

# PARCO EOLICO MONTE GIAROLO

Il Committente:



Sede Legale:

via Aldo Moro n. 28  
25043, Breno (BS)  
P.IVA e C.F. 04324160987

Oggetto:

INTEGRAZIONE DOCUMENTALE

Titolo:

RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO  
BASAMENTO GRU

Il Progettista



Ing. Silvio Mario Bauducco

Data	Emis.	Aggiornamento	Data	Contr.	Data	Autor.
03/2024	MB	Emissione	03/2024	FO	03/2024	SMB

SCALA -

FORMATO -

MARZO 2024

Commessa

Tip. impianto

Fase Progetto

Disciplina

Tip. Doc

Titolo

N. Elab

REV

22100

EO

I08-05

GN

R

02

0002

A

PROGETTAZIONE EDILE, AMBIENTALE, STRUTTURALE ED IMPIANTISTICA A CURA DI:

I Tecnici:

Coord. gruppo di progettazione  
Ing. Silvio Mario Bauducco

Collaboratori

Geom. Benzoni Manuel  
Per. Ind. Biasin Emanuele  
Ing. Occhiuto Felice  
Arch. Ostino Paolo  
Arch. Pelleri Martina

**BAUTEL** S.R.L.

Sede Amministrativa via Maroncelli, 23 10024 Moncalieri (TO)  
tel 011.6052113 - 011.6059915 e-mail: amministrazione@bautel.it  
Sede operativa Torino - via Maroncelli, 23 10024 Moncalieri (TO)  
Sede operativa Genova - via Banderati, 2/4 16121 Genova (GE)

File: 22100 piano particolare di esproprio.dwg

TUTTI I DIRITTI SONO RISERVATI - Questo documento è di proprietà esclusiva del progettista ivi indicato sul quale si riserva ogni diritto. Pertanto questo documento non può essere copiato, riprodotto, comunicato o divulgato ad altri o usato in qualsiasi maniera, nemmeno per fini sperimentali, senza autorizzazione scritta dallo stesso progettista.

**Regione Piemonte**  
Provincia di Alessandria

**COMUNI DI FABBRICA CURONE, ALBERA  
LIGURE E CABELLA LIGURE**

**PARCO EOLICO MONTE GIAROLO**

**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO  
BASAMENTO GRU**

DATA: 15/03/2024

IL PROGETTISTA

Ing. Silvio Mario Bauducco



---

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
1.1	Premessa.....	4
1.2	Lavori previsti.....	4
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>MATERIALI PREVISTI.....</b>	<b>6</b>
3.1	Calcestruzzi cementizi .....	6
3.2	Acciai per armature.....	6
<b>4</b>	<b>CARICHI AGENTI SULLA STRUTTURA.....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>VERIFICHE .....</b>	<b>8</b>
5.1.	Plinto di fondazione palo.....	8
5.2.	Verifiche strutturali .....	9
5.3.	Verifica palificata.....	9
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>9</b>

# 1 PREMESSA

## 1.1 Premessa

Oggetto della presente relazione tecnica è la verifica della struttura di fondazione prevista per il posizionamento della gru necessaria al montaggio dei conci ed agli elementi delle torri degli aerogeneratori del parco eolico di monte Giarolo. Tale piazzola su cui si prevede di posizionare la gru è detta dal fatto che è necessario garantire la stabilità del versante a fronte dei notevoli carichi oggetto del cantiere. Il metodo di calcolo adottato è quello agli Stati Limite come previsto dal D.M. 17/01/2018.

## 1.2 Lavori previsti

I lavori previsti consistono nella realizzazione di un plinto di fondazione rettangolare di 12 x 15 m avente uno spessore di 60cm, sostenuto da 6 pali di grande diametro (1 m) e collegati tra di loro mediante una trave a T. I pali si immergono nel terreno per 25 m, 26 dal piano campagna della piazzola. Il piano finito della piazzola è circa 1 m al di sotto del piano finale dell'area della piazzola al fine di permettere il ricoprimento della stessa finalizzata al rinverdimento e realizzazione di area di sosta e relax.

Ogni fondazione sarà poi oggetto di specifico calcolo a valle dei risultati delle prove geologiche e geotecniche comprensive di perforazioni con estrazione di carote così da evidenziare tutti i parametri geotecnici reali turbina per turbina.

# 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- La normativa seguita per lo sviluppo della progettazione esecutiva delle opere in c.a. oggetto della seguente relazione sono:

- Legge 05/11/1971 n° 1086: "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica".
- D.M. 14/02/1992: "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche".
- Circ. Min. LL.PP. 24/06/1993 n° 37406: "Legge 5/11/1971 n° 1086: "Istruzioni relative alle norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche, di cui al D.14/02/1992" (metodo delle Tensioni Ammissibili).
- D.M. LL.PP. 09/01/1996: "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche".
- Circ. Min. LL. PP. 15/10/1996 n° 252: "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche, di cui al D.M. 09/01/1996".
- D.M. LL.PP. 16/01/96: "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza nelle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".
- Circ. Min. LL.PP. 04/07/1996 n° 156: "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi, di cui al D.M. 16/01/1996".
- EUROCODICE 2 "Progettazione delle strutture di calcestruzzo".
- ENV 206 "calcestruzzo – Prestazioni, produzione, getto e criteri di conformità".
- EUROCODICE 3 "Progettazione delle strutture di acciaio".
- CNR-UNI 10011 "Costruzioni di acciaio: Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione".
- CNR-UNI 10012 "Istruzioni per la valutazione delle Azioni sulle costruzioni".
- D.M. LL.PP. 14 settembre 2005 – Norme Tecniche per le Costruzioni;
- CNR-UNI 10024 "Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione della relazione di calcolo".

- D.M. LL.PP. 14 gennaio 2008 - Norme tecniche per le costruzioni.
- D.M. LL.PP. 17 gennaio 2018 - Norme tecniche per le costruzioni.

### **3 MATERIALI PREVISTI**

I materiali impiegati per le opere in c.a. sono i seguenti.

#### **3.1 Calcestruzzi cementizi**

Per l'esecuzione delle opere in calcestruzzo armato di fondazione dovrà essere impiegato un conglomerato avente le seguenti caratteristiche:

- Resistenza caratteristica  $R_{ck}$  non inferiore a  $30 \text{ N/mm}^2$  (classe di resistenza C25/30 - prospetto VIII norma UNI 9858); cemento Portland 425 con dosaggio minimo  $400 \text{ kg/m}^3$ ; inerti in quattro classi granulometriche ed in curva granulometrica continua di Bolomey, con diametro massimo degli inerti  $30 \text{ mm}$  e, comunque, compatibile con l'interferro minimo di progetto; slump adeguato al tipo di componente da realizzare.

Gli impasti, sia di malta che di conglomerato, dovranno essere preparati in sito od ordinati ai produttori (centrali di betonaggio) soltanto nella quantità necessaria per l'impiego immediato.

I residui di impasti che non avessero, per qualsiasi ragione, immediato impiego dovranno essere portati alle pubbliche discariche.

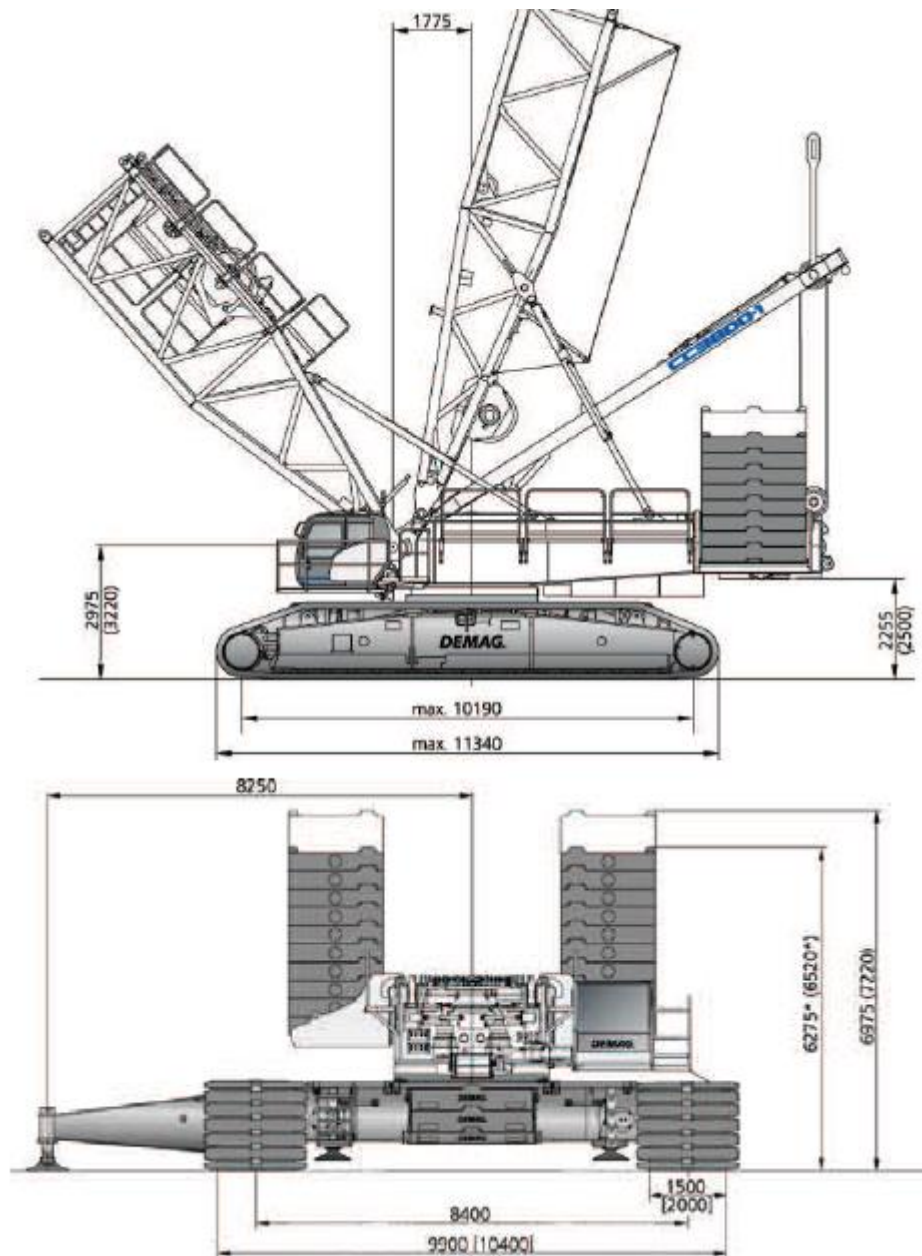
#### **3.2 Acciai per armature**

L'acciaio da impiegare per le armature di tutte le strutture in oggetto è del tipo a barre ad aderenza migliorata denominato B450C con caratteristiche meccaniche e chimiche in conformità alle vigenti norme tecniche (tensione caratteristica di snervamento  $430 \text{ N/mm}^2$ , tensione di rottura  $540 \text{ N/mm}^2$ ).

L'acciaio per reti elettrosaldate di qualunque tipo e diametro deve presentare tensione caratteristica di snervamento  $390 \text{ N/mm}^2$  con tensione caratteristica di rottura  $440 \text{ N/mm}^2$ .

## 4 CARICHI AGENTI SULLA STRUTTURA

I carichi agenti sulla piazzola per la gru derivano dal carico della gru stessa che si ipotizza essere la Demag 3800, visto le altezze da raggiungere e i carichi in gioco.



Il peso della gru dotata di zavorre è pari a 500 ton.

