

**REGIONE  
PUGLIA**



Provincia di Lecce



Comune di Nardò

Committente:

**SUNCO SUN YELLOW SRL**

Via Melchiorre Gioia, 8 - 20124 Milano - Italy  
pec: suncosunyellowsr@legalmail.it

**SUNCO.  
CAPITAL**

**PROGETTO DEFINITIVO**

Denominazione progetto:

**REALIZZAZIONE IMPIANTO AGRIVOLTAICO  
"MASSERIA SCIANNE"**

Potenza nominale complessiva = 30.722,4 kWp

Sito in:

**COMUNE DI NARDO' (LE)**

Titolo elaborato:

**Relazione preliminare di calcolo delle strutture**



Elaborato T-CST0

Scala -

Responsabile Coordinamento progetto : dott.ssa agr. Eliana Santoro

TIMBRI E FIRME:

Progettisti :



Collaboratori :

**Flyren Development S.r.l.**  
Lungo Po Antonelli, 21 - 10153 Torino (TO)  
tel: 011/ 8123575 - fax: 011/ 8127528  
email: info@flyren.eu  
web: www.flyren.eu  
C.F. / P. IVA n. 12062400010



REV.:	REDAZIONE:	CONTROLLO:	APPROVAZIONE :	DATA:
00	M. Aires	L. Conti	ing. Massimiliano Marchica	01/02/2024
01				
02				
03				
04				
05				

FIRMA/TIMBRO  
COMMITTENTE:

**SUNCO.  
CAPITAL**



**Flyren Development S.r.l.**  
Lungo Po Antonelli, 21 - 10153 Torino (TO)  
tel: 011/ 8123575 - fax: 011/ 8127528  
email: info@flyren.eu  
web: www.flyren.eu  
C.F. / P. IVA n. 12062400010

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 1 di 57

# SOMMARIO

<b>PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
<b>1. NORMATIVE</b> .....	<b>3</b>
<b>2. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b> .....	<b>3</b>
<b>3. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEI MODULI FOTOVOLTAICI</b> .....	<b>3</b>
<b>4. AZIONI AGENTI SUI MODULI FOTOVOLTAICI</b> .....	<b>6</b>
<b>4.1. AZIONE DEL VENTO</b> .....	<b>6</b>
<b>4.2. AZIONE DELLA NEVE</b> .....	<b>8</b>
<b>4.3. AZIONE SISMICA</b> .....	<b>10</b>
<b>5. CARATTERISTICHE PROGRAMMA DI CALCOLO</b> .....	<b>11</b>
<b>5.1. DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA SISMICAD</b> .....	<b>11</b>
<b>5.2. VERIFICA DELLE MEMBRATURE IN ACCIAIO</b> .....	<b>12</b>
<b>6. PREDIMENSIONAMENTO DEI PALI DI FONDAZIONE</b> .....	<b>13</b>
<b>6.1. FORZE DI CALCOLO AGENTI SULLE FONDAZIONI</b> .....	<b>13</b>
<b>6.2. VERIFICHE PRELIMINARI DEI PALI</b> .....	<b>14</b>
<b>7. ALLEGATO 01 - DATI DI DEFINIZIONE STRUTTURE PANNELLI FOTOVOLTAICI</b> .....	<b>15</b>
<b>7.1. DATI DI DEFINIZIONE</b> .....	<b>16</b>
7.1.1. SPETTRI D.M. 17-01-18 .....	16
7.1.2. PREFERENZE DI VERIFICA .....	20
7.1.3. PREFERENZE FEM .....	20
7.1.4. MULTIPLICATORI INERZIALI .....	21
7.1.5. PREFERENZE DI ANALISI NON LINEARE FEM .....	21
7.1.6. PREFERENZE DI ANALISI CARICHI SUPERFICIALI .....	21
7.1.7. PREFERENZE DEL SUOLO .....	21
<b>7.2. QUOTE</b> .....	<b>23</b>
7.2.1. LIVELLI .....	23
7.2.2. FALDE .....	23
7.2.3. TRONCHI .....	23
<b>8. ALLEGATO 02 - SEZIONI E MATERIALI</b> .....	<b>24</b>
<b>8.1. DATI GENERALI</b> .....	<b>25</b>
8.1.1. MATERIALI .....	25
8.1.1.1. Acciai .....	25
<b>8.2. SEZIONI</b> .....	<b>27</b>
8.2.1. SEZIONI IN ACCIAIO .....	27
<b>9. ALLEGATO 03 - VERIFICHE STRUTTURE DI SOSTEGNO PANNELLI FOTOVOLTAICI</b> .....	<b>30</b>
<b>9.1. VERIFICHE</b> .....	<b>31</b>
9.1.1. VERIFICHE SUPERELEMENTI ASTE ACCIAIO LAMINATE .....	31
<b>9.2. VERIFICHE VELA IN POSIZIONE ORIZZONTALE</b> .....	<b>33</b>
9.2.1. SUPERELEMENTO IN ACCIAIO "FONDAZIONE" - "TESTA MONTANTE" FILO 30 .....	33
9.2.2. SUPERELEMENTO IN ACCIAIO A "TESTA MONTANTE" 8-30 .....	36
9.2.3. SUPERELEMENTO IN ACCIAIO A "TESTA MONTANTE" 21-22 .....	39
9.2.4. SUPERELEMENTO IN ACCIAIO A "TESTA MONTANTE" 22-23 .....	42
<b>9.3. VERIFICHE VELA IN POSIZIONE INCLINATA</b> .....	<b>45</b>
9.3.1. SUPERELEMENTO IN ACCIAIO "FONDAZIONE" - "TESTA MONTANTE" FILO 29 .....	45
9.3.2. SUPERELEMENTO IN ACCIAIO A "TESTA MONTANTE" 21-29 .....	48
9.3.3. SUPERELEMENTO IN ACCIAIO A "TESTA MONTANTE" - "122" 26-46 .....	51
9.3.4. SUPERELEMENTO IN ACCIAIO A "352" - "TESTA MONTANTE" 7-26 .....	54
<b>10. ALLEGATO 04 - VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI</b> .....	<b>57</b>

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CST0	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 2 di 57

## Premessa

Il progetto in questione prevede la realizzazione, attraverso la società di scopo SUNCO SUN YELLOW S.r.L., di un impianto di produzione energetica sostenibile da fonte solare. L'impianto sarà realizzato su di un lotto di terreno sito nel Comune di Nardò (LE) – località Masseria Scianne.

La tecnologia impiantistica prevede l'installazione di moduli fotovoltaici bifacciali che saranno installati su strutture mobili (tracker) di tipo monoassiale mediante palo infisso nel terreno.

Le strutture saranno posizionate in maniera da consentire l'eventuale sfruttamento agricolo ottimale del terreno. Le strutture presentano un passo di 12,00 mt. per consentire la coltivazione e garantire la giusta illuminazione al terreno, mentre i pannelli sono distribuiti in maniera da limitare al massimo l'ombreggiamento. Sarà utilizzata una sola tipologia di strutture da 30 moduli.

Il terreno interessato dall'intervento, situato nella zona centro - settentrionale del territorio comunale, è collocato in un'area ad uso agricolo: il progetto in esame prevede la realizzazione di un impianto esteso su una superficie pari a 58 ettari circa, collegato mediante un cavidotto interrato di 3,8 km circa alla linea di distribuzione elettrica.

La presente relazione ha come scopo il predimensionamento delle strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici e delle relative opere di fondazione.

La tecnologia impiantistica prevede l'installazione di moduli fotovoltaici bifacciali che saranno installati su strutture mobili (tracker) di tipo monoassiale mediante palo infisso nel terreno.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 3 di 57

## 1. Normative

**D.M. LL. PP. 11-03-88:** Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

**Circolare Ministeriale del 24-07-88, n. 30483/STC.**

**Legge 02-02-74 n. 64, art. 1 - D.M. 11-03-88:** Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

**Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18:** Sicurezza e prestazioni attese (cap.2), Azioni sulle costruzioni (cap.3), Costruzioni in calcestruzzo (par.4.1), Costruzioni in legno (par.4.4), Costruzioni in muratura (par.4.5), Progettazione geotecnica (cap.6), Progettazione per azioni sismiche (cap.7), Costruzioni esistenti (cap.8), Riferimenti tecnici (cap.12), EC3.

**Circolare 7 21-01-19 C.S.LL.PP:** Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle N.T.C. di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

**Eurocodice 3 UNI ENV 1993-1-1:1994, Eurocodice 3 UNI EN 1993-1-1:2014 Luglio 2014, Eurocodice 3 UNI ENV 1993-1-3:2000, Eurocodice 3 UNI EN 1993-1-3:2007 Gennaio 2007, Eurocodice 3 EN 1993-1-8:2005**

## 2. Caratteristiche dei Materiali

Le caratteristiche dei materiali impiegati nei calcoli sono le seguenti:

- Acciaio strutturale per strutture di sostegno pannelli fotovoltaici: S235

## 3. Caratteristiche Geometriche dei Moduli Fotovoltaici

I moduli fotovoltaici previsti nel sito di progetto sono costituiti da pannelli fotovoltaici di dimensioni indicative 1303 mm x 2384mm predisposti lungo il lato corto su doppia fila. Il portale adottato presenta uno sviluppo complessivo pari a 20,55 mt mentre la parte interessata dalla posa dei pannelli fotovoltaici presenta uno sviluppo complessivo pari a 20,50 mt per un numero complessivo di pannelli pari a 30. La vela così ottenuta risulta del tipo mobile con una inclinazione variabile da 0° a 60°. Si adotta una sola tipologia di portale al fine di ottimizzare al massimo l'efficienza dell'impianto.

L'altezza massima dei montanti risulta pari a 252,7 cm. Nella posizione con vela inclinata (inclinazione 60°) l'altezza da terra del punto più basso della struttura risulta essere di 0,494 mt con un'altezza massima della vela di 4,761 mt. [rif. Figura 1: Geometria portale di sostegno pannelli fotovoltaici; Figura 2: Sezione trasversale portale].

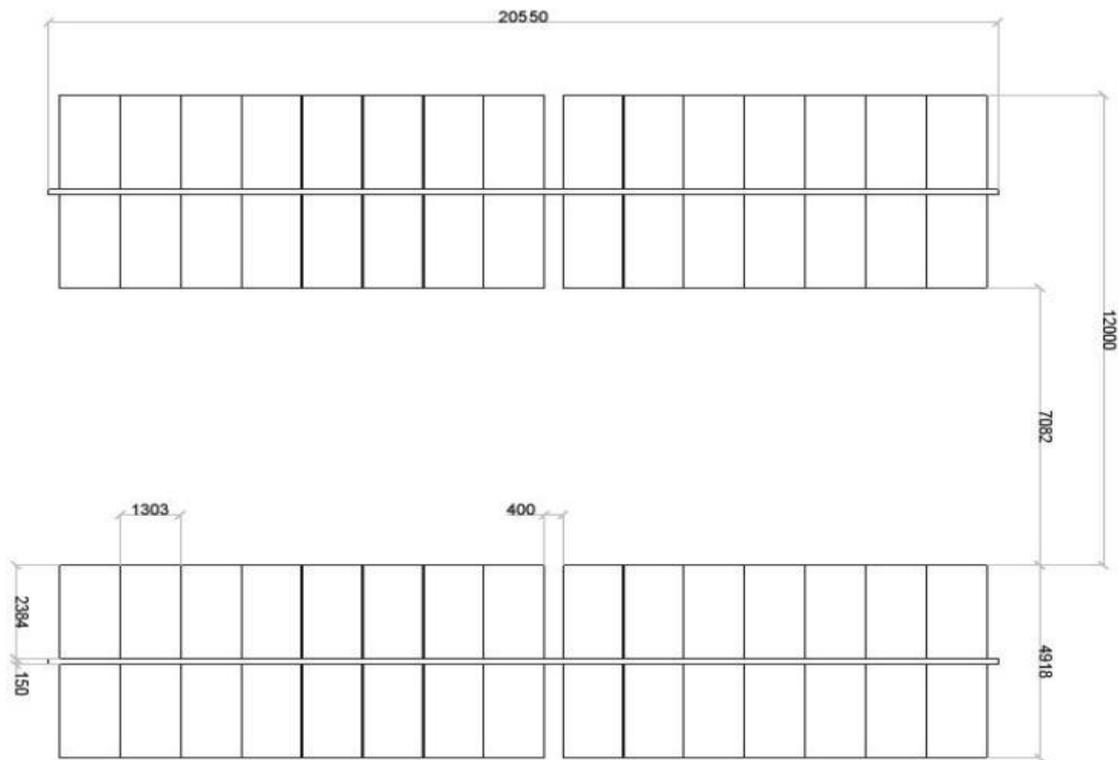


Figura 1. Geometria del portale di sostegno pannelli fotovoltaici

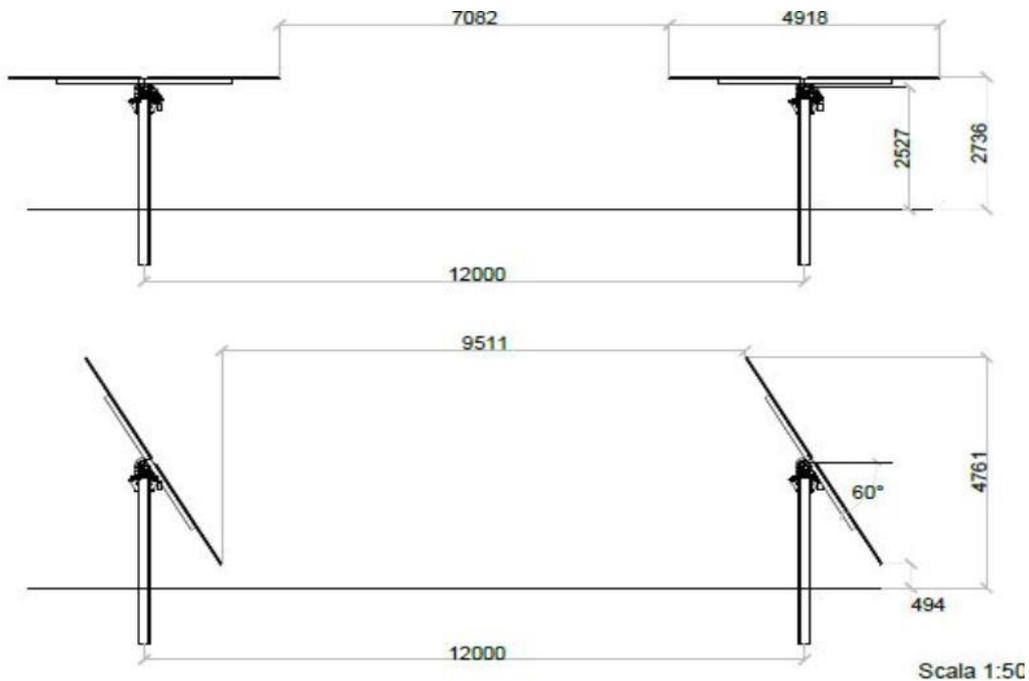
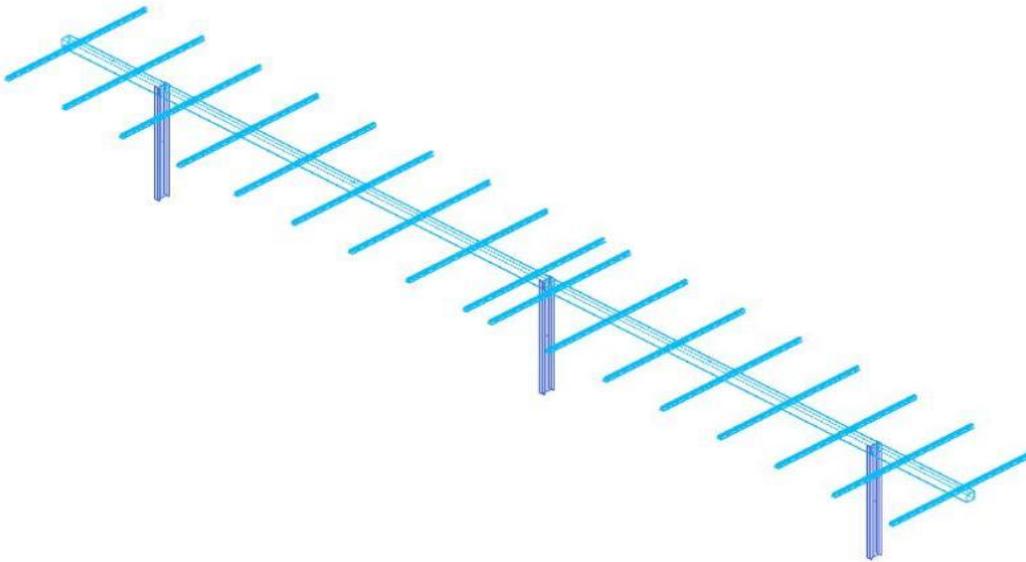


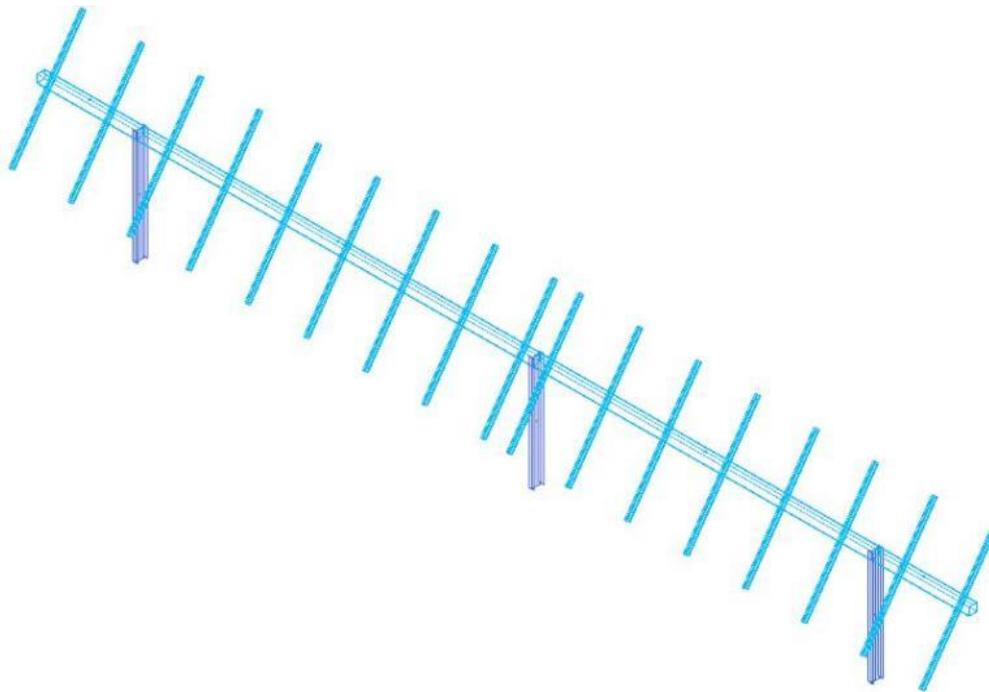
Figura 2. Sezione trasversale portale

La fondazione della struttura di sostegno dei pannelli fotovoltaici sarà costituita da profili in acciaio infissi nel terreno per una profondità minima come da verifiche nel seguito riportate e comunque tale da garantire la stabilità della "vela" costituita dall'insieme dei pannelli e della struttura a sostegno.

Lo schema statico utilizzato per le verifiche, che presenta caratteristiche tecnico-costruttive analoghe a quelle desumibili dai prodotti commerciali più comunemente utilizzati per impianti FV simili a quello in oggetto, risulta essere il seguente:



**Figura 3.** Vista assonometrica modello strutturale con posizione della "vela" orizzontale



**Figura 4.** Vista assonometrica modello strutturale con posizione della "vela" inclinata di 60°

La struttura di sostegno dei pannelli mobile è costituita dai seguenti profilati riportati in Tabella 1

**Tabella 1** – Dati geometrici profili in acciaio struttura di sostegno pannelli

Elemento	Sezione	Materiale
Montanti	IPE 220	Acciaio S235
Traversi	Tubi rettangolari 180x180x8 [dimensioni in mm]	Acciaio S235

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 6 di 57

Elementi di sostegno pannelli	Profili OMEGA 80x40x25x3 [dimensioni in mm]	Acciaio S235
-------------------------------	--	--------------

Il portale in progetto presenta tre montanti con interassi pari a 8,74 mt e 7,48 mt.

## 4. Azioni agenti sui moduli fotovoltaici

### 4.1. Azione del Vento

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando effetti dinamici.

Per le costruzioni tali azioni sono generalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti descritte in seguito.

#### Velocità di Riferimento

La determinazione dell'azione del vento sulla costruzione parte dall'individuazione della velocità di riferimento  $v_b$ , definita come il valore caratteristico della velocità misurata a 10 metri dal suolo su un intervallo di tempo di 10 minuti del vento; tale velocità corrisponde ad un periodo di ritorno di  $T = 50$  anni.

