

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE  
OBIETTIVO N. 443/01  
LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA  
Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza  
PROGETTO ESECUTIVO  
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77  
A - IMPALCATO  
RELAZIONE DI CALCOLO MURI**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio Iricav Due ing. Guido Fratini Data: Febbraio 2021	Valido per costruzione ing. Luca ZACCARIA iscritto all'ordine degli ingegneri di Ravenna n. A1206 Data: Febbraio 2021		

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

I N 1 7    1 0    Y    I 2    C L    I V 0 9 A 0    0 0 4    A    - - - Di - - -

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	ing. Luca RANDOLFI	Febbraio 2021

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	Recepimento prescrizioni Del. CIPE n. 84/2017	ing. Luca RANDOLFI	Febbraio 2021	ing. Luca RANDOLFI	Febbraio 2021	ing. Giovanni MALAVENDA	Febbraio 2021	
								Data: Febbraio 2021

CIG. 8377957CD1    CUP: J41E91000000009    File: IN1710Y12CLIV09A0004A  
Cod. origine:



Progetto cofinanziato  
dalla Unione Europea

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 2 di 66	

## Sommario

<b>PREMESSA</b> .....	3
<b>DESCRIZIONE DELL'OPERA</b> .....	4
<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	6
<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI</b> .....	7
<b>CALCESTRUZZO</b> .....	7
<b>FONDAZIONI</b> .....	7
<b>MURI</b> .....	7
<b>ACCIAIO PER ARMATURE</b> .....	8
<b>COPRIFERRI MINIMI</b> .....	8
<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b> .....	8
<b>TERRENO DI FONDAZIONE</b> .....	8
<b>TERRENO DI RINFIANCO</b> .....	8
<b>ANALISI DEI CARICHI E CONDIZIONI DI CARICO</b> .....	10
<b>CARICHI PERMANENTI G</b> .....	10
<b>CARICHI ACCIDENTALI STRADALI Q<sub>1</sub></b> .....	10
<b>AZIONI SISMICHE Q<sub>2</sub></b> .....	10
<b>COMBINAZIONI DI CARICO</b> .....	18
<b>CRITERI DI CALCOLO</b> .....	21
<b>CRITERI DI VERIFICA</b> .....	28
<b>VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO</b> .....	28
<b>VERIFICA A FESSURAZIONE</b> .....	28
<b>VERIFICA DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO</b> .....	29
<b>VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI</b> .....	29
<b>SOLLECITAZIONI FLETTENTI</b> .....	29
<b>SOLLECITAZIONI TAGLIANTI</b> .....	30
<b>ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI E VERIFICHE</b> .....	31
<b>VERIFICHE MURO 'TIPO 1'</b> .....	31
<b>ALLEGATO 1: OUTPUT DEL PROGRAMMA DI CALCOLO – MURO 'TIPO 1'</b> .....	36





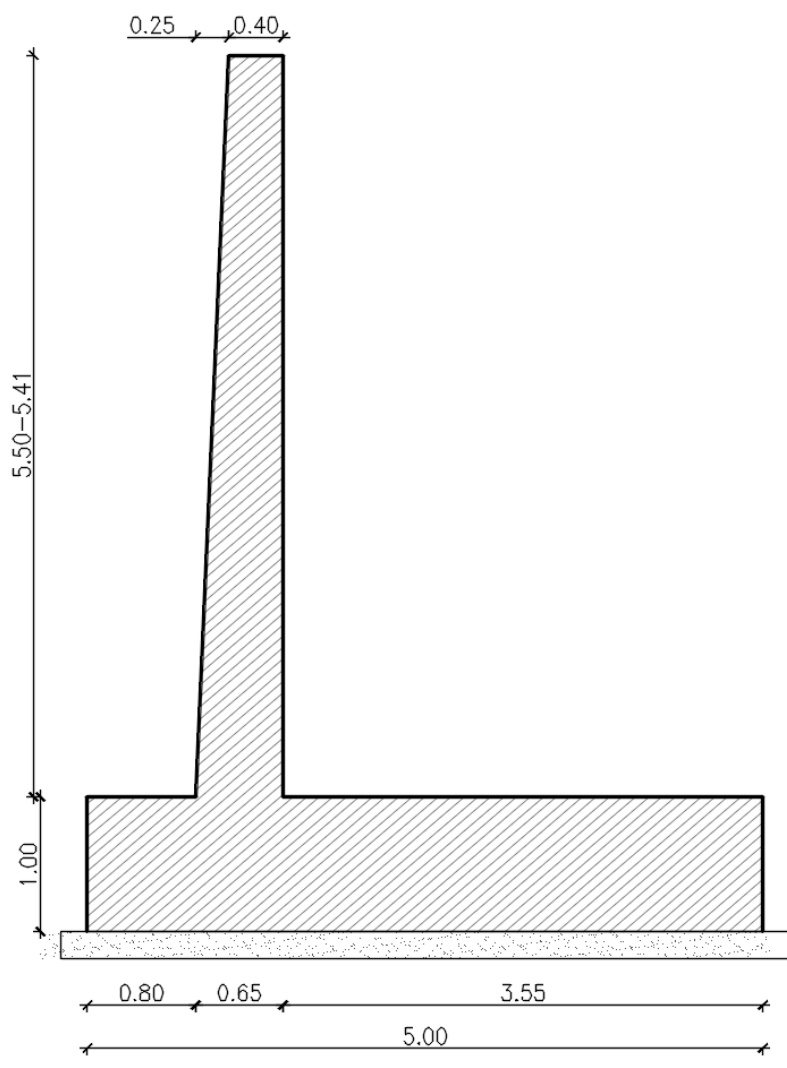


Figura 3: Sezione Muro – prosecuzione spalla altezza variabile

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 6 di 66	

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si riporta nel seguito l'elenco delle normative di riferimento.

Legge 5-1-1971 n° 1086: "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica";

Legge. 2 febbraio 1974, n. 64.: "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";

D.M. 14 gennaio 2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni;

Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008;

UNI EN 206-1-2001: Calcestruzzo. "Specificazione, prestazione, produzione e conformità";

UNI ENV 1992-2: Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 2. Ponti di calcestruzzo;

"Specifica per la progettazione e l'esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria" - RFI DTC INC PO SP IFS 002 A;

"Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie" - RFI DTC INC CS SP IFS 001 A;

"Specifica per il progetto, la produzione, il controllo della produzione e la posa in opera dei dispositivi di vincolo e dei coprigiunti degli impalcati ferroviari e dei cavalcavia" - RFI DTC INC PO SP IFS 005 A.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 7 di 66	

## CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

Di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali impiegati:

### CALCESTRUZZO

#### FONDAZIONI

Per le strutture in fondazione si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XC2

**C25/30**:  $f_{ck} \geq 25$  MPa  $R_{ck} \geq 30$  MPa

Classe minima di consistenza: S4

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	$R_{ck}$	<b>30</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	24,90	N/mm <sup>2</sup>
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	32,90	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	16,60	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	14,11	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3} \quad [R_{ck} < 50/60]$	2,56	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	1,79	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$	3,07	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1,19	N/mm <sup>2</sup>
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	31447	N/mm <sup>2</sup>

#### MURI

Classe d'esposizione: XC4

**C32/40**:  $f_{ck} \geq 32$  MPa  $R_{ck} \geq 40$  MPa

Classe minima di consistenza: S4

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	$R_{ck}$	<b>40</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	33,20	N/mm <sup>2</sup>
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	41,20	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	22,13	N/mm <sup>2</sup>

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 8 di 66

Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	18,81	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3} \quad [R_{ck} < 50/60]$	3,10	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	2,17	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$	3,72	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1,45	N/mm <sup>2</sup>
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	33643	N/mm <sup>2</sup>

## ACCIAIO PER ARMATURE

Tipo B450C saldabile, per diametri compresi tra 6 e 40 mm:

$$f_{ynom} = 450 \text{ MPa}$$

$$f_{tnom} = 540 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} \geq f_{ynom} \text{ frattile } 5\%$$

$$f_{tk} \geq f_{tnom} \text{ frattile } 5\%$$

$$1.15 \leq (f_t/f_y)_k \leq 1.35 \text{ frattile } 10\%$$

$$(f_y/f_{ynom})_k \leq 1.25 \text{ frattile } 10\%$$

$$\text{Allungamento } (A_{gt})_k \geq 7.5\% \text{ frattile } 10\%$$

Reti e tralicci elettrosaldati:

$$f_{yk} \geq 390 \text{ MPa}$$

$$f_{tk} \geq 440 \text{ MPa}$$

$$(f_{tk}/f_{yk}) \geq 1.10$$

## COPRIFERRI MINIMI

Si riportano di seguito i copriferri minimi per le strutture in calcestruzzo armato:

Strutture controterra	5 cm
Elevazione	5 cm

## CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

### TERRENO DI FONDAZIONE

Relativamente alle caratteristiche geotecniche del terreno si faccia riferimento agli elaborati specifici.

### TERRENO DI RINFIANCO



<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 9 di 66	

Sono riassunte nel prospetto riportato di seguito le caratteristiche del terreno di rinfianco (con  $\gamma$  pari al peso specifico del terreno;  $\gamma_{\text{sat}}$  pari al peso specifico saturo del terreno;  $c'$  pari alla coesione;  $\varphi'$  pari all'angolo di attrito;  $K_0$  coefficiente di spinta a riposo):

Parametri del terreno				
$\gamma$	$\gamma_{\text{sat}}$	$c'$	$\varphi'$	$K_0$
( $\text{kN/m}^3$ )	( $\text{kN/m}^3$ )	(kPa)	( $^\circ$ )	(-)
20.00	20.00	0.0	35.0	0.426

Figura 4: Parametri geotecnici del terreno di rinfianco

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 10 di 66	

## ANALISI DEI CARICHI E CONDIZIONI DI CARICO

Le opere in esame sono soggette al peso proprio, a quello permanente del terreno di riporto, oltre che alla spinta attiva calcolata in automatico dal software di calcolo, come si mostrerà in seguito. A tergo del muro si pone in aggiunta anche un sovraccarico accidentale per simulare il traffico sul rilevato stradale da sostenere.

Nel seguito si riportano le analisi dei carichi relative ad ogni azione elementare agente sulla struttura in esame.

### CARICHI PERMANENTI G

I carichi permanenti sono rappresentati dai pesi propri delle strutture portanti. Essi sono valutati sulla base della geometria degli elementi strutturali e del peso specifico assunto per il calcestruzzo ( $\gamma=25\text{kN/m}^3$ ).

### CARICHI ACCIDENTALI STRADALI Q<sub>1</sub>

Per le opere di sottoscarpa a tergo del muro si pone un sovraccarico accidentale pari a  $q = 20 \text{ kN/m}^2$  per simulare il traffico sul rilevato stradale da sostenere.

### AZIONI SISMICHE Q<sub>2</sub>

Nel presente paragrafo si riporta la descrizione e la valutazione dell'azione sismica secondo le specifiche del D.M. 14 gennaio 2008.

L'azione sismica è descritta mediante spettri di risposta elastici e di progetto. In particolare nel D.M. 14 gennaio 2008, vengono presentati gli spettri di risposta in termini di accelerazioni orizzontali e verticali.

L'espressione analitica dello spettro di risposta elastico in termini di accelerazione orizzontale è la seguente:

$$0 \leq T \leq T_B \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T \leq T_D \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T_D \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T} \right)$$

In cui:

$$S = S_s \cdot S_T,$$

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 11 di 66

$S_s$  : coefficiente di amplificazione stratigrafico;

$S_T$  : coefficiente di amplificazione topografica.

