

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

IMPIANTO EOLICO MONTEMILONE

PROGETTO DEFINITIVO

A.11.2

Calcolo pre-dimensionamento strutture delle apparecchiature elettriche



File: GRE.EEC.R.25.IT.W.15438.00.124.00 - A.11.2 Calcolo strutture apparecchiature.docx

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
00	01/12/2021	First issue	F. Guiggiani 	M. Nardi 	M. Nardi

GRE VALIDATION

A. Provasi	O.Chinnici	E. Pansini
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT	GRE CODE																			
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY		TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION							
Wind farm Montemilone	GRE	EEC	R	2	5	I	T	W	1	5	4	3	8	0	0	1	2	4	0	0

CLASSIFICATION

UTILIZATION SCOPE Iter autorizzativo

INDEX

1. INTRODUZIONE	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3. MATERIALI	5
4. MODELLAZIONE CASTELLETTO CAVI MT	6
5. ANALISI DEI CARICHI CASTELLETTO CAVI MT	9
5.1. Carichi permanenti strutturali (G_1)	9
5.2. Carichi permanenti portati (G_2)	9
5.3. Carichi variabili	10
5.4. Condizioni di carico.....	13
5.5. Combinazioni di carico	13
6. VERIFICHE DI SICUREZZA CASTELLETTO CAVI MT	14
6.1. Sollecitazioni e verifica strutturale dei profili metallici	14
6.2. Verifica di deformabilità della struttura.....	19
6.3. Verifica dell'ancoraggio alla base dei montanti	22
7. MODELLAZIONE SOSTEGNO PORTA TERMINALI	28
8. ANALISI DEI CARICHI SOSTEGNO PORTA TERMINALI	31
8.1. Carichi permanenti strutturali (G_1)	31
8.2. Carichi variabili	32
8.3. Condizioni di carico.....	34
8.4. Combinazioni di carico	35
9. VERIFICHE DI SICUREZZA SOSTEGNO PORTA TERMINALI.....	36
9.1. Reazioni vincolari	36
9.1. Verifica strutturale dei profili metallici	37
9.2. Verifica ancoraggio tirafondi	39

1. INTRODUZIONE

La presente relazione è volta ad illustrare i calcoli eseguiti per il predimensionamento delle strutture di supporto delle apparecchiature elettriche da installarsi all'interno dell'impianto eolico "Montemilone" sito nel comune omonimo (PZ).

In particolare, sono state analizzate le seguenti strutture:

- castelletto di supporto dei cavi MT in ingresso al trasformatore
- sostegno porta terminali

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si elenca la normativa di riferimento:

- **D.M. Infrastrutture 17/01/18** - "Norme tecniche per le costruzioni".
- **Circolare del 21/01/2019, n° 7** - "Istruzione per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018".

3. MATERIALI

- **Acciaio da carpenteria S275JO**

$$E = 2e+005 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\nu = 0,300$$

$$G = 80769 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\gamma = 78,5 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$\alpha = 1,2e-005 \text{ (1/}^\circ\text{C)}$$

$$f_{yk} = 275 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$f_{tk} = 430 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

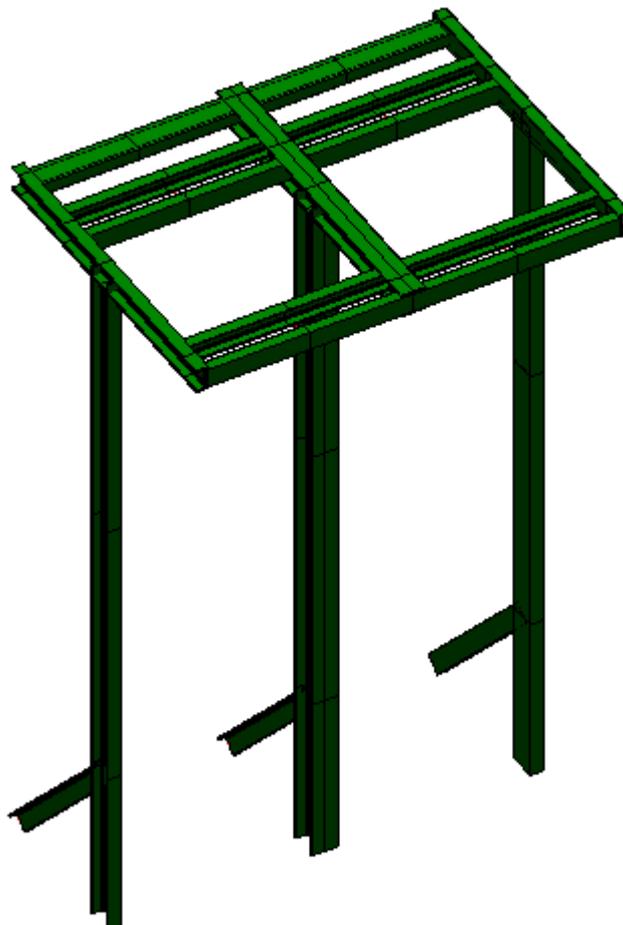
$$f_{yd} = 261.9 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

4. MODELLAZIONE CASTELLETTO CAVI MT

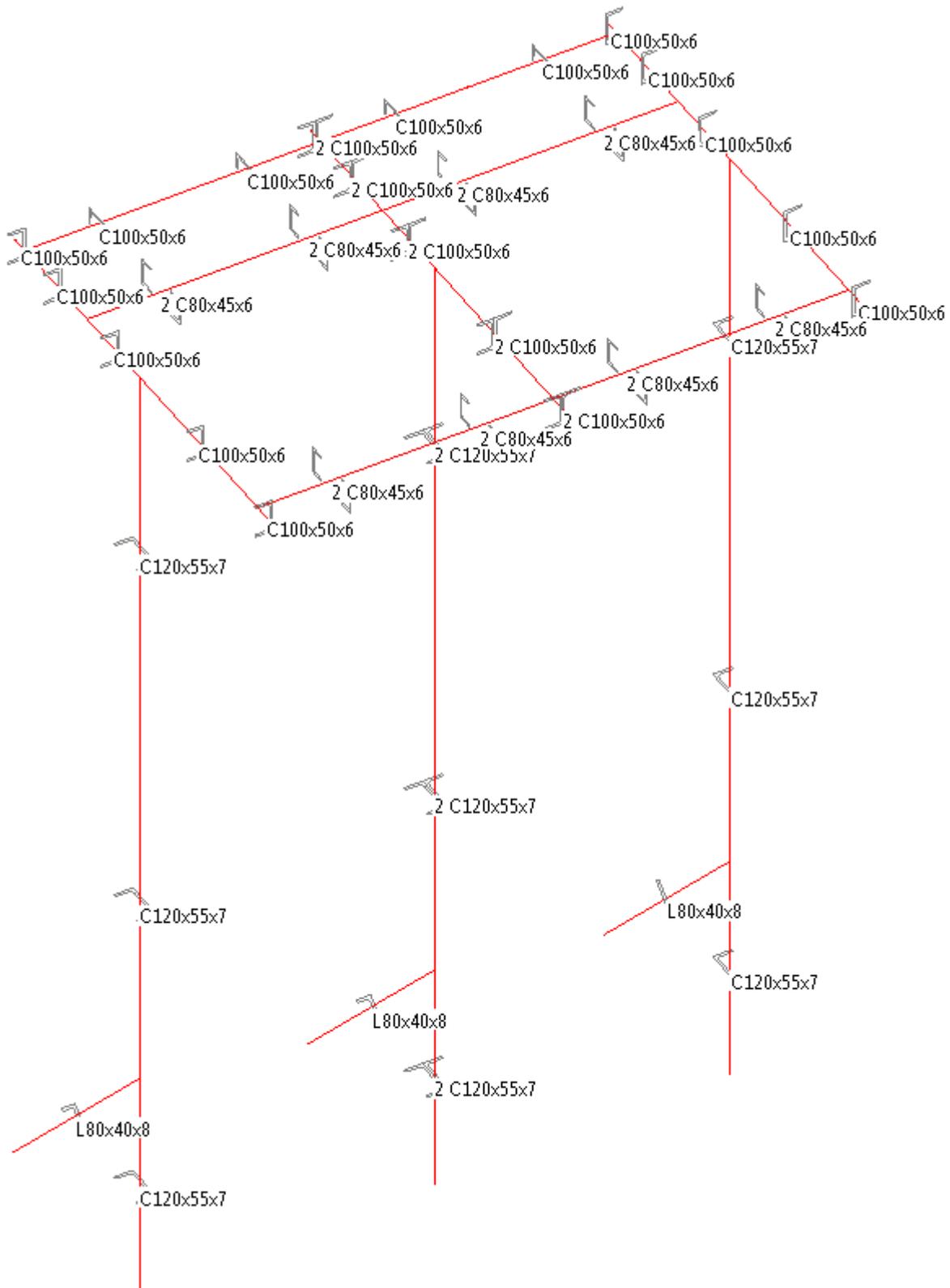
La modellazione strutturale, i risultati dell'analisi agli elementi finiti e la progettazione/verifica degli elementi sono state condotte con il codice di calcolo denominato CMP versione 30.00 distribuito da Namirial S.p.A., che utilizza come solutore XFINEST 2012 della Ce.A.S. di Milano.

