

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**

NW02 - SOTTOPASSO S.C. CASON - LATO MODENA

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 N W 0 2 0 X 0 0 1 A

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

File: IN1010D26CLNW020X001A

n. Elab.:



## INDICE

<b>1</b>	<b>RELAZIONE ILLUSTRATIVA</b>	<b>5</b>
<b>1.1</b>	<b>ASPETTI GENERALI</b>	<b>5</b>
<b>1.2</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO AGLI STATI LIMITE</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1</b>	<b>COMBINAZIONI PER LA VERIFICA AGLI SLU</b>	<b>5</b>
<b>1.2.2</b>	<b>COMBINAZIONI PER LA VERIFICA AGLI SLE</b>	<b>6</b>
<b>1.3</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>TABELLA RIASSUNTIVA CLASSI DI ESPOSIZIONE SECONDO NORMATIVA UNI EN 206-1</b>	<b>9</b>
<b>3.2</b>	<b>PARAMETRI DI IDENTIFICAZIONE PER LA VERIFICA A FESSURAZIONE</b>	<b>10</b>
<b>3.3</b>	<b>ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO</b>	<b>10</b>
<b>3.4</b>	<b>MALTA DI INIEZIONE TIRANTI</b>	<b>11</b>
<b>3.5</b>	<b>ACCIAIO PER TIRANTI ATTIVI</b>	<b>11</b>
<b>3.6</b>	<b>CARPENTERIA METALLICA PER PALANCOLE E TRAVI DI CORREA</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI</b>	<b>12</b>
<b>4.1</b>	<b>METODO DI CALCOLO</b>	<b>12</b>
<b>4.1.1</b>	<b>CALCOLO DELLA PROFONDITÀ DI INFISSIONE</b>	<b>12</b>
<b>4.1.2</b>	<b>CALCOLO DELLA SPINTE</b>	<b>13</b>
<b>4.1.3</b>	<b>SPINTA IN PRESENZA DI SISMA</b>	<b>14</b>
<b>4.1.4</b>	<b>ANALISI AD ELEMENTI FINITI</b>	<b>14</b>
<b>4.1.4.1</b>	<b>Schematizzazione del terreno</b>	<b>15</b>
<b>4.1.4.2</b>	<b>Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno</b>	<b>15</b>
<b>4.1.4.3</b>	<b>Analisi per fasi di scavo</b>	<b>16</b>
<b>4.1.5</b>	<b>VERIFICA ALLA STABILITÀ GLOBALE</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b>	<b>18</b>
<b>5.1</b>	<b>STRATIGRAFIA DI PROGETTO</b>	<b>18</b>
<b>5.2</b>	<b>PARAMETRI DI SPINTA</b>	<b>18</b>

<b>5.3</b>	<b>CARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO</b>	<b>18</b>
5.3.1	CONDIZIONI DI CARICO	18
5.3.2	COMBINAZIONI DI CARICO	19
5.3.2.1	S.L.E	19
5.3.2.2	S.L.U	19
<b>6</b>	<b>DIMENSIONAMENTO PALANCOLE</b>	<b>20</b>
<b>6.1</b>	<b>TIPO ACELOR PU22</b>	<b>20</b>
6.1.1	CARATTERISTICHE GENERALI	21
6.1.2	GEOMETRIA CORDOLI	21
6.1.3	DESCRIZIONE TERRENI	21
6.1.4	DESCRIZIONE STRATIGRAFIA	22
6.1.5	CONDIZIONI DI CARICO	23
6.1.6	IMPOSTAZIONI DI PROGETTO	23
6.1.7	IMPOSTAZIONI DI ANALISI	23
6.1.7.1	Analisi per Fasi di Scavo.	23
6.1.8	VERIFICHE PALANCOLA	24
6.1.8.1	Diagrammi	49
<b>6.2</b>	<b>TIPO ACELOR PU18</b>	<b>52</b>
6.2.1	CARATTERISTICHE GENERALI	52
6.2.2	DESCRIZIONE TERRENI	53
6.2.3	DESCRIZIONE STRATIGRAFIA	54
6.2.4	CONDIZIONI DI CARICO	54
6.2.5	IMPOSTAZIONI DI PROGETTO	54
6.2.6	IMPOSTAZIONI DI ANALISI	55
6.2.6.1	Analisi per Fasi di Scavo.	55
6.2.7	VERIFICHE PALANCOLA	55
6.2.7.1	Diagrammi	80

## 1 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

### 1.1 ASPETTI GENERALI

La realizzazione del ponte in progetto a sostituzione del ponte attuale dovrà avvenire per successive fasi (come meglio descritte nella relazione illustrativa e nelle tavole grafiche) che comporteranno l'impiego di palancole per il sostegno del rilevato autostradale che dovrà accogliere in fase provvisoria la deviazione del traffico.

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
- 2) Tipo Arcelor PU18

#### 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	⇒	$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$
Frequente	⇒	$G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$
Quasi permanente	⇒	$G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

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:



LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA

LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA

NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	7 di 82

Relazione di Calcolo Impalcato

Relazione Tecnica Descrittiva

## 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 <sup>3</sup>	Rck minima N/mm <sup>2</sup>	Contenuto minimo di aria %	Copri ferro minimo Mm
<b>1 Assenza di rischio di corrosione o attacco</b>								
X0	Molto secco	Cs per interni di edifici con umidità dell'aria molto bassa	1	-		C12/15	-	15
<b>2 Composizione delle armature per effetto della carbonatazione</b>								
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
<b>3 Composizione delle armature per effetto dei cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare</b>								
XD1	Umidità moderata	Superfici in ds esposte a nebbia salina	5a	0,55	300*	C30/37	-	30
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Pisone: ds 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
<b>4 Composizione delle armature indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare</b>								
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 sommerse	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
<b>5 Attacco dei cicli di gelo/sgelo con o senza sali disgelanti</b>								
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	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	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	e aggregati resistenti al gelo/sgelo
<b>6 Attacco chimico</b>								
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 $f_y$	$\geq 450$ MPa
Limite di rottura $f_t$	$\geq 540$ 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 <sup>2</sup>
Tensione caratteristica a rottura	→ $f_{tk} \geq$	540.00 N/mm <sup>2</sup>
Tensione di calcolo elastica	→ $\sigma_c = 0.80 * f_{yk} =$	360.00 N/mm <sup>2</sup>
Fattore di sicurezza acciaio	→ $\gamma_s =$	1.15
Resistenza a trazione di calcolo	→ $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30 N/mm <sup>2</sup>

### 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	$f_c \geq$	<b>25.00</b>	N/mm <sup>2</sup>
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 139mm<sup>2</sup>) avente caratteristiche:

Tensione caratteristica a rottura	$\rightarrow f_{ptk} \geq$	1860.00 N/mm <sup>2</sup>
Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale	$\rightarrow f_{p(0.1)k} \geq$	1670.00 N/mm <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
(vale la condizione più restrittiva)	$\sigma_{spi} < 0.75 f_{ptk}$	1395.00 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico	$\rightarrow E_{sp} =$	195000 N/mm <sup>2</sup>

### 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 <sup>2</sup>
Tensione caratteristica a rottura	$\rightarrow f_{tk} \geq$	510.00 N/mm <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>

## 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  $\gamma$ , 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:

$\alpha$ = angolo tra il paramento contro terra e l'orizzontale,

$\phi$ = angolo di attrito del terreno,

$\delta$ = angolo di attrito terreno-muro,

$\beta$ = angolo rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno

L'angolo  $\theta$  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  $\sigma_a$  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:

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



dove  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  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  $\phi_i$  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  $\eta$ . 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]	$\gamma_{dry}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_k'$ [kPa]	$\phi_k'$ [°]	E (MPa)
rilevato		20	21	0	35	50
ghiaia addensata	-	20	21	0	38	50

#### Stratigrafia di progetto

Dove:

$\gamma_{dry}$	peso di volume secco
$\gamma_{sat}$	peso di volume saturo
$c'$	coesione drenata
$\phi'$ [°]	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 ( $\delta$ ) 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 provvisorie (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 sull'autostrada pari a 20 kN/mq a monte della paratia, oltre i 2.0m.

### 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:

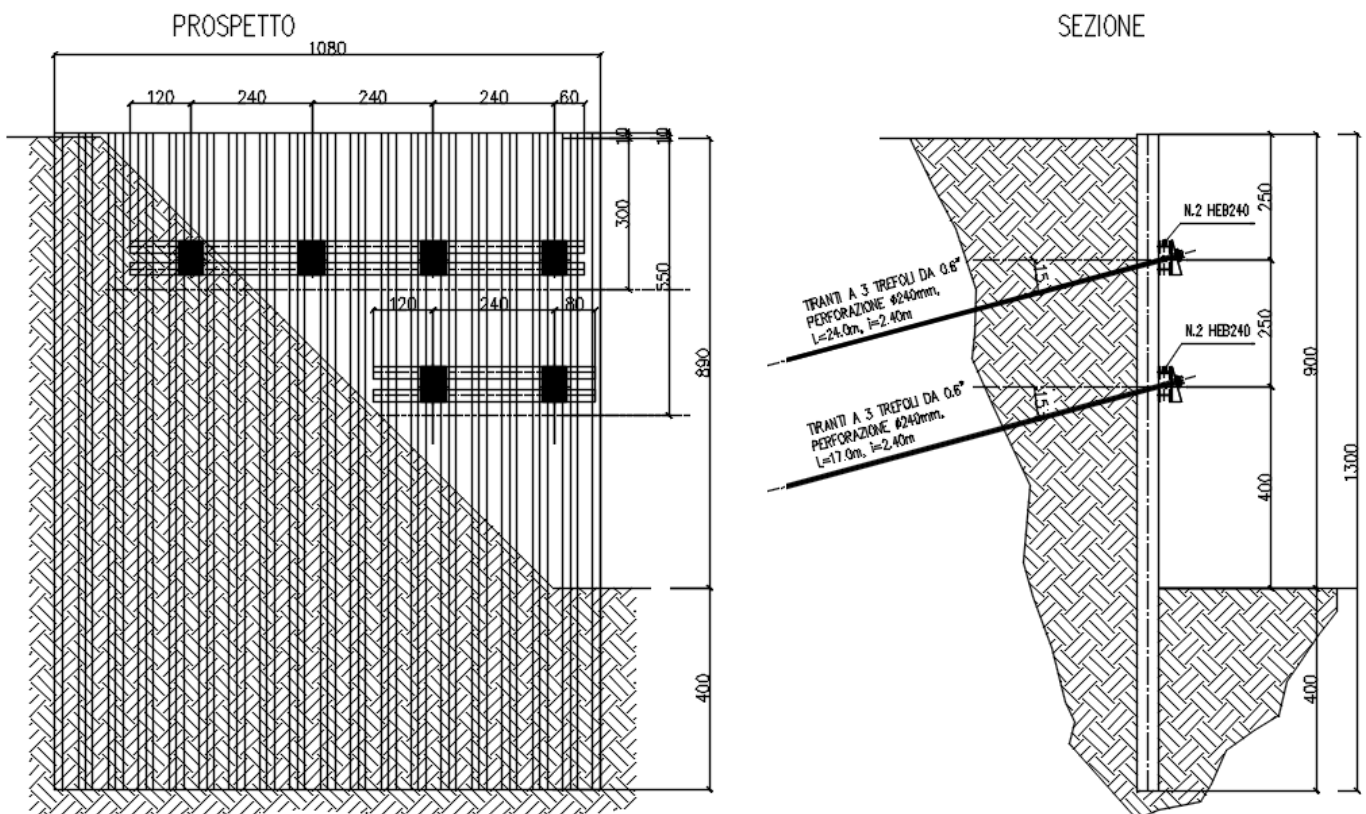
- SLU strutturale:  $\gamma_G G + \gamma_Q Q$  gruppo di coefficienti A1, M1, R1:  
definita nel programma di calcolo [A1 - M2]
- SLU geotecnico: gruppo di coefficienti A2, M2, R2:  
definita nel programma di calcolo [A1 - M2]
- SLU strutturale + Sisma:  $\gamma_G G + \gamma_Q Q$  gruppo di coefficienti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

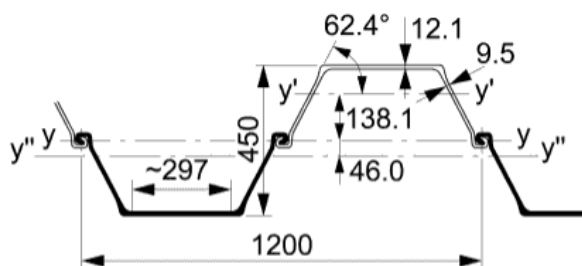
### 6.1 TIPO ACELOR PU22

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



### PU 22

PU 22



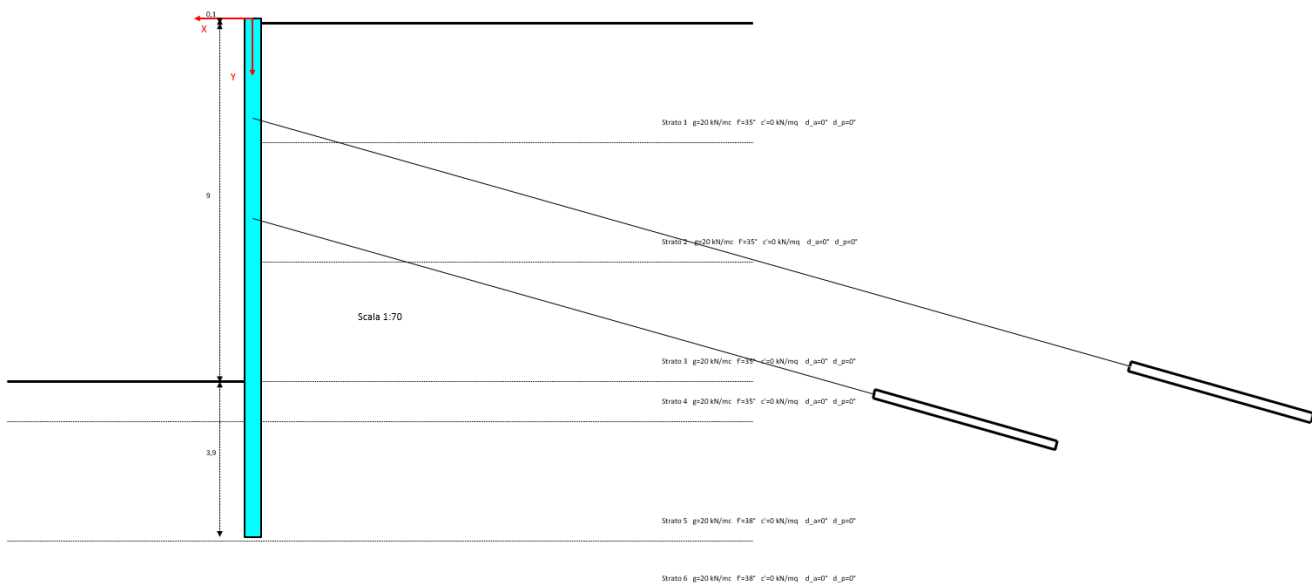
	Area della sezione	Massa per m	Momento d'inerzia	Modulo di resistenza elastico	Raggio giratore d'inerzia	Superficie di rivestimento*
	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	m <sup>2</sup> /m
Per S	109,7	86,1	8740	546	8,93	0,90
Per D	219,5	172,3	59360	2640	16,45	1,79
Per T	329,2	258,4	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

L'inclinazione dei tiranti è pari a 15°, anche il precarico è uguale per tutti gli ordini di tiranti e pari a 200kN.

