



LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI AGRIGENTO

ai sensi della L.R. n 15/2015

**OGGETTO: PROGETTO PER I LAVORI DI M.S. E MESSA IN SICUREZZA
DELLE SS.PP. N 85 A GROTTA - SCINTILLIA E 51 GROTTA - COMITINI.**

CUP : B47H24000920002

Progetto Esecutivo

Rev. n. 0 del _ / _ /2024

ELABORATI

12 – Calcoli statici

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Progettista e Coord sicurezza:

- Ing. Filippo Napoli

Geologo:

dott. geol. Antonio Bunone

Direttori Operativi:

- Geom. Toto' Cacciatore

- Geom. Carmelo Sciume

- Geom. Davide Moncada

II VERIFICATORE

- Arch. Alfonso Giulio

IL PROGETTISTA

Ing. FILIPPO NAPOLI

Agrigento, li

17 DIC. 2024

**Elab.
N.**

12

Calcoli statici

Ai sensi dell'art. 42 del D.Lgs n° 36/2023

IL RUP

Ing. Angela Rizzo

Agrigento, li

18 GEN. 2025

IL VERIFICATORE

Arch. Alfonso Giulio

Agrigento li

17 0 GEN. 2025

Libero Consorzio Comunale di Agrigento

ANALISI DI PARATIE A SBALZO ED ANCORATE

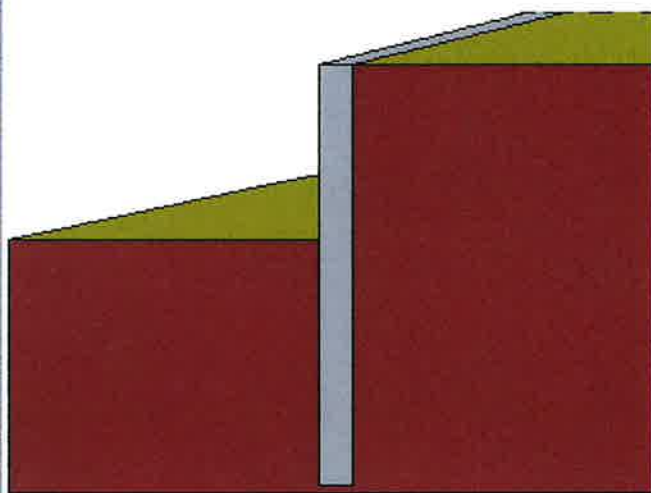
Ai sensi del D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni"

Oggetto:

LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA E MESSA IN SICUREZZA DELLE
SS.PP. N. 85A "GROTTE SCINTILLIA - C.DA CERASA" E N. 51 "GROTTE - COMITINI".

RELAZIONE DI CALCOLO DI PARATIA IN C.A.

Data:



Il Progettista e Calcolatore

(Ing. Filippo Napoli)

METODO DI CALCOLO FEM

1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.M. 17/01/2018:

- Norme tecniche per le costruzioni.

Circolare CSLLPP n. 7 del 21/01/2019:

- 'Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.'

2. CENNI TEORICI

2.1. CALCOLO DELLE SPINTE

Si fa ricorso al metodo dell' equilibrio limite globale utilizzando il procedimento di COULOMB con l'aggiunta delle forze d'inerzia $kh \cdot W$ (Mononobe e Okabe) in quanto oltre che il più utilizzato ed intuitivo e' anche capace di tenere in conto tutte le variabili piu' significative del problema, nell'ipotesi che l'opera di sostegno puo' subire movimenti tali da produrre nel terreno retrostante un regime di spinta attiva.

L'azione sismica viene definita mediante un'accelerazione equivalente costante nello spazio e nel tempo, con componente orizzontale (a_h) ed eventualmente se presente anche la componente verticale (a_v).

I valori di a_h ed eventuale a_v vengono ricavati in funzione delle proprietà del moto sismico atteso nel volume di terreno significativo per l'opera e della capacità dell'opera di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza

La spinta totale, in presenza di sisma, di progetto Ed esercitata dal terrapieno ed agente sull'opera di sostegno, vale:

$$E_d = 1/2 \gamma t (1 \pm k_v) H^2 K + S_{ws}$$

Dove:

H = spessore dello strato;

S_{ws} = spinta idrostatica;

γt = peso specifico del terreno;

K = coefficiente di spinta del terreno (statico + dinamico);

Per stati di spinta attiva

se $\beta \leq (\phi - \theta)$ si ha:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\phi - \theta - \delta) \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \sin(\psi + \beta)}} \right\}^2}$$

se $\beta > (\phi - \theta)$ si ha:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta)}$$

Per stati di spinta passiva (resistenza a taglio nulla tra terreno e muro):

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi + \theta) \left\{ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi) \sin(\phi + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \beta) \sin(\psi + \theta)}} \right\}^2}$$

Con :

$$\tan \theta = (kh) / (1 \pm K_v)$$

e

$$a_h = kh \cdot g = \alpha \cdot \beta_s \cdot a_{\max} = S_s \cdot S_t \cdot a_{g_{\max}} \text{ da cui si ha: } kh = a_h / g \text{ ed eventualmente se presente } K_v = 0.5 Kh$$

Dove per i vari parametri si ha che:

ϕ = angolo attrito del terreno;
 ψ = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete dell'opera di sostegno;
 β = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno;
 δ = angolo di resistenza a taglio tra terreno e muro;
 θ = angolo definito dalle espressioni precedenti;
 a_h = componente orizzontale dell'accelerazione equivalente;
 a_v = componente verticale dell'accelerazione equivalente;
 k_h = coefficiente sismico orizzontale;
 k_v = coefficiente sismico verticale;
 g = accelerazione di gravità;
 α = coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 del DM 17/01/18);
 β_s = coefficiente di spostamento (Figura 7.11.3 del DM 17/01/18);
 S_s = Fattore di suolo funzione della categoria del suolo e di amplificazione stratigrafica;
 S_t = Fattore di amplificazione topografica;
 $a_{g_{max}}$ = accelerazione orizzontale massima attesa sul sito di riferimento rigido;

La spinta agente sull'opera di sostegno viene scomposta in una componente statica (S_{sa}) ed una dinamica (S_{dae}).

La componente statica, si ottiene ponendo $\theta = 0$, nell'espressione del coefficiente di spinta e sarà applicata ad $H/3$. La componente dinamica $D_s = S_{dae} - S_{sa}$, sarà applicata ad $H/2$.

Entrambe le componenti saranno scomposte in una orizzontale ed in una verticale;

La forza d'inerzia $k_h \cdot W$, con W peso dell'opera di sostegno sarà applicata ad $H/2$.

2.2. SPINTA IN PRESENZA DI FALDA

L'acqua supposta in quiete e con superficie distante H_w dalla base dell'opera, genera delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla generica profondità z , valgono:

$$P_w(z) = \gamma_w \cdot z \quad \text{per} \quad z = H_w, P_w(H_w) = \gamma_w \cdot H_w$$

Pertanto la spinta vale: $S_{ws} = 1/2 \gamma_w \cdot H_w^2$

La spinta del terreno immerso si modifica sostituendo γ_t con γ'_t , peso specifico del materiale immerso in acqua:

$$\gamma'_t = \gamma_{saturo} - \gamma_w$$

3. DATI GENERALI

3.1. DATI SISMICI

Zona Sismica	: 2
Categoria topografica	: T2
Categoria di suolo	: B
Vita nominale [anni]	: 50
Tipo di opera	: Opere ordinarie
Classe d'uso	: II
S_s	: 1.20
S_t	: 1.20
Accel. orizz. max attesa al sito (a_{max}) = $S_s \cdot S_t \cdot A_g$	: 0.108
Aliquota di accelerazione sismica	: 0.108
Coeff. deformabilità	: 0.9343
Coeff. di spostamento	: 0.6139
Coefficiente sismico orizzontale (K_h)	: 0.0663
Coefficiente sismico verticale (K_v)	: 0.0000
Spostamento max ammesso [m]	: 0.0500

COORDINATE DEL SITO (Datum ED50): LONGITUDINE: 13.6333° - LATITUDINE: 37.6322°			
Identificativi e coordinate (Datum ED50) dei punti che includono il sito			
Numero punto	Longitudine [°]	Latitudine [°]	
47399	13.6167	37.6349	
47400	13.6797	37.6348	
47621	13.6166	37.5849	
47622	13.6795	*	37.5848
Dati SLV			
Tempo di ritorno	Accelerazione sismica Ag	Coefficiente Fo	Periodo TC*
475	0.075	2.577	0.379

3.2. DATI TOPOGRAFICI

Altezza terrapieno = 200 cm

Altezza terrapieno di calcolo = 220 cm

(Altezza terrapieno di calcolo aumentata per tenere conto delle possibili variazioni del profilo del terreno a monte ed a valle del paramento rispetto ai valori nominali, punto 6.5.2.2 NTC 17/01/2018)