Otterremo quindi, dai dati forniti dalla tabella relativa i parametri di macrozonazione per il vento, tratta dalle "Norme tecniche per le costruzioni", il seguente valore:

**$v_b = 27$  m/s** (valore per la ZONA 3)

#### Coefficiente di esposizione (microzonazione)

Il coefficiente di esposizione  $C_e$  dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge l'impianto fotovoltaico.

Per altezze sul suolo non maggiori di  $z = 200$  m, esso è dato dalla seguente formula:

- $C_e(z) = C_e(z_{min})$  per  $z < z_{min}$
- $C_e(z) = k_{r2} * C_t * \ln(z/z_0) * [7 + C_t * \ln(z/z_0)]$  per  $z \geq z_{min}$

dove  $k_r$ ,  $z_0$  e  $z_{min}$  sono assegnati nella seguente tabella:

**Tabella 2.** Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

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

In mancanza di analisi specifiche che tengano conto sia della direzione di provenienza del vento sia delle variazioni di rugosità e topografia del terreno, la categoria di esposizione è assegnata in funzione della posizione geografica dell'area di progetto e della classe di rugosità definita nella tabella seguente.

**Tabella 3.** Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

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 metri
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, ...)

Prendendo atto che il sito è caratterizzato da classe di rugosità D e in prossimità della costa, per la Zona 1 le tabelle delle "Norme tecniche per le costruzioni" ci indicano, per l'area di progetto, una categoria di esposizione di classe I.

Dalle curve per il calcolo del coefficiente di esposizione contenute nelle "Norme tecniche per le costruzioni" si giunge quindi alla conclusione che  $C_e$  risulterà pari a 1,91 nel punto più alto, ovvero 4,761 mt con vela inclinata di 60°, e 1,80 lungo lo sviluppo del montante.

### **Coefficiente dinamico**

Il coefficiente dinamico  $C_d$  tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura.

Esso, nel caso in oggetto, può essere assunto pari a 1.

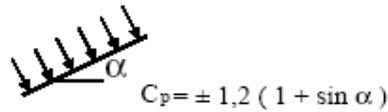
### **Coefficiente di Forma**

Il coefficiente di forma  $C_p$  è stato determinato considerando che la vela può essere assimilata a una tettoia o pensilina ad un solo spiovente piano con angolo di inclinazione pari a 60°.

$$C_p = \pm 1.2 (1 + \sin \alpha)$$

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 8 di 57

Uno spiovente piano



Esso, nel caso in oggetto, può essere assunto pari a  $\pm 2,24$ .

### Pressione cinetica di riferimento

La pressione cinetica di riferimento  $q_b$  è data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho * (v_b)^2$$

dove:

- $v_b$  è la velocità di riferimento del vento [m/s]
- $\rho$  è la densità dell'aria che può essere assunta pari a  $1,25 \text{ Kg/m}^3$

Nel nostro caso avremo  **$q_b = 456,29 \text{ N/mq}$** .

### Pressione del Vento

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_b * c_e * c_p * c_d$$

dove:

- $q_b$  è la pressione cinetica di riferimento [N/m<sup>2</sup>]
- $c_e$  è il coefficiente di esposizione
- $c_d$  è il coefficiente dinamico
- $c_p$  è il coefficiente di forma

Nel nostro caso avremo un valore  **$p = \pm 1,79 \text{ kN/m}^2$** .

### Azioni statiche equivalenti.

Le azioni statiche del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono l'impianto.

L'azione del vento sul singolo elemento, scomposta secondo la direzione verticale e orizzontale, viene determinata considerando la condizione più gravosa della pressione agente sulla superficie esterna o della pressione agente sulla superficie interna dell'elemento incrementando la pressione esercitata dal vento.

## **4.2. Azione della neve**

Il carico provocato dalla neve sui pannelli sarà valutato mediante la seguente espressione:

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

dove:

- $q_s$  è il carico neve sulla copertura
- $\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura
- $q_{sk}$  è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m<sup>2</sup>] per un periodo di ritorno di 50 anni

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 9 di 57

- CE è il coefficiente di esposizione
- Ct è il coefficiente termico

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

### **Valore caratteristico del carico neve al suolo**

Il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

Per la determinazione del carico neve si fa riferimento ai seguenti valori, indicativi per la zona nella quale ricade l'area di progetto:

- $q_{sk} = 1,00 \text{ [kN/m}^2\text{]}$   $as \leq 200 \text{ m}$
- $q_{sk} = 0,85 * [1 + (as / 481)^2] \text{ [kN/m}^2\text{]}$   $as \geq 200 \text{ m}$

dove as rappresenta la quota sul livello del mare.

Per il sito in esame si ha un valore di  $q_{sk}$  pari a **1,00kN/m<sup>2</sup>**.

### **Coefficiente di esposizione**

Il coefficiente di esposizione CE può essere utilizzato per modificare il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'impianto.

Valori consigliati del coefficiente di esposizione per diverse classi di topografia sono forniti nella tabella seguente. Nel caso in questione si assegna a CE un valore pari a 0,9.

**Tabella 4.** Valori di Ce per diverse classi di topografia

Topografia	Descrizione	C <sub>E</sub>
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati senza costruzioni o alberi più alti	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o accerchiata da costruzioni o alberi più bassi	1,1

### **Coefficiente Termico**

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione.

Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. Nel caso in esame viene utilizzato CT = 1

### **Coefficiente di Forma**

Il coefficiente di forma  $\mu_i$ , determinato in riferimento all'angolo formato dai moduli con l'orizzontale. Considerando che i pannelli risultano fissi rispetto all'orizzontale con inclinazione di 25° si è determinato un valore  $\mu_i$  pari a 0,80.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 10 di 57

### Calcolo del Carico Neve

Considerando tutti i parametri utili al calcolo del carico neve, definito in precedenza dalla formula:

$$q_s = \mu_i * q_{sk} * CE * Ct$$

avremo un valore di pari a **0,72 kN/m2**.

### 4.3. Azione Sismica

Ai fini dell'analisi sismica i parametri utilizzati per la determinazione dell'azione sismica sono:

<b>Metodo di analisi</b>	D.M. 17-01-18 (N.T.C.)
<b>Tipo di costruzione</b>	2 - Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari
<b>Vn</b>	50
<b>Classe d'uso</b>	II
<b>Vr</b>	50
<b>Tipo di analisi</b>	Lineare statica
<b>Considera sisma Z</b>	Solo se $A_g \geq 0.15 g$ , conformemente a §3.2.3.1
<b>Località</b>	Lecce, Nardò, Corsari; Latitudine ED50 40,2386° (40° 14' 19"); Longitudine ED50 17,9754° (17° 58' 31"); Altitudine s.l.m. 41,18 m
<b>Categoria del suolo</b>	<b>A</b> – Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi
<b>Categoria topografica</b>	T1 - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>Ss orizzontale SLD</b>	1
<b>Tb orizzontale SLD</b>	0.077 [s]
<b>Tc orizzontale SLD</b>	0.23 [s]
<b>Td orizzontale SLD</b>	1.682 [s]
<b>Ss orizzontale SLV</b>	1
<b>Tb orizzontale SLV</b>	0.173 [s]
<b>Tc orizzontale SLV</b>	0.519 [s]
<b>Td orizzontale SLV</b>	1.805 [s]
<b>St</b>	1
<b>PVr SLD (%)</b>	63
<b>Tr SLD</b>	50
<b>Ag/g SLD</b>	0.0204
<b>Fo SLD</b>	2.36
<b>Tc* SLD</b>	0.23 [s]
<b>PVr SLV (%)</b>	10
<b>Tr SLV</b>	475
<b>Ag/g SLV</b>	0.0519
<b>Fo SLV</b>	2.468
<b>Tc * SLV</b>	0.519

Gli spettri di risposta utilizzati per le verifiche sismiche conseguenti alle assunzioni sopra evidenziate sono riportati in "ALLEGATO 1 – Dati di definizione delle strutture"

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 11 di 57

## 5. CARATTERISTICHE PROGRAMMA DI CALCOLO

### 5.1. Descrizione del Programma Sismicad

Si tratta di un programma di calcolo strutturale che nella versione più estesa è dedicato al progetto e verifica degli elementi in cemento armato, acciaio, muratura e legno di opere civili. Il programma utilizza come analizzatore e solutore del modello strutturale un proprio solutore agli elementi finiti tridimensionale fornito col pacchetto. Il programma è sostanzialmente diviso in tre moduli: un pre processore che consente l'introduzione della geometria e dei carichi e crea il file dati di input al solutore; il solutore agli elementi finiti; un post processore che a soluzione avvenuta elabora i risultati eseguendo il progetto e la verifica delle membrature e producendo i grafici ed i tabulati di output.

Denominazione del software: Sismicad 12.22

Produttore del software: Concrete

Concrete srl, via della Pieve, 19, 35121 PADOVA - Italy

<http://www.concrete.it>

Rivenditore: CONCRETE SRL - Via della Pieve 19 - 35121 Padova - tel.049-8754720

Versione: 12.22

Identificatore licenza: SW-8672175

Intestatario della licenza: AIRES ING. MAURO - VIA G. VERDI, 40 - COLLEGNO (TO)

Versione regolarmente licenziata

Il programma schematizza la struttura attraverso l'introduzione nell'ordine di fondazioni, poste anche a quote diverse, platee, platee nervate, plinti e travi di fondazione poggianti tutte su suolo elastico alla Winkler, di elementi verticali, pilastri e pareti in c.a. anche con fori, di orizzontamenti costituiti da solai orizzontali e inclinati (falde), e relative travi di piano e di falda; è ammessa anche l'introduzione di elementi prismatici in c.a. di interpiano con possibilità di collegamento in inclinato a solai posti a quote diverse. I nodi strutturali possono essere connessi solo a travi, pilastri e pareti, simulando così impalcati infinitamente deformabili nel piano, oppure a elementi lastra di spessore dichiarato dall'utente simulando in tal modo impalcati a rigidità finita. I nodi appartenenti agli impalcati orizzontali possono essere connessi rigidamente ad uno o più nodi principali giacenti nel piano dell'impalcato; generalmente un nodo principale coincide con il baricentro delle masse. Tale opzione, oltre a ridurre significativamente i tempi di elaborazione, elimina le approssimazioni numeriche connesse all'utilizzo di elementi lastra quando si richiede l'analisi a impalcati infinitamente rigidi. Per quanto concerne i carichi, in fase di immissione dati, vengono definite, in numero a scelta dell'utente, condizioni di carico elementari le quali, in aggiunta alle azioni sismiche e variazioni termiche, vengono combinate attraverso coefficienti moltiplicativi per fornire le combinazioni richieste per le verifiche successive. L'effetto di disassamento delle forze orizzontali, indotto ad esempio dai torcenti di piano per costruzioni in zona sismica, viene simulato attraverso l'introduzione di eccentricità planari aggiuntive le quali costituiscono ulteriori condizioni elementari di carico da cumulare e combinare secondo i criteri del paragrafo precedente. Tipologicamente sono ammessi sulle travi e sulle pareti carichi uniformemente distribuiti e carichi trapezoidali; lungo le aste e nei nodi di incrocio delle membrature sono anche definibili componenti di forze e coppie concentrate comunque dirette nello spazio. Sono previste distribuzioni di temperatura, di intensità a scelta dell'utente, agenti anche su singole porzioni di struttura. Il calcolo delle sollecitazioni si basa sulle seguenti ipotesi e modalità: - travi e pilastri deformabili a sforzo normale, flessione deviata, taglio deviato e momento torcente. Sono previsti coefficienti riduttivi dei momenti di inerzia a scelta dell'utente

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 12 di 57

per considerare la riduzione della rigidità flessionale e torsionale per effetto della fessurazione del conglomerato cementizio. È previsto un moltiplicatore della rigidità assiale dei pilastri per considerare, se pure in modo approssimato, l'accorciamento dei pilastri per sforzo normale durante la costruzione. - le travi di fondazione su suolo alla Winkler sono risolte in forma chiusa tramite uno specifico elemento finito; - le pareti in c.a. sono analizzate schematizzandole come elementi lastra-piastra discretizzati con passo massimo assegnato in fase di immissione dati; - le pareti in muratura possono essere schematizzate con elementi lastra-piastra con spessore flessionale ridotto rispetto allo spessore membranale.- I plinti su suolo alla Winkler sono modellati con la introduzione di molle verticali elastoplastiche. La traslazione orizzontale a scelta dell'utente è bloccata o gestita da molle orizzontali di modulo di reazione proporzionale al verticale. - I pali sono modellati suddividendo l'asta in più aste immerse in terreni di stratigrafia definita dall'utente. Nei nodi di divisione tra le aste vengono inserite molle assialsimmetriche elastoplastiche precaricate dalla spinta a riposo che hanno come pressione limite minima la spinta attiva e come pressione limite massima la spinta passiva modificabile attraverso opportuni coefficienti. - i plinti su pali sono modellati attraverso aste di rigidità elevata che collegano un punto della struttura in elevazione con le aste che simulano la presenza dei pali;- le piastre sono discretizzate in un numero finito di elementi lastra-piastra con passo massimo assegnato in fase di immissione dati; nel caso di platee di fondazione i nodi sono collegati al suolo da molle aventi rigidità alla traslazione verticale ed richiesta anche orizzontale.- La deformabilità nel proprio piano di piani dichiarati non infinitamente rigidi e di falde (piani inclinati) può essere controllata attraverso la introduzione di elementi membranali nelle zone di solaio. - I disassamenti tra elementi asta sono gestiti automaticamente dal programma attraverso la introduzione di collegamenti rigidi locali.- Alle estremità di elementi asta è possibile inserire svincolamenti tradizionali così come cerniere parziali (che trasmettono una quota di ciò che trasmetterebbero in condizioni di collegamento rigido) o cerniere plastiche.- Alle estremità di elementi bidimensionali è possibile inserire svincolamenti con cerniere parziali del momento flettente avente come asse il bordo dell'elemento.- Il calcolo degli effetti del sisma è condotto, a scelta dell'utente, con analisi statica lineare, con analisi dinamica modale o con analisi statica non lineare, in accordo alle varie normative adottate. Le masse, nel caso di impalcati dichiarati rigidi sono concentrate nei nodi principali di piano altrimenti vengono considerate diffuse nei nodi giacenti sull'impalcato stesso. Nel caso di analisi sismica vengono anche controllati gli spostamenti di interpiano.

## 5.2. Verifica delle membrature in acciaio

Le verifiche delle membrature in acciaio (solo per utenti Sismicad acciaio) possono essere condotte secondo CNR 10011 (stato limite o tensioni ammissibili), CNR 10022, D.M. 14-01-08, al D.M. 17-01-18 o Eurocodice 3. Sono previste verifiche di resistenza e di instabilità. Queste ultime possono interessare superelementi cioè membrature composte di più aste. Le verifiche tengono conto, ove richiesto, della distinzione delle condizioni di carico in normali o eccezionali (I e II) previste dalle normative adottate.

Negli allegati alla presente relazione sono riportati gli output del programma di calcolo:

- Allegato 1: Dati di definizione delle strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici
- Allegato 2: Sezioni e materiali
- Allegato 3: Verifiche strutture di sostegno pannelli FV

Il dimensionamento e le verifiche strutturali delle membrature in acciaio costituenti il sistema portante dei pannelli fotovoltaici, svolte sia in condizioni statiche sia sismiche per i casi "vela orizzontale" e "vela inclinata di 60°" risultano soddisfatte.

## 6. PREDIMENSIONAMENTO DEI PALI DI FONDAZIONE

Nel presente capitolo si descrivono le verifiche con le quali è stata determinata la geometria della fondazione di sostegno dei pannelli fotovoltaici, fondazione costituita dal prolungamento del montante della struttura di supporto dei pannelli fotovoltaici.

I parametri geotecnici dei terreni considerati per il progetto delle opere di fondazione sono i seguenti:

### Unità litotecnica "A"

Coltre di copertura argilloso-limosa, avente spessore compreso tra 1,00 e 2,00 mt, poco addensata con locali riporti antropici eterogenei.

**Tabella 5.** Caratteristiche elastiche e meccanica dell'unità litologica "A"

CARATTERISTICHE ELASTICHE E MECCANICHE DELL'UNITÀ LITOLOGICA "A"	
Spessore Variabile	H max 1,50 m
Peso volume medio	$\gamma_m = 16 \text{ KN/m}^3$
Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungo termine)	$\phi_m' = 20^\circ$
Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine)	$c'_m = 0 \text{ kPa}$

### Unità litotecnica "B"

Sub strato in prevalenza sabbioso e arenitico pre-quadernario, ben addensato e con grado di addensamento crescente con la profondità. Lo spessore considerato ai fini dei calcoli è pari a 3,00 mt.

**Tabella 6.** Caratteristiche elastiche e meccanica dell'unità litologica "B"

CARATTERISTICHE ELASTICHE E MECCANICHE DELL'UNITÀ LITOLOGICA "B"	
Spessore Variabile	H 4,00 m
Peso volume medio	$\gamma_m = 25 \text{ KN/m}^3$
Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungo termine)	$\phi_m' = 40^\circ$
Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine)	$c'_m = 0 \text{ kPa}$

### 6.1. Forze di Calcolo agenti sulle fondazioni

Come evidenziato nei capitoli precedenti la struttura di sostegno dei pannelli fotovoltaici risulta essere del tipo "mobile", con un'inclinazione variabile da 0° a 60°. Ne consegue che le sollecitazioni sui montanti, e quindi sui pali di fondazione, risultino variare a seconda della posizione della "vela".

Dalle verifiche effettuate si ricava che le massime sollecitazioni agenti sugli elementi di fondazione si riscontrano nella condizione "vela inclinata di 60°" rappresentate nella figura seguente.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 14 di 57

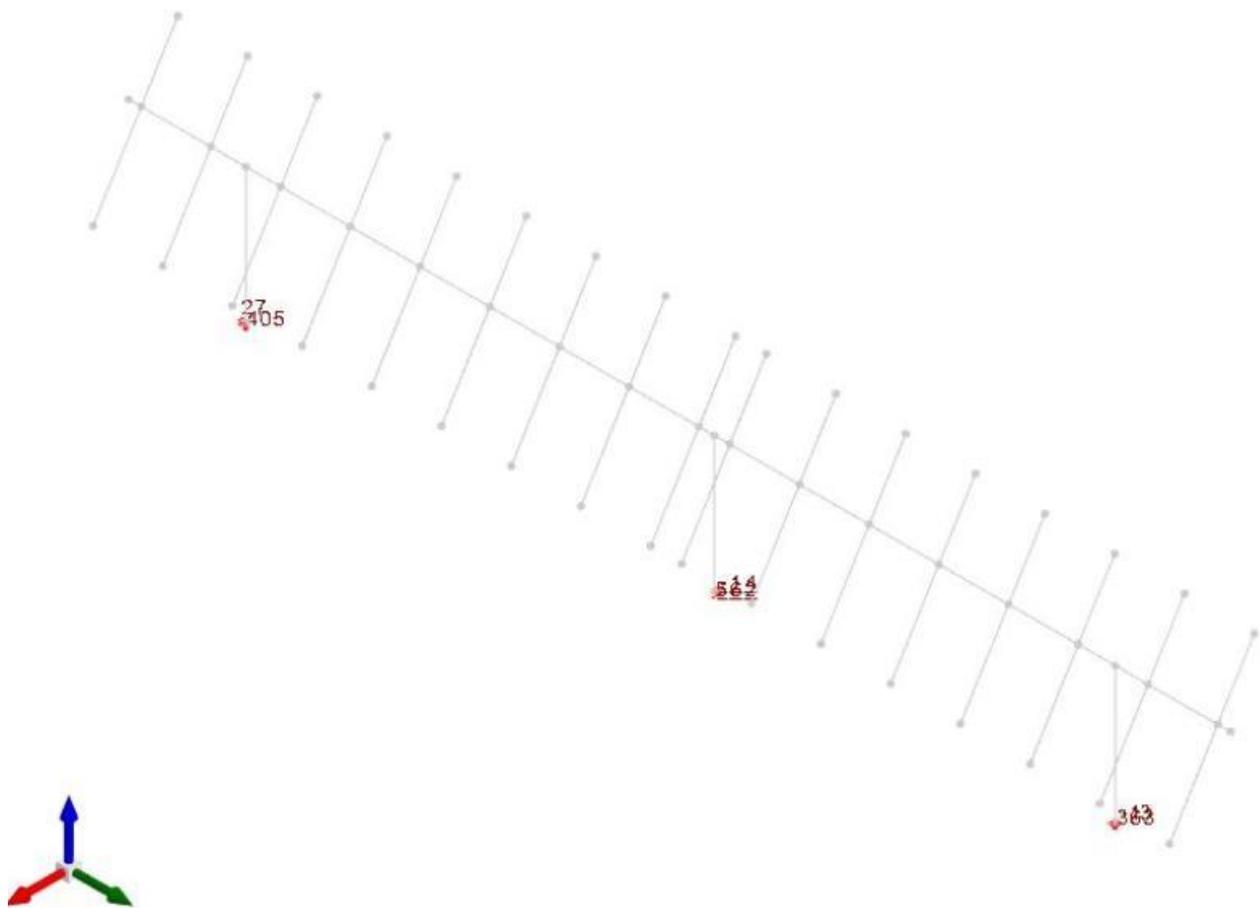


Figura 5. Massime sollecitazioni di sforzo normale sugli elementi di fondazione nella consizione "vela" inclinata di 60°

## 6.2. Verifiche preliminari dei pali

Come già evidenziato nei capitoli precedenti la stabilità delle strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici sarà ottenuta mediante infissione nel terreno di profili metallici di pari sezione dei montanti dei portali di sostegno. Si tratta di profili IPE 220. Le verifiche su tali elementi di fondazione, sono riportate nell'"ALLEGATO 04 – Verifiche geotecniche dei pali". In sintesi dalle verifiche effettuate si riscontra quanto segue:

- palo infisso IPE 220: lunghezza complessiva palo 2,00 m, minimo coefficiente di sicurezza in condizione SLU pari 11,39.