Il bulbo dei tiranti L=5m verrà eseguito ad iniezioni ripetute e selettive con una valvola al metro lineare di fondazione.

Si riportano di seguito il modello agli elementi finiti implementati:



### 6.1.2 GEOMETRIA CORDOLI

Si riportano le geometrie delle travi:

	1° ordine	2° ordine
base orizz.le b (m)		
altezza vertic. h (m)		
forma sezione	HEB	HEB
Profilato	HEB 240	HEB 240
n° elementi	2	2

### 6.1.3 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
$\gamma$	peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
$\gamma_s$	peso di volume saturo del terreno espresso [kg/mc]
$\phi$	angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
$\delta$	angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c	coesione del terreno espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]

n°	Descrizione	$\gamma$	$\gamma_s$	$\phi$	$\delta$	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

**6.1.4 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 <sup>2</sup> /cm
$\alpha$	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/cm<sup>2</sup>/cm e  $z$  è la profondità rispetto alla testa della paratia espressa in metri.

n°	sp	$\alpha$	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

### 6.1.5 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  $X_i = 0.00$        $X_f = 30.00$        $Q_i = 500$        $Q_f = 500$

### 6.1.6 IMPOSTAZIONI DI PROGETTO

#### **Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche**

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

Carichi	Effetto		A1	A2
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1.30	1.00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1.50	1.30

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		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	$\gamma_{cu}$	1.00	1.40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$	1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$	1.00	1.00

### 6.1.7 IMPOSTAZIONI DI ANALISI

#### 6.1.7.1 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

### 6.1.8 VERIFICHE PALANCOLA

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

## VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

### COMB. 1 (SLU-F)

#### 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),  $\Delta_{ad}=0$  (°)

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

###### 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),  $\Delta_{ad}=0$  (°)

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

###### 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),  $\Delta_{ad}=0$  (°)

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

###### 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),  $\Delta_{ad}=0$  (°)

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



strato 5

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

angolo di resistenza al taglio,  $Fi_d=38$  (°)

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,  $Fi_d=38$  (°)

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,  $Ka=0,27099$

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

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

lato valle:

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

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

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

strato 2

lato monte:

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

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

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

lato valle:

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

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

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

strato 3

lato monte:

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

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

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

lato valle:

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

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

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

strato 4

lato monte:

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

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

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

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 = 5

errore iterazione 0 = 0,002895

errore iterazione 1 = 0,008075

errore iterazione 2 = 0,009644

errore iterazione 3 = 0,005223

errore iterazione 4 = 0,00352

errore iterazione 5 = 0,000515

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	0,34	-0,63	-5,53	0
4	0,58	-1,08	-14,27	-1,33
5	0,82	-1,53	-22,47	-4,75
6	1,06	-1,98	-29,52	-10,14
7	1,3	-2,43	-34,93	-17,23
8	1,54	-2,87	-38,21	-25,61
9	1,78	-3,32	-41,05	-34,78
10	2,02	-3,77	-44,3	-44,64
11	2,26	-4,22	-47,95	-55,27
12	2,5	-4,67	-47,95	-66,78
12	2,5	-33,18	53,91	-66,78
13	2,8	-33,74	48,21	-50,6

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	27 di 82

14	3,1	-34,3	42,52	-36,14
15	3,34	-34,75	37,09	-26,04
16	3,58	-35,19	31,27	-17,23
17	3,81	-35,63	25,07	-9,81
18	4,05	-36,08	18,47	-3,85
19	4,29	-36,52	11,45	0,53
20	4,53	-36,96	4,03	3,25
21	4,76	-37,41	-3,76	4,21
22	5	-37,85	-3,76	3,32
22	5	-69,15	104,2	3,32
23	5,28	-69,66	94,17	31,97
24	5,55	-70,17	83,61	57,87
25	5,82	-70,69	72,52	80,86
26	6,1	-71,2	61,4	100,81
27	6,35	-71,67	50,39	116,16
28	6,6	-72,13	38,94	128,76
29	6,85	-72,6	27,05	138,49
30	7,1	-73,07	14,72	145,26
31	7,35	-73,53	1,95	148,94
32	7,6	-74	-11,26	149,43
33	7,85	-74,47	-24,91	146,61
34	8,1	-74,93	-39	140,39
35	8,35	-75,4	-53,53	130,64
36	8,6	-75,87	-68,5	117,25
37	8,85	-76,33	-83,92	100,13
38	9,1	-76,8	-99,77	79,15
39	9,35	-77,27	-110,07	54,21
40	9,6	-77,73	-114,81	26,69
41	9,85	-78,2	-113,99	-2,01
42	10,1	-78,67	-107,72	-30,51
43	10,34	-79,12	-90,21	-56,54
44	10,58	-79,57	-66,66	-78,34
45	10,82	-80,02	-37,09	-94,45
46	11,07	-80,47	-1,49	-103,42
47	11,31	-80,92	38,68	-103,78
48	11,55	-81,37	65,69	-94,43
49	11,79	-81,82	81,28	-78,55
50	12,03	-82,27	86,91	-58,91
51	12,28	-82,73	79,75	-37,91
52	12,52	-83,18	55,75	-18,64
53	12,76	-83,63	21,36	-5,16
54	13	-84,08	21,36	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)

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	28 di 82

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	0,34	4,25	0	0	0	17,71
4	0,58	6,73	0	0	0	28,03
5	0,82	6,31	0	0	0	26,27
6	1,06	5,43	0	0	0	22,61
7	1,3	4,16	0	0	0	17,34
8	1,54	2,52	0	0	0	10,52
9	1,78	2,19	0	0	0	9,11
10	2,02	2,5	0	0	0	10,41
11	2,26	2,81	0	0	0	11,71
12	2,5	-78,36	21,94	0	0	13,01
13	2,8	4,39	0	0	0	14,63
14	3,1	4,37	0	0	0	16,26
15	3,34	4,18	0	0	0	17,55
16	3,58	4,48	0	0	0	18,83
17	3,81	4,77	0	0	0	20,12
18	4,05	5,07	0	0	0	21,41
19	4,29	5,4	0	0	0	22,7
20	4,53	5,71	0	0	0	23,98
21	4,76	5,99	0	0	0	25,27
22	5	-83,04	24,07	0	0	26,56
23	5,28	7,71	0	0	0	28,05
24	5,55	8,12	0	0	0	29,54
25	5,82	8,53	0	0	0	31,03
26	6,1	8,55	0	0	0	32,52
27	6,35	8,47	0	0	0	33,87
28	6,6	8,81	0	0	0	35,23
29	6,85	9,15	0	0	0	36,58
30	7,1	9,48	0	0	0	37,94
31	7,35	9,82	0	0	0	39,29
32	7,6	10,16	0	0	0	40,65
33	7,85	10,5	0	0	0	42
34	8,1	10,84	0	0	0	43,36
35	8,35	11,18	0	0	0	44,71
36	8,6	11,52	0	0	0	46,07
37	8,85	11,86	0	0	0	47,42
38	9,1	12,19	0	0	0	48,78
39	9,35	7,92	0	0	-18,45	50,13
40	9,6	3,65	0	0	-36,9	51,49
41	9,85	-0,63	0	0	-55,35	52,84
42	10,1	-4,82	0	0	-73,8	54,2
43	10,34	-13,47	0	0	-104,39	48,73

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	29 di 82

44	10,58	-18,11	0	0	-124,71	49,88
45	10,82	-22,75	0	0	-145,03	51,03
46	11,07	-27,39	0	0	-165,35	52,18
47	11,31	-30,89	0	0	-180,99	53,33
48	11,55	-20,78	0	0	-140,34	54,48
49	11,79	-11,99	0	0	-105,19	55,62
50	12,03	-4,33	0	0	-74,67	56,77
51	12,28	5,51	0	0	-47,62	70,38
52	12,52	18,46	0	0	-22,71	99
53	12,76	26,45	0	0	-17,41	126,7
54	13	16,43	-64,68	0	-18,55	154,37

**PERCENTUALI DI SPINTA PASSIVA MOBILITATA**

Spinta passiva mobilitata a monte = 39,5%

Spinta passiva mobilitata a valle = 81,6%

**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,  $Wp=18,66$  kN/m

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

 somma delle reazioni vincolari lungo Y,  $SommRvY=-18,66$  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,  $Sm=492,86$  kN/m

 spinta delle terre di valle,  $Sv=-321,15$  kN/m

 somma componenti orizz. delle forze che i tiranti/puntoni esercitano sull'opera,  $ST_x=-171,71$  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,  $MSm=4.207,00$  kN\*m/m

 momento della spinta delle terre di valle,  $MSv=-3.553,10$  kN\*m/m

 momento delle compon. orizz. delle forze che i tiranti/puntoni esercitano sull'opera,  $MT_x=-653,89$  kN\*m/m

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

momento dei carichi distribuiti esterni di monte,  $MS_{me}=0,00 \text{ kN}^*\text{m/m}$

momento dei carichi distribuiti esterni di valle,  $MS_{ve}=0,00 \text{ kN}^*\text{m/m}$

### **SFORZI NEI TIRANTI/PUNTONI (calcolo**

#### **FEM)**

$TX^*$ =sforzo lungo l'asse globale X per metro lineare di paratia ( kN/m)

$TY^*$ =sforzo lungo l'asse globale Y per metro lineare di paratia ( kN/m)

$TX$ =sforzo lungo l'asse globale X nel singolo tirante/puntone ( kN)

$TY$ =sforzo lungo l'asse globale Y nel singolo tirante/puntone ( kN)

$Fa$ =sforzo di trazione/compressione nel singolo tirante/puntone ( kN)

$Fad=gGs \times Fa$  sforzo di trazione/compressione di progetto nel singolo tirante/puntone ( kN)

Ordine	$TX^*$	$TY^*$	$TX$	$TY$	$Fa$	$Fad$
1	-81,87	21,94	-196,49	52,65	203,42	264,45
2	-89,84	24,07	-215,62	57,78	223,23	290,20

### **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	-0,121	0,014	0,0008
2	0,1	-0,113	0,014	0,0008
3	0,34	-0,094	0,014	0,0008
4	0,58	-0,075	0,014	0,0008
5	0,82	-0,056	0,014	0,0008
6	1,06	-0,036	0,014	0,0008
7	1,3	-0,017	0,014	0,0008
8	1,54	0,004	0,014	0,0009
9	1,78	0,025	0,014	0,0009
10	2,02	0,049	0,014	0,001
11	2,26	0,074	0,014	0,0011
12	2,5	0,101	0,014	0,0012
13	2,8	0,139	0,014	0,0013
14	3,1	0,18	0,014	0,0014
15	3,34	0,215	0,013	0,0015
16	3,58	0,25	0,013	0,0015
17	3,81	0,286	0,013	0,0015
18	4,05	0,323	0,013	0,0016
19	4,29	0,36	0,013	0,0016
20	4,53	0,397	0,013	0,0016
21	4,76	0,434	0,012	0,0015
22	5	0,47	0,012	0,0015
23	5,28	0,512	0,012	0,0015
24	5,55	0,552	0,012	0,0014
25	5,82	0,589	0,011	0,0013
26	6,1	0,622	0,011	0,0011

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	31 di 82

27	6,35	0,646	0,01	0,0009
28	6,6	0,665	0,01	0,0007
29	6,85	0,679	0,01	0,0004
30	7,1	0,686	0,009	0,0001
31	7,35	0,686	0,009	-0,0001
32	7,6	0,679	0,009	-0,0004
33	7,85	0,666	0,008	-0,0007
34	8,1	0,646	0,008	-0,0009
35	8,35	0,619	0,007	-0,0012
36	8,6	0,586	0,007	-0,0014
37	8,85	0,548	0,007	-0,0016
38	9,1	0,505	0,006	-0,0018
39	9,35	0,459	0,006	-0,0019
40	9,6	0,41	0,006	-0,002
41	9,85	0,36	0,005	-0,002
42	10,1	0,31	0,005	-0,002
43	10,34	0,263	0,004	-0,0019
44	10,58	0,218	0,004	-0,0018
45	10,82	0,177	0,004	-0,0016
46	11,07	0,14	0,003	-0,0015
47	11,31	0,107	0,003	-0,0013
48	11,55	0,078	0,002	-0,0011
49	11,79	0,054	0,002	-0,0009
50	12,03	0,033	0,002	-0,0008
51	12,28	0,015	0,001	-0,0007
52	12,52	-0,002	0,001	-0,0007
53	12,76	-0,018	0	-0,0007
54	13	-0,034	0	-0,0006

**VERIFICA AL CARICO LIMITE VERTICALE**
**Parametri geotecnici di progetto**

coesione = 0,00 kN/mq

angolo di resistenza al taglio = 38°

**Resistenza alla punta**

fattore Nq (Berezantzev) = 89,47

fattore Nc = 113,24

tensione litostatica verticale totale alla profondità L, sVL=258,00 kN/mq

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

tensione litostatica verticale efficace alla profondità L, s'VL=258,00 kN/mq

Resistenza unitaria alla punta, p=23.083,15 kN/mq

Resistenza alla punta, Pmax=422,19 kN

**Resistenza laterale**

Resistenza laterale, Smax=634,59 kN

**Resistenza alla punta e laterale di progetto**

Resistenza alla punta (valore medio) = 422,19 kN

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	32 di 82

Resistenza alla punta (valore minimo) = 422,19 kN

Resistenza laterale (valore medio) = 634,59 kN

Resistenza laterale (valore minimo) = 634,59 kN

Fattore di correlazione,  $\text{ksi}_3=1,7$

Fattore di correlazione,  $\text{ksi}_4=1,7$

Resistenza alla punta (valore caratteristico) = 248,35 kN

Resistenza laterale (valore caratteristico) = 373,29 kN

Resistenza alla punta di progetto,  $P_{\text{max}_d}=215,95$  kN

Resistenza laterale di progetto,  $S_{\text{max}_d}=324,60$  kN

**Carico limite per carichi assiali di compressione**

$Q_{\text{lim}_d} = P_{\text{max}_d} + S_{\text{max}_d} = 540,55$  kN

**Carico limite di sfilamento per carichi assiali di trazione**

$Q_{\text{lim}_t} = S_{\text{max}_d} = 324,60$  kN

**Azione di progetto**

$E_d = 84,08$  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,  $Q_{\text{lim}_d}/E_d=6,43$

**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,  $F_i_d=32,01$  (°)

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,  $F_i_d=32,01$  (°)