Risultano quindi i seguenti carichi da applicare alla platea in calcestruzzo:

- Peso proprio della gru pari a 500 ton
- Peso proprio della fondazione – calcestruzzo e terreno sovrastante

## 5. VERIFICHE

### 5.1. *Plinto di fondazione palo*

Le verifiche, secondo il D.M. 14/01/18 capitolo 6.4 devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite:

SLU di tipo geotecnico (GEO)

- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno (schiacciamento)
- collasso per scorrimento sul piano di posa (scorrimento)

SLU di equilibrio del corpo rigido (EQU)

- ribaltamento

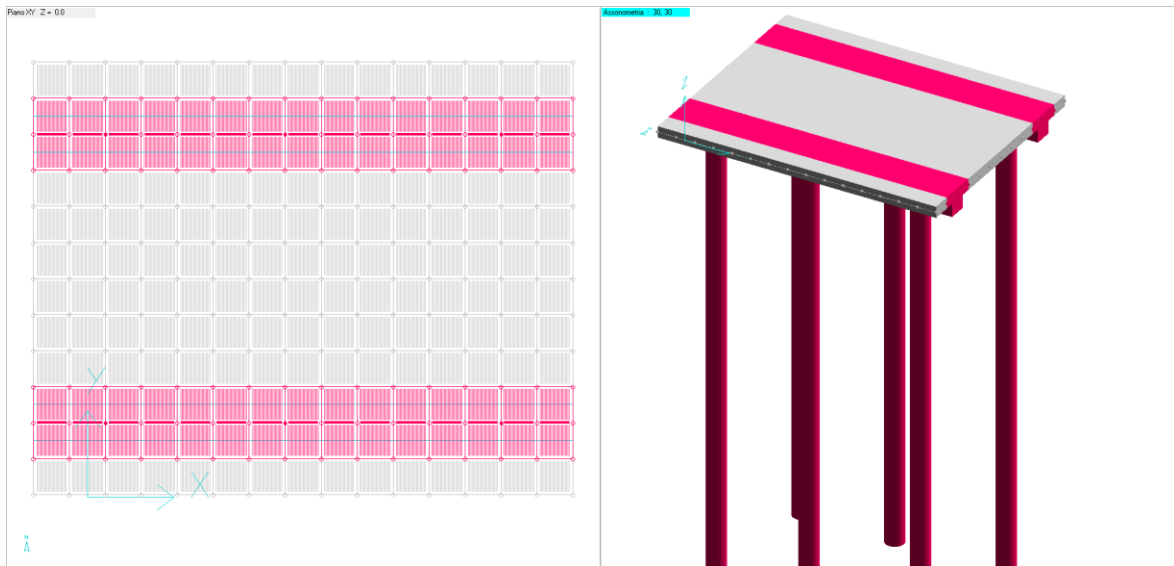
SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali,

Per la caratterizzazione del terreno, benchè in questa fase preliminare, siano state condotte solo delle indagini sismiche, si rimanda a informazioni reperibili in letteratura e alle considerazioni svolte con il geologo Dott. Canavero Alessandro.

La fondazione è stata discretizzata con elementi piastra con vincoli su pali come da schema seguente:





## 5.2. Verifiche strutturali

Le verifiche strutturali con la determinazione dello stato di lavoro delle armature e del calcestruzzo saranno oggetto della verifica puntuale plinto per plinto, appena saranno definiti puntualmente il terreno e le sollecitazioni sismiche trasmesse dalla torre e di fornitura del produttore delle turbine.

## 5.3. Verifica palificata

Le verifiche della palificata sono riportate in allegato e da cui si evince che le dimensioni della fondazione e i pali previsti sono compatibili con la presunta capacità portante del terreno.

## 6. CONCLUSIONI

Con la presente relazione tecnica si sono verificate le strutture di fondazione necessarie per l'appoggio temporaneo della gru necessaria ai lavori di montaggio degli aerogeneratori previsti nel parco eolico di Giarolo.

il Tecnico

# Relazione di Calcolo

## Piazzola Gru

Nome palificata: piazzola.ple  
Descrizione palificata: Palificata da Macrogiuscio ID 1  
Metodo di verifica: Stati limite secondo NTC18  
Unità di misura, ove non indicate espressamente: [cm],[daN],[daN\*cm],[daN/cm<sup>2</sup>],[cm<sup>2</sup>]

La seguente tabella riassume schematicamente tutte le verifiche eseguite nei vari casi di calcolo definiti. Per ciascuna verifica è indicato il confronto tra resistenza di calcolo  $R_d$  ed azione di calcolo  $S_d$ , ed il relativo coefficiente di sicurezza  $fs$ .

Tutti i Puntti maglia (6), Tutti i casi (5), Tutti i sestetti (5)												
Caso	C.Port. [daN][f.s.]	Cedim. [mm]	R.Tras. [daN][f.s.]	Sp.Ori. [mm]	C.A.:M [daN*cm][f.s.]	C.A.:V [daN][f.s.]	C.A.:t.cls. [daN/cm2][f.s.]	C.A.:t.acc. [daN/cm2][f.s.]	C.A.:fes. [mm]	C.A.:% a.lon. [[f.s.]	C.A.:D a.tra. [mm]	C.A.:P a.tra. [cm]
1: SLU Solo Perm.	PM5-S1 ↓594486/1 30889 4.54	PM6-S1 0 (max -60)	PM1-S1 0/0 = ∞	PM2-S1 0 (max 60)	PM2-S1 4140619/2 620914 1.58	PM2-S1 48819/600 9 = 8.12	---	---	---	---	---	---
2: SLU SENZA SISMA	PM5-S1 ↓594486/4 04891 1.47	PM5-S1 -2 (max -60)	PM1-S1 0/0 = ∞	PM2-S1 1 (max 60)	PM2-S1 10491034/ 4225175 2.48	PM2-S1 48819/968 7 = 5.04	---	---	---	---	---	---
3: Rara	---	PM5-S1 0 (max -40)	---	PM2-S1 0 (max 40)	---	---	PM2-S1 149.4/56.3 = 2.65	PM2-S1 3600/788.4 = 4.57	---	---	---	---
4: Frequente	---	---	---	---	---	---	---	---	PM1-S1 0 (max 0.4)	---	---	---
5: Quasi Perm	---	PM5-S1 0 (max -50)	---	PM2-S1 0 (max 50)	---	---	PM2-S1 112/36.7 = 3.05	---	PM1-S1 0 (max 0.3)	---	---	---

C.Port. = Capacità portante | Cedim. = Cedimento | R.Tras. = Resistenza trasversale | Sp.Ori. = Spostamento orizzontale | C.A.:M = C.A.: pressoflessione | C.A.:V = C.A.: taglio | C.A.:t.cls. = C.A.: Tens. limite cls | C.A.:t.acc. = C.A.: Tens. limite acciaio | C.A.:fes. = C.A.: apertura fessure | C.A.:% a.lon. = C.A.: % arm. longitudinale | C.A.:D a.tra. = C.A.: diametro arm. trasversale | C.A.:P a.tra. = C.A.: passo arm. trasversale  
| --- = Verifica non prevista

## Normativa di riferimento.

### Materiali.

## Calcestruzzo.

Tipo	$f_{yk}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\gamma_c$	$f_{cd}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$E$ [daN/cm <sup>2</sup> ]
C25/30 (Cls 1)	249	1.50	141.1	314471.61

Di seguito sono elencate le tensioni massime ammesse in esercizio.

Tipo	$\sigma_{cls, rara}^{(c)}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{cls, qp.}^{(c)}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]
C25/30 (Cls 1)	149.4	112.05

Condizioni ambientali: a (poco aggressivo) [4.1.2.2.4.3].

## Acciaio per C.A.

Tipo	$f_{yk}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\gamma_s$	$f_{yd}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$E$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{acc, rara}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]
B450C (Bar 1)	4500	1.15	3913.04	2000000	3600

Il coefficiente di omogeneizzazione, per le verifiche in esercizio, è definito dal rapporto dei moduli elastici dei materiali.

### Combinazioni dei carichi.

Tutte le verifiche sono eseguite secondo l'Approccio 2.

Si svolge l'analisi per i seguenti 5 casi di carico.

Caso	Nome	Tipo	Sisma	n° sestetti	Descr.
C1	1	SLU	No	1	SLU Solo Perm.
C2	2	SLU	No	1	SLU SENZA SISMA
C3	5	Rara	No	1	Rara

C4	6	Freq	No	1	Frequente
C5	7	QPerm	No	1	Quasi Perm

## Dati del progetto.

### Tipi di palo.

Nel progetto è utilizzata una sola tipologia di palo circolare in C.A.



palo (Circ. 2)

### Stratigrafia.

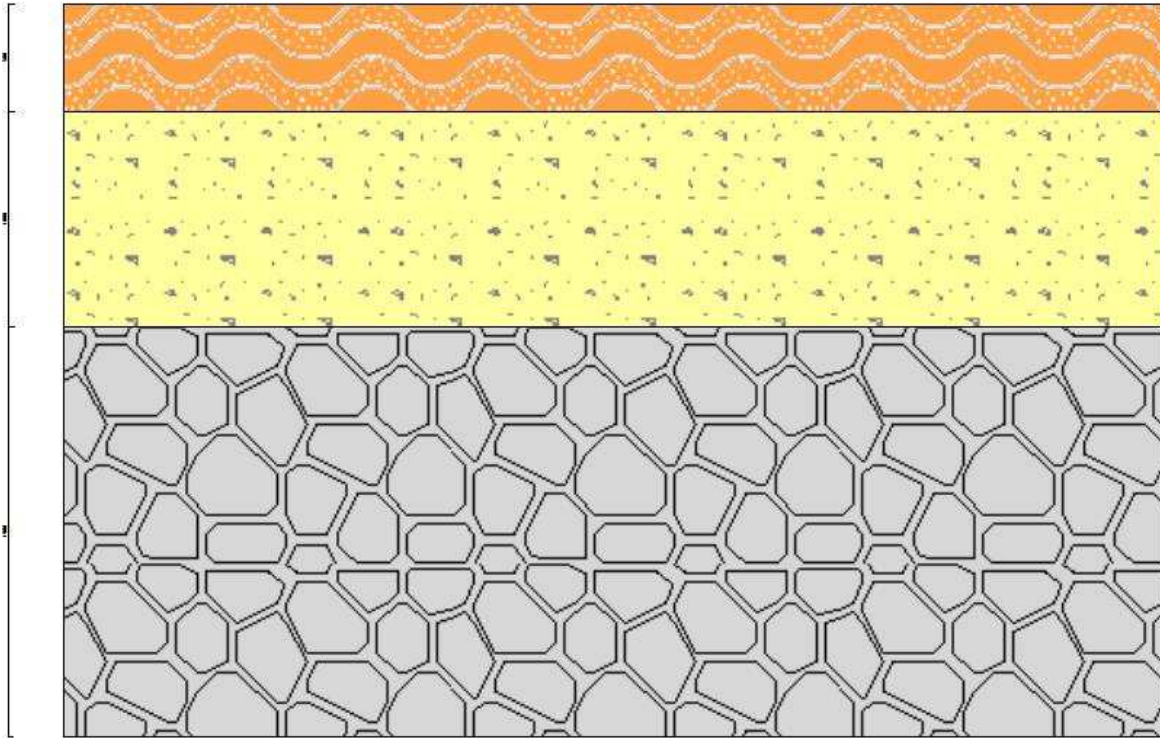
Nel calcolo sono utilizzati 3 tipi di terreno, le cui caratteristiche sono di seguito elencate.

<b>T1</b>	terreno CH - Argille inorganiche di alta plasticità				
$\gamma_d$ [daN/cm <sup>3</sup> ]	$\gamma_t$ [daN/cm <sup>3</sup> ]	$c'_k$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\phi'_k$ [°]	$s_{u,k}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$q_{u,k}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]
0.0012	0.002	40	0	0.8	1000
$E_s$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$G_s$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Liquefazione		
250	100	300	Questo terreno non è suscettibile di liquefazione.		
<b>Descrizione:</b> Terreno sabbioso.					
<b>T2</b>	cappellaccio GC - Ghiaie argillose, miscele di ghiaia, sabbia e argilla				
$\gamma_d$ [daN/cm <sup>3</sup> ]	$\gamma_t$ [daN/cm <sup>3</sup> ]	$c'_k$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\phi'_k$ [°]	$s_{u,k}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$q_{u,k}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]
0.0019	0.0023	0	30	0.4	-
$E_s$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$G_s$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Liquefazione		
300	200	200	Questo terreno non è suscettibile di liquefazione.		
<b>Descrizione:</b> Terreno argilloso.					
<b>T3</b>	roccia Non definito Non definito				
$\gamma_d$ [daN/cm <sup>3</sup> ]	$\gamma_t$ [daN/cm <sup>3</sup> ]	$c'_k$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\phi'_k$ [°]	$s_{u,k}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$q_{u,k}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]
0.0026	0.0026	150	6	-	50
$E_s$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$G_s$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$V_s$ [m/s]	Liquefazione		
400	250	300	Questo terreno non è suscettibile di liquefazione.		

**Descrizione:** roccia

Seguono le caratteristiche della stratigrafia utilizzata nei calcoli.