In fase di progettazione esecutiva si prescrive la realizzazione di una campagna di sondaggi geotecnici al fine di definire correttamente la lunghezza del palo in funzione della diversa stratigrafia del suolo, come peraltro evidenziato nei capitoli precedenti.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CST0	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 15 di 57

## **7. ALLEGATO 01 - DATI DI DEFINIZIONE STRUTTURE PANNELLI FOTOVOLTAICI**

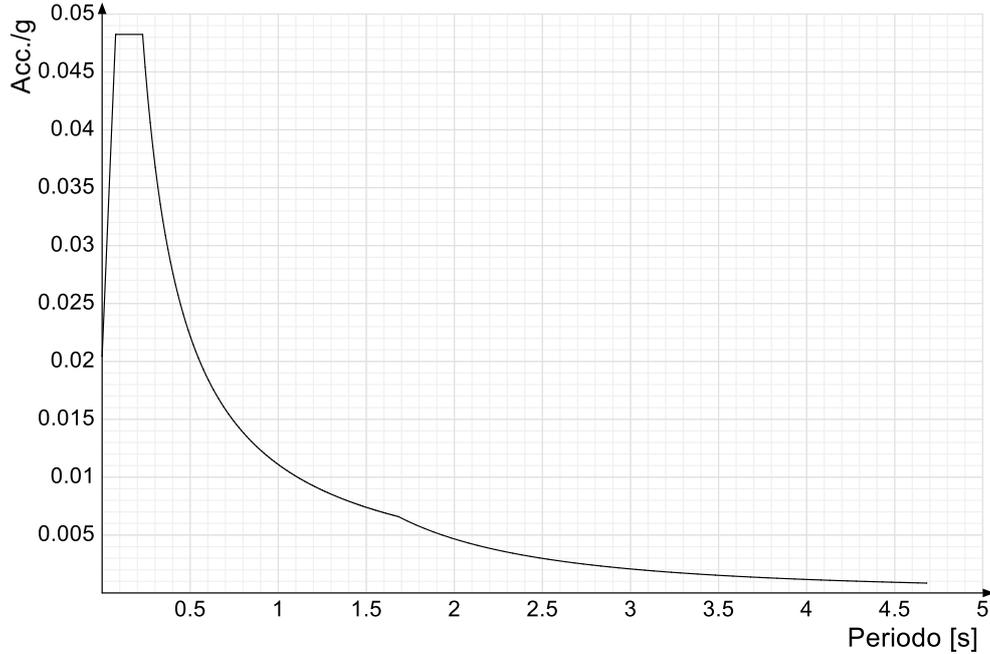
## 7.1. DATI DI DEFINIZIONE

### 7.1.1. Spettri D.M. 17-01-18

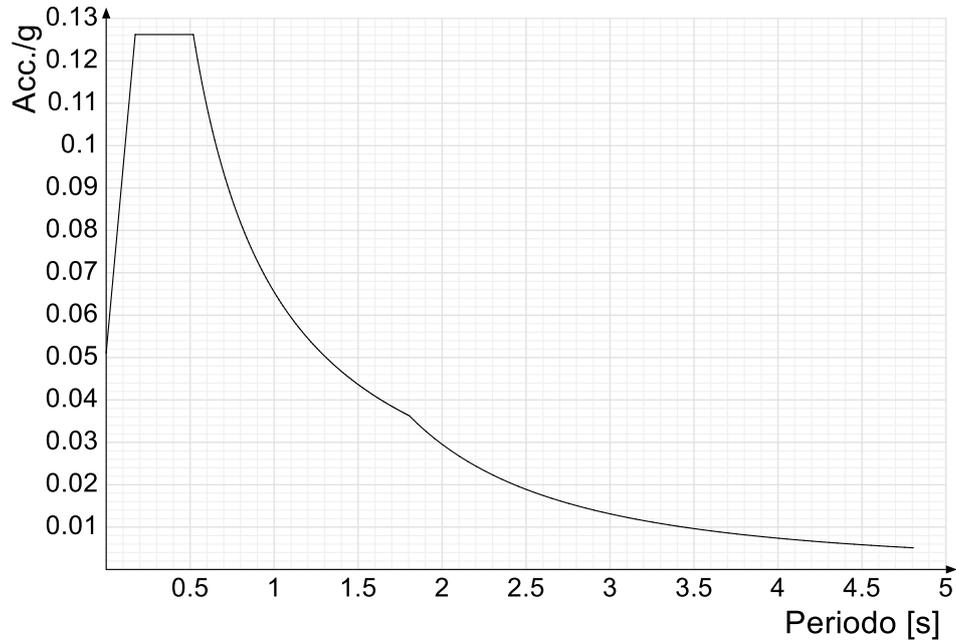
*Acc./g*: Accelerazione spettrale normalizzata ottenuta dividendo l'accelerazione spettrale per l'accelerazione di gravità.

*Periodo*: Periodo di vibrazione.

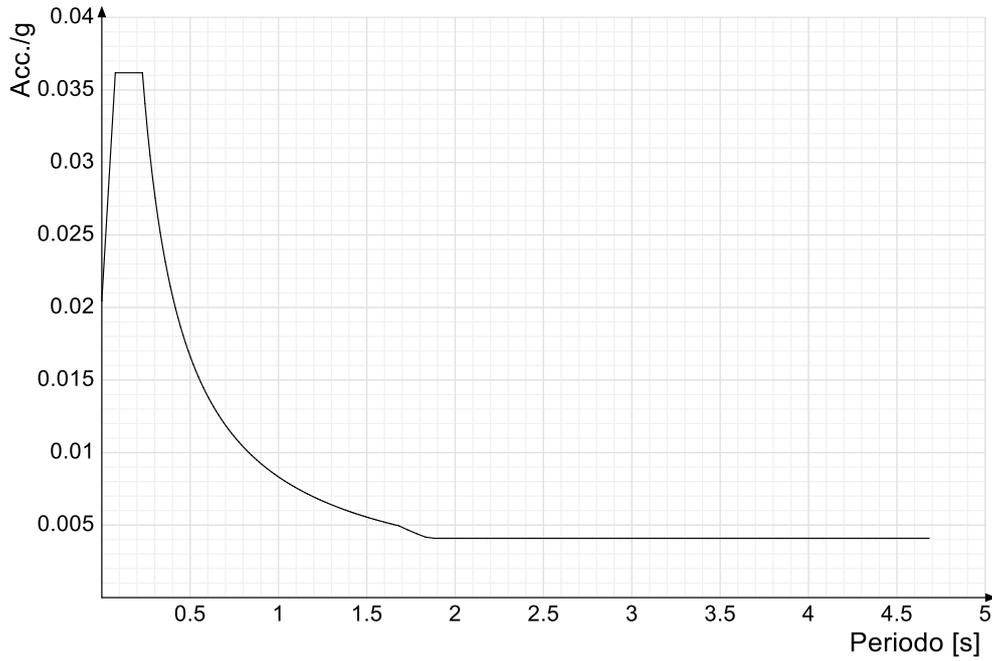
#### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali SLD § 3.2.3.2.1 [3.2.2]



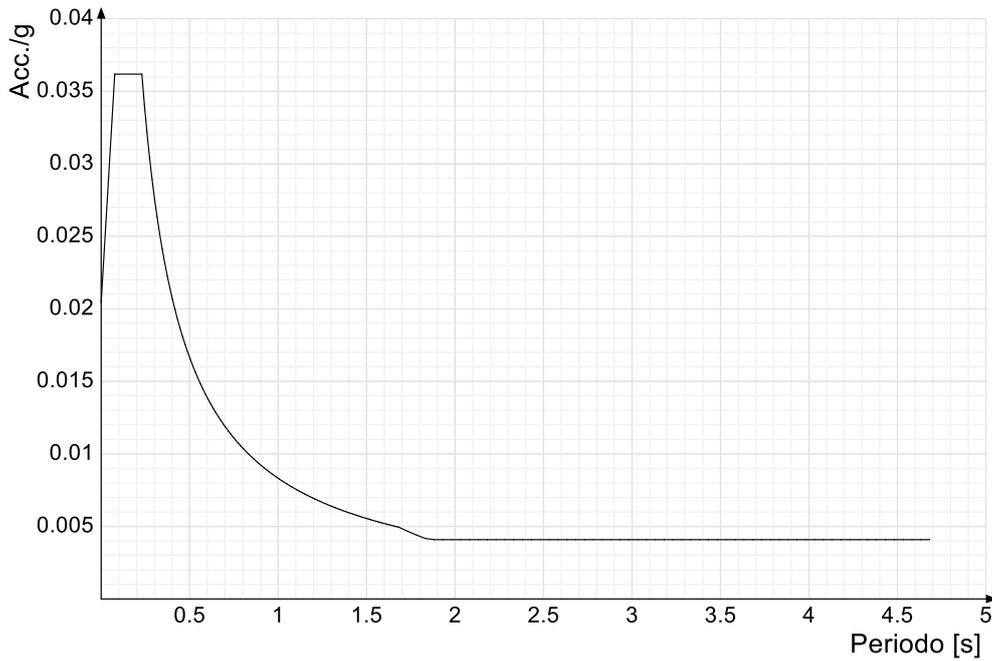
#### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali SLV § 3.2.3.2.1 [3.2.2]



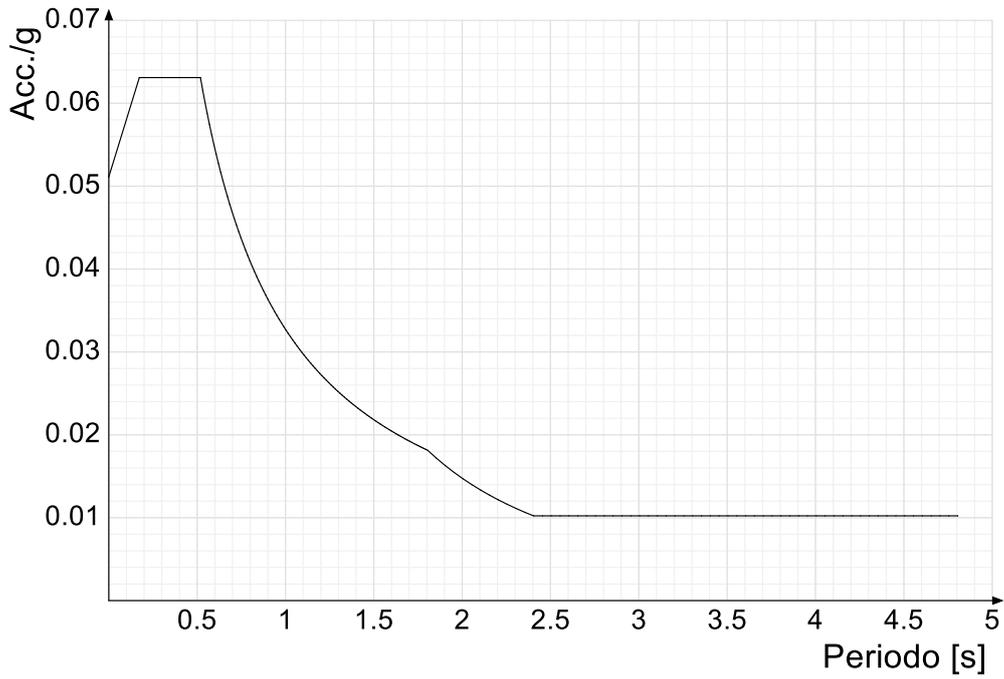
**Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente X SLD § 3.2.3.5**



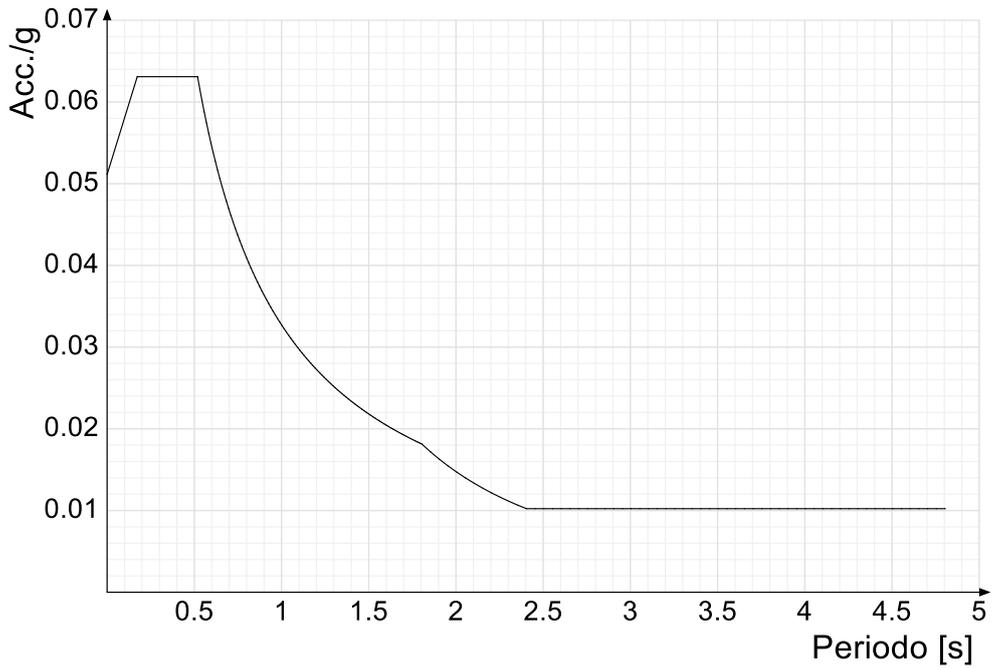
**Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente Y SLD § 3.2.3.5**



**Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente X SLV § 3.2.3.5**

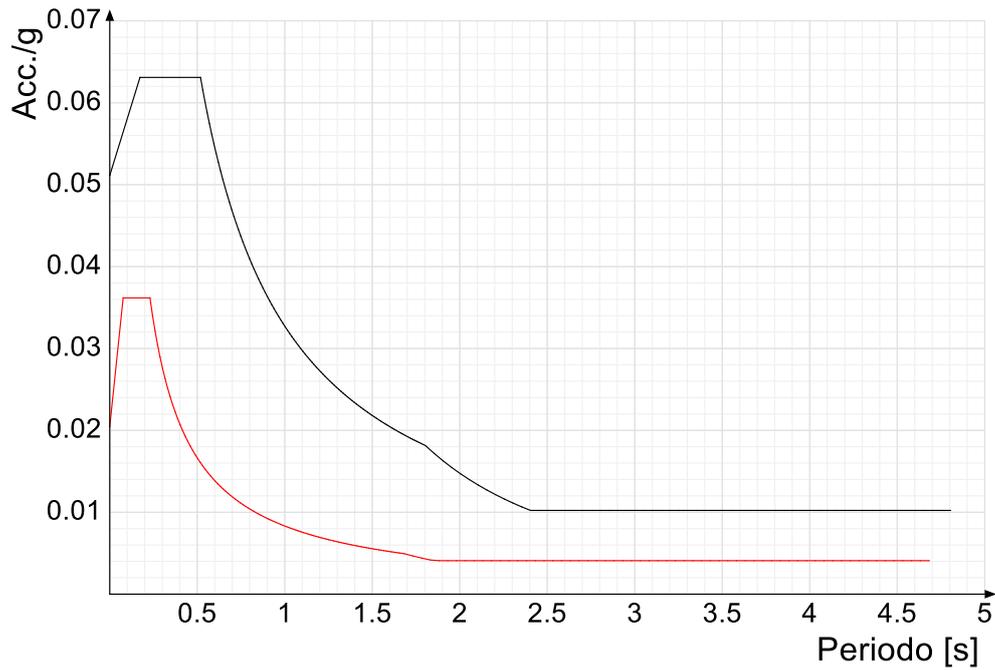


**Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente Y SLV § 3.2.3.5**

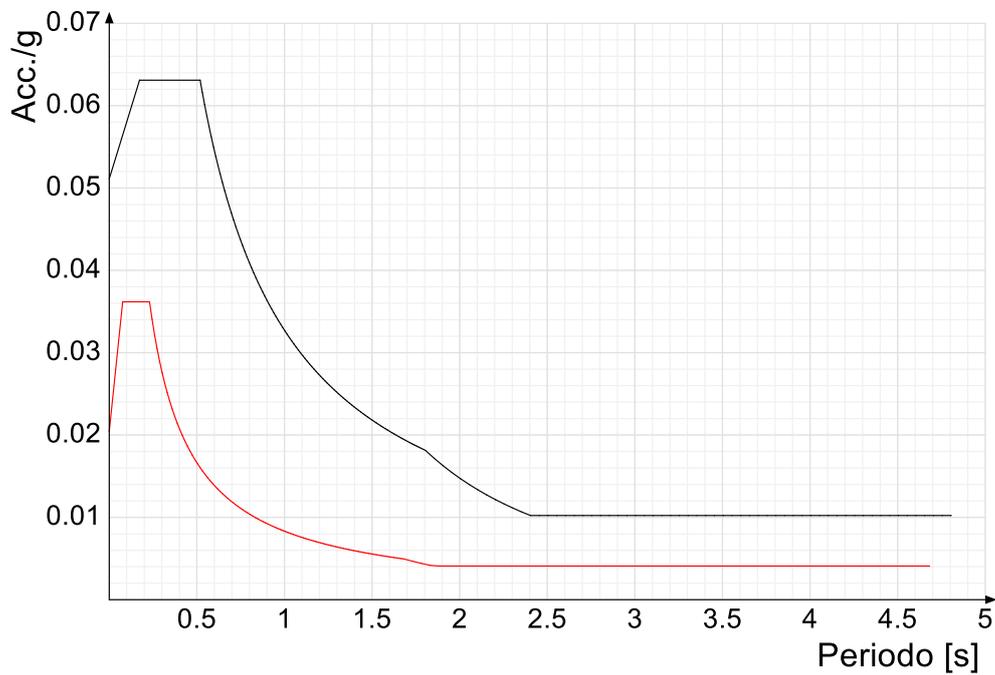


**Confronti spettri SLV-SLD**

Vengono confrontati lo spettro Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente X SLD § 3.2.3.5 (di colore rosso) e Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente X SLV § 3.2.3.5 (di colore nero).



Vengono confrontati lo spettro Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente YSLD § 3.2.3.5 (di colore rosso) e Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente YSLV § 3.2.3.5 (di colore nero).



IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 20 di 57

### 7.1.2. Preferenze di verifica

#### Normativa di verifica in uso

Norma di verifica	D.M. 17-01-18 (N.T.C.)
Acciaio	Preferenze di verifica acciaio D.M. 17-01-18 (N.T.C.)

