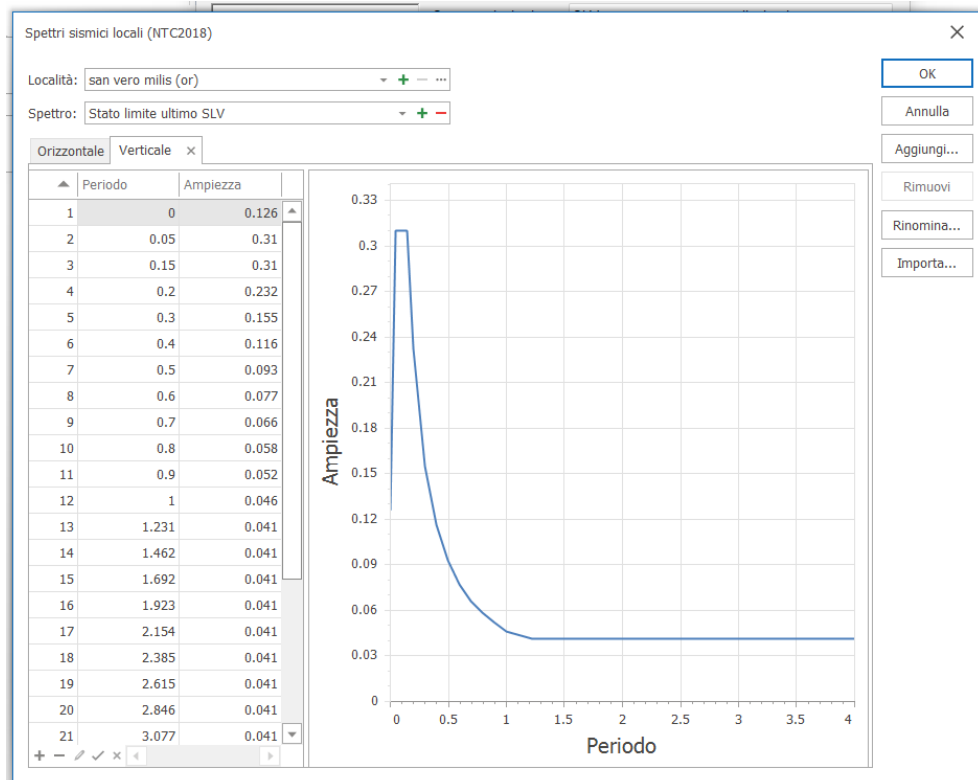
In base alle indagini geognostiche, la classificazione del sottosuolo è stata effettuata in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio. Tali indagini hanno consentito di conferire al suolo di fondazione la categoria B.

Si riportano appresso gli spettri di risposta sismici orizzontali e verticali del territorio del Comune di San Vero Milis.

SPETRO SISMICO LOCALE (ORIZZONTALE)



SPETRO SISMICO LOCALE (VERTICALE)



12) Schematizzazione dei carichi sulla struttura.

I carichi da vento sono stati modellati sulla struttura come carichi linearmente distribuiti sugli arcarecci. Il valore del carico da vento linearmente distribuito è stato dedotto a partire dall'area totale dei pannelli esposti al vento e dal numero e dalla lunghezza degli arcarecci stessi.

Tabella di calcolo del carico distribuito linearmente derivante dall'azione del vento

Tipo	Inclinaz.	C_F	Press. vento	Sup. tot.	Forza totale	arcarecci	Lungh. arcarecci	Carico distrib.
	(°)		(kN)	(mq)	(kN)	(n)	(m)	(kN/m)
Tracker	50	< 0	-2.44	15.83	-38.63	8	2.108	-2.29
	50	> 0	1.64	15.83	25.96	8	2.108	1.53
	0	< 0	-4.41	15.83	-69.81	8	2.108	-4.14
	0	> 0	1.76	15.83	2.79	8	2.108	0.17

Analogamente per il carico da neve si ha la seguente distribuzione

Inclinazione	Carico neve	Area totale	Arcarecci	Lungh. Arcarecci	Carico distrib.
(°)	(kN/mq)	(mq)	(n)	(m)	(kN/m)
50	0.08	25.60	28	2.108	0.035
0	0.48	25.60	28	2.108	0.20

La schematizzazione del carico sismico sotto forma di forza puntuale è effettuata in modo automatico dal software di calcolo in funzione delle masse in gioco e degli spettri in accelerazione del sito.

13) Definizione delle combinazioni

Le azioni sulla costruzione sono state combinate secondo le regole previste dalle NTC 2018 al paragrafo 2.5.3.

Le combinazioni per lo stato limite SLU sono:

- combinazione Fondamentale;
- combinazione caratteristica Rara;
- combinazione frequente;
- combinazione quasi permanente;
- combinazione sismica.

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai carichi gravitazionali. Le verifiche strutturali sono state effettuate con l'Approccio 2 come definito al §2.6.1 del D.M. 2018, attraverso la combinazione A1+M1+R3. Le azioni sono state amplificate tramite i coefficienti della colonna A1 definiti nella Tab. 6.2.I del D.M. 2018.