Inclinazione p.c. a monte = 0.00 °

Inclinazione p.c. a valle = -15.00 °

3.3. FATTORI DI SICUREZZA RIDUTTIVI ADOTTATI

Quoziente riduttivo Resistenza passiva = 1.40

Quoziente riduttivo tan(Ang. Attr) = 1.10

Quoziente riduttivo coesione = 1.10

Dati Tipologia II

Disposizione: Pali su due file

Diametro = 80 cm

Copriferro = 3.00 cm

Interasse longitudinale = 90 cm

Interasse trasversale = 90 cm

Lunghezza palificata = 2500.00 cm

3.4. TRAVE DI CORONAMENTO

Base trave = 180 cm

Altezza trave = 160 cm

Copriferro trave = 3.00 cm

3.5. MATERIALI

CALCESTRUZZO

Nom e	Class e	Rck [daN/cm ²]	v	ps [daN/m ³]	αt [1/°C]	Ec [daN/cm ²]	γ _m c	Ect /Ec	fck [daN/cm ²]	fed SLU [daN/cm ²]	fetd SLU [daN/cm ²]	fctk,0.05 [daN/cm ²]	fctm [daN/cm ²]	sc2 [%]	scu 2 [%]
CLS 300	C25/30	300	0.15	2500.00	1.0E-005	314758.06	1.50	0.50	250.00	141.67	11.97	17.95	25.65	2.00	3.50

ACCIAIO ARMATURE

Nome	Tipo	γ_m	γ_E	E_s [daN/cm ²]	f_{yk} [daN/cm ²]	f_{tk} [daN/cm ²]	f_d SLU [daN/cm ²]	k	ϵ_{ud} [%]
FeB44K	B450C	1.15	-	2100000.00	4500.00	5400.00	3913.04	1.00	10.00

3.6. DATI GEOTECNICI STRATIGRAFIA

	H (cm)	c (daN/m ²)	c _u (daN/m ²)	ϕ (°)	γ_t (daN/m ³)	δ_m (°)	δ_v (°)
Strato 1	1200	0	0	33	2157	16	16
Strato 2	300	980	4903	23	1863	11	11
Strato 3	1500	0	0	33	2157	16	16

3.7. COMBINAZIONI E COEFFICIENTI PARZIALI NELLA VERIFICA DELLA PARATIA

La verifica della struttura di sostegno viene effettuata sulla base delle combinazioni seguenti.

COMBINAZIONI DI CALCOLO

Combinazione n.1 - A1 + M1 + R1

Combinazione n.2 - A2 + M2 + R1

Combinazione n.3 - EQU + M2 + R1

Combinazione n.4 - A1* + M1 + R1 $\pm$ Sisma

Combinazione n.5 - A2* + M1 + R1 $\pm$ Sisma

Combinazione n.6 - EQU* + M1 + R1 $\pm$ Sisma

COMBINAZIONE DI CALCOLO - Verifica a stabilità globale

Combinazione Stab. Glob - A2 + M2 + R2

I coefficienti parziali adottati in ogni combinazione elaborata per la verifica della paratia, vengono definite nelle seguenti tabelle dei coefficienti

Coefficienti per le azioni o per l'effetto delle azioni

Carichi	Effetto	Coeff. Parz.	A1 (STR)	A2 (GEO)	EQU	A1*	A2*	EQU*
Permanenti	Favorevoli	γ_{G1}	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0
	Sfavorevoli		1.3	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0
Permanenti non. Strutt.	Favorevoli	γ_{G2}	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0
	Sfavorevoli		1.5	1.3	1.5	1.0	1.0	1.0
Variabili	Favorevoli	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0
	Sfavorevoli		1.5	1.3	1.5	1.0	1.0	1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza a cui applicare i coeff. parz.	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\tan\phi$	1.00	1.25
Coesione	C	1.00	1.25
Coesione non drenata	C_u	1.00	1.40
Peso dell'unita' di volume	γ	1.00	1.00

Coefficienti parziali resistenze

Coefficiente Parziale	Ri
R1(Resistenza del terreno a valle)	1.00
R2 (Coeff. stabilita' globale)	1.10

3.8. SOVRACCARICHI

LINEE DI CARICO a Monte

Variabile

Q_{vlm} = 500.00 daN/m
 X_{qvlm} = 0 daN/m

STRISCE DI CARICO a Monte

Variabile

Q_{vsm} = 500.00 daN/m²
 x_{1m} = 0 cm
 x_{2m} = 3000 cm

CARICO UNIFORME a Monte

Permanente

Q_{vm} = 500 daN/m²

CARICO UNIFORME a Monte

Permanente non Strutturale

Q_{vm} = 500 daN/m²

CARICO UNIFORME a Monte

Variabile

Q_{vm} = 500 daN/m²

3.9. MODULO DI REAZIONE k_s DEL TERRENO

Il metodo degli elementi finiti fa uso di un sistema di molle 'ks' applicate ai conci presenti in zona compresa tra fondo scavo ed estremità di infissione. La stima di k_s è stata effettuata sulla base della capacità portante secondo la seguente formula:

$$K_s = A_s + B_s * Z$$

dove:

A_s = costante, per elementi orizzontali e verticali;

$A_s = \text{cost} * (C * N_c + 0.5 * G * N_g)$

B_s = coefficiente di profondità;

$B_s = \text{cost} * ((G * N_q))$;

Z = profondità in esame;

dove: AS e BS sono funzione dei Coefficienti di portanza di Hansen.

cost = funzione del sistema di misura adottato;

$n = (\pi \tan \phi)$;

$Nq = e^n \tan^2(45^\circ + \phi/2)$;

$Nc = (Nq-1) \cot \phi$;

$Ng = 1.5 (Nq-1) \tan \phi$;

3.10. ANCORAGGI

Gli ancoraggi vengono considerati elementi con area della sezione trasversale pari ad A, modulo di elasticità E e lunghezza L. L'azione interna per tiranti inclinati di un angolo β e posti ad interasse S si determina come:

$$K_{tir} = \frac{AE}{SL} * \cos(\beta) * \text{interasse}$$

4. MODELLO DI CALCOLO

Nr. nodo	Sez. (cm)	Ks (daN/cm³)	Ktir (daN/cm)
1	0	0.00	0.00
2	37	0.00	0.00
3	73	0.00	0.00
4	110	0.00	0.00
5	147	0.00	0.00
6	183	0.00	0.00
7	220	1.06	0.00
8	302	3.10	0.00
9	385	4.91	0.00
10	468	6.72	0.00
11	550	8.53	0.00
12	632	10.57	0.00
13	715	12.38	0.00
14	798	14.19	0.00
15	880	16.00	0.00
16	962	18.04	0.00
17	1045	19.85	0.00
18	1128	21.67	0.00
19	1210	6.49	0.00
20	1292	6.99	0.00
21	1375	7.44	0.00
22	1458	7.89	0.00
23	1540	30.95	0.00
24	1622	32.99	0.00
25	1705	34.80	0.00

26	1788	36.61	0.00
27	1870	38.42	0.00
28	1952	40.46	0.00
29	2035	42.27	0.00
30	2118	44.08	0.00
31	2200	45.89	0.00

Rigidezza assiale nodo finale Kz = 332360 daN/cm

5. RISULTATI DI CALCOLO

5.1. RISULTATI DI CALCOLO - Combinazione A1 + M1 + R1

COEFFICIENTI DI SPINTA

Ka : coefficiente di spinta attiva statica;
Kas : coefficiente di spinta attiva dinamica;
Kp : coefficiente di spinta passiva;

	Ka	Kas	Kp
Strato 1	0.27	0.27	2.07
Strato 2	0.40	0.40	1.46
Strato 3	0.27	0.27	2.07

Altezza terrapieno = 220 cm

ANDAMENTO DELLE PRESSIONI E DELLE SOLLECITAZIONI

Nr. nodo	Sez. (cm)	p (daN/cm ²)	Nmin (daN)	Nmax (daN)	Tmin (daN)	Tmax (daN)	Mmin (daNm)	Mmax (daNm)	SpostMin (cm)	SpostMax (cm)
1	0	0.22	0	0	0	0	0	0	-0.16	0.00
2	37	0.13	0	465	0	183	0	-23	-0.15	0.00
3	73	0.15	0	917	0	466	0	-144	-0.13	0.00
4	110	0.17	0	1382	0	701	0	-359	-0.12	0.00
5	147	0.20	0	1847	0	972	0	-667	-0.11	0.00
6	183	0.23	0	2300	0	1275	0	-1070	-0.09	0.00
7	220	0.19	0	2765	0	1358	0	-1607	-0.08	0.00
8	302	-0.02	0	3795	0	1113	0	-3046	-0.05	0.00
9	385	-0.21	0	4838	0	642	0	-4153	-0.02	0.00
10	468	-0.40	0	5881	0	101	0	-4551	0.00	0.00
11	550	-0.59	0	6912	-225	0	0	-4216	0.00	0.01
12	632	-0.80	0	7942	-212	0	0	-3328	0.00	0.03