SI	3 strati - Nessuna falda		
Strato	Quota[cm]	Altezza[cm]	Terreno
1	0	500	T1
2	-500	1000	T2
3	-1500	1900	T3



Str. 1 (Esempio)

### ***Punti maglia.***

La palificata comprende 6 punti maglia, a ciascuno dei quali corrispondono delle coordinate, un tipo di palo ed i dati del terreno.

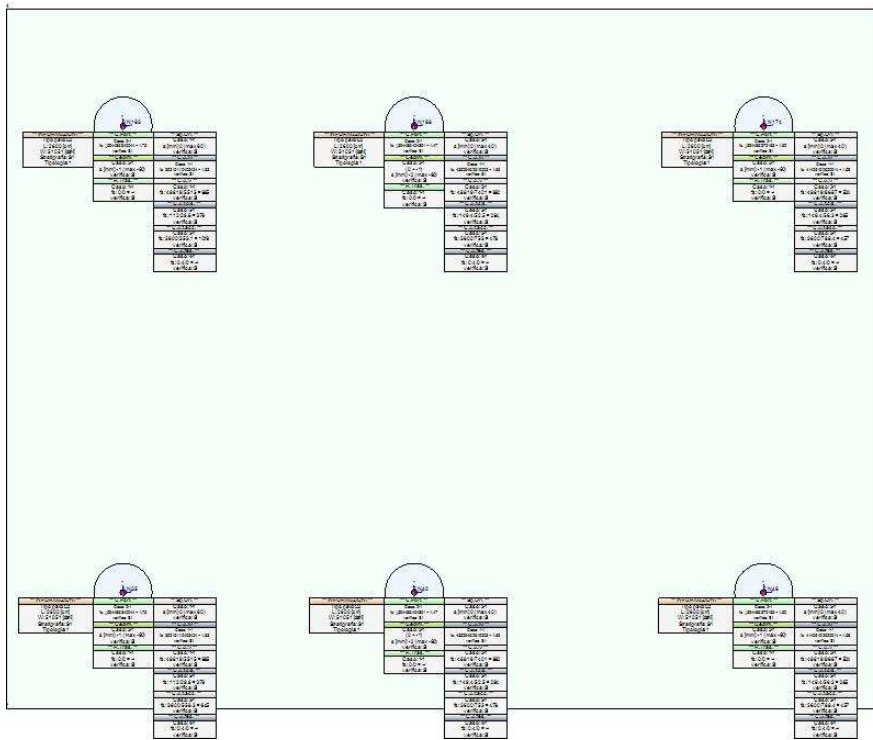
Punto	X[cm]	Y[cm]	Palo	$\beta$ [°]	$\theta$ [°]	Rotaz.	Stratig.	SPT	CPT	Descr.
<b>PM1</b>	49.5	208	C2	0	0	Impedita	S1	-	-	N35
<b>PM2</b>	1149.5	208	C2	0	0	Impedita	S1	-	-	N46
<b>PM3</b>	49.5	1008	C2	0	0	Impedita	S1	-	-	N163
<b>PM4</b>	1149.5	1008	C2	0	0	Impedita	S1	-	-	N174
<b>PM5</b>	549.5	208	C2	0	0	Impedita	S1	-	-	N40
<b>PM6</b>	549.5	1008	C2	0	0	Impedita	S1	-	-	N168

### ***Fondazione.***

I pali sono collegati da una fondazione, il cui contorno è definito da 4 vertici.

Vertice	X[cm]	Y[cm]
<b>V1</b>	-150.5	8
<b>V2</b>	1349.5	8
<b>V3</b>	1349.5	1208
<b>V4</b>	-150.5	1208

### ***Vista in pianta della palificata.***



Vista in pianta delle palificate

## Azioni.

Le azioni sono applicate direttamente in testa ai pali, espresse rispetto al sistema di riferimento globale.

Punto	Caso	Ses.	$N_x$ [daN]	$V_x$ [daN]	$V_y$ [daN]	$M_x$ [daN*cm]	$M_y$ [daN*cm]	$T_z$ [daN*cm]
<b>Punto maglia:1: N35</b>								
<b>Caso: 1 - SLU Solo Perm.</b>								
PM1	C1	1	-52432.26	0	0	-2404234	75626	0
<b>Caso: 2 - SLU SENZA SISMA</b>								
PM1	C2	1	-273678.3	0	0	-1919424	426055	0
<b>Caso: 5 - Rara</b>								
PM1	C3	1	-187829.87	0	0	-1526204	291793	0
<b>Caso: 6 - Frequente</b>								
PM1	C4	1	-114081.19	0	0	-1687808	174984	0
<b>Caso: 7 - Quasi Perm</b>								
PM1	C5	1	-84581.72	0	0	-1752449	128260	0
<b>Punto maglia:2: N46</b>								
<b>Caso: 1 - SLU Solo Perm.</b>								
PM2	C1	1	-58544.92	0	0	-2526707	-696381	0
<b>Caso: 2 - SLU SENZA SISMA</b>								
PM2	C2	1	-305796.84	0	0	-1953223	-3746601	0
<b>Caso: 5 - Rara</b>								
PM2	C3	1	-209869.17	0	0	-1561298	-2569158	0
<b>Caso: 6 - Frequente</b>								
PM2	C4	1	-127451.86	0	0	-1752459	-1552418	0
<b>Caso: 7 - Quasi Perm</b>								
PM2	C5	1	-94484.94	0	0	-1828924	-1145722	0
<b>Punto maglia:3: N163</b>								
<b>Caso: 1 - SLU Solo Perm.</b>								
PM3	C1	1	-52432.26	0	0	2404234	75626	0
<b>Caso: 2 - SLU SENZA SISMA</b>								
PM3	C2	1	-273678.3	0	0	1919424	426055	0
<b>Caso: 5 - Rara</b>								
PM3	C3	1	-187829.87	0	0	1526204	291793	0
<b>Caso: 6 - Frequente</b>								
PM3	C4	1	-114081.19	0	0	1687808	174984	0

<b>Caso: 7 - Quasi Perm</b>									
PM3	C5	1	-84581.72	0	0	1752449	128260	0	
<b>Punto maglia:4: N174</b>									
<b>Caso: 1 - SLU Solo Perm.</b>									
PM4	C1	1	-58544.92	0	0	2526707	-696381	0	
<b>Caso: 2 - SLU SENZA SISMA</b>									
PM4	C2	1	-305796.84	0	0	1953223	-3746601	0	
<b>Caso: 5 - Rara</b>									
PM4	C3	1	-209869.17	0	0	1561298	-2569158	0	
<b>Caso: 6 - Frequente</b>									
PM4	C4	1	-127451.86	0	0	1752459	-1552418	0	
<b>Caso: 7 - Quasi Perm</b>									
PM4	C5	1	-94484.94	0	0	1828924	-1145722	0	
<b>Punto maglia:5: N40</b>									
<b>Caso: 1 - SLU Solo Perm.</b>									
PM5	C1	1	-64522.82	0	0	-2573919	484936	0	
<b>Caso: 2 - SLU SENZA SISMA</b>									
PM5	C2	1	-338524.86	0	0	-1938134	2581594	0	
<b>Caso: 5 - Rara</b>									
PM5	C3	1	-232300.97	0	0	-1556081	1770800	0	
<b>Caso: 6 - Frequente</b>									
PM5	C4	1	-140966.95	0	0	-1768009	1071914	0	
<b>Caso: 7 - Quasi Perm</b>									
PM5	C5	1	-104433.35	0	0	-1852781	792359	0	
<b>Punto maglia:6: N168</b>									
<b>Caso: 1 - SLU Solo Perm.</b>									
PM6	C1	1	-64522.82	0	0	2573919	484936	0	
<b>Caso: 2 - SLU SENZA SISMA</b>									
PM6	C2	1	-338524.86	0	0	1938134	2581594	0	
<b>Caso: 5 - Rara</b>									
PM6	C3	1	-232300.97	0	0	1556081	1770800	0	
<b>Caso: 6 - Frequente</b>									
PM6	C4	1	-140966.95	0	0	1768009	1071914	0	
<b>Caso: 7 - Quasi Perm</b>									
PM6	C5	1	-104433.35	0	0	1852781	792359	0	

## Calcolo della capacità portante e curva di mobilitazione.

Il seguente calcolo di capacità portante vale per tutti i pali.

Si riporta integralmente il calcolo di capacità portante per la situazione peggiore (coef. di sicurezza minore): Punto maglia PM5, Caso C2 (Stato limite ultimo).

### Descrizione dei metodi di calcolo utilizzati

## Descrizione del metodo di calcolo utilizzato per la portata di base.

Il calcolo della portata di base viene effettuato col metodo **Roccia**.

Riassumendo il lavoro di molti Autori (Pells, 1977; Meyerhof, 1953; Sowers, 1970), si può affermare che il valore della portanza ultima sarà raramente distante da quello della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta, anche in presenza di fratture verticali. Il valore indicativo della resistenza a compressione monoassiale può essere tratto dal seguente compendio di proprietà tipiche delle rocce (Peck, 1969):

Roccia	$q_u$ min. [MPa]	$q_u$ max. [MPa]
Basalto	199	462
Granito	69	267
Quarzite	110	309
Calcere	16.9	196
Marmo	54.5	186
Arenaria	33.8	138

Argilloscisto	47.9	214
Argillite	3.4	44.8
Calcestruzzo	13.8	34.5

Le massime pressioni ammissibili sono normalmente comprese fra 0.2 e 0.5  $q_u$ .

## Descrizione dei metodi di calcolo utilizzati per la portata laterale.

Il calcolo della portata per attrito laterale viene effettuato con i seguenti metodi: Metodo: **AGI**, Metodo: **Roccia**.

Metodo: **AGI**

Le "Raccomandazioni sui pali di fondazione" pubblicate dall'AGI nel 1984 contengono le indicazioni per il calcolo della capacità portante di pali di fondazione in terreni sciolti e coesivi, per pali infissi e trivellati. Per terreni sciolti, l'attrito laterale è valutato in termini di tensioni efficaci, in funzione di un coefficiente di spinta orizzontale  $k$ , dell'angolo di attrito palo-terreno  $\mu$  e della tensione verticale efficace  $\sigma'_v$ . Per terreni coesivi, il metodo si basa sulla resistenza al taglio non drenata  $s_u$ , o, in alternativa, sull'angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  e sulla tensione verticale efficace  $\sigma'_v$ . Viene inoltre valutata la profondità critica  $z_c$  oltre cui l'attrito rimane costante, secondo il diametro del palo. Questo metodo è applicabile a terreni non coesivi e coesivi, sia per pali infissi che per pali trivellati.

$$f_{s,lim} = \mu k \sigma'_{v0} \text{ (terreno non coesivo)}$$

$$f_{s,lim} = \alpha s_u \text{ oppure } f_{s,lim} = (1 - \sin\phi') \tan\phi' \sigma'_{v0} \text{ (terreno coesivo)}$$

Metodo: **Roccia**

Secondo Thorne (1977), nel caso di pali incastrati o infissi in roccia (previa asportazione di tutto il terreno rimaneggiato dalla zona di incastro) è possibile ammettere che parte del carico venga ceduto al terreno lungo il fusto. L'attrito limite è assunto pari ad una frazione della resistenza a compressione monoassiale della roccia, ma in molti casi il fattore determinante è invece rappresentato dalla resistenza del calcestruzzo costituente il palo. Il valore indicativo della resistenza a compressione monoassiale può essere tratto dal seguente compendio di proprietà tipiche delle rocce (Peck, 1969):

Roccia	$q_u$ min. [MPa]	$q_u$ max. [MPa]
Basalto	199	462
Granito	69	267
Quarzite	110	309
Calcare	16.9	196
Marmo	54.5	186
Arenaria	33.8	138
Argilloscisto	47.9	214
Argillite	3.4	44.8
Calcestruzzo	13.8	34.5

Nel caso di rocce notevolmente fratturate, è più ragionevole ricorrere a valori di attrito limite compresi fra 75 e 150 kPa.

## Descrizione del metodo di calcolo utilizzato per il modulo di reazione orizzontale.

Il calcolo del modulo di reazione orizzontale viene effettuato col metodo **Lineare**.

Il valore del modulo di reazione orizzontale varia linearmente con la quota, e viene calcolato come somma di un termine costante (A) più un coefficiente (B) moltiplicato per l'approfondimento (z) sotto il piano campagna.



## Descrizione del metodo di calcolo utilizzato per la resistenza trasversale laterale.

Il calcolo della resistenza trasversale laterale viene effettuato col metodo *Broms*.

