

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01e s.m.i.

CUP: J14H20000440001

U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA

LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA

NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST

VI02 - PONTE CASON SUD

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I N 1 0 1 0 D 2 6 C L V I 0 2 0 X 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	P. Maestrelli 	Sett 2021	M. Rigo 	Sett 2021	C. Mazzocchi 	Sett 2021	A. Perego Sett 2021

File: IN1010D26CLVI020X001A

n. Elab.:

INDICE

1	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	5
1.1	ASPETTI GENERALI	5
1.2	COMBINAZIONI DI CARICO AGLI STATI LIMITE	5
1.2.1	COMBINAZIONI PER LA VERIFICA AGLI SLU	5
1.2.2	COMBINAZIONI PER LA VERIFICA AGLI SLE	6
1.3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	8
3.1	TABELLA RIASSUNTIVA CLASSI DI ESPOSIZIONE SECONDO NORMATIVA UNI EN 206-1	8
3.2	PARAMETRI DI IDENTIFICAZIONE PER LA VERIFICA A FESSURAZIONE	9
3.3	ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO	9
3.4	MALTA DI INIEZIONE TIRANTI	10
3.5	ACCIAIO PER TIRANTI ATTIVI	10
3.6	CARPENTERIA METALLICA PER PALANCOLE E TRAVI DI CORREA	10
4	PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI	11
4.1	METODO DI CALCOLO	11
4.1.1	CALCOLO DELLA PROFONDITÀ DI INFISSIONE	11
4.1.2	CALCOLO DELLA SPINTE	12
4.1.3	SPINTA IN PRESENZA DI SISMA	13
4.1.4	ANALISI AD ELEMENTI FINITI	13
4.1.4.1	Schematizzazione del terreno	14
4.1.4.2	Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno	14
4.1.4.3	Analisi per fasi di scavo	15
4.1.5	VERIFICA ALLA STABILITÀ GLOBALE	15
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	17
5.1	STRATIGRAFIA DI PROGETTO	17
5.2	PARAMETRI DI SPINTA	17

5.3 CARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO 17

5.3.1 CONDIZIONI DI CARICO 17

5.3.2 COMBINAZIONI DI CARICO 18

5.3.2.1 S.L.E 18

5.3.2.2 S.L.U 18

6 DIMENSIONAMENTO PALANCOLE 19

6.1 TIPO 2 ACELOR PU22 19

6.1.1 CARATTERISTICHE GENERALI 20

6.1.2 DESCRIZIONE TERRENI 20

6.1.3 DESCRIZIONE STRATIGRAFIA 21

6.1.4 CONDIZIONI DI CARICO 21

6.1.5 IMPOSTAZIONI DI PROGETTO 22

6.1.6 IMPOSTAZIONI DI ANALISI 22

6.1.6.1 Analisi per Fasi di Scavo. 22

6.1.7 VERIFICHE PALANCOLA 23

6.1.7.1 Diagrammi 47

1 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

1.1 ASPETTI GENERALI

La realizzazione del ponte in progetto dovrà avvenire per successive fasi (come meglio descritte nella relazione illustrativa e nelle tavole grafiche) che comporteranno l'impiego di palancole per il sostegno delle linee ferroviarie per realizzare lo scavo delle fondazioni.

Il dimensionamento verrà eseguito considerando le varie tipologie di palancole presenti (e meglio esplicitate nelle tavole grafiche) di cui si riassumono le caratteristiche:

- 1) Tipo Arcelor PU22

METODO DI CALCOLO

Le verifiche sono condotte, in osservanza al *D.M. del 17.01.2018 "Norme tecniche per le costruzioni"* (in seguito indicate anche come *NTC*), attraverso il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite.

Il calcolo delle paratie viene eseguito in accordo con il § 6.5.3.1.2 delle *NTC*, per quanto riguarda la verifica nei confronti degli Stati Limite Ultimi e degli Stati Limite di Esercizio.

Per quanto riguarda la verifica della paratia in condizioni sismiche si fa invece riferimento al § 2.4.1 dello stesso documento che dice: *"Le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni"* (come nel caso in oggetto):

Al fine di rappresentare il comportamento delle paratie durante le fasi di lavoro (scavi, inserimento degli elementi di contrasto e dei tiranti) è opportuno l'impiego di un metodo di calcolo iterativo atto a simulare l'interazione, in fase elasto-plastica, tra terreno e paratia. Per questo scopo si impiega il programma di calcolo Pac della società "Aztec informatica srl".

1.2 COMBINAZIONI DI CARICO AGLI STATI LIMITE

Le combinazioni di carico agli stati limite considerate ai fini delle verifiche, sono stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto nel Cap. 2 delle (*NTC*).

1.2.1 COMBINAZIONI PER LA VERIFICA AGLI SLU

Per le paratie § 6.5.3.1.2 (*NTC*) devono essere effettuate le verifiche con riferimento almeno ai seguenti Stati Limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
- collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
- collasso per carico limite verticale;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;
- instabilità del fondo scavo in terreni a grana fine in condizioni non drenate;

- instabilità del fondo scavo per sollevamento;
 - sifonamento del fondo scavo;
 - instabilità globale dell'insieme terreno-opera;
 - SLU di tipo strutturale (STR)
 - raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
 - raggiungimento della resistenza strutturale della paratia,
- accertando che la condizione (6.2.1) sia soddisfatta per ogni stato limite considerato.

La verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:

- - Combinazione 2: (A2+M2+R2)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II e 6.8.I.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate considerando le seguenti combinazioni di coefficienti:

- - Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- - Combinazione 2: (A2+M2+R1)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I.

Ai fini delle verifiche degli Stati Limite Ultimi si definisce la seguente combinazione:

Combinazione fondamentale SLU:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

1.2.2 COMBINAZIONI PER LA VERIFICA AGLI SLE

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio si definiscono le seguenti combinazioni:

Rara $\Rightarrow G_1 + G_2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

Frequente $\Rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

Quasi permanente $\Rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

Nella presente relazione di calcolo si fa riferimento solamente alla combinazione "Rara" in quanto risulta la più significativa.

1.3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

La presente relazione è inscindibile dagli elaborate grafici e dai seguenti documenti:

- Relazione di Calcolo Spalle e Fondazioni
- Relazione di Calcolo Impalcati
- Relazione Tecnica Descrittiva
- Relazione di Calcolo Pile

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

I calcoli sviluppati nel seguito sono svolti secondo il Metodo degli Stati Limite e nel rispetto della normativa vigente.

Ministero dei LL.PP – D.M. 17.01.2018

Circolare 21 Gennaio 2019 n.7

CNR – DT 207/2008

Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.

**RFI DTC SI MA IFS 001 E Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II Sezione 2 –
PONTI E STRUTTURE**

EC3 - UNI EN 1993-1-1:2005

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Materiali come prescritti dal Decreto Ministeriale 17.01.2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

3.1 TABELLA RIASSUNTIVA CLASSI DI ESPOSIZIONE SECONDO NORMATIVA UNI EN 206-1

Questa tabella è da compilarsi in funzione dell'opera da eseguire: associare ad ogni elemento progettuale (fondazione, elevazione.....).

Tab 2

Classi di esposizione ambientale secondo UNI EN 206-1								
Classe di esposizione ambientale	Descrizione dell'ambiente di esposizione	Esempi di condizioni ambientali	UNI 9838	A/C massimo	Contenuto minimo di cemento kg/m ³	Rck minima N/mm ²	Contenuto minimo di aria %	Copri ferro minimo Mm
1 Assenza di rischio di corrosione o attacco								
X0	Molto secco	Cs per interni di edifici con umidità dell'aria molto bassa	1	-		C12/15	-	15
2 Composizione delle armature per effetto della carbonatazione								
XC1	Secco o permanentemente bagnato	Cs per interni di edifici con umidità relativa bassa o immerso in acqua	2a	0,85	260	C20/25	-	20
XC2	Bagnato, raramente secco	Superfici in ds a contatto con acqua per lungo tempo es. fondazioni	2a	0,60	280	C25/30	-	20
XC3	Umidità moderata	Cs per interni con umidità relativa moderata o alta e cs all'esterno protetto dalla pioggia	5a	0,55	280	C30/37	-	30
XC4	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Superfici in ds a contatto con l'acqua, non nella classe XC2.	4a, 5b	0,50	300	C30/37	-	30
3 Composizione delle armature per effetto dei cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare								
XD1	Umidità moderata	Superfici in cs esposte a nebbia salina	5a	0,55	300*	C30/37	-	30
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Pisone: cs esposto ad acque industriali contenenti cloruri	4a, 5b	0,55	300	C30/37	-	30
XD3	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Parti di ponti esposte a spruzzi contenenti cloruri, pavimentazioni di parcheggi	5c	0,45	320	C35/45	-	40
4 Composizione delle armature indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare								
XS1	Esposto alla nebbia salina ma non all'acqua di mare	Strutture prossime o sulla costa	4a, 5b	0,50	300	C30/37	-	30
XS2	Permanentemente sommerso	Parti di strutture marine	5c	0,45	320	C35/45	-	40
XS3	Zone esposte alle onde o alla marea	Parti di strutture marine	5c	0,45	340	C35/45	-	40
5 Attacco dei cicli di gelo/sgelo con o senza sali disgelanti								
XF1	Moderata saturazione d'acqua in assenza di sali disgelanti	Superfici verticali in ds esposte alla pioggia e al gelo	2b	0,55	300	C30/37	-	30
XF2	Moderata saturazione d'acqua in presenza di sali disgelanti	Superfici verticali in ds di strutture stradali esposte al gelo e nebbia dei sali disgelanti	3, 4b	0,55	300	C25/30	4,0	30 e aggregati resistenti al gelo/sgelo
XF3	Elevata saturazione d'acqua in assenza di sali disgelanti	Superfici orizzontali in ds esposte alla pioggia e al gelo	2b	0,50	320	C30/37	4,0	30 e aggregati resistenti al gelo/sgelo
XF4	Elevata saturazione d'acqua in presenza di sali disgelanti o acqua di mare	Strade e impalcati da ponte esposti ai sali disgelanti. Superfici in ds esposte direttamente a nebbia contenente sali disgelanti	3, 4b	0,45	340	C30/37	4,0	40 e aggregati resistenti al gelo/sgelo
6 Attacco chimico								
XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo (vd. prospetto 2 della EN 206)	-	5a	0,55	300	C30/37	-	30
XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo (vd. prospetto 2 della EN 206)	-	4*, 5b	0,50	320 cemento resistente ai solfati	C30/37	-	30
XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo (vd. prospetto 2 della EN 206)	-	5c	0,45	360 cemento resistente ai solfati	C35/45	-	40

3.2 PARAMETRI DI IDENTIFICAZIONE PER LA VERIFICA A FESSURAZIONE

Nel capitolo 4 del DM 17.01.2018 si identificano i parametri a cui fare riferimento per la verifica a fessurazione.

Tabella 4.LIII – Descrizione delle condizioni ambientali

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tabella 4.LIV – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_1	Stato limite	w_3
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

w_1, w_2, w_3 sono definiti al § 4.1.2.2.4.1, il valore di calcolo w_a , è definito al § 4.1.2.2.4.6.

3.3 ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

Per le armature metalliche si adottano tondini in acciaio del tipo B450C controllato in stabilimento, che presentano le seguenti caratteristiche:

Proprietà	Requisito
Limite di snervamento f_y	≥ 450 MPa
Limite di rottura f_t	≥ 540 MPa
Allungamento totale al carico massimo A_{gt}	$\geq 7\%$
Rapporto f_t/f_y	$1,13 \leq R_m/R_e \leq 1,35$
Rapporto $f_{y \text{ misurato}}/f_{y \text{ nom}}$	$\leq 1,25$

Tensione di snervamento caratteristica	→ $f_{yk} \geq$	450.00 N/mm ²
Tensione caratteristica a rottura	→ $f_{tk} \geq$	540.00 N/mm ²
Tensione di calcolo elastica	→ $\sigma_c = 0.80 * f_{yk} =$	360.00 N/mm ²
Fattore di sicurezza acciaio	→ $\gamma_s =$	1.15
Resistenza a trazione di calcolo	→ $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30 N/mm ²

3.4 MALTA DI INIEZIONE TIRANTI

I tiranti previsti sono di tipo passivo, definitivi e ad iniezione ripetuta.

