

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



DIREZIONE TECNICA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA

RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro H=3,80

SCALA:

-

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

IF1W 00 D 29 CL RI1300 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	G. Usai <i>GU</i>	09.2018	P. Di Nucci <i>di</i>	09.2018	D. Aprea <i>DA</i>	09.2018	ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Ufficio di Fabrizio Arduni Via dei Geni della Provincia di Roma n° 15902 tel. A

## INDICE

1.	PREMESSA .....	4
2.	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	5
2.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	5
2.2	DOCUMENTI.....	5
3.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	7
3.1	CEMENTO ARMATO .....	7
3.1.1	<i>Calcestruzzo strutturale C25/30.....</i>	7
3.1.2	<i>Acciaio di armatura in barre tonde ad aderenza migliorata.....</i>	8
3.1.3	<i>Copriferro.....</i>	8
3.1.4	<i>Prove sui materiali .....</i>	8
4.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	9
4.1	TERRENO ESISTENTE .....	9
5.	CRITERI PROGETTUALI .....	13
5.1	VITA NOMINALE.....	13
5.2	CLASSE D'USO .....	13
5.3	PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA .....	13
6.	ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO .....	14
6.1	CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI ( $G_1$ ).....	14
6.2	CARICHI ACCIDENTALI ( $Q_k$ ).....	14
6.3	AZIONE SISMICA.....	16
6.4	SPINTA DEL TERRENO.....	18
6.4.1	<i>Coefficienti di spinta in condizioni statiche.....</i>	18
6.4.2	<i>Coefficienti di spinta in condizioni sismiche .....</i>	18
7.	COMBINAZIONI DI CARICO .....	20
8.	CRITERI DI VERIFICA .....	23
8.1	GEOTECNICHE.....	23
8.2	STRUTTURALI .....	23

8.2.1	Verifica agli SLU-SLV.....	23
8.2.2	Verifiche agli stati limite di esercizio - SLE.....	25
9.	ANALISI.....	26
9.1	GEOMETRIA .....	26
9.2	COMBINAZIONI DI CARICO .....	27
9.3	DATI GEOTECNICI.....	28
9.4	CARICHI AGENTI .....	28
9.5	CALCOLO DELLE AZIONI AGENTI SUL MURO.....	29
9.5.1	Forze statiche .....	29
9.5.2	Forze sismiche.....	30
9.5.3	Spinte del terreno .....	31
9.6	VERIFICHE DELL'EQUILIBRIO LIMITE IN CONDIZIONI STATICHE.....	32
9.7	VERIFICHE DELL'EQUILIBRIO LIMITE IN CONDIZIONI SISMICHE .....	34
9.8	VERIFICHE DELL'EQUILIBRIO LIMITE - SINTESI DEI RISULTATI.....	39
9.9	VERIFICHE AGLI SLU .....	40
9.9.1	Sollecitazioni sul muro .....	41
9.9.2	Schema delle armature .....	44
9.9.3	Verifica pressoflessione e taglio.....	45
9.10	VERIFICHE AGLI SLE .....	46
9.10.1	Sollecitazioni sul muro .....	47
9.10.2	Verifica a fessurazione .....	50
9.10.3	Verifica delle tensioni.....	50

## 1. PREMESSA

Nell'ambito dell'Itinerario Napoli-Bari si inserisce il Raddoppio della Tratta Bovino - Orsara oggetto della Progettazione Definitiva in esame.

Nella presente relazione sono illustrati i calcoli e le verifiche geotecniche e strutturali del muro di contenimento sul piazzale RI13 progr.+40+950 di altezza 415cm, sul fronte della ferrovia binario pari.

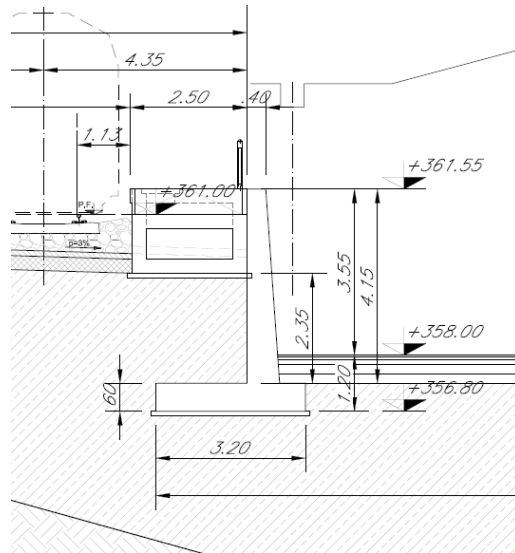


Figura 1 Sezione Tipo

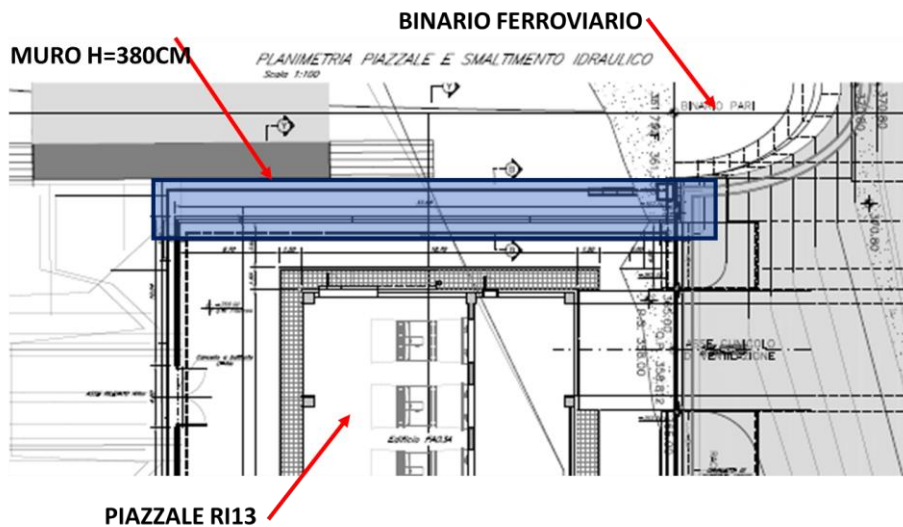


Figura 2 Posizione planimetrica su piazzale RI13

## 2. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

### 2.1 Documenti referenziati

La progettazione è conforme alle normative vigenti nonché alle istruzioni dell'Ente FF.SS.

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- Rif. [1] - Nuove norme tecniche per le costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- Rif. [2] - Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;
- Rif. [3] - Eurocodice 2: Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1.1: Regole generali e regole per gli edifici.
- Rif. [4] - UNI ENV 1992-1-1 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- Rif. [5] - UNI EN 206-1/2001 - Calcestruzzo. Specificazioni, prestazioni, produzione e conformità;
- Rif. [6] - UNI EN 1998-5 – Fondazioni ed opere di sostegno.
- Rif. [7] REGOLAMENTO (UE) N. 1299/2014 DELLA COMMISSIONE del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea
- Rif. [8] RFI DTC INC PO SP IFS 001 A del 21.12.2011 – Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario;
- Rif. [9] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A del 21.12.2011 – Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie;
- Rif. [10] RFI DTC INC CS LG IFS 001 A del 21.12.2001 Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra;
- Rif. [11] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica parte 1: regole generali;
- Rif. [12] UNI EN 1997-1: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5; Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;

### 2.2 Documenti

- Rif. [13] IF1W00D29PZRI1300001A RI13 - Planimetria piazzale e smaltimento idraulico
- Rif. [14] IF1W00D29PZRI1300002A RI13- Carpenterie fondazioni ed opere di sostegno
- Rif. [15] IF1W00D29PZRI1300003A RI13 - Opere di sostegno – Carpenteria
- Rif. [16] IF1W00D09F6OC0000003A Geotecnica generale tratti allo scoperto Profilo Geotecnico tratta allo scoperto - raccordo provvisorio alla pk 41+100;
- Rif. [17] IF1W00D09P7GB0000001A Interventi versante- planimetria monitoraggi;
- Rif. [18] IF1W00D09GE0C0000006A Geotecnica generale tratti allo scoperto Relazione sismica tratta allo scoperto - raccordo provvisorio alla pk 41+100;

R113 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	R11300 001	A	6 di 50

Rif. [19] IF1W00D09GE0C0000002A Geotecnica generale tratti allo scoperto Relazione Geotecnica Generale tratta allo scoperto - raccordo provvisorio alla pk 41+100;

Rif. [20] Manuale di progettazione delle opere civili Parte II SEZIONE 3 Corpo stradale [RFI DTC SI CS MA IFS 001 B]

### 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### 3.1 Cemento armato

##### 3.1.1 Calcestruzzo strutturale C25/30

Classe di resistenza

**C25/30**

Cemento

CEM **52.5 N**

Peso per unità di volume

$$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$$

Resistenza caratteristica cubica

$$R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza cilindrica caratteristica

$$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza cilindrica caratteristica media

$$f_{cm} = 33 \text{ N/mm}^2 \quad f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ (Mpa)}$$

Resistenza di calcolo a compressione

$$f_{cd} = 14.17 \text{ N/mm}^2 \quad f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$$

Coefficiente parziale di sicurezza

$$\gamma_c = 1.5$$

Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata

$$\alpha_{cc} = 0.85$$

Resistenza media a trazione semplice (assiale)

$$f_{ctm} = 2.56 \text{ N/mm}^2 \quad f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{2/3}$$

Resistenza caratteristica a trazione semplice (frattile 5%)

$$f_{ctk} = 1.80 \text{ N/mm}^2 \quad f_{ctk} = 0.7 f_{ctm}$$

Resistenza di calcolo a trazione semplice

$$f_{ctd} = 1.20 \text{ N/mm}^2 \quad f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$$

Modulo elastico

$$E_{cm} = 31476 \text{ N/mm}^2 \quad E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$$

Coefficiente di Poisson

$$\nu = 0.2 \text{ per calcestruzzo non fessurato}$$

$$\nu = 0 \text{ per calcestruzzo fessurato}$$

Deformazione al raggiungimento della massima tensione

$$\varepsilon_{c2} = 2 \text{ ‰}$$

Deformazione ultima

$$\varepsilon_{cu} = 3.5 \text{ ‰}$$

Coefficiente di dilatazione termica

$$\alpha = 10 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Resistenza cilindrica caratteristica per fatica

$$f_{cd,fat} = 10.84 \text{ N/mm}^2 \quad f_{cd,fat} = k_{1,1} \cdot \beta_{cc}(t_0) \cdot f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

$$k_{1,1} = 0.85$$

Coefficiente che tiene conto della resistenza del cls al momento del carico

$$\beta_{cc}(t_0) = 1.00 \quad \beta_{cc}(t_0) = \exp\left\{s \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t_0}}\right)\right\}$$

$$s = 0.2$$

Età del calcestruzzo in giorni al momento del carico

$$t_0 = 28 \text{ giorni}$$

### 3.1.2 Acciaio di armatura in barre tonde ad aderenza migliorata

Tipo di acciaio

**B450C**

Peso per unità di volume

$$\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$$

Tensione caratteristica di snervamento

$$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$$

Tensione caratteristica a rottura

$$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$$

Tensione di calcolo a snervamento

$$f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2 \quad f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$$

Coefficiente parziale di sicurezza

$$\gamma_s = 1.15$$

Deformazione uniforme ultima caratteristica

$$\epsilon_{uk} = 7.50 \% \quad \epsilon_{uk} = (A_{gt})_k$$

Deformazione uniforme ultima di progetto

$$\epsilon_{ud} = 6.75 \% \quad \epsilon_{ud} = 0.9 \epsilon_{uk}$$

Modulo elastico

$$E = 200000 \text{ N/mm}^2$$

### 3.1.3 Copriferro

Con riferimento al punto 4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato nella tabella C4.1.IV della Circolare 2.2.2009, riportata di seguito, nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tabella 4.1.III delle NTC.

