



TS ENERGY APULIA SRL  
Via Alberico Albricci, 7  
20122 Milano  
P.V. 10703440965

PROGETTO:

**IMPIANTO FOTOVOLTAICO**

**POTENZA NOMINALE 9.681,12 KWp**

LOCALIZZAZIONE:

Località San Gerolamo

COMUNE DI TROIA (FG)

Codice elaborato	Descrizione elaborato:
TROIA2_11_01	CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE
data	
Aprile 2020	

FIRME:

DocuSigned by:

*Ismael Beltran*

EA765E45E38E477...

PROGETTAZIONE

AP Engineers srl,  
viale dell'Artigianato n.13  
Lucera (Fg)

Firmato digitalmente da  
**Umberto Piacquadio**  
SerialNumber =  
TINIT-PCQMRT71M10Z112P  
C = IT

REVISIONI	05				
	04				
	03				
	02				
	01				
	00	Aprile 2020	Prima emissione – REV 0	ing. C.M.Putino	ing. L. Piacquadio
	N.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO

## Sommario

1	PREMESSA .....	2
1.1	METODO DI CALCOLO E NORMATIVE DI RIFERIMENTO E VERIFICHE .....	3
1.1.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	3
1.1.2	METODI DI CALCOLO .....	3
1.1.3	VERIFICHE .....	4
2	CALCOLI STATICI .....	5
2.1	ANALISI DEI CARICHI .....	5
2.2	CARICHI PERMANENTI .....	6
2.3	CARICHI ACCIDENTALI .....	6
2.3.1	AZIONE DEL VENTO .....	6
2.3.2	AZIONE DELLA NEVE .....	11
2.3.3	AZIONI DOVUTE ALLA TEMPERATURA .....	12
2.3.4	AZIONI SISMICHE .....	13
3	COMBINAZIONI DI CARICO .....	16
4	MODELLAZIONE DI CALCOLO .....	21
4.1	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E COSTRUTTIVE .....	21
4.2	CARATTERISTICHE STRUTTURALI .....	25
5	OUTPUT RISULTATI .....	28
6	CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI .....	31
7	VERIFICHE DEI COLLEGAMENTI .....	32
8	SOFTWARE UTILIZZATI –TIPO DI ELABORATORE .....	34
9	PRESTAZIONI DI COLLAUDO .....	38

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

# 1 PREMESSA

La presente relazione è relativa ai calcoli statici e ai disegni esecutivi delle strutture di sostegno (Tracker) da installarsi nell'ambito della progettazione di un impianto fotovoltaico da realizzarsi nel comune di TROIA (FG), della potenza stimata in immissione di 9.681 KW, su un terreno distinto in catasto terreni al fg. 25 particelle 160-58-180-179-219-184-60-192-195-198-191-176-63-64-183-182-181. Il commune di Troia (FG) secondo la normative vigente è classificato come zona **sismica 2** "Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti".

Il sito sul quale sarà realizzato l'impianto fotovoltaico ricopre una superficie di circa 18 ettari, del comune di TROIA, Contrada San Gerolamo, in provincia di FOGGIA di seguito si riportano le coordinate geografiche e l'ubicazione:

- Latitudine: 41°20'57,65"N
- Longitudine: 15°21'17.70" E
- Altitudine: 280 m



## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

## 1.1 METODO DI CALCOLO E NORMATIVE DI RIFERIMENTO E VERIFICHE

### 1.1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli sono condotti nel pieno rispetto della normativa vigente e, in particolare, la normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo, verifica e progettazione è costituita dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con il D.M. 17/01/2018 pubblicato nel suppl. 8 G.U. 42 del 20/02/2018, nonché la Circolare del Ministero Infrastrutture e Trasporti del 21 Gennaio 2019, n. 7 “Istruzioni per l’applicazione dell’aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni”.

### 1.1.2 METODI DI CALCOLO

I metodi di calcolo adottati per il calcolo sono i seguenti:

- 1) Per i carichi statici: *METODO DELLE DEFORMAZIONI*;
- 2) Per i carichi sismici: metodo dell’*ANALISI MODALE* o dell’*ANALISI SISMICA STATICA EQUIVALENTE*.

L’analisi sismica dinamica è stata svolta con il metodo dell’analisi modale; la ricerca dei modi e delle relative frequenze è stata perseguita con il metodo delle “*iterazioni nel sottospazio*”.

I modi di vibrazione considerati sono in numero tale da assicurare l’eccitazione di più dell’85% della massa totale della struttura.

Per ciascuna direzione di ingresso del sisma si sono valutate le forze modali che vengono applicate su ciascun nodo spaziale (tre forze, in direzione X, Y e Z, e tre momenti).

Per la verifica della struttura si è fatto riferimento all’analisi modale, pertanto sono prima calcolate le sollecitazioni e gli spostamenti modali e poi viene calcolato il loro valore efficace.

I valori stampati nei tabulati finali allegati sono proprio i suddetti valori efficaci e pertanto l’equilibrio ai nodi perde di significato. I valori delle sollecitazioni sismiche sono combinate linearmente (in somma e in differenza) con quelle per carichi statici per ottenere le sollecitazioni per sisma nelle due direzioni di calcolo.

Gli angoli delle direzioni di ingresso dei sismi sono valutati rispetto all’asse X del sistema di

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

riferimento globale.

### 1.1.3 VERIFICHE

Le verifiche, svolte secondo il metodo degli stati limite ultimi e di esercizio, si ottengono involupando tutte le condizioni di carico prese in considerazione, e si è proceduto al dimensionamento delle parti per le condizioni più gravose.

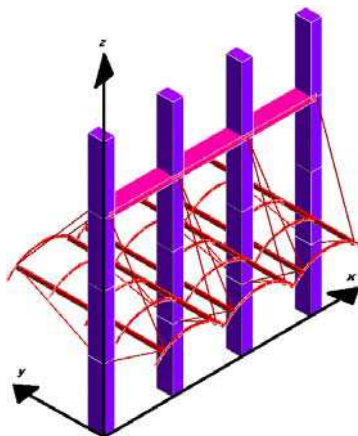
La ripartizione dei carichi, data la natura matriciale del calcolo, tiene automaticamente conto della rigidità relativa delle varie travate convergenti su ogni nodo.

Il software utilizzato per il calcolo e la verifica delle strutture in acciaio è il CDSWIN aggiornato alla versione Rel. 2020 licenza n. 33952.

Di seguito verranno descritte le principali caratteristiche del software utilizzato.

#### 1) SISTEMA GLOBALE DELLA STRUTTURA SPAZIALE

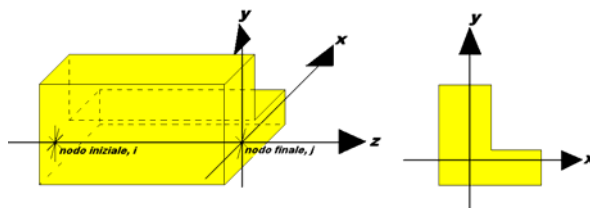
Il sistema di riferimento globale è costituito da una terna destra di assi cartesiani ortogonali (O-XYZ) dove l'asse Z rappresenta l'asse verticale rivolto verso l'alto. Le rotazioni sono considerate positive se concordi con gli assi vettori:



#### 2) SISTEMA LOCALE DELLE ASTE

Il sistema di riferimento locale delle aste, inclinate o meno, è costituito da una terna destra di assi cartesiani ortogonali che ha l'asse Z coincidente con l'asse longitudinale dell'asta ed orientamento dal nodo iniziale al nodo finale, gli assi X ed Y sono orientati come nell'archivio delle sezioni:

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE



## 3) UNITA' DI MISURA

Si adottano le seguenti unità di misura:

[lunghezze]= m

[forze]= kgf / daN

[tempo]= sec

[temperatura]= °C

## 4) CONVENZIONI SUI SEGNI

I carichi agenti sono:

- 1) Carichi e momenti distribuiti lungo gli assi coordinati;
- 2) Forze e coppie nodali concentrate sui nodi.

Le forze distribuite sono da ritenersi positive se concordi con il sistema di riferimento locale dell'asta, quelle concentrate sono positive se concordi con il sistema di riferimento globale.

I gradi di libertà nodali sono gli omologhi agli enti forza, e quindi sono definiti positivi se concordi a questi ultimi.

## 2 CALCOLI STATICI

## 2.1 ANALISI DEI CARICHI

I pannelli e le strutture di sostegno sono esposte all'azione del vento, della neve e all'azione sismica, pertanto è necessario verificare se la struttura che si intende realizzare è in grado di resistere a tali azioni.

Seguendo le prescrizioni delle NTC 2018, è stata effettuata un'analisi dei carichi agenti sulle strutture, considerando le principali configurazioni che l'inseguitore può assumere durante il

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

funzionamento (variazione dell'angolo di inclinazione) e il riposo (inclinazione e condizione di sicurezza).

## 2.2 CARICHI PERMANENTI

- Modulo fotovoltaico + elementi accessori di montaggio.....16daN/mq

## 2.3 CARICHI ACCIDENTALI

### 2.3.1 AZIONE DEL VENTO

Le azioni del vento sono state determinate in conformità al §3.3 del D.M. 17/01/18 e della Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 gennaio 2019 n. 7. Si precisa che tali azioni hanno valenza significativa in caso di strutture di elevata snellezza e con determinate caratteristiche tipologiche come ad esempio le strutture in acciaio.

Al fine di verificare la stabilità della struttura, si ritiene sia sufficiente lo studio della condizione di massima inclinazione di  $55^\circ$  e la condizione di sicurezza di inclinazione  $0^\circ$  (per i calcoli si suppone un angolo di  $5^\circ$ ). Di seguito si effettua il calcolo del carico del vento agente sulla struttura.

