



# Impianto Agrivoltaico CEPPEO

progetto definitivo per la realizzazione di un impianto agrivoltaico della potenza di 27,185MWp, sito in Rotello (CB)



Titolo:

## Relazione di calcolo delle strutture

Il Proponente

firma

**CEPPETO SOLAR S.r.l.**  
Via Sant'Orsola n.3, 20123 Milano (MI) - C.F./P.IVA: 12923990969  
GRUPPO:



Il progettista:

**STUDIO MASC**



### Firme e Revisioni

Rv	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
0	07.08.23	Relazione tecnica	 <b>STUDIO MASC</b> SOCIETA' COOPERATIVA Via Rodolfo Lumiere, 24 - 80147 Napoli Partita IVA: 10145081211		

### Codifica elaborato

Nome file	TEC-12.A
Formato	
Scala elaborato	
Revisione	Emissione

Questo documento è di proprietà esclusiva. E' proibita la riproduzione anche parziale e la cessione a terzi senza autorizzazione.

# INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>OGGETTO E SCOPO DELL'INTERVENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>7</b>
	<b>4.1 ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA .....</b>	<b>7</b>
	<b>4.2 SEZIONI UTILIZZATE.....</b>	<b>8</b>
	4.2.1 HEA 240.....	8
	4.2.2 TUBO 200X140X8.....	10
<b>5</b>	<b>CENNI DI SISMICITÀ E RIFERIMENTI ALLA VIGENTE NORMATIVA</b>	
	<b>ANTISISMICA .....</b>	<b>12</b>
	<b>5.1 AZIONE SISMICA.....</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>MODELLO GEOLOGICO-TECNICO .....</b>	<b>14</b>
	<b>6.1 PROPRIETÀ DI RESISTENZA .....</b>	<b>15</b>
	<b>6.2 SPETTRO DI PROGETTO SLV .....</b>	<b>16</b>
<b>7</b>	<b>METODO DI CALCOLO DELLE STRUTTURE .....</b>	<b>16</b>
	<b>7.1 ANALISI DI CALCOLO .....</b>	<b>16</b>
	<b>7.2 LEGAMI COSTITUTIVI DEI MATERIALI.....</b>	<b>17</b>
	<b>7.3 AZIONI SULLE COSTRUZIONI.....</b>	<b>18</b>
	<b>7.4 ANALISI ALLO SLU .....</b>	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI .....</b>	<b>20</b>
	<b>8.1 CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI <math>G_1</math> .....</b>	<b>20</b>
	<b>8.2 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI <math>G_2</math>.....</b>	<b>20</b>
	<b>8.3 AZIONI VARIABILI <math>Q</math> .....</b>	<b>20</b>
<b>9</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO.....</b>	<b>26</b>
	<b>9.1 RISULTATI ELEMENTI METALLICI .....</b>	<b>34</b>

---

## **I   PREMESSA**

L'impianto agrivoltaico è ubicato nel Comune di Rotello (CB), in Via Contrada Ceppeto ed interessa una superficie complessiva di circa 46 ha, limitrofa alle infrastrutture viarie di “Strada Provinciale 167 Ururi- Bivio SS87” e “Strada Provinciale 148 Santa Croce di Magliano – St. Ururi”.

Al fine di connettere l'impianto rete elettrica nazionale è prevista la realizzazione di un cavidotto 36 kV di circa 3,5 km in gran parte posato su strada esistente.

Lo sviluppo delle energie rinnovabili è fondamentale per la salvaguardia dell'ambiente, consentendo una riduzione delle ripercussioni climatiche dovute alle emissioni di gas serra, in primo luogo di anidride carbonica, e delle ripercussioni ambientali dovute all'emissioni di sostanze inquinanti per l'ambiente e tossiche per l'uomo.

Per questo motivo le opere in esecuzione, nonché le opere connesse e le infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio, sono di pubblica utilità ed indifferibili ed urgenti (art. 12 D.Lgs 387/2003).

In fase di sviluppo del progetto esecutivo potranno essere apportate modifiche nel rispetto dei limiti di quanto approvato in tale progetto definitivo.

La direttiva originale sulle energie rinnovabili (2009/28/CE) stabilisce una politica generale per la produzione e la promozione di energia da fonti rinnovabili nell'UE. Richiede che l'UE soddisfi almeno il 20% del suo fabbisogno energetico totale con le rinnovabili entro il 2020, da realizzarsi attraverso il raggiungimento di singoli obiettivi nazionali. Tutti i paesi dell'UE devono inoltre garantire che almeno il 10% dei loro carburanti per il trasporto provenga da fonti rinnovabili entro il 2020.

Nel dicembre 2018 è entrata in vigore la direttiva riveduta sulle energie rinnovabili 2018/2001/UE, come parte del pacchetto Energia pulita per tutti gli europei, volto a mantenere l'UE un leader globale nelle energie rinnovabili e, più in generale, aiutare l'UE a soddisfare i suoi impegni di riduzione delle emissioni previsti dall'accordo di Parigi.

La nuova direttiva stabilisce un nuovo obiettivo vincolante per l'energia rinnovabile per l'UE per il 2030 di almeno il 32%, con una clausola per una possibile revisione al rialzo entro il 2023.

In base al nuovo regolamento sulla governance, che fa anche parte del pacchetto Energia pulita per tutti gli europei, i paesi dell'UE sono tenuti a redigere piani nazionali per l'energia e il clima (NECP) decennali per il 2021-2030, delineando il modo in cui faranno fronte ai nuovi obiettivi del 2030 per le energie rinnovabili e per l'efficienza energetica.

## 2 OGGETTO E SCOPO DELL'INTERVENTO

La superficie lorda complessiva dell'area di intervento è di 1.11 Ha, si trova ad un'altitudine media di circa m 134 s.l.m. e le coordinate geografiche (in gradi decimali), riferite al baricentro del campo costituente il progetto, sono:

- Lat: 44°59'11.80" N;
- Long: 8°33'24.99"E.



Figura 2-1 – Vista aerea dell'area d'intervento



Figura 2-2 – Vista aerea dell'area d'intervento località San salvatore

La località in cui saranno ubicati i generatori fotovoltaici è stata individuata in base ad un'indagine preliminare che ha tenuto conto di:

- Caratteristiche irraggiamento;
- Vincoli paesaggistici, architettonici, archeologici, storici, naturalistici, etc.

### **3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Le verifiche relative alle opere dell'intervento in esame sono state condotte secondo quanto prescritto dalle seguenti Normative:

- Legge n.1086 del 5 novembre 1971 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- Legge n. 64 del 2 febbraio 1974 “Provvedimenti per costruzioni con particolari prescrizioni per zone sismiche”.
- D.M. LL.PP. 11 Maggio 1988 “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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- D.M. LL.PP. del 14 febbraio 1992 “Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
- D.M. LL.PP. 9 gennaio 1996 “Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
- D.M. LL.PP. 16 gennaio 1996 “Norme tecniche relative a: Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”.
- Circ. Min LL.PP., 15 ottobre 1996, n. 252 “Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione e il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche” di cui al D.M.LL.PP. 9 gennaio 1996”.
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 n°65/AA.GG. “Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996”.
- Decreto PdR n. 380 del 6 Giugno 2001 “Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia”;
- Decreto Legislativo n. 301 del 27 Dicembre 2002 “Modifiche ed integrazioni al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, recante testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di edilizia.”;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri OPCM n. 3316 del 2 Ottobre 2003 “Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003.”;
- Decreto Presidente del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Protezione Civile n. 3685 del 21 Ottobre 2003 “Disposizioni attuative dell'art. 2, commi 2, 3, 4, dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 Marzo 2003, recante “Primi elementi in materia di criteri

generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.”;

- Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica.
- Eurocodice 8 - Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture.
- Ordinanza n° 3379 del 5 novembre 2004 “Disposizioni urgenti di Protezione civile”.
- Ordinanza n° 3431 del 3 maggio 2005.
- Ordinanza n° 3452 del 1° agosto 2005.
- Ordinanza n° 3467 del 13 ottobre 2005.
- D.M. del 14 settembre 2005 “Norme tecniche per le costruzioni”.
- UNI EN 206-1, 2006, “Calcestruzzo - Parte I: Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- UNI 11104, 2004, Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità. Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1.
- D.M. del 14 gennaio 2008 “Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare n. 617 del 02 febbraio 2009 Istruzioni per le applicazioni delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- D.G.R. della regione Lazio n. 387 del 22 maggio 2009 “Nuova classificazione sismica della regione Lazio”.
- D.M. Infrastrutture e trasporti 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare esplicativa n.7 del 21 gennaio 2019 del C.S.LL.PP.
- D.G.R. della regione Lazio n. 835 del 03 novembre 2009 “Rettifica all'allegato I della D.G.R. 387/09”.
- D.G.R. della regione Lazio n. 26 del 26 ottobre 2020 “Regolamento regionale per la semplificazione e l'aggiornamento delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico. Abrogazione del regolamento regionale 13 luglio 2016, n. 14 e successive modifiche”.
- D.G.R. della regione Lazio n. 793 del 5 novembre 2020 “Modifica della Deliberazione di Giunta regionale 23 luglio 2019, n. 493. Sostituzione dell'allegato A rubricato "Elenco delle strutture in Classe d'uso IV (Strategiche) e in Classe d'uso III (Rilevanti)”.

## 4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Salvo indicazioni diverse espressamente indicate negli elaborati grafici, sono previsti i seguenti materiali:

### 4.1 Acciaio per carpenteria metallica

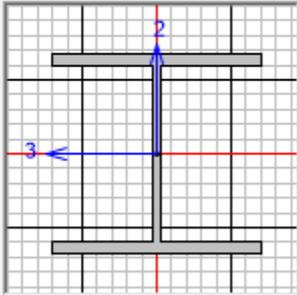
Acciaio S355

General Data	
Material Name and Display Color	S355 <span style="color: blue;">■</span>
Material Type	Steel <span style="float: right;">▼</span>
Material Grade	<input type="text"/>
Material Notes	<a href="#">Modify/Show Notes...</a>
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	<input type="text" value="76.9729"/>
Mass per Unit Volume	<input type="text" value="7.849"/>
	Units <span style="float: right;">▼</span>
	<input type="text" value="KN, m, C"/>
Isotropic Property Data	
Modulus Of Elasticity, E	<input type="text" value="2.100E+08"/>
Poisson, U	<input type="text" value="0.3"/>
Coefficient Of Thermal Expansion, A	<input type="text" value="1.170E-05"/>
Shear Modulus, G	<input type="text" value="80769231."/>
Other Properties For Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	<input type="text" value="355000."/>
Minimum Tensile Stress, Fu	<input type="text" value="510000."/>
Expected Yield Stress, Fye	<input type="text" value="390500."/>
Expected Tensile Stress, Fue	<input type="text" value="561000."/>

## 4.2 Sezioni utilizzate

A seguire le caratteristiche geometriche delle sezioni utilizzate nel progetto:

### 4.2.1 HEA 240

Section Name	HE240A	Display Color	
Section Notes	Modify/Show Notes...		
Extract Data from Section Property File			
Open File...	c:\program files (x86)\computers and structures\sap2000 16\euro.pro	Import...	
Dimensions		Section	
Outside height ( t3 )	0,23		
Top flange width ( t2 )	0,24		
Top flange thickness ( tf )	0,012		
Web thickness ( tw )	7,500E-03		
Bottom flange width ( t2b )	0,24		
Bottom flange thickness ( tfb )	0,012		
Fillet Radius	0,021		
Material	Property Modifiers	Properties	
		Section Properties...	
		Time Dependent Properties...	