Cmin	Co	ambiente	barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p elementi a piastra		cavi da c.a.p altri elementi	
			C ≥ Co	Cmin ≤ C < Co	C ≥ Co	Cmin ≤ C < Co	C ≥ Co	Cmin ≤ C < Co	C ≥ Co	Cmin ≤ C < Co
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Ai valori riportati nella tabella vanno aggiunte le tolleranze di posa, pari a 10 mm. Si riportano di seguito i copriferri adottati, determinati in funzione della classe del cls e delle condizioni ambientali.

	Ambiente	Copriferro minimo	Tolleranza di posa	Copriferro nominale
Strutture scatolari interrato	Aggressivo	25	10	35

In definitiva si prescrive che il copriferro netto non deve essere inferiore a 40mm.

### 3.1.4 Prove sui materiali

La costruzione delle strutture dovrà essere eseguita nel rispetto delle specifiche d'istruzione tecnica FS 44/M - REV. A DEL 10/04/00.



## 4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 4.1 Terreno esistente

Per le caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione si assumono le condizioni peggiori indicate nell'elaborato di cui al Rif. [19].

La caratterizzazione del suolo da un punto di vista sismico è invece riportata nel documento di cui al Rif. [18]

Il tracciato ricade prevalentemente in un'area di pianura alluvionale con depositi eterogenei e variabili sia in un'area di depositi alluvionali terrazzati del fiume Cervaro costituiti da blocchi, ciottoli, ghiaia in matrice sabbiosa con locali intercalazioni di argille, argille-limose. Tali alluvioni ricoprono la formazione di substrato, costituita dai Calcari e dalle marne argillose del Faeto.

Sui versanti prospicienti il tracciato sono presenti coltri eluvio colluviali e di frana di natura essenzialmente coesiva con inclusi eterometrici, trovanti e blocchi litoidi.

Nei primi metri è presente un terreno di copertura (terreno vegetale e/o riporto) a matrice essenzialmente limo-argillosa.

In particolare, sono state individuate le seguenti unità litostratigrafiche:

- Terreno di copertura: riporto e terreno vegetale a matrice essenzialmente limo-argillosa;
- ALL1\_A: argilla e argilla limosa;
- ALL3\_G: ghiaia e ghiaia sabbiosa;
- FAE: Flysch di Faeto: calcareniti, calcilutiti e calcari marnosi di colore grigio biancastro.

La falda di progetto è stata considerata cautelativamente a quota +345.19 m slm.

Nel seguito si riportano i parametri geotecnici di riferimento per i terreni

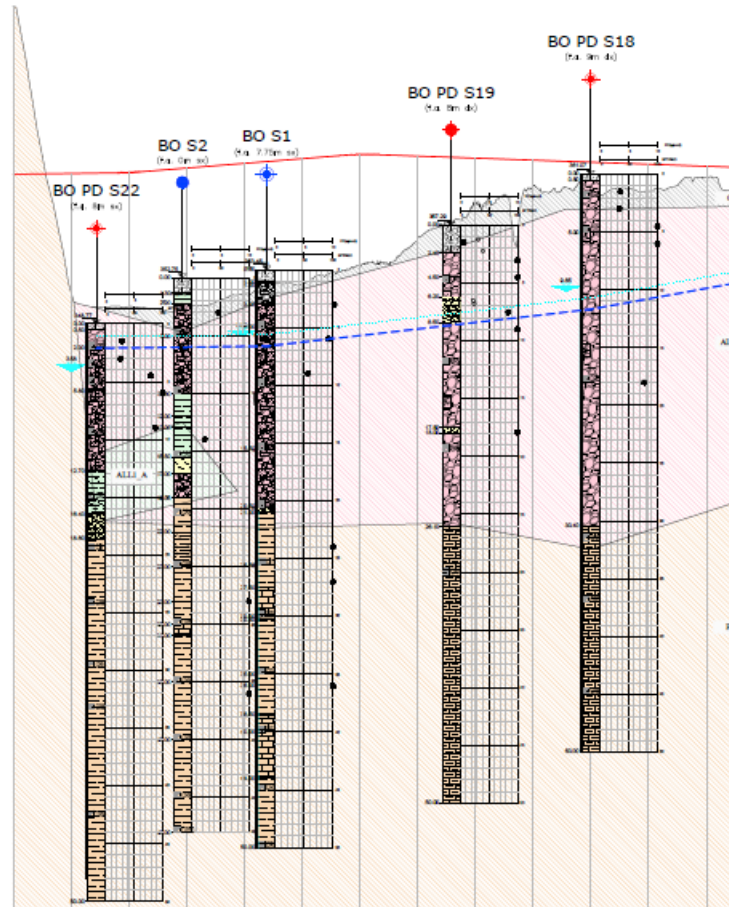
Sulla base delle indagini effettuate sono state individuate le seguenti unità geotecniche:

Tab. 10: Parametri geotecnici caratteristici dei terreni (valore medio indicato tra parentesi quadre []).

	Terreno di copertura	ALL1_A*	ALL3_G*
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.0÷19.0 [18.5]	18.0÷19.0 [18.5]	17.5÷20.4 [18.5]
IP [%]	dati non disponibili	24÷35 [25]	-
$c_u$ [kPa]	35÷200 [60]	110÷235 [125]	-
$\phi'$ [°]	22	25	36÷46 [38]
$c'$ [kPa]	2	15	0.0
Dr [%]			
$E_u/C_u$	485	485-	-
Dr [%]			60 – 95 [80]
$E_0$ [MPa]	32÷113 [60]	243÷931 [314]	201÷1812 [453]
$E_{op,1}$ [MPa]	6÷22 [12]	48÷186 [62]	40÷362 [90]
$E_{op,2}^{**}$ [MPa]	3÷11 [6]	24÷93 [31]	20÷181 [45]
$c_\alpha$ [-]	dati non disponibili	$7.7 \cdot 10^{-2}$	-
$c_r$ [-]	dati non disponibili	$1.8 \cdot 10^{-2}$	-
$c_{\alpha r}$	dati non disponibili	$2.6 \cdot 10^{-3}$ ÷ $4.0 \cdot 10^{-3}$ [ $3.0 \cdot 10^{-3}$ ]	
$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	dati non disponibili	$6.15 \cdot 10^{-9}$ ÷ $1.9 \cdot 10^{-7}$ [ $1.0 \cdot 10^{-7}$ ]	-
$e_0$ [-]	dati non disponibili	0.66÷0.86 [0.75]	0.40÷0.75 [0.45]
OCR [-]	2÷6 [3]	2÷6 [3]	-
$u'$ [-]	0.3	0.3	0.3
$k$ [m/s]	dati non disponibili	$8.4 \cdot 10^{-11}$ ÷ $3.8 \cdot 10^{-7}$ [ $2.0 \cdot 10^{-7}$ ]	$5.2 \cdot 10^{-6}$ ÷ $1.6 \cdot 10^{-4}$ [ $2.4 \cdot 10^{-5}$ ]

Figura 4-1 Caratterizzazione geotecnica del terreno

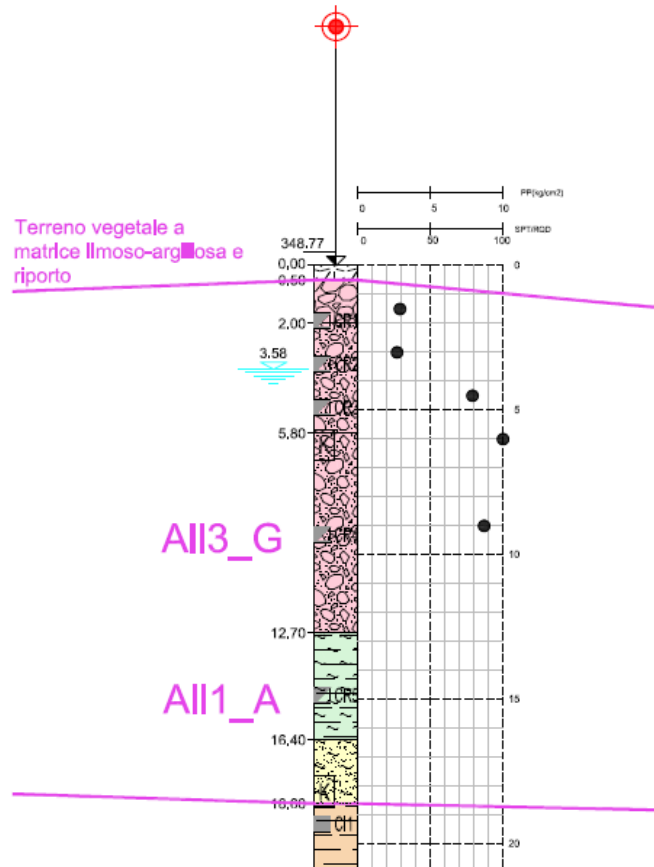
Il profilo di riferimento è riportato nell'elaborato di cui al Rif. [16].



Il sondaggio di riferimento tra la progressiva pik 40+950 e pik 41+00 risulta essere il **BO PD S22** riportato nella figura seguente

## BO PD S22

(f.a. 8m sx)



In definitiva i parametri geotecnici del terreno di fondazione dell'opera di sostegno in esame sono:

- Peso Volume:  $\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\phi=36^\circ$
- Coesione efficace  $C'= 0 \text{ kPa}$
- Modulo Elastico  $E=45000 \text{ kN/m}^2$ .

Il terreno a monte del muro è costituito da rilevato ferroviario dalle seguenti caratteristiche:

- Peso Volume:  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\phi=38^\circ$
- Coesione efficace  $C'= 0 \text{ kPa}$

I parametri sopra indicati saranno utilizzati per le verifiche del muro

## 5. CRITERI PROGETTUALI

### 5.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale VN è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel presente caso l'opera viene inserita nella seguente tipologia di costruzione:

2 - Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale

La cui vita nominale è pari a: 75 anni.

### 5.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, l'opera appartiene alla seguente classe d'uso:

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

Il coefficiente d'uso è pari a: 1.50.

### 5.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione al periodo di riferimento VR ricavato, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale VN per il coefficiente d'uso Cu.

