



Provincia di Ravenna Settore Lavori Pubblici

**INTERVENTO PER LA MESSA IN SICUREZZA DELLA STRADA PROVINCIALE N. 65
"TORANELLO" AL KM. 4+000 - CUP J77H18000350002.**

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO
(art. 23 commi 7 e 8 Dlgs. 50/2016)

IMPORTO € 201.800,00

Presidente: Michele De Pascale		Consigliere delegato: Davide Ranalli			
Dirigente Responsabile del Settore: Ing. Paolo Nobile					
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Ing. Paolo Nobile		Firme: (documento firmato digitalmente)			
PROGETTISTA Ing. Giuseppe Colarossi	 (documento firmato digitalmente)			
DISEGNATORE P.I. Alberto Tagliavini					
Rev.	Descrizione	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Data:

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE DI CALCOLO

Elaborato num: 1.3	Revisione:	Data: 10/07/2018	Scala:	Nome file:
------------------------------	------------	----------------------------	--------	------------

Indice

1. Premessa

2. Prescrizioni sui materiali

3. Normativa di riferimento

4. Azione sismica

5. Verifica berlinese "tratto centrale"

5.1. Verifica micropalo

5.2. Verifica tirante e profili di contrasto

6. Verifica berlinese "tratti laterali"

6.1. Verifica micropalo

6.2. Verifica tirante

6.3. Verifica cordolo di sommità

1. Premessa



La presente relazione di calcolo fa riferimento all' elaborato di progetto 1.2): relazione geologico - geognostica.

Per il tratto ora interessato dal movimento franoso si è deciso di intervenire progettando una berlinese tiranata con micropali di diametro ϕ 220 mm.

Nel tratto già 'svuotato' parzialmente i micropali saranno contrastati a circa 5,00 metri di profondità rispetto al piano strada da una coppia di profili tipo CNP che servono come punto di inserimento di alcuni tiranti.

I tiranti , per praticità , vengono eseguiti con barre tipo dywidag e saranno di tipo 'passivo'.

I micropali vengono disposti in questo tratto ogni 68 cm e la lunghezza totale del tratto e' di metri 7,50.

I tiranti saranno eseguiti con l'ausilio di un cestello che servira' anche per eseguire la chiusura del tratto tra micropalo e micropalo con rete elettrosaldada e rete tipo PERNERVO-METAL sulla quale verra' proiettato dello spritz-beton.

Il tratto vuoto dietro la cortina cosi' realizzata verra' riempito con cls. alleggerito (ad esempio leca di peso specifico $\gamma = 1200$ o inferiore).

In testa i micropali saranno collegati da un robusto cordolo di coronamento in c.a., sul quale troveranno contrasto alcuni tiranti inclinati, a garanzia della resistenza e rigidità dell'opera .

Ovviamente tale cordolo di coronamento verrà realizzato anche nel tratto centrale.

2. Prescrizioni sui materiali

Calcestruzzo:

C28/35

Acciaio da C.A.:

B450C

Tubi per micropali:

S355 JR (ex Fe 510)

Barre dywidag per tiranti:

$R_m = 10500 \text{ daN/cm}^2$ (tensione di rottura)

$R_{0,1} = 9500 \text{ daN/cm}^2$ (tensione di snervamento)

3. Normativa di riferimento

Per la progettazione e verifica degli elementi strutturali è stata utilizzata la seguente normativa:

- D.M 17.01.2018 - Nuove Norme tecniche per le costruzioni;
- REFERENZE TECNICHE
- UNI ENV 1992-1-1 Parte 1-1:Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 206-1/2001 - Calcestruzzo. Specificazioni, prestazioni, produzione e conformità.
- UNI EN 1993-1-1 - Parte 1-1:Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1998-1 – Azioni sismiche e regole sulle costruzioni
- UNI EN 1998-5 – Fondazioni ed opere di sostegno

4. Azione sismica

Parametri sismici:

