

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

### PROGETTO DEFINITIVO

### POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA

### INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI

### RILEVATI E TRINCEE

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

SCALA:

-

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

I R 0 B 0 1 D 1 0 C L T R 0 1 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L. Dinelli 	Luglio 2020	G. Scasserra 	Luglio 2020	T. Paoletti 	Luglio 2020	L. Berardi Luglio 2020 

File : IR0B01D10CLTR0100001A.doc

n. Elab.:

**RILEVATI E TRINCEE**

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	2 di 111

1	INTRODUZIONE.....	7
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	9
2.1	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO .....	9
2.2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO .....	10
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	11
3.1	CALCESTRUZZO .....	11
3.1.1	<i>Elemento strutturale: pali di grande diametro.....</i>	11
3.1.2	<i>Elemento strutturale: muro di sostegno - elevazione .....</i>	11
3.1.3	<i>Elemento strutturale: muro di sostegno – fondazione .....</i>	12
3.2	ACCIAIO IN BARRE AD ADERENZA MIGLIORATA B450C .....	14
4	DESCRIZIONE DELLE OPERE .....	15
5	INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	17
6	CRITERI DI VERIFICA PARATIE.....	18
6.1	VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI STATICHE.....	18
6.2	VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI SISMICHE (SLV).....	19
6.3	STABILITÀ GLOBALE.....	20
6.4	VERIFICHE GEOTECNICHE SLE .....	21
6.5	VERIFICHE STRUTTURALI SLU.....	21
6.6	VERIFICHE STRUTTURALI SLE.....	22
6.6.1	<i>Verifiche alle tensioni .....</i>	22
6.6.2	<i>Verifiche a fessurazione.....</i>	23
7	ANALISI DEI CARICHI PARATIE.....	24
7.1	CARICHI PERMANENTI.....	25

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	3 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

7.1.1	<i>Spinta del terreno statica</i> .....	25
7.2	CARICHI ACCIDENTALI.....	26
7.3	AZIONE SISMICA .....	26
7.3.1	<i>Spinta del terreno in condizioni sismiche</i> .....	27
8	CRITERI DI VERIFICA MURI DI SOSTEGNO.....	28
8.1	VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI STATICHE.....	28
8.2	VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI SISMICHE (SLV).....	31
8.3	STABILITÀ GLOBALE.....	33
8.4	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	34
8.4.1	<i>Verifica allo scorrimento</i> .....	34
8.4.2	<i>Verifica a ribaltamento</i> .....	34
8.4.3	<i>Verifica a carico limite della fondazione</i> .....	35
8.5	VERIFICHE STRUTTURALI SLU.....	35
8.6	VERIFICHE STRUTTURALI SLE.....	36
8.6.1	<i>Verifiche alle tensioni</i> .....	36
8.6.2	<i>Verifiche a fessurazione</i> .....	36
9	ANALISI DEI CARICHI MURI .....	38
9.1	CARICHI PERMANENTI.....	38
9.1.1	<i>Pesi propri</i> .....	38
9.1.2	<i>Spinta del terreno in condizioni statiche</i> .....	38
9.2	CARICHI ACCIDENTALI.....	39
9.3	AZIONE SISMICA .....	39
9.3.1	<i>Spinta del terreno in condizioni sismiche</i> .....	40
10	COMBINAZIONI DI CALCOLO.....	41

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	4 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

11	PROGETTO E VERIFICA MURO A4 IN SX DA PK 1+258 A PK 1+385 .....	43
11.1	DATI DI INPUT.....	43
11.2	CALCOLO DELLE AZIONI .....	47
11.2.1	<i>Forze verticali e inerziali</i> .....	47
11.2.2	<i>Spinte in condizione statica</i> .....	49
11.2.3	<i>Spinte in condizione sismica +</i> .....	50
11.2.4	<i>Spinte in condizione sismica –</i> .....	51
11.3	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	52
11.3.1	<i>Verifiche a ribaltamento, scorrimento e carico limite verticale in condizioni statiche</i> .....	52
11.3.2	<i>Verifiche a ribaltamento, scorrimento e carico limite verticale in sismica +</i> .....	54
11.3.3	<i>Verifiche a ribaltamento, scorrimento e carico limite verticale sismica –</i> .....	56
11.3.4	<i>Verifica di stabilità globale</i> .....	58
11.4	VERIFICHE STRUTTURALI .....	59
11.4.1	<i>Calcolo delle sollecitazioni</i> .....	59
11.4.2	<i>Verifiche slu</i> .....	61
11.4.3	<i>Verifiche sle</i> .....	62
11.5	VERIFICA RINGROSSO TE .....	63
12	PROGETTO E VERIFICA MURO A5 IN DX DA PK 1+150 A PK +275.....	69
12.1	DATI DI INPUT.....	69
12.2	CALCOLO DELLE AZIONI .....	73
12.2.1	<i>Forze verticali e inerziali</i> .....	73
12.2.2	<i>Spinte in condizione statica</i> .....	75
12.2.3	<i>Spinte in condizione sismica +</i> .....	76
12.2.4	<i>Spinte in condizione sismica –</i> .....	77

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	5 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

12.3	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	78
12.3.1	<i>Verifiche a ribaltamento, scorrimento e carico limite verticale in condizioni statiche</i> .....	78
12.3.2	<i>Verifiche a ribaltamento, scorrimento e carico limite verticale in sismica +</i> .....	80
12.3.3	<i>Verifiche a ribaltamento, scorrimento e carico limite verticale sismica –</i> .....	82
12.3.4	<i>Verifica di stabilità globale</i> .....	84
12.4	VERIFICHE STRUTTURALI .....	85
12.4.1	<i>Calcolo delle sollecitazioni</i> .....	86
12.4.2	<i>Verifiche slu</i> .....	88
12.4.3	<i>Verifiche sle</i> .....	89
12.5	VERIFICA STRUTTURALE IN CASO DI URTO FERROVIARIO .....	90
13	PROGETTO E VERIFICA DELLA PARATIA B IN SX DA PK 1+385 A PK 1+549 .....	93
13.1	DATI DI INPUT .....	93
13.1.1	<i>Modello 1 – carichi dovuti alla TE</i> .....	94
13.1.2	<i>Modello 2 – carichi dovuti all'urto ferroviario</i> .....	95
13.2	FASI DI CALCOLO .....	95
13.2.1	<i>Modello 1</i> .....	95
13.2.2	<i>Modello 2</i> .....	97
13.3	RISULTATI DELLE ANALISI .....	99
13.3.1	<i>Modello 1</i> .....	99
13.3.2	<i>Modello 2</i> .....	102
13.4	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	103
13.4.1	<i>Verifiche SLE</i> .....	103
13.4.2	<i>Verifica di stabilità globale</i> .....	105
13.5	VERIFICHE STRUTTURALI .....	107



**PROGETTO DEFINITIVO  
POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA  
INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL  
PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI**

**RILEVATI E TRINCEE**

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	6 di 111

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	7 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

## 1 INTRODUZIONE

Nell'ambito del progetto "Potenziamento della linea Foligno–Terontola", rientrano gli interventi di semplificazione e velocizzazione ed upgrade tecnologico presso la stazione di Assisi. Le attività prevedono la velocizzazione degli itinerari in deviata, l'adeguamento a STI dei marciapiedi di stazione e dei relativi sottopassi pedonali e l'upgrading tecnologico dell'impianto esistente ACEI in un più moderno apparato ACC.

Il Programma di Esercizio fornito come input di base dalla Committenza prevede interventi di semplificazione e velocizzazione dell'impianto. In particolare sono previste le seguenti lavorazioni:

- Sostituzione delle comunicazioni esistenti a 30 km/h con comunicazioni a 60 km/h
- Realizzazione di tronchini di indipendenza per i binari di precedenza
- Adeguamento a STI dei marciapiedi di stazione
- Costruzione nuovo sottopasso pedonale

Per la stazione di Assisi è inoltre previsto, come detto in precedenza, l'upgrade tecnologico dell'attuale apparato (con ACC telecomandabile) e conseguente riconfigurazione del Posto Centrale.

L'inizio dell'intervento è previsto alla progressiva Km 14+800 circa e termina alla progressiva Km 16+450 circa.

E' prevista la modifica dell'attuale PRG di stazione allo schematico comunicato dal Cliente, la realizzazione di un nuovo sottopasso e dei collegamenti perdonali (rampe scale ed ascensori), innalzamento dei due marciapiedi esistenti ad H=55cm. Inoltre, verrà prevista la realizzazione di un nuovo sottopasso pedonale in aggiunta a quello esistente.

Entrambi i marciapiedi verranno dotati di due nuove pensiline ferroviarie in continuità a quelle esistenti a copertura del nuovo sottopasso.

A tal proposito, si evidenzia che per quanto riguarda il marciapiede ad isola, per il soddisfacimento del Programma di Esercizio anzidetto, si viene a determinare un ampliamento di circa 2m della banchina lato III binario. Per quanto riguarda la pensilina attuale prevista sul marciapiede del II e III binario si è



**PROGETTO DEFINITIVO  
POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA  
INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL  
PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI**

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	8 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

deciso, d'intesa con la DTP RFI, di non intervenire sull'ampliamento della pensilina esistente su detta banchina, in virtù del vincolo presente da parte della sovrintendenza BBCC sul fabbricato viaggiatori.

Verrà previsto un nuovo Fabbricato Tecnologico per ospitare la cabina ACC, i locali tecnologici e la Cabina MT/BT, quest'ultima necessaria per una migliore gestione dei carichi elettrici presenti in stazione.

Saranno previsti inoltre, dal punto di vista impiantistico:

- illuminazione punte scambi;
- impianti RED;
- illuminazione scale, sottopasso, banchine
- impianti IaP e DS

	<b>PROGETTO DEFINITIVO  POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA  INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL  PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI</b>					
<b>RILEVATI E TRINCEE</b>  Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea	COMMESSA  IR0B	LOTTO  01	CODIFICA  D10	DOCUMENTO  CL TR0100 001	REV.  A	FOGLIO  9 di 111

## 2 **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

### 2.1 **DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO**

- [1] ITALFERR – Progetto Definitivo – Potenziamento della linea Foligno – Terontola: interventi di semplificazione e velocizzazione sul PRG della stazione di Assisi – Geotecnica – Profilo geotecnico (doc. IR0B01D10F7GE0006001)
- [2] ITALFERR – Progetto Definitivo – Potenziamento della linea Foligno – Terontola: interventi di semplificazione e velocizzazione sul PRG della stazione di Assisi – Geotecnica – Relazione geotecnica generale (doc. IR0B01D10GE0006001)
- [3] ITALFERR – Progetto Definitivo – Potenziamento della linea Foligno – Terontola: interventi di semplificazione e velocizzazione sul PRG della stazione di Assisi – Trincea lato Terontola – Opere in sinistra - Muro di sostegno: Pianta, profilo e sezioni - tavole da 1 a 4 (doc. IR0B01D10PZTR0100001 - IR0B01D10PZTR0100004)
- [4] ITALFERR – Progetto Definitivo – Potenziamento della linea Foligno – Terontola: interventi di semplificazione e velocizzazione sul PRG della stazione di Assisi – Trincea lato Terontola – Opere in sinistra - Paratia di pali: Pianta, profilo e sezioni - tavole 1 e 2 (doc. IR0B01D10PZTR0100005 - IR0B01D10PZTR0100006)
- [5] ITALFERR – Progetto Definitivo – Potenziamento della linea Foligno – Terontola: interventi di semplificazione e velocizzazione sul PRG della stazione di Assisi – Trincea lato Terontola – Opere in destra - Muro di sostegno: Pianta, profilo e sezioni – tavole da 1 a 3 (doc. IR0B01D10PZTR0100007 - IR0B01D10PZTR0100009)

	<b>PROGETTO DEFINITIVO  POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA  INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL  PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI</b>					
<b>RILEVATI E TRINCEE</b>  Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea	COMMESSA  IR0B	LOTTO  01	CODIFICA  D10	DOCUMENTO  CL TR0100 001	REV.  A	FOGLIO  10 di 111

## 2.2 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO

- [6] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30
- [7] Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”
- [8] RFI DTC SI MA IFS 001 D del 20.12.2019- “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”

	<b>PROGETTO DEFINITIVO  POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA  INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL  PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI</b>					
<b>RILEVATI E TRINCEE</b>  Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea	COMMESSA  IR0B	LOTTO  01	CODIFICA  D10	DOCUMENTO  CL TR0100 001	REV.  A	FOGLIO  11 di 111

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Le caratteristiche dei materiali sono ricavate con riferimento alle indicazioni contenute nei capitoli 4 e 11 delle NTC2018. Nelle tabelle che seguono sono indicate le principali caratteristiche e i riferimenti dei paragrafi delle NTC citate.

È stato tenuto in conto anche di quanto indicato nel Manuale di Progettazione RFI.

#### 3.1 CALCESTRUZZO

##### 3.1.1 Elemento strutturale: pali di grande diametro

Classe di resistenza = C25/30

$R_{ck}$  = resistenza cubica = 30 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ck}$  = resistenza cilindrica caratteristica = 0.83  $R_{ck}$  = 24.9 N/ mm<sup>2</sup>

$f_{cm}$  = resistenza cilindrica media =  $f_{ck} + 8$  = 32.9 N/ mm<sup>2</sup>

$f_{cd}$  =  $\alpha_{cc} f_{ck}/\gamma_c$  = 0.85 x 24.9 / 1.5 = 14.11 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctm}$  = resistenza media a trazione semplice = 0.30 x  $f_{ck}^{2/3}$  = 2.56 N/ mm<sup>2</sup>

$f_{ctk}$  = resistenza a trazione caratteristica = 0.70 x  $f_{ctm}$  = 1.79 N/ mm<sup>2</sup>

$f_{cfm}$  = resistenza media a trazione per flessione = 1.20 x  $f_{ctm}$  = 3.07 N/ mm<sup>2</sup>

$E_{cm}$  = modulo elastico tra 0 e 0.40 $f_{cm}$  = 22000 x ( $f_{cm}/10$ )<sup>0.3</sup> = 31447 N/ mm<sup>2</sup>

Classe di esposizione XC2

Copriferro minimo = 60 mm

Tolleranza di posa del copriferro = +10 mm;

Condizioni ambientali: normali

Apertura fessure limite:  $w_1$  = 0.2 mm

##### 3.1.2 Elemento strutturale: muro di sostegno - elevazione

Classe di resistenza = C32/40

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	12 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

$$R_{ck} = \text{resistenza cubica} = 40 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck} = \text{resistenza cilindrica caratteristica} = 0.83 R_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cm} = \text{resistenza cilindrica media} = f_{ck} + 8 = 41.2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times 30.7 / 1.5 = 18.81 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm} = \text{resistenza media a trazione semplice} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 3.10 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctk} = \text{resistenza a trazione caratteristica} = 0.70 \times f_{ctm} = 2.17 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cfm} = \text{resistenza media a trazione per flessione} = 1.20 \times f_{ctm} = 3.72 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{cm} = \text{modulo elastico} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 33643 \text{ N/mm}^2$$

Classe di esposizione XC4

Copriferro minimo = 50 mm

Tolleranza di posa del copriferro = +10 mm

Condizioni ambientali: aggressive

Apertura fessure limite:  $w_1 = 0.2 \text{ mm}$

### 3.1.3 Elemento strutturale: muro di sostegno – fondazione

Classe di resistenza = C30/37

$$R_{ck} = \text{resistenza cubica} = 37 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck} = \text{resistenza cilindrica caratteristica} = 0.83 R_{ck} = 30.7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cm} = \text{resistenza cilindrica media} = f_{ck} + 8 = 38.7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times 30.7 / 1.5 = 17.4 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm} = \text{resistenza media a trazione semplice} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 2.94 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctk} = \text{resistenza a trazione caratteristica} = 0.70 \times f_{ctm} = 2.06 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cfm} = \text{resistenza media a trazione per flessione} = 1.20 \times f_{ctm} = 3.53 \text{ N/mm}^2$$



**PROGETTO DEFINITIVO  
POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA  
INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL  
PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI**

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	13 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

$$E_{cm} = \text{modulo elastico} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 328801 \text{ N/ mm}^2$$

Classe di esposizione XC3

Copriferro minimo = 40 mm

Tolleranza di posa del copriferro = +10 mm

Condizioni ambientali: normali

Apertura fessure limite:  $w_1 = 0.2 \text{ mm}$

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	14 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

### 3.2 ACCIAIO IN BARRE AD ADERENZA MIGLIORATA B450C

L'acciaio per cemento armato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura da utilizzare nei calcoli:

$$f_{y \text{ non}} = 450 \text{ N/mm}^2 \quad f_{t \text{ non}} = 540 \text{ N/mm}^2$$

E deve rispettare i requisiti indicati nella seguente tabella:

**Tabella 3-1 Requisiti acciaio.**

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$	$\geq f_{y \text{ non}}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura $f_{tk}$	$\geq f_{t \text{ non}}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
$(f_y/f_{y \text{ nom}})_k$	$< 1,35$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$	$\geq 7,5 \%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90 ° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12 \text{ mm}$	4 $\phi$	
$12 \leq \phi \leq 16 \text{ mm}$	5 $\phi$	
per $16 < \phi \leq 25 \text{ mm}$	8 $\phi$	
per $25 < \phi \leq 40 \text{ mm}$	10 $\phi$	

Inoltre si ha:

$$E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$$

Sovrapposizioni barre  $\geq 40\phi$

Resistenza di calcolo a rottura agli SLU ( $\gamma_s = 1.15$ ) per trazione e deformazione corrispondente:

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 391.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = 0.186\%$$

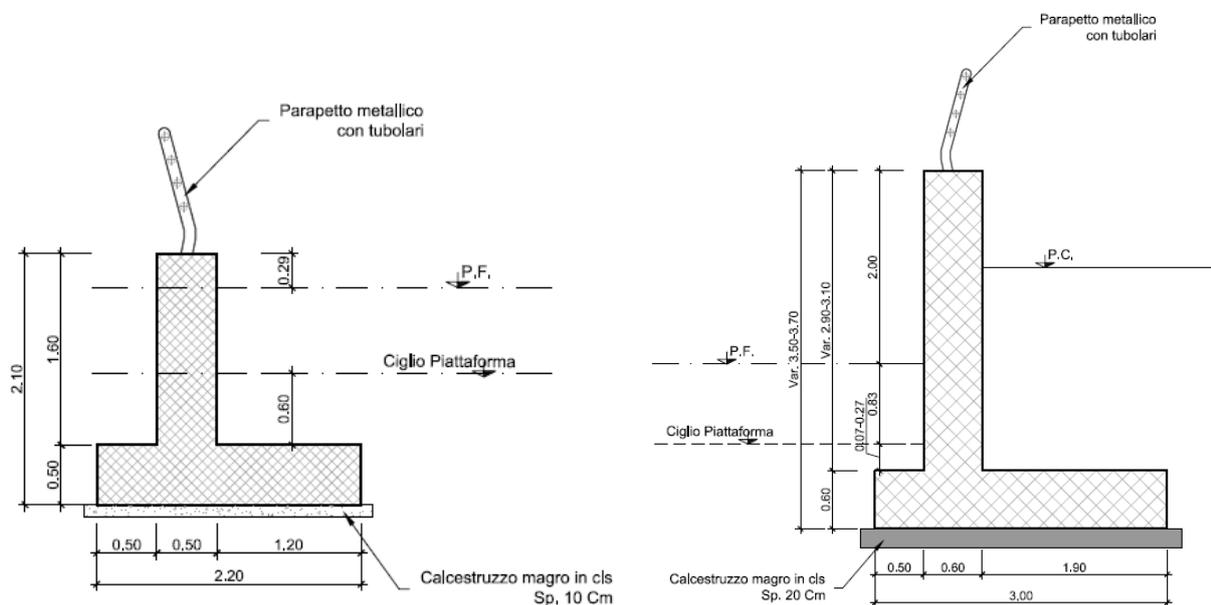
RILEVATI E TRINCEE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	15 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

#### 4 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Il presente documento riguarda il dimensionamento delle opere di sostegno in corrispondenza della trincea TR01.

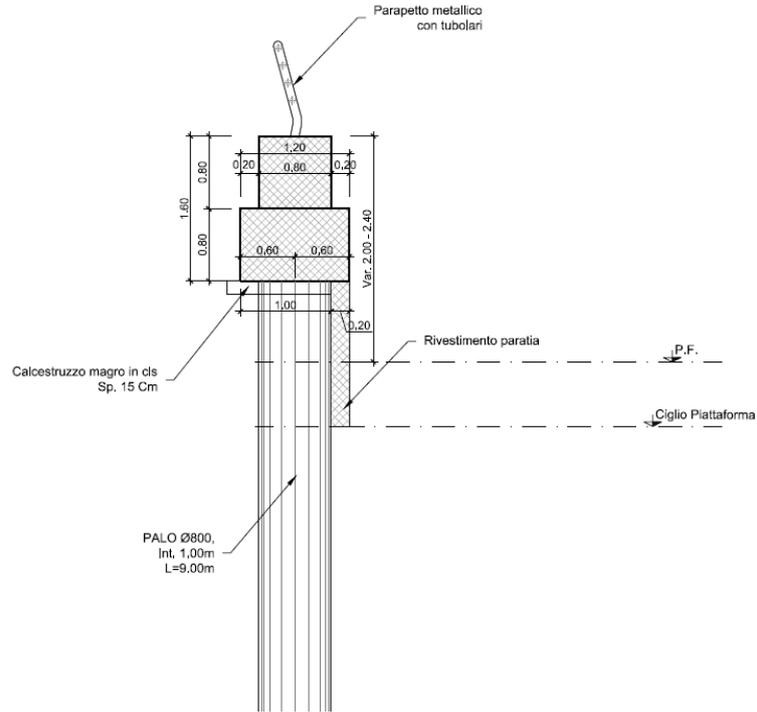


**Figura 4-1 – Muro tipo “A4” e “A5”.**

**RILEVATI E TRINCEE**

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	16 di 111



**Figura 4-2 – Paratia tipo "B".**

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	17 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

## 5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella Relazione geotecnica generale (Doc. [2]) alla quale si rimanda per qualsiasi approfondimento. Si riporta a seguire lo schema stratigrafico generale con individuazione delle unità di interesse e i relativi parametri fisici e meccanici assunti nei calcoli (valori medi dell'intervallo di variabilità riportato nella relazione geotecnica). Per quota 0.0 si intende quota p.f..

**Tabella 5-1 – Valori di calcolo dei parametri geotecnici del terreno**

Unità litologiche da p.c.	da [m]	a [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_k$ [kPa]	$c_{u,k}$ [kPa]	$\varphi'_k$ [°]	E [MPa]
Als	p.c. +1.5 ÷ + 0.3	-8.0 ÷ -13.0	19.5	2	50	27	12.5

La falda risulta a quota – 10.0 m da p.f..

Per il materiale di rinterro a tergo dei muri sono stati considerati i seguenti parametri:

$$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3 \quad c' = 0 \text{ kPa} \quad \varphi' = 27^\circ$$

## 6 CRITERI DI VERIFICA PARATIE

### 6.1 VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI STATICHE

Le verifiche delle paratie sono state condotte nei riguardi dei seguenti stati limite ultimi (SLU):

SLU di tipo geotecnico (GEO)

- collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
- instabilità globale dell'insieme terreno-opera;

SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia (STR).

Le verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno – deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1 delle NTC18, tenendo in conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 1 considerando le due combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: (A1 + M1 + R1) per STR;
- Combinazione 2: (A2 + M2 + R1) per GEO.

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I e 6.2.II delle NTC18, con i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R1 pari all'unità.

Le analisi sono state condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo Paratie Plus.

Nei modelli di calcolo, per le paratie non vincolate, in accordo al punto 6.5.2.2 delle NTC18 l'entità dello scavo è stata incrementata di  $\Delta h = \min(0.5; 10\%H_{scavo})$ , in cui  $H_{scavo}$  è l'altezza di scavo prevista.