Section Name	HE240A		
<b>Properties</b>			
Cross-section (axial) area	7,680E-03	Section modulus about 3 axis (top)	6,750E-04
Moment of Inertia about 3 axis	7,763E-05	Section modulus about 3 axis (bottom)	6,750E-04
Moment of Inertia about 2 axis	2,769E-05	Section modulus about 2 axis (left)	2,308E-04
Product of Inertia about 2-3	0,	Section modulus about 2 axis (right)	2,308E-04
Torsional constant	4,210E-07	Warping Constant (Cw)	3,285E-07
Shear area in 2 direction	1,725E-03	Plastic modulus about 3 axis	7,450E-04
Shear area in 3 direction	4,800E-03	Plastic modulus about 2 axis	3,520E-04
CG offset in 3 direction	0,	Radius of Gyration about 3 axis	0,1005
CG offset in 2 direction	0,	Radius of Gyration about 2 axis	0,06
Shear Center Offset (x3)*	0,		
Shear Center Offset (x2)*	0,		

\* Value is not used in analysis

4.2.2 TUBO 200X140X8

**Section Name** TUBO200X140X8 **Display Color**

**Section Notes**

---

**Extract Data from Section Property File**

**Dimensions**

Outside depth ( t3 )

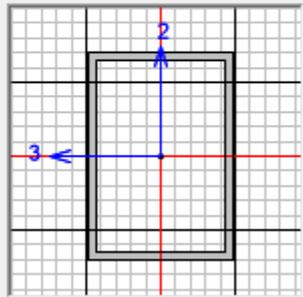
Outside width ( t2 )

Flange thickness ( tf )

Web thickness ( tw )

Corner Radius

**Section**



**Properties**

**Material**  **Property Modifiers**

**Section Name** TUBO200X140X8

**Properties**

Cross-section (axial) area	<input type="text" value="5,184E-03"/>	Section modulus about 3 axis (top)	<input type="text" value="2,896E-04"/>
Moment of Inertia about 3 axis	<input type="text" value="2,896E-05"/>	Section modulus about 3 axis (bottom)	<input type="text" value="2,896E-04"/>
Moment of Inertia about 2 axis	<input type="text" value="1,650E-05"/>	Section modulus about 2 axis (left)	<input type="text" value="2,357E-04"/>
Product of Inertia about 2-3	<input type="text" value="0,"/>	Section modulus about 2 axis (right)	<input type="text" value="2,357E-04"/>
Torsional constant	<input type="text" value="3,172E-05"/>	Warping Constant (Cw)	<input type="text" value="0,"/>
Shear area in 2 direction	<input type="text" value="3,200E-03"/>	Plastic modulus about 3 axis	<input type="text" value="3,505E-04"/>
Shear area in 3 direction	<input type="text" value="2,240E-03"/>	Plastic modulus about 2 axis	<input type="text" value="2,727E-04"/>
CG offset in 3 direction	<input type="text" value="0,"/>	Radius of Gyration about 3 axis	<input type="text" value="0,0747"/>
CG offset in 2 direction	<input type="text" value="0,"/>	Radius of Gyration about 2 axis	<input type="text" value="0,0564"/>
Shear Center Offset (x3)*	<input type="text" value="0,"/>		
Shear Center Offset (x2)*	<input type="text" value="0,"/>		

\* Value is not used in analysis



## 5 Cenni Di Sismicità E Riferimenti Alla Vigente Normativa Antisismica

L'Italia è uno dei Paesi a maggiore rischio sismico del Mediterraneo, per la frequenza dei terremoti che hanno storicamente interessato il suo territorio e per l'intensità che alcuni di essi hanno raggiunto, determinando un impatto sociale ed economico rilevante. La sismicità della Penisola italiana è legata alla sua particolare posizione geografica, perché è situata nella zona di convergenza tra la zolla africana e quella eurasiatica ed è sottoposta a forti spinte compressive, che causano l'accavallamento dei blocchi di roccia.

### 5.1 Azione sismica

Ai sensi del D.M. 17/01/2018 (“Nuove Norme tecniche per le Costruzioni”), le azioni sismiche di progetto in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. La valutazione dell'azione sismica di progetto, secondo le NTC18, è da condurre attraverso specifiche analisi di Risposta Sismica Locale (RSL). In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà del terreno siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab 3.2.II delle NTC18, è possibile fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ .

**Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

I valori di  $V_S$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata

affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione (3.2.I delle NTC18):

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Dove:

$h_i$  spessore dell' $i$ -esimo strato;

$V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III delle NTC18):

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i < 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

## 6 Modello Geologico–Tecnico

Per la caratterizzazione geomeccanica del sottosuolo si sono eseguite diverse prove, di cui qui si riporta la sintesi delle prove di rifrazione che hanno consentito di individuare la velocità delle onde di taglio dei primi 30m di sottosuolo. Sulla base di queste informazioni è possibile determinare la categoria di sottosuolo.

GRAFICO VELOCITA'  $V_s$

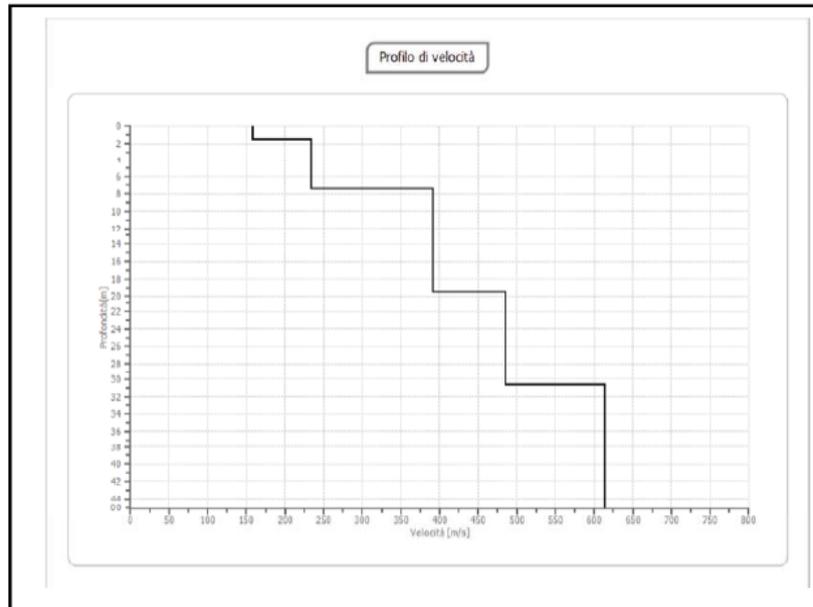


Figura 3 Profilo di velocità

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.50	1.50	1500.0	0.30	No	296.5	158.5
2	7.39	5.89	1550.0	0.30	No	436.3	233.2
3	19.48	12.09	1600.0	0.30	No	731.3	390.9
4	30.73	11.24	1650.0	0.30	No	908.1	485.4
5	oo	oo	1700.0	0.30	No	1148.1	613.7

Figura 4 – Velocità strati

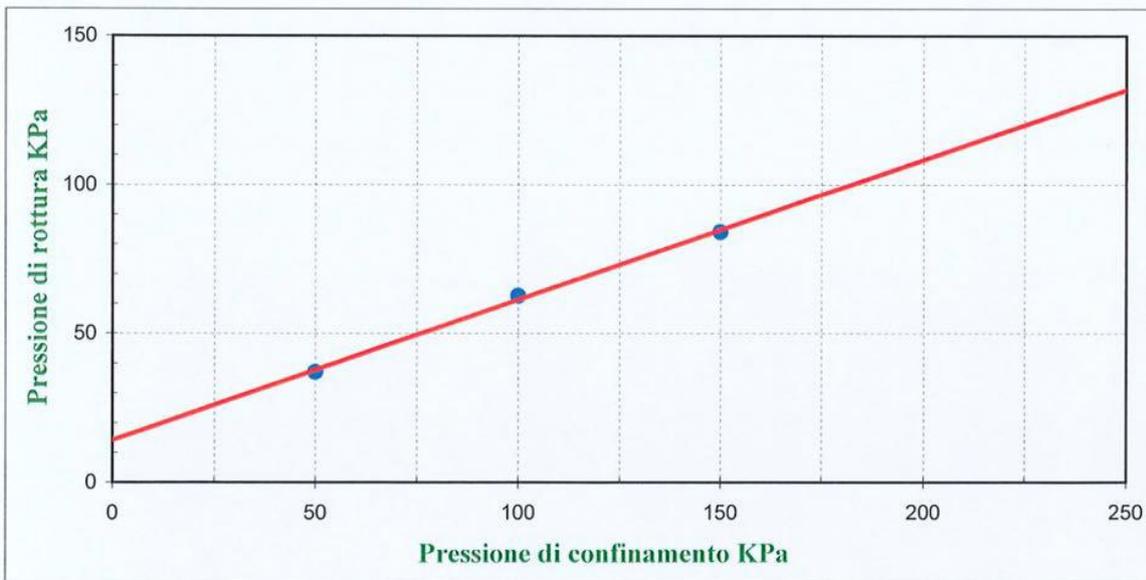
La velocità media delle onde di taglio nei primi 30m di terreno è di 344 m/s, al quale è ascrivibile una categoria di sottosuolo C.

### 6.1 Proprietà di resistenza

Unitamente alle prove a rifrazione si sono prelevati 3 provini da sottoporre a prove di taglio diretto con il fine di individuare 3 punti della superficie di rottura.

Dati identificativi del campione				
Sondaggio	Campione	Profondità (m dal pc)	Tipo campione	Data di prelievo
Dpsh1	C1	2,00-2,50	indisturbato	10.07.2023

Parametri meccanici a rottura			
	Press. di consolidazione (KPa)	Press. di rottura (KPa)	Def. a rottura (mm)
Provino 1	50,00	37,00	3,07
Provino 2	100,00	62,60	2,63
Provino 3	150,00	84,00	3,07



Risultati sperimentali		
Angolo di attrito	25,17	Gradi
Coesione	14,20	KPa

Le caratteristiche meccaniche che è possibile dedurre ed utilizzate in relazione geotecnica sulle fondazioni sono:

- Coesione = 0KPa;
- Angolo di attrito= 25 ° .

Dall'analisi Geomeccanica inoltre si è ricavato il peso specifico dei campioni, nelle successive calcolazioni verrà assunto pari a 19 KN/mc.