#### Normativa di verifica acciaio

ym0	1.05
ym1	1.05
ym2	1.25
Coefficiente riduttivo per effetto vettoriale	0.7
Calcolo coefficienti C1, C2, C3 per M <sub>cr</sub>	automatico
Coefficienti $\alpha$ , $\beta$ per flessione deviata	unitari
Verifica semplificata conservativa	si
L/e0 iniziale per profili accoppiati compressi	500
Metodo semplificato formula (4.2.82)	si
Escludi 6.2.6.7 e 6.2.6.8 in 7.5.4.3 e 7.5.4.5	si
Applica Nota 1 del prospetto 6.2	si
Riduzione f <sub>y</sub> per tubi tondi di classe 4	no
Effettua la verifica secondo 6.2.8 con irrigidimenti superiori (piastra di base)	si
Limite spostamento relativo interpiano e monopiano colonne	0.00333
Limite spostamento relativo complessivo multipiano colonne	0.002
Considera taglio resistente estremità sagomati	no
Fattori parziali di sicurezza unitari per meccanismi duttili di strutture esistenti con fattore q	si

### 7.1.3. Preferenze FEM

Dimensione massima ottimale mesh pareti (default)	80 [cm]
Dimensione massima ottimale mesh piastre (default)	80 [cm]
Dimensione massima ottimale suddivisioni archi finestre/porte (default)	30 [cm]
Tipo di mesh dei gusci (default)	Quadrilateri o triangoli
Tipo di mesh imposta ai gusci	Specifico dell'elemento
Metodo P-Delta	non utilizzato
Analisi buckling	non utilizzata
Rapporto spessore flessionale/membranale gusci muratura verticali	0.2
Spessori membranale e flessionale pareti XLAM da sole tavole verticali	No
Moltiplicatore rigidità connettori pannelli pareti legno a diaframma	1
Tolleranza di parallelismo	4.99 [deg]
Tolleranza di unicità punti	10 [cm]
Tolleranza generazione nodi di aste	1 [cm]
Tolleranza di parallelismo in suddivisione aste	4.99 [deg]
Tolleranza generazione nodi di gusci	4 [cm]
Tolleranza eccentricità carichi concentrati	100 [cm]
Considera deformabilità a taglio negli elementi guscio	No
Modello elastico pareti in muratura	Gusci
Concentra masse pareti nei vertici	No
Segno risultati analisi spettrale	Analisi statica
Memoria utilizzabile dal solutore	8000000
Metodo di risoluzione della matrice	Intel MKL PARDISO
Scrivi commenti nel file di input	No
Scrivi file di output in formato testo	No
Solidi colle e corpi ruvidi (default)	Solidi reali
Moltiplicatore rigidità molla torsionale applicata ad aste di fondazione	1
Modello trave su suolo alla Winkler nel caso di modellazione lineare	Equilibrio elastico

### 7.1.4. Moltiplicatori inerziali

**Tipologia:** tipo di entità a cui si riferiscono i moltiplicatori inerziali.

**J2:** moltiplicatore inerziale di J2. Il valore è adimensionale.

**J3:** moltiplicatore inerziale di J3. Il valore è adimensionale.

**Jt:** moltiplicatore inerziale di Jt. Il valore è adimensionale.

**A:** moltiplicatore dell'area della sezione. Il valore è adimensionale.

**A2:** moltiplicatore dell'area a taglio in direzione 2. Il valore è adimensionale.

**A3:** moltiplicatore dell'area a taglio in direzione 3. Il valore è adimensionale.

**Conci rigidi:** fattore di riduzione dei tronchi rigidi. Il valore è adimensionale.

Tipologia	J2	J3	Jt	A	A2	A3	Conci rigidi
Trave in acciaio	1	1	1	1	1	1	1
Colonna in acciaio	1	1	1	1	1	1	1
Trave di reticolare in acciaio	1	1	1	1	1	1	1

### 7.1.5. Preferenze di analisi non lineare FEM

Metodo iterativo	Secante
Tolleranza iterazione	0.00001
Numero massimo iterazioni	50

### 7.1.6. Preferenze di analisi carichi superficiali

Detrazione peso proprio solai nelle zone di sovrapposizione	non applicata
Metodo di ripartizione	a zone d'influenza
Percentuale carico calcolato a trave continua	0
Esegui smoothing diagrammi di carico	applicata
Tolleranza smoothing altezza trapezi	0.001 [daN/cm]
Tolleranza smoothing altezza media trapezi	0.001 [daN/cm]

### 7.1.7. Preferenze del suolo

Fondazioni non modellate e struttura bloccata alla base	si
Fondazioni bloccate orizzontalmente	si
Considera peso sismico delle fondazioni	no
Fondazioni superficiali e profonde su suolo elastoplastico	no
Coefficiente di sottofondo verticale per fondazioni superficiali (default)	3 [daN/cm <sup>3</sup> ]
Rapporto di coefficiente sottofondo orizzontale/verticale	0.5
Pressione verticale limite sul terreno per abbassamento (default)	10 [daN/cm <sup>2</sup> ]
Pressione verticale limite sul terreno per innalzamento (default)	0.001 [daN/cm <sup>2</sup> ]
Metodo di calcolo della K verticale	Vesic
Metodo di calcolo della portanza e della pressione limite	Vesic
Terreno laterale di riporto da piano posa fondazioni (default)	Ghiaia
Dimensione massima della discretizzazione del palo (default)	200 [cm]
Moltiplicatore coesione per pressione orizzontale limite nei pali	1
Moltiplicatore spinta passiva per pressione orizzontale pali	1
K punta palo (default)	4 [daN/cm <sup>3</sup> ]
Pressione limite punta palo (default)	10 [daN/cm <sup>2</sup> ]
Pressione per verifica schiacciamento fondazioni superficiali	6 [daN/cm <sup>2</sup> ]
Calcola cedimenti fondazioni superficiali	no
Spessore massimo strato	100 [cm]
Profondità massima	3000 [cm]
Cedimento assoluto ammissibile	5 [cm]

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"

T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 22 di 57
--------	--	--------	-----------------	-----------------

Cedimento differenziale ammissibile	5 [cm]
Cedimento relativo ammissibile	5 [cm]
Rapporto di inflessione F/L ammissibile	0.003333
Rotazione rigida ammissibile	0.191 [deg]
Rotazione assoluta ammissibile	0.191 [deg]
Distorsione positiva ammissibile	0.191 [deg]
Distorsione negativa ammissibile	0.095 [deg]
Considera fondazioni compensate	no
Coefficiente di riduzione della a Max attesa	0.3
Condizione per la valutazione della spinta su pareti	Lungo termine
Considera l'azione sismica del terreno anche su pareti sotto lo zero sismico	no
Calcola cedimenti teorici pali	no
Considera accorciamento del palo	si
Distanza influenza cedimento palo	1000 [cm]
Distribuzione attrito laterale	Attrito laterale uniforme
Ripartizione del carico	Ripartizione come da modello FEM
Scelta terreno laterale	Media pesata degli strati coinvolti
Scelta terreno punta	Media pesata degli strati coinvolti
Cedimento assoluto ammissibile	5 [cm]
Cedimento medio ammissibile	5 [cm]
Cedimento differenziale ammissibile	5 [cm]
Rotazione rigida ammissibile	0.191 [deg]
Trascura la coesione efficace in verifica allo scorrimento	si
Considera inclinazione spinta del terreno contro pareti	no
Esegui verifica a liquefazione	no
Metodo di verifica liquefazione	Seed-Idriss (1982)
Coeff. di sicurezza minimo a liquefazione	1.3
Magnitudo scaling factor per liquefazione	1

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 23 di 57

## 7.2. QUOTE

### 7.2.1. Livelli

**Descrizione breve:** nome sintetico assegnato al livello.

**Descrizione:** nome assegnato al livello.

**Quota:** quota superiore espressa nel sistema di riferimento assoluto. [cm]

**Spessore:** spessore del livello. [cm]

Descrizione breve	Descrizione	Quota	Spessore
L1	Fondazione	0	0
L2	Testa montante	253	0

### 7.2.2. Falde

**Descrizione breve:** nome sintetico assegnato alla falda.

**Descrizione:** nome assegnato alla falda.

**Sp.:** spessore del piano della falda. [cm]

**Primo punto:** primo punto di definizione del piano dell'estradosso della falda.

X: coordinata X. [cm]

Y: coordinata Y. [cm]

**Quota:** quota. esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z specificata. [cm]

**Secondo punto:** secondo punto di definizione del piano dell'estradosso della falda.

X: coordinata X. [cm]

Y: coordinata Y. [cm]

**Quota:** quota. esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z specificata. [cm]

**Terzo punto:** terzo punto di definizione del piano dell'estradosso della falda.

X: coordinata X. [cm]

Y: coordinata Y. [cm]

**Quota:** quota. esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z specificata. [cm]

#### Tracker Orizzontale

Descrizione breve	Descrizione	Sp.	Primo punto			Secondo punto			Terzo punto		
			X	Y	Quota	X	Y	Quota	X	Y	Quota
F1	Falda 1	5	1812.5	240	253	-195	240	253	-195	-240	253

#### Tracker Inclinato

Descrizione breve	Descrizione	Sp.	Primo punto			Secondo punto			Terzo punto		
			X	Y	Quota	X	Y	Quota	X	Y	Quota
F1	Falda 1	5	-106.2	1812.5	407.7	-106.2	-195	407.7	139.7	-195	49.4

### 7.2.3. Tronchi

**Descrizione breve:** nome sintetico assegnato al tronco.

**Descrizione:** nome assegnato al tronco.

**Quota 1:** riferimento della prima quota di definizione del tronco. esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z specificata. [cm]

**Quota 2:** riferimento della seconda quota di definizione del tronco. esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z specificata. [cm]

Descrizione breve	Descrizione	Quota 1	Quota 2
T1	Piano campagna - Testa montante	Fondazione	Testa montante

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CST0	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 24 di 57

## 8. ALLEGATO 02 - SEZIONI E MATERIALI

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 25 di 57

## 8.1. DATI GENERALI

### 8.1.1. Materiali

#### 8.1.1.1. Acciai

##### Proprietà acciai base

**Descrizione:** descrizione o nome assegnato all'elemento.

**E:** modulo di elasticità longitudinale del materiale per edifici o materiali nuovi. [daN/cm<sup>2</sup>]

**G:** modulo di elasticità tangenziale del materiale, viene impiegato nella modellazione di aste e di elementi guscio a comportamento ortotropo. [daN/cm<sup>2</sup>]

**v:** coefficiente di Poisson. Il valore è adimensionale.

**γ:** peso specifico del materiale. [daN/cm<sup>3</sup>]

**α:** coefficiente longitudinale di dilatazione termica. [°C<sup>-1</sup>]

Descrizione	E	G	v	γ	α
S235	2100000	Default (807692.31)	0.3	0.00785	0.000012

##### Proprietà acciai CNR 10011

**Descrizione:** descrizione o nome assegnato all'elemento.

**Tipo:** descrizione per norma.

**fy(s<=40 mm):** resistenza di snervamento fy per spessori <=40 mm. [daN/cm<sup>2</sup>]

**fy(s>40 mm):** resistenza di snervamento fy per spessori >40 mm. [daN/cm<sup>2</sup>]

**fu(s<=40 mm):** resistenza di rottura per trazione fu per spessori <=40 mm. [daN/cm<sup>2</sup>]

**fu(s>40 mm):** resistenza di rottura per trazione fu per spessori >40 mm. [daN/cm<sup>2</sup>]

**Prosp. Omega:** prospetto per coefficienti Omega.

**σ amm.(s<=40 mm):** σ ammissibile per spessori <=40 mm. [daN/cm<sup>2</sup>]

**σ amm.(s>40 mm):** σ ammissibile per spessori >40 mm. [daN/cm<sup>2</sup>]

**fd(s<=40 mm):** resistenza di progetto fd per spessori <=40 mm. [daN/cm<sup>2</sup>]

**fd(s>40 mm):** resistenza di progetto fd per spessori >40 mm. [daN/cm<sup>2</sup>]

Descrizione	Tipo	fy(s<=40 mm)	fy(s>40 mm)	fu(s<=40 mm)	fu(s>40 mm)	Prosp. Omega	σ amm.(s<=40 mm)	σ amm.(s>40 mm)	fd(s<=40 mm)	fd(s>40 mm)
S235	FE360	2350	2150	3600	3400	II	1600	1400	2350	2100

##### Proprietà acciai CNR 10022

**Descrizione:** descrizione o nome assegnato all'elemento.

**Tipo:** descrizione per norma.

**fy:** resistenza di snervamento fy. [daN/cm<sup>2</sup>]

**fu:** resistenza di rottura fu. [daN/cm<sup>2</sup>]

**fd:** resistenza di progetto fd. [daN/cm<sup>2</sup>]

**Prospetto omega sag.fr.(s<3mm):** prospetto coeff. omega per spessori < 3 mm.

**Prospetto omega sag.fr.(s>=3mm):** prospetto coeff. omega per spessori >= 3 mm.

**Prospetti σ crit. Eulero:** prospetti σ critiche euleriane.

Descrizione	Tipo	fy	fu	fd	Prospetto omega sag.fr.(s<3mm)	Prospetto omega sag.fr.(s>=3mm)	Prospetti σ crit. Eulero
S235	FE360	2350	3600	2350	b	c	I

##### Proprietà acciai EC3

**Descrizione:** descrizione o nome assegnato all'elemento.

**Tipo:** descrizione per norma.

**fy(s<=40 mm):** resistenza di snervamento fy per spessori <=40 mm. [daN/cm<sup>2</sup>]

**fy(s>40 mm):** resistenza di snervamento fy per spessori >40 mm. [daN/cm<sup>2</sup>]

**fu(s<=40 mm):** resistenza di rottura per trazione fu per spessori <=40 mm. [daN/cm<sup>2</sup>]

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"

T-CST0

Relazione di Calcolo Preliminare Strutture

rev 00

Data 01/02/2024

Pagina 26 di 57

*fu(s>40 mm): resistenza di rottura per trazione fu per spessori >40 mm. [daN/cm<sup>2</sup>]*

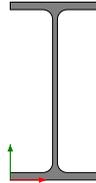
Descrizione	Tipo	fy(s<=40 mm)	fy(s>40 mm)	fu(s<=40 mm)	fu(s>40 mm)
S235	S235	2350	2150	3600	3600

## 8.2. SEZIONI

### 8.2.1. Sezioni in acciaio

#### Profili singoli in acciaio

HEA - HEM - HEB – IPE



**Descrizione:** descrizione o nome assegnato all'elemento.

**Sup.:** superficie bagnata per unità di lunghezza. [mm]

**Area Tx FEM:** area di taglio in direzione X per l'analisi FEM. [mm<sup>2</sup>]

**Area Ty FEM:** area di taglio in direzione Y per l'analisi FEM. [mm<sup>2</sup>]

**JxFEM:** momento di inerzia attorno all'asse X per l'analisi FEM. [mm<sup>4</sup>]

**JyFEM:** momento di inerzia attorno all'asse Y per l'analisi FEM. [mm<sup>4</sup>]

**JtFEM:** momento d'inerzia torsionale corretto con il fattore di forma per l'analisi FEM. [mm<sup>4</sup>]

**b:** larghezza dell'ala. [mm]

**h:** altezza del profilo. [mm]

**s:** spessore dell'anima. [mm]

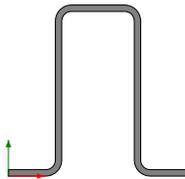
**t:** spessore delle ali. [mm]

**r:** raggio del raccordo ala-anima. [mm]

**f:** truscino. [mm]

Descrizione	Sup.	Area Tx FEM	Area Ty FEM	JxFEM	JyFEM	JtFEM	b	h	s	t	r	f
IPE220	847.5	1687	1244	27745407	2049056	70905	110	220	5.9	9.2	12	62

#### Sagomati Omega



**Descrizione:** descrizione o nome assegnato all'elemento.

**Sup.:** superficie bagnata per unità di lunghezza. [mm]

**Area Tx FEM:** area di taglio in direzione X per l'analisi FEM. [mm<sup>2</sup>]

**Area Ty FEM:** area di taglio in direzione Y per l'analisi FEM. [mm<sup>2</sup>]

**JxFEM:** momento di inerzia attorno all'asse X per l'analisi FEM. [mm<sup>4</sup>]

**JyFEM:** momento di inerzia attorno all'asse Y per l'analisi FEM. [mm<sup>4</sup>]

**JtFEM:** momento d'inerzia torsionale corretto con il fattore di forma per l'analisi FEM. [mm<sup>4</sup>]

**h:** altezza del tubo. [mm]

**b:** larghezza del tubo. [mm]

**s:** spessore. [mm]

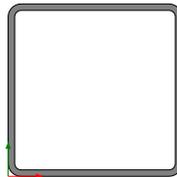
**r:** raggio di curvatura. [mm]

**Categoria:** categoria, basata sulla tecnologia costruttiva.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 28 di 57

Descrizione	Sup.	Area Tx FEM	Area Ty FEM	JxFEM	JyFEM	JtFEM	b	c	h	s	r	r1	Deroga lati	Formatura
OMEGA 80*40*25*3	461.3	270	480	551515	295839	2142	40	25	80	3	4.5	4.5	No	A rullo

## Tubi Rettangolari



**Descrizione:** descrizione o nome assegnato all'elemento.

**Sup.:** superficie bagnata per unità di lunghezza. [mm]

**Area Tx FEM:** area di taglio in direzione X per l'analisi FEM. [mm<sup>2</sup>]

**Area Ty FEM:** area di taglio in direzione Y per l'analisi FEM. [mm<sup>2</sup>]

**JxFEM:** momento di inerzia attorno all'asse X per l'analisi FEM. [mm<sup>4</sup>]

**JyFEM:** momento di inerzia attorno all'asse Y per l'analisi FEM. [mm<sup>4</sup>]

**JtFEM:** momento d'inerzia torsionale corretto con il fattore di forma per l'analisi FEM. [mm<sup>4</sup>]

**h:** altezza del tubo. [mm]

**b:** larghezza del tubo. [mm]

**s:** spessore. [mm]

**r:** raggio di curvatura. [mm]

**Categoria:** categoria, basata sulla tecnologia costruttiva.

**Formatura:** tipo di formatura a freddo del sagomato.

Descrizione	Sup.	Area Tx FEM	Area Ty FEM	JxFEM	JyFEM	JtFEM	h	b	s	r	Categoria	Formatura
EN10219 180x180x8	1320.7	2880	2880	25458618	25458618	41885624	180	180	8	12	Sagomato a freddo conforme UNI 10219	A rullo

## Caratteristiche inerziali sezioni in acciaio

### Caratteristiche inerziali principali sezioni in acciaio

**Descrizione:** descrizione o nome assegnato all'elemento.

**Xg:** coordinata X del baricentro. [cm]

**Yg:** coordinata Y del baricentro. [cm]

**Area:** area inerziale nel sistema geometrico centrato nel baricentro. [cm<sup>2</sup>]

**Jx:** momento d'inerzia attorno all'asse orizzontale baricentrico di definizione della sezione. [cm<sup>4</sup>]

**Jy:** momento d'inerzia attorno all'asse verticale baricentrico di definizione della sezione. [cm<sup>4</sup>]

**Jxy:** momento centrifugo rispetto al sistema di riferimento baricentrico di definizione della sezione. [cm<sup>4</sup>]

**Jm:** momento d'inerzia attorno all'asse baricentrico principale M. [cm<sup>4</sup>]

**Jn:** momento d'inerzia attorno all'asse baricentrico principale N. [cm<sup>4</sup>]

**α X su M:** angolo tra gli assi del sistema di riferimento geometrico di definizione e quelli del sistema di riferimento principale. [deg]

**Jt:** momento d'inerzia torsionale corretto con il fattore di forma. [cm<sup>4</sup>]

Descrizione	ix	iy	im	in	Sx	Sy	Wx	Wy	Wm	Wn	Wplx	Wply
EN10219 180x180x8	6.94	6.94	6.94	6.94	167.63	167.63	282.87	282.87	282.87	282.87	335.7	335.7
IPE220	9.11	2.48	9.11	2.48	142.84	29.07	252.23	37.26	252.23	37.26	285.69	58.13

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"

T-CSTO

Relazione di Calcolo Preliminare Strutture

rev 00

Data 01/02/2024

Pagina 29 di 57

Descrizione	ix	iy	im	in	Sx	Sy	Wx	Wy	Wm	Wn	Wplx	Wply
OMEGA 80*40*25*3	2.84	2.08	2.84	2.08	8.66	6.63	13.23	7.04	13.23	7.04	17.32	13.25

Caratteristiche inerziali momenti sezioni in acciaio

**Descrizione:** descrizione o nome assegnato all'elemento.

**ix:** raggio di inerzia relativo all'asse x. [cm]

**iy:** raggio di inerzia relativo all'asse y. [cm]

**im:** raggio di inerzia relativo all'asse principale m. [cm]

**in:** raggio di inerzia relativo all'asse principale n. [cm]

**Sx:** momento statico relativo all'asse x. [cm<sup>3</sup>]

**Sy:** momento statico relativo all'asse y. [cm<sup>3</sup>]

**Wx:** modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse x. [cm<sup>3</sup>]

**Wy:** modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse y. [cm<sup>3</sup>]

**Wm:** modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse principale m. [cm<sup>3</sup>]

**Wn:** modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse principale n. [cm<sup>3</sup>]

**Wplx:** modulo di resistenza plastico relativo all'asse x. [cm<sup>3</sup>]

**Wply:** modulo di resistenza plastico relativo all'asse y. [cm<sup>3</sup>]

Descrizione	ix	iy	im	in	Sx	Sy	Wx	Wy	Wm	Wn	Wplx	Wply
EN10219 180x180x8	6.94	6.94	6.94	6.94	167.63	167.63	282.87	282.87	282.87	282.87	335.7	335.7
IPE220	9.11	2.48	9.11	2.48	142.84	29.07	252.23	37.26	252.23	37.26	285.69	58.13
OMEGA 80*40*25*3	2.84	2.08	2.84	2.08	8.66	6.63	13.23	7.04	13.23	7.04	17.32	13.25

Caratteristiche inerziali taglio sezioni in acciaio

**Descrizione:** descrizione o nome assegnato all'elemento.

**Atx:** area a taglio lungo x. [cm<sup>2</sup>]

**Aty:** area a taglio lungo y. [cm<sup>2</sup>]

Descrizione	Atx	Aty
EN10219 180x180x8	28.8	28.8
IPE220	20.24	12.98
OMEGA 80*40*25*3	2.7	4.8

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CST0	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 30 di 57

## **9. ALLEGATO 03 - VERIFICHE STRUTTURE DI SOSTEGNO PANNELLI FOTOVOLTAICI**

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 31 di 57

## 9.1. VERIFICHE

### 9.1.1. Verifiche superelementi aste acciaio laminate

Le unità di misura elencate nel capitolo sono in [cm, daN, deg] ove non espressamente specificato.

