

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3A)**

**VI14 - Viadotto ferroviario a Singolo binario**

*Relazione di calcolo delle Opere Provvisoriale*

SCALA:

-


COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
<b>R S 3 T</b>	<b>3 0</b>	<b>D</b>	<b>0 9</b>	<b>C L</b>	<b>V I 1 4 0 3</b>	<b>0 0 1</b>	<b>B</b>

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	G. Grimaldi	Gen. 2020	M.D'effremo	Gen. 2020	A.Barreca	Gen. 2020	A. Vittoria
B	1° agg. a consegna CSLLPP	G. Grimaldi	Mag. 2020	G.Meneschincheri	Mag. 2020	A.Barreca	Mag. 2020	Mag. 2020

ITALFERR S.p.A.  
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti  
Dott. Ing. Angelo Vittozzi  
Incarico degli Ingegneri della Provincia di Roma  
N° A.20783

File: [RS3T30D09CLV11403001B.doc](#)

n. Elab.: **09\_341**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>VI14 - Viadotto ferroviario a Singolo binario</b>					
	<i>Progetto definitivo</i> <i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisoriali</i>	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30</b>	CODIFICA <b>D03CL</b>	DOCUMENTO <b>VI1403001</b>	REV. <b>B</b>

## INDICE

1.	PREMESSA.....	4
2.	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	6
3.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	7
3.1	ACCIAIO .....	7
3.1.1	Acciaio per armatura strutture in c.a. ....	7
3.1.2	Profilati e piastre metalliche .....	7
3.2	CALCESTRUZZO.....	7
3.2.1	Calcestruzzo magro per getti di livellamento .....	7
3.2.2	Calcestruzzo pali, diaframmi di fondazione, cordoli opere provvisionali .....	7
4.	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	8
5.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	10
5.1	TERRENO.....	10
6.	CRITERI GENERALI DI MODELLAZIONE ADOTTATI .....	12
6.1	METODOLOGIA DI CALCOLO .....	12
7.	CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E VERIFICA AI SENSI DEL D.M. 17-01-2019.....	16
7.1	METODO AGLI STATI LIMITE ED APPROCCI DI PROGETTO .....	16
7.2	CRITERI DI ANALISI E VERIFICA DELLE PARATIE.....	21
7.3	MODELLO GEOMETRICO DI RIFERIMENTO.....	22
8.	ANALISI DELLE OPERE PROVVISORIALI.....	23
8.1	SEZIONE DI CALCOLO PER SCAVI PILA P1&P2 .....	23
8.2	SEZIONE DI CALCOLO PER SCAVI SPALLA SP1 .....	31
9.	RISULTATI E VERIFICHE DELLA PARATIA PER SCAVI PILA P1&P2 .....	36
9.1	RISULTATI (COMBINAZIONE SLE).....	36
9.2	RISULTATI E VERIFICHE SLU-STR PARATIA (COMBINAZIONE A1+M1+R1).....	37
9.3	RISULTATI E VERIFICHE SLU-STR PER IL SISTEMA DI CONTRASTO (COMBINAZIONE A1+M1+R1).....	45
9.4	VERIFICA SLU-GEO DELLA PARATIA (COMBINAZIONE A2+M2+R1).....	53

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	<b>RS3T</b>	<b>30</b>	<b>D09CL</b>	<b>VI1403001</b>	<b>B</b>	<b>3 di 69</b>

10.	RISULTATI E VERIFICHE DELLA PARATIA PER SCAVI SPALLA SP1 .....	54
10.1	RISULTATI (COMBINAZIONE SLE).....	54
10.2	RISULTATI E VERIFICHE SLU-STR PARATIA (COMBINAZIONE A1+M1+R1).....	55
10.3	VERIFICA SLU-GEO DELLA PARATIA (COMBINAZIONE A2+M2+R1).....	63
11.	VERIFICHE SLU – UPL.....	64
11.1	SEZIONE DI CALCOLO PILE P1-P2.....	68
11.2	SEZIONE DI CALCOLO SPALLA SP1 .....	69

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisorie</i>	RS3T	30	D03CL	VI1403001	B	4 di 69

## 1. **PREMESSA**

Il collegamento ferroviario tra Palermo e Catania fa parte del Corridoio n.5 Helsinki – La Valletta della Rete Trans-Europea di trasporto. Tale corridoio si sviluppa nel territorio siciliano secondo la direttrice Messina-Catania-Enna-Palermo, per consentire di servire i principali nodi urbani dell'isola.

La presente relazione generale descrive lo sviluppo della progettazione preliminare dei lavori riguardanti la prima macrofase funzionale della tratta Lercara Diramazione – Caltanissetta Xirbi, ricompresa tra le stazioni di Lercara dir (inclusa) e Caltanissetta Xirbi (inclusa), dal km 0+000 (coincidente con la pk 76+730 della linea storica Palermo Catania) al km 47+683 (coincidente con la pk 126+412 della linea storica Palermo Catania).

Per la realizzazione delle fondazioni si rendono necessarie in alcuni casi opere provvisorie di contenimento: esse possono essere costituite da palancole metalliche, pali  $\phi$ 500/600mm o micropali puntonate o meno a seconda delle esigenze. Nei casi in cui vengono utilizzati pali, quando la quota falda risulta elevata, si realizza un trattamento colonnare in jet-grouting a tergo della palificata e, ove necessario un tampone di fondo.

Di seguito vengono riepilogati i viadotti presenti sul Lotto 3:

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	5 di 69

LINEA DI PROGETTO -LOTTO 3				
LOTTO	WBS	Tipologia opera	pk. Inizio	pk. Fine
LOTTO 3	<b>VI01</b>	Viadotto DB	0+573,90	1+287,54
	<b>VI02</b>	Viadotto DB	1+347,54	1+885,34
	<b>VI03</b>	Viadotto DB	2+549,00	2+566,00
	<b>VI04</b>	Viadotto DB	3+682,33	4+480,13
	<b>VI06</b>	Viadotto SB	18+194,87	18+627,88
	<b>VI07</b>	Viadotto SB	19+453,15	19+661,15
	<b>VI08</b>	Viadotto SB	21+260,78	22+040,23
	<b>VI09</b>	Viadotto SB	22+360,78	22+509,06
	<b>VI10</b>	Viadotto SB	22+586,08	23+159,80
	<b>VI11</b>	Viadotto SB	23+335,51	24+219,68
	<b>VI12</b>	Viadotto SB	26+434,99	27+933,70
	<b>VI13</b>	Viadotto SB	34+729,32	34+827,27
	<b>VI14</b>	Viadotto SB	35+115,67	35+213,50
	<b>VI15</b>	Viadotto SB	37+448,68	38+096,53
	<b>VI16</b>	Viadotto DB	39+622,10	40+045,08
	<b>VI17</b>	Viadotto SB	41+074,54	42+465,49
	<b>VI18</b>	Viadotto SB	43+889,70	44+137,50
	<b>VI05</b>	Viadotto SB Macrofase 2	18+160,56	18+599,27

Nel report di calcolo sono espone le metodologie e i risultati delle verifiche geotecnico-strutturali delle opere di sostegno provvisorie necessarie alla realizzazione degli scavi di sbancamento per le fondazioni del viadotto VI14 del lotto 3.

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	6 di 69

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI

- Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019) - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018
- Istruzione RFI DTC SI PS MA IFS 001 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture
- Istruzione RFI DTC SI CS MA IFS 001 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 3 - Corpo Stradale
- Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione europea modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	7 di 69

### **3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI**

Il progetto strutturale prevede l'uso dei materiali con le caratteristiche meccaniche minime riportate nei paragrafi seguenti.

#### **3.1 Acciaio**

##### **3.1.1 Acciaio per armatura strutture in c.a.**

Barre ad aderenza migliorata, saldabile, tipo B450C dotato delle seguenti caratteristiche meccaniche:

- tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} \geq 540$  MPa
- tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} \geq 450$  MPa
- allungamento caratteristico:  $\geq 7.5$  %
- rapporto tensione di rottura/ tensione di snervamento:  $f_{tk}/f_{yk} < 1.35$

##### **3.1.2 Profilati e piastre metalliche**

- Acciaio tipo: EN 10025-S275 JR
- Tensione di rottura a trazione:  $f_{tk} \geq 430$  MPa
- Tensione di snervamento:  $f_{yk} \geq 275$  MPa

#### **3.2 Calcestruzzo**

##### **3.2.1 Calcestruzzo magro per getti di livellamento**

- Classe di resistenza: C12/15
- Classe di esposizione: X0

##### **3.2.2 Calcestruzzo pali, diaframmi di fondazione, cordoli opere provvisionali**

- Classe di resistenza: C25/30
- classe di esposizione: XC2
- classe di consistenza: S4

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	8 di 69

- dimensione massima dell'inerte:  $D_{max} = 32 \text{ mm}$
- copriferro minimo:  $c_{f,min} \geq 50 \text{ mm}$

#### **4. DESCRIZIONE DELL'OPERA**

Il *Viadotto VI14* si estende dal km 35+115,67 al km 35+213,50 (Singolo binario) per uno sviluppo complessivo di circa 97.80 m ed è costituito da 3 campate isostatiche.

Nel dettaglio:

- 2 campate il cui impalcato è costituito da n°2 cassoncini in c.a.p. di luce  $L=25,00 \text{ m}$  (asse pila-asse pila) e luce di calcolo  $L_c=22,80\text{m}$  (asse appoggi-asse appoggi).
- 1 campate il cui impalcato è a struttura mista acciaio calcestruzzo ed è costituito da n°2 travi in acciaio di luce  $L=50,00\text{m}$  (asse pila-asse pila) e luce di calcolo  $L_c=48,00\text{m}$  (asse appoggi-asse appoggi). La campata P1-P2 scavalca il Torrente secondario TS-25.

Le spalle sono realizzate in c.a. gettato in opera e sono di tipo tradizionale. Le pile sono cave di dimensioni pari a 3.40x7.00m.

Le fondazioni del *Viadotto VI14*, sono previste su pali in c.a. di grande diametro sia per le pile che per le spalle.



Progetto definitivo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo delle Opere Provisionali	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	9 di 69

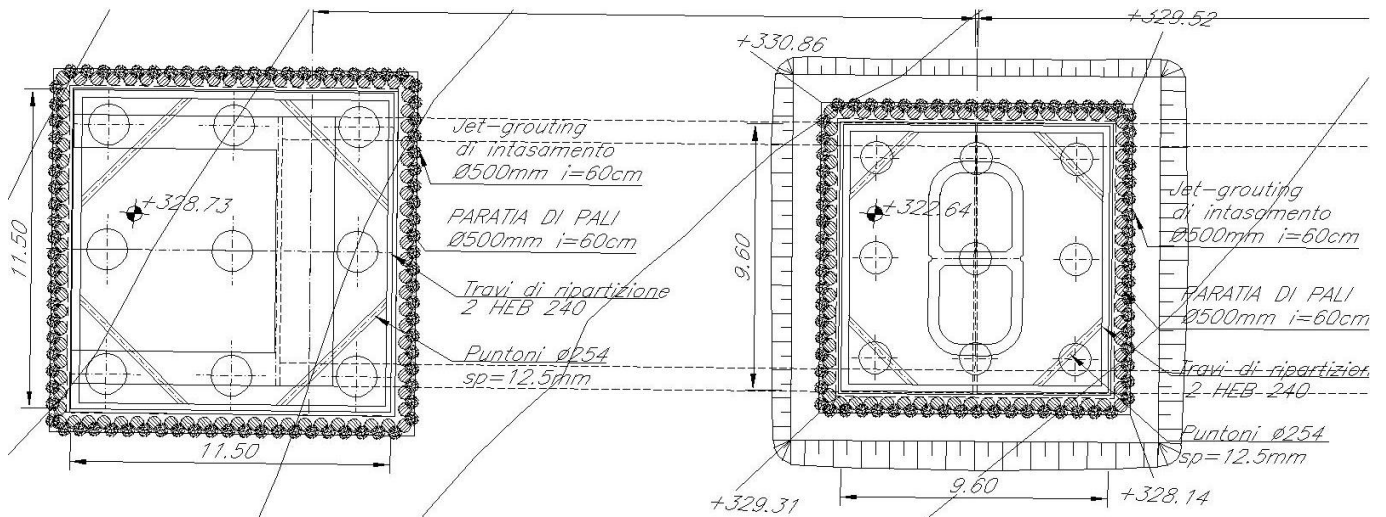


Figura 1: planimetria di scavo tipo con indicazione delle opere di sostegno

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>VI14 - Viadotto ferroviario a Singolo binario</b>					
	Progetto definitivo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione di calcolo delle Opere Provisionali	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	10 di 69

## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 5.1 Terreno

Per l'inquadramento Geotecnico dell'area interessata dalla realizzazione delle opere ci si è riferiti a quanto indicato nella documentazione Geotecnica Generale di Progetto.

Unità a2 – Alluvioni

$\gamma_{nat} = 19 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 17.5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 24^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$E_{op} = 50 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico operativo

Unità GPQ – Formazione di Pasquasia: marne, marne argillose e argille marnose

$\gamma_{nat} = 21 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 18 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 25^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$E_{op} = 40 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico operativo

Nei dimensionamenti delle opere si è considerata la seguente stratigrafia:

Pila 1&2

- per profondità comprese tra 0.00 e 7.0 m unità a2
- per profondità superiori a 7.0 m unità GPQ
- Il livello idrico è posto ad una profondità di 2.5 m da testa paratia.

Spalla 1

- A partire da p.c. per profondità fino a 20.0 m unità GPQ
- Il livello idrico è posto ad una profondità di 1.5 m da testa paratia.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA  
PROGETTO DEFINITIVO  
VI14 - Viadotto ferroviario a Singolo binario

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	11 di 69

Trattandosi di opere provvisionali non è stato necessario eseguire la verifica sismica.

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	12 di 69

## **6. CRITERI GENERALI DI MODELLAZIONE ADOTTATI**

### **6.1 Metodologia di calcolo**

Al fine di rappresentare il comportamento delle paratie durante le varie fasi di lavoro (scavi e/o eventuale inserimento degli elementi di contrasto), è necessario l'impiego di un metodo di calcolo iterativo atto a simulare l'interazione in fase elasto-plastica terreno-paratia.

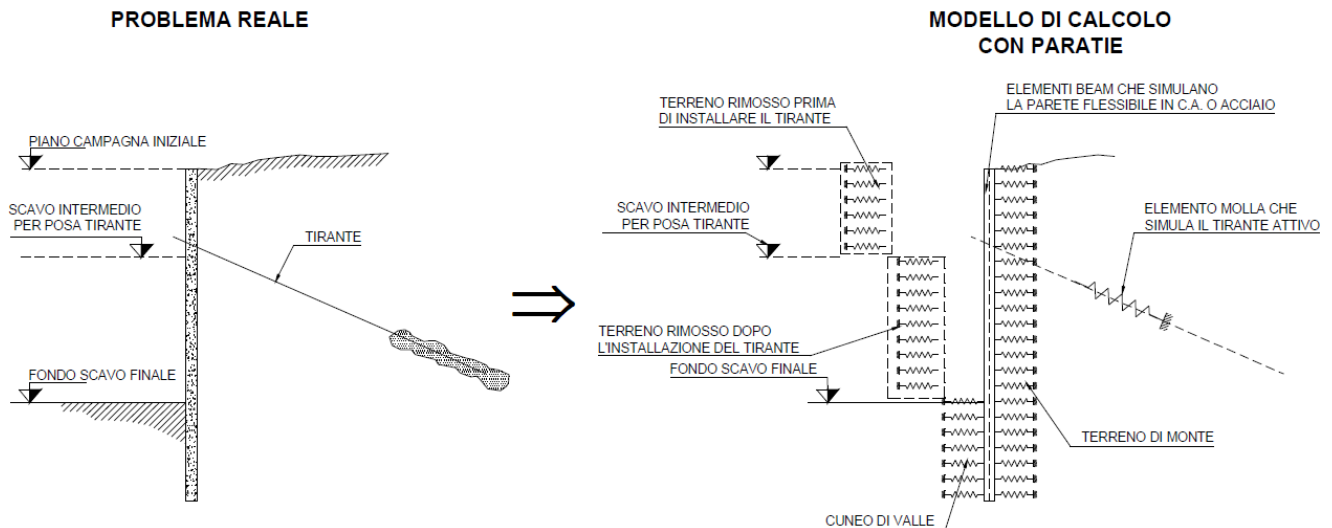
Lo studio del comportamento di un elemento di paratia inserito nel terreno viene effettuato tenendo conto della deformabilità dell'elemento stesso, considerato in regime elastico, e soggetto alle azioni derivanti dalla spinta dei terreni, dalle eventuali differenze di pressione idrostatiche, dalle spinte dovute ai sovraccarichi esterni e dalla presenza degli elementi di contrasto.

La paratia viene discretizzata con elementi finiti monodimensionali a due gradi di libertà per nodo (spostamento orizzontale e rotazione).

Il terreno viene schematizzato con delle molle secondo un modello elasto-plastico; esso reagisce elasticamente sino a valori limite dello spostamento, raggiunti i quali la reazione corrisponde, a seconda del segno dello stesso spostamento, ai valori limite della pressione attiva o passiva.

Gli spostamenti sono computati a partire dalla situazione di spinta "a riposo".

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	13 di 69



Al fine di ottenere informazioni attendibili sull'entità delle sollecitazioni e delle deformazioni nelle paratie è necessario poterne seguire il comportamento durante le principali fasi esecutive.

A tal riguardo, l'interazione fra la paratia e il terreno, è simulata modellando la prima con elementi finiti caratterizzati da una rigidezza flessionale ed il secondo con molle elasto-plastiche connesse ai nodi della paratia di rigidezza proporzionale al modulo di rigidezza del terreno. Inoltre, è possibile modellare eventuali elementi di sostegno della paratia (tiranti, puntoni) con molle dotate di opportuna rigidezza.

In particolare, la paratia è schematizzata attraverso un diaframma di spessore equivalente ricavato attraverso la seguente espressione:

$$s_{eq} = \sqrt[3]{12E_m J_p}$$

dove:

$E_m$ : modulo elastico del materiale costituente la paratia

$J_p$ : inerzia della sezione della paratia

Il terreno si comporta come un mezzo elastico sino a che il rapporto tra la tensione orizzontale efficace ( $\sigma'_h$ ) e la tensione verticale efficace ( $\sigma'_v$ ) risulta compreso tra il coefficiente di spinta attivo ( $k_a$ ) e passivo ( $k_p$ ), mentre quando il rapporto è pari a  $k_a$  o a  $k_p$  il terreno si comporta come un mezzo elasto-plastico.

