



**REGIONE SICILIA**  
**PROVINCIA DI TRAPANI**  
COMUNE DI BUSETO PALIZZOLO  
COMUNE DI ERICE

**OGGETTO**

PROGETTO DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO PER UNA POTENZA NOMINALE DI 58,113 MWp (45 MW IN IMMISSIONE) INTEGRATO DA UN SISTEMA DI ACCUMULO DA 36 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARSI NEI COMUNI DI BUSETO PALIZZOLO ED ERICE (TP)

**PROGETTO DEFINITIVO**

**PROPONENTE**



**TITOLO**

RELAZIONE E CALCOLI PRELIMINARI  
DELLE STRUTTURE

**PROGETTISTA**

Dott. Ing. Girolamo Gorgone

**STRUTTURISTA**

DOLMEN S.r.l.

**CODICE ELABORATO**

XB\_R\_10\_A\_D

SCALA

n° Rev.	DESCRIZIONE REVISIONE	DATA	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO

**Rif. PROGETTO**

N. | | | | | | | | | |

NOME FILE DI STAMPA

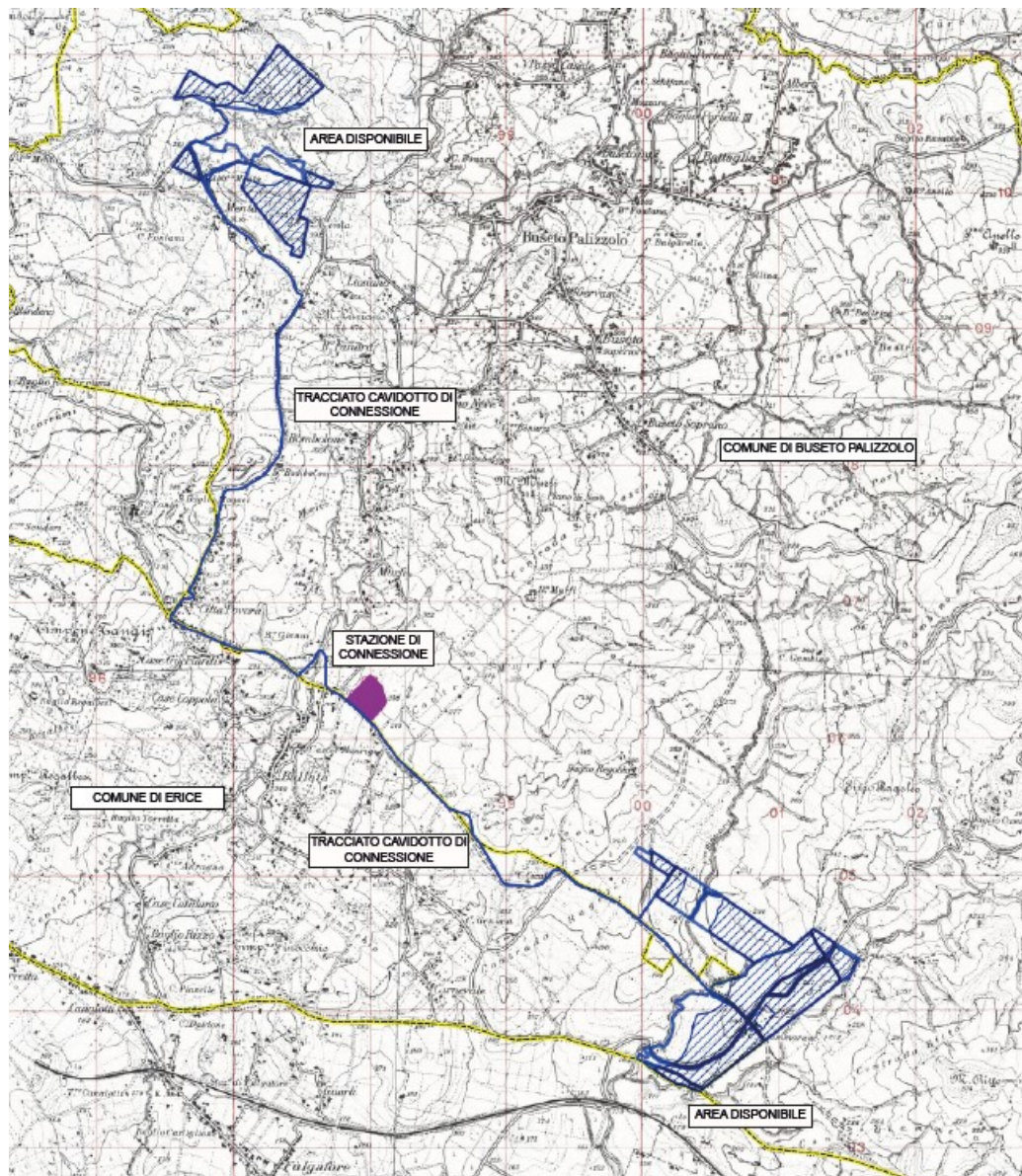
SCALA DI STAMPA DA FILE

## Sommario

1. PREMESSA.....	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3. DESCRIZIONE STRUTTURE STRINGHE FOTOVOLTAICHE.....	3
3.1 Analisi dei carichi.....	6
3.1.1 Carichi verticali strutture ad inseguimento solare.....	6
3.1.2 Carichi verticali strutture fisse.....	6
3.1.3 Azioni del vento.....	6
3.1.4 Azioni sismiche.....	11
3.2 Verifiche montanti (moduli da 2x15) – Inseguitori solari.....	13
3.3 Verifiche montanti (moduli da 2x30) - Inseguitori solari.....	16
4. DESCRIZIONE FONDAZIONI EDIFICI AUSILIARI.....	20
4.1 Power Station.....	21
4.2 Cabine ausiliarie prefabbricate.....	21
4.3 Control room.....	21
4.4 Locali batteria.....	22
4.5 Criteri di calcolo.....	22

## 1. PREMESSA

Il presente documento costituisce la *Relazione di calcolo preliminare* delle strutture parte integrante del Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto di generazione di energia da fonte solare di tipo agro-fotovoltaico per una potenza nominale pari a 58,113 MWp (45 MW in immissione), di cui 34,2738 MWp da moduli ad inseguimento monoassiale e 23,8392 MWp da moduli su struttura fissa, integrato da un sistema di accumulo da 36 MW. L'impianto, con le relative opere di connessione alla Rete Elettrica Nazionale, interessa i comuni di Erice e Buseto Palizzolo, nella provincia di Trapani.



(Inquadramento su IGM dell'intervento)

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa di riferimento utilizzata per le verifiche e per la determinazione delle azioni sulle strutture è la seguente:

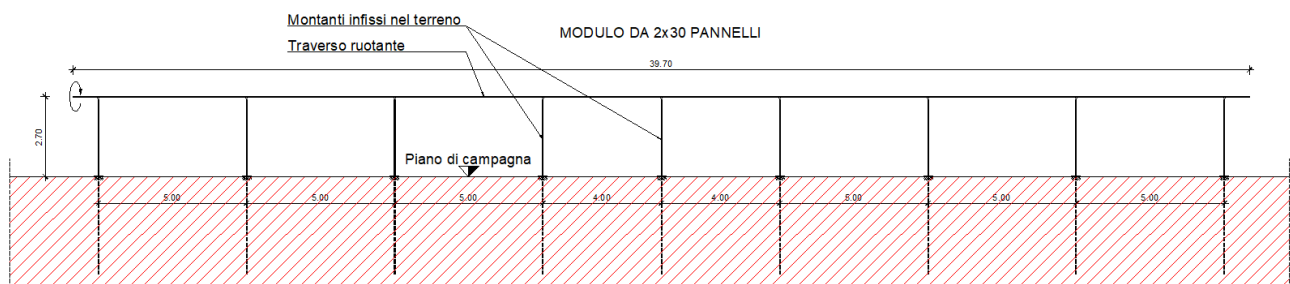
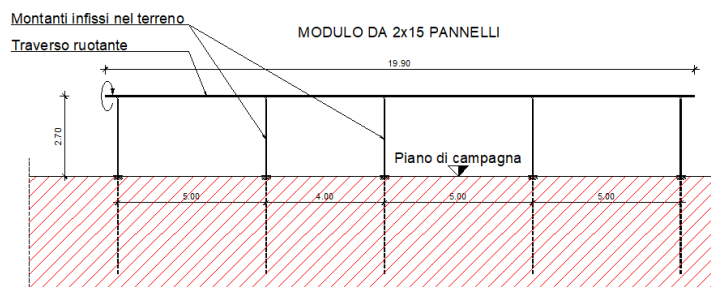
- **Legge 05/11/1971 n. 1086** "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- **Legge 02/02/1974 n. 64** "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- **CEI 11-4 03/1988** "Esecuzione delle linee elettriche aeree esterne"
- **CNR-DT 207/2008** "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni"
- **D.M. 14/01/2008** "Nuove norme tecniche per le costruzioni" – Allegato B: Tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica;
- **D.M. 17/01/2018** Aggiornamento delle "Nuove Norme tecniche per le costruzioni"
- **Circ. 21/01/2019 n. 7 C.S.LL.PP.** "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"

## 3. DESCRIZIONE STRUTTURE STRINGHE FOTOVOLTAICHE

Il campo fotovoltaico è costituito da moduli ad inseguimento solare con stringhe da 2x15 moduli e da 2x30 moduli e da strutture fisse da 2x30 moduli.

