

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE:
DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**DIREZIONE TECNICA - CENTRO DI PRODUZIONE MILANO
PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO**

**POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA. TRATTA RHO-GALLARATE
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y**

FVY3 - Fermata Parabiaco - Accesso Parcheggio S. Anna

Relazione di calcolo muri di sostegno e paratia di pali

SCALA:

-

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

MDL1 12 D 26 CL FVY300 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	A. Ingletti	Gen. 2011			S. Borelli		



File: MDL1 12 D 26 CL FVY300 001 A.doc

n. Elab.: -

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	2 di 75

INDICE

1	PREMESSA	4
2	SCOPO DEL DOCUMENTO	4
2.1	MURO DI SOSTEGNO RILEVATO PER SCALA	4
2.2	MURO DI CONTENIMENTO TRASVERSALE RILEVATO	5
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
3.1	DOCUMENTI REFERENZIATI	6
3.2	DOCUMENTI CORRELATI	6
4	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA	7
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI	7
5.1	CALCESTRUZZO	7
5.2	ACCIAIO	7
6	ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO	8
6.1	PESI PROPRI	8
6.2	CARICHI PERMANENTI	8
6.3	AZIONI VARIABILI	8
6.3.1	<i>Barriera H10</i>	8
6.4	AZIONE SISMICA	8
6.5	COMBINAZIONI DI CARICO	8
7	PARATIA	9
7.1	GENERALITÀ	9
7.2	CALCOLO DELLE SPINTE	10
7.2.1	<i>Calcolo della spinta attiva</i>	10
7.2.2	<i>Resistenza passiva</i>	14
7.3	METODO DELL'EQUILIBRIO LIMITE (LEM)	15

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	3 di 75

7.3.1	Paratia a sbalzo: calcolo della profondità d'infissione limite	15
7.3.2	Paratia tirantata ad estremo libero: calcolo della profondità d'infissione limite	17
7.3.3	Paratia tirantata ad estremo fisso: calcolo della profondità d'infissione limite.....	17
7.4	METODO DEGLI ELEMENTI FINITI (FEM)	18
7.4.1	Calcolo del modulo di rigidezza K_s del terreno	18
7.5	VERIFICHE DELLA PARATIA	20
7.6	DIAGRAMMI DI SINTESI.....	24
7.7	VERIFICA DELLE SEZIONI E CALCOLO ARMATURE.....	24
8	MURI DI SOSTEGNO	26
8.1	GENERALITÀ	26
8.1.1	Calcolo della spinta attiva con Coulomb.....	26
8.1.2	Calcolo della spinta attiva con Rankine.....	26
8.1.3	Carico uniforme sul terrapieno.....	27
8.1.4	Resistenza passiva.....	27
8.1.5	Carico limite di fondazioni superficiali su terreni	28
8.1.6	Sollecitazioni muro.....	29
8.1.7	Calcolo delle spinte per le verifiche globali.....	29
8.2	MURO VARIABILE A SOSTEGNO FONDAZIONE DELLA SCALA (QUOTA PRIMO PIANEROTTOLO)	30
8.3	MURO VARIABILE A SOSTEGNO FONDAZIONE DELLA SCALA (QUOTA ARRIVO SCALA)	45
8.4	MURO TRASVERSALE	60
9	CONCLUSIONI.....	75

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	4 di 75

1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto definitivo per il potenziamento infrastrutturale della linea ferroviaria Rho-Arona, nella tratta Rho-Gallarate che interessa la provincia di Milano nella fascia di territorio del comune di Parabiago, si prevede la realizzazione di una passerella in c.a. affiancata ad uno scatolare ferroviario esistente.

Nell'ambito del progetto definitivo per il potenziamento infrastrutturale della linea ferroviaria Rho-Arona, nella tratta Rho-Gallarate che interessa la provincia di Milano nella fascia di territorio del comune di Parabiago, si prevede la realizzazione di una scala con soletta in c.a. su terreno contenuta da muri e di una paratia di pali a sostegno di barriere antirumore.

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

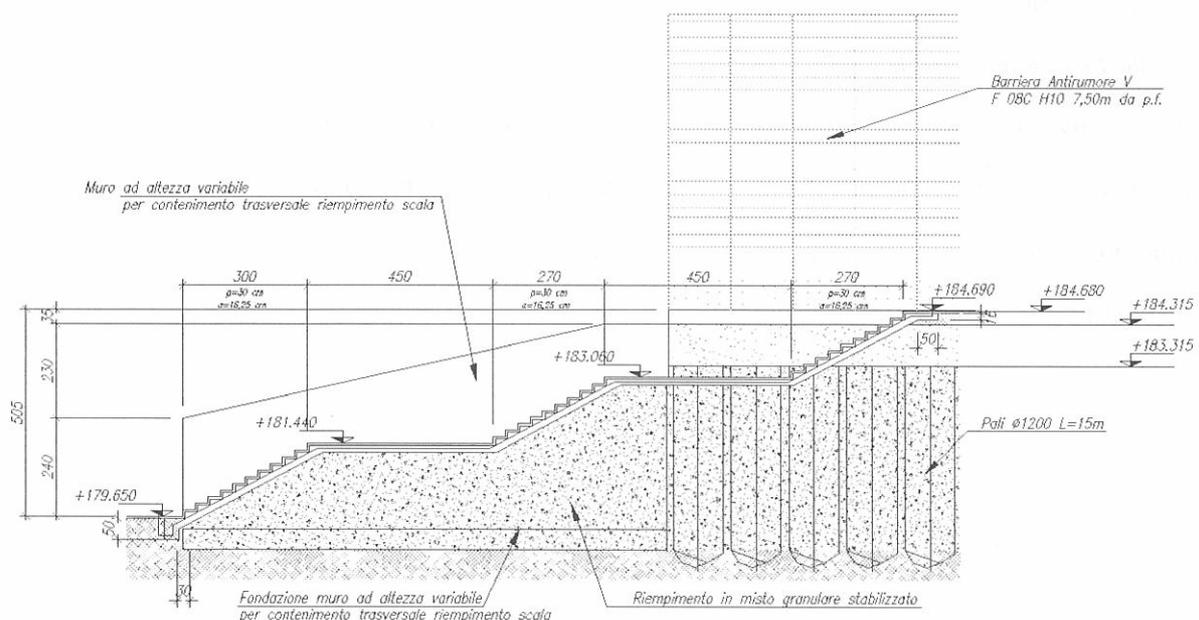
La presente relazione di calcolo ha per oggetto l'analisi e le verifiche strutturali di cui al punto precedente, e qui di seguito si riportano le sezioni tipo della scala con i muri e della palificata.

Le strutture in c.a. della paratia sono costituite da pali aventi il diametro del 1200 e lunghezza totale di 12 metri con cordolo di dimensioni 140x100 su cui vengono fissate le barriere antirumore.

Il muro a contenimento della scala ha altezza e spessore variabili, mentre quello trasversale a contenimento del rilevato a geometria costante.

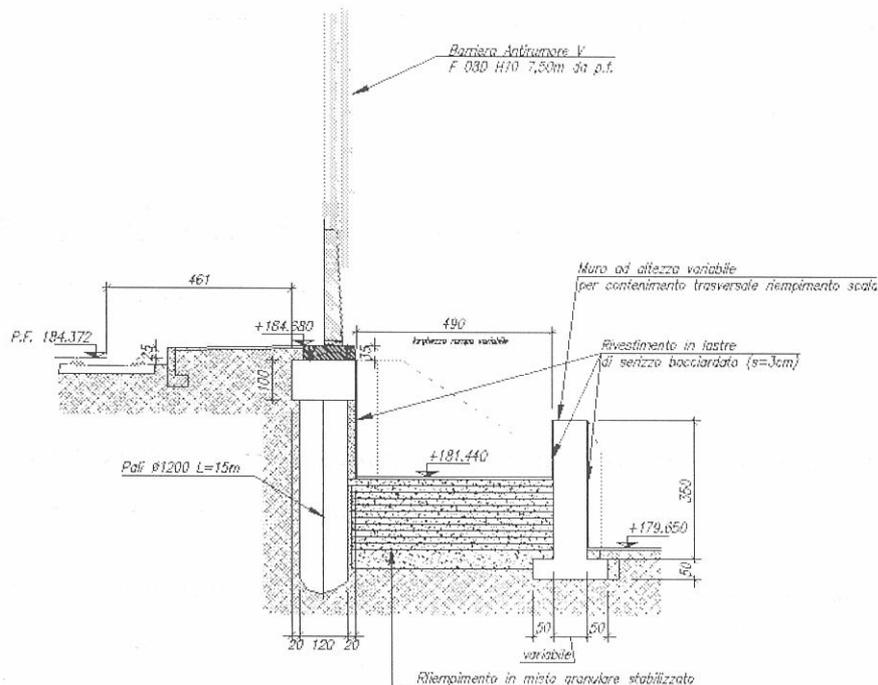
Per ulteriori indicazioni si rimanda agli elaborati progettuali.

2.1 Muro di sostegno rilevato per scala

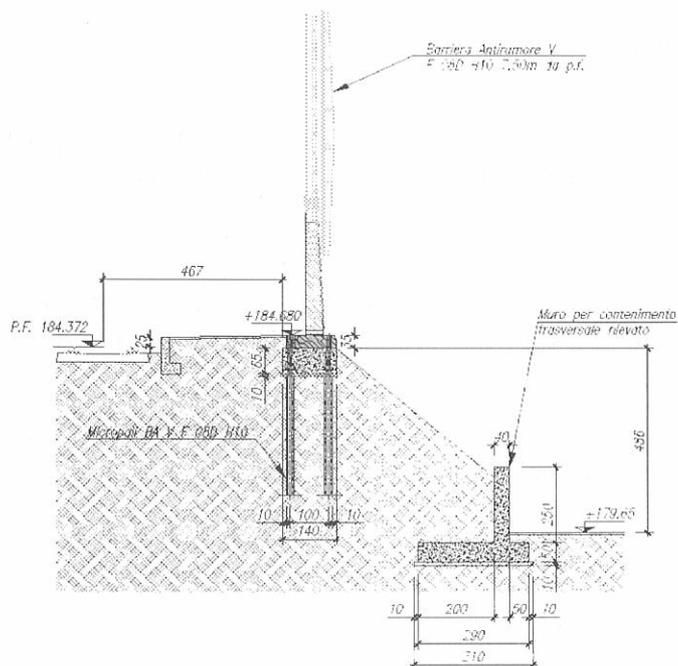


FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S. Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	5 di 75



2.2 Muro di contenimento trasversale rilevato



Nel seguito sono illustrate le assunzioni strutturali prese a base di calcolo, la normativa di riferimento, i materiali utilizzati, la caratterizzazione geotecnica prevista, i carichi di progetto e le relative condizioni e combinazioni, lo schema strutturale adottato e le verifiche effettuate.