Caratteristiche secondo UNI EN 447:2007

Resistenza a rottura a 28gg	$f_c \geq$	25.00	N/mm ²
Rapporto acqua / cemento	\leq	0.45	
Separazione di acqua (in volume)	\leq	2%	
Fluidità Marsh	$=$	10''-35''	
Ritiro nullo (aggiunta di additivi e/o antiritiro)			

3.5 ACCIAIO PER TIRANTI ATTIVI

I tiranti previsti sono di tipo attivo, definitivi e ad iniezione ripetuta.

Si prevede l'impiego di cavi costituiti da trefoli in acciaio armonico stabilizzato da 0.6" (area 139mm²) avente caratteristiche:

Tensione caratteristica a rottura	$\rightarrow f_{ptk} \geq$	1860.00 N/mm ²
Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale	$\rightarrow f_{p(0.1)k} \geq$	1670.00 N/mm ²
Allungamento sotto carico massimo	$\rightarrow A_{gt} \geq$	3.5
Tensione iniziale all'atto della tesatura	$\rightarrow \sigma_{spi} < 0.85 f_{p(0.1)k}$	1420.00 N/mm ²
(vale la condizione più restrittiva)	$\sigma_{spi} < 0.75 f_{ptk}$	1395.00 N/mm ²
Modulo elastico	$\rightarrow E_{sp} =$	195000 N/mm ²

3.6 CARPENTERIA METALLICA PER PALANCOLE E TRAVI DI CORREA

Per la realizzazione delle opere in carpenteria metallica, si prevede l'utilizzo di un acciaio tipo S355 (ex Fe 510), che presenta le seguenti caratteristiche:

Acciaio S355JR (UNI EN 10025)

Tensione di snervamento caratteristica	$\rightarrow f_{yk} \geq$	355.00 N/mm ²
Tensione caratteristica a rottura	$\rightarrow f_{tk} \geq$	510.00 N/mm ²
Fattore di sicurezza acciaio	$\rightarrow \gamma_{M0} =$	1.05
	$\rightarrow \gamma_{M2} =$	1.25
Resistenza a trazione di calcolo	$\rightarrow f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M0} =$	338.00 N/mm ²

4 PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI

I calcoli della struttura saranno eseguiti con l'ausilio del programma di calcolo Paratie.Az.

4.1 METODO DI CALCOLO

4.1.1 CALCOLO DELLA PROFONDITÀ DI INFISSIONE

Nel caso generale l'equilibrio della paratia è assicurato dal bilanciamento fra la spinta attiva agente da monte sulla parte fuori terra, la resistenza passiva che si sviluppa da valle verso monte nella zona interrata e la contropinta che agisce da monte verso valle nella zona interrata al di sotto del centro di rotazione.

Nel caso di paratia tirantata nell'equilibrio della struttura intervengono gli sforzi dei tiranti (diretti verso monte); in questo caso, se la paratia non è sufficientemente infissa, la contropinta sarà assente.

Pertanto il primo passo da compiere nella progettazione è il calcolo della profondità di infissione necessaria ad assicurare l'equilibrio fra i carichi agenti (spinta attiva, resistenza passiva, contropinta, tiro dei tiranti ed eventuali carichi esterni).

Occorre pertanto costruire i diagrammi di spinta attiva e di spinta (resistenza) passiva agenti sulla paratia. A partire da questi si costruiscono i diagrammi risultanti.

Nella costruzione dei diagrammi risultanti si adotterà la seguente notazione:

K_{am} diagramma della spinta attiva agente da monte

K_{av} diagramma della spinta attiva agente da valle sulla parte interrata

K_{pm} diagramma della spinta passiva agente da monte

K_{pv} diagramma della spinta passiva agente da valle sulla parte interrata.

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

$$D_m = K_{pm} - K_{av} \quad \text{e} \quad D_v = K_{pv} - K_{am}$$

Questi diagrammi rappresentano i valori limiti delle pressioni agenti sulla paratia. La soluzione è ricercata per tentativi facendo variare la profondità di infissione e la posizione del centro di rotazione fino a quando non si raggiunge l'equilibrio sia alla traslazione che alla rotazione.

4.1.2 CALCOLO DELLA SPINTE

Per il calcolo della spinta si utilizzerà il metodo Mononobe- Okabe, tale metodo adotta le stesse ipotesi della teoria di Mueller-Breslau: un cuneo di spinta a monte della paratia che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura curvilinea. Mette in conto inoltre l'inerzia sismica del cuneo in direzione orizzontale e verticale . Dall'equilibrio del cuneo si ricava la spinta che il terreno esercita sull'opera di sostegno in condizioni sismiche. Viene messo in conto, come nella teoria di Coulomb, l'esistenza dell' attrito fra il terreno e il paramento del muro, e quindi la retta di spinta risulta inclinata rispetto alla normale al paramento stesso di un angolo di attrito terra-muro.

L'espressione della spinta totale (statica più sismica) esercitata da un terrapieno, di peso di volume γ , su una parete di altezza H, risulta espressa secondo la teoria di Mononobe-Okabe dalla seguente relazione

$$S = 1/2(1 \pm k_v)\gamma H^2 K_a$$

K_a rappresenta il coefficiente di spinta attiva espresso da

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

essendo:

α = angolo tra il paramento contro terra e l'orizzontale,

ϕ = angolo di attrito del terreno,

δ = angolo di attrito terreno-muro,

β = angolo rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno

L'angolo θ è legato al coefficiente sismico dalla seguente espressione

$$\tan(\theta) = k_h / (1 \pm k_v)$$

dove k_h e k_v rappresentano i coefficienti di intensità sismica orizzontale e verticale.

Nel caso in cui il terrapieno sia gravato di un sovraccarico uniforme Q l'espressione della pressione e della spinta diventano

$$\sigma_a = (\gamma z + Q)K_a$$

$$S = (1/2\gamma H^2 + QH)K_a$$

Al carico Q corrisponde un diagramma delle pressioni rettangolare con risultante applicata a $1/2H$.

Nel caso di terreno dotato di coesione c l'espressione della pressione esercitata sulla parete, alla generica profondità z , diventa

$$\sigma_a = \gamma z K_a - 2c(K_a)^{1/2}$$

Al diagramma triangolare, espresso dal termine $\gamma z K_a$, si sottrae il diagramma rettangolare legato al termine con la coesione. La pressione σ_a risulta negativa per valori di z minori di

$$h_c = \frac{2c}{\gamma(K_a)^{1/2}}$$

La grandezza h_c è detta altezza critica e rappresenta la profondità di potenziale frattura del terreno. E' chiaro che se l'altezza della parete è inferiore ad h_c non abbiamo nessuna spinta sulla parete.

4.1.3 SPINTA IN PRESENZA DI SISMA

Per tenere conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di **Mononobe-Okabe**.

Il metodo di Mononobe-Okabe considera nell'equilibrio del cuneo spingente la forza di inerzia dovuta al sisma. Indicando con W il peso del cuneo e con C il coefficiente di intensità sismica la forza di inerzia valutata come

$$F_i = W \cdot C$$

Indicando con S la spinta calcolata in condizioni statiche e con S_s la spinta totale in condizioni sismiche l'incremento di spinta è ottenuto come

$$DS = S - S_s$$

L'incremento di spinta viene applicato a 1/3 dell'altezza della parete stessa (diagramma triangolare con vertice in alto).

4.1.4 ANALISI AD ELEMENTI FINITI

La paratia è considerata come una struttura a prevalente sviluppo lineare con comportamento a trave. Come caratteristiche geometriche della sezione si assume il momento d'inerzia I e l'area A per metro lineare di larghezza della paratia. Il modulo elastico è quello del materiale utilizzato per la paratia.

La parte fuori terra della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza pari a circa 5 centimetri e più o meno costante per tutti gli elementi. La suddivisione è suggerita anche dalla eventuale presenza di tiranti, carichi e vincoli. Infatti questi elementi devono capitare in corrispondenza di un nodo. Nel caso di tirante è inserito un ulteriore elemento atto a schematizzarlo. Detta L la lunghezza libera del tirante, A_f l'area di armatura nel tirante ed E_s il modulo elastico dell'acciaio è inserito un elemento di lunghezza pari ad L , area A_f , inclinazione pari a quella del tirante e modulo elastico E_s . La parte

interrata della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza, come visto sopra, pari a circa 5 centimetri.

4.1.4.1 Schematizzazione del terreno

La modellazione del terreno si rifà al classico schema di Winkler. Esso è visto come un letto di molle indipendenti fra di loro reagenti solo a sforzo assiale di compressione. La rigidità della singola molla è legata alla costante di sottofondo orizzontale del terreno (*costante di Winkler*). La costante di sottofondo, k , è definita come la pressione unitaria che occorre applicare per ottenere uno spostamento unitario. Dimensionalmente è espressa quindi come rapporto fra una pressione ed uno spostamento al cubo $[F/L^3]$. È evidente che i risultati sono tanto migliori quanto più è elevato il numero delle molle che schematizzano il terreno. Se m è l'interasse fra le molle (in cm) e b è la larghezza della paratia in direzione longitudinale ($b=100$ cm) occorre ricavare l'area equivalente, A_m , della molla (a cui si assegna una lunghezza pari a 100 cm). Indicato con E_m il modulo elastico del materiale costituente la paratia (in Kg/cm^2), l'equivalenza, in termini di rigidità, si esprime come

$$A_m = 10000 \times \frac{k \Delta_m}{E_m}$$

Le molle hanno, ovviamente, rigidità flessionale e tagliante nulla e sono vincolate all'estremità alla traslazione. La matrice di rigidità di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle matrici di rigidità degli elementi della paratia (elementi a rigidità flessionale, tagliante ed assiale), delle matrici di rigidità dei tiranti (solo rigidità assiale) e delle molle (rigidità assiale).

4.1.4.2 Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno

Il programma **PAC** considera il terreno con comportamento elasto-plastico perfetto; si assume cioè che la curva sforzi-deformazioni del terreno abbia andamento bilatero. Per quanto concerne il criterio di plasticizzazione del terreno (molle) il programma fa riferimento ad un criterio di tipo cinematico o ad uno di tipo statico. Nel primo la resistenza della molla cresce con la deformazione fino a quando lo spostamento non raggiunge il valore X_{max} ; una volta superato tale spostamento limite non si ha più incremento di resistenza all'aumentare degli spostamenti. Nel secondo si assume che la molla abbia una resistenza crescente fino al raggiungimento di una pressione p_{max} , pari al valore della pressione passiva in corrispondenza della quota della molla. L'introduzione di criteri di plasticizzazione porta ad analisi di tipo non lineare (non linearità meccaniche).

Un sistema non lineare, viene risolto mediante un'analisi al passo per tener conto della plasticizzazione delle molle. Quindi si procede per passi di carico, a partire da un carico iniziale p_0 , fino a raggiungere il carico totale p . Ogni volta che si incrementa il carico si controllano eventuali plasticizzazioni delle molle. Se si hanno nuove plasticizzazioni la matrice globale andrà riassembleta escludendo il contributo delle molle plasticizzate.

4.1.4.3 Analisi per fasi di scavo

L'analisi della paratia per fasi di scavo consente di ottenere informazioni dettagliate sullo stato di sollecitazione e deformazione dell'opera durante la fase di realizzazione. In ogni fase lo stato di sollecitazione e di deformazione dipende dalla 'storia' dello scavo (soprattutto nel caso di paratie tirantate o vincolate).