**Sezione:** sezione in acciaio.

**Rotazione:** rotazione della sezione. [deg]

**Area:** area inerziale nel sistema geometrico centrato nel baricentro. [cm<sup>2</sup>]

**Jx:** momento d'inerzia attorno all'asse orizzontale baricentrico di definizione della sezione. [cm<sup>4</sup>]

**Jy:** momento d'inerzia attorno all'asse verticale baricentrico di definizione della sezione. [cm<sup>4</sup>]

**ix:** raggio di inerzia relativo all'asse x. [cm]

**iy:** raggio di inerzia relativo all'asse y. [cm]

**Wx:** modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse x. [cm<sup>3</sup>]

**Wy:** modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse y. [cm<sup>3</sup>]

**Wplx:** modulo di resistenza plastico relativo all'asse x. [cm<sup>3</sup>]

**Wply:** modulo di resistenza plastico relativo all'asse y. [cm<sup>3</sup>]

**X:** distanza dal nodo iniziale. [cm]

**Comb.:** combinazione di verifica.

**Sfruttamento:** rapporto di sfruttamento per la verifica in esame, inverso del coefficiente di sicurezza. Verificato se minore o uguale di 1.

**VEd:** sollecitazione di taglio. [daN]

**Vc,Rd:** resistenza a taglio. [daN]

**Av:** area resistenza a taglio. [cm<sup>2</sup>]

**Interazione taglio-torsione:** indica se è possibile ridurre il taglio resistente per presenza di torsione.

**Riduzione torsione:** coefficiente riduttivo della resistenza a taglio per presenza di torsione.

**Verifica:** stato di verifica.

**Classe:** classe della sezione.

**Mx,Ed:** sollecitazione flettente attorno x-x. [daN\*cm]

**Mx,Rd:** resistenza a flessione attorno x-x ridotta per taglio. [daN\*cm]

**Rid. Mx,Rd da VEd:** rapporto tra la resistenza flettente ridotta per taglio e la resistenza flettente attorno x-x.

**px:** coefficiente di riduzione della resistenza di snervamento per taglio in direzione x.

**py:** coefficiente di riduzione della resistenza di snervamento per taglio in direzione y.

**Numero rit.:** numero del ritegno.

**Presente:** indica se il ritegno è presente o meno.

**Ascissa:** ascissa del ritegno rispetto al nodo iniziale del superelemento o ascissa iniziale e finale della campata. [cm]

**Campata:** campata tra i ritegni.

**θx/m:** coefficiente di lunghezza efficace per rotazione attorno a x/m.

**Vincolo a entrambi estremi:** indica se il tratto è vincolato a entrambi gli estremi.

**λx/m:** snellezza attorno a x/m del tratto tra i due ritegni.

**λVer:** snellezza accettabile.

**θy/n:** coefficiente di lunghezza efficace per rotazione attorno a y/n.

**k,LT:** coefficiente di lunghezza efficace per rotazione nel calcolo del momento critico ENV1993-1-1 F 1.2(3).

**kw,LT:** coefficiente di lunghezza efficace per ingobbamento nel calcolo del momento critico ENV1993-1-1 F 1.2(4).

**λy/n:** snellezza attorno a y/n del tratto tra i due ritegni.

**Obblig.:** indica se la verifica è obbligatoria da norma.

**Mb,Rd,x:** momento resistente di progetto per l'instabilità per sollecitazione flettente attorno l'asse x-x. [daN\*cm]

**χ,LT:** coefficiente di riduzione per instabilità flessione-torsionale.

**λ adim. LT:** snellezza adimensionale per instabilità flessione-torsionale.

**L,LT:** distanza tra due ritegni torsionali. [cm]

**M,critico:** momento critico. [daN\*cm]

**η:** valore di η.

**hw:** altezza dell'anima. [cm]

**tw:** spessore dell'anima. [cm]

**hw/tw max:** rapporto tra hw e tw massimo.

**Ascissa freccia:** ascissa della massima freccia. [cm]

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 32 di 57

**Combinazione:** combinazione di verifica in cui è ricavata la freccia.

**Freccia:** massima freccia. [cm]

**Luce:** luce di verifica. [cm]

**L/f:** rapporto luce su freccia.

**L/f,min:** minimo rapporto luce su freccia consentito.

**Tipo:** freccia calcolata considerando le sole condizioni variabili o tutte le condizioni (totale) all'interno della combinazione di verifica.

**NEd:** sollecitazione assiale. [daN]

**Nc,Rd:** resistenza assiale a compressione ridotta per taglio. [daN]

**Nt,Rd:** resistenza assiale a trazione ridotta per taglio. [daN]

**Riduzione da taglio:** rapporto tra la resistenza assiale ridotta per taglio e la resistenza assiale.

**NRd:** resistenza assiale ridotta per taglio. [daN]

**Rid. NRd da VEd:** rapporto tra la resistenza assiale ridotta per taglio e la resistenza assiale.

**My,Ed:** sollecitazione flettente attorno y-y. [daN\*cm]

**My,Rd:** resistenza a flessione attorno y-y ridotta. [daN\*cm]

**Rid. My,Rd da VEd:** rapporto tra la resistenza flettente ridotta per taglio e la resistenza flettente attorno y-y.

**Rid. My,Rd da NEd:** rapporto tra la resistenza flettente ridotta per sforzo normale e taglio e la resistenza flettente ridotta per taglio attorno y-y.

**Mx,Rd:** resistenza a flessione attorno x-x ridotta. [daN\*cm]

**Rid. Mx,Rd da NEd:** rapporto tra la resistenza flettente ridotta per sforzo normale e taglio e la resistenza flettente ridotta per taglio attorno x-x.

**$\alpha$ :** esponente  $\alpha$  per flessione deviata.

**$\beta$ :** esponente  $\beta$  per flessione deviata.

**NRk:** resistenza caratteristica assiale. [daN]

**Mx,Ed max:** momento sollecitante massimo attorno l'asse x-x tra due ritegni all'inflessione attorno x-x. [daN\*cm]

**Mx,Rk:** resistenza caratteristica a flessione attorno l'asse x-x. [daN\*cm]

**My,Ed max:** momento sollecitante massimo attorno l'asse y-y tra due ritegni all'inflessione attorno y-y. [daN\*cm]

**My,Rk:** resistenza caratteristica a flessione attorno l'asse y-y. [daN\*cm]

**$\chi_x$ :** coefficiente di riduzione per inflessione attorno l'asse x-x.

**$\chi_y$ :** coefficiente di riduzione per inflessione attorno l'asse y-y.

**kxx:** valore di kxx.

**kxy:** valore di kxy.

**kyx:** valore di kyx.

**kyy:** valore di kyy.

**Estremo notevole:** estremo notevole.

**Asta FEM:** indice dell'asta FEM.

**Estremo asta:** estremo dell'asta a cui è applicato.

**Posizione:** distanza dell'estremo notevole dal nodo iniziale dell'asta. Il valore è espresso in cm. [cm]

**Ascissa:** distanza dell'estremo dal nodo iniziale del superamento. [cm]

**Tipo:** asse momento attorno a cui si sviluppa una cerniera, eventualmente dissipativa.

**NEd,ED:** sforzo normale agente sull'estremo dissipativo. [daN]

**Npl,Rd,ED:** capacità a sforzo normale dell'estremo dissipativo. [daN]

**Quota nodo:** quota del nodo trave/colonna in esame. [cm]

**Cerniera plastica:** zona di formazione di una cerniera plastica sulla colonna.

**Interno:** nodo interno alla colonna o di estremità (inferiore o superiore).

**EN di colonne:** estremi notevoli dei tronchi di colonna convergenti nel nodo.

**Colonna senza EN:** colonna convergente nel nodo senza estremo notevole.

**EN di travi:** estremi notevoli delle travi convergenti nel nodo.

**Travi senza EN:** travi convergenti nel nodo senza estremi notevoli.

**Mx,Eff,Ed:** momento interno efficace di verifica attorno x-x secondo ENV1993-1-1 §5.5.3. [daN\*cm]

**kLT:** valore di kLT.

**ky:** valore di ky.

**Wx:** modulo resistente della sezione per inflessione attorno all'asse x-x. [cm<sup>3</sup>]

**Wy:** modulo resistente della sezione per inflessione attorno all'asse y-y. [cm<sup>3</sup>]

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 33 di 57

## 9.2. Verifiche vela in posizione Orizzontale

Si riportano di seguito, a titolo esplicativo, le verifiche dell'elemento trasverso e di un profilo di sostegno dei pannelli fotovoltaici.

### 9.2.1. Superelemento in acciaio "Fondazione"- "Testa montante" filo 30

#### Caratteristiche del materiale

Acciaio: S235, fyk = 2350

#### Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 253

Nodo iniziale: 3 Nodo finale: 33

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovraresistenza: 0% Sisma Z: No

#### Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
IPE220	0	33.4	2774.54	204.91	9.11	2.48	252.23	37.26	285.69	58.13

#### Verifiche di resistenza

##### Verifiche a forza assiale §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	px	py	Verifica
0	SLU 18	0.084	1	-6294.7	74751.3		1	0	0	Si

##### Verifiche a forza assiale SLD §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	px	py	Verifica
0	SLD 1	0.03	1	-2237.2	74751.3		1	0	0	Si

##### Verifica a taglio X §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
253	SLU 18	0.007	187.8	27788.2	21.51	Considerata	1	Si

##### Verifica a taglio X SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
253	SLD 16	0.003	96.4	27788.2	21.51	Considerata	1	Si

##### Verifica a taglio Y §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
16.9	SLV 9	0.007	-139.9	20558.8	15.91	Considerata	1	Si

##### Verifica a taglio Y SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
253	SLD 10	0.003	-66.6	20558.8	15.91	Considerata	1	Si

##### Verifica a presso/tenso flessione retta Y §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	px	py	Verifica
253	SLU 17	0.308	1	-6208.5	74751.3	1	-29330	130104	1		0	0	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 34 di 57

**Verifica a presso/tenso flessione retta Y SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	px	py	Verifica
253	SLD 16	0.138	1	-2168.3	74751.3	1	-14117	130104	1		0	0	Si

**Verifica a presso/tenso flessione deviata §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	px	py	Verifica
253	SLV 13	0.217	1	-2164.9	74751.3	1	-498	639392	-24376	130104	1		1				0	0	Si

**Verifica a presso/tenso flessione deviata SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	px	py	Verifica
227.7	SLD 16	0.119	1	-2174.9	74751.3	1	-268	639392	-11677	130104	1		1				0	0	Si

**Verifiche ad instabilità**

Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;

Curva X: a; Curva Y: b; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: b;

Dati per instabilità attorno a x

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βx/m	Vincolo a entrambi estremi	λx/m	λVer
1	Si		0				
			1-2		1	27.8	Si, (<200)
2	Si		253				

Dati per instabilità attorno a y

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βy/n	k <sub>i</sub> LT	k <sub>w</sub> LT	Vincolo a entrambi estremi	λy/n	λVer
1	Si		0						
			1-2		1	1	Si	102.1	Si, (<200)
2	Si		253						

**Verifica di stabilità per pressoflessione §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18**

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χ <sub>x</sub>	χ <sub>y</sub>	k <sub>xx</sub>	k <sub>xy</sub>	k <sub>yx</sub>	k <sub>yy</sub>	χ <sub>i</sub> LT	Verifica
0	SLU 17	0.265	1	-6294.7	78488.9	0	671361.6	29329.6	136609.4	0.979	0.543	0.605	0.292	0.956	0.487	0.908	Si

**Verifica di stabilità per pressoflessione SLD §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18**

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χ <sub>x</sub>	χ <sub>y</sub>	k <sub>xx</sub>	k <sub>xy</sub>	k <sub>yx</sub>	k <sub>yy</sub>	χ <sub>i</sub> LT	Verifica
0	SLD 11	0.12	1	-2235.6	78488.9	16053.1	671361.6	11405.2	136609.4	0.979	0.543	0.582	0.259	0.983	0.431	0.913	Si

**Verifica di stabilità a taglio anima Y §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18**

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2		20.2	0.6	60
				Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 35 di 57

#### Verifica di stabilità a taglio anima Y SLD §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

$\eta$	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	20.2	0.6	60	Si

#### Verifiche a deformabilità

Mensola X: No; Mensola Y: No.

Verifiche non eseguite in quanto il superelemento è verticale.

#### Verifiche § 7.5 NTC18

Estremi dissipativi del superelemento

Estremo notevole	Asta FEM	Estremo asta	Posizione	Ascissa	Tipo
Piede asta 2	2	Iniziale	0	0	Dissipa Mx, Dissipa My

#### Verifiche di duttilità §7.5.3.2 NTC18

Classe peggiore 1  $\leq$  3 ad ascissa 0 in comb. SLV 1.

#### Controllo dello sforzo normale nelle zone dissipative di colonna §7.5.3.2 [7.5.3] NTC18

Estremo notevole	Comb.	Sfruttamento	NEd,ED	Npl,Rd,ED	Verifica
Piede asta 2	SLV 1	0.03	-2240.6	74751.3	Si

#### Verifiche a resistenza ed instabilità della colonna §7.5.4.2 NTC18

Le verifiche previste non vengono condotte in quanto non esistono estremi notevoli dissipativi di trave idonei al calcolo di  $\Omega$ .

$\gamma_{ov} = 1.25$

NB: superelemento non sollecitato. Verifiche non condotte.

#### Verifiche di gerarchia delle resistenze trave-colonna §7.5.4.2 [7.5.11] NTC18 Dati del nodo

Quota nodo	Cerniera plastica	Interno	EN di colonne	Tipo	Colonna senza EN	EN di travi	Tipo	Travi senza EN
0	Si	No	Piede asta 2	Dissipa Mx, Dissipa My				

$\gamma_{Rd} = 1.3$

Il nodo della colonna a quota 0 è zona di formazione di cerniera plastica e la verifica non deve essere condotta.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 36 di 57

## 9.2.2. Superamento in acciaio a "Testa montante" 8-30

### Caratteristiche del materiale

Acciaio: S235, fyk = 2350

### Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 873.8

Nodo iniziale: 25 Nodo finale: 33

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovreresistenza: 0% Sisma Z: No

### Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
EN10219 180x180x8	0	52.84	2545.86	2545.86	6.94	6.94	282.87	282.87	335.7	335.7

### Verifiche di resistenza

#### Verifiche a forza assiale §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	px	py	Verifica
873.8	SLU 18	0.003	1	-385.7	118266.5		1	0	0	Si

#### Verifiche a forza assiale SLD §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	px	py	Verifica
858.4	SLD 14	0.001	1	-149.8	118266.5		1	0	0	Si

#### Verifica a taglio X §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
851.7	SLV 10	0.002	71.1	34103.1	26.42	Considerata	1	Si

#### Verifica a taglio X SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
873.8	SLD 8	0.001	-33.8	34140.6	26.42	Considerata	1	Si

#### Verifica a taglio Y §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
873.8	SLU 17	0.096	-3291.2	34140.6	26.42	Considerata	1	Si

#### Verifica a taglio Y SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
873.8	SLD 16	0.034	-1156.2	34140.6	26.42	Considerata	1	Si

#### Verifica a torsione §4.2.4.1.2.5 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento torsione	TEd	TRd	Riduzione taglio resistente	Sfruttamento taglio-torsione	rEd,totale	rRd	Verifica
852.7	SLV 6	0.001	666.6	607095.2	Considerata				Si

#### Verifica a presso/tenso flessione retta X §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	px	py	Verifica
873.8	SLU 18	0.649	1	-385.7	118266.5	1	485371	751329	1		0	0	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"												
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture						rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 37 di 57			

**Verifica a presso/tenso flessione retta X SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	px	py	Verifica
21.7	SLD 1	0.075	1	-148.8	118266.5	1	55732	751329	1		0	0	Si

**Verifica a presso/tenso flessione retta Y §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	px	py	Verifica
693.3	SLV 5	0.002	1	-122.6	118266.5	1	-880	751329	1		0	0	Si

**Verifica a presso/tenso flessione retta Y SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	px	py	Verifica
86.7	SLD 9	0.002	1	-128.5	118266.5	1	-565	751329	1		0	0	Si

**Verifica a presso/tenso flessione deviata §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	px	py	Verifica
873.8	SLV 11	0.242	1	-151.5	118266.5	1	170933	751329	-9661	751329	1		1				0	0	Si

**Verifica a presso/tenso flessione deviata SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	px	py	Verifica
873.8	SLD 12	0.233	1	-137.5	118266.5	1	169435	751329	-4597	751329	1		1				0	0	Si

**Verifiche ad instabilità**

**Caratteristiche iniziali**

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;

Curva X: c; Curva Y: c; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: d;

**Dati per instabilità attorno a x**

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βx/m	Vincolo a entrambi estremi	λx/m	λVer
1	Si	0					
			1-2		1	125.9	Si, (<200)
2	Si	873.8					

**Dati per instabilità attorno a y**

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βy/n	k <sub>LT</sub>	k <sub>w,LT</sub>	Vincolo a entrambi estremi	λy/n	λVer
1	Si	0							
			1-2		1	1	Si	125.9	Si, (<200)
2	Si	873.8							

**Verifica di stabilità per pressoflessione §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18**

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χ <sub>x</sub>	χ <sub>y</sub>	k <sub>xx</sub>	k <sub>xy</sub>	k <sub>yx</sub>	k <sub>yy</sub>	χ <sub>i,LT</sub>	Verifica
873.8	SLU 18	0.661	1	-385.7	124179.8	485371.2	788895	0	788895	0.372	0.372	0.604	0.363	0.997	0.604	0.988	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"

T-CSTO

Relazione di Calcolo Preliminare Strutture

rev 00

Data 01/02/2024

Pagina 38 di 57

**Verifica di stabilità per pressoflessione SLD §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18**

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	$\chi_x$	$\chi_y$	kxx	kxy	kyy	$\chi_{LT}$	Verifica	
872.8	SLD 11	0.236	1	-137.5	124179.8	169435	788895	4596.6	788895	0.372	0.372	0.601	0.446	0.999	0.743	0.988	Si

**Verifica di stabilità a taglio anima X §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18**

$\eta$	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	16.4	0.8	60	Si

**Verifica di stabilità a taglio anima X SLD §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18**

$\eta$	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	16.4	0.8	60	Si

**Verifica di stabilità a taglio anima Y §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18**

$\eta$	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	16.4	0.8	60	Si

**Verifica di stabilità a taglio anima Y SLD §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18**

$\eta$	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	16.4	0.8	60	Si

**Verifiche a deformabilità**

Mensola X: No; Mensola Y: No.

**Frecce lungo X**

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
489.7	SLE RA 1	0	873.8	10000	250	Totale	Si
498.3	SLE RA 2	0	873.8	10000	250	Totale	Si
498.3	SLE RA 3	0	873.8	10000	250	Totale	Si
489.7	SLE RA 4	0	873.8	10000	250	Totale	Si
494	SLE RA 5	0	873.8	10000	250	Totale	Si
498.3	SLE RA 2	0	873.8	10000	350	Variabile	Si
498.3	SLE RA 3	0	873.8	10000	350	Variabile	Si
0	SLE RA 4	0	873.8	10000	350	Variabile	Si
498.3	SLE RA 5	0	873.8	10000	350	Variabile	Si

**Frecce lungo Y**

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
403	SLE RA 2	-2.446	873.8	357.2	250	Totale	Si
403	SLE RA 3	-2.446	873.8	357.2	250	Totale	Si
403	SLE RA 5	-1.839	873.8	475	250	Totale	Si
403	SLE RA 1	-1.233	873.8	708.8	250	Totale	Si
403	SLE RA 4	-1.233	873.8	708.8	250	Totale	Si
403	SLE RA 2	-1.213	873.8	720.3	350	Variabile	Si
403	SLE RA 3	-1.213	873.8	720.3	350	Variabile	Si
403	SLE RA 5	-0.607	873.8	1440.5	350	Variabile	Si
0	SLE RA 4	0	873.8	10000	350	Variabile	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 39 di 57

### 9.2.3. Superamento in acciaio a "Testa montante" 21-22

#### Caratteristiche del materiale

Acciaio: S235,  $f_yk = 2350$ ,  $f_u k = 3600$

#### Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 158

Nodo iniziale: 11 Nodo finale: 30

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovreresistenza: 0% Sisma Z: No

Irrigidimento: No

#### Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
OMEGA 80*40*25*3	0	6.82	55.15	29.58	2.84	2.08	13.23	7.04	17.32	13.25

Processo di formatura: A rullo.