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

**Parametri di calcolo**



**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	33 di 82

n° di cerchi analizzati = 10

Metodo utilizzato: Bishop

**Cerchio critico**

Coordinate centro e raggio: X (m)= 0 Y (m)= -0,3 Rc (m)= 13,4

*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	7,26	0	-42,88	0	0,88	0	22,4	0	9,22	-0,75
2	20,62	0	-37,91	0	0,88	0	22,4	0	24,4	-2,22
3	31,84	0	-33,25	0	0,88	0	22,4	0	35,93	-3,28
4	41,27	0	-28,83	0	0,88	0	22,4	0	44,86	-4,09
5	49,16	0	-24,59	0	0,88	0	22,4	0	51,9	-4,73
6	55,66	0	-20,49	0	0,88	0	22,4	0	57,47	-5,24
7	60,9	0	-16,5	0	0,88	0	22,4	0	61,85	-5,64
8	64,97	0	-12,59	0	0,88	0	22,4	0	65,24	-5,95
9	67,92	0	-8,74	0	0,88	0	22,4	0	67,77	-6,18
10	69,8	0	-4,93	0	0,88	0	22,4	0	69,51	-6,34
										-
11	70,63	0	-1,14	0	0,88	0	22,4	0	135,09	12,32
12	8,5	0	0,86	0	0,05	0	22,4	0	8,51	-0,78
13	244,18	0	2,98	0	0,94	0	22,4	0	245,67	-22,4
										-
14	242,63	0	7,02	0	0,94	0	22,4	0	247,23	22,54
										-
15	239,8	0	11,09	0	0,94	0	22,4	0	248,82	22,69
										-
16	235,66	0	15,23	0	0,94	0	22,4	0	250,45	22,84
										-
17	230,12	0	19,45	0	0,94	0	22,4	0	252,16	22,99
										-
18	223,1	0	23,78	0	0,94	0	22,4	0	253,99	23,16
										-
19	214,44	0	28,26	0	0,94	0	22,4	0	256	23,34
										-
20	203,95	0	32,94	0	0,94	0	22,4	0	258,27	23,55
										-
21	191,32	0	37,88	0	0,94	0	22,4	0	260,92	23,79
										-
22	176,13	0	43,19	0	0,94	0	22,4	0	261,66	21,38
										-
23	157,63	0	49,02	0	0,94	0	22,4	0	265,32	-

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	34 di 82

21,68

24	134,48	0	55,66	0	0,94	0	22,4	0	270,75	22,12	-
25	103,55	0	63,78	0	0,94	0	22,4	0	280,99	22,96	-
26	42,79	0	78,31	0	0,94	0	22,4	0	349,16	28,53	-

 Lunghezza dell'arco di cerchio di scivolamento,  $L=31,29$  m

 Momento resistente,  $M_{resist}=35.049,96$  kN\*m

 Momento instabilizzante,  $M_{instab}=-5.113,02$  kN\*m

Verifica soddisfatta

**VERIFICHE STRUTTURALI PARATIA**
**Verifiche di resistenza a presso-flessione e taglio**

 sid\_m: tensione ideale massima nella sezione di acciaio ( N/mm<sup>2</sup>)

 M<sub>cy\_Rd</sub>: 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,  $A_{vz}=106,60$  cm<sup>2</sup>

 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/mm<sup>2</sup>

x (m)	Nx	Tz	My	sid_m	Mcy_Rd	Verif?
0	0	0	0			Si
0,1	-0,23	0	0			Si
0,34	-0,76	-6,64	0	1,1		Si
0,58	-1,3	-17,12	-1,6	2,9		Si
0,82	-1,84	-26,96	-5,7	4,6		Si
1,06	-2,38	-35,42	-12,17	6,1		Si
1,3	-2,92	-41,92	-20,68	9,6		Si
1,54	-3,44	-45,85	-30,73	14,2		Si
1,78	-3,98	-49,26	-41,74	19,2		Si
2,02	-4,52	-53,16	-53,57	24,6		Si
2,26	-5,06	-57,54	-66,32	30,4		Si
2,5	-5,6	-57,54	-80,14	36,8		Si
2,5	-39,82	64,69	-80,14	38,6		Si
2,8	-40,49	57,85	-60,72	29,8		Si
3,1	-41,16	51,02	-43,37	22		Si
3,34	-41,7	44,51	-31,25	16,5		Si
3,58	-42,23	37,52	-20,68	11,7		Si
3,81	-42,76	30,08	-11,77	7,7		Si
4,05	-43,3	22,16	-4,62	4,5		Si
4,29	-43,82	13,74	0,64	3,4		Si
4,53	-44,35	4,84	3,9	4,2		Si
4,76	-44,89	-4,51	5,05	4,8		Si
5	-45,42	-4,51	3,98	4,3		Si

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	35 di 82

5	-82,98	125,04	3,98	22	Si
5,28	-83,59	113	38,36	22	Si
5,55	-84,2	100,33	69,44	36,2	Si
5,82	-84,83	87,02	97,03	48,8	Si
6,1	-85,44	73,68	120,97	59,7	Si
6,35	-86	60,47	139,39	68,1	Si
6,6	-86,56	46,73	154,51	75	Si
6,85	-87,12	32,46	166,19	80,4	Si
7,1	-87,68	17,66	174,31	84,1	Si
7,35	-88,24	2,34	178,73	86,1	Si
7,6	-88,8	-13,51	179,32	86,4	Si
7,85	-89,36	-29,89	175,93	84,9	Si
8,1	-89,92	-46,8	168,47	81,6	Si
8,35	-90,48	-64,24	156,77	76,3	Si
8,6	-91,04	-82,2	140,7	69	Si
8,85	-91,6	-100,7	120,16	59,7	Si
9,1	-92,16	-119,72	94,98	48,2	Si
9,35	-92,72	-132,08	65,05	34,7	Si
9,6	-93,28	-137,77	32,03	24,2	Si
9,85	-93,84	-136,79	-2,41	24	Si
10,1	-94,4	-129,26	-36,61	22,8	Si
10,34	-94,94	-108,25	-67,85	36,1	Si
10,58	-95,48	-79,99	-94,01	48	Si
10,82	-96,02	-44,51	-113,34	56,8	Si
11,07	-96,56	-1,79	-124,1	61,7	Si
11,31	-97,1	46,42	-124,54	62	Si
11,55	-97,64	78,83	-113,32	56,9	Si
11,79	-98,18	97,54	-94,26	48,2	Si
12,03	-98,72	104,29	-70,69	37,6	Si
12,28	-99,28	95,7	-45,49	26,1	Si
12,52	-99,82	66,9	-22,37	15,6	Si
12,76	-100,36	25,63	-6,19	8,3	Si
13	-100,9	25,63	0	7,1	Si

**VERIFICHE S.L.U. DI TIPO GEOTECNICO E STRUTTURALE SUI TIRANTI**
**ANCORAGGIO DI ORDINE 1**

 forza di progetto di trazione agente sul tirante,  $F_{ad}=264,45$  kN

**1) Verifica allo sfilamento dell'intero tirante, compresa la fondazione (GEO)**

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1,2) = 1,75

**2) Verifica alla rottura del tirante di acciaio (STR)**

 tensione normale nell'acciaio del tirante,  $\text{Sigf}=634,17$  N/mmq

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1) = 2,55

**3) Verifica di aderenza acciaio-calcestruzzo (STR)**

 tensione tangenziale al contatto calcestruzzo-acciaio,  $\text{Tau}=0,73$  N/mmq

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1) = 3,26

ANCORAGGIO DI ORDINE 2

forza di progetto di trazione agente sul tirante,  $F_{ad}=290,20$  kN

**1) Verifica allo sfilamento dell'intero tirante, compresa la fondazione (GEO)**

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1,2) = 1,59

**2) Verifica alla rottura del tirante di acciaio (STR)**

tensione normale nell'acciaio del tirante,  $\text{Sigf}=695,92$  N/mm<sup>2</sup>

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1) = 2,32

**3) Verifica di aderenza acciaio-calcestruzzo (STR)**

tensione tangenziale al contatto calcestruzzo-acciaio,  $\text{Tau}=0,80$  N/mm<sup>2</sup>

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1) = 2,97

## COMB. 2 (SLU-F)

### SOLLECITAZIONI AGENTI SULLA PARATIA (calcolo FEM)

#### Sovraccarichi di progetto sui terrapieni

Terreno di monte,  $q_{1d}=23,08$  kN/m<sup>2</sup>

Terreno di valle,  $q_{2d}=0,00$  kN/m<sup>2</sup>

#### 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/m<sup>2</sup>

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva),  $\text{Delt}_{ad}=0$  (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva),  $\text{Delt}_{pd}=0$  (°)

##### 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/m<sup>2</sup>

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva),  $\text{Delt}_{ad}=0$  (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva),  $\text{Delt}_{pd}=0$  (°)

##### 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/m<sup>2</sup>

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva),  $\text{Delt}_{ad}=0$  (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva),  $\text{Delt}_{pd}=0$  (°)

##### 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/m<sup>2</sup>

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	37 di 82

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,  $Fi\_d=38$  (°)  
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,  $Fi\_d=38$  (°)  
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,  $Ka=0,27099$   
coeff. di spinta a riposo,  $Ko=0,426424$   
coeff. di spinta passiva,  $Kp=3,690172$

lato valle:

coeff. di spinta attiva,  $Ka=0,27099$   
coeff. di spinta a riposo,  $Ko=0,426424$   
coeff. di spinta passiva,  $Kp=3,690172$

strato 2

lato monte:

coeff. di spinta attiva,  $Ka=0,27099$   
coeff. di spinta a riposo,  $Ko=0,426424$   
coeff. di spinta passiva,  $Kp=3,690172$

lato valle:

coeff. di spinta attiva,  $Ka=0,27099$   
coeff. di spinta a riposo,  $Ko=0,426424$   
coeff. di spinta passiva,  $Kp=3,690172$

strato 3

lato monte:

coeff. di spinta attiva,  $Ka=0,27099$   
coeff. di spinta a riposo,  $Ko=0,426424$   
coeff. di spinta passiva,  $Kp=3,690172$

lato valle:

coeff. di spinta attiva,  $Ka=0,27099$   
coeff. di spinta a riposo,  $Ko=0,426424$   
coeff. di spinta passiva,  $Kp=3,690172$

strato 4

lato monte:

coeff. di spinta attiva,  $Ka=0,27099$   
coeff. di spinta a riposo,  $Ko=0,426424$

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 = 6

errore iterazione 0 = 0,003394

errore iterazione 1 = 0,012064

errore iterazione 2 = 0,016614

errore iterazione 3 = 0,016899

errore iterazione 4 = 0,009847

errore iterazione 5 = 0,001845

errore iterazione 6 = 0,000501

sez./nodo	x ( m )	Nx ( kN/m )	Tz ( kN/m )	My ( kN*m/m )
1	0	0	0	0
2	0,1	-0,19	-1,95	0
3	0,34	-0,63	-2,96	-0,47
4	0,58	-1,08	-5,72	-1,18
5	0,82	-1,53	-8,89	-2,55
6	1,06	-1,98	-12,47	-4,69
7	1,3	-2,43	-16,45	-7,68
8	1,54	-2,87	-20,83	-11,63
9	1,78	-3,32	-25,63	-16,63
10	2,02	-3,77	-30,82	-22,78
11	2,26	-4,22	-36,43	-30,17

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	39 di 82

12	2,5	-4,67	-36,43	-38,92
12	2,5	-35,22	70,84	-38,92
13	2,8	-35,78	62,69	-17,67
14	3,1	-36,34	54,82	1,14
15	3,34	-36,78	47,45	14,16
16	3,58	-37,23	39,69	25,43
17	3,81	-37,67	31,57	34,86
18	4,05	-38,11	23,04	42,35
19	4,29	-38,56	14,09	47,83
20	4,53	-39	4,73	51,17
21	4,76	-39,44	-4,98	52,3
22	5	-39,89	-4,98	51,11
22	5	-75,49	116,98	51,11
23	5,28	-76	104,71	83,28
24	5,55	-76,52	91,92	112,08
25	5,82	-77,03	78,59	137,36
26	6,1	-77,54	65,33	158,97
27	6,35	-78,01	52,29	175,3
28	6,6	-78,48	38,81	188,38
29	6,85	-78,94	24,89	198,08
30	7,1	-79,41	10,53	204,3
31	7,35	-79,88	-4,28	206,93
32	7,6	-80,34	-19,52	205,86
33	7,85	-80,81	-35,2	200,98
34	8,1	-81,28	-51,33	192,18
35	8,35	-81,74	-67,89	179,35
36	8,6	-82,21	-84,9	162,38
37	8,85	-82,68	-102,34	141,16
38	9,1	-83,14	-120,23	115,57
39	9,35	-83,61	-132,56	85,51
40	9,6	-84,08	-139,33	52,37
41	9,85	-84,54	-140,54	17,54
42	10,1	-85,01	-136,27	-17,59
43	10,34	-85,46	-120,49	-50,53
44	10,58	-85,91	-98,67	-79,64
45	10,82	-86,36	-70,83	-103,49
46	11,07	-86,81	-36,95	-120,61
47	11,31	-87,26	2,96	-129,54
48	11,55	-87,72	48,89	-128,82
49	11,79	-88,17	98,82	-117,01
50	12,03	-88,62	124,66	-93,13
51	12,28	-89,07	127,98	-63
52	12,52	-89,52	94,1	-32,07
53	12,76	-89,97	38,6	-9,33
54	13	-90,42	38,6	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	1,5	0	0	0	12,5
3	0,34	0,78	0	0	0	7,55
4	0,58	2,13	0	0	0	8,86
5	0,82	2,44	0	0	0	10,16
6	1,06	2,75	0	0	0	11,46
7	1,3	3,06	0	0	0	12,76
8	1,54	3,37	0	0	0	14,06
9	1,78	3,69	0	0	0	15,36
10	2,02	4	0	0	0	16,66
11	2,26	4,31	0	0	0	17,96
12	2,5	-82,51	23,5	0	0	19,26
13	2,8	6,27	0	0	0	20,89
14	3,1	6,06	0	0	0	22,51
15	3,34	5,66	0	0	0	23,8
16	3,58	5,97	0	0	0	25,09
17	3,81	6,25	0	0	0	26,37
18	4,05	6,56	0	0	0	27,66
19	4,29	6,89	0	0	0	28,95
20	4,53	7,2	0	0	0	30,24
21	4,76	7,47	0	0	0	31,52
22	5	-93,81	27,39	0	0	32,81
23	5,28	9,43	0	0	0	34,3
24	5,55	9,84	0	0	0	35,79
25	5,82	10,25	0	0	0	37,28
26	6,1	10,2	0	0	0	38,77
27	6,35	10,03	0	0	0	40,13
28	6,6	10,37	0	0	0	41,48
29	6,85	10,71	0	0	0	42,84
30	7,1	11,05	0	0	0	44,19
31	7,35	11,39	0	0	0	45,55
32	7,6	11,73	0	0	0	46,9
33	7,85	12,06	0	0	0	48,26
34	8,1	12,4	0	0	0	49,61
35	8,35	12,74	0	0	0	50,97
36	8,6	13,08	0	0	0	52,32
37	8,85	13,42	0	0	0	53,68
38	9,1	13,76	0	0	0	55,03
39	9,35	9,48	0	0	-18,45	56,39



**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	41 di 82

40	9,6	5,21	0	0	-36,9	57,74
41	9,85	0,94	0	0	-55,35	59,1
42	10,1	-3,28	0	0	-73,8	60,45
43	10,34	-12,14	0	0	-104,39	54,22
44	10,58	-16,78	0	0	-124,71	55,37
45	10,82	-21,42	0	0	-145,03	56,52
46	11,07	-26,06	0	0	-165,35	57,67
47	11,31	-30,7	0	0	-185,67	58,82
48	11,55	-35,34	0	0	-205,98	59,96
49	11,79	-38,4	0	0	-219,8	61,11
50	12,03	-19,88	0	0	-144,41	62,26
51	12,28	-2,55	0	0	-73,97	63,41
52	12,52	26,06	0	0	-16,26	123,94
53	12,76	42,69	0	0	-17,41	193,81
54	13	29,7	-69,56	0	-18,55	263,98