L'impianto fotovoltaico sarà ubicato nella regione Puglia in agro di Troia (Fg) ad un'altitudine sul livello del mare pari a 290 m e distanza dalla costa di circa 50 km.

Secondo le prescrizioni delle NTC 2018, l'impianto ricade in Zona 3 (Regione Puglia).

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

3) Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_s$
3	27	500	0,37
$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])			290
$T_R$ (Tempo di ritorno)			50
$v_b = v_{b,0} \cdot c_a \quad c_a = 1 \text{ per } a_s \leq a_0$			
$c_a = 1 + k_s (a_s/a_0 - 1) \text{ per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$			
$c_a = 1$		$v_b$ [m/s] = 27,000	
$v_r = v_b \cdot c_r \quad c_r = 0,75 \cdot \{1 - 0,2 \cdot \ln[-\ln(1 - 1/T_r)]\}^{0,5}$			
$c_r = 1,00000$		$v_r$ [m/s] = 27,000	

$p$  (pressione del vento [N/mq]) =  $q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$   
 $q_r$  (pressione cinetica di riferimento [N/mq])  
 $c_e$  (coefficiente di esposizione)  
 $c_p$  (coefficiente di pressione)  
 $c_d$  (coefficiente dinamico)

PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO  $q_r$ :

$$q_r = 1/2 \cdot \rho \cdot v_r^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/mc})$$

$q_r$ [N/mq]	455,63
--------------	--------

COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE  $c_e$



## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

Classe di rugosità del terreno

D) Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,....)

Categoria di esposizione

ZONE 1,2,3,4,5						
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 6					
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

ZONE 7,8			
A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*
* Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7			

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

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

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

Zona	Classe di rugosità	$a_s$ [m]
3	D	290

Cat. Esposiz.	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]	$c_t$
III	0,2	0,1	5	1

Essendo

$$z = 2,232 \text{ m} < z_{\min} = 5 \text{ m},$$

$$C_e = 1,708$$

COEFFICIENTE DINAMICO  $C_d$ 

Il coefficiente dinamico viene valutato pari a 1 per costruzioni di tipo ricorrente.

COEFFICIENTE DI FORMA  $C_p$ 

Tale coefficiente dipende dalla forma, dalla geometria e dall'orientamento della struttura. Pertanto tale coefficiente è stato determinato considerando che la struttura possa essere assimilata a una tettoia o pensilina ad un solo spiovente piano con angolo di inclinazione  $\alpha$ . Si assume per il coefficiente di forma un valore di 0,8.

Tenendo conto dei suddetti coefficienti, si procede al calcolo della pressione del vento esercitata sul pannello fotovoltaico:

$$P = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = 45,56 \text{ kg/m}^2 \cdot 1,708 \cdot 0,8 \cdot 1 = 62,25 \text{ kg/m}^2$$

(pressione del vento)

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

**1) CONDIZIONE DI MASSIMA INCLINAZIONE 55°****DATI DI PROGETTO:**

$$L_{\text{pannello}} = 2,115 \text{ m}$$

$$\text{Angolo di inclinazione} = \alpha = 55^\circ$$

$$P_{\text{eso(pannello+motore+struttura)}} = 80 \text{ kg}$$

$$H_{\text{max}} = 2,232 \text{ m}$$

Si procede al calcolo dei momenti delle forze ribaltanti e stabilizzanti che agiscono sulla struttura (pannello + sostegno).

Si considera soltanto l'azione del vento alle spalle dei pannelli dato che quella frontale risulta modesta per via dell'inclinazione dei pannelli.

**Azione ribaltante:**

$$F_{\text{vento}} = P_{\text{vento}} \times \text{Sup}_{\text{pannello}} = 62,25 \times 2,225 = 138,51 \text{ kg}$$

$$S_{\text{pinta ribaltante}} = F_{\text{vento}} \times \sin 55^\circ = 113,46 \text{ kg}$$

$$B_{\text{ribaltante}} = L_{\text{pannello}} \times 0,5 = 1,057 \text{ m}$$

$$M_{\text{ribaltante}} = S_{\text{ribaltante}} \times B_{\text{ribaltante}} = \mathbf{119,93 \text{ kgm}}$$

**Azione stabilizzante:**

$$P_{\text{eso (pannello + motore + struttura)}} = 80 \text{ kg}$$

$$B_{\text{stabilizzante}} = L_{\text{pannello}} \times \cos 55^\circ \times 0,5 = 0,606 \text{ m}$$

$$M_{\text{stabilizzante}} = P_{\text{eso (pannello + motore + struttura)}} \times B_{\text{stabilizzante}} = 48,48 \text{ kgm}$$

La struttura di sostegno è sorretta da pali di fondazione infissi nel terreno. Supponendo una profondità di trivellazione di almeno 1,5-1,7 m al fine di garantire un adeguato incastro alla base, si calcola di seguito l'azione resistente da essi generata:

$$B_{\text{resistente}} = H_{\text{max}} - (L_{\text{pannello}}/2 \times \sin 55^\circ) + L_{\text{paloinfisso}} = 1,37 + 1,7 = 3,07 \text{ m}$$

$$M_{\text{resistente}} = (F_{\text{vento}} \times B_{\text{resistente}})/16 = 81,59 \text{ kgm}$$

L'azione stabilizzante è calcolata come somma del momento stabilizzante della struttura (pannello + struttura) e del momento resistente dovuto ai pali infissi:

$$M_{\text{stabilizzante TOT}} = M_{\text{stabilizzante}} + M_{\text{resistente}} = \mathbf{130,07 \text{ kgm}}$$

$$M_{\text{stabilizzante TOT}} > M_{\text{ribaltante}}$$

La verifica risulta soddisfatta. La stabilità della struttura riesce a contrastare l'azione ribaltante causata dal vento in condizione di massima inclinazione.

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

**2) CONDIZIONE DI SICUREZZA (POSIZIONE ORIZZONTALE)**

Nel caso di vibrazioni o raffiche di vento di entità superiori a quelle di studio, la struttura tracker riconosce uno stato di emergenza ed assume la posizione orizzontale di sicurezza (inclinazione di  $0^\circ$ ).

Ai fini di calcolo si suppone un angolo minimo di  $5^\circ$ .

**DATI DI PROGETTO:**

$$L_{\text{pannello}} = 2,115 \text{ m}$$

$$\text{Angolo di inclinazione} = \alpha = 5^\circ$$

$$\text{Peso}_{(\text{pannello}+\text{motore}+\text{struttura})} = 80 \text{ kg}$$

$$H_{\text{max}} = 2,232 \text{ m}$$

Si procede al calcolo dei momenti delle forze ribaltanti e stabilizzanti che agiscono sulla struttura (pannello + sostegno).

Si considera soltanto l'azione del vento alle spalle dei pannelli dato che quella frontale risulta modesta per via dell'inclinazione dei pannelli.

**Azione ribaltante:**

$$F_{\text{vento}} = P_{\text{vento}} \times S_{\text{pannello}} = 62,25 \times 2,225 = 138,51 \text{ kg}$$

$$S_{\text{ribaltante}} = F_{\text{vento}} \times \sin 5^\circ = 12,07 \text{ kg}$$

$$B_{\text{ribaltante}} = L_{\text{pannello}} \times 0,5 = 1,057 \text{ m}$$

$$M_{\text{ribaltante}} = S_{\text{ribaltante}} \times B_{\text{ribaltante}} = \mathbf{12,76 \text{ kgm}}$$

**Azione stabilizzante:**

$$\text{Peso (pannello + motore + struttura)} = 80 \text{ kg}$$

$$B_{\text{stabilizzante}} = L_{\text{pannello}} \times \cos 5^\circ \times 0,5 = 1,053 \text{ m}$$

$$M_{\text{stabilizzante}} = \text{Peso (pannello + motore + struttura)} \times B_{\text{stabilizzante}} = 84,24 \text{ kgm}$$

La struttura di sostegno è sorretta da pali di fondazione infissi nel terreno che hanno il co. Supponendo una profondità di trivellazione di almeno 1,5-1,7 m al fine di garantire un adeguato incastro alla base, si calcola di seguito l'azione resistente da essi generata:

$$B_{\text{resistente}} = H_{\text{max}} - (L_{\text{pannello}}/2 \times \sin 5^\circ) + L_{\text{paloinfisso}} = 2,14 + 1,7 = 3,84 \text{ m}$$

$$M_{\text{resistente}} = (F_{\text{vento}} \times B_{\text{resistente}}^2)/16 = 127,65 \text{ kgm}$$

L'azione stabilizzante è calcolata come somma del momento stabilizzante della struttura (pannello + struttura) e del momento resistente dovuto ai pali infissi:

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

$$M_{\text{stabilizzante TOT}} = M_{\text{stabilizzante}} + M_{\text{resistente}} = 211,89 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{stabilizzante TOT}} > M_{\text{ribaltante}}$$

La verifica risulta ampiamente soddisfatta. La posizione orizzontale riesce a garantire stabilità alla struttura in caso di emergenza.

## 2.3.2 AZIONE DELLA NEVE

L'impianto sarà ubicato in agro del comune di Troia in provincia di Foggia e pertanto, secondo le prescrizioni delle NTC 2018, ricade nella Zona II.