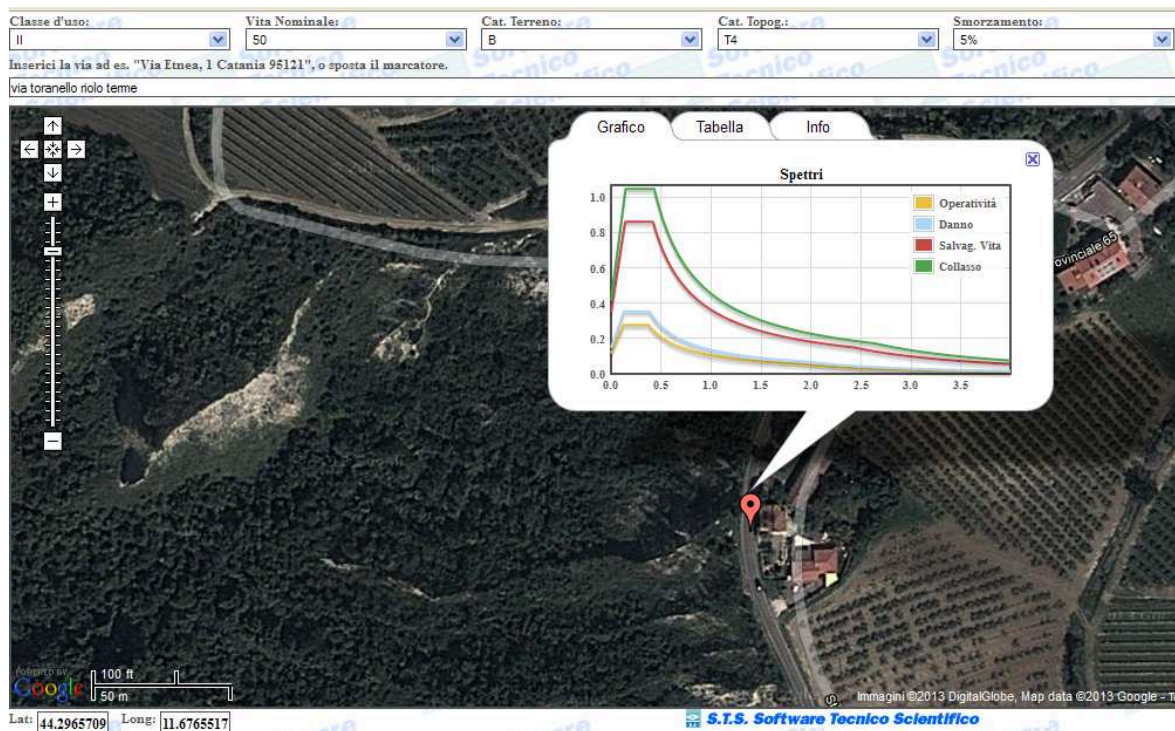
Latitudine: 44.2965709

Longitudine: 11.6765517

classe d'uso II

SUOLO B (PRUDENZIALE)

categ. topografica: **T4** (cresta del pendio) **St = 1,4**

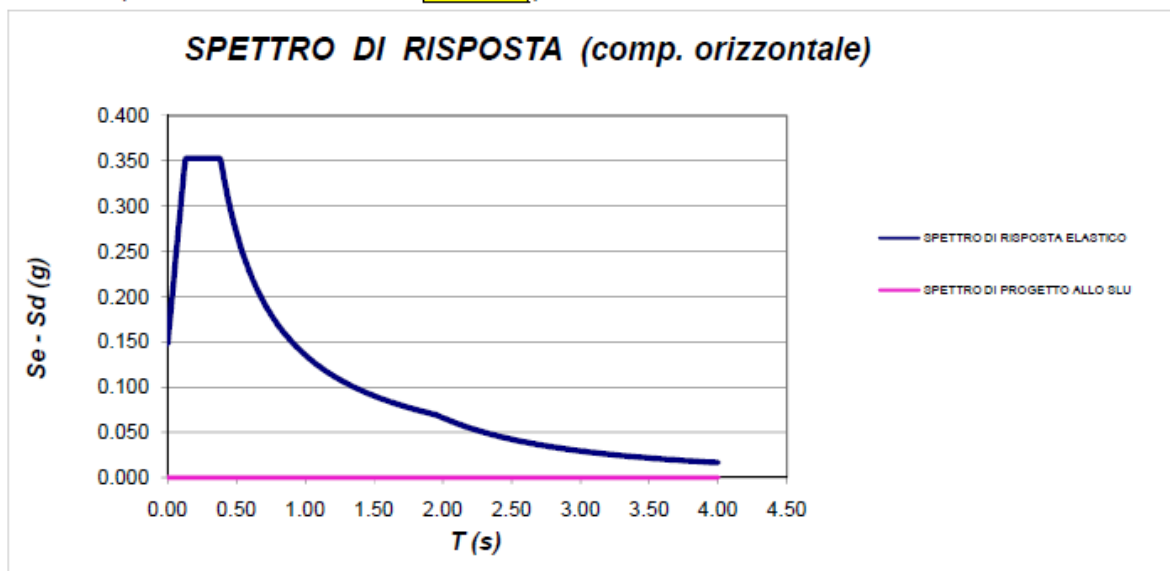


Parametri di Pericolosità Sismica

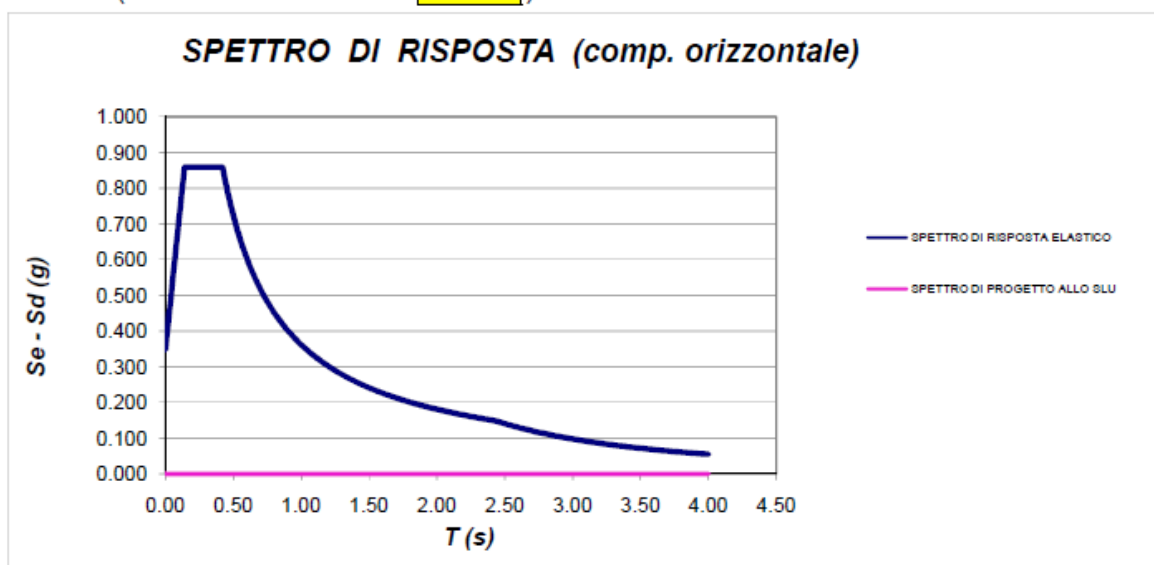
<i>Stato Limite</i>	T_r	$a_g = A_g/g$	F_0	T^*_c
<i>Operatività (SLO)</i>	30	0.069	2.395	0.26
<i>Danno (SLD)</i>	50	0.088	2.387	0.268
<i>Salvag. Vita (SLV)</i>	475	0.208	2.472	0.301
<i>Collasso (SLC)</i>	975	0.26	2.529	0.312