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	14 di 69

Questo modello, nella sua semplicità concettuale, derivato direttamente dal modello di Winkler, consente una simulazione del comportamento del terreno adeguata agli scopi progettuali. In particolare, sono superate le limitazioni dei più tradizionali metodi dell'equilibrio limite, non idonei a seguire il comportamento della struttura al variare delle fasi esecutive.

I parametri di deformabilità del terreno compaiono nella definizione della rigidità delle molle. Per un letto di molle distribuite la rigidità di ciascuna di esse,  $k$ , è data da:

$$k = E / L$$

dove  $E$  è un modulo di rigidità del terreno mentre  $L$  è una grandezza geometrica caratteristica.

Poiché nel programma PARATIE le molle sono posizionate a distanze finite  $\Delta$ , la rigidità di ogni molla è:

$$k = E\Delta / L$$

dove  $E$  è un modulo di rigidità del terreno mentre  $L$  è una grandezza geometrica caratteristica.

Il valore di  $\Delta$  è fornito dalla schematizzazione ad elementi finiti. Il valore di  $L$  è fissato automaticamente dal programma. Esso rappresenta una grandezza caratteristica che è diversa a valle e a monte della paratia perché diversa è la zona di terreno coinvolta dal movimento in zona attiva e passiva. Si è scelto: in zona attiva (uphill):

$$L_A = \frac{2}{3} \ell_A \tan(45^\circ - \phi' / 2)$$

in zona passiva (downhill):

$$L_P = \frac{2}{3} \ell_P \tan(45^\circ + \phi' / 2)$$

Dove:  $\ell_A = \min\{l, 2H\}$ ;

Dove:  $\ell_P = \min\{l - H, H\}$

con

$l$  = altezza totale della paratia

$H$  = altezza corrente dello scavo.

La logica di questa scelta è illustrata nella pubblicazione di Becci e Nova (1987). Si assume in ogni caso un valore di  $H$  non minore di 1/10 dell'altezza totale della parete.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA  
PROGETTO DEFINITIVO  
VI14 - Viadotto ferroviario a Singolo binario

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisorie</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	15 di 69

Il programma consente di seguire le fasi evolutive degli scavi a valle dell'opera, determinando, per ciascuna fase di scavo prevista, la deformata dell'opera e le sollecitazioni e gli stati tensionali nel terreno con essa interagente.

Il software consente di tener conto anche della presenza di vincoli lungo la paratia, sia di tipo elastico (molle /tiranti) che di tipo rigido.

La presenza dei tiranti viene infine schematizzata dal software come dei vincoli elastici, la cui deformabilità dipende dalle caratteristiche della sezione resistente in acciaio dei tiranti e dalla lunghezza libera degli stessi, eventualmente incrementata di una quantità funzione dell'efficienza ( $\leq 1$ ) associata al bulbo di ancoraggio.

Progetto definitivo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo delle Opere Provisionali	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	16 di 69

## 7. CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E VERIFICA AI SENSI DEL D.M. 17-01-2019

Nel presente paragrafo sono riportate alcune indicazioni salienti della Normativa riguardanti criteri generali di progettazione e verifica delle opere strutturali e geotecniche, oltre a specifiche da adottare per il caso delle Paratie di Sostegno.

### 7.1 Metodo agli Stati Limite ed Approcci di Progetto

Il progetto di opere strutturali e geotecniche va effettuato, come prescritto dal DM 17/01/08, con i criteri del metodo **semiprobabilistico agli stati limite** basati sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza. Nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, la sicurezza strutturale è verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni. La normativa distingue inoltre tra **Stati Limite Ultimi e Stati Limite di Esercizio**.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli **stati limite ultimi** di resistenza è stata effettuata con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dalla equazione formale:  $R_d \geq E_d$ . Dove:

$R_d$  è la resistenza di progetto

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d \right]$$

$E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni.

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d \right] \quad \text{oppure} \quad E_d = \gamma_E \cdot E \left[ F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d \right]$$

Il coefficiente  $\gamma_R$  opera direttamente sulla resistenza del sistema.

I coefficienti parziali di sicurezza,  $\gamma_{M_i}$  e  $\gamma_{F_j} = \gamma_{E_j}$ , associati rispettivamente al materiale i-esimo e all'azione j-esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e all'affidabilità del modello di calcolo.

In accordo a quanto stabilito al §2.6.1 del DM 17.01.18, la verifica della condizione  $R_d \geq E_d$  deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.



<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	17 di 69

Nel primo Approccio progettuale (Approccio 1) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto, convenzionalmente indicate come di seguito:

***A1+M1+R1***

***A2+M2+R2***

Nel secondo approccio progettuale (**Approccio 2**) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti

Gli stati limite di verifica si distinguono in genere in:

- **EQU** perdita di equilibrio della struttura fuori terra, considerata come corpo rigido.
- **STR** raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.
- **GEO** raggiungimento della resistenza del terreno interagente con la struttura con sviluppo di meccanismi di collasso dell'insieme terreno-struttura;
- **UPL** perdita di equilibrio della struttura o del terreno, dovuta alla spinta dell'acqua (sollevamento per galleggiamento).
- **HYD** erosione e sifonamento del terreno dovuta ai gradienti idraulici.

I coefficienti parziali da applicare alle azioni sono quelli definiti alla Tab 2.6.I del DM 17.01.18 di seguito riportata per chiarezza espositiva:

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	18 di 69

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_f$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Nella Tab. 2.6.I il significato dei simboli è il seguente:

$\gamma_{G1}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti  $G_1$ ;

$\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali  $G_2$ ;

$\gamma_Q$  coefficiente parziale delle azioni variabili Q.

Nel caso in cui l'azione sia costituita dalla spinta del terreno, per la scelta dei coefficienti parziali di sicurezza valgono le indicazioni riportate nel Capitolo 6.

I valori dei coefficienti parziali da applicare ai materiali e/o alle caratteristiche dei terreni (M) sono definiti nelle specifiche sezioni della norma, ed in particolare al Cap. 4 per ciò che concerne i coefficienti parziali da applicare ai materiali strutturali, mentre al Cap.6 sono indicati quelli da applicare alle caratteristiche meccaniche dei terreni.

I coefficienti parziali da applicare alle resistenze (R) sono infine unitari sulle capacità resistenti degli elementi strutturali, mentre assumono in genere valore diverso da 1 per ciò che concerne verifiche che attengono il controllo di meccanismi di stabilità locale o globale; i valori da adottare per ciascun meccanismo di verifica, sono definiti nelle specifiche sezioni di normativa dedicate al calcolo delle diverse opere geotecniche.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli **stati limite di esercizio** viene effettuata invece controllando gli aspetti di funzionalità e lo stato tensionale e/o deformativo delle opere, con riferimento ad una combinazione di verifica caratterizzata da coefficienti parziali sulle azioni e sui materiali tutti unitari.

Al § 2.5.3 del DM 17.01.18, sono infine definiti i criteri con cui le diverse azioni presenti vanno combinate per ciascuno stato limite di verifica previsto dalla Normativa, di seguito riportati per completezza:

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	19 di 69

### 2.5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

– Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

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

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

– Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

– Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

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

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

– Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Nelle combinazioni si intende che vengano omessi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_n$ .

Nell'ambito della progettazione geotecnica, la normativa definisce inoltre nella Tab 6.2.II, i valori dei coefficienti parziali M1/M2 da applicare ai parametri caratteristici dei terreni nell'ambito delle diverse combinazioni contemplate dai due approcci di progetto come già illustrati al paragrafo precedente:

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

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

Tali valori agiscono sulle proprietà dei terreni, condizionando sia le azioni (spinte ed incrementi di spinta), sia le resistenze nei riguardi delle verifiche di stabilità dell'insieme opere-terreno con esse

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	20 di 69

interagenti da effettuare caso per caso in funzione del tipo di opera.(Paratie, Muri, Pali di Fondazione ecc..)


Inoltre, ribadisce i valori dei coefficienti da applicare alle azioni nella Tab 6.2.II di seguito riportata:

Tali valori agiscono sulle proprietà dei terreni, condizionando sia le azioni (spinte ed incrementi di spinta), sia le resistenze nei riguardi delle verifiche di stabilità dell'insieme opere-terreno con esse interagenti da effettuare caso per caso in funzione del tipo di opera.(Paratie, Muri, Pali di Fondazione ecc..). Inoltre, ribadisce i valori dei coefficienti da applicare alle azioni nella Tab 6.2.II di seguito riportata:

**Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni**

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	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	$\gamma_{Q1}$	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  $\gamma_{G1}$

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>VI14 - Viadotto ferroviario a Singolo binario</b>					
	<i>Progetto definitivo</i> <i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30</b>	CODIFICA <b>D09CL</b>	DOCUMENTO <b>VI1403001</b>	REV. <b>B</b>

## 7.2 Criteri di Analisi e Verifica delle Paratie

Per le paratie, al § 6.5.3.1.2 del DM 17.01.18 viene specificato che si devono considerare almeno i seguenti **Stati Limite Ultimi**, accertando che la condizione  $R_d \geq E_d$  sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

*SLU di tipo geotecnica (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)*

- collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
- collasso per carico limite verticale;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;
- instabilità del fondo scavo in terreni a grana fine in condizioni non drenate;
- instabilità del fondo scavo per sollevamento;
- sifonamento del fondo scavo;
- instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;

*SLU di tipo strutturale (STR)*


- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza in uno o più puntoni o di sistemi di contrasto;
- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

Per le paratie, i calcoli di progetto devono comprendere la verifica degli eventuali ancoraggi, puntoni o strutture di controventamento.

Con riferimento infine agli **Stati Limite di Esercizio**, bisogna controllare che gli spostamenti dell'opera di sostegno e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità di eventuali manufatti adiacenti, oltre che verificare, nei riguardi degli aspetti strutturali, la compatibilità degli stati tensionali dei materiali costituenti l'opera.

In aggiunta a quanto sopra, al § C6.5.3.1.2 della Circolare Applicativa n 7 del 21 gennaio 2019 viene inoltre specificato quanto segue:

Nelle verifiche nei confronti di stati limite ultimi geotecnici delle paratie, si considera lo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno ed eventualmente della struttura e, specificamente, dal raggiungimento delle condizioni di equilibrio limite nel terreno

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>VI14 - Viadotto ferroviario a Singolo binario</b>					
	<i>Progetto definitivo</i> <i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30</b>	CODIFICA <b>D09CL</b>	DOCUMENTO <b>VI1403001</b>	REV. <b>B</b>

interagente con la paratia o con parte di essa. Le analisi devono essere condotte con la Combinazione 2 (A2+M2+R1),

Nelle verifiche nei confronti di stati limite per raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali l'analisi deve essere svolta utilizzando la Combinazione I (A1+M1+R1), nella quale i coefficienti sui parametri di resistenza del terreno (M1) e sulla resistenza globale del sistema (R1) sono unitari, mentre le azioni permanenti e variabili sono amplificate mediante i coefficienti parziali del gruppo A1.

In relazione a tali specifiche integrative contenute nella Circolare Applicativa, ciascuno degli Stati Limite di verifica previsti per le Paratie, è stato esaminato riferendosi alla Combinazioni 1 per il caso deli Stati Limite STR ed alla Combinazione 2 per gli Stati Limite (*GEO*) e di tipo idraulico (*UPL e HYD*)

### 7.3 Modello geometrico di riferimento

Secondo quanto indicato al paragrafo 6.5.2.2 delle NTC2018, il modello geometrico deve tenere conto delle possibili variazioni del profilo del terreno a monte e a valle del paramento rispetto ai valori nominali. Nel caso in cui la funzione di sostegno è affidata alla resistenza del volume di terreno a valle dell'opera, la quota di valle deve essere diminuita di una quantità pari al minore dei seguenti valori:

- 10% dell'altezza di terreno da sostenere nel caso di opere a sbalzo;
- 10 % della differenza di quota fra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo nel caso di opere vincolate;
- 0,50 m.

Cautelativamente in fase di analisi la quota di fondo scavo è stata incrementata di 0.50 m.

Il suddetto paragrafo non si applica per le verifiche idrauliche.

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	23 di 69

## 8. ANALISI DELLE OPERE PROVVISORIALI

### 8.1 SEZIONE DI CALCOLO PER SCAVI PILA P1&P2

#### Paratia di pali in c.a.:

- $D_p = 500$  mm                      diametro di perforazione
- $i = 0.60$  m                            interasse longitudinale tra i pali
- $L = 15.0$  m                            lunghezza del palo

#### GEOMETRIA SEZIONI DI CALCOLO

La massima altezza di scavo è di 6.50 m. Tale valore è stato incrementato rispetto a quello nominale di 0.5 m.

Nel calcolo si è tenuto conto del carico accidentale dovuto ai mezzi di cantiere  $q_{acc} = 10$  kPa uniformemente distribuito su un'area di impronta di 5.0 m posto in prossimità dell'estradosso della paratia. Tale sovraccarico è stato considerato diffuso in profondità con un angolo di 45°.

Si è tenuto inoltre conto della presenza di 0.5 m di terreno di rinterro a tergo paratia ( $q_{perm} = 10$  kPa uniformemente distribuito).

La distribuzione delle pressioni interstiziali sulla paratia è stata considerata idrostatica con valori raccordati al piede della stessa in ogni fase di calcolo.

Altezza fuori terra	7.0	[m]
Profondità di infissione	8.0	[m]
Altezza totale della paratia	15.0	[m]
Numero di file di pali	1	[m]
Interasse fra i pali della fila	0.60	[m]
Diametro pali	0.50	[m]

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	24 di 69

Mat. omogeneizzazione C25/30  Puntoni

Geometria e materiali

Custom

Materiale  Inerzia  m4/m Area  m2/m

Diaframma o Pali

Calcestruzzo

Materiale  C25/30

Spessore Ct  0,6 m

Diametro Cd  0,5 m

Passo Cs  0,6 m

Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidezza [0-1] ac  1

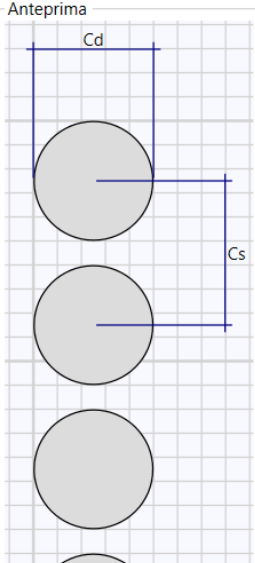
Acciaio

Materiale  Fe360

Profilo

Passo Ss  0,6 m

Anteprima

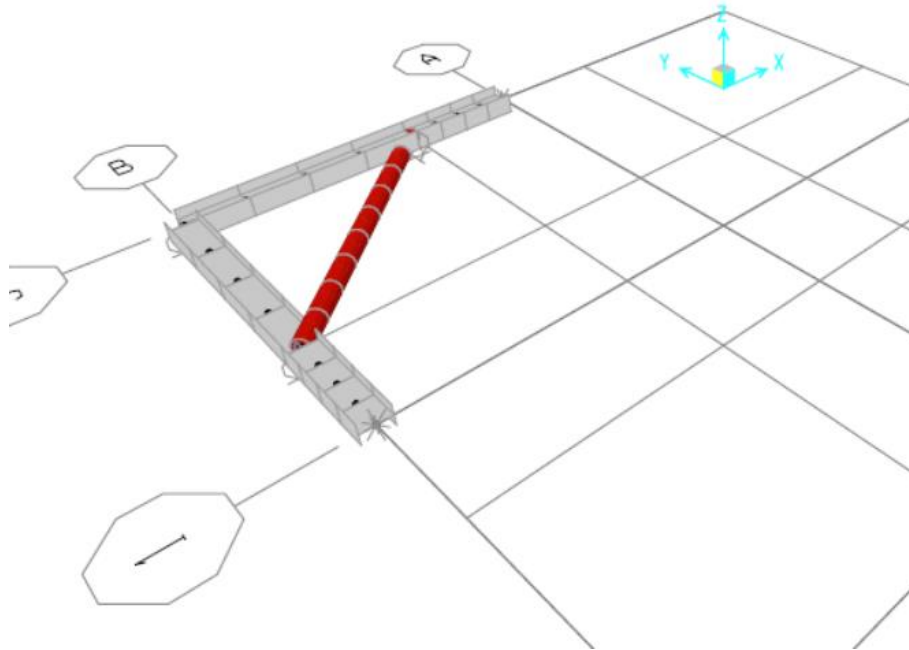


La rigidezza del puntone è stata valutata tramite una modellazione agli elementi finiti con codice di calcolo SAP2000. Alla trave di ripartizione è stato applicato un carico uniformemente distribuito di 1 KN/m e si è mediato lo spostamento in corrispondenza della mezzeria della trave di ripartizione del punto medio (sempre sulla trave di ripartizione) tra appoggio e collegamento trave/puntone.

Tramite la formula  $k = 1/u$  si valuta la rigidezza  $k \approx 75000$  kN/m da applicare alle molle nel modello in Paratie Plus. La Figura 2 mostra lo schema statico utilizzato in SAP2000.