Pertanto  $VR = 75 \times 1.5 = 112.5$  anni

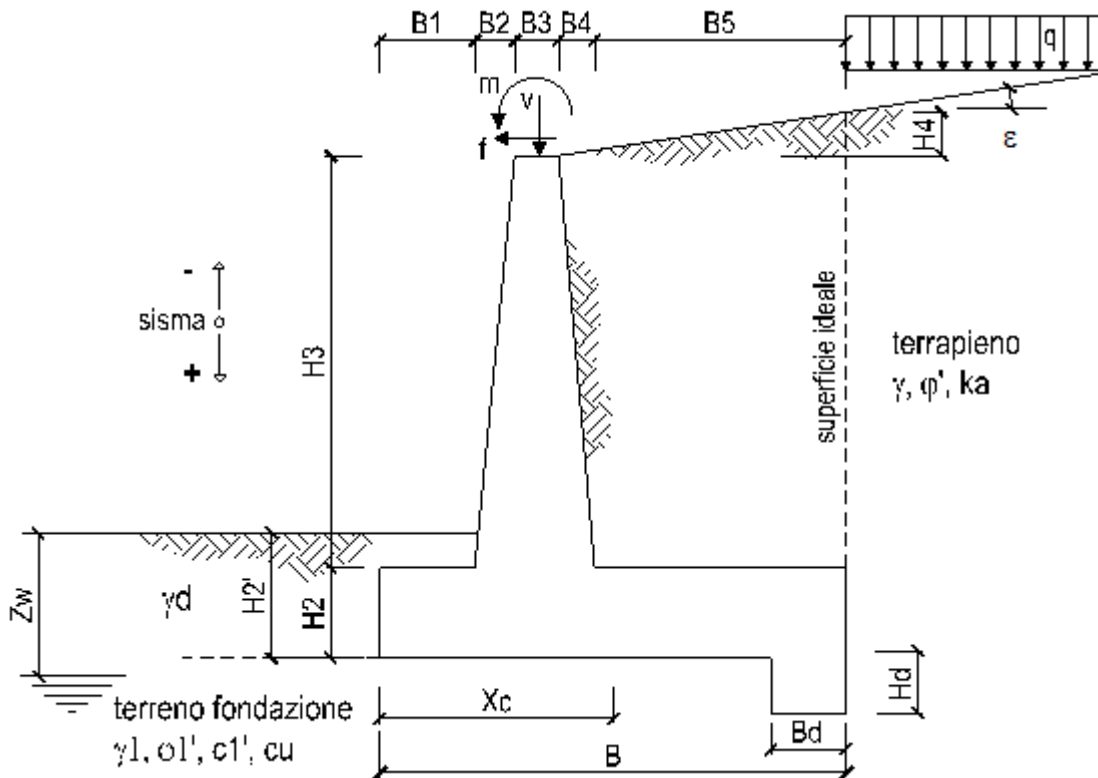
## 6. ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono definite secondo la normativa di riferimento e sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio e in presenza dell'evento sismico.

Le azioni aerodinamiche dovute al traffico ferroviario non incidono sulla struttura in esame.

### 6.1 Carichi permanenti strutturali ( $G_1$ )

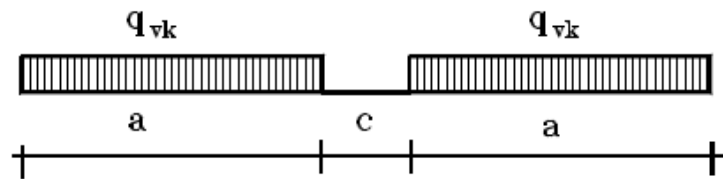
Il peso proprio dello scatolare viene calcolato in automatico dal programma di calcolo utilizzato, una volta definite le geometrie e le proprietà dei materiali.



### 6.2 Carichi accidentali ( $Q_k$ )

Per quanto attiene il sovraccarico ferroviario si applica il treno di carico SW/2 pari a 150 kN/m definito nella tabella 5.2.I delle NTC2018.

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE "α"	
	PONTI CAT. "A"	PONTI CAT. "B"
LM 71	1.1	0.83
SW / 0	1.1	0.83
SW / 2	1.0	0.83



Tipo di Carico	$q_{vk}$ [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

Figura 6-1 – Treno di carico SW

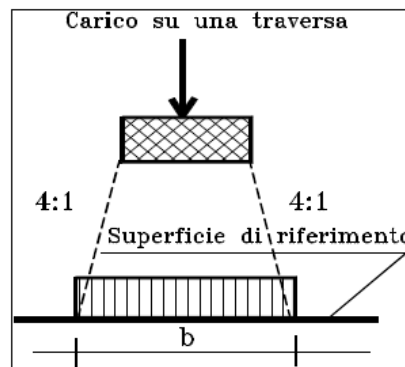
Determinazione della larghezza di diffusione dei carichi mobili:

La diffusione dei carichi attraverso Ballast e rilevato avviene con pendenza 4:1, Lo spessore considerato è il seguente:

$h_{\text{Ballast sotto la traversina}} = 0,85 \text{ m}$

La larghezza di diffusione in direzione trasversale è:

$L_{d1} = 2.40 + 2 \times 0.85/4 = 2,83\text{m}$  considerando la larghezza della traversina = 2.40 m



$$Q_{vk} = 150 \text{ kN/m} \times 1 \times 1/2,83 = 58,98 \times 1.10 \times 1.35 = 53 \text{ kN/m}^2$$

### 6.3 Azione sismica

Per la definizione dell'azione sismica sono necessarie delle valutazioni preliminari relative alle seguenti caratteristiche proprie della costruzione (2.4 – NTC2018):

- Vita Nominale ( $V_N$ );
- Classe d'uso ( $C_u$ );
- Periodo di Riferimento ( $V_R$ ).

Si attribuisce una vita nominale  $V_N = 75$  anni e la classe d'uso III con coefficiente d'uso  $C_u=1,5$ , in conformità ai seguenti riferimenti normativi:

- DM 17/01/2018 par. 2.4;
- Circ. 02/02/2009, n. 617 par. C2.4.1 e C2.4.2;
- Decreto 21/10/2003 P.C.M. Dipartimento della Prot. Civile (all.1);
- "Istruzione per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari" (rif. RFI-DTC-ICI-PO-SP-INF-001-A) par. 1.1.

Il periodo di riferimento da considerare per il calcolo dell'azione sismica sarà quindi  $V_R = C_u \times V_N = 112,5$  anni.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$ , nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente, con riferimento a prefissata probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  (3.2 – NTC2018).

La normativa NTC2018 definisce le forme spettrali, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  – Accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  – Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_C^*$  - Periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei confronti delle azioni sismiche si definiscono due stati limite di esercizio e due ultimi, che sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso (3.2.1 – NTC2008), ai quali corrispondono i seguenti valori dei parametri precedentemente definiti:



Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può far riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III – NTC2008).

Il terreno su cui insiste la costruzione è stato assimilato ad un sottosuolo di *categoria C*.

Nel caso in esame si può assumere una categoria topografica  $T_1$  (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ).

Gli spettri di progetto agli stati limite SLD, SLV e SLO sono stati determinati facendo riferimento ad un punto intermedio della tratta Bovino di coordinate:

- Longitudine:  $15.280293^\circ$ ,
- Latitudine:  $41.240983^\circ$ ,

Risulta per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) quanto segue.

Accelerazione di riferimento $a_g/g$	Categoria sottosuolo	Categoria topografica	Vita Nominale	Classe d'uso	Accelerazione massima attesa al sito $a_{max}/g$
0.272	C	T1	75	III	0.354

Figura 6-2 Azione sismica di riferimento

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.272 g
$F_o$	2.436
$T_c^*$	0.431 s
$S_s$	1.302
$C_c$	1.387
$S_T$	1.000
$q$	1.000

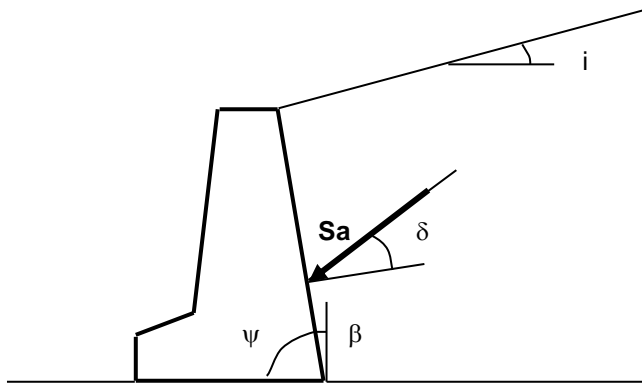
**Parametri dipendenti**

S	1.302
$\eta$	1.000
$T_B$	0.199 s
$T_C$	0.597 s
$T_D$	2.688 s

Figura 6-3 Parametri sismici per la definizione dello spettro di progetto

## 6.4 Spinta del terreno

### 6.4.1 Coefficienti di spinta in condizioni statiche



$$\text{per } i \leq \varphi' - \theta \quad k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \varphi' - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi' + \delta) \text{sen}(\varphi' - i - \theta)}{\text{sen}(\psi - \theta - \delta) \text{sen}(\psi + i)}} \right]^2}$$

$$\text{per } i > \varphi' - \theta \quad k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \varphi' - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta)}$$

$$k_p = \frac{\text{sen}^2(\psi + \varphi' - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\psi + \theta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\text{sen} \varphi' \text{sen}(\varphi' + i - \theta)}{\text{sen}(\psi + i) \text{sen}(\psi + \theta)}} \right]^2}$$

### 6.4.2 Coefficienti di spinta in condizioni sismiche

La spinta delle terre in condizioni sismiche verrà valutata tramite il metodo di WOOD. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo  $\varepsilon$  (inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale) e l'angolo  $\beta$  (inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede), vengono aumentati di una quantità  $\theta$  tale che:

$$\text{tg } \theta = k_h / (1 \pm k_v)$$

con  $k_h$  coefficiente sismico orizzontale e  $k_v$  verticale.

In assenza di studi specifici, i coefficienti  $k_h$  e  $k_v$  devono essere calcolati come:

R113 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	R11300 001	A	19 di 50

$$k_h = \beta_m a_{max}/g \quad k_v = 0,5 \cdot k_h$$

in cui  $a_{max}$  rappresenta il valore dell'accelerazione sismica massima del terreno per la categoria stratigrafica:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

Nella precedente espressione, il coefficiente  $\beta_m$  assume i valori riportati al paragrafo 7.11.6.2.1 delle NTC2018 ( $\beta_m = 0,38$  per gli SLV e ( $\beta_m = 0,47$ ).

Per le verifiche è stato quindi utilizzato  $\beta_m = 0,38$ .

## 7. COMBINAZIONI DI CARICO

In linea con quanto riportato nel quadro normativo vigente, le azioni descritte nei paragrafi precedenti, sono combinate nel modo seguente:

combinazione fondamentale (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

combinazione sismica:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

combinazione eccezionale:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

combinazione Rara (SLE irreversibile):

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

combinazione Frequente (SLE reversibile):

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

combinazione Quasi Permanente (SLE per gli effetti a lungo termine):

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Sono prese in considerazione le seguenti verifiche agli stati limite ultimi:

- SLU di tipo Geotecnico (GEO), relative a condizioni di collasso per carico limite dell'insieme fondazione – terreno;
- SLU di tipo strutturale (STR), relative a condizioni di raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Le verifiche sono svolte considerando il seguente approccio:

Approccio 2: A1 + M1 + R3

Tale approccio prevede un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali che nelle verifiche geotecniche secondo quanto riportato nelle tabelle seguenti:

**Tab. 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU**

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti $g_1$ e $g_3$	favorevoli	$\gamma_{G1}$ e $\gamma_{G3}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup> $g_2$	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

**Tab. 5.1.VI - Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali**

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente $\psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_Y$	$\gamma_Y$	1,0	1,0

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro H=3,80</p>	<p>COMMESSA IF1W</p>	<p>LOTTO 00 D 29</p>	<p>CODIFICA CL</p>	<p>DOCUMENTO RI1300 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 23 di 50</p>

## 8. CRITERI DI VERIFICA

### 8.1 Geotecniche

Saranno condotte, in accordo con la normativa vigente le seguenti verifiche globali di carattere geotecnico:

- Verifica di ribaltamento, eseguita con riferimento allo spigolo anteriore della platea di fondazione, confrontando il momento stabilizzante  $M_s$  dovuto alle forze verticali con il momento ribaltante  $M_r$  provocato dalle forze orizzontali;
- Verifica di scorrimento, eseguita controllando che la somma delle forze orizzontali sia sufficientemente minore della forza di attrito che si può esplicare per effetto dei carichi verticali  $N$  al contatto tra platea di fondazione e terreno. Il coefficiente di attrito  $f$  è assunto pari a:

$$f = \operatorname{tg}(\delta) = \operatorname{tg}(\phi)$$

trascurando il contributo stabilizzante dovuto alla spinta passiva del terreno anteriore

- Verifica al carico limite dell'insieme fondazione-terreno utilizzando l'espressione della portanza unitaria limite secondo la teoria di Meyerhoff

### 8.2 Strutturali

#### 8.2.1 Verifica agli SLU-SLV

##### 8.2.1.1 Verifica a pressoflessione deviata

Saranno calcolati i domini ultimi delle sezioni resistenti per ogni sezione in cui risulta una variazione di geometria o di armatura. Le verifiche strutturali saranno soddisfatte se i gruppi di sollecitazioni per le combinazioni di carico più gravose ricadono all'interno dei domini calcolati.