Per i pannelli ad inseguimento solare si utilizzerà il sistema proposto dalla Soltec che prevede dei montanti infissi nel terreno allineati a passo di 5.00 o 4.00 m alla cui estremità superiore viene fissato un traverso con cuscinetti che consentono la rotazione dello stesso attorno al proprio asse.

Questa rotazione permette ai pannelli fotovoltaici di rivolgersi ai raggi solari con un angolo di

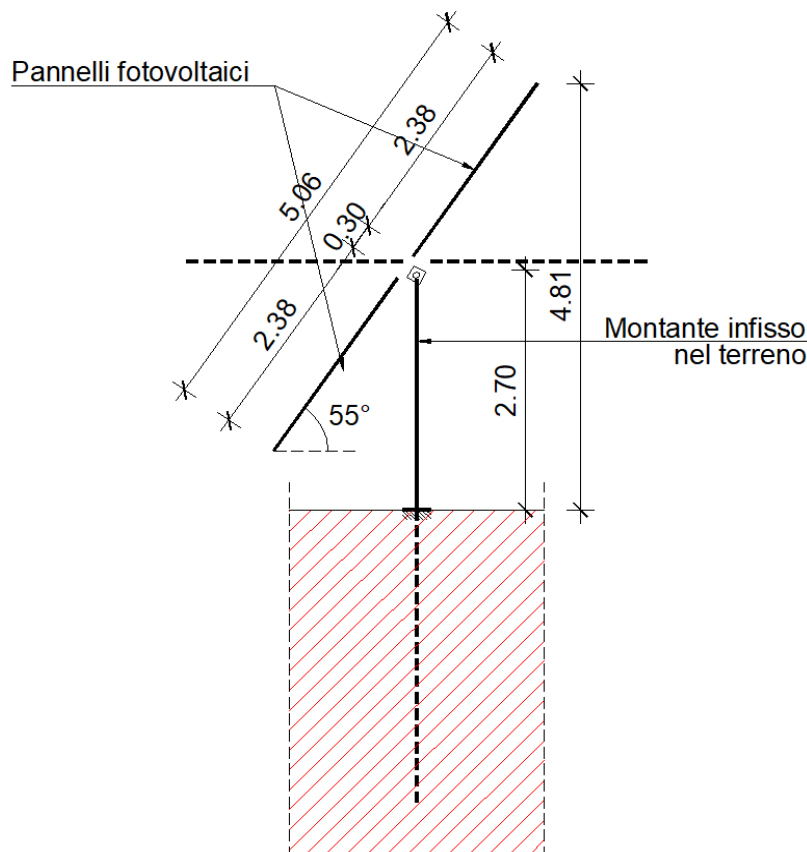


variabilità del piano dei pannelli che va da  $+55^\circ$  a  $-55^\circ$  rispetto all'orizzontale.

Il traverso ha una sezione scatolare quadrata 150x150 mm con spessore variabile da 6 a 4 mm dal montante centrale verso gli estremi. Esso ha vincolo di continuità alla testa di ogni montante, tranne nel montante centrale dove esso si fissa a cerniera al motore che consente la rotazione.

Sul traverso rotante vengono disposte delle travi ortogonali con sezione ad omega e passo pari alla larghezza dei pannelli fotovoltaici per il loro fissaggio.

Nel proseguo della presente relazione di calcolo preliminare ci si concentrerà solamente sul dimensionamento dei montanti del sistema, costituiti da profili HEA240, lasciando il resto del dimensionamento alla relazione di calcolo definitiva.



In sezione la situazione schematica della struttura dei pannelli ad inseguimento è la seguente:

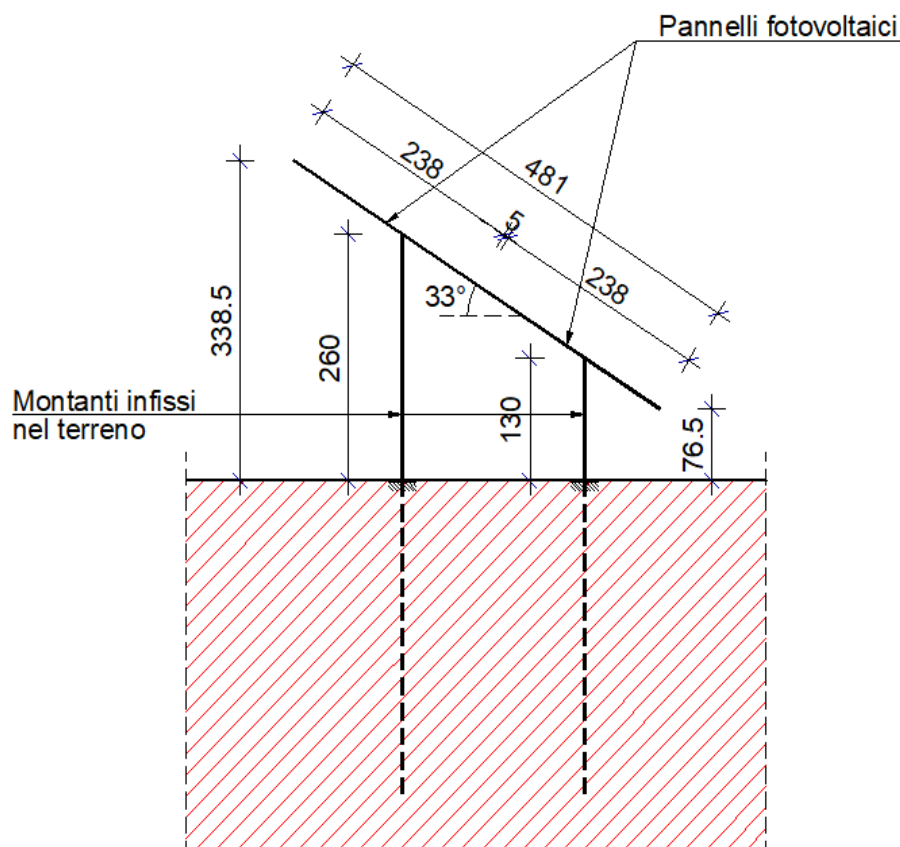
La stringa da 2x15 moduli ha una lunghezza totale di 19.90 m con n. 5 montanti infissi nel terreno a passo di 5.00 m (un solo passo è pari a 4.00 m), con doppio pannello da 2.38 m di lunghezza disposti in modo da lasciare 0.30 m di spazio in verticale tra loro, per un ingombro complessivo di circa 5.06 m (l'azione del vento determinata nel proseguo è stata definita per ingombro di 5.00 m).

La stringa da 2x30 moduli ha una lunghezza totale di 39.70 m con n. 9 montanti infissi nel terreno a passo di 5.00 m (tranne i 2 passi centrali da 4.00 m), con doppio pannello da 2.38 m di lunghez-



za disposti in modo da lasciare 0.30 m di spazio in verticale tra loro, per un ingombro complessivo di circa 5.06 m.