Definite le varie altezze di scavo (in funzione della posizione di tiranti, vincoli, o altro) si procede per ogni fase al calcolo delle spinte inserendo gli elementi (tiranti, vincoli o carichi) attivi per quella fase, tenendo conto delle deformazioni dello stato precedente. Ad esempio, se sono presenti dei tiranti passivi si inserirà nell'analisi della fase la 'molla' che lo rappresenta. Indicando con u ed u_0 gli spostamenti nella fase attuale e nella fase precedente, con s ed s_0 gli sforzi nella fase attuale e nella fase precedente e con K la matrice di rigidità della 'struttura' la relazione sforzi-deformazione è esprimibile nella forma

$$s = s_0 + K(u - u_0)$$

In presenza di tirante attivo verrà inserita una molla con uno stato di pretensione pari allo sforzo di tesatura. Nelle fasi successive il tirante verrà considerato come una semplice molla che 'ricorda', naturalmente, lo sforzo della fase precedente.

4.1.5 VERIFICA ALLA STABILITÀ GLOBALE

La verifica alla stabilità globale del complesso paratia+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1.3.

È usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento è supposta circolare.

In particolare il programma esamina, per un dato centro 3 cerchi differenti: un cerchio passante per la linea di fondo scavo, un cerchio passante per il piede della paratia ed un cerchio passante per il punto medio della parte interrata. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 6x6 posta in prossimità della sommità della paratia. Il numero di strisce è pari a 50.

Il coefficiente di sicurezza fornito da Fellenius si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_i \left(\frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i} + [W_i \cos \alpha_i - u_i] \operatorname{tg} \phi_i \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i_{esima} rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i_{esima} e c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia.

Inoltre u_i ed l_i rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia ($l_i = b_i / \cos \alpha_i$).

Quindi, assunto un cerchio di tentativo si suddivide in n strisce e dalla formula precedente si ricava η . Questo procedimento è eseguito per il numero di centri prefissato ed è assunto come coefficiente di sicurezza della scarpata il minimo dei coefficienti così determinati.

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

5.1 STRATIGRAFIA DI PROGETTO

La trattazione completa della situazione geotecnica in prossimità delle opere in oggetto è riportata nella Relazione Geotecnica allegata al Progetto. Di seguito si riportano i parametri geotecnici caratteristici dei livelli geotecnici assunti nei calcoli.

Tipologia	Spessore [m]	γ_{dry} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c_k' [kPa]	ϕ_k' [°]	E (MPa)
rilevato		20	21	0	35	50
ghiaia addensata	-	20	21	0	38	50

Stratigrafia di progetto

Dove:

γ_{dry}	peso di volume secco
γ_{sat}	peso di volume saturo
c'	coesione drenata
ϕ' [°]	angolo di attrito efficace
c_u	coesione non drenata
E_{vc}	modulo elastico in compressione vergine

La falda non è presente.

5.2 PARAMETRI DI SPINTA

I valori dei coefficienti di spinta attiva (k_a) sono stati calcolati secondo la relazione di Coulomb, mentre i coefficienti di spinta passiva (k_p) secondo le relazioni di Caquot. Il valore dell'angolo di attrito terreno-paratia (δ) è stato posto prudenzialmente pari a 0 sia per la spinta passiva, sia per la spinta attiva.

La relazione di Coulomb per il calcolo del coefficiente di spinta attiva, con le condizioni assunte, è la seguente:

$$K_a = \frac{\text{sen}^2(\pi/2 + \phi)}{\left(1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\delta + \phi) \cdot \text{sen}(\phi)}{\text{sen}(\pi/2 - \delta)}}\right)^2} \quad (\text{spinta attiva})$$

Per le verifiche strutturali delle paratie si specifica che non si effettuano verifiche sismiche essendo opere provvisoriale (come precedentemente definito).

5.3 CARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO

5.3.1 CONDIZIONI DI CARICO

Per le verifiche strutturali e geotecniche si considereranno le seguenti condizioni di carico:

- Pesi proprio struttura;

- Carico accidentale dovuto ai mezzi in transito di cantiere pari a 5 kN/mq a monte della paratia per i primi 2.0m;
- Carico accidentale dovuto ai mezzi in transito sulla ferrovia. il carico considerato è quello imposto dalla normativa FS44G. In dettaglio si sono considerate i due binari: sul primo, distante 3.00m dalla berlinese, è stato applicato il treno SW2 (150 kN/m diffusi sulla larghezza del binario di 2.5m per un contributo di 60kN/mq) mentre sul secondo, distante 7.00m dalla berlinese ,è stato applicato il treno SW0 (133 kN/m diffuse sulla larghezza del binario di 2.5m per un contributo di 53.2kN/mq).

5.3.2 COMBINAZIONI DI CARICO

5.3.2.1 S.L.E

Le verifiche SLE vengono effettuate impiegando le azioni ed i parametri caratteristici del terreno e controllando che le deformazioni indotte dallo scavo siano compatibili con le preesistenze e la paratia stessa.

Per la verifica agli S.L.E. indicando con

G: pesi propri , carichi permanenti, spinte del terreno

Q: carichi accidentali

si considerano le seguenti combinazioni:

- la combinazione caratteristica (statica)

$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$ definita nel programma di calcolo [ESE]

5.3.2.2 S.L.U

Per la verifica agli S.L.U. indicando con

G: pesi propri , carichi permanenti, spinte del terreno

Q: carichi accidentali

si considereranno le seguenti combinazioni di carico:

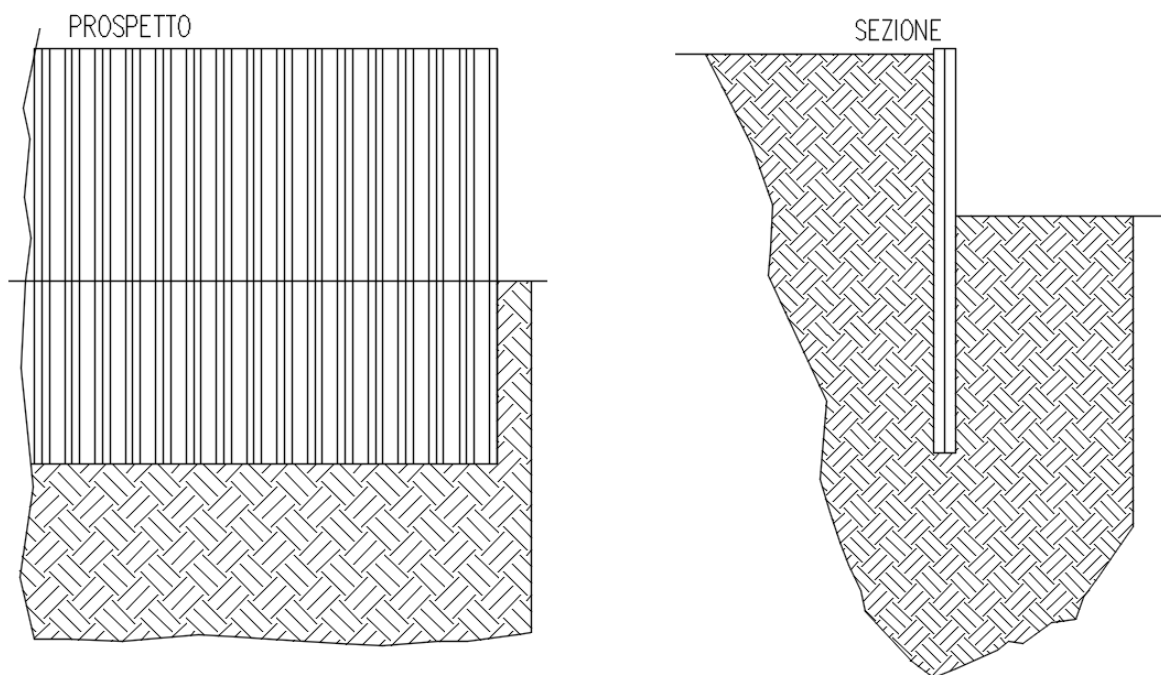
- SLU strutturale: $\gamma_G G + \gamma_Q Q$ gruppo di coefficienti A1, M1, R1:
definita nel programma di calcolo [A1 - M2]
- SLU geotecnico: gruppo di coefficienti A2, M2, R2:
definita nel programma di calcolo [A1 - M2]
- SLU strutturale + Sisma: $\gamma_G G + \gamma_Q Q$ gruppo di coefficienti A1, M1, R1:
definita nel programma di calcolo [A1 - M1]S
- SLU geotecnico + Sisma: gruppo di coefficienti A2, M2, R2:
definita nel programma di calcolo [A2 - M2]S

6 DIMENSIONAMENTO PALANCOLE

Si esegue nel presente capitolo il dimensionamento della paratia in oggetto attraverso l'utilizzo del programma.

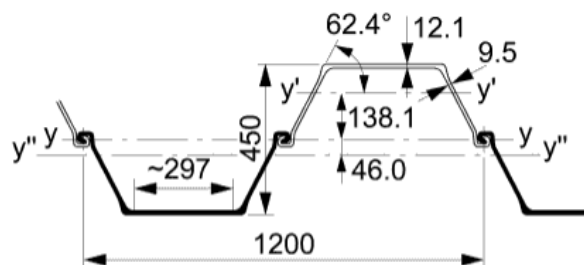
6.1 TIPO 2 ACELOR PU22

Si riportano i dati ed i relativi disegni della paratia in oggetto:



PU 22

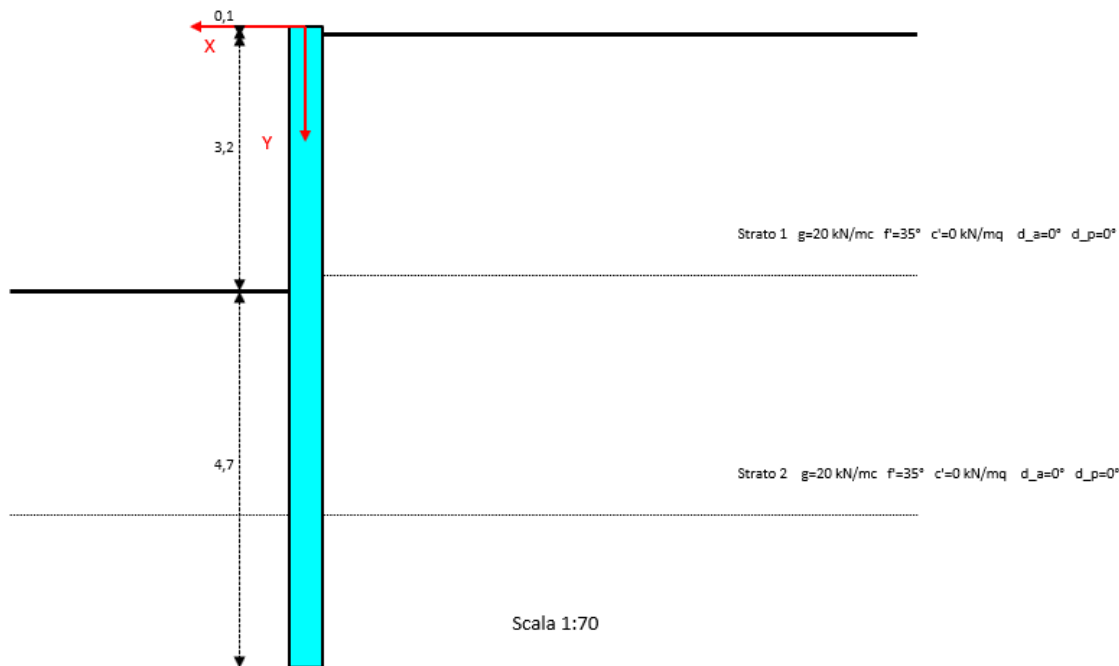
PU 22



	Area della sezione	Massa per m	Momento d'inerzia	Modulo di resistenza elastico	Raggio giratore d'inerzia	Superficie di rivestimento*
	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	m ² /m
Per S	109,7	86,1	8740	546	8,93	0,90
Per D	219,5	172,3	59360	2640	16,45	1,79
Per T	329,2	258,4	82060	3025	15,79	2,68
Per m di muro	182,9	143,6	49460	2200	16,45	1,49

6.1.1 CARATTERISTICHE GENERALI

Si riporta di seguito il modello agli elementi finiti implementati:



6.1.2 DESCRIZIONE TERRENI

Nella modellazione agli elementi finiti dei vari tratti di paratia, anche se si è in presenza di una sola tipologia di terreno, si considerano diversi strati aventi le medesime caratteristiche geologico-geotecniche per meglio discretizzare l'entità del coefficiente di Winkler (assunto crescente con la profondità, come meglio spiegato in seguito).