$\eta$ : fattore che tiene conto di un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi$ , espresso in punti percentuali diverso da 5 ( $\eta=1$  per  $\xi=5$ ):

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55$$

$F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$a_g$ : accelerazione massima al suolo;

T: periodo di vibrazione dell'oscillatore semplice;

$T_B, T_C, T_D$ : periodi che separano i diversi rami dello spettro, e che sono pari a:

$$T_C = C_C \cdot T^*_c$$

$$T_B = \frac{T_C}{3}$$

$$T_D = 4.0 + \frac{a_g}{g} + 1.6$$

In cui :

$C_C$  : coefficiente che tiene conto della categoria del terreno;

$T^*_c$  : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

L'espressione analitica dello spettro di risposta elastico in termini di accelerazione verticale è la seguente:

$$0 \leq T \leq T_B \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T \leq T_D \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \longrightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T} \right)$$

nelle quali:

$S = S_S \times S_T$ : con  $S_S$  pari sempre a 1

$\eta$ : fattore che tiene conto di un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi$ , espresso in punti percentuali diverso da 5 ( $\eta=1$  per  $\xi=5$ ):

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 12 di 66	

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55 ;$$

T: periodo di vibrazione dell'oscillatore semplice;

$T_B, T_C, T_D$ : periodi che separano i diversi rami dello spettro, e che sono pari a:

$$T_C = 0.05 ; \quad T_B = 0.15 ; \quad T_D = 1.0 ;$$

$$F_V = 1.35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0.5}$$

Di seguito si riporta il calcolo dei parametri per la valutazione degli spettri in accelerazione orizzontale e verticale.

### Vita Nominale

La vita nominale di un'opera strutturale ( $V_N$ ), è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella tabella seguente.

	TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale (VN)
1	Opere provvisorie- Opere provvisionali- Strutture in fase costruttiva	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale  $V_N = 100$  anni (categoria 3).

### Classi D'uso

Il Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 prevede quattro categorie di classi d'uso riportate nel seguito:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe III o in Classe IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 13 di 66

Classe III Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione di strade", e di tipo quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti o reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Per l'opera in oggetto si considera una Classe d'uso III.

#### Periodo di Riferimento dell'Azione Sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_n$  per il coefficiente d'uso  $C_u$ :

$$V_R = V_n \cdot C_u$$

Il valore del coefficiente d'uso  $C_u$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella tabella seguente:

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0.7	1	1.5	2

Pertanto per l' opera in oggetto il periodo di riferimento è pari a  $100 \times 1.5 = 150$  anni.

#### Stati limite e relative probabilità di superamento

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

#### Stati limite di esercizio

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 					
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="837 235 965 286">Progetto IN17</td> <td data-bbox="965 235 1061 286">Lotto 10</td> <td data-bbox="1061 235 1348 286">Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004</td> <td data-bbox="1348 235 1428 286">Rev. A</td> <td data-bbox="1428 235 1540 286">Foglio 14 di 66</td> </tr> </table>	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 14 di 66
Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 14 di 66		

**Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

**Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile all'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Stati limite ultimi

**Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture o crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione invece conserva una parte della resistenza e della rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche.

La probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportati nella tabella successiva.

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$	
Stati limite di esercizio	SLO	81%	
	SLD	63%	
Stati limite ultimi	SLV	10%	
	SLC	5%	

In accordo alle specifiche di norma le azioni sismiche per il dimensionamento dell'opera sono quelle relative allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV). Le azioni sismiche relative allo stato limite di operatività (SLO) e allo stato limite di danno (SLD) non sono state considerate perché poco significative in relazione alle combinazioni di natura statica.

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 15 di 66	

### Accelerazione ( $a_g$ ), fattore ( $F_0$ ) e periodo ( $T^*_c$ )

Ai fini del D.M. 14-01-2008 le forme spettrali, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , sono definite a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$ : accelerazione orizzontale massima sul sito;

$F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T^*_c$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I parametri prima elencati dipendono dalle coordinate geografiche, espresse in termini di latitudine e longitudine, del sito interessato dall'opera, dal periodo di riferimento ( $V_R$ ), e quindi dalla vita nominale ( $V_N$ ) e dalla classe d'uso ( $C_U$ ) e dallo stato limite considerato. Si riporta nel seguito la valutazione di detti parametri per i vari stati limite.

Latitudine: 45.396213°

Longitudine: 11.195707°

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_n$	0.234 g
$F_n$	2.434
$T^*_c$	0.284 s
$S_s$	1.359
$C_C$	1.591
$S_T$	1.000
$q$	1.000

#### Parametri dipendenti

$S$	1.359
$\eta$	1.000
$T_B$	0.151 s
$T_C$	0.452 s
$T_D$	2.535 s

Figura 5: Valutazione dei parametri di pericolosità sismica

### Classificazione dei terreni

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, la valutazione dell'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, deve essere basata su studi specifici di risposta sismica locale esistenti nell'area di intervento.

In mancanza di tali studi la normativa prevede la classificazione, riportata nella tabella seguente, basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio  $V_{s30}$ , ovvero sul numero medio di colpi NSPT ottenuti in una prova penetrometrica dinamica (per terreni

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 		<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 16 di 66</p>	

prevalentemente granulari), ovvero sulla coesione non drenata media  $c_u$  (per terreni prevalentemente coesivi).

Categoria di suolo di fondazione	Descrizione
Cat. A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.
Cat. B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)
Cat. C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)
Cat. D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)
Cat. E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)
Cat. S1	Depositati di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
Cat. S2	Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Dalle prove eseguite risulta che i terreni di fondazione risultano appartenere alla **categoria C**.



<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 17 di 66

### Amplificazione stratigrafica

I due coefficienti prima definiti,  $S_s$  e  $C_c$ , dipendono dalla categoria del sottosuolo come mostrato nel prospetto seguente.

Per i terreni di categoria A, entrambi i coefficienti sono pari a 1, mentre per le altre categorie i due coefficienti sono pari a:

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

### Amplificazione topografica

Per poter tenere conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella seguente tabella.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo con inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo con inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4

Nel caso in esame  $S_T = 1$

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 18 di 66	

### Parametri sismici

– Accelerazione max. di progetto $a_{max\_g}/g$ :	0.234
– Fattore $F_0$ di amplificazione dello spettro:	2.434
– Fattore $S_s$	1.359

## COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni delle azioni per lo svolgimento delle verifiche strutturali sono state definite in accordo a quanto riportato nella Normativa vigente, D.M. 14 gennaio 2008.

Si distinguono combinazioni di carico di tipo **A1-M1** nelle quali vengono incrementati i carichi permanenti e lasciati inalterati i parametri di resistenza del terreno e combinazioni di carico di tipo **A2-M2** nelle quali vengono ridotti i parametri di resistenza del terreno e lasciati inalterati i carichi. Operando in tal modo si ottengono valori delle spinte (azioni) maggiorate e valori di resistenza ridotti e pertanto nelle verifiche globali è possibile fare riferimento a coefficienti di sicurezza unitari. Le verifiche da condurre, in particolare, sono quella di ribaltamento, di scorrimento e di stabilità globale, secondo quanto descritto in seguito.

I valori dei coefficienti amplificativi o riduttivi delle azioni, i valori dei coefficienti riduttivi dei parametri geotecnici e quelli delle resistenze da applicare per le verifiche agli stati limite ultimi sono riportate di seguito:

Normativa: N.T.C. 2008

### *Simbologia adottata*

$\gamma_{Gsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Gfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Qsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{Qfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{\tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
$\gamma_{c'}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
$\gamma_{cu}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
$\gamma_{qu}$	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
$\gamma_{\gamma}$	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

### Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 19 di 66	

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

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>EQU</i>	<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	0,90	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,10	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,50	1,50	1,30

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

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$		1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$		1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$		1,00	1,00

**Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche**

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

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>EQU</i>	<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,00	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,00	1,00	1,00

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

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$		1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$		1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$		1,00	1,00

**FONDAZIONE SUPERFICIALE**

**Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO**

*Verifica*

*Coefficienti parziali*

	R1	R2	R3
Capacità portante della fondazione	1,00	1,00	1,40
Scorrimento	1,00	1,00	1,10
Resistenza del terreno a valle	1,00	1,00	1,40
Stabilità globale		1,10	

Coeff. di combinazione  $\Psi_0= 0,70$      $\Psi_1= 0,50$      $\Psi_2= 0,20$

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 21 di 66	

## CRITERI DI CALCOLO

### Criteria di calcolo della spinta sul muro

#### Valori caratteristici e valori di calcolo

Effettuando il calcolo tramite gli Eurocodici è necessario fare la distinzione fra i parametri caratteristici ed i valori di calcolo (o di progetto) sia delle azioni che delle resistenze, come anticipato sopra.

I valori di calcolo si ottengono dai valori caratteristici mediante l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza parziali, sopra riportati. In particolare si distinguono combinazioni di carico di tipo A1-M1 nelle quali vengono incrementati i carichi permanenti e lasciati inalterati i parametri di resistenza del terreno e combinazioni di carico di tipo A2-M2 nelle quali vengono ridotti i parametri di resistenza del terreno e lasciati inalterati i carichi.

Operando in tal modo si ottengono valori delle spinte (azioni) maggiorate e valori di resistenza ridotti e pertanto nelle verifiche globali è possibile fare riferimento a coefficienti di sicurezza unitari.

#### Metodo di Culmann

Il calcolo della struttura è stato svolto utilizzando il software Max 10.0 della Aztec Informatica.

Per la risoluzione del modello di calcolo si è optato per l'utilizzo del metodo di Culmann che adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio ( $W$ ), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura ( $R$  e  $C$ ) e resistenza per coesione lungo la parete ( $A$ );
  - dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta  $S$  sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 22 di 66	

La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno.

Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb. Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta  $S$  rispetto all'ordinata  $z$ . Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

### Spinta in presenza di sisma

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si utilizza il metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.

Detta  $\varepsilon$  l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e  $\beta$  l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta  $S'$  considerando un'inclinazione del terrapieno e della parete pari a:

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta$$

$$\beta' = \beta + \theta$$

dove  $\theta = \arctg(k_h / (1 \pm k_v))$  essendo  $k_h$  il coefficiente sismico orizzontale e  $k_v$  il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di  $k_h$ .

In presenza di falda a monte,  $\theta$  assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità:

$$\theta = \arctg\left[\left(\frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w}\right) * \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)\right]$$

Terreno a permeabilità elevata:

$$\theta = \arctg\left[\left(\frac{\gamma}{\gamma_{sat} - \gamma_w}\right) * \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)\right]$$

Detta  $S$  la spinta calcolata in condizioni statiche, l'incremento di spinta da applicare è espresso da:

$$\Delta S = AS' - S$$

dove il coefficiente  $A$  vale:

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 23 di 66	

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2 \beta \cos \theta}$$

Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente A viene posto pari a 1.

Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico.

Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come:

$$F_{iH} = k_h W \quad F_{iV} = \pm k_v W$$

dove W è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi.

Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta. La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

### Verifica a ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante  $M_r$ ) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante  $M_s$ ) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto  $M_s/M_r$  sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza  $\eta_r$ .

Eseguendo il calcolo mediante le NTC di cui al D.M. 14/01/2008, secondo la combinazione EQU, si può impostare  $\eta_r \geq 1.0$ .