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S. Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	6 di 75

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1 Documenti referenziati

Legge 5.11.1971 n.1086

Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

Legge 2.2.1974 n.64

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

D.M. 14.02.1992

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.

D.M. 09.01.1996

Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato e precompresso e per le strutture metalliche e relative istruzioni.

D.M. 16.01.1996

Norme tecniche relative ai "criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

D.M. 16.01.1996

Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche

D.M. 11.03.1988

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

FF.SS. – Istruzione 44b del 14.11.1996

Istruzioni tecniche per manufatti sotto binario da costruire in zona sismica (Testo aggiornato della istruzione 44b del 14.11.1996, approvato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con voto dell'Assemblea Generale n.565 del 16.12.1997).

Istruzione n. I/SC/PS-OM/2298 del 2.06.1995 rev. 13.01.1997 – "sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari – Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo"

Manuale di progettazione ITALFERR.

3.2 Documenti Correlati

- Relazione geotecnica ed allegati
- Planimetria di progetto

4 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA

Si riportano di seguito le caratteristiche del terreno considerate nei calcoli in base alle indicazioni contenute nella relazione geologica di seguito riportate:

Parametri	TERRENI						
	G	GS'	GS''	SG	SL	LS	S/R
Profondità dal p.c. [m]	intercalate a GS	0 ÷ 5	5 ÷ 25	20 ÷ 25	20 ÷ 25	6 ÷ 12	0 ÷ 5
Peso di volume γ [kN/m ³]	20	19 ÷ 20.5	19 ÷ 20.5	20 ÷ 21	20 ÷ 21.5	20	18
Densità relativa D_r [%]	30 ÷ 80	40 ÷ 80	40 ÷ 80	40 ÷ 65	30 ÷ 60		
Angolo d'attrito operativo ϕ' [°]	38	35 ÷ 37	36 ÷ 38	32 ÷ 35	30 ÷ 32	25 ÷ 30	30
Coesione efficace c' [kPa]						10 ÷ 30	
Coesione non drenata c_u [kPa]						30 ÷ 100	

Tabella 1 - Parametri geotecnici di riferimento

G = Ghiaia intercalata ai terreni **GS** **GS'** = Ghiaia sabbiosa - livelli superficiali (0 ÷ 5) **GS''** = Ghiaia sabbiosa - livelli profondi (5 ÷ 25) **SG** = Sabbia ghiaiosa **SL** = Sabbia limosa **LS** = Limo sabbioso **S** = Sabbia limosa ghiaiosa superficiale **R** = Riporto.

Si considerano presenti nel volume significativo di terreno interessato dalle opere la presenza di terreno tipo **R**.

Riporto (a favore di sicurezza si assume un a potenza di circa 5 metri):

$\gamma = 18.0 \text{ kN/m}^3$	Peso di volume
$\phi = 30^\circ$	Angolo di attrito interno
Substrato (tipo GS'') : $\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$	Peso di volume
$\phi = 36^\circ$	Angolo di attrito interno

5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

I calcoli statici sono stati eseguiti prevedendo l'impiego dei seguenti materiali.

5.1 Calcestruzzo

Si assumono le seguenti caratteristiche cubiche minime a compressione:

Magrone	$R_{ck} = 15 \text{ N/mm}^2$
Fondazioni	$R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$

5.2 Acciaio

per tondi di diametro $\leq 26 \text{ mm}$	FeB 44k
--	---------

6 ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO

I carichi e i sovraccarichi sono stati valutati tenendo conto di quanto prescritto dalle norme.

6.1 Pesì Propri

Per la determinazione dei pesi propri strutturali dei piú comuni materiali possono essere assunti i valori dei pesi dell'unitá di volume.

6.2 Carichi Permanenti

Il peso del riempimento, completato con sottofondo e pavimentazione è assunto convenzionalmente pari a 2000 daN/m³ e si è considerata un'altezza media pari a circa 10 cm. Si considera, quindi, un carico di progetto permanente di 2.00 kN/m².

6.3 Azioni variabili

Si considera agente a ridosso delle opere di sostegno un carico di progetto pedonale di 10.00 kN/m². Gli scarichi delle barriere utilizzate sono di seguito riportati con riferimento ad un interasse di 1,5 metri per la tipologia H10.

6.3.1 Barriera H10

Modello H10_V200 – Sollecitazioni all'incastro						
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	N = F3	V = F1	M
Text	Text	Text	Text	N	N	N-m
15	PP	LinStatic		-89303	0	11992
15	PESOAS	LinStatic		-8320	0	8959
15	PESOBAG	LinStatic		-24959	0	26877
15	VENTO	LinStatic		-9262	48625	209634
15	S200	LinStatic		-1652	8776	34853
15	PPPBVSP_S200	Combination		-127257	68460	327272
15	PPPAVNSN_S200	Combination		-84628	-68460	-267452

A favore di sicurezza, il calcolo viene eseguito considerando la combinazione piú penalizzante, ovvero corrispondente al momento massimo in valore assoluto; le sollecitazioni puntuali relative vengono equiparate a carichi lineari dividendo i valori per l'interasse reale dei montanti delle barriere.

6.4 Azione Sismica

Il manufatto in oggetto si trova in zona di III° categoria in base al D.M. 16/01/96 con grado di sismicitá S=6, dove: C=0,04; R = 1; $\epsilon = 1$; $\beta = 1$; I = 1

6.5 Combinazioni di carico

Le condizioni di carico considerate sono riportate nel seguito all'interno nelle note di calcolo relative; sono presenti anche i valori di carico lineare considerati agenti sulle strutture.

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00.001	A	9 di 75

7 PARATIA

Il Metodo delle tensioni ammissibili è stato utilizzato per il progetto e la verifica degli elementi strutturali; le sollecitazioni agenti sulla struttura sono state valutate mediante la scelta di analisi agli elementi finiti utilizzando il programma di calcolo SPW della GEOSTRU.

7.1 Generalità

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:

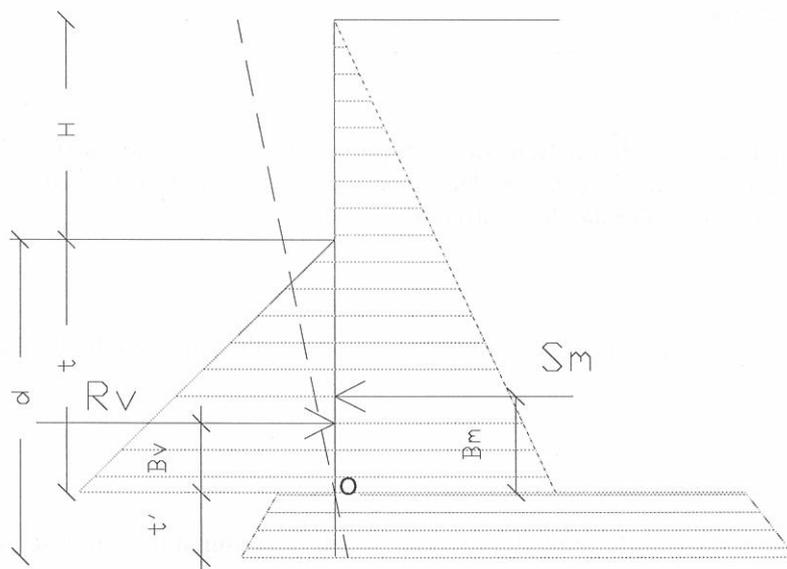


Figura 1: Schema delle pressioni agenti sulla paratia

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

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	10 di 75

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:

Angolo di attrito interno del terreno;

Coesione del terreno;

Peso dell'unità di volume del terreno;

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

7.2 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.

7.2.1 Calcolo della spinta attiva.

7.2.1.1 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:

$$k_a = \frac{\sin^2(\phi + \beta)}{\sin^2 \beta \times \sin(\beta - \delta) \times \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin(\phi - \varepsilon)}{\sin(\beta - \delta) \times \sin(\beta + \varepsilon)}} \right]^2}$$

con $\delta < (\beta - \phi - \varepsilon)$ secondo Muller - Breslau

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;

7.2.1.2 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

7.2.1.3 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.

7.2.1.4 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 = $4 \times \log[\text{sen}\theta_1/\text{sen}\theta_2]$

E = $\text{sen}^2\theta_1 - \text{sen}^2\theta_2$

7.2.1.5 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:

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

7.2.1.6 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:

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

FVY3- Fermata Parabiago - Accesso S. Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	13 di 75

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 γ'_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]

7.2.1.7 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 calcolata l'altezza critica Z_c come segue:

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

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
- K_a = 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.

7.2.1.8 Sisma

Spinta attiva in condizioni sismiche

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

FVY3- Fermata Parabiago - Accesso S. Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	14 di 75

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

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).

7.2.2 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).

7.2.2.1 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:

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

FVY3- Fermata Parabiago - Accesso S. Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	15 di 75

Avendo indicato al solito con H l'altezza di spinta, g 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:

$$k_p = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2 \beta \times \sin(\beta + \delta) \times \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin(\phi + \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \times \sin(\beta + \varepsilon)}} \right]^2}$$

con $\delta < \beta - \phi - \varepsilon$ secondo Muller - Breslau

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

7.2.2.2 Carico uniforme sul terrapieno

La resistenza indotta da un carico uniformemente distribuito S_q vale:

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

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.

7.2.2.3 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.

7.3 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:

Paratia a sbalzo;

Paratia tirantata ad estremo libero;

Paratia tirantata ad estremo fisso;

7.3.1 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:

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

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	16 di 75

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:

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

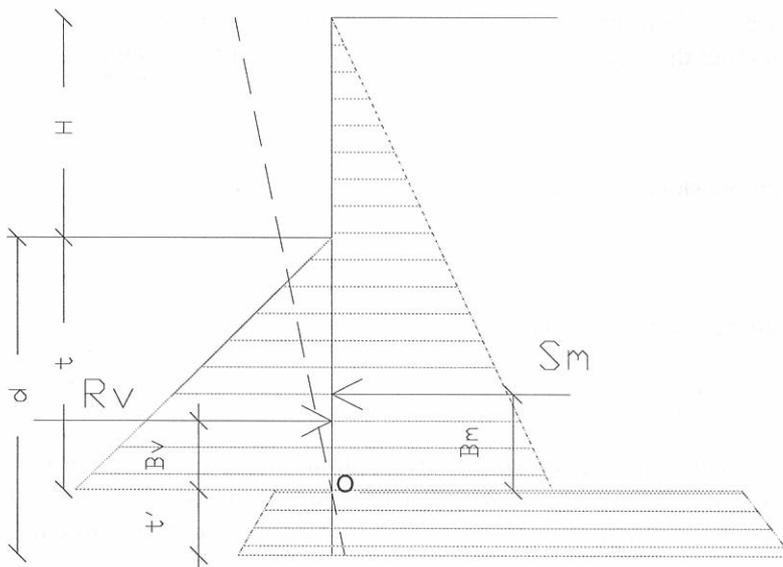


Figura 2: Schema di riferimento per il calcolo dell'equilibrio della paratia

7.3.1.1 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 . E' possibile introdurre un margine di sicurezza sulle resistenze passive; la riduzione si effettua come segue:

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	17 di 75

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

7.3.2 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.