#### Caratteristiche della sezione lorda ricavate dalla sezione a spigoli vivi

Area,g	Wx,y max,g	Wx,y min,g	Wy,x max,g	Wy,x min,g	xS	yS	Iw	Ij
6.91	13.51	14.64	6.83	6.83	0	6.6	166.74	6.8

#### Caratteristiche della sezione efficace

Area,eff	Wx+,y max,eff	Wx+,y min,eff	Wx-,y max,eff	Wx-,y min,eff	Wy+,x max,eff	Wy+,x min,eff	Wy-,x max,eff	Wy-,x min,eff	eNx	eNy
6.91	13.51	14.64	13.51	14.64	6.83	6.83	6.83	6.83	0	0

#### Controlli geometrici

Verifica del massimo raggio § 5.1 (6) EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

$r = 0.45 < 10.72$  - SODDISFATTA

Verifica del minimo raggio C11.3.4.11.2.1 NTC18

$r = 0.45 > 0.3$  - SODDISFATTA

Verifica dello spessore § 3.2.4 EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

$t = 0.3: 0.08 < t < 1.6$  - SODDISFATTA

Verifica del rapporto larghezza/spessore Tab. C4.2.XIX NTC18

Lato	b/t	c/t	d/t	Max rapporto	Verifica
1-2			8.33	50	Si
2-3	26.67			60	Si
3-4	13.33			500	Si
5-4	26.67			60	Si
6-5			8.33	50	Si

Verifica degli angoli interni § 5.5.3.2 EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 ; Tab. C4.2.XIX NTC18

Id	$\Phi$	$\Phi_{min}$	$\Phi_{max}$	Verifica
2	90	45	135	Si
3	90	45	90	Si
4	90	45	90	Si
5	90	45	135	Si

#### Verifiche di resistenza

Verifica a taglio Y §C4.2.12.1.5.4.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vb,Rd	f <sub>yk</sub>	Verifica
158	SLU 11	0.002	-11	5997.2	2350	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 40 di 57

#### Verifica a taglio Y SLD §C4.2.12.1.5.4.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vb,Rd	fyk	Verifica
158	SLD 16	0.001	-8.5	5997.2	2350	Si

#### Verifica a flessione semplice X §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	fymk	fyk	Verifica
158	SLU 11	0.025	869.2	35421.5	2811.63		Si

#### Verifica a flessione semplice X SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	fymk	fyk	Verifica
158	SLD 12	0.019	668.6	35421.5	2811.63		Si

#### Verifica a flessione deviata §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
158	SLV 2	0.021	669	35421	-42	18279	2811.63		Si

#### Verifica a flessione deviata SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
158	SLD 2	0.02	669	35421	-12	18279	2811.63		Si

### Verifiche ad instabilità

#### Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;

Curva X: b; Curva Y: b; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: b;

Verifica condotta considerando anche il carico critico Ncr a torsione/flesso-torsione.

#### Dati per instabilità attorno a x

##### Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta x/m$	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda x/m$	$\lambda Ver$
1	Si	0					
2	Si	158	1-2	1	Si	55.6	Si, (<200)

#### Dati per instabilità attorno a y

##### Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta y/n$	k,LT	kw,LT	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda y/n$	$\lambda Ver$
1	Si	0							
2	Si	158	1-2	1	1	1	Si	75.9	Si, (<200)

#### Verifica a svergolamento §C4.2.12.1.6.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	$\chi_{LT}$	$\lambda_{adim. LT}$	L,LT	M,critico	Verifica
158	SLU 11	0.042	Si	869.2	20464.8	0.691	0.853	158	42724.2	Si

#### Verifica a svergolamento SLD §C4.2.12.1.6.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	$\chi_{LT}$	$\lambda_{adim. LT}$	L,LT	M,critico	Verifica
158	SLD 12	0.033	Si	668.6	20464.8	0.691	0.853	158	42724.2	Si

#### Verifica di stabilità per pressoflessione con svergolamento § 6.5.2 ENV 1993-1-3:1996 + AC:1997

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Mx,Ed	My,Ed	Aeff	Weff,x,com	Weff,y,com	$\chi_{min}$	$\chi_{lat}$	kx	ky	kLT	$\chi_{LT}$	Verifica
158	SLV 2	0.033	0	668.6	-42.2	6.82	14.4	6.8	0.243	0.243	1	1	1	0.691	Si

#### Verifica di stabilità per pressoflessione con svergolamento SLD § 6.5.2 ENV 1993-1-3:1996 + AC:1997

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Mx,Ed	My,Ed	Aeff	Weff,x,com	Weff,y,com	$\chi_{min}$	$\chi_{lat}$	kx	ky	kLT	$\chi_{LT}$	Verifica
158	SLD 2	0.031	0	668.6	-11.6	6.82	14.4	6.8	0.243	0.243	1	1	1	0.691	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"

T-CSTO

Relazione di Calcolo Preliminare Strutture

rev 00

Data 01/02/2024

Pagina 41 di 57

**Verifiche a deformabilità**

Mensola X: No; Mensola Y: No.

Verifiche eseguite considerando, se necessario, la sezione efficace.

**Frecce lungo X**

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
100.1	SLE RA 1	0	158	10000	250	Totale	Si
100.1	SLE RA 2	0	158	10000	250	Totale	Si
100.1	SLE RA 3	0	158	10000	250	Totale	Si
100.1	SLE RA 4	0	158	10000	250	Totale	Si
100.1	SLE RA 5	0	158	10000	250	Totale	Si
47.4	SLE RA 2	0	158	10000	350	Variabile	Si
47.4	SLE RA 3	0	158	10000	350	Variabile	Si
0	SLE RA 4	0	158	10000	350	Variabile	Si
47.4	SLE RA 5	0	158	10000	350	Variabile	Si

**Frecce lungo Y**

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
100.1	SLE RA 1	0.006	158	10000	250	Totale	Si
100.1	SLE RA 2	0.006	158	10000	250	Totale	Si
100.1	SLE RA 3	0.006	158	10000	250	Totale	Si
100.1	SLE RA 4	0.006	158	10000	250	Totale	Si
100.1	SLE RA 5	0.006	158	10000	250	Totale	Si
57.9	SLE RA 2	0	158	10000	350	Variabile	Si
57.9	SLE RA 3	0	158	10000	350	Variabile	Si
0	SLE RA 4	0	158	10000	350	Variabile	Si
57.9	SLE RA 5	0	158	10000	350	Variabile	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 42 di 57

### 9.2.4. Superelemento in acciaio a "Testa montante" 22-23

#### Caratteristiche del materiale

Acciaio: S235, fyk = 2350, fuk = 3600

#### Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 158

Nodo iniziale: 30 Nodo finale: 50

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovreresistenza: 0% Sisma Z: No

Irrigidimento: No

#### Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
OMEGA 80*40*25*3	0	6.82	55.15	29.58	2.84	2.08	13.23	7.04	17.32	13.25

Processo di formatura: A rullo.

#### Caratteristiche della sezione lorda ricavate dalla sezione a spigoli vivi

Area,g	Wx,y max,g	Wx,y min,g	Wy,x max,g	Wy,x min,g	xS	yS	Iw	Ij
6.91	13.51	14.64	6.83	6.83	0	6.6	166.74	6.8

#### Caratteristiche della sezione efficace

Area,eff	Wx+,y max,eff	Wx+,y min,eff	Wx-,y max,eff	Wx-,y min,eff	Wy+,x max,eff	Wy+,x min,eff	Wy-,x max,eff	Wy-,x min,eff	eNx	eNy
6.91	13.51	14.64	13.51	14.64	6.83	6.83	6.83	6.83	0	0

#### Controlli geometrici

Verifica del massimo raggio § 5.1 (6) EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

$r = 0.45 < 10.72$  - SODDISFATTA

Verifica del minimo raggio C11.3.4.11.2.1 NTC18

$r = 0.45 > 0.3$  - SODDISFATTA

Verifica dello spessore § 3.2.4 EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

$t = 0.3: 0.08 < t < 1.6$  - SODDISFATTA

Verifica del rapporto larghezza/spessore Tab. C4.2.XIX NTC18

Lato	b/t	c/t	d/t	Max rapporto	Verifica
1-2		8.33		50	Si
2-3	26.67			60	Si
3-4	13.33			500	Si
5-4	26.67			60	Si
6-5		8.33		50	Si

Verifica degli angoli interni § 5.5.3.2 EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 ; Tab. C4.2.XIX NTC18

Id	$\Phi$	$\Phi_{min}$	$\Phi_{max}$	Verifica
2	90	45	135	Si
3	90	45	90	Si
4	90	45	90	Si
5	90	45	135	Si

#### Verifiche di resistenza

Verifica a taglio Y §C4.2.12.1.5.4.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vb,Rd	fyk	Verifica
0	SLU 17	0.002	11	5997.2	2350	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 43 di 57

#### Verifica a taglio Y SLD §C4.2.12.1.5.4.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vb,Rd	fyk	Verifica
0	SLD 16	0.001	8.5	5997.2	2350	Si

#### Verifica a flessione semplice X §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	fymk	fyk	Verifica
0	SLU 13	0.025	869.2	35421.5	2811.63		Si

#### Verifica a flessione semplice X SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	fymk	fyk	Verifica
0	SLD 10	0.019	668.6	35421.5	2811.63		Si

#### Verifica a flessione deviata §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
0	SLV 1	0.021	669	35421	-42	18279	2811.63		Si

#### Verifica a flessione deviata SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
0	SLD 1	0.02	669	35421	-12	18279	2811.63		Si

### Verifiche ad instabilità

#### Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;

Curva X: b; Curva Y: b; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: b;

Verifica condotta considerando anche il carico critico Ncr a torsione/flesso-torsione.

#### Dati per instabilità attorno a x

##### Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta x/m$	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda x/m$	$\lambda Ver$
1	Si	0	1-2	1	Si	55.6	Si, (<200)
2	Si	158					

#### Dati per instabilità attorno a y

##### Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta y/n$	k,LT	kw,LT	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda y/n$	$\lambda Ver$
1	Si	0	1-2	1	1	1	Si	75.9	Si, (<200)
2	Si	158							

#### Verifica a svergolamento §C4.2.12.1.6.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	$\chi_{i,LT}$	$\lambda adim. LT$	L,LT	M,critico	Verifica
0	SLU 13	0.042	Si	869.2	20464.8	0.691	0.853	158	42724.2	Si

#### Verifica a svergolamento SLD §C4.2.12.1.6.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	$\chi_{i,LT}$	$\lambda adim. LT$	L,LT	M,critico	Verifica
0	SLD 10	0.033	Si	668.6	20464.8	0.691	0.853	158	42724.2	Si

#### Verifica di stabilità per pressoflessione con svergolamento § 6.5.2 ENV 1993-1-3:1996 + AC:1997

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Mx,Ed	My,Ed	Aeff	Weff,x,com	Weff,y,com	$\chi_{i,min}$	$\chi_{i,lat}$	kx	ky	kLT	$\chi_{i,LT}$	Verifica
0	SLV 1	0.033	0	668.6	-42.2	6.82	14.4	6.8	0.243	0.243	1	1	1	0.691	Si

#### Verifica di stabilità per pressoflessione con svergolamento SLD § 6.5.2 ENV 1993-1-3:1996 + AC:1997

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Mx,Ed	My,Ed	Aeff	Weff,x,com	Weff,y,com	$\chi_{i,min}$	$\chi_{i,lat}$	kx	ky	kLT	$\chi_{i,LT}$	Verifica
0	SLD 1	0.031	0	668.6	-11.6	6.82	14.4	6.8	0.243	0.243	1	1	1	0.691	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"

T-CSTO

Relazione di Calcolo Preliminare Strutture

rev 00

Data 01/02/2024

Pagina 44 di 57

**Verifiche a deformabilità**

Mensola X: No; Mensola Y: No.

Verifiche eseguite considerando, se necessario, la sezione efficace.

**Freccie lungo X**

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
57.9	SLE RA 1	0	158	10000	250	Totale	Si
57.9	SLE RA 2	0	158	10000	250	Totale	Si
57.9	SLE RA 3	0	158	10000	250	Totale	Si
57.9	SLE RA 4	0	158	10000	250	Totale	Si
57.9	SLE RA 5	0	158	10000	250	Totale	Si
84.3	SLE RA 2	0	158	10000	350	Variabile	Si
84.3	SLE RA 3	0	158	10000	350	Variabile	Si
0	SLE RA 4	0	158	10000	350	Variabile	Si
84.3	SLE RA 5	0	158	10000	350	Variabile	Si

**Freccie lungo Y**

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
57.9	SLE RA 1	0.006	158	10000	250	Totale	Si
57.9	SLE RA 2	0.006	158	10000	250	Totale	Si
57.9	SLE RA 3	0.006	158	10000	250	Totale	Si
57.9	SLE RA 4	0.006	158	10000	250	Totale	Si
57.9	SLE RA 5	0.006	158	10000	250	Totale	Si
94.8	SLE RA 2	0	158	10000	350	Variabile	Si
94.8	SLE RA 3	0	158	10000	350	Variabile	Si
0	SLE RA 4	0	158	10000	350	Variabile	Si
94.8	SLE RA 5	0	158	10000	350	Variabile	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 45 di 57

### 9.3. Verifiche vela in posizione inclinata

Si riportano di seguito, a titolo esplicativo, le verifiche dell'elemento trasverso e di un profilo di sostegno dei pannelli fotovoltaici

#### 9.3.1. Super elemento in acciaio "Fondazione" - "Testa montante" filo 29

##### Caratteristiche del materiale

Acciaio: S235, fyk = 2350

##### Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 253

Nodo iniziale: 3 Nodo finale: 33

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovreresistenza: 0% Sisma Z: No

##### Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
IPE220	90	33.4	2774.54	204.91	9.11	2.48	252.23	37.26	285.69	58.13

##### Verifiche di resistenza

###### Verifiche a forza assiale §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	px	py	Verifica
0	SLU 20	0.039	1	-2942.8	74751.3		1	0	0	Si

###### Verifiche a forza assiale SLD §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	px	py	Verifica
0	SLD 9	0.028	1	-2072.3	74751.3		1	0	0	Si

###### Verifica a taglio X §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
244.6	SLV 12	0.006	161.4	27788.2	21.51	Considerata	1	Si

###### Verifica a taglio X SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
253	SLD 11	0.003	87.2	27788.2	21.51	Considerata	1	Si

###### Verifica a taglio Y §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
253	SLV 4	0.006	129.6	20558.8	15.91	Considerata	1	Si

###### Verifica a taglio Y SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
253	SLD 4	0.003	64.1	20558.8	15.91	Considerata	1	Si

###### Verifica a presso/tenso flessione retta X §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	px	py	Verifica
59	SLV 13	0.066	1	-2056.8	74751.3	1	24671	639392	1		0	0	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"					
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture		rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 46 di 57

**Verifica a presso/tenso flessione retta X SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	px	py	Verifica
101.2	SLD 15	0.043	1	-2044.2	74751.3	1	10018	639392	1		0	0	Si

**Verifica a presso/tenso flessione retta Y §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	px	py	Verifica
219.3	SLV 8	0.154	1	-2009.4	74751.3	1	-16598	130104	1		0	0	Si

**Verifica a presso/tenso flessione retta Y SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	px	py	Verifica
227.7	SLD 3	0.092	1	-2011	74751.3	1	-8437	130104	1		0	0	Si

**Verifica a presso/tenso flessione deviata §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	px	py	Verifica
253	SLV 8	0.199	1	-2000.5	74751.3	1	1482	639392	-22043	130104	1		1				0	0	Si

**Verifica a presso/tenso flessione deviata SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	px	py	Verifica
253	SLD 7	0.127	1	-2003.5	74751.3	1	1258	639392	-12723	130104	1		1				0	0	Si

**Verifiche ad instabilità**

Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;

Curva X: a; Curva Y: b; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: b;

Dati per instabilità attorno a x

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βx/m	Vincolo a entrambi estremi	λx/m	λVer
1	Si	0					
2	Si	253	1-2	1	Si	27.8	Si, (<200)

Dati per instabilità attorno a y

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βy/n	k,LT	kw,LT	Vincolo a entrambi estremi	λy/n	λVer
1	Si	0							
2	Si	253	1-2	1	1	1	Si	102.1	Si, (<200)

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"																	
T-CSTO		Relazione di Calcolo Preliminare Strutture							rev 00		Data 01/02/2024			Pagina 47 di 57			

**Verifica di stabilità per pressoflessione §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18**

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	$\chi_x$	$\chi_y$	kxx	kxy	kyx	kyy	$\chi_{LT}$	Verifica
0	SLV 16	0.148	1	-2069.8	78488.9	32312.6	671361.6	12913	136609.4	0.979	0.543	0.596	0.257	0.985	0.429	0.91	Si

**Verifica di stabilità per pressoflessione SLD §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18**

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	$\chi_x$	$\chi_y$	kxx	kxy	kyx	kyy	$\chi_{LT}$	Verifica
0	SLD 16	0.112	1	-2070.7	78488.9	16490.7	671361.6	10117	136609.4	0.979	0.543	0.609	0.257	0.986	0.429	0.906	Si

**Verifica di stabilità a taglio anima Y §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18**

$\eta$	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	20.2	0.6	60	Si

**Verifica di stabilità a taglio anima Y SLD §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18**

$\eta$	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	20.2	0.6	60	Si

**Verifiche a deformabilità**

Mensola X: No; Mensola Y: No.

Verifiche non eseguite in quanto il superelemento è verticale.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 48 di 57

### 9.3.2. Superamento in acciaio a "Testa montante" 21-29

#### Caratteristiche del materiale

Acciaio: S235, fyk = 2350

#### Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 873.8

Nodo iniziale: 25 Nodo finale: 33

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovreresistenza: 0% Sisma Z: No

#### Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
EN10219 180x180x8	0	52.84	2545.86	2545.86	6.94	6.94	282.87	282.87	335.7	335.7

#### Verifiche di resistenza

##### Verifiche a forza assiale §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	px	py	Verifica
851.7	SLV 11	0.002	1	-180.9	118266.5		1	0	0	Si

##### Verifiche a forza assiale SLD §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	px	py	Verifica
845	SLD 11	0.001	1	-138.8	118266.5		1	0	0	Si

##### Verifica a taglio X §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
851.7	SLV 2	0.002	-65.5	34076	26.42	Considerata	1	Si

##### Verifica a taglio X SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
849.8	SLD 1	0.001	-32.4	34092.5	26.42	Considerata	1	Si

##### Verifica a taglio Y §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
873.8	SLU 19	0.044	-1510.1	34077.7	26.42	Considerata	1	Si

##### Verifica a taglio Y SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
873.8	SLD 8	0.031	-1065.4	34103.9	26.42	Considerata	1	Si

##### Verifica a torsione §4.2.4.1.2.5 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento torsione	TEd	TRd	Riduzione taglio resistente	Sfruttamento taglio-torsione	rEd,totale	rRd	Verifica
30.3	SLV 16	0.002	1227.1	607095.2	Considerata				Si

##### Verifica a torsione SLD §4.2.4.1.2.5 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento torsione	TEd	TRd	Riduzione taglio resistente	Sfruttamento taglio-torsione	rEd,totale	rRd	Verifica
8.7	SLD 16	0.001	892.9	607095.2	Considerata				Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"												
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture						rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 49 di 57			

**Verifica a presso/tenso flessione retta X §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	px	py	Verifica
873.8	SLU 16	0.293	1	-171.2	118266.5	1	218774	751329	1		0	0	Si

**Verifica a presso/tenso flessione retta X SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	px	py	Verifica
19.5	SLD 6	0.072	1	-137.8	118266.5	1	53297	751329	1		0	0	Si

**Verifica a presso/tenso flessione retta Y SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	px	py	Verifica
86.7	SLD 15	0.002	1	-118.4	118266.5	1	-541	751329	1		0	0	Si

**Verifica a presso/tenso flessione deviata §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	px	py	Verifica
873.8	SLU 19	0.305	1	-174.4	118266.5	1	222740	751329	-5418	751329	1		1				0	0	Si

**Verifica a presso/tenso flessione deviata SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18**

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	px	py	Verifica
873.8	SLD 4	0.216	1	-127	118266.5	1	156752	751329	-4449	751329	1		1				0	0	Si

**Verifiche ad instabilità**

Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;

Curva X: c; Curva Y: c; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: d;

Dati per instabilità attorno a x

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βx/m	Vincolo a entrambi estremi	λx/m	λVer
1	Si		0				
2	Si	873.8	1-2		1	125.9	Si, (<200)

Dati per instabilità attorno a y

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βy/n	k,LT	kw,LT	Vincolo a entrambi estremi	λy/n	λVer
1	Si		0						
2	Si	873.8	1-2		1	1	1	125.9	Si, (<200)

**Verifica di stabilità per pressoflessione §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18**

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χ,x	χ,y	kxx	kxy	kyy	χ,LT	Verifica	
325	SLU 19	0.309	1	-174.4	124179.8	222740.4	788895	5418.1	788895	0.372	0.372	0.598	0.43	0.999	0.716	0.988	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"

T-CSTO

Relazione di Calcolo Preliminare Strutture

rev 00

Data 01/02/2024

Pagina 50 di 57

**Verifica di stabilità per pressoflessione SLD §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18**

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	X,x	X,y	kxx	kxy	kyx	kyy	X,LT	Verifica
873.8	SLD 16	0.218	1	-127	124179.8	156752.2	788895	4403.1	788895	0.372	0.372	0.597	0.445	0.999	0.742	0.988	Si

**Verifica di stabilità a taglio anima X §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18**

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	16.4	0.8	60	Si

**Verifica di stabilità a taglio anima X SLD §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18**

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	16.4	0.8	60	Si

**Verifica di stabilità a taglio anima Y §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18**

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	16.4	0.8	60	Si

**Verifica di stabilità a taglio anima Y SLD §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18**

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	16.4	0.8	60	Si

**Verifiche a deformabilità**

Mensola X: No; Mensola Y: No.