Deve quindi essere verificata la seguente disequaglianza:

$$\frac{M_s}{M_r} \geq \eta_r$$

Il momento ribaltante  $M_r$  è dato dalla componente orizzontale della spinta S, dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 24 di 66

bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terra-muro  $\delta$  è positivo, ribaltante se  $\delta$  è negativo. L'angolo d'attrito  $\delta$  è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è il muro che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli). Se sono presenti dei tiranti essi contribuiscono al momento stabilizzante.

Questa verifica ha significato solo per fondazione superficiale e non per fondazione su pali.

### Verifica a scorrimento

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento  $F_r$  e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro  $F_s$  risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza  $\eta_s$

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare  $\eta_s \geq 1.0$ .

Deve quindi essere verificata la seguente disequaglianza :

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

Le forze che intervengono nella  $F_s$  sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta  $N$  la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con  $\delta_f$  l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con  $c_a$  l'adesione terreno-fondazione e con  $B_f$  la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come:

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_f$$

### Verifica a capacità portante della fondazione



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17    Lotto 10    Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004    Rev. A    Foglio 25 di 66

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione deve essere superiore a  $\eta_q$ . Cioè, detto  $Q_u$ , il carico limite ed  $R$  la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$\frac{Q_u}{R} \geq \eta_q$$

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici, si può impostare  $\eta_q \geq 1.0$ .

*Terzaghi* ha proposto la seguente espressione per il calcolo della capacità portante di una fondazione superficiale.

$$q_u = cN_c s_c + qN_q + 0.5B\gamma N_\gamma s_\gamma$$

La simbologia adottata è la seguente:

- $c$  coesione del terreno in fondazione;
- $\phi$  angolo di attrito del terreno in fondazione;
- $\gamma$  peso di volume del terreno in fondazione;
- $B$  larghezza della fondazione;
- $D$  profondità del piano di posa;
- $q$  pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I fattori di capacità portante sono espressi dalle seguenti relazioni:

$$N_q = \frac{e^{2(0.75\pi - \phi/2)\text{tg}(\phi)}}{2\cos^2(45 + \phi/2)}$$

$$N_c = (N_q - 1)\text{ctg}\phi$$

$$N_\gamma = \frac{\text{tg}\phi}{2} \left( \frac{K_{p\gamma}}{\cos^2\phi} - 1 \right)$$

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 26 di 66	

I fattori di forma  $s_c$  e  $s_\gamma$  che compaiono nella espressione di  $q_u$  dipendono dalla forma della fondazione. In particolare valgono 1 per fondazioni nastriformi o rettangolari allungate e valgono rispettivamente 1.3 e 0.8 per fondazioni quadrate.

Il termine  $K_{p\gamma}$  che compare nell'espressione di  $N_\gamma$  non ha un'espressione analitica. Pertanto si assume per  $N_\gamma$  l'espressione proposta da Meyerhof:

$$N_\gamma = (N_q - 1) \text{tg}(1.4 \cdot \phi)$$

### Verifica a stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a  $\eta_g$

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare  $\eta_g \geq 1.0$

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro o con i pali di fondazione. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità del muro. Il numero di strisce è pari a 50.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \text{tg} \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine  $m$  è espresso da

$$m = \left( 1 + \frac{\text{tg} \phi \text{tg} \alpha_i}{\eta} \right) \cos \alpha_i$$

In questa espressione  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia  $i_{\text{esima}}$  rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia  $i_{\text{esima}}$ ,

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 27 di 66

$c_i$  e  $\phi_i$  sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed  $u_i$  è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine  $m$  che è funzione di  $\eta$ . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per  $\eta$  da inserire nell'espressione di  $m$  ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 28 di 66	

## CRITERI DI VERIFICA

Le verifiche di sicurezza sulle varie parti dell'opera, per le varie combinazioni di carico vengono effettuate sulla base dei criteri definiti dalle vigenti norme tecniche ("Norme tecniche per le costruzioni" D.M. 14 gennaio 2008).

In particolare vengono effettuate le verifiche agli stati limite di servizio, riguardanti gli stati di fessurazione e di deformazione, ed allo stato limite ultimo.

Si specificano di seguito i criteri di verifica adottati per le verifiche della struttura.

## VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

### VERIFICA A FESSURAZIONE

Le verifiche a fessurazione sono eseguite adottando i criteri definiti nel paragrafo 4.1.2.2.4.5 del D.M. 14 gennaio 2008. Con riferimento alle classi di esposizione delle varie parti della struttura (si veda il paragrafo relativo alle caratteristiche dei materiali impiegati, nella presente relazione), alle corrispondenti condizioni ambientali (condizioni molto aggressive) ed alla sensibilità delle armature alla corrosione (poco sensibili per gli acciai ordinari), si individua lo stato limite di fessurazione per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture:

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

Figura 6: Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione - Tabella 4.1.IV del D.M. 14 gennaio 2008

#### 1. Per le strutture di fondazione ed elevazione:

- *Classe di esposizione e condizioni ambientali:*

Lato terra e lato scavo: XC4-XF1 → condizioni ambientali aggressive

- *Stati limite di fessurazione:*

Lato scavo e lato terra (cond. amb. molto aggressive)

- Combinazione di carico frequente:  $w_d \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$
- Combinazione di carico quasi permanente:  $w_d \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$

In accordo con la vigente normativa, il valore di calcolo di apertura delle fessure  $w_d$  è dato da:

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 29 di 66	

$$w_d = 1,7 w_m$$

dove  $w_m$  rappresenta l'ampiezza media delle fessure calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura  $\varepsilon_{sm}$  per la distanza media tra le fessure  $\Delta_{sm}$ :

$$w_m = \varepsilon_{sm} \Delta_{sm}$$

Per il calcolo di  $\varepsilon_{sm}$ , e  $\Delta_{sm}$  vanno utilizzati i criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica.

## VERIFICA DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si verifica che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

La massima tensione di compressione del calcestruzzo  $\sigma_c$ , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0,60 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica (rara)}$$

$$\sigma_c < 0,45 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente.}$$

Per l'acciaio ordinario, la tensione massima  $\sigma_s$  per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0,75 f_{yk}$$

dove  $f_{yk}$  per armatura ordinaria è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.

## VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

### SOLLECITAZIONI FLETTENTI

La verifica di resistenza (SLU) è stata condotta attraverso il calcolo dei domini di interazione N-M, ovvero il luogo dei punti rappresentativi di sollecitazioni che portano in crisi la sezione di verifica secondo i criteri di resistenza da normativa.

Nel calcolo dei domini sono state mantenute le consuete ipotesi, tra cui:

- conservazione delle sezioni piane;
- legame costitutivo del calcestruzzo parabolo-rettangolo non reagente a trazione, con plateau ad una deformazione pari a 0.002 e a rottura pari a 0.0035 ( $\sigma_{max} = 0.85 \times 0.83 \times R_{ck} / 1.5$ );
- legame costitutivo dell'armatura d'acciaio elastico-perfettamente plastico con deformazione limite di rottura a 0.01 ( $\sigma_{max} = f_{yk} / 1.15$ )

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 30 di 66	

## SOLLECITAZIONI TAGLIANTI

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di elementi sprovvisti di specifica armatura è stata calcolata sulla base della resistenza a trazione del calcestruzzo.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza al taglio si valuta con:

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

con:

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{\min} = 0,035k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

e dove:

$d$  è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ( $\leq 0,02$ );

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$  è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 f_{cd}$ );

$b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm).

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione  $\theta$  dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \text{ctg} \theta \leq 2.5$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove  $V_{Ed}$  è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" è stata calcolata con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" è stata calcolata con:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta) / (1 + \text{ctg}^2 \theta)$$

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 31 di 66

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

In cui:

- d            è l'altezza utile della sezione;
- b<sub>w</sub>        è la larghezza minima della sezione;
- σ<sub>cp</sub>        è la tensione media di compressione della sezione;
- A<sub>sw</sub>        è l'area dell'armatura trasversale;
- S            è l'interasse tra due armature trasversali consecutive;
- α            è l'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;
- f'<sub>cd</sub>        è la resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima (f'<sub>cd</sub>=0.5f<sub>cd</sub>);
- α            è un coefficiente maggiorativo pari ad 1 per membrature non compresse.

## **ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI E VERIFICHE**

### **VERIFICHE MURO 'TIPO 1'**

Paramento variabile in prosecuzione delle spalle, altezza di calcolo pari ad 7.60m.

Le immagini seguenti illustrano la configurazione geometrica e la stratigrafia dei terreni relative del Muro 'tipo 1':