TRATTANDOSI DI OPERA CHE APPOGGIA SUL TERRENO SI ASSUME COME AZIONE SISMICA
L'ACCELERAZIONE DI ANCORAGGIO DELLO SPETTRO ELASTICO (PRUDENZIALE "q" = 1,00)

(PER LO STATO LIMITE **SLD**)



(PER LO STATO LIMITE **SLV**)



5. Verifica berlinese "tratto centrale"

Di seguito si riportano le calcolazioni eseguite, con numerosi schemi grafici che meglio illustrano gli schemi adottati e le risultanze dei calcoli statici.

I micropali risultano bloccati in sommità e collegati tra di loro dal cordolo in c.a. 80 x 76,5 cm.

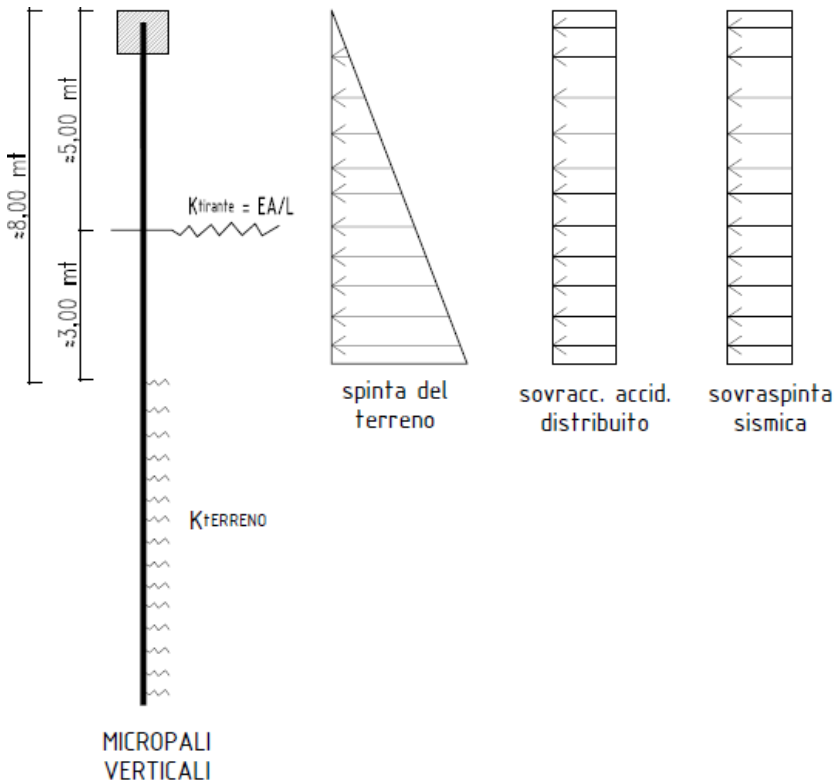
Il cordolo in sommità è collegato tramite connettori alla "zattera" su micropali esistente.

I micropali sono a passo 68 cm tra loro.

A quota -5,00 mt dal piano stradale vi sono 4 tiranti costituiti da barre diwidad $\phi 32$ posti ad interasse circa 2,00 mt tra loro.

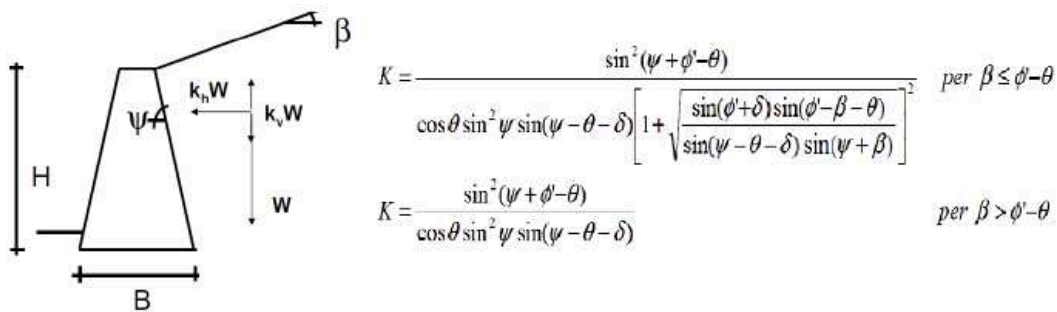
Tali tiranti hanno una struttura di contrasto costituita da 2 profili UPN 240 accoppiati.

A quota -8,00 mt dal piano strada si può considerare efficace la resistenza offerta dal terreno.



