



COMUNE DI SOMMA VESUVIANA

Città Metropolitana di Napoli

P.O. N° 04 – AREA TECNICA - LAVORI PUBBLICI

Piazza Vittorio Emanuele III, 26 Tel. 081 8939111 C.F. 80021380631 P.Iva 02591571217
www.comune.sommavesuviana.na.it – Pec: protocollo.generale@pec.sommavesuviana.info

Progetto Esecutivo

Riquilificazione e messa in sicurezza dei parcheggi di Via Casaraia e Via Dietro Le Torri

CUP: D91B24000430004

Elaborato:

10

10.Tabulati di Calcolo

Committente:

Comune di Somma Vesuviana

Il Progettista:

Arch. Giuseppe Schiattarella

Il R.U.P

Arch. Giuseppe Schiattarella

Introduzione.

Le paratie sono opere di ingegneria civile che trovano molta applicazione in problemi legati alla stabilizzazione di versanti o al sostegno di rilevati di terreno. Tuttavia è anche facile sentire parlare di paratie che sono utilizzate per l'ormeggio di grandi imbarcazioni, o per puntellare pareti di trincee e altri scavi o per realizzare cassoni a tenuta stagna per lavori subacquei. Come si può quindi intuire grande importanza deve essere data alla progettazione di una simile opera, soprattutto per quanto riguarda il progetto strutturale e geotecnico. Per quanto riguarda l'aspetto del calcolo vale la pena sottolineare che non esistono, ad oggi, metodi esatti, e questo è anche dovuto alla complessa interazione tra la profondità di scavo, la rigidità del materiale costituente la paratia e la resistenza dovuta alla pressione passiva. In ogni caso, i metodi correntemente utilizzati possono essere classificati in due categorie:

1. Metodi che si basano su una discretizzazione del modello di paratia (si parla di differenze finite o di elementi finiti);
2. Metodi che si basano su congetture di tipo semplicistico, al fine di poter affrontare il problema con il semplice studio dell'equilibrio di un corpo rigido.

Tra le due classi di metodi esposti all'elenco precedente, quello degli elementi finiti è quello che più di tutti risulta razionale, in quanto basato su considerazioni che coinvolgono sia la statica del problema (equilibrio) sia la cinematica (congruenza).

Tipi di paratie.

I tipi di paratie maggiormente utilizzate allo stato attuale possono essere classificati come segue:

1. Paratie in calcestruzzo armato, costruite per mezzo di pali o per mezzo di setti (entrambi armati);
2. Paratie di legno;
3. Paratie in acciaio.

Analisi della paratia.

Alcune considerazioni preliminari.

Gli elementi che concorrono al calcolo di una paratia sono vari. Si coinvolgono infatti concetti legati alla flessibilità dei pali, al calcolo della spinta del terrapieno, alla rigidità del terreno ecc. Si osservi la seguente figura:

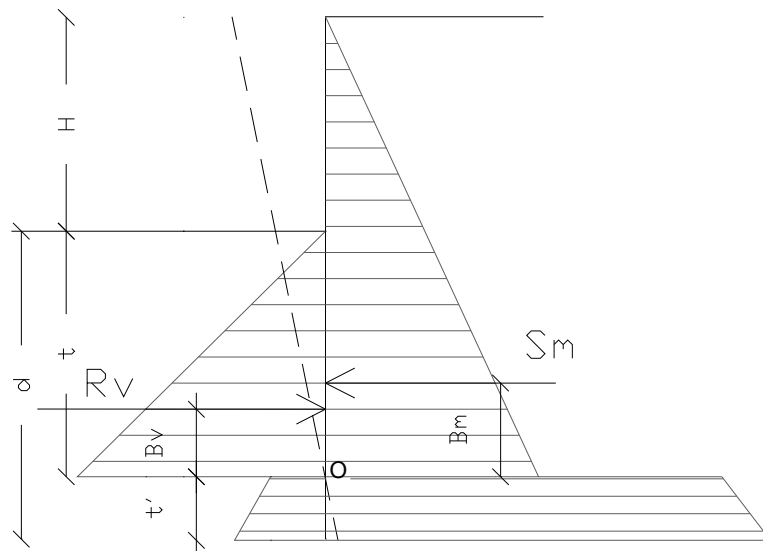


Figura 1: Schema delle pressioni agenti sulla paratia

Si vede che le pressioni laterali che sono chiamate a concorrere nell'equilibrio sono la pressione attiva sviluppata a tergo della paratia e la pressione passiva che si sviluppa nella parte anteriore della paratia (Parte di valle della paratia). Il calcolo, sia nell'ambito dei metodi semplificati che nell'ambito di metodi numerici, della spinta a tergo ed a valle della paratia viene solitamente condotto sia con il metodo di Rankine che con il metodo di Coulomb. Si rileva però che il metodo di Coulomb fornisce risultati più accurati in quanto essendo la paratia un'opera solitamente flessibile, e manifestando quindi spostamenti maggiori si generano fenomeni di attrito all'interfaccia paratia-terreno che possono essere tenuti in conto solo attraverso i coefficienti di spinta di Coulomb. Nell'utilizzo del metodo degli elementi finiti si deve calcolare anche un coefficiente di reazione del terreno k_s , oltre che la spinta attiva e passiva del terreno. Se si parla di analisi in condizioni non drenate è inoltre necessario conoscere il valore della coesione non drenata. È inoltre opportuno considerare che se si vuole tenere debitamente in conto l'attrito tra terreno e opera si deve essere a conoscenza dell'angolo di attrito tra terreno e opera (appunto). In conclusione i parametri (in termini di proprietà del terreno) di cui si deve disporre per effettuare l'analisi sono i seguenti:

1. Angolo di attrito interno del terreno;
2. Coesione del terreno;
3. Peso dell'unità di volume del terreno;

4. Angolo di attrito tra il terreno ed il materiale che costituisce l'opera.

Calcolo delle spinte.

Come accennato in uno dei paragrafi precedenti, deve in ogni caso essere effettuato il calcolo della spinta attiva e passiva. Si espone quindi in questa sezione il calcolo delle spinte con il metodo di Coulomb.

Calcolo della spinta attiva.

La spinta attiva può essere calcolata con il metodo di Coulomb o alternativamente utilizzando la Teoria di Caquot.

Metodo di Coulomb.

Il metodo di Coulomb è capace di tenere in conto le variabili più significative, soprattutto con riguardo al fenomeno attritivo che si genera all'interfaccia paratia-terreno. Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione (valutata alla profondità z):

$$\sigma_h(z) = k_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta totale, che è l'integrale della relazione precedente su tutta l'altezza, è applicata ad $1/3$ di H e si calcola con la seguente espressione:

$$S_t(z) = \frac{1}{2} k_a \cdot \gamma_t \cdot H^2$$

Avendo indicato con k_a il valore del coefficiente di pressione attiva, determinabile con la seguente relazione:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_a = \frac{\sin^2(\phi + \beta)}{\sin^2 \beta \times \sin(\beta - \delta) \times \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin(\phi - \varepsilon)}{\sin(\beta - \delta) \times \sin(\beta + \varepsilon)}} \right]^2} \\ \text{con } \delta < (\beta - \phi - \varepsilon) \text{ secondo Muller - Breslau} \end{array} \right.$$

γ_t = Peso unità di volume del terreno;

β = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

ϕ = Angolo di resistenza al taglio del terreno;

δ = Angolo di attrito terreno-paratia positivo se antiorario;

ε = Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale positiva se antioraria;

Metodo di Caquot.

Il metodo di Coulomb risulta essere un metodo sufficientemente accurato per la valutazione dei coefficienti di pressione allo stato limite. Tuttavia soffre dell'ipotesi riguardante la planarità della superficie di scorrimento. Tale ipotesi è rimossa applicando la teoria di Caquot la quale si basa sull'utilizzo di una superficie di scorrimento a forma di spirale logaritmica. Secondo questa teoria il coefficiente di pressione attiva si determina utilizzando la seguente formula:

$$K_a = \rho \cdot K_a^{Coulomb}$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

- $K_a^{Coulomb}$ è il coefficiente di pressione attiva calcolato con la teoria di Coulomb;
- ρ è un coefficiente moltiplicativo calcolato con la seguente formula:

$$\rho = \left([1 - 0.9 \cdot \lambda^2 - 0.1 \cdot \lambda] \cdot [1 - 0.3 \cdot \lambda^3] \right)^{-n}$$

Dove i simboli sono calcolati con le seguenti formule:

$$\lambda = \frac{\Delta + \beta - \Gamma}{4 \cdot \varphi - 2 \cdot \pi \cdot (\Delta + \beta - \Gamma)}$$
$$\Delta = 2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{|\cot(\delta)| - \sqrt{\cot^2(\delta) - \cot^2(\varphi)}}{1 + \cos ec(\varphi)} \right)$$
$$\Gamma = \sin^{-1} \left(\frac{\sin(\beta)}{\sin(\varphi)} \right)$$

Dove i simboli hanno il seguente significato (vedere anche figura seguente):

- β è l'inclinazione del profilo di monte misurata rispetto all'orizzontale;
- φ è l'angolo di attrito interno del terreno spingente;
- δ è l'angolo di attrito all'interfaccia opera-terreno;