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	19 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

**Tabella 6-1 - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.**

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_f$ (o $\gamma_f'$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

**Tabella 6-2 - 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
Coazione 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	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**Tabella 6-3 – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza SLU di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.**

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

## 6.2 VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI SISMICHE (SLV)

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), con riferimento alla configurazione finale dell'opera di sostegno. Per le verifiche in condizioni sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici sono stati posti pari all'unità mentre sono state impiegate le resistenze di progetto ridotte con gli opportuni coefficienti parziali  $\gamma_R$ .

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<b>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI</b>					
<b>RILEVATI E TRINCEE</b>  Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea	COMMESSA  IR0B	LOTTO  01	CODIFICA  D10	DOCUMENTO  CL TR0100 001	REV.  A	FOGLIO  20 di 111

**Tabella 6-4 – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza SLV di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.**

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1.2

L'analisi è stata eseguita con metodi pseudo – statici. In tali metodi l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente, costante nello spazio e nel tempo. La componente orizzontale  $a_h$  dell'accelerazione equivalente è stata valutata a partire dell'accelerazione di picco  $a_{max}$  attesa nel volume significativo per l'opera secondo la relazione:

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

dove:

- $\alpha$  è il coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 NTC18);
- $\beta$  è il coefficiente di spostamento (Figura 7.11.3 NTC18).

Nei casi in esame è stato considerato un valore di  $\beta$  relativo a  $u_s = 0.005 \cdot H$ , con H altezza complessiva della paratia.

La componente verticale dell'accelerazione è stata considerata nulla ( $a_v=0$ ).

L'accelerazione massima orizzontale  $a_{max}$  è stata valutata come:

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

Sono stati inoltre trascurati gli effetti inerziali sulle masse che costituiscono la paratia.

Per la definizione dell'azione sismica si rimanda al paragrafo 7.3.

### 6.3 STABILITÀ GLOBALE

	<b>PROGETTO DEFINITIVO  POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA  INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL  PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI</b>					
<b>RILEVATI E TRINCEE</b>  Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea	COMMESSA  IR0B	LOTTO  01	CODIFICA  D10	DOCUMENTO  CL TR0100 001	REV.  A	FOGLIO  21 di 111

Per la valutazione della superficie di scorrimento critica (ed in generale di tutte le superfici di scorrimento) è stato utilizzato il metodo delle strisce all'equilibrio limite applicando le ipotesi di Bishop.

Nelle verifiche agli stati limite ultimi SLV, ai fini della valutazione dell'azione sismica, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_h = k_h \cdot W \quad \text{ed} \quad F_v = k_v \cdot W$$

con  $k_h$  e  $k_v$  pari rispettivamente ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{\max} / g \quad \text{e} \quad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

in cui:

$\beta_s$ : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$ : accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$ : accelerazione di gravità.

Il valore di  $\beta_s$  è assunto pari a 0.38 coerentemente con quanto indicato al punto 7.11.4 delle NTC 2018.

#### 6.4 VERIFICHE GEOTECNICHE SLE

Per ciascun stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione [6.2.7] delle NTC 2018:

$$E_d \leq C_d$$

essendo  $E_d$  e  $C_d$  rispettivamente il valore di progetto dell'effetto delle azioni e il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni (spostamenti, rotazioni, distorsioni, ecc.).

In particolare, devono essere valutati gli spostamenti delle opere di sostegno e del terreno circostante per verificarne la compatibilità con la funzionalità delle opere stesse e con la sicurezza e funzionalità dei manufatti adiacenti, anche a seguito di modifiche indotte sul regime delle pressioni interstiziali.

#### 6.5 VERIFICHE STRUTTURALI SLU

	<b>PROGETTO DEFINITIVO  POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA  INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL  PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI</b>					
<b>RILEVATI E TRINCEE</b>  Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea	COMMESSA  IR0B	LOTTO  01	CODIFICA  D10	DOCUMENTO  CL TR0100 001	REV.  A	FOGLIO  22 di 111

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. I coefficienti di sicurezza adottati sono i seguenti:

- coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo = 1.50;
- coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre = 1.15.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;
- verifiche per gli stati limite ultimi a taglio.

## 6.6 VERIFICHE STRUTTURALI SLE

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio, consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio il tasso di Lavoro nei Materiali e l'ampiezza delle fessure attesa, secondo quanto di seguito specificato.

### 6.6.1 Verifiche alle tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente" adottando come limiti di riferimento, trattandosi nel caso in specie di opere Ferroviarie, quelli indicati nel documento " Manuale di progettazione opere civili"

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	23 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

### Strutture in c.a.

#### Tensioni di compressione del calcestruzzo

Devono essere rispettati i seguenti limiti per le tensioni di compressione nel calcestruzzo:

- per combinazione di carico caratteristica (rara):  $0,55 f_{ck}$ ;
- per combinazioni di carico quasi permanente:  $0,40 f_{ck}$ ;
- per spessori minori di 5 cm, le tensioni normali limite di esercizio sono ridotte del 30%.

#### Tensioni di trazione nell'acciaio

Per le armature ordinarie, la massima tensione di trazione sotto la combinazione di carico caratteristica (rara) non deve superare  $0,75 f_{yk}$ .

### **6.6.2 Verifiche a fessurazione**

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente.

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente [NTC – Tabella 4.1.IV]:

**Tabella 6-5 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e condizioni ambientali**

Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	wd	Stato limite	wd
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	$\leq w_1$

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	24 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

*Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali*

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Risultando:

$$w_1 = 0.2 \text{ mm} \quad w_2 = 0.3 \text{ mm} \quad w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Alle prescrizioni normative presenti in NTC si sostituiscono in tal caso quelle fornite specifiche RFI (Manuale di Progettazione delle Opere Civili - parte II - sezione 2- Requisiti concernenti la fessurazione per strutture in c.a., c.a.p. e miste acciaio-calcestruzzo) secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara). Per strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 delle NTC18, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l'apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

$$\text{Combinazione Caratteristica (Rara)} \quad \delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

## **7 ANALISI DEI CARICHI PARATIE**

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

Tutti i carichi elementari si riferiscono all'unità di sviluppo dell'opera, pertanto sono tutti definiti rispetto all'unità di lunghezza.

## 7.1 CARICHI PERMANENTI

### 7.1.1 Spinta del terreno statica

Nel modello di calcolo impiegato dal software di calcolo Paratie Plus v. 20, la spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra il terreno e la struttura deformabile, a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$ , il coefficiente di spinta attiva  $K_a$  e il coefficiente di spinta passiva  $K_p$ .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace  $\sigma'_h$  a quella verticale  $\sigma'_v$  attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v$$

$K_0$  dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace  $\phi'$  e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_0^{NC} (OCR)^m$$

dove:

$$K_0^{NC} = 1 - \sin \phi'$$

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ( $OCR=1$ ).  $OCR$  è il grado di sovraconsolidazione e  $m$  è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7. Ladd et al. (1977), Jamiolkowski et al. (1979) forniscono valori di  $m$  per argille italiane.

Il coefficiente di spinta attiva e passiva sono dati secondo Rankine per una parete liscia, da:

$$K_A = \tan^2(45^\circ - \phi' / 2)$$

$$K_P = \tan^2(45^\circ + \phi' / 2)$$

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA</b> <b>INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL</b> <b>PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI</b></p>					
<p><b>RILEVATI E TRINCEE</b></p> <p>Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IR0B</p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D10</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>CL TR0100 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>26 di 111</p>

Attraverso valori opportuni di  $K_A$  e  $K_P$  si può tener conto dell'angolo di attrito  $\delta$  tra paratia e terreno e della pendenza del terreno a monte ed entro la luce di scavo; si possono usare a questo scopo i valori desunti da NAVFAC (1986) o quelle elaborate da Caquot e Kerisel (1948)

Il valore limite della tensione orizzontale sarà dato da

$$\sigma'_A = K_A \sigma'_v - 2c' \sqrt{K_A}$$

$$\sigma'_P = K_P \sigma'_v + 2c' \sqrt{K_P}$$

a seconda che il collasso avvenga in spinta attiva o passiva rispettivamente.  $c'$  è la coesione drenata del terreno. Nel caso in cui si voglia tenere conto dell'adesione a tra parete e terreno, i limiti attivo e passivo si modificano come segue.

$$\sigma'_A = K_A \sigma'_v - c' K_{ac} \text{ con } K_{ac} = 2\sqrt{K_A(1 + a/c')} \leq 2.56\sqrt{K_A}$$

$$\sigma'_P = K_P \sigma'_v + c' K_{pc} \text{ con } K_{pc} = 2\sqrt{K_P(1 + a/c')} \leq 2.56\sqrt{K_P}$$

Nei casi in esame si è assunto  $\delta$ , angolo di attrito terreno/struttura, pari a  $1/2\varphi'$ , dove  $\varphi'$  è l'angolo di attrito del terreno naturale.

## 7.2 CARICHI ACCIDENTALI

A tergo dell'opera si considera un sovraccarico accidentale pari a 10 kPa riferito a mezzi di cantiere.

## 7.3 AZIONE SISMICA

L'azione sismica è stata definita mediante un'accelerazione equivalente costante nello spazio e nel tempo calcolata considerando:

Vita nominale dell'opera:  $V_N=50$  anni

Classe d'uso dell'opera: II ( $C_U=1.0$ )

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI</b></p>					
<p><b>RILEVATI E TRINCEE</b>  Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea</p>	<p>COMMESSA  IR0B</p>	<p>LOTTO  01</p>	<p>CODIFICA  D10</p>	<p>DOCUMENTO  CL TR0100 001</p>	<p>REV.  A</p>	<p>FOGLIO  27 di 111</p>

Periodo di riferimento dell'opera:  $V_R = V_N \cdot C_U = 50$  anni

I parametri allo SLV per il sito in esame risultano:

Long: 12.58674 - Lat: 43.059498

Categoria di sottosuolo = C

Categoria topografica = T1

L'accelerazione massima orizzontale  $a_{max}$  allo SLV risulta quindi:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 0.310g$$

con:

coefficiente di amplificazione topografica  $S_T = 1.00$

coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_S = 1.375$

accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido, nella condizione di SLV,  $a_g = 0.225g$ .

### 7.3.1 Spinta del terreno in condizioni sismiche

L'effetto del sisma sulle paratie a sbalzo è ottenuto applicando la spinta del terreno valutato secondo la teoria di Mononobe - Okabe, agente direttamente sulla paratia secondo una distribuzione triangolare:

$$\Delta S_E = \left[ \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot (K_{ae} - K_a) \right]$$

dove  $\gamma$  rappresenta il peso dell'unità di volume della formazione con la quale l'opera interagisce,  $H$  rappresenta il dislivello tra quota piano campagna e quota fondo scavo,  $K_{ae}$  e  $K_a$  rappresentano i coefficienti di spinta attiva in condizioni sismiche e statiche rispettivamente.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO  POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA  INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL  PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI</b>					
<b>RILEVATI E TRINCEE</b>  Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea	COMMESSA  IR0B	LOTTO  01	CODIFICA  D10	DOCUMENTO  CL TR0100 001	REV.  A	FOGLIO  28 di 111

## 8 CRITERI DI VERIFICA MURI DI SOSTEGNO

### 8.1 VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI STATICHE

Le verifiche dei muri di sostegno sono state condotte nei riguardi dei seguenti stati limite ultimi (SLU):

SLU di tipo geotecnica (GEO)

- scorrimento sul piano di posa;
- collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;
- ribaltamento;
- stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;

SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I delle NTC18.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I delle NTC18 (di seguito riportate).

Nella verifica a ribaltamento, i coefficienti R3 della Tab. 6.5.I, si applicano agli effetti delle azioni stabilizzanti.

RILEVATI E TRINCEE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	29 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

**Tabella 8-1 - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.**

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_r$ (o $\gamma_{\bar{r}}$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(0)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(0)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

**Tabella 8-2 - 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	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**Tabella 8-3 – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi dei muri di sostegno.**

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	$\gamma_R = 1,4$

**RILEVATI E TRINCEE**

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	30 di 111

**Tabella 8-4 – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo da applicare alla verifica di stabilità globale.**

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

Il progetto e la verifica dei muri di sostegno sono stati effettuati con l'ausilio di appositi fogli di calcolo nei quali vengono implementate tutte le caratteristiche geometriche dei muri insieme ai parametri di resistenza geotecnica, agli eventuali sovraccarichi e alle azioni sismiche.

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	31 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

## 8.2 VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI SISMICHE (SLV)

Nell'ambito delle progettazione delle opere geotecniche soggette ad azioni Sismiche, il § 7.11 .1 delle NTC18 specifica che le verifiche degli stati limite ultimi in condizioni sismiche devono essere eseguite assumendo unitari i coefficienti parziali sulle azioni e su parametri geotecnici e applicando alle resistenze di progetto, i coefficienti parziali  $\gamma_R$  indicati nel Capitolo 7 delle stesse NTC, oppure con i  $\gamma_R$  indicati nel Capitolo 6 laddove non espressamente specificato.

Riguardo i valori dei coefficienti parziali da applicare alle resistenze (R), per il caso dei muri di sostegno, la Tab. 7.11.III delle NTC (di seguito riportata per completezza), definisce per ciascuna verifica di stabilità locale il relativo valore da considerare per la fase sismica.

**Tabella 8-5 - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite (SLV) dei muri di sostegno.**

Verifica	Coefficiente parziale $\gamma_R$
Carico limite	1.2
Scorrimento	1.0
Ribaltamento	1.0
Resistenza del terreno a valle	1.2

L'analisi della sicurezza dei muri di sostegno in condizioni sismiche può essere eseguita mediante i metodi pseudo-statici e i metodi degli spostamenti.

L'analisi pseudo-statica si esegue generalmente applicando i metodi dell'equilibrio limite. Il modello di calcolo deve comprendere l'opera di sostegno, il volume di terreno a tergo dell'opera, che si suppone in stato di equilibrio limite attivo (per muri a fondazione diretta), e gli eventuali sovraccarichi agenti sul volume suddetto.

Nell'analisi pseudo-statica, l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Nelle verifiche, i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	32 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

$$k_h = \beta_m \frac{a_g}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 k_h$$

dove:

$\beta_m$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  = accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione

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

dove:

$S$  = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ) di cui al paragrafo 3.2.3.2 delle NTC18.

Nella precedente espressione, il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito è pari a:

$\beta_m = 0.38$  nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

$\beta_m = 0.47$  nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD)

Per muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente  $\beta_m$  assume valore unitario.

Nel caso di muri liberi di traslare o di ruotare intorno al piede, si può assumere che l'incremento di spinta dovuta al sisma agisca nello stesso punto di quella statica. Negli altri casi, in assenza di studi specifici, si deve assumere che tale incremento sia applicato a metà altezza del muro.

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	33 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

Lo stato limite di ribaltamento deve essere trattato impiegando coefficienti parziali unitari sulle azioni e sui parametri geotecnici (paragrafo 7.11.1 delle NTC18) e utilizzando valori di  $\beta_m$  incrementati del 50% rispetto a quelli innanzi indicati e comunque non superiori all'unità.

In condizioni sismiche deve essere soddisfatta la verifica di stabilità globale del complesso muro – terreno con i criteri indicati al paragrafo 7.11.4 delle NTC2018 eseguita adottando valori unitari dei coefficienti parziali del gruppo A e M per il calcolo delle azioni e dei parametri geotecnici di progetto e un coefficiente parziale  $\gamma_R$  pari a 1.2.

**Tabella 8-6 - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza SLV di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.**

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1.2

### 8.3 STABILITÀ GLOBALE

Per le verifiche di stabilità si ricorre, nell'ambito dei metodi all'equilibrio limite, ai cosiddetti metodi delle strisce, in particolare il metodo di Bishop. Si ipotizza una superficie circolare di scorrimento potenziale, S, si suddivide idealmente la porzione di terreno delimitato da questa e dalla superficie topografica in n conci e si analizza l'equilibrio limite di ciascun concio.

Nelle verifiche agli stati limite ultimi SLV, ai fini della valutazione dell'azione sismica, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_h = k_h \cdot W \quad \text{ed} \quad F_v = k_v \cdot W$$

con  $k_h$  e  $k_v$  pari rispettivamente ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{\max} / g \quad \text{e} \quad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

in cui:

$\beta_s$ : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$ : accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g: accelerazione di gravità.

Il valore di  $\beta_s$  è assunto pari a 0.38 coerentemente con quanto indicato al punto 7.11.4 delle DM 17/01/2018.

## 8.4 VERIFICHE GEOTECNICHE

### 8.4.1 Verifica allo scorrimento

La verifica allo scorrimento è stata condotta confrontando la risultante delle azioni resistenti  $R_h$ , pari al prodotto della risultante delle forze verticali per il coefficiente d'attrito, con l'azione instabilizzante, pari alla risultante di tutte le componenti orizzontali delle forze agenti sul muro.

Il coefficiente di attrito fondazione-terreno è stato considerato pari a  $\mu = \tan \varphi$ .

È stata trascurata la resistenza passiva antistante il muro.

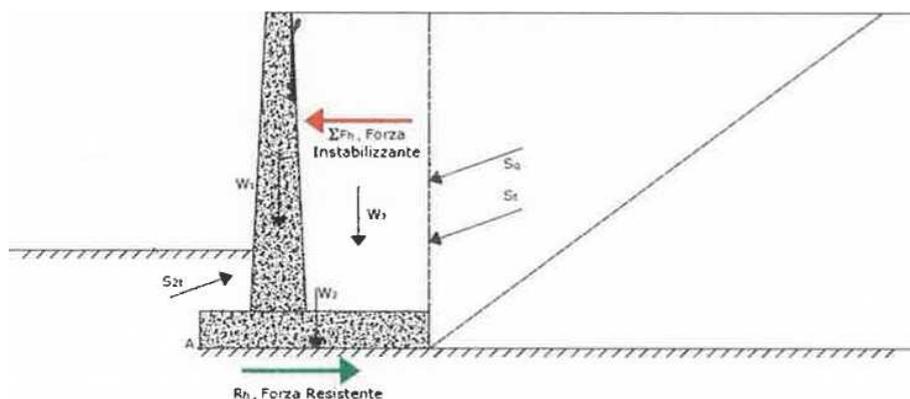


Figura 8-1 - Verifica a scorrimento.

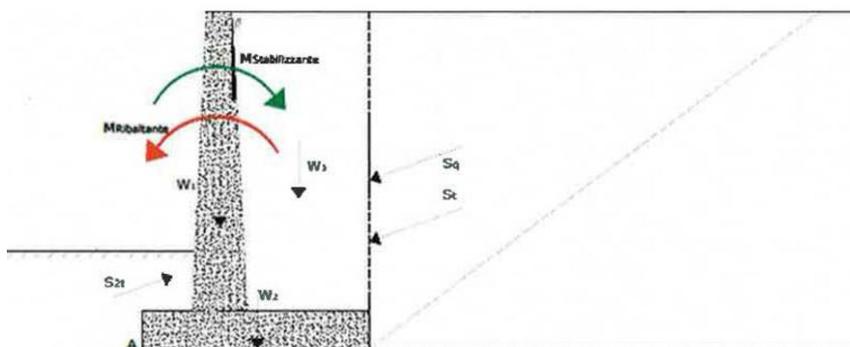
### 8.4.2 Verifica a ribaltamento

La verifica al ribaltamento è stata condotta confrontando il momento delle forze stabilizzanti e quello delle forze ribaltanti, entrambi rispetto all'estremo A di valle della fondazione.

**RILEVATI E TRINCEE**

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	35 di 111



**Figura 8-2 - Verifica a ribaltamento.**

È stata trascurata la resistenza passiva antistante il muro.

### 8.4.3 Verifica a carico limite della fondazione

Per il calcolo della capacità portante della fondazione si è fatto riferimento alla formula di Brinch-Hansen (1970) di seguito riportata:

$$q_{lim} = c' N_c s_c d_c i_c b_c g_c + q N_q s_q d_q i_q b_q g_q + 0.5 \gamma B N_{s_y} d_y i_y b_y g_y$$

## 8.5 VERIFICHE STRUTTURALI SLU

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. I coefficienti di sicurezza adottati sono i seguenti:

- coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo = 1.50;
- coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre = 1.15.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;
- verifiche per gli stati limite ultimi a taglio.

## 8.6 VERIFICHE STRUTTURALI SLE

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio, consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio il tasso di Lavoro nei Materiali e l'ampiezza delle fessure attesa, secondo quanto di seguito specificato.

### 8.6.1 Verifiche alle tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente" adottando come limiti di riferimento, trattandosi nel caso in specie di opere Ferroviarie, quelli indicati nel documento " Manuale di progettazione opere civili"

#### Strutture in c.a.

##### Tensioni di compressione del calcestruzzo

Devono essere rispettati i seguenti limiti per le tensioni di compressione nel calcestruzzo:

- per combinazione di carico caratteristica (rara):  $0,55 f_{ck}$ ;
- per combinazioni di carico quasi permanente:  $0,40 f_{ck}$ ;
- per spessori minori di 5 cm, le tensioni normali limite di esercizio sono ridotte del 30%.

##### Tensioni di trazione nell'acciaio

Per le armature ordinarie, la massima tensione di trazione sotto la combinazione di carico caratteristica (rara) non deve superare  $0,75 f_{yk}$

### 8.6.2 Verifiche a fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente.

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente [NTC – Tabella 4.1.IV]:

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	37 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

**Tabella 8-7 - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e condizioni ambientali**

Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	wd	Stato limite	wd
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	$\leq w_1$

**Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali**

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Risultando:

$$w_1 = 0.2 \text{ mm} \quad w_2 = 0.3 \text{ mm} \quad w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Alle prescrizioni normative presenti in NTC si sostituiscono in tal caso quelle fornite specifiche RFI (Manuale di Progettazione delle Opere Civili - parte II - sezione 2- Requisiti concernenti la fessurazione per strutture in c.a., c.a.p. e miste acciaio-calcestruzzo) secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara). Per strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 delle NTC18, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l'apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

$$\text{Combinazione Caratteristica (Rara)} \quad \delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

## 9 ANALISI DEI CARICHI MURI

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

Tutti i carichi elementari si riferiscono all'unità di sviluppo del muro, pertanto sono tutti definiti rispetto all'unità di lunghezza.

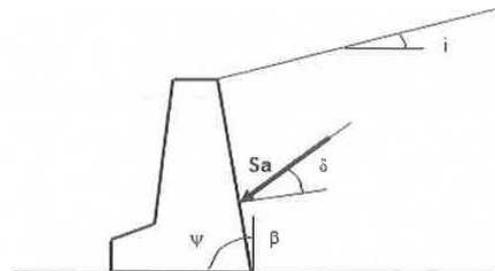
### 9.1 CARICHI PERMANENTI

#### 9.1.1 *Pesi propri*

Il peso proprio del muro (compreso di terrapieno) è calcolato in automatico dal foglio di calcolo elettronico.

#### 9.1.2 *Spinta del terreno in condizioni statiche*

La spinta in condizioni di esercizio viene calcolata con il coefficiente di spinta attiva  $k_a$ .



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

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

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

**Figura 9-1 - Coefficiente di spinta attiva e passiva.**

	<b>PROGETTO DEFINITIVO  POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA  INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL  PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI</b>					
<b>RILEVATI E TRINCEE</b>  Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea	COMMESSA  IR0B	LOTTO  01	CODIFICA  D10	DOCUMENTO  CL TR0100 001	REV.  A	FOGLIO  39 di 111

## 9.2 CARICHI ACCIDENTALI

A tergo dei muri si considera cautelativamente un sovraccarico accidentale pari a 10 kPa dovuto ai mezzi di cantiere.

## 9.3 AZIONE SISMICA

L'azione sismica è stata definita mediante un'accelerazione equivalente costante nello spazio e nel tempo. L'analisi sismica è stata svolta considerando una vita nominale:

Vita nominale dell'opera:  $V_N=50$  anni

Classe d'uso dell'opera: II ( $C_U=1.0$ )

Periodo di riferimento dell'opera:  $V_R= V_N \cdot C_U = 50$  anni

I parametri allo SLV per il sito in esame risultano:

Long: 12.58674 - Lat: 43.059498

Categoria di sottosuolo = C

Categoria topografica = T1

L'accelerazione di picco  $a_{max}$  allo SLV risulta:

$$a_{max}=S a_g= S_S S_T a_g = 0.310g$$

con:

coefficiente di amplificazione topografica  $S_T = 1.00$

coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_S = 1.375$

accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido, nella condizione di SLV,  $a_g = 0.225g$ .