7.3.2.1 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:

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

7.3.3 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.

7.3.3.1 Coefficiente di sicurezza F sulle resistenze

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

7.4 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:

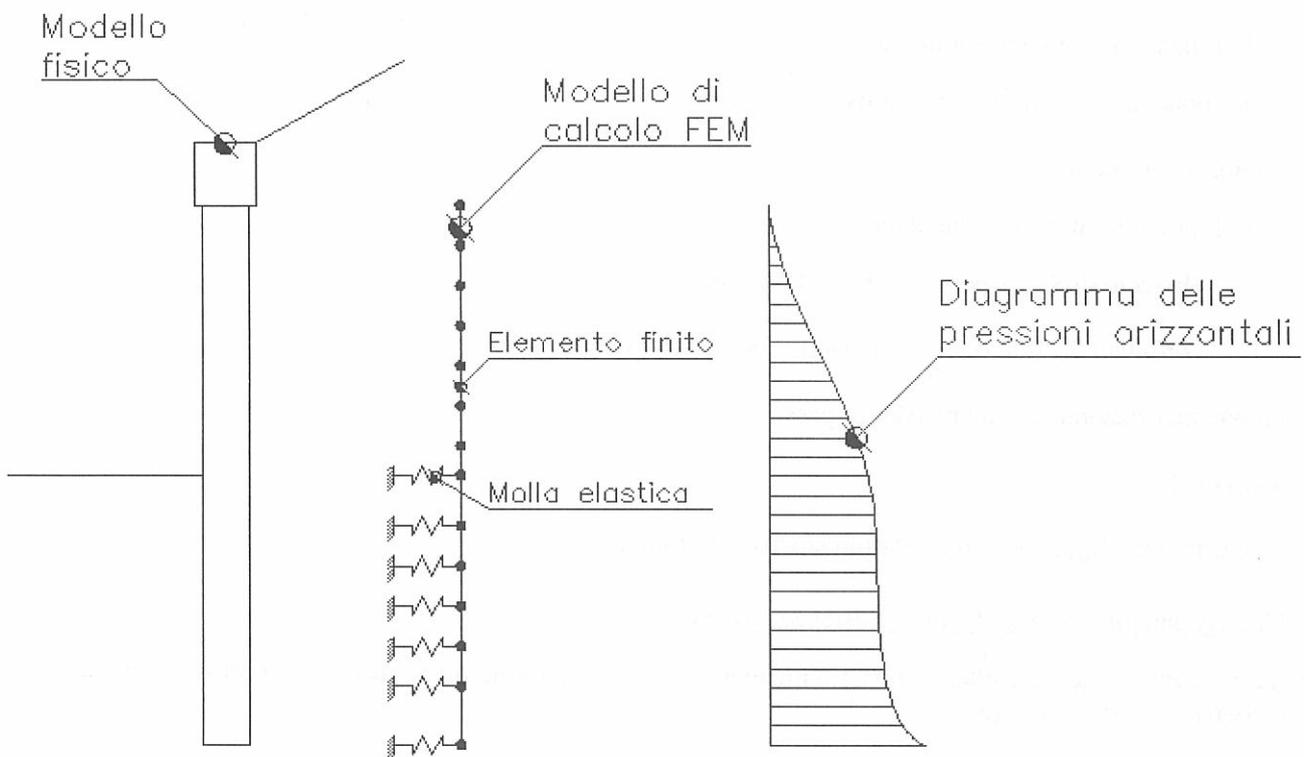


Figura 3: Schematizzazione della paratia ad elementi finiti

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

7.4.1 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:

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	19 di 75

As = costante, calcolata come segue $As = C \times (c \times Nc + 0.5 \times G \times B \times Ng)$

Bs = coefficiente funzione della profondità $Bs = C \times G \times Nq$

Z = Profondità in esame

C = 40 nel sistema internazionale SI

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

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

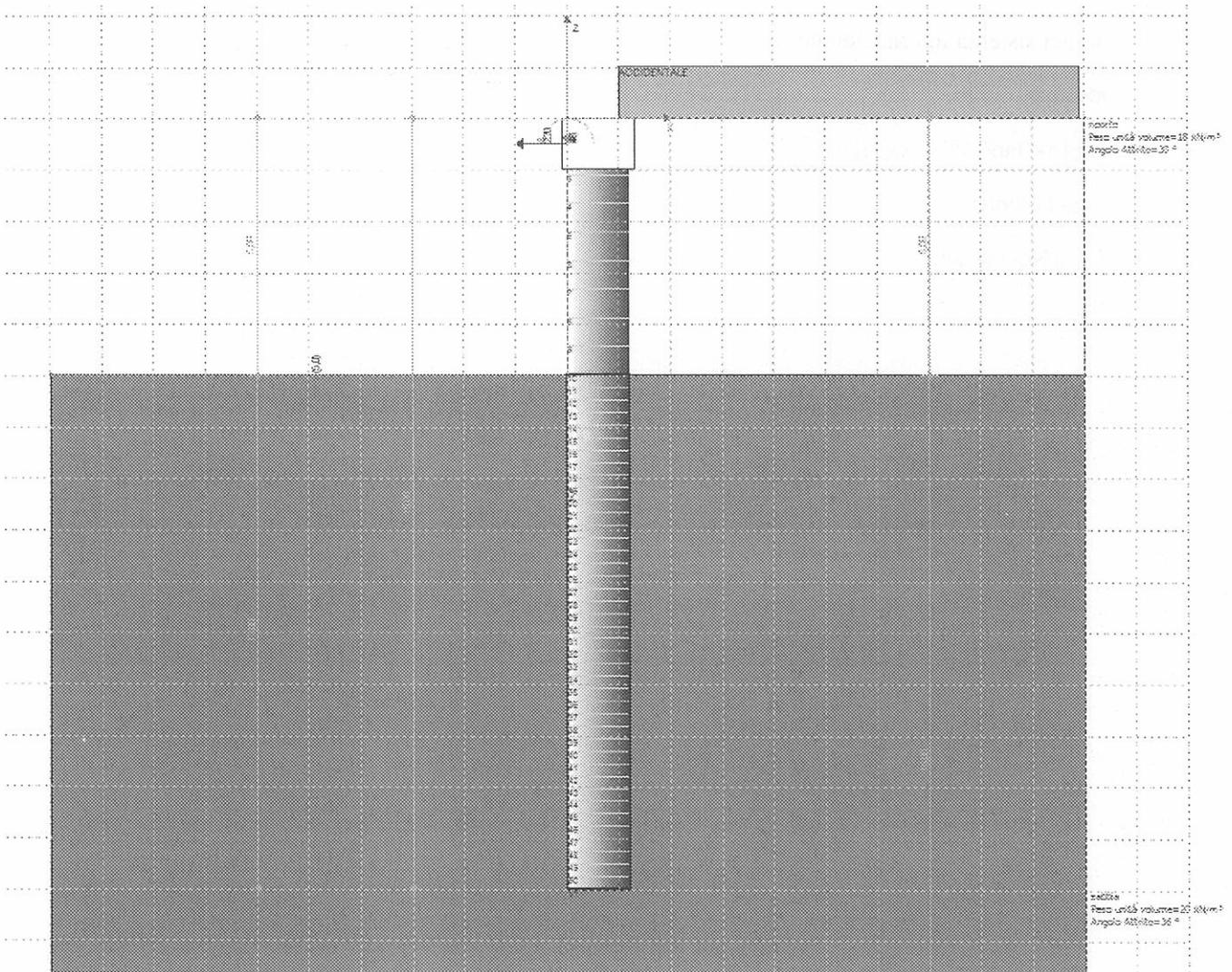
Nc = $(Nq - 1) \times \cot \varphi$

Ng = $1.5 \times (Nq - 1) \times \tan \varphi$

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	20 di 75

7.5 Verifiche della paratia



GEOMETRIA SEZIONE

Sezione	Circolare Barre
Calcestruzzo	C25/30
Acciaio	FeB44k
Nome	palo 1200
Diametro	1,2 m
Disposizione	Singola fila
Interasse Longitudinale	1,4 m

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	21 di 75

Dati generali FEM

Massimo spostamento lineare terreno	1,5 cm
Fattore tollezanza spostamento	0,03 cm
Tipo analisi	Non lineare
Massimo numero di iterazioni	20
Fattore riduzione molla fondo scavo	0,5
Profondità infissione iniziale	9,5 m
Incremento profondità infissione	0,5 m
Numero di elementi	50
Numero nodo di fondo scavo	10

Stratigrafia

Fase: 1

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	18,0	18,0	0,0	30,0	1,0	10000,0	20,0	0,0	5,0	0,0	riporto
2	20,0	20,0	0,0	36,0	1,0	30000,0	22,0	0,0	15,0	0,0	sabbia

Carichi

Fase: 1

Descrizione	Tipo	Xi [m]	Xf [m]	Yi [m]	Yf [m]	Profondità [m]	Valore [kN]-[kPa]
ACCIDENTALE	Uniformi	1	9,9	0	0	0	20

Forze applicate...