Il modello tridimensionale è costituito da elementi tipo beam.

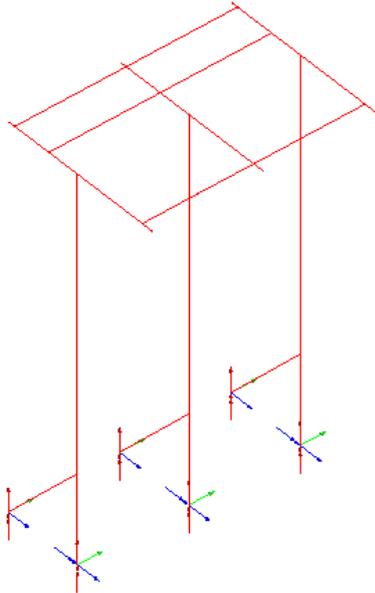
Si riporta di seguito un'immagine del modello della struttura che verrà realizzata:



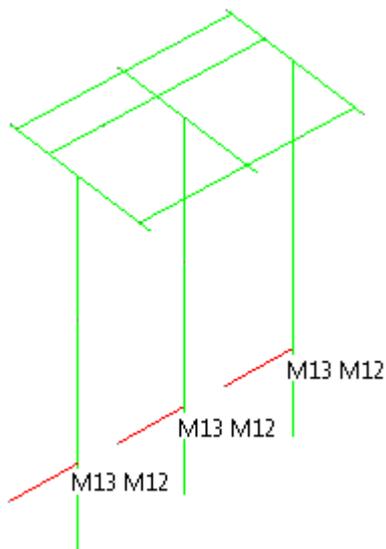
Profili inseriti nel modello:



Vincoli esterni:



Svincolamenti interni:



5. ANALISI DEI CARICHI CASTELLETTO CAVI MT

5.1. Carichi permanenti strutturali (G_1)

I carichi permanenti strutturali G_1 sono costituiti dal peso proprio dell'acciaio:

$$\gamma_s = 78.5 \text{ kN/m}^3$$

5.2. Carichi permanenti portati (G_2)

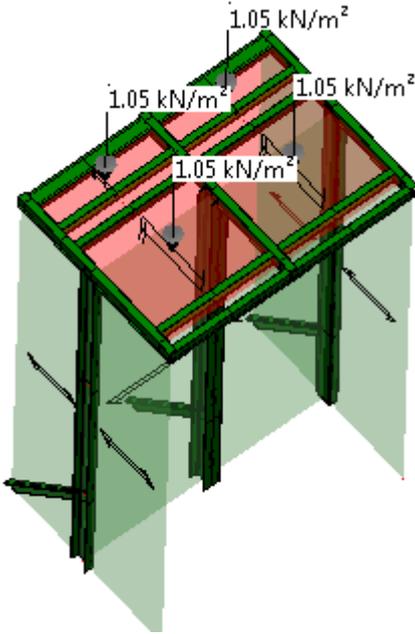
I carichi sono stati stimati in via preliminare dalle schede tecniche dei cavi, degli isolatori e stimati in modo cautelativo per quanto riguarda gli scaricatori.

I carichi permanenti portati sono i seguenti:

- 8 cavi da 500 mm^2 → $161 \text{ kg} = 1.61 \text{ kN}$
- 8 isolatori → $26 \text{ kg} = 0.26 \text{ kN}$
- 4 scaricatori → $20 \text{ kg} = 0.20 \text{ kN}$

TOTALE = 2.07 kN

Ripartiti su un'area di 1.16mx1.70m:



5.3. Carichi variabili

Azione del vento

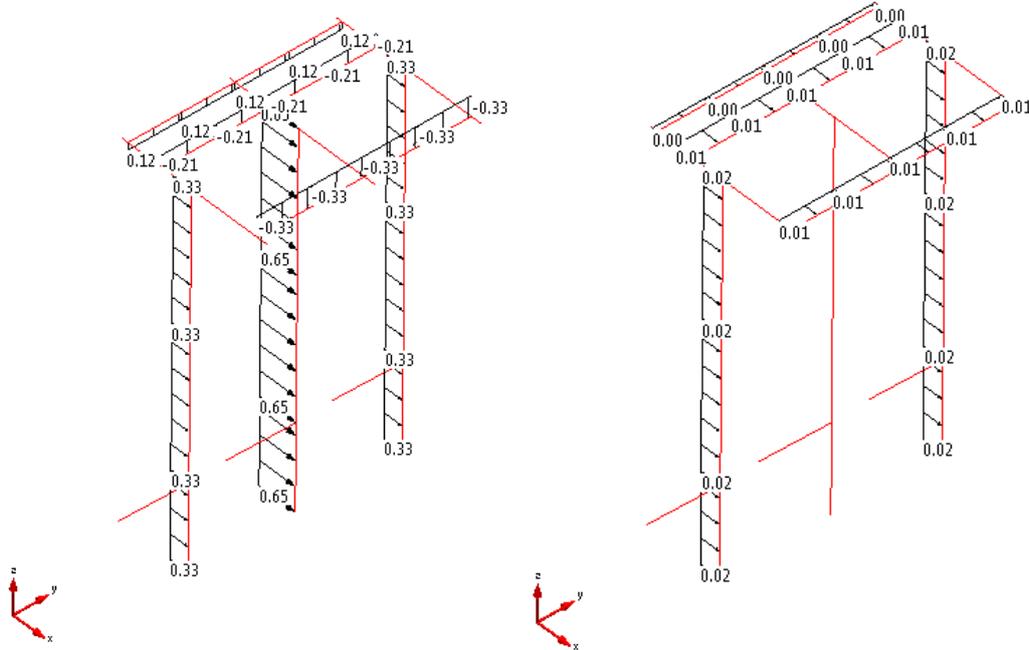
L'azione del vento è calcolata automaticamente dal software di calcolo.