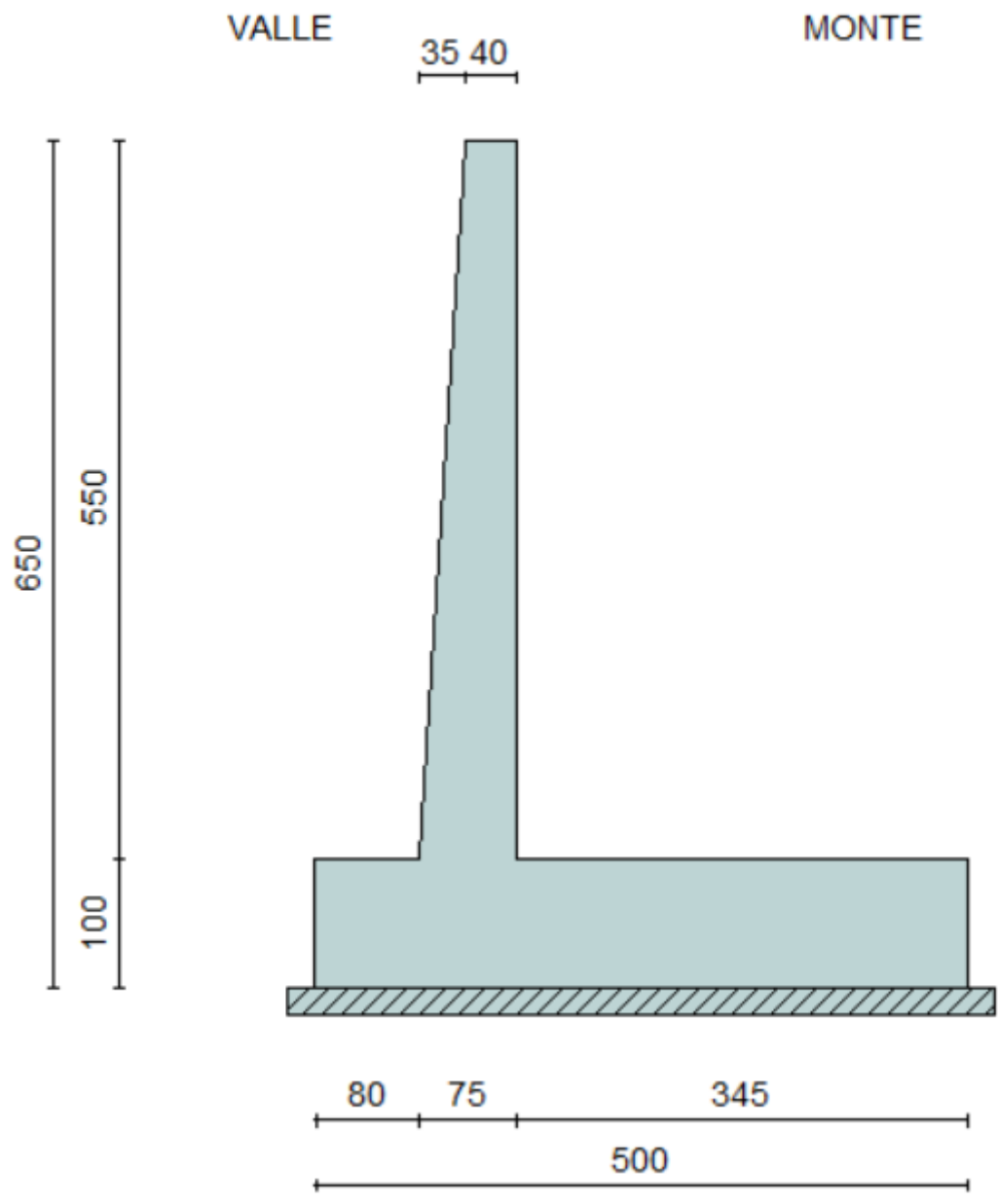


Figura 7: Geometria e dimensioni



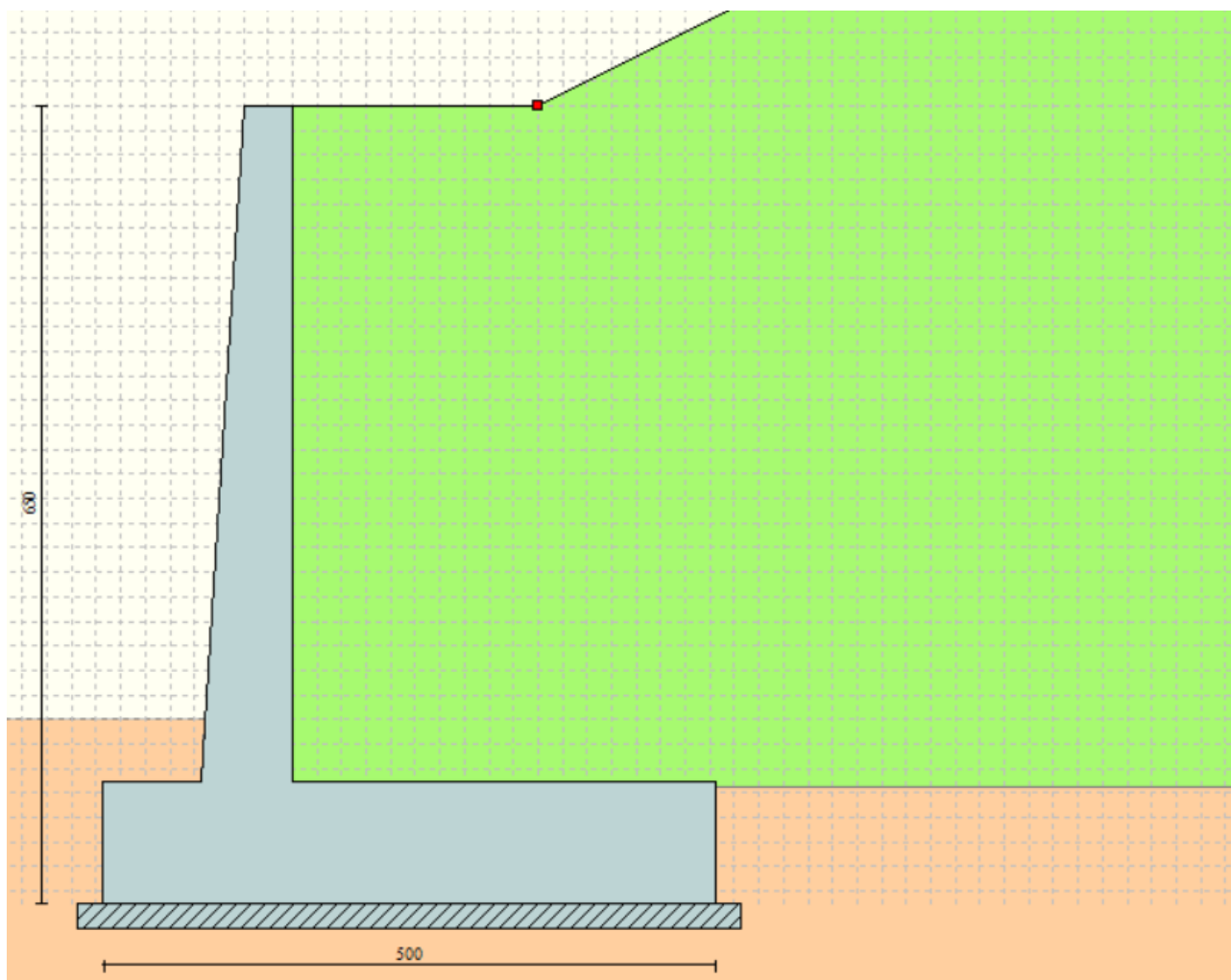


Figura 8: Profilo del terreno

Di seguito sono riassunte le verifiche strutturali e geotecniche effettuate sull'opera in esame. Si riportano i risultati delle combinazioni di carico più gravose per ogni stato limite esaminato.

### Verifica a stabilità globale

La combinazione di carico più gravosa ai fini della stabilità globale del sistema muro-terreno risulta essere la n°9 (GEO-STAB – Sisma presente) la verifica risulta essere soddisfatta.

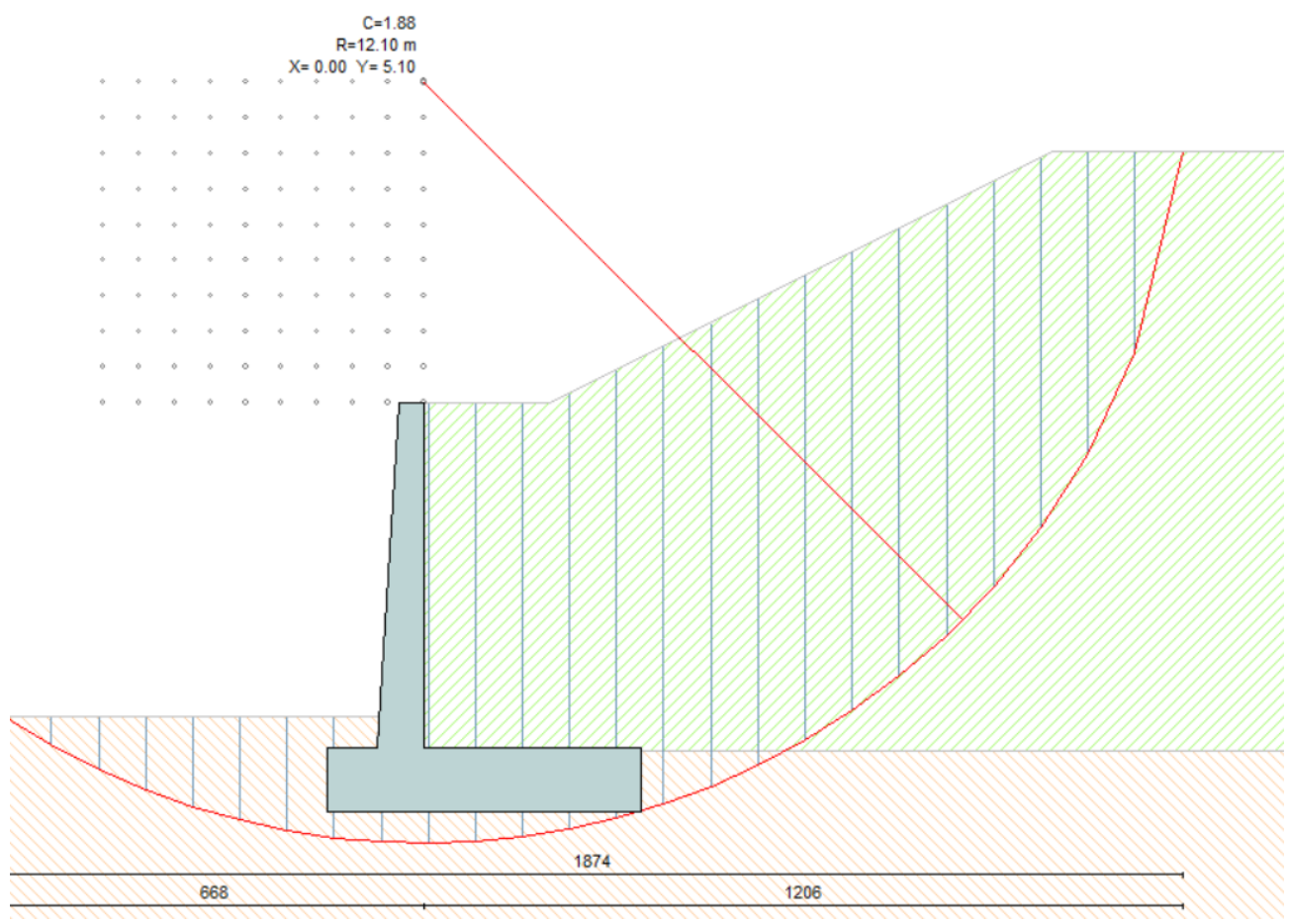


Figura 9: Stabilità globale del sistema terra-muro

**Verifiche strutturali**

Nelle due immagini seguenti si riportano i diagrammi delle massime sollecitazioni che si ottengono in corrispondenza del paramento murario e della fondazione.

A partire da tali valori saranno poi effettuate le verifiche degli elementi strutturali, considerando ferri di armatura:

Paramento	lato terra	1φ20/20
	lato scavo	1φ20/20
Fondazione	superiore	1φ20/10
	inferiore	1φ20/10

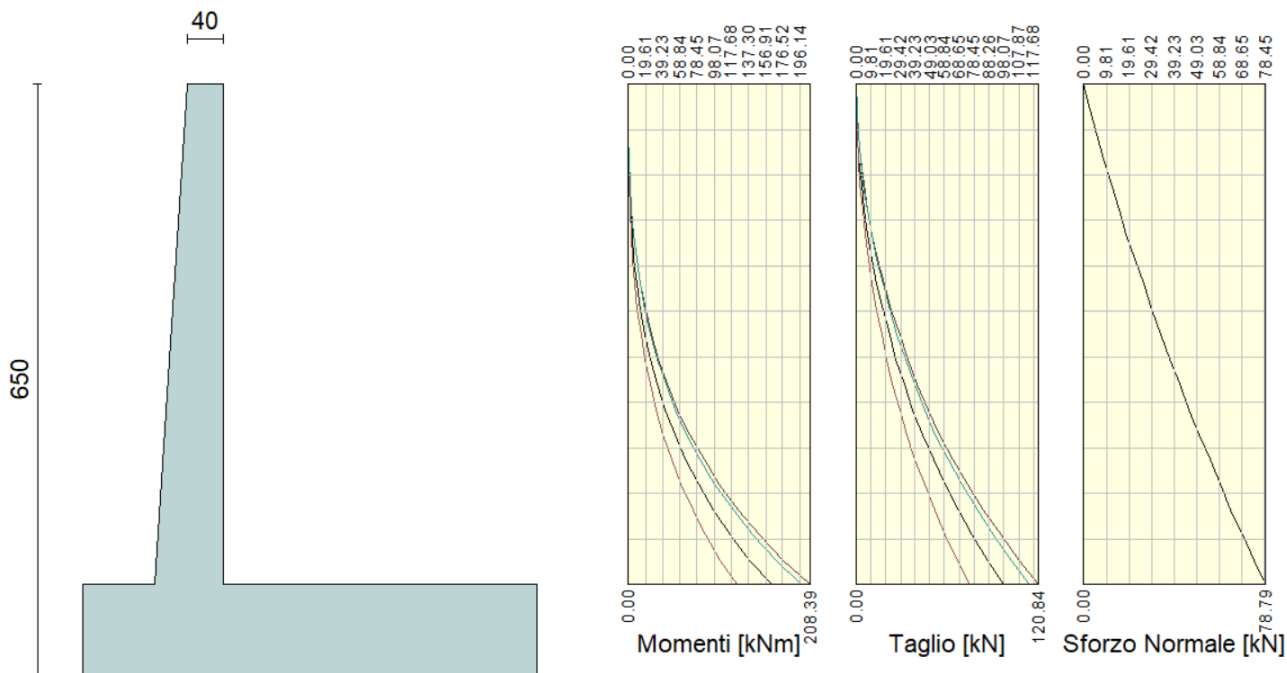


Figura 10: Sollecitazioni agenti sul paramento murario (involuppo SLU)