Fase: 1

Descrizione	Tipo	Yf [m]	Valore [kN]-[kPa]
L-85	Nz	-0,5	85
L-46	Fx	-0,5	46
L-220	My	-0,5	-220

Analisi Paratia

Profondità massima di infissione

10 [m]

Fase: 1 - Combinazione: 1

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S. Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	22 di 75

Altezza scavo

Tipo:

Nome:

Coefficienti sismici:

5 [m]

S.L.U. [GEO-STR]

FASE UNICA

Kh = 0 , Kv = 0

Coefficienti parziali azioni

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1
3	Spinta falda	1
4	Spinta sismica x	0
5	Spinta sismica y	0
6	ACCIDENTALE	1
7	L-85	1
8	L-46	1
9	L-220	1

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

Profondità di infissione

Pressione massima terreno

Momento massimo

Taglio massimo

10,00 [m]

105,88 [kPa]

717,97 [kNm/m]

157,99 [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]
0,56	8,38	49,33	-220,97	-52,54	1,2054	--
1,11	11,18	148,33	-250,15	-58,62	1,0837	--
1,67	13,97	163,33	-282,74	-66,41	0,9654	--

FVY3- Fermata Parabiago - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	23 di 75

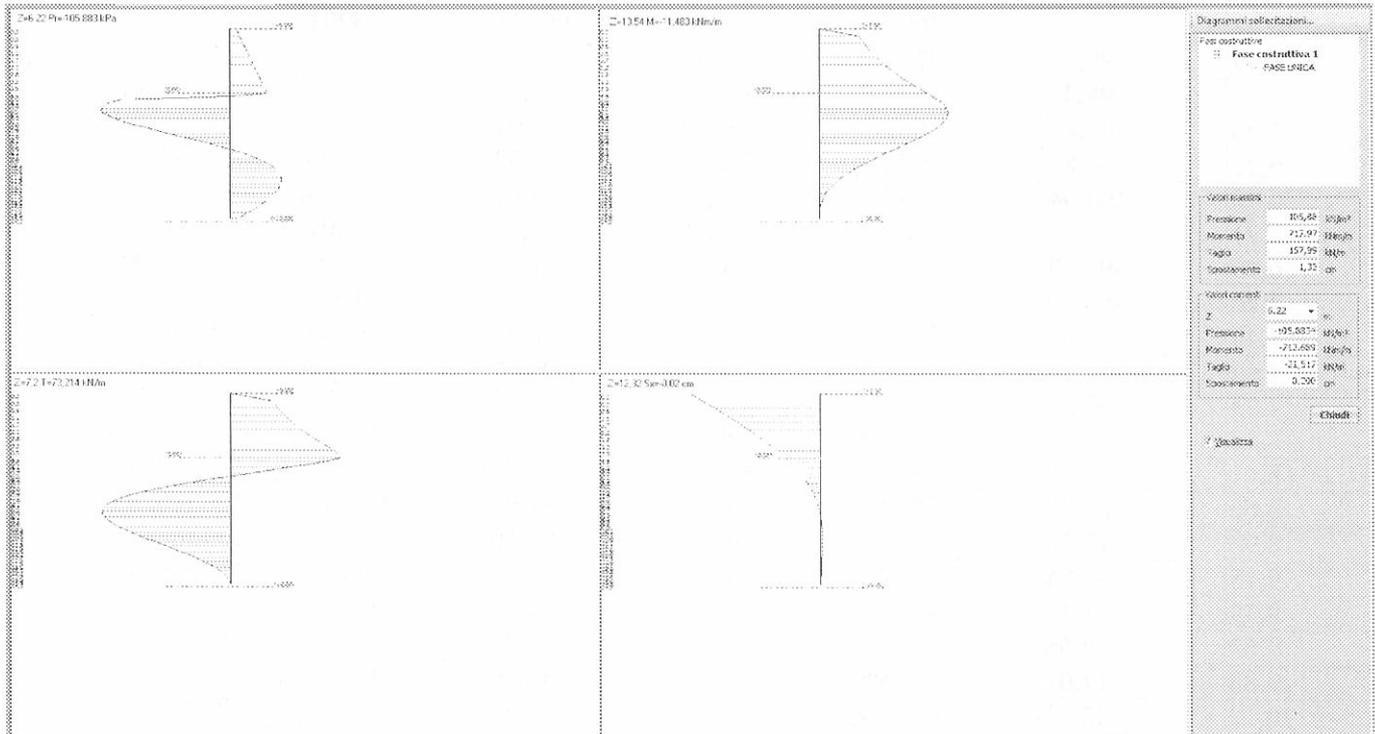
2,22	16,76	178,34	-319,63	-75,81	0,8510	--
2,78	19,56	192,34	-361,72	-86,62	0,7410	--
3,33	22,35	207,34	-409,82	-98,97	0,6361	--
3,89	25,14	222,34	-464,82	-113,04	0,5367	--
4,44	27,94	236,35	-527,60	-127,39	0,4438	--
5,00	30,73	251,35	-598,27	-135,61	0,3582	5425,13
5,24	--	260,18	-631,39	-117,76	0,3231	23387,70
5,49	-89,11	270,01	-660,16	-95,82	0,2898	30754,04
5,73	-98,40	278,84	-683,51	-72,67	0,2581	38120,38
5,98	-103,85	288,67	-701,21	-47,07	0,2283	45486,72
6,22	-105,88	297,50	-712,69	-21,52	0,2003	52853,07
6,46	-104,94	306,33	-717,97	3,99	0,1743	60219,41
6,71	-101,43	316,16	-716,98	28,31	0,1501	67585,75
6,95	-95,78	325,00	-710,07	51,51	0,1278	74952,09
7,20	-88,40	334,83	-697,51	73,21	0,1074	82318,43
7,44	-79,67	343,66	-679,67	92,57	0,0888	89684,77
7,68	-69,96	352,49	-657,09	109,55	0,0721	97051,12
7,93	-59,59	362,32	-630,37	124,02	0,0571	104417,50
8,17	-48,87	371,15	-600,13	135,89	0,0437	111783,80
8,41	-38,09	380,98	-566,99	145,22	0,0320	119150,10
8,66	-27,47	389,81	-531,57	151,91	0,0217	126516,50
8,90	-17,23	398,64	-494,52	156,16	0,0129	133882,80
9,15	-7,54	408,47	-456,43	157,99	0,0053	141249,20
9,39	1,47	417,30	-417,89	157,64	-0,0010	148615,50
9,63	9,68	427,13	-379,44	155,29	-0,0062	155981,80
9,88	17,01	435,96	-341,57	151,09	-0,0104	163348,20
10,12	23,42	444,79	-304,71	145,36	-0,0137	170714,50
10,37	28,87	454,62	-269,26	138,33	-0,0162	178080,80
10,61	33,37	463,45	-235,52	130,14	-0,0180	185447,20
10,85	36,92	473,28	-203,78	121,12	-0,0191	192813,50
11,10	39,56	482,12	-174,25	111,45	-0,0198	200179,80
11,34	41,33	490,95	-147,07	101,33	-0,0199	207546,20
11,59	42,28	500,78	-122,35	90,99	-0,0197	214912,50
11,83	42,47	509,61	-100,17	80,67	-0,0191	222278,80
12,07	41,97	519,44	-80,49	70,36	-0,0183	229645,20
12,32	40,83	528,27	-63,33	60,43	-0,0172	237011,50
12,56	39,13	537,10	-48,59	50,88	-0,0160	244377,90
12,80	36,92	546,93	-36,18	41,87	-0,0147	251744,20
13,05	34,27	555,76	-25,97	33,51	-0,0132	259110,50
13,29	31,21	565,59	-17,80	25,90	-0,0117	266476,80
13,54	27,80	574,42	-11,48	19,11	-0,0102	273843,20
13,78	24,07	583,25	-6,82	13,23	-0,0086	281209,50
14,02	20,06	593,08	-3,60	8,33	-0,0070	288575,90
14,27	15,77	601,91	-1,56	4,48	-0,0053	295942,20
14,51	11,24	611,74	-0,47	1,75	-0,0037	303308,50
14,76	6,46	620,57	-0,04	0,18	-0,0021	310674,90

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	24 di 75

7.6 Diagrammi di sintesi

Sono riportati i diagrammi di sintesi rispettivamente delle SPINTE, del TAGLIO, del MOMENTO e delle DEFORMAZIONI massime agenti nella paratia.



7.7 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:

$$N_d = N \cdot i; M_d = M \cdot i; T_d = T \cdot i$$

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.

Le sollecitazioni nella sezione di momento massimo sono al metro lineare:

Z [m]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]
6,46	306,33	-717,97

a cui corrispondono nella sezione del palo:

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	25 di 75

$M_d = 1,4 \text{ m} \times 718 \text{ kNm/m} = 1008 \text{ kNm}$, (M' rappresenta il momento relativo ad una striscia unitaria di calcolo mentre i è l'interasse tra i pali per paratia costituita da pali).

$N_d = 1,4 \text{ m} \times 306 \text{ kNm/m} = 428 \text{ kN}$

Titolo : **PALO 1200**

Sezione circolare cava

Raggio esterno	60	[cm]
Raggio interno	0	[cm]
N° barre uguali	35	
Diametro barre	2,4	[cm]
Copriferro [baric.]	7	[cm]

N° barre Zoom

Tipo Sezione

- Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni

S.L.U.

Metodo n

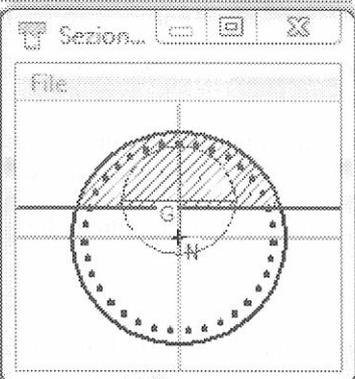
N_{Ed}	0		428	kN
M_{xEd}	0		1008	kNm
M_{yEd}	0		0	

P.to applicazione N

- Centro Baricentro cls
 Coord.[cm]

xN

yN



Metodo di calcolo

- S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

FeB44k

C25/30

ϵ_{su}	67,5	%	ϵ_{c2}	2	%
f_{yd}	373,9	N/mm ²	ϵ_{cu}	3,5	
E_s	200.000	N/mm ²	f_{cd}	14,17	
E_s/E_c	15		f_{cc}/f_{cd}	0,8	?
ϵ_{syd}	1,87	%	$\sigma_{c,adm}$	9,75	
$\sigma_{s,adm}$	255	N/mm ²	τ_{co}	0,6	
			τ_{c1}	1,829	

σ_c -7,159 N/mm²

σ_s 172,7 N/mm²

ϵ_s 0,8635 %

d 112,8 cm

x 43,24 x/d 0,3834

δ 0,9192

Vertici: 52

Verifica

N° iterazioni: 4

Precompresso

I valori delle tensioni risultano inferiori ai valori ammissibili.

Lo sforzo di taglio massimo presente $T_d = 1,4 \text{ m} \times 160 \text{ kN/m} = 224 \text{ kN}$ procura una tensione tangenziale media pari a $T_d/\text{Area}_{\text{palo}} = 22400 \text{ daN} / 11300 \text{ cm}^2 = 1,98 \text{ daN/cm}^2$ inferiore alla t_{co} .

8 MURI DI SOSTEGNO

Il Metodo delle tensioni ammissibili è stato utilizzato per il progetto e la verifica degli elementi strutturali; le sollecitazioni agenti sulla struttura sono state valutate mediante la scelta di analisi agli elementi finiti utilizzando il programma di calcolo MURI della GEOSTRU.