**PERCENTUALI DI SPINTA PASSIVA MOBILITATA**

Spinta passiva mobilitata a monte = 16,1%

Spinta passiva mobilitata a valle = 91%

**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,  $Wp=18,66$  kN/m

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

somma delle reazioni vincolari lungo Y,  $SommRvY=-18,66$  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,  $Sm=578,55$  kN/m

spinta delle terre di valle,  $Sv=-387,59$  kN/m

somma componenti orizz. delle forze che i tiranti/puntoni esercitano sull'opera,  $ST_x=-189,92$  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,  $MSm=5.068,96 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

momento della spinta delle terre di valle,  $MSv=-4.338,26 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

momento delle compon. orizz. delle forze che i tiranti/puntoni esercitano sull'opera,  $MTx=-730,35 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

momento delle forze orizzontali applicate alla paratia,  $MFx=0,00 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

momento dei carichi distribuiti esterni di monte,  $MSme=0,00 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

momento dei carichi distribuiti esterni di valle,  $MSve=0,00 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

### **SFORZI NEI TIRANTI/PUNTONI (calcolo**

#### **FEM)**

$TX^*$ =sforzo lungo l'asse globale X per metro lineare di paratia ( kN/m)

$TY^*$ =sforzo lungo l'asse globale Y per metro lineare di paratia ( kN/m)

$TX$ =sforzo lungo l'asse globale X nel singolo tirante/puntone ( kN)

$TY$ =sforzo lungo l'asse globale Y nel singolo tirante/puntone ( kN)

$Fa$ =sforzo di trazione/compressione nel singolo tirante/puntone ( kN)

$Fad=gGs \times Fa$  sforzo di trazione/compressione di progetto nel singolo tirante/puntone ( kN)

Ordine	$TX^*$	$TY^*$	$TX$	$TY$	$Fa$	$Fad$
1	-87,71	23,50	-210,51	56,40	217,93	283,31
2	-102,21	27,39	-245,31	65,73	253,97	330,16

### **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	-0,041	0,015	0,0022
2	0,1	-0,02	0,015	0,0022
3	0,34	0,032	0,015	0,0022
4	0,58	0,085	0,015	0,0022
5	0,82	0,137	0,015	0,0022
6	1,06	0,189	0,015	0,0022
7	1,3	0,241	0,015	0,0022
8	1,54	0,294	0,015	0,0022
9	1,78	0,348	0,015	0,0022
10	2,02	0,402	0,015	0,0023
11	2,26	0,457	0,015	0,0023
12	2,5	0,513	0,015	0,0024
13	2,8	0,585	0,015	0,0024
14	3,1	0,659	0,015	0,0025
15	3,34	0,717	0,015	0,0024
16	3,58	0,775	0,014	0,0024
17	3,81	0,831	0,014	0,0024
18	4,05	0,887	0,014	0,0023
19	4,29	0,94	0,014	0,0022
20	4,53	0,992	0,014	0,0021
21	4,76	1,041	0,013	0,002
22	5	1,088	0,013	0,0019

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	43 di 82

23	5,28	1,14	0,013	0,0018
24	5,55	1,187	0,012	0,0016
25	5,82	1,228	0,012	0,0014
26	6,1	1,261	0,012	0,001
27	6,35	1,283	0,011	0,0007
28	6,6	1,298	0,011	0,0004
29	6,85	1,303	0,01	0
30	7,1	1,3	0,01	-0,0003
31	7,35	1,287	0,01	-0,0007
32	7,6	1,264	0,009	-0,0011
33	7,85	1,232	0,009	-0,0015
34	8,1	1,191	0,008	-0,0018
35	8,35	1,141	0,008	-0,0022
36	8,6	1,083	0,008	-0,0025
37	8,85	1,017	0,007	-0,0028
38	9,1	0,944	0,007	-0,003
39	9,35	0,867	0,006	-0,0032
40	9,6	0,785	0,006	-0,0033
41	9,85	0,701	0,006	-0,0034
42	10,1	0,616	0,005	-0,0034
43	10,34	0,535	0,005	-0,0033
44	10,58	0,456	0,004	-0,0032
45	10,82	0,38	0,004	-0,003
46	11,07	0,309	0,003	-0,0028
47	11,31	0,243	0,003	-0,0026
48	11,55	0,182	0,003	-0,0024
49	11,79	0,127	0,002	-0,0022
50	12,03	0,077	0,002	-0,002
51	12,28	0,031	0,001	-0,0018
52	12,52	-0,012	0,001	-0,0018
53	12,76	-0,054	0	-0,0017
54	13	-0,096	0	-0,0017

**VERIFICA AL CARICO LIMITE VERTICALE**
**Parametri geotecnici di progetto**

coesione = 0,00 kN/mq

angolo di resistenza al taglio = 38°

**Resistenza alla punta**

fattore Nq (Berezantzev) = 89,47

fattore Nc = 113,24

 tensione litostatica verticale totale alla profondità L,  $sVL=288,00$  kN/mq

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

 tensione litostatica verticale efficace alla profondità L,  $s'VL=288,00$  kN/mq

 Resistenza unitaria alla punta,  $p=25.767,24$  kN/mq

 Resistenza alla punta,  $P_{max}=471,28$  kN

### Resistenza laterale

Resistenza laterale,  $S_{max}=761,59$  kN

### Resistenza alla punta e laterale di progetto

Resistenza alla punta (valore medio) = 471,28 kN

Resistenza alla punta (valore minimo) = 471,28 kN

Resistenza laterale (valore medio) = 761,59 kN

Resistenza laterale (valore minimo) = 761,59 kN

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

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

Resistenza alla punta (valore caratteristico) = 277,23 kN

Resistenza laterale (valore caratteristico) = 448,00 kN

Resistenza alla punta di progetto,  $P_{max\_d}=241,07$  kN

Resistenza laterale di progetto,  $S_{max\_d}=389,56$  kN

### Carico limite per carichi assiali di compressione

$Q_{lim\_d} = P_{max\_d} + S_{max\_d} = 630,63$  kN

### Carico limite di sfilamento per carichi assiali di trazione

$Q_{limt\_d} = S_{max\_d} = 389,56$  kN

### Azione di progetto

$E_d = 90,42$  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,  $Q_{lim\_d}/E_d=6,97$

## 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,  $F_i\_d=32,01$  (°)

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

#### strato 6

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	45 di 82

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

**Parametri di calcolo**

n° di cerchi analizzati = 10

Metodo utilizzato: Bishop

**Cerchio critico**

Coordinate centro e raggio: X (m)= 0 Y (m)= -0,3 Rc (m)= 13,4

*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	7,26	0	-42,88	0	0,88	0	22,4	0	9,31	-0,65
2	20,62	0	-37,91	0	0,88	0	22,4	0	24,65	-1,91
3	31,84	0	-33,25	0	0,88	0	22,4	0	36,23	-2,81
4	41,27	0	-28,83	0	0,88	0	22,4	0	45,18	-3,51
5	49,16	0	-24,59	0	0,88	0	22,4	0	52,21	-4,05
6	55,66	0	-20,49	0	0,88	0	22,4	0	57,75	-4,48
7	60,9	0	-16,5	0	0,88	0	22,4	0	62,09	-4,82
8	64,97	0	-12,59	0	0,88	0	22,4	0	65,44	-5,08
9	67,92	0	-8,74	0	0,88	0	22,4	0	67,91	-5,27
10	69,8	0	-4,93	0	0,88	0	22,4	0	69,59	-5,4
										-
11	70,63	0	-1,14	0	0,88	0	22,4	0	139,99	10,87
12	8,5	0	0,86	0	0,05	0	22,4	0	8,51	-0,66
										-
13	244,18	24,46	2,98	0	0,94	0	22,4	0	270,09	20,97
										-
14	242,63	24,46	7,02	0	0,94	0	22,4	0	271,7	21,09
										-
15	239,8	24,46	11,09	0	0,94	0	22,4	0	273,46	21,23
										-
16	235,66	24,46	15,23	0	0,94	0	22,4	0	275,4	21,38
										-
17	230,12	24,46	19,45	0	0,94	0	22,4	0	277,59	21,55
										-
18	223,1	24,46	23,78	0	0,94	0	22,4	0	280,1	21,75
										-
19	214,44	24,46	28,26	0	0,94	0	22,4	0	283,04	21,97
20	203,95	24,46	32,94	0	0,94	0	22,4	0	286,57	-

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	46 di 82

22,25

21	191,32	24,46	37,88	0	0,94	0	22,4	0	290,98	22,59
22	176,13	24,46	43,19	0	0,94	0	22,4	0	294,37	20,48
23	157,63	24,46	49,02	0	0,94	0	22,4	0	301,84	-21
24	134,48	24,46	55,66	0	0,94	0	22,4	0	313,67	21,82
25	103,55	24,46	63,78	0	0,94	0	22,4	0	337,4	23,47
26	42,79	24,46	78,31	0	0,94	0	22,4	0	500,24	-34,8

 Lunghezza dell'arco di cerchio di scivolamento,  $L=31,29$  m

 Momento resistente,  $M_{resist}=39.481,47$  kN\*m

 Momento instabilizzante,  $M_{instab}=-4.903,90$  kN\*m

Verifica soddisfatta

**VERIFICHE STRUTTURALI PARATIA**
**Verifiche di resistenza a presso-flessione e taglio**
 $sid_m$ : tensione ideale massima nella sezione di acciaio ( N/mm<sup>2</sup>)

 $Mcy_{Rd}$ : resistenza di progetto della sezione soggetta a presso-flessione retta (asse vettore y)

 Resistenza plastica della sezione lorda A,  $Npl_{Rd}=6.183,76$  kN

 Area resistente al taglio della sezione lungo z,  $Avz=106,60$  cm<sup>2</sup>

 Resistenza di progetto a taglio lungo z,  $Vcz_{Rd}=2.080,84$  kN

 Momento resistente elastico lungo l'asse vettore y,  $Mely_{Rd}=743,81$  kN\*m

 Momento resistente plastico lungo l'asse vettore y,  $Mply_{Rd}=872,29$  kN\*m

 tensione di snervamento di progetto,  $f_{yd}=338$  N/mm<sup>2</sup>

x ( m )	Nx	Tz	My	sid_m	Mcy_Rd	Verif?
0	0	0	0			Si
0,1	-0,23	-2,34	0	0,4		Si
0,34	-0,76	-3,55	-0,56	0,6		Si
0,58	-1,3	-6,86	-1,42	1,2		Si
0,82	-1,84	-10,67	-3,06	1,8		Si
1,06	-2,38	-14,96	-5,63	2,7		Si
1,3	-2,92	-19,74	-9,22	4,4		Si
1,54	-3,44	-25	-13,96	6,5		Si
1,78	-3,98	-30,76	-19,96	9,3		Si
2,02	-4,52	-36,98	-27,34	12,7		Si
2,26	-5,06	-43,72	-36,2	16,7		Si
2,5	-5,6	-43,72	-46,7	21,6		Si
2,5	-42,26	85,01	-46,7	23,6		Si
2,8	-42,94	75,23	-21,2	13,1		Si
3,1	-43,61	65,78	1,37	11,5		Si
3,34	-44,14	56,94	16,99	10,1		Si
3,58	-44,68	47,63	30,52	16,3		Si
3,81	-45,2	37,88	41,83	21,5		Si
4,05	-45,73	27,65	50,82	25,6		Si

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	47 di 82

4,29	-46,27	16,91	57,4	28,6	Si
4,53	-46,8	5,68	61,4	30,5	Si
4,76	-47,33	-5,98	62,76	31,1	Si
5	-47,87	-5,98	61,33	30,5	Si
5	-90,59	140,38	61,33	32,9	Si
5,28	-91,2	125,65	99,94	50,4	Si
5,55	-91,82	110,3	134,5	66,2	Si
5,82	-92,44	94,31	164,83	80	Si
6,1	-93,05	78,4	190,76	91,9	Si
6,35	-93,61	62,75	210,36	100,8	Si
6,6	-94,18	46,57	226,06	108	Si
6,85	-94,73	29,87	237,7	113,3	Si
7,1	-95,29	12,64	245,16	116,7	Si
7,35	-95,86	-5,14	248,32	118,2	Si
7,6	-96,41	-23,42	247,03	117,6	Si
7,85	-96,97	-42,24	241,18	115	Si
8,1	-97,54	-61,6	230,62	110,2	Si
8,35	-98,09	-81,47	215,22	103,3	Si
8,6	-98,65	-101,88	194,86	94	Si
8,85	-99,22	-122,81	169,39	82,5	Si
9,1	-99,77	-144,28	138,68	68,5	Si
9,35	-100,33	-159,07	102,61	52,2	Si
9,6	-100,9	-167,2	62,84	34,1	Si
9,85	-101,45	-168,65	21,05	29,5	Si
10,1	-102,01	-163,52	-21,11	28,6	Si
10,34	-102,55	-144,59	-60,64	33,2	Si
10,58	-103,09	-118,4	-95,57	49,1	Si
10,82	-103,63	-85	-124,19	62,2	Si
11,07	-104,17	-44,34	-144,73	71,5	Si
11,31	-104,71	3,55	-155,45	76,4	Si
11,55	-105,26	58,67	-154,58	76,1	Si
11,79	-105,8	118,58	-140,41	69,7	Si
12,03	-106,34	149,59	-111,76	56,7	Si
12,28	-106,88	153,58	-75,6	40,2	Si
12,52	-107,42	112,92	-38,48	23,4	Si
12,76	-107,96	46,32	-11,2	11	Si
13	-108,5	46,32	0	9,9	Si

**VERIFICHE S.L.U. DI TIPO GEOTECNICO E STRUTTURALE SUI TIRANTI**
**ANCORAGGIO DI ORDINE 1**

 forza di progetto di trazione agente sul tirante,  $F_{ad}=283,31$  kN

**1) Verifica allo sfilamento dell'intero tirante, compresa la fondazione (GEO)**

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1,2) = 1,63

**2) Verifica alla rottura del tirante di acciaio (STR)**

 tensione normale nell'acciaio del tirante,  $\text{Sigf}=679,40$  N/mm<sup>2</sup>

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1) = 2,38

**3) Verifica di aderenza acciaio-calcestruzzo (STR)**

tensione tangenziale al contatto calcestruzzo-acciaio,  $\tau = 0,78$  N/mm<sup>2</sup>

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1) = 3,04

**ANCORAGGIO DI ORDINE 2**

forza di progetto di trazione agente sul tirante,  $F_{ad} = 330,16$  kN

**1) Verifica allo sfilamento dell'intero tirante, compresa la fondazione (GEO)**

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1,2) = 1,4

**2) Verifica alla rottura del tirante di acciaio (STR)**

tensione normale nell'acciaio del tirante,  $\sigma = 791,74$  N/mm<sup>2</sup>

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1) = 2,04

**3) Verifica di aderenza acciaio-calcestruzzo (STR)**

tensione tangenziale al contatto calcestruzzo-acciaio,  $\tau = 0,91$  N/mm<sup>2</sup>

Verifica soddisfatta

coefficiente di sicurezza (non minore di 1) = 2,61

**VERIFICA CORDOLI IN ACCIAIO IN CORRISPONDENZA DEI TIRANTI**

**ORDINE DI TIRANTE N° 1**

**Sollecitazioni di progetto**

Momento flettente massimo,  $M_y = 63,15$  kN\*m

Taglio massimo,  $T_z = 105,25$  kN

**Verifiche di resistenza a flessione e taglio**

tensione di snervamento di progetto,  $f_{yd} = 338$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza plastica della sezione lorda A,  $N_{pl\_Rd} = 7.167,62$  kN