Sono utilizzati i seguenti coefficienti di sicurezza sui materiali:

- $\gamma_c = 1.5$  § 4.1.2.1.1.1 NTC 18;
- $\gamma_s = 1.15$  § 4.1.2.1.1.3 NTC 18;

##### 8.2.1.2 Verifica a taglio

Al fine di escludere la formazione di meccanismi inelastici dovuti al taglio, le sollecitazioni di taglio di calcolo  $V_{Ed}$  si ottengono sommando il contributo dovuto ai carichi gravitazionali agenti sulla trave, considerata incernierata agli estremi, alle sollecitazioni di taglio corrispondenti alla formazione di cerniere plastiche nella trave e prodotte dai momenti resistenti (ultimi) delle due sezioni di plasticizzazione

(generalmente quelle di estremità) amplificati del fattore di sovra resistenza  $\gamma_{Rd}$  assunto pari a 1.0 per CDB.

Deve risultare (NTC2018 – 4.1.2.3.5):

$$V_{Rd} > V_d$$

dove:

$V_d$  = Valore di calcolo del taglio agente;

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

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola 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" si calcola con:

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

dove:

$\alpha$  : Angolo d'inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento;

$\theta$  : Angolo d'inclinazione dei puntoni in calcestruzzo rispetto all'asse dell'elemento.



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro H=3,80	COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI1300 001	REV. A

## 8.2.2 Verifiche agli stati limite di esercizio - SLE

Le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio degli elementi strutturali si effettuano in termini di:

- verifica di fessurazione;
- verifica delle tensioni di esercizio.

Nel caso in esame non è necessario effettuare le verifiche degli elementi strutturali in termini di resistenza (punto 7.3.7.1 delle NTC2008) dato che il fabbricato tecnologico in esame non ricade in classe d'uso III e IV.

### 8.2.2.1 Fessurazione

Per assicurare la funzionalità e la durata della struttura è necessario:

- realizzare un sufficiente ricoprimento delle armature con calcestruzzo di buona qualità e compattezza, bassa porosità e bassa permeabilità;
- non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni ed alla sensibilità delle armature alla corrosione;
- tener conto delle esigenze estetiche.

Avendo adottato acciai ordinari si rientra nel gruppo di armature poco sensibili alla corrosione. Pertanto sulla base della tabella 4.1.IV – NTC2018 è possibile definire lo stato limite di fessurazione in funzione delle condizioni ambientali (ordinarie) e dell'armatura (poco sensibile), prendendo in considerazione le combinazioni quasi permanenti e frequenti. Nel caso in esame lo stato limite di fessurazione da considerare è lo *stato limite di apertura delle fessure*. La verifica consiste nell'accertarsi che il valore di calcolo di apertura delle fessure ( $w_d$ ) non supera il valore limite fissato per la combinazione considerata. In particolare:

- per la combinazione di carico frequente bisogna accertarsi che risulti:  $w_d < w_3 = 0.4 \text{ mm}$ ;
- per la combinazione di carico quasi permanente bisogna accertarsi che risulti:  $w_d < w_2 = 0.3 \text{ mm}$ .

### 8.2.2.2 Limitazioni delle tensioni di esercizio:

Per completare il quadro delle verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) è necessario controllare le tensioni di esercizio, in accordo con quanto riportato al punto 4.1.2.2.5 delle NTC2018. In particolare bisogna verificare che:

- Per il calcestruzzo compresso:

$$\sigma_c < 0.60 f_{ck} \quad (\text{per combinazione caratteristica rara});$$

$$\sigma_c < 0.45 f_{ck} \quad (\text{per combinazione quasi permanente});$$

- Per l'acciaio:

$$\sigma_s < 0.80 f_{yk} \quad (\text{per combinazione caratteristica rara}).$$

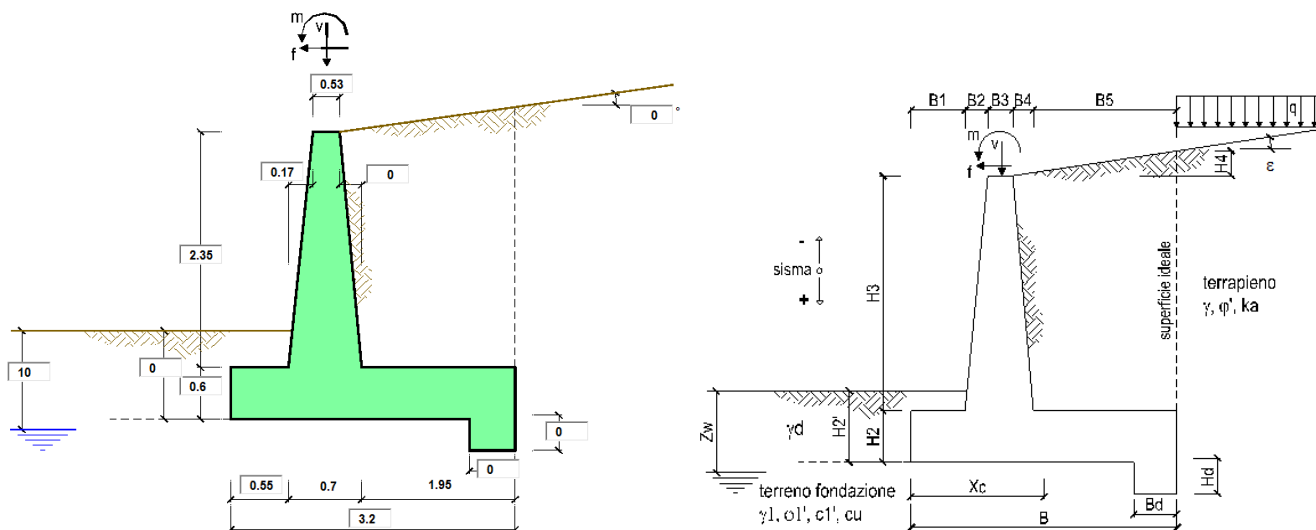
RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	RI1300 001	A	26 di 50

Di seguito si riportano le tensioni di esercizio determinate in corrispondenza della combinazione che produce il valore di tensione più gravoso distinguendo tra combinazioni rare e quasi permanenti. Dalle tabelle seguenti, nelle quali accanto a ciascun valore di tensione viene indicato il corrispondente valore limite, si evince che le verifiche delle tensioni di esercizio risultano soddisfatte.

## 9. ANALISI

### 9.1 Geometria



#### DATI DI PROGETTO:

##### Geometria del Muro

Elevazione	H3 =	2.35	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0.17	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0.53	(m)
Aggetto monte	B4 =	0.00	(m)

##### Geometria della Fondazione

Larghezza Fondazione	B =	3.20	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	0.60	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	0.55	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	1.95	(m)
Altezza dente	Hd =	0.00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0.00	(m)
Mezzeria Sezione	Xc =	1.60	(m)

Peso Specifico del Calcestruzzo	$\gamma_{cls}$ =	25.00	(kN/m <sup>3</sup> )
---------------------------------	------------------	-------	----------------------

## 9.2 Combinazioni di carico

### Combinazioni coefficienti parziali di verifica

SLU	Approccio 1	comb. 1	A1+M1+R1 EQU+M2	<input type="radio"/>
		comb. 2	A2+M2+R2 EQU+M2	<input type="radio"/>
	Approccio 2		A1+M1+R3 EQU+M2	<input checked="" type="radio"/>
SLE (DM88)				<input type="radio"/>
altro				<input type="radio"/>

Peso Specifico del Calcestruzzo  $\gamma_{cls} = 25.00$  (kN/m<sup>3</sup>)

Carichi	Effetto	Coeff. Parziale	EQU	A1 (STR)	A2 (GEO)	SLE	altro
Permanenti	favorevole	$\gamma_G$	0.90	1.00	1.00	1.00	1.10
	sfavorevole		1.10	1.35	1.00	1.00	1.10
Variabili	favorevole	$\gamma_Q$	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10
	sfavorevole		1.50	1.50	1.30	1.00	1.10

Parametro		Coeff. Parziale	M1	M2	SLE	altro
angolo d'attrito	$\tan \phi'_k$	$\gamma_\phi$	1.00	1.25	1.00	1.00
coesione	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25	1.00	1.00
resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1.00	1.40	1.00	1.00
peso unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1.00	1.00	1.00	1.00

Verifica	Coeff. Parziale	R1	R2	R3	SLE	altro
Capacità portante fondazione	$\gamma_R$	1.00	1.00	1.40	2.00	1.00
Scorrimento		1.00	1.00	1.10	1.30	1.00
Ribaltamento		1.00	1.00	1.15	1.50	1.00

RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	RI1300 001	A	28 di 50

### 9.3 Dati geotecnici

		valori caratteristici		valori di progetto	
		SLE		STR/GEO	EQU
<b>Dati Geotecnici</b>					
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	$\phi'$	38.00	38.00 32.01
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$	20.00	20.00 20.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	$\delta$	23.00	23.00 19.37
Dati Terreno Fondazione	Condizioni	<input checked="" type="radio"/> drenate <input type="radio"/> Non Drenate			
	Coesione Terreno di Fondazione	(kPa)	$c1'$	0.00	0.00 0.00
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	(°)	$\phi1'$	36.00	36.00 30.17
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma1$	18.50	18.50 18.50
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma d$	18.50	18.50 18.50
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B)	(m)	Hs	16.00	
	Modulo di deformazione	(kN/m <sup>2</sup> )	E	45000	

Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	0.272	(-)
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	$S_S$	1.302	(-)
	Coefficiente Amplificazione Topografico	$S_T$	1	(-)
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	$\beta_s$	0.38	(-)
	Coefficiente sismico orizzontale	kh	0.13457472	(-)
	Coefficiente sismico verticale	kv	0.0673	(-)
	Muro libero di traslare o ruotare	<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no		

		SLE	STR/GEO	EQU
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva Statico	ka	0.217	0.217 0.276
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	kas+	0.291	0.291 0.360
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	kas-	0.303	0.303 0.374
	Coeff. Di Spinta Passiva	kp	3.852	3.852 3.020
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma +	kps+	3.597	3.597 2.792
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma -	kps-	3.559	3.559 2.758

### 9.4 Carichi agenti

		valori caratteristici		valori di progetto	
		SLE - sisma		STR/GEO	EQU
<b>Carichi Agenti</b>					
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente	(kN/m <sup>2</sup> )	qp	0.00	0.00 0.00
	Sovraccarico su zattera di monte	<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no			
	Forza Orizzontale in Testa permanente	(kN/m)	fp	0.00	0.00 0.00
	Forza Verticale in Testa permanente	(kN/m)	vp	0.00	0.00 0.00
	Momento in Testa permanente	(kNm/m)	mp	0.00	0.00 0.00
Condizioni Statiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	(kN/m <sup>2</sup> )	q	53.00	79.50 79.50
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	f	0.00	0.00 0.00
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	v	0.00	0.00 0.00
	Momento in Testa accidentale in condizioni statiche	(kNm/m)	m	0.00	0.00 0.00
	Coefficienti di combinazione	condizione frequente $\Psi1$	0.75	condizione quasi permanente $\Psi2$	0.00
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	(kN/m <sup>2</sup> )	qs	0.00	
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	fs	0.00	
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	vs	0.00	
	Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kNm/m)	ms	0.00	