<input type="radio"/>	<b>Zona I - Alpina</b> Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbano-Cusio-Ossola, Vercelli, Vicenza.	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2] \text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$
<input type="radio"/>	<b>Zona I - Mediterranea</b> Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Monza, Brianza, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese.	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 1,35 [1+(a_s/602)^2] \text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$
<input checked="" type="radio"/>	<b>Zona II</b> Arezzo, Ascoli Piceno, Avellino, Bari, Barletta-Andria-Trani, Benevento, Campobasso, Chieti, Fermo, Ferrara, Firenze, Foggia, Frosinone, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, L'Aquila, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rieti, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona.	$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$
<input type="radio"/>	<b>Zona III</b> Agrigento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Grosseto, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo.	$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$

$$q_s \text{ (carico neve sulla copertura [N/mq])} = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t$$

$q_{sk}$  (valore caratteristico della neve al suolo [kN/mq])

$\mu_i$  (coefficiente di forma)

$C_E$  (coefficiente di esposizione)

$C_t$  (coefficiente termico)

$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])	290
$q_{sk}$ (val. caratt. della neve al suolo [kN/mq])	1,16

COEFFICIENTE TERMICO  $C_t$

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

Il coefficiente termico tiene conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente dipende dalle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato  $C_t = 1$ .

COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE  $C_E$ 

Topografia	Descrizione	$C_E$
Battuta dai venti	Arre pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.	0,9

COEFFICIENTE DI FORMA  $\mu_i$ 

$\alpha$ (inclinazione falda [°])	55
-----------------------------------	----

$\mu$	0,13333333
-------	------------

$\alpha$ (inclinazione falda [°])	0
-----------------------------------	---

$\mu$	0,8
-------	-----

Tenendo conto dei coefficienti sopra indicati, si procede al calcolo del carico della neve nelle condizioni di massima inclinazione del tracker e di posizione orizzontale.

$$q_s (55^\circ) = 1,16 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,133 = 0,139 \text{ kN/mq}$$

$$q_s (0^\circ) = 1,16 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 0,835 \text{ kN/mq}$$

Si procede al calcolo della forza esercitata dalla neve sui pannelli considerando che agisce in direzione verticale e quindi la si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura:

$$F_{\text{neve}} (0^\circ) = 0,835 \cdot 2,225 = 1,86 \text{ kN} = 189,67 \text{ kg}$$

$$F_{\text{neve}} (55^\circ) = 0,139 \cdot 1,213 = 0,169 \text{ kN} = 17,23 \text{ kg}$$

Il carico esercitato dalla neve corrisponde quindi al carico che i pannelli sono in grado di sopportare.

## 2.3.3 AZIONI DOVUTE ALLA TEMPERATURA

E' stato tenuto conto delle variazioni giornaliere e stagionali della temperatura esterna, irraggiamento solare e convezione comportano variazioni della distribuzione di temperatura nei singoli elementi strutturali, con un delta di temperatura di  $15^\circ \text{ C}$ .

Nel calcolo delle azioni termiche, si è tenuto conto di più fattori, quali le condizioni climatiche del

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

sito, l'esposizione, la massa complessiva della struttura, la eventuale presenza di elementi non strutturali isolanti, le temperature dell'aria esterne (Cfr. § 3.5.2), dell'aria interna (Cfr. § 3.5.3) e la distribuzione della temperatura negli elementi strutturali (Cfr § 3.5.4) viene assunta in conformità ai dettami delle N.T.C. 2018.

## 2.3.4 AZIONI SISMICHE

Per la definizione del sisma si fa riferimento al paragrafo 3.2 Azione sismica del DM 17/01/2018 ed all'Allegato A alle Norme Tecniche per le Costruzioni: Pericolosità sismica ed all'Allegato B alle Norme Tecniche per le Costruzioni: Tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica del DM 14/01/2008. La struttura ricade nel Comune di Troia, Provincia di Foggia. Le coordinate geografiche (Latitudine e Longitudine), utili per la definizione dell'azione sismica, pari a 41°20'57,65"N e 15°21'17.70" E rispettivamente. Si è considerato un terreno di categoria C secondo la classificazione riportata dalla "Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo" al "paragrafo 3.2.2 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche" del DM 17/01/2018 in base alle prescrizioni dell'indagine geologico-tecnica nell'area destinata alla realizzazione del parco fotovoltaico in agro di Troia. Si è considerata una categoria topografica T1 – Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione  $i < 15^\circ$  secondo la classificazione riportata dalla "Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche" al "paragrafo 3.2.2 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche" del DM 14/01/2008.

**SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI**

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della **componente orizzontale** del moto sismico,  $S_e$ , è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

**SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLA COMPONENTE VERTICALE**

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della **componente verticale** del moto sismico,  $S_{ve}$ , è definito dalle espressioni:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B \quad S_{ve}(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\
 T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T \quad S_{ve}(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}
 \tag{3.2.8}$$

Viene considerato un comportamento strutturale non dissipativo, cui ci si riferisce quando si progetta per gli stati limite di esercizio, in cui gli effetti combinati delle azioni sismiche e delle altre azioni sono calcolati, indipendentemente dalla tipologia strutturale adottata, senza tener conto delle non linearità di comportamento (di materiale e geometriche) se non rilevanti. Nel caso di comportamento non dissipativo si adottano unicamente i modelli lineari. Quando si utilizza l'analisi lineare per sistemi non dissipativi, come avviene per gli stati limite di esercizio, gli effetti delle azioni sismiche sono calcolati, quale che sia la modellazione per esse utilizzata, riferendosi allo spettro di progetto ottenuto assumendo un fattore di struttura  $q$  unitario. Per la resistenza delle membrature e dei collegamenti non è necessario soddisfare i requisiti di duttilità fissati nella norma.

Secondo il paragrafo 7.3.2 Analisi statica o dinamica del DM 17/01/2018, il metodo d'analisi lineare di riferimento per determinare gli effetti dell'azione sismica, sia su sistemi dissipativi sia su sistemi non dissipativi, è l'analisi modale con spettro di risposta o "analisi lineare dinamica". In essa l'equilibrio è trattato dinamicamente e l'azione sismica è modellata direttamente attraverso lo spettro di progetto definito al paragrafo 3.2.3.4 Spettri di progetto per gli stati limite di operatività del DM 17/01/2018 (struttura non dissipativa) per cui "... lo spettro di progetto da utilizzare sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR considerata".

In funzione del quadro normativo applicato si determinano i seguenti parametri, utili per la

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

definizione dell'azione sismica. In accordo al paragrafo 2.4 “Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento” si determinano:

- **VITA NOMINALE**

La vita nominale di progetto  $V_N$  di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di  $V_N$  da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo

**Tab. 2.4.I** – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

- **CLASSI D'USO**

In accordo al paragrafo 2.4.2 “Classi d'uso” si associa a tale struttura una **CLASSE I** definita come: “Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli”.

- **PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA**

$$V_R = V_N * C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

**Tab. 2.4.II** – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

In base alle assunzioni fatte e alle considerazioni fatte si ottiene che:



## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

$$VR = 50 \cdot 0,7 = 35 \text{ anni}$$

L'azione sismica è definita sotto forma di spettro di risposta. Per poter definire la forma spettrale, in funzione della probabilità di superamento del periodo di riferimento  $VR$ , si devono determinare i seguenti parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T^*c$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri sono tabellati a mezzo di coordinate geografiche nell' Allegato B alle Norme Tecniche per le Costruzioni: Tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica

### 3 COMBINAZIONI DI CARICO

Secondo la variazione della loro intensità nel tempo, classifichiamo le azioni in:

a) permanenti (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale di progetto della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è molto lenta e di modesta entità:

- peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (G1);
- peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G2);
- spostamenti e deformazioni impressi, incluso il ritiro;
- presollecitazione (P).

b) variabili (Q): azioni che agiscono con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel corso della vita nominale della struttura:

- sovraccarichi;
- azioni del vento;
- azioni della neve;

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

- azioni della temperatura.

Le azioni variabili sono dette di lunga durata se agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura. Sono dette di breve durata se agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura. A seconda del sito ove sorge la costruzione, una medesima azione climatica può essere di lunga o di breve durata.

c) eccezionali (A): azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura;

- incendi;
- esplosioni;
- urti ed impatti;

d) sismiche (E): azioni derivanti dai terremoti.

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

Nelle combinazioni si intende che vengano omissi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_2$ . Altre combinazioni sono da considerare in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.).

Nelle formule sopra riportate il simbolo “+” vuol dire “combinato con”. I valori dei coefficienti  $\psi_{0j}$ ,  $\psi_{1j}$  e  $\psi_{2j}$  sono dati nella Tab. 2.5.I oppure nella Tab. 5.1.VI per i ponti stradali e nella Tab. 5.2.VII per i ponti ferroviari. I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qj}$  sono dati nel § 2.6.1.

I valori dei coefficienti per la determinazione delle combinazioni sono riportate nella tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione del DM 17/01/2018

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{1i}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Nelle verifiche agli stati limite ultimi si distinguono:

- lo stato limite di equilibrio come corpo rigido: **EQU**
- lo stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione: **STR**
- lo stato limite di resistenza del terreno: **GEO**

Fatte salve tutte le prescrizioni fornite nei capitoli successivi delle presenti norme, la Tab. 2.6.I riporta i valori dei coefficienti parziali  $\gamma_F$  da assumersi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi. Per le verifiche nei confronti dello stato limite ultimo di equilibrio come corpo rigido (EQU) si utilizzano i coefficienti  $\gamma_F$  riportati nella colonna EQU della Tabella 2.6.I. Per la progettazione di componenti strutturali che non coinvolgano azioni di tipo geotecnico, le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) si eseguono adottando i coefficienti  $\gamma_F$  riportati nella colonna A1 della Tabella 2.6.I. Per la progettazione di elementi strutturali che coinvolgano azioni di tipo geotecnico (plinti, platee, pali, muri di sostegno, ...) le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) e geotecnici (GEO) si eseguono

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

adottando due possibili approcci progettuali, fra loro alternativi.