Simbologia adottata:

n° numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia

Descrizione Descrizione del terreno

γ peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]

γ_s peso di volume saturo del terreno espresso [kg/mc]

ϕ angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]

δ angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]

c coesione del terreno espressa in [kg/cm^q]

n°	Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c
1	Rilevato 1	2000.00	2000.00	35.00	0.00	0.000
2	Rilevato 2	2000.00	2000.00	35.00	0.00	0.000
3	Rilevato 3	2000.00	2000.00	35.00	0.00	0.000
4	In Situ	1900.00	2000.00	38.00	0.00	0.000
5	Rilevato 4	2000.00	2000.00	35.00	0.00	0.000

6.1.3 DESCRIZIONE STRATIGRAFIA

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
sp	spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw	costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm ² /cm
α	inclinazione dello strato espressa in GRADI(°)

Per la costante di Winkler si assume un andamento con la profondità definito dalla seguente espressione

$$K(z) = 0.50 + 0.50 z^{0.50}$$

dove K è la costante di Winkler espressa in Kg/cm²/cm e z è la profondità rispetto alla testa della paratia espressa in metri.

n°	sp	α	kw	Terreno
1	3.00	0.00	1.11	Rilevato1
2	3.00	0.00	1.56	Rilevato2
3	3.00	0.00	1.87	Rilevato3
4	1.00	0.00	2.04	Rilevato 4
5	3.00	0.00	2.20	In Situ
6	3.00	0.00	2.40	In Situ
7	2.00	0.00	2.56	In Situ

6.1.4 CONDIZIONI DI CARICO

Simbologia e convenzioni adottate

Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

X_i ascissa del punto iniziale di applicazione del carico

X_f ascissa del punto finale di applicazione del carico

Q_i, Q_f Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kg/mq]

Per tutte le tipologie di paratie si considera le seguente condizioni di carico:

Condizione n° 1

Carico distribuito sul profilo $X_i = 0.00$
 $X_f = 30.00$
 $Q_i = 500$
 $Q_f = 500$

6.1.5 IMPOSTAZIONI DI PROGETTO

Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$	1.00	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1.00	1.00

6.1.6 IMPOSTAZIONI DI ANALISI

6.1.6.1 Analisi per Fasi di Scavo.

Rottura del terreno: Pressione passiva Spostamento limite o per spostamento limite molle pari a 1.50cm

Impostazioni analisi per fasi di scavo:

Analisi per condizioni di esercizio

Analisi per coefficienti tipo A1-M1

Analisi per coefficienti tipo A2-M2

Stabilità globale: Metodo di Fellenius

6.1.7 VERIFICHE PALANCOLA

In seguito vengono riportati i tabulati di verifica estrapolati dal programma di calcolo:

VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

COMB. 1 (SLU-F)

VERIFICA ALLA ROTAZIONE INTORNO A UN PUNTO DELL'OPERA (atto di moto rigido)

Sovraccarichi di progetto sui terrapieni

Terreno di monte, $q_{1d}=0,00$ kN/mq

Terreno di valle, $q_{2d}=0,00$ kN/mq

Parametri geotecnici di progetto

strato 1

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $Fi_d=29,26$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)

strato 2

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $Fi_d=29,26$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)

strato 3

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $Fi_d=29,26$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)

strato 4

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $Fi_d=29,26$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)

strato 5

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i,d}=32,01$ (°)
coesione drenata, $c'_{d}=0,00$ kN/mq
angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)
angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)
strato 6
peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc
angolo di resistenza al taglio, $F_{i,d}=32,01$ (°)
coesione drenata, $c'_{d}=0,00$ kN/mq
angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)
angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)

Coefficienti di spinta

strato 1

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,343442$
coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,511286$
coeff. di spinta passiva, $K_p=2,911702$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,343442$
coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,511286$
coeff. di spinta passiva, $K_p=2,911702$

strato 2

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,343442$
coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,511286$
coeff. di spinta passiva, $K_p=2,911702$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,343442$
coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,511286$
coeff. di spinta passiva, $K_p=2,911702$

strato 3

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,343442$
coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,511286$
coeff. di spinta passiva, $K_p=2,911702$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,343442$
coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,511286$
coeff. di spinta passiva, $K_p=2,911702$

strato 4

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,343442$
coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,511286$
coeff. di spinta passiva, $K_p=2,911702$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,343442$
coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,511286$

coeff. di spinta passiva, $K_p=2,911702$

strato 5

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,307176$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,469984$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,255467$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,307176$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,469984$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,255467$

strato 6

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,307176$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,469984$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,255467$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,307176$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,469984$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,255467$

Profondità punto di rotazione e profondità di infissione o coefficiente di sicurezza

Profondità punto di rotazione, $D_r=4,192$ m

Coefficiente di sicurezza, $E_{ta}=1,657$

n° iterazioni effettuate (metodo bisezione) = 21

errore equazione di equilibrio alla rotazione = $-0,12$ kN*m

Punti caratteristici e tensioni a monte della paratia

tensioni in kN/mq

tipo punto	z (m)	strato	sv	u	sa/sp/s_sup	s_inf
1	0,00	1	0,00	0,00	0,00	
ss	3,00	1	60,00	0,00	20,61	20,61
ss	6,00	2	120,00	0,00	41,21	41,21
2	7,39	3	147,83	0,00	50,77	259,77
3	7,90	3	158,00	0,00	277,64	

Punti caratteristici e tensioni a valle della paratia

tensioni in kN/mq

tipo punto	z (m)	strato	sv	u	sa/sp/s_sup	s_inf
11	3,20	2	0,00	0,00	0,00	
ss	6,00	2	56,00	0,00	98,40	98,40
12	7,39	3	83,83	0,00	147,31	28,79
13	7,90	3	94,00	0,00	32,28	

Spinte di monte e di valle (orizzontali) agenti sulla paratia

Spinta di monte, $S_m=324,25$ kN/m

Spinta di valle, $S_v=324,25$ kN/m

braccio della spinta di monte rispetto all'estremo inferiore paratia, $d_m=1,826$ m

braccio della spinta di valle rispetto all'estremo inferiore paratia, $d_v=1,826$ m

Esito verifica alla rotazione

Verifica soddisfatta (essendo $E_t \geq g_{Rot}$)

SOLLECITAZIONI AGENTI SULLA PARATIA (calcolo FEM)

Sovraccarichi di progetto sui terrapieni

Terreno di monte, $q_{1d}=0,00$ kN/mq

Terreno di valle, $q_{2d}=0,00$ kN/mq

Parametri geotecnici di progetto

strato 1

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d}=35$ (°)

coesione drenata, $c'_{d}=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $D_{elt_ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $D_{elt_pd}=0$ (°)

strato 2

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d}=35$ (°)

coesione drenata, $c'_{d}=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $D_{elt_ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $D_{elt_pd}=0$ (°)

strato 3

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d}=35$ (°)

coesione drenata, $c'_{d}=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $D_{elt_ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $D_{elt_pd}=0$ (°)

strato 4

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d}=35$ (°)

coesione drenata, $c'_{d}=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $D_{elt_ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $D_{elt_pd}=0$ (°)

strato 5

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d}=38$ (°)

coesione drenata, $c'_{d}=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $D_{elt_ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $D_{elt_pd}=0$ (°)

strato 6

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d}=38$ (°)

coesione drenata, $c'_{_d}=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_ad=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_pd=0$ (°)

Coefficienti di spinta

strato 1

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,27099$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,426424$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,690172$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,27099$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,426424$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,690172$

strato 2

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,27099$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,426424$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,690172$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,27099$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,426424$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,690172$

strato 3

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,27099$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,426424$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,690172$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,27099$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,426424$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,690172$

strato 4

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,27099$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,426424$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,690172$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,27099$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,426424$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,690172$

strato 5

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,237883$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,384339$

coeff. di spinta passiva, $K_p=4,203746$

lato valle:

 coeff. di spinta attiva, $K_a=0,237883$

 coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,384339$

 coeff. di spinta passiva, $K_p=4,203746$
strato 6

lato monte:

 coeff. di spinta attiva, $K_a=0,237883$

 coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,384339$

 coeff. di spinta passiva, $K_p=4,203746$

lato valle:

 coeff. di spinta attiva, $K_a=0,237883$

 coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,384339$

 coeff. di spinta passiva, $K_p=4,203746$
Numero di iterazioni nel calcolo non lineare e sollecitazioni

Numero di iterazione effettuate = 4

errore iterazione 0 = 0,001323

errore iterazione 1 = 0,012678

errore iterazione 2 = 0,00518

errore iterazione 3 = 0,001476

errore iterazione 4 = 0,000106

sez./nodo	x (m)	Nx (kN/m)	Tz (kN/m)	My (kN*m/m)
1	0	0	0	0
2	0,1	-0,19	0	0
3	0,35	-0,65	-0,44	0
4	0,6	-1,12	-1,32	-0,11
5	0,85	-1,59	-2,64	-0,44
6	1,1	-2,05	-4,4	-1,1
7	1,35	-2,52	-6,61	-2,2
8	1,6	-2,99	-9,25	-3,85
9	1,85	-3,45	-12,33	-6,17
10	2,1	-3,92	-15,85	-9,25
11	2,35	-4,39	-19,82	-13,21
12	2,6	-4,85	-24,22	-18,16
13	2,85	-5,32	-29,06	-24,22
14	3,1	-5,79	-33,82	-31,49
15	3,3	-6,16	-38,94	-38,25
16	3,55	-6,63	-38,92	-48,16
17	3,81	-7,11	-33,13	-58,07
18	4,06	-7,58	-21,56	-66,5
19	4,32	-8,06	-4,23	-71,99
20	4,57	-8,53	9,57	-73,06
21	4,83	-9,01	19,69	-70,63
22	5,08	-9,49	26,75	-65,62
23	5,34	-9,96	31,37	-58,81

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	VI020X001	A	29 di 49

24	5,59	-10,44	34,13	-50,82
25	5,85	-10,91	34,21	-42,14
26	6,1	-11,39	32,13	-33,43
27	6,34	-11,83	28,84	-25,8
28	6,57	-12,27	24,73	-18,95
29	6,81	-12,72	20,2	-13,08
30	7,05	-13,16	15,54	-8,28
31	7,29	-13,6	10,89	-4,59
32	7,52	-14,05	6,37	-2
33	7,76	-14,49	2,06	-0,49
34	8	-14,93	2,06	0

REAZIONI VINCOLARI E PRESSIONI DI CONTATTO TERRENO-PARATIA (calcolo FEM)

RvX = componente della reazione vincolare lungo X (kN/m)

RvY = componente della reazione vincolare lungo Y (kN/m)