8.1 Generalità

8.1.1 Calcolo della spinta attiva con Coulomb

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Coulomb* è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \times \gamma_t \times z$$

La spinta S_t è applicata ad $1/3 H$ di valore

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

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\text{sen}^2(\beta - \phi)}{\text{sen}^2\beta \times \text{sen}(\beta + \delta) \times \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\delta + \phi) \times \text{sen}(\phi - \epsilon)}{\text{sen}(\beta + \delta) \times \text{sen}(\beta - \epsilon)}} \right]^2}$$

Valori limite di K_A :

$\delta < (\beta - \phi - \epsilon)$ secondo Muller-Breslau

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 terra-muro;

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

H Altezza della parete.

8.1.2 Calcolo della spinta attiva con Rankine

Se $\epsilon = \delta = 0$ e $\beta = 90^\circ$ (muro con parete verticale liscia e terrapieno con superficie orizzontale) la spinta S_t si semplifica nella forma:

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S. Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	27 di 75

$$S_t = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \frac{(1 - \sin \phi)}{(1 + \sin \phi)} = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

che coincide con l'equazione di Rankine per il calcolo della spinta attiva del terreno con terrapieno orizzontale.

In effetti Rankine adottò essenzialmente le stesse ipotesi fatte da Coulomb, ad eccezione del fatto che trascurò l'attrito terra-muro e la presenza di coesione. Nella sua formulazione generale l'espressione di K_a di Rankine si presenta come segue:

$$K_a = \cos \varepsilon \frac{\cos \varepsilon - \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}}{\cos \varepsilon + \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}}$$

8.1.3 Carico uniforme sul terrapieno

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

$$P_q = K_A \times Q \times \sin \beta / \sin(\beta + \varepsilon)$$

Per integrazione, una spinta pari a S_q :

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

Con punto di applicazione ad $H/2$, avendo indicato con K_a il coefficiente di spinta attiva secondo *Muller-Breslau*.

8.1.4 Resistenza passiva

Per terreno omogeneo il diagramma delle pressioni risulta lineare del tipo:

$$P_t = K_p \times \gamma_t \times z$$

per integrazione si ottiene la spinta passiva:

$$S_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_p$$

Avendo indicato con:

$$K_p = \frac{\sin^2(\phi + \beta)}{\sin^2 \beta \times \sin(\beta - \delta) \times \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \times \sin(\phi + \varepsilon)}{\sin(\beta - \delta) \times \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

(Muller-Breslau) con valori limiti di δ pari a:

$$\delta < \beta - \phi - \varepsilon$$

L'espressione di K_p secondo la formulazione di Rankine assume la seguente forma:

$$K_p = \frac{\cos \varepsilon + \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}}{\cos \varepsilon - \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}}$$

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	28 di 75

8.1.5 Carico limite di fondazioni superficiali su terreni

8.1.5.1 Vesic

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$Vd \leq R_d$$

Dove V_d è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre R_d è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$R/A' = (2 + \pi) c_u s_c i_c + q$$

Dove:

A' = $B' L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u coesione non drenata

q pressione litostatica totale sul piano di posa

s_c Fattore di forma

$s_c = 0,2 (B'/L')$ per fondazioni rettangolari

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H .

$$i_c = 1 - \frac{2H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

A_f area efficace della fondazione

c_a aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$R/A' = c' N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \tan \phi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4(B'/L') \quad \text{per forma rettangolare}$$

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	29 di 75

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \phi'} \right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \phi'} \right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$m = \frac{2 + B'/L'}{1 + B'/L'}$$

8.1.6 Sollecitazioni muro

Per il calcolo delle sollecitazioni il muro è stato discretizzato in n-tratti in funzione delle sezioni significative e per ogni tratto sono state calcolate le spinte del terreno (valutate secondo un piano di rottura passante per il paramento lato monte), le risultanti delle forze orizzontali e verticali e le forze inerziali.

8.1.7 Calcolo delle spinte per le verifiche globali

Le spinte sono state valutate ipotizzando un piano di rottura passante per l'estradosso della mensola di fondazione lato monte, tale piano è stato discretizzato in n-tratti.

Convenzione segni

Forze verticali positive se dirette dall'alto verso il basso;

Forze orizzontali positive se dirette da monte verso valle;

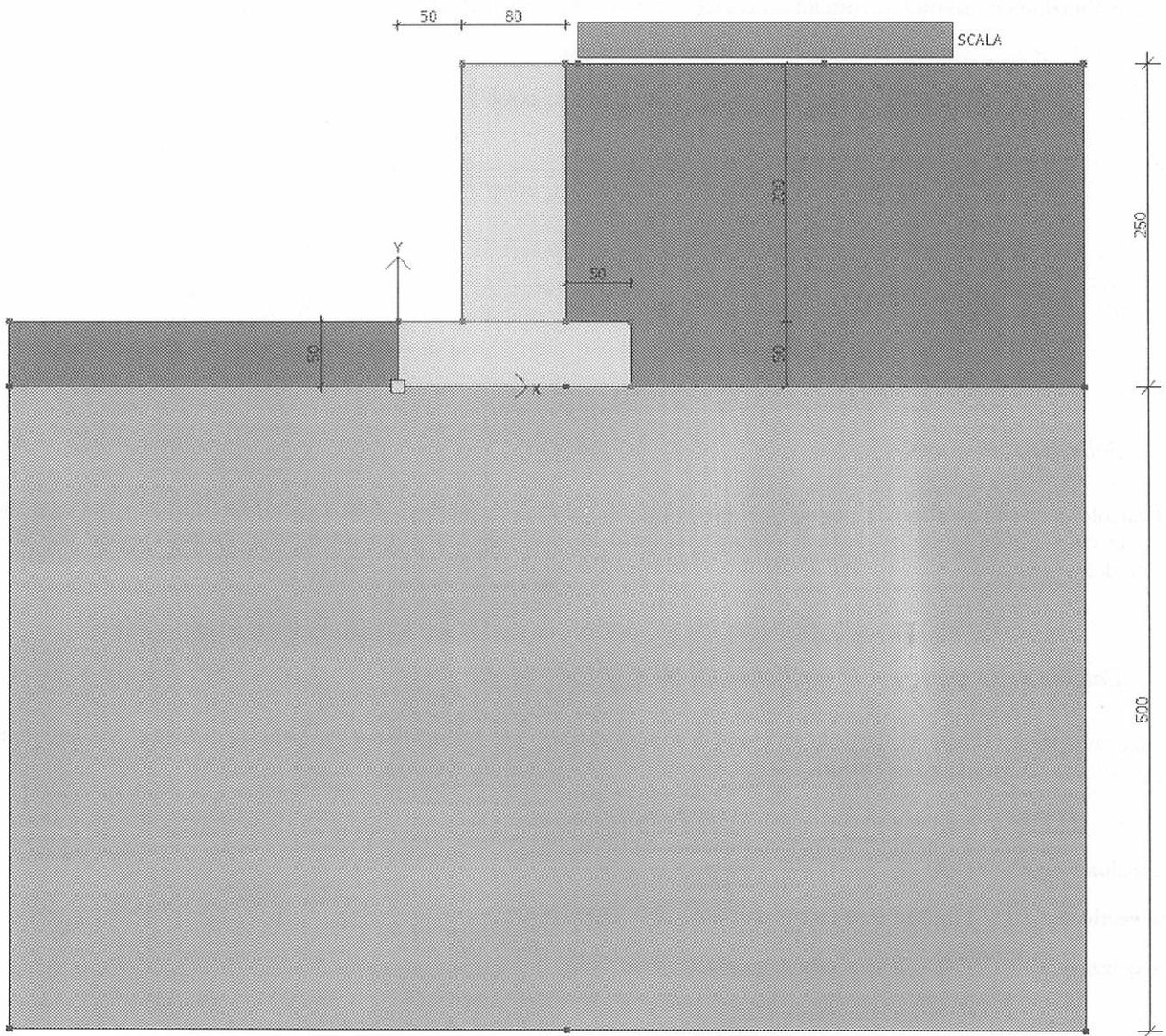
Coppie positive se antiorarie;

Angoli positivi se antiorari.

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	30 di 75

8.2 Muro variabile a sostegno fondazione della scala (quota primo pianerottolo)



Dati generali muro

Altezza muro	200,0 cm
Spessore testa muro	80,0 cm
Risega muro lato valle	0,0 cm

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	31 di 75

Risega muro lato monte	0,0 cm
Sporgenza mensola a valle	50,0 cm
Sporgenza mensola a monte	50,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	50,0 cm
Altezza estremità mensola a monte	50,0 cm

Caratteristiche di resistenze dei materiali impiegati

Classe conglomerato Rck 30

Tensione normale ammissibile	9,71 N/mm ²
Tensione tangenziale ammissibile Tauco	0,6 N/mm ²
Tensione tangenziale ammissibile Tauc1	1,81 N/mm ²

Acciaio Tipo FeB 44K

Modulo elastico	210000 N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	255,0 N/mm ²
Modulo di omogenizzazione (Es/Ec)	15,0
Copriferro, Elevazione	4,0 cm
Copriferro, Fondazione	4,0 cm
Copriferro, Dente di fondazione	4,0 cm

Stratigrafia

DH	Passo minimo
Eps	Inclinazione dello strato.
Gamma	Peso unità di volume

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	32 di 75

Fi Angolo di resistenza a taglio

c Coesione

Delta Angolo di attrito terra muro

P.F. Presenza di falda (Si/No)

Ns	DH (cm)	Eps (°)	Gamma (KN/m ³)	Fi (°)	c (kPa)	Delta (°)	P.F.	Litologia	Descrizione
1	250	0	18,00	30	0,00	0	No		RILEVATO
2	500	0	20,00	36	0,00	0	No		SUBSTRATO

Carichi distribuiti

Descrizione	Ascissa iniziale (cm)	Ascissa finale (cm)	Valore iniziale (kPa)	Valore finale (kPa)	Profondità (cm)
SCALA	10,0	300,0	4,0	4,0	100,0

FATTORI DI COMBINAZIONE

Combinazione Nr. 1

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,00
3	Peso terreno mensola	1,00
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	1,00
6	Spinta sismica in y	1,00
7	SCALA	1,00

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	33 di 75

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1
2	Scorrimento	1
3	Partecipazione spinta passiva	1

Combinazione Nr. 1

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

- Qi Quota iniziale strato (cm);
- Qf Quota finale strato
- Gamma Peso unità di volume (KN/m³);
- Eps Inclinazione dello strato. (°);
- Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
- Delta Angolo attrito terra muro;
- c Coesione (kPa);
- β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
- Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	34 di 75

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
250,0	210,0	18,0	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0	
210,0	170,0	18,0	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0	
170,0	130,0	18,0	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0	
130,0	90,0	18,0	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0	
90,0	50,0	18,0	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta.