**Frecce lungo X**

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
502.7	SLE RA 1	0	873.8	10000	250	Totale	Si
502.7	SLE RA 2	0	873.8	10000	250	Totale	Si
403	SLE RA 3	-0.021	873.8	10000	250	Totale	Si
403	SLE RA 4	-0.035	873.8	10000	250	Totale	Si
403	SLE RA 5	-0.035	873.8	10000	250	Totale	Si
0	SLE RA 2	0	873.8	10000	350	Variabile	Si
403	SLE RA 3	-0.021	873.8	10000	350	Variabile	Si
403	SLE RA 4	-0.035	873.8	10000	350	Variabile	Si
403	SLE RA 5	-0.035	873.8	10000	350	Variabile	Si

**Frecce lungo Y**

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
403	SLE RA 4	-1.147	873.8	761.6	250	Totale	Si
403	SLE RA 5	-1.147	873.8	761.6	250	Totale	Si
403	SLE RA 3	-1.14	873.8	766.7	250	Totale	Si
403	SLE RA 1	-1.128	873.8	774.5	250	Totale	Si
403	SLE RA 2	-1.128	873.8	774.5	250	Totale	Si
0	SLE RA 2	0	873.8	10000	350	Variabile	Si
403	SLE RA 3	-0.011	873.8	10000	350	Variabile	Si
403	SLE RA 4	-0.019	873.8	10000	350	Variabile	Si
403	SLE RA 5	-0.019	873.8	10000	350	Variabile	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 51 di 57

### 9.3.3. Superamento in acciaio a "Testa montante"- "122" 26-46

#### Caratteristiche del materiale

Acciaio: S235, fyk = 2350, fuk = 3600

#### Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 158.7

Nodo iniziale: 30 Nodo finale: 11

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovreresistenza: 0% Sisma Z: No

Irrigidimento: No

#### Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
OMEGA 80*40*25*3	0	6.82	55.15	29.58	2.84	2.08	13.23	7.04	17.32	13.25

Processo di formatura: A rullo.

#### Caratteristiche della sezione lorda ricavate dalla sezione a spigoli vivi

Area,g	Wx,y max,g	Wx,y min,g	Wy,x max,g	Wy,x min,g	xS	yS	Iw	yj
6.91	13.51	14.64	6.83	6.83	0	6.6	166.74	6.8

#### Caratteristiche della sezione efficace

Area,eff	Wx+,y max,eff	Wx+,y min,eff	Wx-,y max,eff	Wx-,y min,eff	Wy+,x max,eff	Wy+,x min,eff	Wy-,x max,eff	Wy-,x min,eff	eNx	eNy
6.91	13.51	14.64	13.51	14.64	6.83	6.83	6.83	6.83	0	0

#### Controlli geometrici

Verifica del massimo raggio § 5.1 (6) EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

$r = 0.45 < 10.72$  - SODDISFATTA

Verifica del minimo raggio C11.3.4.11.2.1 NTC18

$r = 0.45 > 0.3$  - SODDISFATTA

Verifica dello spessore § 3.2.4 EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

$t = 0.3: 0.08 < t < 1.6$  - SODDISFATTA

Verifica del rapporto larghezza/spessore Tab. C4.2.XIX NTC18

Lato	b/t	c/t	d/t	Max rapporto	Verifica
1-2		8.33		50	Si
2-3	26.67			60	Si
3-4	13.33			500	Si
5-4	26.67			60	Si
6-5		8.33		50	Si

Verifica degli angoli interni § 5.5.3.2 EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 ; Tab. C4.2.XIX NTC18

Id	$\Phi$	$\Phi_{min}$	$\Phi_{max}$	Verifica
2	90	45	135	Si
3	90	45	90	Si
4	90	45	90	Si
5	90	45	135	Si

#### Verifiche di resistenza

Verifica a taglio Y §C4.2.12.1.5.4.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vb,Rd	fyk	Verifica
0	SLU 16	0.001	6.3	5997.2	2350	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 52 di 57

#### Verifica a taglio Y SLD §C4.2.12.1.5.4.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vb,Rd	fyk	Verifica
0	SLD 3	0.001	4.9	5997.2	2350	Si

#### Verifica a flessione semplice X §C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	fymk	fyk	Verifica
5.3	SLV 3	0.011	373.3	35421.5	2811.63		Si

#### Verifica a flessione semplice X SLD §C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	fymk	fyk	Verifica
5.3	SLD 4	0.01	365	35421.5	2811.63		Si

#### Verifica a flessione deviata §C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
5.3	SLV 5	0.011	362	35421	20	18279	2811.63		Si

#### Verifica a presso/tenso flessione §C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Mx,Ed	Mcx,Rd,com	Mcx,Rd,ten	My,Ed	Mcy,Rd,com	Mcy,Rd,ten	fymk	fyk	Verifica
0	SLU 17	0.015	9.1		18272.1	496.47	38551.68	35421.47	0	18278.59	18278.59	2811.63		Si

#### Verifica a presso/tenso flessione SLD §C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Mx,Ed	Mcx,Rd,com	Mcx,Rd,ten	My,Ed	Mcy,Rd,com	Mcy,Rd,ten	fymk	fyk	Verifica
0	SLD 5	0.012	7		18272.1	384.42	38551.68	35421.47	5.89	18278.59	18278.59	2811.63		Si

### Verifiche ad instabilità

#### Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;

Curva X: b; Curva Y: b; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: b;

Verifica condotta considerando anche il carico critico Ncr a torsione/flesso-torsione.

#### Dati per instabilità attorno a x

##### Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta x/m$	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda x/m$	$\lambda Ver$
1	Si	0					
			1-2		1	55.8	Si, (<200)
2	Si	158.7					

#### Dati per instabilità attorno a y

##### Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta y/n$	k,LT	kw,LT	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda y/n$	$\lambda Ver$
1	Si	0							
			1-2		1	1	1	76.2	Si, (<200)
2	Si	158.7							

#### Verifica a svergolamento §C4.2.12.1.6.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	$\chi_i,LT$	$\lambda adim. LT$	L,LT	M,critico	Verifica
5.3	SLV 3	0.018	Si	373.3	20428.8	0.69	0.855	158.7	42533	Si

#### Verifica a svergolamento SLD §C4.2.12.1.6.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	$\chi_i,LT$	$\lambda adim. LT$	L,LT	M,critico	Verifica
5.3	SLD 4	0.018	Si	365	20428.8	0.69	0.855	158.7	42533	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"												
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture						rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 53 di 57			

**Verifica a svergolamento con trazione §C4.2.12.1.6.2 NTC18 § 5.5.3 ENV 1993-1-1:1992 + AC:1992 + A1:1994 + A2:1998**

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	NEd	Mx,Ed	Mx,Eff,Ed	Mb,Rd,x	$\chi_{LT}$	$\lambda$ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
0	SLU 11	0.024	Si	9.1	496.5	483	20428.8	0.69	0.855	158.7	42533	Si

**Verifica a svergolamento con trazione SLD §C4.2.12.1.6.2 NTC18 § 5.5.3 ENV 1993-1-1:1992 + AC:1992 + A1:1994 + A2:1998**

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	NEd	Mx,Ed	Mx,Eff,Ed	Mb,Rd,x	$\chi_{LT}$	$\lambda$ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
0	SLD 3	0.019	Si	7	390.3	380	20428.8	0.69	0.855	158.7	42533	Si

**Verifica di stabilità per tenso-flessione deviata § 6.5.1 ENV 1993-1-3:1996 + AC:1997 § 5.5.3 ENV 1993-1-1:1992 + AC:1992 + A1:1994 + A2:1998**

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Mx,Ed	Mx,Eff,Ed	My,Ed	$\chi_{LT}$	kLT	ky	M,critico	Weff,x,com	Weff,y,com	Verifica
0	SLV 5	0.018	7	387	376.7	20.6	0.69	1	1	42533	14.4	6.8	Si

**Verifica di stabilità per pressoflessione con svergolamento § 6.5.2 ENV 1993-1-3:1996 + AC:1997**

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Mx,Ed	My,Ed	Aeff	Weff,x,com	Weff,y,com	$\chi_{min}$	$\chi_{lat}$	kx	ky	kLT	$\chi_{LT}$	Verifica
5.3	SLV 5	0.018	0	361.8	19.9	6.82	14.4	6.8	0.242	0.242	1	1	1	0.69	Si

**Verifiche a deformabilità**

Mensola X: No; Mensola Y: No.

Verifiche eseguite considerando, se necessario, la sezione efficace.

**Frecce lungo X**

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
58.2	SLE RA 1	0	158.7	10000	250	Totale	Si
58.2	SLE RA 2	0	158.7	10000	250	Totale	Si
58.2	SLE RA 3	0	158.7	10000	250	Totale	Si
58.2	SLE RA 4	0	158.7	10000	250	Totale	Si
58.2	SLE RA 5	0	158.7	10000	250	Totale	Si
0	SLE RA 2	0	158.7	10000	350	Variabile	Si
74.1	SLE RA 3	0	158.7	10000	350	Variabile	Si
74.1	SLE RA 4	0	158.7	10000	350	Variabile	Si
74.1	SLE RA 5	0	158.7	10000	350	Variabile	Si

**Frecce lungo Y**

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
58.2	SLE RA 1	0.003	158.7	10000	250	Totale	Si
58.2	SLE RA 2	0.003	158.7	10000	250	Totale	Si
58.2	SLE RA 3	0.003	158.7	10000	250	Totale	Si
58.2	SLE RA 4	0.003	158.7	10000	250	Totale	Si
58.2	SLE RA 5	0.003	158.7	10000	250	Totale	Si
0	SLE RA 2	0	158.7	10000	350	Variabile	Si
68.8	SLE RA 3	0	158.7	10000	350	Variabile	Si
68.8	SLE RA 4	0	158.7	10000	350	Variabile	Si
68.8	SLE RA 5	0	158.7	10000	350	Variabile	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 54 di 57

### 9.3.4. Super elemento in acciaio a "352"- "Testa montante" 7-26

#### Caratteristiche del materiale

Acciaio: S235, fyk = 2350, fuk = 3600

#### Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 120.5

Nodo iniziale: 50 Nodo finale: 30

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovreresistenza: 0% Sisma Z: No

Irrigidimento: No

#### Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
OMEGA 80*40*25*3	0	6.82	55.15	29.58	2.84	2.08	13.23	7.04	17.32	13.25

Processo di formatura: A rullo.

#### Caratteristiche della sezione lorda ricavate dalla sezione a spigoli vivi

Area,g	Wx,y max,g	Wx,y min,g	Wy,x max,g	Wy,x min,g	xS	yS	Iw	Ij
6.91	13.51	14.64	6.83	6.83	0	6.6	166.74	6.8

#### Caratteristiche della sezione efficace

Area,eff	Wx+,y max,eff	Wx+,y min,eff	Wx-,y max,eff	Wx-,y min,eff	Wy+,x max,eff	Wy+,x min,eff	Wy-,x max,eff	Wy-,x min,eff	eNx	eNy
6.91	13.51	14.64	13.51	14.64	6.83	6.83	6.83	6.83	0	0

#### Controlli geometrici

Verifica del massimo raggio § 5.1 (6) EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

$r = 0.45 < 10.72$  - SODDISFATTA

Verifica del minimo raggio C11.3.4.11.2.1 NTC18

$r = 0.45 > 0.3$  - SODDISFATTA

Verifica dello spessore § 3.2.4 EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

$t = 0.3: 0.08 < t < 1.6$  - SODDISFATTA

Verifica del rapporto larghezza/spessore Tab. C4.2.XIX NTC18

Lato	b/t	c/t	d/t	Max rapporto	Verifica
1-2		8.33		50	Si
2-3	26.67			60	Si
3-4	13.33			500	Si
5-4	26.67			60	Si
6-5		8.33		50	Si

Verifica degli angoli interni § 5.5.3.2 EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 ; Tab. C4.2.XIX NTC18

Id	$\Phi$	$\Phi_{min}$	$\Phi_{max}$	Verifica
2	90	45	135	Si
3	90	45	90	Si
4	90	45	90	Si
5	90	45	135	Si

#### Verifiche di resistenza

Verifica a flessione semplice X §C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	fymk	fyk	Verifica
116.5	SLU 11	0.008	267.2	35421.5	2811.63		Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 55 di 57

**Verifica a flessione semplice X SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18**

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	fymk	fyk	Verifica
120.5	SLD 1	0.007	234	35421.5	2811.63		Si

**Verifica a flessione semplice Y §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18**

X	Comb.	Sfruttamento	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
28.1	SLV 9	0	8	18278.6	2811.63		Si

**Verifica a flessione deviata §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18**

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
120.5	SLV 5	0.008	228	35421	34	18279	2811.63		Si

**Verifica a flessione deviata SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18**

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
120.5	SLD 6	0.007	224	35421	10	18279	2811.63		Si

**Verifica a presso/tenso flessione §C4.2.12.1.5.4 NTC18**

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Mx,Ed	Mcx,Rd,com	Mcx,Rd,ten	My,Ed	Mcy,Rd,com	Mcy,Rd,ten	fymk	fyk	Verifica
120.5	SLU 11	0.008	-6.9	18272.1		285.99	38551.68	35421.47	0	18278.59	18278.59	2811.63		Si

**Verifiche ad instabilità**

Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;

Curva X: b; Curva Y: b; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: b;

Verifica condotta considerando anche il carico critico Ncr a torsione/flesso-torsione.

Dati per instabilità attorno a x

**Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18**

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta x/m$	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda x/m$	$\lambda Ver$
1	Si	0					
			1-2		1	42.4	Si, (<200)
2	Si	120.5					

Dati per instabilità attorno a y

**Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18**

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta y/n$	k,LT	kw,LT	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda y/n$	$\lambda Ver$
1	Si	0							
			1-2		1	1	Si	57.9	Si, (<200)
2	Si	120.5							

**Verifica a svergolamento §C4.2.12.1.6.2 NTC18**

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	$\chi_{LT}$	$\lambda$ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
116.5	SLU 11	0.012	Si	267.2	22573.5	0.762	0.737	120.5	57247.1	Si

**Verifica a svergolamento SLD §C4.2.12.1.6.2 NTC18**

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	$\chi_{LT}$	$\lambda$ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
120.5	SLD 1	0.01	Si	234	22573.5	0.762	0.737	120.5	57247.1	Si

**Verifica di stabilità per pressoflessione con svergolamento § 6.5.2 ENV 1993-1-3:1996 + AC:1997**

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Mx,Ed	My,Ed	Aeff	Weff,x,com	Weff,y,com	$\chi_{min}$	$\chi_{lat}$	kx	ky	kLT	$\chi_{LT}$	Verifica
120.5	SLV 5	0.012	0	228.5	34.3	6.82	14.4	6.8	0.318	0.318	1	1	1	0.762	Si

**Verifica di stabilità per pressoflessione con svergolamento SLD § 6.5.2 ENV 1993-1-3:1996 + AC:1997**

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Mx,Ed	My,Ed	Aeff	Weff,x,com	Weff,y,com	$\chi_{min}$	$\chi_{lat}$	kx	ky	kLT	$\chi_{LT}$	Verifica
120.5	SLD 6	0.01	0	224.2	9.8	6.82	14.4	6.8	0.318	0.318	1	1	1	0.762	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"

T-CSTO

Relazione di Calcolo Preliminare Strutture

rev 00

Data 01/02/2024

Pagina 56 di 57

**Verifica di stabilità per pressoflessione retta § 6.2.5 (2) EN 1993-1-3:2006 + AC:2009**

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Nb,Rd	Mx,Ed	Mb,Rd,x	x,min	l0 x/m	l0 y/n	λ adim. x/m	λ adim. y/n	N,crit x/m	N,crit y/n	χ,LT	λ adim. LT	M,critico	Verifica
120.5	SLU 11	0.036	-6.9	4853.1	286	22573.5	0.318	120.5	120.5	0.451	1.57	78747.5	6507.4	0.762	0.737	57247.1	Si

**Verifiche a deformabilità**

Mensola X: No; Mensola Y: No.

Verifiche eseguite considerando, se necessario, la sezione efficace.

**Frecce lungo X**

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
76.3	SLE RA 1	0	120.5	10000	250	Totale	Si
76.3	SLE RA 2	0	120.5	10000	250	Totale	Si
76.3	SLE RA 3	0	120.5	10000	250	Totale	Si
76.3	SLE RA 4	0	120.5	10000	250	Totale	Si
76.3	SLE RA 5	0	120.5	10000	250	Totale	Si
0	SLE RA 2	0	120.5	10000	350	Variabile	Si
72.3	SLE RA 3	0	120.5	10000	350	Variabile	Si
72.3	SLE RA 4	0	120.5	10000	350	Variabile	Si
72.3	SLE RA 5	0	120.5	10000	350	Variabile	Si

**Frecce lungo Y**

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
76.3	SLE RA 1	0.001	120.5	10000	250	Totale	Si
76.3	SLE RA 2	0.001	120.5	10000	250	Totale	Si
76.3	SLE RA 3	0.001	120.5	10000	250	Totale	Si
76.3	SLE RA 4	0.001	120.5	10000	250	Totale	Si
76.3	SLE RA 5	0.001	120.5	10000	250	Totale	Si
0	SLE RA 2	0	120.5	10000	350	Variabile	Si
68.3	SLE RA 3	0	120.5	10000	350	Variabile	Si
68.3	SLE RA 4	0	120.5	10000	350	Variabile	Si
68.3	SLE RA 5	0	120.5	10000	350	Variabile	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MASSERIA SCIANNE"				
T-CST0	Relazione di Calcolo Preliminare Strutture	rev 00	Data 01/02/2024	Pagina 57 di 57

## 10.ALLEGATO 04 - VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI

**NORMATIVA DI RIFERIMENTO****D.M. 17/01/2018**

Le verifiche al carico limite (di tipo geotecnico) e strutturali vengono svolte con il metodo agli Stati Limite Ultimi (S.L.U.)