Le strutture fisse da 2x30 moduli sono invece costituite da un telaio a doppio montante verticale infisso nel terreno a passo di 5.00 m, per una lunghezza complessiva di 39.00 m. I montanti, entrambi costituiti da profili HEA180, hanno altezza differente, collegati da una traversa (profilo IPE180) con inclinazione di  $33^\circ$  rispetto all'orizzontale. Una orditura secondaria agganciata ai telai di cui sopra permette il fissaggio dei pannelli. La sezione schematica del telaio è la seguente:



L'orditura secondaria è incernierata ai singoli telai, i quali possono essere studiati singolarmente caricati con i carichi ad essi afferenti secondo la "zona di influenza" pari all'interasse dei 5.00 m tra i telai.

L'orditura secondaria è costituita da 4 scatolari, di luce 5.00 m, a cui sono fissati i lembi inferiori e superiori dei pannelli.

### 3.1 Analisi dei carichi

#### 3.1.1 Carichi verticali strutture ad inseguimento solare

Peso proprio pannelli fotovoltaici	13.0	daN/m <sup>2</sup>
Peso proprio struttura fissaggio pannelli	1.7	daN/m <sup>2</sup>
Peso proprio scatolari	18.5	daN/m

#### 3.1.2 Carichi verticali strutture fisse

Peso proprio pannelli fotovoltaici	13.0	daN/m <sup>2</sup>
Peso proprio struttura fissaggio pannelli	8.0	daN/m <sup>2</sup>
Peso proprio profili	48.0	daN/m

#### 3.1.3 Azioni del vento

La pressione del vento viene ricavata seguendo le indicazioni del **D.M. 17/01/2018** “Nuove Norme tecniche per le costruzioni” e della relativa **Circolare n. 7 del 21/10/2019** “Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle “Nuove Norme tecniche per le costruzioni”, nonché le raccomandazioni **CNR-DT 207/2008** “Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni”.

L'impianto è ubicato in Sicilia – Zona 4 (vedi Tabella sottostante):

Zona	Descrizione	v <sub>b,0</sub> [m/s]	a <sub>0</sub> [m]	k <sub>a</sub> [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola della Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola della Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020

Nella tabella viene riportata la velocità del vento per altezza **a** dal livello del mare del sito ove sor-

ge la costruzione, ed i parametri che consentono di ricavare la  $v_b$  nel caso in cui il sito abbia altezza superiore ad  $a_0$ .

Nel nostro specifico caso, questo non avviene in quanto la quota del sito varia da 163 m a 378 m circa s.l.m. inferiore ai 500 m s.l.m. di cui alla tabella per la Zona 4. Pertanto, come da (3.3.1)

$$V_b = V_{b,0}$$

La pressione effettiva del vento vale, come da formula (3.3.2) del D.M. 17/01/2018:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

dove  $q_b$  è la pressione cinetica di riferimento,  $c_e$  coefficiente di esposizione,  $c_p$  coefficiente di forma,  $c_d$  coefficiente dinamico (assunto pari ad 1.0 a favore di sicurezza).

Dalla formula (3.3.4)  $q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v^2 = 0.5 \times 1.25 \times 28^2 = 490 \text{ N/m}^2 \implies \mathbf{49 \text{ daN/m}^2}$

Con  $\rho$  densità dell'aria assunta convenzionalmente costante, come recita la Norma stessa, e pari a  $1.25 \text{ kg/m}^3$ .

Per la determinazione del coefficiente di esposizione  $c_e$  bisogna preliminarmente definire la classe di rugosità del terreno, come dalla Tabella 3.3.III, che si riporta:

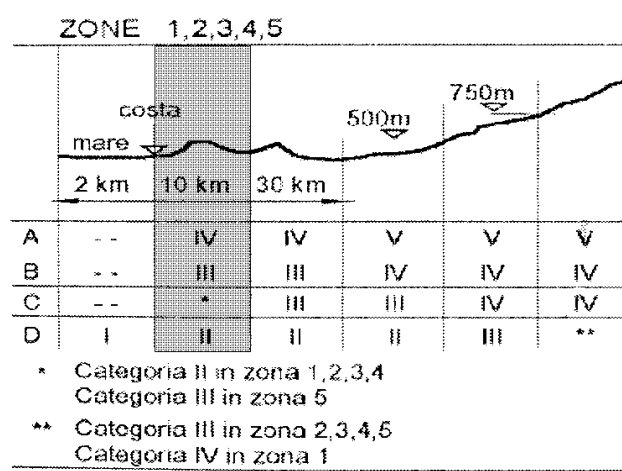
Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinchè una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permenga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

Per il sito in specie viene scelta una classe di rugosità **D**, trattandosi di aperta campagna.



Successivamente dalla classe di rugosità è possibile definire la categoria di esposizione del sito:



Quindi, trattandosi di struttura ubicata a poco più di 10 km dalla costa, la categoria di esposizione è la II.

Infine dalla tabella 3.3.II del D.M.

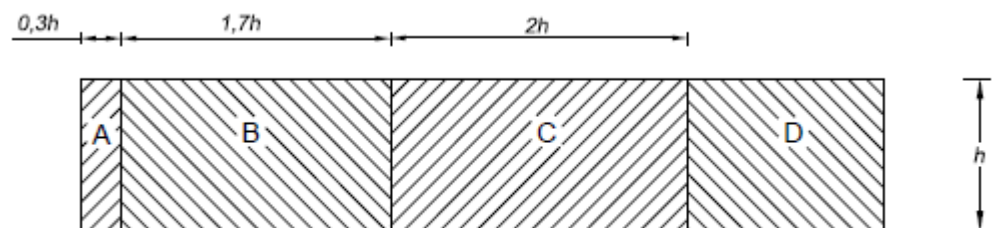
Categoria di esposizione del sito	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

si ricavano i parametri per il calcolo del coefficiente di esposizione secondo la formula (3.3.5):

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \log_e(z_{min}/z_0) [7 + c_t \cdot \log_e(z_{min}/z_0)]$$

**Moduli inseguitori**

Riguardo il fattore di forma  $c_p$ , si fa ricorso alla CNR-DT207-2008, relativamente al caso di muri e parapetti al §G.5, condizione assai simile alla situazione dei pannelli fotovoltaici nella configurazione a massima inclinazione con l'orizzontale.



**Figura G.21 – Suddivisione di muri e parapetti in aree di uguale pressione complessiva.**

In particolare si farà riferimento alla figura G.21 riportata nelle raccomandazioni (vedi pagina precedente), in cui vengono definite delle zone di pressione dell'azione del vento differenziate:

ed alla tabella G.X sotto riportata:

$\varphi$	Chiusura laterale	l/h	A	B	C	D
1.0	no	<3	2.3	1.4	1.2	1.2
		5	2.9	1.8	1.4	
		>10	3.4	2.1	1.7	
	si	tutti	2.1	1.8	1.4	
0.8	si/no	tutti	1.2			

Nel caso della stringa 2x15 moduli il rapporto l/h vale:  $19.90/5.00=3.98$ , nel caso della stringa 2x30 moduli invece:  $39.70/5.00=7.94$

I valori in tabella possono essere interpolati linearmente, per rapporti l/h differenti da quelli previsti, ma considerando le varie zone (A, B, C, D), con valori di l/h intorno a 5, si è a favore di sicurezza considerando un valore del coefficiente di forma  $c_p=1.8$  costante per tutta la lunghezza dei moduli e per entrambi i moduli.

Riguardo il valore  $c_e(z)$ , a favore di sicurezza si calcolerà l'espressione  $c_e(z)=c_e(z_{max})$  ovvero si considererà costante l'azione del vento lungo tutta la superficie dei pannelli con il coefficiente  $c_e$  massimo. Il coefficiente di topografia contenuto nella formula è stato posto pari ad 1.0 trattandosi di zona collinare:

$$c_e(z)=k_r^2 \cdot c_t \cdot \log_e(z_{max}/z_0)[7+c_t \cdot \log_e(z_{max}/z_0)]=0.19^2 \times 1.0 \times \log_e(4.81/0.05) \times [7+1.0 \times \log_e(4.81/0.05)]=\mathbf{1.907}$$

Infine il coefficiente dinamico,  $c_d$ , dovrebbe tenere conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali. La Circolare prevede la definizione di tale parametro in funzione della superficie totale investita dal vento o per particolari fenomeni aeroelastici.

Nel caso in specie le superfici in gioco sono di piccola entità, e pertanto per il coefficiente dinamico  $c_d$  si assumerà valore unitario (**1.0**).