RvZ = componente momento della reazione vincolare (kN*m/m)

pXv = pressione orizzontale del terreno (molle di valle) (kN/mq)

pXm = pressione orizzontale del terreno (molle di monte) (kN/mq)

sez./nodo	x (m)	RvX	RvY	RvZ	pXv	pXm
2	0,1	0	0	0	0	0
3	0,35	0,34	0	0	0	1,35
4	0,6	0,68	0	0	0	2,71
5	0,85	1,02	0	0	0	4,06
6	1,1	1,36	0	0	0	5,42
7	1,35	1,69	0	0	0	6,77
8	1,6	2,03	0	0	0	8,13
9	1,85	2,37	0	0	0	9,48
10	2,1	2,71	0	0	0	10,84
11	2,35	3,05	0	0	0	12,19
12	2,6	3,39	0	0	0	13,55
13	2,85	3,73	0	0	0	14,9
14	3,1	3,66	0	0	0	16,26
15	3,3	3,94	0	0	0	17,34
16	3,55	-0,02	0	0	-18,79	18,72
17	3,81	-4,45	0	0	-37,57	20,1
18	4,06	-8,89	0	0	-56,36	21,48
19	4,32	-13,33	0	0	-75,15	22,86
20	4,57	-10,62	0	0	-65,87	24,24
21	4,83	-7,79	0	0	-56,15	25,62
22	5,08	-5,43	0	0	-48,3	27
23	5,34	-3,55	0	0	-42,31	28,38
24	5,59	-2,12	0	0	-38,09	29,76
25	5,85	-0,06	0	0	-35,48	35,23
26	6,1	1,6	0	0	-34,28	40,77
27	6,34	2,54	0	0	-34,2	44,9

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	VI020X001	A	30 di 49

28	6,57	3,16	0	0	-34,93	48,22
29	6,81	3,49	0	0	-36,28	50,92
30	7,05	3,58	0	0	-38,06	53,19
31	7,29	3,58	0	0	-40,14	55,17
32	7,52	3,47	0	0	-42,38	56,97
33	7,76	3,32	0	0	-44,71	58,7
34	8	1,59	-11,49	0	-47,06	60,4

PERCENTUALI DI SPINTA PASSIVA MOBILITATA

Spinta passiva mobilitata a monte = 0%

Spinta passiva mobilitata a valle = 39,7%

VERIFICA CONDIZIONI DI EQUILIBRIO (calcolo FEM)
Equilibrio alla traslazione orizzontale

somma delle forze esterne orizzontali applicate alla paratia, $SF_x=0,00$ kN/m

spinte di monte dovute a carichi distribuiti esterni, $Sme=0,00$ kN/m

spinte di valle dovute a carichi distribuiti esterni, $Sve=0,00$ kN/m

somma delle reazioni vincolari lungo X, $SommRvX=0,00$ kN/m

equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale: $SF_x+Sme+Sve+SommRvX=0,00$ kN/m

Equilibrio alla traslazione verticale

peso proprio della paratia, $Wp=11,49$ kN/m

somma delle forze verticali applicate alla paratia, $SF_y=0,00$ kN/m

somma delle reazioni vincolari lungo Y, $SommRvY=-11,49$ kN/m

equazione di equilibrio alla traslazione verticale: $Wp+SF_y+SommRvY=0,00$ kN/m

Equilibrio alla rotazione (attorno al primo nodo)

momento delle forze orizzontali applicate alla paratia, $MF_x=0,00$ kN*m/m

momento dei carichi distribuiti esterni di monte, $MSme=0,00$ kN*m/m

momento dei carichi distribuiti esterni di valle, $MSve=0,00$ kN*m/m

momento delle reazioni vincolari lungo X, $MRvX=0,00$ kN*m/m

equazione di equilibrio alla rotazione: $MF_x+MSme+MSve+MRvX=0,00$ kN*m/m

Spinte orizzontali

spinta delle terre di monte, $Sm=199,23$ kN/m

spinta delle terre di valle, $Sv=-199,23$ kN/m

somma componenti orizz. delle forze che i tiranti/puntoni esercitano sull'opera, $ST_x=0,00$ kN/m

somma forze orizzontali applicate alla paratia, $SF_x=0,00$ kN/m

spinte di monte dovute a carichi distribuiti esterni, $Sme=0,00$ kN/m

spinte di valle dovute a carichi distribuiti esterni, $Sve=0,00$ kN/m

Momenti delle spinte orizzontali rispetto al primo nodo

momento della spinta delle terre di monte, $MSm=1.120,42$ kN*m/m

momento della spinta delle terre di valle, $MSv=-1.120,42$ kN*m/m

momento delle compon. orizz. delle forze che i tiranti/puntoni esercitano sull'opera, $MT_x=0,00$ kN*m/m

momento delle forze orizzontali applicate alla paratia, $MF_x=0,00$ kN*m/m

momento dei carichi distribuiti esterni di monte, $MSme=0,00$ kN*m/m

momento dei carichi distribuiti esterni di valle, $MSve=0,00$ kN*m/m

SPOSTAMENTI NODALI (calcolo FEM)

w = spostamento orizzontale (lungo l'asse globale X, coincidente con l'asse locale z)

u = spostamento verticale (lungo l'asse globale Y, coincidente con l'asse locale x)

sez./nodo	x (m)	w (cm)	u (cm)	rot. (rad)
1	0	0,727	0,001	-0,0016
2	0,1	0,711	0,001	-0,0016
3	0,35	0,671	0,001	-0,0016
4	0,6	0,632	0,001	-0,0016
5	0,85	0,592	0,001	-0,0016
6	1,1	0,553	0,001	-0,0016
7	1,35	0,513	0,001	-0,0016
8	1,6	0,474	0,001	-0,0016
9	1,85	0,435	0,001	-0,0016
10	2,1	0,396	0,001	-0,0015
11	2,35	0,357	0,001	-0,0015
12	2,6	0,319	0,001	-0,0015
13	2,85	0,282	0,001	-0,0015
14	3,1	0,247	0,001	-0,0014
15	3,3	0,219	0,001	-0,0014
16	3,55	0,185	0,001	-0,0013
17	3,81	0,154	0,001	-0,0012
18	4,06	0,126	0,001	-0,0011
19	4,32	0,101	0,001	-0,0009
20	4,57	0,079	0,001	-0,0008
21	4,83	0,06	0,001	-0,0007
22	5,08	0,045	0,001	-0,0005
23	5,34	0,033	0,001	-0,0004
24	5,59	0,024	0,001	-0,0003
25	5,85	0,018	0,001	-0,0002
26	6,1	0,013	0,001	-0,0001
27	6,34	0,01	0	-0,0001
28	6,57	0,009	0	-0,0001
29	6,81	0,008	0	0
30	7,05	0,007	0	0
31	7,29	0,007	0	0
32	7,52	0,007	0	0
33	7,76	0,008	0	0
34	8	0,008	0	0

VERIFICA AL CARICO LIMITE VERTICALE

Parametri geotecnici di progetto

coesione = 0,00 kN/mq

angolo di resistenza al taglio = 35°

Resistenza alla punta

fattore Nq (Berezantzev) = 56,508

fattore $N_c = 79,27$

tensione litostatica verticale totale alla profondità L, $s_{VL} = 158,00$ kN/mq

pressione neutra alla profondità L, $u_L = 0,00$ kN/mq

tensione litostatica verticale efficace alla profondità L, $s'_{VL} = 158,00$ kN/mq

Resistenza unitaria alla punta, $p = 8.928,25$ kN/mq

Resistenza alla punta, $P_{max} = 163,30$ kN

Resistenza laterale

Resistenza laterale, $S_{max} = 288,74$ kN

Resistenza alla punta e laterale di progetto

Resistenza alla punta (valore medio) = 163,30 kN

Resistenza alla punta (valore minimo) = 163,30 kN

Resistenza laterale (valore medio) = 288,74 kN

Resistenza laterale (valore minimo) = 288,74 kN

Fattore di correlazione, $\alpha_3 = 1,7$

Fattore di correlazione, $\alpha_4 = 1,7$

Resistenza alla punta (valore caratteristico) = 96,06 kN

Resistenza laterale (valore caratteristico) = 169,85 kN

Resistenza alla punta di progetto, $P_{max_d} = 83,53$ kN

Resistenza laterale di progetto, $S_{max_d} = 147,69$ kN

Carico limite per carichi assiali di compressione

$Q_{lim_d} = P_{max_d} + S_{max_d} = 231,22$ kN

Carico limite di sfilamento per carichi assiali di trazione

$Q_{limt_d} = S_{max_d} = 147,69$ kN

Azione di progetto

$E_d = 14,93$ kN

Verifica al carico limite per carichi assiali di compressione

Verifica soddisfatta: l'azione di progetto non supera la resistenza di progetto

coeff. di sicurezza, $Q_{lim_d}/E_d = 15,49$

VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE

Parametri geotecnici di progetto

strato 1

peso dell'unità di volume, $g = 20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d} = 29,26$ (°)

coesione drenata, $c'_{_d} = 0,00$ kN/mq

strato 2

peso dell'unità di volume, $g = 20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d} = 29,26$ (°)

coesione drenata, $c'_{_d} = 0,00$ kN/mq

strato 3

peso dell'unità di volume, $g = 20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d} = 29,26$ (°)

coesione drenata, $c'_{_d} = 0,00$ kN/mq

strato 4

peso dell'unità di volume, $g = 20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d} = 29,26$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

strato 5

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $Fi_d=32,01$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

strato 6

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $Fi_d=32,01$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

Parametri di calcolo

n° di cerchi analizzati = 10

Metodo utilizzato: Bishop

Cerchio critico

Coordinate centro e raggio: X (m)= 0 Y (m)= -1,59 Rc (m)= 9,69

Simbologia adottata

Wt = peso del concio (kN)

Wq = forza risultante verticale dovuta al sovraccarico applicato sul concio (kN)

alfa=angolo (minore di 90°) che l'orizzontale forma con la base del concio (positivo se antiorario)

u = pressione neutra alla base del concio (kN/mq)

DX = larghezza lungo X del concio (m)

Fsh = forza sismica orizzontale sul concio (kN)

B = braccio della forza sismica orizzontale rispetto al centro del cerchio di rottura (m)

Fsv = forza sismica verticale sul concio (kN)

N = risultante delle tensioni normali di reazione del terreno alla base del concio (kN)

T = risultante delle tensioni tangenziali di reazione del terreno alla base del concio (kN)

concio	Wt	Wq	alfa (°)	u	DX	Fsh	B	Fsv	N	T
1	7,5	0	-55,95	0	0,71	0	12,89	0	16,84	2,33
2	20,83	0	-48,98	0	0,71	0	12,89	0	37,73	5,21
3	31,37	0	-42,9	0	0,71	0	12,89	0	49,13	6,79
4	39,95	0	-37,37	0	0,71	0	12,89	0	56,21	7,76
5	47,02	0	-32,24	0	0,71	0	12,89	0	60,9	8,41
6	52,85	0	-27,38	0	0,71	0	12,89	0	64,1	8,85
7	57,6	0	-22,72	0	0,71	0	12,89	0	66,28	9,15
8	61,39	0	-18,23	0	0,71	0	12,89	0	67,71	9,35
9	64,31	0	-13,84	0	0,71	0	12,89	0	68,56	9,47
10	66,41	0	-9,54	0	0,71	0	12,89	0	68,94	9,52
11	67,73	0	-5,29	0	0,71	0	12,89	0	68,9	9,52
12	68,29	0	-1,07	0	0,71	0	12,89	0	80	11,05
13	6,4	0	1,18	0	0,05	0	12,89	0	6,38	0,88
14	114,41	0	3,45	0	0,72	0	12,89	0	113,67	15,7
15	113,4	0	7,72	0	0,72	0	12,89	0	112,34	15,52
16	111,61	0	12,02	0	0,72	0	12,89	0	110,86	15,31
17	109,01	0	16,4	0	0,72	0	12,89	0	109,19	15,08
18	105,53	0	20,87	0	0,72	0	12,89	0	107,3	14,82
19	101,12	0	25,49	0	0,72	0	12,89	0	105,11	14,52
20	95,67	0	30,29	0	0,72	0	12,89	0	102,53	14,16
21	89,02	0	35,35	0	0,72	0	12,89	0	99,4	13,73

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	VI020X001	A	34 di 49

22	80,95	0	40,74	0	0,72	0	12,89	0	95,49	13,19
23	71,09	0	46,63	0	0,72	0	12,89	0	90,31	12,47
24	58,76	0	53,26	0	0,72	0	12,89	0	82,89	11,45
25	42,53	0	61,2	0	0,72	0	12,89	0	70,56	9,75
26	16,59	0	72,79	0	0,72	0	12,89	0	38,77	5,36