I coefficienti di forma assunti sono:

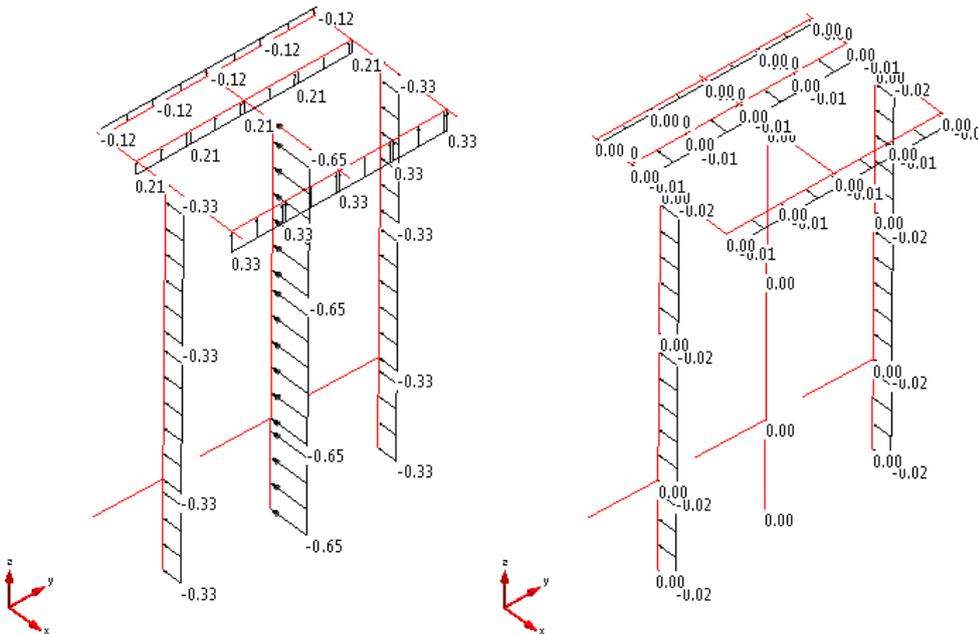
- 1.2 globale per il vento normale in entrambe le direzioni orizzontali
- 1.2 globale per il vento normale in direzione verticale
- 0.04 per il vento radente

In direzione X è stata considerata un'area piena di 1.7m x 3.0m, mentre in direzione Y un'area piena di 0.65m x 3.0m.

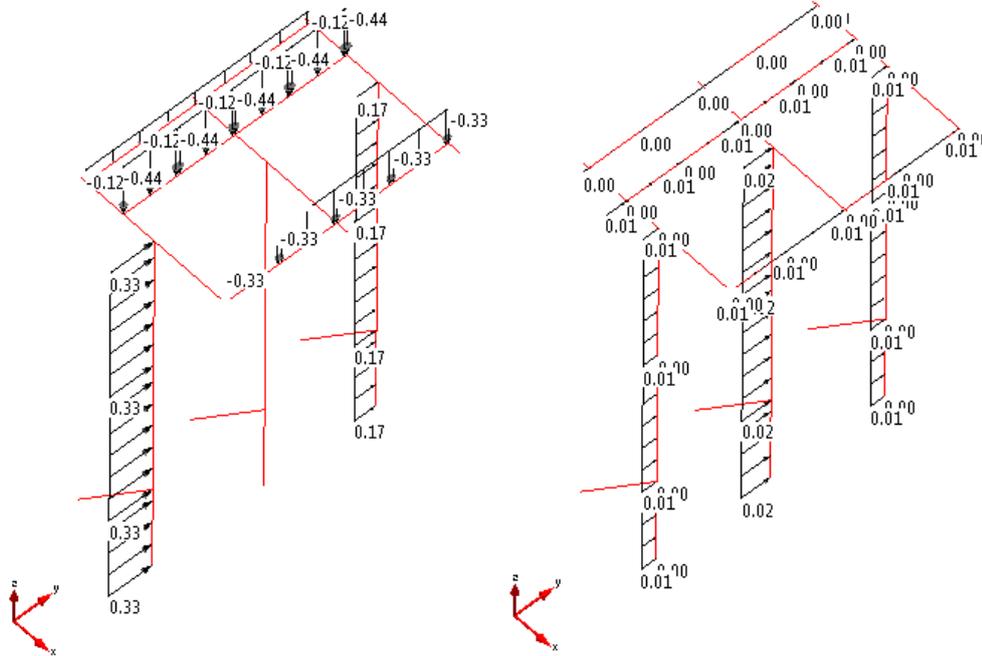
Vento +X [kN/m] normale e radente:



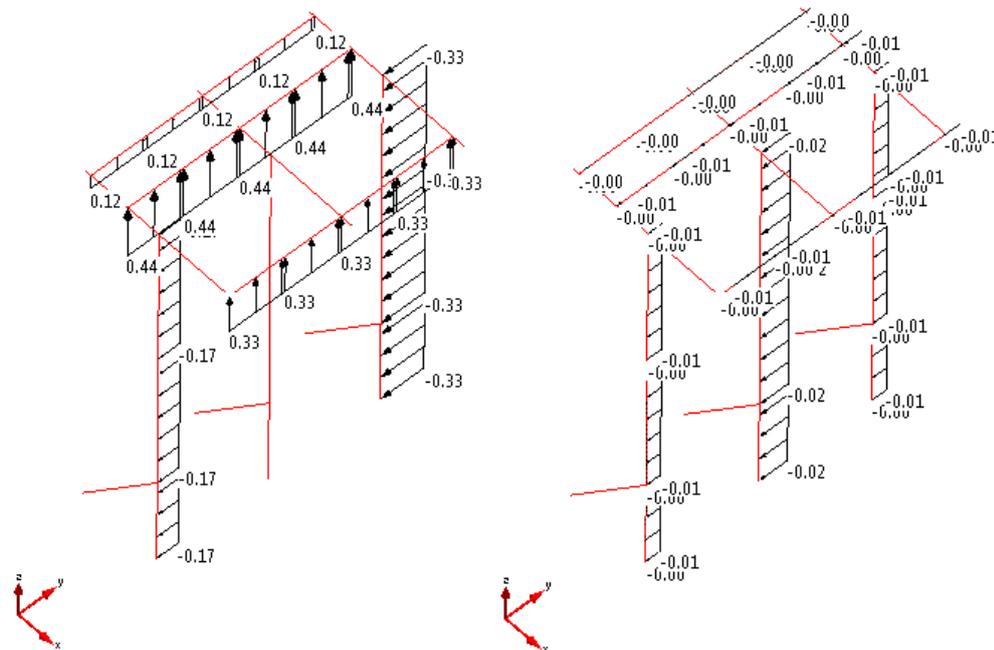
Vento -X [kN/m] normale e radente:



Vento +Y [kN/m] normale e radente:



Vento -Y [kN/m] normale e radente:



5.4. Condizioni di carico

Sono state considerate le seguenti condizioni di carico elementari:

Condizioni di carico elementari statiche - Moltiplicatori gravitazionali

n°	Descrizione	x	y	z	Tipo	grp	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
1S	G1	0	0	-1	Permanente		1	1	1
2S	G2	0	0	0	Perm.Non Strutt		1	1	1
3S	Neve	0	0	0	Tetti e coperture con neve	2	0.5	0.2	0
4S	Vento +X	0	0	0	Vento	3	0.6	0.2	0
5S	Vento +Y	0	0	0	Vento	3	0.6	0.2	0
6S	Vento -X	0	0	0	Vento	3	0.6	0.2	0
7S	Vento -Y	0	0	0	Vento	3	0.6	0.2	0

Condizioni Sismiche

	Nome	Tipo	SottoTipo	Spettro	ag/g
1	Sisma SLD X	Sisma SLE x	SLD	~DM 2018 SLD X	0.0383
2	Sisma SLD Y	Sisma SLE y	SLD	~DM 2018 SLD Y	0.0383
3	Sisma SLD Z	Sisma SLE z	SLD	~DM 2018 SLD Z	0.0383
4	Sisma SLV X	Sisma SLU x	SLV	~DM 2018 SLV X	0.1073
5	Sisma SLV Y	Sisma SLU y	SLV	~DM 2018 SLV Y	0.1073
6	Sisma SLV Z	Sisma SLU z	SLV	~DM 2018 SLV Z	0.1073

5.5. Combinazioni di carico

Per le verifiche della struttura, sono state considerate le combinazioni di carico allo SLU, SLE e sismica (SLV e SLD), di seguito riportate:

- SLU $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2}$
- SLE (rara) $G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2}$
- E (sismica) $E + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2}$

Relativamente all'azione sismica E, essa è ottenuta applicando la seguente espressione:

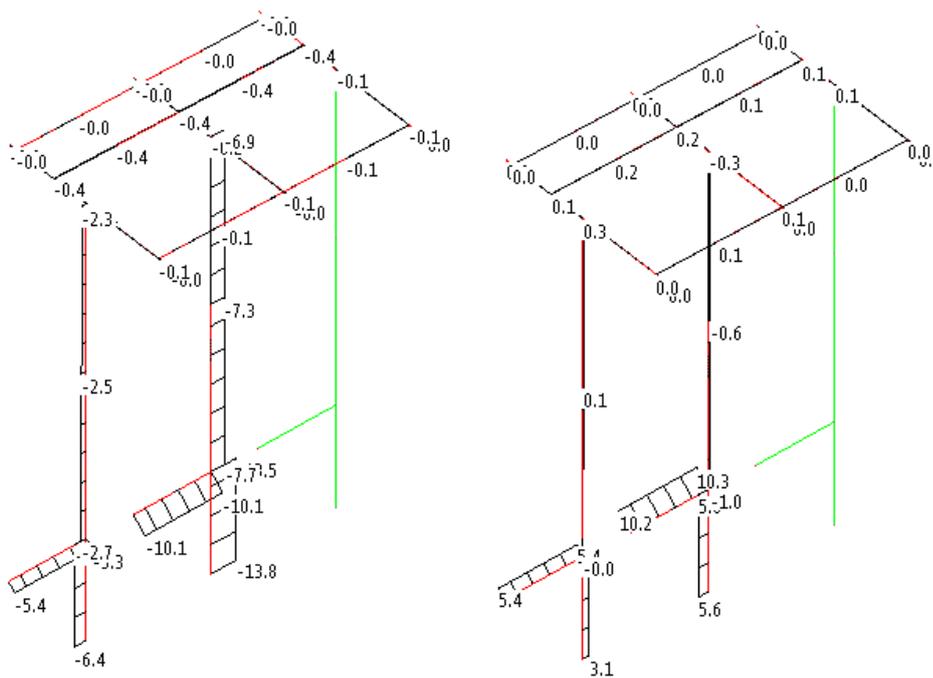
$$1,00 \cdot E_x \pm 0,30 \cdot E_y \pm 0,30 \cdot E_z$$

con rotazione dei coefficienti moltiplicativi, sia per lo SLD sia per lo SLV.

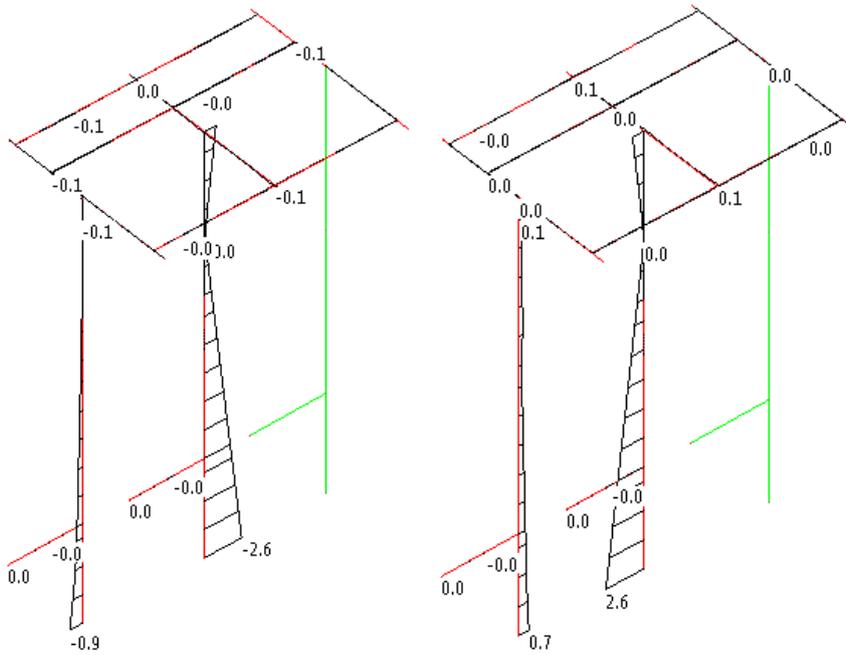
6. VERIFICHE DI SICUREZZA CASTELLETTO CAVI MT

6.1. Sollecitazioni e verifica strutturale dei profili metallici

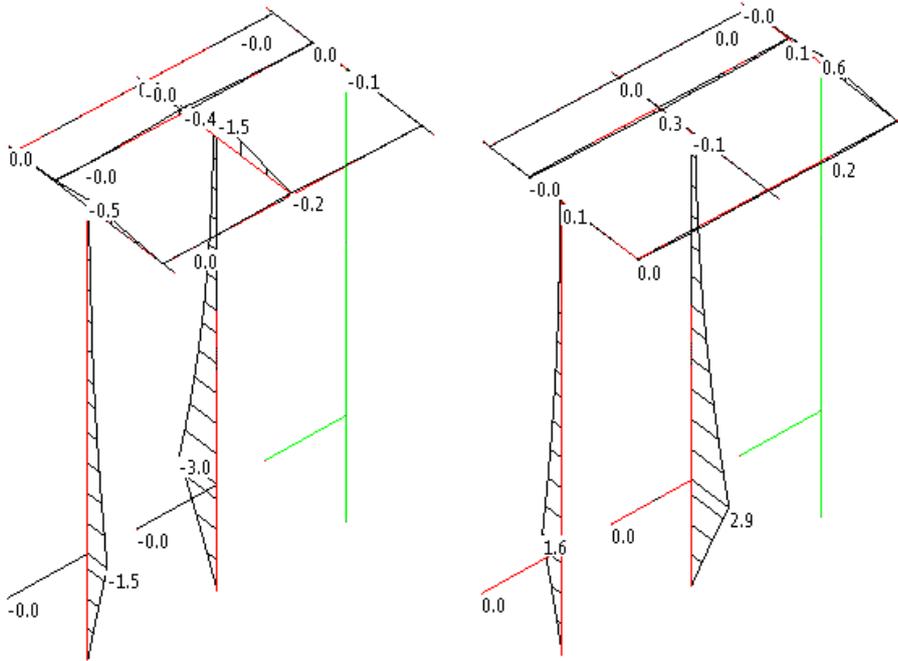
Sforzo normale [kN] minimo e massimo secondo la combinazione SLU-SLV:



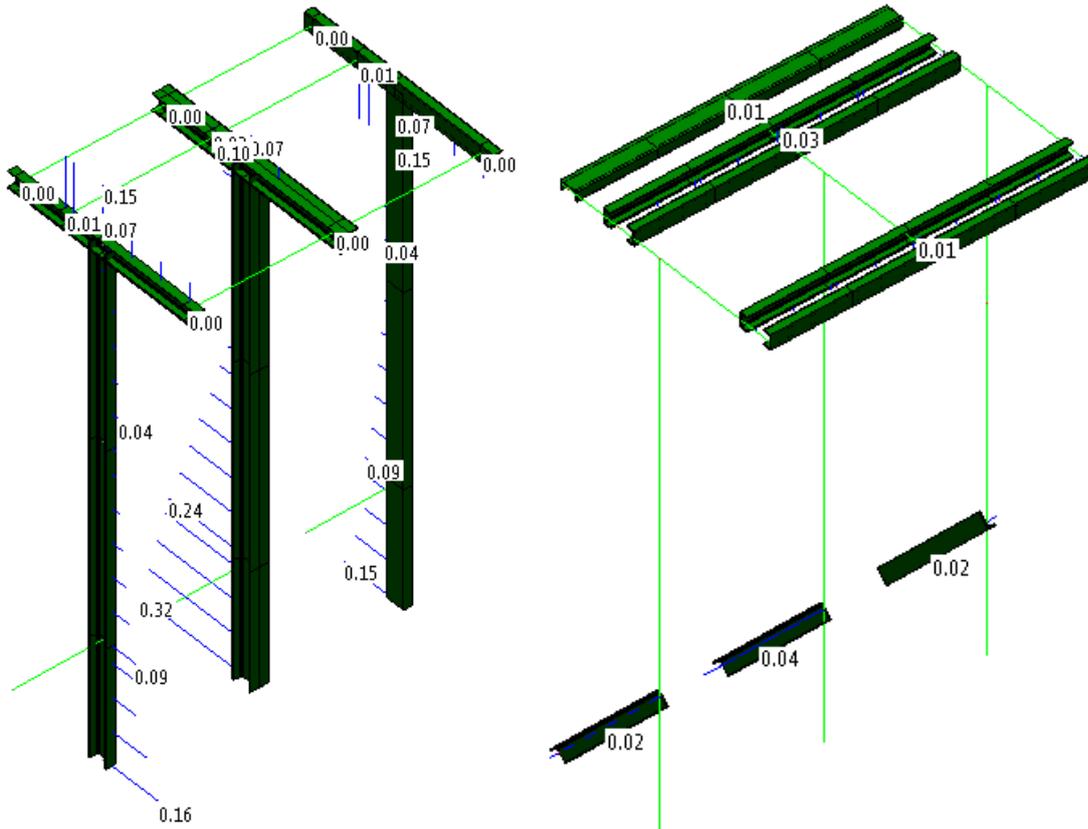
Momento flettente in dir.2 [kNm] minimo e massimo secondo la combinazione SLU-SLV:



Momento flettente in dir.3 [kNm] minimo e massimo secondo la combinazione SLU-SLV:

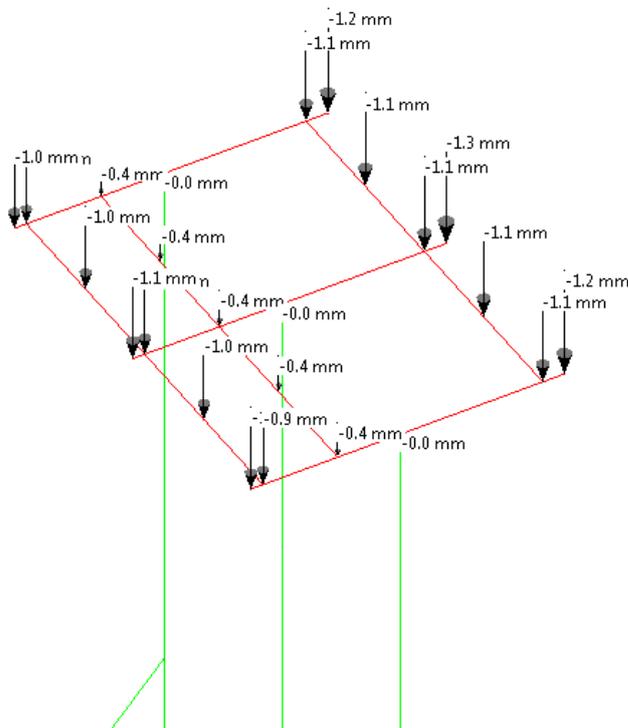


Coefficienti di sfruttamento della verifica di resistenza:



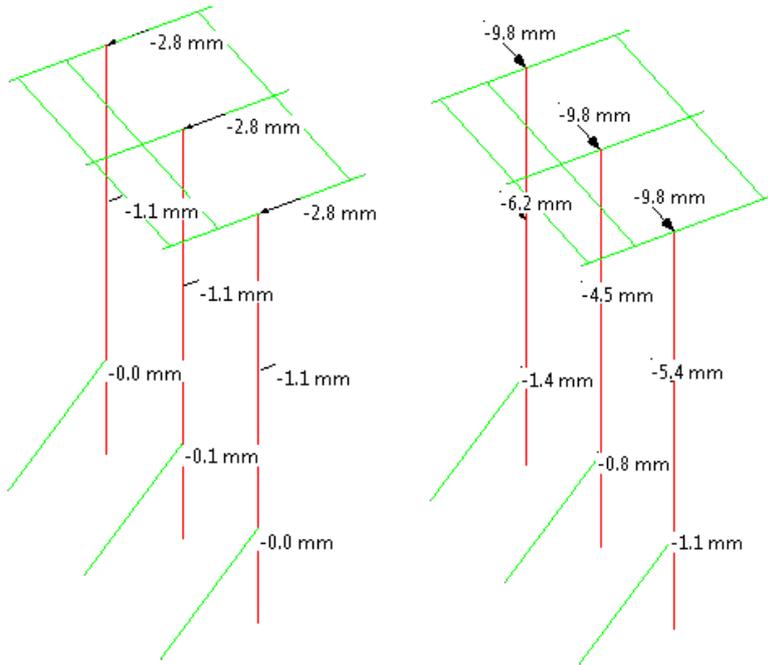
6.2. Verifica di deformabilità della struttura

Spostamenti verticali sotto la combinazione SLE rara:



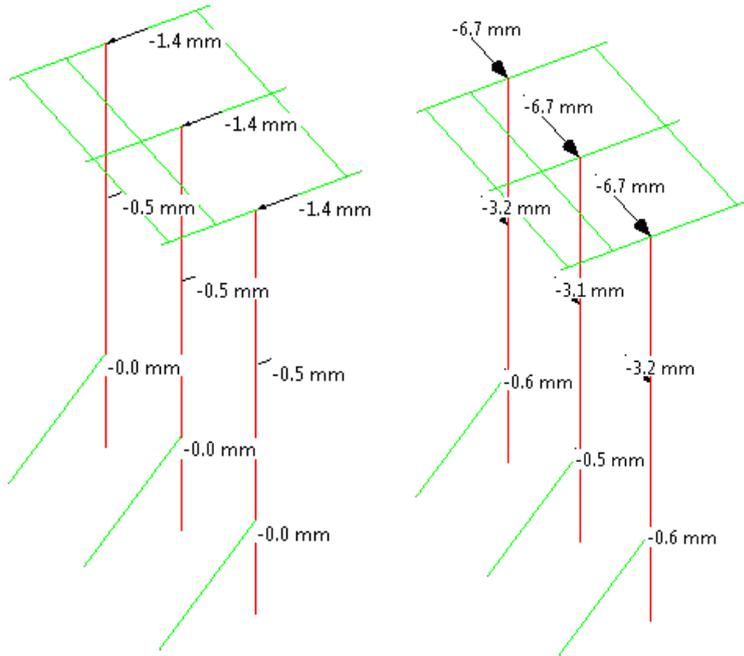
$$2L/f = 680 \text{ mm} / 1.2 \text{ mm} = 567 > 250 \text{ (OK)}$$

Spostamenti orizzontali sotto la combinazione SLE rara:



$$H/\delta = 3000 \text{ mm} / 9.8 \text{ mm} = 306 > 300 \text{ (OK)}$$

Spostamenti orizzontali sotto la combinazione sismica di esercizio allo SLD:



$$\delta/H = 6.7 \text{ mm} / 3000 \text{ mm} = 0.0022 < 0.005 \text{ (OK)}$$

6.3. Verifica dell'ancoraggio alla base dei montanti

Il giunto di base deve offrire un vincolo a incastro nella direzione dell'asse debole dei montanti, mentre è sufficiente un vincolo a cerniera nella direzione delle saette.

Il collegamento è stato calcolato a completo ripristino del momento flettente, ovvero resistente a un momento maggiore rispetto al momento resistente dei montanti, in concomitanza con i valori di taglio e sforzo normale derivanti dall'analisi.

Base colonna UPN120 (livello fondazioni)

Incastro in direzione secondaria

f_{yk}	275000	kN/m ²	S275	Trave
f_{tk}	430000	kN/m ²	S275	Piastra
f_{tb}	800000	kN/m ²	8.8	Bulloni
M_{Ed}	5.6	kNm	(completo ripristino)	
T_{Ed}	2.3	kN		
N_{Ed}	2.7	kN		

d	16	mm
s = d _m	24	mm
d ₀	17	mm
t	10	mm

e ₁	40	mm
e ₂	30	mm
p ₁		mm
p ₂		mm
n° file	2	

	min	max
OK e ₁	20.4	80
OK e ₂	20.4	80
OK p ₁	37.4	140
OK p ₂	40.8	140

dist. minima dell'asse da un ostacolo [mm] 25.4

n° bulloni p.f.