Area resistente al taglio della sezione lungo z,  $A_{vz} = 33,24$  cm<sup>2</sup>

Resistenza di progetto a taglio lungo z,  $V_{cz\_Rd} = 1.297,69$  kN

Momento resistente elastico lungo l'asse vettore y,  $M_{ely\_Rd} = 634,27$  kN\*m

Momento resistente plastico lungo l'asse vettore y,  $M_{ply\_Rd} = 712,10$  kN\*m

Resistenza di progetto della sezione soggetta a flessione retta,  $M_{cy\_Rd} = 712,1$  kN\*m

Verifica soddisfatta

**ORDINE DI TIRANTE N° 2**

**Sollecitazioni di progetto**

Momento flettente massimo,  $M_y = 73,59$  kN\*m

Taglio massimo,  $T_z = 122,66$  kN

**Verifiche di resistenza a flessione e taglio**

tensione di snervamento di progetto,  $f_{yd} = 338$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza plastica della sezione lorda A,  $N_{pl\_Rd} = 7.167,62$  kN

Area resistente al taglio della sezione lungo z,  $A_{vz} = 33,24$  cm<sup>2</sup>

Resistenza di progetto a taglio lungo z,  $V_{cz\_Rd} = 1.297,69$  kN

Momento resistente elastico lungo l'asse vettore y,  $M_{ely\_Rd} = 634,27$  kN\*m



Momento resistente plastico lungo l'asse vettore y,  $M_{ply\_Rd}=712,10 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Resistenza di progetto della sezione soggetta a flessione retta,  $M_{cy\_Rd}=712,1 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Verifica soddisfatta

### 6.1.8.1 Diagrammi

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

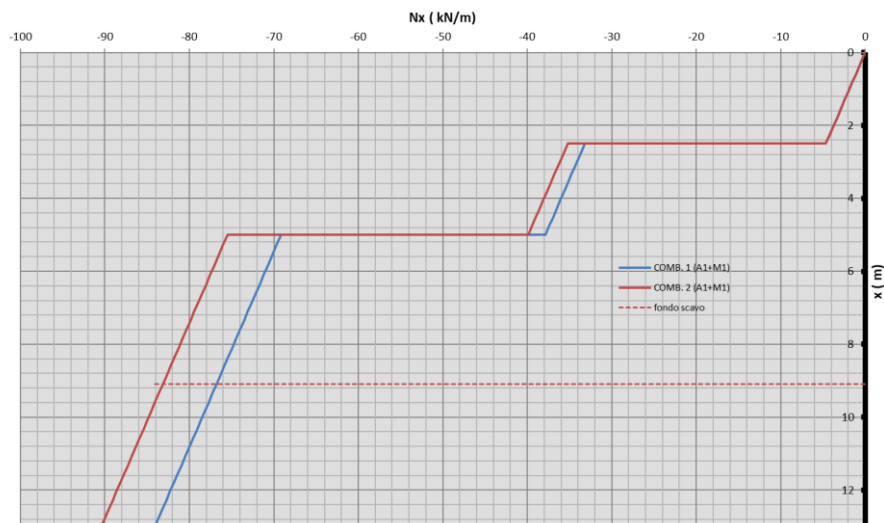
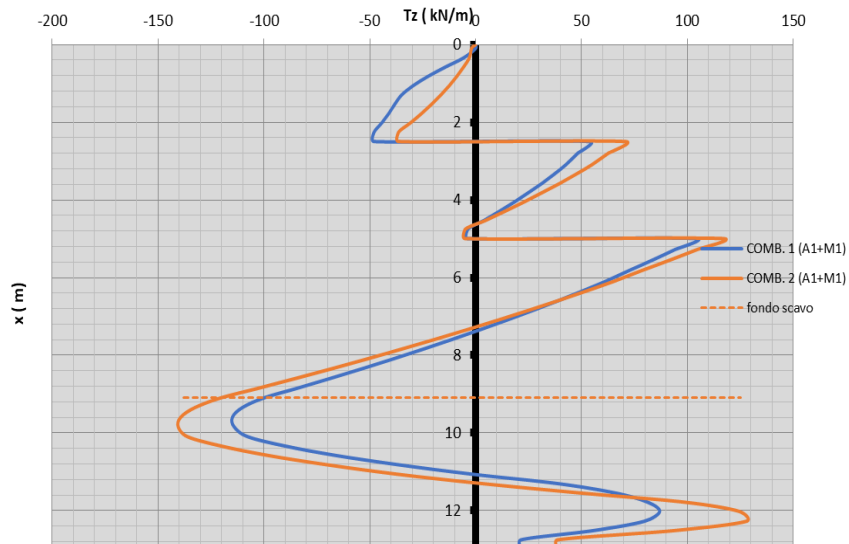
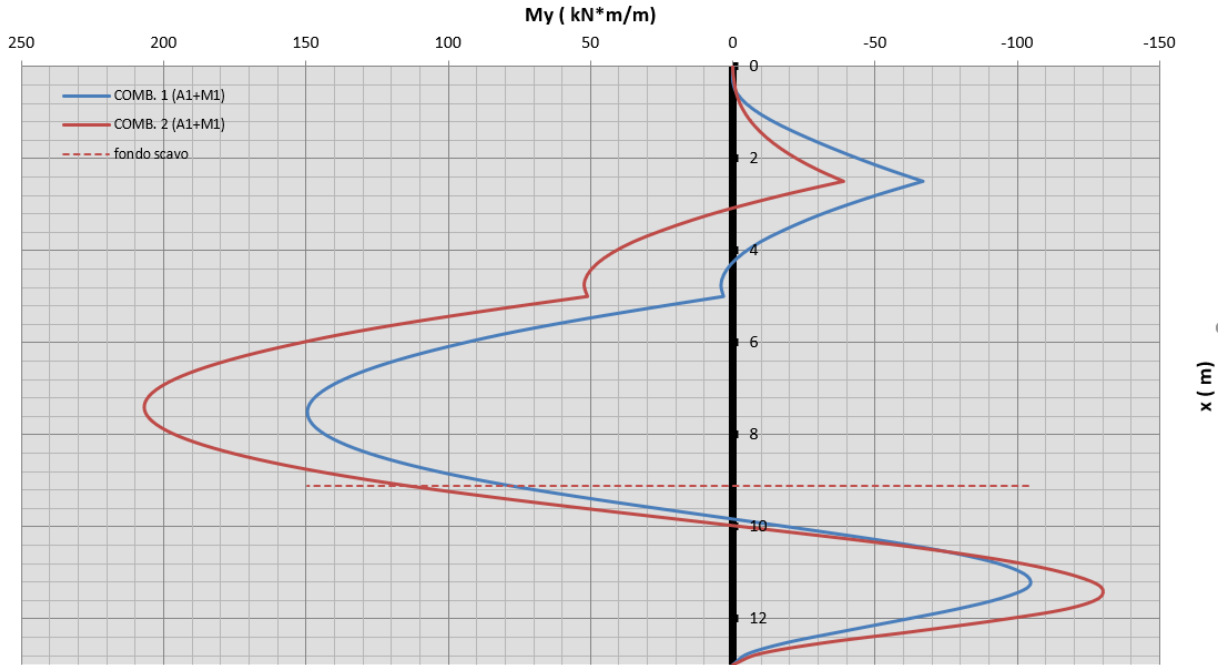


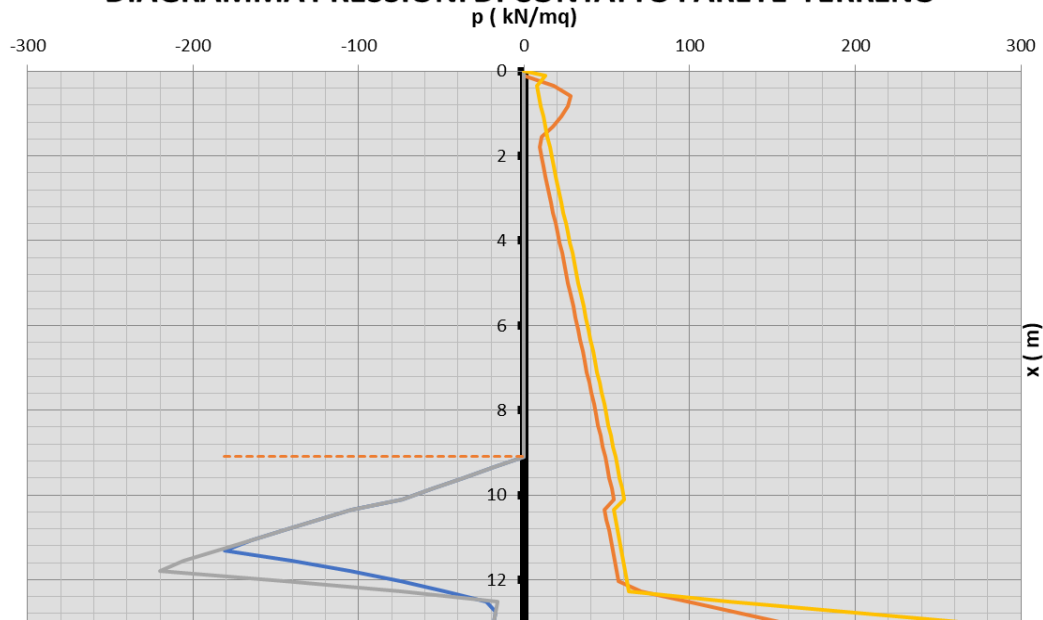
DIAGRAMMA DEL TAGLIO  $T_z(x)$  LUNGO LA PARATIA



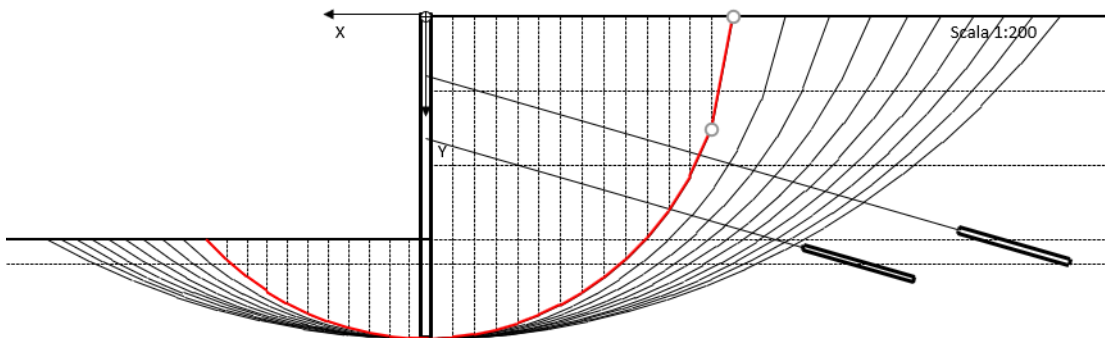
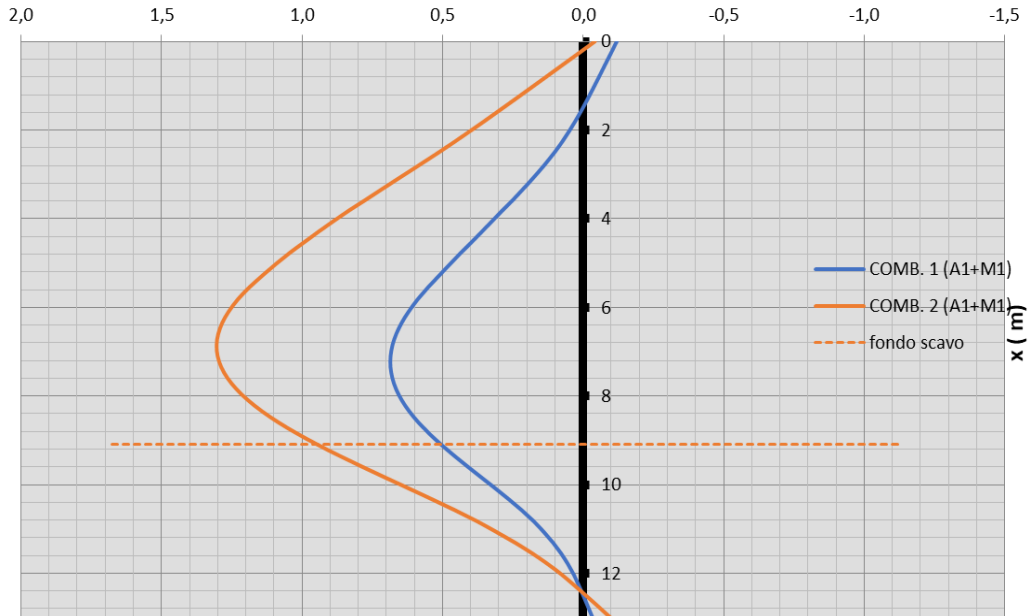
**DIAGRAMMA DEL MOMENTO FLETTENTE  $M_y(x)$  LUNGO LA PARATIA**



**DIAGRAMMA PRESSIONI DI CONTATTO PARETE-TERRENO**



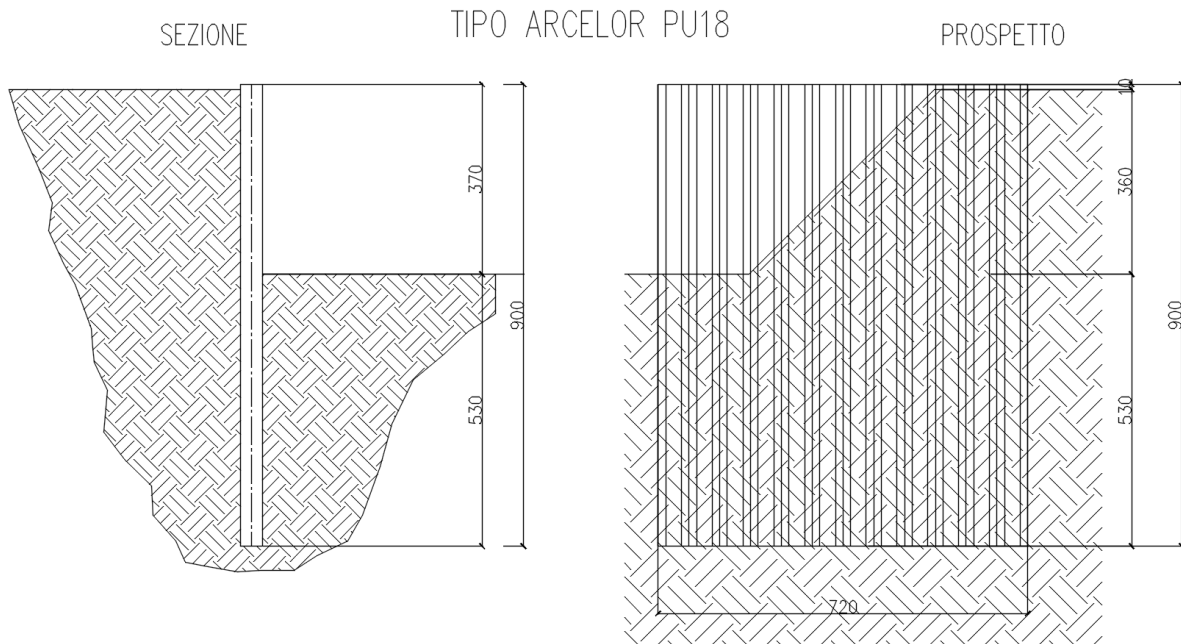
**SPOSTAMENTI ORIZZONTALI DELLA PARATIA**  
w (cm)