Lunghezza dell'arco di cerchio di scivolamento, $L=23,63$ m

Momento resistente, $M_{resist}=10.588,14$ kN*m

Momento instabilizzante, $M_{instab}=2.610,84$ kN*m

Coefficiente di sicurezza del pendio = $M_{resist}/M_{instab} = 4,055$

Verifica soddisfatta

VERIFICHE STRUTTURALI PARATIA

Verifiche di resistenza a presso-flessione e taglio

sid_m: tensione ideale massima nella sezione di acciaio (N/mm²)

Mcy_Rd: resistenza di progetto della sezione soggetta a presso-flessione retta (asse vettore y)

Resistenza plastica della sezione lorda A, $N_{pl_Rd}=6.183,76$ kN

Area resistente al taglio della sezione lungo z, $Avz=106,60$ cm²

Resistenza di progetto a taglio lungo z, $V_{cz_Rd}=2.080,84$ kN

Momento resistente elastico lungo l'asse vettore y, $M_{ely_Rd}=743,81$ kN*m

Momento resistente plastico lungo l'asse vettore y, $M_{ply_Rd}=872,29$ kN*m

tensione di snervamento di progetto, $f_{yd}=338$ N/mm²

x (m)	Nx	Tz	My	sid_m	Mcy_Rd	Verif?
0	0	0	0			Si
0,1	-0,23	0	0			Si
0,35	-0,78	-0,53	0	0,1		Si
0,6	-1,34	-1,58	-0,13	0,3		Si
0,85	-1,91	-3,17	-0,53	0,6		Si
1,1	-2,46	-5,28	-1,32	0,9		Si
1,35	-3,02	-7,93	-2,64	1,4		Si
1,6	-3,59	-11,1	-4,62	2,3		Si
1,85	-4,14	-14,8	-7,4	3,6		Si
2,1	-4,7	-19,02	-11,1	5,3		Si
2,35	-5,27	-23,78	-15,85	7,5		Si
2,6	-5,82	-29,06	-21,79	10,2		Si
2,85	-6,38	-34,87	-29,06	13,6		Si
3,1	-6,95	-40,58	-37,79	17,6		Si
3,3	-7,39	-46,73	-45,9	21,3		Si
3,55	-7,96	-46,7	-57,79	26,7		Si
3,81	-8,53	-39,76	-69,68	32,2		Si
4,06	-9,1	-25,87	-79,8	36,8		Si
4,32	-9,67	-5,08	-86,39	39,8		Si
4,57	-10,24	11,48	-87,67	40,4		Si
4,83	-10,81	23,63	-84,76	39,1		Si
5,08	-11,39	32,1	-78,74	36,4		Si
5,34	-11,95	37,64	-70,57	32,8		Si

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	VI020X001	A	35 di 49

5,59	-12,53	40,96	-60,98	28,4	Si
5,85	-13,09	41,05	-50,57	23,7	Si
6,1	-13,67	38,56	-40,12	19	Si
6,34	-14,2	34,61	-30,96	14,9	Si
6,57	-14,72	29,68	-22,74	11,1	Si
6,81	-15,26	24,24	-15,7	8	Si
7,05	-15,79	18,65	-9,94	5,4	Si
7,29	-16,32	13,07	-5,51	3,4	Si
7,52	-16,86	7,64	-2,4	2	Si
7,76	-17,39	2,47	-0,59	1,2	Si
8	-17,92	2,47	0	1,1	Si

COMB. 2 (SLU-F)

VERIFICA ALLA ROTAZIONE INTORNO A UN PUNTO DELL'OPERA (atto di moto rigido)

Sovraccarichi di progetto sui terrapieni

Terreno di monte, $q_{1d}=32,50$ kN/mq

Terreno di valle, $q_{2d}=0,00$ kN/mq

Parametri geotecnici di progetto

strato 1

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $Fi_d=29,26$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)

strato 2

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $Fi_d=29,26$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)

strato 3

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $Fi_d=29,26$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)

strato 4

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $Fi_d=29,26$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)

strato 5

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i,d}=32,01$ (°)
coesione drenata, $c'_{d}=0,00$ kN/mq
angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)
angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)
strato 6
peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc
angolo di resistenza al taglio, $F_{i,d}=32,01$ (°)
coesione drenata, $c'_{d}=0,00$ kN/mq
angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)
angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)

Coefficienti di spinta

strato 1

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,343442$
coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,511286$
coeff. di spinta passiva, $K_p=2,911702$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,343442$
coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,511286$
coeff. di spinta passiva, $K_p=2,911702$

strato 2

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,343442$
coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,511286$
coeff. di spinta passiva, $K_p=2,911702$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,343442$
coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,511286$
coeff. di spinta passiva, $K_p=2,911702$

strato 3

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,343442$
coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,511286$
coeff. di spinta passiva, $K_p=2,911702$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,343442$
coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,511286$
coeff. di spinta passiva, $K_p=2,911702$

strato 4

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,343442$
coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,511286$
coeff. di spinta passiva, $K_p=2,911702$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,343442$
coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,511286$

coeff. di spinta passiva, $K_p=2,911702$
strato 5

lato monte:

 coeff. di spinta attiva, $K_a=0,307176$

 coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,469984$

 coeff. di spinta passiva, $K_p=3,255467$

lato valle:

 coeff. di spinta attiva, $K_a=0,307176$

 coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,469984$

 coeff. di spinta passiva, $K_p=3,255467$
strato 6

lato monte:

 coeff. di spinta attiva, $K_a=0,307176$

 coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,469984$

 coeff. di spinta passiva, $K_p=3,255467$

lato valle:

 coeff. di spinta attiva, $K_a=0,307176$

 coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,469984$

 coeff. di spinta passiva, $K_p=3,255467$
Profondità punto di rotazione e profondità di infissione o coefficiente di sicurezza

 Profondità punto di rotazione, $D_r=4,224$ m

 Coefficiente di sicurezza, $E_t=1,018$

n° iterazioni effettuate (metodo bisezione) = 21

errore equazione di equilibrio alla rotazione = 0,34 kN*m

Punti caratteristici e tensioni a monte della paratia

tensioni in kN/mq

tipo punto	z (m)	strato	sv	u	sa/sp/s_sup	s_inf
1	0,00	1	32,50	0,00	11,16	
ss	3,00	1	92,50	0,00	31,77	31,77
ss	6,00	2	152,50	0,00	52,37	52,37
2	7,42	3	180,99	0,00	62,16	517,63
3	7,90	3	190,50	0,00	544,84	

Punti caratteristici e tensioni a valle della paratia

tensioni in kN/mq

tipo punto	z (m)	strato	sv	u	sa/sp/s_sup	s_inf
11	3,20	2	0,00	0,00	0,00	
ss	6,00	2	56,00	0,00	160,16	160,16
12	7,42	3	84,49	0,00	241,63	29,02
13	7,90	3	94,00	0,00	32,28	

Spinte di monte e di valle (orizzontali) agenti sulla paratia

Spinta di monte, $S_m=524,89$ kN/m

Spinta di valle, $S_v=524,95$ kN/m

braccio della spinta di monte rispetto all'estremo inferiore paratia, $dm=1,839$ m

braccio della spinta di valle rispetto all'estremo inferiore paratia, $dv=1,838$ m

Esito verifica alla rotazione

Verifica soddisfatta (essendo $E_t \geq g_{Rot}$)

SOLLECITAZIONI AGENTI SULLA PARATIA (calcolo FEM)

Sovraccarichi di progetto sui terrapieni

Terreno di monte, $q_{1d}=28,85$ kN/mq

Terreno di valle, $q_{2d}=0,00$ kN/mq

Parametri geotecnici di progetto

strato 1

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d}=35$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)

strato 2

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d}=35$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)

strato 3

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d}=35$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)

strato 4

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d}=35$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)

strato 5

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d}=38$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)

strato 6

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d}=38$ (°)

coesione drenata, $c'_{_d}=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{_ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{_pd}=0$ (°)

Coefficienti di spinta

strato 1

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,27099$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,426424$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,690172$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,27099$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,426424$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,690172$

strato 2

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,27099$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,426424$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,690172$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,27099$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,426424$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,690172$

strato 3

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,27099$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,426424$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,690172$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,27099$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,426424$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,690172$

strato 4

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,27099$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,426424$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,690172$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,27099$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,426424$

coeff. di spinta passiva, $K_p=3,690172$

strato 5

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $K_a=0,237883$

coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,384339$

coeff. di spinta passiva, $K_p=4,203746$

lato valle:

 coeff. di spinta attiva, $K_a=0,237883$

 coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,384339$

 coeff. di spinta passiva, $K_p=4,203746$
strato 6

lato monte:

 coeff. di spinta attiva, $K_a=0,237883$

 coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,384339$

 coeff. di spinta passiva, $K_p=4,203746$

lato valle:

 coeff. di spinta attiva, $K_a=0,237883$

 coeff. di spinta a riposo, $K_o=0,384339$

 coeff. di spinta passiva, $K_p=4,203746$
Numero di iterazioni nel calcolo non lineare e sollecitazioni

Numero di iterazione effettuate = 4

errore iterazione 0 = 0,002469

errore iterazione 1 = 0,033467

errore iterazione 2 = 0,018239

errore iterazione 3 = 0,008131

errore iterazione 4 = 0,000819

sez./nodo	x (m)	Nx (kN/m)	Tz (kN/m)	My (kN*m/m)
1	0	0	0	0
2	0,1	-0,19	-1,27	0
3	0,35	-0,65	-4,25	-0,32
4	0,6	-1,12	-7,67	-1,38
5	0,85	-1,59	-11,53	-3,3
6	1,1	-2,05	-15,84	-6,18
7	1,35	-2,52	-20,58	-10,14
8	1,6	-2,99	-25,76	-15,29
9	1,85	-3,45	-31,38	-21,73
10	2,1	-3,92	-37,45	-29,57
11	2,35	-4,39	-43,95	-38,93
12	2,6	-4,85	-50,9	-49,92
13	2,85	-5,32	-58,28	-62,65
14	3,1	-5,79	-65,32	-77,22
15	3,3	-6,16	-72,75	-90,28
16	3,55	-6,63	-75,32	-108,8
17	3,81	-7,11	-72,12	-127,97
18	4,06	-7,58	-63,15	-146,33
19	4,32	-8,06	-48,41	-162,4
20	4,57	-8,53	-27,9	-174,72
21	4,83	-9,01	-1,61	-181,82
22	5,08	-9,49	30,44	-182,23
23	5,34	-9,96	56,82	-174,48

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	VI020X001	A	41 di 49

24	5,59	-10,44	74,73	-160,02
25	5,85	-10,91	85,75	-141
26	6,1	-11,39	91,17	-119,17
27	6,34	-11,83	91,91	-97,52
28	6,57	-12,27	86,77	-75,69
29	6,81	-12,72	77,19	-55,08
30	7,05	-13,16	64,29	-36,75
31	7,29	-13,6	48,67	-21,48
32	7,52	-14,05	30,81	-9,92
33	7,76	-14,49	10,97	-2,61
34	8	-14,93	10,97	0

REAZIONI VINCOLARI E PRESSIONI DI CONTATTO TERRENO-PARATIA (calcolo FEM)

RvX = componente della reazione vincolare lungo X (kN/m)

RvY = componente della reazione vincolare lungo Y (kN/m)