Coefficienti di Spinta

Le spinte del terreno vengono calcolate, sia nelle condizioni statiche che sismiche, con riferimento al "coefficiente di spinta attiva" determinato in accordo alle formulazioni di Mononobe-Okabe, nell'ipotesi di superficie di scivolamento piana.



dove:

- ϕ' = angolo di attrito del terreno;
- δ = angolo di attrito al contatto;
- ψ = inclinazione paramento di monte;
- β = inclinazione della superficie;
- $\theta = \arctan(k_h / 1 \pm k_v)$ (in assenza di falda);
- $\theta = (\gamma / \gamma - \gamma_w) \cdot \text{arctg}(k_h / 1 \pm k_v)$ (in presenza di falda);
- k_h = coeff. accelerazione sismica orizzontale;
- k_v = coeff. accelerazione sismica verticale.

Il coefficiente di accelerazione sismica orizzontale vale:

$$K_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{\max}$$

$\alpha = 1,00$ (funzione del suolo e dell'altezza complessiva della paratia)

$\beta = 0,50$ (funzione dello spostamento massimo della paratia)

$$a_{\max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g/g = 1,19 \cdot 1,40 \cdot 0,208 \text{ g} = 0,346 \text{ g}$$

$$K_{h,SLV} = 1,00 \cdot 0,50 \cdot 0,346 = \mathbf{0,173 \text{ g}}$$

Il coefficiente di accelerazione sismica verticale per le paratie vale:

$$K_{v,UP} = 0$$

$$K_{v,DW} = 0$$

Essendo l'angolo di attrito del terreno "spingente" $\phi = 30^\circ$

i coefficienti di spinta attiva orizzontale nei 3 casi

(statico, sisma up, sisma down) valgono:

$$K_{a,statico} = \mathbf{0,297}$$

$$K_{a, sisma UP} = \mathbf{0,428}$$

$$K_{a, sisma DW} = \mathbf{0,428}$$

Noti i valori di spinta attiva possiamo ricavare le pressioni orizzontali efficaci:

1) Spinta del terreno in condizione statica:

$$\gamma t \cdot H1 \cdot K_{a,statico} = 2000 \text{ daN/m}^3 \cdot 8,00 \text{ mt} \cdot 0,297 = 4752 \text{ daN/m}^2$$

2) Spinta del sovraccarico:

sovraccarico accidentale:

4000 daN/m² (prudenziale)

$$q \cdot K_{a,statico} = 4000 \text{ daN/m}^2 \cdot 0,297 = 1188 \text{ daN/m}^2$$

3) Spinta del terreno in condizione sismica (sisma DW):

$$\gamma_t \cdot H \cdot (1 + K_{v, DW}) \cdot K_{a, \text{sisma DW}} = 2000 \text{ daN/m}^3 \cdot 8,00 \text{ mt} \cdot (1+0,000) \cdot 0,428 = 6848 \text{ daN/m}^2$$

Si modella la struttura con il programma agli elementi finiti Straus7.

I tiranti sono modellati introducendo la rigidezza assiale propria dell'elemento che vale:

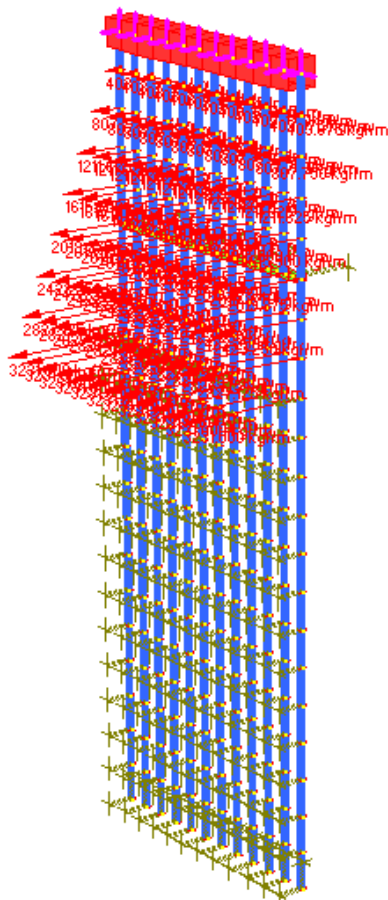
$$E \cdot A / L = 2100000 \cdot 8,03 / (15,00 - 4,00) = 1533000 \text{ daN/m}$$

La rigidezza delle molle che simulano il terreno viene assunta, in via prudentiale e a favore della sicurezza, pari a 1 kg/cm^3 .

Si riportano in via grafica le immagini significative del modello agli elementi finiti e le evidenze delle sollecitazioni trovate.

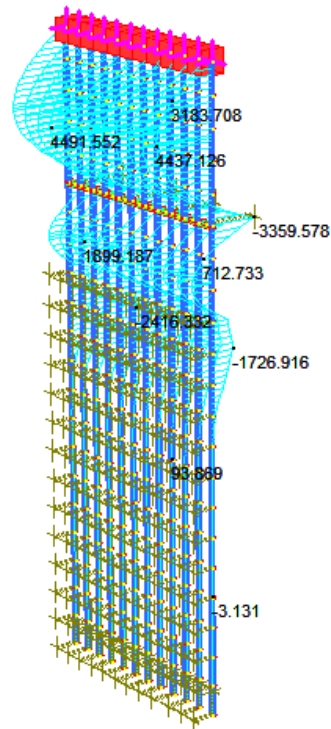
Le combinazioni di calcolo esaminate sono le seguenti:

- SPINTA DEL TERRENO + SPINTA DA SOVRACC. ACCIDENTALE **(COMB.1) - STATICA**
- SPINTA DEL TERRENO IN CONDIZIONE SISMICA **(COMB.2) - S.L.V.**