## 9.5 Calcolo delle azioni agenti sul muro

### 9.5.1 Forze statiche

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

			SLE	STR/GEO	EQU
Pm1 =	$(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	(kN/m)	4.99	4.99	4.49
Pm2 =	$(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	31.14	31.14	28.02
Pm3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Pm4 =	$(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	48.00	48.00	43.20
Pm5 =	$(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Pm =	Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5	(kN/m)	84.13	84.13	75.72

- Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt)

Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma')$	(kN/m)	91.65	91.65	82.49
Pt2 =	$(0,5 \cdot (B4+B5) \cdot H4 \cdot \gamma')$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Pt3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma')$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Sovr =	$q_p \cdot (B4+B5)$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Pt =	Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr	(kN/m)	91.65	91.65	82.49

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

Sovr acc. Stat	$q \cdot (B4+B5)$	(kN/m)	103.35	155.025	
Sovr acc. Sism	$q_s \cdot (B4+B5)$	(kN/m)	0		

#### MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO

- Muro (Mm)

			SLE	STR/GEO	EQU
Mm1 =	$Pm1 \cdot (B1+2/3 B2)$	(kNm/m)	3.31	3.31	2.98
Mm2 =	$Pm2 \cdot (B1+B2+0,5 \cdot B3)$	(kNm/m)	30.67	30.67	27.60
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1+B2+B3+1/3 B4)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	(kNm/m)	76.80	76.80	69.12
Mm5 =	$Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mm =	Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5	(kNm/m)	110.78	110.78	99.70

- Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro

Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1+B2+B3+B4+0,5 \cdot B5)$	(kNm/m)	203.92	203.92	183.53
Mt2 =	$Pt2 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mt3 =	$Pt3 \cdot (B1+B2+B3+2/3 \cdot B4)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Msovr =	$Sovr \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mt =	Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr	(kNm/m)	203.92	203.92	183.53

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

Sovr acc. Stat	$q \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m)	229.95375	344.930625	
Sovr acc. Sism	$q_s \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m)	0		

RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	RI1300 001	A	30 di 50

## 9.5.2 Forze sismiche

### INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia orizzontale e verticale del muro (Ps)

Ps h =	$P_m \cdot k_h$	(kN/m)	11.32
Ps v =	$P_m \cdot k_v$	(kN/m)	5.66

- Inerzia orizzontale e verticale del terrapieno a tergo del muro (Pts)

Ptsh =	$P_t \cdot k_h$	(kN/m)	12.33
Ptsv =	$P_t \cdot k_v$	(kN/m)	6.17

- Incremento orizzontale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs h)

MPs1 h=	$k_h \cdot P_m 1 \cdot (H_2 + H_3/3)$	(kNm/m)	0.93
MPs2 h=	$k_h \cdot P_m 2 \cdot (H_2 + H_3/2)$	(kNm/m)	7.44
MPs3 h=	$k_h \cdot P_m 3 \cdot (H_2 + H_3/3)$	(kNm/m)	0.00
MPs4 h=	$k_h \cdot P_m 4 \cdot (H_2/2)$	(kNm/m)	1.94
MPs5 h=	$-k_h \cdot P_m 5 \cdot (H_d/2)$	(kNm/m)	0.00
MPs h=	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$	(kNm/m)	10.31

- Incremento verticale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs v)

MPs1 v=	$k_v \cdot P_m 1 \cdot (B_1 + 2/3 \cdot B_2)$	(kNm/m)	0.22
MPs2 v=	$k_v \cdot P_m 2 \cdot (B_1 + B_2 + B_3/2)$	(kNm/m)	2.06
MPs3 v=	$k_v \cdot P_m 3 \cdot (B_1 + B_2 + B_3 + B_4/3)$	(kNm/m)	0.00
MPs4 v=	$k_v \cdot P_m 4 \cdot (B/2)$	(kNm/m)	5.17
MPs5 v=	$k_v \cdot P_m 5 \cdot (B - B_d/2)$	(kNm/m)	0.00
MPs v=	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$	(kNm/m)	7.45

- Incremento orizzontale di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts h)

MPts1 h=	$k_h \cdot P_t 1 \cdot (H_2 + H_3/2)$	( kNm/m )	21.89
MPts2 h=	$k_h \cdot P_t 2 \cdot (H_2 + H_3 + H_4/3)$	( kNm/m )	0.00
MPts3 h=	$k_h \cdot P_t 3 \cdot (H_2 + H_3 \cdot 2/3)$	( kNm/m )	0.00
MPts h=	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	( kNm/m )	21.89

- Incremento verticale di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts v)

MPts1 v=	$k_v \cdot P_t 1 \cdot ((H_2 + H_3/2) - (B - B_5/2) \cdot 0.5)$	( kNm/m )	13.72
MPts2 v=	$k_v \cdot P_t 2 \cdot ((H_2 + H_3 + H_4/3) - (B - B_5/3) \cdot 0.5)$	( kNm/m )	0.00
MPts3 v=	$k_v \cdot P_t 3 \cdot ((H_2 + H_3 \cdot 2/3) - (B_1 + B_2 + B_3 + 2/3 \cdot B_4) \cdot 0.5)$	( kNm/m )	0.00
MPts v=	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	( kNm/m )	13.72

### 9.5.3 Spinte del terreno

#### CONDIZIONE STATICA

##### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

		SLE	STR/GEO	EQU	
St =	$0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$	(kN/m)	18.85	25.45	26.40
Sq perm =	$q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Sq acc =	$q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka$	(kN/m)	33.86	50.79	64.68

- Componente orizzontale condizione statica

Sth =	$St \cdot \cos \delta$	(kN/m)	17.35	23.42	24.90
Sqh perm =	$Sq \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Sqh acc =	$Sq \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	31.17	46.76	61.01

- Componente verticale condizione statica

Stv =	$St \cdot \sin \delta$	(kN/m)	7.36	9.94	8.76
Sqv perm =	$Sq \text{ perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Sqv acc =	$Sq \text{ acc} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	13.23	19.85	21.45

- Spinta passiva sul dente

$S_p = \frac{1}{2} \cdot g_1 \cdot Hd^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot k_p + (2 \cdot c_1 \cdot k_p^{0.5} + \gamma_1 \cdot k_p \cdot H_2) \cdot Hd$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
--	--------	------	------	------

##### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

		SLE	STR/GEO	EQU	
MS <sub>t1</sub> =	$Sth \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd)$	( kNm/m )	17.06	23.03	24.49
MS <sub>t2</sub> =	$Stv \cdot B$	( kNm/m )	23.57	31.82	28.02
MS <sub>q1 perm</sub> =	$Sqh \text{ perm} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd)$	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00
MS <sub>q1 acc</sub> =	$Sqh \text{ acc} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd)$	( kNm/m )	45.98	68.97	90.00
MS <sub>q2 perm</sub> =	$Sqv \text{ perm} \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00
MS <sub>q2 acc</sub> =	$Sqv \text{ acc} \cdot B$	( kNm/m )	42.34	63.51	68.65
MS <sub>p</sub> =	$\gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot k_p / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot k_p^{0.5} + \gamma_1 \cdot k_p \cdot H_2) \cdot Hd^2 / 2$	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00

##### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

Mfext <sub>1</sub> =	$mp + m$	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00
Mfext <sub>2</sub> =	$(fp + f) \cdot (H3 + H2)$	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00
Mfext <sub>3</sub> =	$(vp+v) \cdot (B1 + B2 + B3/2)$	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00

RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	RI1300 001	A	32 di 50

## 9.6 Verifiche dell'equilibrio limite in condizioni statiche

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv \text{ perm}} + S_{qv \text{ acc}} = 205.57 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{th} + S_{qh} + f = 70.18 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg} \phi_1' = 0.73 \quad (-)$$

$$F_s \text{ scorr.} = \frac{(N \cdot f + S_p)}{T} = \frac{205.57 \cdot 0.73 + S_p}{70.18} = 2.13 > 1.1$$

### VERIFICA AL RIBALTAMENTO (EQU)

Momento stabilizzante (Ms)

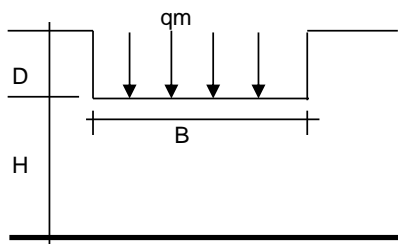
$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} = 283.23 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} = 17.81 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_s \text{ ribaltamento} = \frac{M_s}{M_r} = \frac{283.23}{17.81} = 15.90 > 1.15$$

### CEDIMENTO DELLA FONDAZIONE



$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E \quad (\text{Christian e Carrier, 1976})$$

N	193.07	(kN/m)
M	-9.57	(kNm/m)
e=M/N	-0.05	(m)
B*	3.10	(m)

Profondità Piano di Posa della Fondazione

D =	0.00	(m)
D/B*	0.00	(m)
Hs/B*	5.16	(m)

Carico unitario medio (qm)

$$q_m = N / (B - 2 \cdot e) = N / B^* = 66.29 \quad (\text{kN/mq})$$

Coefficiente di forma  $\mu_0 = f(D/B)$

$$\mu_0 = 0.965 \quad (-)$$

Coefficiente di profondità  $\mu_1 = f(H/B)$

$$\mu_1 = 1.10 \quad (-)$$

Cedimento della fondazione

$$\delta = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot q_m \cdot B^* / E = 4.85 \quad (\text{mm})$$



RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	RI1300 001	A	33 di 50

### VERIFICA CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)		Nmin	Nmax	
$N = P_m + P_t + v + St_v + Sq_v (+ Sovr acc)$		205.57	360.60	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
$T = S_{th} + S_{qh} + f - S_p$		70.18	70.18	(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
$MM = \sum M$		318.03	662.96	(kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
$M = X_c \cdot N - MM$		10.88	-86.01	(kNm/m)

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c'ic + q_0N_q'iq + 0,5\gamma_1B^*N_\gamma'i_\gamma$$

$c1'$	coesione terreno di fondaz.	0.00		(kPa)
$\varphi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	36.00		(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	18.50		(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d'H_2'$	sovraccarico stabilizzante	0.00		(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	0.05	-0.24	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	3.09	2.72	(m)

I valori di  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = tg^2(45 + \varphi/2) \cdot e^{(\pi \cdot tg(\varphi))}$	(1 in cond. nd)	37.75		(-)
$N_c = (N_q - 1)/tg(\varphi)$	(2+π in cond. nd)	50.59		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot tg(\varphi)$	(0 in cond. nd)	56.31		(-)

I valori di  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T/(N + B^*c'cotg\varphi))^m$	(1 in cond. nd)	0.43	0.65	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1)$		0.42	0.42	(-)
$i_\gamma = (1 - T/(N + B^*c'cotg\varphi))^{m+1}$		0.29	0.29	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	460.43	460.43	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

<b>FS carico limite</b>	<b>F = <math>q_{lim} \cdot B^* / N</math></b>	Nmin	<b>6.93</b>	>	<b>1.4</b>
		Nmax	<b>3.48</b>	>	