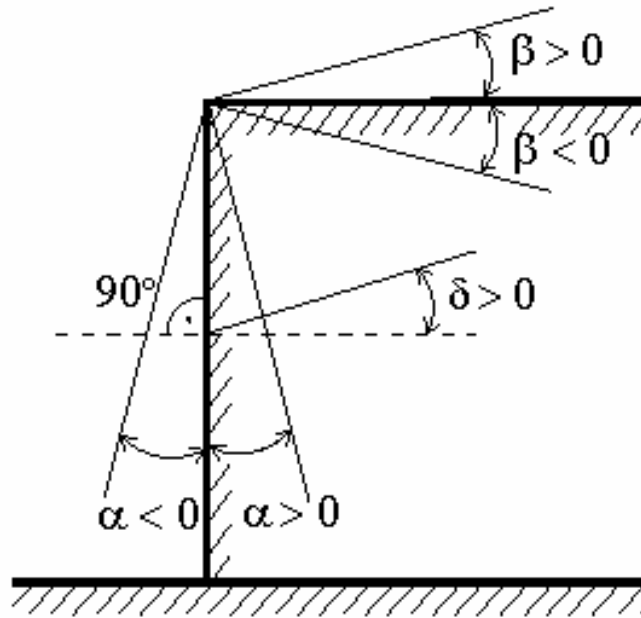


Figura: Convenzione utilizzata per il calcolo del coefficiente di pressione secondo la teoria di Caquot

Carico uniforme sul terrapieno

Un carico Q , uniformemente distribuito sul piano campagna induce delle pressioni costanti pari:

$$\sigma_q(z) = k_a \cdot Q \cdot \frac{\sin(\beta)}{\sin(\beta + \varepsilon)}$$

Integrando la tensione riportata alla formula precedente si ottiene la spinta totale dovuta al sovraccarico:

$$S_q = k_a \cdot Q \cdot \frac{\sin(\beta)}{\sin(\beta + \varepsilon)} \cdot H$$

Con punto di applicazione ad $H/2$ (essendo la distribuzione delle tensioni costante). Nelle precedenti formule i simboli hanno il seguente significato:

β = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede

ε = Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale positiva se antioraria

K_a = Coefficiente di pressione attiva calcolato al paragrafo precedente

Striscia di carico su pc inclinato

Il carico agente viene decomposto in un carico ortogonale ed in uno tangenziale al terrapieno, le pressioni indotte sulla parete saranno calcolate come illustrato nei due paragrafi che seguono.

Striscia di carico ortogonale al piano di azione

Un carico ripartito in modo parziale di ascissa iniziale x_1 ed ascissa finale x_2 genera un diagramma di pressioni sulla parete i cui valori sono stati determinati secondo la formulazione di Terzaghi, che esprime la pressione alla generica profondità z come segue:

$$\sigma_q(z) = \frac{Q}{2\pi \times (2\Delta\theta + A)}$$

$$\tau_{xz} = -\frac{Q}{2\pi B}$$

Con:

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2;$$

$$A = \sin(2\theta_1) - \sin(2\theta_2)$$

$$B = \cos(2\theta_1) - \cos(2\theta_2)$$

$$\theta_1 = \arctg(z/x_1)$$

$$\theta_2 = \arctg(z/x_2)$$

Per integrazione si otterrà la risultante ed il relativo braccio.

Striscia di carico tangenziale al p.c.

$$\sigma_x = \frac{t}{2\pi \times (D - 2E)}$$

T = Intensità del carico [F/L²]

D = 4 × log[senθ₁/senθ₂]

E = sen²θ₁ - sen²θ₂

Linee di carico sul terrapieno

Le linee di carico generano un incremento di pressioni sulla parete che secondo BOUSSINESQ, alla profondità z , possono essere espresse come segue:

$$\sigma_x(x, z) = \frac{2V}{\pi \cdot x^2 \cdot z \cdot (x^2 + z^2)^2}$$

$$\tau_{xz}(x, z) = \frac{2V}{\pi \cdot x \cdot z^2 \cdot (x^2 + z^2)^2}$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

V = Intensità del carico espressa in [F/L];

X = Distanza, in proiezione orizzontale, del punto di applicazione del carico dalla parete;

Se il piano di azione è inclinato di ε , viene ruotato il sistema di riferimento xz in XZ, attraverso la seguente trasformazione:

$$\begin{cases} X = x \cdot \cos(\varepsilon) - z \cdot \sin(\varepsilon) \\ Z = z \cdot \cos(\varepsilon) + x \cdot \sin(\varepsilon) \end{cases}$$

Spinta in presenza di falda acquifera

La falda con superficie distante H_w dalla base della struttura, induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z sono espresse come segue:

$$u(z) = \gamma_w \cdot z$$

La spinta idrostatica totale si ottiene per integrazione su tutta l'altezza della relazione precedente:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

Avendo indicato con H l'altezza totale di spinta e con γ_w il peso dell'unità di volume dell'acqua. La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo γ_t con $\gamma't$ ($\gamma't = \gamma_{\text{saturo}} - \gamma_w$), peso specifico del materiale immerso in acqua. In condizioni sismiche la sovraspinta esercitata dall'acqua viene valutata nel seguente modo:

$$\Delta S_w = \frac{7}{12} \gamma_w \cdot H_w^2 \cdot C$$

applicata a 2/3 dell'altezza della falda H_w [Matsuo O'Hara (1960) Geotecnica, R. Lancellotta]

Effetto dovuto alla presenza di coesione

La coesione induce delle pressioni negative costanti pari a:

$$P_c = -\frac{2 \cdot c}{\sqrt{k_a}}$$

Non essendo possibile stabilire a priori quale sia il decremento indotto della spinta per effetto della coesione. E' stata calcolate l'altezza critica Z_c come segue:

$$Z_c = \frac{2c}{\gamma_t \times \sqrt{Ka}} - \left\{ \frac{\left[\frac{Q \times \sin \beta}{\sin(\beta + \varepsilon)} \right]}{\gamma_t} \right\}$$

Dove i simboli hanno il seguente significato

Q = Carico agente sul terrapieno eventualmente presente.

γ_t = Peso unità di volume del terreno

β = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede

ε = Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale positiva se antioraria

C = Coesione del materiale

Ka = Coefficiente di pressione attiva, come calcolato ai passi precedenti

Nel caso in cui si verifichi la circostanza che la Z_c , calcolata con la formula precedente, sia minore di zero è possibile sovrapporre direttamente gli effetti dei diagrammi, imponendo un decremento al diagramma di spinta originario valutato come segue:

$$S_c = P_c \cdot H$$

Dove si è indicata con il simbolo H l'altezza totale di spinta.

Sisma

Spinta attiva in condizioni sismiche

In presenza di sisma la forza di calcolo esercitata dal terrapieno sulla parete è data da:

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma (1 \pm k_v) K H^2 + E_{ws} + E_{wd}$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

H = altezza di scavo

K_v = coefficiente sismico verticale

γ = peso per unità di volume del terreno

K = coefficienti di spinta attiva totale (statico + dinamico) (vedi Mononobe & Okabe)

E_{ws} = spinta idrostatica dell'acqua

E_{wd} = spinta idrodinamica.

Per terreni impermeabili la spinta idrodinamica $E_{wd} = 0$, ma viene effettuata una correzione sulla valutazione dell'angolo β della formula di Mononobe & Okabe così come di seguito:

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{\gamma_{\text{sat}}}{\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Nei terreni ad elevata permeabilità in condizioni dinamiche continua a valere la correzione di cui sopra, ma la spinta idrodinamica assume la seguente espressione:

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H^2$$

Con H altezza del livello di falda (riportata nella sezione relativa al calcolo della spinta idrostatica).

Resistenza passiva

Anche per il calcolo della resistenza passiva si possono utilizzare i due metodi usati nel calcolo della pressione allo stato limite attivo (metodo di Coulomb e metodo di Caquot).

Metodo di Coulomb

Per terreno omogeneo il diagramma delle pressioni in condizioni di stato limite passivo risulta lineare con legge del tipo del tipo:

$$\sigma_p(z) = k_p \gamma_t z$$

Ancora una volta integrando la precedente relazione sull'altezza di spinta (che per le paratie deve essere valutata attentamente) si ottiene la spinta passiva totale:

$$S_t = \frac{1}{2} k_p \cdot \gamma_t \cdot H^2$$

Avendo indicato al solito con H l'altezza di spinta, γ_t il peso dell'unità di volume di terreno e con k_p il coefficiente di pressione passiva (in condizioni di stato limite passivo). Il valore di questo coefficiente è determinato con la seguente formula:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_p = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2 \beta \times \sin(\beta + \delta) \times \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin(\phi + \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \times \sin(\beta + \varepsilon)}} \right]^2} \\ \text{con } \delta < \beta - \phi - \varepsilon \text{ secondo Muller - Breslau} \end{array} \right.$$

con valori limite pari a: $\delta < \beta - \phi - \varepsilon$ (Muller-Breslau).