13	715	-0.99	0	8985	0	77	0	-2126	0.00	0.04
14	798	-1.18	0	10028	0	613	0	-847	0.00	0.04
15	880	-1.37	0	11058	0	1437	249	0	0.00	0.05
16	962	-1.58	0	12089	0	2733	953	0	0.00	0.05
17	1045	-1.77	0	13132	0	4596	920	0	0.00	0.06
18	1128	-1.96	0	14175	0	7185	0	-343	0.00	0.06
19	1210	-1.08	0	15205	0	3102	0	-3458	0.00	0.07
20	1292	-1.16	0	16236	0	552	0	-3480	0.00	0.07
21	1375	-1.24	0	17279	-498	0	0	-2223	0.00	0.06
22	1458	-1.32	0	18322	-1963	0	36	0	0.00	0.06
23	1540	-2.83	0	19352	0	3890	3564	0	0.00	0.05
24	1622	-3.04	0	20383	0	6843	3133	0	0.00	0.05
25	1705	-3.23	0	21426	0	7071	1954	0	0.00	0.05
26	1788	-3.42	0	22469	0	7315	901	0	0.00	0.05
27	1870	-3.61	0	23499	0	7654	0	-111	0.00	0.05
28	1952	-3.82	0	24530	0	7911	0	-1115	0.00	0.05
29	2035	-4.01	0	25573	0	7351	0	-1975	0.00	0.05
30	2118	-4.20	0	26616	0	5012	0	-2054	0.00	0.04
31	2200	-4.39	0	27646	-10136	0	0	0	0.00	0.03

Spostamento assiale nodo finale z

= -0.08318 cm

5.2. RISULTATI DI CALCOLO - Combinazione A2 + M2 + R1**COEFFICIENTI DI SPINTA**

Ka : coefficiente di spinta attiva statica;
 Kas : coefficiente di spinta attiva dinamica;
 Kp : coefficiente di spinta passiva;

	Ka	Kas	Kp
Strato 1	0.33	0.33	1.71
Strato 2	0.46	0.46	1.23
Strato 3	0.33	0.33	1.71

Altezza terrapieno

= 220 cm

ANDAMENTO DELLE PRESSIONI E DELLE SOLLECITAZIONI

Nr. nodo	Sez. (cm)	p (daN/cm ²)	Nmin (daN)	Nmax (daN)	Tmin (daN)	Tmax (daN)	Mmin (daNm)	Mmax (daNm)	SpostMinn (cm)	SpostMax (cm)
1	0	0.20	0	0	0	0	0	0	-0.16	0.00

2	37	0.12	0	465	0	167	0	-21	-0.14	0.00
3	73	0.15	0	917	0	431	0	-132	-0.13	0.00
4	110	0.17	0	1382	0	656	0	-332	-0.12	0.00
5	147	0.19	0	1847	0	917	0	-622	-0.10	0.00
6	183	0.22	0	2300	0	1208	0	-1003	-0.09	0.00
7	220	0.19	0	2765	0	1279	0	-1512	-0.08	0.00
8	302	0.02	0	3795	0	986	0	-2878	-0.05	0.00
9	385	-0.13	0	4838	0	481	0	-3903	-0.03	0.00
10	468	-0.27	0	5881	-60	0	0	-4260	-0.01	0.00
11	550	-0.42	0	6912	-388	0	0	-3945	0.00	0.01
12	632	-0.59	0	7942	-407	0	0	-3136	0.00	0.02
13	715	-0.74	0	8985	-169	0	0	-2056	0.00	0.03
14	798	-0.89	0	10028	0	285	0	-924	0.00	0.03
15	880	-1.04	0	11058	0	968	36	0	0.00	0.04
16	962	-1.20	0	12089	0	2009	659	0	0.00	0.04
17	1045	-1.35	0	13132	0	3473	683	0	0.00	0.04
18	1128	-1.50	0	14175	0	5478	0	-259	0.00	0.05
19	1210	-0.82	0	15205	0	2365	0	-2632	0.00	0.05
20	1292	-0.89	0	16236	0	423	0	-2645	0.00	0.05
21	1375	-0.95	0	17279	-373	0	0	-1686	0.00	0.05
22	1458	-1.02	0	18322	-1495	0	37	0	0.00	0.04
23	1540	-2.18	0	19352	0	3003	2736	0	0.00	0.04
24	1622	-2.35	0	20383	0	5275	2398	0	0.00	0.04
25	1705	-2.50	0	21426	0	5454	1491	0	0.00	0.04
26	1788	-2.65	0	22469	0	5649	683	0	0.00	0.04
27	1870	-2.79	0	23499	0	5917	0	-95	0.00	0.04
28	1952	-2.96	0	24530	0	6122	0	-869	0.00	0.04
29	2035	-3.11	0	25573	0	5693	0	-1534	0.00	0.04
30	2118	-3.26	0	26616	0	3883	0	-1594	0.00	0.03
31	2200	-3.40	0	27646	-7860	0	0	0	0.00	0.03

Spostamento assiale nodo finale z

= -0.08318 cm

5.3. RISULTATI DI CALCOLO - Combinazione EQU + M2 + R1

COEFFICIENTI DI SPINTA

Ka : coefficiente di spinta attiva statica;
 Kas : coefficiente di spinta attiva dinamica;
 Kp : coefficiente di spinta passiva;

	Ka	Kas	Kp
Strato 1	0.33	0.33	1.71
Strato 2	0.46	0.46	1.23
Strato 3	0.33	0.33	1.71

Altezza terrapieno = 220 cm

ANDAMENTO DELLE PRESSIONI E DELLE SOLLECITAZIONI

Nr. nodo	Sez. (cm)	p (daN/cm ²)	Nmin (daN)	Nmax (daN)	Tmin (daN)	Tmax (daN)	Mmin (daNm)	Mmax (daNm)	SpostMin (cm)	SpostMax (cm)
1	0	0.20	0	0	0	0	0	0	-0.16	0.00
2	37	0.13	0	465	0	168	0	-21	-0.15	0.00
3	73	0.15	0	917	0	434	0	-133	-0.14	0.00
4	110	0.17	0	1382	0	667	0	-335	-0.12	0.00
5	147	0.20	0	1847	0	938	0	-631	-0.11	0.00
6	183	0.23	0	2300	0	1243	0	-1022	-0.10	0.00
7	220	0.20	0	2765	0	1318	0	-1547	-0.08	0.00
8	302	0.04	0	3795	0	998	0	-2965	-0.06	0.00
9	385	-0.10	0	4838	0	457	0	-4027	-0.03	0.00
10	468	-0.24	0	5881	-112	0	0	-4399	-0.01	0.00
11	550	-0.39	0	6912	-455	0	0	-4085	0.00	0.01
12	632	-0.55	0	7942	-479	0	0	-3273	0.00	0.02
13	715	-0.69	0	8985	-235	0	0	-2194	0.00	0.02
14	798	-0.83	0	10028	0	223	0	-1078	0.00	0.03
15	880	-0.98	0	11058	0	895	0	-146	0.00	0.03
16	962	-1.14	0	12089	0	1880	451	0	0.00	0.04
17	1045	-1.28	0	13132	0	3210	486	0	0.00	0.04
18	1128	-1.42	0	14175	0	4968	0	-344	0.00	0.04
19	1210	-0.70	0	15205	0	1949	0	-2411	0.00	0.05
20	1292	-0.77	0	16236	0	150	0	-2221	0.00	0.05
21	1375	-0.82	0	17279	-425	0	0	-1224	0.00	0.04
22	1458	-0.88	0	18322	-1290	0	343	0	0.00	0.04
23	1540	-2.08	0	19352	0	2987	2669	0	0.00	0.04
24	1622	-2.24	0	20383	0	5102	2152	0	0.00	0.03

25	1705	-2.38	0	21426	0	5165	1225	0	0.00	0.04
26	1788	-2.53	0	22469	0	5320	485	0	0.00	0.04
27	1870	-2.67	0	23499	0	5587	0	-199	0.00	0.04
28	1952	-2.83	0	24530	0	5807	0	-887	0.00	0.04
29	2035	-2.97	0	25573	0	5421	0	-1487	0.00	0.04
30	2118	-3.11	0	26616	0	3707	0	-1528	0.00	0.03
31	2200	-3.26	0	27646	-7521	0	0	0	0.00	0.02