## 6.2 Spettro di progetto SLV

Parametri dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,206 g
$F_o$	2,464
$T_C$	0,340 s
$S_S$	1,395
$C_C$	1,499
$S_T$	1,200
$q$	1,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,675
$\eta$	1,000
$T_B$	0,170 s
$T_C$	0,509 s
$T_D$	2,424 s

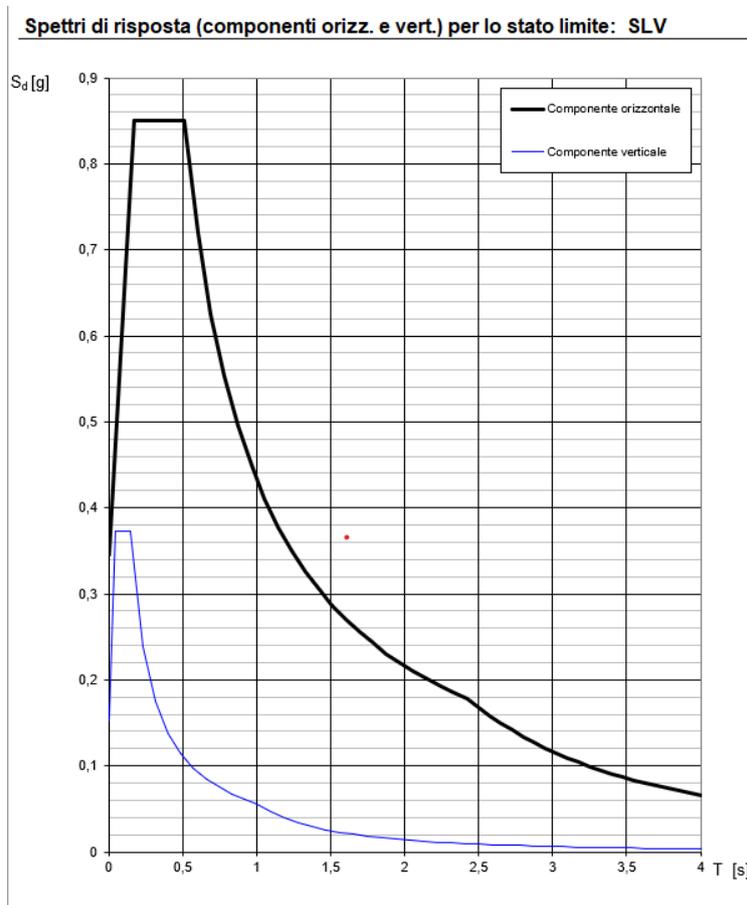


Figura 6-5 - Spettri di risposta di progetto sito specifici in componente verticale e orizzontale per lo SLV

## 7 METODO DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

### 7.1 Analisi di calcolo

Il pre-dimensionamento del plinto di fondazione che compone l'opera di progetto è stato eseguito in condizioni di S.L.U.

Gli stati limite ultimi per sviluppo di meccanismi di collasso determinati dal raggiungimento della resistenza del terreno interagente con le fondazioni (GEO) riguardano:

- collasso per carico limite nei terreni di fondazione;
- scorrimento sul piano di posa.

In tali verifiche, tutte le azioni su un elemento di fondazione possono essere ricondotte a una forza risultante applicata al piano di posa.

Per le verifiche agli stati limite ultimi di tipo geotecnico (GEO) per carico limite e per scorrimento si deve fare riferimento all'approccio 2.

L'analisi deve essere condotta con la Combinazione (A1+M1+R3), nella quale i coefficienti parziali sui parametri di resistenza del terreno (M1) sono unitari, i coefficienti parziali sulle azioni (A1) sono indicati dalla tabella 8.1 e la resistenza globale del sistema è ridotta tramite i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R3 riportati in tab. 8.2.

**Tab. 8.1** – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	<b>Effetto</b>	<b>Coefficiente Parziale</b> $\gamma_F$	<b>EQU</b>	<b>(A1)</b>	<b>(A2)</b>
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili $Q$	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

**Tab. 8.2** – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2.3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1.1$

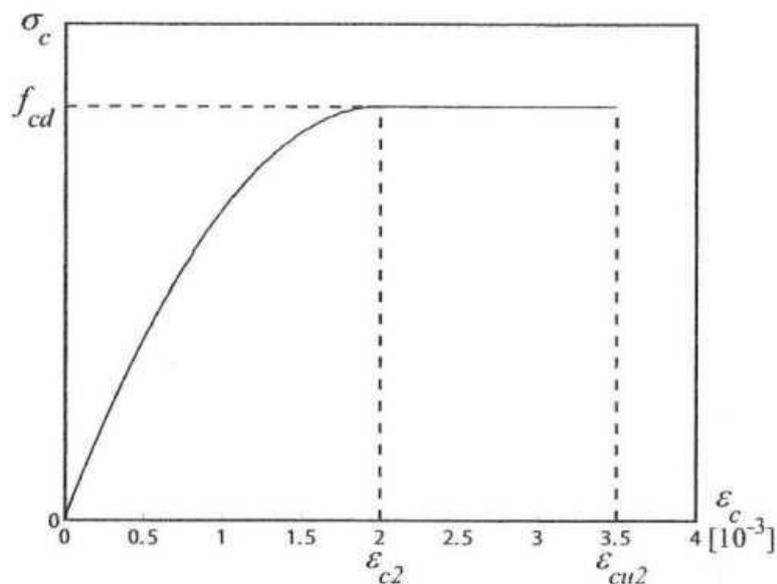
## 7.2 Legami costitutivi dei materiali

- *Diagramma di calcolo tensione-deformazione del conglomerato cementizio*

Per il conglomerato cementizio è stato adottato il diagramma parabola-rettangolo, rappresentato nella figura: esso è definito da un arco di parabola di secondo grado passante per l'origine, avente asse parallelo a quello delle tensioni, e da un segmento di retta parallelo all'asse delle deformazioni tangente alla parabola nel punto di sommità.

Il vertice della parabola ha ascissa  $\varepsilon_{c2} = 0.20\%$ , l'estremità del segmento ha ascissa  $\varepsilon_{cu2} = 0,35\%$ .

L'ordinata massima del diagramma è pari a  $f_{cd}$ .



**Figura 17** - Diagramma di calcolo tensione-deformazione parabola-rettangolo del conglomerato

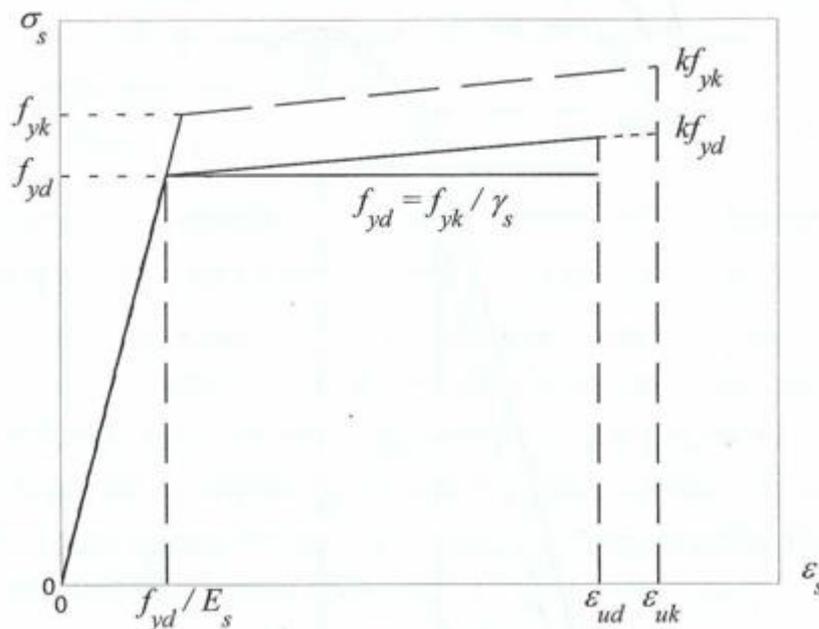
- *Diagramma di calcolo tensione-deformazione dell'acciaio*

È stato adottato, quale diagramma di calcolo tensione-deformazione, il diagramma rappresentato nella figura 5, riferito alla tensione di snervamento di calcolo  $f_{yd}$ , di un acciaio ordinario. Esso si ottiene a partire dal diagramma caratteristico, secondo le modalità indicate nella figura, in cui:

- $\varepsilon_{ud} = 0.9 \cdot \varepsilon_{uk}$  , deformazione ultima di progetto;
- $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ , tensione di snervamento di progetto.

Il diagramma caratteristico è determinato dai seguenti parametri:

- $f_{yk}$ , tensione caratteristica di snervamento;
- $k$ , rapporto tra la tensione caratteristica di picco e la tensione caratteristica di snervamento;
- $E_s$ , modulo elastico dell'acciaio;
- $\varepsilon_{uk}$ , deformazione in corrispondenza del picco di tensione.



**Figura 18** - Diagramma di calcolo tensione-deformazione per l'acciaio (linee continue) e diagramma caratteristico (linee tratteggiate)

### 7.3 Azioni sulle costruzioni

Le azioni prese in esame per l'analisi e le verifiche delle opere in progetto verranno classificate secondo la variazione della loro intensità nel tempo in:

- Permanenti (G);
- Variabili (Q);

- Sismiche (E);

#### **7.4 Analisi allo SLU**

Definite le opportune combinazioni delle azioni (azioni di calcolo,  $F_d$ ), si valutano le azioni interne (sollecitazioni di calcolo,  $E_d$ ) nei vari elementi strutturali. Per ogni elemento strutturale sono valutate le resistenze (resistenze di calcolo,  $R_d$ ). La verifica della sicurezza agli stati limite ultimi si ritiene soddisfatta controllando che, per ogni elemento strutturale e per ciascuna delle combinazioni delle azioni prese in esame, risulti:  $R_d \geq E_d$ .

Le azioni di calcolo  $F_d$  si ottengono combinando le azioni caratteristiche secondo le seguenti formule.

- Combinazione agli Stati Limite Ultimi SLU

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

- Combinazione Sismica

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

Essendo:

- $G_1$  carichi permanenti strutturali
- $G_2$  carichi permanenti non strutturali  $Q_{kj}$  carichi variabili
- $Q$  carico variabile
- $\gamma_{G1}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti strutturali  $G_1$
- $\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali  $G_2$
- $\gamma_Q$  coefficiente parziale dei carichi variabili  $Q$
- $\psi_{0j}$  coefficiente di combinazione

## **8 ANALISI DEI CARICHI**

Si riportano di seguito nel dettaglio i carichi considerati secondo quanto prescritto dalla NTC 2018.