Metodo di Caquot

Il metodo di Caquot differisce dal metodo di Coulomb per il calcolo del coefficiente di pressione allo stato limite passivo. Il coefficiente di pressione passiva viene calcolato, con questo metodo, interpolando i valori della seguente tabella:

Coefficient of passive earth pressure K_p for $\alpha = -\beta$											
β [°]	β [°]	K_p when β									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	10	1,17	1,41	1,53							
	15	1,30	1,70	1,92	2,08						
	20	1,71	2,08	2,42	2,71	2,92					
	25	2,14	2,81	2,98	3,88	4,22	4,43				
-30	30	2,78	3,42	4,18	5,01	5,98	8,94	7,40			
	35	3,75	4,73	5,87	7,21	8,78	10,80	12,50	13,80		
	40	5,31	8,87	8,77	11,00	13,70	17,20	24,80	25,40	28,40	
	45	8,05	10,70	14,20	18,40	23,80	90,60	38,90	49,10	60,70	69,10
	10	1,36	1,58	1,70							
	15	1,68	1,97	2,20	2,38						
	20	2,13	2,52	2,92	3,22	3,51					
	25	2,78	3,34	3,99	4,80	5,29	5,57				
-20	30	3,78	4,81	8,58	8,81	7,84	9,12	9,77			
	35	5,38	8,89	8,28	10,10	12,20	14,80	17,40	19,00		
	40	8,07	10,40	12,00	18,50	20,00	25,50	38,50	37,80	42,20	
	45	13,2	17,50	22,90	29,80	38,30	48,90	82,30	78,80	97,30	111,04
	10	1,52	1,72	1,83							
	15	1,95	2,23	2,57	2,88						
	20	2,57	2,98	3,42	3,75	4,09					
	25	3,50	4,14	4,90	5,82	8,45	8,81				
-10	30	4,98	8,01	7,19	8,51	10,10	11,70	12,80			
	35	7,47	9,24	11,30	13,80	18,70	20,10	23,70	26,00		
	40	12,0	15,40	19,40	24,10	29,80	37,10	53,20	55,10	61,80	
	45	21,2	27,90	38,50	47,20	80,80	77,30	908,20	124,00	153,00	178,00
	10	1,84	1,81	1,93							
	15	2,19	2,46	2,73	2,91						
	20	3,01	3,44	3,91	4,42	4,66					
	25	4,28	5,02	5,81	8,72	7,71	8,16				

0	30	8,42	7,69	9,19	10,80	12,70	14,80	15,90			
	35	10,2	12,60	15,30	18,80	22,30	28,90	31,70	34,90		
	40	17,5	22,30	28,00	34,80	42,90	53,30	78,40	79,10	88,70	
	45	33,5	44,10	57,40	74,10	94,70	120,00	153,00	174,00	240,00	275,00
	10	1,73	1,87	1,98							
	15	2,40	2,65	2,93	3,12						
	20	3,45	3,90	4,40	4,96	5,23					
10	25	5,17	5,99	6,90	7,95	9,11	9,67				
	30	8,17	9,69	11,40	13,50	15,90	18,50	19,90			
	35	13,8	16,90	20,50	24,80	29,80	35,80	42,30	46,60		
	40	25,5	32,20	40,40	49,90	61,70	76,40	110,00	113,00	127,00	
	45	52,9	69,40	90,90	116,00	148,00	188,00	239,00	303,00	375,00	431,00
	10	1,78	1,89 I	2,01							
	15	2,58	2,821	3,11	3,30						
	20	3,90	4,38	4,92	5,53	5,83					
20	25	6,18	7,12	8,17	9,39	10,70	11,40				
	30	10,4	12,30	14,40	16,90	20,00	23,20	25,00			
	35	18,7	22,80	27,60	33,30	40,00	48,00	56,80	62,50		
	40	37,2	46,90	58,60	72,50	89,30	111,00	158,00	164,00	185,00	
	45	84,0	110,00	143,00	184,00	234,00	297,00	378,00	478,00	592,00	680,00

Tabella: Valutazione del coefficiente di pressione passiva con la teoria di Caquot

Carico uniforme sul terrapieno

La resistenza indotta da un carico uniformemente distribuito S_q vale:

$$S_q = k_p \cdot Q \cdot H \cdot \frac{\text{sen}\beta}{\text{sen}(\beta + \varepsilon)}$$

Con punto di applicazione pari a $H/2$ (essendo il diagramma delle tensioni orizzontali costante per tutta l'altezza). Nella precedente formula k_p è il coefficiente di spinta passiva valutato al paragrafo precedente.

Coesione

La coesione determina un incremento di resistenza pari a:

$$P_c = 2c \times \sqrt{k_p}$$

Tale incremento va a sommarsi direttamente al diagramma principale di spinta.

Metodo dell'equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nel ricercare soluzioni, al problema di verifica o di progetto, che siano compatibili con il solo aspetto statico del problema. In sostanza si ragiona in termini di equilibrio di un corpo rigido, senza preoccuparsi della congruenza cinematica degli spostamenti. I principali schemi di calcolo cui si farà riferimento sono i seguenti:

1. Paratia a sbalzo;
2. Paratia tirantata ad estremo libero;
3. Paratia tirantata ad estremo fisso;

Paratia a sbalzo: calcolo della profondità d'infissione limite

Per paratia non tirantata, la stabilità è assicurata dalla resistenza passiva del terreno che si trova a valle della stessa; dall'equilibrio dei momenti rispetto al centro di rotazione si ottiene:

$$S_m \cdot B_m - R_v \cdot B_v = 0$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

S_m =componente orizzontale della spinta attiva;

B_m =braccio di S_m rispetto ad O centro di rotazione;

R_v =componente orizzontale della resistenza passiva;

B_v =braccio di R_v rispetto ad O centro di rotazione;

ogni termine risulta funzione di t dove t è la profondità del centro di rotazione rispetto al piano di riferimento di valle (piano campagna a valle). La lunghezza necessaria per assicurare l'equilibrio alla traslazione orizzontale si ottiene aumentando t come segue:

$$t' = a \cdot t \quad d = t \cdot (1 + a) \quad \text{dove } a = 0.2 \text{ (Metodo di Blum)}$$

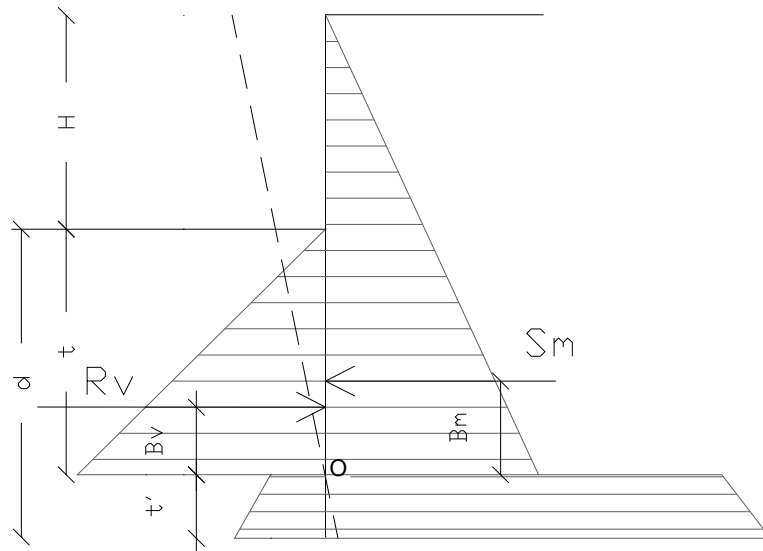


Figura 2: Schema di riferimento per il calcolo dell'equilibrio della paratia

Coefficiente di sicurezza sulla resistenza passiva

La lunghezza d'infissione d come sopra determinata è relativa alla condizione limite di incipiente collasso, tramite un coefficiente F . È possibile introdurre un margine di sicurezza sulle resistenze passive; la riduzione si effettua come segue:

$$S_m \cdot B_m - \frac{R_v}{F} \cdot B_v = 0$$

Paratia tirantata ad estremo libero: calcolo della profondità d'infissione limite

La stabilità dell'opera è assicurata anche dai tiranti ancorati sulla paratia. Per utilizzare lo schema di calcolo ad estremo libero, la paratia deve essere sufficientemente corta e rigida. La lunghezza di infissione, sarà determinata imponendo l'equilibrio alla rotazione sull'origine del tirante indicato B1

$$S_m \cdot (H + t - B_m - t_m) - R_v \cdot (H + t - B_v - t_m) = 0$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

S_m = componente orizzontale spinta attiva;

H = altezza terreno da sostenere;

t = profondità di infissione calcolata;

B_m = braccio di S_m rispetto alla base della paratia;

P_m = ordinata del punto di applicazione del tirante a monte;

R_v = componente orizzontale della resistenza passiva;

B_v = braccio di R_v .

Nota t , si determinano S_m ed R_v ed il relativo sforzo del tirante.

Coefficiente di sicurezza F sulle resistenze passive

La lunghezza d'infissione sarà ulteriormente aumentata per avere margine di sicurezza in condizioni di esercizio tramite il coefficiente di sicurezza F:

$$S_m \cdot (H + t - B_m - t_m) - \frac{R_v}{F} \cdot (H + t - B_v - t_m) = 0$$

Paratia tirantata ad estremo fisso: calcolo della profondità d'infissione limite

Se la sezione più profonda della paratia non trasla e non ruota può essere assimilata ad un incastro, in tal caso la paratia si definisce ad estremo fisso. Un procedimento elaborato da BLUM consente di ricavare la profondità d'infissione ($t+t'$), imponendo le condizioni cinematiche di spostamenti nulli alla base dell'opera ed all'origine del tirante (B1), e le condizioni statiche di momento e taglio nullo alla base della paratia. Si perviene ad una equazione di 5° grado in ($t+t'$) che può essere risolta in modo agevole.

Coefficiente di sicurezza F sulle resistenze

Per aumentare il fattore di sicurezza sono stati introdotti negli sviluppi numerici, valori delle resistenze passive ridotte.