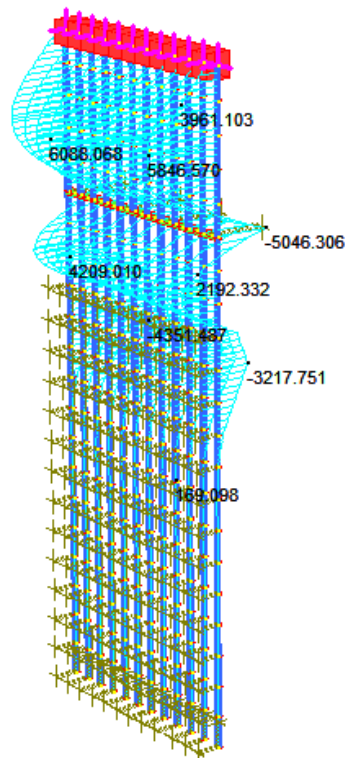
modello f.e.m "berlinese tratto centrale"

	MIN	MAX
BM1(kgf.m)	-3359.578	4491.552
	[Bm:281]	[Bm:228]

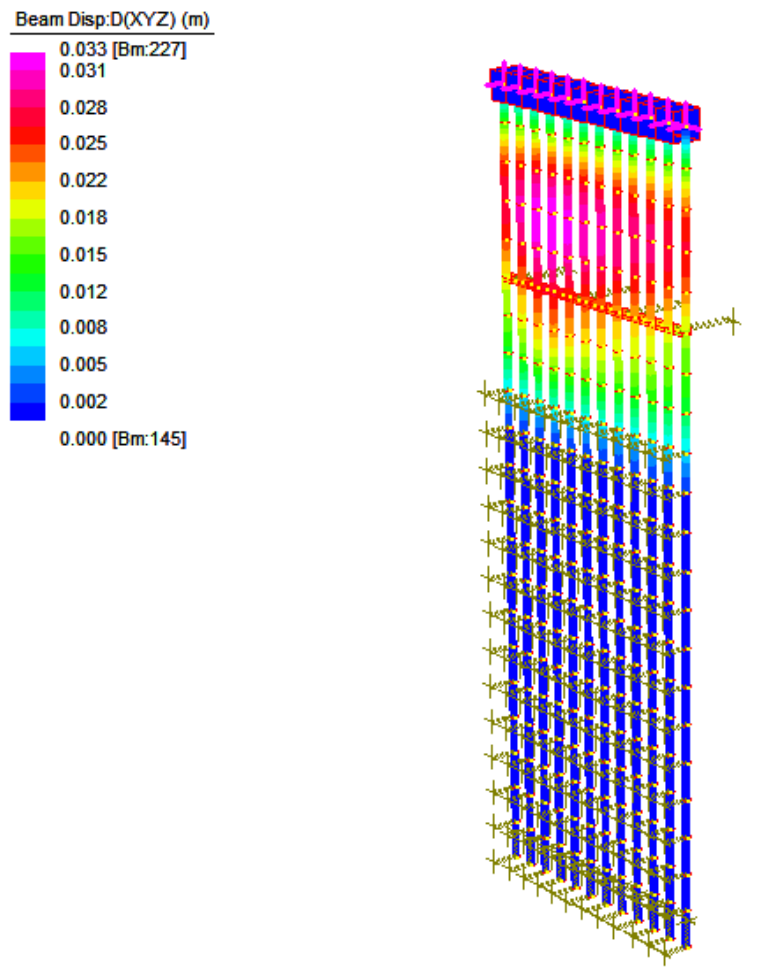


momento flettente: **COMB 1-STATICA** (Mmax,microp. = 4491 daN m)

	MIN	MAX
BM1(kgf.m)	-5046.306	6088.068
	[Bm:281]	[Bm:228]



momento flettente: **COMB 2 -S.L.V.** (Mmax,microp. = 6088 daN m)



spostamento max: **COMB 1-STATICA** (fmax = 3,3 cm a -4,20 mt da piano stradale)

5.1. Verifica micropalo

Si riportano le proprietà statiche dei micropali $\phi 220/8$ mm:

$$A = \pi \cdot 22^2 / 4 - \pi \cdot 20,4^2 / 4 = 53,25 \text{ cm}^2$$

$$p = 0,785 \cdot 53,25 = 41,80 \text{ kg/mt}$$

$$W = 272,37 \text{ cm}^3$$

$$J = \pi \cdot 22^4 / 64 - \pi \cdot 20,4^4 / 64 = 2996 \text{ cm}^4$$

Combinazione 1 - statica

ϕ 22 cm

$\pi \cdot 22 \sim 69,1$ cm

L bulbo = 1100 cm

A bulbo = $1100 \cdot 69,1 = 76010$ cm²

$\tau_{\text{filamento}} = N_{ED} / A_{\text{bulb}} = 61971/76010 = 0,81$ kg/cm² < $\sigma \cdot \tan\phi = 1,5 \cdot 0,58 = 0,87$ kg/cm²

PROFILO DI CONTRASTO

Il momento flettente massimo sul profilo di contrasto vale:

Combinazione 1 - statica

Verifica alle tensioni

2 UPN 240

A = $42,43 \times 2 = 84,86$ cm²

W_{prof-accoppiati} = 604,32 cm³

$\sigma_{\text{max}} = M_f / W = 851900 / 604,32 = 1409$ daN/cm² < σ_{max}

→ verifica soddisfatta

Combinazione 2 - sismica

Verifica sismica allo S.L.U.