**STABILITÀ GLOBALE**

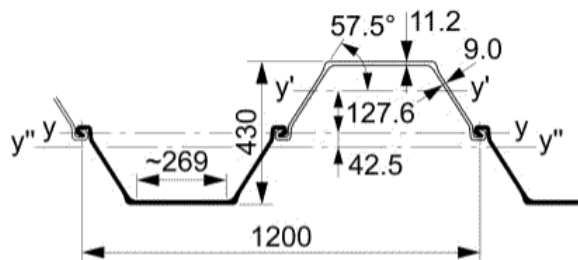
## 6.2 TIPO ACELOR PU18

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



### PU 18

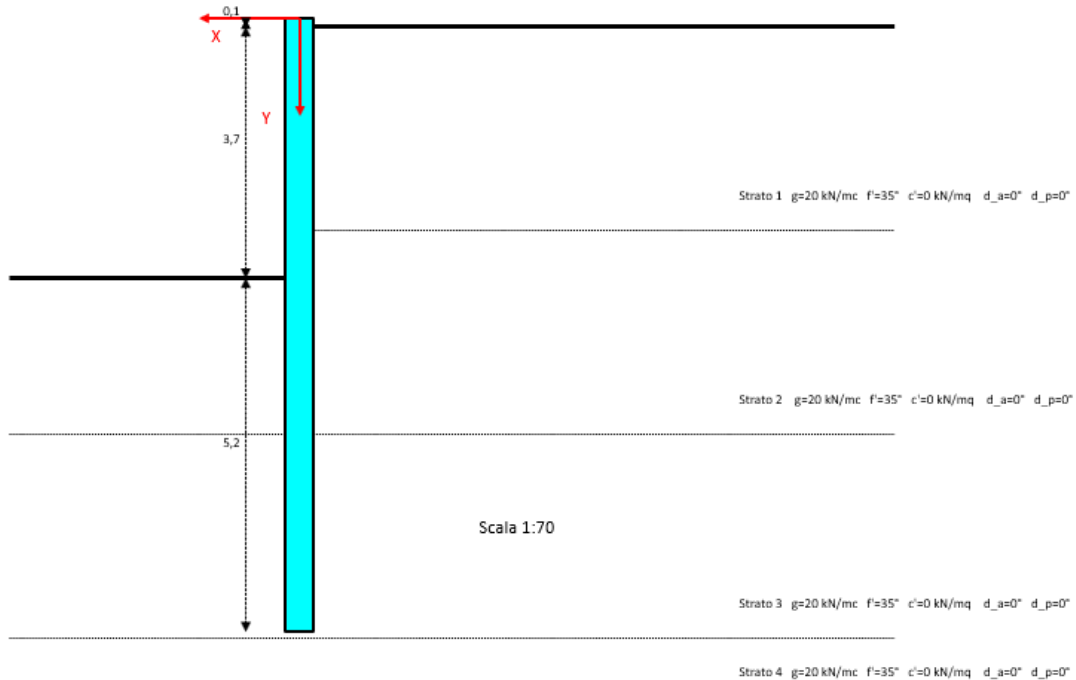
PU 18



	Area della sezione	Massa per m	Momento d'inerzia	Modulo di resistenza elastico	Raggio giratore d'inerzia	Superficie di rivestimento*
	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	m <sup>2</sup> /m
Per S	98,0	76,9	7220	484	8,58	0,87
Per D	196,0	153,8	46380	2160	15,38	1,72
Per T	294,0	230,7	64240	2495	14,78	2,58
Per m di muro	163,3	128,2	38650	1800	15,38	1,43

### 6.2.1 CARATTERISTICHE GENERALI

Si prevede una paratia tipo Acelor PU18 di lunghezza pari a 9m senza il contributo di tiranti e cordoli.



## 6.2.2 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:*

$n^\circ$  numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia

Descrizione Descrizione del terreno

$\gamma$  peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]

$\gamma_s$  peso di volume saturo del terreno espresso [kg/mc]

$\phi$  angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]

$\delta$  angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]

c coesione del terreno espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]

$n^\circ$	Descrizione	$\gamma$	$\gamma_s$	$\phi$	$\delta$	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	

### 6.2.3 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 <sup>2</sup> /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/cm<sup>2</sup>/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

### 6.2.4 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 seguenti condizioni di carico:

#### Condizione n° 1

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

### 6.2.5 IMPOSTAZIONI DI PROGETTO

**Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche**

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

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	55 di 82

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

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

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

## 6.2.6 IMPOSTAZIONI DI ANALISI

### 6.2.6.1 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

## 6.2.7 VERIFICHE PALANCOLA

### 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

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	56 di 82

angolo di resistenza al taglio,  $F_{i\_d}=29,26$  (°)  
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,  $F_{i\_d}=29,26$  (°)  
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,  $F_{i\_d}=29,26$  (°)  
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,  $F_{i\_d}=29,26$  (°)  
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:



RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	57 di 82

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,  $D_r=4,638$  m

Coefficiente di sicurezza,  $E_t=1,567$

n° iterazioni effettuate (metodo bisezione) = 21

errore equazione di equilibrio alla rotazione = 0,18 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	8,34	3	166,76	0,00	57,27	309,79
3	8,90	3	178,00	0,00	330,67	

### **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	3,70	2	0,00	0,00	0,00	
ss	6,00	2	46,00	0,00	85,45	85,45
12	8,34	3	92,76	0,00	172,33	31,86
13	8,90	3	104,00	0,00	35,72	

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

Spinta di monte,  $S_m=418,70$  kN/m

Spinta di valle,  $S_v=418,62$  kN/m

braccio della spinta di monte rispetto all'estremo inferiore paratia,  $d_m=2,025$  m

braccio della spinta di valle rispetto all'estremo inferiore paratia,  $d_v=2,025$  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),  $Delt_{ad}=0$  (°)

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),  $\text{Delt}_{ad}=0$  (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva),  $\text{Delt}_{pd}=0$  (°)

strato 3

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

angolo di resistenza al taglio,  $\text{Fi}_d=35$  (°)

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

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva),  $\text{Delt}_{ad}=0$  (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva),  $\text{Delt}_{pd}=0$  (°)

strato 4

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

angolo di resistenza al taglio,  $\text{Fi}_d=35$  (°)

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

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva),  $\text{Delt}_{ad}=0$  (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva),  $\text{Delt}_{pd}=0$  (°)

strato 5

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

angolo di resistenza al taglio,  $\text{Fi}_d=38$  (°)

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

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva),  $\text{Delt}_{ad}=0$  (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva),  $\text{Delt}_{pd}=0$  (°)

strato 6

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

angolo di resistenza al taglio,  $\text{Fi}_d=38$  (°)

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

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva),  $\text{Delt}_{ad}=0$  (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva),  $\text{Delt}_{pd}=0$  (°)

**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 = 0,001542

errore iterazione 1 = 0,030878

errore iterazione 2 = 0,013332

errore iterazione 3 = 0,001655

errore iterazione 4 = 0

sez./nodo	x ( m )	Nx ( kN/m )	Tz ( kN/m )	My ( kN*m/m )
-----------	---------	-------------	-------------	---------------

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	61 di 82

1	0	0	0	0
2	0,1	-0,17	0	0
3	0,35	-0,58	-0,44	0
4	0,6	-1	-1,32	-0,11
5	0,85	-1,42	-2,64	-0,44
6	1,1	-1,83	-4,4	-1,1
7	1,35	-2,25	-6,61	-2,2
8	1,6	-2,67	-9,25	-3,85
9	1,85	-3,08	-12,33	-6,17
10	2,1	-3,5	-15,85	-9,25
11	2,35	-3,92	-19,82	-13,21
12	2,6	-4,33	-24,22	-18,16
13	2,85	-4,75	-29,06	-24,22
14	3,1	-5,17	-34,18	-31,49
15	3,33	-5,55	-39,49	-39,46
16	3,57	-5,94	-45,18	-48,67
17	3,8	-6,33	-51,54	-59,22
18	4,06	-6,76	-52,4	-72,39
19	4,31	-7,18	-47,44	-85,78
20	4,57	-7,61	-36,66	-97,9
21	4,82	-8,04	-20,07	-107,27
22	5,08	-8,46	2,33	-112,4
23	5,33	-8,89	24,22	-111,8
24	5,59	-9,31	39,13	-105,62
25	5,84	-9,74	48,44	-95,61
26	6,1	-10,17	53,32	-83,24
27	6,34	-10,57	54,94	-70,35
28	6,58	-10,97	52,28	-57,07
29	6,82	-11,37	46,85	-44,44
30	7,07	-11,78	39,87	-33,12
31	7,31	-12,18	32,28	-23,48
32	7,55	-12,58	24,77	-15,68
33	7,79	-12,98	17,83	-9,7
34	8,03	-13,39	11,79	-5,39
35	8,28	-13,79	6,83	-2,54
36	8,52	-14,19	3,08	-0,89
37	8,76	-14,6	0,59	-0,14
38	9	-15	0,59	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)

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	62 di 82

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	3,93	0	0	0	16,26
15	3,33	4,08	0	0	0	17,52
16	3,57	4,38	0	0	0	18,79
17	3,8	4,89	0	0	0	20,05
18	4,06	0,66	0	0	-18,86	21,44
19	4,31	-3,81	0	0	-37,72	22,82
20	4,57	-8,29	0	0	-56,58	24,21
21	4,82	-12,76	0	0	-75,44	25,59
22	5,08	-17,24	0	0	-94,3	26,98
23	5,33	-16,84	0	0	-94,13	28,36
24	5,59	-11,47	0	0	-74,56	29,75
25	5,84	-7,16	0	0	-59,11	31,13
26	6,1	-3,75	0	0	-47,59	32,52
27	6,34	-1,24	0	0	-40,02	34,89
28	6,58	2,05	0	0	-35,29	43,74
29	6,82	4,18	0	0	-32,95	50,2
30	7,07	5,37	0	0	-32,54	54,73
31	7,31	5,84	0	0	-33,63	57,77
32	7,55	5,78	0	0	-35,83	59,69
33	7,79	5,34	0	0	-38,8	60,85
34	8,03	4,65	0	0	-42,28	61,49
35	8,28	3,81	0	0	-46,07	61,81
36	8,52	2,88	0	0	-50,04	61,96
37	8,76	1,91	0	0	-54,11	62,02
38	9	0,46	-11,54	0	-58,23	62,02

**PERCENTUALI DI SPINTA PASSIVA MOBILITATA**

Spinta passiva mobilitata a monte = 0%

Spinta passiva mobilitata a valle = 42,1%

**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,  $Wp=11,54$  kN/m

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

somma delle reazioni vincolari lungo Y,  $SommRvY=-11,54$  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,  $Sm=256,50$  kN/m

spinta delle terre di valle,  $Sv=-256,50$  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,  $MSm=1.620,50$  kN\*m/m

momento della spinta delle terre di valle,  $MSv=-1.620,50$  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	1,611	0,002	-0,0032
2	0,1	1,579	0,002	-0,0032
3	0,35	1,499	0,002	-0,0032
4	0,6	1,418	0,002	-0,0032
5	0,85	1,338	0,002	-0,0032
6	1,1	1,258	0,001	-0,0032
7	1,35	1,178	0,001	-0,0032
8	1,6	1,097	0,001	-0,0032
9	1,85	1,018	0,001	-0,0032
10	2,1	0,938	0,001	-0,0032

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	64 di 82

11	2,35	0,859	0,001	-0,0031
12	2,6	0,781	0,001	-0,0031
13	2,85	0,704	0,001	-0,0031
14	3,1	0,628	0,001	-0,003
15	3,33	0,56	0,001	-0,0029
16	3,57	0,493	0,001	-0,0028
17	3,8	0,428	0,001	-0,0027
18	4,06	0,361	0,001	-0,0025
19	4,31	0,299	0,001	-0,0023
20	4,57	0,242	0,001	-0,0021
21	4,82	0,191	0,001	-0,0019
22	5,08	0,146	0,001	-0,0016
23	5,33	0,109	0,001	-0,0013
24	5,59	0,078	0,001	-0,0011
25	5,84	0,054	0,001	-0,0008
26	6,1	0,035	0,001	-0,0006
27	6,34	0,023	0,001	-0,0004
28	6,58	0,014	0,001	-0,0003
29	6,82	0,009	0,001	-0,0002
30	7,07	0,006	0,001	-0,0001
31	7,31	0,004	0,001	0
32	7,55	0,004	0	0
33	7,79	0,005	0	0,0001
34	8,03	0,007	0	0,0001
35	8,28	0,009	0	0,0001
36	8,52	0,011	0	0,0001
37	8,76	0,013	0	0,0001
38	9	0,015	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) = 53,825

fattore Nc = 75,44

tensione litostatica verticale totale alla profondità L, sVL=178,00 kN/mq

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

tensione litostatica verticale efficace alla profondità L, s'VL=178,00 kN/mq

Resistenza unitaria alla punta, p=9.580,83 kN/mq

Resistenza alla punta, Pmax=156,46 kN

**Resistenza laterale**

Resistenza laterale, Smax=364,72 kN

**Resistenza alla punta e laterale di progetto**

Resistenza alla punta (valore medio) = 156,46 kN



RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	65 di 82

Resistenza alla punta (valore minimo) = 156,46 kN

Resistenza laterale (valore medio) = 364,72 kN

Resistenza laterale (valore minimo) = 364,72 kN

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

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

Resistenza alla punta (valore caratteristico) = 92,03 kN

Resistenza laterale (valore caratteristico) = 214,54 kN

Resistenza alla punta di progetto,  $P_{max\_d}=80,03$  kN

Resistenza laterale di progetto,  $S_{max\_d}=186,56$  kN

**Carico limite per carichi assiali di compressione**

$Q_{lim\_d} = P_{max\_d} + S_{max\_d} = 266,59$  kN

**Carico limite di sfilamento per carichi assiali di trazione**

$Q_{limt\_d} = S_{max\_d} = 186,56$  kN

**Azione di progetto**

$E_d = 15,00$  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,  $Q_{lim\_d}/E_d=17,77$

**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,  $F_i\_d=32,01$  (°)

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,  $F_i\_d=32,01$  (°)