<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	25 di 69

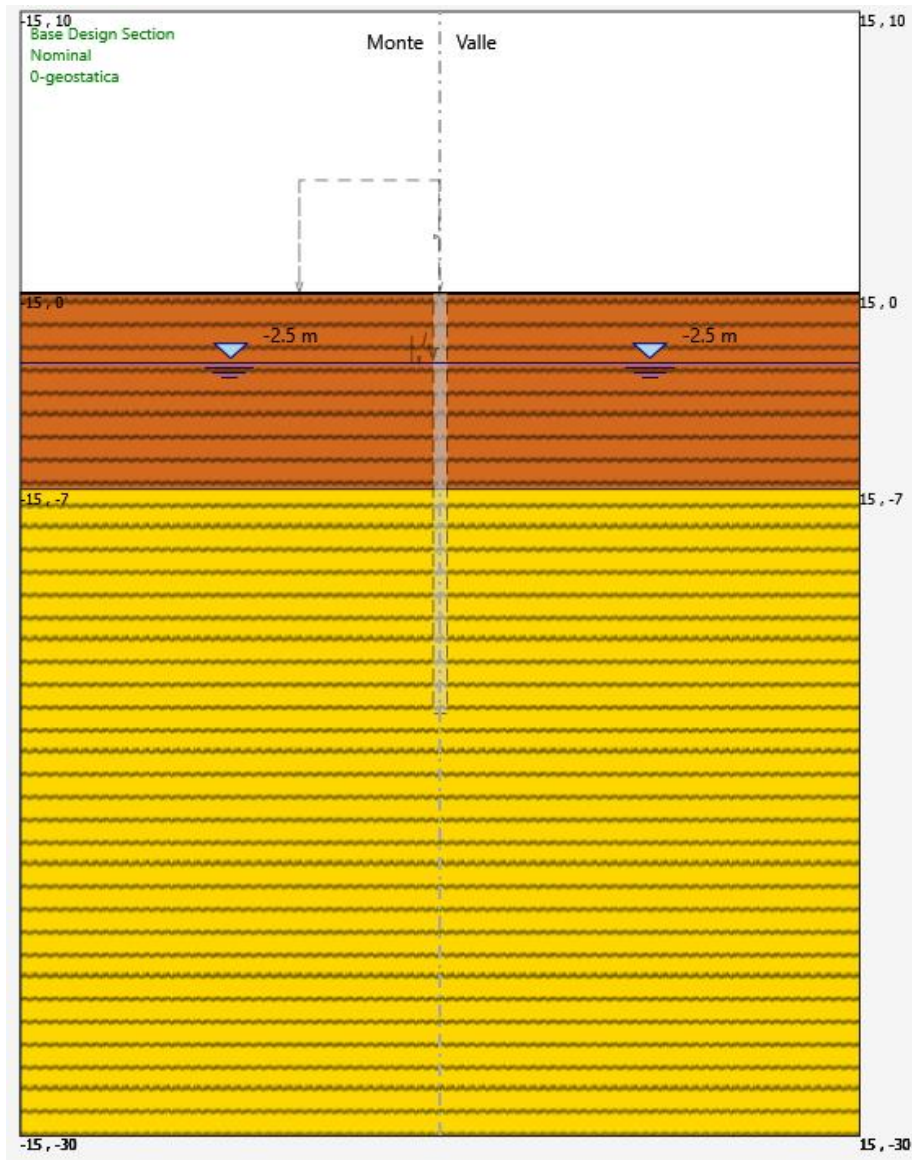


*Figura 2: schema statico utilizzato nel codice di calcolo SAP2000 per la valutazione della rigidezza da assegnare al sistema di controventamento della paratia*

Il cordolo di collegamento dei pali ha dimensioni trasversali 0.70 m x 0.50 m. Di seguito si riportano le fasi di calcolo che sono state analizzate in successione.

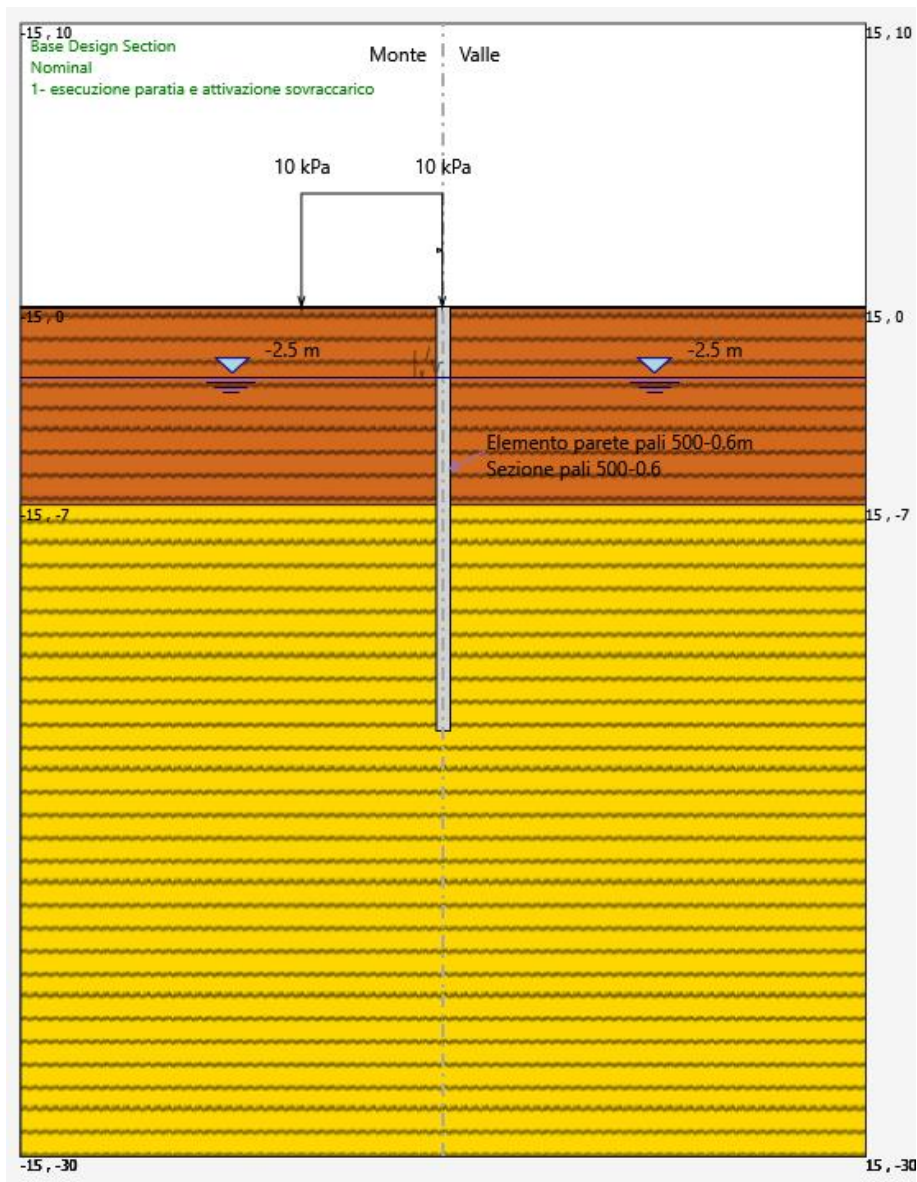
<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D03CL	VI1403001	B	26 di 69

**FASE 0: Generazione stato tensionale iniziale**



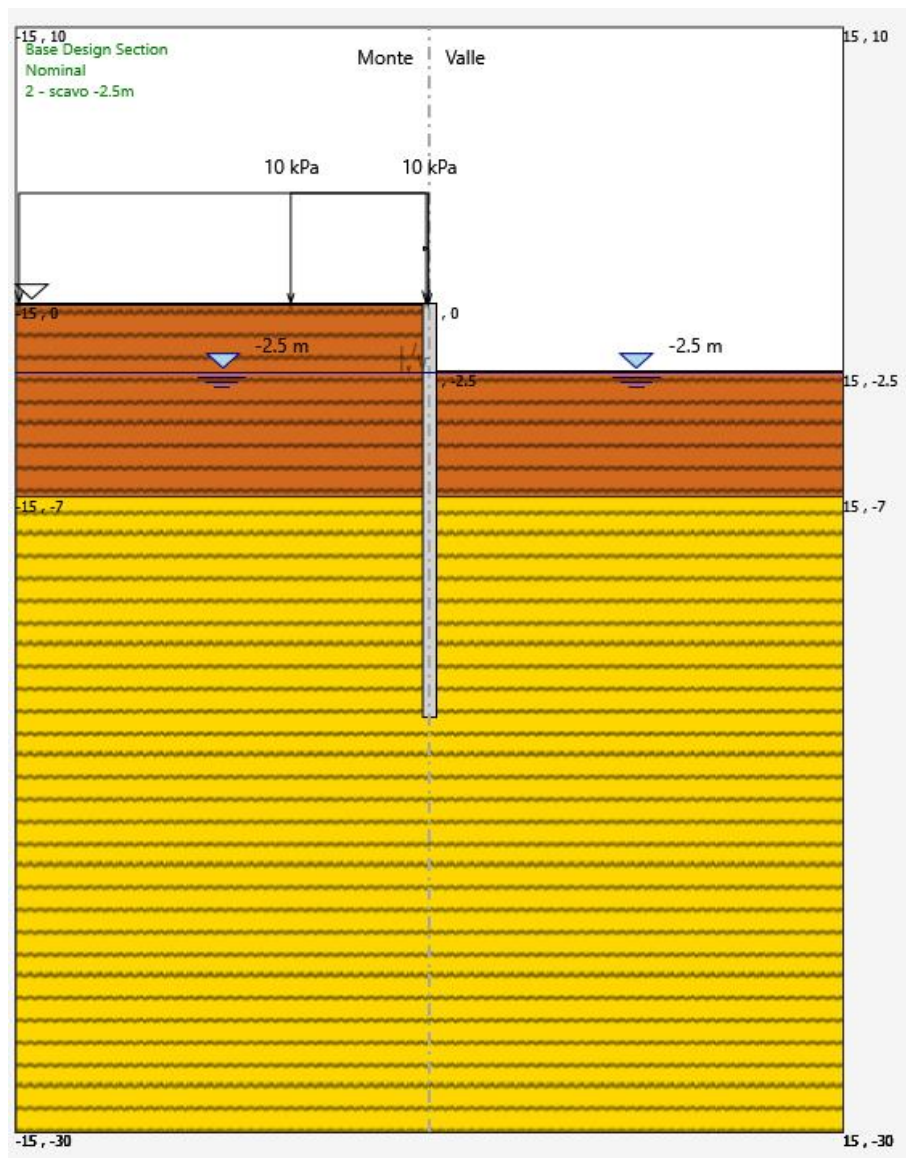
<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	27 di 69

**FASE 1: Esecuzione della paratia e attivazione dei sovraccarichi**



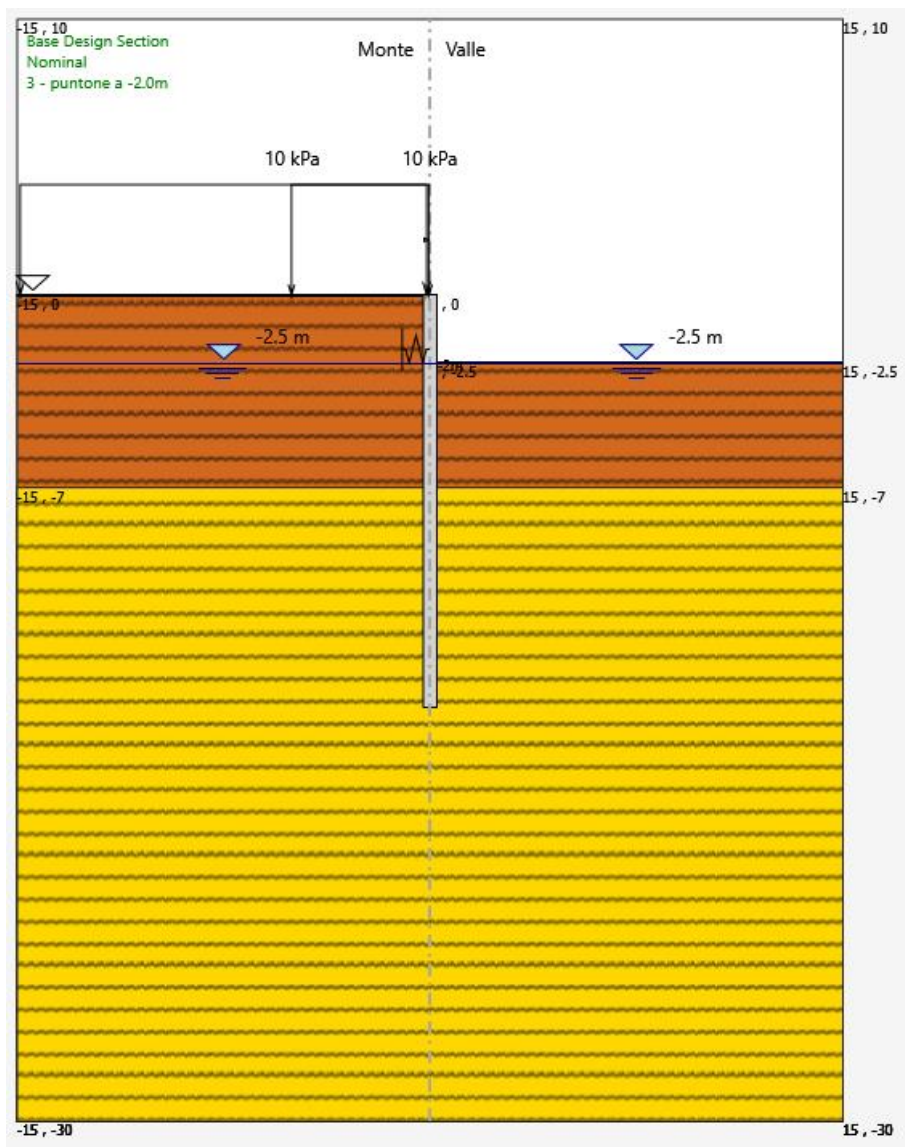
<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	28 di 69

**FASE 2: Scavo fino ad una profondità di 2.50 m dal p.c**



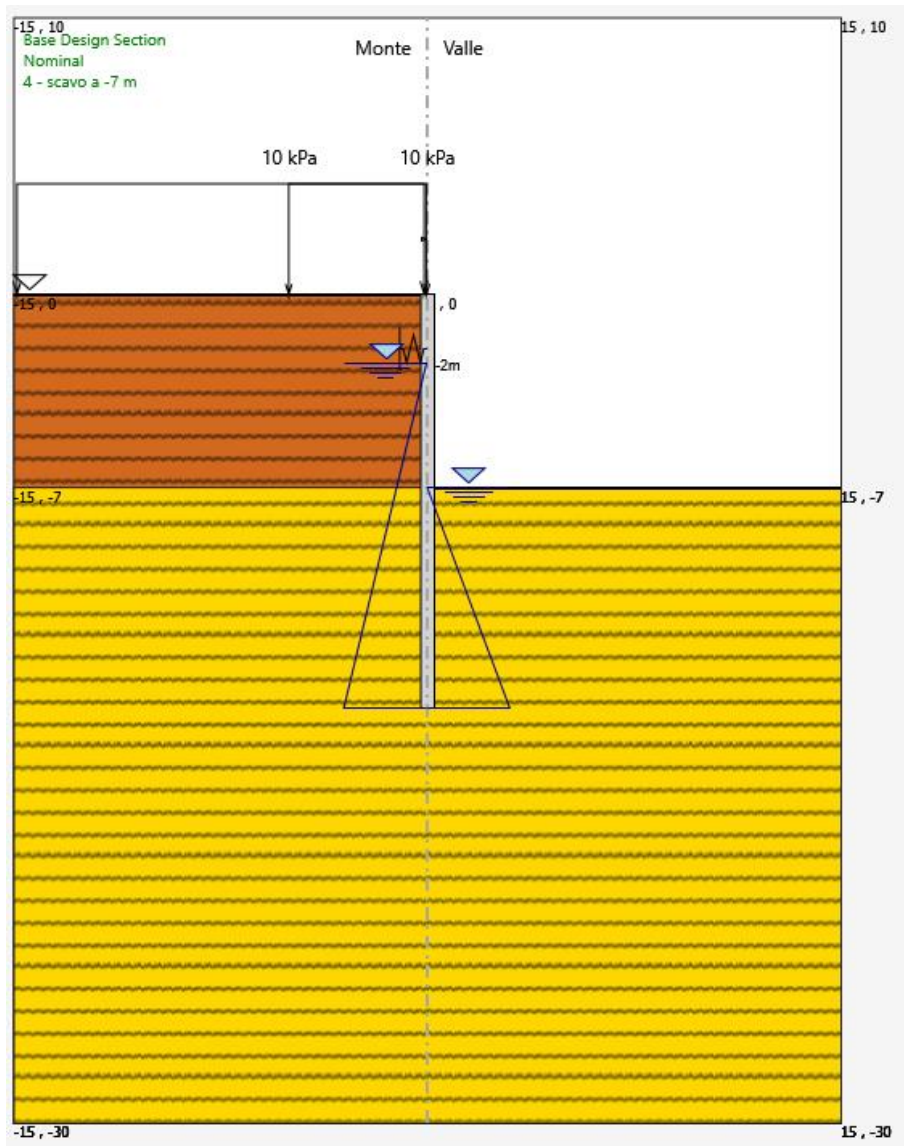
<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	29 di 69

**FASE 3: Installazione ad una profondità di 2.00 m dal p.c**



<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	30 di 69

**FASE 4: Scavo fino ad una profondità di 7.0 m dal p.c**



<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	31 di 69

## 8.2 SEZIONE DI CALCOLO PER SCAVI SPALLA SP1

### Paratia di pali in c.a.:

- $D_p = 500$  mm                      diametro di perforazione
- $i = 0.60$  m                            interasse longitudinale tra i pali
- $L = 10.0$  m                            lunghezza del palo

### GEOMETRIA SEZIONI DI CALCOLO

La massima altezza di scavo è di 3.50 m. Tale valore è stato incrementato rispetto a quello nominale di 0.5 m.

Nel calcolo si è tenuto conto del carico accidentale dovuto ai mezzi di cantiere  $q_{acc} = 10$  kPa uniformemente distribuito su un'area di impronta di 5.0 m posto in prossimità dell'estradosso della paratia. Tale sovraccarico è stato considerato diffuso in profondità con un angolo di 45°.

La distribuzione delle pressioni interstiziali sulla paratia è stata considerata idrostatica con valori raccordati al piede della stessa in ogni fase di calcolo.