Ka Coefficiente di spinta attiva.

Kd Coefficiente di spinta dinamica.

Dk Coefficiente di incremento dinamico.

Kax, Kay Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.

Dkx, Dky Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
0,0	0,33	0,0	0,0	0,33	0,0	0,0	0,0
0,0	0,33	0,0	0,0	0,33	0,0	0,0	0,0
0,0	0,33	0,0	0,0	0,33	0,0	0,0	0,0
0,0	0,33	0,0	0,0	0,33	0,0	0,0	0,0
0,0	0,33	0,0	0,0	0,33	0,0	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota inizio strato.

Qf Quota inizio strato.

Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	35 di 75

Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	250,0	210,0	1,01	0,0	226,84	210,0
2	210,0	170,0	1,97	0,0	188,38	170,0
3	170,0	130,0	2,93	0,0	148,91	130,0
4	130,0	90,0	3,89	0,0	109,18	90,0
5	90,0	50,0	4,85	0,0	69,34	50,0

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzia)

Py Peso del muro (kN);

Px Forza inerziale (kN);

Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
210,0	0,0	8,0	90,0	230,0
170,0	0,0	16,0	90,0	210,0
130,0	0,0	24,0	90,0	190,0
90,0	0,0	32,0	90,0	170,0
50,0	0,0	40,0	90,0	150,0

Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).

Fx Forza in direzione x (kN);

Fy Forza in direzione y (kN);

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	36 di 75

M Momento (kNm);
H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
210,0	1,01	8,0	0,17	80,0
170,0	2,99	16,0	0,94	80,0
130,0	5,92	24,0	2,69	80,0
90,0	9,81	32,0	5,8	80,0
50,0	14,67	40,0	10,67	80,0

Tensioni - Armature parete (T.A.)

Afv Area dei ferri lato valle.
Afm Area dei ferri lato monte.
 σ_c Tensione calcestruzzo (N/mm²);
 σ_{ft} Tensione acciaio teso (N/mm²);
 σ_{fc} Tensione acciaio compresso (N/mm²);
 τ Tensione tangenziale (N/mm²);

Afv	Afm	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	0,01	0,12	0,16	0,0
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	0,03	0,18	0,4	0,0
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	0,05	0,11	0,75	0,01
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	0,09	0,16	1,29	0,01
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	0,16	1,4	2,26	0,02

VERIFICHE GLOBALI

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	37 di 75

Piano di rottura passante per $(x_{r1}, y_{r1}) = (180,0/0,0)$

Piano di rottura passante per $(x_{r2}, y_{r2}) = (180,0/250,0)$

Centro di rotazione $(x_{ro}, y_{ro}) = (0,0/0,0)$

Discretizzazione terreno

- Qi** Quota iniziale strato (cm);
Qf Quota finale strato
Gamma Peso unità di volume (KN/m³);
Eps Inclinazione dello strato. (°);
Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta Angolo attrito terra muro;
c Coesione (kPa);
β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
250,0	210,0	18,0	0,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
210,0	170,0	18,0	0,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
170,0	130,0	18,0	0,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
130,0	90,0	18,0	0,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
90,0	50,0	18,0	0,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
50,0	1,0	18,0	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0	
1,0	0,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta.

FVY3- Fermata Parabiago - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	38 di 75

- Ka Coefficiente di spinta attiva.
 Kd Coefficiente di spinta dinamica.
 Dk Coefficiente di incremento dinamico.
 Kax, Kay Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
 Dkx, Dky Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
30,0	0,3	0,0	0,0	0,26	0,15	0,0	0,0
30,0	0,3	0,0	0,0	0,26	0,15	0,0	0,0
30,0	0,3	0,0	0,0	0,26	0,15	0,0	0,0
30,0	0,3	0,0	0,0	0,26	0,15	0,0	0,0
30,0	0,3	0,0	0,0	0,26	0,15	0,0	0,0
0,0	0,33	0,0	0,0	0,33	0,0	0,0	0,0
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

- Qi Quota inizio strato.
 Qf Quota inizio strato.
 Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
 Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	250,0	210,0	0,78	0,45	226,84	226,84
2	210,0	170,0	1,52	0,88	188,38	188,38
3	170,0	130,0	2,26	1,31	148,91	148,91
4	130,0	90,0	3,01	1,74	109,18	109,18

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	39 di 75

RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

5	90,0	50,0	3,75	2,16	69,34	69,34
6	50,0	1,0	5,91	2,62	24,51	25,5
7	1,0	0,0	0,13	0,05	0,5	0,5

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
Gamma	Peso unità di volume (KN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
50,0	0,0	20,0	180,0	36,0	0,0	0,0	180,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Kp	Coefficiente di resistenza passiva.
Kpx, Kpy	Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva.

μ	Kp	Kpx	Kpy
180,0	1,16	-1,16	0,0

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	40 di 75

Spinte risultanti e punto di applicazione

- Q_i Quota inizio strato.
 Q_f Quota inizio strato.
 R_{px}, R_{py} Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
 $Z(R_{px})$ Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
 $Z(R_{py})$ Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Q_i	Q_f	R_{px}	R_{py}	$z(R_{px})$	$z(R_{py})$
1	50,0	0,0	-2,89	0,0	16,67	0,0

Sollecitazioni totali

- F_x Forza in direzione x (kN);
 F_y Forza in direzione y (kN);
 M Momento (kNm);

	F_x	F_y	M
Spinta terreno	17,37	9,21	-1,24
Peso muro	0,0	40,0	-36,0
Peso fondazione	0,0	22,5	-20,25
Sovraccarico	0,0	2,0	-3,1
Terr. fondazione	0,0	18,0	-27,9
Spinte fondazione	-2,89	0,0	-0,48
	14,48	91,71	-88,96

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	41 di 75

Momento stabilizzante	-103,83	kNm
Momento ribaltante	14,87	kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	17,37 kN
Sommatoria forze verticali	91,71 kN
Coefficiente di attrito	0,73
Adesione	0,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	91,71 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	17,37 kN
Resistenza terreno	69,52 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	4,0

Traslazione verificata $C_{sd} > 1,3$

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-103,83 kNm
Momento ribaltante	14,87 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento C_{sv}	6,98

Muro verificato a ribaltamento $C_{sv} > 1,5$

Carico limite - Metodo di Vesic (1973)

Somma forze in direzione x	14,48 kN
Somma forze in direzione y (F _y)	91,71 kN
Somma momenti	-88,96 kNm
Larghezza fondazione	180,0 cm

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	42 di 75

Lunghezza	1000,0 cm
Eccentricità su B	7,01 cm
Peso unità di volume	20,0 KN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	36,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	50,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	18,0 KN/m ³
Nq	37,75
Nc	50,59
Ng	56,31
sq	1,12
sc	1,12
sg	0,93
iq	0,73
ic	0,72
ig	0,61
Carico limite verticale (Qlim)	1345,57 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	14,67
Carico limite verificato Csq>2	

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	97,01 cm
Larghezza della fondazione	180,0 cm
x = 0,0 cm Tensione...	39,05 kPa
x = 180,0 cm Tensione...	62,85 kPa

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	43 di 75

MENSOLA A VALLE

Xprogr. Ascissa progressiva (cm);
Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);
H Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
50,0	-2,89	-14,93	-3,34	50,0

Armature - Tension i

Afi Area dei ferri inferiori.
Afs Area dei ferri superiori.
 σ_c Tensione calcestruzzo (N/mm²);
 σ_{ft} Tensione acciaio teso (N/mm²);
 σ_{fc} Tensione acciaio compresso (N/mm²);
 τ Tensione tangenziale (N/mm²);

Afi	Afs	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	0,13	6,27	1,49	0,04

MENSOLA A MONTE

Xprogr. Ascissa progressiva (cm);
Fx Forza in direzione x (kN);

FVY3- Fermata Parabiago - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	44 di 75

Fy Forza in direzione y (kN);

M Momento (kNm);

H Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
130,0	0,13	5,69	-3,61	50,0

Armature - Tensioni (T.A.)

Afi Area dei ferri inferiori.

Afs Area dei ferri superiori.

σ_c Tensione calcestruzzo (N/mm²);

σ_{ft} Tensione acciaio teso (N/mm²);

σ_{fc} Tensione acciaio compresso (N/mm²);

τ Tensione tangenziale (N/mm²);

Afi	Afs	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	0,14	8,25	1,45	0,01

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	45 di 75

8.3 Muro variabile a sostegno fondazione della scala (quota arrivo scala)



Dati generali muro

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	46 di 75

Altezza muro	400,0 cm
Spessore testa muro	140,0 cm
Risega muro lato valle	0,0 cm
Risega muro lato monte	0,0 cm
Sporgenza mensola a valle	50,0 cm
Sporgenza mensola a monte	50,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	50,0 cm
Altezza estremità mensola a monte	50,0 cm

Caratteristiche di resistenza dei materiali impiegati

Classe conglomerato Rck 30

Tensione normale ammissibile	9,71 N/mm ²
Tensione tangenziale ammissibile Tauco	0,6 N/mm ²
Tensione tangenziale ammissibile Tauc1	1,81 N/mm ²

Acciaio Tipo FeB 44K

Modulo elastico	210000 N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	255,0 N/mm ²
Modulo di omogenizzazione (Es/Ec)	15,0

Copriferro, Elevazione	4,0 cm
Copriferro, Fondazione	4,0 cm
Copriferro, Dente di fondazione	4,0 cm

Stratigrafia

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	47 di 75

DH Passo minimo
Eps Inclinazione dello strato.
Gamma Peso unità di volume
Fi Angolo di resistenza a taglio
c Coesione
Delta Angolo di attrito terra muro
P.F. Presenza di falda (Si/No)

Ns	DH (cm)	Eps (°)	Gamma (KN/m ³)	Fi (°)	c (kPa)	Delta (°)	P.F.	Litologia	Descrizione
1	450	0	18,00	30	0,00	0	No		RILEVATO
2	500	0	20,00	36	0,00	0	No		SUBSTRATO

Carichi distribuiti

Descrizione	Ascissa iniziale (cm)	Ascissa finale (cm)	Valore iniziale (kPa)	Valore finale (kPa)	Profondità (cm)
SCALA	10,0	300,0	4,0	4,0	100,0

FATTORI DI COMBINAZIONE

Combinazione Nr. 1

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,00
3	Peso terreno mensola	1,00
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	1,00

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	48 di 75

6	Spinta sismica in y	1,00
7	SCALA	1,00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1
2	Scorrimento	1
3	Partecipazione spinta passiva	1

Combinazione Nr. 1

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

- Qi Quota iniziale strato (cm);
- Qf Quota finale strato
- Gamma Peso unità di volume (KN/m³);
- Eps Inclinazione dello strato. (°);
- Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
- Delta Angolo attrito terra muro;

FVY3- Fermata Parabiago - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	49 di 75

- c Coesione (kPa);
 β Angolo perpendicolare al paramento lato monte ($^{\circ}$);
 Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
450,0	370,0	18,0	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0	
370,0	290,0	18,0	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0	
290,0	210,0	18,0	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0	
210,0	130,0	18,0	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0	
130,0	50,0	18,0	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

- μ Angolo di direzione della spinta.
 Ka Coefficiente di spinta attiva.
 Kd Coefficiente di spinta dinamica.
 Dk Coefficiente di incremento dinamico.
 Kax, Kay Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
 Dkx, Dky Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
0,0	0,33	0,0	0,0	0,33	0,0	0,0	0,0
0,0	0,33	0,0	0,0	0,33	0,0	0,0	0,0
0,0	0,33	0,0	0,0	0,33	0,0	0,0	0,0
0,0	0,33	0,0	0,0	0,33	0,0	0,0	0,0
0,0	0,33	0,0	0,0	0,33	0,0	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	50 di 75

Qi Quota inizio strato.