### **8.1 Carichi permanenti strutturali $G_1$**

I pesi propri strutturali, non altrove specificati, considerati nei calcoli sono i seguenti:

- Peso proprio struttura:

il peso proprio del plinto di fondazione è calcolato come prodotto fra il volume dell'elemento stesso per il peso specifico del materiale di cui è costituito:

$$p_{pr} = \gamma_m \cdot s \cdot A$$

con:

- $\gamma_m$ : peso specifico del materiale costituente (CIs arm.  $\gamma_m = 25.0 \text{ kN/m}^3$ )
- $s$ : spessore dell'elemento;
- $A$ : area trasversale dell'elemento;

### **8.2 Carichi permanenti non strutturali $G_2$**

- Peso proprio elementi non strutturali:

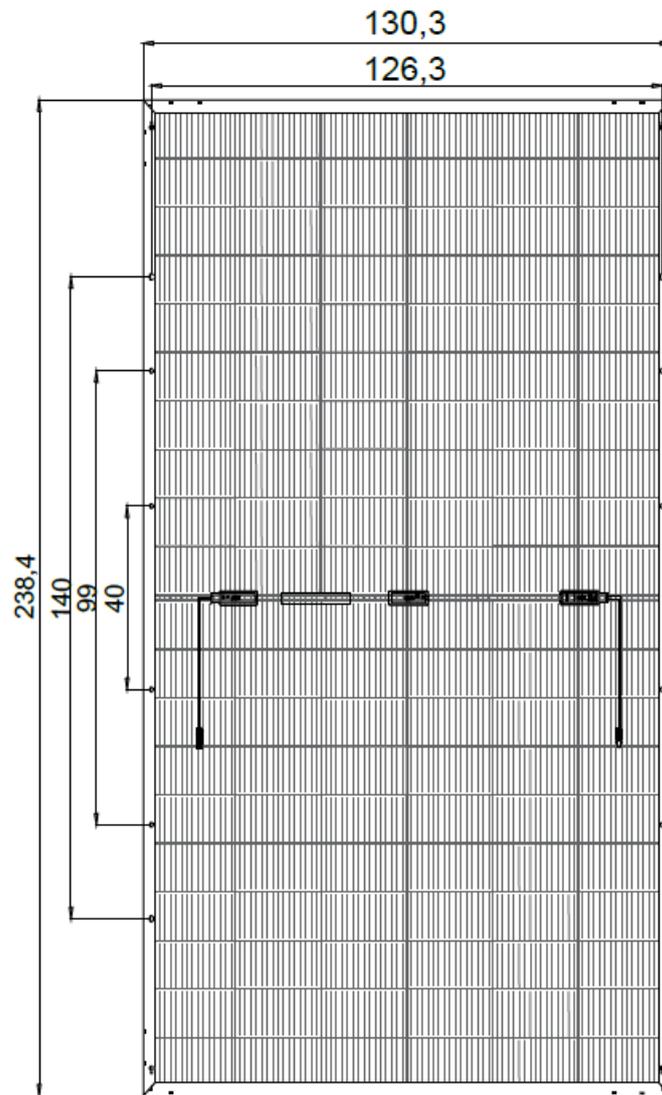
Peso proprio pannelli 35 Kg/mq – 0.53 KN/m

Il valore del carico permanente è dato dal peso degli elementi non strutturali, che può essere modellato come una forza concentrata o un carico distribuito.

### **8.3 Azioni variabili $Q$**

- Azione del vento in accordo a quanto previsto dalla CNR 207/2008

Il peso proprio degli elementi non strutturali è dovuto al peso dei moduli fotovoltaici installati sui tracker. I singoli moduli presentano dimensioni 1350mm x 2450 mm e peso pari a 50kg. A cui equivale un carico a metro lineare applicato sui profili di sostegno pari a  $0,73 \text{ KN/m}$



**Figura 6 – Caratteristiche geometriche pannello**

### CALCOLO DELL'AZIONE DEL VENTO

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

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
3	27	500	0,02
$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])			260
$T_R$ (Tempo di ritorno)			50
$v_b = v_{b,0}$ per $a_s \leq a_0$ $v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m			
$v_b$ ( $T_R = 50$ [m/s])			27,000
$\alpha_R$ ( $T_R$ )			1,00073
$v_b$ ( $T_R$ ) = $v_b \times \alpha_R$ [m/s]			27,020



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

#### Pressione cinetica di riferimento

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

$q_b$ [N/mq]	456,29
--------------	--------

#### Coefficiente di forma

E' il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

#### Coefficiente dinamico

Esso può essere assunto autelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

#### Coefficiente di esposizione

#### Classe di rugosità del terreno

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

Determinata l'azione del vento agente sulla struttura, è possibile assimilare il pannello ad una tettoia a semplice falda e determinare il coefficiente di forza in accordo a quanto previsto dalla CNR-DT 207/2008. Secondo le diverse condizioni con cui impatta il vento sulla struttura.

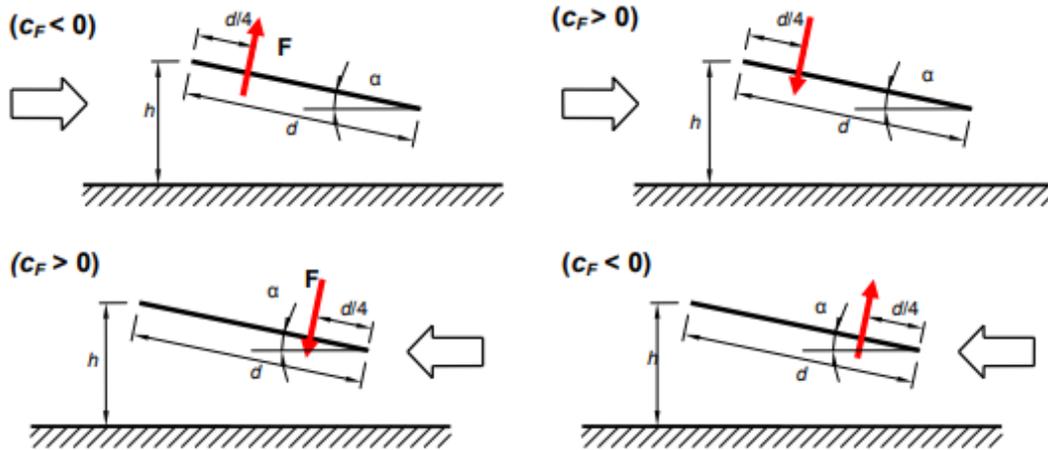


Figura 8.7

Il cui coefficiente di forza in funzione del grado di bloccaggio  $\phi$  è regolato dalle seguenti funzioni dipendenti dall'angolo di inclinazione della falda.

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

- Azione della neve in accordo alle NTC 2018

### CALCOLO DELL'AZIONE DELLA NEVE

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

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

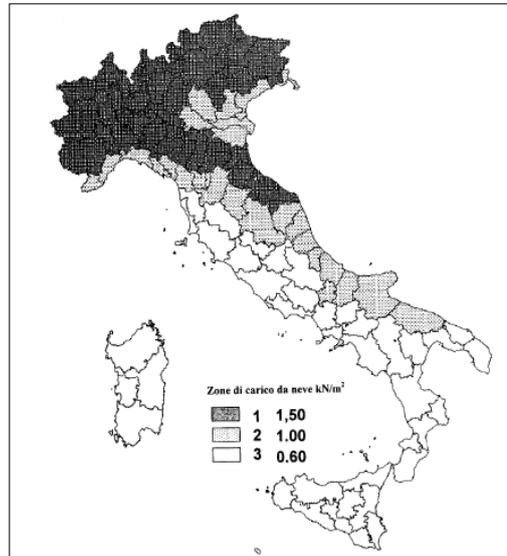
$\mu_i$  (coefficiente di forma)  
 $q_{sk}$  (valore caratteristico della neve al suolo [kN/mq])  
 $C_E$  (coefficiente di esposizione)  
 $C_t$  (coefficiente termico)

Valore caratteristico della neve al suolo

$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])	260
$q_{sk}$ (val. caratt. della neve al suolo [kN/mq])	1,10

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. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato  $C_t = 1$ .



Coefficiente di esposizione

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

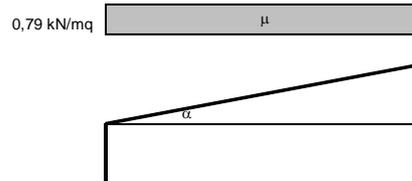
Valore del carico della neve al suolo

$q_s$ (carico della neve al suolo [kN/mq])	0,99
--	------

Coefficiente di forma (copertura ad una falda)

$\alpha$ (inclinazione falda [°])	30
-----------------------------------	----

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



## 9 Modello Di Calcolo

La struttura di sostegno dei moduli fotovoltaici è costituita da un telaio piano, il quale è soggetto alle azioni di superficie derivanti dalla velocità del vento. La condizione di massima sollecitazione si ha quando i pannelli sono inclinati di  $30^\circ$  rispetto il piano campagna.

Il telaio a seguire illustrato è simmetrico rispetto l'asse "z". le luci di calcolo delle campate rispetto l'asse di simmetria sono: 4.50m; 4.50m; 0.60m.