La teoria pubblicata da Broms nel 1964 propone due approcci differenti per terreni coesivi e non coesivi. Per terreni sciolti, propone una distribuzione di resistenza ultima pari a tre volte la pressione di resistenza passiva valutata secondo la teoria di Rankine,  $p_1 = 3K_p \sigma'_v$ . Per terreni coesivi, propone una distribuzione di  $p_1$  che vede un tratto nullo per i primi 1.5 diametri dalla superficie, seguito da un tratto con valore di resistenza pari a  $9s_u$  (resistenza al taglio non drenata) per profondità maggiori.

$p_{lim} = 3 K_p \sigma'_v$  (terreno non coesivo)

$p_{lim} = 9 s_u$  (terreno coesivo)

## 2 - SLU SENZA SISMA

Si applicano i seguenti coefficienti di sicurezza parziali per le azioni:  $\gamma_{G1,f}=1.00$ ,  $\gamma_{G1,s}=1.30$ ,  $\gamma_{G2,f}=0.80$ ,  $\gamma_{G2,s}=1.50$ ,  $\gamma_{Qi,f}=0.00$ ,  $\gamma_{Qi,s}=1.50$ .

Si applicano i seguenti coefficienti di sicurezza, secondo il numero di verticali indagate:

n. vert.	1	2	3	4	5	7	10
$\xi_{med}$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
$\xi_{min}$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Si applicano i seguenti coefficienti di sicurezza parziali alle portate calcolate, secondo il tipo di palo:

Tipo di palo	Infisso	Trivellato	A elica continua	Micropalo	Avvitato
$\gamma_b$	1.15	1.35	1.30	1.35	1.15
$\gamma_s$	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
$\gamma_{st}$	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25

Alle sollecitazioni applicate viene aggiunto il peso proprio del palo, amplificato col coefficiente parziale  $\gamma_{G1,fa}=1.00$  o  $\gamma_{G1,sa}=1.30$ , secondo il caso.

### Calcolo della portata di base.

Metodo *Roccia* per il calcolo della portata di base.

Lo strato in cui si immorsa la base del palo si estende da quota -1500 [cm] a quota -3400 [cm]. Segue il calcolo alla quota di base del palo, -2600 [cm].

La capacità portante limite è assunta pari al 35.0% della resistenza a compressione monoassiale della roccia. La resistenza a compressione monoassiale della roccia è  $q_{u,k} = 50$  [daN/cm<sup>2</sup>]. Il valore della capacità portante calcolato è pari a 17.5 [daN/cm<sup>2</sup>].

L'area di base vale 7853.98 [cm<sup>2</sup>].

La portata di base calcolata vale 137444.68 [daN]. Si applica  $\xi_{med}=1.70$ . Si applica  $\gamma_b=1.35$ . Portata di calcolo:  $Q_{b,d} = 59888.75$  [daN] ( $s/D=0.50\%$ ).

### Calcolo della portata laterale.

Il fusto del palo attraversa 3 strati.

#### Strato 1: terreno

Metodo *AGI* per il calcolo della portata laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota 0 [cm] a quota -500 [cm]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -250 [cm].

Il coefficiente di adesione  $\alpha$  vale 0.400. La resistenza al taglio non drenata vale  $s_{u,k} = 0.8$  [daN/cm<sup>2</sup>].

L'attrito laterale calcolato vale 0.32 [daN/cm<sup>2</sup>].

La portata laterale calcolata vale 50265.48 [daN] (35185.84 [daN]). Si applica  $\xi_{med}=1.70$ . Si applicano  $\gamma_s=1.15$  e  $\gamma_{st}=1.25$ . Portate di calcolo:  $Q_{sc,d} = 25711.24 [daN]$  (s/D=0.50%).  $Q_{st,d} = 16558.04 [daN]$  (s/D=0.50%).

### ***Strato 2: cappellaccio***

Metodo **AGI** per il calcolo della portata laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -500 [cm] a quota -1500 [cm]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -1000 [cm].

La quota critica  $z_c$  vale -1000 [cm]. La quota di interesse (-1000 [cm]) è al di sopra della profondità critica. L'angolo di resistenza al taglio  $\phi'_k$  vale 30. Il coefficiente di attrito  $\mu$  vale 0.577. Il coefficiente di spinta  $k$  vale 0.550. La tensione verticale efficace vale  $\sigma'_v = 1.55 [daN/cm^2]$ . L'attrito laterale calcolato vale 0.49 [daN/cm<sup>2</sup>].

La portata laterale calcolata vale 130933.64 [daN] (91653.55 [daN]). Si applica  $\xi_{med}=1.70$ . Si applicano  $\gamma_s=1.15$  e  $\gamma_{st}=1.25$ . Portate di calcolo:  $Q_{sc,d} = 66973.73 [daN]$  (s/D=0.50%).  $Q_{st,d} = 43131.08 [daN]$  (s/D=0.50%).

### ***Strato 3: roccia***

Metodo **Roccia** per il calcolo della portata laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -1500 [cm] a quota -2600 [cm]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -2050 [cm].

L'attrito limite, determinato dalla resistenza del cls  $f_{cd} 0.050 f_{cd} = 6.5 [daN/cm^2]$ . L'attrito limite, determinato dalla resistenza a compressione monoassiale della roccia, è  $0.050 q_{uk} = 2.5 [daN/cm^2]$ . L'attrito laterale calcolato vale 2.5 [daN/cm<sup>2</sup>].

La portata laterale calcolata vale 863937.98 [daN] (604756.59 [daN]). Si applica  $\xi_{med}=1.70$ . Si applicano  $\gamma_s=1.15$  e  $\gamma_{st}=1.25$ . Portate di calcolo:  $Q_{sc,d} = 441912.01 [daN]$  (s/D=0.10%).  $Q_{st,d} = 284591.33 [daN]$  (s/D=0.10%).

### ***Portata laterale totale***

La portata di calcolo  $Q_{sc,d} 534596.98 [daN]$ ,  $Q_{st,d} 344280.46 [daN]$ .

### ***Portata totale (base + laterale)***

La portata di calcolo  $Q_{tc,d} 594485.73 [daN]$ ,  $Q_{tt,d} 344280.46 [daN]$ .

### ***Calcolo del modulo di reazione orizzontale.***

Il fusto del palo attraversa 3 strati.

#### ***Strato 1: terreno***

Metodo **Lineare** per il calcolo del modulo di reazione orizzontale.

Il palo attraversa questo strato da quota 0 [cm] a quota -500 [cm]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -250 [cm].

L'approfondimento vale 250 [cm]. Il modulo di reazione orizzontale calcolato vale 10 [daN/cm<sup>3</sup>].

Modulo di reazione orizzontale medio:  $k_{s0,med} = 9.95 [daN/cm^3]$ .

#### ***Strato 2: cappellaccio***

Metodo **Lineare** per il calcolo del modulo di reazione orizzontale.

Il palo attraversa questo strato da quota -500 [cm] a quota -1500 [cm]. Segue il calcolo alla quota

intermedia di -1000 [cm].

L'approfondimento vale 1000 [cm]. Il modulo di reazione orizzontale calcolato vale 12.5 [daN/cm<sup>3</sup>].

Modulo di reazione orizzontale medio:  $k_{s_o,med} = 12.5 [daN/cm^3]$ .

### ***Strato 3: roccia***

Metodo **Lineare** per il calcolo del modulo di reazione orizzontale.

Il palo attraversa questo strato da quota -1500 [cm] a quota -2600 [cm]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -2050 [cm].

L'approfondimento vale 2050 [cm]. Il modulo di reazione orizzontale calcolato vale 0 [daN/cm<sup>3</sup>].

Modulo di reazione orizzontale medio:  $k_{s_o,med} = 0 [daN/cm^3]$ .

## **Calcolo della resistenza trasversale laterale.**

Il fusto del palo attraversa 3 strati.

### ***Strato 1: terreno***

Metodo **Broms** per il calcolo della resistenza trasversale laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota 0 [cm] a quota -500 [cm]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -250 [cm].

La resistenza al taglio non drenata  $s_{uk}$  vale 0.8. La pressione limite laterale calcolata vale 7.2 [daN/cm<sup>2</sup>].

La resistenza trasversale laterale calcolata vale 253800 [daN]. Si applica  $\xi_{med}=1.70$ . Si applica  $\gamma_{tr}=1.30$ .

Resistenza trasversale di calcolo:  $R_{tr,d} = 114841.63 [daN]$ .

### ***Strato 2: cappellaccio***

Metodo **Broms** per il calcolo della resistenza trasversale laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -500 [cm] a quota -1500 [cm]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -1000 [cm].

L'angolo di resistenza al taglio  $\varphi'_k$  vale 30. La tensione verticale efficace vale  $\sigma'_v = 1.55 [daN/cm^2]$ . La pressione limite laterale calcolata vale 13.95 [daN/cm<sup>2</sup>].

La resistenza trasversale laterale calcolata vale 1395000 [daN]. Si applica  $\xi_{med}=1.70$ . Si applica  $\gamma_{tr}=1.30$ . Resistenza trasversale di calcolo:  $R_{tr,d} = 631221.72 [daN]$ .

### ***Strato 3: roccia***

Metodo **Broms** per il calcolo della resistenza trasversale laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -1500 [cm] a quota -2600 [cm]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -2050 [cm].

L'angolo di resistenza al taglio  $\varphi'_k$  vale 6. La tensione verticale efficace vale  $\sigma'_v = 3.93 [daN/cm^2]$ . La pressione limite laterale calcolata vale 14.54 [daN/cm<sup>2</sup>].

La resistenza trasversale laterale calcolata vale 1599674.48 [daN]. Si applica  $\xi_{med}=1.70$ . Si applica  $\gamma_{tr}=1.30$ . Resistenza trasversale di calcolo:  $R_{tr,d} = 723834.61 [daN]$ .

## ***Resistenza laterale totale***

Per palo in grado di traslare rigidamente (meccanismo di palo "corto", assumendo che non via sia rottura strutturale), la resistenza laterale di calcolo  $R_{tr,d} 1469897.95 [daN]$ . Per palo che ruota in testa (meccanismo di palo "intermedio" o "lungo", assumendo che non via sia rottura strutturale), la resistenza laterale di calcolo  $R_{tr,d} 1529593.45 [daN]$ .

## Curva di mobilitazione verticale

La curva di mobilitazione del palo è definita dalle seguenti coppie di valori, dove  $s$  è il cedimento, misurato in [cm], ed  $E_d$  è la sollecitazione di sforzo normale (comprensiva del peso proprio del palo), espressa in [daN].

	1	2	3	4	5	6
$s$	-0.43	-0.37	-0.09	0	0.08	0.4
$E_d$	-594485.73	-580754.63	-474509.84	0	296529.16	344280.46

Si riassume in seguito il valore di capacità portante per tutti i casi.