M_{f,max} = 14010 kg m

$\sigma_{\text{max}} = M_f / W = 1401000 / 604,32 = 2318$ daN/cm² < f_{yd}

essendo f_{yd} = f_{yk} / γ_s = 3550 / 1.05 = 3380 daN /cm²

→ verifica soddisfatta

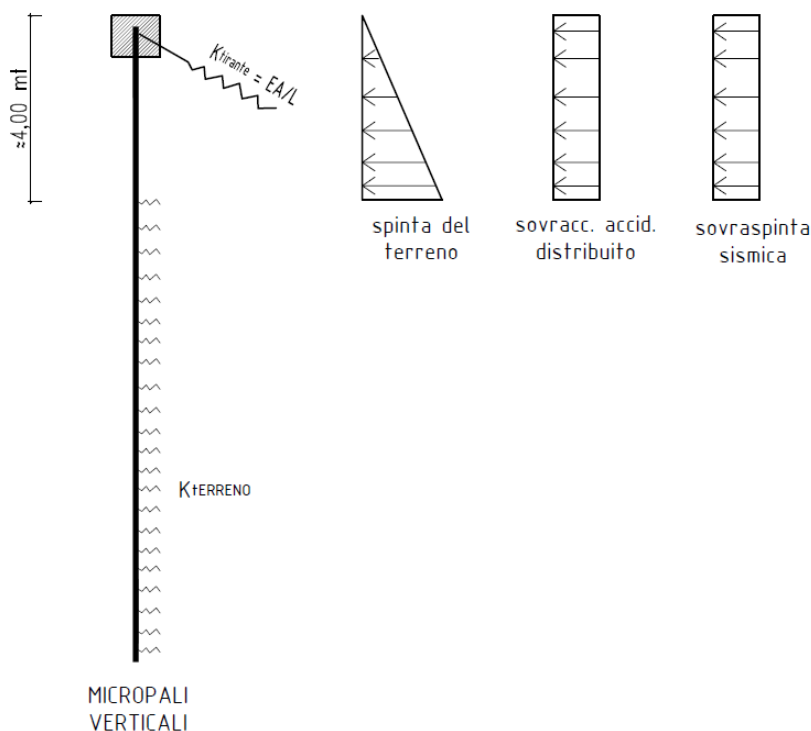
6. Verifica berlinese "tratti laterali"

In testa ai micropali è presente il cordolo in c.a. 80 x 76,5 cm.

Tale cordolo è inoltre tirantato per mezzo di 2 tiranti costituiti da barre diwidag $\phi 32$ posti sempre nel cordolo in c.a e aventi inclinazione di 30° rispetto all'orizzontale.

I tiranti sono posti ad interasse circa 4,50 mt tra loro.

I micropali sono costituiti da 1 micropalo diritto e da uno inclinato (inclinazione di 15° circa rispetto alla verticale) alternati e a passo 75 cm tra loro.



1) Spinta del terreno in condizione statica:

$$\gamma t \cdot H^3 \cdot K_{a,statico} = 2000 \text{ daN/m}^3 \cdot 4,00 \text{ mt} \cdot 0,297 = 2376 \text{ daN/m}^2$$

2) Spinta del sovraccarico:

sovraccarico accidentale:

4000 daN/m² (prudenziale)

$$q \cdot K_{a,statico} = 4000 \text{ daN/m}^2 \cdot 0,297 = 1188 \text{ daN/m}^2$$

3) Spinta del terreno in condizione sismica (sisma DW):

$$\gamma t \cdot H \cdot (1 + K_{v, DW}) \cdot K_{a, sisma DW} = 2000 \text{ daN/m}^3 \cdot 4,00 \text{ mt} \cdot (1+0,000) \cdot 0,428 = 3424 \text{ daN/m}^2$$

Si modella la struttura con il programma agli elementi finiti Straus7.

I tiranti sono modellati introducendo la rigidezza assiale propria dell'elemento che vale:

$$E \cdot A / L = 2100000 \cdot 8,03 / (20,00 - 6,00) = 1204500 \text{ daN/m}$$

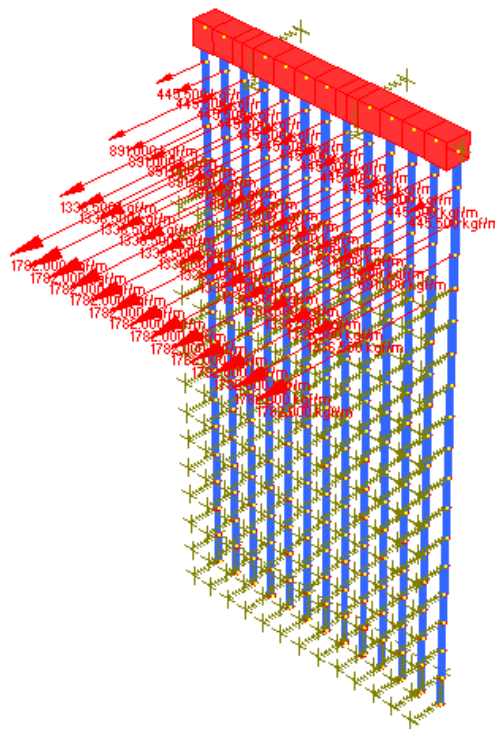
Essendo i tiranti inclinati di circa 30° rispetto all'orizzontale nel modello di calcolo viene scomposta la rigidezza nelle 2 componenti verticale e orizzontale in modo da ottenere in fase di output direttamente lo sforzo assiale agente nel tirante.

La rigidezza delle molle che simulano il terreno viene assunta, in via prudentiale e a favore della sicurezza, pari a 1 kg/cm³.