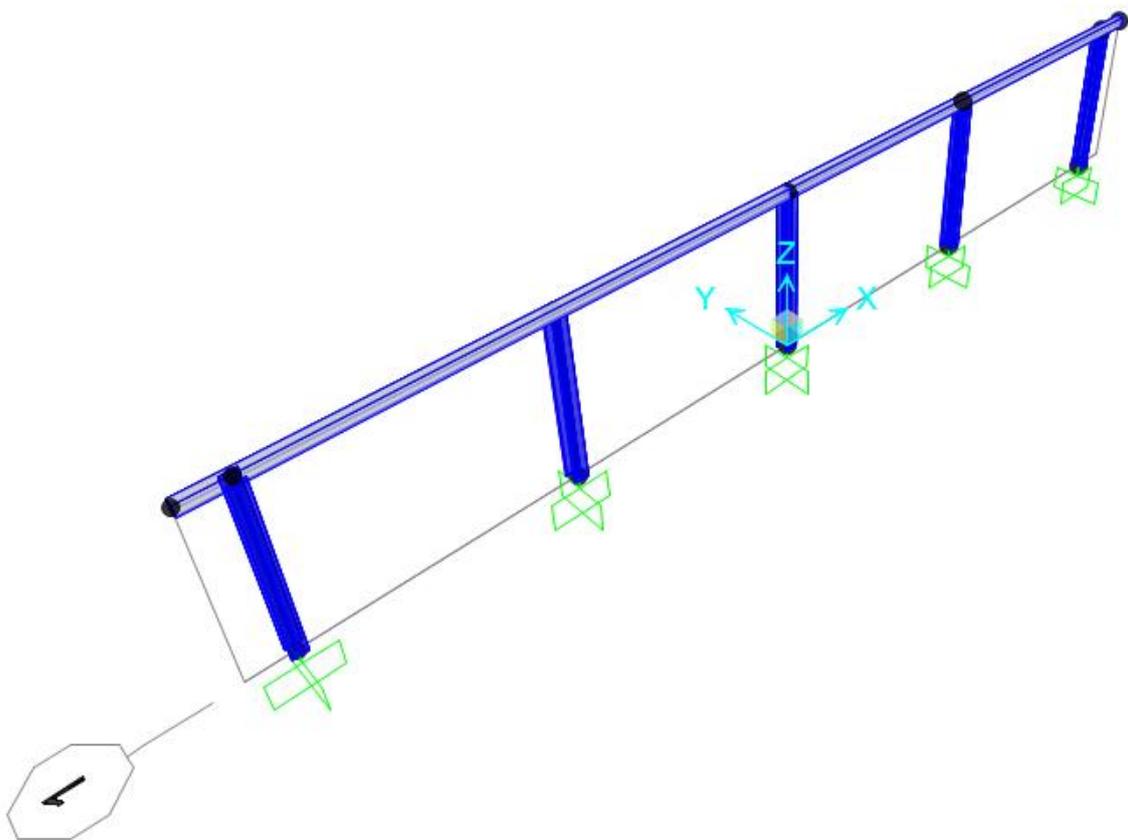


Figura 9-1 – Vista Tridimensionale

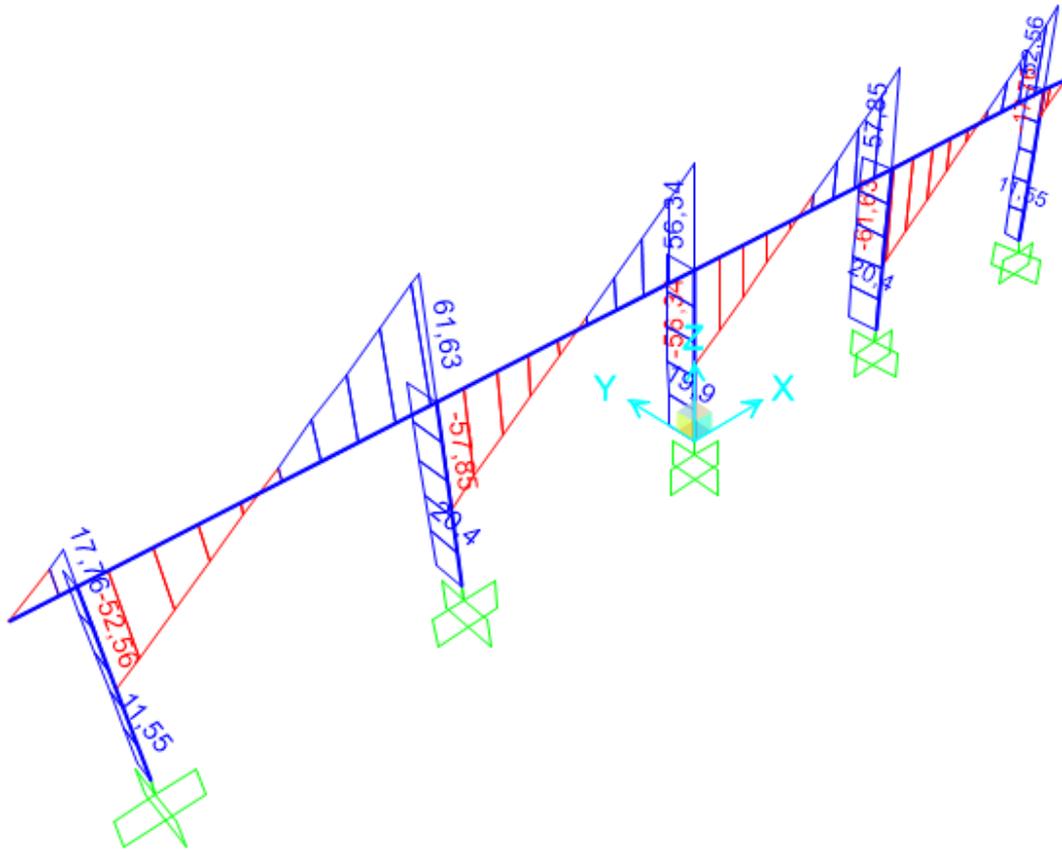


Figura 9-2 –Sforzo di Taglio [KN]

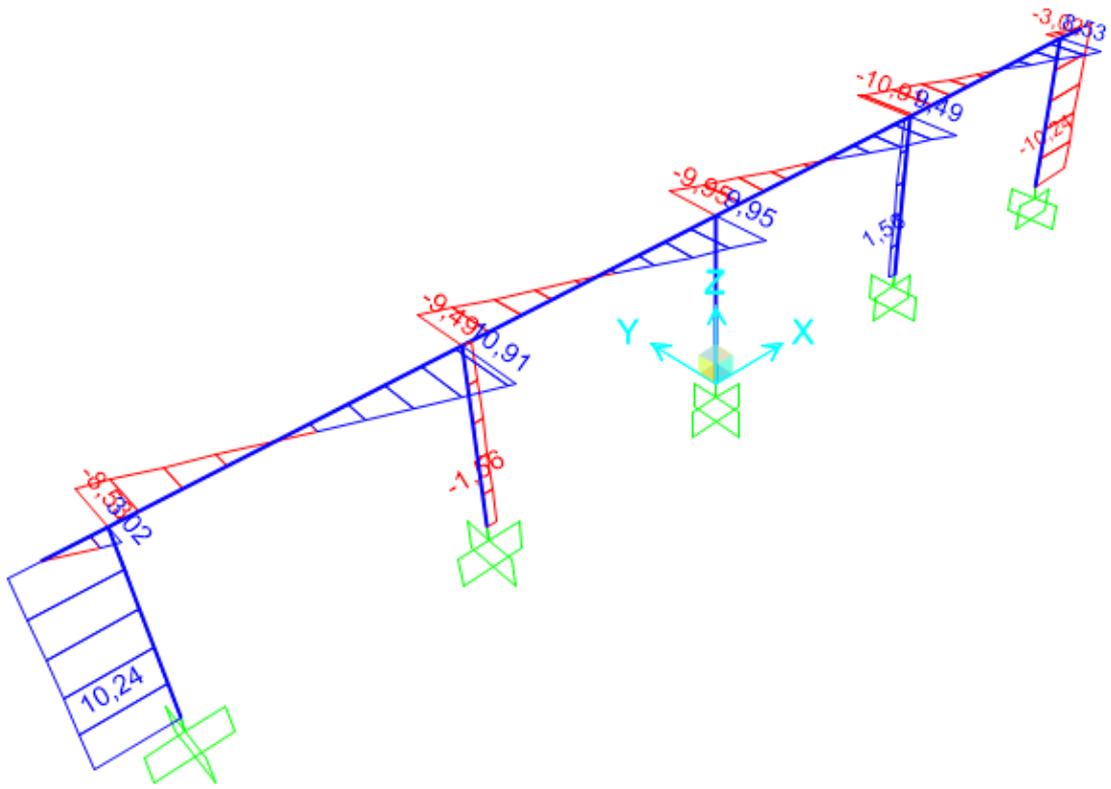


Figura 9-3 –Sforzo di Taglio [KN]

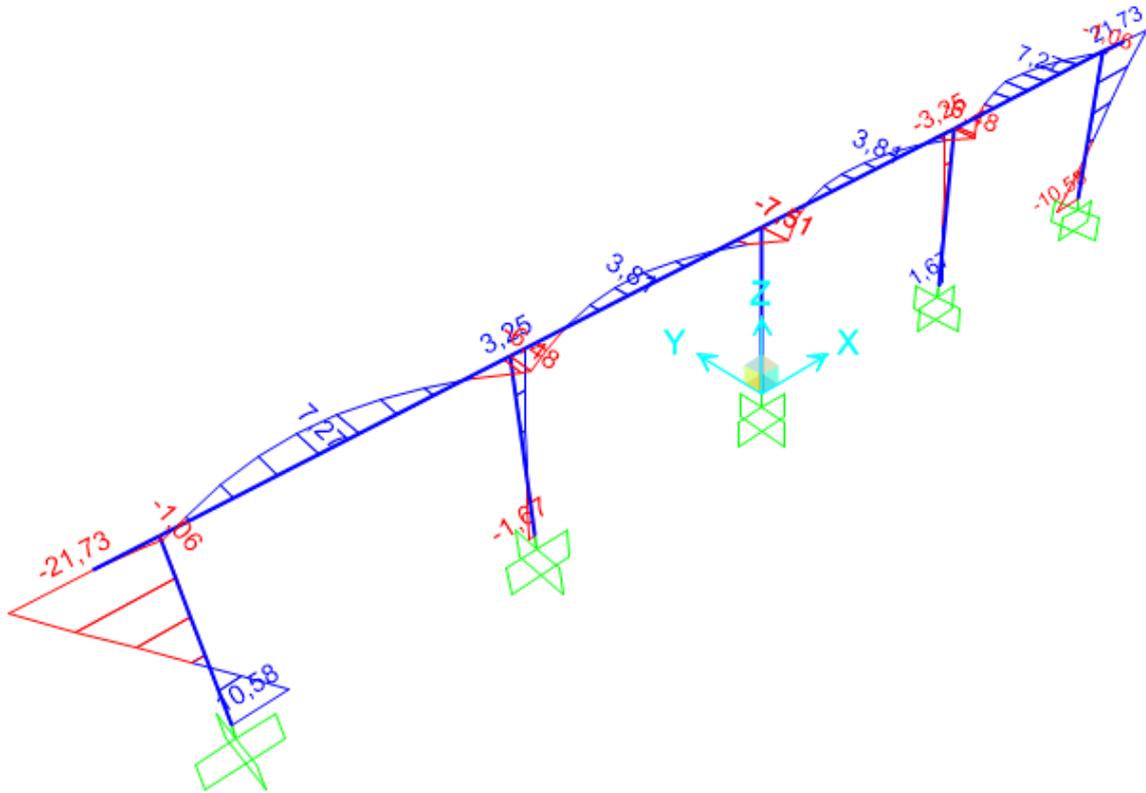


Figura 9-4 – Momento flettente su tubo [kN m]