Altezza fuori terra	4.0	[m]
Profondità di infissione	6.0	[m]
Altezza totale della paratia	10.0	[m]
Numero di file di pali	1	[m]
Interasse fra i pali della fila	0.60	[m]
Diametro pali	0.50	[m]

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	<b>RS3T</b>	<b>30</b>	<b>D09CL</b>	<b>VI1403001</b>	<b>B</b>	<b>32 di 69</b>


Mat. omogeneizzazione   Puntoni

Geometria e materiali

Custom  
Materiale  Inerzia  m4/m Area  m2/m

Diaframma o Pali

**Calcestruzzo**



Materiale


Spessore Ct  m

Diametro Cd  m

Passo Cs  m

Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidezza [0-1] ac

**Acciaio**

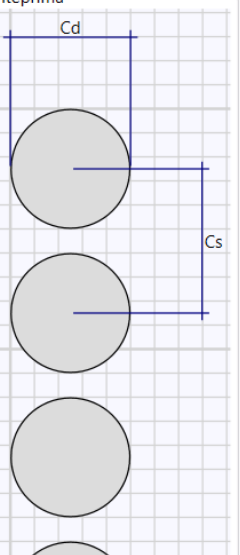


Materiale

Profilo

Passo Ss  m

Anteprima

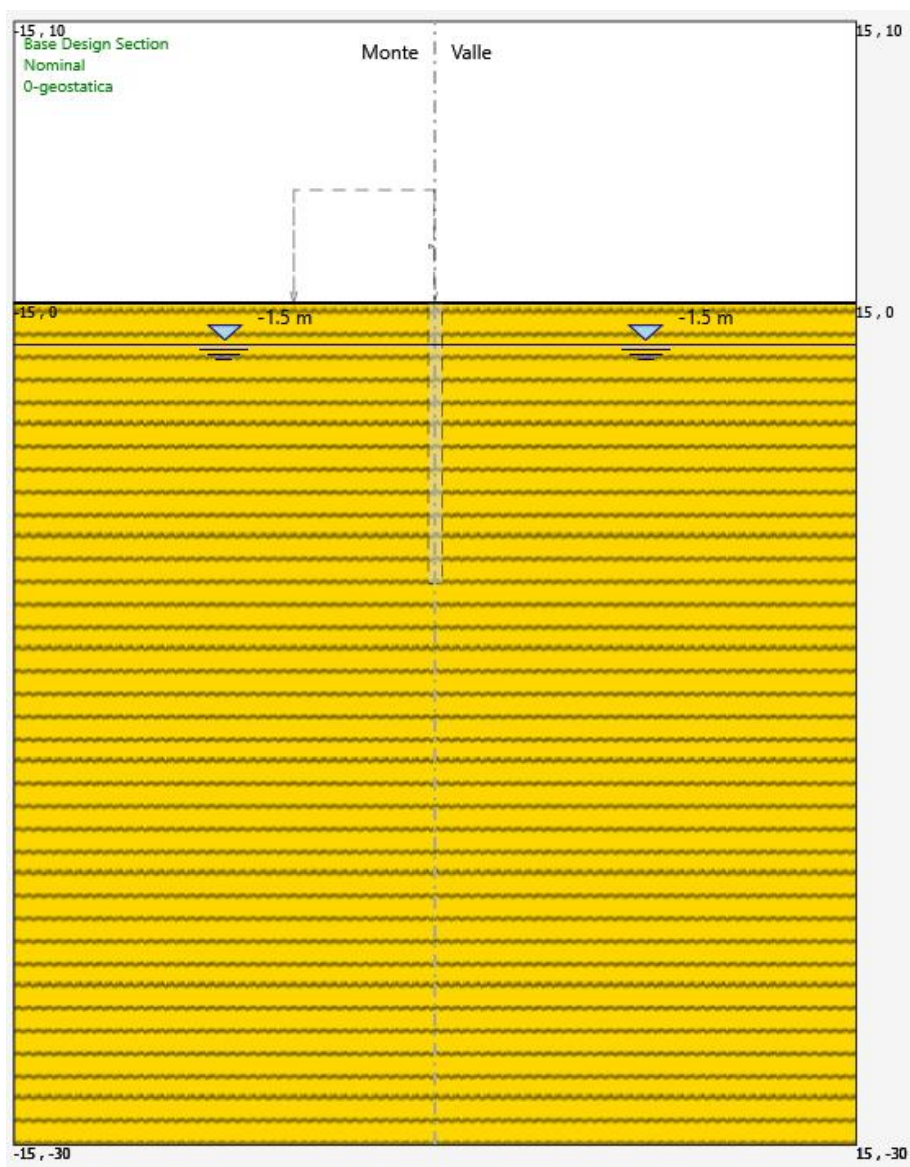


Il cordolo di collegamento dei pali ha dimensioni trasversali 0.70 m x 0.50 m. Di seguito si riportano le fasi di calcolo che sono state analizzate in successione.



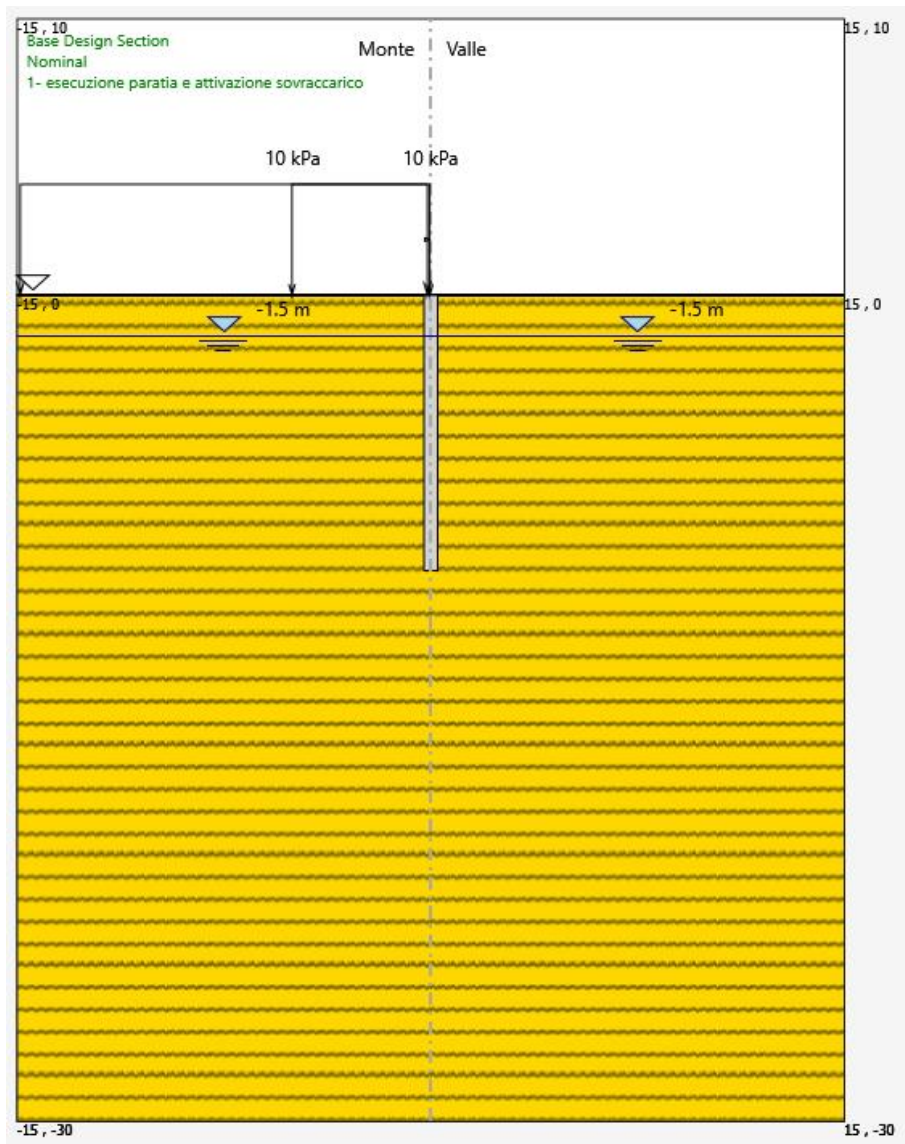
<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D03CL	VI1403001	B	33 di 69

**FASE 0: Generazione stato tensionale iniziale**



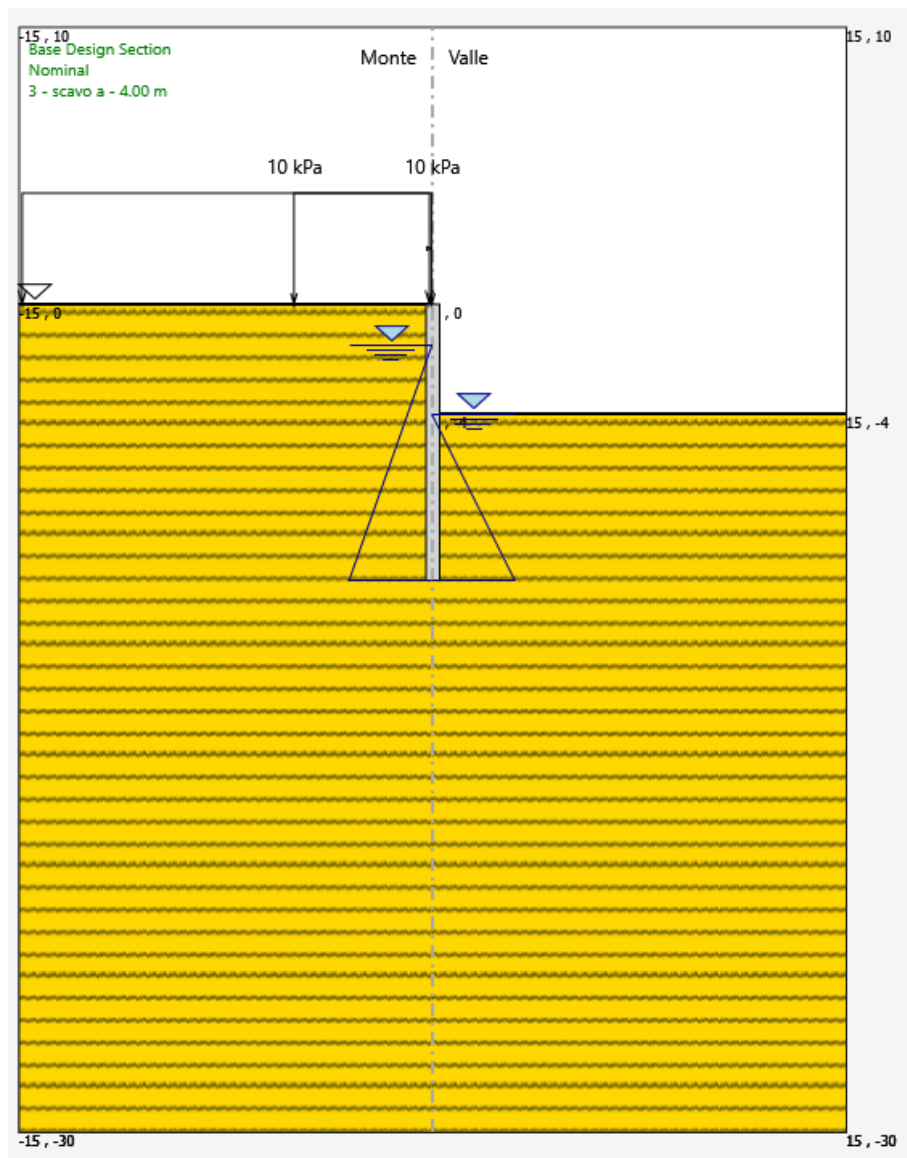
<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	34 di 69

**FASE 1: Esecuzione della paratia e attivazione dei sovraccarichi**



<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	35 di 69

**FASE 2: Scavo fino ad una profondità di 4.0 m dal p.c**



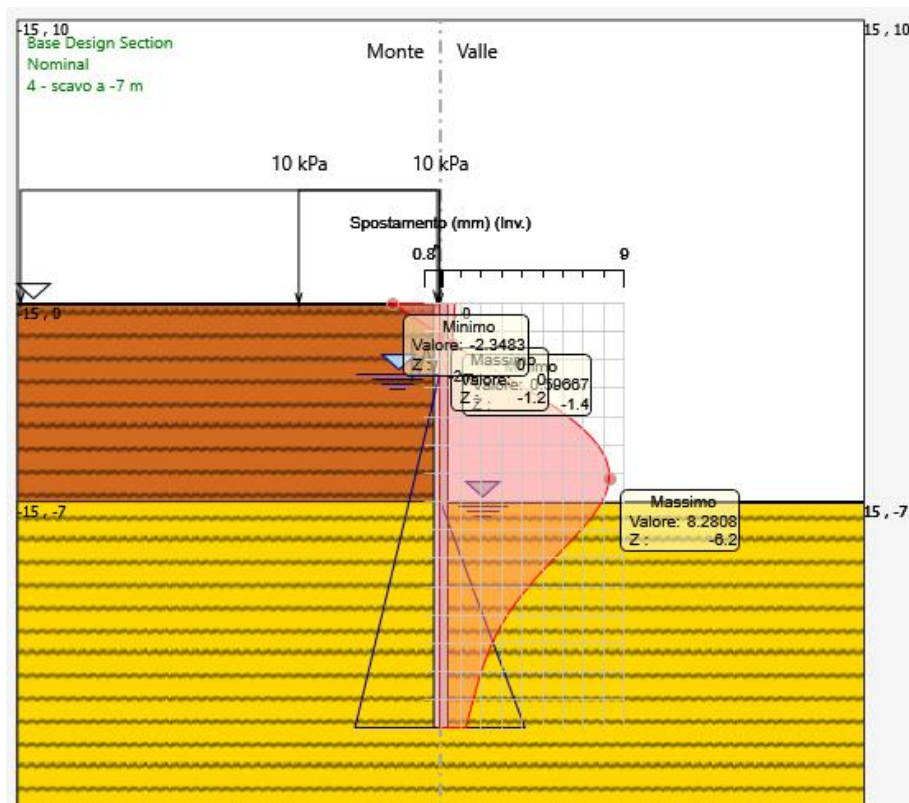
<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	36 di 69

## 9. RISULTATI E VERIFICHE DELLA PARATIA PER SCAVI PILA P1&P2

Nel seguito si espongono, in sintesi, i principali risultati di interesse progettuale.

### 9.1 RISULTATI (COMBINAZIONE SLE)

Dall'involuppo degli spostamenti in combinazione SLE si osserva che lo spostamento massimo orizzontale della paratia risulta pari a circa 8 mm.



<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	37 di 69

## 9.2 RISULTATI E VERIFICHE SLU-STR PARATIA (combinazione A1+M1+R1)

Dall'involuppo del momento flettente in combinazione A1+M1+R1 si osserva che il massimo valore sulla paratia si ha ad una quota di 5.6 m da testa palo e risulta pari a 202 kNm/m.

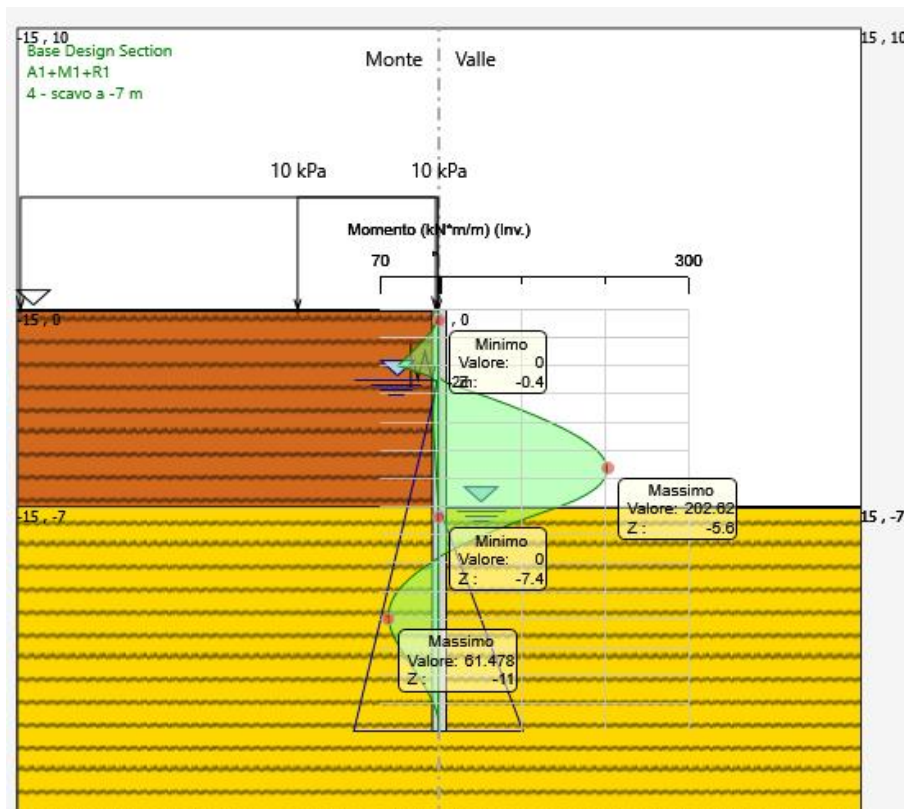


Figura 3: momento flettente allo SLU-STR

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	38 di 69

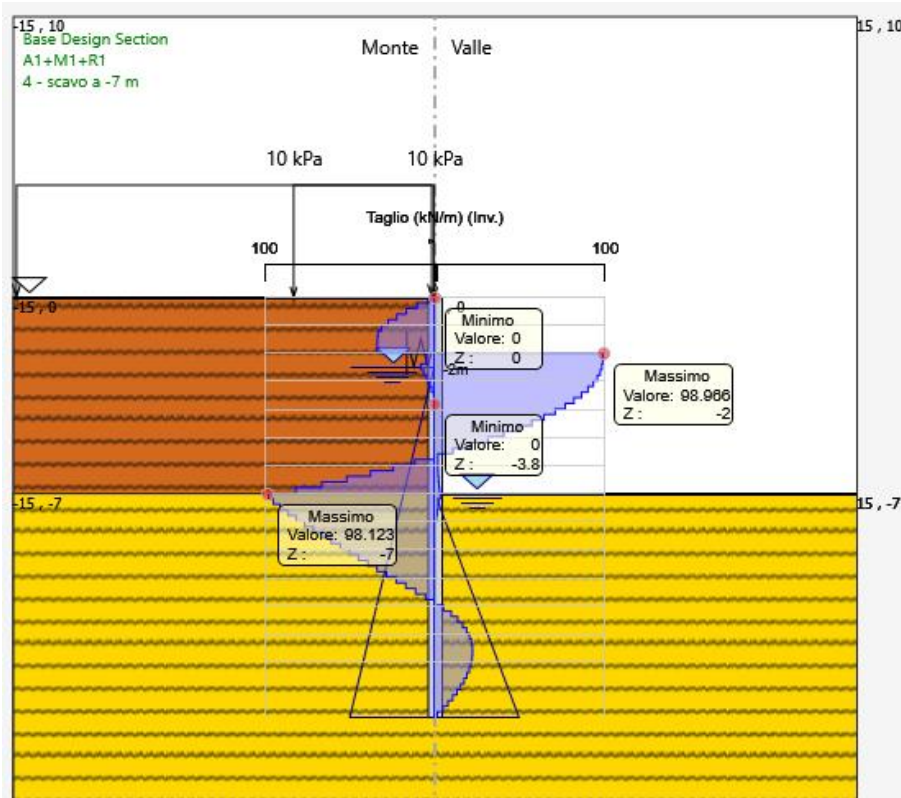


Figura 4: forza di taglio allo SLU-STR

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	39 di 69

combinazione (-)	M (kN*m/m)	profondità (m)	V (kN/m)
SLU-STR	202.0	5.6	98.0
SLE	154.0	5.6	-

combinazione (-)	D <sub>palo</sub> (m)	i <sub>palo</sub> (m)	M (kN*m)	N (kN)	V (kN)
SLU-STR	0.5	0.6	121.2	27.5	58.8
SLE	0.5	0.6	92.4	27.5	-

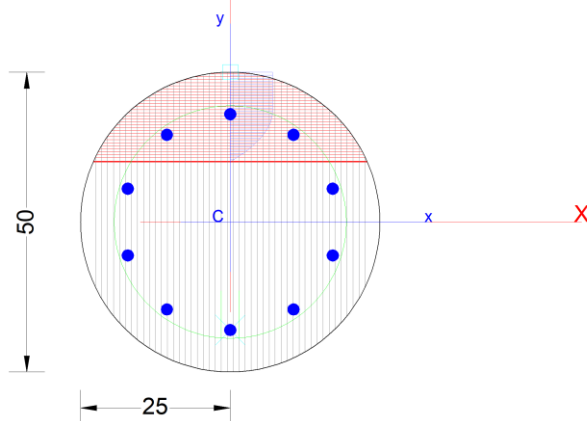
Tabella 1: riepilogo delle sollecitazioni sulla paratia

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche strutturali dei pali a flessione e a taglio condotte mediante l'ausilio del software RC-SEC.