In definitiva quindi la spinta del vento sui pannelli equivale ad un carico uniformemente distribuito del valore di:

$$p=q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d=49 \times 1.907 \times 1.8 \times 1.0=\mathbf{168} \text{ daN/m}^2$$

### Moduli fissi

Si fa riferimento al §C3.3.8.2.1 Tettoia e falda singola della Circolare n. 7 del 2019, considerando

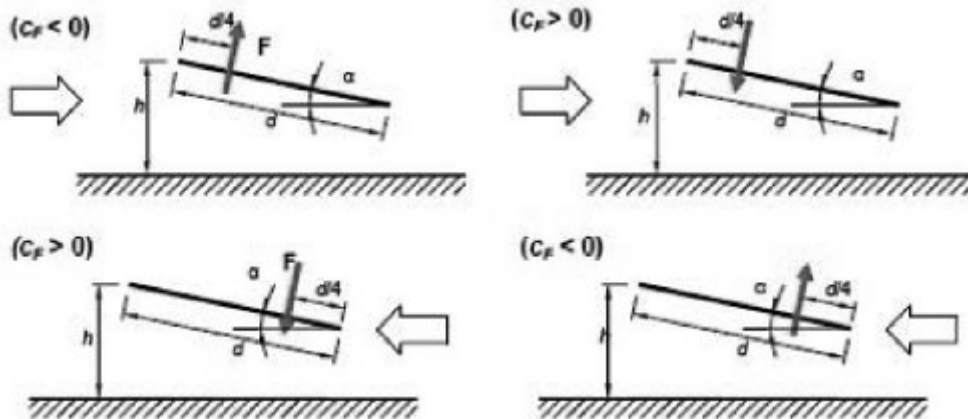
un grado di ostruzione  $\Phi=0.0$  (Tettoia senza ostruzioni).

In questo caso la tabella C3.3.XV fornisce i valori in funzione dell'angolo di inclinazione:

Valori positivi	Tutti i valori di $\Phi$	$c_F=+0,2+\alpha/30$
Valori negativi	$\Phi=0$	$c_F=0,5-1,3\cdot\alpha/30$
	$\Phi=1$	$c_F=-1.4$

Pertanto per l'inclinazione di  $33^\circ$  il valore positivo vale:  $c_F=1,30$ , quello negativo:  $c_F=-1.93$ .

Il coefficiente sopra calcolato è un coefficiente di forza, ovvero tale coefficiente indica una forza complessiva agente sulle strutture in funzione della zona effettiva di influenza. In particolare la figura C3.3.22 indica cosa si intende per valori positivi e negativi ed il punto di applicazione delle forze risultanti:



Ovvero la forza  $F$  potrà avere verso dal basso verso l'alto ed applicata ad  $L/4$  della lunghezza complessiva della falda, una volta in basso, una volta in alto. Per forza  $F$  si intende la pressione del vento come determinata in seguito per la zona di influenza del sistema pari a  $4.81 \times 5.00 = 24.05 \text{ m}^2$ .

Il valore di  $c_e$  (coefficiente di esposizione) visto che la massima altezza della struttura è inferiore a 4.0 m sarà quella ricavata proprio in corrispondenza della quota  $z=4.0$  m, ovvero:

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \log_e(Z_{max}/Z_0) [7 + c_t \cdot \log_e(Z_{max}/Z_0)] = 0.19^2 \times 1.0 \times \log_e(4.00/0.05) \times [7 + 1.0 \times \log_e(4.00/0.05)] = 1.80$$

Quindi la forza  $F$  per pressione positiva vale:

$$F = 49 \times 1.80 \times 1.30 \times 24.05 = 2758 \text{ daN}$$

Per pressione negativa invece:

$$F = 49 \times 1.80 \times 1.93 \times 24.05 = 4094 \text{ daN}$$

Tali azioni verranno applicate nel modello di calcolo a L/4 della lunghezza della traversa inclinata e scomposti in direzione X ed Y per tenere conto della loro inclinazione rispetto agli assi generali della struttura.

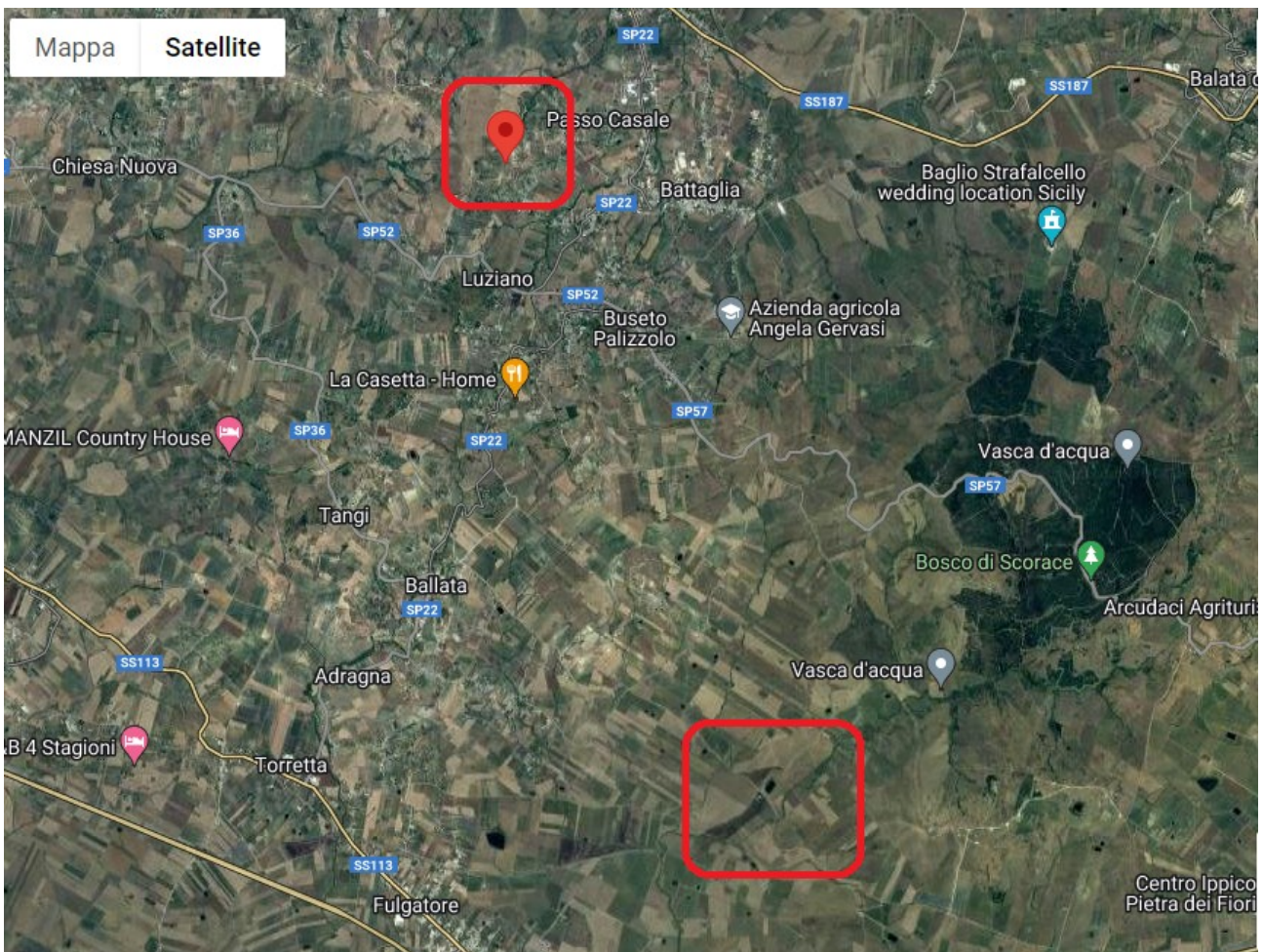
### 3.1.4 Azioni sismiche

Il sito su cui sorgerà la struttura in esame è zona sismica 2 così come si evince dalla **Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003** – Allegato 1, e successive modifiche ed integrazioni, riportante l'elenco delle località sismiche del territorio italiano.

Le coordinate geografiche in cui è ubicata la struttura sono le seguenti:

Longitudine (deg): 12.703;      Latitudine (deg): 38.019;

Longitudine (deg): 12.727      Latitudine (deg): 37.958



Per le strutture in esame viene scelta una vita nominale  $V_N=50$  anni.