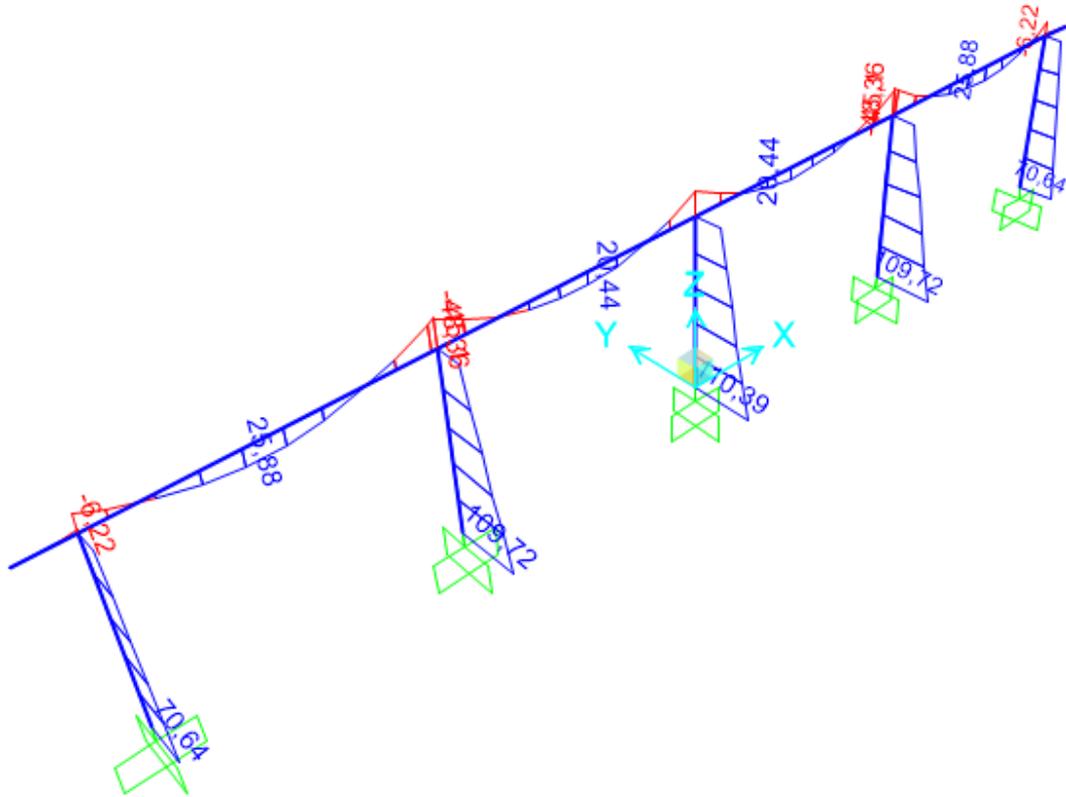


Figura 9-5 – momento flettente su montanti [KN m]

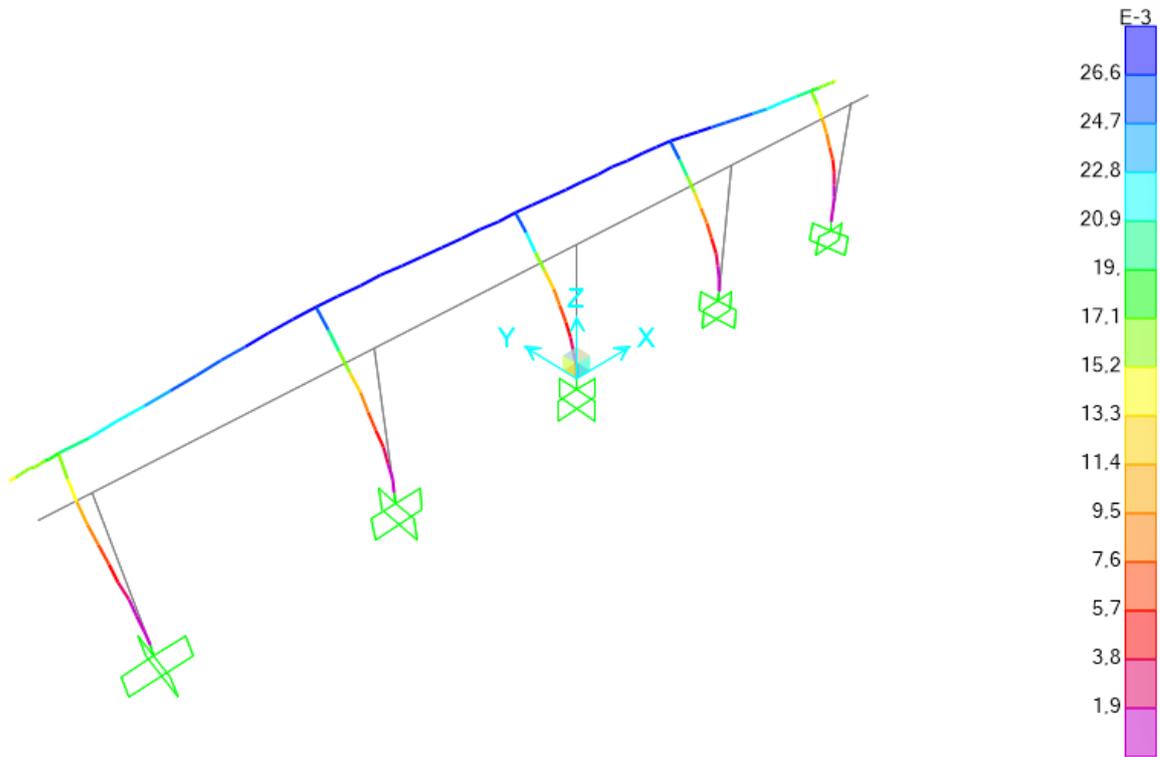


Figura 9-6 – Configurazione deformata

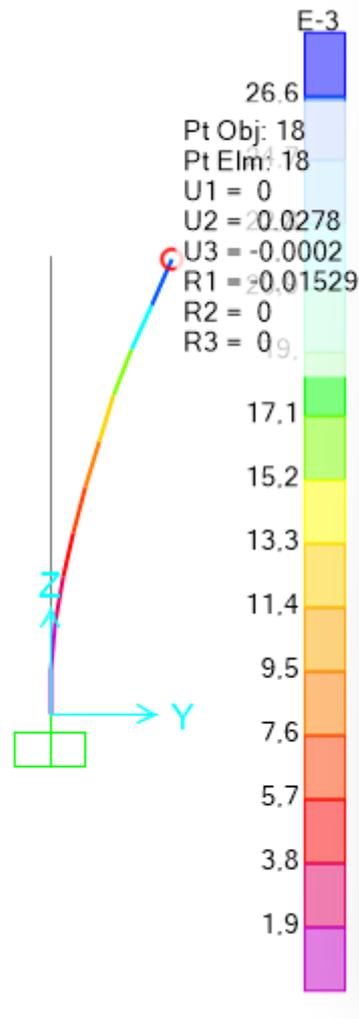


Figura 9-7 – Configurazione deformata

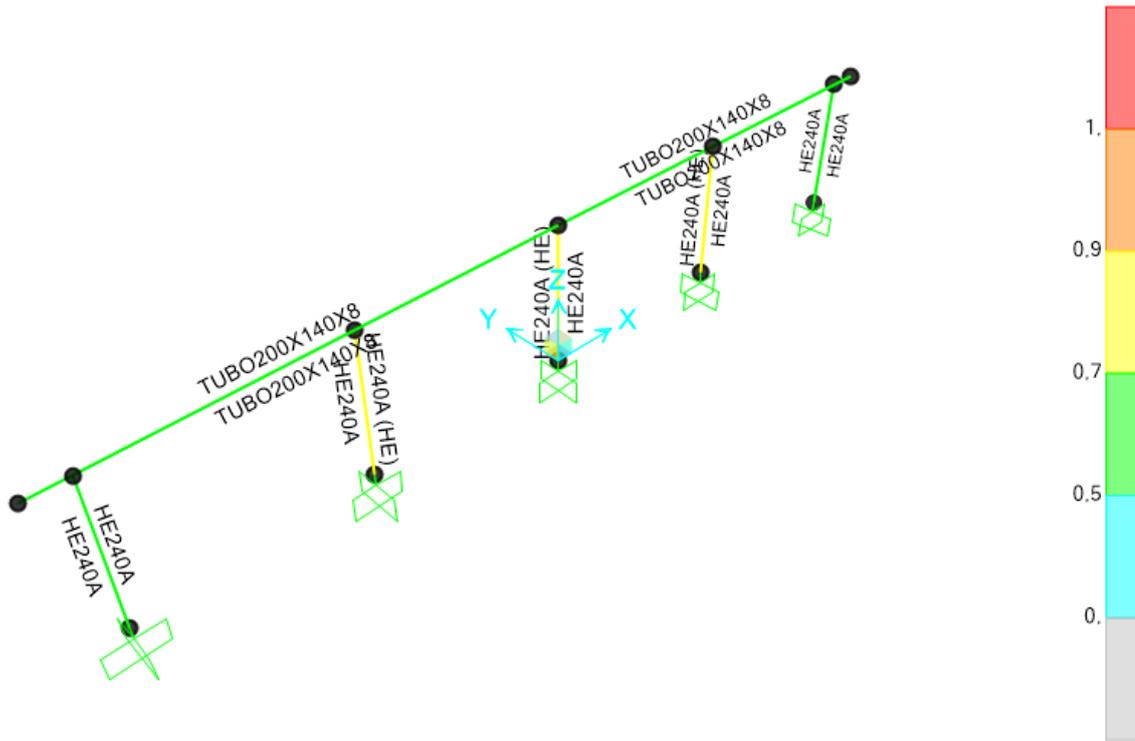


Figura 9-8 – Sezioni utilizzate e tasso di sfruttamento

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - Italian NTC 2018						
Frame	DesignSect	DesignType	Ratio	RatioType	Combo	Location
Text	Text	Text	Unitless	Text	Text	m
1	TUBO200X140X8	Beam	0,613502	NMM	SLU_2	5,2
2	TUBO200X140X8	Beam	0,613502	NMM	SLU_2	4,5
8	HE240A	Column	0,720455	NMM	SLU_1	0
3	HE240A	Column	0,73199	NMM	SLU_3	1,2624
4	HE240A	Column	0,538581	NMM	SLU_1	1,2624
5	HE240A	Column	0,73199	NMM	SLU_3	1,2624
6	HE240A	Column	0,538581	NMM	SLU_1	1,2624

Tabella I – Sfruttamento Elementi

**9.1 Risultati elementi metallici**

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
 Units : KN, m, C

Frame : 2 X Mid: 4,85 Combo: SLU 4 Design Type: Beam  
 Length: 9,7 Y Mid: 0, Shape: TUBO200X140X8 Frame Type: InvPendulum  
 Loc : 4,5 Z Mid: 3,156 Class: Class 1 Rolled : Yes

Interaction=Method Both MultiResponse=Envelopes P-Delta Done?  
 No  
 Consider Torsion? No

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25 D/C Lim=0,95 Prin. Axis  
 An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75  
 Angle = 0, deg

Aeff=0,005 Av,2=0,003 Av,3=0,002 eNy=0, eNz=0,  
 A=0,005 Iy=2,896E-05 iy=0,075 Wel,y=2,896E-04 Weff,y=  
 2,896E-04 It=3,172E-05 Iz=1,650E-05 iz=0,056 Wel,z=2,357E-04 Weff,z=  
 2,357E-04 Iw=0, Iyz=0, h=0,2 Wpl,y=3,505E-04  
 E=210000000, fy=355000, fu=510000, Wpl,z=2,727E-04

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	Ted
4,5	-15,393	-72,701	-4,6	92,66	7,749	15,051

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.2.9.1(6y))  
 D/C Ratio: 0,614 = 0,614 < 0,95 OK  
 = (My,Ed/Mn,y,Rd) (EC3 6.2.9.1(6y))