I valori di resistenza del terreno sono stati ridotti tramite i coefficienti della colonna M1 definiti nella Tab. 6.2.II delle NTC 2018.

I valori calcolati delle resistenze totali dell'elemento strutturale sono stati divisi per i coefficienti R3 della Tab. 6.4.I delle NTC 2018 per le fondazioni superficiali.

14) Progetto e verifica degli elementi strutturali

La verifica degli elementi allo SLU – SLV avviene col seguente procedimento:

- si costruiscono le combinazioni non sismiche in base al D.M. 2018, ottenendo un insieme di sollecitazioni;
- si costruiscono le combinazioni sismiche in base al D.M. 2018 secondo quanto indicato nel §2.5.3, relazione (2.5.5) del D.M. 2018, ottenendo un ulteriore insieme di sollecitazioni;
- per sollecitazioni semplici (flessione retta, taglio, etc.) si individuano i valori minimo e massimo, tra tutte le combinazioni, con cui progettare o verificare l'elemento considerato; per sollecitazioni composte (pressoflessione retta/deviata) vengono eseguite le verifiche per tutte le possibili combinazioni e solo a seguito di ciò si individua quella che ha originato il minimo coefficiente di sicurezza.

15) Verifiche strutturali elementi in acciaio.

La progettazione delle membrature è avvenuta in modo da soddisfare le verifiche richieste per gli SLU (statici e sismici) e per gli SLE (statici e sismici) mediante l'ausilio del codice di calcolo. Al fine di non appesantire la relazione con informazioni irrilevanti si riportano, per i diversi tipi di tracker, le sole configurazioni che producono effetti più gravosi, ovvero tracker con angolo di inclinazione massimo.

Verifiche SLU – SLV

Le verifiche sono espresse da un fattore di sicurezza F_s espresso come: $F_s = \text{azione}/\text{resistenza}$ pertanto, la verifica risulta soddisfatta se il coefficiente è < 1

Sulle strutture sono state eseguite tutte le verifiche richieste dal D.M. 17/01/2018

Sotto si riportano le più significative:

- La percentuale di sfruttamento ($< 100\%$ verifica soddisfatta)
- Verifica per Taglio-Torsione in accordo con § 4.2.4.1.2 del D.M. 17/01/2018
- Verifica per sforzo normale e momenti in accordo con § 4.2.4.1.2 del D.M. 17/01/2018

16) Verifiche SLE – SLD

Gli spostamenti devono essere verificati per garantire la funzionalità dell'opera.

Per gli spostamenti verticali del corrente orizzontale si assume un limite pari a $L/200$, ovvero,

$$\delta_{v,amm} = 6.26/200 = 0.13 \text{ (m)} = 31.3 \text{ (mm)}$$

La verifica di deformabilità è condotta in accordo con §4.2.4.2 delle NTC 17/01/2018.

17) Verifiche geotecniche

Per quanto concerne il sistema terreno-fondazione, l'opera in esame prevede che le strutture metalliche verticali siano infisse nel terreno, pertanto, le verifiche sono condotte in accordo a quanto specificato dal § 6.4.3.1 delle NTC 2018 per gli SLU per le fondazioni profonde.

Al fine di poter utilizzare le classiche formule statiche per i pali infissi e per rendere possibile l'utilizzo del software di calcolo, la sezione dei profili HEA impiegati per le colonne verticali (pali) viene ricondotta

ad un palo equivalente il cui perimetro della sezione è uguale al perimetro della sezione della colonna verticale.

18) Calcolo palo equivalente

Profilo palo	Perimetro della sezione	Diametro palo equivalente
HEA 160	(m)	(m)
	0.9082	0.273 (10")

19) Parametri geotecnici per la caratterizzazione geomeccanica dei terreni di fondazione

I valori dei parametri geotecnici impiegati nel calcolo sono quelli più cautelativi e sono stati desunti dalla relazione geologica, geotecnica e sismica (rif. elab. Relazione Geologica) e si riportano nel seguito.

Angolo d'attrito	Resistenza al taglio	Coesione	Litotipo
	(kPa)	(kPa)	
16.19	41.83÷118.99	28.4	Vedi relazione geologica

In fase di progettazione esecutiva, avendo a disposizione parametri geotecnici più rappresentativi della stratigrafia del sito, si potranno definire con maggior precisione le caratteristiche della totalità dei componenti strutturali.

20) Riassunto delle verifiche geotecniche

In via preliminare ed alla luce delle limitate indagini in campo eseguite si ritiene che lo strato superficiale non offra sufficienti garanzie di portanza, soprattutto in presenza di piovosità particolare. Si stima pertanto, l'infissione dei pali di sostegno per almeno 1,5-2 metri e comunque sicuramente sino al livello ciottoloso.

21) Conclusioni

L'opera sopra descritta è conforme ai requisiti prestazionali richiesti dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. del 17/01/2018.

Ulteriori indicazioni e aspetti dovranno essere analizzati nella fase esecutiva del progetto.

Il tecnico progettista

(Dott. Ing. Vincenzo Carboni)