Si precisa che la scelta della vita nominale delle strutture rimane ad arbitrio del progettista e del



Committente.

Così come precisato meglio dalla Circolare essa individua solamente il periodo dopo il quale diventa necessario intervenire con opere di manutenzione straordinaria per ripristinare la capacità di durata della costruzione.

Sempre la Circolare ribadisce che il carattere strategico di un'opera o la sua rilevanza per le conseguenze di un eventuale collasso, sono definiti dalla classe d'Uso.

La classe d'uso è: **Classe IV** – *Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 05/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.*

Per tale classe d'uso il coefficiente  $C_U$  (paragrafo 2.4.3) vale 2.00

Pertanto la vita  $V_R$  della struttura, ai fini del calcolo delle azioni sismiche, è pari a:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 100 \text{ anni}$$

Il periodo di ritorno per sisma SLV è di 949 anni.

Con questo periodo di ritorno i valori tipici per la costruzione dello spettro sismico, nella zona considerata, valgono:

$$a_g = 0.081$$

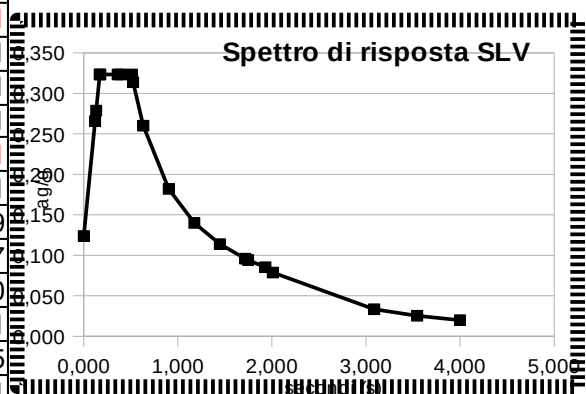
$$F_0 = 2.612$$

$$T_c^* = 0.339$$

Il terreno, come definito dal geologo, è di **categoria C**. Pertanto lo spettro sismico in definitiva, con fattore di comportamenti  $q=1.0$  ha i seguenti valori:

Definizione dei valori di S, TB, TC e TD degli spettri di risposta SLD					
S	1,50			C <sub>c</sub>	1,700
T <sub>b</sub>	0,132	T <sub>c</sub>	0,395	T <sub>d</sub>	1,747

Dati spettro		punto 7.3.7.1	
Secondi	Ordinata elast.	con η=2/3	
0,000	0,055	0,055	0,055
0,120	0,130	0,087	0,087
<b>0,132</b>	<b>0,137</b>	<b>0,091</b>	<b>0,091</b>
0,170	0,137	0,091	0,091
0,175	0,137	0,091	0,091
0,361	0,137	0,091	0,091
<b>0,395</b>	<b>0,137</b>	<b>0,091</b>	<b>0,091</b>
0,509	0,106	0,071	0,071
0,524	0,103	0,069	0,069
0,633	0,086	0,057	0,057
0,904	0,060	0,040	0,040
1,175	0,046	0,031	0,031
1,447	0,037	0,025	0,025
1,718	0,031	0,021	0,021
<b>1,747</b>	<b>0,031</b>	<b>0,021</b>	<b>0,021</b>
1,930	0,025	0,017	0,017
2,010	0,023	0,016	0,016
3,087	0,010	0,007	0,007
3,544	0,008	0,005	0,005
4,000	0,006	0,004	0,004



A favore di sicurezza, si considera che la struttura abbia periodi propri di vibrazione tali da ricadere nel plateau dello spettro, ovvero con fattore di trasformazione dei carichi verticali in orizzontale pari a 0.32. Il peso della struttura per metro di sviluppo lineare, come da analisi dei carichi verticali, nella combinazione sismica [2.5.5] del D.M. 2018, vale:

$$(p_{\text{pannello}} 13.0 + p_{\text{fissaggi}} 1.7) \times 5.0 + p_{\text{traversi}} 18.5 = 92 \text{ daN/m}$$

che diventano  $92 \times 0.32 = 30 \text{ daN/m}$  di forza orizzontale sulla testa dei montanti infissi nel terreno.

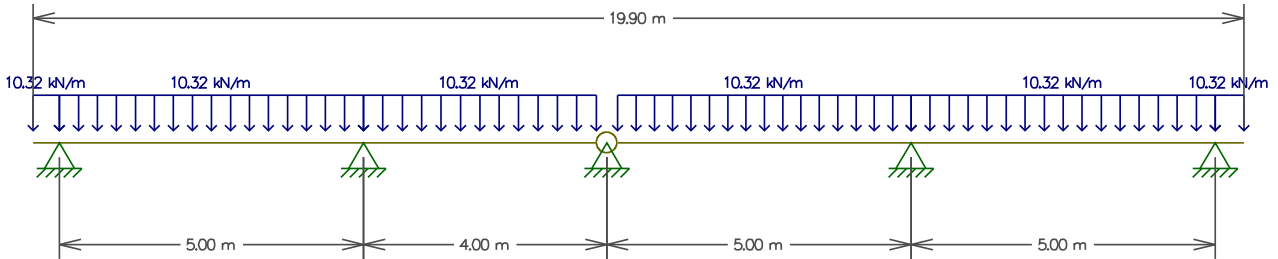
Valore di molto inferiore allo stesso carico determinato per l'azione del vento. Nel proseguo della presente relazione pertanto si farà riferimento alle azioni da vento che determinano certamente sollecitazioni maggiori di quelle sismiche sulle strutture.

### 3.2 Verifiche montanti (moduli da 2x15) – Inseguitori solari

Il traverso vincolato con cuscinetti a sfere sulla testa dei montanti si comporta come una trave con-



tinua. Essa quindi, caricata con l'azione del vento, genererà delle reazioni su ogni singolo montante secondo il seguente schema geometrico:



L'azione del vento ortogonale ai pannelli inclinati di 55° rispetto alla verticale, vale nella combinazione fondamentale agli SLU [2.5.1] del D.M. 2018:

$$q = 1.5 \times 168 \times 5.00 = 1260 \text{ daN/m}$$

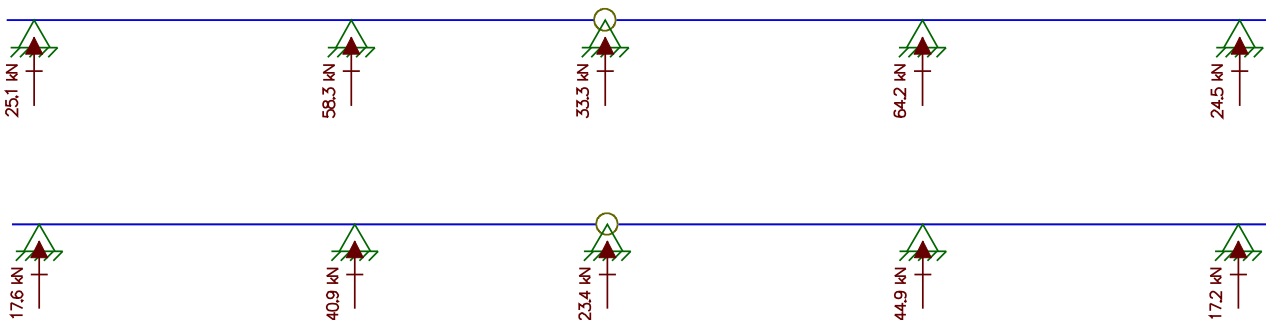
Le componenti orizzontali e verticali valgono:

$$q_{\text{orizz}} = 1260 \times \sin(55^\circ) = 1032 \text{ daN/m}$$

$$q_{\text{vert}} = 1260 \times \cos(55^\circ) = \pm 723 \text{ daN/m}$$

La componente verticale potrà avere sia segno positivo (dal basso verso l'alto) che negativo, in funzione della direzione del vento rispetto all'inclinazione del pannello.

Pertanto si hanno le reazioni orizzontali e verticali sui montanti:



Ovvero, in base alle reazioni orizzontali e verticali sopra riportate si ha lo schema di carico della figura a fianco.