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

**Parametri di calcolo**

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	66 di 82

n° di cerchi analizzati = 10

Metodo utilizzato: Bishop

**Cerchio critico**

Coordinate centro e raggio: X (m)= 0 Y (m)= -1,76 Rc (m)= 10,86

*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	9,12	0	-55,54	0	0,79	0	14,56	0	20,36	2,91
2	25,37	0	-48,68	0	0,79	0	14,56	0	45,89	6,56
3	38,26	0	-42,68	0	0,79	0	14,56	0	59,95	8,58
4	48,79	0	-37,22	0	0,79	0	14,56	0	68,73	9,83
5	57,47	0	-32,13	0	0,79	0	14,56	0	74,57	10,67
6	64,64	0	-27,31	0	0,79	0	14,56	0	78,55	11,24
7	70,49	0	-22,7	0	0,79	0	14,56	0	81,27	11,63
8	75,17	0	-18,24	0	0,79	0	14,56	0	83,06	11,88
9	78,78	0	-13,89	0	0,79	0	14,56	0	84,13	12,03
10	81,39	0	-9,62	0	0,79	0	14,56	0	84,6	12,1
11	83,05	0	-5,4	0	0,79	0	14,56	0	84,56	12,1
12	83,77	0	-1,22	0	0,79	0	14,56	0	95,62	13,68
13	7,15	0	1	0	0,05	0	14,56	0	7,13	1,02
14	144,81	0	3,27	0	0,81	0	14,56	0	143,87	20,58
15	143,58	0	7,54	0	0,81	0	14,56	0	142,14	20,33
16	141,35	0	11,87	0	0,81	0	14,56	0	140,22	20,06
17	138,09	0	16,26	0	0,81	0	14,56	0	138,08	19,75
18	133,73	0	20,75	0	0,81	0	14,56	0	135,65	19,4
19	128,18	0	25,38	0	0,81	0	14,56	0	132,85	19
20	121,31	0	30,2	0	0,81	0	14,56	0	129,57	18,53
21	112,92	0	35,27	0	0,81	0	14,56	0	125,6	17,97
22	102,73	0	40,68	0	0,81	0	14,56	0	120,64	17,26
23	90,27	0	46,59	0	0,81	0	14,56	0	114,09	16,32
24	74,68	0	53,24	0	0,81	0	14,56	0	104,74	14,98
25	54,13	0	61,22	0	0,81	0	14,56	0	89,22	12,76
26	21,15	0	72,9	0	0,81	0	14,56	0	49,1	7,02

Lunghezza dell'arco di cerchio di scivolamento, L=26,42 m

Momento resistente, M\_resist=14.806,57 kN\*m

Momento instabilizzante, M\_instab=3.781,03 kN\*m

Coefficiente di sicurezza del pendio = M\_resist/M\_instab = 3,916

Verifica soddisfatta

## VERIFICHE STRUTTURALI PARATIA

### Verifiche di resistenza a presso-flessione e taglio

sid\_m: tensione ideale massima nella sezione di acciaio ( N/mm<sup>2</sup>)

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

Resistenza plastica della sezione lorda A, Npl\_Rd=5.521,10 kN

Area resistente al taglio della sezione lungo z, Avz=94,30 cm<sup>2</sup>

Resistenza di progetto a taglio lungo z, Vcz\_Rd=1.840,81 kN

Momento resistente elastico lungo l'asse vettore y, Mely\_Rd=608,57 kN\*m

Momento resistente plastico lungo l'asse vettore y, Mply\_Rd=721,50 kN\*m

tensione di snervamento di progetto, fyd=338 N/mm<sup>2</sup>

x (m)	Nx	Tz	My	sid_m	Mcy_Rd	Verif?
0	0	0	0			Si
0,1	-0,2	0	0			Si
0,35	-0,7	-0,53	0	0,1		Si
0,6	-1,2	-1,58	-0,13	0,3		Si
0,85	-1,7	-3,17	-0,53	0,7		Si
1,1	-2,2	-5,28	-1,32	1,1		Si
1,35	-2,7	-7,93	-2,64	1,7		Si
1,6	-3,2	-11,1	-4,62	2,8		Si
1,85	-3,7	-14,8	-7,4	4,3		Si
2,1	-4,2	-19,02	-11,1	6,4		Si
2,35	-4,7	-23,78	-15,85	9,1		Si
2,6	-5,2	-29,06	-21,79	12,4		Si
2,85	-5,7	-34,87	-29,06	16,5		Si
3,1	-6,2	-41,02	-37,79	21,4		Si
3,33	-6,66	-47,39	-47,35	26,7		Si
3,57	-7,13	-54,22	-58,4	32,9		Si
3,8	-7,6	-61,85	-71,06	40		Si
4,06	-8,11	-62,88	-86,87	48,8		Si
4,31	-8,62	-56,93	-102,94	57,8		Si
4,57	-9,13	-43,99	-117,48	65,9		Si
4,82	-9,65	-24,08	-128,72	72,2		Si
5,08	-10,15	2,8	-134,88	75,7		Si
5,33	-10,67	29,06	-134,16	75,3		Si
5,59	-11,17	46,96	-126,74	71,2		Si
5,84	-11,69	58,13	-114,73	64,5		Si
6,1	-12,2	63,98	-99,89	56,3		Si
6,34	-12,68	65,93	-84,42	47,7		Si
6,58	-13,16	62,74	-68,48	38,9		Si
6,82	-13,64	56,22	-53,33	30,5		Si
7,07	-14,14	47,84	-39,74	23		Si
7,31	-14,62	38,74	-28,18	16,6		Si
7,55	-15,1	29,72	-18,82	11,4		Si
7,79	-15,58	21,4	-11,64	7,4		Si

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	68 di 82

8,03	-16,07	14,15	-6,47	4,6	Si
8,28	-16,55	8,2	-3,05	2,7	Si
8,52	-17,03	3,7	-1,07	1,6	Si
8,76	-17,52	0,71	-0,17	1,2	Si
9	-18	0,71	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,  $q1d=26,00$  kN/mq

Terreno di valle,  $q2d=0,00$  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,  $Fi_d=32,01$  (°)

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,  $D_r=4,661$  m

 Coefficiente di sicurezza,  $E_t=1,082$ 

n° iterazioni effettuate (metodo bisezione) = 21

 errore equazione di equilibrio alla rotazione =  $-0,48$  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	26,00	0,00	8,93	
ss	3,00	1	86,00	0,00	29,54	29,54
ss	6,00	2	146,00	0,00	50,14	50,14
2	8,36	3	193,22	0,00	66,36	519,98
3	8,90	3	204,00	0,00	549,00	

**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	3,70	2	0,00	0,00	0,00	
ss	6,00	2	46,00	0,00	123,79	123,79
12	8,36	3	93,22	0,00	250,87	32,02
13	8,90	3	104,00	0,00	35,72	

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

 Spinta di monte,  $S_m=602,84$  kN/m

 Spinta di valle,  $S_v=602,90$  kN/m

 braccio della spinta di monte rispetto all'estremo inferiore paratia,  $d_m=2,037$  m

 braccio della spinta di valle rispetto all'estremo inferiore paratia,  $d_v=2,037$  m

**Esito verifica alla rotazione**

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

## **SOLLECITAZIONI AGENTI SULLA PARATIA (calcolo FEM)**

### **Sovraccarichi di progetto sui terrapieni**

Terreno di monte,  $q_{1d} = 23,08$  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),  $D_{elt,ad} = 0$  (°)

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

### **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:



**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	73 di 82

 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 = 5

errore iterazione 0 = 0,002431

errore iterazione 1 = 0,056408

errore iterazione 2 = 0,032114

errore iterazione 3 = 0,017208

errore iterazione 4 = 0,004908

errore iterazione 5 = 0,000871

sez./nodo	x ( m )	Nx ( kN/m )	Tz ( kN/m )	My ( kN*m/m )
1	0	0	0	0
2	0,1	-0,17	-1,02	0
3	0,35	-0,58	-3,49	-0,25
4	0,6	-1	-6,4	-1,13
5	0,85	-1,42	-9,76	-2,73
6	1,1	-1,83	-13,55	-5,17
7	1,35	-2,25	-17,78	-8,55
8	1,6	-2,67	-22,46	-13
9	1,85	-3,08	-27,57	-18,61
10	2,1	-3,5	-33,13	-25,51
11	2,35	-3,92	-39,12	-33,79
12	2,6	-4,33	-45,56	-43,57
13	2,85	-4,75	-52,44	-54,96
14	3,1	-5,17	-59,52	-68,07
15	3,33	-5,55	-66,72	-81,96
16	3,57	-5,94	-74,31	-97,53
17	3,8	-6,33	-82,65	-114,86
18	4,06	-6,76	-85,59	-135,99
19	4,31	-7,18	-82,71	-157,86
20	4,57	-7,61	-74,02	-179
21	4,82	-8,04	-59,51	-197,91
22	5,08	-8,46	-39,19	-213,12
23	5,33	-8,89	-13,05	-223,14
24	5,59	-9,31	18,91	-226,47
25	5,84	-9,74	56,68	-221,64
26	6,1	-10,17	84,03	-207,15
27	6,34	-10,57	100,42	-186,84
28	6,58	-10,97	108,91	-162,57

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	74 di 82

29	6,82	-11,37	111,8	-136,26
30	7,07	-11,78	106,13	-109,24
31	7,31	-12,18	94,89	-83,59
32	7,55	-12,58	80,44	-60,66
33	7,79	-12,98	64,55	-41,22
34	8,03	-13,39	48,48	-25,62
35	8,28	-13,79	33,05	-13,9
36	8,52	-14,19	18,73	-5,92
37	8,76	-14,6	5,76	-1,39
38	9	-15	5,76	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	0,78	0	0	0	6,25
3	0,35	1,9	0	0	0	7,61
4	0,6	2,24	0	0	0	8,96
5	0,85	2,58	0	0	0	10,32
6	1,1	2,92	0	0	0	11,67
7	1,35	3,26	0	0	0	13,03
8	1,6	3,6	0	0	0	14,38
9	1,85	3,93	0	0	0	15,74
10	2,1	4,27	0	0	0	17,09
11	2,35	4,61	0	0	0	18,45
12	2,6	4,95	0	0	0	19,8
13	2,85	5,29	0	0	0	21,16
14	3,1	5,45	0	0	0	22,51
15	3,33	5,54	0	0	0	23,78
16	3,57	5,83	0	0	0	25,04
17	3,8	6,42	0	0	0	26,31
18	4,06	2,26	0	0	-18,86	27,69
19	4,31	-2,21	0	0	-37,72	29,08
20	4,57	-6,69	0	0	-56,58	30,46
21	4,82	-11,16	0	0	-75,44	31,85
22	5,08	-15,63	0	0	-94,3	33,23
23	5,33	-20,11	0	0	-113,17	34,62
24	5,59	-24,58	0	0	-132,03	36
25	5,84	-29,06	0	0	-150,89	37,39
26	6,1	-21,04	0	0	-123,26	38,77
27	6,34	-12,61	0	0	-92,18	40,08
28	6,58	-6,53	0	0	-68,36	41,39

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	75 di 82

29	6,82	-2,23	0	0	-51,1	42,7
30	7,07	4,36	0	0	-39,55	57,56
31	7,31	8,65	0	0	-32,75	68,49
32	7,55	11,12	0	0	-29,71	75,65
33	7,79	12,22	0	0	-29,49	79,99
34	8,03	12,36	0	0	-31,26	82,34
35	8,28	11,87	0	0	-34,34	83,39
36	8,52	11,01	0	0	-38,17	83,68
37	8,76	9,97	0	0	-42,38	83,59
38	9	4,43	-11,54	0	-46,73	83,36

**PERCENTUALI DI SPINTA PASSIVA MOBILITATA**

Spinta passiva mobilitata a monte = 12,1%

Spinta passiva mobilitata a valle = 64,4%

**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,  $Wp=11,54$  kN/m

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

somma delle reazioni vincolari lungo Y,  $SommRvY=-11,54$  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,  $Sm=328,77$  kN/m

spinta delle terre di valle,  $Sv=-328,57$  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,  $MSm=2.019,91$  kN\*m/m

momento della spinta delle terre di valle,  $MSv=-2.018,58$  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,  $MSve=0,00 \text{ kN*m/m}$

### **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	3,819	0,002	-0,0074
2	0,1	3,745	0,002	-0,0074
3	0,35	3,561	0,002	-0,0074
4	0,6	3,377	0,002	-0,0074
5	0,85	3,193	0,002	-0,0074
6	1,1	3,01	0,001	-0,0073
7	1,35	2,826	0,001	-0,0073
8	1,6	2,644	0,001	-0,0073
9	1,85	2,462	0,001	-0,0073
10	2,1	2,281	0,001	-0,0072
11	2,35	2,101	0,001	-0,0071
12	2,6	1,924	0,001	-0,007
13	2,85	1,749	0,001	-0,0069
14	3,1	1,578	0,001	-0,0068
15	3,33	1,421	0,001	-0,0066
16	3,57	1,269	0,001	-0,0064
17	3,8	1,122	0,001	-0,0062
18	4,06	0,968	0,001	-0,0059
19	4,31	0,822	0,001	-0,0055
20	4,57	0,686	0,001	-0,0051
21	4,82	0,56	0,001	-0,0047
22	5,08	0,448	0,001	-0,0042
23	5,33	0,348	0,001	-0,0036
24	5,59	0,262	0,001	-0,0031
25	5,84	0,19	0,001	-0,0025
26	6,1	0,132	0,001	-0,002
27	6,34	0,088	0,001	-0,0016
28	6,58	0,055	0,001	-0,0012
29	6,82	0,031	0,001	-0,0008
30	7,07	0,014	0,001	-0,0006
31	7,31	0,003	0,001	-0,0003
32	7,55	-0,003	0	-0,0002
33	7,79	-0,005	0	-0,0001
34	8,03	-0,005	0	0
35	8,28	-0,004	0	0,0001
36	8,52	-0,002	0	0,0001
37	8,76	0	0	0,0001
38	9	0,003	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) = 53,825

fattore Nc = 75,44

tensione litostatica verticale totale alla profondità L,  $sVL=208,00$  kN/mq

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

tensione litostatica verticale efficace alla profondità L,  $s'VL=208,00$  kN/mq

Resistenza unitaria alla punta,  $p=11.195,58$  kN/mq

Resistenza alla punta,  $Pmax=182,82$  kN

### Resistenza laterale

Resistenza laterale,  $Smax=471,32$  kN

### Resistenza alla punta e laterale di progetto

Resistenza alla punta (valore medio) = 182,82 kN

Resistenza alla punta (valore minimo) = 182,82 kN

Resistenza laterale (valore medio) = 471,32 kN

Resistenza laterale (valore minimo) = 471,32 kN

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

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

Resistenza alla punta (valore caratteristico) = 107,54 kN

Resistenza laterale (valore caratteristico) = 277,24 kN

Resistenza alla punta di progetto,  $Pmax\_d=93,52$  kN

Resistenza laterale di progetto,  $Smax\_d=241,08$  kN

### Carico limite per carichi assiali di compressione

$Qlim\_d = Pmax\_d + Smax\_d = 334,60$  kN

### Carico limite di sfilamento per carichi assiali di trazione

$Qlimt\_d = Smax\_d = 241,08$  kN

### Azione di progetto

$Ed = 15,00$  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,  $Qlim\_d/Ed=22,31$

## 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,  $Fi\_d=29,26$  (°)

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,  $Fi\_d=29,26$  (°)

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

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	78 di 82

**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

**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

**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)= -3,21 Rc (m)= 12,31

**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	9,42	0	-52,05	0	0,86	0	16,01	0	19,83	3,52
2	26,44	0	-45,94	0	0,86	0	16,01	0	46,55	8,25
3	40,3	0	-40,44	0	0,86	0	16,01	0	62,38	11,06
4	51,79	0	-35,38	0	0,86	0	16,01	0	72,66	12,88
5	61,36	0	-30,61	0	0,86	0	16,01	0	79,64	14,12
6	69,3	0	-26,07	0	0,86	0	16,01	0	84,48	14,97
7	75,82	0	-21,7	0	0,86	0	16,01	0	87,8	15,56
8	81,06	0	-17,46	0	0,86	0	16,01	0	90	15,95
9	85,11	0	-13,32	0	0,86	0	16,01	0	91,3	16,18
10	88,05	0	-9,25	0	0,86	0	16,01	0	91,86	16,28
11	89,92	0	-5,23	0	0,86	0	16,01	0	91,78	16,27
12	90,75	0	-1,23	0	0,86	0	16,01	0	102,7	18,2
13	7,15	0	0,88	0	0,05	0	16,01	0	7,13	1,26
14	160,83	23,29	3,09	0	0,9	0	16,01	0	182,64	32,37