Dati verifica strutturale e riepilogo risultati

- Calcestruzzo classe C25/30
- Acciaio di armatura in tondi classe B450C
- Armature di pressoflessione: 10Ø20 (percentuale di armatura= 1.60%)
- Armature di taglio: spirale Ø8/20
- Fattore di sicurezza allo SLU (pressoflessione)= 1.62
- Fattore di sicurezza allo SLU (taglio)= 2.84
- Massima tensione di compressione nel conglomerato= 10.4 MPa
- Massima tensione di trazione nelle barre di armatura= 237.7 MPa

Section name: palo500-0.6\_VI14\_P1-P2\_rev05-2020.secEC Comb. n. 1 (U.L.S.)  
Edge cover long. bars: 6.0 cm Edge cover stirrups: 5.2 cm



<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	40 di 69

#### GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: palo500-0.6\_VI14\_P1-P2\_rev05-2020.secEC

(File path: C:\Alessandro\LAVORI ALESSANDRO\EDIN\ITF-Pa-CT\GEOTEAM\Davide\lotto 3\paratie VI14\verifiche strutturali\palo500-0.6\_VI14\_P1-P2\_rev05-2020.secEC)

Section description:  
 Section type: Beam  
 Reference code: EC2/EC8 Italian Annex  
 Exposure Class: XC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)  
 Stress path: Constant axial force force to achieve bending ULS  
 Type of bending: Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)  
 Reference of assigned forces: Principal axes y,y of inertia

#### MATERIALS DATA

CONCRETE -

Class:	C25/30
Design compressive strength fcd:	14.2 MPa
Shear reduced compressive strenght v1*fcd:	7.1 MPa (6.9)EC2
Coeff Crd,c:	0.1200 (§ 6.2.2(1) EC2
Coeff K1:	0.1500 (§ 6.2.2(1) EC2
Coeff v min:	0.0091 Mpa (§ 6.2.2(1) EC2
Strain at max strength ec2:	0.0020
Ultimate strain ecu:	0.0035
Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rettangle
Mean Elastic Modulus Ecm:	31475.8 MPa
Mean tensile strength fctm:	2.6 MPa
Es/Ec in SLS combination:	15.00
Stress limit in SLS Characteristic comb.:	15.0 kN/cm <sup>2</sup>

STEEL -

Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C
Characteristic yield stress fyk:	450.00 MPa
Tensile strength ftk:	450.0 MPa
Design yield stress fyd:	391.3 MPa
Design strength ftd:	391.3 MPa
Design ultimate strain esu:	0.068
Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa
SLS Charact. - Ss Limit:	360.00 MPa

#### GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Circular  
 Concrete Class: C25/30

Radius: 25.0 cm  
 X center: 0.0 cm  
 Y center: 0.0 cm

#### CIRCULAR GENERATIONS OF LONGITUDINAL BARS

Gen.N.	Number of generated bars of the current linear generation
Xcenter	X-Coordinate [cm] center of circle along which are disposed the generated bars
Ycenter	Y-Coordinate [cm] center of circle along which are disposed the generated bars
Radius	Radius [cm] of circle along which are disposed the generated bars



<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	41 di 69

N. Bars	Number of equidistant generated bars				
Ø	Diameter [mm] of each generated bar				
Gen.N.	Xcenter	Ycenter	Radius	N. Bars	Ø
1	0.0	0.0	18.0	10	20

### SHEAR REINFORCEMENT

Stirrups diameter:	8 mm
Spacing of stirrups:	20.0 cm
Stirrups:	One hoop

### ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION

MX d	Design bending force [kNm] around X axis of reference system		
VY d	Design shear component [kN] parallel to Y reference axis		
Comb.	N d	Mx d	Vy d
1	27.50	121.20	58.80

### SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N	Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)		
MX	Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.		
Comb.	N	Mx	My
1	27.50	92.40	0.00

### CHECKS RESULTS

#### Checks OK for all assigned combinations

Min edge cover of longitudinal bars:	6.0 cm
Min distance between longitudinal bars:	9.1 cm
Min edge cover of stirrups:	5.2 cm

### ULTIMATE LIMIT STATES - N-MX-MY CAPACITY CHECKS

Check	Result of check						
N	Design axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)						
Mx	Design bending moment [kNm] around x axis principal of inerzia						
N ult	Axial force capacity [kN] (+ if compressive)						
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis principal of inertia						
S.F.	Safety Factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult, My ult) to (N, Mx, My). Check OK if ratio >=1.00						
As Tension	Area [cm²] of bars in tension (beam section). Min area for code is shown between brackets [eq.(9.1N) EC2]						
Comb.	Check	N	Mx	N ult	Mx ult	S.F.	As Tension
1	OK	27.50	121.20	27.50	196.89	1.624	22.0(0.0)

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	42 di 69

### ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES

ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Xc max	X-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
Yc max	Y-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Xs max	X-coordinate [cm] of bar in wich is es max
Ys max	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es max
es min	Min strain in steel bars (+ if compressive)
Xs min	X-coordinate [cm] of bar in wich is es min
Ys min	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es min

Comb.	ec max	ec*	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00350	-0.00151	0.0	25.0	0.00186	0.0	18.0	-0.00656	0.0	-18.0

### ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION

a, b, c	Coeff. a, b, c in neutral axis equation: aX+bY+c=0 reference X,Y,O
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [eq.(5.10)EC2]

Comb.	a	b	c	x/d	D
1	0.000000000	0.000234013	-0.002350321	0.348	0.875

### ULTIMATE LIMIT STATES - SHEAR CHECKS

Stirrup diameter:	8	mm	
Stirrups spacing(pitch):	20.0	cm	< Max spacing for code = 27.9 cm
Area stirrup/m:	5.2	cm <sup>2</sup> /m	> Stirrup area strictly necessary for shear = 1.8cm <sup>2</sup> /m
Area stirrups/m:	5.2	cm <sup>2</sup> /m	> Min. Area stirrup bars (9.5N) = 3.9cm <sup>2</sup> /m

Check	Result of check									
Ved	Design Shear Vy [kN] orthogonal to neutral axis									
Vrd,max	Shear resistance [kN] by concrete diagonal struts [(6.9) EC2]									
Vrd,s	Shear resistance [kN] by stirrups [(6.8) EC2]									
Zm	Main weighted inner lever arm [cm] of strips orthogonal to neutral axis: are not included strips without an extreme compressed. The weights are constituted by the length of lever arm for each strips.									
Dm	Main weighted effective depth [cm] of strips orthogonal to neutral axis.									
bw	Mean weighted shear width [cm] misurate parallel to the neutral axis = = ratio of area of resistant strips to Zmed value									
Ctg	Cot of angle between the inclined concrete struts and beam axis (§6.2.3(1) EC2)									
Ast min	Min area [cm <sup>2</sup> /m] of stirrups: Ast min = 100*rw*bw. In wich rw is given from (9.5N) EC2									
Ast	Area of hoops+cross-ties strictly necessary for shear force[cm <sup>2</sup> /m]									
A.Eff	Effective Area of hoops+cross-ties in the shear direction in current comb. [cm <sup>2</sup> /m]									

Comb.	Check	Ved	Vrd,max	Vrd,s	Zm Dm	bw	Ctg	Ast min	Ast	A.Eff
1	OK	58.80	351.19	166.86	32.7 37.2	44.0	2.50	3.9	1.8	5.2

### SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete: Considered if not less than -fctm

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	43 di 69

Check	Result of Check
Reg	Number of current concrete sub-region of the cross section
Sc max (Sc lim)	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
Xc max, Yc max	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Ss min (Ss lim)	Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa]. Code limit stress is shown between brackets
Xs min, Ys min	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
Ac eff	Effective tension area [cm <sup>2</sup> ] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff	Area of tension steel bars [cm <sup>2</sup> ] within Ac eff (for crack width control)
r eff	Geometrical ratio $Ac\ eff/As\ eff$ [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	10.43 (15.0)	0.0	0.0	-237.7 (360.0)	0.0	-18.0	321	9.4	0.029

#### SLS CHARACTERISTIC - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Check	Section is assumed cracked if flexural tensile stress exceeds $f_{ctm}$ in at least one combination
Result of check	
e1	Greater concrete tensile strain (tension is -) assessed in cracked section
e2	Lesser concrete tensile strain within the entire section (tension is -) assessed in cracked section
k1	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
kt	= 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q.perm SLS [see eq.(7.9) EC2]
k2	= 0.5 for bending; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
k4	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
Ø	Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in Ac eff [eq.(7.11)]
e sm - e cm	Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)]
	Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = $0.6\ S_{max} / E_s$
sr max	Max final crack [mm] spacing
wk	Calculated value [mm] of crack width = $sr\ max*(e\ sm - e\ cm)$ [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
MX crack	First cracking bending moment around X axis[kNm]
MY crack	First cracking bending moment around Y axis[kNm]

Comb.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00151	0	0.500	20.0	0.00088 (0.00071)	286	0.251	40.06	0.00



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA  
PROGETTO DEFINITIVO  
VI14 - Viadotto ferroviario a Singolo binario

Progetto definitivo

Relazione di calcolo delle Opere Provisionali

COMMESSA

RS3T

LOTTO

30

CODIFICA

D09CL

DOCUMENTO

VI1403001

REV.

B

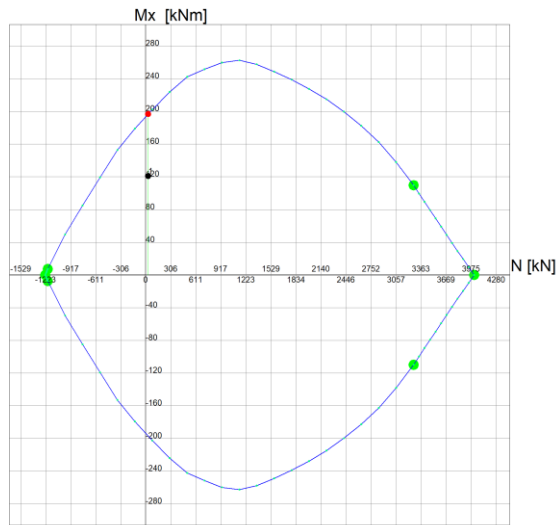
FOGLIO

44 di 69

STRENGTH DOMAIN N-Mx (ULTIMATE LIMIT STATE)

Section name: palo500-0.6\_VI14\_P1-P2\_rev05-2020.secEC

File path: C:\Alessandro\LAVORI ALESSANDRO\EDIN\ITF-Pa-CT\GEOTEAM\David\lotto 3\paratie VI14\verifiche strutturali\palo500-0.6\_VI14\_P1-P2\_rev05-2020.secEC



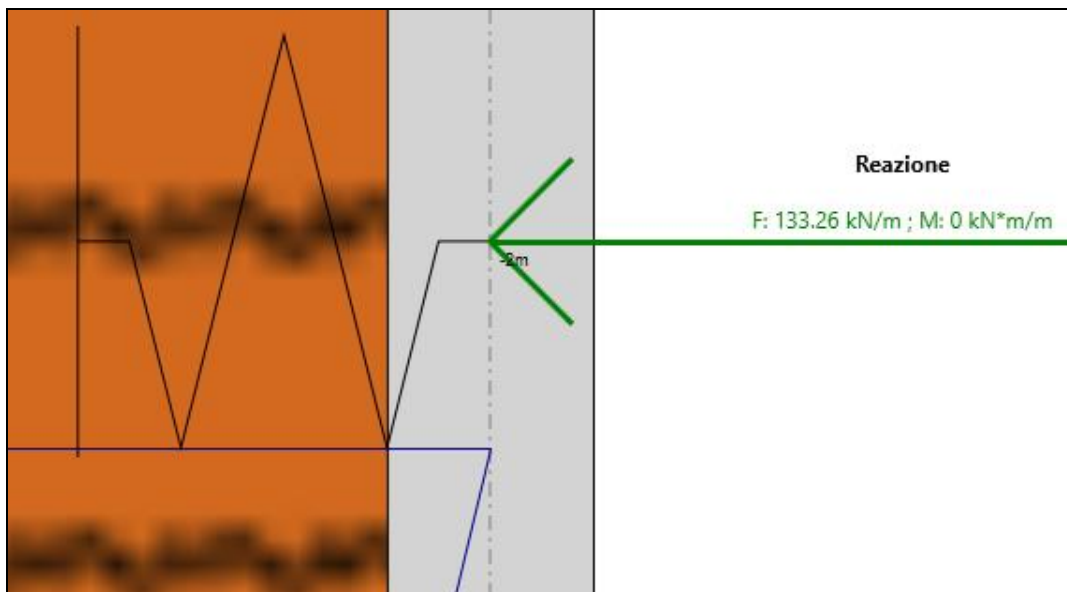
Grid spacing Mx = 40 kNm

Grid spacing N = 306 kN

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	45 di 69

### 9.3 RISULTATI E VERIFICHE SLU-STR PER IL SISTEMA DI CONTRASTO (combinazione A1+M1+R1)

Di seguito si riporta il valore di reazione sul sistema di contrasto ottenuto dall'analisi nella combinazione SLU-STR. Tale reazione, che risulta essere pari a 133 kN/m, è stata utilizzata come moltiplicatore del carico unitario nel modello in SAP2000. In tal modo è stato valutato lo sforzo normale agente sul singolo puntone e le sollecitazioni di pressoflessione sulle travi di ripartizione.