AXIAL FORCE DESIGN

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Y-Y	a	0,21	2964,098	0,788	0,872	1406,556
Y-Y Braced	a	0,21	2964,098	0,788	0,872	1406,556
Z-Z	a	0,21	363,462	2,25	3,247	313,669
Z-Z Braced	a	0,21	363,462	2,25	3,247	313,669
Torsional TF	a	0,21	363,462	2,25	3,247	313,669

MOMENT DESIGN

Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
LTB	d	0,76	0,295	0,58	0,927	1426,985

Factors	kw	Psi	C2	C3	zj
	1,	1,479	0,	0,	0,
	za	zs	zg	zz	
	0,1	0,	0,1	0,	0,

Factors	kyy	kyz	kzy	kzz
	0,817	0,327	0,49	0,544

# SAP2000

Project \_\_\_\_\_  
Job Number \_\_\_\_\_  
Engineer \_\_\_\_\_

	Ved Force	Vp1,Rd Capacity	Ved/Vp1,Rd Ratio	rho Factor	
2-Axis	92,66	595,243	0,156	1,	
3-Axis	7,749	416,67	0,019	1,	

SHEAR DESIGN

	VEd Force	TEd Torsion	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
2-Axis	92,66	15,051	595,243	0,156	OK
3-Axis	7,749	15,051	416,67	0,019	OK

	Vp1,Rd Capacity	Eta Factor	Lambdabar Ratio	Chi Factor	
2-Axis	595,243	1,2	0,325	1,2	
3-Axis	416,67	1,2	0,	1,	

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS

	V2 Left	V2 Right
2-2 (V2)	84,707	0,

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
 Units : KN, m, C

Frame : 1 X Mid: -4,85 Combo: SLU 4 Design Type: Beam  
 Length: 9,7 Y Mid: 0, Shape: TUBO200X140X8 Frame Type: InvPendulum  
 Loc : 5,2 Z Mid: 3,156 Class: Class 1 Rolled : Yes

Interaction=Method Both MultiResponse=Envelopes P-Delta Done?  
 No  
 Consider Torsion? No

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25 D/C Lim=0,95 Prin. Axis  
 An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75  
 Angle = 0, deg

Aeff=0,005 Av,2=0,003 Av,3=0,002 eNy=0, eNz=0,  
 A=0,005 Iy=2,896E-05 iy=0,075 Wel,y=2,896E-04 Weff,y=  
 2,896E-04 It=3,172E-05 Iz=1,650E-05 iz=0,056 Wel,z=2,357E-04 Weff,z=  
 2,357E-04 Iw=0, Iyz=0, h=0,2 Wpl,y=3,505E-04  
 E=210000000, fy=355000, fu=510000, Wpl,z=2,727E-04

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	Ted
5,2	-15,393	-72,701	-4,6	92,66	7,749	15,051

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.2.9.1(6y))  
 D/C Ratio: 0,614 = 0,614 < 0,95 OK  
 = (My,Ed/Mn,y,Rd) (EC3 6.2.9.1(6y))

AXIAL FORCE DESIGN

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Y-Y	a	0,21	2964,098	0,788	0,872	1406,556
Y-Y Braced	a	0,21	2964,098	0,788	0,872	1406,556
Z-Z	a	0,21	363,462	2,25	3,247	313,669
Z-Z Braced	a	0,21	363,462	2,25	3,247	313,669
Torsional TF	a	0,21	363,462	2,25	3,247	313,669

MOMENT DESIGN

Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
LTB	d	0,76	0,295	0,58	0,927	1426,985

Factors	kw	Psi	C2	C3	zj
	1,	1,479	0,	0,	
	za	zs	zg	zz	
	0,1	0,	0,1	0,	0,

Factors	kyy	kyz	kzy	kzz
	0,817	0,327	0,49	0,544

# SAP2000

Project \_\_\_\_\_  
 Job Number \_\_\_\_\_  
 Engineer \_\_\_\_\_

	Ved Force	Vp1,Rd Capacity	Ved/Vp1,Rd Ratio	rho Factor	
2-Axis	92,66	595,243	0,156	1,	
3-Axis	7,749	416,67	0,019	1,	
<b>SHEAR DESIGN</b>					
	VED Force	TEd Torsion	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
2-Axis	92,66	15,051	595,243	0,156	OK
3-Axis	7,749	15,051	416,67	0,019	OK
	Vp1,Rd Capacity	Eta Factor	Lambdabar Ratio	Chi Factor	
2-Axis	595,243	1,2	0,325	1,2	
3-Axis	416,67	1,2	0,	1,	
<b>CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS</b>					
	V2 Left	V2 Right			
2-2 (V2)	0,	84,707			

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
 Units : KN, m, C

Frame : 4 X Mid: 9, Combo: SLU\_3 Design Type: Column  
 Length: 3,156 Y Mid: 0, Shape: HE240A Frame Type: InvPendulum  
 Loc : 1,578 Z Mid: 1,578 Class: Class 2 Rolled : Yes

Interaction=Method Both MultiResponse=Envelopes P-Delta Done?  
 No  
 Consider Torsion? No

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25 D/C Lim=0,95 Prin. Axis  
 An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75  
 Angle = 0, deg

Aeff=0,008 Av,2=0,003 Av,3=0,006 eNy=0, eNz=0,  
 A=0,008 Iy=7,763E-05 iy=0,101 Wel,y=6,750E-04 Weff,y=  
 6,750E-04  
 It=4,210E-07 Iz=2,769E-05 iz=0,06 Wel,z=2,308E-04 Weff,z=  
 2,308E-04  
 Iw=3,290E-07 Iyz=0, h=0,23 Wpl,y=7,450E-04  
 E=210000000, fy=355000, fu=510000, Wpl,z=3,520E-04

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	TEd
1,578	-71,541	-52,413	5,574	11,551	10,239	0,053

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)

D/C Ratio: 0,538 = 0,077 + 0,387 + 0,075 < 0,95 OK  
 = Ned/(Chi\_z NRk/GammaM1) + kzy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi\_LT

My,Rk/GammaM1) + kzz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (NTC Eq C4.2.38)

AXIAL FORCE DESIGN

	NEd Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity
Axial	-71,541	2596,571	2596,571

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	2596,571	2820,096	3727,915	3727,915	1,

	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Y-Y	b	0,34	4039,557	0,822	0,943	0,711	1846,348
Y-Y Braced	b	0,34	33014,223	0,287	0,556	0,969	2515,352
Z-Z	c	0,49	1440,878	1,376	1,734	0,358	930,668
Z-Z Braced	c	0,49	11775,909	0,481	0,685	0,853	2216,072
Torsional TF	c	0,49	3727,915	0,855	1,026	0,628	1629,573

MOMENT DESIGN

	MEd Moment	MEd,span Moment	Mm,Ed Moment	Meq,Ed Moment
Y-Y	-52,413	-70,641	-52,413	-56,058
Z-Z	5,574	21,731	5,574	8,806

	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Y-Y	251,881	251,881	251,881	182,204
Z-Z	119,01	119,01	119,01	

	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
LTB	b	0,34	0,802	0,924	0,723	3,290E-07	411,436

Factors	kw	Psi	C2	C3	zj
	1,	1,312	0,	0,994	
	za	zs	zg	zz	
	0,115	1,4E-17	0,115	2,863E-18	-1,674E-17
	kyy		kyz	kzy	kzz

# SAP2000

Project \_\_\_\_\_  
 Job Number \_\_\_\_\_  
 Engineer \_\_\_\_\_

Factors	0,796	0,246	0,997	0,41	
	Ved Force	Vp1,Rd Capacity	Ved/Vp1,Rd Ratio	rho Factor	
2-Axis	11,551	490,731	0,024	1,	
3-Axis	10,239	1197,548	0,009	1,	
SHEAR DESIGN					
	VEd Force	TEd Torsion	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
2-Axis	11,551	0,053	490,731	0,024	OK
3-Axis	10,239	0,053	1197,548	0,009	OK
	Vp1,Rd Capacity	Eta Factor	Lambdabar Ratio	Chi Factor	
2-Axis	490,731	1,2	0,381	1,2	
3-Axis	1197,548	1,2	0,	1,	

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : KN, m, C

Frame : 3 X Mid: 4,5 Combo: SLU\_3 Design Type: Column  
 Length: 3,156 Y Mid: 0, Shape: HE240A Frame Type: InvPendulum  
 Loc : 1,578 Z Mid: 1,578 Class: Class 2 Rolled : Yes

Interaction=Method Both MultiResponse=Envelopes P-Delta Done?  
 No  
 Consider Torsion? No

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25 D/C Lim=0,95 Prin. Axis  
 An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75  
 Angle = 0, deg

Aeff=0,008 Av,2=0,003 Av,3=0,006 eNy=0, eNz=0,  
 A=0,008 Iy=7,763E-05 iy=0,101 Wel,y=6,750E-04 Weff,y=  
 6,750E-04  
 It=4,210E-07 Iz=2,769E-05 iz=0,06 Wel,z=2,308E-04 Weff,z=  
 2,308E-04  
 Iw=3,290E-07 Iyz=0, h=0,23 Wpl,y=7,450E-04  
 E=210000000, fy=355000, fu=510000, Wpl,z=3,520E-04

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	TEd
1,578	-120,701	-77,519	-0,793	20,405	1,56	0,004

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)

D/C Ratio: 0,732 = 0,13 + 0,591 + 0,011 < 0,95 OK  
 = Ned/(Chi\_z NRk/GammaM1) + kzy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi\_LT

My,Rk/GammaM1) + kzz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (NTC Eq C4.2.38)

AXIAL FORCE DESIGN

	NEd Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
Axial	-120,701	2596,571	2596,571	2596,571	2820,096	3727,915	3727,915	1,

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Y-Y	b 0,34	4039,557	0,822	0,943	0,711	1846,348
Y-Y Braced	b 0,34	33014,223	0,287	0,556	0,969	2515,352
Z-Z	c 0,49	1440,878	1,376	1,734	0,358	930,668
Z-Z Braced	c 0,49	11775,909	0,481	0,685	0,853	2216,072
Torsional TF	c 0,49	3727,915	0,855	1,026	0,628	1629,573

MOMENT DESIGN

	MEd Moment	MEd,span Moment	Mm,Ed Moment	Meq,Ed Moment
Y-Y	-77,519	-109,719	-77,519	-83,959
Z-Z	-0,793	-3,254	-0,793	-1,302

	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Y-Y	251,881	251,881	251,881	184,74
Z-Z	119,01	119,01	119,01	

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
	b	0,34	0,785	0,908	0,733	3,290E-07	428,788

Factors	kw	Psi	C2	C3	zj
	1,	1,367	0,	0,993	
	za	zs	zg	zz	
	0,115	1,4E-17	0,115	2,863E-18	-1,674E-17

	kyy	kzy	kzy	kzz

# SAP2000

Project \_\_\_\_\_  
 Job Number \_\_\_\_\_  
 Engineer \_\_\_\_\_

Factors	0,768	0,245	0,995	0,408	
	Ved Force	Vp1,Rd Capacity	Ved/Vp1,Rd Ratio	rho Factor	
2-Axis	20,405	490,731	0,042	1,	
3-Axis	1,56	1197,548	0,001	1,	
SHEAR DESIGN					
	VEd Force	TEd Torsion	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
2-Axis	20,405	0,004	490,731	0,042	OK
3-Axis	1,56	0,004	1197,548	0,001	OK
	Vp1,Rd Capacity	Eta Factor	Lambdabar Ratio	Chi Factor	
2-Axis	490,731	1,2	0,381	1,2	
3-Axis	1197,548	1,2	0,	1,	