RvZ = componente momento della reazione vincolare (kN*m/m)

pXv = pressione orizzontale del terreno (molle di valle) (kN/mq)

pXm = pressione orizzontale del terreno (molle di monte) (kN/mq)

sez./nodo	x (m)	RvX	RvY	RvZ	pXv	pXm
2	0,1	0,98	0	0	0	7,82
3	0,35	2,29	0	0	0	9,17
4	0,6	2,63	0	0	0	10,53
5	0,85	2,97	0	0	0	11,88
6	1,1	3,31	0	0	0	13,24
7	1,35	3,65	0	0	0	14,59
8	1,6	3,99	0	0	0	15,95
9	1,85	4,33	0	0	0	17,3
10	2,1	4,66	0	0	0	18,66
11	2,35	5	0	0	0	20,01
12	2,6	5,34	0	0	0	21,37
13	2,85	5,68	0	0	0	22,72
14	3,1	5,42	0	0	0	24,08
15	3,3	5,71	0	0	0	25,16
16	3,55	1,98	0	0	-18,79	26,54
17	3,81	-2,46	0	0	-37,57	27,92
18	4,06	-6,9	0	0	-56,36	29,3
19	4,32	-11,34	0	0	-75,15	30,68
20	4,57	-15,78	0	0	-93,93	32,06
21	4,83	-20,22	0	0	-112,72	33,44
22	5,08	-24,66	0	0	-131,5	34,82
23	5,34	-20,29	0	0	-115,78	36,2
24	5,59	-13,77	0	0	-91,59	37,58
25	5,85	-8,48	0	0	-72,21	38,96
26	6,1	-4,17	0	0	-57,28	40,34
27	6,34	-0,57	0	0	-46,9	44,5

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	VI020X001	A	42 di 49

28	6,57	3,95	0	0	-39,43	56,02
29	6,81	7,37	0	0	-34,27	65,23
30	7,05	9,93	0	0	-30,83	72,72
31	7,29	12,02	0	0	-28,56	79,05
32	7,52	13,74	0	0	-26,97	84,69
33	7,76	15,26	0	0	-25,67	90,04
34	8	8,44	-11,49	0	-25,47	95,35

PERCENTUALI DI SPINTA PASSIVA MOBILITATA

Spinta passiva mobilitata a monte = 12,9%

Spinta passiva mobilitata a valle = 67,7%

VERIFICA CONDIZIONI DI EQUILIBRIO (calcolo FEM)
Equilibrio alla traslazione orizzontale

 somma delle forze esterne orizzontali applicate alla paratia, $SF_x=0,00$ kN/m

 spinte di monte dovute a carichi distribuiti esterni, $Sme=0,00$ kN/m

 spinte di valle dovute a carichi distribuiti esterni, $Sve=0,00$ kN/m

 somma delle reazioni vincolari lungo X, $SommRvX=0,00$ kN/m

 equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale: $SF_x+Sme+Sve+SommRvX=0,00$ kN/m

Equilibrio alla traslazione verticale

 peso proprio della paratia, $Wp=11,49$ kN/m

 somma delle forze verticali applicate alla paratia, $SF_y=0,00$ kN/m

 somma delle reazioni vincolari lungo Y, $SommRvY=-11,49$ kN/m

 equazione di equilibrio alla traslazione verticale: $Wp+SF_y+SommRvY=0,00$ kN/m

Equilibrio alla rotazione (attorno al primo nodo)

 momento delle forze orizzontali applicate alla paratia, $MF_x=0,00$ kN*m/m

 momento dei carichi distribuiti esterni di monte, $MSme=0,00$ kN*m/m

 momento dei carichi distribuiti esterni di valle, $MSve=0,00$ kN*m/m

 momento delle reazioni vincolari lungo X, $MRvX=0,00$ kN*m/m

 equazione di equilibrio alla rotazione: $MF_x+MSme+MSve+MRvX=0,00$ kN*m/m

Spinte orizzontali

 spinta delle terre di monte, $Sm=277,69$ kN/m

 spinta delle terre di valle, $Sv=-277,81$ kN/m

 somma componenti orizz. delle forze che i tiranti/puntoni esercitano sull'opera, $ST_x=0,00$ kN/m

 somma forze orizzontali applicate alla paratia, $SF_x=0,00$ kN/m

 spinte di monte dovute a carichi distribuiti esterni, $Sme=0,00$ kN/m

 spinte di valle dovute a carichi distribuiti esterni, $Sve=0,00$ kN/m

Momenti delle spinte orizzontali rispetto al primo nodo

 momento della spinta delle terre di monte, $MSm=1.502,60$ kN*m/m

 momento della spinta delle terre di valle, $MSv=-1.503,61$ kN*m/m

 momento delle compon. orizz. delle forze che i tiranti/puntoni esercitano sull'opera, $MT_x=0,00$ kN*m/m

 momento delle forze orizzontali applicate alla paratia, $MF_x=0,00$ kN*m/m

 momento dei carichi distribuiti esterni di monte, $MSme=0,00$ kN*m/m

 momento dei carichi distribuiti esterni di valle, $MSve=0,00$ kN*m/m

SPOSTAMENTI NODALI (calcolo FEM)

w = spostamento orizzontale (lungo l'asse globale X, coincidente con l'asse locale z)

u = spostamento verticale (lungo l'asse globale Y, coincidente con l'asse locale x)

sez./nodo	x (m)	w (cm)	u (cm)	rot. (rad)
1	0	2,176	0,001	-0,0046
2	0,1	2,131	0,001	-0,0046
3	0,35	2,017	0,001	-0,0046
4	0,6	1,903	0,001	-0,0046
5	0,85	1,789	0,001	-0,0045
6	1,1	1,676	0,001	-0,0045
7	1,35	1,562	0,001	-0,0045
8	1,6	1,449	0,001	-0,0045
9	1,85	1,337	0,001	-0,0045
10	2,1	1,226	0,001	-0,0044
11	2,35	1,116	0,001	-0,0044
12	2,6	1,008	0,001	-0,0043
13	2,85	0,903	0,001	-0,0042
14	3,1	0,8	0,001	-0,004
15	3,3	0,721	0,001	-0,0039
16	3,55	0,623	0,001	-0,0037
17	3,81	0,531	0,001	-0,0035
18	4,06	0,445	0,001	-0,0032
19	4,32	0,366	0,001	-0,003
20	4,57	0,295	0,001	-0,0026
21	4,83	0,232	0,001	-0,0023
22	5,08	0,178	0,001	-0,002
23	5,34	0,132	0,001	-0,0016
24	5,59	0,095	0,001	-0,0013
25	5,85	0,065	0,001	-0,001
26	6,1	0,042	0,001	-0,0008
27	6,34	0,026	0	-0,0006
28	6,57	0,014	0	-0,0004
29	6,81	0,005	0	-0,0003
30	7,05	-0,001	0	-0,0002
31	7,29	-0,006	0	-0,0002
32	7,52	-0,011	0	-0,0002
33	7,76	-0,014	0	-0,0002
34	8	-0,018	0	-0,0001

VERIFICA AL CARICO LIMITE VERTICALE

Parametri geotecnici di progetto

coesione = 0,00 kN/mq

angolo di resistenza al taglio = 35°

Resistenza alla punta

fattore Nq (Berezantzev) = 56,508

fattore $N_c = 79,27$

tensione litostatica verticale totale alla profondità L , $sVL=195,50$ kN/mq

pressione neutra alla profondità L , $uL=0,00$ kN/mq

tensione litostatica verticale efficace alla profondità L , $s'VL=195,50$ kN/mq

Resistenza unitaria alla punta, $p=11.047,29$ kN/mq

Resistenza alla punta, $P_{max}=202,05$ kN

Resistenza laterale

Resistenza laterale, $S_{max}=407,81$ kN

Resistenza alla punta e laterale di progetto

Resistenza alla punta (valore medio) = 202,05 kN

Resistenza alla punta (valore minimo) = 202,05 kN

Resistenza laterale (valore medio) = 407,81 kN

Resistenza laterale (valore minimo) = 407,81 kN

Fattore di correlazione, $\alpha_3=1,7$

Fattore di correlazione, $\alpha_4=1,7$

Resistenza alla punta (valore caratteristico) = 118,86 kN

Resistenza laterale (valore caratteristico) = 239,89 kN

Resistenza alla punta di progetto, $P_{max_d}=103,35$ kN

Resistenza laterale di progetto, $S_{max_d}=208,60$ kN

Carico limite per carichi assiali di compressione

$Q_{lim_d} = P_{max_d} + S_{max_d} = 311,95$ kN

Carico limite di sfilamento per carichi assiali di trazione

$Q_{limt_d} = S_{max_d} = 208,60$ kN

Azione di progetto

$E_d = 14,93$ kN

Verifica al carico limite per carichi assiali di compressione

Verifica soddisfatta: l'azione di progetto non supera la resistenza di progetto

coeff. di sicurezza, $Q_{lim_d}/E_d=20,89$

VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE

Parametri geotecnici di progetto

strato 1

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d}=29,26$ (°)

coesione drenata, $c'_{_d}=0,00$ kN/mq

strato 2

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d}=29,26$ (°)

coesione drenata, $c'_{_d}=0,00$ kN/mq

strato 3

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d}=29,26$ (°)

coesione drenata, $c'_{_d}=0,00$ kN/mq

strato 4

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d}=29,26$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

strato 5

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $Fi_d=32,01$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

strato 6

peso dell'unità di volume, $g=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $Fi_d=32,01$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

Parametri di calcolo

n° di cerchi analizzati = 10

Metodo utilizzato: Bishop

Cerchio critico

Coordinate centro e raggio: X (m)= 0 Y (m)= -2,88 Rc (m)= 10,98

Simbologia adottata

Wt = peso del concio (kN)

Wq = forza risultante verticale dovuta al sovraccarico applicato sul concio (kN)

alfa=angolo (minore di 90°) che l'orizzontale forma con la base del concio (positivo se antiorario)

u = pressione neutra alla base del concio (kN/mq)

DX = larghezza lungo X del concio (m)

Fsh = forza sismica orizzontale sul concio (kN)

B = braccio della forza sismica orizzontale rispetto al centro del cerchio di rottura (m)

Fsv = forza sismica verticale sul concio (kN)

N = risultante delle tensioni normali di reazione del terreno alla base del concio (kN)

T = risultante delle tensioni tangenziali di reazione del terreno alla base del concio (kN)

concio	Wt	Wq	alfa (°)	u	DX	Fsh	B	Fsv	N	T
1	7,74	0	-52,46	0	0,77	0	14,18	0	16,72	3,09
2	21,69	0	-46,25	0	0,77	0	14,18	0	38,86	7,17
3	33,01	0	-40,68	0	0,77	0	14,18	0	51,75	9,55
4	42,38	0	-35,56	0	0,77	0	14,18	0	60,01	11,08
5	50,16	0	-30,74	0	0,77	0	14,18	0	65,56	12,1
6	56,62	0	-26,16	0	0,77	0	14,18	0	69,37	12,81
7	61,91	0	-21,75	0	0,77	0	14,18	0	71,96	13,29
8	66,16	0	-17,47	0	0,77	0	14,18	0	73,64	13,6
9	69,43	0	-13,3	0	0,77	0	14,18	0	74,6	13,77
10	71,8	0	-9,19	0	0,77	0	14,18	0	74,98	13,84
11	73,3	0	-5,13	0	0,77	0	14,18	0	74,83	13,82
12	73,95	0	-1,1	0	0,77	0	14,18	0	85,75	15,83
13	6,4	0	1,04	0	0,05	0	14,18	0	6,38	1,18
14	126,98	25,86	3,25	0	0,8	0	14,18	0	151,5	27,97
15	125,79	25,86	7,43	0	0,8	0	14,18	0	149,34	27,57
16	123,66	25,86	11,64	0	0,8	0	14,18	0	147,07	27,15
17	120,55	25,86	15,92	0	0,8	0	14,18	0	144,64	26,7
18	116,4	25,86	20,29	0	0,8	0	14,18	0	141,99	26,21
19	111,14	25,86	24,8	0	0,8	0	14,18	0	139,05	25,67
20	104,63	25,86	29,47	0	0,8	0	14,18	0	135,73	25,06
21	96,73	25,86	34,37	0	0,8	0	14,18	0	131,86	24,35