Si riportano in via grafica le immagini significative del modello agli elementi finiti e le evidenze delle sollecitazioni trovate.

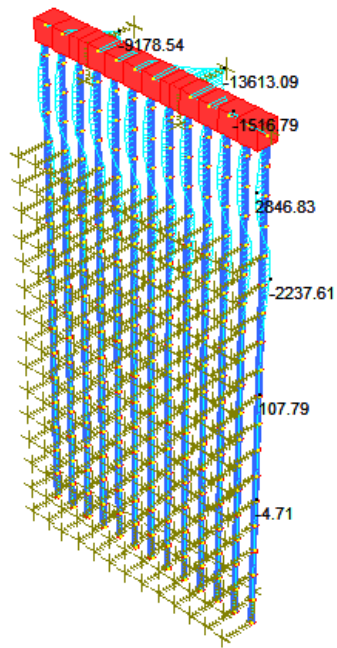
Le combinazioni di calcolo esaminate sono le seguenti:

- SPINTA DEL TERRENO + SPINTA DA SOVRACC. ACCIDENTALE **(COMB.1) - STATICA**
- SPINTA DEL TERRENO IN CONDIZIONE SISMICA **(COMB.2) - S.L.V.**



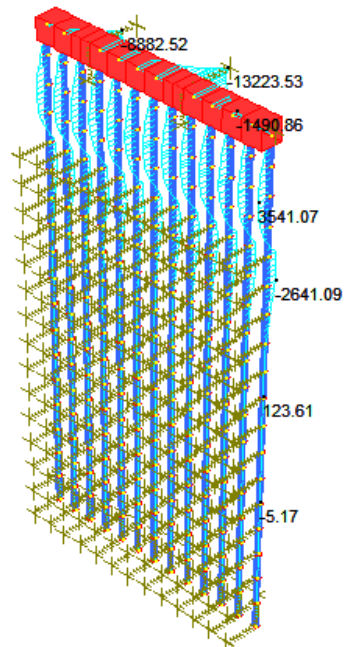
modello f.e.m "berlinese tratto laterale"

	MIN	MAX
BM1(kgf.m)	-13613.09	2846.83
	[Bm:27]	[Bm:248]

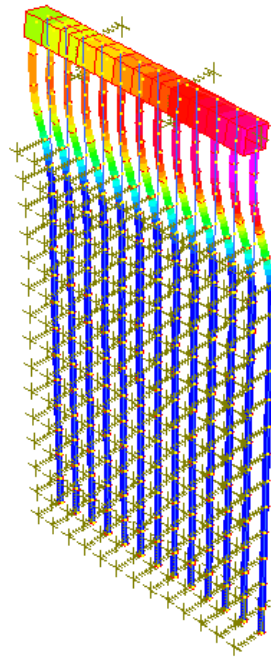
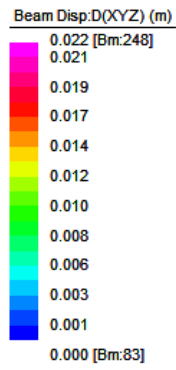


momento flettente: **COMB 1-STATICA** (Mmax,microp. = 2846daN m)

	MIN	MAX
BM1(kgf.m)	-13223.53	3541.07
	[Bm:27]	[Bm:247]



momento flettente: **COMB 2 -S.L.V.** (Mmax,microp. = 3541 daN m)



spostamento max: **COMB 1-STATICA** ($f_{max} = 2,2 \text{ cm}$ a $-2,00 \text{ mt}$ da piano stradale)

6.1. Verifica micropalo

Combinazione 1 - statica

Verifica alle tensioni:

$$M_{f,max} = 2846 \text{ daN m}$$

$$\sigma_{max} = M / W = 284600 / 272,37 = 1045 \text{ daN/cm}^2 < \sigma_{lim}$$

→ verifica soddisfatta

Combinazione 2 - sismica

Verifica sismica allo S.L.U.

$$M_{f,max} = 3541 \text{ daN m}$$

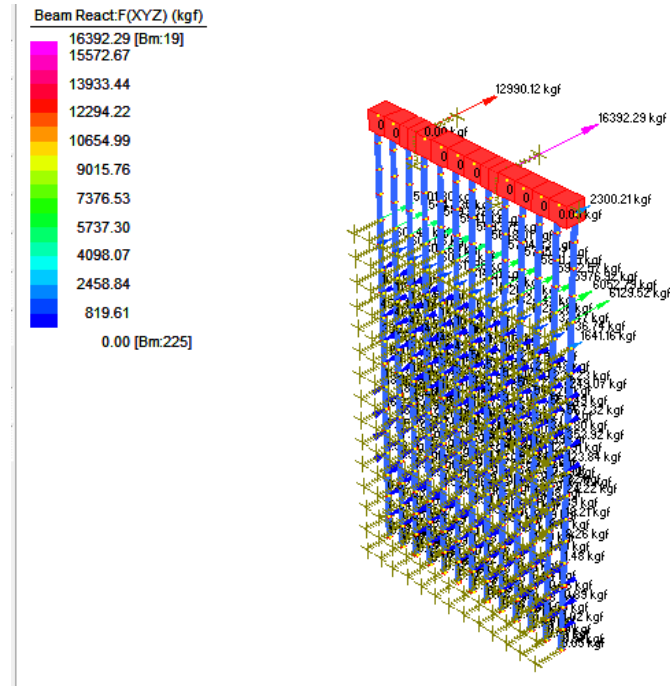
$$\sigma_{max} = M / W = 354100 / 272,37 = 1300 \text{ daN/cm}^2 < f_{yd}$$

$$\text{essendo } f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 3550 / 1.05 = 3380 \text{ daN /cm}^2$$