Il montante maggiormente sollecitato è il penultimo con:

$$F_{orizz}=6420 \text{ daN}$$

$$F_{vert}=4490 \text{ daN}$$

La forza orizzontale genera un momento flettente. Questo viene determinato considerando che l'incastro vero e proprio non si trova allo spiccato del montante dal terreno ma più in basso, ovvero si è considerato un braccio di 3.10 m.

$$M=6420 \times 3.10 = 19902 \text{ daNm}$$

Al carico verticale si aggiungerà il peso proprio della struttura soprastante il montante, così determinato:

Peso proprio pannelli fotovoltaici

$$1.3 \times 13.0 \times 5.00 = 85 \text{ daN}$$

Peso proprio struttura fissaggio pannelli

$$1.3 \times 1.7 \times 5.00 = 11 \text{ daN}$$

Peso proprio scatolari

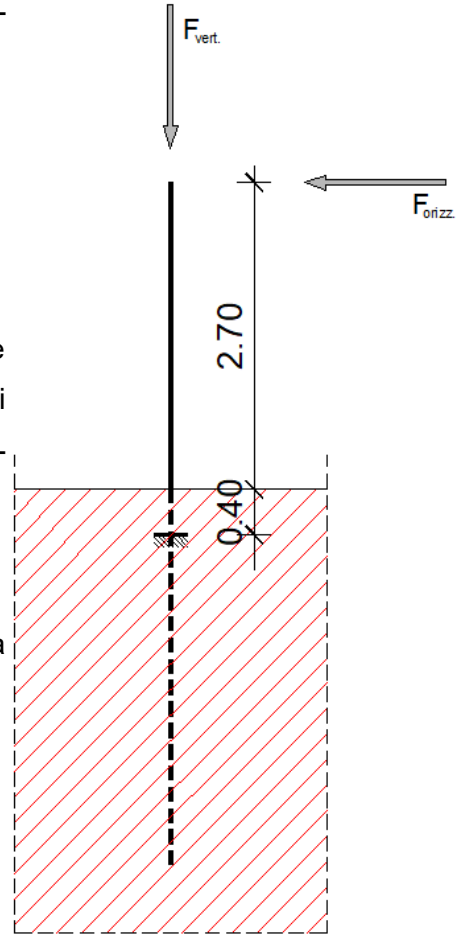
$$1.3 \times 18.5 \times 5.00 = 120 \text{ daN}$$

Peso proprio montante HEA240

$$1.3 \times 60.3 \times 3.10 = 243 \text{ daN}$$

=====

Totale 459 daN



Considerando un profilo HEA240 con caratteristiche di resistenza S355 e con le seguenti caratteristiche geometriche:

Area: 76.8 cm<sup>2</sup>                      J=7763 cm<sup>4</sup>                      W=675 cm<sup>3</sup>

Si avrà la tensione massima di:

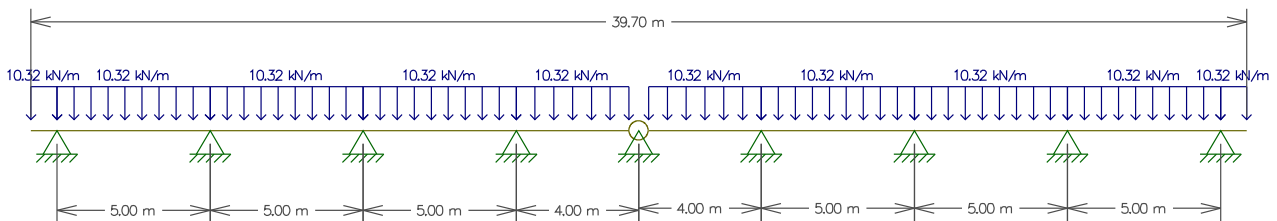
$$\sigma = N/A + M/W = (4490 + 459) / 76.8 + 1990800 / 675 = 3013.77 \text{ daN/cm}^2$$

Inferiore alla massima prevista dalla normativa: S355 → 3550 / 1.05 = 3380.95 daN/cm<sup>2</sup>

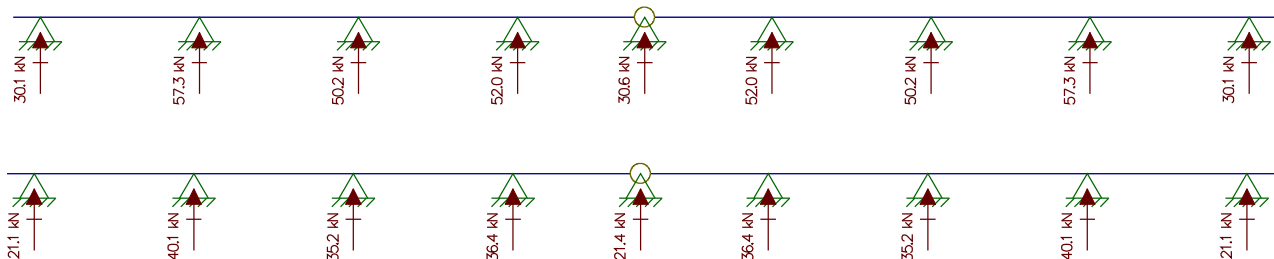
Sulla lunghezza di infissione del montante nel terreno si tratterà nella relazione geotecnica preliminare.

### 3.3 Verifiche montanti (moduli da 2x30) - Inseguitori solari

Il traverso vincolato con cuscinetti a sfere sulla testa dei montanti si comporta come una trave continua. Essa quindi, caricata con l'azione del vento, genererà delle reazioni su ogni singolo montante secondo il seguente schema geometrico:



Le azioni del vento espresse in daN/m sono le stesse già viste per i moduli 2x15, pertanto si hanno le reazioni orizzontali e verticali sui montanti:



Ovvero, in base alle reazioni orizzontali e verticali sopra riportate si ha lo schema di carico della figura.

Il montante maggiormente sollecitato è il penultimo con:

$$F_{\text{orizz}} = 5730 \text{ daN}$$

$$F_{\text{vert}} = 4010 \text{ daN}$$

La forza orizzontale genera un momento flettente. Questo viene determinato considerando che l'incastro vero e proprio non si trova allo spiccatto del montante dal terreno ma più in basso, ovvero si è considerato un braccio di 3.10 m.

$$M=5730 \times 3.10=17763 \text{ daNm}$$

Al carico verticale si aggiungerà il peso proprio della struttura soprastante il montante, così determinato:

Peso proprio pannelli fotovoltaici	$1.3 \times 13 \times 5.00 =$	85	daN
Peso proprio struttura fissaggio pannelli	$1.3 \times 1.7 \times 5.00 =$	11	daN
Peso proprio scatolari	$1.3 \times 18.5 \times 5.00 =$	120	daN
Peso proprio montante HEA240	$1.3 \times 60.3 \times 3.10 =$	249	daN
		=====	
		Totale 465	daN

Considerando un profilo HEA240 con caratteristiche di resistenza S355 e con le seguenti caratteristiche geometriche:

$$\text{Area: } 76.8 \text{ cm}^2 \quad J=7763 \text{ cm}^4 \quad W=675 \text{ cm}^3$$

Si avrà la tensione massima di:

$$\sigma = N/A + M/W = (4010 + 465) / 76.8 + 1776300 / 675 = 2689.82 \text{ daN/cm}^2$$

Inferiore alla massima prevista dalla normativa: S355  $\rightarrow 3550 / 1.05 = 3380.95 \text{ daN/cm}^2$

Sulla lunghezza di infissione del montante nel terreno si tratterà nella relazione geotecnica preliminare.

### 3.4 Verifiche montanti (moduli 2x30) – Sistema fisso

#### *Verifica scatolari di supporto pannelli*

Si tratta di travi in regime di semplice appoggio che hanno sezione scatolare rettangolare 120x80x3 mm. Queste sono sollecitate dalla pressione del vento agente su mezza lunghezza di pannello fotovoltaico in senso ortogonale agli assi principali della sezione e dal peso dei pannelli agente in verticale rispetto alla giacitura a 33° rispetto all'orizzontale della sezione.