Qf Quota inizio strato.

Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);

Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	450,0	370,0	2,99	0,0	401,43	370,0
2	370,0	290,0	6,83	0,0	326,25	290,0
3	290,0	210,0	10,67	0,0	247,6	210,0
4	210,0	130,0	14,51	0,0	168,24	130,0
5	130,0	50,0	18,35	0,0	88,6	50,0

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzia)

Py Peso del muro (kN);

Px Forza inerziale (kN);

Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
370,0	0,0	28,0	120,0	410,0
290,0	0,0	55,99	120,0	370,0
210,0	0,0	83,99	120,0	330,0
130,0	0,0	111,99	120,0	290,0
50,0	0,0	139,98	120,0	250,0

Sollecitazioni sul muro

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	51 di 75

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).

Fx Forza in direzione x (kN);

Fy Forza in direzione y (kN);

M Momento (kNm);

H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
370,0	2,99	28,0	0,94	140,0
290,0	9,81	55,99	5,8	140,0
210,0	20,48	83,99	17,66	140,0
130,0	34,99	111,99	39,59	140,0
50,0	53,33	139,98	74,67	140,0

Tensioni - Armature parete (T.A.)

Afv Area dei ferri lato valle.

Afm Area dei ferri lato monte.

σ_c Tensione calcestruzzo (N/mm²);

σ_{ft} Tensione acciaio teso (N/mm²);

σ_{fc} Tensione acciaio compresso (N/mm²);

τ Tensione tangenziale (N/mm²);

Afv	Afm	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	0,02	0,25	0,33	0,0
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	0,06	0,35	0,83	0,01
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	0,11	0,15	1,61	0,02
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	0,2	0,79	2,95	0,03

FVY3- Fermata Parabiago - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	52 di 75

5Ø16 (10,05) 5Ø16 (10,05) 0,41 6,29 5,92 0,04

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per $(x_{r1}, y_{r1}) = (240,0/0,0)$

Piano di rottura passante per $(x_{r2}, y_{r2}) = (240,0/450,0)$

Centro di rotazione $(x_{ro}, y_{ro}) = (0,0/0,0)$

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);
Qf Quota finale strato
Gamma Peso unità di volume (KN/m³);
Eps Inclinazione dello strato. (°);
Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta Angolo attrito terra muro;
c Coesione (kPa);
β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
450,0	370,0	18,0	0,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
370,0	290,0	18,0	0,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
290,0	210,0	18,0	0,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
210,0	130,0	18,0	0,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
130,0	50,0	18,0	0,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
50,0	1,0	18,0	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0	
1,0	0,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	53 di 75

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

- μ Angolo di direzione della spinta.
 K_a Coefficiente di spinta attiva.
 K_d Coefficiente di spinta dinamica.
 D_k Coefficiente di incremento dinamico.
 K_{ax}, K_{ay} Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
 D_{kx}, D_{ky} Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	K_a	K_d	D_k	K_{ax}	K_{ay}	D_{kx}	D_{ky}
30,0	0,3	0,0	0,0	0,26	0,15	0,0	0,0
30,0	0,3	0,0	0,0	0,26	0,15	0,0	0,0
30,0	0,3	0,0	0,0	0,26	0,15	0,0	0,0
30,0	0,3	0,0	0,0	0,26	0,15	0,0	0,0
30,0	0,3	0,0	0,0	0,26	0,15	0,0	0,0
0,0	0,33	0,0	0,0	0,33	0,0	0,0	0,0
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

- Q_i Quota inizio strato.
 Q_f Quota inizio strato.
 R_{px}, R_{py} Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
 $Z(R_{px})$ Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
 $Z(R_{py})$ Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

Q_i	Q_f	R_{px}	R_{py}	$z(R_{px})$	$z(R_{py})$
-------	-------	----------	----------	-------------	-------------

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	54 di 75

1	450,0	370,0	2,31	1,33	401,43	401,43
2	370,0	290,0	5,27	3,04	326,25	326,25
3	290,0	210,0	8,24	4,75	247,6	247,6
4	210,0	130,0	11,2	6,47	168,24	168,24
5	130,0	50,0	14,17	8,18	88,6	88,6
6	50,0	1,0	10,45	5,24	24,94	25,5
7	1,0	0,0	0,23	0,11	0,5	0,5

SPINTE IN FONDAZIONE
Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
Gamma	Peso unità di volume (KN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
50,0	0,0	20,0	180,0	36,0	0,0	0,0	180,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Kp	Coefficiente di resistenza passiva.
Kpx, Kpy	Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva.

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	55 di 75

μ	Kp	Kpx	Kpy
180,0	1,16	-1,16	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

- Qi Quota inizio strato.
- Qf Quota inizio strato.
- Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
- Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
- Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	50,0	0,0	-2,89	0,0	16,67	0,0

Sollecitazioni totali

- Fx Forza in direzione x (kN);
- Fy Forza in direzione y (kN);
- M Momento (kNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	51,86	29,12	10,95
Peso muro	0,0	139,98	-167,98
Peso fondazione	0,0	30,0	-36,0
Sovraccarico	0,0	2,0	-4,3
Terr. fondazione	0,0	36,0	-77,4

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	56 di 75

Spinte fondazione	-2,89	0,0	-0,48
	48,97	237,1	-275,21

Momento stabilizzante	-355,57	kNm
Momento ribaltante	80,36	kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	51,86 kN
Sommatoria forze verticali	237,1 kN
Coefficiente di attrito	0,73
Adesione	0,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	237,1 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	51,86 kN
Resistenza terreno	175,15 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	3,38
Traslazione verificata Csd > 1,3	

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-355,57 kNm
Momento ribaltante	80,36 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	4,42
Muro verificato a ribaltamento Csv > 1,5	

Carico limite - Metodo di Vesic (1973)

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	57 di 75

Somma forze in direzione x	48,97 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	237,1 kN
Somma momenti	-275,21 kNm
Larghezza fondazione	240,0 cm
Lunghezza	1000,0 cm
Eccentricità su B	3,93 cm
Peso unità di volume	20,0 KN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	36,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	50,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	18,0 KN/m ³
Nq	37,75
Nc	50,59
Ng	56,31
sq	1,17
sc	1,17
sg	0,91
iq	0,66
ic	0,65
ig	0,52
Carico limite verticale (Qlim)	2042,69 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	8,62
Carico limite verificato Csq>2	

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	116,07 cm
Larghezza della fondazione	240,0 cm

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	58 di 75

x = 0,0 cm Tensione... 108,5 kPa

x = 240,0 cm Tensione... 89,09 kPa

MENSOLA A VALLE

Xprogr. Ascissa progressiva (cm);
Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);
H Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
50,0	-2,89	-46,99	-11,61	50,0

Armature - Tension i

Afi Area dei ferri inferiori.
Afs Area dei ferri superiori.
 σ_c Tensione calcestruzzo (N/mm²);
 σ_{ft} Tensione acciaio teso (N/mm²);
 σ_{fc} Tensione acciaio compresso (N/mm²);
 τ Tensione tangenziale (N/mm²);

Afi	Afs	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	0,46	25,02	4,83	0,11

FVY3- Fermata Parabiago - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	59 di 75

MENSOLA A MONTE.

Xprogr. Ascissa progressiva (cm);
Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);
H Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
190,0	0,23	27,81	-14,38	50,0

Armature - Tensioni (I.A.)

Afi Area dei ferri inferiori.
Afs Area dei ferri superiori.
 σ_c Tensione calcestruzzo (N/mm²);
 σ_{ft} Tensione acciaio teso (N/mm²);
 σ_{fc} Tensione acciaio compresso (N/mm²);
 τ Tensione tangenziale (N/mm²);

Afi	Afs	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	0,56	32,74	5,78	0,07

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	61 di 75

Dati generali muro

Altezza muro	250,0 cm
Spessore testa muro	40,0 cm
Risega muro lato valle	0,0 cm
Risega muro lato monte	0,0 cm
Sporgenza mensola a valle	50,0 cm
Sporgenza mensola a monte	200,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	50,0 cm
Altezza estremità mensola a monte	50,0 cm

Caratteristiche di resistenza dei materiali impiegati

Classe conglomerato Rck 30

Tensione normale ammissibile	9,71 N/mm ²
Tensione tangenziale ammissibile Tauco	0,6 N/mm ²
Tensione tangenziale ammissibile Tauc1	1,81 N/mm ²

Acciaio Tipo FeB 44K

Modulo elastico	210000 N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	255,0 N/mm ²
Modulo di omogenizzazione (Es/Ec)	15,0

Copriferro, Elevazione	4,0 cm
Copriferro, Fondazione	4,0 cm
Copriferro, Dente di fondazione	4,0 cm

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	62 di 75

Stratigrafia

DH Passo minimo
Eps Inclinazione dello strato.
Gamma Peso unità di volume
Fi Angolo di resistenza a taglio
c Coesione
Delta Angolo di attrito terra muro
P.F. Presenza di falda (Si/No)

Ns	DH (cm)	Eps (°)	Gamma (KN/m ³)	Fi (°)	c (kPa)	Delta (°)	P.F.	Litologia	Descrizione
1	300	0	18,00	30	0,00	0	No		RILEVATO
2	500	0	20,00	36	0,00	0	No		SUBSTRATO

FATTORI DI COMBINAZIONE

Combinazione Nr. 1

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,00
3	Peso terreno mensola	1,00
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	1,00
6	Spinta sismica in y	1,00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
-----	-----------	-----------------------

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	63 di 75

1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1
2	Scorrimento	1
3	Partecipazione spinta passiva	1

Combinazione Nr. 1

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

- Qi Quota iniziale strato (cm);
- Qf Quota finale strato
- Gamma Peso unità di volume (KN/m³);
- Eps Inclinazione dello strato. (°);
- Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
- Delta Angolo attrito terra muro;
- c Coesione (kPa);
- β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
- Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
----	----	-------	-----	----	-------	---	---	------

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	64 di 75

300,0	250,0	18,0	37,0	30,0	0,0	0,0	0,0
250,0	200,0	18,0	37,0	30,0	0,0	0,0	0,0
200,0	150,0	18,0	37,0	30,0	0,0	0,0	0,0
150,0	100,0	18,0	37,0	30,0	0,0	0,0	0,0
100,0	50,0	18,0	37,0	30,0	0,0	0,0	0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta.