Spostamento assiale nodo finale z = -0.08318 cm

5.4. RISULTATI DI CALCOLO - Combinazione A1* + M1 + R1 ± Sisma

COEFFICIENTI DI SPINTA

Ka : coefficiente di spinta attiva statica;
Kas : coefficiente di spinta attiva dinamica;
Kp : coefficiente di spinta passiva;

	Ka	Kas	Kp
Strato 1	0.27	0.30	2.07
Strato 2	0.40	0.44	1.46
Strato 3	0.27	0.30	2.07

Altezza terrapieno = 220 cm

ANDAMENTO DELLE PRESSIONI E DELLE SOLLECITAZIONI

Nr. nodo	Sez. (cm)	p (daN/cm ²)	Nmin (daN)	Nmax (daN)	Tmin (daN)	Tmax (daN)	Mmin (daNm)	Mmax (daNm)	SpostMin (cm)	SpostMax (cm)
1	0	0.17	0	0	0	0	0	0	-0.14	0.00
2	37	0.11	0	465	0	140	0	-17	-0.13	0.00
3	73	0.13	0	917	0	368	0	-112	-0.12	0.00
4	110	0.15	0	1382	0	574	0	-285	-0.10	0.00
5	147	0.18	0	1847	0	813	0	-541	-0.09	0.00
6	183	0.20	0	2300	0	1081	0	-880	-0.08	0.00
7	220	0.16	0	2765	0	1165	0	-1337	-0.07	0.00
8	302	-0.04	0	3795	0	1000	0	-2580	-0.04	0.00
9	385	-0.22	0	4838	0	631	0	-3559	-0.02	0.00
10	468	-0.40	0	5881	0	180	0	-3930	0.00	0.00
11	550	-0.58	0	6912	-95	0	0	-3656	0.00	0.02
12	632	-0.78	0	7942	-73	0	0	-2884	0.00	0.03

13	715	-0.96	0	8985	0	191	0	-1821	0.00	0.03
14	798	-1.14	0	10028	0	678	0	-676	0.00	0.04
15	880	-1.32	0	11058	0	1441	313	0	0.00	0.04
16	962	-1.52	0	12089	0	2661	950	0	0.00	0.05
17	1045	-1.70	0	13132	0	4436	894	0	0.00	0.05
18	1128	-1.88	0	14175	0	6921	0	-333	0.00	0.06
19	1210	-1.04	0	15205	0	2999	0	-3339	0.00	0.06
20	1292	-1.12	0	16236	0	541	0	-3372	0.00	0.06
21	1375	-1.19	0	17279	-485	0	0	-2163	0.00	0.06
22	1458	-1.27	0	18322	-1902	0	17	0	0.00	0.06
23	1540	-2.71	0	19352	0	3719	3421	0	0.00	0.05
24	1622	-2.92	0	20383	0	6555	3018	0	0.00	0.05
25	1705	-3.10	0	21426	0	6777	1888	0	0.00	0.05
26	1788	-3.28	0	22469	0	7010	876	0	0.00	0.05
27	1870	-3.46	0	23499	0	7331	0	-98	0.00	0.05
28	1952	-3.66	0	24530	0	7573	0	-1062	0.00	0.05
29	2035	-3.84	0	25573	0	7034	0	-1887	0.00	0.05
30	2118	-4.02	0	26616	0	4795	0	-1964	0.00	0.04
31	2200	-4.20	0	27646	-9696	0	0	0	0.00	0.03

Spostamento assiale nodo finale z

= -0.08318 cm

5.5. RISULTATI DI CALCOLO - Combinazione A2* + M1 + R1 ± Sisma**COEFFICIENTI DI SPINTA**

Ka : coefficiente di spinta attiva statica;
 Kas : coefficiente di spinta attiva dinamica;
 Kp : coefficiente di spinta passiva;

	Ka	Kas	Kp
Strato 1	0.27	0.30	2.07
Strato 2	0.40	0.44	1.46
Strato 3	0.27	0.30	2.07

Altezza terrapieno

= 220 cm

ANDAMENTO DELLE PRESSIONI E DELLE SOLLECITAZIONI

Nr. nodo	Sez. (cm)	p (daN/cm ²)	Nmin (daN)	Nmax (daN)	Tmin (daN)	Tmax (daN)	Mmin (daNm)	Mmax (daNm)	SpostMin (cm)	SpostMax (cm)
1	0	0.17	0	0	0	0	0	0	-0.14	0.00
2	37	0.11	0	465	0	140	0	-17	-0.13	0.00
3	73	0.13	0	917	0	368	0	-112	-0.12	0.00
4	110	0.15	0	1382	0	574	0	-285	-0.10	0.00
5	147	0.18	0	1847	0	813	0	-541	-0.09	0.00
6	183	0.20	0	2300	0	1081	0	-880	-0.08	0.00
7	220	0.16	0	2765	0	1165	0	-1337	-0.07	0.00
8	302	-0.04	0	3795	0	1000	0	-2580	-0.04	0.00
9	385	-0.22	0	4838	0	631	0	-3559	-0.02	0.00
10	468	-0.40	0	5881	0	180	0	-3930	0.00	0.00
11	550	-0.58	0	6912	-95	0	0	-3656	0.00	0.02
12	632	-0.78	0	7942	-73	0	0	-2884	0.00	0.03
13	715	-0.96	0	8985	0	191	0	-1821	0.00	0.03
14	798	-1.14	0	10028	0	678	0	-676	0.00	0.04
15	880	-1.32	0	11058	0	1441	313	0	0.00	0.04
16	962	-1.52	0	12089	0	2661	950	0	0.00	0.05
17	1045	-1.70	0	13132	0	4436	894	0	0.00	0.05
18	1128	-1.88	0	14175	0	6921	0	-333	0.00	0.06
19	1210	-1.04	0	15205	0	2999	0	-3339	0.00	0.06
20	1292	-1.12	0	16236	0	541	0	-3372	0.00	0.06
21	1375	-1.19	0	17279	-485	0	0	-2163	0.00	0.06
22	1458	-1.27	0	18322	-1902	0	17	0	0.00	0.06
23	1540	-2.71	0	19352	0	3719	3421	0	0.00	0.05
24	1622	-2.92	0	20383	0	6555	3018	0	0.00	0.05
25	1705	-3.10	0	21426	0	6777	1888	0	0.00	0.05
26	1788	-3.28	0	22469	0	7010	876	0	0.00	0.05
27	1870	-3.46	0	23499	0	7331	0	-98	0.00	0.05
28	1952	-3.66	0	24530	0	7573	0	-1062	0.00	0.05
29	2035	-3.84	0	25573	0	7034	0	-1887	0.00	0.05
30	2118	-4.02	0	26616	0	4795	0	-1964	0.00	0.04
31	2200	-4.20	0	27646	-9696	0	0	0	0.00	0.03

Spostamento assiale nodo finale z

= -0.08318 cm

5.6. RISULTATI DI CALCOLO - Combinazione EQU* + M1 + R1 ± Sisma**COEFFICIENTI DI SPINTA**

Ka : coefficiente di spinta attiva statica;
 Kas : coefficiente di spinta attiva dinamica;
 Kp : coefficiente di spinta passiva;

	Ka	Kas	Kp
Strato 1	0.27	0.30	2.07
Strato 2	0.40	0.44	1.46
Strato 3	0.27	0.30	2.07

Altezza terrapieno = 220 cm

ANDAMENTO DELLE PRESSIONI E DELLE SOLLECITAZIONI

Nr. nod o	Sez. (cm)	p (daN/cm ²)	Nmin (daN)	Nmax (daN)	Tmin (daN)	Tmax (daN)	Mmin (daNm)	Mmax (daNm)	SpostMi n (cm)	SpostMa x (cm)
1	0	0.17	0	0	0	0	0	0	-0.14	0.00
2	37	0.11	0	465	0	140	0	-17	-0.13	0.00
3	73	0.13	0	917	0	368	0	-112	-0.12	0.00
4	110	0.15	0	1382	0	574	0	-285	-0.10	0.00
5	147	0.18	0	1847	0	813	0	-541	-0.09	0.00
6	183	0.20	0	2300	0	1081	0	-880	-0.08	0.00
7	220	0.16	0	2765	0	1165	0	-1337	-0.07	0.00
8	302	-0.04	0	3795	0	1000	0	-2580	-0.04	0.00
9	385	-0.22	0	4838	0	631	0	-3559	-0.02	0.00
10	468	-0.40	0	5881	0	180	0	-3930	0.00	0.00
11	550	-0.58	0	6912	-95	0	0	-3656	0.00	0.02
12	632	-0.78	0	7942	-73	0	0	-2884	0.00	0.03
13	715	-0.96	0	8985	0	191	0	-1821	0.00	0.03
14	798	-1.14	0	10028	0	678	0	-676	0.00	0.04
15	880	-1.32	0	11058	0	1441	313	0	0.00	0.04
16	962	-1.52	0	12089	0	2661	950	0	0.00	0.05
17	1045	-1.70	0	13132	0	4436	894	0	0.00	0.05
18	1128	-1.88	0	14175	0	6921	0	-333	0.00	0.06
19	1210	-1.04	0	15205	0	2999	0	-3339	0.00	0.06
20	1292	-1.12	0	16236	0	541	0	-3372	0.00	0.06
21	1375	-1.19	0	17279	-485	0	0	-2163	0.00	0.06
22	1458	-1.27	0	18322	-1902	0	17	0	0.00	0.06