Metodo degli elementi finiti (FEM)

Il metodo degli elementi finiti è il metodo che più di tutti si fonda su basi teoriche solide e razionali. Di fatti tutto il metodo presuppone che il problema sia affrontato tenendo in conto sia l'aspetto statico (e quindi l'equilibrio del problema, sia l'aspetto cinematica (e quindi la congruenza degli spostamenti o meglio delle deformazioni). In questo approccio la paratia è modellata come un insieme di travi, con vincolo di continuità tra loro (elementi beam) vincolati al terreno mediante molle elastiche, la cui rigidezza è valutata in funzione delle proprietà elastiche del terreno. Nella figura che segue è mostrato schematicamente il modello utilizzato per l'analisi ad elementi finiti:

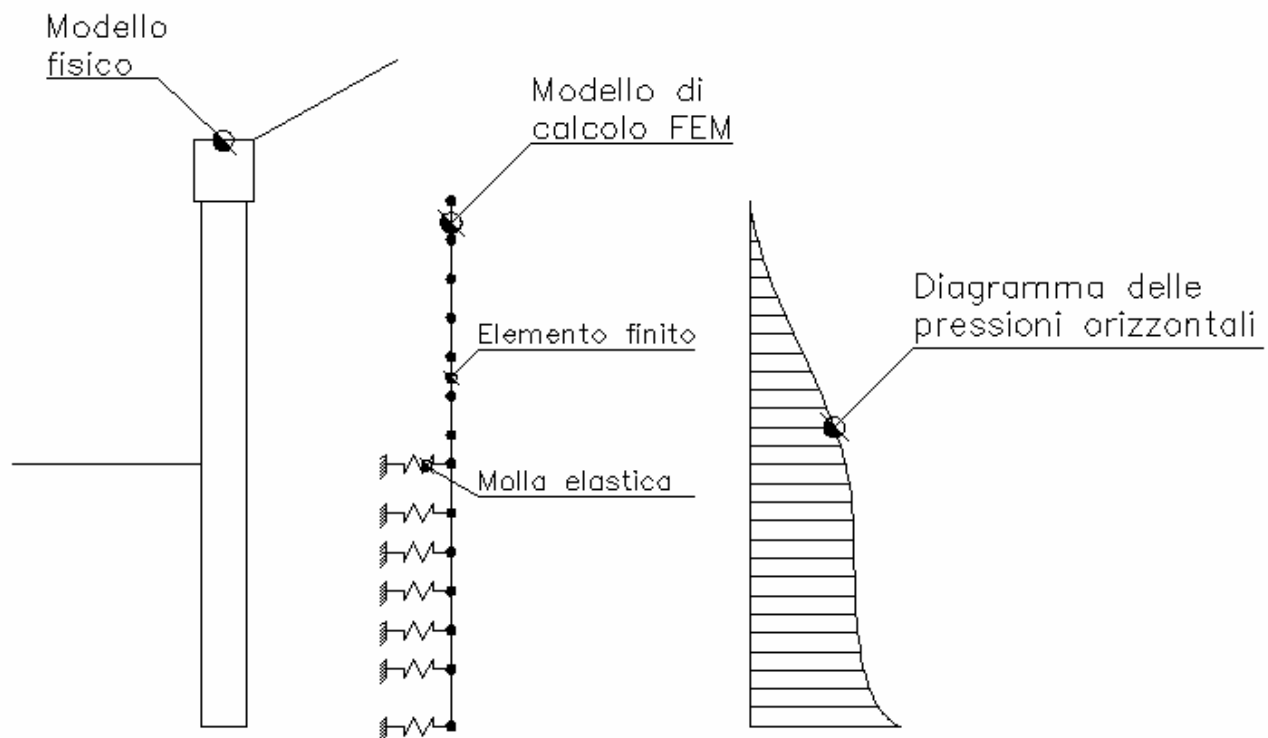


Figura 3: Schematizzazione della paratia ad elementi finiti

Vari aspetti hanno importanza centrale in questo metodo di calcolo. Si riportano nel seguito gli aspetti essenziali.

Calcolo del modulo di rigidezza K_s del terreno

Come già detto in precedenza, il terreno viene schematizzato con delle molle di rigidezza K_s applicate sui nodi dei conci compresi tra il nodo di fondo scavo e l'estremità di infissione. La stima della rigidezza K_s è stata effettuata sulla base della capacità portante delle fondazioni secondo la seguente formula:

$$k_s = A_s + B_s \cdot z^n$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

A_s = costante, calcolata come segue $A_s = C \times (c \times N_c + 0.5 \times G \times B \times N_g)$

B_s = coefficiente funzione della profondità $B_s = C \times G \times N_q$

Z = Profondità in esame

C = 40 nel sistema internazionale SI

n = $\pi \times \tan \varphi$

N_q = $\exp[n \times (\tan^2(45^\circ + \varphi/2))]$

N_c = $(N_q - 1) \times \cot \varphi$

N_g = $1.5 \times (N_q - 1) \times \tan \varphi$

Tiranti

I tiranti vengono schematizzati come elementi elastici, con sezione trasversale di area pari ad A modulo di elasticità E e lunghezza L . Per un tratto di paratia di larghezza unitaria, l'azione dei tiranti inclinati di un angolo β vale:

$$F = \frac{A \cdot E}{S \cdot L} \cdot \cos(\beta)$$

Sifonamento

Il sifonamento è un fenomeno che in una fase iniziale si localizza al piede della paratia, e poi rapidamente si estende nell'intorno del volume resistente. Si verifica quando, per una elevata pressione idrodinamica o di infiltrazione, si annullano le pressioni passive efficaci, con la conseguente perdita di resistenza del terreno. Si assume di norma un fattore di sicurezza $F_{sif} = 3.5-4$ Indicando con:

i_c = Gradiente Idraulico critico;

i_e = Gradiente Idraulico in condizioni di esercizio;

Il margine di sicurezza è definito come rapporto tra i_c ed i_e , se $i_e < i_c$ la paratia è stabile.

Verifica delle sezioni e calcolo armature

Il calcolo delle armature e le verifiche a presso-flessione e taglio della paratia soggetta alle sollecitazioni N, M e T , si effettuano sulla sezione maggiormente sollecitata. Le sollecitazioni di calcolo sono ottenute come prodotto tra le sollecitazioni ottenute con un calcolo a metro lineare e l'interasse tra i pali (o larghezza dei setti se la paratia è costituita da setto):

$$N_d = N' \cdot i; M_d = M' \cdot i; T_d = T' \cdot i$$

Dove M' , M' , T' rappresentano il momento il taglio e lo sforzo normale relativi ad una striscia unitaria di calcolo mentre i è l'interasse tra i pali per paratia costituita da pali o micropali (o larghezza setti per paratia costituita da setti).

GEOMETRIA SEZIONE

	Sezione	Circolare Barre
Calcestruzzo	C25/30	
Acciaio	B450C	
Nome	Paolo 0.5 i=0.65	
Diametro	0,5 m	
Disposizione	Singola fila	
Interasse Longitudinale	0,65 m	

Dati generali FEM

Massimo spostamento lineare terreno	1,5 cm
Fattore tollezanza spostamento	0,03 cm
Tipo analisi	Lineare
Massimo numero di iterazioni	10
Fattore riduzione molla fondo scavo	1
Profondità infissione iniziale	6,2 m
Incremento profondità infissione	0 m
Numero di elementi	36
Numero nodo di fondo scavo	16

Stratigrafia

Nr.	Peso specifico [kN/m ³]	Peso specifico saturo [kN/m ³]	Coesione [kN/m ²]	Ancolo attrito [°]	O.C.R.	Modulo edometrico [kN/m ²]	Attrito terra muro monte [°]	Attrito terra muro valle [°]	Spessore [m]	Inclinazione [°]	Descrizione
1	13,5	13,5	0,0	28,0	1,0	2996,0	18,0	9,0	4,0	0,0	Depositi Piroclastici poco addensati
2	18,4	18,4	0,0	32,0	1,0	5723,0	20,0	10,0	0,6	0,0	Depositi Piroclastici mediamente addensati
3	14,2	14,2	0,0	29,0	1,0	3300,0	20,0	10,0	1,0	0,0	Depositi Piroclastici

											poco addensati
4	17,2	17,2	0,0	31,0	1,0	4814,0	20,0	10,0	2,2	0,0	Depositi Piroclastici poco addensati
5	14,2	14,2	0,0	29,0	1,0	3300,0	20,0	10,0	0,8	0,0	Depositi Piroclastici poco addensati
6	16,1	16,1	0,0	30,0	1,0	4208,0	20,0	10,0	1,2	0,0	Depositi Piroclastici mediamente addensati
7	20,6	20,6	0,0	35,0	1,0	8146,0	22,0	11,0	0,8	0,0	Depositi Piroclastici fortemente addensati

Calcolo coefficienti sismici

Dati generali

Descrizione zona	Via Casaraia, Somma Vesuviana
Latitudine	40,8730 [°]
Longitudine	14,4362 [°]

Dati opera

Tipo opera	Opere ordinarie
Classe d'uso	II
Vita nominale	50 [anni]
Vita di riferimento	50 [anni]

Parametri sismici su un sito di riferimento

Categoria sottosuolo	C
Categoria topografica	T1

SL	Tr [Anni]	ag [m/sec ²]	F0 [-]	TS* [sec]
SLO	30	0,470	2,330	0,290
SLD	50	0,630	2,340	0,310
SLV	475	1,720	2,390	0,350
SLC	975	2,170	2,460	0,350

Coefficienti sismici orizzontale e verticale

Opera: Paratia

Altezza paratia

10,000[m]

Spostamento ammissibile

0,050[m]