Caso	Qst[daN]	Qsc[daN]	Qbc[daN]	Qtt[daN]	Qtc[daN]
C1	344280.46	534596.98	59888.75	<b>344280.46</b>	<b>594485.73</b>
C2	344280.46	534596.98	59888.75	<b>344280.46</b>	<b>594485.73</b>
C3	731595.97	1045137.1	137444.68	<b>731595.97</b>	<b>1182581.78</b>
C4	731595.97	1045137.1	137444.68	<b>731595.97</b>	<b>1182581.78</b>
C5	731595.97	1045137.1	137444.68	<b>731595.97</b>	<b>1182581.78</b>

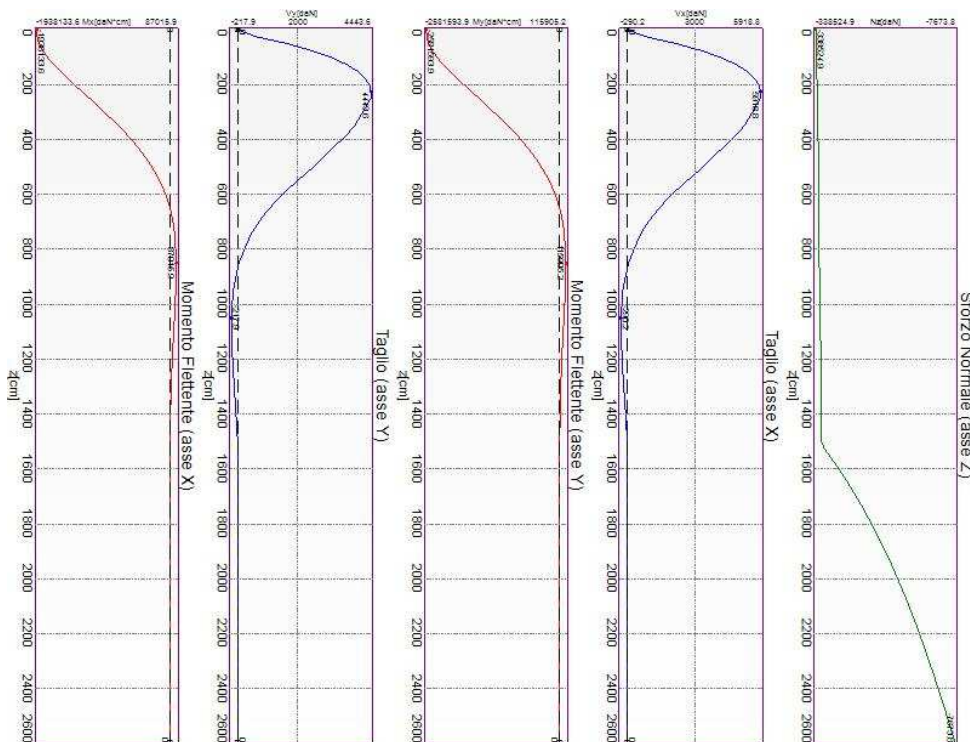
Qst = Portata Laterale in Trazione | Qsc = Portata Laterale in Compressione | Qbc = Portata di Base in Compressione | Qtt = Portata TOTALE in Trazione  
Qtc = Portata TOTALE in Compressione

## Calcolo delle sollecitazioni.

Si riporta di seguito il dettaglio delle sollecitazioni calcolate, solo per i punti maglia con i pali più sollecitati. Le caratteristiche di sollecitazione sono espresse nel sistema di riferimento locale del palo.

### Casi a SLU

I massimi valori di **Sforzo Normale di compressione**, si ottengono nel punto maglia **PM5**, nel caso di carico **C2** (Stato limite ultimo).



Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM5, caso C2)

#### Azioni applicate in testa (punto maglia PM5, caso C2)

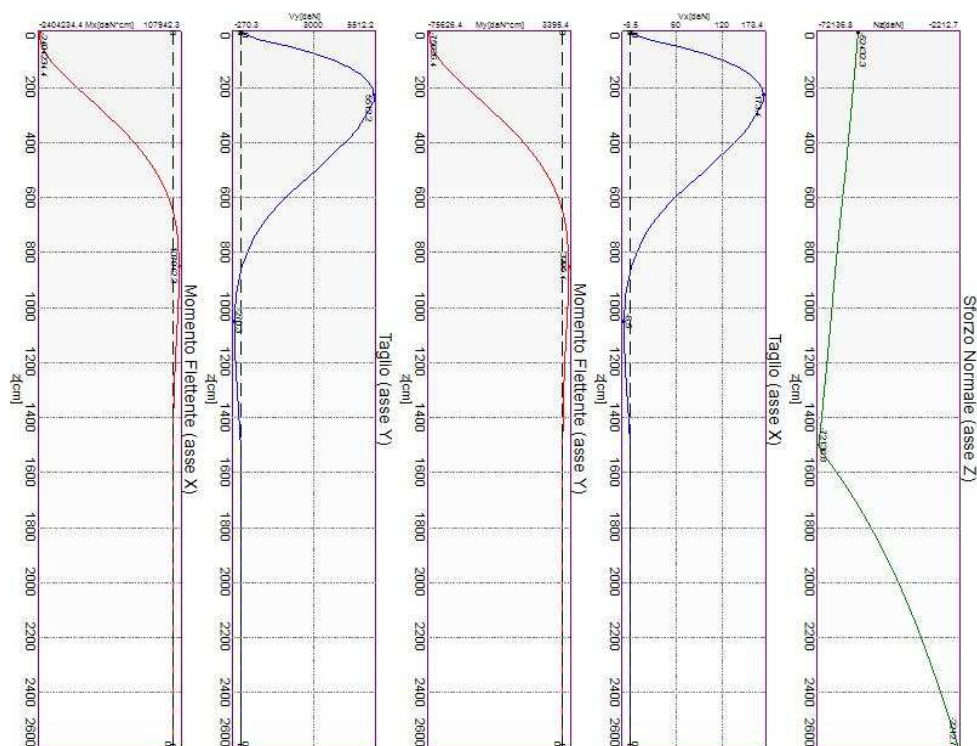
$N_z$ [daN]	$V_x$ [daN]	$V_y$ [daN]	$M_x$ [daN*cm]	$M_y$ [daN*cm]	$T_z$ [daN*cm]
-338524.86	0	0	-1938134	2581594	0

#### Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM5, caso C2)

Zloc [cm]	Nz [daN]	Vxy [daN]	Mxy [daN*cm]
0	-338524.86	0	3228156
0	-338524.86	0	3228156
25	-338098.31	1017.34	3215061
50	-337681.87	2705.23	3167840
75	-337275.54	4078.64	3082420
100	-336879.3	5169.2	2966265
125	-336493.15	6007.52	2826061
150	-336117.07	6622.91	2667746
175	-335751.05	7043.2	2496541
200	-335395.07	7294.49	2316994
225	-335049.14	7401.18	2133021
250	-334713.23	7385.76	1947952
350	-333469.68	6488.4	1245409
375	-333183.76	6135.56	1087545
400	-332907.82	5757.43	938841
425	-332641.84	5364.28	799798
450	-332385.82	4964.91	670678
475	-332139.74	4566.76	551542
500	-331903.61	4176	442278
500	-331903.61	4176	442278
525	-331805.57	3750.39	343233
550	-331825.42	3298	255175
575	-331819.02	2869.9	178130
600	-331787.31	2468.84	111455
625	-331731.22	2096.64	54448
650	-331651.69	1754.37	6373
675	-331549.65	1442.39	33523
700	-331426.04	1160.56	65998
725	-331281.78	908.22	91797
750	-331117.81	684.38	111646
850	-330281.01	45.42	144934
950	-329202.88	266.36	131641
1050	-328041.06	362.9	98813
1150	-327022.05	337.47	63095
1250	-326243.92	255.61	33170
1350	-325706.09	156.28	12532
1375	-325609.13	131.23	8939
1400	-325527.16	106.44	5969
1425	-325460.18	82	3614
1450	-325408.17	57.98	1865
1475	-325371.15	34.41	712
1500	-325349.11	11.31	141
1500	-325349.11	11.31	141
1525	-318271.27	0	0
1550	-306485.85	0	0
1575	-295058.77	0	0
1600	-283976.68	0	0
1625	-273226.61	0	0
1650	-262796.01	0	0
1675	-252672.67	0	0
1700	-242844.75	0	0
1725	-233300.77	0	0
1750	-224029.57	0	0
1850	-189460.26	0	0
1950	-158440.43	0	0
2050	-130388.93	0	0
2150	-104780.23	0	0
2250	-81134.55	0	0
2350	-59008.9	0	0
2450	-37988.77	0	0
2475	-32859.97	0	0
2500	-27769.6	0	0
2525	-22711.69	0	0
2550	-17680.34	0	0
2575	-12669.66	0	0
2600	-7673.79	0	0

I massimi valori di *Sforzo Normale di trazione*, si ottengono nel punto maglia *PM1*, nel caso di carico

C1 (Stato limite ultimo).

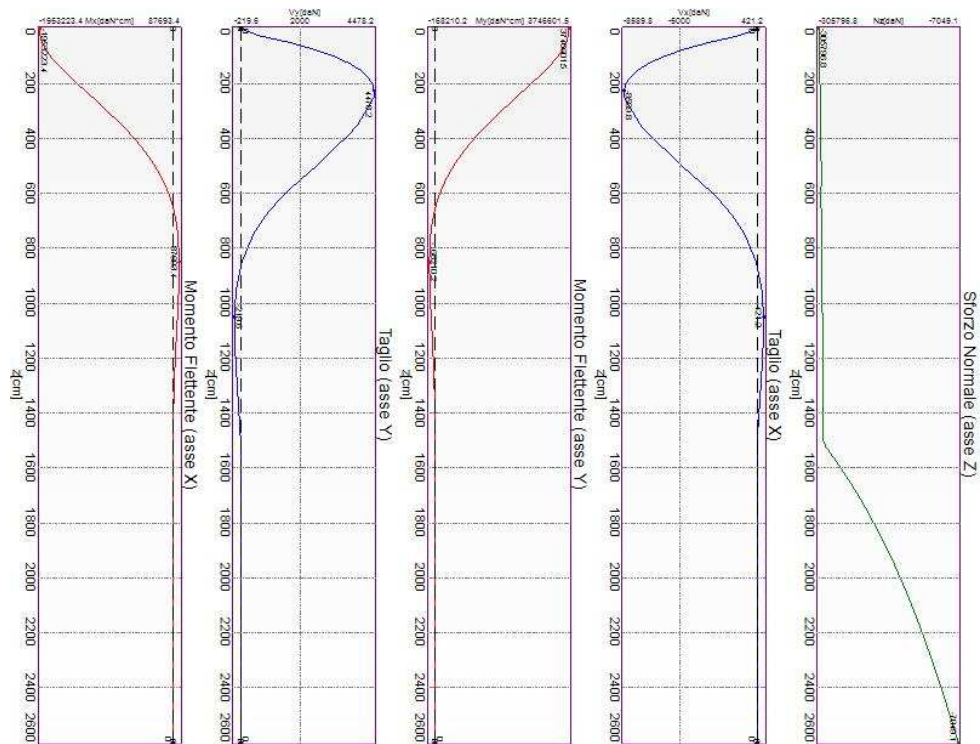


Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM1, caso C1)

<b>Azioni applicate in testa (punto maglia PM1, caso C1)</b>					
$N_z$ [daN]	$V_x$ [daN]	$V_y$ [daN]	$M_x$ [daN*cm]	$M_y$ [daN*cm]	$T_z$ [daN*cm]
-52432.26	0	0	-2404234	75626	0
<b>Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM1, caso C1)</b>					
$Z_{loc}$ [cm]	$N_z$ [daN]	$V_{xy}$ [daN]	$M_{xy}$ [daN*cm]		
0	-52432.26	0	2405424		
0	-52432.26	0	2405424		
25	-52729.74	758.05	2395666		
50	-53028.8	2015.78	2360480		
75	-53329.44	3039.15	2296830		
100	-53631.68	3851.76	2210279		
125	-53935.53	4476.43	2105808		
150	-54240.99	4934.99	1987841		
175	-54548.07	5248.15	1860269		
200	-54856.79	5435.41	1726482		
225	-55167.15	5514.91	1589396		
250	-55479.16	5503.41	1451494		
350	-56743.89	4834.76	928002		
375	-57064.3	4571.84	810372		
400	-57386.41	4290.09	699567		
425	-57710.24	3997.14	595960		
450	-58035.8	3699.55	499748		
475	-58363.1	3402.86	410975		
500	-58692.14	3111.7	329559		
500	-58692.14	3111.7	329559		
525	-59051.55	2794.56	255756		
550	-59436.98	2457.46	190141		
575	-59816.21	2138.47	132732		
600	-60189.42	1839.63	83049		
625	-60556.8	1562.29	40571		
650	-60918.52	1307.25	4749		
675	-61274.76	1074.78	24980		
700	-61625.7	864.78	49178		
725	-61971.52	676.74	68402		

750	-62312.42	509.95	83192
850	-63630.01	33.85	107996
950	-64883.82	198.48	98091
1050	-66109.59	270.41	73630
1150	-67360.73	251.46	47015
1250	-68661.49	190.46	24716
1350	-70012.82	116.45	9338
1375	-70358.67	97.78	6661
1400	-70707.76	79.31	4448
1425	-71060.11	61.1	2693
1450	-71415.72	43.2	1390
1475	-71774.63	25.64	530
1500	-72136.83	8.43	105
1500	-72136.83	8.43	105
1525	-70722.46	0	0
1550	-68112.06	0	0
1575	-65581.31	0	0
1600	-63127.23	0	0
1625	-60746.96	0	0
1650	-58437.72	0	0
1675	-56196.81	0	0
1700	-54021.6	0	0
1725	-51909.55	0	0
1750	-49858.19	0	0
1850	-42212.74	0	0
1950	-35358.13	0	0
2050	-29165.95	0	0
2150	-23520.18	0	0
2250	-18315.05	0	0
2350	-13453.05	0	0
2450	-8843.09	0	0
2475	-7719.78	0	0
2500	-6605.5	0	0
2525	-5498.94	0	0
2550	-4398.81	0	0
2575	-3303.82	0	0
2600	-2212.69	0	0

I massimi valori di *Taglio (in valore assoluto)*, *Momento flettente (in valore assoluto)*, si ottengono nel punto maglia *PM2*, nel caso di carico *C2* (Stato limite ultimo).



Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM2, caso C2)

**Azioni applicate in testa (punto maglia PM2, caso C2)**

$N_z$ [daN]	$V_x$ [daN]	$V_y$ [daN]	$M_x$ [daN*cm]	$M_y$ [daN*cm]	$T_z$ [daN*cm]
-305796.84	0	0	-1953223	-3746601	0

**Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM2, caso C2)**

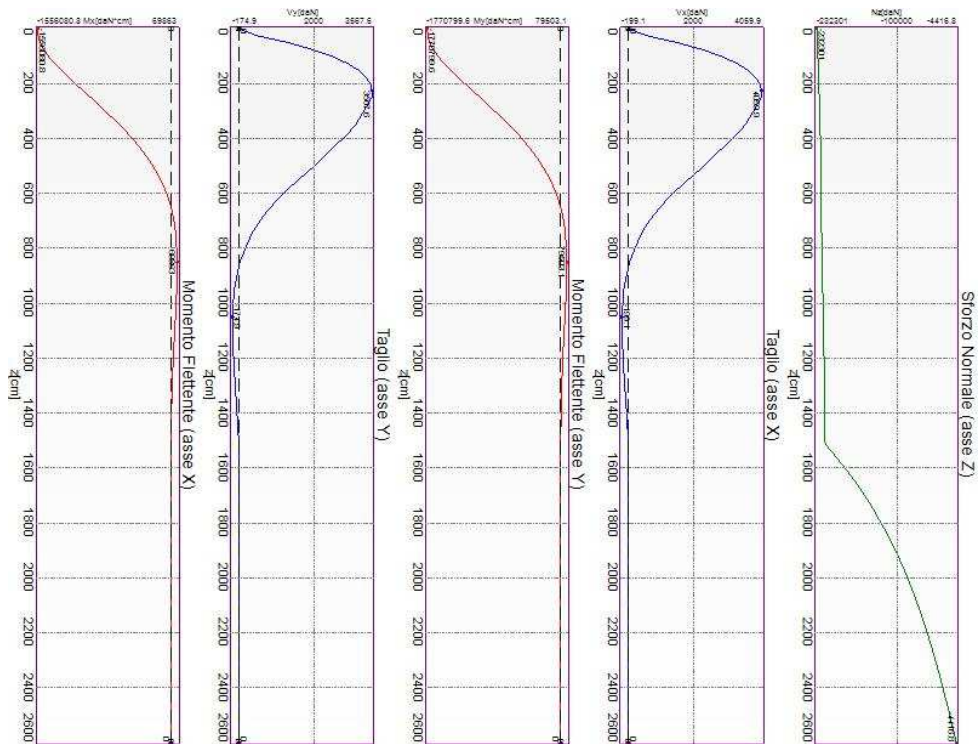
$Z_{loc}$ [cm]	$N_z$ [daN]	$V_{xy}$ [daN]	$M_{xy}$ [daN*cm]
0	-305796.84	0	4225175
0	-305796.84	0	4225175
25	-305453.11	1331.55	4208036
50	-305118.53	3540.74	4146231
75	-304793.07	5338.33	4034428
100	-304476.74	6765.71	3882399
125	-304169.52	7862.94	3698894
150	-303871.41	8668.41	3491682
175	-303582.38	9218.49	3267601
200	-303302.45	9547.41	3032600
225	-303031.59	9687.04	2791807
250	-302769.8	9666.86	2549579
350	-301813.19	8492.34	1630054
375	-301596.64	8030.53	1423434
400	-301389.11	7535.62	1228803
425	-301190.6	7021.06	1046816
450	-301001.11	6498.33	877818
475	-300820.63	5977.2	721886
500	-300649.15	5465.76	578877
500	-300649.15	5465.76	578877
525	-300603.44	4908.7	449241
550	-300665.11	4316.59	333986
575	-300702.83	3756.27	233146
600	-300717.44	3231.33	145878
625	-300709.79	2744.2	71264
650	-300680.74	2296.21	8341
675	-300631.12	1887.88	43877
700	-300561.8	1518.99	86382
725	-300473.6	1188.72	120149
750	-300367.39	895.75	146128
850	-299777.05	59.44	189697



950	-298965.68	348.63	172299
1050	-298076.99	474.98	129332
1150	-297317.68	441.7	82582
1250	-296777.36	334.55	43415
1350	-296455.65	204.55	16403
1375	-296409.35	171.75	11700
1400	-296376.69	139.31	7812
1425	-296357.67	107.32	4731
1450	-296352.3	75.89	2442
1475	-296360.57	45.04	931
1500	-296382.48	14.81	184
1500	-296382.48	14.81	184
1525	-289952.53	0	0
1550	-279216.7	0	0
1575	-268807.33	0	0
1600	-258712.25	0	0
1625	-248919.66	0	0
1650	-239418.12	0	0
1675	-230196.5	0	0
1700	-221244.03	0	0
1725	-212550.24	0	0
1750	-204104.96	0	0
1850	-172615.65	0	0
1950	-144360.23	0	0
2050	-118809.37	0	0
2150	-95484.35	0	0
2250	-73948.21	0	0
2350	-53797.47	0	0
2450	-34654.6	0	0
2475	-29984.02	0	0
2500	-25348.5	0	0
2525	-20742.61	0	0
2550	-16160.98	0	0
2575	-11598.24	0	0
2600	-7049.06	0	0

### ***Casi a SLE***

I massimi valori di *Sforzo Normale di compressione*, si ottengono nel punto maglia **PM5**, nel caso di carico **C3** (Rara).



Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM5, caso C3)

**Azioni applicate in testa (punto maglia PM5, caso C3)**

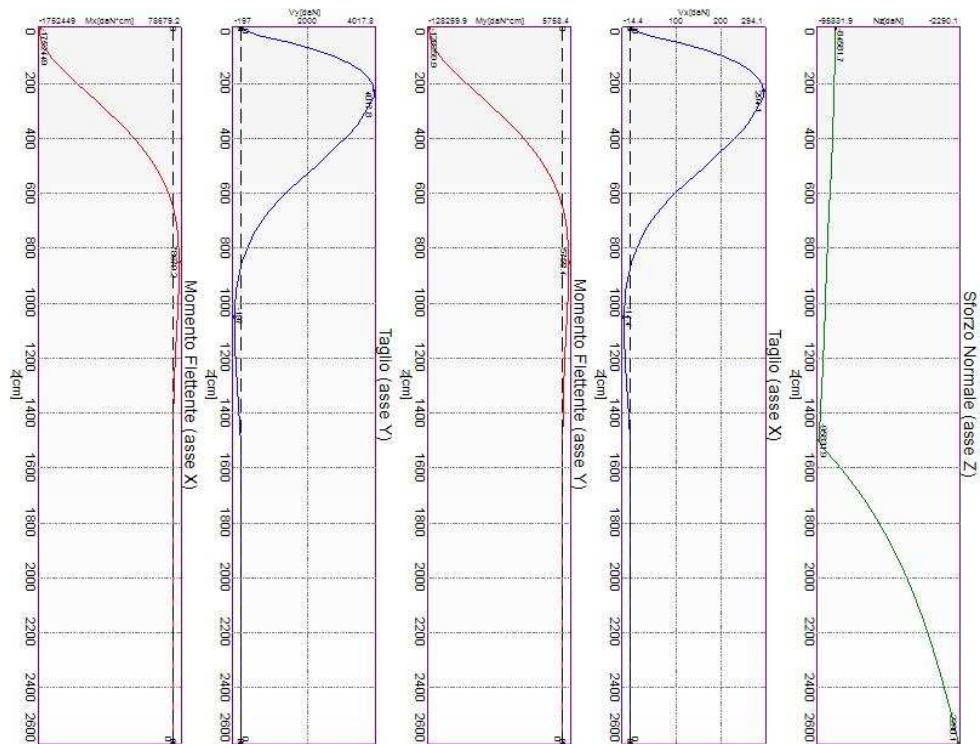
$N_z$ [daN]	$V_x$ [daN]	$V_y$ [daN]	$M_x$ [daN*cm]	$M_y$ [daN*cm]	$T_z$ [daN*cm]
-232300.97	0	0	-1556081	1770800	0

**Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM5, caso C3)**

$Z_{loc}$ [cm]	$N_z$ [daN]	$V_{xy}$ [daN]	$M_{xy}$ [daN*cm]
0	-232300.97	0	2357354
0	-232300.97	0	2357354
25	-231835.64	742.91	2347792
50	-231382.1	1975.49	2313309
75	-230940.34	2978.42	2250931
100	-230510.33	3774.79	2166109
125	-230092.04	4386.98	2063726
150	-229685.46	4836.37	1948116
175	-229290.57	5143.28	1823094
200	-228907.34	5326.79	1691980
225	-228535.76	5404.69	1557634
250	-228175.81	5393.44	1422488
350	-226851.93	4738.14	909457
375	-226549.85	4480.48	794177
400	-226259.3	4204.35	685587
425	-225980.26	3917.26	584051
450	-225712.72	3625.62	489761
475	-225456.67	3334.87	402762
500	-225212.08	3049.51	322973
500	-225212.08	3049.51	322973
525	-225108.36	2738.71	250645
550	-225124.62	2408.36	186341
575	-225115.45	2095.74	130079
600	-225081.95	1802.86	81390
625	-225025.19	1531.07	39760
650	-224946.24	1281.13	4654
675	-224846.19	1053.3	24480
700	-224726.11	847.49	48195
725	-224587.07	663.22	67035
750	-224430.14	499.76	81529
850	-223642.16	33.16	105838

950	-222653	194.5	96131
1050	-221624.67	265.01	72158
1150	-220779.26	246.44	46075
1250	-220210.32	186.66	24222
1350	-219917.14	114.12	9152
1375	-219886.88	95.83	6528
1400	-219873.83	77.72	4359
1425	-219877.99	59.88	2639
1450	-219899.35	42.34	1362
1475	-219937.92	25.13	520
1500	-219993.71	8.26	103
1500	-219993.71	8.26	103
1525	-214132.4	0	0
1550	-204432.93	0	0
1575	-195139.83	0	0
1600	-186234.63	0	0
1625	-177699.63	0	0
1650	-169517.85	0	0
1675	-161673.04	0	0
1700	-154149.6	0	0
1725	-146932.58	0	0
1750	-140007.63	0	0
1850	-114961.37	0	0
1950	-93580.51	0	0
2050	-75183.35	0	0
2150	-59183.31	0	0
2250	-45070.25	0	0
2350	-32394.21	0	0
2450	-20751.01	0	0
2475	-17957.54	0	0
2500	-15199.76	0	0
2525	-12472.2	0	0
2550	-9769.43	0	0
2575	-7086.08	0	0
2600	-4416.81	0	0

I massimi valori di *Sforzo Normale di trazione*, si ottengono nel punto maglia *PMI*, nel caso di carico *C5* (Quasi Permanente).



Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM1, caso C5)

**Azioni applicate in testa (punto maglia PM1, caso C5)**

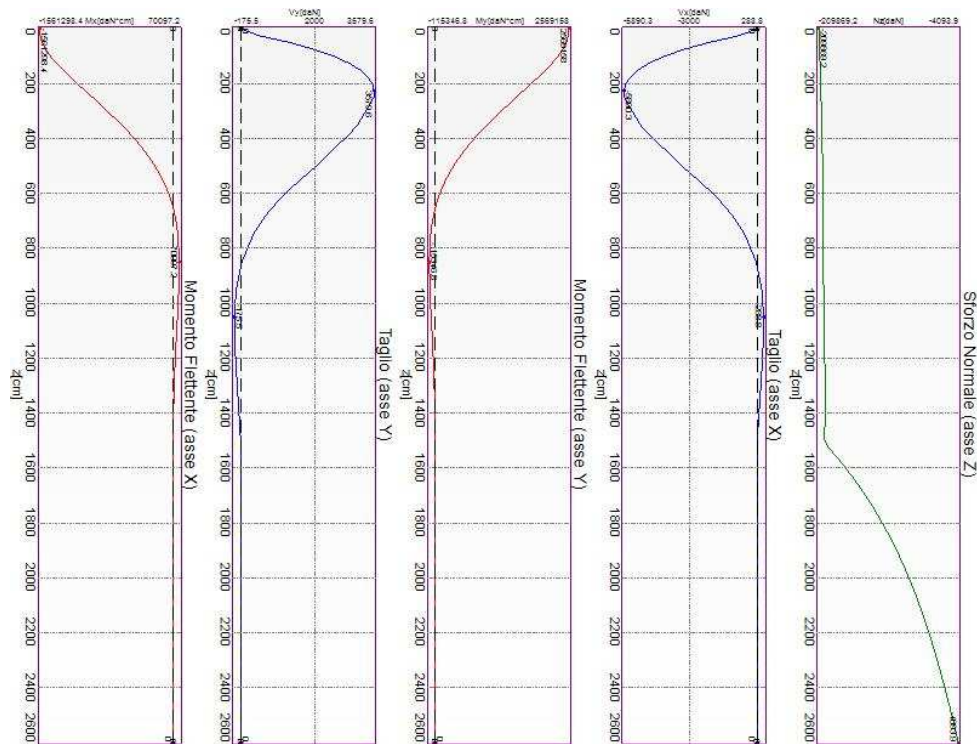
$N_z$ [daN]	$V_x$ [daN]	$V_y$ [daN]	$M_x$ [daN*cm]	$M_y$ [daN*cm]	$T_z$ [daN*cm]
-84581.72	0	0	-175244.9	128260	0

**Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM1, caso C5)**

$Z_{loc}$ [cm]	$N_z$ [daN]	$V_{xy}$ [daN]	$M_{xy}$ [daN*cm]
0	-84581.72	0	1757136
0	-84581.72	0	1757136
25	-84673.44	553.76	1750009
50	-84769.47	1472.5	1724306
75	-84869.81	2220.07	1677810
100	-84974.47	2813.68	1614585
125	-85083.46	3269.98	1538270
150	-85196.77	3604.96	1452097
175	-85314.42	3833.73	1358907
200	-85436.41	3970.51	1261177
225	-85562.74	4028.58	1161037
250	-85693.43	4020.18	1060301
350	-86259.86	3531.74	677896
375	-86412.42	3339.68	591968
400	-86569.37	3133.86	511026
425	-86730.74	2919.87	435343
450	-86896.51	2702.48	365061
475	-87066.7	2485.76	300213
500	-87241.33	2273.06	240739
500	-87241.33	2273.06	240739
525	-87476.13	2041.4	186827
550	-87762.27	1795.15	138896
575	-88037.11	1562.13	96959
600	-88301.08	1343.82	60667
625	-88554.61	1141.23	29637
650	-88798.14	954.93	3469
675	-89032.1	785.11	18247
700	-89256.93	631.71	35924
725	-89473.07	494.36	49967
750	-89680.96	372.51	60771
850	-90437.72	24.73	78890

950	-91097.84	144.99	71655
1050	-91731.95	197.53	53786
1150	-92438.9	183.69	34344
1250	-93261.6	139.13	18055
1350	-94201.09	85.07	6822
1375	-94454.35	71.43	4866
1400	-94714.99	57.93	3249
1425	-94983.05	44.63	1967
1450	-95258.54	31.56	1015
1475	-95541.49	18.73	387
1500	-95831.91	6.16	77
1500	-95831.91	6.16	77
1525	-93389.71	0	0
1550	-89164.35	0	0
1575	-85116.23	0	0
1600	-81237.3	0	0
1625	-77519.86	0	0
1650	-73956.51	0	0
1675	-70540.17	0	0
1700	-67264.05	0	0
1725	-64121.64	0	0
1750	-61106.68	0	0
1850	-50205.17	0	0
1950	-40904.37	0	0
2050	-32907.77	0	0
2150	-25960.38	0	0
2250	-19840.71	0	0
2350	-14353.64	0	0
2450	-9324.21	0	0
2475	-8119.32	0	0
2500	-6930.58	0	0
2525	-5755.6	0	0
2550	-4592.07	0	0
2575	-3437.67	0	0
2600	-2290.1	0	0

I massimi valori di *Taglio (in valore assoluto)*, *Momento flettente (in valore assoluto)*, si ottengono nel punto maglia *PM2*, nel caso di carico *C3* (Rara).



Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM2, caso C3)

**Azioni applicate in testa (punto maglia PM2, caso C3)**

$N_z$ [daN]	$V_x$ [daN]	$V_y$ [daN]	$M_x$ [daN*cm]	$M_y$ [daN*cm]	$T_z$ [daN*cm]
-209869.17	0	0	-1561298	-2569158	0

**Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM2, caso C3)**

$Z_{loc}$ [cm]	$N_z$ [daN]	$V_{xy}$ [daN]	$M_{xy}$ [daN*cm]
0	-209869.17	0	3006364
0	-209869.17	0	3006364
25	-209488.43	947.45	2994169
50	-209118.35	2519.37	2950192
75	-208758.9	3798.41	2870641
100	-208410.08	4814.04	2762467
125	-208071.87	5594.77	2631896
150	-207744.24	6167.89	2484458
175	-207427.18	6559.29	2325015
200	-207120.67	6793.33	2157804
225	-206824.7	6892.68	1986471
250	-206539.25	6878.31	1814117
350	-205502.42	6042.61	1159842
375	-205269.38	5714.01	1012825
400	-205046.79	5361.87	874338
425	-204834.63	4995.73	744848
450	-204632.89	4623.79	624599
475	-204441.56	4252.99	513648
500	-204260.64	3889.09	411892
500	-204260.64	3889.09	411892
525	-204208.32	3492.72	319651
550	-204265.56	3071.41	237643
575	-204299.52	2672.72	165892
600	-204311.19	2299.22	103797
625	-204301.55	1952.59	50707
650	-204271.57	1633.83	5935
675	-204222.24	1343.29	31220
700	-204154.54	1080.82	61464
725	-204069.43	845.82	85490
750	-203967.9	637.36	103976
850	-203414.49	42.3	134976

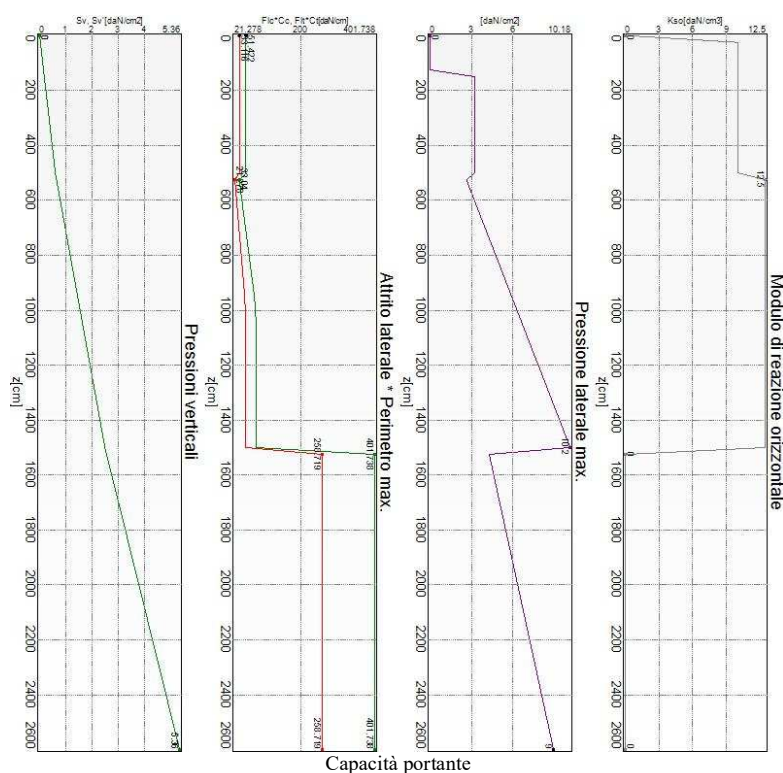
950	-202675.78	248.07	122597
1050	-201899.9	337.97	92024
1150	-201290.23	314.29	58760
1250	-200932.62	238.05	30891
1350	-200826.62	145.55	11671
1375	-200839.42	122.21	8325
1400	-200867.93	99.13	5559
1425	-200912.16	76.37	3366
1450	-200972.11	53.99	1737
1475	-201047.79	32.05	663
1500	-201139.21	10.53	131
1500	-201139.21	10.53	131
1525	-195797.11	0	0
1550	-186928.91	0	0
1575	-178432.28	0	0
1600	-170290.34	0	0
1625	-162486.9	0	0
1650	-155006.45	0	0
1675	-147834.12	0	0
1700	-140955.66	0	0
1725	-134357.38	0	0
1750	-128026.18	0	0
1850	-105127.86	0	0
1950	-85581.41	0	0
2050	-68763.62	0	0
2150	-54138.26	0	0
2250	-41239.04	0	0
2350	-29654.67	0	0
2450	-19015.8	0	0
2475	-16463.56	0	0
2500	-13944.05	0	0
2525	-11452.25	0	0
2550	-8983.22	0	0
2575	-6532.05	0	0
2600	-4093.86	0	0

## Verifiche geotecniche.

Si riporta di seguito il dettaglio delle verifiche eseguite, per ciascun palo.

### *Verifica: Capacità portante*

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM5**, nel caso di carico **C2**, sestetto **I** (Stato limite ultimo).



Situazione peggiore: Punto maglia PM5, Caso C2, Sestetto 1

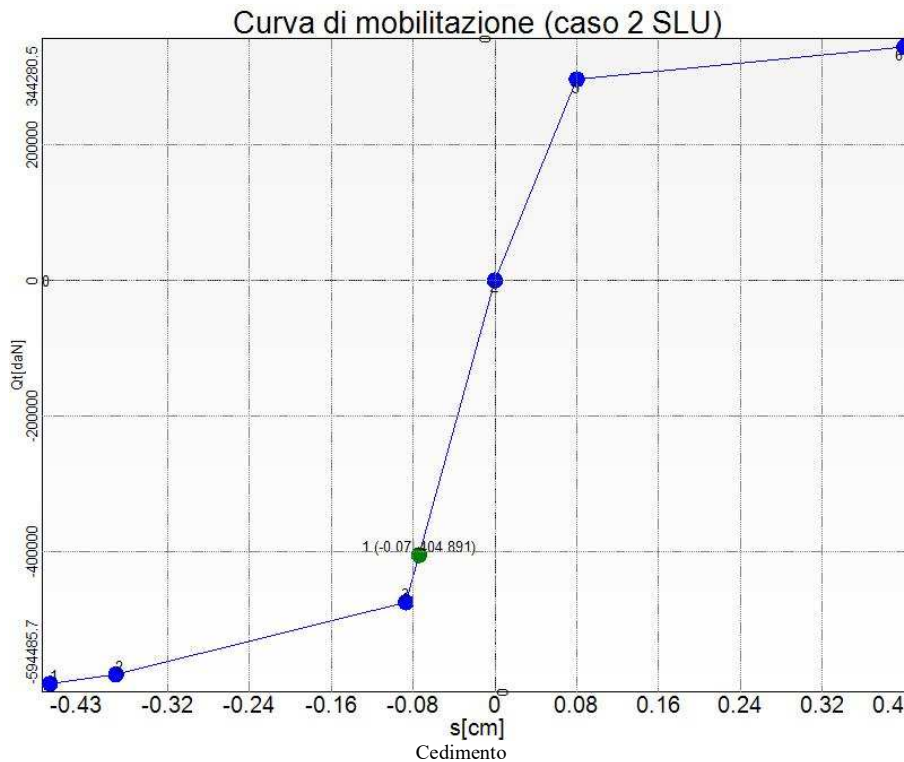
Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

<i>Verifica: Capacità portante</i>					
Punto	Caso	Ses.	R <sub>d</sub> : Qt[daN]	S <sub>d</sub> : Qt[daN]	f <sub>s</sub> [-]
PM1	C2	1	594486	340044	1.75
PM2	C2	1	594486	372163	1.60
PM3	C2	1	594486	340044	1.75
PM4	C2	1	594486	372163	1.60
PM5	C2	1	594486	404891	1.47
PM6	C2	1	594486	404891	1.47

### **Verifica: Cedimento**

I cedimenti del singolo palo sono calcolati utilizzando la relativa curva di mobilitazione. L'interazione tra i pali è valutata con il metodo dei fattori di interazione (Poulos e Davis, 1980). La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM5**, nel caso di carico **C2**, sestetto **1** (Stato limite ultimo). Si ottengono i seguenti valori: cedimento del palo singolo = -0.74 [mm], cedimento indotto dal gruppo = -1.07 [mm], cedimento totale: -1.82 [mm].