23	1540	-2.71	0	19352	0	3719	3421	0	0.00	0.05
24	1622	-2.92	0	20383	0	6555	3018	0	0.00	0.05
25	1705	-3.10	0	21426	0	6777	1888	0	0.00	0.05
26	1788	-3.28	0	22469	0	7010	876	0	0.00	0.05
27	1870	-3.46	0	23499	0	7331	0	-98	0.00	0.05
28	1952	-3.66	0	24530	0	7573	0	-1062	0.00	0.05
29	2035	-3.84	0	25573	0	7034	0	-1887	0.00	0.05
30	2118	-4.02	0	26616	0	4795	0	-1964	0.00	0.04
31	2200	-4.20	0	27646	-9696	0	0	0	0.00	0.03

Spostamento assiale nodo finale z

= -0.08318 cm

6. RISULTATI VERIFICHE

6.1. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE SEZ. PIU' SOLLECITATA

Ns = Sforzo normale sollecitante (positivo compressione);
Ms = Momento flettente sollecitante (negativo se tende le fibre a monte);
Nrd = Sforzo normale resistente di calcolo (positivo compressione);
Mrd = Momento flettente resistente di calcolo (negativo se tende le fibre a monte);
cs = coefficiente di sicurezza;

Sez. (cm)	Ns (daN)	Ms (daNm)	Nrd (daN)	Mrd (daNm)	cs
468	0	-3930	0	-61863	15.74

Si armerà con: 17 ϕ 20

6.2. VERIFICA A TAGLIO

Vsd = Sforzo di taglio sollecitante;
Vrd = Sforzo di taglio resistente;
 ϕ_{staffe} = diametro acciaio armature staffe;
passo = passo staffe;
cs = coefficiente di sicurezza;

Vsd (daN)	Vrd (daN)	ϕ (mm)	Passo (cm)	cs
7573	109046	16	10	14

6.3. VERIFICA TRAVE DI CORONAMENTO

6.3.1. VERIFICA A FLESSIONE

Msd = Momento flettente sollecitante (positivo se tende le fibre inferiori);
Mrd = Momento flettente resistente (positivo se tende le fibre inferiori);
cs = coefficiente di sicurezza;

Msd (daNm)	Mrd (daNm)	cs
48600	25852280	532

Si armerà con: **11φ24**(Armatura inferiore) e **11φ24**(Armatura superiore)

6.3.2. VERIFICA A TAGLIO

Vsd = Sforzo di taglio di calcolo;
φ_{staffe} = diametro acciaio armature staffe;
passo = passo staffe;
cs = coefficiente di sicurezza;

Vsd (daN)	Vrd (daN)	φ (mm)	Passo (cm)	cs
3240	444679	16	4	137.25

7. VERIFICA A CARICO LIMITE VERTICALE

Il carico limite del terreno si ottiene dalla somma di tre contributi dovuti:

- alla coesione del terreno.
- al carico uniformemente distribuito ai lati della fondazione.
- al peso del terreno sottostante il piano di posa.

Il calcolo è stato effettuato seguendo la teoria di Brinch Hansen, la quale tiene conto:

- della forma della fondazione;
- della profondità del piano di posa della fondazione;
- dell'inclinazione del carico sulla fondazione;
- dell'eccentricità del carico;
- dell'inclinazione del piano di posa della fondazione;
- dell'inclinazione del piano di campagna;
- dell'effetto inerziale nella fondazione;
- dell'effetto cinematico del sottosuolo;

Il carico limite si ottiene dalla seguente espressione:

$$q_{lim} = 0.5 \cdot B' \cdot \gamma_2 \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot g_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot z_{\gamma} \cdot e_{\gamma} \cdot k \cdot e_{\gamma} + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot z_c + (q + \gamma_1 \cdot D) \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot z_q$$

Dove: **B'** è base equivalente della fondazione circolare.

D è la profondità del piano di posa della fondazione.

γ₁ è il peso del terreno sopra il piano di posa della fondazione.

γ₂ è il peso del terreno sotto il piano di posa della fondazione.

C è la coesione del terreno.

q è il carico uniformemente distribuito ai lati della fondazione.

Combinazione A1+M1+R1

Fattori di carico limite

$$N_c = 38.64; N_q = 26.09; N_\gamma = 38.64$$

Fattori di forma

$$S_c = 1.57; S_q = 1.55; S_\gamma = 0.66$$

Fattori di profondità

$$D_c = 1.61; D_q = 1.41; D_\gamma = 1.00$$

Fattori di inclinazione dei carichi

$$I_c = 1.00; I_q = 0.00; I_\gamma = 1.00$$

Fattori di inclinazione del piano di campagna

$$G_c = 1.00; G_q = 1.01; G_\gamma = 1.01$$

Fattori di inclinazione del piano di posa

$$B_c = 1.00; B_q = 1.00; B_\gamma = 1.00$$

Fattori di portanza dell'effetto cinematico:

$$e_{\gamma k} = 0.99; e_{\gamma i} = 0.95$$

Nel caso in esame si ottiene il seguente carico limite:

$$q_{Lim} = 243.95 \text{ daN/cm}^2$$

Avendo assunto un coefficiente di sicurezza (imposto dalle indicazioni normative) pari a **2.30**, il carico limite di calcolo è:

$$q_{LimD} = 106.06 \text{ daN/cm}^2$$

Dati verifica

Tipologia	: Circolare
Diam.	= 80 cm
Prof.	= 1980 cm

Considerando una pressione agente pari a: **5.50 daN/cm²**

$$q_d = 5.50 \text{ daN/cm}^2 < q_{LimD} = 106.06 \text{ daN/cm}^2$$

La verifica a carico limite dell'opera risulta soddisfatta con un coefficiente di sicurezza pari a **19.28**.

8. VERIFICA A STABILITA' GLOBALE

La verifica alla stabilità globale, determina il grado di sicurezza del complesso Paratia-terrapieno nei confronti di possibili scorrimenti lungopotenziali superfici di rottura passanti al di sotto della sua estremità inferiore.

La stessa, consiste nel ricercare tra le potenziali superfici di rottura quella che presenta il fattore di sicurezza minimo e confrontarlo con quello imposto dalla normativa.

Per determinare il fattore di sicurezza viene utilizzato il metodo delle strisce secondo questo metodo si ipotizza che le forze agenti sulle facce laterali di ogni striscia abbiano risultante nulla secondo la direzione della normale all'arco che delimita inferiormente la striscia.

Dall'equilibrio dei momenti rispetto al baricentro della superficie di rottura e dall'equilibrio delle forze secondo la direzione normale all'arco si ottiene:

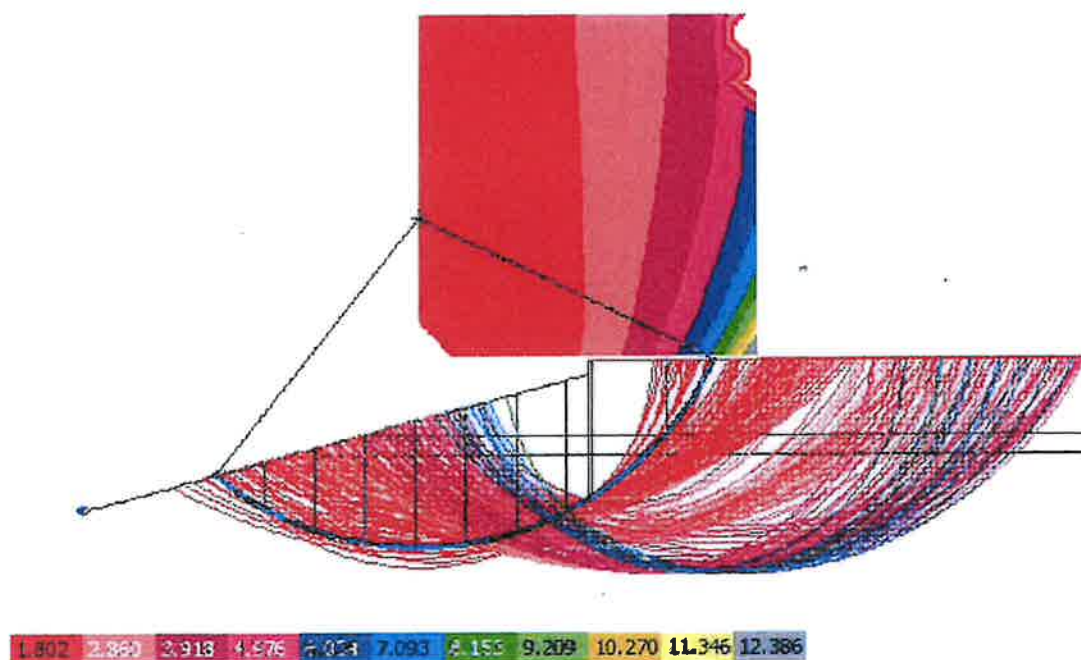
$$F_s = \frac{\Sigma(c \cdot l) + \Sigma((W + Q + F) \cdot (1 \pm K_{vs}) \cdot \cos\alpha \pm K_{hs} \cdot (W + Q + F) \cdot \sin\alpha + F_o \cdot \sin\alpha - l \cdot u) \cdot \tan\phi}{\Sigma((W + Q + F) \cdot (1 \pm K_{vs}) \cdot \sin\alpha \pm K_{hs} \cdot (W + Q + F) \cdot \cos\alpha / r_0) - \Sigma(F_o \cdot \cos\alpha / r_0)}$$