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	40 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

### 9.3.1 Spinta del terreno in condizioni sismiche

Il calcolo della spinta in condizioni sismiche è stato effettuato impiegando la Teoria di Mononobe – Okabe.

La teoria di Mononobe – Okabe fa uso del metodo dell'equilibrio limite e può essere considerata una estensione della teoria di Coulomb, in cui, alle usuali spinte al contorno del cuneo instabile di terreno, sono sommate anche le azioni inerziali orizzontali e verticali dovute all'accelerazione delle masse.

La spinta attiva si calcola come:

$$S_{a,t} = \frac{1}{2} \gamma \cdot k_{as} \cdot h^2 \cdot (1 \mp k_v)$$

Il coefficiente  $k_{as}$  è valutato, quindi, secondo tale formulazione, in cui i simboli usati sono:

$\phi$  = angolo di attrito interno del terrapieno;

$\psi$  = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete interessata del muro;

$\beta$  = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale del profilo del terrapieno;

$\delta$  = angolo di attrito terrapieno – muro;

$\theta$  = angolo di rotazione addizionale definito come segue.

$$\tan\theta = \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Il coefficiente per stati di spinta attiva si divide in due casi:

$$\beta \leq \phi - \theta \rightarrow k_{as} = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \cdot \sin^2\psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > \phi - \theta \rightarrow k_{as} = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \cdot \sin^2\psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta)}$$

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	41 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

Il coefficiente per stati di spinta passiva è invece:

$$k_{ps} = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \cdot \sin^2\psi \cdot \sin(\psi + \theta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin\phi \cdot \sin(\phi + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \beta) \cdot \sin(\psi + \theta)}} \right]^2}$$

## 10 COMBINAZIONI DI CALCOLO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si è fatto riferimento alle seguenti combinazioni delle azioni.

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (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 caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

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

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, utilizzata nella verifica a Fessurazione:

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

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) a lungo termine;

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

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

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

dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.3 \times E_Z$$



**PROGETTO DEFINITIVO  
POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA  
INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL  
PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI**

**RILEVATI E TRINCEE**

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	42 di 111

avendo indicato con  $E_y$  e  $E_z$  rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

RILEVATI E TRINCEE

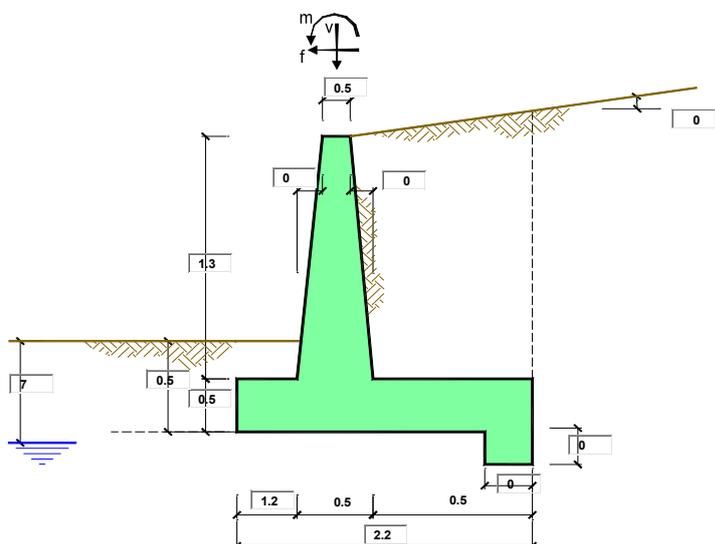
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	43 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

## 11 PROGETTO E VERIFICA MURO A4 IN SX DA PK 1+258 A PK 1+385

### 11.1 DATI DI INPUT

Il muro in esame presenta un'altezza di 1.6 m. Il rinterro a tergo del muro viene però realizzato fino ad una quota massima di -0.3 m dalla testa del muro pertanto nelle analisi riportate a seguire si considera un'elevazione di 1.3 m.



#### Geometria del Muro

Elevazione	H3 =	1.30	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0.00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0.50	(m)
Aggetto monte	B4 =	0.00	(m)

#### Geometria della Fondazione

Larghezza Fondazione	B =	2.20	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	0.50	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	1.20	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	0.50	(m)
Altezza dente	Hd =	0.00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0.00	(m)
Mezzeria Sezione	Xc =	1.10	(m)

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

RILEVATI E TRINCEE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	44 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

**Combinazioni coefficienti parziali di verifica**

NTC2018	<input checked="" type="radio"/>
---------	----------------------------------

Carichi	Effetto	Coeff. Parziale	NTC2018
Permanenti	favorevole	$\gamma_G$	1.00
	sfavorevole		1.30
Variabili	favorevole	$\gamma_Q$	0.00
	sfavorevole		1.50

Parametro		Coeff. Parziale	NTC2018
angolo d'attrito	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.00
coesione	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1.00
resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1.00
peso unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1.00

Verifica	Coeff. Parziale	NTC2018 statico	NTC2018 sismico
Capacità portante fondazione	$\gamma_R$	1.40	1.20
Scorrimento		1.10	1.00
Ribaltamento		1.15	1.00

Dati Geotecnici			valori caratteristici SLE	valori di progetto	
				STR/GEO	EQU
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	$\phi'$ 27.00	27.00	27.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ 19.50	19.50	19.50
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	$\delta$ 0.00	0.00	0.00
Dati Terreno Fondazione	Condizioni		<input checked="" type="radio"/> drenate <input checked="" type="radio"/> Non Drenate		
	Coazione Terreno di Fondazione	(kPa)	$c'1$ 2.00	2.00	2.00
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	(°)	$\phi'1$ 27.00	27.00	27.00
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'1$ 19.50	19.50	19.50
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'd$ 19.50	19.50	19.50
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B)	(m)	Hs 5.00		
	Modulo di deformazione	(kN/m <sup>2</sup> )	E 12500		

Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$ 0.225	(-)	
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	$S_s$ 1.375	(-)	
	Coefficiente Amplificazione Topografico	$S_T$ 1	(-)	
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	$\beta_s$ 0.38	(-)	RIBALTAMENTO
	Coefficiente sismico orizzontale	kh 0.118	(-)	$\beta_s$ 0.57
	Coefficiente sismico verticale	kv 0.059	(-)	kh 0.176
	Muro libero di traslare o ruotare	<input checked="" type="radio"/> si <input checked="" type="radio"/> no		kv 0.088

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	45 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

**STR/GEO**

**RIB**

Coefficients di Spinta			STR/GEO	RIB
	Coeff. di Spinta Attiva Statico	ka	0.376	0.376
Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	kas+	0.451	0.451	0.492
Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	kas-	0.462	0.462	0.520
Coeff. Di Spinta Passiva	kp	2.663	2.663	2.663
Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma +	kps+	2.474	2.474	2.381
Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma -	kps-	2.449	2.449	2.322

**valori caratteristici  
SLE - sisma**

**valori di progetto**

<b>Carichi Agenti</b>				valori caratteristici SLE - sisma		valori di progetto	
				STR/GEO	EQU		
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente	(kN/m <sup>2</sup> )	qp	0.00	0.00	0.00	
	Sovraccarico su zattera di monte	● si ● 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	10.00	15.00	15.00	
	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 Ψ1	1.00	condizione quasi permanente Ψ2	0.00	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			

**RILEVATI E TRINCEE**

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	46 di 111

### **CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI**

#### Calcestruzzo

classe cls

Rck	40	(MPa)
fck	32	(MPa)
fcm	40	(MPa)
Ec	33346	(MPa)
$\alpha_{cc}$	0.85	
$\gamma_c$	1.50	

$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$	18.13	(MPa)
$f_{ctm} = 0.30 * f_{ck}^{2/3}$	3.02	(MPa)

#### Tensioni limite (tensioni ammissibili)

##### condizioni statiche

$\sigma_c$	12.8	Mpa
$\sigma_t$	337.5	Mpa

##### condizioni sismiche

$\sigma_c$	12.8	Mpa
$\sigma_t$	337.5	Mpa

#### Valore limite di apertura delle fessure

Frequente	<input type="text" value="w1"/>	0.2	mm
Quasi Permanente	<input type="text" value="w1"/>	0.2	mm

#### Acciaio

tipo di acciaio

$f_{yk}$	=	450	(MPa)
$\gamma_s$	=	1.15	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s / \gamma_E$	=	391.30	(MPa)
$E_s$	=	210000	(MPa)
$\epsilon_{ys}$	=	0.19%	

coefficiente omogeneizzazione acciaio  $n = 15$

#### Copriferro (distanza asse armatura-bordo)

$c = 8.00$  (cm)

#### Copriferro minimo di normativa (ricoprimento armatura)

$c_{min} = 5.00$  (cm)

#### Interferro tra I e II strato

$i_{I-II} = 5.00$  (cm)

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	47 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

## 11.2 CALCOLO DELLE AZIONI

### 11.2.1 Forze verticali e inerziali

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

			SLE	STR/GEO	EQU/RIB
Pm1 =	$(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Pm2 =	$(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	16.25	16.25	16.25
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)	27.50	27.50	27.50
Pm5 =	$(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Pm =	Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5	(kN/m)	43.75	43.75	43.75

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

Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma')$	(kN/m)	12.68	12.68	12.68
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)	12.68	12.68	12.68

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

Sovr acc. Stat	$q \cdot (B4+B5)$	(kN/m)	5	7.5	
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/RIB
Mm1 =	$Pm1 \cdot (B1+2/3 B2)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mm2 =	$Pm2 \cdot (B1+B2+0,5 \cdot B3)$	(kNm/m)	23.56	23.56	23.56
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1+B2+B3+1/3 B4)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	(kNm/m)	30.25	30.25	30.25
Mm5 =	$Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mm =	Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5	(kNm/m)	53.81	53.81	53.81

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

Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1+B2+B3+B4+0,5 \cdot B5)$	(kNm/m)	24.72	24.72	24.72
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)	24.72	24.72	24.72

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

Sovr acc. Stat	$q \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m)	9.75	14.625	
Sovr acc. Sism	$q_s \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m)	0		

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	48 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

**INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO**

- Inerzia orizzontale e verticale del muro (Ps)

Ps h =	$Pm \cdot kh$	(kN/m)	5.14	7.72
Ps v =	$Pm \cdot kv$	(kN/m)	2.57	3.86

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

Ptsh =	$Pt \cdot kh$	(kN/m)	1.49	2.24
Ptsv =	$Pt \cdot kv$	(kN/m)	0.75	1.12

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

MPs1 h=	$kh \cdot Pm1 \cdot (H2 + H3/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs2 h=	$kh \cdot Pm2 \cdot (H2 + H3/2)$	(kNm/m)	2.20	3.30
MPs3 h=	$kh \cdot Pm3 \cdot (H2 + H3/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs4 h=	$kh \cdot Pm4 \cdot (H2/2)$	(kNm/m)	0.81	1.21
MPs5 h=	$-kh \cdot Pm5 \cdot (Hd/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs h=	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$	(kNm/m)	3.01	4.51

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

MPs1 v=	$kv \cdot Pm1 \cdot (B1 + 2/3 \cdot B2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs2 v=	$kv \cdot Pm2 \cdot (B1 + B2 + B3/2)$	(kNm/m)	1.39	2.08
MPs3 v=	$kv \cdot Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs4 v=	$kv \cdot Pm4 \cdot (B/2)$	(kNm/m)	1.78	2.67
MPs5 v=	$kv \cdot Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs v=	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$	(kNm/m)	3.16	4.74

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

MPts1 h=	$kh \cdot Pt1 \cdot (H2 + H3/2)$	(kNm/m)	1.71	2.57
MPts2 h=	$kh \cdot Pt2 \cdot (H2 + H3 + H4/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPts3 h=	$kh \cdot Pt3 \cdot (H2 + H3 \cdot 2/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPts h=	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	(kNm/m)	1.71	2.57

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

MPts1 v=	$kv \cdot Pt1 \cdot ((H2 + H3/2) - (B - B5/2) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	1.45	2.18
MPts2 v=	$kv \cdot Pt2 \cdot ((H2 + H3 + H4/3) - (B - B5/3) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPts3 v=	$kv \cdot Pt3 \cdot ((H2 + H3 \cdot 2/3) - (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPts v=	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	(kNm/m)	1.45	2.18

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	49 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

### 11.2.2 Spinte in condizione statica

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB	
St =	$0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$	(kN/m)	11.86	15.42	15.42
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)	6.76	10.14	10.14

- Componente orizzontale condizione statica

Sth =	$St \cdot \cos \delta$	(kN/m)	11.86	15.42	15.42
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)	6.76	10.14	10.14

- Componente verticale condizione statica

Stv =	$St \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
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)	0.00	0.00	0.00

- Spinta passiva sul dente

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

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

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB	
MSt1 =	$St \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd)$	(kNm/m)	7.12	9.25	9.25
MSt2 =	$St \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
MSq1 perm =	$Sqh \text{ perm} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
MSq1 acc =	$Sqh \text{ acc} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd)$	(kNm/m)	6.08	9.13	9.13
MSq2 perm =	$Sqv \text{ perm} \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
MSq2 acc =	$Sqv \text{ acc} \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
MSp =	$\gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00

#### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

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

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	50 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

### 11.2.3 Spinte in condizione sismica +

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

	SLE	STR/GEO	EQU/RIB
--	-----	---------	---------

- Spinta condizione sismica +

$$Sst1 \text{ stat} = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka \quad (\text{kN/m}) \quad 11.86 \quad 11.86 \quad 11.86$$

$$Sst1 \text{ sism} = 0,5 \cdot \gamma \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^+ - Sst1 \text{ stat} \quad (\text{kN/m}) \quad 3.23 \quad 3.23 \quad 5.06$$

$$Ssq1 \text{ perm} = qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+ \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$Ssq1 \text{ acc} = qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+ \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

- Componente orizzontale condizione sismica +

$$Sst1h \text{ stat} = Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta \quad (\text{kN/m}) \quad 11.86 \quad 11.86 \quad 11.86$$

$$Sst1h \text{ sism} = Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta \quad (\text{kN/m}) \quad 3.23 \quad 3.23 \quad 5.06$$

$$Ssq1h \text{ perm} = Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$Ssq1h \text{ acc} = Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

- Componente verticale condizione sismica +

$$Sst1v \text{ stat} = Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$Sst1v \text{ sism} = Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$Ssq1v \text{ perm} = Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$Ssq1v \text{ acc} = Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

- Spinta passiva sul dente

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

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

	SLE	STR/GEO	EQU/RIB
--	-----	---------	---------

- Condizione sismica +

$$MSst1 \text{ stat} = Sst1h \text{ stat} \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd) \quad (\text{kNm/m}) \quad 7.12 \quad 7.12 \quad 7.12$$

$$MSst1 \text{ sism} = Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd) \quad (\text{kNm/m}) \quad 1.94 \quad 1.94 \quad 3.03$$

$$MSst2 \text{ stat} = Sst1v \text{ stat} \cdot B \quad (\text{kNm/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$MSst2 \text{ sism} = Sst1v \text{ sism} \cdot B \quad (\text{kNm/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$MSsq1 = Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd) \quad (\text{kNm/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$MSsq2 = Ssq1v \cdot B \quad (\text{kNm/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1 \cdot kps^+ \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 \quad (\text{kNm/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	51 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

**11.2.4 Spinte in condizione sismica –**

**SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

	SLE	STR/GEO	EQU/RIB
--	-----	---------	---------

- Spinta condizione sismica -

$Sst1\ stat = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$	(kN/m)	11.86	11.86	11.86
$Sst1\ sism = 0,5 \cdot \gamma \cdot (1-kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas - Sst1\ stat$	(kN/m)	1.87	1.87	3.11
$Ssq1\ perm = qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas$	(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 -

$Sst1h\ stat = Sst1\ stat \cdot \cos \delta$	(kN/m)	11.86	11.86	11.86
$Sst1h\ sism = Sst1\ sism \cdot \cos \delta$	(kN/m)	1.87	1.87	3.11
$Ssq1h\ perm = Ssq1\ perm \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Ssq1h\ acc = Ssq1\ acc \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00

- Componente verticale condizione sismica -

$Sst1v\ stat = Sst1\ stat \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Sst1v\ sism = Sst1\ sism \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Ssq1v\ perm = Ssq1\ perm \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Ssq1v\ acc = Ssq1\ acc \cdot \sin \delta$	(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**

	SLE	STR/GEO	EQU/RIB
--	-----	---------	---------

- Condizione sismica -

$MSst1\ stat = Sst1h\ stat \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$	( kNm/m )	7.12	7.12	7.12
$MSst1\ sism = Sst1h\ sism \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	( kNm/m )	1.12	1.12	1.87
$MSst2\ stat = Sst1v\ stat \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00
$MSst2\ sism = Sst1v\ sism \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00
$MSsq1 = Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$	( 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

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	52 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

## 11.3 VERIFICHE GEOTECNICHE

### 11.3.1 Verifiche a ribaltamento, scorrimento e carico limite verticale in condizioni statiche

#### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv \text{ perm}} + S_{qv \text{ acc}} \quad 56.43 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{th} + S_{qh} + f \quad 25.56 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg} \varphi_1' \quad 0.51 \quad (-)$$

$$\mathbf{F_s \text{ scorr.} \quad (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1.12} \quad > \quad \mathbf{1.1}}$$

#### VERIFICA AL RIBALTAMENTO (EQU)

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 78.53 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} \quad 18.38 \quad (\text{kNm/m})$$

$$\mathbf{F_s \text{ ribaltamento} \quad M_s / M_r \quad \mathbf{4.27} \quad > \quad \mathbf{1.15}}$$

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

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} (+ \text{Sovr acc}) \quad \begin{matrix} N_{\min} & N_{\max} \\ 56.43 & 63.93 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{th} + S_{qh} + f - S_p \quad \begin{matrix} 25.56 & 25.56 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad \begin{matrix} 60.15 & 74.78 \end{matrix} \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad \begin{matrix} 1.92 & -4.46 \end{matrix} \quad (\text{kNm/m})$$

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	53 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

**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.	2.00		(kPa)
$\phi'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	27.00		(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	19.50		(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d H^2$	sovraccarico stabilizzante	9.75		(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	0.03	-0.07	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	2.13	2.06	(m)

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

$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) e^{(\pi \text{tg}(\phi'))}$	(1 in cond. nd)	13.20		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi')$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	23.94		(-)
$N_\gamma = 2(N_q + 1) \text{tg}(\phi')$	(0 in cond. nd)	14.47		(-)

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)	0.37	0.42	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.31	0.31	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* c' \cot \phi'))^{m+1}$		0.22	0.22	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	129.03	134.83	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

<b>FS carico limite</b>	<b>F = <math>q_{lim} B^* / N</math></b>	$N_{min}$	<b>4.88</b>	>	<b>1.4</b>
		$N_{max}$	<b>4.35</b>	>	

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	54 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

### 11.3.2 Verifiche a ribaltamento, scorrimento e carico limite verticale in sismica +

#### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 59.74 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 21.73 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg}\phi_1' \quad 0.51 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1.40} \quad > \quad \mathbf{1}$$

#### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 78.53 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 10.31 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad \mathbf{7.62} \quad > \quad \mathbf{1}$$

#### VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

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

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 21.73 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad 69.37 \quad 69.37 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad -3.65 \quad -3.65 \quad (\text{kNm/m})$$

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	55 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

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

Fondazione Nastriforme

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

$c1'$	coesione terreno di fondaz.	2.00		(kN/mq)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	27.00		(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	19.50		(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d \cdot H^2$	sovraccarico stabilizzante	9.75		(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	-0.06	-0.06	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	2.08	2.08	(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)	13.20		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi)$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	23.94		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\phi)$	(0 in cond. nd)	14.47		(-)

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

$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cotg(\phi)))^m$	(1 in cond. nd)	0.46	0.46	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.42	0.42	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cotg(\phi)))^{m+1}$		0.31	0.31	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	171.72	171.72	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

**FS carico limite**

$$F = q_{lim} \cdot B^* / N$$

$N_{min}$	<b>5.97</b>	>	<b>1.2</b>
$N_{max}$	<b>5.97</b>	>	

RILEVATI E TRINCEE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	56 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

### 11.3.3 Verifiche a ribaltamento, scorrimento e carico limite verticale sismica –

#### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 53.11 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 20.37 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg}\phi_1' \quad 0.51 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1.33} \quad > \quad \mathbf{1}$$

#### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 78.53 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 22.99 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad \mathbf{3.42} \quad > \quad \mathbf{1}$$

#### VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad N_{min} \quad N_{max} \quad 53.11 \quad 53.11 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 20.37 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad 60.95 \quad 60.95 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad -2.53 \quad -2.53 \quad (\text{kNm/m})$$

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	57 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

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

Fondazione Nastriforme

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

$c'1'$	coesione terreno di fondaz.	2.00		(kN/mq)
$\phi'1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	27.00		(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	19.50		(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d'H_2'$	sovraccarico stabilizzante	9.75		(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	-0.05	-0.05	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	2.10	2.10	(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)	13.20		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi')$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	23.94		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\phi')$	(0 in cond. nd)	14.47		(-)

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

$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cot \phi'))^m$	(1 in cond. nd)	0.45	0.45	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.40	0.40	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cot \phi'))^{m+1}$		0.30	0.30	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	165.20	165.20	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

**FS carico limite**

$$F = q_{lim} \cdot B^* / N$$

$N_{min}$	<b>6.55</b>	>	<b>1.2</b>
$N_{max}$	<b>6.55</b>	>	

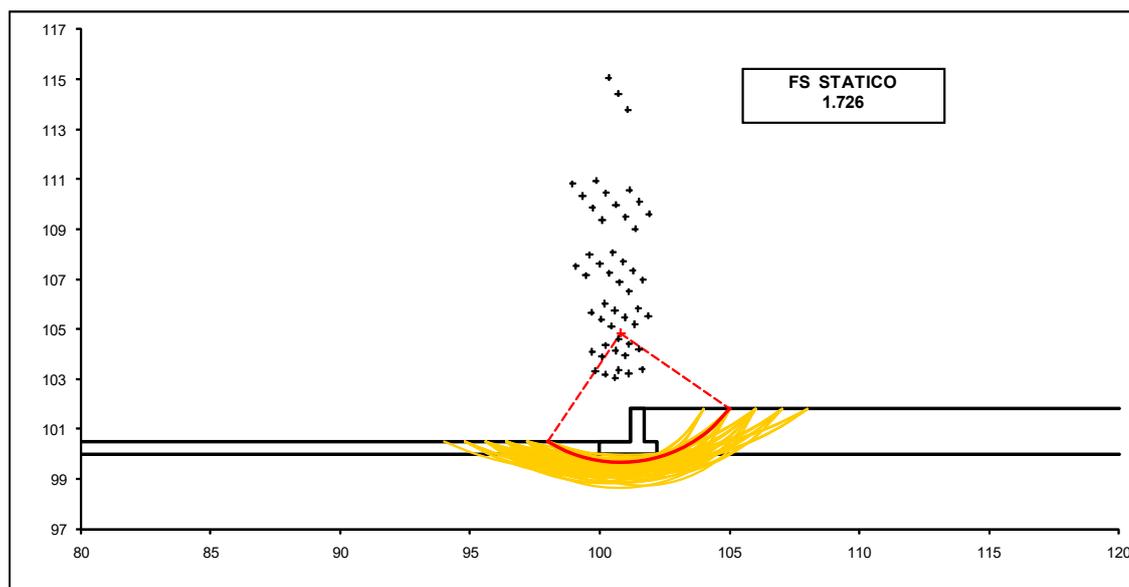
**RILEVATI E TRINCEE**

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

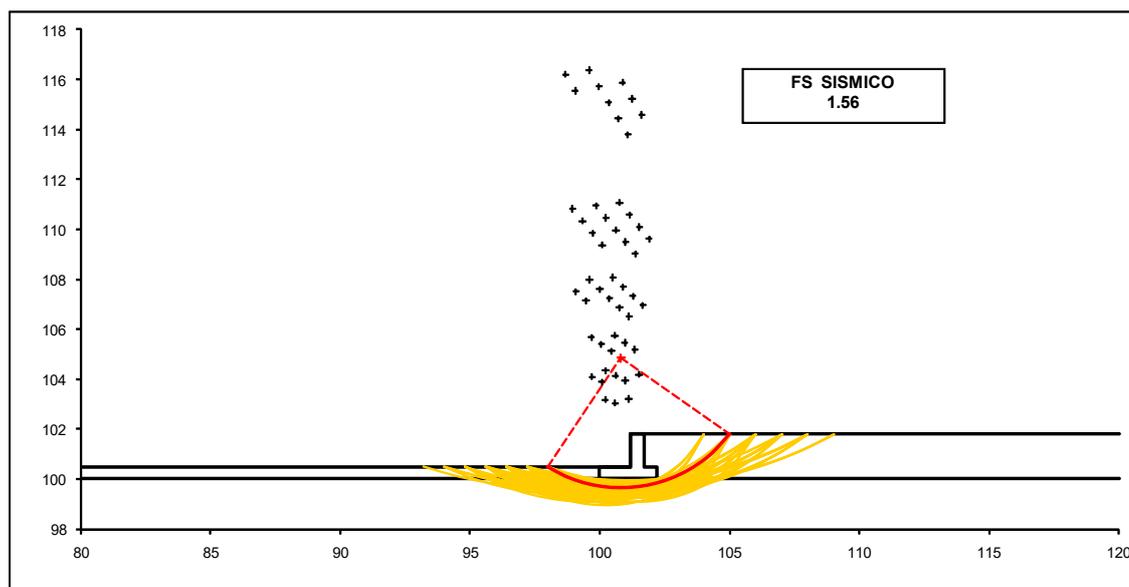
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	58 di 111