<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	46 di 69

Riepilogo delle sollecitazioni:

- Max momento sulla singola trave di ripartizione=  $0.5 \cdot 187 = 93.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$
- Taglio max momento della singola trave di ripartizione=  $0.5 \cdot 249 = 124.5 \text{ kN}$
- Forza assiale sulla singola trave di ripartizione=  $0.5 \cdot 249 = 125.5 \text{ kNm}$
- Sforzo assiale nei puntoni=  $574 \text{ kN}$

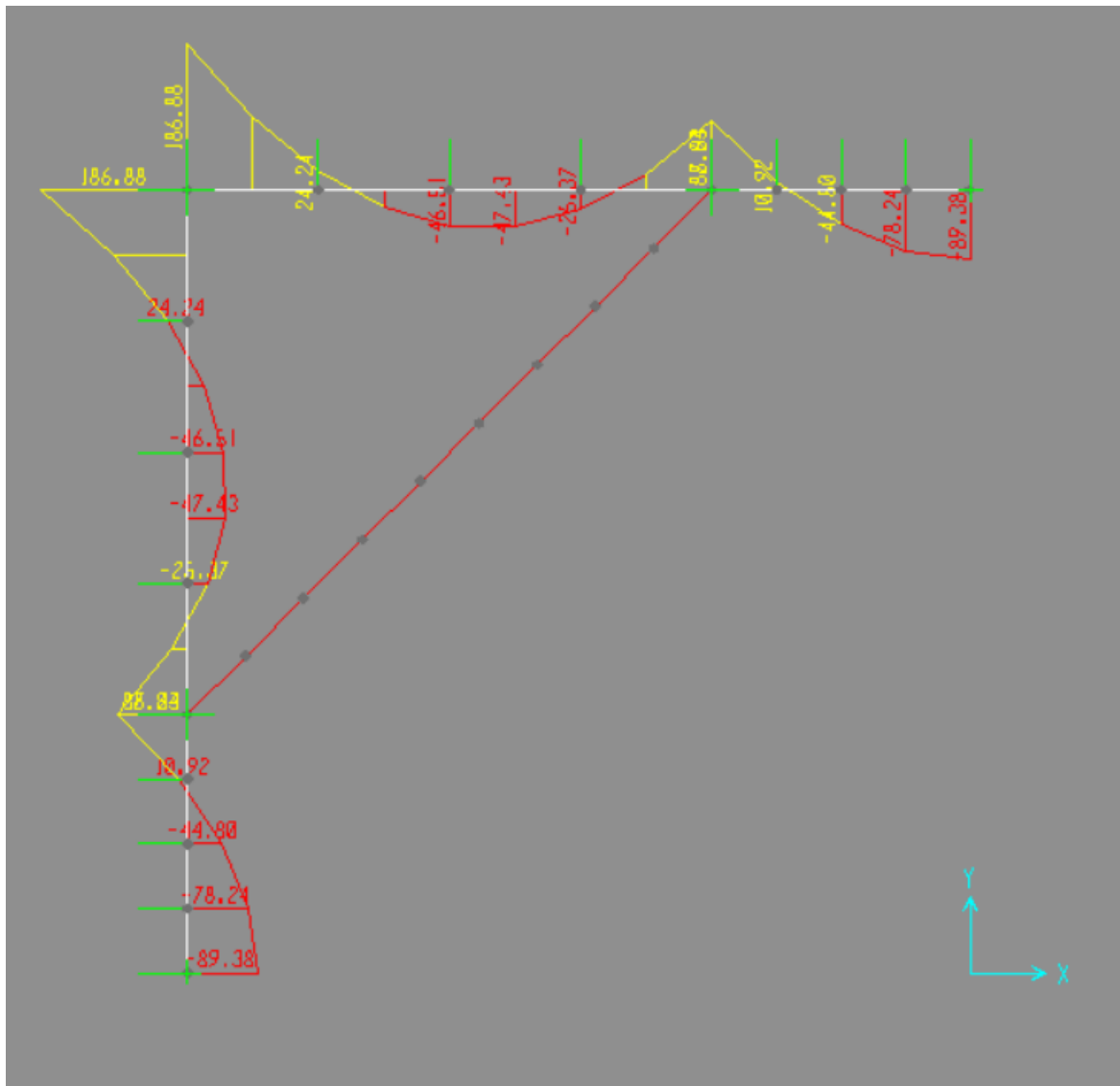


Figura 5: momento flettente allo SLU-STR

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	47 di 69

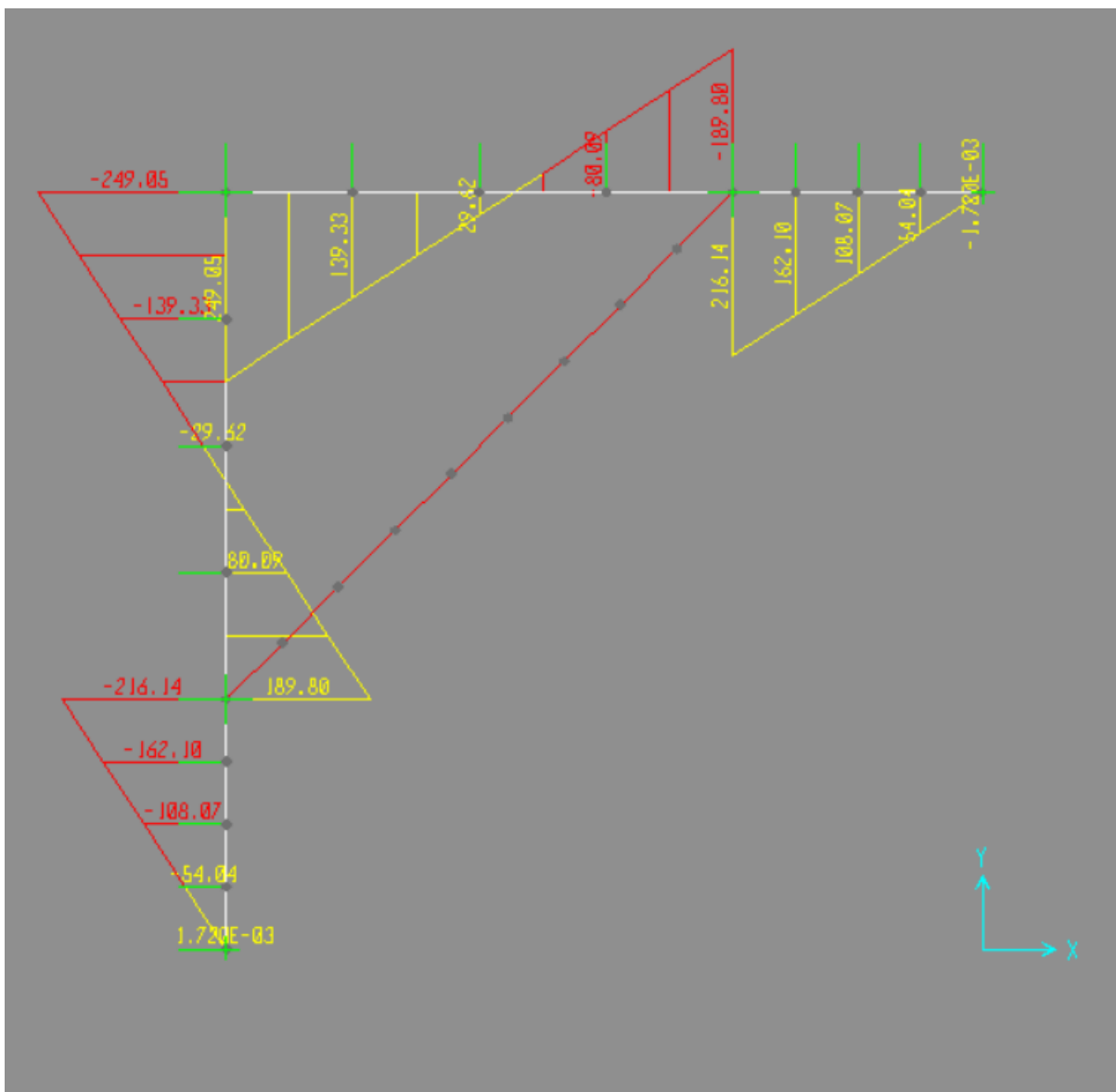


Figura 6: forza di taglio allo SLU-STR

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	48 di 69

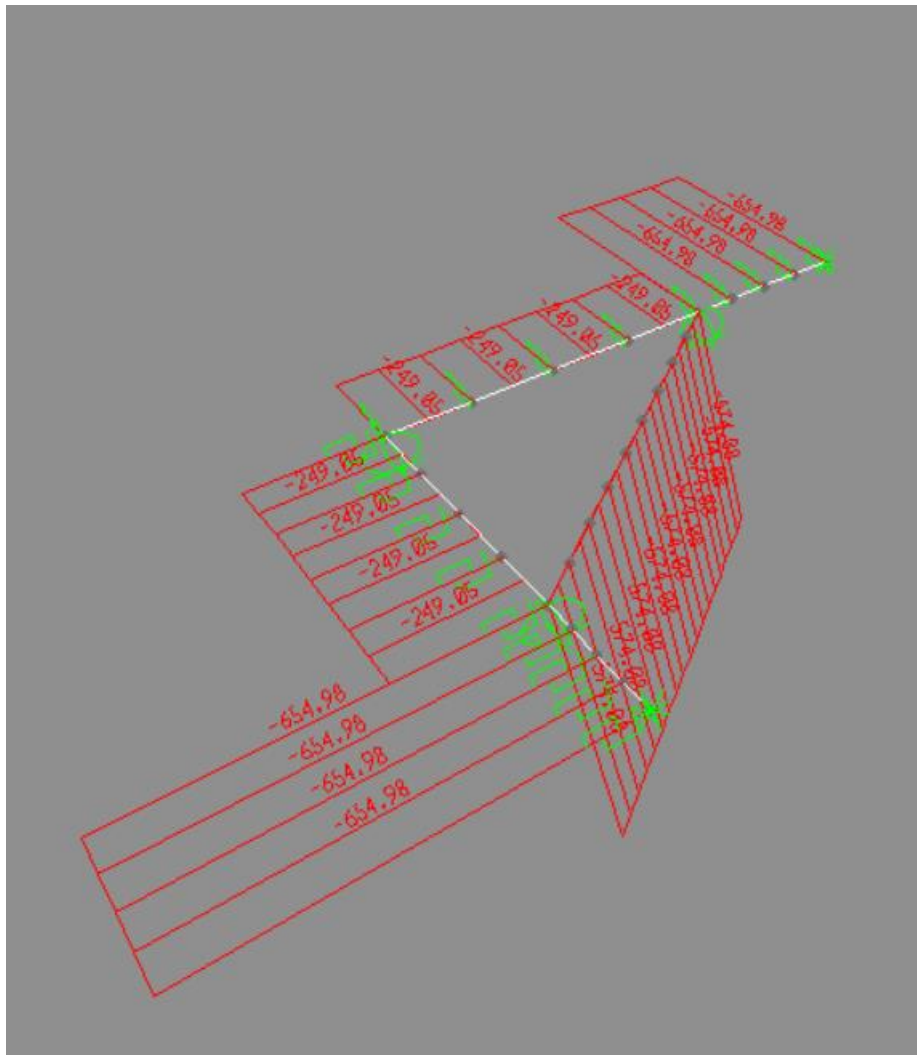


Figura 7: forza assiale allo SLU-STR

Dati verifica strutturale e riepilogo risultati per il telaio di contrasto

- Acciaio tipo: S275
- Minimo fattore di sicurezza allo SLU travi di ripartizione (pressoflessione e taglio)= $1/0.339= 2.95$
- Minimo fattore di sicurezza allo SLU puntoni (pressoflessione e taglio)=  $1/ 0.26= 3.84$



Progetto definitivo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo delle Opere Provisionali	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	49 di 69

### Verifica travi di ripartizione

	S 275	
Valore di snervamento dell'acciaio del profilo	$f_{yk}$	275 [N/mm <sup>2</sup> ]
Valore di rottura dell'acciaio del profilo	$f_{uk}$	430 [N/mm <sup>2</sup> ]
Modulo di elasticità dell'acciaio del profilo	E	210000 [N/mm <sup>2</sup> ]
Modulo di elasticità tangenziale dell'acciaio del profilo	G	80769 [N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di resistenza	$\gamma_{M0}$	1.05 [-]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di stabilità	$\gamma_{M1}$	1.05 [-]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di rottura	$\gamma_{M2}$	1.25 [-]

<b>Caratteristiche meccaniche del profilo</b>	HE 240 B	
Altezza della sezione trasversale	h	240 [mm]
Larghezza della sezione trasversale	$b_f$	240 [mm]
Spessore dell'anima	$t_w$	10 [mm]
Spessore dell'ala	$t_f$	17 [mm]
Raggio di raccordo	r	21 [mm]
Area della sezione trasversale	A	10600 [mm <sup>2</sup> ]
Altezza della sezione trasversale al netto delle ali	$h_w$	206 [mm]
Altezza del pannello d'anima	$c_w$	164 [mm]
Diametro massimo consentito dei bulloni d'ala	$d_{bf,max}$	27 [mm]
Passo minimo trasversale tra i bulloni d'ala	$p_{b,min}$	108 [mm]
Passo massimo trasversale tra i bulloni d'ala	$p_{b,max}$	138 [mm]
Momento d'inerzia della sezione trasversale attorno all'asse forte	$I_y$	1.126E+08 [mm <sup>4</sup> ]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse forte	$W_{el,y}$	9.383E+05 [mm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	$W_{pl,y}$	1.053E+06 [mm <sup>3</sup> ]
Area resistente a taglio nel piano dell'anima	$A_{V,z}$	3323 [mm <sup>2</sup> ]
Raggio d'inerzia attorno all'asse forte	$i_y$	103.1 [mm]
Momento d'inerzia della sezione trasversale attorno all'asse debole	$I_z$	3.923E+07 [mm <sup>4</sup> ]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse debole	$W_{el,z}$	3.269E+05 [mm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse debole	$W_{pl,z}$	4.984E+05 [mm <sup>3</sup> ]
Area resistente a taglio nel piano delle ali	$A_{V,y}$	8540 [mm <sup>2</sup> ]
Raggio d'inerzia attorno all'asse debole	$i_z$	60.8 [mm]
Momento d'inerzia torsionale	$I_t$	1.027E+06 [mm <sup>4</sup> ]
Costante di Warping	$I_w$	4.869E+11 [mm <sup>6</sup> ]

<b>Caratteristiche di sollecitazione nella sezione di verifica</b>		
Forza normale (positiva se di compressione)	$N_{Ed}$	124.50 [kN]
Forza di taglio agente in direzione parallela all'anima	$V_{z,Ed}$	124.50 [kN]
Forza di taglio agente in direzione parallela alle ali	$V_{y,Ed}$	0.00 [kN]
Momento flettente attorno all'asse maggiore di inerzia	$M_{y,Ed}$	93.50 [kNm]
Momento flettente attorno all'asse minore di inerzia	$M_{z,Ed}$	0.00 [kNm]
Momento torcente primario (alla Saint Venant)	$T_{Ed}$	0.00 [kNm]

Progetto definitivo

Relazione di calcolo delle Opere Provisionali

COMMESSA

RS3T

LOTTO

30

CODIFICA

D09CL

DOCUMENTO

VI1403001

REV.

B

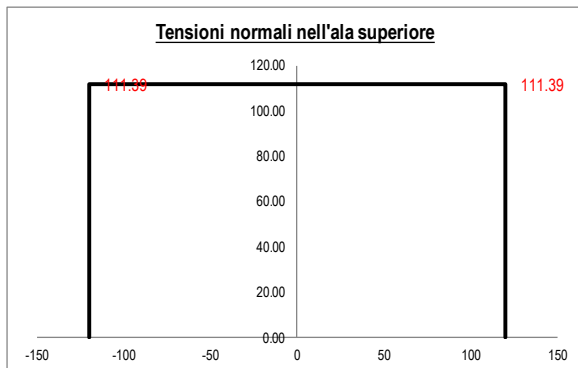
FOGLIO

50 di 69

**Classificazione della sezione trasversale di verifica**

**Determinazione dello stato tensionale dovuto a  $N - M_y - M_z$**

Distribuzione delle tensioni normali nei punti salienti della sezione trasversale

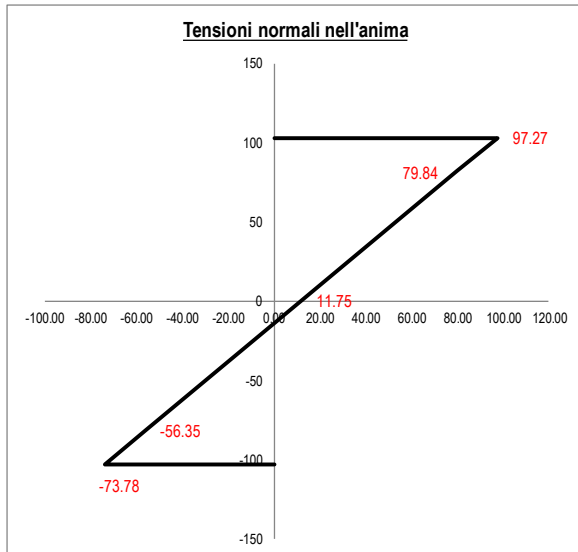


**Tensioni elastiche per CL < 4**

$\sigma_A$	111.39	[N/mm²]
$\sigma_B$	111.39	[N/mm²]
$\sigma_C$	111.39	[N/mm²]
$\sigma_D$	97.27	[N/mm²]
$\sigma_E$	97.27	[N/mm²]

**Tensioni efficaci per CL = 4**

$\sigma_{A,eff}$	111.39	[N/mm²]
$\sigma_{B,eff}$	111.39	[N/mm²]
$\sigma_{C,eff}$	111.39	[N/mm²]
$\sigma_{D,eff}$	97.27	[N/mm²]
$\sigma_{E,eff}$	97.27	[N/mm²]

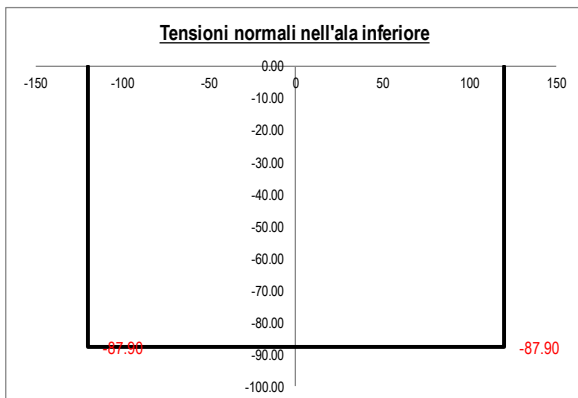


**Tensioni elastiche per CL < 4**

$\sigma_F$	97.27	[N/mm²]
$\sigma_{F'}$	79.84	[N/mm²]
$\sigma_G$	11.75	[N/mm²]
$\sigma_H$	-56.35	[N/mm²]
$\sigma_{H'}$	-73.78	[N/mm²]

**Tensioni efficaci per CL = 4**

$\sigma_{F,eff}$	97.27	[N/mm²]
$\sigma_{F',eff}$	79.84	[N/mm²]
$\sigma_{G,eff}$	11.75	[N/mm²]
$\sigma_{H,eff}$	-56.35	[N/mm²]
$\sigma_{H',eff}$	-73.78	[N/mm²]



**Tensioni elastiche per CL < 4**

$\sigma_I$	-73.78	[N/mm²]
$\sigma_L$	-73.78	[N/mm²]
$\sigma_M$	-87.90	[N/mm²]
$\sigma_N$	-87.90	[N/mm²]
$\sigma_O$	-87.90	[N/mm²]

**Tensioni efficaci per CL = 4**

$\sigma_{I,eff}$	-73.78	[N/mm²]
$\sigma_{L,eff}$	-73.78	[N/mm²]
$\sigma_{M,eff}$	-87.90	[N/mm²]
$\sigma_{N,eff}$	-87.90	[N/mm²]
$\sigma_{O,eff}$	-87.90	[N/mm²]

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisoriale</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	51 di 69

### Resistenza a flessione, forza assiale e taglio

#### Calcolo plastico per sezioni in classe 1 o 2

Parametri limite che valutano l'intensità della forza assiale

$N_{lim,1}$  694.05 [kN]

$N_{lim,2}$  269.76 [kN]

$N_{lim,3}$  539.52 [kN]

$n$  0.045 [-]

$a$  0.230 [-]

Resistenza a flessione attorno all'asse maggiore ridotta per effetto di  $N_{Ed}$

$M_{Ny,Rd}$  275.79 [kNm]

Verifica flessionale attorno all'asse maggiore

$\rho_{N-My-pl}$  0.339 [-]

Resistenza a flessione attorno all'asse minore ridotta per effetto di  $N_{Ed}$

$M_{Nz,Rd}$  130.53 [kNm]

Verifica flessionale attorno all'asse minore

$\rho_{N-Mz-pl}$  0.000 [-]