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
 Units : KN, m, C

Frame : 8 X Mid: 0, Combo: SLU\_3 Design Type: Column  
 Length: 3,156 Y Mid: 0, Shape: HE240A Frame Type: InvPendulum  
 Loc : 0, Z Mid: 1,578 Class: Class 2 Rolled : Yes

Interaction=Method Both MultiResponse=Envelopes P-Delta Done?  
 No  
 Consider Torsion? No

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25 D/C Lim=0,95 Prin. Axis  
 An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75  
 Angle = 0, deg

Aeff=0,008 Av,2=0,003 Av,3=0,006 eNy=0, eNz=0,  
 A=0,008 Iy=7,763E-05 iy=0,101 Wel,y=6,750E-04 Weff,y=  
 6,750E-04 It=4,210E-07 Iz=2,769E-05 iz=0,06 Wel,z=2,308E-04 Weff,z=  
 2,308E-04 Iw=3,290E-07 Iyz=0, h=0,23 Wpl,y=7,450E-04  
 E=210000000, fy=355000, fu=510000, Wpl,z=3,520E-04

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	Ted
0,	-115,114	-110,39	-7,592E-15	19,895	0,	0,

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)

D/C Ratio: 0,72 = 0,124 + 0,597 + 0, < 0,95 OK  
 = Ned/(Chi\_z NRk/GammaM1) + kzy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi\_LT  
 My,Rk/GammaM1)  
 + kzz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (NTC Eq C4.2.38)

AXIAL FORCE DESIGN

	NEd Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Npl,Rd 2596,571	Nu,Rd 2820,096	Ncr,T 3727,915	Ncr,TF 3727,915	An/Ag 1,
Axial	-115,114	2596,571	2596,571					

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Y-Y	b 0,34	4039,557	0,822	0,943	0,711	1846,348
Y-Y Braced	b 0,34	33014,223	0,287	0,556	0,969	2515,352
Z-Z	c 0,49	1440,878	1,376	1,734	0,358	930,668
Z-Z Braced	c 0,49	11775,909	0,481	0,685	0,853	2216,072
Torsional TF	c 0,49	3727,915	0,855	1,026	0,628	1629,573

MOMENT DESIGN

	MEd Moment	MEd,span Moment	Mm,Ed Moment	Meq,Ed Moment
Y-Y	-110,39	-110,39	-78,995	-85,274
Z-Z	0,	-7,592E-15	-2,885E-15	3,827E-15

	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Y-Y	251,881	251,881	251,881	184,095
Z-Z	119,01	119,01	119,01	

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
	b	0,34	0,79	0,912	0,731	3,290E-07	424,257

Factors	kw	Psi	C2	C3	zj
	1,	1,353	0,	0,993	
	za	zs	zg	zz	
	0,115	1,4E-17	0,115	2,863E-18	-1,674E-17
	kyy		kzy		kzz

# SAP2000

Project \_\_\_\_\_  
 Job Number \_\_\_\_\_  
 Engineer \_\_\_\_\_

Factors	0,776	0,611	0,995	1,019	
	Ved Force	Vp1,Rd Capacity	Ved/Vp1,Rd Ratio	rho Factor	
2-Axis	19,895	490,731	0,041	1,	
3-Axis	0,	1197,548	0,	1,	
SHEAR DESIGN					
	VEd Force	TEd Torsion	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
2-Axis	19,895	0,	490,731	0,041	OK
3-Axis	0,	0,	1197,548	0,	OK
	Vp1,Rd Capacity	Eta Factor	Lambdabar Ratio	Chi Factor	
2-Axis	490,731	1,2	0,381	1,2	
3-Axis	1197,548	1,2	0,	1,	

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
 Units : KN, m, C

Frame : 5 X Mid: -4,5 Combo: SLU\_3 Design Type: Column  
 Length: 3,156 Y Mid: 0, Shape: HE240A Frame Type: InvPendulum  
 Loc : 1,578 Z Mid: 1,578 Class: Class 2 Rolled : Yes

Interaction=Method Both MultiResponse=Envelopes P-Delta Done?  
 No  
 Consider Torsion? No

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25 D/C Lim=0,95 Prin. Axis  
 An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75  
 Angle = 0, deg

Aeff=0,008 Av,2=0,003 Av,3=0,006 eNy=0, eNz=0,  
 A=0,008 Iy=7,763E-05 iy=0,101 Wel,y=6,750E-04 Weff,y=  
 6,750E-04 It=4,210E-07 Iz=2,769E-05 iz=0,06 Wel,z=2,308E-04 Weff,z=  
 2,308E-04 Iw=3,290E-07 Iyz=0, h=0,23 Wpl,y=7,450E-04  
 E=210000000, fy=355000, fu=510000, Wpl,z=3,520E-04

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	TEd
1,578	-120,701	-77,519	0,793	20,405	1,56	0,004

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)

D/C Ratio: 0,732 = 0,13 + 0,591 + 0,011 < 0,95 OK  
 = Ned/(Chi\_z NRk/GammaM1) + kzy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi\_LT

My,Rk/GammaM1) + kzz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (NTC Eq C4.2.38)

AXIAL FORCE DESIGN

	NEd Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity
Axial	-120,701	2596,571	2596,571

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	2596,571	2820,096	3727,915	3727,915	1,

	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Y-Y	b	0,34	4039,557	0,822	0,943	0,711	1846,348
Y-Y Braced	b	0,34	33014,223	0,287	0,556	0,969	2515,352
Z-Z	c	0,49	1440,878	1,376	1,734	0,358	930,668
Z-Z Braced	c	0,49	11775,909	0,481	0,685	0,853	2216,072
Torsional TF	c	0,49	3727,915	0,855	1,026	0,628	1629,573

MOMENT DESIGN

	MEd Moment	MEd,span Moment	Mm,Ed Moment	Meq,Ed Moment
Y-Y	-77,519	-109,719	-77,519	-83,959
Z-Z	0,793	3,254	0,793	1,302

	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Y-Y	251,881	251,881	251,881	184,74
Z-Z	119,01	119,01	119,01	

	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
LTB	b	0,34	0,785	0,908	0,733	3,290E-07	428,788

Factors	kw	Psi	C2	C3	zj
	1,	1,367	0,	0,993	
	za	zs	zg	zz	
	0,115	1,4E-17	0,115	2,863E-18	-1,674E-17
	kyy		kzy		kzz

# SAP2000

Project \_\_\_\_\_  
 Job Number \_\_\_\_\_  
 Engineer \_\_\_\_\_

Factors	0,768	0,245	0,995	0,408	
	Ved Force	Vp1,Rd Capacity	Ved/Vp1,Rd Ratio	rho Factor	
2-Axis	20,405	490,731	0,042	1,	
3-Axis	1,56	1197,548	0,001	1,	
SHEAR DESIGN					
	VEd Force	TEd Torsion	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
2-Axis	20,405	0,004	490,731	0,042	OK
3-Axis	1,56	0,004	1197,548	0,001	OK
	Vp1,Rd Capacity	Eta Factor	Lambdabar Ratio	Chi Factor	
2-Axis	490,731	1,2	0,381	1,2	
3-Axis	1197,548	1,2	0,	1,	

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
 Units : KN, m, C

Frame : 6 X Mid: -9, Combo: SLU\_3 Design Type: Column  
 Length: 3,156 Y Mid: 0, Shape: HE240A Frame Type: InvPendulum  
 Loc : 1,578 Z Mid: 1,578 Class: Class 2 Rolled : Yes

Interaction=Method Both MultiResponse=Envelopes P-Delta Done?  
 No  
 Consider Torsion? No

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25 D/C Lim=0,95 Prin. Axis  
 An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75  
 Angle = 0, deg

Aeff=0,008 Av,2=0,003 Av,3=0,006 eNy=0, eNz=0,  
 A=0,008 Iy=7,763E-05 iy=0,101 Wel,y=6,750E-04 Weff,y=  
 6,750E-04 It=4,210E-07 Iz=2,769E-05 iz=0,06 Wel,z=2,308E-04 Weff,z=  
 2,308E-04 Iw=3,290E-07 Iyz=0, h=0,23 Wpl,y=7,450E-04  
 E=210000000, fy=355000, fu=510000, Wpl,z=3,520E-04

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	TEd
1,578	-71,541	-52,413	-5,574	11,551	10,239	0,053

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)

D/C Ratio: 0,538 = 0,077 + 0,387 + 0,075 < 0,95 OK  
 = Ned/(Chi\_z NRk/GammaM1) + kzy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi\_LT  
 My,Rk/GammaM1) + kzz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (NTC Eq C4.2.38)

AXIAL FORCE DESIGN

Force	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
Axial	-71,541	2596,571	2596,571	3727,915	3727,915	1,

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Y-Y	b	4039,557	0,822	0,943	0,711	1846,348
Y-Y Braced	b	33014,223	0,287	0,556	0,969	2515,352
Z-Z	c	1440,878	1,376	1,734	0,358	930,668
Z-Z Braced	c	11775,909	0,481	0,685	0,853	2216,072
Torsional TF	c	3727,915	0,855	1,026	0,628	1629,573

MOMENT DESIGN

Moment	MEd	MEd, span	Mm,Ed	Meq,Ed
Y-Y	-52,413	-70,641	-52,413	-56,058
Z-Z	-5,574	-21,731	-5,574	-8,806

Capacity	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
Y-Y	251,881	251,881	251,881	182,204
Z-Z	119,01	119,01	119,01	

Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
LTB	b	0,34	0,802	0,924	0,723	3,290E-07

Factors	kw	Psi	C2	C3
1,	1,312	0,	0,994	
za	zs	zg	zz	zj
0,115	1,4E-17	0,115	2,863E-18	-1,674E-17

kyy kyz kzy kzz

# SAP2000

Project \_\_\_\_\_  
 Job Number \_\_\_\_\_  
 Engineer \_\_\_\_\_

Factors	0,796	0,246	0,997	0,41	
	Ved Force	Vp1,Rd Capacity	Ved/Vp1,Rd Ratio	rho Factor	
2-Axis	11,551	490,731	0,024	1,	
3-Axis	10,239	1197,548	0,009	1,	
SHEAR DESIGN					
	VEd Force	TEd Torsion	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
2-Axis	11,551	0,053	490,731	0,024	OK
3-Axis	10,239	0,053	1197,548	0,009	OK
	Vp1,Rd Capacity	Eta Factor	Lambdabar Ratio	Chi Factor	
2-Axis	490,731	1,2	0,381	1,2	
3-Axis	1197,548	1,2	0,	1,	