### 11.3.4 Verifica di stabilità globale

- Verifica stabilità globale del sistema opera – terreno in condizioni statiche



- Verifica stabilità globale del sistema opera – terreno in condizioni sismiche



## 11.4 VERIFICHE STRUTTURALI

### 11.4.1 Calcolo delle sollecitazioni

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

Reazione del terreno

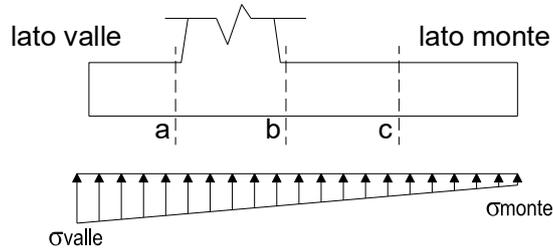
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

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

$$A = 1.0 \cdot B = 2.20 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 0.81 \quad (m^3)$$

caso	N	M	$\sigma_{valle}$	$\sigma_{monte}$
	[kN]	[kNm]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
statico	56.43	1.92	28.02	23.27
	63.93	-4.46	23.53	34.58
sisma+	59.74	-3.65	22.62	31.69
	59.74	-3.65	22.62	31.69
sisma-	53.11	-2.53	21.00	27.28
	53.11	-2.53	21.00	27.28



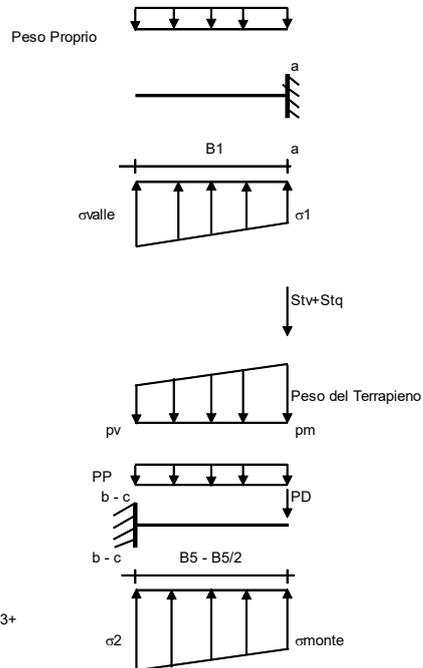
#### Mensola Lato Valle

Peso Proprio. PP = 12.50 (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	28.02	25.43	10.56	17.07
	23.53	29.56	9.39	16.85
sisma+	22.62	27.57	7.95	14.73
	22.62	27.57	8.48	14.73
sisma-	21.00	24.43	7.47	11.72
	21.00	24.43	6.94	11.72



#### Mensola Lato Monte

PP = 12.50 (kN/m) peso proprio soletta fondazione  
PD = 0.00 (kN/m) peso proprio dente

	Nmin	N max stat	N max sism	
pm	25.35	40.35	25.35	(kN/m <sup>2</sup> )
pvb	25.35	40.35	25.35	(kN/m <sup>2</sup> )
pvc	25.35	40.35	25.35	(kN/m <sup>2</sup> )

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 - B_d / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 + (St_v + Sq_v) \cdot (B_5 / 2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2 - B_d / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$V_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot B_5 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B_5 / 2 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B_5 / 2 - (St_v + Sq_v) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$

$$V_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP) \cdot (1 \pm kv)) \cdot (B_5 / 2) + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2) / 2 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2) / 2 - (St_v + Sq_v) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$

caso	$\sigma_{monte}$	$\sigma_2 b$	$M_b$	$V_b$	$\sigma_2 c$	$M_c$	$V_c$
	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]
statico	23.27	24.35	-1.78	-7.02	23.81	-0.45	-3.58
	34.58	32.07	-2.39	-9.76	33.33	-0.58	-4.72
sisma+	31.69	29.63	-1.13	-4.71	30.66	-0.27	-2.23
	31.69	29.63	-1.13	-4.71	30.66	-0.27	-2.23
sisma-	27.28	25.85	-1.10	-4.53	26.57	-0.27	-2.18
	27.28	25.85	-1.10	-4.53	26.57	-0.27	-2.18

RILEVATI E TRINCEE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
IR0B 01 D10 CL TR0100 001 A 60 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

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

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

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

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

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

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

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

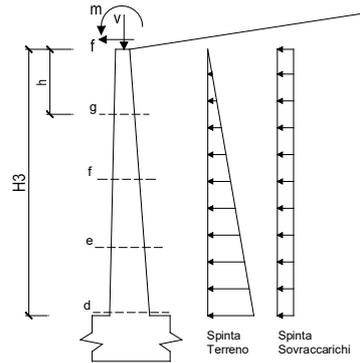
$$V_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

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

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

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

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



**condizione statica**

sezione	h	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	1.30	3.49	4.76	0.00	8.25	0.00	16.25	16.25
e-e	0.98	1.47	2.68	0.00	4.15	0.00	12.19	12.19
f-f	0.65	0.44	1.19	0.00	1.63	0.00	8.13	8.13
g-g	0.33	0.05	0.30	0.00	0.35	0.00	4.06	4.06

sezione	h	Vt	Vq	V <sub>ext</sub>	V <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	1.30	8.04	7.32	0.00	15.37
e-e	0.98	4.52	5.49	0.00	10.02
f-f	0.65	2.01	3.66	0.00	5.67
g-g	0.33	0.50	1.83	0.00	2.33

**condizione sismica +**

sezione	h	M <sub>t stat</sub>	M <sub>t sism</sub>	M <sub>q</sub>	M <sub>ext</sub>	M <sub>inerzia</sub>	M <sub>tot</sub>	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp+inerzia</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	1.30	2.68	0.73	0.00	0.00	1.24	4.65	0.00	17.21	17.21
e-e	0.98	1.13	0.31	0.00	0.00	0.70	2.14	0.00	12.90	12.90
f-f	0.65	0.34	0.09	0.00	0.00	0.31	0.74	0.00	8.60	8.60
g-g	0.33	0.04	0.01	0.00	0.00	0.08	0.13	0.00	4.30	4.30

sezione	h	V <sub>t stat</sub>	V <sub>t sism</sub>	V <sub>q</sub>	V <sub>ext</sub>	V <sub>inerzia</sub>	V <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	1.30	6.19	1.68	0.00	0.00	1.91	9.78
e-e	0.98	3.48	0.95	0.00	0.00	1.43	5.86
f-f	0.65	1.55	0.42	0.00	0.00	0.96	2.92
g-g	0.33	0.39	0.11	0.00	0.00	0.48	0.97

**condizione sismica -**

sezione	h	M <sub>t stat</sub>	M <sub>t sism</sub>	M <sub>q</sub>	M <sub>ext</sub>	M <sub>inerzia</sub>	M <sub>tot</sub>	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp+inerzia</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	1.30	2.68	0.42	0.00	0.00	1.24	4.35	0.00	15.29	15.29
e-e	0.98	1.13	0.18	0.00	0.00	0.70	2.01	0.00	11.47	11.47
f-f	0.65	0.34	0.05	0.00	0.00	0.31	0.70	0.00	7.65	7.65
g-g	0.33	0.04	0.01	0.00	0.00	0.08	0.13	0.00	3.82	3.82

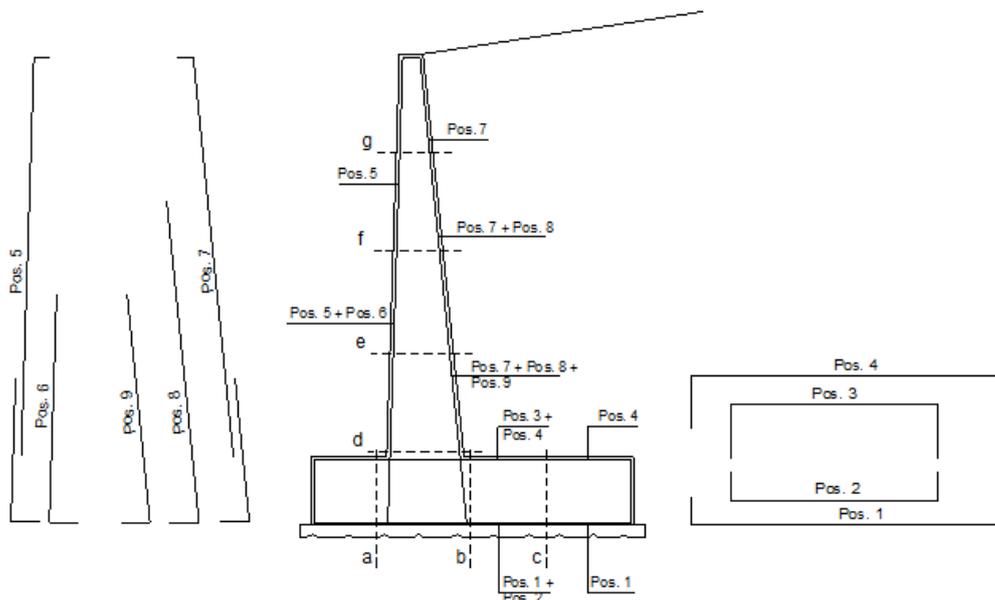
sezione	h	V <sub>t stat</sub>	V <sub>t sism</sub>	V <sub>q</sub>	V <sub>ext</sub>	V <sub>inerzia</sub>	V <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	1.30	6.19	0.98	0.00	0.00	1.91	9.07
e-e	0.98	3.48	0.55	0.00	0.00	1.43	5.46
f-f	0.65	1.55	0.24	0.00	0.00	0.96	2.75
g-g	0.33	0.39	0.06	0.00	0.00	0.48	0.93

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	61 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

### 11.4.2 Verifiche slw



#### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	Il strato	pos	n°/ml	φ	Il strato
1	5.0	16		5	5.0	16	
2	0.0	0	■	6	0.0	0	■
3	0.0	0	■	7	5.0	16	
4	5.0	16		8	0.0	0	■
				9	0.0	0	■

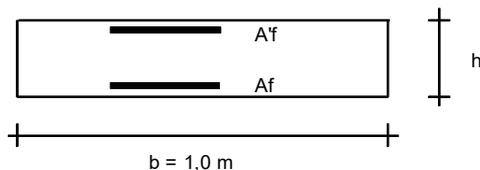
L'armatura secondaria è pari a  $\phi 12/20$

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	62 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

**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

Sez.	M	N	h	Af	A'f	Mu
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)
a - a	10.56	0.00	0.50	10.05	10.05	173.52
b - b	-2.39	0.00	0.50	10.05	10.05	173.52
c - c	-0.58	0.00	0.50	10.05	10.05	173.52
d - d	8.25	16.25	0.50	10.05	10.05	176.50
e - e	4.15	12.19	0.50	10.05	10.05	175.76
f - f	1.63	8.13	0.50	10.05	10.05	175.01
g - g	0.35	4.06	0.50	10.05	10.05	174.27

(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	17.07	0.50	182.70	12	50	100	21.8	83.64	Armatura a taglio non necessaria
b - b	9.76	0.50	182.70	12	50	100	21.8	83.64	Armatura a taglio non necessaria
c - c	4.72	0.50	182.70	12	50	100	21.8	83.64	Armatura a taglio non necessaria
d - d	15.37	0.50	184.75	12	50	100	21.8	83.64	Armatura a taglio non necessaria
e - e	10.02	0.50	184.24	12	50	100	21.8	83.64	Armatura a taglio non necessaria
f - f	5.67	0.50	183.73	12	50	100	21.8	83.64	Armatura a taglio non necessaria
g - g	2.33	0.50	183.22	12	50	100	21.8	83.64	Armatura a taglio non necessaria

**11.4.3 Verifiche sle**

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σ <sub>c</sub>	σ <sub>f</sub>	w <sub>k</sub>	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	7.61	0.00	0.50	10.05	10.05	0.39	19.65	0.034	0.200
b - b	-1.50	0.00	0.50	10.05	10.05	0.08	3.88	0.007	0.200
c - c	-0.35	0.00	0.50	10.05	10.05	0.02	0.91	0.002	0.200
d - d	5.85	16.25	0.50	10.05	10.05	0.28	7.24	0.012	0.200
e - e	2.92	12.19	0.50	10.05	10.05	0.13	2.02	0.003	0.200
f - f	1.13	8.13	0.50	10.05	10.05	0.04	0.12	0.000	0.200
g - g	0.24	4.06	0.50	10.05	10.05	0.00	-	-	0.200

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

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	63 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

## 11.5 VERIFICA RINGROSSO TE

In corrispondenza del palo TE il muro presenta un ringrosso ed ha uno spessore di 80 cm. Si riporta a seguire la verifica strutturale dello spiccato del muro a cui alle sollecitazioni riportate nei paragrafi precedenti per la sezione d-d sono state aggiunte le sollecitazioni derivanti dalla TE. Per determinare tali sollecitazioni si è adoperato come riportato a seguire.

A partire dagli scarichi alla base del palo TE riportati in Tabella 11-1 sono stati valutati i carichi  $N$ ,  $T_T$  e  $M_T$  in testa al muro e combinati tra loro così da terminare la condizione di carico più gravosa. Come riportato in Tabella 11-2 nelle analisi statiche la condizione più gravosa risulta essere la B. Nelle analisi sismica è stata ovviamente considerata la condizione A1. Da questi carichi sono state quindi determinate le sollecitazioni allo spiccato considerando una mensola incastrata di altezza 1.6 m. In Tabella 11-3 sono riportate le sollecitazioni considerate per la sezione in esame.

Considerando la ripartizione delle azioni derivanti da TE su un intero concio di muro di sostegno, i carichi che ne derivano possono essere trascurati in ambito di verifica GEO.

**Tabella 11-1 – Scarichi TE**

<b>Condizione A1 : (-20°C)</b>		<b>N</b>	<b><math>T_T</math></b>	<b><math>T_L</math></b>	<b><math>M_T</math></b>	<b><math>M_L</math></b>
		daN	daN	daN	daNm	daNm
<b>P2</b>	Pesi strutturali	705.70	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>P1</b>	Azioni permanenti non strutturali	3 534.59	202.50	12.12	2 550.50	84.51
<b>G</b>	Solo Ghiaccio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>V100</b>	Vento +X no ghiaccio ( 100%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>V50</b>	Vento +X con ghiaccio (50%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>VL</b>	Vento +Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>E</b>	Eccezionali	1 310.88	56.25	0.00	1 356.11	0.00
<b>SSx</b>	Sisma trasversale ( sisma X )	0.00	1 492.72	0.00	8 029.81	0.00
<b>SSy</b>	Sisma longitudinale ( sisma Y )	0.00	0.00	1 492.72	0.00	8 029.81
<b>TA</b>	Trasversali aerodinamici	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

RILEVATI E TRINCEE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	64 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

		N	T <sub>T</sub>	T <sub>L</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>L</sub>
		daN	daN	daN	daNm	daNm
<b>Condizione A2 : (+5°C)</b>						
<b>P2</b>	Pesi strutturali	705.70	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>P1</b>	Azioni permanenti non strutturali	3 534.59	202.50	12.12	2 550.50	84.51
<b>G</b>	Solo Ghiaccio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>V100</b>	Vento +X no ghiaccio ( 100%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>V50</b>	Vento +X con ghiaccio (50%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>VL</b>	Vento +Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>E</b>	Eccezionali	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SSx</b>	Sisma trasversale ( sisma X )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SSy</b>	Sisma longitudinale ( sisma Y )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TA</b>	Trasversali aerodinamici	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

		N	T <sub>T</sub>	T <sub>L</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>L</sub>
		daN	daN	daN	daNm	daNm
<b>Condizione B : (+5°C) + Vento</b>						
<b>P2</b>	Pesi strutturali	705.70	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>P1</b>	Azioni permanenti non strutturali	3 534.59	202.50	-19.19	2 550.50	-135.84
<b>G</b>	Solo Ghiaccio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>V100</b>	Vento +X no ghiaccio ( 100%)	0.00	969.80	0.00	6 114.20	0.00
<b>V50</b>	Vento +X con ghiaccio (50%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>VL</b>	Vento +Y	0.00	0.00	270.92	0.00	1 301.35
<b>E</b>	Eccezionali	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SSx</b>	Sisma trasversale ( sisma X )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SSy</b>	Sisma longitudinale ( sisma Y )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TA</b>	Trasversali aerodinamici	0.00	228.62	0.00	891.20	0.00

		N	T <sub>T</sub>	T <sub>L</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>L</sub>
		daN	daN	daN	daNm	daNm
<b>Condizione C : (-5°C) + Ghiaccio</b>						
<b>P2</b>	Pesi strutturali	705.70	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>P1</b>	Azioni permanenti non strutturali	3 534.59	202.50	12.12	2 550.50	84.51
<b>G</b>	Solo Ghiaccio	294.00	0.00	0.00	509.46	0.00
<b>V100</b>	Vento +X no ghiaccio ( 100%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>V50</b>	Vento +X con ghiaccio (50%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>VL</b>	Vento +Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>E</b>	Eccezionali	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SSx</b>	Sisma trasversale ( sisma X )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SSy</b>	Sisma longitudinale ( sisma Y )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TA</b>	Trasversali aerodinamici	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

RILEVATI E TRINCEE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	65 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

		N	T <sub>T</sub>	T <sub>L</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>L</sub>
		daN	daN	daN	daNm	daNm
<b>Condizione D : (-5°C) + Ghiaccio + 50% Vento</b>						
<b>P2</b>	Pesi strutturali	705.70	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>P1</b>	Azioni permanenti non strutturali	3 534.59	202.50	-27.25	2 550.50	-192.96
<b>G</b>	Solo Ghiaccio	294.00	0.00	0.00	509.46	0.00
<b>V100</b>	Vento +X no ghiaccio ( 100%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>V50</b>	Vento +X con ghiaccio (50%)	0.00	861.14	0.00	6 071.59	0.00
<b>VL</b>	Vento +Y	0.00	0.00	140.50	0.00	674.90
<b>E</b>	Eccezionali	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SSx</b>	Sisma trasversale ( sisma X )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SSy</b>	Sisma longitudinale ( sisma Y )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TA</b>	Trasversali aerodinamici	0.00	240.75	0.00	965.84	0.00

**Tabella 11-2 –Carichi in testa al muro**

SCARICHI TE		N	T <sub>T</sub>	M <sub>T</sub>
		kN	kN	kNm
SLV	Condizione A1 : (-20°C)	55.51	17.51	119.36
SLU	Condizione A2 : (+5°C)	55.12	2.63	33.16
	Condizione B : (+5°C) + Vento	55.12	20.61	138.24
	Condizione C : (-5°C) + Ghiaccio	59.53	2.63	40.80
	Condizione D : (-5°C) + Ghiaccio + 50% Vento	59.53	13.99	109.93
SLE	Condizione A2 : (+5°C)	42.40	2.03	25.50
	Condizione B : (+5°C) + Vento	42.40	14.01	95.56
	Condizione C : (-5°C) + Ghiaccio	45.34	2.03	30.60
	Condizione D : (-5°C) + Ghiaccio + 50% Vento	45.34	13.04	100.97

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	66 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

**Tabella 11-3 – Sollecitazioni allo spiccato**

		N	T <sub>T</sub>	M <sub>T</sub>
		kN	kN	kNm
<b>SLV</b>	sollecitazioni muro sez. d-d	17.21	9.78	4.65
	sollecitazioni TE	55.51	17.51	147.39
	<b>Totali</b>	<b>72.72</b>	<b>27.29</b>	<b>152.04</b>
<b>SLU</b>	sollecitazioni muro sez. d-d	16.25	15.37	8.25
	sollecitazioni TE	55.12	20.61	171.21
	<b>Totali</b>	<b>71.37</b>	<b>35.98</b>	<b>179.46</b>
<b>SLE</b>	sollecitazioni muro sez. d-d	16.25		5.85
	sollecitazioni TE	42.40		117.97
	<b>Totali</b>	<b>58.65</b>		<b>123.82</b>

### DATI GENERALI SEZIONE DI TRAVE SENZA STAFFE IN C.A.

NOME FILE SEZIONE: ringrosso\_TE

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:

Normativa di riferimento:

Tipologia sezione:

Forma della sezione:

Percorso sollecitazione:

Condizioni Ambientali:

Riferimento Sforzi assegnati:

Riferimento alla sismicità:

Stati Limite Ultimi

N.T.C.

Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe

Rettangolare

A Sforzo Norm. costante

Moderat. aggressive

Assi x,y principali d'inerzia

Zona non sismica

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	181.30	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	333458	daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	30.23	daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	176.00	daN/cm <sup>2</sup>
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C
Resist. caratt. a snervamento fyk:		4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
Resist. caratt. a rottura ftk:		4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
Resist. a snerv. di progetto fyd:		3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
Resist. ultima di progetto ftd:		3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068	
Modulo Elastico Ef:		2000000	daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito		

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	67 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50
Comb. Rare - Sf Limite:	3375.0 daN/cm <sup>2</sup>

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base:	100.0	cm
Altezza:	80.0	cm
Barre inferiori:	10Ø20	(31.4 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	10Ø20	(31.4 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	8.6	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	8.6	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione
MT	Momento torcente [daN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	7272	15204	2729	0
2	7137	17946	3598	0

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	5865	12382

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	4.0	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	8.0	cm
Copriferro netto minimo staffe:	4.0	cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) § 4.1.1.1 NTC: deve essere $< 0.45$
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1) NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	7272	15204	7282	85846	5.646	71.3	0.12	0.70	31.4 (12.5)
2	S	7137	17946	7139	85800	4.781	71.3	0.12	0.70	31.4 (12.5)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	68 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	80.0	0.00004	71.4	-0.02522	8.6
2	0.00350	80.0	0.00004	71.4	-0.02523	8.6

**VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)**

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct	Taglio trazione resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
d	Altezza utile sezione [cm]
bw	Larghezza minima sezione [cm]
Ro	Rapporto geometrico di armatura longitudinale [ $<0.02$ ]
Scp	Tensione media di compressione nella sezione [daN/cm <sup>2</sup> ]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	2729	32613	71.4	100.0	0.0044	0.1
2	S	3598	32595	71.4	100.0	0.0044	0.1

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm <sup>2</sup> )]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm <sup>2</sup> )]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\varnothing/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	15.9	80.0	0.0	57.7	-524	71.4	19.2	1923	31.4	9.2

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [daNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00031	0.00012	0.50	0.60	0.000157 (0.000157)	466	0.073 (0.20)	42170

**RILEVATI E TRINCEE**

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

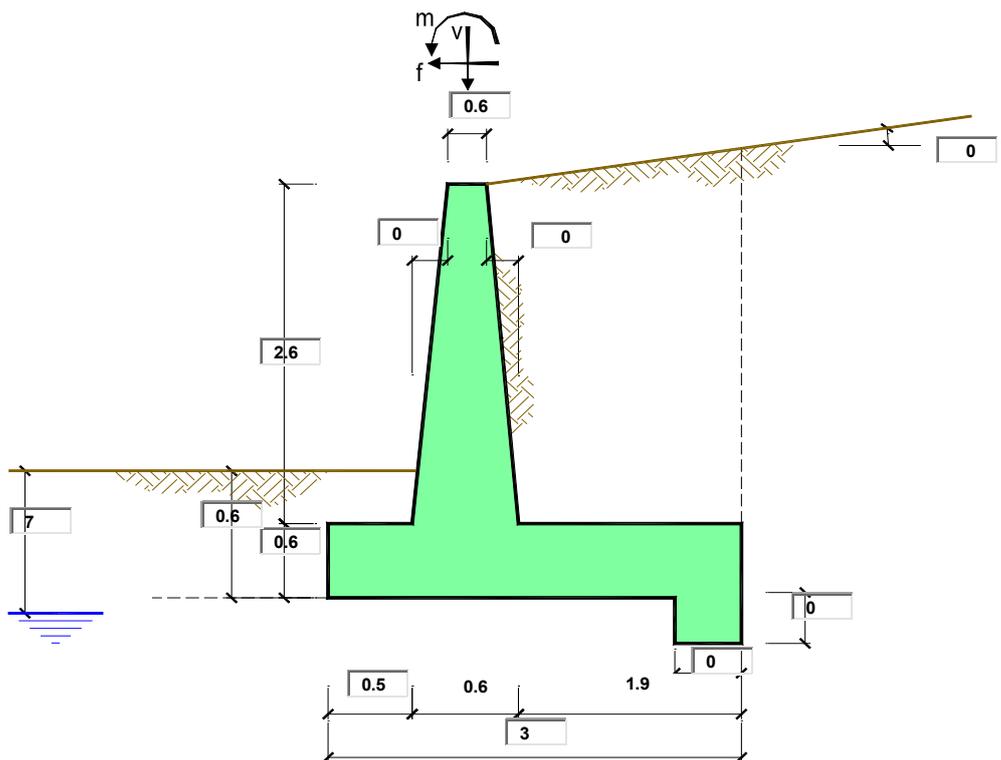
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	69 di 111

## 12 PROGETTO E VERIFICA MURO A5 IN DX DA PK 1+150 A PK +275

### 12.1 DATI DI INPUT

Il muro in esame presenta un'altezza di 3.1 m al fine di garantire un salto di quota di +2.0 m tra il piano del ferro e la testa del muro stesso. Il rinterro a tergo però presenta un'altezza massima di 2.6 m pertanto nelle analisi riportate a seguire si considera un'elevazione del muro di 2.6 m.

La verifica strutturale del paramento tenendo conto dell'azione eccezionale dovuta all'urto ferroviario è riportata al paragrafo 12.5.



**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	70 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

### Geometria del Muro

Elevazione	H3 =	2.60	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0.00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0.60	(m)
Aggetto monte	B4 =	0.00	(m)

### Geometria della Fondazione

Larghezza Fondazione	B =	3.00	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	0.60	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	0.50	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	1.90	(m)
Altezza dente	Hd =	0.00	(m)
Larghezza dente	Bd =	0.00	(m)
Mezzeria Sezione	Xc =	1.50	(m)

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

### Combinazioni coefficienti parziali di verifica

NTC2018	●
---------	---

Carichi	Effetto	Coeff. Parziale	NTC2018
Permanenti	favorevole	$\gamma_G$	1.00
	sfavorevole		1.30
Variabili	favorevole	$\gamma_Q$	0.00
	sfavorevole		1.50

Parametro		Coeff. Parziale	NTC2018
angolo d'attrito	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.00
coesione	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1.00
resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1.00
peso unità di volume	$\gamma$	$\gamma_{\gamma}$	1.00

Verifica	Coeff. Parziale	NTC2018 statico	NTC2018 sismico
Capacità portante fondazione	$\gamma_R$	1.40	1.20
Scorrimento		1.10	1.00
Ribaltamento		1.15	1.00

RILEVATI E TRINCEE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	71 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

			valori caratteristici SLE	valori di progetto		
				STR/GEO	EQU	
<b>Dati Geotecnici</b>						
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	$\phi'$	27.00	27.00	27.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$	19.50	19.50	19.50
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	$\delta$	0.00	0.00	0.00
Dati Terreno Fondazione	Condizioni		<input checked="" type="radio"/> drenate <input checked="" type="radio"/> Non Drenate			
	Coesione Terreno di Fondazione	(kPa)	$c_1'$	2.00	2.00	2.00
	Angolo di attrito del Terreno di Fondazione	(°)	$\phi_1'$	27.00	27.00	27.00
	Peso Unità di Volume del Terreno di Fondazione	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_1$	19.50	19.50	19.50
	Peso Unità di Volume del Rinterro della Fondazione	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$	19.50	19.50	19.50
	Profondità "Significativa" (n.b.: consigliata H = 2*B)	(m)	Hs	5.00		
	Modulo di deformazione	(kN/m <sup>2</sup> )	E	12500		

Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	0.225	(-)	
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	$S_s$	1.375	(-)	
	Coefficiente Amplificazione Topografico	$S_T$	1	(-)	
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	$\beta_s$	0.38	(-)	
	Coefficiente sismico orizzontale	kh	0.118	(-)	
	Coefficiente sismico verticale	kv	0.059	(-)	
Muro libero di traslare o ruotare		<input checked="" type="radio"/> si <input checked="" type="radio"/> no			

RIBALTAMENTO	
$\beta_s$	0.57
kh	0.176
kv	0.088

			STR/GEO	RIB	
Coefficienti di Spinta	Coeff. di Spinta Attiva Statico	ka	0.376	0.376	0.376
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	kas+	0.451	0.451	0.492
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	kas-	0.462	0.462	0.520
	Coeff. Di Spinta Passiva	kp	2.663	2.663	2.663
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma +	kps+	2.474	2.474	2.381
	Coeff. Di Spinta Passiva Sismica sisma -	kps-	2.449	2.449	2.322

			valori caratteristici SLE - sisma	valori di progetto		
				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 checked="" 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	10.00	15.00	15.00
	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 $\Psi_1$	1.00	condizione quasi permanente $\Psi_2$	0.00	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		

**RILEVATI E TRINCEE**

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	72 di 111

### **CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI**

#### Calcestruzzo

classe cls

Rck	40	(MPa)
fck	32	(MPa)
fc <sub>m</sub>	40	(MPa)
E <sub>c</sub>	33346	(MPa)
α <sub>cc</sub>	0.85	
γ <sub>c</sub>	1.50	

$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$	18.13	(MPa)
$f_{ctm} = 0.30 * f_{ck}^{2/3}$	3.02	(MPa)

#### Tensioni limite (tensioni ammissibili)

##### condizioni statiche

σ <sub>c</sub>	12.8	Mpa
σ <sub>r</sub>	337.5	Mpa

##### condizioni sismiche

σ <sub>c</sub>	12.8	Mpa
σ <sub>r</sub>	337.5	Mpa

#### Valore limite di apertura delle fessure

Frequente	<input type="text" value="w1"/>	0.2	mm
Quasi Permanente	<input type="text" value="w1"/>	0.2	mm

#### Acciaio

tipo di acciaio

f <sub>yk</sub>	=	450	(MPa)
γ <sub>s</sub>	=	1.15	
f <sub>yd</sub> = f <sub>yk</sub> / γ <sub>s</sub>	=	391.30	(MPa)
E <sub>s</sub>	=	210000	(MPa)
ε <sub>ys</sub>	=	0.19%	

coefficiente omogeneizzazione acciaio n = 15

#### Copriferro (distanza asse armatura-bordo)

c = 9.20 (cm)

#### Copriferro minimo di normativa (ricoprimento armatura)

c<sub>min</sub> = 5.00 (cm)

#### Interferro tra I e II strato

i<sub>I-II</sub> = 5.00 (cm)

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	73 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

## 12.2 CALCOLO DELLE AZIONI

### 12.2.1 Forze verticali e inerziali

#### FORZE VERTICALI

- Peso del Muro (Pm)

			SLE	STR/GEO	EQU/RIB
Pm1 =	$(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})/2$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Pm2 =	$(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	39.00	39.00	39.00
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)	45.00	45.00	45.00
Pm5 =	$(Bd \cdot Hd \cdot \gamma_{cls})$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
Pm =	Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4 + Pm5	(kN/m)	84.00	84.00	84.00

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

Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma')$	(kN/m)	96.33	96.33	96.33
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)	96.33	96.33	96.33

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

Sovr acc. Stat	$q \cdot (B4+B5)$	(kN/m)	19	28.5	
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/RIB
Mm1 =	$Pm1 \cdot (B1+2/3 B2)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mm2 =	$Pm2 \cdot (B1+B2+0,5 \cdot B3)$	(kNm/m)	31.20	31.20	31.20
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1+B2+B3+1/3 B4)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	(kNm/m)	67.50	67.50	67.50
Mm5 =	$Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00	0.00
Mm =	Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4 + Mm5	(kNm/m)	98.70	98.70	98.70

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

Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1+B2+B3+B4+0,5 \cdot B5)$	(kNm/m)	197.48	197.48	197.48
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)	197.48	197.48	197.48

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

Sovr acc. Stat	$q \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m)	38.95	58.425	
Sovr acc. Sism	$q_s \cdot (B1+B2+B3+1/2 \cdot (B4+B5))$	(kNm/m)	0		

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	74 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

**INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO**

- Inerzia orizzontale e verticale del muro (Ps)

Ps h =	$Pm \cdot kh$	(kN/m)	9.88	14.81
Ps v =	$Pm \cdot kv$	(kN/m)	4.94	7.41

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

Ptsh =	$Pt \cdot kh$	(kN/m)	11.32	16.99
Ptsv =	$Pt \cdot kv$	(kN/m)	5.66	8.49

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

MPs1 h=	$kh \cdot Pm1 \cdot (H2 + H3/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs2 h=	$kh \cdot Pm2 \cdot (H2 + H3/2)$	(kNm/m)	8.71	13.07
MPs3 h=	$kh \cdot Pm3 \cdot (H2 + H3/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs4 h=	$kh \cdot Pm4 \cdot (H2/2)$	(kNm/m)	1.59	2.38
MPs5 h=	$-kh \cdot Pm5 \cdot (Hd/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs h=	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$	(kNm/m)	10.30	15.45

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

MPs1 v=	$kv \cdot Pm1 \cdot (B1 + 2/3 \cdot B2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs2 v=	$kv \cdot Pm2 \cdot (B1 + B2 + B3/2)$	(kNm/m)	1.83	2.75
MPs3 v=	$kv \cdot Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs4 v=	$kv \cdot Pm4 \cdot (B/2)$	(kNm/m)	3.97	5.95
MPs5 v=	$kv \cdot Pm5 \cdot (B - Bd/2)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPs v=	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4 + MPs5$	(kNm/m)	5.80	8.70

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

MPts1 h=	$kh \cdot Pt1 \cdot (H2 + H3/2)$	(kNm/m)	21.52	32.28
MPts2 h=	$kh \cdot Pt2 \cdot (H2 + H3 + H4/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPts3 h=	$kh \cdot Pt3 \cdot (H2 + H3 \cdot 2/3)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPts h=	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	(kNm/m)	21.52	32.28

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

MPts1 v=	$kv \cdot Pt1 \cdot ((H2 + H3/2) - (B - B5/2) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	11.61	17.41
MPts2 v=	$kv \cdot Pt2 \cdot ((H2 + H3 + H4/3) - (B - B5/3) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPts3 v=	$kv \cdot Pt3 \cdot ((H2 + H3 \cdot 2/3) - (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4) \cdot 0.5)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MPts v=	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	(kNm/m)	11.61	17.41

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	75 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

### 12.2.2 Spinte in condizione statica

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
- Spinta totale condizione statica				
St =	$0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$	(kN/m)	37.49	48.74
Sq perm =	$q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka$	(kN/m)	0.00	0.00
Sq acc =	$q \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot ka$	(kN/m)	12.02	18.03
- Componente orizzontale condizione statica				
Sth =	$St \cdot \cos \delta$	(kN/m)	37.49	48.74
Sqh perm =	$Sq \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Sqh acc =	$Sq \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	12.02	18.03
- Componente verticale condizione statica				
Stv =	$St \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Sqv perm =	$Sq \text{ perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
Sqv acc =	$Sq \text{ acc} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00
- Spinta passiva sul dente				
Sp =	$\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot Hd^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot Hd^2 \cdot kp + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd$	(kN/m)	0.00	0.00

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

		SLE	STR/GEO	EQU/RIB
MSt1 =	$St \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3 - Hd)$	(kNm/m)	39.99	51.99
MSt2 =	$St \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00
MSq1 perm =	$Sqh \text{ perm} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd)$	(kNm/m)	0.00	0.00
MSq1 acc =	$Sqh \text{ acc} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2 - Hd)$	(kNm/m)	19.23	28.84
MSq2 perm =	$Sqv \text{ perm} \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00
MSq2 acc =	$Sqv \text{ acc} \cdot B$	(kNm/m)	0.00	0.00
MSp =	$\gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kp / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kp^{0.5} + \gamma_1 \cdot kp \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2$	(kNm/m)	0.00	0.00

#### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

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

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	76 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

### 12.2.3 Spinte in condizione sismica +

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

	SLE	STR/GEO	EQU/RIB
--	-----	---------	---------

- Spinta condizione sismica +

$$Sst1 \text{ stat} = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka \quad (\text{kN/m}) \quad 37.49 \quad 37.49 \quad 37.49$$

$$Sst1 \text{ sism} = 0,5 \cdot \gamma \cdot (1+kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas^+ - Sst1 \text{ stat} \quad (\text{kN/m}) \quad 10.21 \quad 10.21 \quad 15.98$$

$$Ssq1 \text{ perm} = qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+ \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$Ssq1 \text{ acc} = qs \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas^+ \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

- Componente orizzontale condizione sismica +

$$Sst1h \text{ stat} = Sst1 \text{ stat} \cdot \cos \delta \quad (\text{kN/m}) \quad 37.49 \quad 37.49 \quad 37.49$$

$$Sst1h \text{ sism} = Sst1 \text{ sism} \cdot \cos \delta \quad (\text{kN/m}) \quad 10.21 \quad 10.21 \quad 15.98$$

$$Ssq1h \text{ perm} = Ssq1 \text{ perm} \cdot \cos \delta \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$Ssq1h \text{ acc} = Ssq1 \text{ acc} \cdot \cos \delta \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

- Componente verticale condizione sismica +

$$Sst1v \text{ stat} = Sst1 \text{ stat} \cdot \sin \delta \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$Sst1v \text{ sism} = Sst1 \text{ sism} \cdot \sin \delta \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$Ssq1v \text{ perm} = Ssq1 \text{ perm} \cdot \sin \delta \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$Ssq1v \text{ acc} = Ssq1 \text{ acc} \cdot \sin \delta \quad (\text{kN/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

- Spinta passiva sul dente

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

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

	SLE	STR/GEO	EQU/RIB
--	-----	---------	---------

- Condizione sismica +

$$MSst1 \text{ stat} = Sst1h \text{ stat} \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd) \quad (\text{kNm/m}) \quad 39.99 \quad 39.99 \quad 39.99$$

$$MSst1 \text{ sism} = Sst1h \text{ sism} \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd) \quad (\text{kNm/m}) \quad 10.89 \quad 10.89 \quad 17.05$$

$$MSst2 \text{ stat} = Sst1v \text{ stat} \cdot B \quad (\text{kNm/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$MSst2 \text{ sism} = Sst1v \text{ sism} \cdot B \quad (\text{kNm/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$MSsq1 = Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd) \quad (\text{kNm/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$MSsq2 = Ssq1v \cdot B \quad (\text{kNm/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

$$MSp = \gamma_1 \cdot Hd^3 \cdot kps^+ / 3 + (2 \cdot c_1 \cdot kps^{+0.5} + \gamma_1 \cdot kps^+ \cdot H2) \cdot Hd^2 / 2 \quad (\text{kNm/m}) \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00$$

#### MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE

$$Mfext1 = mp + ms \quad (\text{kNm/m}) \quad 0.00$$

$$Mfext2 = (fp+fs) \cdot (H3 + H2) \quad (\text{kNm/m}) \quad 0.00$$

$$Mfext3 = (vp+vs) \cdot (B1 + B2 + B3/2) \quad (\text{kNm/m}) \quad 0.00$$

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	77 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

**12.2.4 Spinte in condizione sismica –**

**SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

	SLE	STR/GEO	EQU/RIB
--	-----	---------	---------

- Spinta condizione sismica -

$Sst1\ stat = 0,5 \cdot \gamma \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot ka$	(kN/m)	37.49	37.49	37.49
$Sst1\ sism = 0,5 \cdot \gamma \cdot (1-kv) \cdot (H2+H3+H4+Hd)^2 \cdot kas - Sst1\ stat$	(kN/m)	5.91	5.91	9.83
$Ssq1\ perm = qp \cdot (H2+H3+H4+Hd) \cdot kas$	(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 -

$Sst1h\ stat = Sst1\ stat \cdot \cos \delta$	(kN/m)	37.49	37.49	37.49
$Sst1h\ sism = Sst1\ sism \cdot \cos \delta$	(kN/m)	5.91	5.91	9.83
$Ssq1h\ perm = Ssq1\ perm \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Ssq1h\ acc = Ssq1\ acc \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00

- Componente verticale condizione sismica -

$Sst1v\ stat = Sst1\ stat \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Sst1v\ sism = Sst1\ sism \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Ssq1v\ perm = Ssq1\ perm \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00	0.00	0.00
$Ssq1v\ acc = Ssq1\ acc \cdot \sin \delta$	(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**

	SLE	STR/GEO	EQU/RIB
--	-----	---------	---------

- Condizione sismica -

$MSst1\ stat = Sst1h\ stat \cdot ((H2+H3+H4+hd)/3-hd)$	( kNm/m )	39.99	39.99	39.99
$MSst1\ sism = Sst1h\ sism \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/3-Hd)$	( kNm/m )	6.31	6.31	10.49
$MSst2\ stat = Sst1v\ stat \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00
$MSst2\ sism = Sst1v\ sism \cdot B$	( kNm/m )	0.00	0.00	0.00
$MSsq1 = Ssq1h \cdot ((H2+H3+H4+Hd)/2-Hd)$	( 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

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	78 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

## 12.3 VERIFICHE GEOTECNICHE

### 12.3.1 Verifiche a ribaltamento, scorrimento e carico limite verticale in condizioni statiche

#### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (STR/GEO)

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv \text{ perm}} + S_{qv \text{ acc}} \quad 180.33 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{th} + S_{qh} + f \quad 66.77 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg} \phi_1' \quad 0.51 \quad (-)$$

$$\mathbf{F_s \text{ scorr.} \quad (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1.38} \quad > \quad \mathbf{1.1}}$$

#### VERIFICA AL RIBALTAMENTO (EQU)

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 296.18 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{St} + M_{Sq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} \quad 80.83 \quad (\text{kNm/m})$$

$$\mathbf{F_s \text{ ribaltamento} \quad M_s / M_r \quad \mathbf{3.66} \quad > \quad \mathbf{1.15}}$$

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

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v + S_{tv} + S_{qv} (+ \text{Sovr acc}) \quad \begin{matrix} N_{\min} & N_{\max} \\ 180.33 & 208.83 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{th} + S_{qh} + f - S_p \quad \begin{matrix} 66.77 & 66.77 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad \begin{matrix} 215.35 & 273.77 \end{matrix} \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad \begin{matrix} 55.15 & 39.47 \end{matrix} \quad (\text{kNm/m})$$

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	79 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

**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.	2.00		(kPa)
$\phi'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	27.00		(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	19.50		(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d' H_2'$	sovraccarico stabilizzante	11.70		(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	0.31	0.19	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	2.39	2.62	(m)

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

$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) e^{(\pi \text{tg}(\phi'))}$	(1 in cond. nd)	13.20		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi')$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	23.94		(-)
$N_\gamma = 2(N_q + 1) \text{tg}(\phi')$	(0 in cond. nd)	14.47		(-)

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)	0.42	0.48	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.37	0.37	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B^* c' \cot \phi'))^{m+1}$		0.27	0.27	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	174.40	184.92	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

**FS carico limite**

$$F = q_{lim} B^* / N$$

$N_{min}$	<b>2.31</b>	>	<b>1.4</b>
$N_{max}$	<b>2.32</b>	>	

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	80 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

### 12.3.2 Verifiche a ribaltamento, scorrimento e carico limite verticale in sismica +

#### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 190.93 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 68.90 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg}\phi_1' \quad 0.51 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1.41} \quad > \quad \mathbf{1}$$

#### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 296.18 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 78.65 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad \mathbf{3.77} \quad > \quad \mathbf{1}$$

#### VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} + (\text{Sovr acc}) \quad \begin{matrix} N_{min} \\ 190.93 \end{matrix} \quad \begin{matrix} N_{max} \\ 190.93 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 68.90 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad 230.89 \quad 230.89 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad 55.50 \quad 55.50 \quad (\text{kNm/m})$$

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	81 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

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

Fondazione Nastriforme

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

$c1'$	coesione terreno di fondaz.	2.00		(kN/mq)
$\phi 1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	27.00		(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	19.50		(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma d \cdot H^2$	sovraccarico stabilizzante	11.70		(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	0.29	0.29	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	2.42	2.42	(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)	13.20		(-)
$N_c = (N_q - 1) / \text{tg}(\phi)$	( $2 + \pi$ in cond. nd)	23.94		(-)
$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg}(\phi)$	(0 in cond. nd)	14.47		(-)

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

$i_q = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cotg(\phi)))^m$	(1 in cond. nd)	0.43	0.43	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.38	0.38	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B \cdot c' \cdot \cotg(\phi)))^{m+1}$		0.28	0.28	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	181.32	181.32	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

**FS carico limite**

$$F = q_{lim} \cdot B^* / N$$

$N_{min}$	<b>2.30</b>	>	<b>1.2</b>
$N_{max}$	<b>2.30</b>	>	

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	82 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

### 12.3.3 Verifiche a ribaltamento, scorrimento e carico limite verticale sismica –

#### VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad 169.73 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} \quad 64.61 \quad (\text{kN/m})$$

Coefficiente di attrito alla base (f)

$$f = \text{tg}\phi_1' \quad 0.51 \quad (-)$$

$$F_s = (N \cdot f + S_p) / T \quad \mathbf{1.34} \quad > \quad \mathbf{1}$$

#### VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Momento stabilizzante (Ms)

$$M_s = M_m + M_t + M_{fext3} \quad 296.18 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento ribaltante (Mr)

$$M_r = M_{Sst} + M_{Ssq} + M_{fext1} + M_{fext2} + M_{Sp} + M_{Ps} + M_{pts} \quad 124.32 \quad (\text{kNm/m})$$

$$F_r = M_s / M_r \quad \mathbf{2.38} \quad > \quad \mathbf{1}$$

#### VERIFICA A CARICO LIMITE DELLA FONDAZIONE

Risultante forze verticali (N)

$$N = P_m + P_t + v_p + v_s + S_{st1v} + S_{sq1v} + P_s v + P_{tsv} \quad \begin{matrix} N_{min} & N_{max} \\ 169.73 & 169.73 \end{matrix} \quad (\text{kN/m})$$

Risultante forze orizzontali (T)

$$T = S_{st1h} + S_{sq1h} + f_p + f_s + P_s h + P_{tsh} - S_p \quad 64.61 \quad (\text{kN/m})$$