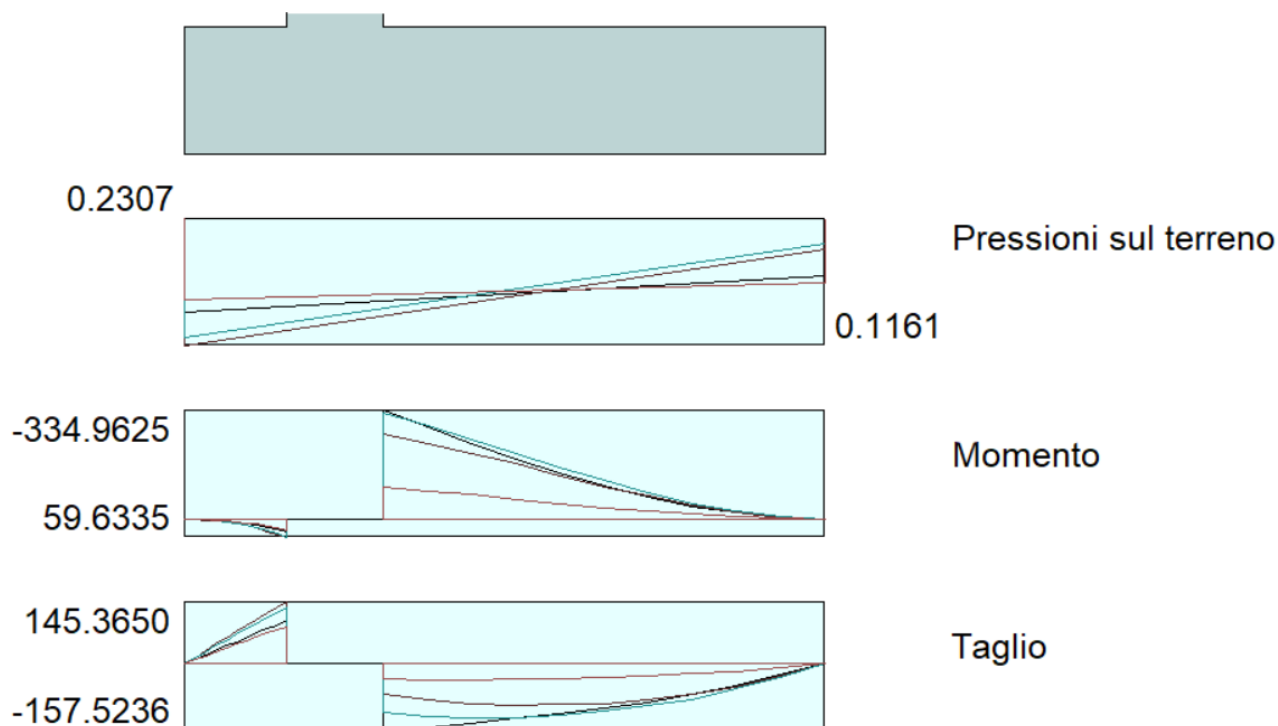


Figura 11: Sollecitazioni agenti in fondazione (involuppo SLU)

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 36 di 66

## ALLEGATO 1: OUTPUT DEL PROGRAMMA DI CALCOLO – MURO ‘TIPO 1’

### N.T.C. 2008 - Approccio 2

#### *Simbologia adottata*

$\gamma_{Gsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Gfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Qsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{Qfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
$\gamma_{c'}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
$\gamma_{cu}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
$\gamma_{qu}$	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
$\gamma_{\gamma}$	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

#### Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

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

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>EQU</i>	<i>HYD</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1.00	1.00	0.90	0.90
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1.30	1.00	1.10	1.30
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1.50	1.30	1.50	1.50

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

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

#### Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 37 di 66	

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

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>EQU</i>	<i>HYD</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1.00	1.00	1.00	0.90
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1.00	1.00	1.00	1.30
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1.00	1.00	1.00	1.50

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

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

**FONDAZIONE SUPERFICIALE**

**Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO**

<i>Verifica</i>	<i>Coefficienti parziali</i>		
	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>
Capacità portante della fondazione	1.00	1.00	1.40
Scorrimento	1.00	1.00	1.10
Resistenza del terreno a valle	1.00	1.00	1.40
Stabilità globale		1.10	

**Geometria muro e fondazione**

Descrizione **Muro a mensola in c.a.**

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 38 di 66

Altezza del paramento	5.50 [m]
Spessore in sommità	0.40 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0.75 [m]
Inclinazione paramento esterno	3.60 [°]
Inclinazione paramento interno	0.00 [°]
Lunghezza del muro	10.00 [m]

### Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	0.80 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	3.45 [m]
Lunghezza totale fondazione	5.00 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0.00 [°]
Spessore fondazione	1.00 [m]
Spessore magrone	0.20 [m]

### **Materiali utilizzati per la struttura**

#### *Calcestruzzo*

Peso specifico	25.000 [kN/mc]
Classe di Resistenza	C28/35
Resistenza caratteristica a compressione $R_{ck}$	35.00 [N/mm <sup>2</sup> ]
Modulo elastico E	32587.986 [N/mm <sup>2</sup> ]

#### *Acciaio*

Tipo	B450C
Tensione di snervamento $\sigma_{fa}$	431.50 [N/mm <sup>2</sup> ]

### **Geometria profilo terreno a monte del muro**

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 39 di 66	

### *Simbologia adottata e sistema di riferimento*

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto

X ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]

A inclinazione del tratto espressa in [°]

<b>N</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>A</b>
1	2.00	0.00	0.00
2	10.00	4.00	26.57
3	21.00	4.00	0.00

### **Terreno a valle del muro**

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 0.00 [°]

Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento 0.50 [m]

### **Descrizione terreni**

#### *Simbologia adottata*

<i>Nr.</i>	Indice del terreno
<i>Descrizione</i>	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
$\gamma_s$	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
$\phi$	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
$\delta$	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
<i>c</i>	Coesione espressa in [N/mm <sup>q</sup> ]
<i>c<sub>a</sub></i>	Adesione terra-muro espressa in [N/mm <sup>q</sup> ]

<b>Descrizione</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\gamma_s</math></b>	<b><math>\phi</math></b>	<b><math>\delta</math></b>	<b><i>c</i></b>	<b><i>c<sub>a</sub></i></b>
--------------------	----------------------------	------------------------------	--------------------------	----------------------------	-----------------	-----------------------------

<b>GENERAL CONTRACTOR</b>  	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b>  					
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IN17</td> <td style="width: 15%;">Lotto 10</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004</td> <td style="width: 10%;">Rev. A</td> <td style="width: 20%;">Foglio 40 di 66</td> </tr> </table>	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 40 di 66
Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 40 di 66		

terreno rinf.	20.00	20.00	35.00	23.33	0.0000	0.0000
terreno fondaz.	20.00	20.00	30.00	20.00	0.0500	0.0250

## Stratigrafia

### *Simbologia adottata*

N	Indice dello strato
H	Spessore dello strato espresso in [m]
a	Inclinazione espressa in [°]
Kw	Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm <sup>2</sup> /cm
Ks	Coefficiente di spinta
Terreno	Terreno dello strato

Nr.	H	a	Kw	Ks	Terreno
1	5.55	0.00	7.64	0.00	terreno rinf.
2	8.00	0.00	14.59	0.00	terreno fondaz.

## Descrizione combinazioni di carico

### *Simbologia adottata*

F/S	Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)
$\gamma$	Coefficiente di partecipazione della condizione
$\Psi$	Coefficiente di combinazione della condizione

### Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30



<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 			
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 41 di 66

Combinazione n° 2 - Caso EQU (SLU)

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	0.90	1.00	0.90
Peso proprio terrapieno	FAV	0.90	1.00	0.90
Spinta terreno	SFAV	1.10	1.00	1.10

Combinazione n° 3 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 5 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 6 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 7 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
--	------------	----------	--------	-----------------

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 42 di 66	

Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 8 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 9 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 10 - Quasi Permanente (SLE)

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 11 - Frequente (SLE)

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 12 - Rara (SLE)

	<b>S/F</b>	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 43 di 66	

## Impostazioni di analisi

Metodo verifica sezioni

**Stato limite**

### **Impostazioni verifiche SLU**

#### Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo a compressione	1.60
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo a trazione	1.60
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00

### **Impostazioni verifiche SLE**

Condizioni ambientali

Aggressive

Armatura ad aderenza migliorata

#### Verifica fessurazione

Sensibilità delle armature

Poco sensibile

Valori limite delle aperture delle fessure

$w_1 = 0.20$

$w_2 = 0.30$

$w_3 = 0.40$

Metodo di calcolo aperture delle fessure

Circ. Min. 252 (15/10/1996)

#### Verifica delle tensioni

Combinazione di carico

Rara  $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$  -  $\sigma_f < 0.80 f_{yk}$

Quasi permanente  $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$

Calcolo della portanza metodo di Terzaghi

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 44 di 66	

Coefficiente correttivo su  $N_{\gamma}$  per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 1.00

Coefficiente correttivo su  $N_{\gamma}$  per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 1.00

### ***Impostazioni avanzate***

Influenza del terreno sulla fondazione di valle nelle verifiche e nel calcolo delle sollecitazioni

Diagramma correttivo per eccentricità negativa con aliquota di parzializzazione pari a 0.00

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 			
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 45 di 66

## Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

### Simbologia adottata

C Identificativo della combinazione

Tipo Tipo combinazione

Sisma Combinazione sismica

CS<sub>SCO</sub> Coeff. di sicurezza allo scorrimento

CS<sub>RIB</sub> Coeff. di sicurezza al ribaltamento

CS<sub>QLIM</sub> Coeff. di sicurezza a carico limite

CS<sub>STAB</sub> Coeff. di sicurezza a stabilità globale

C	Tipo	Sisma	CS <sub>sco</sub>	CS <sub>rib</sub>	CS <sub>qlim</sub>	CS <sub>stab</sub>
1	A1-M1 - [1]	--	2.13	--	23.47	--
2	EQU - [1]	--	--	2.95	--	--
3	STAB - [1]	--	--	--	--	2.24
4	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	1.62	--	19.43	--
5	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	1.64	--	21.07	--
6	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2.11	--	--
7	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	2.27	--	--
8	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1.88
9	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1.92
10	SLEQ - [1]	--	2.93	--	25.38	--
11	SLEF - [1]	--	2.93	--	25.38	--
12	SLER - [1]	--	2.93	--	25.38	--

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 46 di 66	

## Analisi della spinta e verifiche

Sistema di riferimento adottato per le coordinate :

Origine in testa al muro (spigolo di monte)

Ascisse X (espresse in [m]) positive verso monte

Ordinate Y (espresse in [m]) positive verso l'alto

Le forze orizzontali sono considerate positive se agenti da monte verso valle

Le forze verticali sono considerate positive se agenti dall'alto verso il basso

Calcolo riferito ad 1 metro di muro

### Tipo di analisi

Calcolo della spinta	metodo di Culmann
Calcolo del carico limite	metodo di Terzaghi
Calcolo della stabilità globale	metodo di Bishop
Calcolo della spinta in condizioni di	Spinta attiva