SL	Amax [m/sec ²]	beta [-]	kh [-]	kv [-]
SLO	0,705	0,463	0,032	0,016
SLD	0,945	0,463	0,043	0,021
SLV	2,491	0,463	0,113	0,056
SLC	2,980	0,463	0,135	0,067

Carichi

Descrizione	Tipo	Xi [m]	Xf [m]	Yi [m]	Yf [m]	Profondità [m]	Valore [kN]-[kPa]
Carico Auto	Uniformi	0,5	9,9	0	0	0	2,5

Analisi Paratia

Profondità massima di infissione

6,2 [m]

Fase: 1 Analisi geotecnica Fase: 1 - Combinazione: 1

Altezza scavo

3,8 [m]

Tipo:

S.L.U. [STR]

Nome:

A1+M1+R1 SLU

Coefficienti sismici:

Kh = 0,1127 , Kv = 0,0563

Coefficienti parziali azioni

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1,3
3	Spinta falda	1,5
4	Spinta sismica x	1,5
5	Spinta sismica y	1
6	Carico Auto	1,5

Coefficients parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

Coefficients resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Profondità di infissione	6,20 [m]
Pressione massima terreno	70,06 [kPa]
Momento massimo	137,35 [kNm/m]
Taglio massimo	58,56 [KN/m]

Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m ³]
0,25	9,62	9,01	-0,29	-3,59	1,8753	--
0,51	10,64	11,88	-1,20	-6,25	1,7769	--
0,76	11,67	13,76	-2,83	-9,14	1,6786	--
1,01	12,70	16,63	-5,15	-12,47	1,5804	--
1,27	13,72	19,51	-8,33	-15,87	1,4824	--
1,52	14,75	22,39	-12,37	-19,43	1,3848	--
1,77	15,77	24,26	-17,31	-23,56	1,2878	--
2,03	16,80	27,14	-23,28	-27,86	1,1914	--
2,28	17,83	30,01	-30,34	-32,35	1,0961	--
2,53	18,85	32,89	-38,54	-37,19	1,0022	--
2,79	19,88	35,77	-47,98	-42,17	0,9099	--
3,04	20,90	37,64	-58,65	-47,57	0,8196	--
3,29	21,93	40,52	-70,69	-53,13	0,7320	--
3,55	22,95	43,40	-84,15	-58,56	0,6474	--
3,80	23,98	46,27	-98,98	-58,31	0,5664	2954,47

4,10	--	49,46	-116,20	-40,95	0,4775	12685,59
4,39	-70,06	52,64	-128,28	-21,32	0,3953	17721,79
4,69	-38,22	57,83	-134,57	-9,38	0,3206	11919,11
4,98	-37,25	62,02	-137,35	1,66	0,2538	14676,57
5,28	-34,00	66,20	-136,86	11,70	0,1950	17434,04
5,57	-29,12	71,39	-133,41	20,74	0,1442	20191,50
5,87	-35,86	76,58	-127,28	31,06	0,1013	35420,64
6,16	-26,03	81,76	-118,12	38,74	0,0657	39611,24
6,46	-16,24	86,95	-106,68	43,53	0,0371	43801,85
6,75	-7,05	91,14	-93,82	45,61	0,0147	47992,45
7,05	1,15	96,32	-80,36	45,27	-0,0022	52183,05
7,34	8,11	101,51	-66,99	42,88	-0,0144	56373,66
7,64	13,70	106,70	-54,33	38,96	-0,0226	60564,26
7,93	11,68	112,88	-42,83	35,37	-0,0277	42251,21
8,23	13,58	119,07	-32,38	31,36	-0,0302	45008,68
8,52	14,69	125,26	-23,13	26,91	-0,0308	47766,14
8,82	19,29	131,44	-15,18	21,32	-0,0300	64329,81
9,11	19,21	137,63	-8,89	15,64	-0,0283	67828,48
9,41	18,62	144,82	-4,27	10,14	-0,0261	71327,14
9,70	17,67	151,00	-1,27	4,31	-0,0236	74825,80

Fase: 1 - Combinazione: 2

Altezza scavo

Tipo:

Nome:

Coefficienti sismici:

3,8 [m]

S.L.U. [GEO]

A2+M2+R1 SLU

Kh = 0,1127 , Kv = 0,0563

Coefficienti parziali azioni

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1,3
3	Spinta falda	1,3
4	Spinta sismica x	1,3
5	Spinta sismica y	1
6	Carico Auto	1,3

Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1,25
2	Coesione efficace	1,25

3	Resistenza non drenata	1,4
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Profondità di infissione	6,20 [m]
Pressione massima terreno	62,13 [kPa]
Momento massimo	172,10 [kNm/m]
Taglio massimo	69,70 [KN/m]

Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m ³]
0,25	9,90	9,01	-0,27	-3,79	2,9043	--
0,51	11,25	11,88	-1,20	-6,81	2,7651	--
0,76	12,61	14,76	-2,95	-9,49	2,6260	--
1,01	13,97	17,63	-5,35	-13,28	2,4870	--
1,27	15,32	20,51	-8,72	-17,22	2,3483	--
1,52	16,68	23,39	-13,10	-21,03	2,2099	--
1,77	18,04	26,26	-18,45	-25,70	2,0721	--
2,03	19,39	29,14	-24,99	-30,71	1,9351	--
2,28	20,75	32,01	-32,76	-36,06	1,7992	--
2,53	22,11	33,89	-41,92	-41,68	1,6647	--
2,79	23,47	36,77	-52,49	-47,47	1,5320	--
3,04	24,82	39,64	-64,51	-53,92	1,4017	--
3,29	26,18	42,52	-78,18	-60,65	1,2741	--
3,55	27,54	45,40	-93,54	-67,43	1,1499	--
3,80	28,89	48,27	-110,61	-69,70	1,0297	1116,14
4,10	--	52,46	-131,19	-55,44	0,8958	5498,12
4,39	-62,13	56,64	-147,56	-38,14	0,7695	8073,98
4,69	-37,44	60,83	-158,81	-26,49	0,6519	5742,67
4,98	-39,11	66,02	-166,63	-14,96	0,5435	7195,11

5,28	-38,47	71,20	-171,05	-3,56	0,4449	8647,55
5,57	-35,98	76,39	-172,10	7,57	0,3563	10099,98
5,87	-48,56	81,58	-169,87	21,56	0,2777	17485,00
6,16	-41,09	87,76	-163,51	33,69	0,2091	19650,73
6,46	-32,73	93,95	-153,56	43,37	0,1500	21816,47
6,75	-23,96	99,14	-140,75	50,46	0,0999	23982,20
7,05	-15,19	105,32	-125,86	54,94	0,0581	26147,94
7,34	-6,68	111,51	-109,64	56,91	0,0236	28313,67
7,64	1,35	116,70	-92,83	56,52	-0,0044	30479,41
7,93	5,87	122,88	-76,15	54,72	-0,0270	21719,50
8,23	10,46	130,07	-59,99	51,63	-0,0452	23171,95
8,52	14,71	137,26	-44,75	47,19	-0,0597	24624,38
8,82	23,58	144,44	-30,82	40,34	-0,0717	32890,85
9,11	28,41	151,63	-18,91	31,95	-0,0818	34716,78
9,41	33,19	158,82	-9,47	22,15	-0,0908	36542,70
9,70	38,07	167,00	-2,93	9,94	-0,0992	38368,63

Fase: 1 - Combinazione: 3

Altezza scavo

Tipo:

Nome:

Coefficienti sismici:

3,8 [m]

S.L.E. [GEO]

A2+M2+R1 SLE

Kh = 0,0427 , Kv = 0,0214

Coefficienti parziali azioni

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1,3
3	Spinta falda	1,3
4	Spinta sismica x	1,3
5	Spinta sismica y	1
6	Carico Auto	1,3

Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1,25
2	Coesione efficace	1,25
3	Resistenza non drenata	1,4
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Profondità di infissione	6,20 [m]
Pressione massima terreno	55,12 [kPa]
Momento massimo	150,59 [kNm/m]
Taglio massimo	63,23 [KN/m]

Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m ³]
0,25	6,66	9,01	-0,16	-2,55	2,5418	--
0,51	8,24	11,88	-0,76	-4,82	2,4212	--
0,76	9,81	14,76	-1,94	-7,10	2,3007	--
1,01	11,39	17,63	-3,72	-10,01	2,1802	--
1,27	12,96	20,51	-6,26	-13,11	2,0599	--
1,52	14,53	23,39	-9,59	-16,68	1,9399	--
1,77	16,11	26,26	-13,81	-20,78	1,8203	--
2,03	17,68	29,14	-19,11	-25,20	1,7013	--
2,28	19,26	32,01	-25,48	-30,35	1,5832	--
2,53	20,83	33,89	-33,17	-35,53	1,4661	--
2,79	22,40	36,77	-42,17	-41,16	1,3505	--
3,04	23,98	39,64	-52,57	-47,37	1,2367	--
3,29	25,55	42,52	-64,57	-53,82	1,1252	--
3,55	27,12	45,40	-78,20	-60,53	1,0165	--
3,80	28,70	48,27	-93,54	-63,23	0,9112	1116,14
4,10	--	52,46	-112,21	-50,65	0,7937	5498,12
4,39	-55,12	56,64	-127,16	-35,26	0,6826	8073,98
4,69	-33,25	60,83	-137,57	-24,91	0,5790	5742,67
4,98	-34,79	66,02	-144,93	-14,65	0,4835	7195,11
5,28	-34,28	71,20	-149,25	-4,53	0,3964	8647,55
5,57	-32,12	76,39	-150,59	5,43	0,3181	10099,98
5,87	-43,45	81,58	-148,99	17,95	0,2485	17485,00
6,16	-36,88	87,76	-143,69	28,84	0,1877	19650,73