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

$$MM = \sum M \quad 200.65 \quad 200.65 \quad (\text{kNm/m})$$

Momento rispetto al baricentro della fondazione (M)

$$M = X_c \cdot N - MM \quad 53.94 \quad 53.94 \quad (\text{kNm/m})$$

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	83 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

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

Fondazione Nastriforme

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

$c'1'$	coesione terreno di fondaz.	2.00		(kN/mq)
$\phi'1'$	angolo di attrito terreno di fondaz.	27.00		(°)
$\gamma_1$	peso unità di volume terreno fondaz.	19.50		(kN/m <sup>3</sup> )
$q_0 = \gamma'd'H_2'$	sovraccarico stabilizzante	11.70		(kN/m <sup>2</sup> )
$e = M / N$	eccentricità	0.32	0.32	(m)
$B^* = B - 2e$	larghezza equivalente	2.36	2.36	(m)

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

$N_q = tg^2(45 + \phi'/2) * e^{(\pi * tg(\phi'))}$	(1 in cond. nd)	13.20		(-)
$N_c = (N_q - 1) / tg(\phi')$	(2+ $\pi$ in cond. nd)	23.94		(-)
$N_\gamma = 2 * (N_q + 1) * tg(\phi')$	(0 in cond. nd)	14.47		(-)

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

$i_q = (1 - T / (N + B * c' \cotg(\phi')))^m$	(1 in cond. nd)	0.41	0.41	(-)
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$		0.36	0.36	(-)
$i_\gamma = (1 - T / (N + B * c' \cotg(\phi')))^{m+1}$		0.26	0.26	(-)

(fondazione nastriforme  $m = 2$ )

$q_{lim}$	(carico limite unitario)	167.38	167.38	(kN/m <sup>2</sup> )
-----------	--------------------------	--------	--------	----------------------

**FS carico limite**

$$F = q_{lim} * B^* / N$$

$N_{min}$	<b>2.33</b>	>	<b>1.2</b>
$N_{max}$	<b>2.33</b>	>	

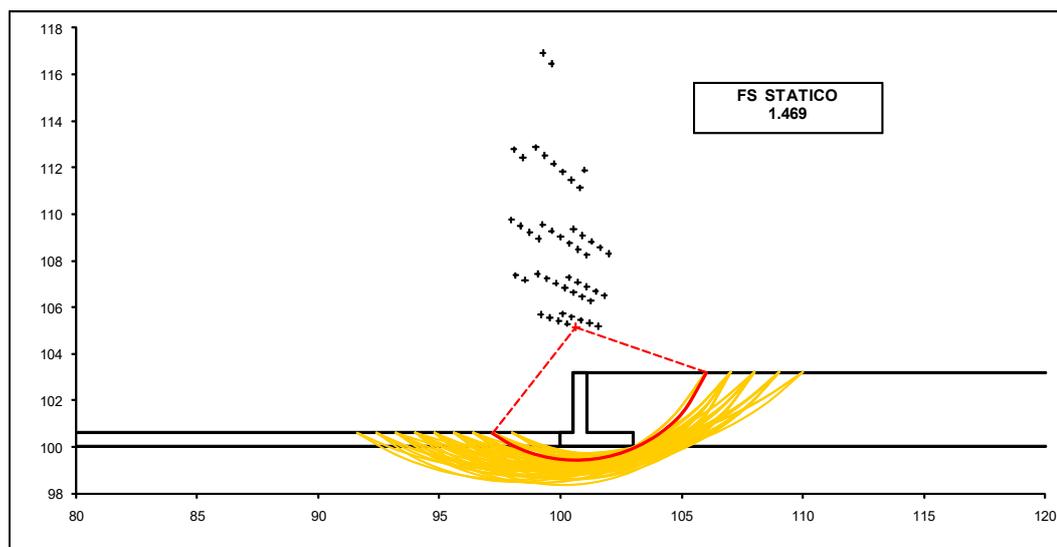
**RILEVATI E TRINCEE**

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

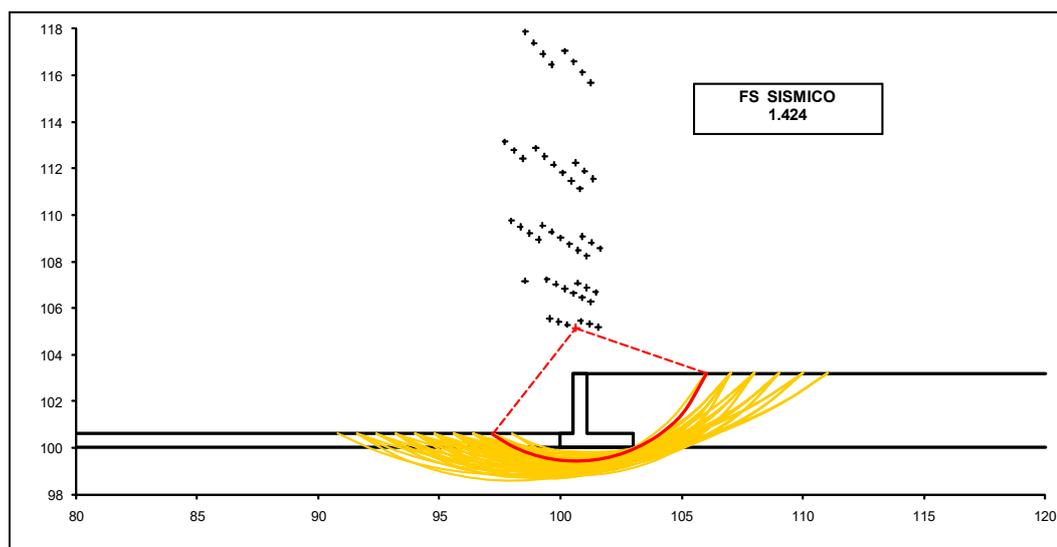
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	84 di 111

### 12.3.4 Verifica di stabilità globale

- Verifica stabilità globale del sistema opera – terreno in condizioni statiche



- Verifica stabilità globale del sistema opera – terreno in condizioni sismiche





**PROGETTO DEFINITIVO  
POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA  
INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL  
PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI**

**RILEVATI E TRINCEE**

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	85 di 111

## 12.4 VERIFICHE STRUTTURALI

RILEVATI E TRINCEE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	86 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

## 12.4.1 Calcolo delle sollecitazioni

### CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE

Reazione del terreno

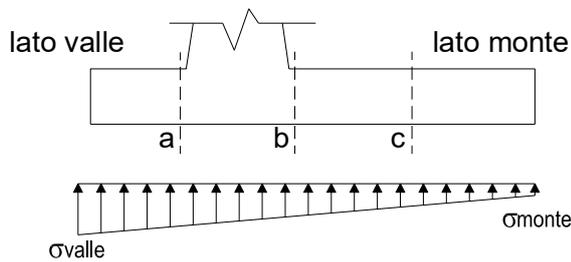
$$\sigma_{valle} = N / A + M / W_{gg}$$

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

$$A = 1.0 \cdot B = 3.00 \quad (m^2)$$

$$W_{gg} = 1.0 \cdot B^2 / 6 = 1.50 \quad (m^3)$$

caso	N	M	$\sigma_{valle}$	$\sigma_{monte}$
	[kN]	[kNm]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
statico	180.33	55.15	96.88	23.34
	208.83	39.47	95.93	43.29
sisma+	190.93	55.50	100.64	26.64
	190.93	55.50	100.64	26.64
sisma-	169.73	53.94	92.54	20.61
	169.73	53.94	92.54	20.61



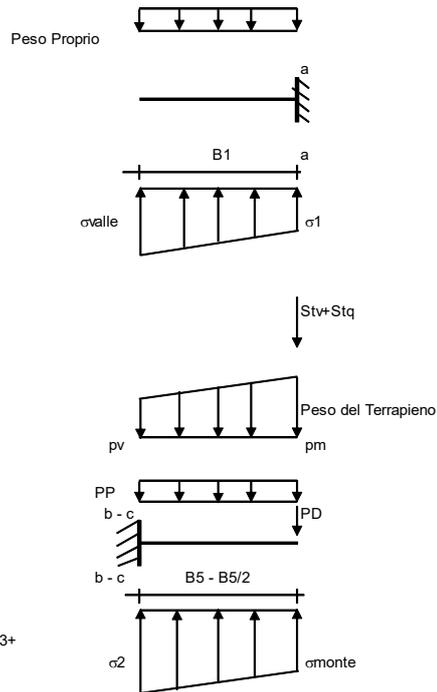
### Mensola Lato Valle

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	96.88	84.62	9.72	37.87
	95.93	87.15	9.75	38.27
sisma+	100.64	88.31	10.08	42.38
	100.64	88.31	10.19	42.38
sisma-	92.54	80.55	9.30	38.33
	92.54	80.55	9.19	38.33



### Mensola Lato Monte

PP = 15.00 (kN/m<sup>2</sup>)

PD = 0.00 (kN/m)

peso proprio soletta fondazione  
peso proprio dente

	Nmin	N max stat	N max sism	
pm	50.70	65.70	50.70	(kN/m <sup>2</sup> )
pvb	50.70	65.70	50.70	(kN/m <sup>2</sup> )
pvc	50.70	65.70	50.70	(kN/m <sup>2</sup> )

$$M_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP)) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B^2 / 6 - (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B^2 / 3 - (St_v + Sq_v) \cdot B^2 \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 - B_d / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$M_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP)) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 6 - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3 - (St_v + Sq_v) \cdot (B_5 / 2) \cdot PD \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2 - B_d / 2) - PD \cdot kh \cdot (H_d + H_2 / 2) + M_{sp} + Sp \cdot H_2 / 2$$

$$V_b = (\sigma_{monte} - (p_{vb} + PP)) \cdot (1 \pm kv) \cdot B + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot B + (p_m - p_{vb}) \cdot (1 \pm kv) \cdot B_5 / 2 - (St_v + Sq_v) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$

$$V_c = (\sigma_{monte} - (p_{vc} + PP)) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2) + (\sigma_2 - \sigma_{monte}) \cdot (B_5 / 2) - (p_m - p_{vc}) \cdot (1 \pm kv) \cdot (B_5 / 2) - (St_v + Sq_v) \cdot PD \cdot (1 \pm kv)$$

caso	$\sigma_{monte}$	$\sigma_2$	$M_b$	$V_b$	$\sigma_2$	$M_c$	$V_c$
	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kNm]	[kN]
statico	23.34	69.91	-48.43	-36.23	46.63	-15.61	-29.18
	43.29	76.63	-47.46	-39.40	59.96	-14.37	-27.62
sisma+	26.64	73.51	-49.27	-37.02	50.08	-15.84	-29.64
	26.64	73.51	-49.27	-37.02	50.08	-15.84	-29.64
sisma-	20.61	66.17	-47.00	-35.05	43.39	-15.18	-28.34
	20.61	66.17	-47.00	-35.05	43.39	-15.18	-28.34

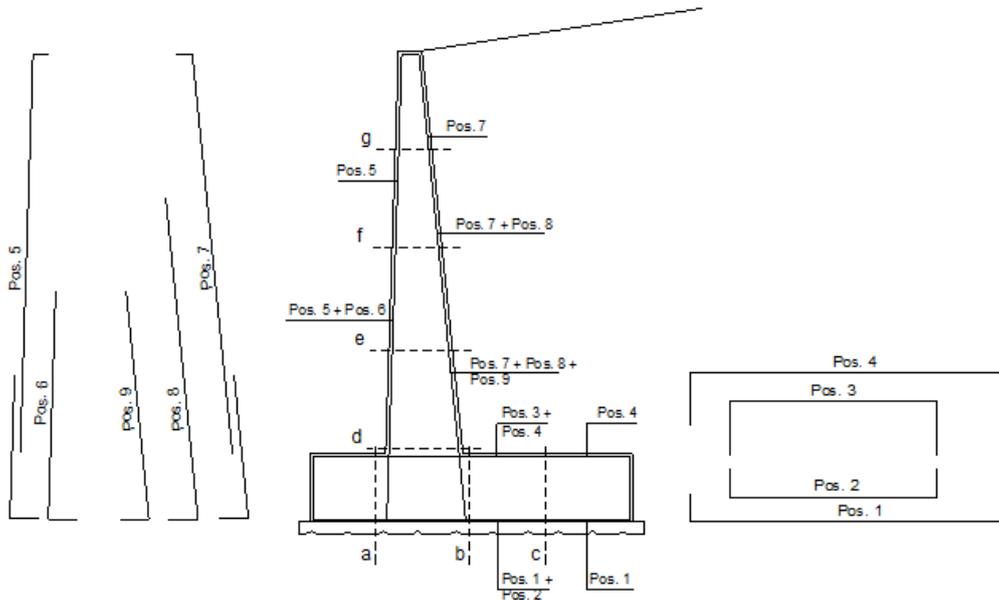


**RILEVATI E TRINCEE**

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	88 di 111

### 12.4.2 Verifiche slu



#### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	Il strato	pos	n°/ml	φ	Il strato
1	10.0	24		5	10.0	24	
2	0.0	0	■	6	0.0	0	■
3	0.0	0	■	7	10.0	24	
4	10.0	24		8	0.0	0	■
				9	0.0	0	■

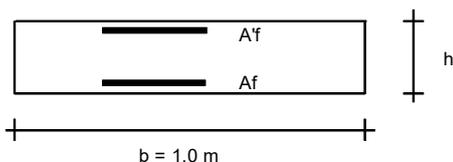
L'armatura secondaria è pari a  $\phi 20/20$

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	89 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

**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

Sez.	M	N	h	Af	A'f	Mu
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)
a - a	10.19	0.00	0.60	45.24	45.24	799.78
b - b	-49.27	0.00	0.60	45.24	45.24	799.78
c - c	-15.84	0.00	0.60	45.24	45.24	799.78
d - d	46.93	39.00	0.60	45.24	45.24	807.94
e - e	22.47	29.25	0.60	45.24	45.24	805.90
f - f	8.25	19.50	0.60	45.24	45.24	803.86
g - g	1.63	9.75	0.60	45.24	45.24	801.82

(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	42.38	0.60	303.03	12	50	100	21.8	101.17	Armatura a taglio non necessaria
b - b	39.40	0.60	303.03	12	50	100	21.8	101.17	Armatura a taglio non necessaria
c - c	29.64	0.60	303.03	12	50	100	21.8	101.17	Armatura a taglio non necessaria
d - d	46.82	0.60	307.98	12	50	100	21.8	101.17	Armatura a taglio non necessaria
e - e	29.08	0.60	306.75	12	50	100	21.8	101.17	Armatura a taglio non necessaria
f - f	15.37	0.60	305.51	12	50	100	21.8	101.17	Armatura a taglio non necessaria
g - g	5.67	0.60	304.27	12	50	100	21.8	101.17	Armatura a taglio non necessaria

**12.4.3 Verifiche sle**

Sez.	M	N	h	Af	A'f	σ <sub>c</sub>	σ <sub>f</sub>	w <sub>k</sub>	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	8.14	0.00	0.60	45.24	45.24	0.15	4.10	0.005	0.200
b - b	-33.41	0.00	0.60	45.24	45.24	0.62	16.81	0.019	0.200
c - c	-10.48	0.00	0.60	45.24	45.24	0.19	5.27	0.006	0.200
d - d	34.14	39.00	0.60	45.24	45.24	0.66	13.10	0.014	0.200
e - e	16.19	29.25	0.60	45.24	45.24	0.32	5.15	0.006	0.200
f - f	5.85	19.50	0.60	45.24	45.24	0.12	1.09	0.001	0.200
g - g	1.13	9.75	0.60	45.24	45.24	0.03	-0.05	0.000	0.200

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

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	90 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

## 12.5 VERIFICA STRUTTURALE IN CASO DI URTO FERROVIARIO

Il carico dovuto all'urto ferroviario, come indicato al punto 3.6.3.4 delle NTC2018, nel caso di distanza tra l'elemento esposto e l'asse binario inferiore a 5.0 m è pari a 1500 kN e deve essere applicato a 1.8 m dal piano del ferro. Nel caso in esame quindi tale carico è stato applicato a +2.9 dalla sezione di spiccato. Considerando che l'urto ferroviario si ripartisca a 45° all'interno del paramento si considera una larghezza di diffusione a quota spiccato pari a 5.8 m. Su tale sezione, considerando una striscia unitaria, le sollecitazioni dovute all'urto sono quindi pari a:

$$T_{u,d} = 1500/5.8 = 258.62 \text{ kN/m}$$

$$M_{u,d} = T_{u,d} * b = 258.62 * 2.9 = 750 \text{ kNm/m}$$

Il terreno a tergo del muro (H=2.6 m) viene quindi a trovarsi in regime di spinta passiva ( $k_p = 2.66$  considerando  $\phi' = 27^\circ$ ) e pertanto si ha:

$$T_{Sp} = 0.5 * \gamma * k_p * H^2 = 0.5 * 19.5 * 2.66 * 2.6 = 175.51 \text{ kN/m}$$

$$M_{Sp} = T_{Sp} * H/3 = 175.51 * 2.6/3 = 152.11 \text{ kNm/m}$$

Le sollecitazioni nella sezione di verifica considerando cautelativamente un'aliquota del 50% della resistenza passive risultano:

$$T_d = T_{u,d} - 50\% T_{Sp} = 170.86 \text{ kN/m}$$

$$M_d = M_{u,d} - 50\% M_{Sp} = 673.94 \text{ kNm/m}$$

$$N_d = W_m = 25 * 0.5 * 3.1 = 38.75 \text{ kN/m}$$

A seguire la verifica della sezione in c.a. 100\*60.

### DATI GENERALI SEZIONE DI TRAVE SENZA STAFFE IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	91 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	181.30	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	333458	daN/cm <sup>2</sup>
Resis. media a trazione fctm:	30.23	daN/cm <sup>2</sup>	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. a rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito		

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base:	100.0	cm
Altezza:	60.0	cm
Barre inferiori:	10Ø24	(45.2 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	10Ø24	(45.2 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	9.4	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	9.4	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione
MT	Momento torcente [daN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	3875	67394	17086	0

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Coprifero netto minimo barre longitudinali:	3.8	cm
Interfero netto minimo barre longitudinali:	7.6	cm
Coprifero netto minimo staffe:	3.8	cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd,Mx rd) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.1.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	3875	67394	3855	81463	1.209	49.7	0.20	0.70	45.2 (8.8)

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	92 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione

Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

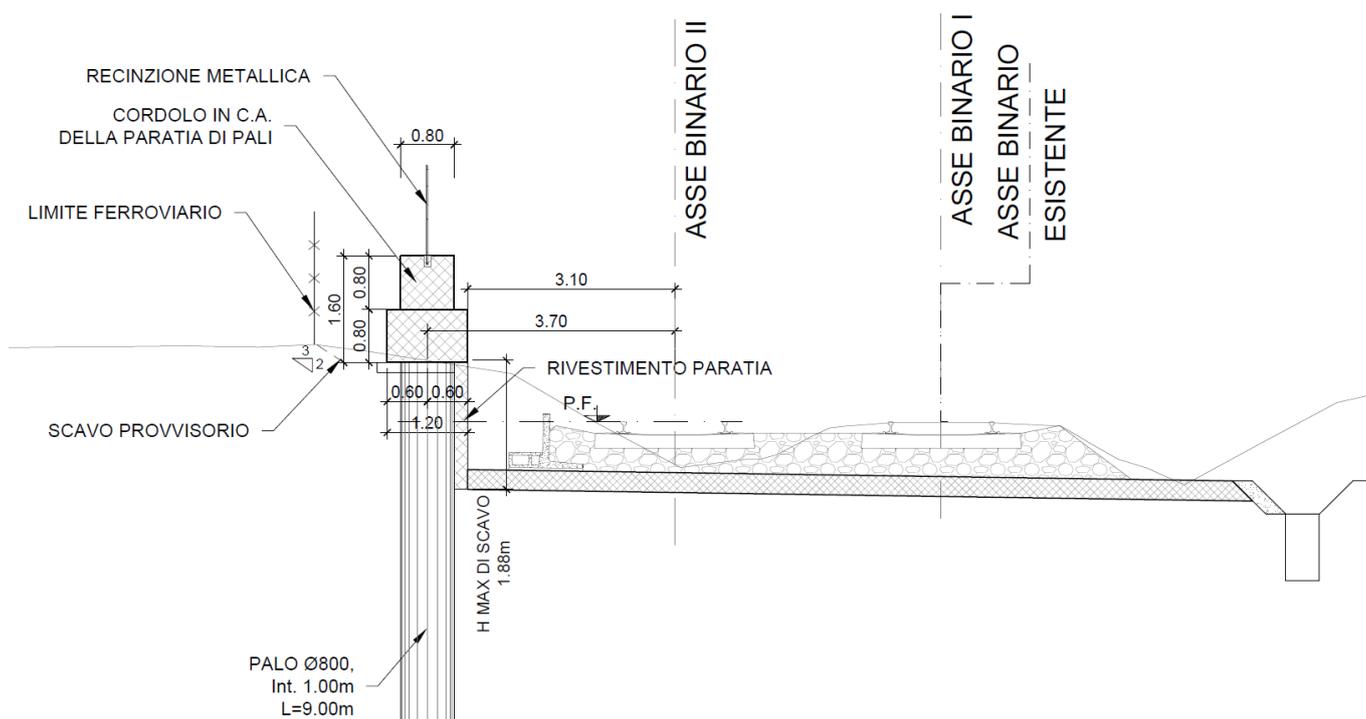
N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	60.0	0.00032	50.6	-0.01361	9.4

**VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)**

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct	Taglio trazione resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
d	Altezza utile sezione [cm]
bw	Larghezza minima sezione [cm]
Ro	Rapporto geometrico di armatura longitudinale [ $<0.02$ ]
Scp	Tensione media di compressione nella sezione [daN/cm <sup>2</sup> ]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	17086	30737	50.6	100.0	0.0089	0.1

### 13 PROGETTO E VERIFICA DELLA PARATIA B IN SX DA PK 1+385 A PK 1+549



#### 13.1 DATI DI INPUT

Sono di seguito descritte le principali caratteristiche dell'opera sottoposta a verifica.

**Tabella 13-1 - Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo.**

Tipologia struttura di sostegno	pali $\phi 800$ ad interasse 1.00 m
Lunghezza palo	$L_p = 9.0$ m
Altezza di scavo H (da testa palo)	$H = 1.90$ m
Altezza di scavo di calcolo (NTC18 § 6.5.2.2) $H_{cal} = H + \min [0.5; 10\%H_{scavo}]$	$H_{cal} = 2.09$ m
Inclinazione del piano campagna a monte	$0.0^\circ$
Inclinazione del piano campagna a valle	$0.0^\circ$
Sovraccarichi permanenti a monte	$g = 0$ kPa
Sovraccarichi accidentali a monte	$q = 10$ kPa



**PROGETTO DEFINITIVO  
POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA  
INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL  
PRG DELLA STAZIONE DI ASSISI**

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	94 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

Per l'opera in esame sono stati sviluppati 2 modelli di calcolo. Nel primo si è considerato la presenza del palo TE mentre nel secondo è stato considerato un carico eccezionale dovuto all'urto ferroviario.

L'altezza di scavo massima è pari a 1.88 m ma in fase di applicazione dei carichi accidentali si riduce a 1.58 m per la presenza del super compattato.

### **13.1.1 Modello 1 – carichi dovuti alla TE**

A partire dagli scarichi alla base del palo TE riportati in Tabella 11-1 sono state valutate le sollecitazioni di  $N$ ,  $T_T$  e  $M_T$  in testa ai pali e combinate tra loro così da terminare la condizione di carico più gravosa. Come riportato in Tabella 11-2 nelle analisi statiche la condizione più gravosa risulta essere la B. Nelle analisi sismica è stata ovviamente considerata la condizione A1. In Tabella 13-2 sono riportati i carichi considerati nel modello di calcolo.