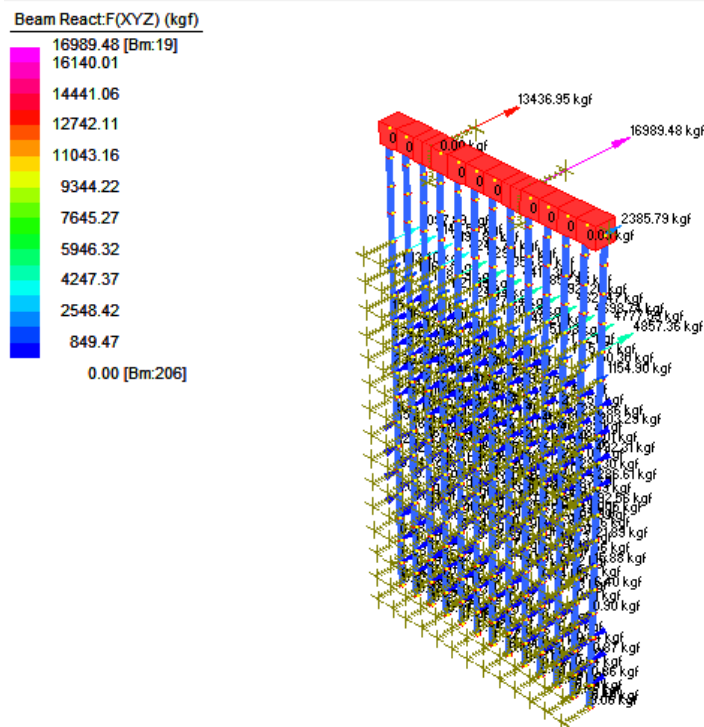
→ verifica soddisfatta

6.2. Verifica tirante

Si riportano le reazioni massime nel tirante nelle 2 combinazioni di carico esaminate.



COMB 1-STATICA (Rmax = 16392 daN)



COMB 2-S.L.V. (Rmax = 16989 daN)

1) verifica lato acciaio

Sono presenti nr. 4 tiranti passivi costituiti da barre dywidag $\phi 32$ aventi lunghezza pari a 15,00 mt e diametro di perforazione circa $\phi 22$ cm.

$$L_{\text{utile}} = 20,00 - 6,00 = 14,00 \text{ mt (lunghezza utile del tirante)}$$

$$N_{ED} \text{ (SLV)} = 20200 \text{ daN}$$

$$A_{\text{barra } \phi 32} = 8,03 \text{ cm}^2$$

$$f_{yk} = 9500 \text{ daN/cm}^2$$

$$f_{yd} = 9500 / 1,15 = 8260 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{lim}} = 8,03 \cdot 8260 \approx 66327 \text{ daN} > N_{ED} (=16989 \text{ daN}) \rightarrow \text{verifica soddisfatta}$$

2) verifica acciaio-bulbo

$$\phi 32 \text{ mm}$$

$$\pi \cdot 3,2 = 10,05 \text{ cm}$$

$$L \text{ bulbo} = 2000 - 600 = 1400 \text{ cm}$$

$$A \text{ bulbo} = 1400 \cdot 10,05 = 14070 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{\text{filamento}} = N_{ED} / A_{\text{bulb}} = 16989 / 14070 = 1,20 \text{ kg/cm}^2$$

3) verifica bulbo-terreno

$$\phi 20 \text{ cm}$$

$$\pi \cdot 20 \sim 62,8 \text{ cm}$$

$$L \text{ bulbo} = 1400 \text{ cm}$$

$$A \text{ bulbo} = 1400 \cdot 62,8 = 87920 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{\text{filamento}} = N_{ED} / A_{\text{bulb}} = 16989 / 87920 = 0,19 \text{ kg/cm}^2 < \sigma \cdot \tan \phi = 1,0 \cdot 0,58 = 0,58 \text{ kg/cm}^2$$

6.3. Verifica cordolo di sommità

CIs

C28/35

Acciaio da c.a.

B450 C

Verifica alle tensioni (comb. 1 -statica)

flessione

interasse tiranti: 4,50 mt circa

B = 76.5 cm

H = 80 cm

c = 5cm (copriferro all'asse)

$M_{f,max}$ (comb statica) = 13223 daN m

$$A_{f,min} = M / (0,9 \cdot d \cdot f_{yd}) = 1322300 / (0,9 \cdot 75 \cdot 2000) = 9,79 \text{ cm}^2$$

Si adotta una armatura tecnica superiore alla minima calcolata.

Verifica allo stato limite ultimo (comb. 2 -sismica)

Verifica a flessione

$M_{ED,max}$ = 13613 daN m

Adottando 4 ϕ 20 si ottiene:

$$M_{RD} = A_f \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{yd} = 12,56 \cdot 0,9 \cdot 75 \cdot 3913 = 33174 \text{ daN m} > M_{ED} (= 13613 \text{ daN m})$$

Verifica a taglio

V_{ED} = 9412 daN

Elementi senza armatura resistenti al taglio:

4 ϕ 20

B = 76.5 cm

d = 75 cm

$$V_{RD} = 20211 \text{ daN} \rightarrow V_{RD} / V_{ED} = 2,1 > 1,0$$

Si adotterà comunque una opportuna staffatura tecnica.