**Coeff. parziali o di sicurezza sulle azioni (A)**

gruppo A1 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- azioni permanenti con effetto favorevole alla sicurezza,  $g_{Gi}=1$  (1)
- azioni permanenti con effetto sfavorevole alla sicurezza,  $g_{Gs}=1,3$  (1,3)
- azioni variabili con effetto favorevole alla sicurezza,  $g_{Qi}=0$  (0)
- azioni variabili con effetto sfavorevole alla sicurezza,  $g_{Qs} = 1,5$  (1,5)

gruppo A2 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- azioni permanenti con effetto favorevole alla sicurezza,  $g_{Gi}=1$  (1)
- azioni permanenti con effetto sfavorevole alla sicurezza,  $g_{Gs}=1$  (1)
- azioni variabili con effetto favorevole alla sicurezza,  $g_{Qi}=0$  (0)
- azioni variabili con effetto sfavorevole alla sicurezza,  $g_{Qs}=1,3$  (1,3)

**Coeff. parziali o di sicurezza per i parametri geotecnici dei terreni (M)**

gruppo M1 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- tangente dell'angolo di resistenza al taglio,  $g_f'=1$  (1)
- coesione efficace,  $g_c'=1$  (1)
- coesione non drenata,  $g_{cu}=1$  (1)

gruppo M2 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- tangente dell'angolo di resistenza al taglio,  $g_f'=1,25$  (1,25)
- coesione efficace,  $g_c'=1,25$  (1,25)
- coesione non drenata,  $g_{cu}=1,4$  (1,4)

**Coeff. parziali o di sicurezza sulle resistenze globali dei sistemi geotecnici (R)**

gruppo R1 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- resistenza alla base,  $g_b=1$  (1)
- resistenza laterale in compressione,  $g_s=1$  (1)
- resistenza laterale in trazione,  $g_{st}=1$  (1)
- resistenza a carichi trasversali,  $g_T=1$  (1)

gruppo R2 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- resistenza alla base per pali battuti,  $g_b=1,45$  (1,45)
- resistenza alla base per pali trivellati,  $g_b=1,7$  (1,7)
- resistenza alla base per pali ad elica continua,  $g_b=1,6$  (1,6)

resistenza laterale in compressione,  $g_s=1,45$  (1,45)

resistenza laterale in trazione,  $g_{st}=1,6$  (1,6)

resistenza a carichi trasversali,  $g_T=1,6$  (1,6)

gruppo R3 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

resistenza alla base per pali battuti,  $g_b=1,15$  (1,15)

resistenza alla base per pali trivellati,  $g_b=1,35$  (1,35)

resistenza alla base per pali ad elica continua,  $g_b=1,3$  (1,3)

resistenza laterale in compressione,  $g_s=1,15$  (1,15)

resistenza laterale in trazione,  $g_{st}=1,25$  (1,25)

resistenza a carichi trasversali,  $g_T=1,3$  (1,3)

## **UNITA' DI MISURA**

### **Sistema Internazionale**

#### Calcoli generali e geotecnici

lunghezze (dimensioni, coordinate, distanze, ...): m (gli spostamenti sono espressi in cm)

aree sezioni: mq

volumi: mc

momenti di inerzia sezioni:  $m^4$

forze, Resistenza alla punta e laterale, Sforzo normale, Taglio: kN

momenti e rigidezze rotazionali vincoli:  $kN \cdot m$

forze distribuite per unità di lunghezza, rigidezze traslazionali vincoli: kN/m

coesioni, adesioni: kN/mq

tensioni nel sottosuolo, pressione neutra u: kN/mq

carico limite unitario: N/mm<sup>2</sup>

pesi unità di volume: kN/mc

coefficienti di reazione del terreno o di Winkler: N/cm<sup>2</sup>

#### Calcoli strutturali

dimensioni, copriferro, interferro: cm

diametri tondini, trefoli, barre, staffe e spirali: mm

aree sezioni: cm<sup>2</sup>

volumi: cm<sup>3</sup>

momenti statici sezioni: cm<sup>3</sup>

momenti di inerzia sezioni: cm<sup>4</sup>

tensioni/pressioni, moduli elastici, resistenze materiali: N/mm<sup>2</sup>

### **TIPO DI PALO**

Palo battuto

Palo in acciaio

### **CONDIZIONI DI ROTTURA**

Condizioni drenate (terreni a grana grossa, terreni a grana fina con applicazione lenta dei carichi, terreni a grana fina con analisi a lungo termine)

### **NUMERO DI STRATI E VERTICALI DI INDAGINE**

N° di strati = 2

N° di verticali di indagine = 1

### **SISTEMI DI RIFERIMENTO**

#### **Sistema di riferimento locale per il terreno**

asse z verticale verso il basso con origine nel piano di campagna

#### **Sistema di riferimento assoluto XYZ per il calcolo strutturale del palo**

origine nel baricentro della sezione superiore del palo

asse X orizzontale verso destra

asse Y verticale verso il basso (coincidente con l'asse del palo)

asse Z ortogonale al piano del disegno ed entrante (rotazioni positive orarie)

regola della mano destra

#### **Sistema di riferimento locale per il calcolo strutturale del palo**

origine nel baricentro della sezione superiore del palo

asse x verticale verso il basso coincidente con l'asse del palo (+Y globale)

asse z orizzontale verso sinistra (-X globale)

asse y ortogonale al piano del disegno e uscente (-Z globale)

regola della mano destra

### **GEOMETRIA**

diametro del palo,  $D=0,3$  m

lunghezza di affondamento palo,  $L=2$  m

lunghezza del palo fuori terra,  $L1=2,5$  m

**CONDIZIONE DI VINCOLO IN TESTA AL PALO**

Palo libero di ruotare in testa (attorno all'asse locale y)

**STRATIGRAFIA**

zt = profondità profilo di base dello strato

strato zt ( m)

1 1,5

2 + infinito

**SEZIONE METALLICA MICROPALO O PALO ACCIAIO**

forma armatura metallica: IPE

profilato: IPE 220

base della sezione,  $b=11$  cm

altezza della sezione,  $h=22$  cm

spessore parete,  $t=tw=0,59$  cm

spessore ali laterali,  $s=tf=0,92$  cm

raggio raccordo ali-anima,  $r=1,2$  cm

area della sezione,  $A=33,4$  cm<sup>2</sup>

momento d'inerzia elastico della sezione rispetto all'asse y,  $I_y=2772$  cm<sup>4</sup>

modulo di resistenza elastico rispetto all'asse y,  $W_y=252$  cm<sup>3</sup>

modulo di resistenza plastico rispetto all'asse y,  $W_{ply}=285,4$  cm<sup>3</sup>

Classe della sezione = 2

**DATI GEOTECNICI TERRENI (valori caratteristici)**

Valori medi per gli strati presenti

**Strato n° 1-Coltre superficiale argilloso - limosa**

peso dell'unità di volume,  $g=16,00$  kN/m<sup>3</sup>

angolo di resistenza al taglio denato,  $\phi_i=20^\circ$

coesione drenata,  $c'=0$  kN/m<sup>2</sup>

angolo di attrito palo-terreno lato spinta attiva,  $\delta_{a}=18^\circ$

angolo di attrito palo-terreno lato spinta passiva,  $\delta_{p}=6^\circ$

grado di sovraconsolidazione,  $OCR=1$

comportamento a breve termine: drenato

**Strato n° 2-Substrato pre-quatenario**

peso dell'unità di volume,  $g=25,00$  kN/mc  
 angolo di resistenza al taglio denato,  $Fi=40^\circ$   
 coesione drenata,  $c'=0$  kN/mq  
 angolo di attrito palo-terreno lato spinta attiva,  $delt_a=25^\circ$   
 angolo di attrito palo-terreno lato spinta passiva,  $delt_p=13^\circ$   
 grado di sovraconsolidazione,  $OCR=1$   
 comportamento a breve termine: drenato

### **DATI GEOTECNICI TERRENI DI FONDAZIONE E INTERFACCIA PALO-TERRENO**

Dati relativi a tutte le verticali di indagine (calcolo carico limite assiale e trasvers.)

#### **Verticale di indagine n° 1 ()**

*Strato n° 1*

angolo di resistenza al taglio,  $Fi=20^\circ$   
 coesione drenata,  $c'=0$  kN/mq  
 adesione al contatto palo-terreno,  $a=0$  kN/mq  
 coefficiente di attrito fra palo e terreno,  $m=0,36$   
 coeff. empirico k che lega la tens. norm. orizz. alla tens. effett. litost. vertic.,  $k=1$

*Strato n° 2*

angolo di resistenza al taglio,  $Fi=40^\circ$   
 coesione drenata,  $c'=10$  kN/mq  
 adesione al contatto palo-terreno,  $a=10$  kN/mq  
 coefficiente di attrito fra palo e terreno,  $m=0,36$   
 coeff. empirico k che lega la tens. norm. orizz. alla tens. effett. litost. vertic.,  $k=1$

### **COEFFICIENTI DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO O DI WINKLER**

Formula binomia  $Ks=As+B_s*z^n$  con  $As$  e  $B_s$  espressi in N/cm<sup>2</sup>,  $z$  in m

strato		$As$	$B_s$	$n$
1	Coltre superficiale argilloso - limoso:	0,9433	4,09561	0,5
2	Substrato pre-quaternario	39,77031	64,19521	0,5

### **DATI MATERIALI COSTITUENTI IL PALO**

tipo di acciaio micropalo/palo: S 235  
 modulo di elasticità longitudinale acciaio,  $Es=210000$  N/mm<sup>2</sup>  
 peso dell'unità di volume dell'armatura metallica,  $gacc=78,5$  kN/mc

tensione caratteristica di rottura acciaio,  $f_{tk}=360$  N/mm<sup>2</sup>

tensione caratteristica di snervamento acciaio,  $f_{yk}=235$  N/mm<sup>2</sup>

coeff. parziale sicurezza per il calcolo della resistenza delle sezioni di acciaio di classe 1-2-3-4,  $g_{M0}=1,05$

coeff. parziale sicurezza per il calcolo della resistenza all'instabilità delle membrature,  $g_{M1}=1,05$

coeff. parziale sicurezza per il calcolo della resistenza di sezioni tese indebolite da fori,  $g_{M2}=1,25$

tensione di snervamento di progetto dell'acciaio,  $f_{yd}=f_{yk}/g_{M0}=223,81$  N/mm<sup>2</sup>

### **CARICHI ESTERNI APPLICATI IN TESTA AL PALO (valori caratteristici)**

#### **Combinazione di carico allo SLU n° 1**

componente verticale permanente,  $N_{x0G}=21$  kN

componente verticale variabile,  $N_{x0Q}=0,5$  kN

componente orizzontale permanente,  $T_{z0G}=0$  kN

componente orizzontale variabile,  $T_{z0Q}=0$  kN

componente momento permanente,  $M_{y0G}=0,56$  kN\*m

componente momento variabile,  $M_{y0Q}=1,2$  kN\*m

#### **Combinazione di carico allo SLE n° 1**

componente verticale,  $N_{x0}=21$  kN

componente orizzontale,  $T_{z0}=0$  kN

componente momento,  $M_{y0}=1,75$  kN\*m

### **SCELTE DI CALCOLO**

Verifiche agli SLU di tipo geotecnico condotte in base all'Approccio 2 (A1+M1+R3)

Calcolo FEM: lunghezza media elemento finito,  $L_{me}=0,5$  m

Vincolo alla base del palo: appoggio cedevole elasticamente

### **TIPO DI ANALISI E METODI APPLICATI**

#### **Verifiche geotecniche: carico limite per carichi assiali**

valori del fattore di forma  $N_q$ : Berezantzev et al. (1961)

valori del fattore di forma  $N_q$  per pali trivallati di grande diametro: Berezantzev (1965)

#### **Verifiche geotecniche: carico limite per carichi trasversali**

Teoria di Broms (1964)

#### **Calcolo sollecitazioni e spostamenti orizzontali nel palo di fondazione**

Soluzione con il Metodo agli Elementi Finiti (F.E.M)

Palo elastico su suolo elastico alla Winkler

Analisi Lineare: molle che simulano il terreno a comportamento elastico-lineare

### **DATI PALO**

perimetro sezione palo,  $U = \text{pigreco} \cdot D = 0,942 \text{ m}$

rapporto  $L/D = 6,7$

area sezione (sul diametro D),  $A_p = 0,0707 \text{ mq}$

volume palo (sul diametro D),  $V_p = 0,32 \text{ mc}$

peso del palo,  $W_p = 1,18 \text{ kN}$

### **VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI**

#### **Combinazione di carico allo SLU n° 1 (1)**

#### **SOLLECITAZIONI AGENTI SUL PALO DI FONDAZIONE (calcolo FEM)**

sez./n odo	x ( m)	Nx ( kN)	Tz ( kN)	My ( kN*m)
1	0,0	-28,05	0,00	-2,53
2	0,5	-28,22	0,00	-2,53
3	1,0	-28,39	0,00	-2,53
4	1,5	-28,56	0,00	-2,53
5	2,0	-28,73	0,00	-2,53
6	2,5	-28,90	0,30	-2,53
7	3,0	-29,07	1,10	-2,38
8	3,5	-29,24	1,70	-1,83
9	4,0	-29,41	1,95	-0,98
10	4,5	-29,58	1,95	0,00

#### **REAZIONI VINCOLARI E PRESSIONI DI CONTATTO TERRENO-PALO (calcolo FEM)**

$K_s$  = costante orizzontale di Winkler ( N/cmc)

$R_vX$  = componente della reazione vincolare lungo X ( kN)

$R_vY$  = componente della reazione vincolare lungo Y ( kN)

$R_vZ$  = componente momento della reazione vincolare ( kN\*m)

$p_{Xv}$  = pressione orizzontale del terreno (molle) ( kN/mq)

sez./n odo	x ( m)	Ks	RvX	RvY	RvZ	pXv
6	2,5	0,94	0,23	0	0	1,52
7	3	3,84	0,62	0	0	4,12
8	3,5	5,04	0,46	0	0	3,1
9	4	5,96	0,19	0	0	1,28
10	4,5	130,56	-1,5	-22,76	0	-20,05

### **VERIFICA CONDIZIONI DI EQUILIBRIO PALO (calcolo FEM)**

#### **Equilibrio alla traslazione orizzontale**

somma delle forze esterne orizzontali applicate al palo,  $SF_x=0,00$  kN

somma delle reazioni vincolari lungo X,  $SommRvX=0,00$  kN

equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale:  $SF_x+SommRvX=0,00$  kN

#### **Equilibrio alla traslazione verticale**

peso proprio del palo,  $Wp=1,18$  kN

somma delle forze verticali applicate al palo,  $SF_y=21,58$  kN

somma delle reazioni vincolari lungo Y,  $SommRvY=-22,76$  kN

equazione di equilibrio alla traslazione verticale:  $Wp+SF_y+SommRvY=0,00$  kN

#### **Equilibrio alla rotazione (attorno alla testa del palo-primi nodo)**

momento delle forze orizzontali applicate al palo,  $MF_x=-1,94$  kN\*m

momento delle reazioni vincolari lungo X,  $MRvX=1,94$  kN\*m

reazioni vincolari momento,  $MRvZ=0,00$  kN\*m

equazione di equilibrio alla rotazione:  $MF_x+MRvX+MRvZ=0,00$  kN\*m

### **SPOSTAMENTI NODALI (calcolo FEM)**

w = spostamento orizzontale (lungo l'asse globale X, coincidente con l'asse locale z)

u = spostamento verticale (lungo l'asse globale Y, coincidente con l'asse locale x)

sez./n odo	x ( m)	w (cm)	u (cm)	rot. (rad)
1	0	-0,55	0,26	-0,002
2	0,5	-0,46	0,26	-0,0018
3	1	-0,37	0,26	-0,0017
4	1,5	-0,29	0,26	-0,0015
5	2	-0,22	0,25	-0,0013

6	2,5	-0,16	0,25	-0,0012
7	3	-0,11	0,25	-0,001
8	3,5	-0,06	0,25	-0,0009
9	4	-0,02	0,25	-0,0008
10	4,5	0,02	0,25	-0,0007

## **VERIFICA SEZIONI A SFORZO NORMALE ECCENTRICO E TAGLIO**

### **Dati meccanici della sezione**

Resistenza plastica a sforzo normale della sezione lorda A,  $N_{pl\_Rd}=747,52$  kN

Area resistente al taglio della sezione lungo z,  $Avz=15,91$  cmq

Resistenza di progetto a taglio lungo z,  $V_{cz\_Rd}=205,59$  kN

Momento resistente elastico lungo l'asse vettore y,  $M_{ely\_Rd}=56,40$  kN\*m

Momento resistente plastico lungo l'asse vettore y,  $M_{ply\_Rd}=63,88$  kN\*m

tensione di snervamento di progetto,  $f_{yd}=224$  N/mmq

### **Dati sulle verifiche delle sezioni**

sid\_m: tensione ideale massima nella sezione di acciaio ( N/mmq)

Mcy\_Rd: resistenza di progetto sezione soggetta a presso/tenso-flessione retta ( kN\*m)

sez.	x ( m)	Nx ( kN)	Tz ( kN)	My ( kN*m)	sid_m	Mcy_Rd	Verif?
1	0	-28,05	0	-2,53		76,6	SI
2	0,5	-28,22	0	-2,53		76,5	SI
3	1	-28,39	0	-2,53		76,5	SI
4	1,5	-28,56	0	-2,53		76,5	SI
5	2	-28,73	0	-2,53		76,5	SI
6	2,5	-28,9	0,3	-2,53		76,5	SI
7	3	-29,07	1,1	-2,38		76,5	SI
8	3,5	-29,24	1,7	-1,83		76,4	SI
9	4	-29,41	1,95	-0,98		76,4	SI
10	4,5	-29,58	1,95	0		76,4	SI

Momento resistente o di plasticizzazione del palo,  $MyR=63,88$  kN\*m

## **CARICO LIMITE PER CARICHI ASSIALI**

### **APPROCCIO 2 (A1+M1+R3)**

**Azione di progetto**

$E_d = g_{Gs} \cdot N_{x0g} + g_{Qs} \cdot N_{x0q} + g_{Gs} \cdot W_p = 29,58 \text{ kN}$

**Resistenza di progetto****Verticale di indagine n° 1 ()**

*Parametri geotecnici di progetto*

coesione,  $c_d = 10 \text{ kN/mq}$

angolo di resistenza al taglio,  $F_{i_d} = 40^\circ$

*Resistenza alla punta*

fattore  $N_q$  (Berezantzev),  $N_q = 188,14$

fattore  $N_c = 223,02$

tensione litostatica verticale totale alla profondità  $L$ ,  $s_{VL} = 36,50 \text{ kN/mq}$

pressione neutra alla profondità  $L$ ,  $u_L = 0,00 \text{ kN/mq}$

tensione litostatica verticale efficace alla profondità  $L$ ,  $s'_{VL} = 36,50 \text{ kN/mq}$

Resistenza unitaria alla punta,  $p = 9,10 \text{ N/mm}^2$

Resistenza alla punta,  $P_{max} = 643,05 \text{ kN}$

*Resistenza laterale*

Resistenza laterale,  $S_{max} = 15,95 \text{ kN}$

**Resistenza alla punta e laterale di progetto**

Resistenza alla punta (valore medio),  $P_{max\_med} = 643,05 \text{ kN}$

Resistenza alla punta (valore minimo),  $P_{max\_min} = 643,05 \text{ kN}$

Resistenza laterale (valore medio),  $S_{max\_med} = 15,95 \text{ kN}$

Resistenza laterale (valore minimo),  $S_{max\_min} = 15,95 \text{ kN}$

Fattore di correlazione,  $\alpha_3 = 1,7$

Fattore di correlazione,  $\alpha_4 = 1,7$

Resistenza alla punta (valore caratteristico),  $P_{max\_k} = 378,26 \text{ kN}$

Resistenza laterale (valore caratteristico),  $S_{max\_k} = 9,38 \text{ kN}$

Resistenza alla punta di progetto,  $P_{max\_d} = P_{max\_k} / \gamma_b = 328,93 \text{ kN}$

Resistenza laterale di progetto,  $S_{max\_d} = S_{max\_k} / \gamma_s = 8,16 \text{ kN}$

**Carico limite per carichi assiali di compressione**

$Q_{lim\_d} = P_{max\_d} + S_{max\_d} = 337,08 \text{ kN}$

**Carico limite di sfilamento per carichi assiali di trazione**

$Q_{limt\_d} = S_{max\_d} = 8,16 \text{ kN}$

**Verifica al carico limite per carichi assiali di compressione**

Verifica OK: l'azione di progetto non supera la resistenza di progetto

coeff. di sicurezza,  $\eta = Q_{lim\_d} / E_d = 11,39$

**CARICO LIMITE PER CARICHI TRASVERSALI**

Momento resistente o di plasticizzazione del palo,  $M_{yR}=63,88 \text{ kN}\cdot\text{m}$

**APPROCCIO 2 (A1+M1+R3)****Azione di progetto**

$E_d=gG_s\cdot T_z0g+gQ_s\cdot T_z0q=0,00 \text{ kN}$

**Resistenza di progetto****Verticale di indagine n° 1 ()**

angolo di resistenza al taglio di progetto,  $F_{i\_d}=20^\circ$

coefficiente di spinta passiva,  $K_p=2,039607$

reazione orizzontale del terreno alla profondità L,  $p(L)=58,74 \text{ kN/m}$

Meccanismo di rottura di "palo corto"

profondità f in cui si ha il massimo momento flettente,  $f=0,75 \text{ m}$

momento flettente massimo nel palo,  $M_{y\_max}=-26,71 \text{ kN}\cdot\text{m}$

carico limite trasversale,  $T_{lim}=8,31 \text{ kN}$

**Carico limite trasversale di progetto**

valore medio,  $T_{lim\_med}=8,31 \text{ kN}$

valore minimo,  $T_{lim\_min}=8,31 \text{ kN}$

fattore di correlazione  $\chi_{s3}=1,7$

fattore di correlazione  $\chi_{s4}=1,7$

Carico limite trasversale (valore caratteristico),  $T_{lim\_k}=4,89 \text{ kN}$

Carico limite trasversale di progetto,  $T_{lim\_d}=3,76 \text{ kN}$

**Verifica al carico limite per carichi trasversali**

Verifica OK: l'azione di progetto non supera la resistenza di progetto

**VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO****Combinazione di carico allo SLE n° 1 (1)****SOLLECITAZIONI AGENTI SUL PALO DI FONDAZIONE (calcolo FEM)**

sez./nodo	x ( m)	Nx ( kN)	Tz ( kN)	My ( kN*m)
1	0,0	-21,00	0,00	-1,75
2	0,5	-21,13	0,00	-1,75

3	1,0	-21,26	0,00	-1,75
4	1,5	-21,39	0,00	-1,75
5	2,0	-21,52	0,00	-1,75
6	2,5	-21,66	0,20	-1,75
7	3,0	-21,79	0,76	-1,65
8	3,5	-21,92	1,18	-1,27
9	4,0	-22,05	1,35	-0,68
10	4,5	-22,18	1,35	0,00

### **SPOSTAMENTI NODALI (calcolo FEM)**

w = spostamento orizzontale (lungo l'asse globale X, coincidente con l'asse locale z)

u = spostamento verticale (lungo l'asse globale Y, coincidente con l'asse locale x)

sez./nodo	x ( m)	w (cm)	u (cm)	rot. (rad)
1	0	-0,5	0,25	-0,0018
2	0,5	-0,41	0,25	-0,0016
3	1	-0,33	0,25	-0,0015
4	1,5	-0,26	0,25	-0,0013
5	2	-0,2	0,25	-0,0012
6	2,5	-0,14	0,25	-0,001
7	3	-0,1	0,25	-0,0009
8	3,5	-0,06	0,24	-0,0008
9	4	-0,02	0,24	-0,0007
10	4,5	0,01	0,24	-0,0007