Nell'Approccio 1, le verifiche si conducono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni ( $\gamma_F$ ), per la resistenza dei materiali ( $\gamma_M$ ) e, eventualmente, per la resistenza globale del sistema ( $\gamma_R$ ). Nella Combinazione 1 dell'Approccio 1, per le azioni si impiegano i coefficienti  $\gamma_F$  riportati nella colonna A1 della Tabella 2.6.I. Nella Combinazione 2 dell'Approccio 1, si impiegano invece i coefficienti  $\gamma_F$  riportati nella colonna A2. In tutti i casi, sia nei confronti del dimensionamento strutturale, sia per quello geotecnico, si deve utilizzare la combinazione più gravosa fra le due precedenti. Nell'Approccio 2 si impiega un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali definiti per le Azioni ( $\gamma_F$ ), per la resistenza dei materiali ( $\gamma_M$ ) e, eventualmente, per la resistenza globale ( $\gamma_R$ ). In tale approccio, per le azioni si impiegano i coefficienti  $\gamma_F$  riportati nella colonna A1.

Per la struttura in oggetto si sono considerati gli stati limite di equilibrio (EQU) e lo stato limite di resistenza (STR). In base a tale scelta ed alla tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche allo SLU del DM 17/01/2018

**Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU**

		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1	A2
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

## 4 MODELLAZIONE DI CALCOLO

### 4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E COSTRUTTIVE

La struttura di tipo “Traker” di supporto per moduli fotovoltaici sarà realizzata mediante profilati in acciaio zincato a caldo, essa costituisce un sistema ad inseguimento monoassiale autoalimentato, che grazie ad un algoritmo proprietario è in grado di seguire con precisione la posizione del sole nell’arco della giornata, andando ad aumentare le ore di irraggiamento diretto in impianti di produzione dell’energia da fonte fotovoltaica.

Oltre alla massima flessibilità progettuale e di installazione, IL Tracker considerato si distingue per le seguenti caratteristiche, che lo rendono un prodotto innovativo, affidabile ed adattabile:

- **Angolo di inseguimento** programmabile per singolo tracker, in base alle necessità del cliente ed alla morfologia del sito. Angolo massimo di inseguimento: +/- 55°;
- **Tracker autoalimentato.** Grazie all’uso di un modulo FV dedicato da 30 W (incluso nella fornitura) e ricarica di un pacco batteria integrato, il tracker non necessita di alimentazioni ausiliarie esterne per il suo funzionamento. Grazie al pacco batterie, è garantito il funzionamento anche in orario notturno o di scarso irraggiamento;
- **Sistema di comunicazione wireless** a livello tracker basato su protocollo ZigBee. Non si necessitano cavi dati aggiuntivi per il trasferimento al sistema SCADA di segnali di stato e di errore;
- **Software proprietario**, con algoritmo di backtracking integrato;
- **Testing** sulle singole componenti e sul sistema nel suo insieme, si citano ad esempio: test in galleria del vento ed analisi CFD, test per la resistenza alla corrosione e per verifica durata materiali e rivestimenti;
- **Facilità di installazione**, il Tracker prevede solo accoppiamenti imbullonati e necessita di manodopera non specializzata per la sua corretta installazione;
- **Interfaccia Web** per il controllo funzionale dei tracker ed invio comandi da remoto agli stessi.

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

L'inseguitore è costituito da travi scatolate a sezione quadrata, sorretti da pali con profilo a Z ed incernierate nella parte centrale dell'inseguitore al gruppo di riduzione/motore; ancorati alle travi sono i supporti dei moduli, con profilo omega e zeta. I moduli vengono fissati con bulloni e almeno uno di essi è dotato di un dado antifurto.



FIGURA 1 – INSTALLAZIONE DEL TRACKER

Il particolare profilo dei pali Z consente una efficace penetrazione in differenti tipologie di terreni ed un'ottima tenuta alle sollecitazioni dovute alla movimentazione della struttura e carichi di vento. Entrambe le tipologie di pali presentano delle asolature per il successivo fissaggio delle teste palo. La presenza di asole consente una più accurata regolazione dell'allineamento della struttura e la compensazione di eventuali errori in fase di infissione.

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

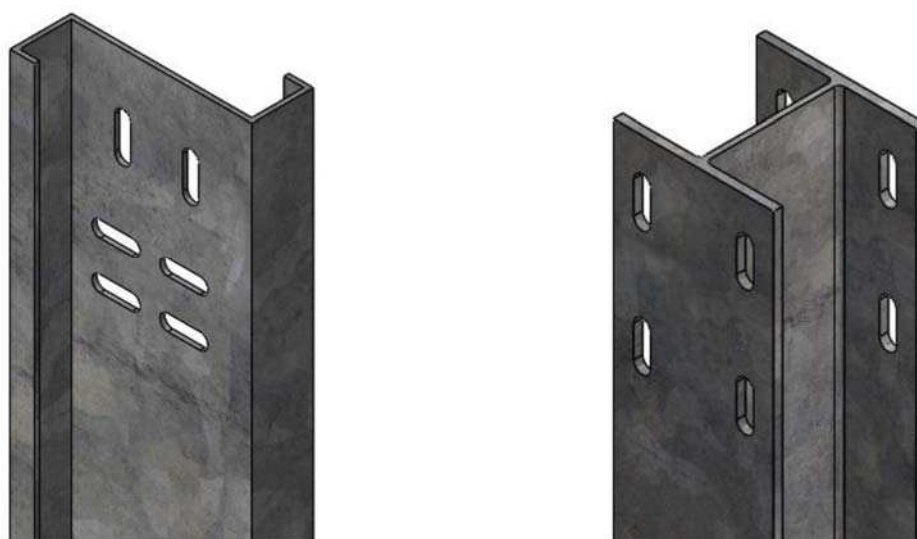


FIGURA 2 – PARTICOLARE DEI PALI E DELLE ASOLE DI ASSEMBLAGGIO

Sul palo centrale sono imbullonate due piastre ad L per l'ancoraggio del gruppo motore (definite teste motore) e su queste viene fissato il gruppo motore stesso, al quale vengono successivamente accoppiate le prime due travi centrali. Analogamente per ogni palo Z sono presenti delle piastre a T (definite teste palo), sulle quali sono fissati i cuscinetti per la rotazione della struttura. I cuscinetti sono realizzati in materiale plastico polimerico a matrice vetrosa, progettati e testati da Comal Impianti garantiscono alte prestazioni e durabilità per l'intera vita del progetto.

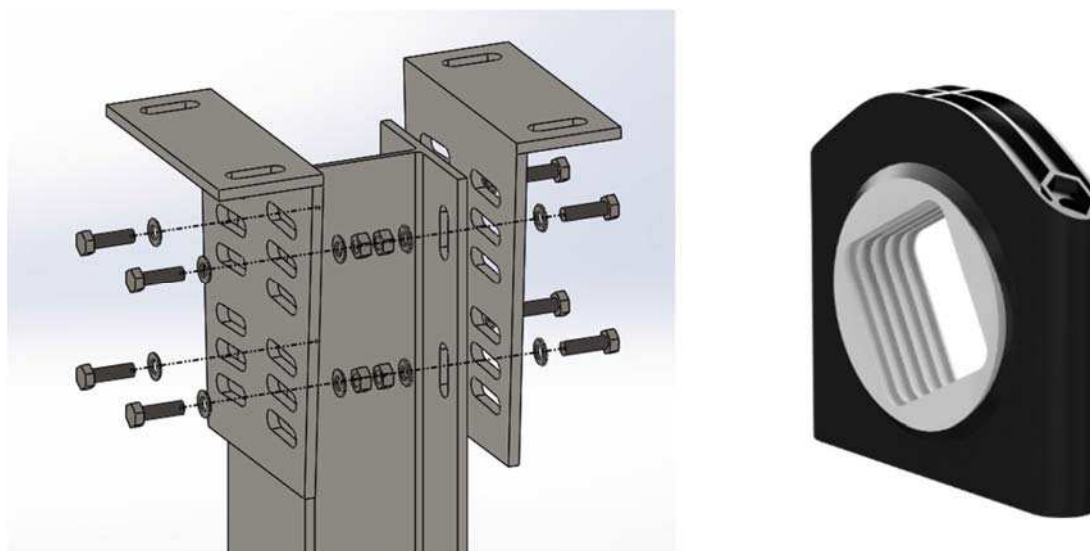


FIGURA 4 – PARTICOLARE DELLE TESTE MOTORE E DEI CUSCINETTI



## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

Sulle travi vengono installati i moduli fotovoltaici. Specifici supporti con profilo omega (zeta quelli terminali) vengono fissati alle travi e, grazie alla presenza di fori di dimensioni compatibili con Quelli presenti sui moduli, è possibile l'ancoraggio del generatore fotovoltaico all'inseguitore.