**Tabella 13-2 – Sollecitazioni in testa ai pali considerate nel modello**

Condizione B : (+5°C) + Vento	$T_T$	$M_T$
	kN	kNm
permanenti	2.03	28.74
accidentali	11.98	89.23
Condizione A1 : (-20°C)	$T_T$	$M_T$
	kN	kNm
permanenti	2.03	28.74
accidentali	15.49	118.64

### 13.1.2 Modello 2 – carichi dovuti all'urto ferroviario

Il carico dovuto all'urto ferroviario, come indicato al punto 3.6.3.4 delle NTC2018, nel caso di distanza inferiore a 5.0 m è pari a 1500 kN applicato a 1.8 m da piano ferro. Nel caso in esame quindi tale carico è a +1.0 dalla testa pali. Considerando che l'urto ferroviario investa 5 pali nel modello si considerano una forza orizzontale ed un momento rispettivamente pari a  $T=300$  kN/m e  $M=300$  kNm/m.

## 13.2 FASI DI CALCOLO

### 13.2.1 Modello 1

Nel programma di calcolo Paratie Plus sono state implementate le seguenti fasi di calcolo:

- 1) Stato attuale
- 2) Realizzazione della paratia e applicazione carichi permanenti dovuti alla TE
- 3) Scavo a -2.09
- 4) Applicazione sovraccarico accidentale a monte e dei carichi accidentali dovuti alla TE (scavo a -1.9 m)
- 5) Applicazione azione sismica.

RILEVATI E TRINCEE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	96 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

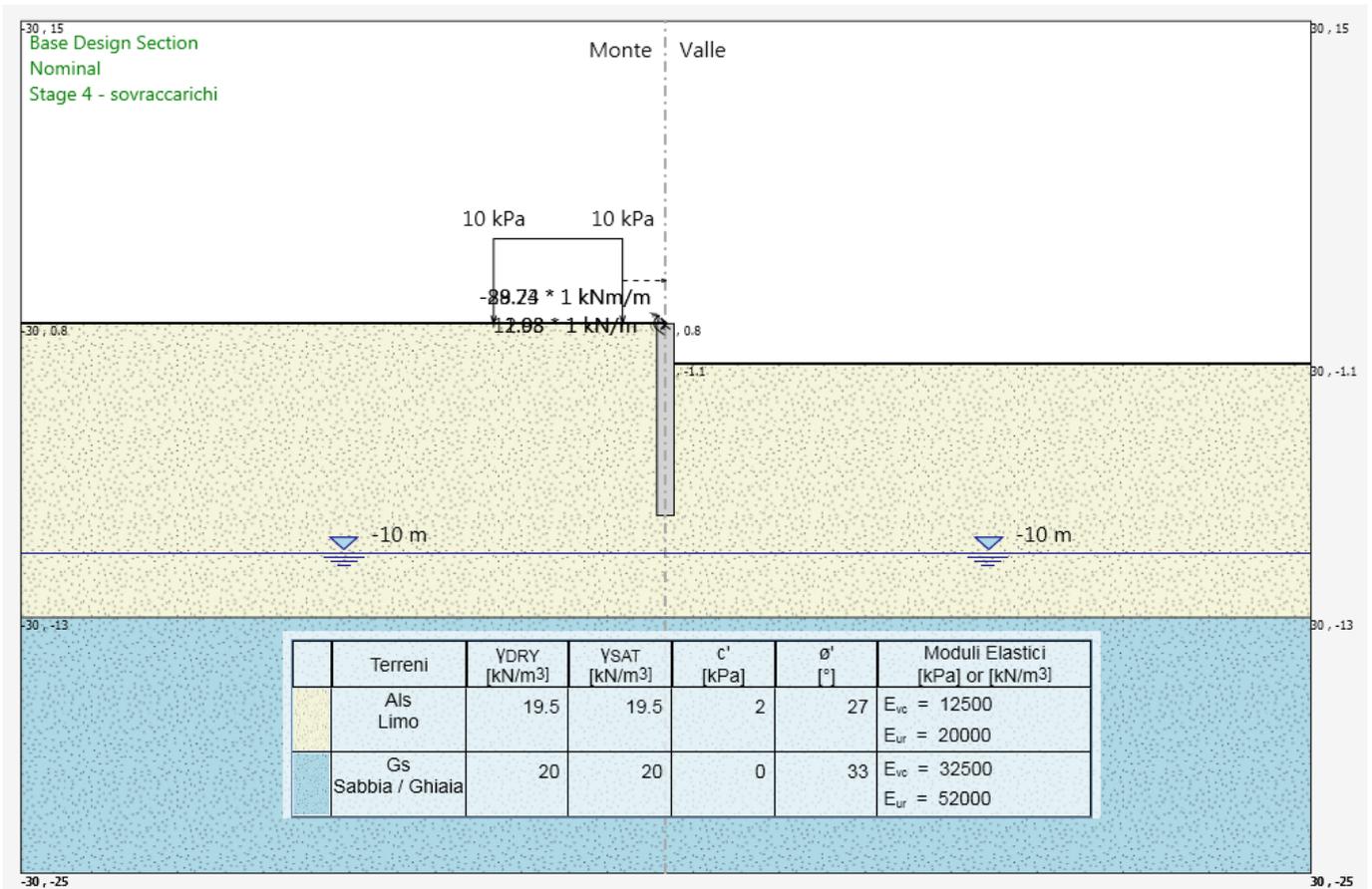
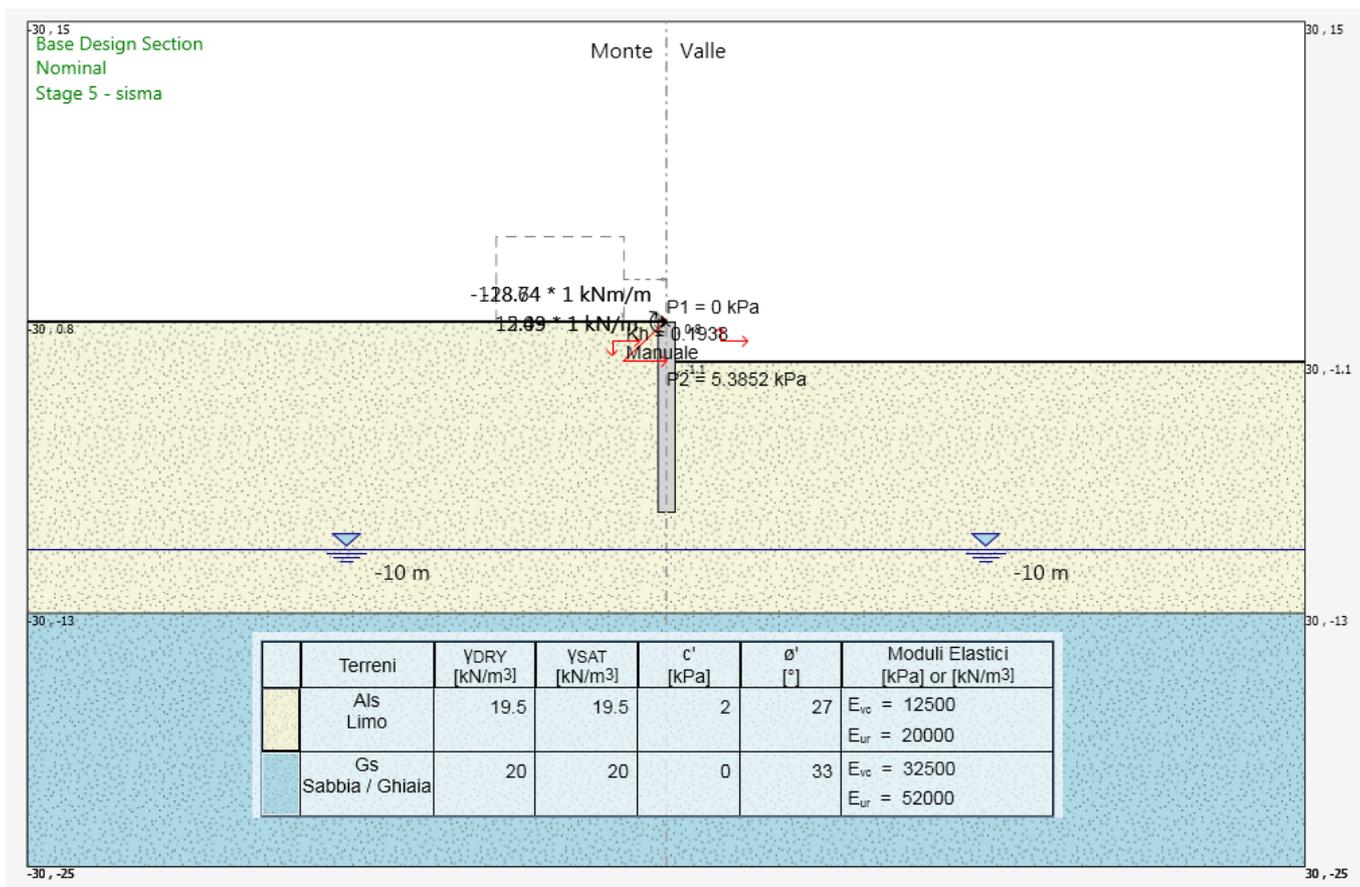


Figura 13-1 – Schema di calcolo paratia fase 4.



**Figura 13-2 – Schema di calcolo paratia fase 5.**

### 13.2.2 Modello 2

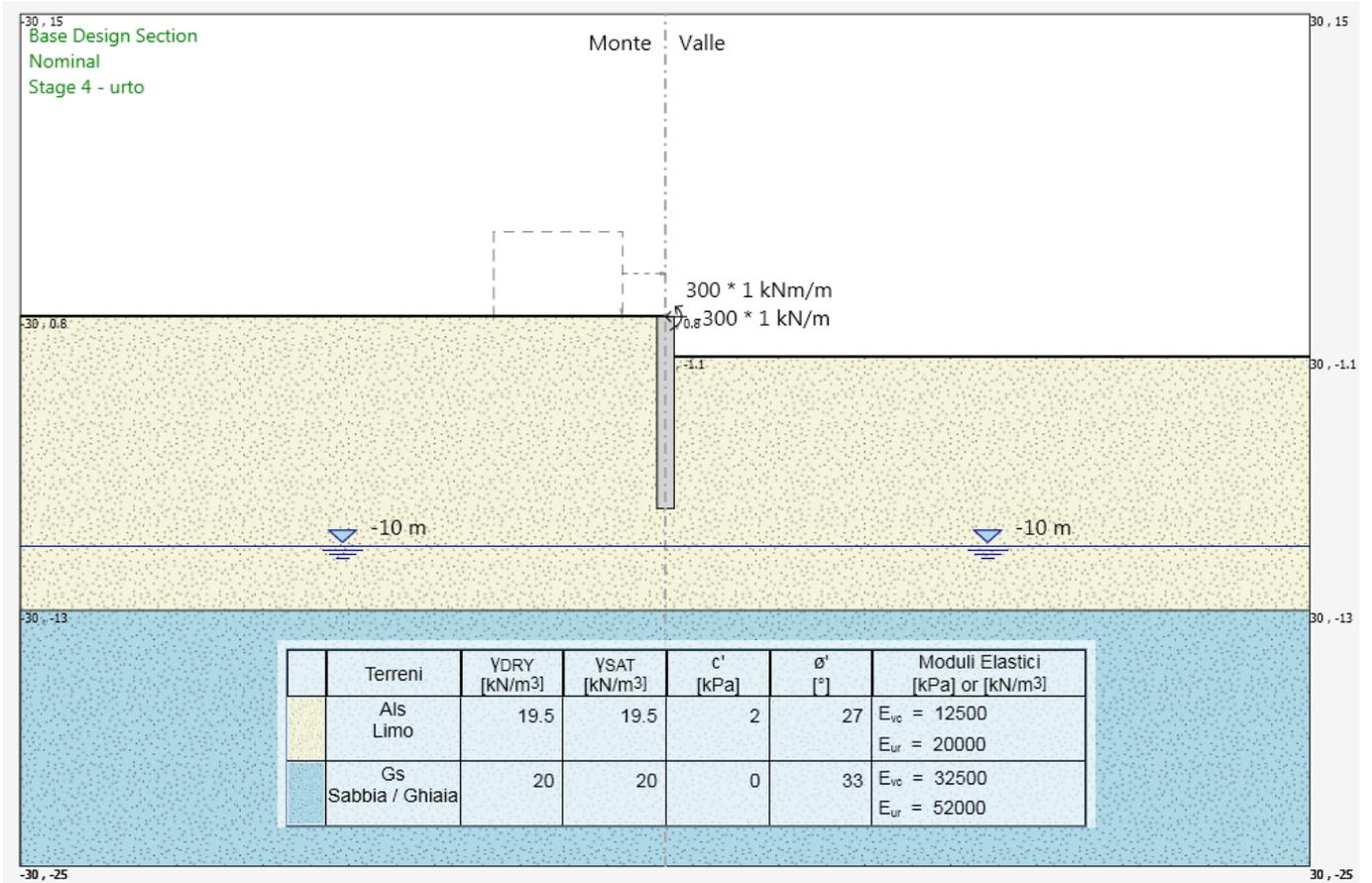
Nel programma di calcolo Paratie Plus sono state implementate le seguenti fasi di calcolo:

- 1) Stato attuale
- 2) Realizzazione della paratia
- 3) Scavo a -2.09
- 4) Applicazione urto ferroviario (scavo a -1.9 m)

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	98 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**



**Figura 13-3 – Schema di calcolo paratia fase 4.**

RILEVATI E TRINCEE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	99 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

### 13.3 RISULTATI DELLE ANALISI

A seguire si riportano i diagrammi del momento flettente e del taglio ottenuti dalle analisi, con particolare riferimento agli andamenti riferiti alle fasi di maggior interesse, da cui sono stati estratti i valori massimi per le verifiche strutturali di cui al paragrafo 13.5.

#### 13.3.1 Modello 1

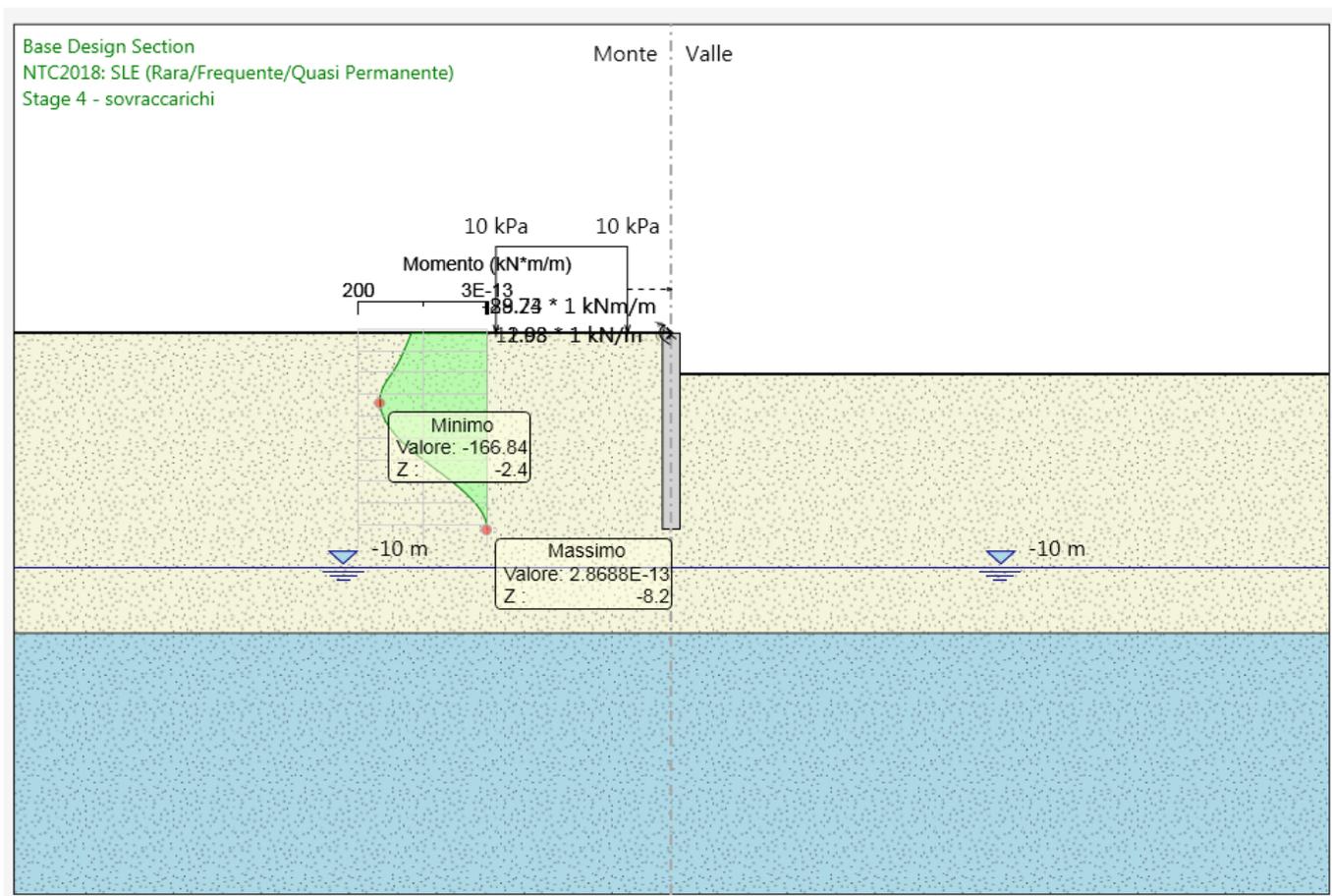
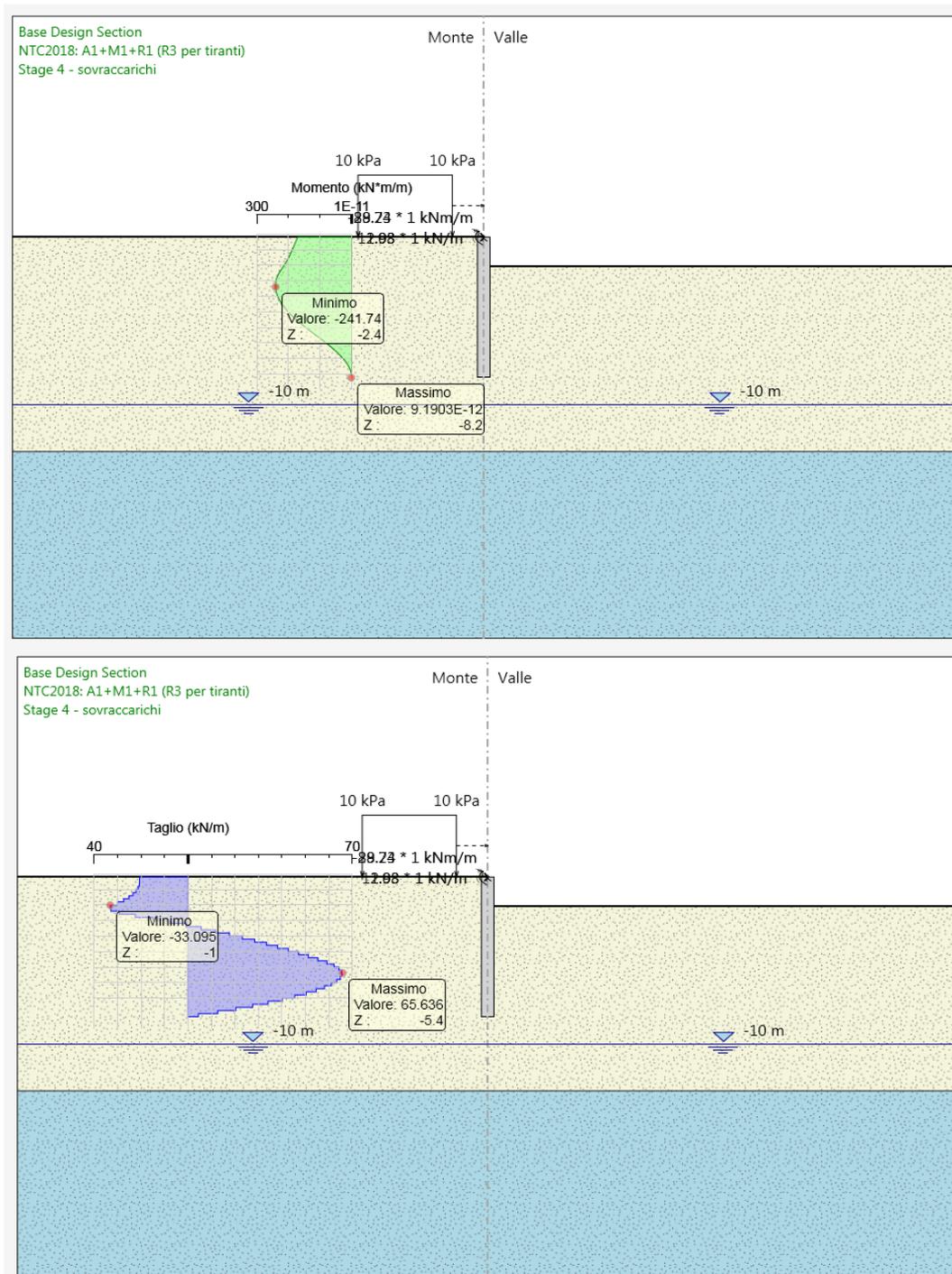


Figura 13-4 – Momento SLE fase 4.

**RILEVATI E TRINCEE**

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	100 di 111



**Figura 13-5 – Momento e taglio SLU fase 4.**

RILEVATI E TRINCEE

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	101 di 111

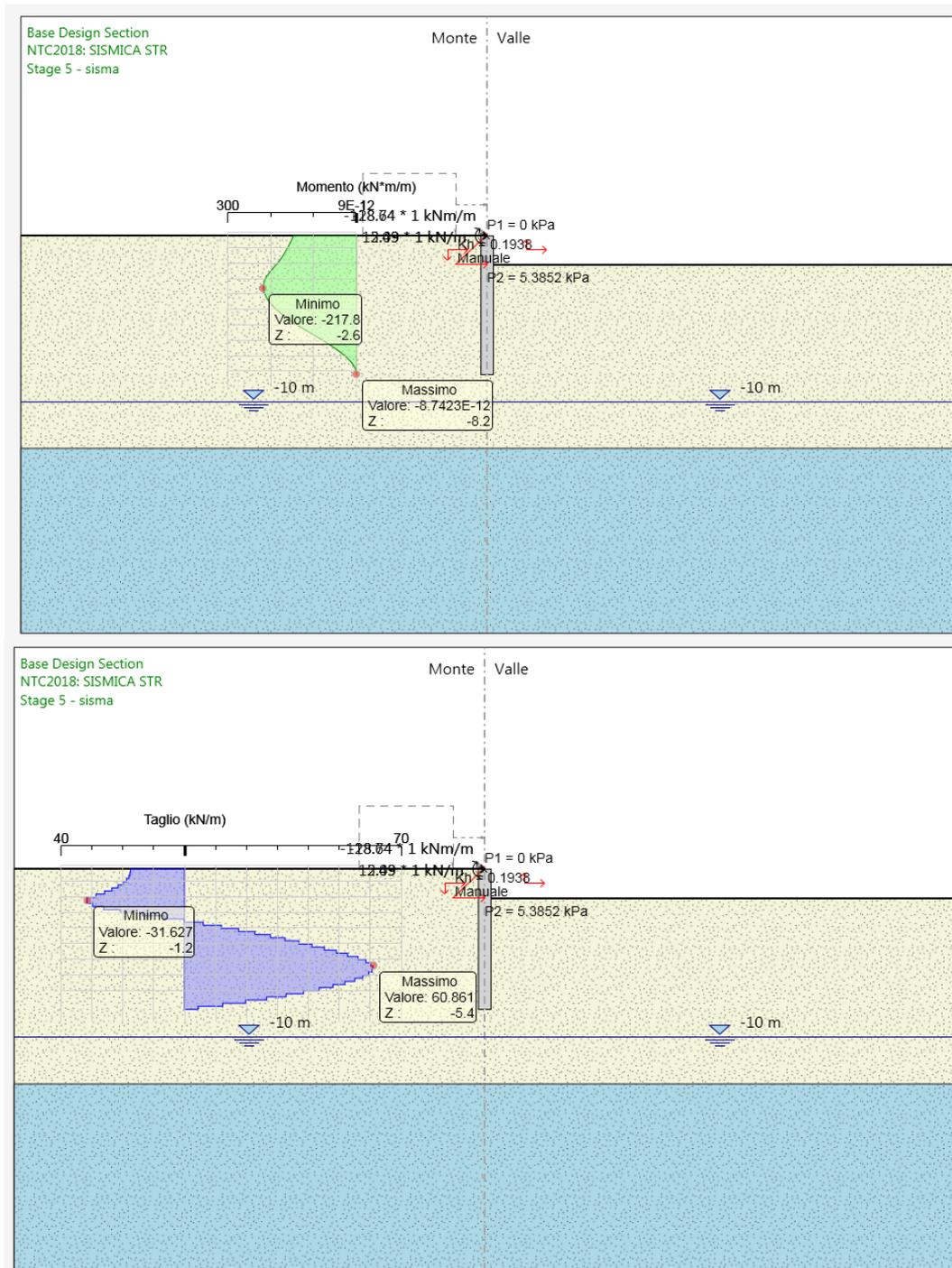


Figura 13-6 – Momento e taglio SLV fase 5.