K_a Coefficiente di spinta attiva.

K_d Coefficiente di spinta dinamica.

D_k Coefficiente di incremento dinamico.

K_{ax} , K_{ay} Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.

D_{kx} , D_{ky} Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	K_a	K_d	D_k	K_{ax}	K_{ay}	D_{kx}	D_{ky}
0,0	0,74	0,0	0,0	0,74	0,0	0,0	0,0
0,0	0,74	0,0	0,0	0,74	0,0	0,0	0,0
0,0	0,74	0,0	0,0	0,74	0,0	0,0	0,0
0,0	0,74	0,0	0,0	0,74	0,0	0,0	0,0
0,0	0,74	0,0	0,0	0,74	0,0	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Q_i Quota inizio strato.

Q_f Quota inizio strato.

R_{px} , R_{py} Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);

$Z(R_{px})$ Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	65 di 75

Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	300,0	250,0	1,65	0,0	266.67	250,0
2	250,0	200,0	4,96	0,0	222.22	200,0
3	200,0	150,0	8,27	0,0	173.33	150,0
4	150,0	100,0	11,58	0,0	123.81	100,0
5	100,0	50,0	14,89	0,0	74.07	50,0

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzia)

Py Peso del muro (kN);

Px Forza inerziale (kN);

Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
250,0	0,0	5,0	70,0	275,0
200,0	0,0	10,0	70,0	250,0
150,0	0,0	15,0	70,0	225,0
100,0	0,0	20,0	70,0	200,0
50,0	0,0	25,0	70,0	175,0

Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).

Fx Forza in direzione x (kN);

Fy Forza in direzione y (kN);

M Momento (kNm);

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	66 di 75

H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
250,0	1,65	5,0	0,28	40,0
200,0	6,62	10,0	2,21	40,0
150,0	14,89	15,0	7,44	40,0
100,0	26,47	20,0	17,65	40,0
50,0	41,36	25,0	34,46	40,0

Tensioni - Armature parete (T.A.)

Afv Area dei ferri lato valle.
Afm Area dei ferri lato monte.
 σ_c Tensione calcestruzzo (N/mm²);
 σ_{ft} Tensione acciaio teso (N/mm²);
 σ_{fc} Tensione acciaio compresso (N/mm²);
 τ Tensione tangenziale (N/mm²);

Afv	Afm	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	0,02	0,06	0,29	0,0
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	0,13	2,3	1,57	0,02
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	0,44	14,9	4,87	0,04
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	1,03	42,16	10,84	0,08
5Ø16 (10,05)	5Ø16 (10,05)	2,0	88,72	20,4	0,12

VERIFICHE GLOBALI

FVY3- Fermata Parabiago - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	67 di 75

Piano di rottura passante per $(x_{r1}, y_{r1}) = (290,0/0,0)$

Piano di rottura passante per $(x_{r2}, y_{r2}) = (290,0/450,7)$

Centro di rotazione $(x_{ro}, y_{ro}) = (0,0/0,0)$

Discretizzazione terreno

- Qi** Quota iniziale strato (cm);
Qf Quota finale strato
Gamma Peso unità di volume (KN/m³);
Eps Inclinazione dello strato. (°);
Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta Angolo attrito terra muro;
c Coesione (kPa);
B Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	B	Note
450,7	300,0	18,0	37,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
300,0	250,0	18,0	37,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
250,0	200,0	18,0	37,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
200,0	150,0	18,0	37,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
150,0	100,0	18,0	37,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
100,0	50,0	18,0	37,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
50,0	1,0	18,0	37,0	30,0	0,0	0,0	0,0	
1,0	0,0	20,0	0,0	36,0	0,0	0,0	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

- μ** Angolo di direzione della spinta.

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	68 di 75

- Ka Coefficiente di spinta attiva.
 Kd Coefficiente di spinta dinamica.
 Dk Coefficiente di incremento dinamico.
 Kax, Kay Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
 Dkx, Dky Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
30,0	0,85	0,0	0,0	0,74	0,42	0,0	0,0
30,0	0,85	0,0	0,0	0,74	0,42	0,0	0,0
30,0	0,85	0,0	0,0	0,74	0,42	0,0	0,0
30,0	0,85	0,0	0,0	0,74	0,42	0,0	0,0
30,0	0,85	0,0	0,0	0,74	0,42	0,0	0,0
30,0	0,85	0,0	0,0	0,74	0,42	0,0	0,0
0,0	0,74	0,0	0,0	0,74	0,0	0,0	0,0
0,0	0,26	0,0	0,0	0,26	0,0	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

- Qi Quota inizio strato.
 Qf Quota inizio strato.
 Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
 Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	450,7	300,0	15,03	8,68	350,23	350,23
2	300,0	250,0	11,63	6,71	273,81	273,81
3	250,0	200,0	14,93	8,62	224,08	224,08

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	69 di 75

4	200,0	150,0	18,24	10,53	174,24	174,24
5	150,0	100,0	21,55	12,44	124,36	124,36
6	100,0	50,0	24,86	14,35	74,45	74,45
7	50,0	1,0	27,57	15,0	25,03	25,5
8	1,0	0,0	0,6	0,31	0,5	0,5

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
Gamma	Peso unità di volume (KN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	Gamma	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
50,0	0,0	20,0	180,0	36,0	0,0	0,0	180,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Kp	Coefficiente di resistenza passiva.
Kpx, Kpy	Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva.

μ	Kp	Kpx	Kpy
---	----	-----	-----

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	70 di 75

180,0 1,16 -1,16 0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

- Q_i Quota inizio strato.
 Q_f Quota inizio strato.
 R_{px} , R_{py} Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
 $Z(R_{px})$ Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
 $Z(R_{py})$ Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Q_i	Q_f	R_{px}	R_{py}	$z(R_{px})$	$z(R_{py})$
1	50,0	0,0	-2,89	0,0	16,67	0,0

Sollecitazioni totali

- F_x Forza in direzione x (kN);
 F_y Forza in direzione y (kN);
 M Momento (kNm);

	F_x	F_y	M
Spinta terreno	134,41	76,65	-20,35
Peso muro	0,0	25,0	-17,5
Peso fondazione	0,0	36,25	-52,56
Sovraccarico	0,0	0,0	0,0
Terr. fondazione	0,0	117,13	-231,56
Spinte fondazione	-2,89	0,0	-0,48
	131,52	255,02	-322,44

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	71 di 75

Momento stabilizzante -523,89 kNm

Momento ribaltante 201,45 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	134,41 kN
Sommatoria forze verticali	255,02 kN
Coefficiente di attrito	0,73
Adesione	0,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	255,02 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	134,41 kN
Resistenza terreno	188,17 kN
Coeff. sicurezza traslazione C_{sd}	1,4
Traslazione verificata C_{sd}>1,3	

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-523,89 kNm
Momento ribaltante	201,45 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento C_{sv}	2,6
Muro verificato a ribaltamento C_{sv}>1,5	

Carico limite - Metodo di Vesic (1973)

Somma forze in direzione x	131,52 kN
Somma forze in direzione y (F _y)	255,02 kN

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	72 di 75

Somma momenti	-322,44 kNm
Larghezza fondazione	290,0 cm
Lunghezza	1000,0 cm
Eccentricità su B	18,56 cm
Peso unità di volume	20,0 KN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	36,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	50,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	18,0 KN/m ³
Nq	37,75
Nc	50,59
Ng	56,31
sq	1,18
sc	1,19
sg	0,9
iq	0,27
ic	0,25
ig	0,13
Carico limite verticale (Qlim)	701,59 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	2,75
Carico limite verificato Csq>2	

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	126,44 cm
Larghezza della fondazione	290,0 cm
x = 0,0 cm Tensione...	121,71 kPa
x = 290,0 cm Tensione...	54,17 kPa

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	73 di 75

MENSOLA A VALLE

Xprogr. Ascissa progressiva (cm);
Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);
H Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
50,0	-2,89	-51,69	-12,91	50,0

Armature - Tension i

Afi Area dei ferri inferiori.
Afs Area dei ferri superiori.
 σ_c Tensione calcestruzzo (N/mm²);
 σ_{ft} Tensione acciaio teso (N/mm²);
 σ_{fc} Tensione acciaio compresso (N/mm²);
 τ Tensione tangenziale (N/mm²);

Afi	Afs	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
5Ø18 (12,72)	5Ø18 (12,72)	0,45	22,23	4,94	0,12

MENSOLA A MONTE

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	74 di 75

Xprogr. Ascissa progressiva (cm);
Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);
H Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
90,0	0,6	63,85	-165,16	50,0

Armature - Tensioni (T.A.)

Afi Area dei ferri inferiori.
Afs Area dei ferri superiori.
 σ_c Tensione calcestruzzo (N/mm²);
 σ_{ft} Tensione acciaio teso (N/mm²);
 σ_{fc} Tensione acciaio compresso (N/mm²);
 τ Tensione tangenziale (N/mm²);

Afi	Afs	σ_c	σ_{ft}	σ_{fc}	τ
5Ø18 (12,72)	6Ø18 (15,27)	5,35	249,72	59,14	0,15

FVY3- Fermata Parabiaco - Accesso S.Anna
RELAZIONE DI CALCOLO MURI E PARATIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
MDL1	12	D 26CL	FV Y3 00 001	A	75 di 75

9 CONCLUSIONI

Dalle verifiche effettuate si può concludere che le strutture risultano rispondere a tutti i requisiti di resistenza e funzionalità previsti con opportuno margine di sicurezza.

L'analisi critica dei risultati e dei parametri di controllo associata al confronto con verifiche di massima eseguite manualmente porta a confermare la validità dei risultati.

Dovrà essere posta attenzione alle effettive misure dello stato di fatto in modo da posizionare la struttura in oggetto in maniera conforme alle indicazioni di progetto.

Ai fini della verifica delle prestazioni il collaudatore farà riferimento ai valori di tensioni, deformazioni e spostamenti desumibili dall'allegato fascicolo dei calcoli statici per il valore delle azioni pari a quelle di esercizio.