## 9.7 Verifiche dell'equilibrio limite in condizioni sismiche

### CONDIZIONE SISMICA +

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta condizione sismica +

		SLE	STR/GEO	EQU
Sst1 stat = $0,5 \cdot \gamma' \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$	(kN/m)	18.85	18.85	24.00
Sst1 sism = $0,5 \cdot \gamma' \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^+ - Sst1 \text{ stat}$	(kN/m)	8.16	8.16	9.45
Ssq1 perm = $qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Ssq1 acc = $qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00

- Componente orizzontale condizione sismica +

Sst1h stat = $Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	17.35	17.35	22.64
Sst1h sism = $Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	7.51	7.51	8.91
Ssq1h perm = $Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Ssq1h acc = $Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00

- Componente verticale condizione sismica +

Sst1v stat = $Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	7.36	7.36	7.96
Sst1v sism = $Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	3.19	3.19	3.13
Ssq1v perm = $Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Ssq1v acc = $Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00

- Spinta passiva sul dente

$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1' \cdot (1+kv) \cdot Hd^2 \cdot kps^+ + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot (1+kv) \cdot kps^+ \cdot H2) \cdot Hd$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
---	--------	------	------	------

#### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione sismica +

		SLE	STR/GEO	EQU
MSst1 stat = $Sst1h \text{ stat} \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$	( kNm/m )	17.06	17.06	22.26
MSst1 sism = $Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	( kNm/m )	7.38	7.38	8.77
MSst2 stat = $Sst1v \text{ stat} \cdot B$	( kNm/m )	23.57	23.57	25.47
MSst2 sism = $Sst1v \text{ sism} \cdot B$	( kNm/m )	10.20	10.20	10.03
MSsq1 = $Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00
MSsq2 = $Ssq1v \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00
MSp = $\gamma_1' \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1' \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1' \cdot kps^+ \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2$	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00

#### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

Mfext1 = $mp+ms$	( kNm/m )		0.00	
Mfext2 = $(fp+fs) \cdot (H3 + H2)$	( kNm/m )		0.00	
Mfext3 = $(vp+vs) \cdot (B1 + B2 + B3/2)$	( kNm/m )		0.00	

RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	RI1300 001	A	35 di 50

### VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)		Nmin	Nmax	
N =	$P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} + (Sovr\ acc)$	198.16	198.16	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T =	$S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p$	48.51		(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
MM =	$\Sigma M$	313.00	313.00	(kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
M =	$X_c * N - MM$	4.05	4.05	(kNm/m)

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c'N_c * i_c + q_0 * N_q * i_q + 0,5 * \gamma_1 * B * N_\gamma * i_\gamma$$

c1'	coesione terreno di fondaz.	0.00		(kN/mq)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	36.00		(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	18.50		(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d * H_2'$	sovraccarico stabilizzante	0.00		(kN/m <sup>2</sup> )
e = M / N	eccentricità	0.02	0.02	(m)
B* = B - 2e	larghezza equivalente	3.16	3.16	(m)

I valori di Nc, Nq e Ng sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = tg^2(45 + \phi/2) * e^{(\pi * tg(\phi))}$	(1 in cond. nd)	37.75		(-)
$N_c = (N_q - 1) / tg(\phi)$	(2 + $\pi$ in cond. nd)	50.59		(-)
$N_\gamma = 2 * (N_q + 1) * tg(\phi)$	(0 in cond. nd)	56.31		(-)

I valori di ic, iq e i $\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T / (N + B * c' * cotg(\phi)))^m$	(1 in cond. nd)	0.57	0.57	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.56	0.56	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B * c' * cotg(\phi)))^{m+1}$		0.43	0.43	(-)

(fondazione nastriforme m = 2)

q <sub>lim</sub>	(carico limite unitario)	708.67	708.67	(kN/m <sup>2</sup> )
------------------	--------------------------	--------	--------	----------------------

<b>FS carico limite</b>	<b>F = q<sub>lim</sub> * B* / N</b>	Nmin	<b>11.30</b>	>	<b>1.4</b>
		Nmax	<b>11.30</b>	>	

RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	RI1300 001	A	36 di 50

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 198.16 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 48.51 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg} \phi_1' \quad 0.73 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{2.97} \quad > \quad \mathbf{1.1}$$

### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 314.70 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 6.55 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad \mathbf{48.07} \quad > \quad \mathbf{1.15}$$

RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	RI1300 001	A	37 di 50

## CONDIZIONE SISMICA -

### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta condizione sismica -

		SLE	STR/GEO	EQU
Sst1 stat = $0,5 \cdot \gamma \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d)^2 \cdot k_a$	(kN/m)	18.85	18.85	24.00
Sst1 sism = $0,5 \cdot \gamma \cdot (1 - k_v) \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d)^2 \cdot k_{as}^- - Sst1 \text{ stat}$	(kN/m)	5.77	5.77	6.40
Ssq1 perm = $q_p \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_{as}^-$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Ssq1 acc = $q_s \cdot (H_2 + H_3 + H_4 + H_d) \cdot k_{as}^-$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00

- Componente orizzontale condizione sismica -

Sst1h stat = Sst1 stat * cos δ	(kN/m)	17.35	17.35	22.64
Sst1h sism = Sst1 sism * cos δ	(kN/m)	5.31	5.31	6.04
Ssq1h perm = Ssq1 perm * cos δ	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Ssq1h acc = Ssq1 acc * cos δ	(kN/m)	0.00	0.00	0.00

- Componente verticale condizione sismica -

Sst1v stat = Sst1 stat * sen δ	(kN/m)	7.36	7.36	7.96
Sst1v sism = Sst1 sism * sen δ	(kN/m)	2.25	2.25	2.12
Ssq1v perm = Ssq1 perm * sen δ	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Ssq1v acc = Ssq1 acc * sen δ	(kN/m)	0.00	0.00	0.00

- Spinta passiva sul dente

$S_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1' \cdot (1 - k_v) \cdot H_d^2 \cdot k_{ps}^- + (2 \cdot c_1' \cdot k_{ps}^{-0.5} + \gamma_1' \cdot (1 - k_v) \cdot k_{ps}^- \cdot H_2) \cdot H_d$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
--	--------	------	------	------

### MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Condizione sismica -

		SLE	STR/GEO	EQU
MSst1 stat = Sst1h stat * ((H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> +H <sub>4</sub> +hd)/3-hd)	( kNm/m )	17.06	17.06	22.26
MSst1 sism = Sst1h sism * ((H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> +H <sub>4</sub> +Hd)/3-Hd)	( kNm/m )	5.22	5.22	5.93
MSst2 stat = Sst1v stat * B	( kNm/m )	23.57	23.57	25.47
MSst2 sism = Sst1v sism * B	( kNm/m )	7.21	7.21	6.79
MSsq1 = Ssq1h * ((H <sub>2</sub> +H <sub>3</sub> +H <sub>4</sub> +Hd)/2-Hd)	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00
MSsq2 = Ssq1v * B	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00
M <sub>Sp</sub> = $\gamma_1' \cdot H_d^3 \cdot k_{ps}^- / 3 + (2 \cdot c_1' \cdot k_{ps}^{-0.5} + \gamma_1' \cdot k_{ps}^- \cdot H_2) \cdot H_d^2 / 2$	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00

### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

Mfext1 = mp+ms	( kNm/m )		0.00	
Mfext2 = (fp+fs)*(H <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> )	( kNm/m )		0.00	
Mfext3 = (vp+vs)*(B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub> + B <sub>3</sub> /2)	( kNm/m )		0.00	

RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	RI1300 001	A	38 di 50

### VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)		Nmin	Nmax	
N =	$P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv}$	173.57	173.57	(kN/m)
Risultante forze orizzontali (T)				
T =	$S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p$	46.32		(kN/m)
Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)				
MM =	$\Sigma M$	269.83	269.83	(kNm/m)
Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)				
M =	$X_c \cdot N - MM$	7.89	7.89	(kNm/m)

### Formula Generale per il Calcolo del Carico Limite Unitario (Brinch-Hansen, 1970)

Fondazione Nastriforme

$$q_{lim} = c' N_c i_c + q_0 N_q i_q + 0,5 \gamma_1 B N_\gamma i_\gamma$$

$c'$	coesione terreno di fondaz.	0.00		(kN/mq)
$\phi_1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	36.00		(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	18.50		(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d' H_2'$	sovraccarico stabilizzante	0.00		(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	0.05	0.05	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	3.11	3.11	(m)

I valori di  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \text{tg}(\phi))}$	(1 in cond. nd)	37.75		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi)$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	50.59		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\phi)$	(0 in cond. nd)	56.31		(-)

I valori di  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono stati valutati con le espressioni suggerite da Vesic (1975)

$i_q = (1 - T / (N + B^* c' \cot \phi))^m$	(1 in cond. nd)	0.54	0.54	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.52	0.52	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* c' \cot \phi))^{m+1}$		0.39	0.39	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	638.21	638.21	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

<b>FS carico limite</b>	<b><math>F = q_{lim} \cdot B^* / N</math></b>	Nmin	<b>11.43</b>	>	<b>1.4</b>
		Nmax	<b>11.43</b>	>	

### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 173.57 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 46.32 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg} \phi_1' \quad 0.73 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{2.72} \quad > \quad \mathbf{1.1}$$

### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 314.70 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 49.31 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad \mathbf{6.38} \quad > \quad \mathbf{1.15}$$

## 9.8 Verifiche dell'equilibrio limite - Sintesi dei risultati

### Coefficienti di sicurezza

	<u>Scorrimento</u>	<u>Ribaltamento</u>	<u>Carico limite</u>
<b>Statico</b>	<b>2.13</b>	<b>15.90</b>	<b>3.48</b>
<b>Sismico</b>	<b>2.72</b>	<b>6.38</b>	<b>11.30</b>

R113 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	R11300 001	A	40 di 50

## 9.9 Verifiche agli SLU



R113 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	R11300 001	A	41 di 50

### 9.9.1 Sollecitazioni sul muro

RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	RI1300 001	A	42 di 50

**CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE**

**Reazione del terreno**

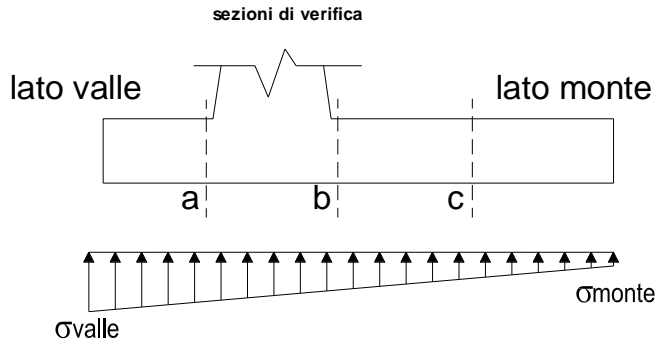
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 3.20 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 1.71 \quad (m^3)$$

caso	N	M	$\sigma_{valle}$	$\sigma_{monte}$
	[kN]	[kNm]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
statico	205.57	10.88	70.62	57.87
	360.60	-86.01	62.29	163.08
sisma+	198.16	4.05	64.30	59.55
	198.16	4.05	64.30	59.55
sisma-	173.57	7.89	58.86	49.62
	173.57	7.89	58.86	49.62