Dove:

- W = Peso del concio;
- Q = Carico distribuito in direzione verticale;
- F = Carico concentrato in direzione verticale;
- Kh = Coefficiente sismico orizzontale;
- l = Lunghezza base del concio;
- α = Angolo fra la base del concio e l'orizzontale;
- c = Coesione;
- ϕ = Angolo di resistenza al taglio;
- R0 = Raggio superficie di scorrimento;
- u = Pressione neutra;
- Fo = Carico orizzontale indotto dall'ancoraggio;
- et = Eccentricità forza di ancoraggio rispetto al centro della superficie di scorrimento;
- es = Eccentricità delle forze sismiche rispetto al centro della superficie di scorrimento.

8.1. RISULTATI DI CALCOLO

Ascissa critica = 5428 cm
 Ordinata critica = 5461 cm
 Raggio critico = 5296 cm
 Coeff. sic. min. = 1.80



B = Larghezza del concio
 α = Angolo fra la base del concio e l'orizzontale;
Li = Lunghezza base del concio;
W = Peso del concio;
U = Pressione neutra;
N = Azione normale alla base del concio
T = Azione tangenziale alla base del concio

Concio	B (cm)	α (°)	Li (cm)	W (daN/m)	U (daN/m)	N (daN/m)	T (daN/m)
1	812.21	-33.80	977.09	61666.53	0.00	52149.12	-32951.25
2	812.21	-23.70	886.86	161601.18	0.00	149681.06	-61057.92
3	812.21	-14.35	838.31	241543.08	0.00	235573.68	-53733.52
4	812.21	-5.38	815.80	300954.16	0.00	300360.78	-20436.62
5	812.21	3.45	813.69	341147.28	0.00	339998.96	29331.91
6	812.21	12.37	831.47	362274.90	0.00	351877.08	86682.19
7	812.21	21.61	873.48	363033.91	0.00	334109.56	142312.90
8	365.41	28.60	416.07	157047.65	0.00	135980.29	78675.90
9	1259.02	39.75	1636.54	512094.48	0.00	385482.30	337372.71
10	812.21	56.66	1475.61	140218.17	0.00	74145.39	119066.39

RISULTATI DI CALCOLO

Altezza terrapieno	= 220' cm
Profondità di infissione	= 1980 cm

RISULTATI VERIFICHE

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE SEZ. PIU' SOLLECITATA

Sezione	= 468 cm
Sforzo norm. soll. (pos. compress.)	= 0 daN
Mom. flett. soll. (neg. se tende le fibre a monte)	= -3930 daNm
Sforzo norm. res. di calc. (pos. compress.)	= 0 daN
Mom. flett. res. di calc. (neg. se tende le fibre a monte)	= -61863 daN
Coefficiente di sicurezza	= 15.74

Si armerà con:
17Ø20

VERIFICA A TAGLIO

Sforzo di taglio sollecitante	= 7573 daN
Sforzo di taglio resistente	= 109046 daN
Diametro acciaio armature staffe	= 16 mm
Passo staffe	= 10 cm
Coefficiente di sicurezza	= 14.40

VERIFICA TRAVE DI CORONAMENTO

VERIFICA A FLESSIONE

Mom. flett. soll. (pos. se tende le fibre inferiori)	= 48600 daNm
Mom. flett. res. (pos. se tende le fibre inferiori)	= 25852280 daNm
Coefficiente di sicurezza	= 532

Si armerà con:
11Ø24 (Armatura inferiore) e 11Ø24 (Armatura superiore)

VERIFICA A TAGLIO

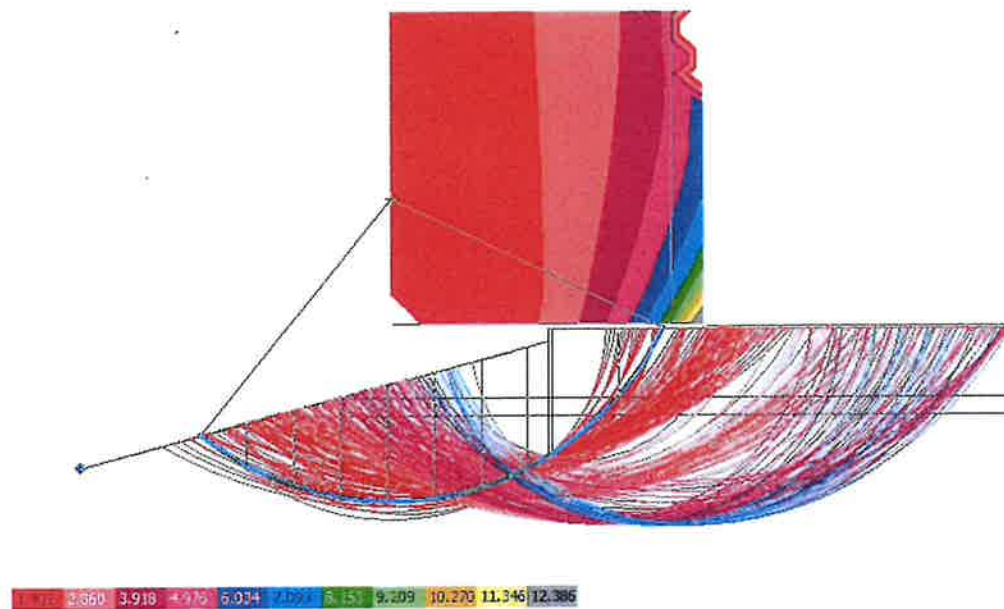
Sforzo di taglio di calcolo	= 3240 daNm
Sforzo di taglio resistente	= 444679 daNm
Diametro acciaio armature staffe	= 16 mm
Passo staffe	= 4 cm
Coefficiente di sicurezza	= 137.25

VERIFICA A CARICO LIMITE VERTICALE PARATIA

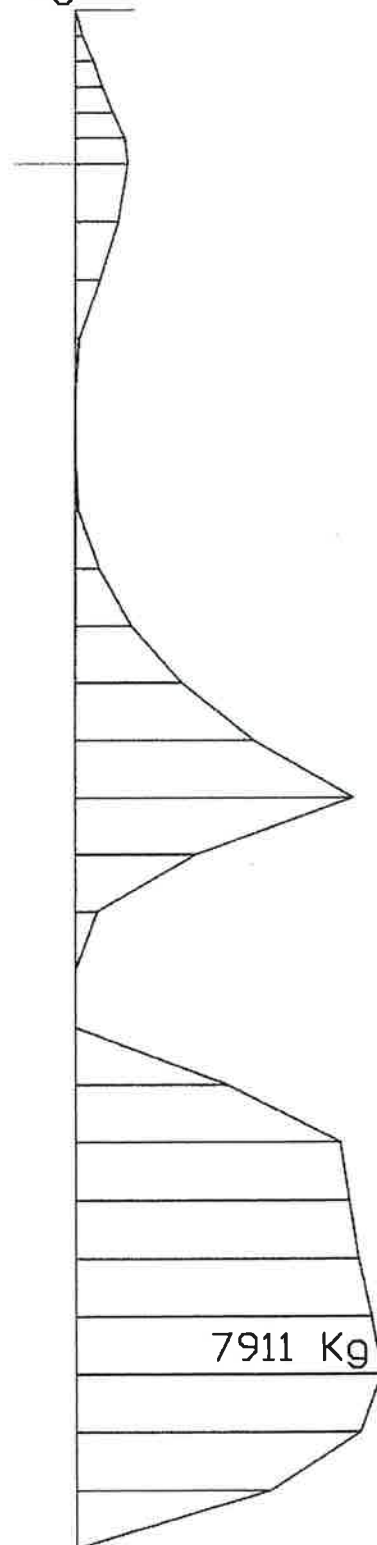
Tipologia	: Circolare
Diam.	= 80 cm

Prof.	= 1980 cm
Qd	= 5.50 daN/cm ²
Qlimd	= 106.06 daN/cm ²
Cs	= 19.28 cm
Esito verifica	= VERIFICATA