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	79 di 82

15	159,37	23,29	7,28	0	0,9	0	16,01	0	180,07	31,92
16	156,71	23,29	11,51	0	0,9	0	16,01	0	177,3	31,43
17	152,81	23,29	15,8	0	0,9	0	16,01	0	174,27	30,89
18	147,59	23,29	20,19	0	0,9	0	16,01	0	170,92	30,3
19	140,95	23,29	24,7	0	0,9	0	16,01	0	167,15	29,63
20	132,74	23,29	29,39	0	0,9	0	16,01	0	162,82	28,86
21	122,74	23,29	34,31	0	0,9	0	16,01	0	157,71	27,96
22	110,64	23,29	39,53	0	0,9	0	16,01	0	151,49	26,85
23	95,94	23,29	45,19	0	0,9	0	16,01	0	143,57	25,45
24	77,77	23,29	51,5	0	0,9	0	16,01	0	132,77	23,53
25	54,39	23,29	58,89	0	0,9	0	16,01	0	116,2	20,6
26	20,54	23,29	68,66	0	0,9	0	16,01	0	82,87	14,69

Lunghezza dell'arco di cerchio di scivolamento,  $L=27,87$  m

Momento resistente,  $M_{resist}=20.196,36$  kN\*m

Momento instabilizzante,  $M_{instab}=6.390,90$  kN\*m

Coefficiente di sicurezza del pendio =  $M_{resist}/M_{instab} = 3,16$

Verifica soddisfatta

## **VERIFICHE STRUTTURALI PARATIA**

### **Verifiche di resistenza a presso-flessione e taglio**

sid\_m: tensione ideale massima nella sezione di acciaio ( N/mm<sup>2</sup>)

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

Resistenza plastica della sezione lorda A,  $N_{pl\_Rd}=5.521,10$  kN

Area resistente al taglio della sezione lungo z,  $Avz=94,30$  cm<sup>2</sup>

Resistenza di progetto a taglio lungo z,  $V_{cz\_Rd}=1.840,81$  kN

Momento resistente elastico lungo l'asse vettore y,  $M_{ely\_Rd}=608,57$  kN\*m

Momento resistente plastico lungo l'asse vettore y,  $M_{ply\_Rd}=721,50$  kN\*m

tensione di snervamento di progetto,  $f_{yd}=338$  N/mm<sup>2</sup>

x ( m)	Nx	Tz	My	sid_m	Mcy_Rd	Verif?
0	0	0	0			Si
0,1	-0,2	-1,22	0	0,3		Si
0,35	-0,7	-4,19	-0,3	0,9		Si
0,6	-1,2	-7,68	-1,36	1,6		Si
0,85	-1,7	-11,71	-3,28	2,5		Si
1,1	-2,2	-16,26	-6,2	3,6		Si
1,35	-2,7	-21,34	-10,26	5,9		Si
1,6	-3,2	-26,95	-15,6	8,9		Si
1,85	-3,7	-33,08	-22,33	12,6		Si
2,1	-4,2	-39,76	-30,61	17,3		Si
2,35	-4,7	-46,94	-40,55	22,8		Si
2,6	-5,2	-54,67	-52,28	29,4		Si
2,85	-5,7	-62,93	-65,95	37		Si
3,1	-6,2	-71,42	-81,68	45,8		Si
3,33	-6,66	-80,06	-98,35	55,1		Si
3,57	-7,13	-89,17	-117,04	65,5		Si

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26CL	NW020X001	A	80 di 82

3,8	-7,6	-99,18	-137,83	77,1	Si
4,06	-8,11	-102,71	-163,19	91,3	Si
4,31	-8,62	-99,25	-189,43	105,9	Si
4,57	-9,13	-88,82	-214,8	120	Si
4,82	-9,65	-71,41	-237,49	132,7	Si
5,08	-10,15	-47,03	-255,74	142,9	Si
5,33	-10,67	-15,66	-267,77	149,6	Si
5,59	-11,17	22,69	-271,76	151,9	Si
5,84	-11,69	68,02	-265,97	148,7	Si
6,1	-12,2	100,84	-248,58	139	Si
6,34	-12,68	120,5	-224,21	125,5	Si
6,58	-13,16	130,69	-195,08	109,3	Si
6,82	-13,64	134,16	-163,51	91,8	Si
7,07	-14,14	127,36	-131,09	73,8	Si
7,31	-14,62	113,87	-100,31	56,7	Si
7,55	-15,1	96,53	-72,79	41,4	Si
7,79	-15,58	77,46	-49,46	28,5	Si
8,03	-16,07	58,18	-30,74	18,1	Si
8,28	-16,55	39,66	-16,68	10,3	Si
8,52	-17,03	22,48	-7,1	5	Si
8,76	-17,52	6,91	-1,67	2	Si
9	-18	6,91	0	1,8	Si

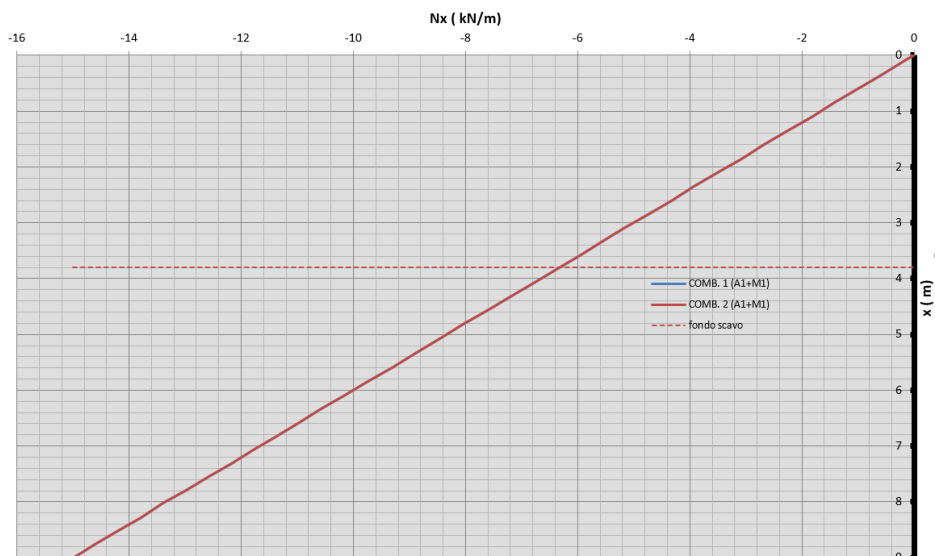
**6.2.7.1 Diagrammi**
**DIAGRAMMA DELLO SFORZO NORMALE  $N_x(x)$  LUNGO LA PARATIA**




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

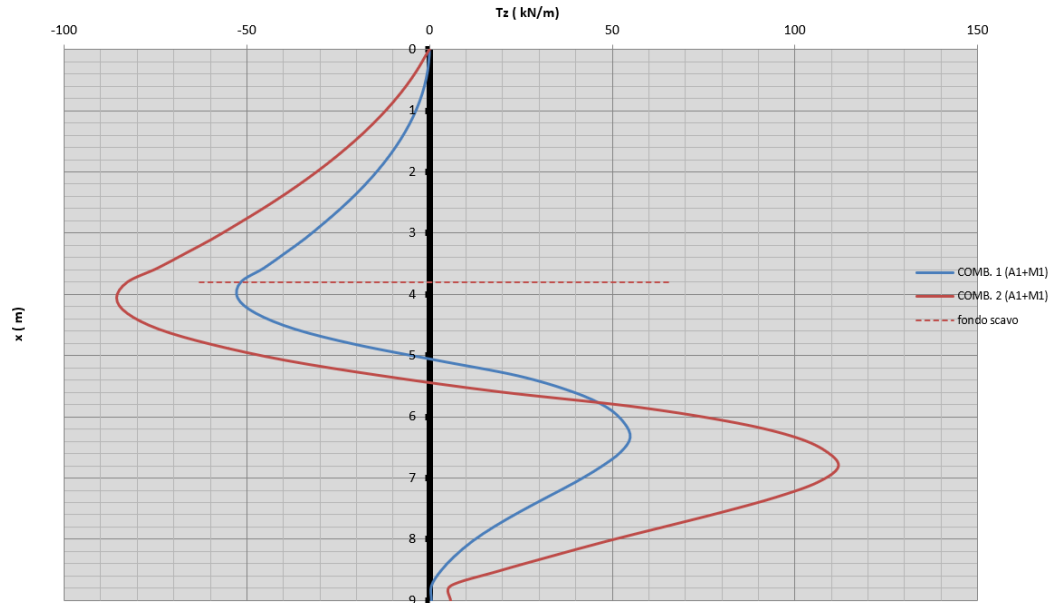


DIAGRAMMA DEL MOMENTO FLETTENTE  $M_y(x)$  LUNGO LA PARATIA

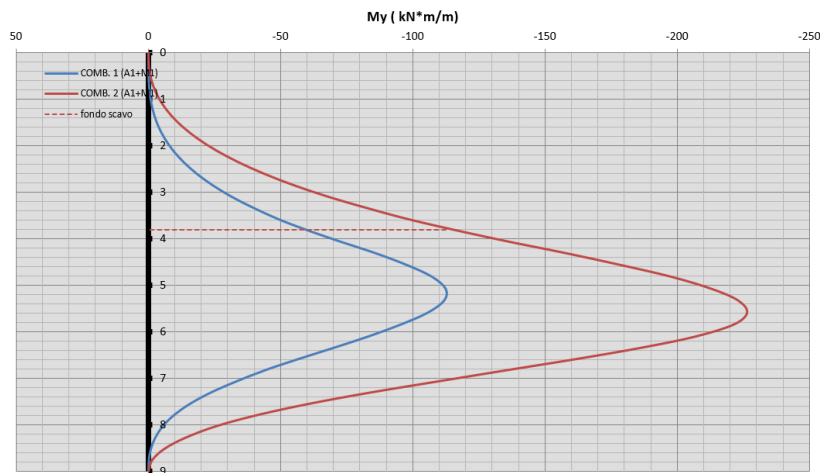
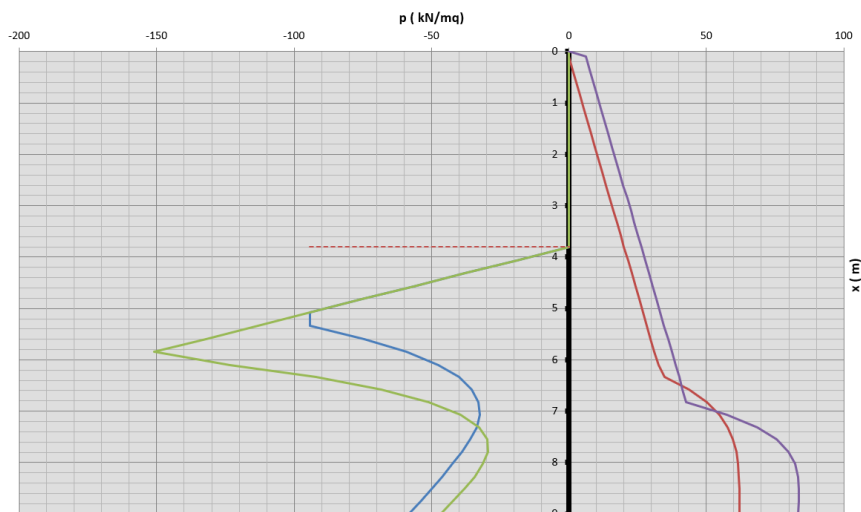
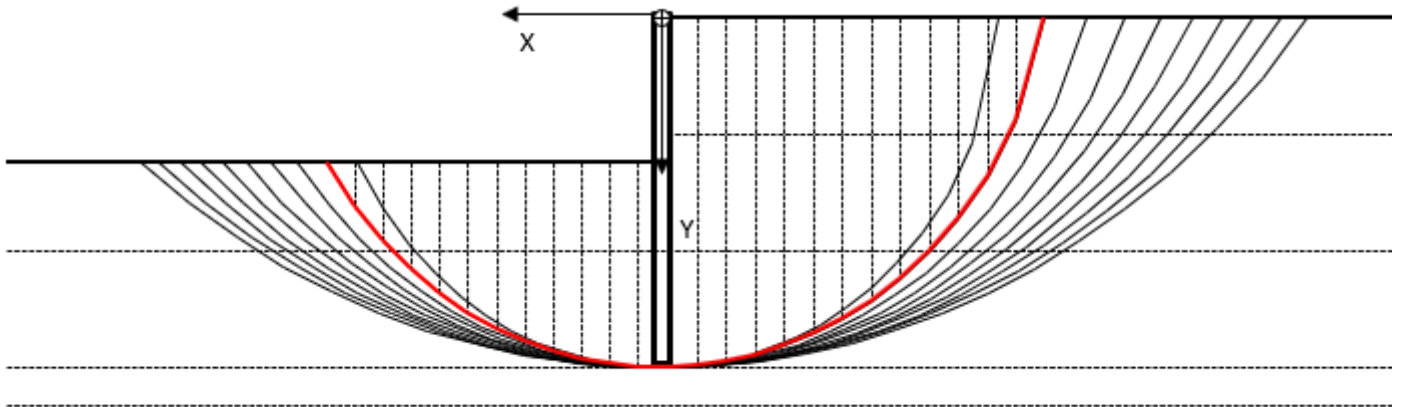
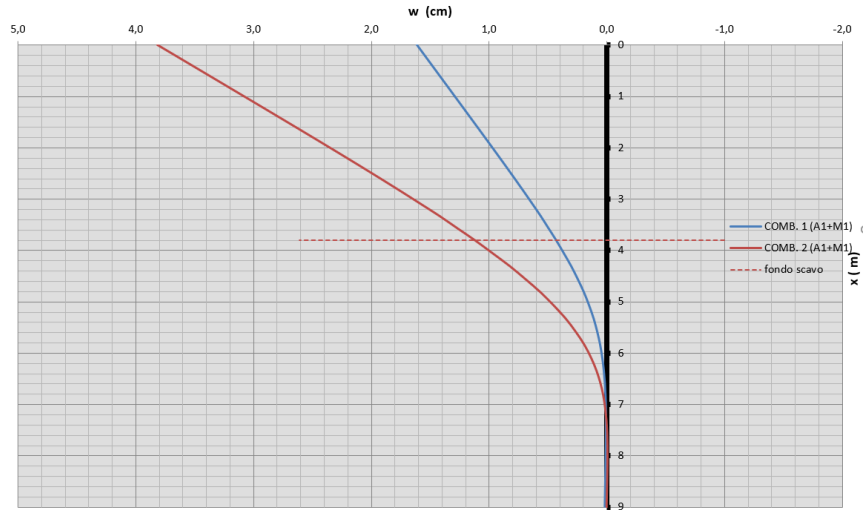


DIAGRAMMA PRESSIONI DI CONTATTO PARETE-TERRENO



SPOSTAMENTI ORIZZONTALI DELLA PARATIA



STABILITÀ GLOBALE