Verifica a taglio

gambo:

piani di taglio

A_{res} 157 mm² 0.000157 m²

γ_{M2} 1.25

$F_{v,Rd}$ 240.9 kN

rifollamento:

α k n (dir. carico - dir. perp.)

0.78 2.50 bordo-bordo

0.78 -1.70 0 bordo-interni

-0.25 -1.70 0 interni-interni

-0.25 2.50 0 interni-bordo

$F_{b,Rd}$ 431.7 kN

Verifica **0.01**

Verifica a trazione

gambo:

$N_{b,max}$ kN

$F_{t,Rd}$ 90.3 kN

punzonamento:

$B_{p,Rd}$ 155.6 kN

Verifica **0.18** **OK**

Verifica a trazione e taglio

Verifica **0.14** **OK**

Base colonna 2xUPN120 (livello fondazioni)

Incastro in direzione secondaria

f_{yk}	275000	kN/m ²	S275	Trave
f_{tk}	430000	kN/m ²	S275	Piastra
f_{tb}	800000	kN/m ²	8.8	Bulloni
M_{Ed}	14.3	kNm	(completo ripristino)	
T_{Ed}	4.0	kN		
N_{Ed}	5.0	kN		

d	16	mm
$s = d_m$	24	mm
d_0	17	mm
t	10	mm

		min	max
e_1	40 mm	OK	e_1 20.4 80
e_2	30 mm	OK	e_2 20.4 80
p_1	mm	OK	p_1 37.4 140
p_2	mm	OK	p_2 40.8 140

n° file	2	dist. minima dell'asse da un ostacolo [mm]	25.4
n° bulloni p.f.	2		

Verifica a taglio

gambo:

piani di taglio

1

A_{res} 157 mm² 0.000157 m²

Y_{M2} 1.25

$F_{v,Rd}$ 240.9 kN

rifollamento:

α k n (dir. carico - dir. perp.)

0.78 2.50 4 bordo-bordo

0.78 -1.70 0 bordo-interni

-0.25 -1.70 0 interni-interni

-0.25 2.50 0 interni-bordo

$F_{b,Rd}$ 431.7 kN

Verifica **0.02** OK

Verifica a trazione

gambo:

$N_{b,max}$ 32.7 kN

$F_{t,Rd}$ 90.3 kN

punzonamento:

$B_{p,Rd}$ 155.6 kN

Verifica **0.36** OK

Verifica a trazione e taglio



Engineering & Construction



GRE CODE

GRE.EEC.R.25.IT.W.15438.00.124.00

PAGE

26 di/of 39

Verifica

0.28

OK

Di seguito si riporta il calcolo della lunghezza di ancoraggio necessaria per i tirafondi.

Calcestruzzo C25/30

f_{ck}	25	MPa
f_{cd}	14.2	MPa
f_{ctm}	2.56	MPa
f_{ctk}	1.80	MPa
f_{ctd}	1.20	MPa
f_{bk}	4.04	MPa
f_{bd}	2.69	MPa

Ancoraggio per le colonne collegate alla fondazione:

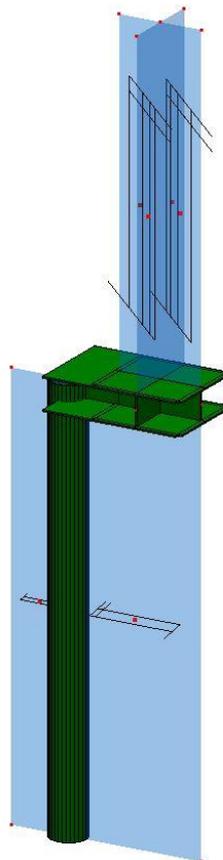
Tirafondi dritti, senza rosetta	M	16	mm	Diametro tirafondo
	N_{Ed}	32.7	kN	Massima forza di trazione allo SLU su un tirafondo
	$L_{a,min}$	362	mm	Lunghezza di ancoraggio minima
	L_a	400	mm	Lunghezza di ancoraggio scelta
rosetta non necessaria				

7. MODELLAZIONE SOSTEGNO PORTA TERMINALI

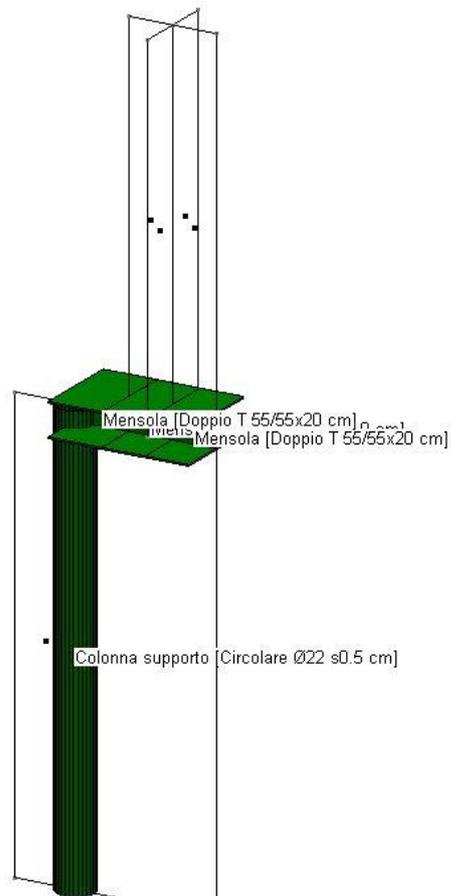
La modellazione strutturale, i risultati dell'analisi agli elementi finiti e la progettazione/verifica degli elementi sono state condotte con il codice di calcolo denominato CMP versione 30.00 distribuito da Namirial S.p.A., che utilizza come solutore XFINEST 2012 della Ce.A.S. di Milano.

E' stato realizzato un modello di calcolo tridimensionale costituito da elementi tipo beam con vincolo a incastro rigido alla base. Le superfici dei cavi e dei terminali direttamente investiti dal vento sono state schematizzate come elementi solaio privi di peso (inserito a parte come carico concentrato di tipo G_1) e connessi agli elementi beam.

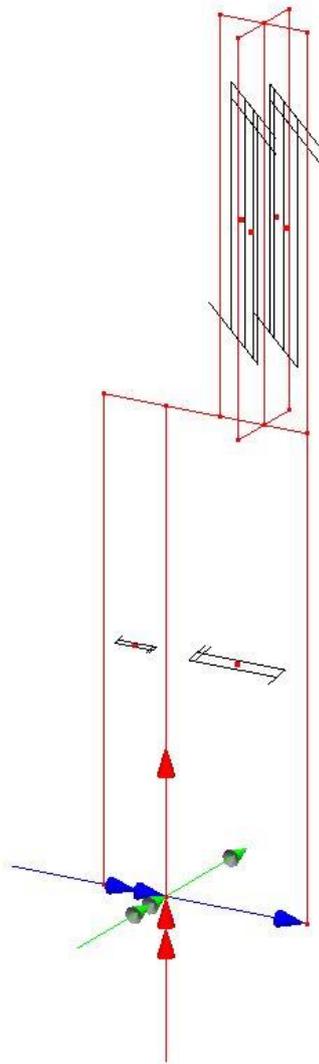
Si riporta di seguito un'immagine del modello della struttura oggetto di progettazione:



Profili inseriti nel modello:



Vincoli esterni:



8. ANALISI DEI CARICHI SOSTEGNO PORTA TERMINALI

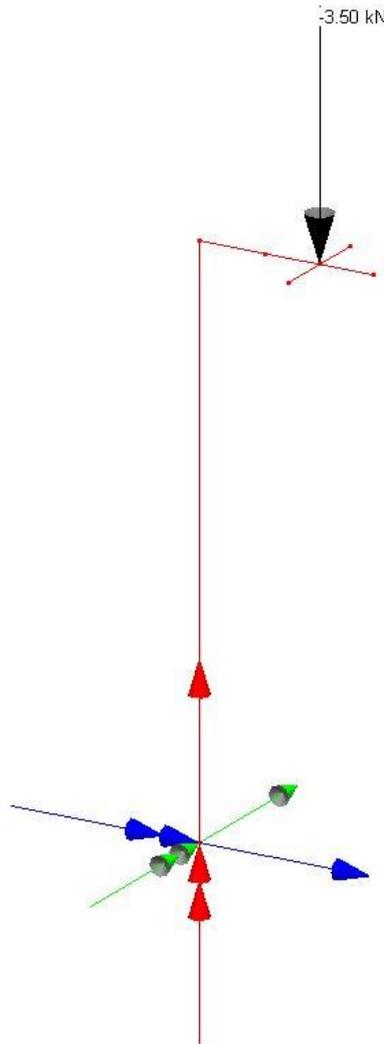
8.1. Carichi permanenti strutturali (G_1)

I carichi permanenti strutturali G_1 sono costituiti:

- dal peso proprio della struttura in acciaio di sostegno del terminale: $\gamma_s = 78.5$ kN/m³
- dal peso del terminale stesso fissato alla struttura di sostegno, le cui caratteristiche sono state assunte cautelativamente con riferimento a una scheda tecnica: 1 terminale esterno $\rightarrow 320$ kg = 3.20 kN

CARICO ASSUNTO IN PROGETTO = 3.50 kN

Il carico è stato ssegnato come forza concentrata all'estremità della mensola del sostegno:



8.2. Carichi variabili

Azione del vento

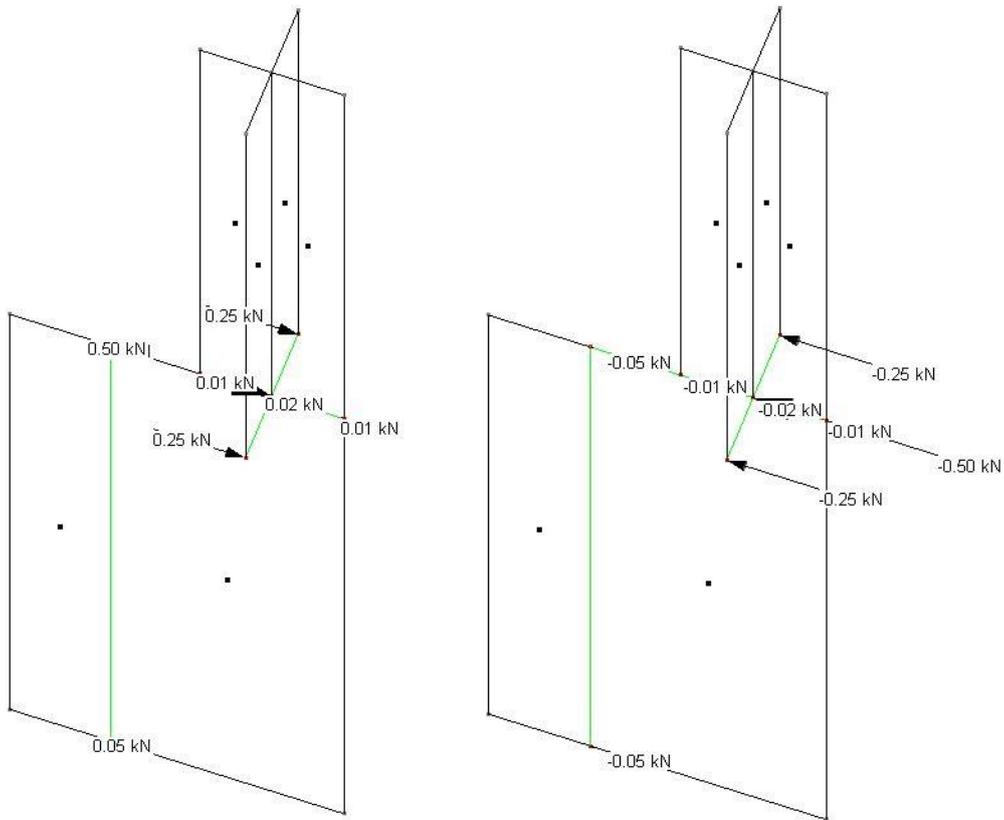
L'azione del vento è calcolata automaticamente dal software di calcolo.

I coefficienti di forma assunti sono:

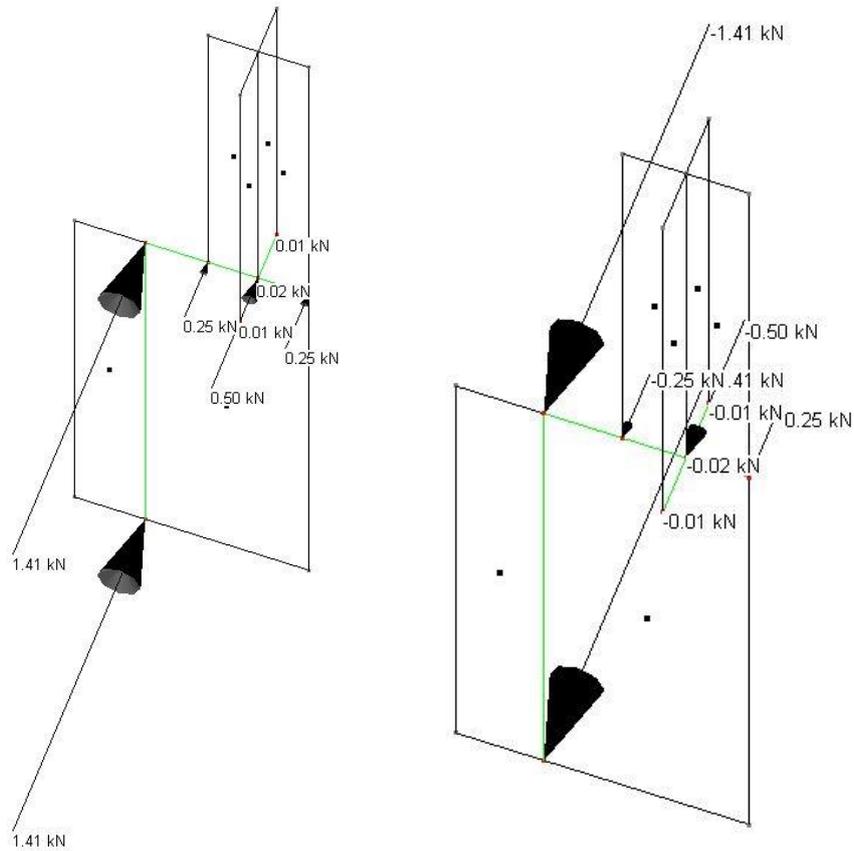
- 1.2 globale per il vento normale in entrambe le direzioni orizzontali
- 0.04 per il vento radente

Vento normale e vento radente agiscono come carichi superficiali sugli elementi "solaio" già descritti in precedenza e scaricano sulla struttura di sostegno in corrispondenza dei punti di contatto.