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	VI020X001	A	46 di 49

22	87,16	25,86	39,58	0	0,8	0	14,18	0	127,22	23,49
23	75,54	25,86	45,22	0	0,8	0	14,18	0	121,38	22,41
24	61,2	25,86	51,51	0	0,8	0	14,18	0	113,52	20,96
25	42,75	25,86	58,86	0	0,8	0	14,18	0	101,64	18,76
26	16,14	25,86	68,57	0	0,8	0	14,18	0	78,18	14,43

Lunghezza dell'arco di cerchio di scivolamento, $L=24,92$ m

Momento resistente, $M_{resist}=15.055,54$ kN*m

Momento instabilizzante, $M_{instab}=4.962,20$ kN*m

Coefficiente di sicurezza del pendio = $M_{resist}/M_{instab} = 3,034$

Verifica soddisfatta

VERIFICHE STRUTTURALI PARATIA

Verifiche di resistenza a presso-flessione e taglio

sid_m: tensione ideale massima nella sezione di acciaio (N/mm²)

Mcy_Rd: resistenza di progetto della sezione soggetta a presso-flessione retta (asse vettore y)

Resistenza plastica della sezione lorda A, $N_{pl_Rd}=6.183,76$ kN

Area resistente al taglio della sezione lungo z, $Avz=106,60$ cm²

Resistenza di progetto a taglio lungo z, $V_{cz_Rd}=2.080,84$ kN

Momento resistente elastico lungo l'asse vettore y, $M_{ely_Rd}=743,81$ kN*m

Momento resistente plastico lungo l'asse vettore y, $M_{ply_Rd}=872,29$ kN*m

tensione di snervamento di progetto, $f_{yd}=338$ N/mm²

x (m)	Nx	Tz	My	sid_m	Mcy_Rd	Verif?
0	0	0	0			Si
0,1	-0,23	-1,52	0	0,3		Si
0,35	-0,78	-5,1	-0,38	0,9		Si
0,6	-1,34	-9,2	-1,66	1,6		Si
0,85	-1,91	-13,84	-3,96	2,4		Si
1,1	-2,46	-19,01	-7,42	3,5		Si
1,35	-3,02	-24,7	-12,17	5,7		Si
1,6	-3,59	-30,91	-18,35	8,5		Si
1,85	-4,14	-37,66	-26,08	12,1		Si
2,1	-4,7	-44,94	-35,48	16,4		Si
2,35	-5,27	-52,74	-46,72	21,5		Si
2,6	-5,82	-61,08	-59,9	27,6		Si
2,85	-6,38	-69,94	-75,18	34,5		Si
3,1	-6,95	-78,38	-92,66	42,5		Si
3,3	-7,39	-87,3	-108,34	49,7		Si
3,55	-7,96	-90,38	-130,56	59,8		Si
3,81	-8,53	-86,54	-153,56	70,3		Si
4,06	-9,1	-75,78	-175,6	80,4		Si
4,32	-9,67	-58,09	-194,88	89,2		Si
4,57	-10,24	-33,48	-209,66	95,9		Si
4,83	-10,81	-1,93	-218,18	99,8		Si
5,08	-11,39	36,53	-218,68	100,1		Si
5,34	-11,95	68,18	-209,38	95,9		Si

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	VI020X001	A	47 di 49

5,59	-12,53	89,68	-192,02	88	Si
5,85	-13,09	102,9	-169,2	77,7	Si
6,1	-13,67	109,4	-143	65,8	Si
6,34	-14,2	110,29	-117,02	54	Si
6,57	-14,72	104,12	-90,83	42,1	Si
6,81	-15,26	92,63	-66,1	30,9	Si
7,05	-15,79	77,15	-44,1	20,9	Si
7,29	-16,32	58,4	-25,78	12,6	Si
7,52	-16,86	36,97	-11,9	6,4	Si
7,76	-17,39	13,16	-3,13	2,5	Si
8	-17,92	13,16	0	2,5	Si

6.1.7.1 Diagrammi

DIAGRAMMA DELLO SFORZO NORMALE $N_x(x)$ LUNGO LA PARATIA

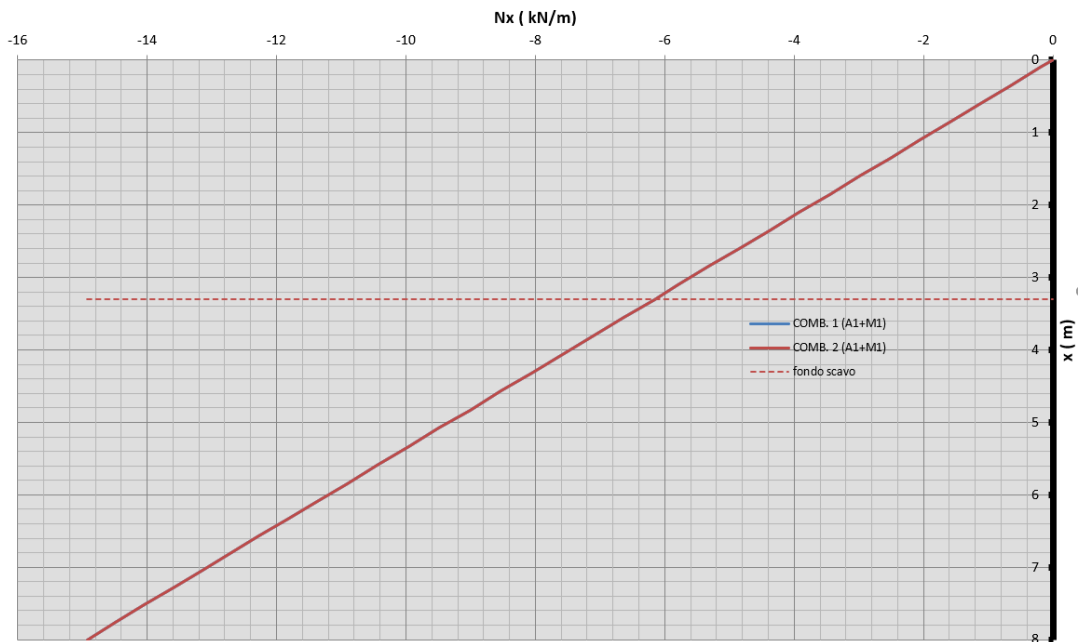


DIAGRAMMA DEL TAGLIO $T_z(x)$ LUNGO LA PARATIA

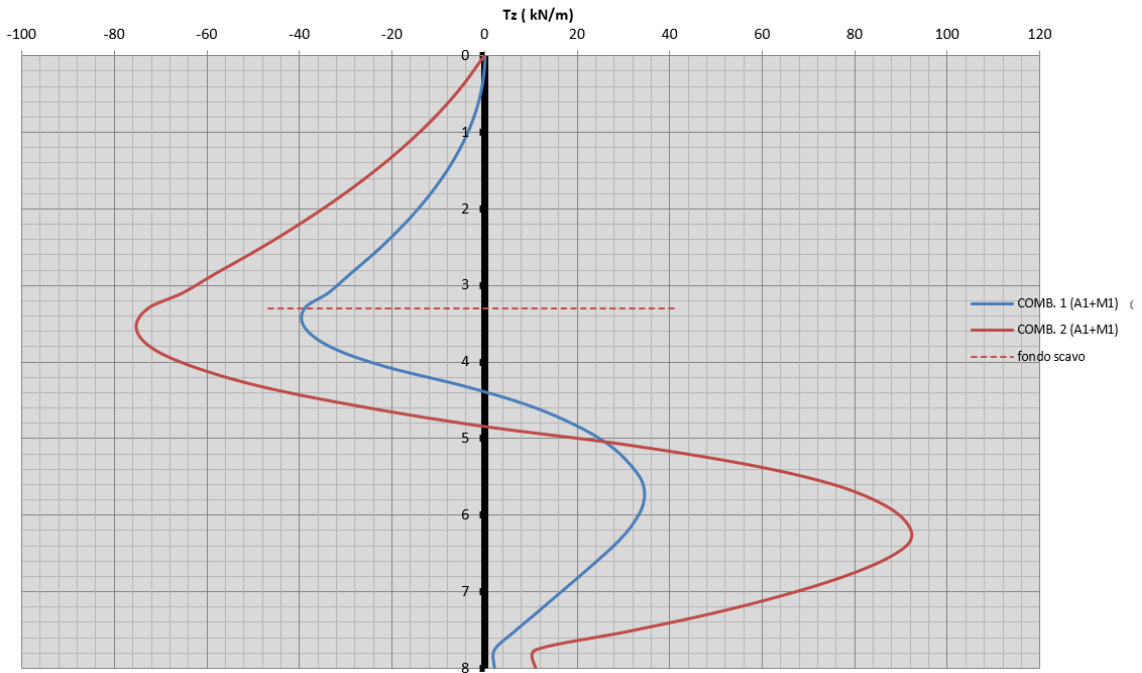
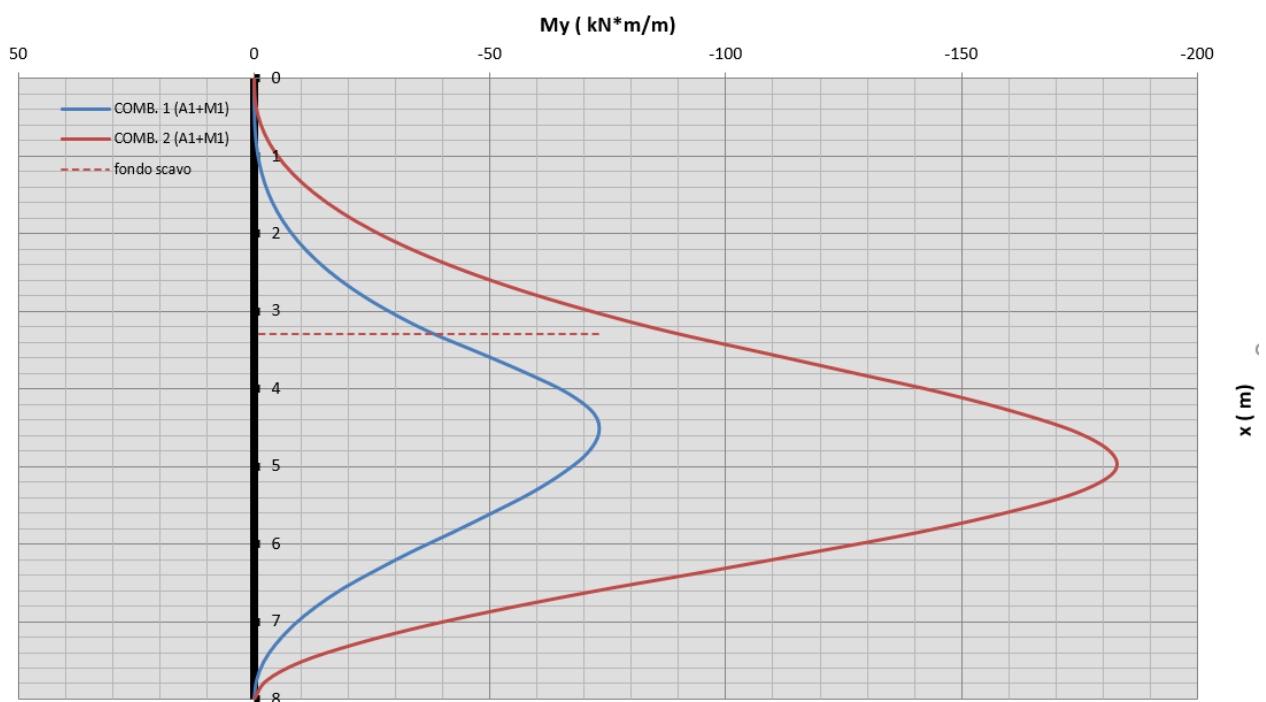


DIAGRAMMA DEL MOMENTO FLETTENTE $M_y(x)$ LUNGO LA PARATIA



SPOSTAMENTI ORIZZONTALI DELLA PARATIA