6,46	-29,51	93,95	-135,17	37,57	0,1352	21816,47
6,75	-21,76	99,14	-124,08	44,00	0,0907	23982,20
7,05	-13,98	105,32	-111,09	48,12	0,0535	26147,94
7,34	-6,43	111,51	-96,88	50,02	0,0227	28313,67
7,64	0,73	116,70	-82,11	49,81	-0,0024	30479,41
7,93	4,92	122,88	-67,41	48,30	-0,0226	21719,50
8,23	9,02	130,07	-53,15	45,64	-0,0389	23171,95
8,52	12,83	137,26	-39,67	41,76	-0,0521	24624,38
8,82	20,71	144,44	-27,34	35,75	-0,0630	32890,85
9,11	25,05	151,63	-16,79	28,35	-0,0722	34716,78
9,41	29,37	158,82	-8,42	19,68	-0,0804	36542,70
9,70	33,79	167,00	-2,61	8,84	-0,0881	38368,63

Fase: 1 - Combinazione: 4

Altezza scavo

3,8 [m]

Tipo:

S.L.E. [STR]

Nome:

A1+M1+R1 SLE

Coefficienti sismici:

$K_h = 0,0427$, $K_v = 0,0214$

Coefficienti parziali azioni

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1,3
3	Spinta falda	1,5
4	Spinta sismica x	1,5
5	Spinta sismica y	1
6	Carico Auto	1,5

Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1

2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Profondità di infissione 6,20 [m]
 Pressione massima terreno 60,42 [kPa]
 Momento massimo 115,95 [kNm/m]
 Taglio massimo 51,78 [KN/m]

Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m ³]
0,25	6,23	9,01	-0,17	-2,27	1,5865	--
0,51	7,48	11,88	-0,75	-4,21	1,5042	--
0,76	8,73	13,76	-1,82	-6,43	1,4221	--
1,01	9,98	16,63	-3,43	-8,98	1,3400	--
1,27	11,23	19,51	-5,71	-11,73	1,2580	--
1,52	12,49	22,39	-8,67	-14,87	1,1763	--
1,77	13,74	24,26	-12,44	-18,34	1,0950	--
2,03	14,99	27,14	-17,09	-22,10	1,0142	--
2,28	16,24	30,01	-22,68	-26,30	0,9342	--
2,53	17,49	32,89	-29,36	-30,74	0,8552	--
2,79	18,74	35,77	-37,15	-35,40	0,7774	--
3,04	19,99	37,64	-46,12	-40,57	0,7013	--
3,29	21,24	40,52	-56,38	-46,03	0,6271	--
3,55	22,50	43,40	-68,03	-51,29	0,5554	--
3,80	23,75	46,27	-81,04	-51,78	0,4867	2954,47
4,10	--	49,46	-96,33	-36,85	0,4110	12685,59
4,39	-60,42	52,64	-107,21	-19,94	0,3409	17721,79
4,69	-33,03	57,83	-113,09	-9,62	0,2771	11919,11
4,98	-32,28	62,02	-115,93	-0,06	0,2199	14676,57
5,28	-29,55	66,20	-115,95	8,67	0,1695	17434,04
5,57	-25,41	71,39	-113,39	16,56	0,1258	20191,50
5,87	-31,46	76,58	-108,50	25,61	0,0888	35420,64
6,16	-23,03	81,76	-100,94	32,40	0,0581	39611,24
6,46	-14,61	86,95	-91,37	36,72	0,0334	43801,85
6,75	-6,68	91,14	-80,53	38,69	0,0139	47992,45
7,05	0,41	96,32	-69,11	38,57	-0,0008	52183,05
7,34	6,44	101,51	-57,72	36,67	-0,0114	56373,66

7,64	11,32	106,70	-46,89	33,44	-0,0187	60564,26
7,93	9,80	112,88	-37,02	30,42	-0,0232	42251,21
8,23	11,48	119,07	-28,04	27,03	-0,0255	45008,68
8,52	12,50	125,26	-20,06	23,25	-0,0262	47766,14
8,82	16,49	131,44	-13,19	18,46	-0,0256	64329,81
9,11	16,50	137,63	-7,74	13,59	-0,0243	67828,48
9,41	16,08	144,82	-3,73	8,85	-0,0225	71327,14
9,70	15,36	151,00	-1,12	3,78	-0,0205	74825,80

CARICO LIMITE VERTICALE

Fase 1 Combinazione 1

Fattore Nc	84,558
Fattore Nq	60,207
Carico limite punta	1056,157 kN
Carico limite laterale	388,609 kN
Carico limite totale	1444,766 kN

Forza verticale agente	98,151 kN
Fattore sicurezza	14,720 kN

Fase 1 Combinazione 2

Fattore Nc	84,558
Fattore Nq	60,207
Carico limite punta	1056,157 kN
Carico limite laterale	388,609 kN
Carico limite totale	1444,766 kN

Forza verticale agente	108,551 kN
Fattore sicurezza	13,310 kN

Fase 1 Combinazione 3

Fattore Nc	84,558
Fattore Nq	60,207
Carico limite punta	1056,157 kN
Carico limite laterale	388,609 kN
Carico limite totale	1444,766 kN

Forza verticale agente	108,551 kN
Fattore sicurezza	13,310 kN

Fase 1 Combinazione 4

Fattore Nc	84,558
Fattore Nq	60,207
Carico limite punta	1056,157 kN
Carico limite laterale	388,609 kN
Carico limite totale	1444,766 kN
Forza verticale agente	98,151 kN
Fattore sicurezza	14,720 kN

RISULTATI ANALISI STRUTTURALE**Fase: 1 Risultati analisi strutturale**

Fase: 1 - Combinazione: 1

Z [m]	Nome sezione	N [kN]	M [kNm]	T [kN]	Nr.Barre Diametro	Nu [kN]	Mu [kNm]	Cond. Verifica Flessione	Ver. Fless.
0,25	Paolo 0.5 i=0.65	5,85	-0,19	-2,33	8Ø16	5,85	-116,88	624,32	Verificata
0,51	Paolo 0.5 i=0.65	7,72	-0,78	-4,06	8Ø16	7,73	-117,17	150,15	Verificata
0,76	Paolo 0.5 i=0.65	8,94	-1,84	-5,94	8Ø16	8,94	-117,36	63,87	Verificata
1,01	Paolo 0.5 i=0.65	10,81	-3,35	-8,11	8Ø16	10,81	-117,65	35,17	Verificata
1,27	Paolo 0.5 i=0.65	12,68	-5,41	-10,32	8Ø16	12,69	-117,94	21,79	Verificata
1,52	Paolo 0.5 i=0.65	14,55	-8,04	-12,63	8Ø16	14,56	-118,23	14,71	Verificata
1,77	Paolo 0.5 i=0.65	15,77	-11,25	-15,31	8Ø16	15,77	-118,42	10,53	Verificata
2,03	Paolo 0.5 i=0.65	17,64	-15,13	-18,11	8Ø16	17,64	-118,71	7,85	Verificata
2,28	Paolo 0.5 i=0.65	19,51	-19,72	-21,02	8Ø16	19,51	-119,00	6,03	Verificata
2,53	Paolo 0.5 i=0.65	21,38	-25,05	-24,17	8Ø16	21,38	-119,29	4,76	Verificata
2,79	Paolo 0.5 i=0.65	23,25	-31,19	-27,41	8Ø16	23,25	-119,58	3,83	Verificata
3,04	Paolo 0.5 i=0.65	24,47	-38,12	-30,92	8Ø16	24,47	-119,77	3,14	Verificata

3,29	Paolo 0.5 i=0.65	26,34	-45,95	-34,53	8Ø16	26,34	-120,06	2,61	Verificata
3,55	Paolo 0.5 i=0.65	28,21	-54,70	-38,06	8Ø16	28,21	-120,35	2,20	Verificata
3,80	Paolo 0.5 i=0.65	30,08	-64,34	-37,90	8Ø16	30,08	-120,65	1,88	Verificata
4,10	Paolo 0.5 i=0.65	32,15	-75,53	-26,61	8Ø16	32,16	-120,97	1,60	Verificata
4,39	Paolo 0.5 i=0.65	34,22	-83,38	-13,86	8Ø16	34,22	-121,29	1,45	Verificata
4,69	Paolo 0.5 i=0.65	37,59	-87,47	-6,10	8Ø16	37,60	-121,81	1,39	Verificata
4,98	Paolo 0.5 i=0.65	40,31	-89,28	1,08	8Ø16	40,32	-122,24	1,37	Verificata
5,28	Paolo 0.5 i=0.65	43,03	-88,96	7,60	8Ø16	43,02	-122,66	1,38	Verificata
5,57	Paolo 0.5 i=0.65	46,40	-86,72	13,48	8Ø16	46,40	-123,17	1,42	Verificata
5,87	Paolo 0.5 i=0.65	49,78	-82,73	20,19	8Ø16	49,78	-123,69	1,50	Verificata
6,16	Paolo 0.5 i=0.65	53,15	-76,77	25,18	8Ø16	53,14	-124,20	1,62	Verificata
6,46	Paolo 0.5 i=0.65	56,52	-69,34	28,30	8Ø16	56,52	-124,70	1,80	Verificata
6,75	Paolo 0.5 i=0.65	59,24	-60,99	29,65	8Ø16	59,24	-125,11	2,05	Verificata
7,05	Paolo 0.5 i=0.65	62,61	-52,23	29,43	8Ø16	62,61	-125,61	2,40	Verificata
7,34	Paolo 0.5 i=0.65	65,98	-43,54	27,87	8Ø16	65,98	-126,11	2,90	Verificata
7,64	Paolo 0.5 i=0.65	69,35	-35,31	25,33	8Ø16	69,35	-126,62	3,59	Verificata
7,93	Paolo 0.5 i=0.65	73,37	-27,84	22,99	8Ø16	73,36	-127,22	4,57	Verificata
8,23	Paolo 0.5 i=0.65	77,39	-21,05	20,38	8Ø16	77,39	-127,82	6,07	Verificata
8,52	Paolo 0.5 i=0.65	81,42	-15,03	17,49	8Ø16	81,41	-128,41	8,54	Verificata
8,82	Paolo 0.5 i=0.65	85,44	-9,87	13,86	8Ø16	85,44	-129,00	13,07	Verificata
9,11	Paolo 0.5 i=0.65	89,46	-5,78	10,17	8Ø16	89,46	-129,59	22,44	Verificata
9,41	Paolo 0.5	94,13	-2,77	6,59	8Ø16	94,13	-130,28	46,96	Verificata

	i=0.65								
9,70	Paolo 0.5 i=0.65	98,15	-0,83	2,80	8Ø16	98,15	-130,87	158,10	Verificata