### Sisma

#### Combinazioni SLU

Accelerazione al suolo $a_g$	2.30 [m/s <sup>2</sup> ]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.36
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione ( $\beta_m$ )	0.31
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 9.85$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 4.93$

#### Combinazioni SLE

Accelerazione al suolo $a_g$	0.95 [m/s <sup>2</sup> ]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.50
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione ( $\beta_m$ )	0.18

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 47 di 66	

Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale      0.50  
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)       $k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 2.62$   
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)       $k_v=0.50 * k_h = 1.31$

Forma diagramma incremento sismico      Stessa forma diagramma statico

Partecipazione spinta passiva (percento)      50.0  
Lunghezza del muro      10.00 [m]

Peso muro      203.7344 [kN]  
Baricentro del muro      X=0.47 Y=-4.85

#### Superficie di spinta

Punto inferiore superficie di spinta      X = 3.45      Y = -6.50  
Punto superiore superficie di spinta      X = 3.45      Y = 0.73  
Altezza della superficie di spinta      7.22 [m]  
Inclinazione superficie di spinta(rispetto alla verticale)      0.00 [°]

#### COMBINAZIONE n° 4

Valore della spinta statica      148.2507 [kN]  
Componente orizzontale della spinta statica      136.1574 [kN]  
Componente verticale della spinta statica      58.6467 [kN]  
Punto d'applicazione della spinta      X = 3.45 [m]      Y = -3.47 [m]  
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie      23.30 [°]  
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche      51.86 [°]  
Incremento sismico della spinta      69.4251 [kN]  
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta      X = 3.45 [m]      Y = -3.47 [m]  
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche      47.67 [°]

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 48 di 66	

Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	390.0125	[kN]	
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = 1.76	[m]	Y = -2.67
Inerzia del muro	20.0734	[kN]	
Inerzia verticale del muro	10.0367	[kN]	
Inerzia del terrapieno fondazione di monte	38.4269	[kN]	
Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte	19.2135	[kN]	

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	259.2233	[kN]	
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	717.2653	[kN]	
Resistenza passiva a valle del muro	-33.7500	[kN]	
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	717.2653	[kN]	
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	259.2233	[kN]	
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0.51	[m]	
Lunghezza fondazione reagente	5.00	[m]	
Risultante in fondazione	762.6704	[kN]	
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	19.87	[°]	
Momento rispetto al baricentro della fondazione	362.4014	[kNm]	
Carico ultimo della fondazione	13939.2488	[kN]	

### Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	5.00	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	0.23065	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0.05646	[N/mm <sup>2</sup> ]

### Fattori per il calcolo della capacità portante

<b>Coeff. capacità portante</b>	$N_c = 37.16$	$N_q = 22.46$	$N_\gamma = 19.32$
<b>Fattori forma</b>	$s_c = 1.00$	$s_q = 1.00$	$s_\gamma = 1.00$

I coefficienti  $N'$  tengono conto dei fattori di forma, profondità, inclinazione carico, inclinazione piano di posa, inclinazione pendio.



<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 49 di 66

$$N'_c = 37.16$$

$$N'_q = 22.46$$

$$N'_y = 19.32$$

### **COEFFICIENTI DI SICUREZZA**

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.62
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	19.43

### **Sollecitazioni paramento**

#### **Combinazione n° 4**

L'ordinata Y (espressa in m) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in kNm

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in kN

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in kN

<b>Nr.</b>	<b>Y</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>T</b>
1	0.00	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.28	2.8095	0.0490	0.5311
3	0.55	5.7379	0.2907	1.5823
4	0.83	8.7853	0.8671	3.1538
5	1.10	11.9516	1.9202	5.2455
6	1.38	15.2369	3.5921	7.8574
7	1.65	18.6411	6.0248	10.9896
8	1.93	22.1643	9.3603	14.6419
9	2.20	25.8065	13.7406	18.8145
10	2.48	29.5676	19.3078	23.5073
11	2.75	33.4476	26.2039	28.7203
12	3.03	37.4466	34.5709	34.4535
13	3.30	41.5646	44.5533	40.7394
14	3.58	45.8015	56.3230	47.7560
15	3.85	50.1573	70.1068	55.6690

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 50 di 66

16	4.13	54.6321	86.1513	64.4675
17	4.40	59.2259	104.6937	74.1180
18	4.68	63.9386	125.9644	84.6018
19	4.95	68.7703	150.1901	95.9080
20	5.23	73.7209	177.5948	108.0299
21	5.50	78.7904	208.3918	120.8356

## Sollecitazioni fondazione di valle

### Combinazione n° 4

L'ascissa X(espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0.00	0.0000	0.0000
2	0.08	0.6231	15.5406
3	0.16	2.4805	30.8580
4	0.24	5.5544	45.9524
5	0.32	9.8270	60.8235
6	0.40	15.2803	75.4716
7	0.48	21.8965	89.8966
8	0.56	29.6578	104.0984
9	0.64	38.5463	118.0771
10	0.72	48.5441	131.8326
11	0.80	59.6335	145.3650

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 51 di 66

## Sollecitazioni fondazione di monte

### Combinazione n° 4

L'ascissa X(espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in kNm

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in kN

Nr.	X	M	T
1	0.00	0.0000	0.0000
2	0.34	-5.2303	-29.4305
3	0.69	-19.6929	-53.5210
4	1.04	-41.5457	-72.2717
5	1.38	-68.9463	-85.6825
6	1.73	-100.0872	-94.1315
7	2.07	-133.4193	-98.4063
8	2.42	-167.5103	-98.5315
9	2.76	-200.9288	-94.5070
10	3.10	-232.2430	-86.3329
11	3.45	-260.0213	-74.0091

## Armature e tensioni nei materiali del muro

### Combinazione n° 4

L'ordinata Y(espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

B base della sezione espressa in [cm]

H altezza della sezione espressa in [cm]

$A_{fs}$  area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]

$A_{fi}$  area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]

$N_u$  sforzo normale ultimo espresso in [kN]

$M_u$  momento ultimo espresso in [kNm]

CS coefficiente sicurezza sezione

VRcd Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]

VRsd Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 52 di 66	

VRd Resistenza al taglio, espresso in [kN]

Nr.	Y	B, H	Afs	Afi	Nu	Mu	CS	VRd	VRcd	VRsd
1	0.00	100, 40	15.71	15.71	0.00	0.00	1000.00	166.00	--	--
2	0.28	100, 42	15.71	15.71	6159.62	-107.43	2192.45	169.97	--	--
3	0.55	100, 43	15.71	15.71	5988.34	-303.37	1043.65	173.89	--	--
4	0.83	100, 45	15.71	15.71	4906.55	-484.26	558.50	177.76	--	--
5	1.10	100, 47	15.71	15.71	3860.51	-620.25	323.01	181.60	--	--
6	1.38	100, 49	15.71	15.71	2792.82	-658.41	183.29	185.70	--	--
7	1.65	100, 50	15.71	15.71	1864.06	-602.46	100.00	191.14	--	--
8	1.93	100, 52	15.71	15.71	1255.64	-530.27	56.65	196.57	--	--
9	2.20	100, 54	15.71	15.71	897.78	-478.02	34.79	201.99	--	--
10	2.48	100, 56	15.71	15.71	682.93	-445.96	23.10	207.39	--	--
11	2.75	100, 57	15.71	15.71	548.21	-429.48	16.39	212.79	--	--
12	3.03	100, 59	15.71	15.71	456.46	-421.41	12.19	218.19	--	--
13	3.30	100, 61	15.71	15.71	390.28	-418.35	9.39	223.57	--	--
14	3.58	100, 63	15.71	15.71	340.29	-418.47	7.43	228.96	--	--
15	3.85	100, 64	15.71	15.71	300.95	-420.65	6.00	234.33	--	--
16	4.13	100, 66	15.71	15.71	269.06	-424.28	4.92	239.71	--	--
17	4.40	100, 68	15.71	15.71	242.68	-428.98	4.10	245.08	--	--
18	4.68	100, 69	15.71	15.71	220.55	-434.50	3.45	250.46	--	--
19	4.95	100, 71	15.71	15.71	201.79	-440.69	2.93	255.83	--	--
20	5.23	100, 73	15.71	15.71	185.72	-447.41	2.52	261.20	--	--
21	5.50	100, 75	15.71	15.71	171.87	-454.59	2.18	266.58	--	--

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 53 di 66	

## Armature e tensioni nei materiali della fondazione

### Combinazione n° 4

Simbologia adottata

- B base della sezione espressa in [cm]
- H altezza della sezione espressa in [cm]
- $A_{fi}$  area di armatura in corrispondenza del lembo inferiore in [cm<sup>2</sup>]
- $A_{fs}$  area di armatura in corrispondenza del lembo superiore in [cm<sup>2</sup>]
- $N_u$  sforzo normale ultimo espresso in [kN]
- $M_u$  momento ultimo espresso in [kNm]
- CS coefficiente sicurezza sezione
- $V_{Rcd}$  Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]
- $V_{Rsd}$  Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]
- $V_{Rd}$  Resistenza al taglio, espresso in [kN]

### Fondazione di valle

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle)

Nr.	Y	B, H	$A_{fs}$	$A_{fi}$	$N_u$	$M_u$	CS	$V_{Rd}$	$V_{Rcd}$	$V_{Rsd}$
1	0.00	100, 100	0.00	5.09	0.00	0.00	1000.00	321.65	--	--
2	0.08	100, 100	0.00	5.09	0.00	180.08	289.00	321.65	--	--
3	0.16	100, 100	15.71	20.80	0.00	722.94	291.44	321.65	--	--
4	0.24	100, 100	15.71	20.80	0.00	722.94	130.16	321.65	--	--
5	0.32	100, 100	15.71	20.80	0.00	722.94	73.57	321.65	--	--
6	0.40	100, 100	15.71	20.80	0.00	722.94	47.31	321.65	--	--
7	0.48	100, 100	15.71	20.80	0.00	722.94	33.02	321.65	--	--
8	0.56	100, 100	15.71	20.80	0.00	722.94	24.38	321.65	--	--
9	0.64	100, 100	15.71	20.80	0.00	722.94	18.76	321.65	--	--
10	0.72	100, 100	15.71	20.80	0.00	722.94	14.89	321.65	--	--
11	0.80	100, 100	15.71	20.80	0.00	722.94	12.12	321.65	--	--

### Fondazione di monte

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 54 di 66	

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte)

Nr.	Y	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	CS	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>
1	0.00	100, 100	0.00	0.00	0.00	0.00	1000.00	321.65	--	--
2	0.34	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	207.30	321.65	321.65	--	--
3	0.69	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	55.06	321.65	321.65	--	--
4	1.04	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	26.10	321.65	321.65	--	--
5	1.38	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	15.73	321.65	321.65	--	--
6	1.73	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	10.83	321.65	321.65	--	--
7	2.07	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	8.13	321.65	321.65	--	--
8	2.42	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	6.47	321.65	321.65	--	--
9	2.76	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	5.40	321.65	321.65	--	--
10	3.10	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	4.67	321.65	321.65	--	--
11	3.45	100, 100	15.71	15.71	0.00 -548.09	2.11	321.65	321.65	--	--