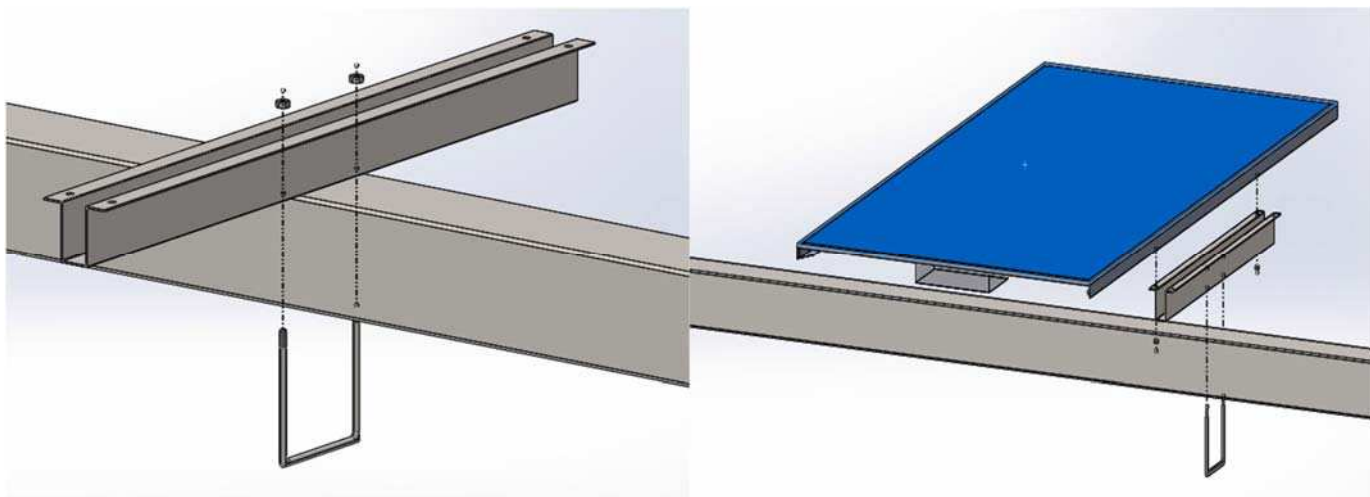
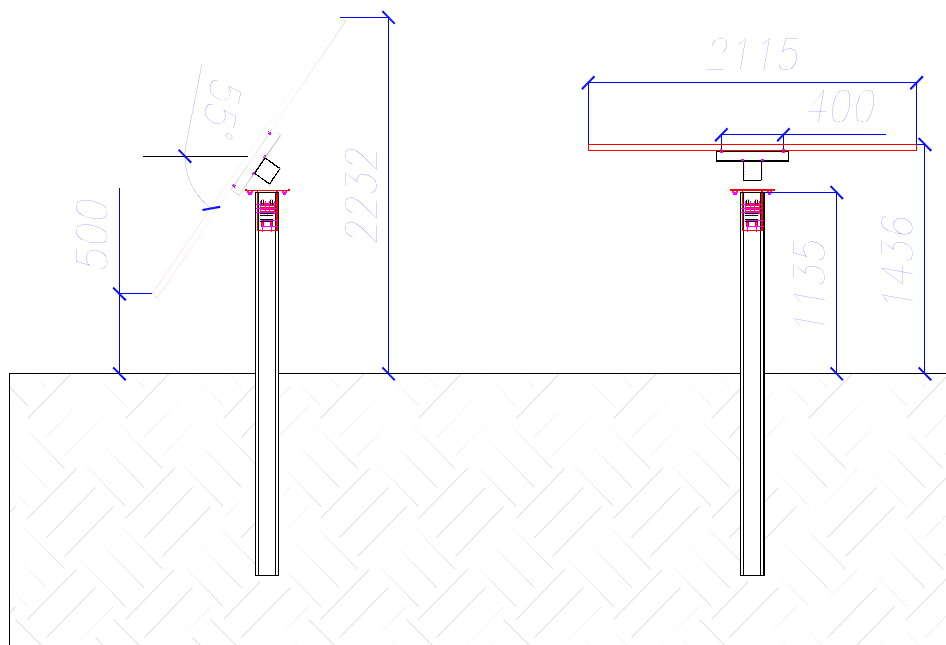


FIGURA 4 – PARTICOLARE DELL'INSTALLAZIONE OMEGA E MONTAGGIO MODULI

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

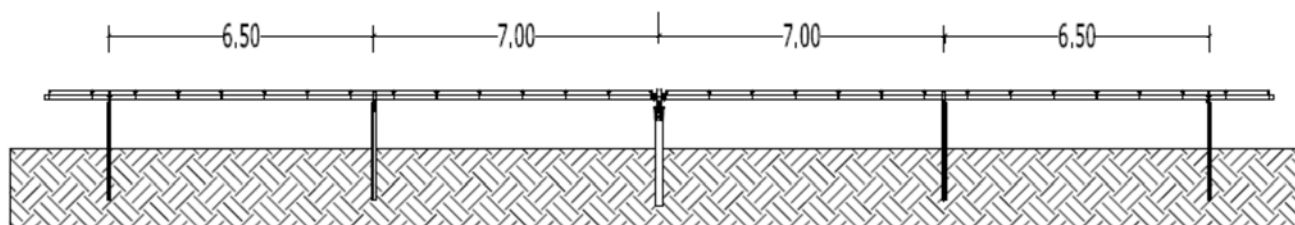
VISTA SEZIONI TRACKER



## 4.2 CARATTERISTICHE STRUTTURALI

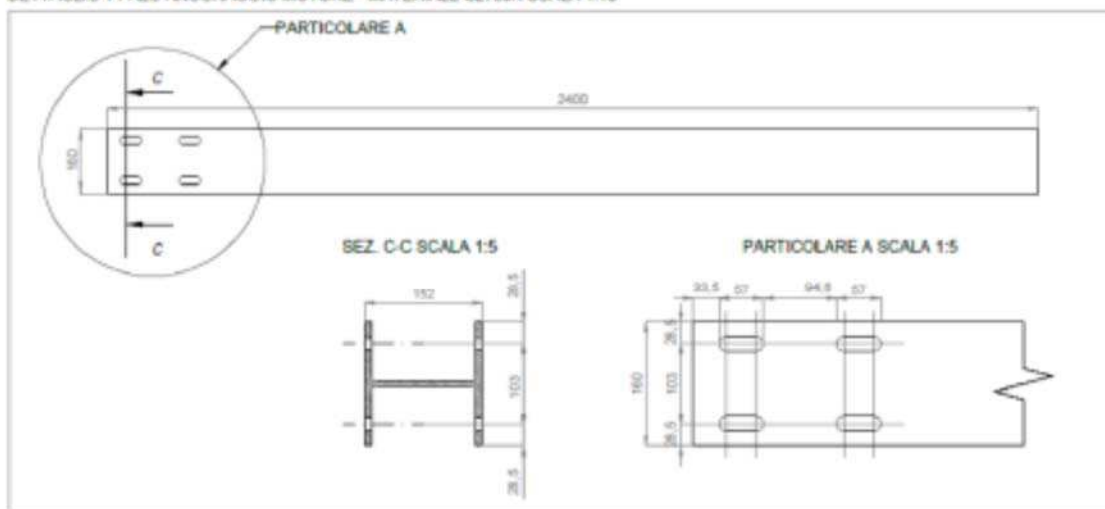
La struttura, completamente realizzata in acciaio, è costituita da 4 portali collegati al terreno mediante 5 pilastri, posti ad interasse di 6,50 m e 7,00 m. Gli elementi strutturali costituenti sono rappresentati da un pilastro centrale (ove è posizionato il rotore) di sezione HEA160 e 4 PROFILI A Z 150x50x20, tutti gli elementi precedenti sono collegati superiormente da un Tubo Quadro 120\*120\*3.

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

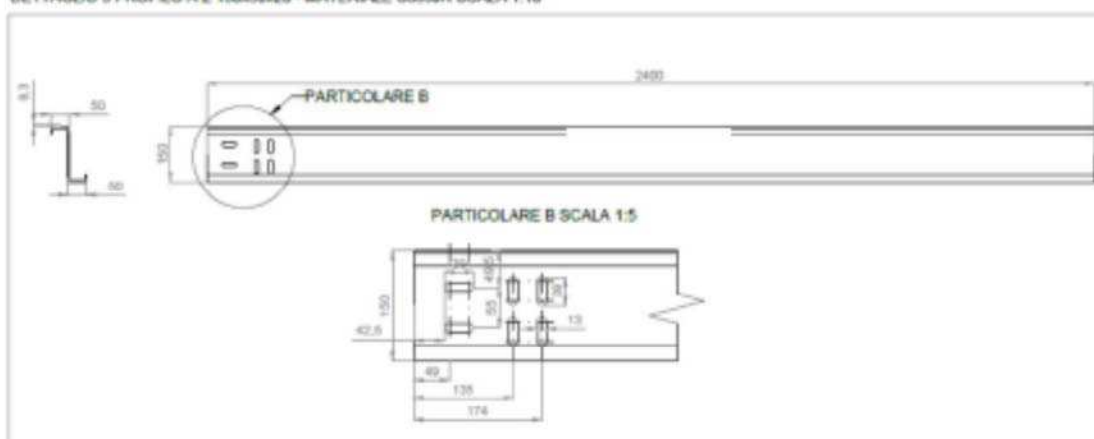


## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

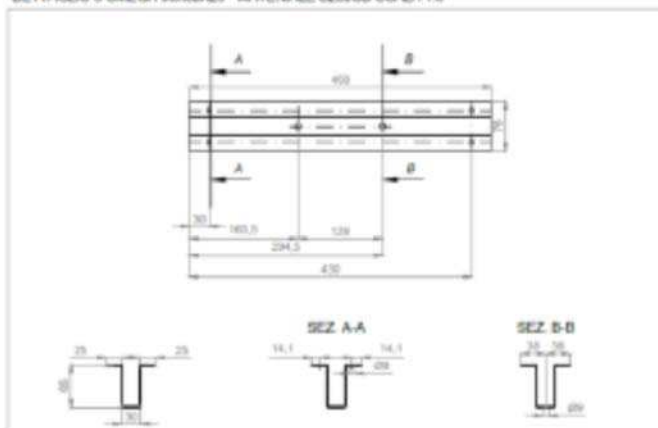
DETTAGLIO 1 PALO ANCORAGGIO MOTORE - MATERIALE S275JR SCALA 1:10



DETTAGLIO 5 PROFILO A Z 150x50x20 - MATERIALE S355JR SCALA 1:10



DETTAGLIO 3 OMEGA 65X30X25 - MATERIALE S235GD SCALA 1:5



## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

## 5 OUTPUT RISULTATI

Tutte le verifiche sono state effettuate con il programma di calcolo CDSWIN 2020, Sono diseguito riportati I risultati:

DATI GENERALI DI STRUTTURA			
DATI GENERALI DI STRUTTURA			
Massima dimens. dir. X (m)	27,00	Altezza strutture (m)	2,90
Massima dimens. dir. Y (m)	2,00	Differenza temperatura(°C)	15
PARAMETRI SISMICI			
Vita Nominale (Anni)	50	Classe d' Uso	I Cu=0.7
Longitudine Est (Grd)	15,35545	Latitudine Nord (Grd)	41,34976
Categoria Suolo	C	Coeff. Condiz. Topogr.	1,00000
Sistema Costruttivo Dir.1	Acciaio	Sistema Costruttivo Dir.2	Acciaio
Regolarita' in Altezza	SI (KR=1)	Regolarita' in Pianta	SI
Direzione Sisma (Grd)	0	Sisma Verticale	ASSENTE
Effetti P/Delta	NO	Quota di Zero Sismico (m)	0,00000
PARAMETRI SPETTRO ELASTICO - SISMA S.L.D.			
Probabilita' Pvr	0,63	Periodo di Ritorno Anni	35,00
Accelerazione Ag/g	0,05	Periodo T <sub>c</sub> (sec.)	0,30
F <sub>o</sub>	2,44	F <sub>v</sub>	0,74
Fattore Stratigrafia'Ss'	1,50	Periodo T <sub>B</sub> (sec.)	0,16
Periodo T <sub>C</sub> (sec.)	0,47	Periodo T <sub>D</sub> (sec.)	1,80
PARAMETRI SPETTRO ELASTICO - SISMA S.L.V.			
Probabilita' Pvr	0,10	Periodo di Ritorno Anni	332,00
Accelerazione Ag/g	0,13	Periodo T <sub>c</sub> (sec.)	0,44
F <sub>o</sub>	2,57	F <sub>v</sub>	1,24
Fattore Stratigrafia'Ss'	1,50	Periodo T <sub>B</sub> (sec.)	0,20
Periodo T <sub>C</sub> (sec.)	0,60	Periodo T <sub>D</sub> (sec.)	2,11
COEFFICIENTI DI SICUREZZA PARZIALI DEI MATERIALI			
Acciaio per carpenteria	1,05	Verif.Instabilita' acciaio:	1,05
Acciaio per CLS armato	1,15	Calcestruzzo CLS armato	1,50
Legno per comb. eccez.	1,00	Legno per comb. fondament.:	1,30
Livello conoscenza	NUOVA COSTRUZIONE		
FRP Collasso Tipo 'A'	1,10	FRP Delaminazione Tipo 'A'	1,20
FRP Collasso Tipo 'B'	1,25	FRP Delaminazione Tipo 'B'	1,50
FRP Resist. Press/Fless	1,00	FRP Resist. Taglio/Torsione	1,20
FRP Resist. Confinamento	1,10		

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

DATI GENERALI DI STRUTTURA			
DATI DI CALCOLO PER AZIONE VENTO			
Zona Geografica	3	Altitudine s.l.m. (m)	290,00
Distanza dalla costa (km)	50,00	Tempo di Ritorno (anni)	35,00
Classe di Rugosità	D	Coefficiente Topografico	1,00
Coefficiente dinamico	1,00	Coefficiente di attrito	0,01
Velocità di riferim. (m/s)	26,47	Pressione di riferim. (kg/mq)	45,56
Categoria di Esposizione	II		
Edificio dotato di porosità distribuita uniforme			
Il calcolo delle azioni del vento è effettuato in base al punto 3.3 delle NTC e relative modifiche e integrazioni riportate nella Circolare del 21/01/2019			
DATI DI CALCOLO PER AZIONE NEVE			
Zona Geografica	II	Coefficiente Termico	1,00
Altitudine sito s.l.m. (m)	290	Coefficiente di forma	0,80
Tipo di Esposizione	Normale	Coefficiente di esposizione	0,90
Carico di riferimento kg/mq	118	Carico neve di calcolo kg/mq	84,00
Il calcolo della neve è effettuato in base al punto 3.4 del D.M. 2018 e relative modifiche e integrazioni riportate nella Circolare del 21/01/2019			

DATI ASTE SPAZIALI																		
IDENTIFICAZIONE									GEOMETRIA				SCOST. INIZIALI			SCOST. FINALI		
Asta3d N.ro	Fila In.	Fila Fin.	Q. Iniz. (m)	Q. Fin. (m)	Nod3d Iniz.	Nod3d Fin.	Cr. Pr.	Sez. N.ro	Stile Sezione	Mas. (cm)	Rot. Grd	dx (cm)	dy (cm)	dz (cm)	dx (cm)	dy (cm)	dz (cm)	Tip. Elemento al fin. elem.
1	1	1	2,40	0,00	10	1	3	37		0	0	0	0	0	0	0	0	NoGerarchie Acciaio
2	2	2	2,40	0,00	6	2	3	37		0	0	0	0	0	0	0	0	NoGerarchie Acciaio
3	3	3	2,40	0,00	7	3	3	67		0	0	0	0	0	0	0	0	NoGerarchie Acciaio
4	4	4	2,40	0,00	8	4	3	37		0	0	0	0	0	0	0	0	NoGerarchie Acciaio
5	5	5	2,40	0,00	9	5	3	37		0	0	0	0	0	0	0	0	NoGerarchie Acciaio
6	1	2	2,40	2,40	10	6	1	6-69		0	0	0	0	0	0	0	0	NoGerarchie Acciaio
7	2	3	2,40	2,40	6	7	1	6-69		0	0	0	0	0	0	0	0	NoGerarchie Acciaio
8	3	4	2,40	2,40	7	8	1	6-69		0	0	0	0	0	0	0	0	NoGerarchie Acciaio
9	4	5	2,40	2,40	8	9	1	6-69		0	0	0	0	0	0	0	0	NoGerarchie Acciaio

VINCOLI E CEDIMENTI NODALI																		
IDENTIFIC.		RIGIDENZE TRASLANTI			RIGIDENZE ROTAZIONALI			SCOSTAMENTI					VERSO SPOSTAMENTI UNILATERI					
Nodo3d N.ro	Cod. loc.	Tx μm	Ty μm	Tz μm	Rx f°m	Ry f°m	Rz f°m	Tr.X cm	Tr.Y cm	Tr.Z cm	Azim Grd	Coze Grd	Axx Grd	Tr.X	Tr.Y	Tr.Z	RotX	RotY
1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0					
2	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0					
3	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0					
4	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0					
5	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0					



## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

CARICHI TERMICI/DISTRIBUITI/CONCENTRATI						
CONDIZIONE DI CARICO N.ro: 1				ALIQUOTA SISMICA:100		
IDENTI	FORZE CONCENTRATE			MOMENTI CONCENTRATI		
Nodo3d N.ro	Fx (t)	Fy (t)	Fz (t)	Mx t'm	My t'm	Mz t'm
6	0,0000	0,1400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	0,0000	0,1400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
8	0,0000	0,1400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	0,0000	0,1400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	0,0000	0,1400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

CARICHI DISTRIBUITI									
CONDIZIONE DI CARICO N.ro: 1						ALIQUOTA SISMICA: 100			
IDENT.	PRESSIONI					CARICHI PERIMETRALI			
Shell N.ro	Riferi mento	P.a t/mq	P.b t/mq	P.c t/mq	P.d t/mq	Q.ab t/ml	Q.bc t/ml	Q.cd t/ml	Q.da t/ml
1	0	0,08	0,08	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0	0,08	0,08	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0	0,08	0,08	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0	0,08	0,08	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0	0,08	0,08	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0	0,08	0,08	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0	0,08	0,08	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0	0,08	0,08	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00

TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.																									
VERIFICHE ASTE IN ACCIAIO 3D																									
DATI DI ASTA	File N.ro	Quota (m)	Tra llo	Cmb N.r	N Sd (kg)	MxSd (kg/m)	MySd (kg/m)	VxSd (kg)	VySd (kg)	T Sd (kg/m)	N Rd	MxV Rd kg/m	MyV Rd kg/m	VxV Rd kg	VyV Rd kg	T Rd kg/m	N Rd	MxV Rd kg/m	MyV Rd kg/m	VxV Rd kg	VyV Rd kg	Rap %			
Sec.N. 37	1	2,40	4	-332	1	162	134	177	0	53715	2586	406	5297	13019	70	2237	40	53715	2586	406	5297	13019	70		
UPN160	qn=	0	8	-299	373	13	-6	306	0	53716	2586	406	5297	13019	70	2237	16	53716	2586	406	5297	13019	70		
Asta: 1	1	0,00	4	-377	426	-159	134	177	0	53715	2586	406	5297	13019	70	2237	56	53715	2586	406	5297	13019	70		
Instab. d=	240,0	[7]=	166,0	-336	444	32	cl= 1	u= 1,00	lmd= 69	Rpl= 27	Rfl= 30	Wtmax/wl/m=	2,9	0,7	9,6	mm									
Sec.N. 37	2	2,40	2	-679	2	-165	-136	178	0	53714	2586	406	5297	13019	70	2237	40	53714	2586	406	5297	13019	70		
UPN160	qn=	0	8	-467	377	-3	32	309	0	53719	2586	406	5297	13019	70	2237	17	53719	2586	406	5297	13019	70		
Asta: 2	2	0,00	2	-625	426	160	-136	178	0	53714	2586	406	5297	13019	70	2237	56	53714	2586	406	5297	13019	70		
Instab. d=	240,0	[7]=	166,0	-625	256	66	cl= 1	u= 1,00	lmd= 69	Rpl= 29	Rfl= 32	Wtmax/wl/m=	2,9	0,6	9,6	mm									
Sec.N. 67	3	2,40	4	-760	4	606	613	315	0	66730	4924	1721	24343	10562	126	2237	36	66730	4924	1721	24343	10562	126		
HEA160	qn=	0	8	-771	602	-39	164	561	0	66649	4920	1720	24343	10562	126	2236	17	66649	4920	1720	24343	10562	126		
Asta: 3	3	0,00	4	-633	761	-665	613	315	0	66730	4924	1721	24343	10562	126	2237	67	66730	4924	1721	24343	10562	126		
Instab. d=	240,0	[7]=	166,0	-633	459	346	cl= 1	u= 1,00	lmd= 42	Rpl= 31	Rfl= 31	Wtmax/wl/m=	2,8	0,5	9,6	mm									
Sec.N. 37	4	2,40	4	-679	2	165	135	178	0	53714	2586	406	5297	13019	70	2237	40	53714	2586	406	5297	13019	70		
UPN160	qn=	0	8	-467	377	3	-32	309	0	53719	2586	406	5297	13019	70	2237	17	53719	2586	406	5297	13019	70		
Asta: 4	4	0,00	4	-625	426	-160	135	178	0	53714	2586	406	5297	13019	70	2237	56	53714	2586	406	5297	13019	70		
Instab. d=	240,0	[7]=	166,0	-625	256	66	cl= 1	u= 1,00	lmd= 69	Rpl= 29	Rfl= 32	Wtmax/wl/m=	2,9	0,6	9,6	mm									
Sec.N. 37	5	2,40	2	-332	1	-162	-134	177	0	53715	2586	406	5297	13019	70	2237	40	53715	2586	406	5297	13019	70		
UPN160	qn=	0	8	-299	373	-13	6	306	0	53716	2586	406	5297	13019	70	2237	16	53716	2586	406	5297	13019	70		
Asta: 5	5	0,00	2	-377	426	159	-134	177	0	53715	2586	406	5297	13019	70	2237	56	53715	2586	406	5297	13019	70		
Instab. d=	240,0	[7]=	166,0	-336	444	32	cl= 1	u= 1,00	lmd= 69	Rpl= 27	Rfl= 30	Wtmax/wl/m=	2,9	0,7	9,6	mm									
Sec.N. 649	1	2,40	2	-6	174	43	2	8	0	51973	2456	2456	13407	13407	2203	2236	9	51973	2456	2456	13407	13407	2203		
TUBOQ150*1	qn=	-18	2	-6	176	42	2	-1	0	51973	2456	2456	13407	13407	2203	2236	9	51973	2456	2456	13407	13407	2203		
Asta: 6	2	2,40	2	-6	-157	29	2	-110	0	51971	2456	2456	13407	13407	2203	2236	8	51971	2456	2456	13407	13407	2203		
Instab. d=	650,0	[7]=	455,0	-6	132	37	cl= 1	u= 1,00	lmd= 76	Rpl= 7	Rfl= 0	Wtmax/wl/m=	4,0	1,9	26,0	mm									
Sec.N. 649	2	2,40	4	26	-223	-4	-6	121	0	51971	2456	2456	13407	13407	2203	2236	9	51971	2456	2456	13407	13407	2203		
TUBOQ150*1	qn=	-18	4	26	179	50	-6	0	0	51973	2456	2456	13407	13407	2203	2236	9	51973	2456	2456	13407	13407	2203		
Asta: 7	3	2,40	3	-30	-296	-40	2	-109	-1	51971	2456	2456	13407	13407	2203	2236	14	51971	2456	2456	13407	13407	2203		
Instab. d=	700,0	[7]=	490,0	-30	223	34	cl= 1	u= 1,00	lmd= 62	Rpl= 11	Rfl= 0	Wtmax/wl/m=	2,9	0,4	26,0	mm									
Sec.N. 649	3	2,40	5	-30	-296	-40	-2	109	1	51971	2456	2456	13407	13407	2203	2236	14	51971	2456	2456	13407	13407	2203		
TUBOQ150*1	qn=	-18	2	26	179	50	8	-1	0	51973	2456	2456	13407	13407	2203	2236	9	51973	2456	2456	13407	13407	2203		
Asta: 8	4	2,40	2	26	-223	-4	8	-121	0	51971	2456	2456	13407	13407	2203	2236	9	51971	2456	2456	13407	13407	2203		
Instab. d=	700,0	[7]=	490,0	-30	223	34	cl= 1	u= 1,00	lmd= 62	Rpl= 11	Rfl= 0	Wtmax/wl/m=	2,9	0,4	26,0	mm									
Sec.N. 649	4	2,40	4	-6	-157	29	-2	110	0	51971	2456	2456	13407	13407	2203	2236	8	51971	2456	2456	13407	13407	2203		
TUBOQ150*1	qn=	-18	4	-6	176	42	-2	0	0	51973	2456	2456	13407	13407	2203	2236	9	51973	2456	2456	13407	13407	2203		
Asta: 9	5	2,40	4	-6	174	43	-2	-8	0	51973	2456	2456	13407	13407	2203	2236	9	51973	2456	2456	13407	13407	2203		
Instab. d=	650,0	[7]=	455,0	-6	132	37	cl= 1	u= 1,00	lmd= 76	Rpl= 7	Rfl= 0	Wtmax/wl/m=	4,0	1,9	26,0	mm									
STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - FATTORI DI COMPORTAMENTO DEGLI ELEMENTI																									
IDENTIFICATIVO					DIREZIONE X				DIREZIONE Y				IDENTIFICATIVO					DIREZIONE X				DIREZIONE Y			
Asta 3D	Nodo In.	Nodo Fin.	File Iniz.	File Fin.	QuoIn (m)	QuoFl (m)	Fattore 'a' Tagl.	Fattore 'a' Fless.	Fattore 'a' Tagl.	Fattore 'a' Fless.			Asta 3D	Nodo In.	Nodo Fin.	File Iniz.	File Fin.	QuoIn (m)	QuoFl (m)	Fattore 'a' Tagl.	Fattore 'a' Fless.	Fattore 'a' Tagl.	Fattore 'a' Fless.		
1	10	1	1	1	2,40	0,00	1,50	1,50	1,50	1,50			2	6	2	2	2	2,40	0,00	1,50	1,50	1,50	1,50		
3	7	3	3	3	2,40	0,00	1,50	1,50	1,50	1,50			4	8	4	4	4	2,40	0,00	1,50	1,50	1,50	1,50		
5	9	5	5	5	2,40	0,00	1,50	1,50	1,50	1,50			6	10	6	1	2	2,40	2,40	1,50	1,50	1,50	1,50		
7	6	7	2	3	2,40	2,40	1,50	1,50	1,50	1,50			8	7	8	3	4	2,40	2,40	1,50	1,50	1,50	1,50		
9	8	9	4	5	2,40	2,40	1,50	1,50	1,50	1,50															

6 CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI

Tali profili vengono classificati in accordo con le prescrizioni del **paragrafo 4.2.3.1 – Classificazione delle sezioni del DM 17/01/2018**, delle **Tabelle 4.2.III – Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse** e del **paragrafo C4.2.12.1.4 – Classificazione delle sezioni, instabilità locale e distorsione delle sezioni trasversali della Circolare Ministeriale n° 7 del 21/01/2019**

Le sezioni trasversali si classificano in funzione della loro capacità rotazionale.



## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

Tab. 4.2.88 - 3 classi di resistenza a flessione secondo le norme per l'acciaio

Parti soggette a flessione			
Classe	Parti soggette a flessione	Parti soggette a compressione	Parti soggette a trazione e a compressione
1			
2			
3			
4			

Figura 4.2.88 - 3 classi di resistenza a flessione secondo le norme per l'acciaio

Dalla classificazione risulta che il profilo **Tubo Quadro 120\*120\*3 E OMEGA 65x30x25** sono di classe 3, mentre il profilo HEA160 è di classe 1.