Z [m]	Def.Max calcestruzzo	Def.Max acciaio	Asse neutro [cm]	Passo staffe [cm]	Resistenza taglio kN	Misura sicurezza taglio	Verifica a taglio	Angolo inclinazione puntoni [°]
0,25	3,50E-03	-1,12E-02	-14,25	19,1Ø10	Calcestruzzo=354,01 Staffe=28 3,94	151,90	Verificata	21,80
0,51	3,50E-03	-1,11E-02	-14,23	19,1Ø10	Calcestruzzo=354,01 Staffe=28 3,94	87,14	Verificata	21,80
0,76	3,50E-03	-1,11E-02	-14,21	19,1Ø10	Calcestruzzo=354,01 Staffe=28 3,94	59,60	Verificata	21,80
1,01	3,50E-03	-1,11E-02	-14,19	19,1Ø10	Calcestruzzo=355,38 Staffe=28 3,94	43,84	Verificata	21,80
1,27	3,50E-03	-1,10E-02	-14,17	19,1Ø10	Calcestruzzo=355,62 Staffe=28 3,94	34,47	Verificata	21,80
1,52	3,50E-03	-1,10E-02	-14,14	19,1Ø10	Calcestruzzo=355,86 Staffe=28 3,94	28,17	Verificata	21,80
1,77	3,50E-03	-1,10E-02	-14,13	19,1Ø10	Calcestruzzo=356,02 Staffe=28 3,94	23,25	Verificata	21,80
2,03	3,50E-03	-1,10E-02	-14,10	19,1Ø10	Calcestruzzo=356,25 Staffe=28 3,94	19,67	Verificata	21,80
2,28	3,50E-03	-1,09E-02	-14,08	19,1Ø10	Calcestruzzo=356,49 Staffe=28	16,96	Verificata	21,80

					3,94			
2,53	3,50E-03	-1,09E-02	-14,05	19,1Ø10	Calcestruz zo=356,73 Staffe=28 3,94	14,76	Verificata	21,80
2,79	3,50E-03	-1,09E-02	-14,03	19,1Ø10	Calcestruz zo=356,97 Staffe=28 3,94	13,02	Verificata	21,80
3,04	3,50E-03	-1,08E-02	-14,01	19,1Ø10	Calcestruz zo=357,12 Staffe=28 3,94	11,55	Verificata	21,80
3,29	3,50E-03	-1,08E-02	-13,99	19,1Ø10	Calcestruz zo=357,36 Staffe=28 3,94	10,35	Verificata	21,80
3,55	3,50E-03	-1,08E-02	-13,96	19,1Ø10	Calcestruz zo=357,60 Staffe=28 3,94	9,40	Verificata	21,80
3,80	3,50E-03	-1,07E-02	-13,94	19,1Ø10	Calcestruz zo=357,84 Staffe=28 3,94	9,44	Verificata	21,80
4,10	3,50E-03	-1,07E-02	-13,91	19,1Ø10	Calcestruz zo=358,10 Staffe=28 3,94	13,46	Verificata	21,80
4,39	3,50E-03	-1,07E-02	-13,88	19,1Ø10	Calcestruz zo=358,36 Staffe=28 3,94	25,86	Verificata	21,80
4,69	3,50E-03	-1,06E-02	-13,84	19,1Ø10	Calcestruz zo=358,79 Staffe=28 3,94	58,83	Verificata	21,80
4,98	3,50E-03	-1,06E-02	-13,80	19,1Ø10	Calcestruz zo=359,14 Staffe=28 3,94	333,63	Verificata	21,80
5,28	3,50E-03	-1,05E-02	-13,76	19,1Ø10	Calcestruz zo=359,49	47,29	Verificata	21,80

					Staffe=28 3,94			
5,57	3,50E-03	-1,05E-02	-13,71	19,1Ø10	Calcestruz zo=359,92 Staffe=28 3,94	26,70	Verificata	21,80
5,87	3,50E-03	-1,04E-02	-13,67	19,1Ø10	Calcestruz zo=360,35 Staffe=28 3,94	17,85	Verificata	21,80
6,16	3,50E-03	-1,03E-02	-13,62	19,1Ø10	Calcestruz zo=360,77 Staffe=28 3,94	14,33	Verificata	21,80
6,46	3,50E-03	-1,03E-02	-13,58	19,1Ø10	Calcestruz zo=361,20 Staffe=28 3,94	12,77	Verificata	21,80
6,75	3,50E-03	-1,02E-02	-13,54	19,1Ø10	Calcestruz zo=361,55 Staffe=28 3,94	12,19	Verificata	21,80
7,05	3,50E-03	-1,02E-02	-13,49	19,1Ø10	Calcestruz zo=361,98 Staffe=28 3,94	12,30	Verificata	21,80
7,34	3,50E-03	-1,01E-02	-13,44	19,1Ø10	Calcestruz zo=362,41 Staffe=28 3,94	13,00	Verificata	21,80
7,64	3,50E-03	-1,01E-02	-13,39	19,1Ø10	Calcestruz zo=362,84 Staffe=28 3,94	14,33	Verificata	21,80
7,93	3,50E-03	-9,99E-03	-13,32	19,1Ø10	Calcestruz zo=363,35 Staffe=28 3,94	15,80	Verificata	21,80
8,23	3,50E-03	-9,92E-03	-13,26	19,1Ø10	Calcestruz zo=363,86 Staffe=28 3,94	17,85	Verificata	21,80
8,52	3,50E-03	-9,85E-	-13,20	19,1Ø10	Calcestruz	20,83	Verificata	21,80

		03			zo=364,37 Staffe=28 3,94			
8,82	3,50E-03	-9,79E-03	-13,15	19,1Ø10	Calcestruz zo=364,89 Staffe=28 3,94	26,34	Verificata	21,80
9,11	3,50E-03	-9,72E-03	-13,09	19,1Ø10	Calcestruz zo=365,40 Staffe=28 3,94	35,94	Verificata	21,80
9,41	3,50E-03	-9,65E-03	-13,02	19,1Ø10	Calcestruz zo=365,99 Staffe=28 3,94	55,50	Verificata	21,80
9,70	3,50E-03	-9,58E-03	-12,96	19,1Ø10	Calcestruz zo=366,51 Staffe=28 3,94	130,71	Verificata	21,80

Fase: 1 - Combinazione: 4

Z [m]	Nome sezione	N [kN]	M [kNm]	T [kN]	Nr.Barre Diametro	Nu [kN]	Mu [kNm]	Cond. Verifica Flessione	Ver. Fless.
0,25	Paolo 0.5 i=0.65	5,85	-0,11	-1,47	8Ø16	5,85	-116,88	1082,80	Verificata
0,51	Paolo 0.5 i=0.65	7,72	-0,49	-2,73	8Ø16	7,73	-117,17	240,86	Verificata
0,76	Paolo 0.5 i=0.65	8,94	-1,18	-4,18	8Ø16	8,94	-117,36	99,32	Verificata
1,01	Paolo 0.5 i=0.65	10,81	-2,23	-5,84	8Ø16	10,81	-117,65	52,84	Verificata
1,27	Paolo 0.5 i=0.65	12,68	-3,71	-7,63	8Ø16	12,69	-117,94	31,78	Verificata
1,52	Paolo 0.5 i=0.65	14,55	-5,64	-9,67	8Ø16	14,56	-118,23	20,98	Verificata
1,77	Paolo 0.5 i=0.65	15,77	-8,09	-11,92	8Ø16	15,77	-118,42	14,64	Verificata
2,03	Paolo 0.5 i=0.65	17,64	-11,11	-14,36	8Ø16	17,64	-118,71	10,69	Verificata
2,28	Paolo 0.5 i=0.65	19,51	-14,75	-17,09	8Ø16	19,51	-119,00	8,07	Verificata