### COMBINAZIONE n° 6

Valore della spinta statica	214.5514	[kN]	
Componente orizzontale della spinta statica	203.0754	[kN]	
Componente verticale della spinta statica	69.2293	[kN]	
Punto d'applicazione della spinta	X = 3.45	[m]	Y = -3.60 [m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	18.82	[°]	
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	48.39	[°]	
Incremento sismico della spinta	59.1394	[kN]	
Punto d'applicazione dell'incremento sismico di spinta		[m]	X = 3.45 [m] Y = -3.60 [m]
Inclinazione linea di rottura in condizioni sismiche	43.39	[°]	
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	390.0125	[kN]	

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 55 di 66	

Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte  $X = 1.76$  [m]  $Y = -2.67$   
[m]

Inerzia del muro 20.0734 [kN]

Inerzia verticale del muro -10.0367 [kN]

Inerzia del terrapieno fondazione di monte 38.4269 [kN]

Inerzia verticale del terrapieno fondazione di monte -19.2135 [kN]

### Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale 318.3555 [kN]

Risultante dei carichi applicati in dir. verticale 660.9660 [kN]

Resistenza passiva a valle del muro -27.4973 [kN]

Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle 1016.2162 [kNm]

Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle 2144.2371 [kNm]

Sforzo normale sul piano di posa della fondazione 660.9660 [kN]

Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione 318.3555 [kN]

Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione 0.79 [m]

Lunghezza fondazione reagente 5.00 [m]

Risultante in fondazione 733.6391 [kN]

Inclinazione della risultante (rispetto alla normale) 25.72 [°]

Momento rispetto al baricentro della fondazione 523.2375 [kNm]

### COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento 2.11

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 56 di 66	

## Stabilità globale muro + terreno

### Combinazione n° 8

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

W peso della striscia espresso in [kN]

$\alpha$  angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)

$\phi$  angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia

c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [N/mmq]

b larghezza della striscia espressa in [m]

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [N/mmq]

### Metodo di Bishop

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

### Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= 0.00 Y[m]= 5.10

Raggio del cerchio R[m]= 12.10

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -6.68

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 12.06

Larghezza della striscia dx[m]= 0.75

Coefficiente di sicurezza C= 1.88

Le strisce sono numerate da monte verso valle

### Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	$\alpha(^{\circ})$	$W\sin\alpha$	$b/\cos\alpha$	$\phi$	c	u
1	23.9960	76.82	23.3636	0.0322	29.26	0.000	0.000
2	60.0381	64.99	54.4066	0.0174	29.26	0.000	0.000
3	80.7248	57.48	68.0683	0.0137	29.26	0.000	0.000
4	92.5254	51.34	72.2457	0.0118	29.26	0.000	0.000
5	99.7381	45.94	71.6738	0.0106	29.26	0.000	0.000
6	104.8178	41.03	68.8137	0.0097	29.26	0.000	0.000



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 		<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 57 di 66</p>	

7	108.2441	36.47	64.3449	0.0091	29.26	0.000	0.000
8	110.3136	32.17	58.7316	0.0087	29.26	0.000	0.000
9	111.2242	28.06	52.3183	0.0083	26.76	0.022	0.000
10	111.1141	24.10	45.3766	0.0081	24.79	0.040	0.000
11	110.0834	20.27	38.1306	0.0078	24.79	0.040	0.000
12	110.1310	16.52	31.3197	0.0077	24.79	0.040	0.000
13	109.2826	12.85	24.3042	0.0075	24.79	0.040	0.000
14	106.8017	9.23	17.1322	0.0074	24.79	0.040	0.000
15	107.7745	5.65	10.6080	0.0074	24.79	0.040	0.000
16	108.5355	2.09	3.9555	0.0074	24.79	0.040	0.000
17	111.4236	-1.46	-2.8456	0.0074	24.79	0.040	0.000
18	33.2979	-5.02	-2.9143	0.0074	24.79	0.040	0.000
19	28.4595	-8.60	-4.2548	0.0074	24.79	0.040	0.000
20	25.8283	-12.21	-5.4624	0.0075	24.79	0.040	0.000
21	23.0139	-15.87	-6.2938	0.0076	24.79	0.040	0.000
22	19.4142	-19.60	-6.5129	0.0078	24.79	0.040	0.000
23	14.9778	-23.42	-5.9532	0.0080	24.79	0.040	0.000
24	9.6353	-27.35	-4.4272	0.0083	24.79	0.040	0.000
25	3.2922	-31.43	-1.7168	0.0086	29.26	0.000	0.000

$$\Sigma W_i = 1824.6874 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 664.4123 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma W_i \tan \phi_i = 914.7086 \text{ [kN]}$$

$$\Sigma \tan \alpha_i \tan \phi_i = 6.73$$

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 58 di 66	

## Inviluppo Sollecitazioni paramento

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

Momento positivo se tende le fibre contro terra (a monte), espresso in [kNm]

Sforzo normale positivo di compressione, espresso in [kN]

Taglio positivo se diretto da monte verso valle, espresso in [kN]

## Inviluppo combinazioni SLU

Nr. Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
10.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20.28	2.8095	2.8095	0.0081	0.0490	0.2206	0.5311
30.55	5.7379	5.7379	0.1127	0.2907	0.8825	1.5823
40.83	8.7853	8.7853	0.4341	0.8671	1.9857	3.1538
51.10	11.9516	11.9516	1.0925	1.9202	3.5301	5.2455
61.38	15.2369	15.2369	2.2084	3.5921	5.5158	7.8574
71.65	18.6411	18.6411	3.9020	6.0248	7.9428	10.9896
81.93	22.1643	22.1643	6.2936	9.3603	10.8110	14.6419
92.20	25.8065	25.8065	9.5036	13.7406	14.1206	18.8145
102.48	29.5676	29.5676	13.6523	19.3078	17.8713	23.5073
112.75	33.4476	33.4476	18.8599	26.2039	22.0634	28.7203
123.03	37.4466	37.4466	25.2468	34.5709	26.6967	34.4535
133.30	41.5646	41.5646	32.9354	44.5533	31.7994	40.7394
143.58	45.8015	45.8015	42.0721	56.3230	37.5261	47.7560
153.85	50.1573	50.1573	52.8507	70.1068	44.0205	55.6690
164.13	54.6321	54.6321	65.4821	86.1513	51.2732	64.4675
174.40	59.2259	59.2259	80.1693	104.6937	59.2550	74.1180
184.68	63.9386	63.9386	97.1095	125.9644	67.9498	84.6018
194.95	68.7703	68.7703	116.4963	150.1901	77.3481	95.9080
205.23	73.7209	73.7209	138.5211	177.5948	87.4440	108.0299
215.50	78.7904	78.7904	163.3662	208.3918	98.1232	120.8356

## Inviluppo combinazioni SLE

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 59 di 66	

Nr. Y	Nmin	Nmax	Mmin	Mmax	Tmin	Tmax
10.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20.28	2.8095	2.8095	0.0035	0.0035	0.1697	0.1697
30.55	5.7379	5.7379	0.0754	0.0754	0.6789	0.6789
40.83	8.7853	8.7853	0.3081	0.3081	1.5275	1.5275
51.10	11.9516	11.9516	0.7938	0.7938	2.7155	2.7155
61.38	15.2369	15.2369	1.6250	1.6250	4.2430	4.2430
71.65	18.6411	18.6411	2.8939	2.8939	6.1099	6.1099
81.93	22.1643	22.1643	4.6928	4.6928	8.3162	8.3162
92.20	25.8065	25.8065	7.1140	7.1140	10.8620	10.8620
102.48	29.5676	29.5676	10.2498	10.2498	13.7472	13.7472
112.75	33.4476	33.4476	14.1926	14.1926	16.9718	16.9718
123.03	37.4466	37.4466	19.0347	19.0347	20.5359	20.5359
133.30	41.5646	41.5646	24.8700	24.8700	24.4611	24.4611
143.58	45.8015	45.8015	31.8107	31.8107	28.8662	28.8662
153.85	50.1573	50.1573	40.0059	40.0059	33.8619	33.8619
164.13	54.6321	54.6321	49.6174	49.6174	39.4409	39.4409
174.40	59.2259	59.2259	60.8014	60.8014	45.5808	45.5808
184.68	63.9386	63.9386	73.7090	73.7090	52.2691	52.2691
194.95	68.7703	68.7703	88.4890	88.4890	59.4985	59.4985
205.23	73.7209	73.7209	105.2886	105.2886	67.2647	67.2647
215.50	78.7904	78.7904	124.2475	124.2475	75.4794	75.4794

### Inviluppo Sollecitazioni fondazione di valle

L'ascissa X(espressa in m) è considerata positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in [kNm]

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in [kN]

### Inviluppo combinazioni SLU

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 			
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 60 di 66

<b>Nr. X</b>	<b>Mmin</b>	<b>Mmax</b>	<b>Tmin</b>	<b>Tmax</b>
10.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20.08	0.4230	0.6231	10.5594	15.5406
30.16	1.6872	2.4805	21.0323	30.8580
40.24	3.7858	5.5544	31.4186	45.9524
50.32	6.7119	9.8270	41.7184	60.8235
60.40	10.4585	15.2803	51.9317	75.4716
70.48	15.0186	21.8965	62.0585	89.8966
80.56	20.3855	29.6578	72.0987	104.0984
90.64	26.5521	38.5463	82.0524	118.0771
100.72	33.5116	48.5441	91.9196	131.8326
110.80	41.2569	59.6335	101.7002	145.3650

#### Inviluppo combinazioni SLE

<b>Nr. X</b>	<b>Mmin</b>	<b>Mmax</b>	<b>Tmin</b>	<b>Tmax</b>
10.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20.08	0.3620	0.3620	9.0442	9.0442
30.16	1.4460	1.4460	18.0471	18.0471
40.24	3.2485	3.2485	27.0088	27.0088
50.32	5.7663	5.7663	35.9292	35.9292
60.40	8.9961	8.9961	44.8083	44.8083
70.48	12.9345	12.9345	53.6462	53.6462
80.56	17.5783	17.5783	62.4428	62.4428
90.64	22.9243	22.9243	71.1981	71.1981
100.72	28.9689	28.9689	79.9122	79.9122
110.80	35.7091	35.7091	88.5850	88.5850

#### **Inviluppo Sollecitazioni fondazione di monte**

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 61 di 66	

L'ascissa X(espressa in m) è considerata positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte

Momento positivo se tende le fibre inferiori, espresso in [kNm]

Taglio positivo se diretto verso l'alto, espresso in [kN]

### Inviluppo combinazioni SLU

<b>Nr. X</b>	<b>Mmin</b>	<b>Mmax</b>	<b>Tmin</b>	<b>Tmax</b>
10.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20.34	-5.8369	-4.8098	-32.9724	-27.3569
30.69	-22.1543	-18.5132	-60.7566	-51.5572
41.04	-47.1623	-40.0213	-83.3527	-72.2717
51.38	-79.0710	-68.2449	-100.7607	-85.6825
61.73	-116.1252	-100.0872	-113.3586	-94.1315
72.07	-156.8281	-133.4193	-121.9342	-98.4063
82.42	-199.8000	-167.5103	-131.2633	-98.5315
92.76	-243.6616	-200.9288	-141.6260	-94.5070
103.10	-287.0335	-232.2430	-150.3794	-86.3329
113.45	-334.9625	-260.0213	-157.5236	-74.0091