Con la pressione del vento prima ricavata si ha la forza massima sulle travi (dovuta al vento) pari a:

$$f_{orto} = 1.5 \times 49 \times 1.80 \times 1.93 \times 2.38 / 2 = 304 \text{ daN/m}$$

tale forza è rivolta dall'alto verso il basso. Essa è contrastata dal peso dei pannelli e della stessa trave, pari a:  $1.3 \times 17 \times 2.38/2 + 1.3 \times 9 = 38$  daN/m., che proiettato agli assi principali del profilo assume i valori:

$$q_{\text{ortho}} = 38 \times \sin(33^\circ) = 21 \text{ daN/m}$$

$$q_{\text{perp}} = 38 \times \cos(33^\circ) = 32 \text{ daN/m}$$

Pertanto i momenti flettenti in entrambe le direzioni principali saranno, con la solita formula  $q \cdot l^2/8$ :

$$M_{\text{ortho}} = (304 - 21) \times 5.00^2/8 = 884 \text{ daNm}$$

$$M_{\text{perp}} = 32 \times 5.00^2/8 = 100 \text{ daNm}$$

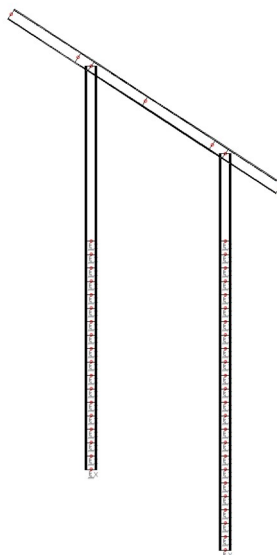
E quindi la tensione, considerando i moduli di resistenza  $w_{\text{ortho}} = 39.73 \text{ cm}^3$  e  $w_{\text{perp}} = 31.76 \text{ cm}^3$

$$\sigma = 88400/39.73 + 10000/31.76 = 2539.88 \text{ daN/cm}^2$$

Inferiore alla massima prevista dalla normativa: S355  $\rightarrow 3550/1.05 = 3380.95 \text{ daN/cm}^2$

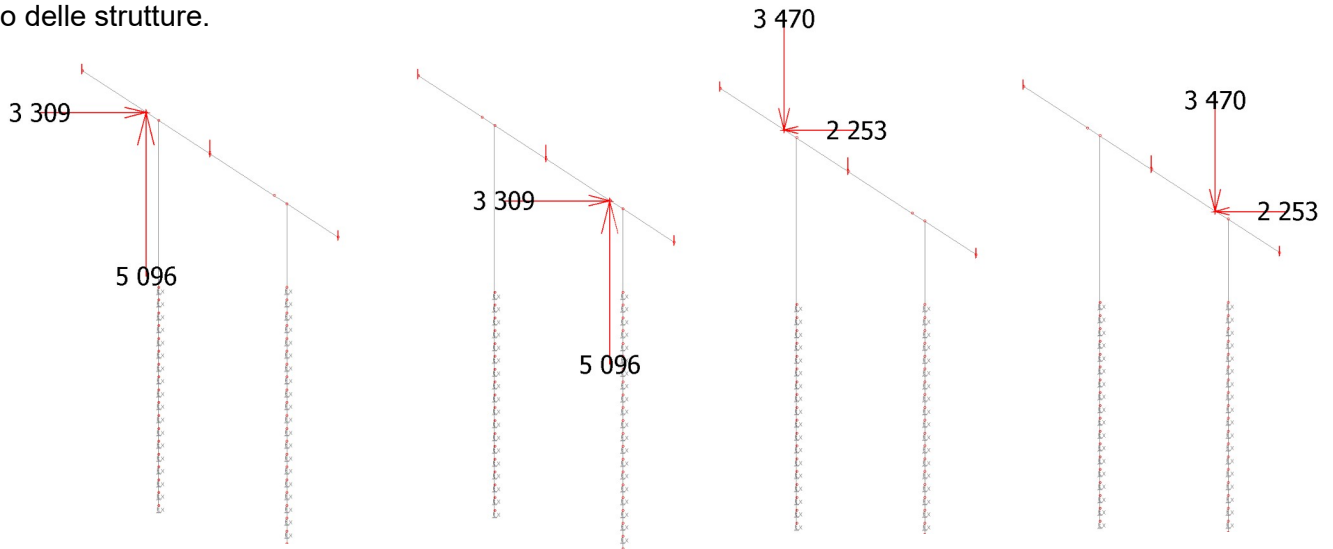
### Verifica struttura principale

La struttura è costituita da una traversa inclinata IPE180 collegata con sbalzi da entrambi i lati a montanti verticali di differente altezza con profili HEA180. Il collegamento traversa-montanti è stato considerato incastro. Il calcolo è stato svolto con apposito programma FEM considerando la struttura piana. Invece di incastrare al piede i montanti verticali essi sono stati prolungati nella parte immersa nel terreno (il montante più alto presenta una infissione nel terreno di 3.40 m, quello più basso di 4.60 m) suddividendoli in tronchi da 20 cm ed inserendo ad ogni estremità del tratto con una molla la cui rigidità orizzontale è pari a  $5 \text{ daN/cm}^3 \cdot 20 \cdot 20 = 2000 \text{ daN/m}$ .



Tali molle simulano il terreno e consentono di valutare le sollecitazioni flettenti lungo il fusto del montante immerso nel terreno.

La combinazioni di carico sono quelle ricavate dalla Circolare, prima viste, con la forza del vento direttamente applicata ad  $\frac{1}{4}$  in basso ed in alto della lunghezza della traversa inclinata, oltre al peso delle strutture.



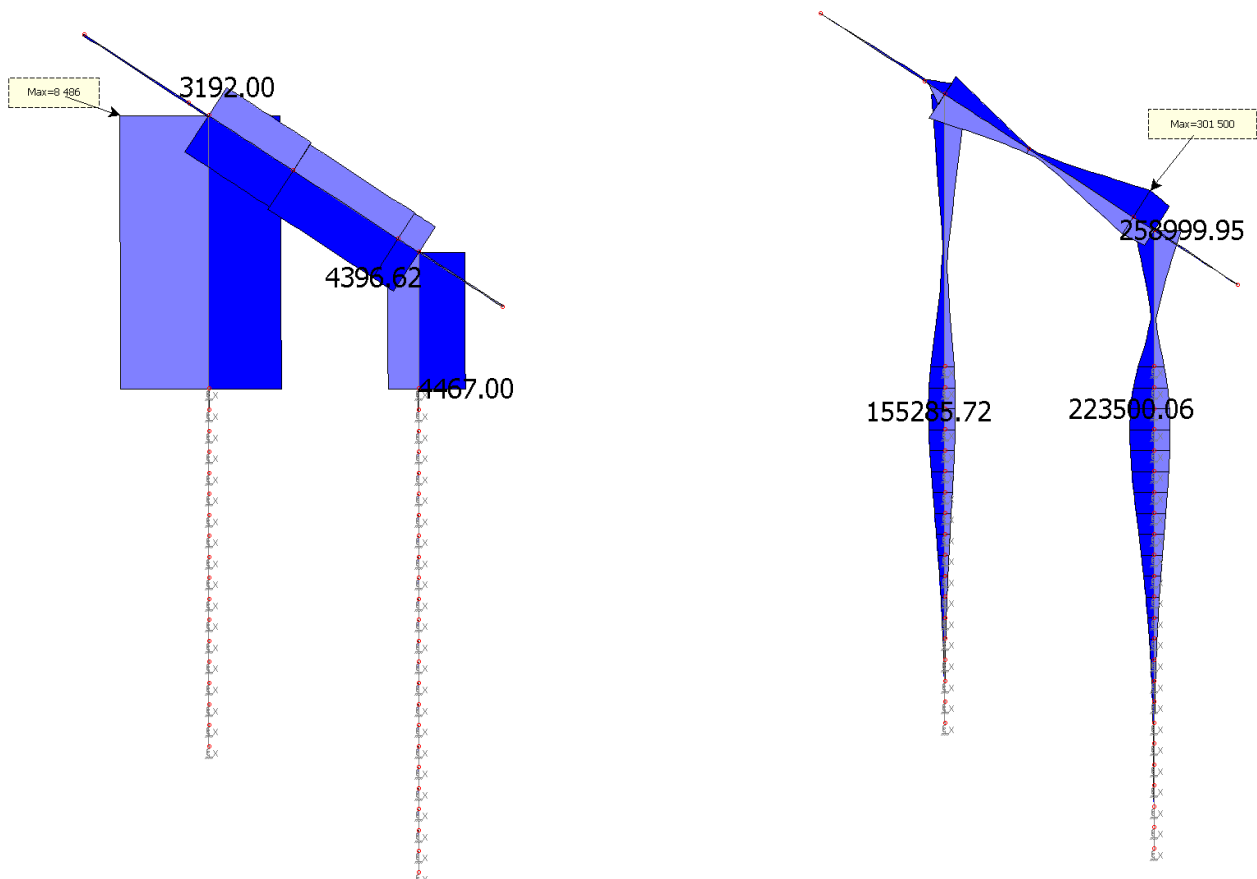
C.C. 01

C.C. 03

C.C. 04

C.C. 05

L'inviluppo delle sollecitazioni è pertanto il seguente (Sforzi normali a sinistra, momenti flettenti a destra):