RILEVATI E TRINCEE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	102 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

### 13.3.2 Modello 2

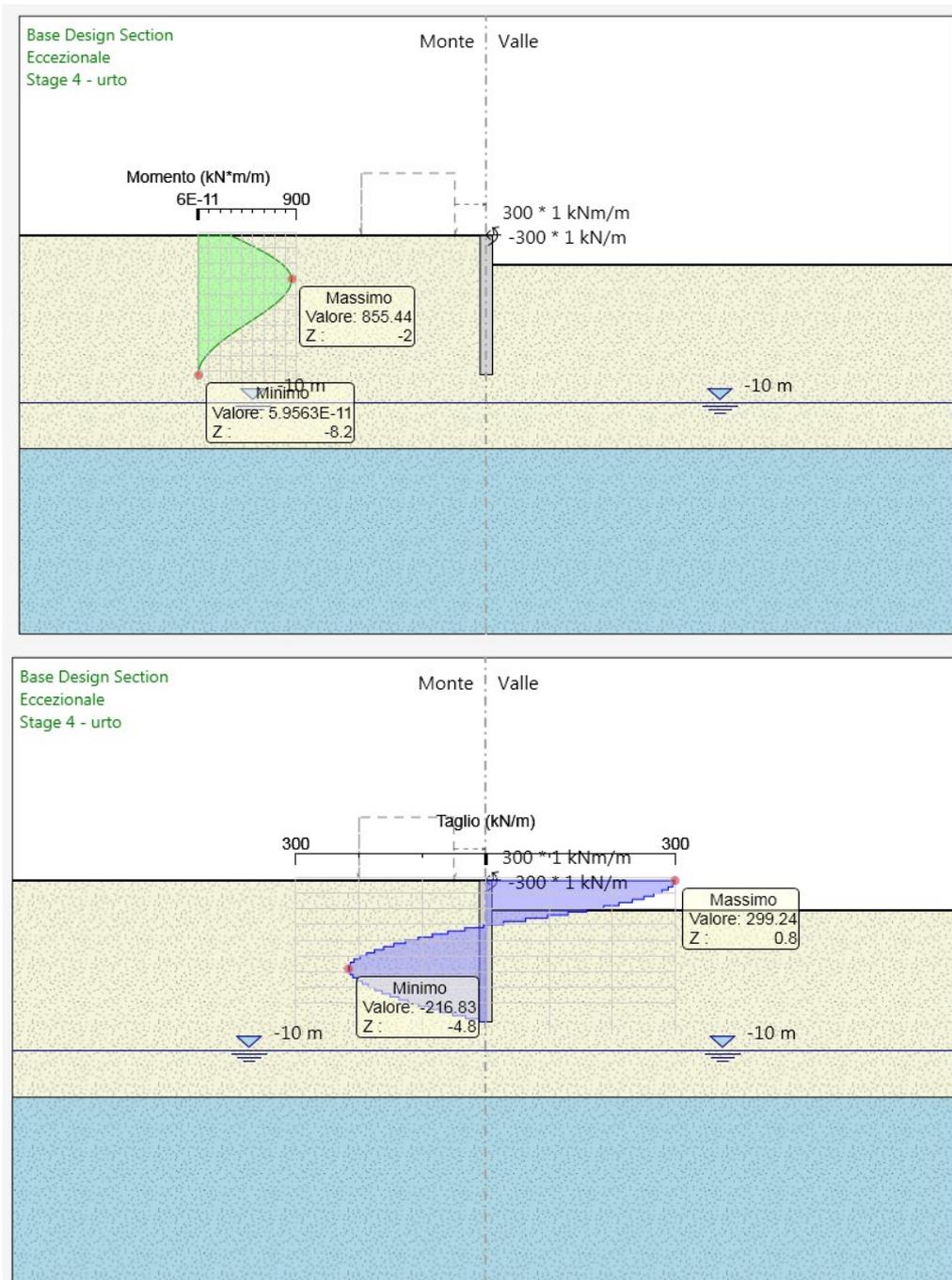
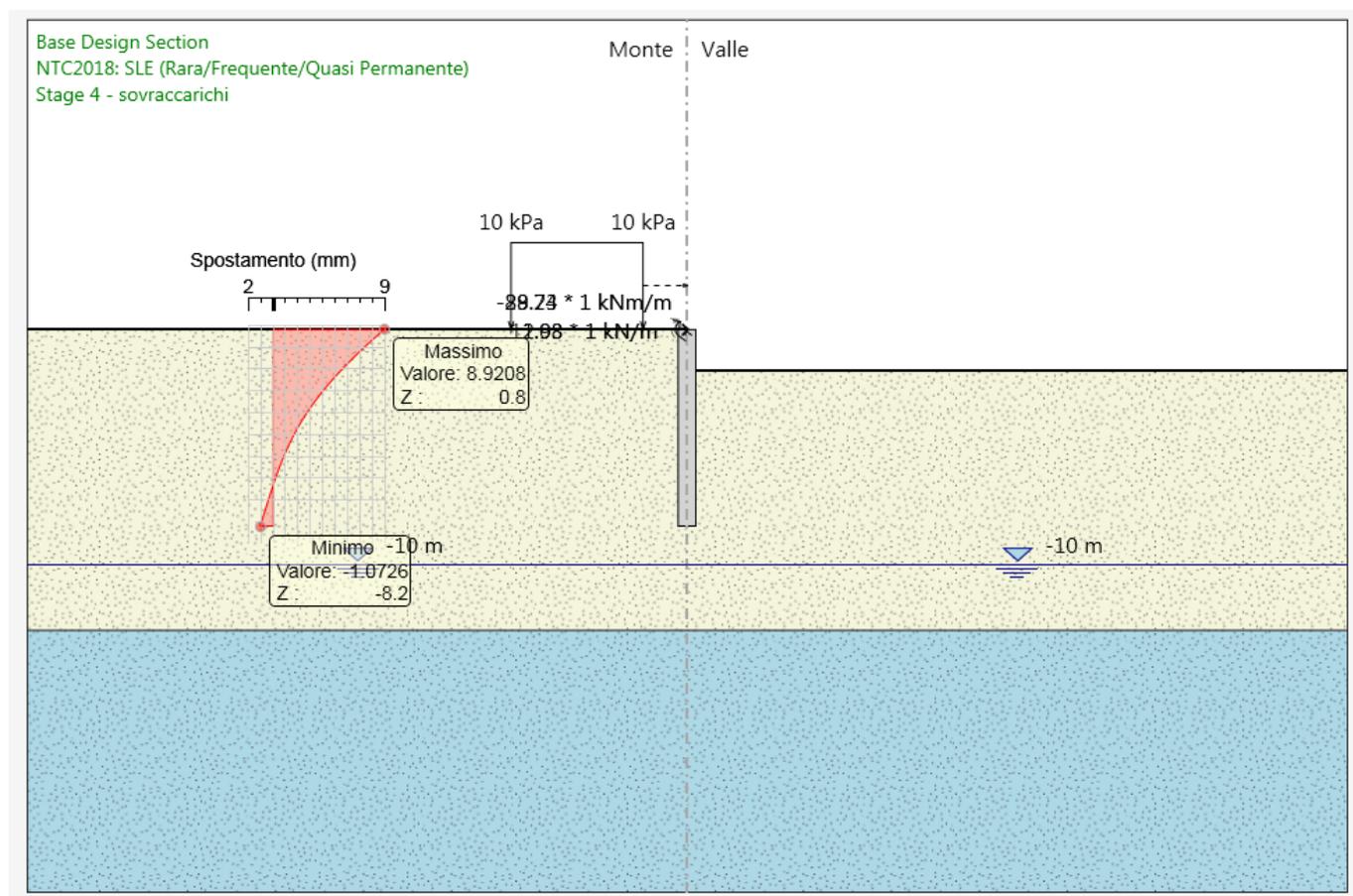


Figura 13-7 – Momento e taglio fase 4.

## 13.4 VERIFICHE GEOTECNICHE

### 13.4.1 Verifiche SLE

Nell'immagine di Figura 13-8 si riporta lo spostamento massimo della paratia che risulta essere pari a circa 0.9 cm in fase 4 del modello 1.



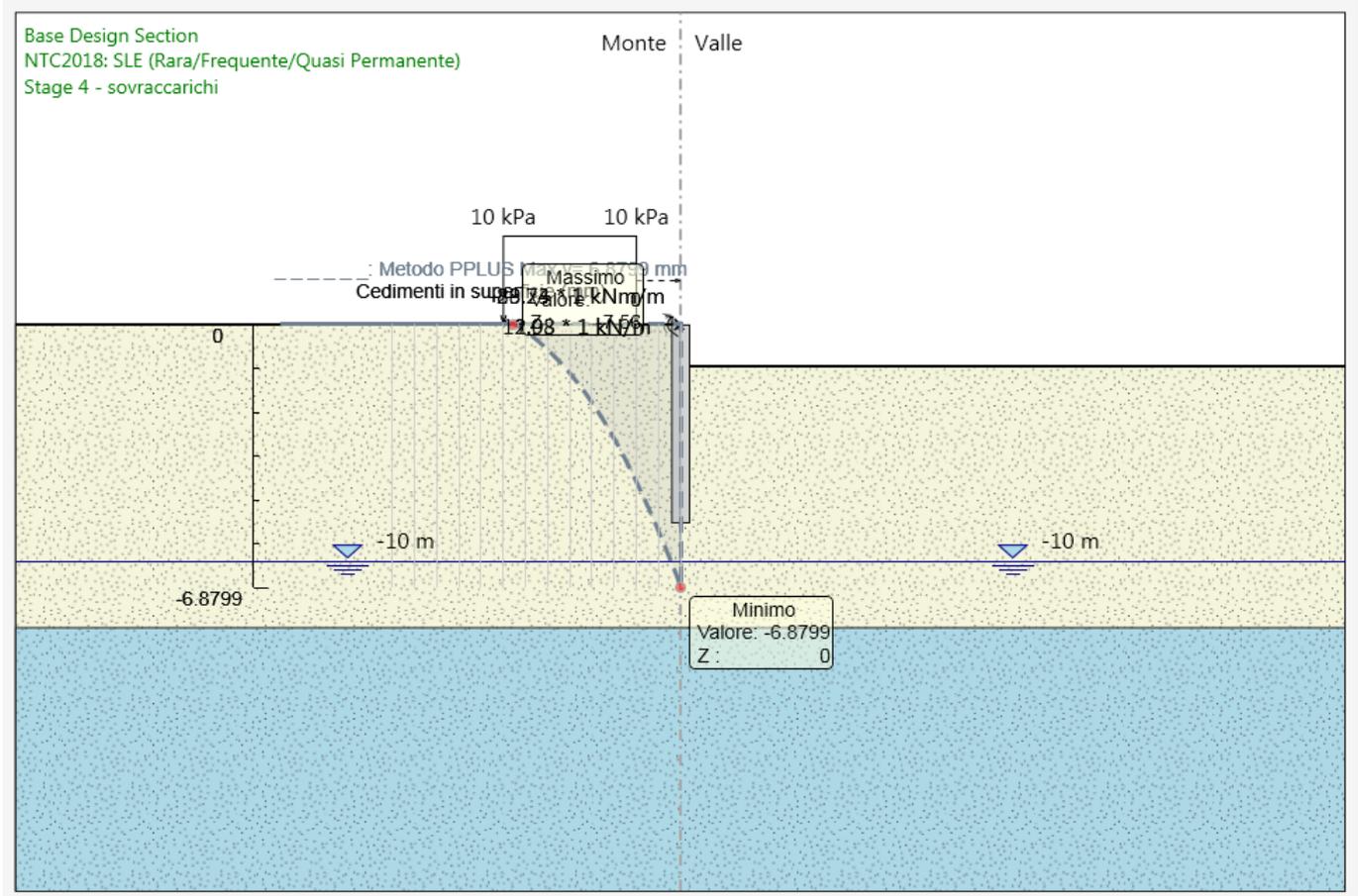
**Figura 13-8 – Deformata dell'opera di sostegno in fase 4 – modello 1.**

La deformata dell'opera rientra nei limiti progettuali stabiliti ed è compatibile con la funzionalità dell'opera stessa e dei manufatti adiacenti.

**RILEVATI E TRINCEE**

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	104 di 111



**Figura 13-9 – Cedimenti in fase 4 – modello 1.**

### 13.4.2 Verifica di stabilità globale

Nelle figure seguenti sono riportate le possibili superfici di rottura analizzate in condizioni statiche e sismiche e i minimi fattori di sicurezza ottenuti. Tali valori sono superiori ai valori minimi richiesti dalle NTC18 e pertanto la verifica risulta soddisfatta.

$FS_{MIN} = 5.66 \geq 1.1$  in condizioni statiche

$FS_{MIN} = 3.48 \geq 1.2$  in condizioni sismiche

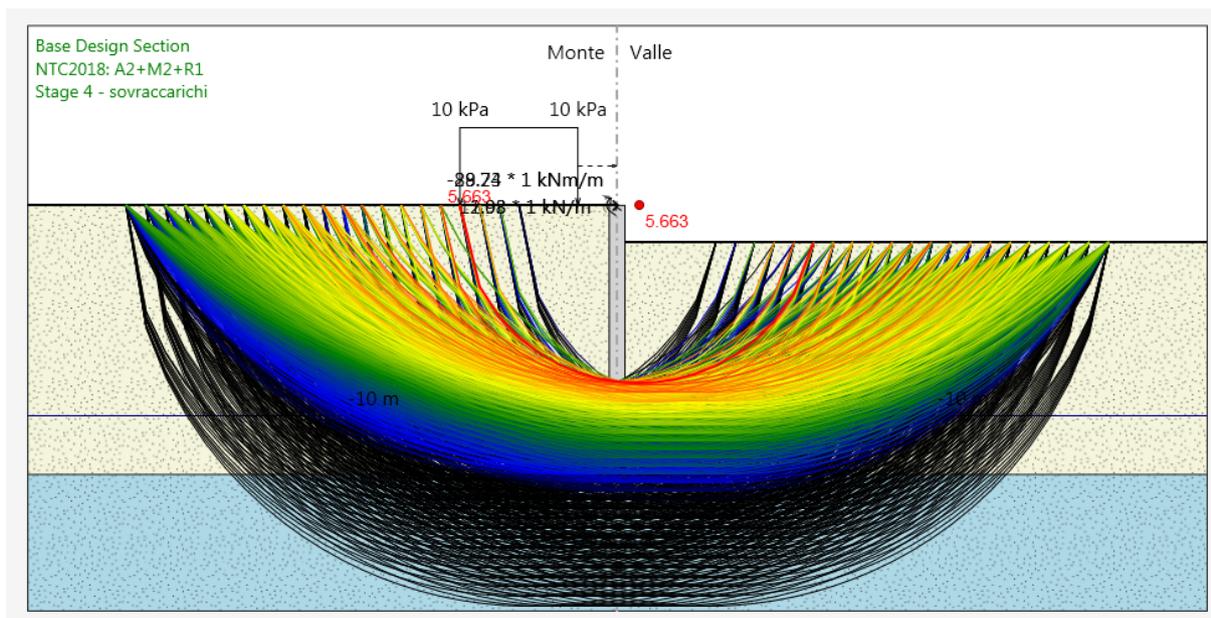
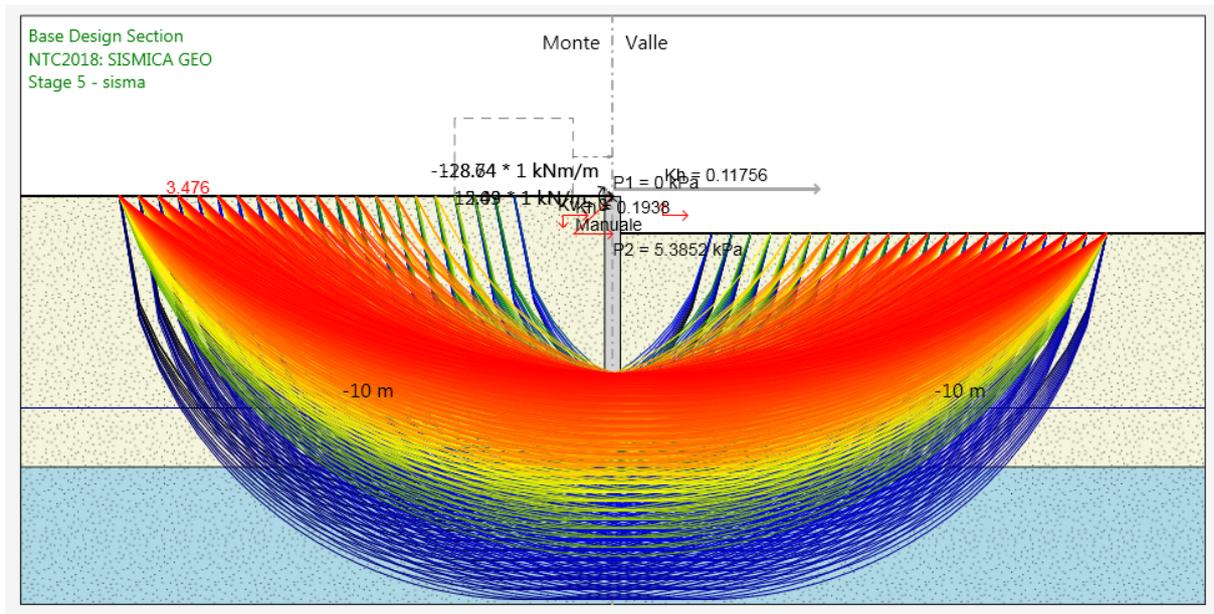


Figura 13-10 – Verifica stabilità globale del sistema opera – terreno in condizioni statiche.

**RILEVATI E TRINCEE**

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	106 di 111



**Figura 13-11 – Verifica stabilità globale del sistema opera – terreno in condizioni sismiche.**

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	107 di 111

Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea

### 13.5 VERIFICHE STRUTTURALI

A seguire la verifica strutturale. Le sollecitazioni sul singolo palo sono state ottenute moltiplicando per l'interasse le sollecitazioni derivanti dal modello. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

**Tabella 13-3 – Riepilogo sollecitazioni.**

M	SL	FASE	Sollecitazioni a metro lineare			Sollecitazioni sul singolo palo		
			M (kNm/m)	z (m)	T (kN/m)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
M1	SLE	4	<b>166.84</b>	-2.4	-	40.21	<b>166.84</b>	-
	SLU	4	<b>241.74</b>	-2.4		40.21	<b>241.74</b>	
	SLU	4	120.59	-5.4	<b>65.64</b>	77.91	120.59	<b>65.64</b>
	SLV	5	<b>217.80</b>	-2.6		42.73	<b>217.80</b>	
	SLV	5	114.17	-5.4	<b>60.89</b>	77.91	114.17	<b>60.86</b>
M2	ECC	4	<b>855.44</b>	-2.0		35.19	<b>855.44</b>	
	ECC	4	300	0.8	<b>300</b>	0.0	300	<b>300</b>

Il palo Ø800 è armato con 20 barre Φ24. L'armatura trasversale è costituita da una spirale Φ12 passo 10 cm.

#### DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Pilastro
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di progetto fcd:	141.60	daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. compr. ridotta fcd':	70.80	daN/cm <sup>2</sup>
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	314750	daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	26.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	137.50	daN/cm <sup>2</sup>
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C
Resist. caratt. snervam. fyk:		4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
Resist. caratt. rottura ftk:		5400.0	daN/cm <sup>2</sup>

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	108 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

Resist. snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
Resist. ultima di progetto ftd:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	3375.0	daN/cm <sup>2</sup>

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Circolare  
Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm  
X centro circ.: 0.0 cm  
Y centro circ.: 0.0 cm

**DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE**

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre  
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate  
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate  
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate  
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza  
 $\emptyset$  Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	$\emptyset$
1	0.0	0.0	30.6	20	24

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe: 12 mm  
Passo staffe: 10.0 cm  
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	3519	85544	0	0	0
2	0	30000	0	30000	0
3	4021	24174	0	0	0
4	7791	12059	0	6564	0
5	4273	21780	0	0	0
6	7791	11417	0	6086	0

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	109 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

N°Comb.	N	Mx	My
1	4021	16684	0

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	8.2 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.2 cm
Copriferro netto minimo staffe:	7.0 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn	Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx Sn	Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn	Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [daN] baricentrico (positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	3519	85544	0	3515	93145	0	1.09	90.5(15.1)
2	S	0	30000	0	0	92503	0	3.08	90.5(15.1)
3	S	4021	24174	0	4036	93240	0	3.86	90.5(15.1)
4	S	7791	12059	0	7788	93923	0	7.79	90.5(15.1)
5	S	4273	21780	0	4277	93284	0	4.28	90.5(15.1)
6	S	7791	11417	0	7788	93923	0	8.23	90.5(15.1)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.0	40.0	0.00213	0.0	30.6	-0.00675	0.0	-30.6
2	0.00350	0.0	40.0	0.00212	0.0	30.6	-0.00684	0.0	-30.6
3	0.00350	0.0	40.0	0.00214	0.0	30.6	-0.00674	0.0	-30.6
4	0.00350	0.0	40.0	0.00215	0.0	30.6	-0.00665	0.0	-30.6
5	0.00350	0.0	40.0	0.00214	0.0	30.6	-0.00673	0.0	-30.6
6	0.00350	0.0	40.0	0.00215	0.0	30.6	-0.00665	0.0	-30.6

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000145246	-0.002309843	----	----
2	0.000000000	0.000146523	-0.002360922	----	----

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	110 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

3	0.000000000	0.000145055	-0.002302211	----	----
4	0.000000000	0.000143705	-0.002248197	----	----
5	0.000000000	0.000144967	-0.002298688	----	----
6	0.000000000	0.000143705	-0.002248197	----	----

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe: 12 mm  
Passo staffe: 10.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Ved Taglio di progetto [daN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro  
Vcd Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe  
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]  
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	0	131580	46307	61.7  52.3	70.7	1.000	1.005	0.0	22.6(0.0)
2	S	30000	131153	46378	61.8  52.4	70.7	1.000	1.000	14.6	22.6(0.0)
3	S	0	131639	46297	61.7  52.3	70.7	1.000	1.006	0.0	22.6(0.0)
4	S	6564	132092	46220	61.6  52.2	70.7	1.000	1.011	3.2	22.6(0.0)
5	S	0	131670	46292	61.7  52.3	70.7	1.000	1.006	0.0	22.6(0.0)
6	S	6086	132092	46220	61.6  52.2	70.7	1.000	1.011	3.0	22.6(0.0)

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm<sup>2</sup>]  
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm<sup>2</sup>]  
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	40.6	0.0	0.0	-911	0.0	-30.6	781	22.6

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm  
Esito della verifica  
e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
k2 = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2\*e1) per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  
k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]

**RILEVATI E TRINCEE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	01	D10	CL TR0100 001	A	111 di 111

**Relazione di calcolo opere di sostegno tratto di trincea**

Cf	Copri ferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00056	0	0.500	24.0	82	0.00027 (0.00027)	420	0.115 (0.20)	17640	0