2,53	Paolo 0.5 i=0.65	21,38	-19,08	-19,98	8Ø16	21,38	-119,29	6,25	Verificata
2,79	Paolo 0.5 i=0.65	23,25	-24,15	-23,01	8Ø16	23,25	-119,58	4,95	Verificata
3,04	Paolo 0.5 i=0.65	24,47	-29,97	-26,37	8Ø16	24,47	-119,77	4,00	Verificata
3,29	Paolo 0.5 i=0.65	26,34	-36,65	-29,92	8Ø16	26,34	-120,06	3,28	Verificata
3,55	Paolo 0.5 i=0.65	28,21	-44,22	-33,34	8Ø16	28,21	-120,35	2,72	Verificata
3,80	Paolo 0.5 i=0.65	30,08	-52,67	-33,66	8Ø16	30,08	-120,65	2,29	Verificata
4,10	Paolo 0.5 i=0.65	32,15	-62,61	-23,95	8Ø16	32,16	-120,97	1,93	Verificata
4,39	Paolo 0.5 i=0.65	34,22	-69,68	-12,96	8Ø16	34,22	-121,29	1,74	Verificata
4,69	Paolo 0.5 i=0.65	37,59	-73,51	-6,25	8Ø16	37,60	-121,81	1,66	Verificata
4,98	Paolo 0.5 i=0.65	40,31	-75,36	-0,04	8Ø16	40,32	-122,24	1,62	Verificata
5,28	Paolo 0.5 i=0.65	43,03	-75,37	5,63	8Ø16	43,02	-122,66	1,63	Verificata
5,57	Paolo 0.5 i=0.65	46,40	-73,70	10,77	8Ø16	46,40	-123,17	1,67	Verificata
5,87	Paolo 0.5 i=0.65	49,78	-70,53	16,65	8Ø16	49,78	-123,69	1,75	Verificata
6,16	Paolo 0.5 i=0.65	53,15	-65,61	21,06	8Ø16	53,14	-124,20	1,89	Verificata
6,46	Paolo 0.5 i=0.65	56,52	-59,39	23,87	8Ø16	56,52	-124,70	2,10	Verificata
6,75	Paolo 0.5 i=0.65	59,24	-52,34	25,15	8Ø16	59,24	-125,11	2,39	Verificata
7,05	Paolo 0.5 i=0.65	62,61	-44,92	25,07	8Ø16	62,61	-125,61	2,80	Verificata
7,34	Paolo 0.5 i=0.65	65,98	-37,52	23,84	8Ø16	65,98	-126,11	3,36	Verificata
7,64	Paolo 0.5 i=0.65	69,35	-30,48	21,73	8Ø16	69,35	-126,62	4,15	Verificata
7,93	Paolo 0.5 i=0.65	73,37	-24,06	19,78	8Ø16	73,36	-127,22	5,29	Verificata
8,23	Paolo 0.5 i=0.65	77,39	-18,22	17,57	8Ø16	77,39	-127,82	7,01	Verificata
8,52	Paolo 0.5	81,42	-13,04	15,11	8Ø16	81,41	-128,41	9,85	Verificata

	i=0.65								
8,82	Paolo 0.5 i=0.65	85,44	-8,57	12,00	8Ø16	85,44	-129,00	15,05	Verificata
9,11	Paolo 0.5 i=0.65	89,46	-5,03	8,83	8Ø16	89,46	-129,59	25,76	Verificata
9,41	Paolo 0.5 i=0.65	94,13	-2,42	5,75	8Ø16	94,13	-130,28	53,79	Verificata
9,70	Paolo 0.5 i=0.65	98,15	-0,72	2,46	8Ø16	98,15	-130,87	180,56	Verificata

Z [m]	Def.Max calcestruzzo	Def.Max acciaio	Asse neutro [cm]	Passo staffe [cm]	Resistenza taglio kN	Misura sicurezza taglio	Verifica a taglio	Angolo inclinazione puntoni [°]
0,25	3,50E-03	-1,12E-02	-14,25	19,1Ø10	Calcestruz zo=354,01 Staffe=28 3,94	240,32	Verificata	21,80
0,51	3,50E-03	-1,11E-02	-14,23	19,1Ø10	Calcestruz zo=354,01 Staffe=28 3,94	129,47	Verificata	21,80
0,76	3,50E-03	-1,11E-02	-14,21	19,1Ø10	Calcestruz zo=354,01 Staffe=28 3,94	84,66	Verificata	21,80
1,01	3,50E-03	-1,11E-02	-14,19	19,1Ø10	Calcestruz zo=355,38 Staffe=28 3,94	60,90	Verificata	21,80
1,27	3,50E-03	-1,10E-02	-14,17	19,1Ø10	Calcestruz zo=355,62 Staffe=28 3,94	46,63	Verificata	21,80
1,52	3,50E-03	-1,10E-02	-14,14	19,1Ø10	Calcestruz zo=355,86 Staffe=28 3,94	36,81	Verificata	21,80
1,77	3,50E-03	-1,10E-02	-14,13	19,1Ø10	Calcestruz zo=356,02 Staffe=28 3,94	29,86	Verificata	21,80
2,03	3,50E-03	-1,10E-02	-14,10	19,1Ø10	Calcestruz	24,80	Verificata	21,80

					zo=356,25 Staffe=28 3,94			
2,28	3,50E-03	-1,09E-02	-14,08	19,1Ø10	Calcestruz zo=356,49 Staffe=28 3,94	20,86	Verificata	21,80
2,53	3,50E-03	-1,09E-02	-14,05	19,1Ø10	Calcestruz zo=356,73 Staffe=28 3,94	17,85	Verificata	21,80
2,79	3,50E-03	-1,09E-02	-14,03	19,1Ø10	Calcestruz zo=356,97 Staffe=28 3,94	15,51	Verificata	21,80
3,04	3,50E-03	-1,08E-02	-14,01	19,1Ø10	Calcestruz zo=357,12 Staffe=28 3,94	13,54	Verificata	21,80
3,29	3,50E-03	-1,08E-02	-13,99	19,1Ø10	Calcestruz zo=357,36 Staffe=28 3,94	11,95	Verificata	21,80
3,55	3,50E-03	-1,08E-02	-13,96	19,1Ø10	Calcestruz zo=357,60 Staffe=28 3,94	10,73	Verificata	21,80
3,80	3,50E-03	-1,07E-02	-13,94	19,1Ø10	Calcestruz zo=357,84 Staffe=28 3,94	10,63	Verificata	21,80
4,10	3,50E-03	-1,07E-02	-13,91	19,1Ø10	Calcestruz zo=358,10 Staffe=28 3,94	14,95	Verificata	21,80
4,39	3,50E-03	-1,07E-02	-13,88	19,1Ø10	Calcestruz zo=358,36 Staffe=28 3,94	27,65	Verificata	21,80
4,69	3,50E-03	-1,06E-02	-13,84	19,1Ø10	Calcestruz zo=358,79 Staffe=28 3,94	57,40	Verificata	21,80

4,98	3,50E-03	-1,06E-02	-13,80	19,1Ø10	Calcestruz zo=359,14 Staffe=28 3,94	8532,27	Verificata	21,80
5,28	3,50E-03	-1,05E-02	-13,76	19,1Ø10	Calcestruz zo=359,49 Staffe=28 3,94	63,81	Verificata	21,80
5,57	3,50E-03	-1,05E-02	-13,71	19,1Ø10	Calcestruz zo=359,92 Staffe=28 3,94	33,43	Verificata	21,80
5,87	3,50E-03	-1,04E-02	-13,67	19,1Ø10	Calcestruz zo=360,35 Staffe=28 3,94	21,65	Verificata	21,80
6,16	3,50E-03	-1,03E-02	-13,62	19,1Ø10	Calcestruz zo=360,77 Staffe=28 3,94	17,13	Verificata	21,80
6,46	3,50E-03	-1,03E-02	-13,58	19,1Ø10	Calcestruz zo=361,20 Staffe=28 3,94	15,13	Verificata	21,80
6,75	3,50E-03	-1,02E-02	-13,54	19,1Ø10	Calcestruz zo=361,55 Staffe=28 3,94	14,38	Verificata	21,80
7,05	3,50E-03	-1,02E-02	-13,49	19,1Ø10	Calcestruz zo=361,98 Staffe=28 3,94	14,44	Verificata	21,80
7,34	3,50E-03	-1,01E-02	-13,44	19,1Ø10	Calcestruz zo=362,41 Staffe=28 3,94	15,20	Verificata	21,80
7,64	3,50E-03	-1,01E-02	-13,39	19,1Ø10	Calcestruz zo=362,84 Staffe=28 3,94	16,70	Verificata	21,80
7,93	3,50E-03	-9,99E-03	-13,32	19,1Ø10	Calcestruz zo=363,35 Staffe=28	18,37	Verificata	21,80

					3,94			
8,23	3,50E-03	-9,92E-03	-13,26	19,1Ø10	Calcestruz zo=363,86 Staffe=28 3,94	20,71	Verificata	21,80
8,52	3,50E-03	-9,85E-03	-13,20	19,1Ø10	Calcestruz zo=364,37 Staffe=28 3,94	24,11	Verificata	21,80
8,82	3,50E-03	-9,79E-03	-13,15	19,1Ø10	Calcestruz zo=364,89 Staffe=28 3,94	30,40	Verificata	21,80
9,11	3,50E-03	-9,72E-03	-13,09	19,1Ø10	Calcestruz zo=365,40 Staffe=28 3,94	41,36	Verificata	21,80
9,41	3,50E-03	-9,65E-03	-13,02	19,1Ø10	Calcestruz zo=365,99 Staffe=28 3,94	63,65	Verificata	21,80
9,70	3,50E-03	-9,58E-03	-12,96	19,1Ø10	Calcestruz zo=366,51 Staffe=28 3,94	149,29	Verificata	21,80