Pertanto verificando la traversa inclinata (IPE180) con le seguenti caratteristiche geometriche:

$$\text{Area: } 23.9 \text{ cm}^2 \quad W=146 \text{ cm}^3$$

$$\sigma=N/A+M/W=4396/23.9+301500/146=2249.00 \text{ daN/cm}^2$$

Inferiore alla massima prevista dalla normativa: S355  $\rightarrow 3550/1.05=3380.95 \text{ daN/cm}^2$

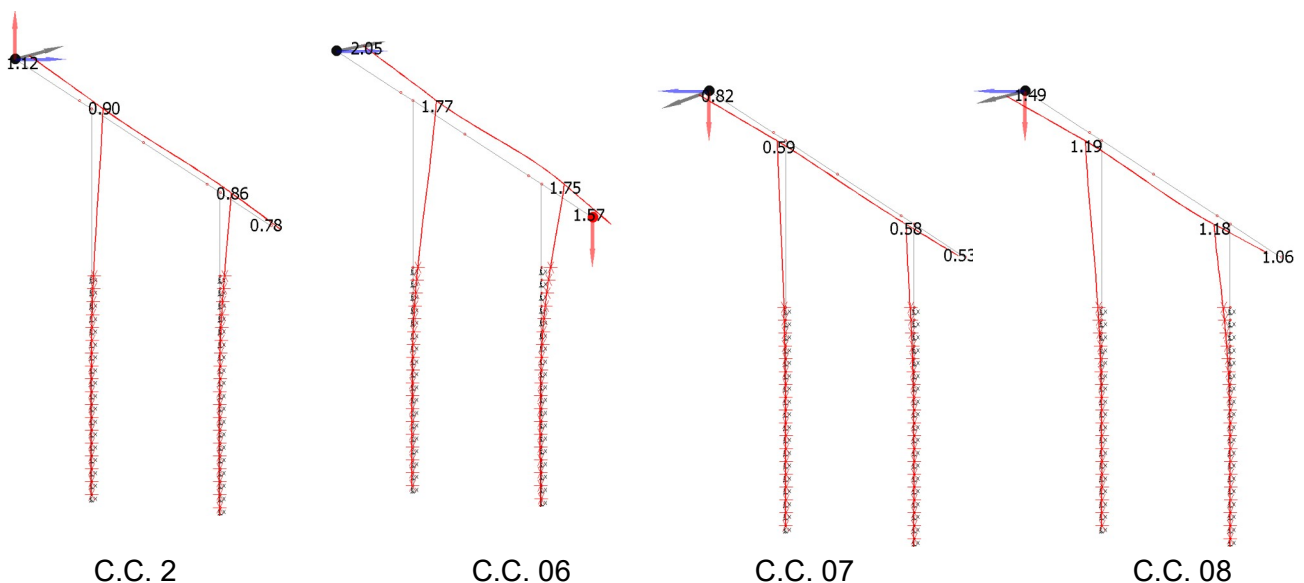
Ed il montante più corto con profilo HEA180 con le seguenti caratteristiche geometriche:

$$\text{Area: } 45.3 \text{ cm}^2 \quad W=294 \text{ cm}^3$$

$$\sigma=N/A+M/W=4467/45.3+259000/294=979.56 \text{ daN/cm}^2$$

Inferiore alla massima prevista dalla normativa: S355  $\rightarrow 3550/1.05=3380.95 \text{ daN/cm}^2$

Si riportano le deformate in condizioni SLE con le massime deformazioni espresse in cm.



#### 4. DESCRIZIONE FONDAZIONI EDIFICI AUSILIARI

Nell'ambito del parco fotovoltaico verranno posizionate delle ulteriori strutture oltre alle stringe di produzione fotoelettriche. In particolare:

- Power Station a 2-3-4 inverter con trasformatore e blocco quadri MT;
- Cabine ausiliarie prefabbricate;
- Control room costituita da container metallico;
- Locali batterie;

#### 4.1 Power Station

Si tratta di un macchinario con ingombro in pianta di circa 11.60x2.10 m e di altezza di 2.50 m circa, del peso complessivo di 23000 daN.

Verrà realizzata una platea in calcestruzzo armato di dimensioni 12.00x2.50 m e spessore di 0.30 m. Il terreno vegetale, indicato in 0.80 m dal geologo dovrà essere eliminato del tutto, fino ad arrivare alla quota del terreno costituito da sabbie ed alternanze di sabbie ed argille, ritornando in quota per mezzo di magrone ciclopico o con materiale arido ben compattato.

#### 4.2 Cabine ausiliarie prefabbricate

Si tratta di una serie di piccoli locali destinati a differenti attività all'interno del parco. Sono tutti realizzati con cabine prefabbricate, di quelle generalmente utilizzate per le apparecchiature elettriche di rete, eventualmente assemblando più moduli.

La cabina MTR ha dimensioni di 11.40x2.50 m con un locale staccato "partenza linea" di circa 2.40x2.50 m.

Il Magazzino agricolo ha dimensioni 5.80x2.50 m

La Cabina ausiliaria ha dimensioni 2.40x2.50 m

Tutte queste strutture prevedono un guscio, anch'esso prefabbricato, di fondazione da cui convogliare i cavidotti interrati dal terreno all'interno delle cabine stesse. Tale guscio verrà posizionato su a quota di circa -0.40 m rispetto al piano di campagna, su di un semplice magrone armato con una rete elettrosaldata da 15 cm di spessore circa. Anche in questo caso si arriverà al terreno sabbioso e/o con alternanze di sabbia ed argilla, ritornando in quota per mezzo di magrone ciclopico o con materiale arido ben compattato.

#### 4.3 Control room

Si tratta di un locale suddiviso in due ambienti. Per metà magazzino, per l'altra metà sala di controllo/ufficio con annesso piccolo bagno con antibagno.

Esso viene realizzato da un container metallico. Le sue dimensioni sono di circa 12.15x2.40 m con altezza di 2.70 m. Il peso del container è di circa 5500 daN.

Verrà realizzata una platea in calcestruzzo armato di dimensioni 12.50x3.00 m e spessore di 0.30 m. Il terreno vegetale, indicato in 0.80 m dal geologo dovrà essere eliminato del tutto, fino ad arri-

vare alla quota del terreno costituito da sabbie ed alternanze di sabbie ed argille, ritornando in quota per mezzo di magrone ciclopico o con materiale arido ben compattato.

#### **4.4 Locali batteria**

Si tratta di semplici container di dimensioni 6.10x2.40 m all'interno dei quali vengono disposti pacchi di batterie di accumulo, per un peso totale di circa 30500 daN..

Verrà realizzata una platea in calcestruzzo armato di dimensioni 6.50x3.00 m e spessore di 0.30 m. Il terreno vegetale, indicato in 0.80 m dal geologo dovrà essere eliminato del tutto, fino ad arrivare alla quota del terreno costituito da sabbie ed alternanze di sabbie ed argille, ritornando in quota per mezzo di magrone ciclopico o con materiale arido ben compattato.

#### **4.5 Criteri di calcolo**

Riguardo alle fondazioni sopra descritte si tratta di semplici platee poggiate sul terreno.

Da un punto di vista di calcolo la platea viene considerata poggiate su un letto di molle alla Winkler. Poichè il carico sulle platee è di tipo uniformemente distribuito, in questo caso le sollecitazioni flessionali sulle platee sono pari a 0, essendo le molle al di sotto di esse compresse in maniera identica tra loro. Si avrà solamente un cedimento verticale uniforme della platea stessa.

Nella relazione geotecnica preliminare vengono riportate le verifiche a carico limite del complesso fondazione-terreno.