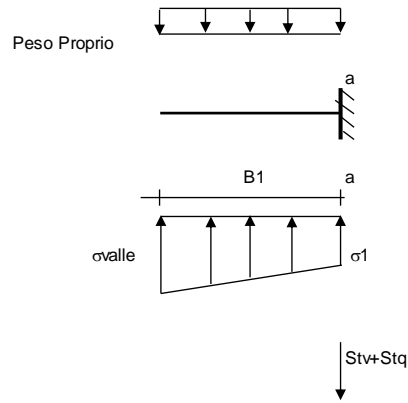
**Mensola Lato Valle**

Peso Proprio. PP = 15.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

$$V_a = \sigma_1 \cdot B + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B / 2 - PP \cdot B \cdot (1 \pm kv)$$

caso	$\sigma_{valle}$	$\sigma_1$	$M_a$	$V_a$
	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]
statico	70.62	68.42	8.30	29.99
	62.29	79.61	8.03	30.77
sisma+	64.30	63.48	7.26	26.52
	64.30	63.48	7.42	26.52
sisma-	58.86	57.27	6.71	23.49
	58.86	57.27	6.55	23.49



**Mensola Lato Monte**

PP = 15.00 (kN/m<sup>2</sup>)      peso proprio soletta fondazione  
PD = 0.00 (kN/m)      peso proprio dente

	Nmin	N max stat	N max sism	
pm	47.00	126.50	47.00	(kN/m <sup>2</sup> )
pvb	47.00	126.50	47.00	(kN/m <sup>2</sup> )
pvc	47.00	126.50	47.00	(kN/m <sup>2</sup> )

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{2b} - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 +$$

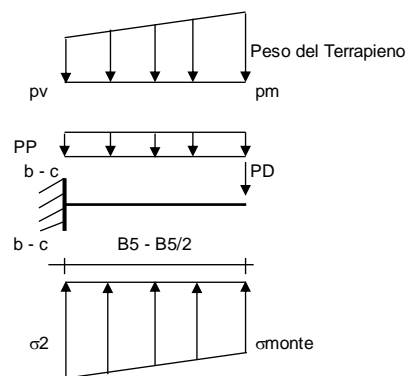
$$-(Stv + Sqv) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 +$$

$$-(Stv + Sqv) \cdot (B_5 / 2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2 - Bd / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$V_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B_5 + (\sigma_{2b} - \sigma_{monte}) \cdot B_5 / 2 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B_5 / 2 - (Stv + Sqv) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$

$$V_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2) + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2) / 2 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2) / 2 - (Stv + Sqv) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$



caso	$\sigma_{monte}$	$\sigma_{2b}$	$M_b$	$V_b$	$\sigma_{2c}$	$M_c$	$V_c$
	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]
statico	57.87	65.64	-61.03	-30.28	61.75	-30.39	-31.93
	163.08	101.66	-55.98	-47.59	132.37	-23.65	-23.72
sisma+	59.55	62.44	-31.33	-20.64	61.00	-13.21	-16.30
	59.55	62.44	-31.33	-20.64	61.00	-13.21	-16.30
sisma-	49.62	55.25	-30.79	-20.13	52.44	-12.83	-16.25
	49.62	55.25	-30.79	-20.13	52.44	-12.83	-16.25

RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	RI1300 001	A	43 di 50

**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

$$M_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h/3$$

$$M_{t \text{ sism}} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (K_{a \text{ orizz.}} \cdot (1 \pm kv) - K_{a \text{ orizz.}}) \cdot h^2 \cdot h/2 \quad \text{o} \quad h/3$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz.}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{\text{ext}} = m + f \cdot h$$

$$M_{\text{inerzia}} = \sum P m_i \cdot b_i \cdot kh$$

$$N_{\text{ext}} = v$$

$$N_{\text{pp+inerzia}} = \sum P m_i \cdot (1 \pm kv)$$

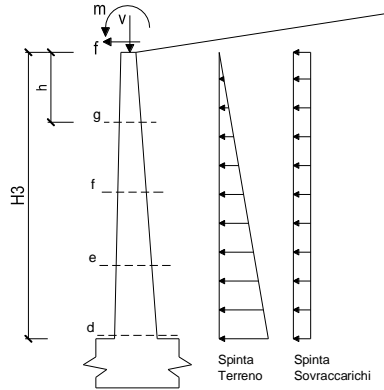
$$V_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

$$V_{t \text{ sism}} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (K_{a \text{ orizz.}} \cdot (1 \pm kv) - K_{a \text{ orizz.}}) \cdot h^2$$

$$V_q = K_{a \text{ orizz.}} \cdot q \cdot h$$

$$V_{\text{ext}} = f$$

$$V_{\text{inerzia}} = \sum P m_i \cdot kh$$



**condizione statica**

sezione	h [m]	Mt [kNm/m]	Mq [kNm/m]	M <sub>ext</sub> [kNm/m]	M <sub>tot</sub> [kNm/m]	N <sub>ext</sub> [kN/m]	N <sub>pp</sub> [kN/m]	N <sub>tot</sub> [kN/m]
d-d	2.35	11.64	43.77	0.00	55.41	0.00	36.13	36.13
e-e	1.76	4.91	24.62	0.00	29.53	0.00	26.16	26.16
f-f	1.18	1.46	10.94	0.00	12.40	0.00	16.82	16.82
g-g	0.59	0.18	2.74	0.00	2.92	0.00	8.10	8.10

sezione	h [m]	Vt [kN/m]	Vq [kN/m]	V <sub>ext</sub> [kN/m]	V <sub>tot</sub> [kN/m]
d-d	2.35	14.86	37.25	0.00	52.11
e-e	1.76	8.36	27.94	0.00	36.30
f-f	1.18	3.72	18.62	0.00	22.34
g-g	0.59	0.93	9.31	0.00	10.24

**condizione sismica +**

sezione	h [m]	M <sub>t stat</sub> [kNm/m]	M <sub>t sism</sub> [kNm/m]	Mq [kNm/m]	M <sub>ext</sub> [kNm/m]	M <sub>inerzia</sub> [kNm/m]	M <sub>tot</sub> [kNm/m]	N <sub>ext</sub> [kN/m]	N <sub>pp+inerzia</sub> [kN/m]	N <sub>tot</sub> [kN/m]
d-d	2.35	8.62	4.05	0.00	0.00	5.45	18.13	0.00	38.56	38.56
e-e	1.76	3.64	1.71	0.00	0.00	2.99	8.34	0.00	27.92	27.92
f-f	1.18	1.08	0.51	0.00	0.00	1.30	2.88	0.00	17.95	17.95
g-g	0.59	0.13	0.06	0.00	0.00	0.32	0.51	0.00	8.64	8.64

sezione	h [m]	V <sub>t stat</sub> [kN/m]	V <sub>t sism</sub> [kN/m]	Vq [kN/m]	V <sub>ext</sub> [kN/m]	V <sub>inerzia</sub> [kN/m]	V <sub>tot</sub> [kN/m]
d-d	2.35	11.01	5.18	0.00	0.00	4.86	21.05
e-e	1.76	6.19	2.91	0.00	0.00	3.52	12.63
f-f	1.18	2.75	1.29	0.00	0.00	2.26	6.31
g-g	0.59	0.69	0.32	0.00	0.00	1.09	2.10

**condizione sismica -**

sezione	h [m]	M <sub>t stat</sub> [kNm/m]	M <sub>t sism</sub> [kNm/m]	Mq [kNm/m]	M <sub>ext</sub> [kNm/m]	M <sub>inerzia</sub> [kNm/m]	M <sub>tot</sub> [kNm/m]	N <sub>ext</sub> [kN/m]	N <sub>pp+inerzia</sub> [kN/m]	N <sub>tot</sub> [kN/m]
d-d	2.35	8.62	2.87	0.00	0.00	5.45	16.94	0.00	33.70	33.70
e-e	1.76	3.64	1.21	0.00	0.00	2.99	7.84	0.00	24.40	24.40
f-f	1.18	1.08	0.36	0.00	0.00	1.30	2.73	0.00	15.69	15.69
g-g	0.59	0.13	0.04	0.00	0.00	0.32	0.50	0.00	7.55	7.55

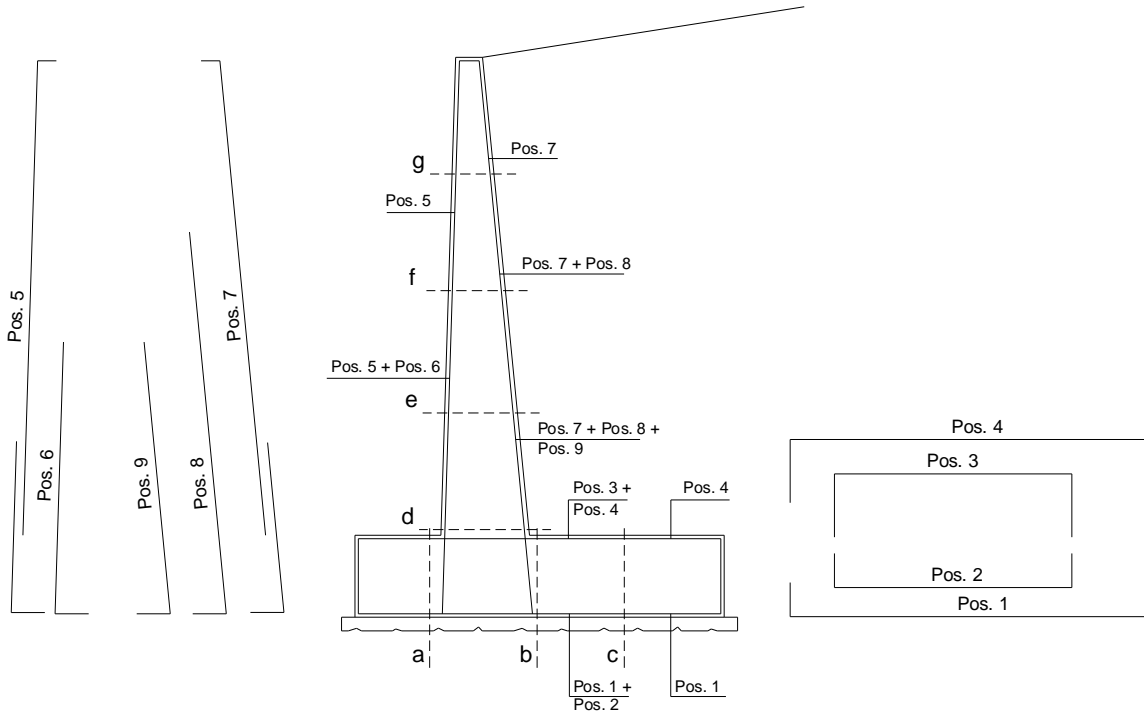
sezione	h [m]	V <sub>t stat</sub> [kN/m]	V <sub>t sism</sub> [kN/m]	Vq [kN/m]	V <sub>ext</sub> [kN/m]	V <sub>inerzia</sub> [kN/m]	V <sub>tot</sub> [kN/m]
d-d	2.35	11.01	3.66	0.00	0.00	4.86	19.53
e-e	1.76	6.19	2.06	0.00	0.00	3.52	11.77
f-f	1.18	2.75	0.92	0.00	0.00	2.26	5.93
g-g	0.59	0.69	0.23	0.00	0.00	1.09	2.01

RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	RI1300 001	A	44 di 50

### 9.9.2 Schema delle armature

#### SCHEMA DELLE ARMATURE

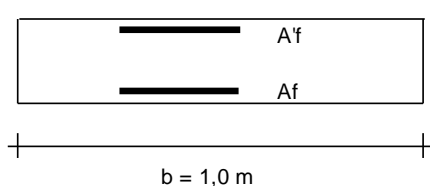


#### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	II strato	pos	n°/ml	φ	II strato
1	5.0	16		5	5.0	16	
2	0.0	16	☐	6	0.0	16	☐
3	0.0	16	☐	7	5.0	16	
4	5.0	16		8	0.0	16	☐
				9	0.0	12	☐