## 7 VERIFICHE DEI COLLEGAMENTI

Per tutte le unioni si utilizzeranno bulloni ad alta resistenza ed in particolare:

**Viti classe 8.8**

**Dadi classe 8G**

conformi con le caratteristiche di resistenza della **Tabella 11.3. XIIb** del **paragrafo 11.3.4.6.**

**Bulloni e chiodi del DM 17/01/2018**

Tab. 11.3.XIII.b

Classe	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	320	300	400	480	640	900
$f_{tb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	400	500	500	600	800	1000

La resistenza di calcolo a taglio dei bulloni viene definita in accordo con le prescrizioni del

**paragrafo 4.2.8.1.1 Unioni con bulloni e chiodi del DM 17/01/2018** con la formulazione

$$F_{v,Rd} = 0.6 \frac{f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{m2}}$$

dove

$f_{tb}$  indica la resistenza a rottura del materiale impiegato

$A_{res}$  indica l'area resistente della vite e si adotta quando il piano di taglio interessa la parte filettata della vite

$\gamma_{m2}$  è un coefficiente di sicurezza definito dalla **Tabella 4.2.XII del paragrafo 4.2.8.1.1 Unione con bulloni e chiodi del DM 17/01/2018**

La resistenza di calcolo a rifollamento  $F_{b,Rd}$  del piatto dell'unione, bullonata o chiodata, può essere definita in accordo con la formula presente al **paragrafo C4.12.2.6.4.1 Bulloni soggetti a taglio della Circolare Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7- "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" (Gazzetta Ufficiale 11/2/2019, n. 35 - Suppl. ord. n. 5)"** ,

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot k_t \cdot \alpha_b \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{m2}}$$

dove

$f_{tk}$  indica la resistenza a rottura del materiale impiegato

$\alpha_b$  in cui i simboli sono indicati nella figura seguente presente nel **paragrafo C4.12.2.6 Unioni della Circolare Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7- "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”»**

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

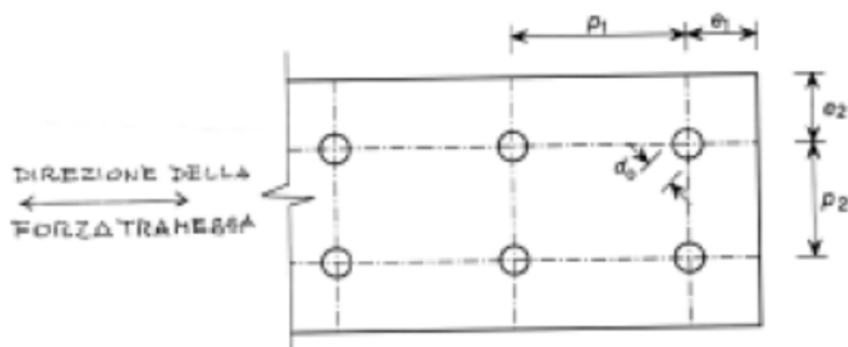


Figura C4.2.34 – Parametri significativi per i collegamenti

$$k_t = \frac{0,8t + 1,5}{2,5} \text{ per } t \leq 1,25\text{mm}$$

$$k_t = 1 \text{ per } t > 1,25\text{mm}$$

$\gamma_{m2}$  è un coefficiente di sicurezza definito dalla **Tabella 4.2.XII** del **paragrafo 4.2.8.1.1**

**Unione con bulloni e chiodi del DM 17/01/2018.**

## 8 SOFTWARE UTILIZZATI – TIPO DI ELABORATORE

### Tipo Analisi svolta

- Tipo di analisi e motivazione

L'analisi per le combinazioni delle azioni permanenti e variabili è stata condotta in regime elastico lineare.

Per quanto riguarda le azioni sismiche, tenendo conto che la struttura è di limitata altezza, approssimativamente simmetrica nelle due direzioni e che i modi superiori sono trascurabili, si è optato per l'analisi statica lineare equivalente con spettro elastico di progetto e fattore di struttura. Nell'analisi sono state considerate le eccentricità accidentali pari al 5% della dimensione della struttura nella direzione trasversale al sisma.

- Metodo di risoluzione della struttura

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

La struttura è stata modellata con il metodo degli elementi finiti utilizzando vari elementi di libreria specializzati per schematizzare i vari elementi strutturali.

Nel modello sono stati tenuti in conto i disassamenti tra i vari elementi strutturali schematizzandoli come vincoli cinematici rigidi. La presenza di eventuali orizzontamenti e' stata tenuta in conto o con vincoli cinematici rigidi. I vincoli tra i vari elementi strutturali e quelli con il terreno sono stati modellati in maniera congruente al reale comportamento strutturale.

I legami costitutivi utilizzati nelle analisi globali finalizzate al calcolo delle sollecitazioni sono del tipo elastico lineare.

- Metodo di verifica sezionale

Le verifiche sono state condotte con il metodo degli stati limite (SLU e SLE) utilizzando i coefficienti parziali della normativa di cui al DM 17/01/2018.

Per le verifiche sezionali degli elementi in acciaio è stato utilizzato il seguente legame:  
Legame elastico perfettamente plastico o incrudente a duttilità limitata

- Combinazioni di carico adottate

Le combinazioni di calcolo considerate sono quelle previste dal DM 17/01/2018 per i vari stati limite e per le varie azioni e tipologie costruttive. In particolare, ai fini delle verifiche degli stati limite, sono state considerate le combinazioni delle azioni di cui al § 2.5.3 delle NTC 2018, per i seguenti casi di carico:

SLO	NO
SLD	SI
SLV	SI
SLC	NO
Combinazione Rara	NO
Combinazione frequente	NO
Combinazione quasi permanente	NO
SLU terreno A1 – Approccio 1/ Approccio 2	SI-CON NTC18 SOLO APPROCCIO 2
SLU terreno A2 – Approccio 1	NON PREVISTA DALLE NTC18

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

- Motivazione delle combinazioni e dei percorsi di carico

Il progettista ha verificato che le combinazioni prese in considerazione per il calcolo sono sufficienti a garantire il soddisfacimento delle prestazioni sia per gli stati limite ultimi che per gli stati limite di esercizio. Le combinazioni considerate ai fini del progetto tengono infatti in conto le azioni derivanti dai pesi propri, dai carichi permanenti, dalle azioni variabili, dalle azioni termiche e dalle azioni sismiche combinate utilizzando i coefficienti parziali previsti dalle NTC 2018 per le prestazioni di SLU ed SLE.

In particolare per le azioni sismiche si sono considerate le azioni derivanti dallo spettro di progetto ridotto del fattore  $q$  e le eccentricità accidentali pari al 5%. Inoltre le azioni sismiche sono state combinate spazialmente sommando al sisma della direzione analizzata il 30% delle azioni derivanti dal sisma ortogonale.

### Origine e Caratteristiche dei codici di calcolo

Produttore	S.T.S. srl
Titolo	CDSWin
Versione	Rel. 2020
Nro Licenza	33952

Ragione sociale completa del produttore del software:

S.T.S. s.r.l. Software Tecnico Scientifico S.r.l.

**Via Tre Torri n°11 – Complesso Tre Torri  
95030 Sant'Agata li Battiati (CT).**

L'affidabilità del codice utilizzato e la sua idoneità al caso in esame, è stata attentamente verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

La S.T.S. s.r.l., a riprova dell'affidabilità dei risultati ottenuti, fornisce direttamente on-line i test sui casi prova liberamente consultabili all'indirizzo:

<http://www.stsweb.it/area-utenti/test-validazione.html>

### Validazione dei codici

L'opera in esame non è di importanza tale da necessitare un calcolo indipendente eseguito con altro software da altro calcolista.

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

**Informazioni sull'elaborazione**

Il software è dotato di propri filtri e controlli di autodiagnostica che intervengono sia durante la fase di definizione del modello sia durante la fase di calcolo vero e proprio.

In particolare il software è dotato dei seguenti filtri e controlli:

- Filtri per la congruenza geometrica del modello generato
- Controlli a priori sulla presenza di elementi non connessi, interferenze, mesh non congruenti o non adeguate.
- Filtri sulla precisione numerica ottenuta, controlli su labilità o eventuali mal condizionamenti delle matrici, con verifica dell'indice di condizionamento.
- Controlli sulla verifiche sezionali e sui limiti dimensionali per i vari elementi strutturali in funzione della normativa utilizzata.
- Controlli e verifiche sugli esecutivi prodotti.
- Rappresentazioni grafiche di post-processo che consentono di evidenziare eventuali anomalie sfuggite all'autodiagnostica automatica.

In aggiunta ai controlli presenti nel software si sono svolti appositi calcoli su schemi semplificati, che si riportano nel seguito, che hanno consentito di riscontrare la correttezza della modellazione effettuata per la struttura in esame.

**Giudizio motivato di accettabilità**

Il software utilizzato ha permesso di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura utilizzando la libreria disponibile di elementi finiti.

Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello hanno consentito di controllare sia la coerenza geometrica che l'adeguatezza delle azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

Inoltre la visualizzazione ed interrogazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali: sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti e reazioni vincolari, hanno permesso un immediato controllo di tali valori con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati della struttura stessa.

Si è inoltre riscontrato che le reazioni vincolari sono in equilibrio con i carichi applicati, e che i valori dei taglianti di base delle azioni sismiche sono confrontabili con gli omologhi valori ottenuti da modelli SDOF semplificati.

Sono state inoltre individuate un numero di travi ritenute significative e, per tali elementi, è stata effettuata una apposita verifica a flessione e taglio.

## TROIA 2 – CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

Le sollecitazioni fornite dal solutore per tali travi, per le combinazioni di carico indicate nel tabulato di verifica del CDSWin, sono state validate effettuando gli equilibri alla rotazione e traslazione delle dette travi, secondo quanto meglio descritto nel calcolo semplificato, allegato alla presente relazione.

Si sono infine eseguite le verifiche di tali travi con metodologie semplificate e, confrontandole con le analoghe verifiche prodotte in automatico dal programma, si è potuto riscontrare la congruenza di tali risultati con i valori riportati dal software.

Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato tutte esito positivo.

Da quanto sopra esposto si può quindi affermare che il calcolo è andato a buon fine e che il modello di calcolo utilizzato è risultato essere rappresentativo della realtà fisica, anche in funzione delle modalità e sequenze costruttive.

## 9 PRESTAZIONI DI COLLAUDO

La struttura a collaudo dovrà essere conforme alle tolleranze dimensionali prescritte nella presente relazione, inoltre relativamente alle prestazioni attese esse dovranno essere quelle di cui al § 9 del D.M. 17.01.2018.

Ai fini della verifica delle prestazioni il collaudatore farà riferimento ai valori di tensioni, deformazioni e spostamenti desumibili dall'allegato fascicolo dei calcoli statici per il valore delle azioni pari a quelle di esercizio.

Firmato digitalmente da  
**Umberto Piacquadio**  
SerialNumber =  
TINIT-PCOMRT71M10Z112P  
C = IT

DocuSigned by:  
**Ismael Beltran**  
EA765E45E38E477...