Verifica Stabilità Globale Pendio

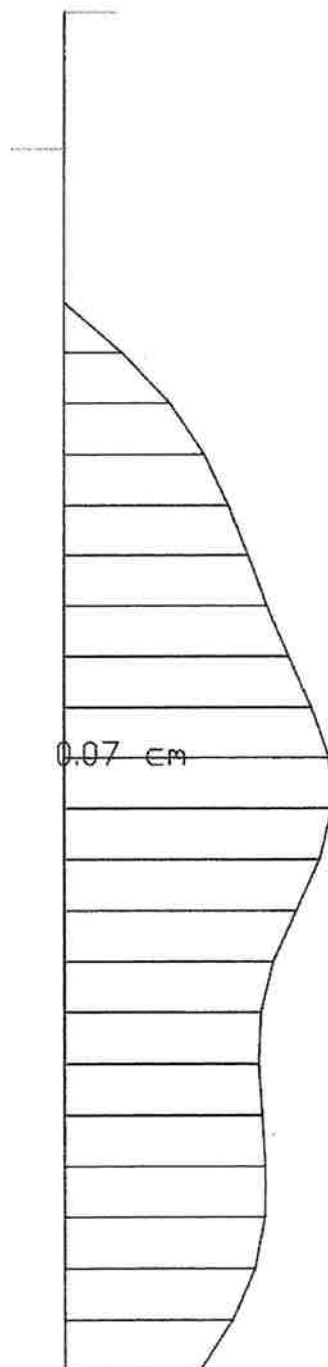


Taglio (valori massimi)
0 Kg

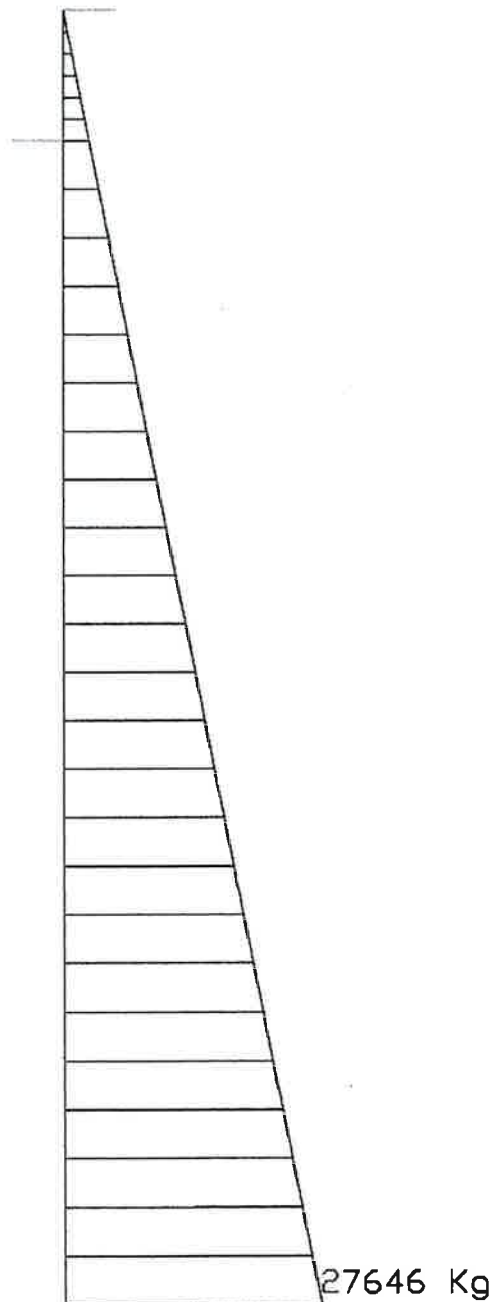


0.00 cm

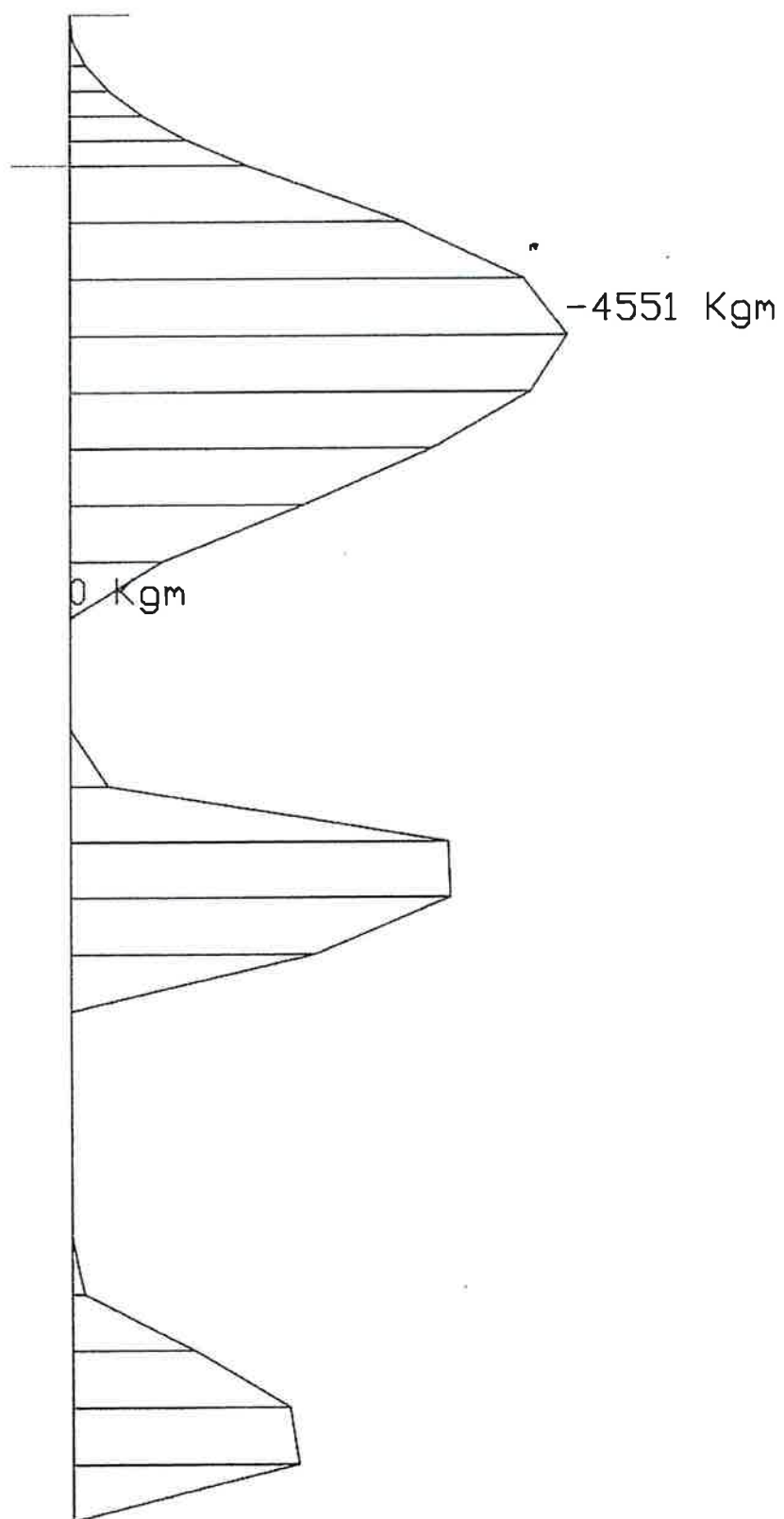
Spostamenti (valori massimi)



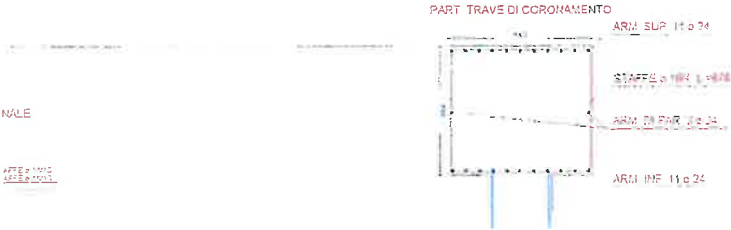
Sforzo Assiale (valori massimi)



Momento (valori massimi)



DA PALI

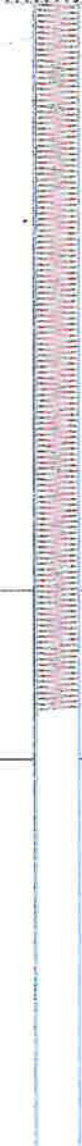
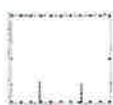