Calcola

#### VERIFICHE



a-a pos 1-2-3-4  
b-b pos 1-2-3-4  
c-c pos 1-4  
d-d pos 5-6-7-8-9  
e-e pos 5-6-7-8-9  
f-f pos 5-7-8  
g-g pos 5-7

RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	RI1300 001	A	45 di 50

### 9.9.3 Verifica pressoflessione e taglio

Sez.	M	N	h	Af	A'f	Mu
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)
a - a	8.30	0.00	0.60	10.05	10.05	210.57
b - b	-61.03	0.00	0.60	10.05	10.05	210.57
c - c	-30.39	0.00	0.60	10.05	10.05	210.57
d - d	55.41	36.13	0.70	10.05	10.05	260.89
e - e	29.53	26.16	0.66	10.05	10.05	240.59
f - f	12.40	16.82	0.62	10.05	10.05	220.87
g - g	2.92	8.10	0.57	10.05	10.05	201.70

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

Sez.	V <sub>Ed</sub>	h	V <sub>rd</sub>	ø staffe	i orizz.	i vert.	θ	V <sub>Rsd</sub>	
(-)	(kN)	(m)	(kN)	(mm)	(cm)	(cm)	(°)	(kN)	
a - a	30.77	0.60	195.35	10	20	20	21.8	950.80	Armatura a taglio non necessaria
b - b	47.59	0.60	195.35	10	20	20	21.8	950.80	Armatura a taglio non necessaria
c - c	31.93	0.60	195.35	10	20	20	21.8	950.80	Armatura a taglio non necessaria
d - d	52.11	0.70	225.54	10	20	20	21.8	1123.67	Armatura a taglio non necessaria
e - e	36.30	0.66	213.52	10	20	20	21.8	1050.20	Armatura a taglio non necessaria
f - f	22.34	0.62	201.48	10	20	20	21.8	976.73	Armatura a taglio non necessaria
g - g	10.24	0.57	189.42	10	20	20	21.8	903.26	Armatura a taglio non necessaria

R113 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	R11300 001	A	46 di 50

## 9.10 Verifiche agli SLE

R113 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	R11300 001	A	47 di 50

### 9.10.1 Sollecitazioni sul muro

RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	RI1300 001	A	48 di 50

**CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE**

**Reazione del terreno**

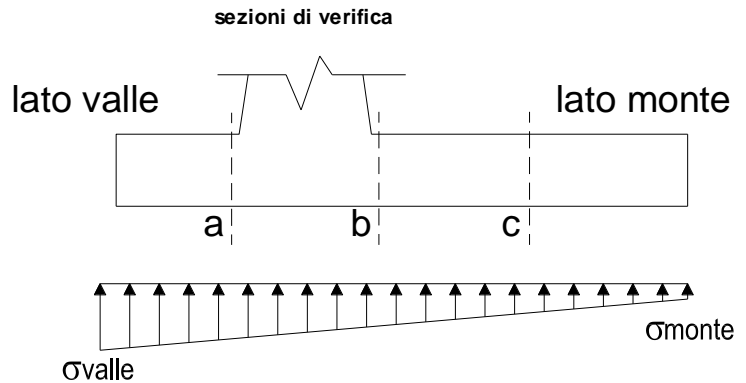
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

$$\sigma_{monte} = N / A - M / W_{gg}$$

$$A = 1.0 \cdot B = 3.20 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 1.71 \quad (m^3)$$

caso	N	M	$\sigma_{valle}$	$\sigma_{monte}$
	[kN]	[kNm]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
Freq.	193.07	-9.57	54.73	65.94
	270.58	-58.02	50.56	118.55
Q.P.	183.15	-28.18	40.72	73.74
	183.15	-28.18	40.72	73.74

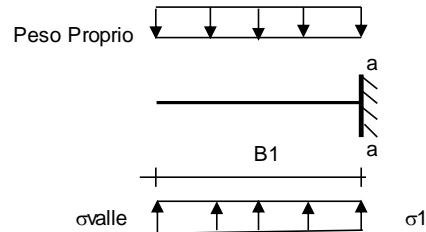


**Mensola Lato Valle**

Peso Proprio. PP = 15.00 (kN/m)

$$M_a = \sigma_1 \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{valle} - \sigma_1) \cdot B^2 / 3 - PP \cdot B^2 / 2 \cdot (1 \pm kv)$$

caso	$\sigma_{valle}$	$\sigma_1$	M <sub>a</sub>
	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]
Freq.	54.73	56.65	6.11
	50.56	62.25	5.97
Q.P.	40.72	46.40	4.18
	40.72	46.40	4.18



**Mensola Lato Monte**

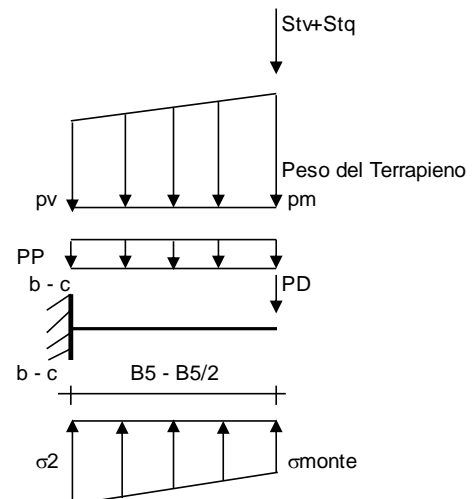
PP = 15.00 (kN/m<sup>2</sup>) peso proprio soletta fondazione  
PD = 0.00 (kN/m) peso proprio dente

	Nmin	N max	Freq	N max	QP
pm	47.00	86.75	47.00	86.75	47.00 (kN/m <sup>2</sup> )
pvb	47.00	86.75	47.00	86.75	47.00 (kN/m <sup>2</sup> )
pvc	47.00	86.75	47.00	86.75	47.00 (kN/m <sup>2</sup> )

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_{2b} - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot B^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (B/2 - Bd/2) + M_{sp} + Sp \cdot H^2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP)) \cdot (B/2)^2 / 2 + (\sigma_{2c} - \sigma_{monte}) \cdot (B/2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (B/2)^2 / 3 + (Stv + Sqv) \cdot (B/2) \cdot PD \cdot (B/2 - Bd/2) + M_{sp} + Sp \cdot H^2 / 2$$

caso	$\sigma_{monte}$	$\sigma_{2b}$	M <sub>b</sub>	$\sigma_{2c}$	M <sub>c</sub>
	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]
Freq.	65.94	59.11	-30.55	62.52	-15.52
	118.55	77.12	-28.03	97.84	-12.15
Q.P.	73.74	53.62	-4.79	63.68	-3.19
	73.74	53.62	-4.79	63.68	-3.19





RI13 - Opere di sostegno - Relazione di calcolo muro  
H=3,80

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 29	CL	RI1300 001	A	49 di 50

### CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO

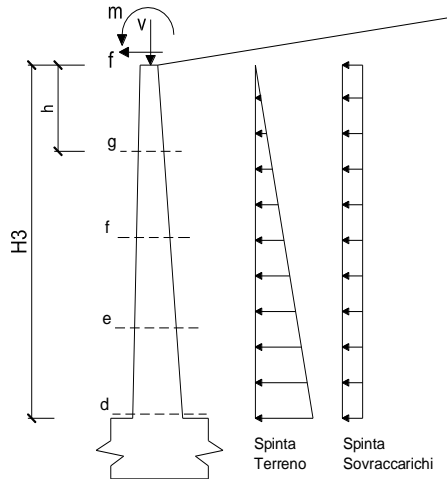
#### Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo

$$M_t = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot h/3$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a_{orizz.}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{ext} = m + f \cdot h$$

$$N_{ext} = v$$



#### condizione Frequente

sezione	h	Mt	Mq	M <sub>ext</sub>	M <sub>tot</sub>	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	2.35	8.62	21.88	0.00	30.51	0.00	36.13	36.13
e-e	1.76	3.64	12.31	0.00	15.95	0.00	26.16	26.16
f-f	1.18	1.08	5.47	0.00	6.55	0.00	16.82	16.82
g-g	0.59	0.13	1.37	0.00	1.50	0.00	8.10	8.10

#### condizione Quasi Permanente

sezione	h	Mt	Mq	M <sub>ext</sub>	M <sub>tot</sub>	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	2.35	8.62	0.00	0.00	8.62	0.00	36.13	36.13
e-e	1.76	3.64	0.00	0.00	3.64	0.00	26.16	26.16
f-f	1.18	1.08	0.00	0.00	1.08	0.00	16.82	16.82
g-g	0.59	0.13	0.00	0.00	0.13	0.00	8.10	8.10

### 9.10.2 Verifica a fessurazione

#### condizione Frequente

Sez.	M	N	h	Af	A'f	$\sigma_c$	$\sigma_f$	wk	W <sub>amm</sub>
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)
a - a	6.11	0.00	0.60	10.05	10.05	0.19	11.86	0.016	0.300
b - b	-30.55	0.00	0.60	10.05	10.05	0.96	59.32	0.082	0.300
c - c	-15.52	0.00	0.60	10.05	10.05	0.49	30.14	0.041	0.300
d - d	30.51	36.13	0.70	10.05	10.05	0.75	33.10	0.045	0.300
e - e	15.95	26.16	0.66	10.05	10.05	0.43	16.00	0.022	0.300
f - f	6.55	16.82	0.62	10.05	10.05	0.19	4.99	0.007	0.300
g - g	1.50	8.10	0.57	10.05	10.05	0.04	0.29	0.000	0.300

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

#### condizione Quasi Permanente

Sez.	M	N	h	Af	A'f	$\sigma_c$	$\sigma_f$	wk	W <sub>amm</sub>
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)
a - a	4.18	0.00	0.60	10.05	10.05	0.13	8.11	0.011	0.400
b - b	-4.79	0.00	0.60	10.05	10.05	0.15	9.29	0.013	0.400
c - c	-3.19	0.00	0.60	10.05	10.05	0.10	6.20	0.009	0.400
d - d	8.62	36.13	0.70	10.05	10.05	0.17	1.47	0.002	0.400
e - e	3.64	26.16	0.66	10.05	10.05	0.08	0.04	0.000	0.400
f - f	1.08	16.82	0.62	10.05	10.05	0.00	-	-	0.400
g - g	0.13	8.10	0.57	10.05	10.05	0.00	-	-	0.400

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

### 9.10.3 Verifica delle tensioni

#### Condizione Statica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	$\sigma_c$	$\sigma_f$
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
a - a	7.58	0.00	0.60	10.05	10.05	0.24	14.72
b - b	-46.14	0.00	0.60	10.05	10.05	1.45	89.59
c - c	-21.98	0.00	0.60	10.05	10.05	0.69	42.69
d - d	37.80	36.13	0.70	10.05	10.05	0.93	44.87
e - e	20.05	26.16	0.66	10.05	10.05	0.55	23.01
f - f	8.37	16.82	0.62	10.05	10.05	0.25	8.21
g - g	1.96	8.10	0.57	10.05	10.05	0.06	0.81

#### Condizione Sismica

Sez.	M	N	h	Af	A'f	$\sigma_c$	$\sigma_f$
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
a - a	7.26	0.00	0.60	10.05	10.05	0.23	14.10
b - b	-31.33	0.00	0.60	10.05	10.05	0.99	60.84
c - c	-13.21	0.00	0.60	10.05	10.05	0.42	25.64
d - d	18.13	33.70	0.70	10.05	10.05	0.43	14.51
e - e	8.34	24.40	0.66	10.05	10.05	0.21	4.36
f - f	2.88	15.69	0.62	10.05	10.05	0.07	0.38
g - g	0.51	7.55	0.57	10.05	10.05	0.02	-

sez. compressa

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)