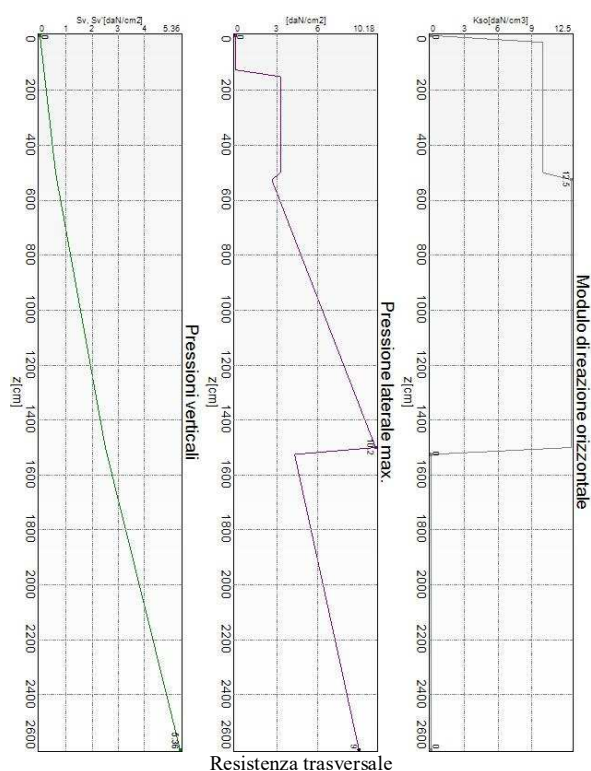


Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

<i>Verifica: Cedimento</i>					
Punto	Caso	Ses.	R <sub>d</sub> : Ced.[mm]	S <sub>d</sub> : Ced.[mm]	f <sub>s</sub> [-]
PM1	C2	1	-60	-1	10.00
PM2	C2	1	-60	-1	10.00
PM3	C2	1	-60	-1	10.00
PM4	C2	1	-60	-1	10.00
PM5	C2	1	-60	0 + -1 = -2	10.00
PM6	C2	1	-60	0 + -1 = -2	10.00

### ***Verifica: Resistenza trasversale***

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM1**, nel caso di carico **C1**, sestetto **1** (Stato limite ultimo).



Situazione peggiore: Punto maglia PM1, Caso C1, Sestetto 1

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

<i>Verifica: Resistenza trasversale</i>					
Punto	Caso	Ses.	R <sub>d</sub> : R <sub>tr</sub> [daN]	S <sub>d</sub> : R <sub>tr</sub> [daN]	f <sub>s</sub> [-]
PM1	C1	1	0	0	10.00
PM2	C1	1	0	0	10.00
PM3	C1	1	0	0	10.00
PM4	C1	1	0	0	10.00
PM5	C1	1	0	0	10.00
PM6	C1	1	0	0	10.00

## Verifiche strutturali.

Si riporta di seguito il dettaglio delle verifiche eseguite, per ciascun palo, solo in corrispondenza della progressiva dove si ottiene la situazione più severa.

### *Verifica: Spostamento orizzontale*

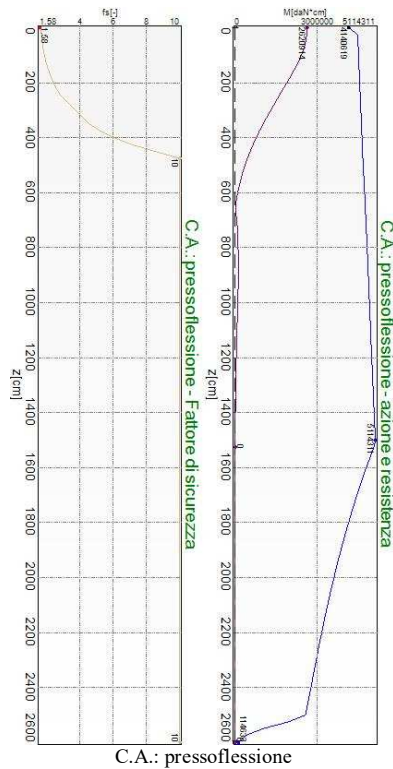
La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM2**, nel caso di carico **C3**, sestetto **1** (Rara).

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

<i>Verifica: Spostamento orizzontale</i>					
Punto	Caso	Ses.	R <sub>d</sub> : S <sub>or</sub> [mm]	S <sub>d</sub> : S <sub>or</sub> [mm]	f <sub>s</sub> [-]
PM1	C1	1	60	0	10.00
PM2	C3	1	40	0	10.00
PM3	C1	1	60	0	10.00
PM4	C3	1	40	0	10.00
PM5	C3	1	40	0	10.00
PM6	C3	1	40	0	10.00

### Verifica: C.A.: pressoflessione

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM2**, nel caso di carico **C1**, sestetto **1** (Stato limite ultimo).



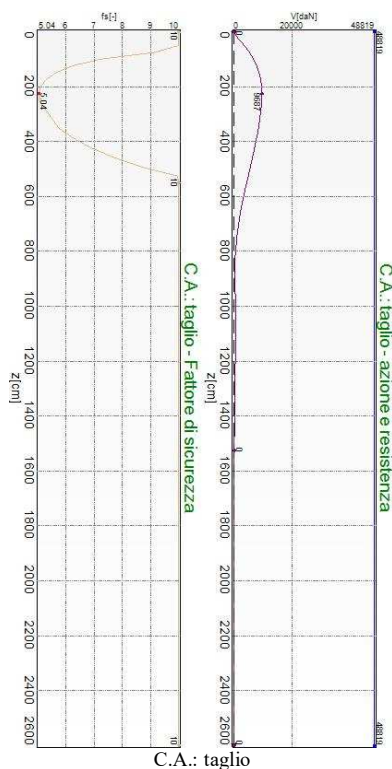
C.A.: pressoflessione  
Situazione peggiore: Punto maglia PM2, Caso C1, Sestetto 1

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: C.A.: pressoflessione					
Punto	Caso	Ses.	Rd: M[daN*cm]	Sd: M[daN*cm]	fs[-]
PM1	C1	1	3921511	2405424	1.63
PM2	C1	1	4140619	2620914	1.58
PM3	C1	1	3921511	2405424	1.63
PM4	C1	1	4140619	2620914	1.58
PM5	C1	1	4352646	2619203	1.66
PM6	C1	1	4352646	2619203	1.66

### Verifica: C.A.: taglio

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM2**, nel caso di carico **C2**, sestetto **1** (Stato limite ultimo).



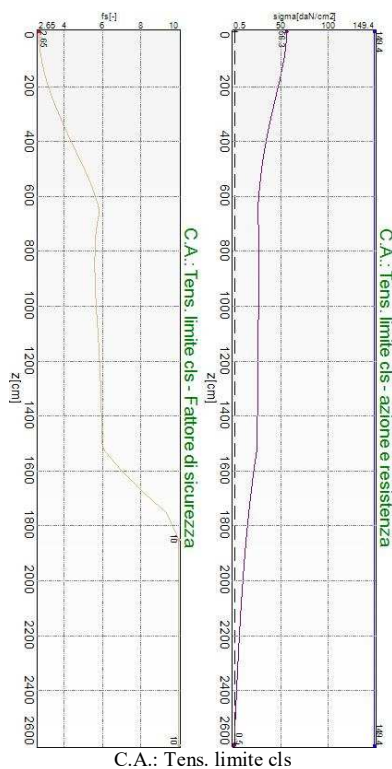
Situazione peggiore: Punto maglia PM2, Caso C2, Sestetto 1

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

<i>Verifica: C.A.: taglio</i>					
Punto	Caso	Ses.	R <sub>d</sub> : V [daN]	S <sub>d</sub> : V [daN]	f <sub>s</sub> [-]
PM1	C1	1	48819	5515	8.85
PM2	C2	1	48819	9687	5.04
PM3	C1	1	48819	5515	8.85
PM4	C2	1	48819	9687	5.04
PM5	C2	1	48819	7401	6.60
PM6	C2	1	48819	7401	6.60

### *Verifica: C.A.: Tens. limite cls*

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM2**, nel caso di carico **C3**, sestetto **1** (Rara).



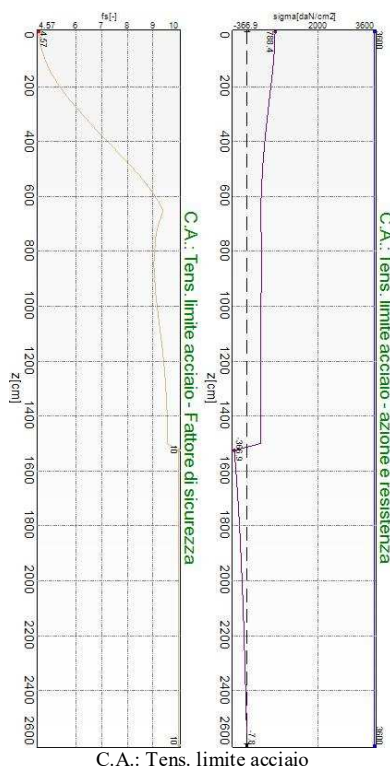
C.A.: Tens. limite cls  
Situazione peggiore: Punto maglia PM2, Caso C3, Sestetto 1

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: C.A.: Tens. limite cls					
Punto	Caso	Ses.	Rd: sigma[daN/cm2]	Sd: sigma[daN/cm2]	fs[-]
PM1	C5	1	112	29.8	3.76
PM2	C3	1	149.4	56.3	2.65
PM3	C5	1	112	29.8	3.76
PM4	C3	1	149.4	56.3	2.65
PM5	C3	1	149.4	52.5	2.84
PM6	C3	1	149.4	52.5	2.84

### Verifica: C.A.: Tens. limite acciaio

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM2**, nel caso di carico **C3**, sestetto **1** (Rara).



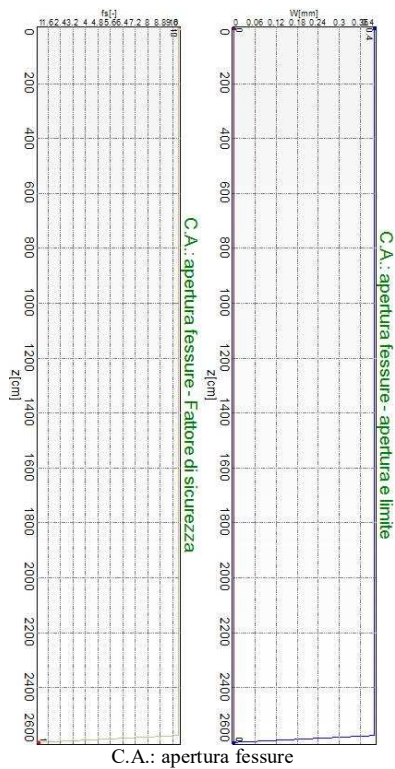
C.A.: Tens. limite acciaio  
 Situazione peggiore: Punto maglia PM2, Caso C3, Sestetto 1

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

<i>Verifica: C.A.: Tens. limite acciaio</i>					
Punto	Caso	Ses.	Rd: sigma[daN/cm2]	Sd: sigma[daN/cm2]	fs[-]
PM1	C3	1	3600	558.3	6.45
PM2	C3	1	3600	788.4	4.57
PM3	C3	1	3600	353.1	10.00
PM4	C3	1	3600	788.4	4.57
PM5	C3	1	3600	753	4.78
PM6	C3	1	3600	753	4.78

### **Verifica: C.A.: apertura fessure**

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM1**, nel caso di carico **C4**, sestetto **1** (Frequente).



C.A.: apertura fessure  
 Situazione peggiore: Punto maglia PM1, Caso C4, Sestetto 1

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

<i>Verifica: C.A.: apertura fessure</i>					
Punto	Caso	Ses.	R <sub>d</sub> : W[mm]	S <sub>d</sub> : W[mm]	f <sub>s</sub> [-]
PM1	C4	1	0.4	0	10.00
PM2	C4	1	0.4	0	10.00
PM3	C4	1	0.4	0	10.00
PM4	C4	1	0.4	0	10.00
PM5	C4	1	0.4	0	10.00
PM6	C4	1	0.4	0	10.00