APTE e 1000

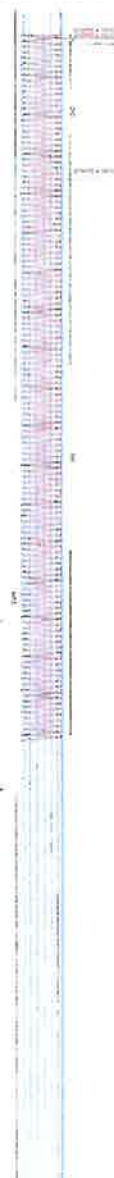


PARATIA COSTITUITA DA PALI

SEZIONE PARATIA



PISTI DI FIDUCIARI



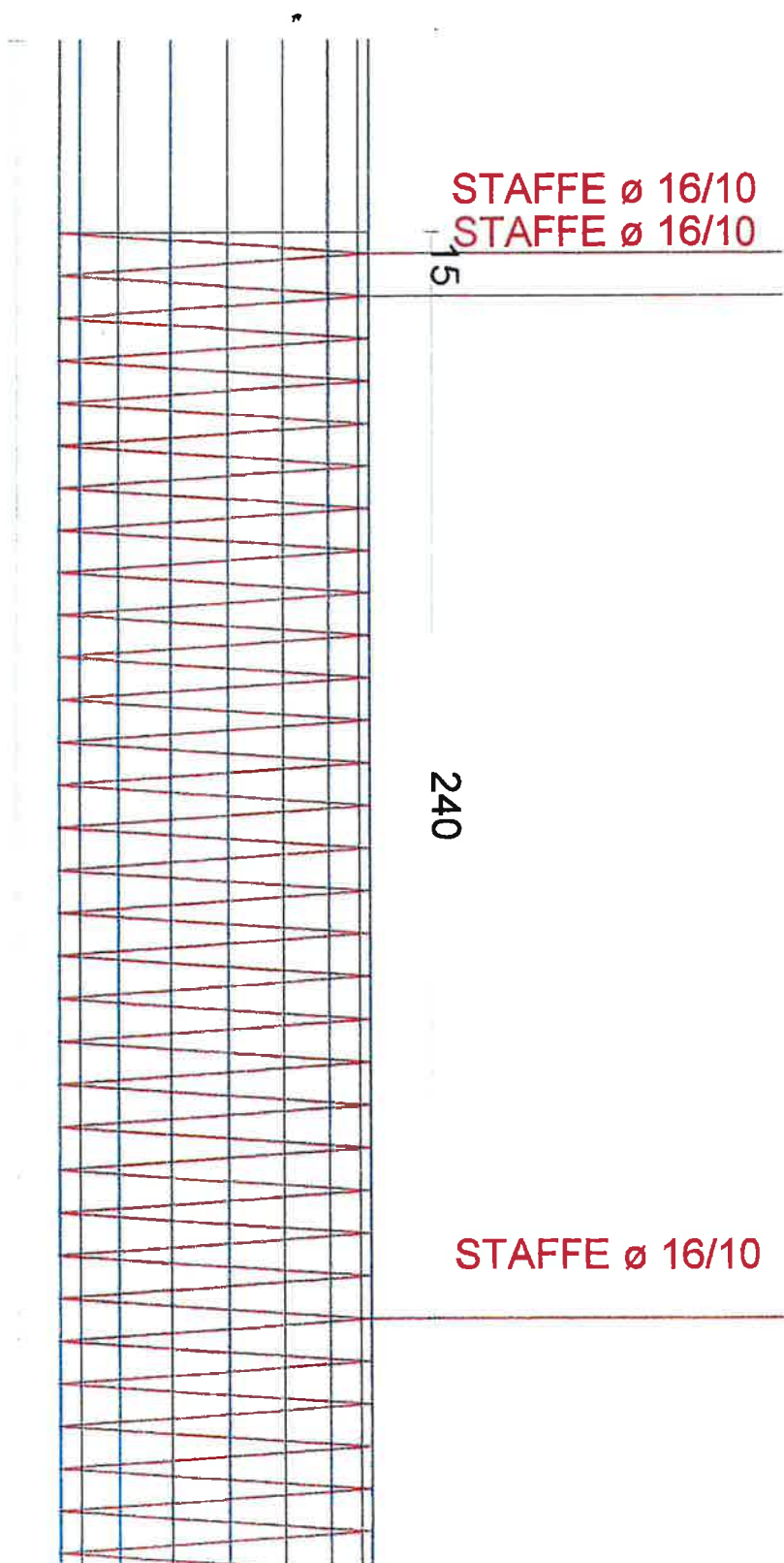
PISTI TRAVI DI CONCRETO



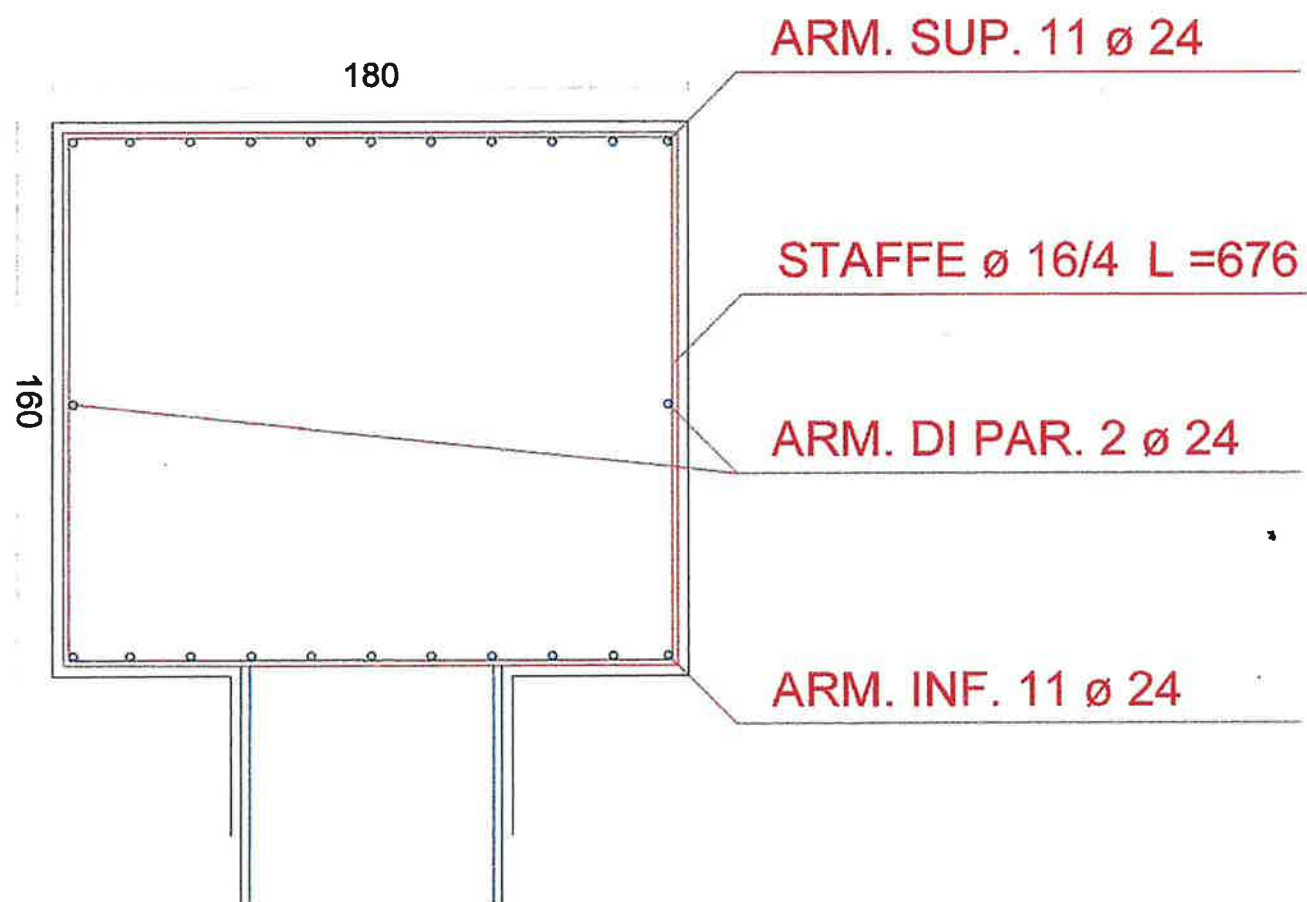
PISTI TRAVI DI CONCRETO



PART. ARM. LONGITUDINALE



PART. TRAVE DI CORONAMENTO



PART. SEZIONE TRASVERSALE PARATIA