### Inviluppo combinazioni SLE

<b>Nr. X</b>	<b>Mmin</b>	<b>Mmax</b>	<b>Tmin</b>	<b>Tmax</b>
10.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20.34	-1.8754	-1.8754	-10.5458	-10.5458
30.69	-7.0515	-7.0515	-19.1340	-19.1340
41.04	-14.8527	-14.8527	-25.7645	-25.7645
51.38	-24.6038	-24.6038	-30.4373	-30.4373
61.73	-35.6640	-35.6640	-33.5305	-33.5305
72.07	-47.6511	-47.6511	-35.8319	-35.8319
82.42	-60.2997	-60.2997	-37.3658	-37.3658
92.76	-73.3453	-73.3453	-38.1324	-38.1324
103.10	-86.5228	-86.5228	-38.1315	-38.1315
113.45	-99.5677	-99.5677	-37.3631	-37.3631

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI		Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 62 di 66

## Inviluppo armature e tensioni nei materiali del muro

L'ordinata Y (espressa in [m]) è considerata positiva verso il basso con origine in testa al muro

- B** base della sezione espressa in [cm]  
**H** altezza della sezione espressa in [cm]  
**A<sub>fs</sub>** area di armatura in corrispondenza del lembo di monte in [cmq]  
**A<sub>fi</sub>** area di armatura in corrispondenza del lembo di valle in [cmq]  
**σ<sub>c</sub>** tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]  
**τ<sub>c</sub>** tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mmq]  
**σ<sub>fs</sub>** tensione nell'armatura disposta sul lembo di monte in [N/mmq]  
**σ<sub>fi</sub>** tensione nell'armatura disposta sul lembo di valle in [N/mmq]  
**N<sub>u</sub>** sforzo normale ultimo espresso in [kN]  
**M<sub>u</sub>** momento ultimo espresso in [kNm]  
**CS** coefficiente sicurezza sezione  
**VRcd** Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]  
**VRsd** Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]  
**VRd** Resistenza al taglio, espresso in [kN]

### Inviluppo SLU

Nr.	Y	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	CS	VRd	VRcd	VRsd
1	0.00	100, 40	15.71	15.71	0.00	0.00	1000.00	166.00	--	--
2	0.28	100, 42	15.71	15.71	6159.62	-18.23	2192.45	169.97	--	--
3	0.55	100, 43	15.71	15.71	5988.34	-124.84	1043.65	173.89	--	--
4	0.83	100, 45	15.71	15.71	4906.55	-311.20	558.50	177.76	--	--
5	1.10	100, 47	15.71	15.71	3860.51	-488.83	323.01	181.60	--	--
6	1.38	100, 49	15.71	15.71	2792.82	-633.46	183.29	185.70	--	--
7	1.65	100, 50	15.71	15.71	1864.06	-602.46	100.00	191.14	--	--
8	1.93	100, 52	15.71	15.71	1255.64	-530.27	56.65	196.57	--	--
9	2.20	100, 54	15.71	15.71	897.78	-478.02	34.79	201.99	--	--
10	2.48	100, 56	15.71	15.71	682.93	-445.96	23.10	207.39	--	--
11	2.75	100, 57	15.71	15.71	548.21	-429.48	16.39	212.79	--	--

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 63 di 66	

12	3.03	100, 59	15.71	15.71	456.46	-421.41	12.19	218.19	--	--
13	3.30	100, 61	15.71	15.71	390.28	-418.35	9.39	223.57	--	--
14	3.58	100, 63	15.71	15.71	340.29	-418.47	7.43	228.96	--	--
15	3.85	100, 64	15.71	15.71	300.95	-420.65	6.00	234.33	--	--
16	4.13	100, 66	15.71	15.71	269.06	-424.28	4.92	239.71	--	--
17	4.40	100, 68	15.71	15.71	242.68	-428.98	4.10	245.08	--	--
18	4.68	100, 69	15.71	15.71	220.55	-434.50	3.45	250.46	--	--
19	4.95	100, 71	15.71	15.71	201.79	-440.69	2.93	255.83	--	--
20	5.23	100, 73	15.71	15.71	185.72	-447.41	2.52	261.20	--	--
21	5.50	100, 75	15.71	15.71	171.87	-454.59	2.18	266.58	--	--

Inviluppo SLE

Nr.	Y	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	$\sigma_c$	$\tau_c$	$\sigma_{fs}$	$\sigma_{fi}$
1	0.00	100, 40	15.71	15.71	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.28	100, 42	15.71	15.71	0.006	0.001	-0.090	-0.092
3	0.55	100, 43	15.71	15.71	0.014	0.002	-0.155	-0.203
4	0.83	100, 45	15.71	15.71	0.025	0.004	-0.172	-0.356
5	1.10	100, 47	15.71	15.71	0.041	0.007	-0.124	-0.570
6	1.38	100, 49	15.71	15.71	0.063	0.011	0.015	-0.862
7	1.65	100, 50	15.71	15.71	0.097	0.015	0.448	-1.298
8	1.93	100, 52	15.71	15.71	0.148	0.020	1.468	-1.915
9	2.20	100, 54	15.71	15.71	0.215	0.026	3.245	-2.702
10	2.48	100, 56	15.71	15.71	0.296	0.031	5.817	-3.639
11	2.75	100, 57	15.71	15.71	0.390	0.037	9.193	-4.724
12	3.03	100, 59	15.71	15.71	0.498	0.044	13.390	-5.957
13	3.30	100, 61	15.71	15.71	0.620	0.051	18.430	-7.342
14	3.58	100, 63	15.71	15.71	0.755	0.058	24.357	-8.885
15	3.85	100, 64	15.71	15.71	0.905	0.066	31.255	-10.602
16	4.13	100, 66	15.71	15.71	1.072	0.075	39.212	-12.508
17	4.40	100, 68	15.71	15.71	1.255	0.084	48.302	-14.612
18	4.68	100, 69	15.71	15.71	1.456	0.094	58.586	-16.924
19	4.95	100, 71	15.71	15.71	1.675	0.104	70.117	-19.448
20	5.23	100, 73	15.71	15.71	1.911	0.115	82.939	-22.189
21	5.50	100, 75	15.71	15.71	2.166	0.126	97.086	-25.148

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 64 di 66	

## Inviluppo armature e tensioni nei materiali della fondazione

Simbologia adottata

- B base della sezione espressa in [cm]
- H altezza della sezione espressa in [cm]
- $A_{fi}$  area di armatura in corrispondenza del lembo inferiore in [cmq]
- $A_{fs}$  area di armatura in corrispondenza del lembo superiore in [cmq]
- $\sigma_c$  tensione nel calcestruzzo espressa in [N/mm<sup>2</sup>]
- $\tau_c$  tensione tangenziale nel calcestruzzo espressa in [N/mm<sup>2</sup>]
- $\sigma_{fi}$  tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo inferiore in [N/mm<sup>2</sup>]
- $\sigma_{fs}$  tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo superiore in [N/mm<sup>2</sup>]
- $N_u$  sforzo normale ultimo espresso in [kN]
- $M_u$  momento ultimo espresso in [kNm]
- CS coefficiente sicurezza sezione
- $V_{Rcd}$  Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]
- $V_{Rsd}$  Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]
- $V_{Rd}$  Resistenza al taglio, espresso in [kN]

### Fondazione di valle

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso monte con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di valle)

### Inviluppo SLU

Nr.	Y	B, H	$A_{fs}$	$A_{fi}$	$N_u$	$M_u$	CS	$V_{Rd}$	$V_{Rcd}$	$V_{Rsd}$
1	0.00	100, 100	0.00	5.09	0.00	0.00	1000.00	321.65	--	--
2	0.08	100, 100	0.00	5.09	0.00	180.08	289.00	321.65	--	--
3	0.16	100, 100	15.71	20.80	0.00	722.94	291.44	321.65	--	--
4	0.24	100, 100	15.71	20.80	0.00	722.94	130.16	321.65	--	--
5	0.32	100, 100	15.71	20.80	0.00	722.94	73.57	321.65	--	--
6	0.40	100, 100	15.71	20.80	0.00	722.94	47.31	321.65	--	--
7	0.48	100, 100	15.71	20.80	0.00	722.94	33.02	321.65	--	--
8	0.56	100, 100	15.71	20.80	0.00	722.94	24.38	321.65	--	--
9	0.64	100, 100	15.71	20.80	0.00	722.94	18.76	321.65	--	--
10	0.72	100, 100	15.71	20.80	0.00	722.94	14.89	321.65	--	--



<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI		Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 65 di 66

11 0.80 100, 100 15.71 20.80 0.00 722.94 12.12 321.65 -- --

### Inviluppo SLE

Nr.	X	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>	τ <sub>c</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>fs</sub>
12	0.00	100, 100	0.00	5.09	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.08	100, 100	0.00	5.09	0.007	0.011	0.771	0.000
14	0.16	100, 100	15.71	20.80	0.014	0.022	0.775	-0.163
15	0.24	100, 100	15.71	20.80	0.030	0.033	1.740	-0.366
16	0.32	100, 100	15.71	20.80	0.054	0.044	3.089	-0.649
17	0.40	100, 100	15.71	20.80	0.084	0.055	4.819	-1.013
18	0.48	100, 100	15.71	20.80	0.121	0.066	6.929	-1.456
19	0.56	100, 100	15.71	20.80	0.165	0.077	9.416	-1.979
20	0.64	100, 100	15.71	20.80	0.215	0.087	12.280	-2.581
21	0.72	100, 100	15.71	20.80	0.272	0.098	15.518	-3.261
22	0.80	100, 100	15.71	20.80	0.335	0.109	19.128	-4.020

### Fondazione di monte

(L'ascissa X, espressa in [m], è positiva verso valle con origine in corrispondenza dell'estremo libero della fondazione di monte)

### Inviluppo SLU

Nr.	Y	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	CS	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>
1	0.00	100, 100	0.00	0.00	0.00	0.00	1000.00	321.65	--	--
2	0.34	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	185.76	321.65	321.65	--	--
3	0.69	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	48.94	321.65	321.65	--	--
4	1.04	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	22.99	321.65	321.65	--	--
5	1.38	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	13.71	321.65	321.65	--	--
6	1.73	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	9.34	321.65	321.65	--	--
7	2.07	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	6.91	321.65	321.65	--	--
8	2.42	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	5.43	321.65	321.65	--	--
9	2.76	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	4.45	321.65	321.65	--	--
10	3.10	100, 100	31.42	15.71	0.00-1084.24	3.78	321.65	321.65	--	--

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
IV09 - CAVALCAFERROVIA AL Km 40 + 365,77 A - IMPALCATO RELAZIONE DI CALCOLO MURI	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento Y12 CL IV 09 A 0 004	Rev. A	Foglio 66 di 66	

11 3.45 100, 100 15.71 15.71 0.00 -548.09 1.64 321.65 -- --

Inviluppo SLE

Nr.	X	B, H	A <sub>fs</sub>	A <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>	τ <sub>c</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>fs</sub>
12	0.00	100, 100	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.34	100, 100	31.42	15.71	0.015	-0.013	-0.189	0.674
14	0.69	100, 100	31.42	15.71	0.057	-0.023	-0.710	2.536
15	1.04	100, 100	31.42	15.71	0.120	-0.032	-1.496	5.341
16	1.38	100, 100	31.42	15.71	0.198	-0.037	-2.479	8.847
17	1.73	100, 100	31.42	15.71	0.287	-0.041	-3.593	12.824
18	2.07	100, 100	31.42	15.71	0.384	-0.044	-4.800	17.135
19	2.42	100, 100	31.42	15.71	0.485	-0.046	-6.075	21.683
20	2.76	100, 100	31.42	15.71	0.590	-0.047	-7.389	26.374
21	3.10	100, 100	31.42	15.71	0.697	-0.047	-8.716	31.112
22	3.45	100, 100	15.71	15.71	1.041	-0.046	-12.049	70.055