Vento +X e Vento -X [kN] normale e radente:



Vento +Y e Vento -Y [kN] normale e radente:



8.3. Condizioni di carico

Sono state considerate le seguenti condizioni di carico elementari:

n°	Descrizione	x	y	z	Tipo	grp	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	Ψ_{25}	Φ_s	
1S	CdC n. 1 - G1	0	0	-1	Permanente		1	1	1	1	1	
2S	CdC n. 2 - Qk,w +X	0	0	0	Vento	3	0.6	0.2	0	0	0	
3S	CdC n. 3 - Qk,w -X	0	0	0	Vento	3	0.6	0.2	0	0	0	
4S	CdC n. 4 - Qk,w +Y	0	0	0	Vento	3	0.6	0.2	0	0	0	
5S	CdC n. 5 - Qk,w -Y	0	0	0	Vento	3	0.6	0.2	0	0	0	

Condizioni Sismiche								
	Nome	Tipo	SottoTipo	Spettro	ag/g	Molt X	Molt Y	Molt Z
1	Sisma SLO X	Sisma SLE x	SLO	~DM 14/1/2008 SLO X	0.0434	1	0	0
2	Sisma SLD X	Sisma SLE x	SLD	~DM 14/1/2008 SLD X	0.0562	1	0	0
3	Sisma SLO Y	Sisma SLE y	SLO	~DM 14/1/2008 SLO Y	0.0434	0	1	0
4	Sisma SLD Y	Sisma SLE y	SLD	~DM 14/1/2008 SLD Y	0.0562	0	1	0
5	Sisma SLO Z	Sisma SLE z	SLO	~DM 14/1/2008 SLO Z	0.0434	0	0	-1
6	Sisma SLD Z	Sisma SLE z	SLD	~DM 14/1/2008 SLD Z	0.0562	0	0	-1
7	Sisma SLD 2/3 X	Sisma SLU x	SLD 2/3	~DM 14/1/2008 SLD 2/3 X	0.0562	1	0	0
8	Sisma SLV X	Sisma SLU x	SLV	~DM 14/1/2008 SLV X	0.1468	1	0	0
9	Sisma SLD 2/3 Y	Sisma SLU y	SLD 2/3	~DM 14/1/2008 SLD 2/3 Y	0.0562	0	1	0
10	Sisma SLV Y	Sisma SLU y	SLV	~DM 14/1/2008 SLV Y	0.1468	0	1	0
11	Sisma SLD 2/3 Z	Sisma SLU z	SLD 2/3	~DM 14/1/2008 SLD 2/3 Z	0.0562	0	0	-1
12	Sisma SLV Z	Sisma SLU z	SLV	~DM 14/1/2008 SLV Z	0.1468	0	0	-1

8.4. Combinazioni di carico

Per le verifiche della struttura, sono state considerate le combinazioni di carico allo stato limite ultimo (SLU) e sismica (SLV), di seguito riportate:

- SLU $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2}$
- E (sismica) $E + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2}$

Relativamente all'azione sismica E, essa è ottenuta applicando la seguente espressione:

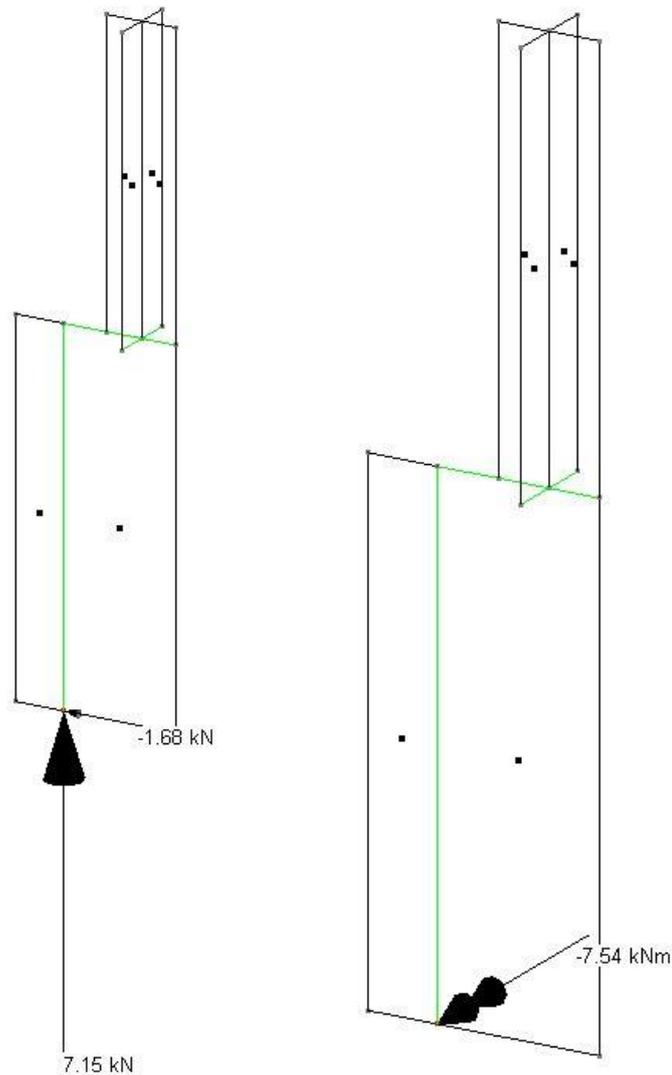
$$1,00 \cdot E_x \pm 0,30 \cdot E_y \pm 0,30 \cdot E_z$$

con rotazione dei coefficienti moltiplicativi.

9. VERIFICHE DI SICUREZZA SOSTEGNO PORTA TERMINALI

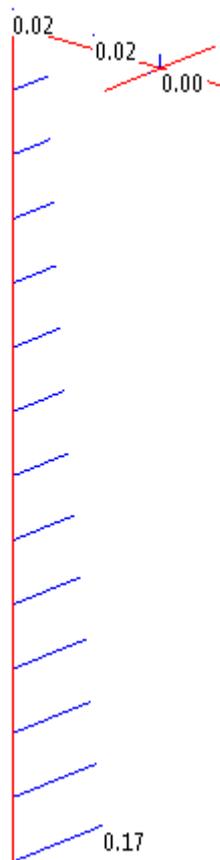
9.1. Reazioni vincolari

A sinistra si riporta la reazione vincolare F_z massima e F_x associata secondo la combinazione SLU-SLV. A destra si riporta la reazione di incastro M_y associata alla F_z massima, sempre secondo la combinazione SLU-SLV.

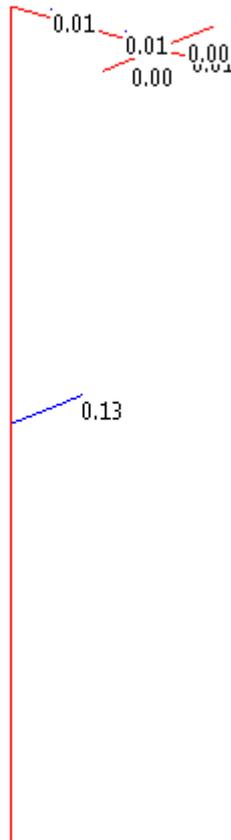


9.1. Verifica strutturale dei profili metallici

Coefficienti di sfruttamento della verifica di resistenza:



Coefficienti di sfruttamento della verifica di stabilità:



Poiché i coefficienti di sfruttamento sono tutti inferiori a 1, le verifiche sono soddisfatte.

9.2. Verifica ancoraggio tirafondi

Si considera il momento massimo agente sul plinto come somma del momento di incastro e del taglio moltiplicato per l'eccentricità della sua retta d'azione rispetto all'estradosso della suola di fondazione. Il momento risultante viene scomposto in una coppia concentrata sugli allineamenti di tirafondi e divisa per il numero di tirafondi. Lo sforzo normale di trazione che si ricava deve essere trasmesso alla fondazione mediante una lunghezza di ancoraggio minima.

Si ottiene quindi:

Calcestruzzo C25/30

f_{ck}	25 MPa
f_{cd}	14,2 MPa
f_{ctm}	2,56 MPa
f_{ctk}	1,80 MPa
f_{ctd}	1,20 MPa
f_{bk}	4,04 MPa
f_{bd}	2,69 MPa

Ancoraggio piastra di base sostegno terminali

Tirafondi dritti, senza rosetta	M	20 mm	Diametro tirafondo
	M_{Ed}	7,54 kN	Momento sollecitante
	T_{Ed}	1,68 kN	Taglio sollecitante
	h	0,50 m	Eccentricità taglio sollecitante
	b_{TIR}	0,40 m	Braccio tirafondi
	n_{TIR}	2	Numero tirafondi (per lato)
	$N_{Ed,TIR}$	10,48 kN	Massima forza di trazione allo SLU su un tirafondo
	$L_{a,min}$	93 mm	Lunghezza di ancoraggio minima
	L_a	540 mm	Lunghezza di ancoraggio assunta
	$L_a / L_{a,min}$	0,17	OK rosetta non necessaria