Verifica di presso/tenso flessione biassiale (*metodo normale*)

$\rho_{N-My-Mz-pl}$  0.115 [-]

Verifica di presso/tenso flessione biassiale (*metodo cautelativo*)

$\rho_{N-My-Mz-pl}$  0.339 [-]

Progetto definitivo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	52 di 69

## Verifica puntoni

Tipo di acciaio utilizzato

Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di resistenza	$\gamma_{M0}$	1.05 [-]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di stabilità	$\gamma_{M1}$	1.05 [-]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di rottura	$\gamma_{M2}$	1.25 [-]

### Caratteristiche del profilo

Sezione trasversale del tubolare

Diametro esterno del profilo tubolare (UTENTE)	$d_{ext}$	254.00 [mm]
Spessore del profilo tubolare (UTENTE)	$t$	12.50 [mm]
Diametro esterno del profilo tubolare utilizzato nelle verifiche		254 [mm]
Spessore del profilo tubolare utilizzato nelle verifiche		12.5 [mm]

### Geometria della membratura

Lunghezza geometrica della membratura	$L$	4.75 [m]
Coefficiente di lunghezza di libera inflessione attorno all'asse y - y	$\beta_y$	1.00 [-]
Coefficiente di lunghezza di libera inflessione attorno all'asse z - z	$\beta_z$	1.00 [-]
Lunghezza di libera inflessione attorno all'asse y - y	$L_{cr,y}$	4750.00 [mm]
Lunghezza di libera inflessione attorno all'asse z - z	$L_{cr,z}$	4750.00 [mm]

### Coefficienti di momento equivalente

*Nota: l'utente deve inserire i valori  $C_{my}$ ,  $C_{mz}$  con riferimento al prospetto B.3 - EN 1993 - 1 - 1: 2010, tenendo presente che utilizzando  $C_{my} = C_{mz} = 1.00$  la verifica sarà sempre "cautelativa".*

Coefficienti di momento equivalente

Coefficiente di momento equivalente per flessione attorno all'asse y - y $C_{my}$	1.000 [-]
Coefficiente di momento equivalente per flessione attorno all'asse z - z $C_{mz}$	1.000 [-]

### Caratteristiche di sollecitazione

*Nota: la forza assiale è POSITIVA se di compressione*

Calcola

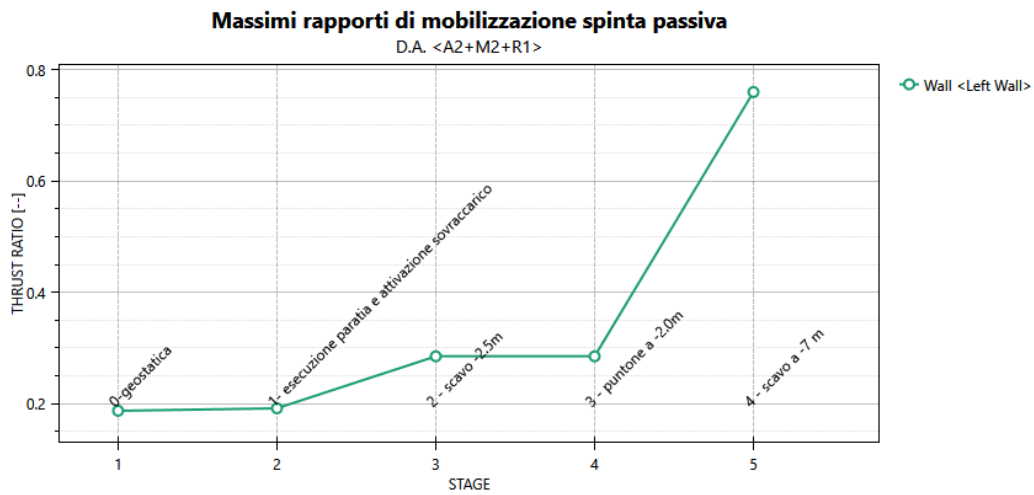
Svuota

Comb.	$N_{Ed}$	$V_{z,Ed}$	$V_{y,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	$T_{Ed}$	Verifica
[n°]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[-]
1	574.00						✓ 0.26

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisoriale</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	53 di 69

#### 9.4 Verifica SLU-GEO della paratia (combinazione A2+M2+R1)

Il massimo rapporto di mobilitazione della spinta passiva è circa il 76%



#### Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva

Result Title :Wall <Left Wall>

STAGE THRUST\_RATIO [--]

1	0.187
2	0.192
3	0.285
4	0.285
5	0.76

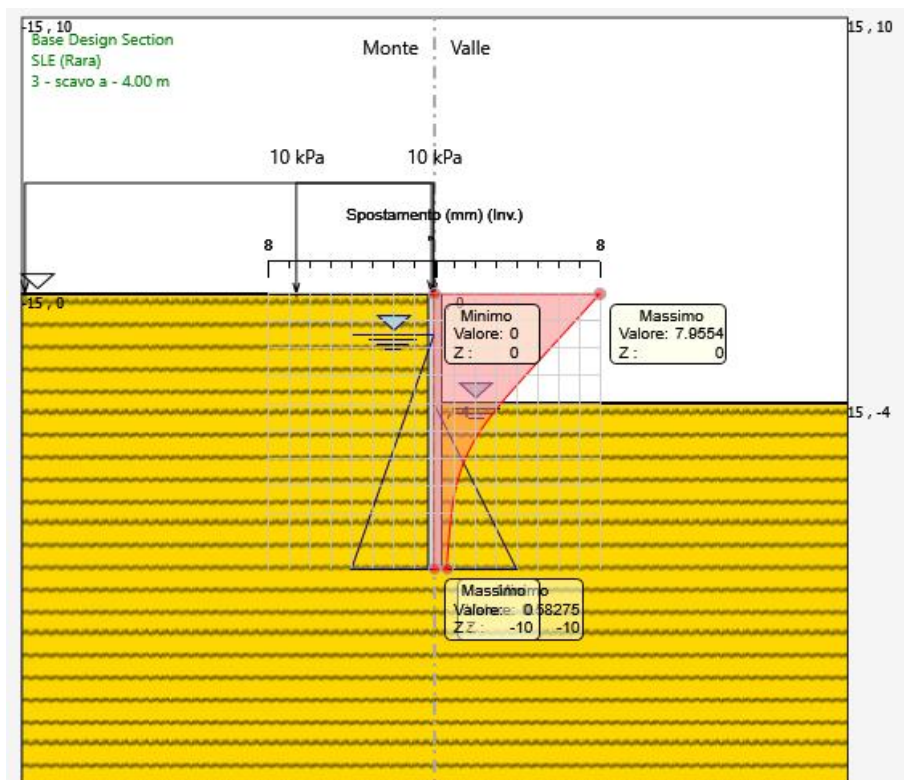
<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	54 di 69

## 10. RISULTATI E VERIFICHE DELLA PARATIA PER SCAVI SPALLA SP1

Nel seguito si espongono, in sintesi, i principali risultati di interesse progettuale.

### 10.1 RISULTATI (COMBINAZIONE SLE)

Dall'involuppo degli spostamenti in combinazione SLE si osserva che lo spostamento massimo orizzontale della paratia risulta pari a circa 8 mm.



<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	55 di 69

## 10.2 RISULTATI E VERIFICHE SLU-STR PARATIA (combinazione A1+M1+R1)

Dall'involuppo del momento flettente in combinazione A1+M1+R1 si osserva che il massimo valore sulla paratia si ha ad una quota di 5.4 m da testa palo e risulta pari a 65 kNm/m.

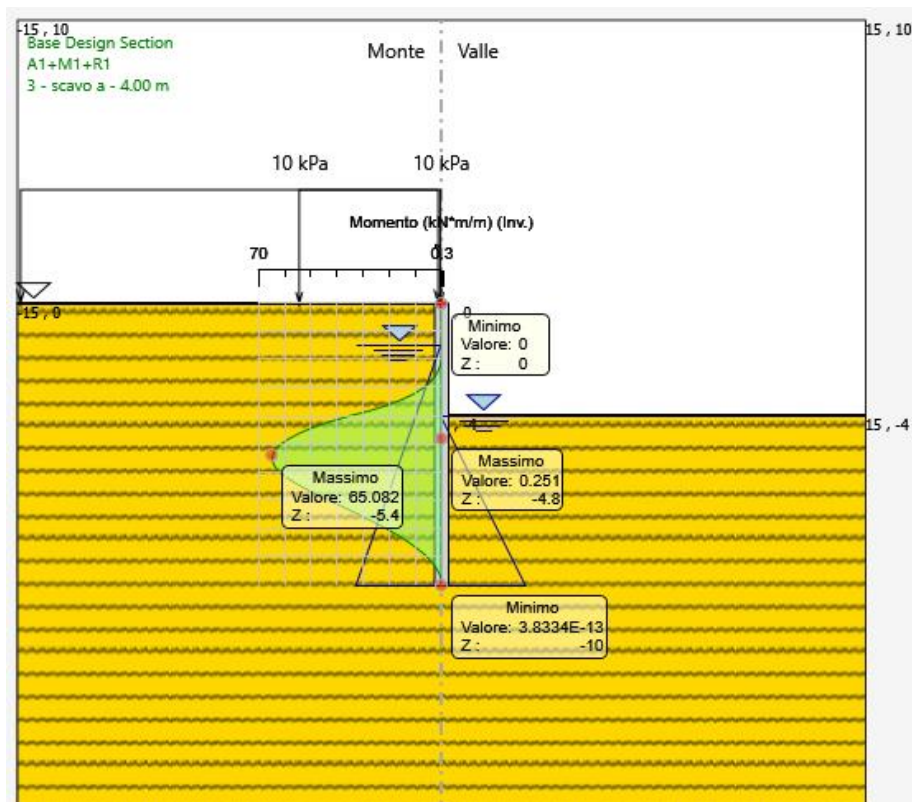


Figura 8: momento flettente allo SLU-STR

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	56 di 69

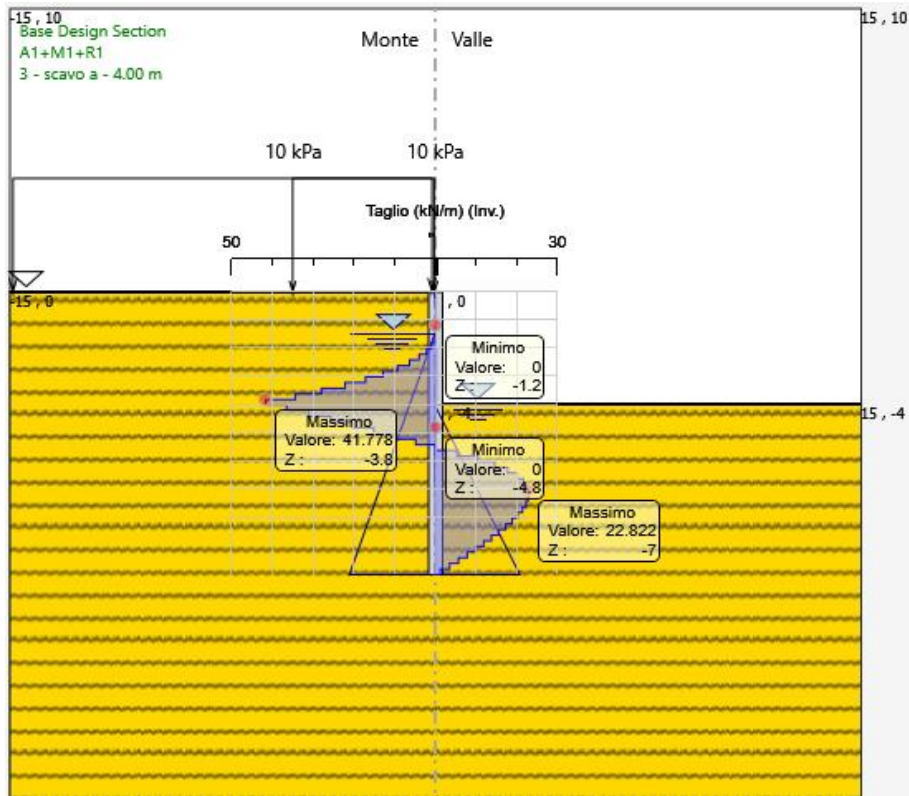


Figura 9: forza di taglio allo SLU-STR



<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	57 di 69

combinazione (-)	M (kN*m/m)	profondità (m)	V (kN/m)
SLU-STR	65.0	5.4	41.8
SLE	49.0	5.4	-

combinazione (-)	D <sub>palo</sub> (m)	i <sub>palo</sub> (m)	M (kN*m)	N (kN)	V (kN)
SLU-STR	0.5	0.6	39.0	26.5	25.1
SLE	0.5	0.6	29.4	26.5	-

Tabella 2: riepilogo delle sollecitazioni sulla paratia

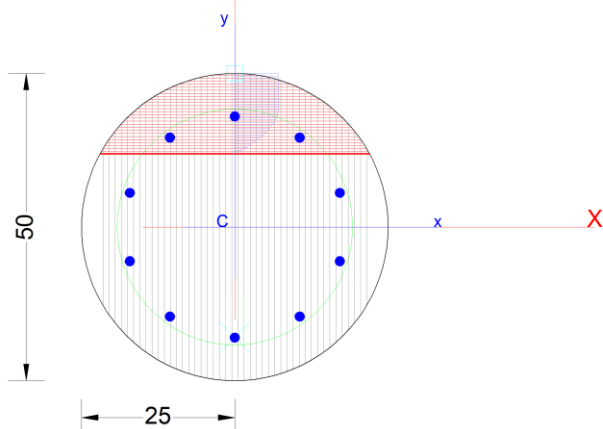
Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche strutturali dei pali a flessione e a taglio condotte mediante l'ausilio del software RC-SEC.

Dati verifica strutturale e riepilogo risultati

- Calcestruzzo classe C25/30
- Acciaio di armatura in tondi classe B450C
- Armature di pressoflessione: 10Ø16 (percentuale di armatura= 1.02%)
- Armature di taglio: spirale Ø8/20
- Fattore di sicurezza allo SLU (pressoflessione)= 3.55
- Fattore di sicurezza allo SLU (taglio)= 6.85
- Massima tensione di compressione nel conglomerato= 2.19 MPa
- Massima tensione di trazione nelle barre di armatura= 20.6 MPa

Section name: palo500-0.6\_VI14\_SP1\_rev05-2020.secEC Comb. n. 1 (U.L.S.)

Edge cover long. bars: 6.2 cm Edge cover stirrups: 5.4 cm



<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	58 di 69

### GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

Section Name: palo500-0.6\_VI14\_SP1\_rev05-2020.secEC

(File path: C:\Alessandro\LAVORI ALESSANDRO\EDIN\ITF-Pa-CT\GEOTEAM\Davide\lotto 3\paratie VI14\verifiche strutturali\palo500-0.6\_VI14\_SP1\_rev05-2020.secEC)

Section description:  
 Section type: Beam  
 Reference code: EC2/EC8 Italian Annex  
 Exposure Class: XC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)  
 Stress path: Constant axial force to achieve bending ULS  
 Type of bending: Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)  
 Reference of assigned forces: Principal axes y,y of inertia

### MATERIALS DATA

CONCRETE -

Class:	C25/30
Design compressive strength fcd:	14.2 MPa
Shear reduced compressive strength v1*fcd:	7.1 MPa (6.9)EC2
Coeff Crd,c:	0.1200 (§ 6.2.2(1) EC2)
Coeff K1:	0.1500 (§ 6.2.2(1) EC2)
Coeff v min:	0.0091 Mpa (§ 6.2.2(1) EC2)
Strain at max strength ec2:	0.0020
Ultimate strain ecu:	0.0035
Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
Mean Elastic Modulus Ecm:	31475.8 MPa
Mean tensile strength fctm:	2.6 MPa
Es/Ec in SLS combination:	15.00
Stress limit in SLS Characteristic comb.:	15.0 kN/cm <sup>2</sup>

STEEL -

Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C
Characteristic yield stress fyk:	450.00 MPa
Tensile strength ftk:	450.0 MPa
Design yield stress fyd:	391.3 MPa
Design strength ftd:	391.3 MPa
Design ultimate strain esu:	0.068
Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa
SLS Charact. - Ss Limit:	360.00 MPa

### GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region: Circular  
 Concrete Class: C25/30

Radius: 25.0 cm  
 X center: 0.0 cm  
 Y center: 0.0 cm

### CIRCULAR GENERATIONS OF LONGITUDINAL BARS

Gen.N.	Number of generated bars of the current linear generation
Xcenter	X-Coordinate [cm] center of circle along which are disposed the generated bars
Ycenter	Y-Coordinate [cm] center of circle along which are disposed the generated bars
Radius	Radius [cm] of circle along which are disposed the generated bars
N. Bars	Number of equidistant generated bars

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	59 di 69

Ø	Diameter [mm] of each generated bar				
Gen.N.	Xcenter	Ycenter	Radius	N. Bars	Ø
1	0.0	0.0	18.0	10	16

### SHEAR REINFORCEMENT

Stirrups diameter:	8 mm
Spacing of stirrups:	20.0 cm
Stirrups:	One hoop

### ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION

MX d	Design bending force [kNm] around X axis of reference system		
VY d	Design shear component [kN] parallel to Y reference axis		
Comb.	N d	Mx d	Vy d
1	26.50	39.00	25.10

### SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N	Axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)		
MX	Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.		
Comb.	N	Mx	My
1	26.50	29.43	0.00

### CHECKS RESULTS

#### Checks OK for all assigned combinations

Min edge cover of longitudinal bars:	6.2 cm
Min distance between longitudinal bars:	9.5 cm
Min edge cover of stirrups:	5.4 cm

### ULTIMATE LIMIT STATES - N-MX-MY CAPACITY CHECKS

Check	Result of check
N	Design axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
Mx	Design bending moment [kNm] around x axis principal of inerzia
N ult	Axial force capacity [kN] (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis principal of inertia
S.F.	Safety Factor = vectorial ratio of (N ult,Mx ult,My ult) to (N,Mx,My). Check OK if ratio >=1.00
As Tension	Area [cm <sup>2</sup> ] of bars in tension (beam section). Min area for code is shown between brackets [eq.(9.1N) EC2]

Comb.	Check	N	Mx	N ult	Mx ult	S.F.	As Tension
1	OK	26.50	39.00	26.27	138.58	3.553	14.1(0.0)

### ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	60 di 69

ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Xc max	X-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
Yc max	Y-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Xs max	X-coordinate [cm] of bar in wich is es max
Ys max	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es max
es min	Min strain in steel bars (+ if compressive)
Xs min	X-coordinate [cm] of bar in wich is es min
Ys min	Y-coordinate [cm] of bar in wich is es min

Comb.	ec max	ec*	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00350	-0.00223	0.0	25.0	0.00163	0.0	18.0	-0.00800	0.0	-18.0

#### ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION

a, b, c	Coeff. a, b, c in neutral axis equation: aX+bY+c=0 reference X,Y,O
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [eq.(5.10)EC2]

Comb.	a	b	c	x/d	D
1	0.000000000	0.000267452	-0.003186308	0.304	0.820

#### ULTIMATE LIMIT STATES - SHEAR CHECKS

Stirrup diameter:	8	mm	
Stirrups spacing(pitch):	20.0	cm	< Max spacing for code = 24.0 cm
Area stirrup/m:	5.2	cm <sup>2</sup> /m	> Stirrup area strictly necessary for shear = 0.8cm <sup>2</sup> /m
Area stirrups/m:	5.2	cm <sup>2</sup> /m	> Min. Area stirrup bars (9.5N) = 3.8cm <sup>2</sup> /m

Check	Result of check									
Ved	Design Shear Vy [kN] orthogonal to neutral axis									
Vrd,max	Shear resistance [kN] by concrete diagonal struts [(6.9) EC2]									
Vrd,s	Shear resistance [kN] by stirrups [(6.8) EC2]									
Zm	Main weighted inner lever arm [cm] of strips orthogonal to neutral axis: are not included strips without an extreme compressed. The weights are constituted by the length of lever arm for each strips.									
Dm	Main weighted effective depth [cm] of strips orthogonal to neutral axis.									
bw	Mean weighted shear width [cm] misurate parallel to the neutral axis = = ratio of area of resistant strips to Zmed value									
Ctg	Cot of angle between the inclined concrete struts and beam axis (§6.2.3(1) EC2)									
Ast min	Min area [cm <sup>2</sup> /m] of stirrups: Ast min = 100*rw*bw. In wich rw is given from (9.5N) EC2									
Ast	Area of hoops+cross-ties strictly necessary for shear force[cm <sup>2</sup> /m]									
A.Eff	Effective Area of hoops+cross-ties in the shear direction in current comb. [cm <sup>2</sup> /m]									

Comb.	Check	Ved	Vrd,max	Vrd,s	Zm Dm	bw	Ctg	Ast min	Ast	A.Eff
1	OK	25.10	351.68	171.57	33.8 37.7	42.6	2.50	3.8	0.8	5.2

#### SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete:	Considered if not less than -fctm
Check	Result of Check

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	61 di 69

Reg	Number of current concrete sub-region of the cross section
Sc max (Sc lim)	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
Xc max, Yc max	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Ss min (Ss lim)	Min stress (- if tensile) in steel bars [Mpa]. Code limit stress is shown between brackets
Xs min, Ys min	X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
Ac eff	Effective tension area [cm <sup>2</sup> ] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff	Area of tension steel bars [cm <sup>2</sup> ] within Ac eff (for crack width control)
r eff	Geometrical ratio Ac eff/As eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	2.19 (15.0)	0.0	0.0	-20.6 (360.0)	0.0	---	0	---	---

#### SLS CHARACTERISTIC - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Check	Section is assumed cracked if flexural tensile stress exceeds $f_{ctm}$ in at least one combination
e1	Result of check
e2	Greater concrete tensile strain (tension is -) assessed in cracked section
k1	Lesser concrete tensile strain within the entire section (tension is -) assessed in cracked section
kt	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
k2	= 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q,perm SLS [see eq.(7.9) EC2]
k3	= 0.5 for bending; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
Ø	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
e sm - e cm	Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in Ac eff [eq.(7.11)]
sr max	Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)]
wk	Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = $0.6 S_{max} / E_s$
MX crack	Max final crack [mm] spacing
MY crack	Calculated value [mm] of crack width = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
	First cracking bending moment around X axis[kNm]
	First cracking bending moment around Y axis[kNm]

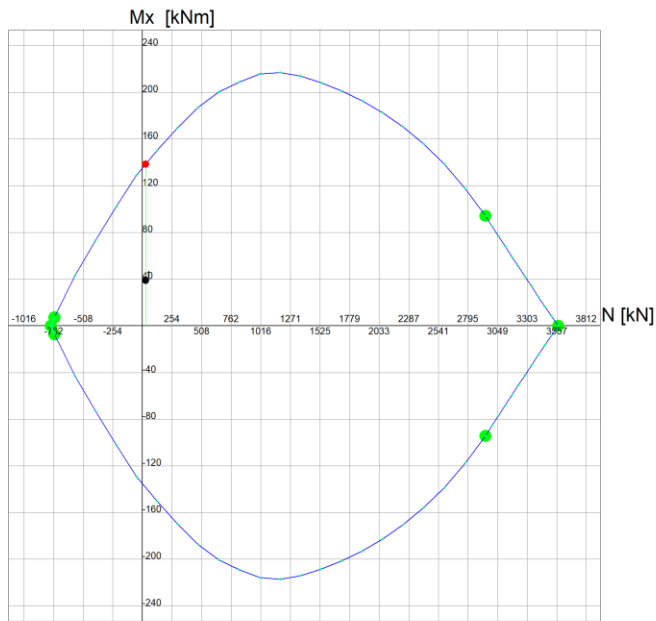
Comb.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	0.00000	0	---	---	---	---	---	38.68	0.00

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	<b>RS3T</b>	<b>30</b>	<b>D09CL</b>	<b>VI1403001</b>	<b>B</b>	<b>62 di 69</b>

**STRENGTH DOMAIN N-Mx (ULTIMATE LIMIT STATE)**

Section name: palo500-0.6\_VI14\_SP1\_rev05-2020.secEC

File path: C:\Alessandro\LAVORI ALESSANDRO\EDIN\ITF-Pa-CT\GEOTEAM\Davide\lotto 3\paratie VI14\verifiche strutturali\palo500-0.6\_VI14\_SP1\_rev05-2020.secEC



Grid spacing  $M_x = 40$  kNm

Grid spacing  $N = 254$  kN

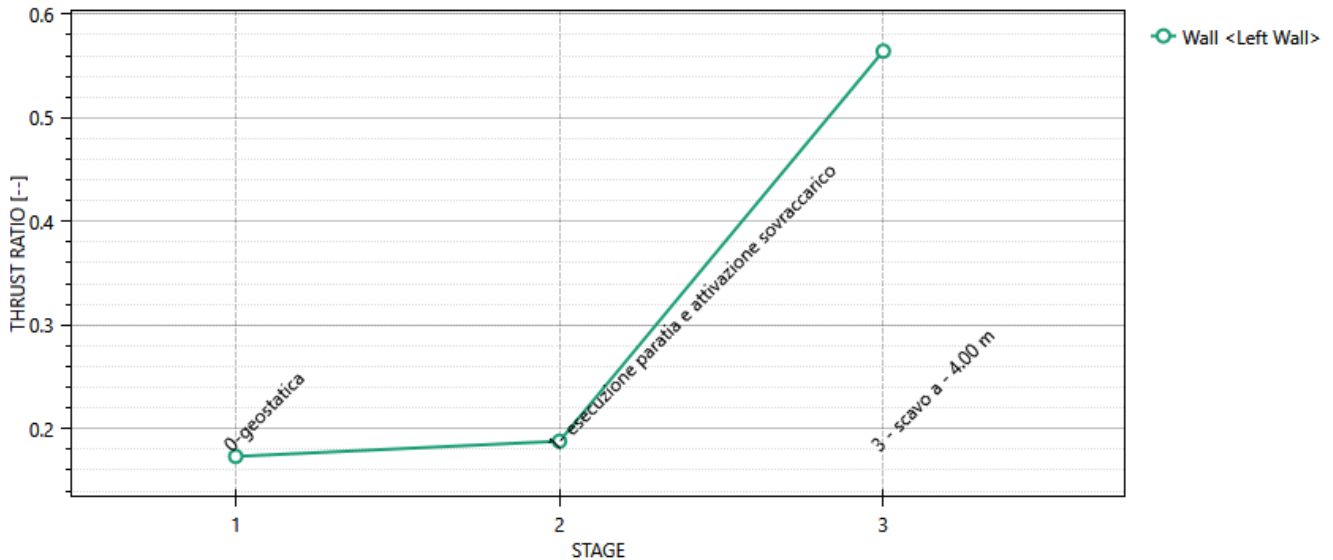
Progetto definitivo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo delle Opere Provvisoriale	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	63 di 69

### 10.3 Verifica SLU-GEO della paratia (combinazione A2+M2+R1)

Il massimo rapporto di mobilitazione della spinta passiva è circa il 56%

#### Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva

D.A. <A2+M2+R1>



#### Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva

Result Title :Wall <Left Wall>

STAGE THRUST\_RATIO [--]

1	0.173
2	0.188
3	0.564

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	64 di 69

## 11. VERIFICHE SLU – UPL

Il § 6.2.4.2. del DM 17.01.2018 specifica che le opere geotecniche devono essere verificate, ove ricorrano le condizioni, anche che nei riguardi di possibili stati limite di sollevamento o di sifonamento.

A tal fine, nella valutazione delle pressioni interstiziali e delle quote piezometriche caratteristiche, si devono assumere le condizioni più sfavorevoli, considerando i possibili effetti delle condizioni stratigrafiche.

Per la stabilità al sollevamento deve risultare che il valore di progetto dell'azione instabilizzante ( $V_{inst,d}$ ) ovvero della risultante delle pressioni idrauliche ottenuta considerando separatamente la parte permanente ( $G_{inst,d}$ ) e quella variabile ( $Q_{inst,d}$ ), sia non maggiore della combinazione dei valori di progetto delle azioni stabilizzanti ( $G_{stb,d}$ ) e delle resistenze ( $R_d$ ), ovvero:

$$V_{inst,d} \leq G_{stb,d} + R_d \quad [6.2.4]$$

$$V_{inst,d} = G_{inst,d} + Q_{inst,d} \quad [6.2.5]$$

Per le verifiche di stabilità al sollevamento, i relativi coefficienti parziali sulle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.III.

Tab. 6.2.III – Coefficienti parziali sulle azioni per le verifiche nei confronti di stati limite di sollevamento

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	Sollevamento (UPL)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9
	Sfavorevole		1,1
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8
	Sfavorevole		1,5
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0
	Sfavorevole		1,5

<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  $\gamma_{G1}$

Al fine del calcolo della resistenza di progetto  $R_d$ , tali coefficienti devono essere combinati in modo opportuno con quelli relativi ai parametri geotecnici ( $M_2$ ).

Ove necessario, il calcolo della resistenza va eseguito in accordo a quanto indicato negli specifici paragrafi della normativa dedicata alle fondazioni su pali e per gli ancoraggi.



<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	65 di 69

In presenza di scavi a valle di opere di sostegno di terreni in falda, quando il piano finale di scavo da progetto è inferiore al livello della falda in sito, si configurano due potenziali meccanismi di instabilità della zona a valle delle opere, e che vanno indagati, ovvero :

- Instabilità del fondo scavo per “sifonamento”
- Instabilità del fondo scavo per “sollevamento”

I fenomeni sono legati essenzialmente ai processi di filtrazione che si innescano verso la zona di fondo scavo a completamento degli scavi, che avvengono “a breve termine” per terreni a grana grossa, ovvero a “lungo termine” per terreni a grana fine, o comunque, in quest’ultimo caso, alla sovrappressione di tipo idrostatico che agisce a piede del cuneo di terreno potenzialmente instabile immediatamente a ridosso dell’opera.

Terzaghi ha osservato che il fenomeno di instabilità si estende a tutta la profondità  $D$  di infissione dell’opera, per una larghezza pari a  $D/2$  e che l’andamento delle sovrappressioni interstiziali, secondo lo schema grafico di figura seguente:

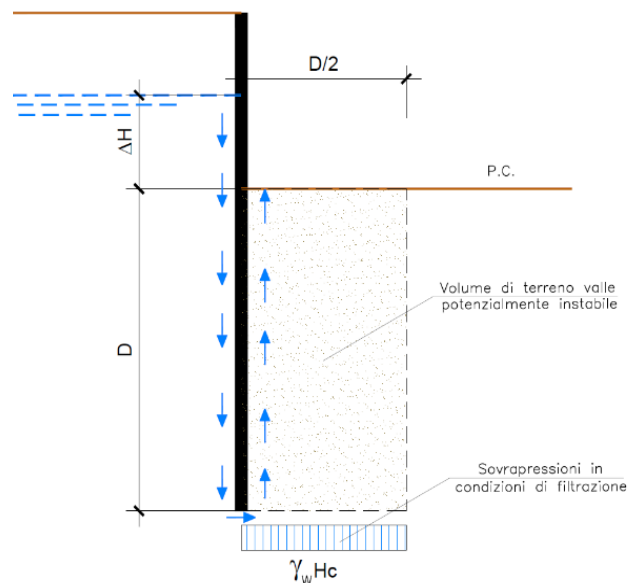


Figura 10: Schema di filtrazione per effetto di scavi sotto falda a valle di opere di sostegno

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisoriale</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	66 di 69

In prima approssimazione, nell'ipotesi di mezzo omogeneo, il valore della sovrappressione  $H_c$  al piede del diaframma si può ipotizzare sia costante per una larghezza  $D/2$  e pari ad  $\gamma_w \cdot H_c$ , dove  $H_c$  si ricava dall'equazione:  $H_c = i_e D$  essendo  $i_e$  il gradiente idraulico medio lungo il percorso di filtrazione, valutabile in via semplificata come di seguito:  $i_e = \Delta H / (\Delta H + 2D)$  e quindi:

$$H_c = (\Delta H D) / (\Delta H + 2D).$$

In questa condizione, il fattore di sicurezza "al sollevamento", può essere espresso, a meno dei coefficienti parziali da applicare alle azioni stabilizzanti ed destabilizzanti prescritte dalla normativa come già definiti, può essere espresso come segue:

$$FS = \frac{W'}{S_w} = \frac{\gamma' \cdot D \cdot D / 2}{\gamma_w \cdot H_c \cdot D / 2} = \frac{\gamma' \cdot D}{\gamma_w \cdot H_c}$$

Ovvero, tenendo conto delle espressioni precedenti, in termini di gradienti idraulici :  $FS = i_c / i_e$ , avendo posto:

$$i_c = \gamma' / \gamma_w \text{ (gradiente idraulico critico)}$$

$$i_e = H_c / D \text{ (gradiente idraulico medio)}$$

In aggiunta al meccanismo di sollevamento, la normativa prescrive di effettuare verifiche specifiche nei riguardi del rischio di "sifonamento", che riguarda specificamente le condizioni di filtrazione che si innescano a valle degli scavi, per effetto dei quali, a seguito dell'incremento delle pressioni interstiziali nella zona di valle, si può determinare un annullamento delle tensioni verticali efficaci e quindi la completa perdita di resistenza del terreno che determina un trasporto delle particelle da parte dell'acqua in movimento, dando origine ad un fenomeno progressivo di erosione che conduce al collasso della struttura del terreno.

Si definisce fattore di sicurezza globale nei confronti del sifonamento il rapporto tra il gradiente idraulico critico e quello che si ha in esercizio ossia:  $FS = i_c / i_e$  dove  $i_c$  ed  $i_e$  assumono le espressioni già definite in precedenza.

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	67 di 69

## VERIFICA A SIFONAMENTO FONDO SCAVO

In condizioni di flusso prevalentemente verticale:

- a) nel caso di frontiera di efflusso libera, la verifica a sifonamento si esegue controllando che il gradiente idraulico  $i$  risulti non superiore al gradiente idraulico critico  $i_c$  diviso per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 3$ , se si assume come effetto delle azioni il gradiente idraulico medio, e per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 2$  nel caso in cui si consideri il gradiente idraulico di efflusso;
- b) in presenza di un carico imposto sulla frontiera di efflusso, la verifica si esegue controllando che la pressione interstiziale in eccesso rispetto alla condizione idrostatica risulti non superiore alla tensione verticale efficace calcolata in assenza di filtrazione, divisa per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 2$ .

In tutti gli altri casi il progettista deve valutare gli effetti delle forze di filtrazione e garantire adeguati livelli di sicurezza, da prefissare e giustificare esplicitamente.

Si riportano i risultati delle analisi per la verifica a sollevamento e sifonamento.

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D03CL	VI1403001	B	68 di 69

### 11.1 Sezione di calcolo Pile P1-P2

$\Delta H =$	4.5	m	(differenza di carico rispetto al fondo scavo)	
$D =$	5.5	m	(infissione paratia/lunghezza colonna di intasamento sotto fondo scavo)	
$\gamma' =$	10	kN/m <sup>3</sup>		$L_{colonna\_jet} = 11$ m
$\gamma_w =$	10	kN/m <sup>3</sup>	(peso di volume acqua)	
$\gamma_{G1} =$	0.9		(coefficiente parziale azioni permanenti favorevoli)	
$\gamma_f =$	0.9		(coefficiente parziale resistenze)	
$G_{stb,d} =$	136	kN/m	$\gamma_{G1} \cdot (\gamma' \cdot D \cdot D / 2)$	
$R_k =$	0	kN/m	(resistenza, valore caratteristico)	
$R_d =$	0	kN/m	(resistenza, valore di progetto)	
$A_{stb,d} =$	136	kN/m	(azione stabilizzante complessiva, valore caratteristico)	
$\gamma_{G1} =$	1.1		(coefficiente parziale azioni permanenti sfavorevoli)	
$H_c =$	1.60	m	(sovrappressione idrodinamica espressa in metri d'acqua)	$H_c = (\Delta H \cdot D) / (\Delta H + 2D)$
$A_{instb,d} =$	48.3	kN/m		
$i_e =$	0.290		(gradiente idraulico medio lungo il percorso di filtrazione)	
$FS =$	2.82		$FS = \frac{W'}{S_w} = \frac{\gamma' \cdot D \cdot D / 2}{\gamma_w \cdot H_c \cdot D / 2} = \frac{\gamma' \cdot D}{\gamma_w \cdot H_c}$	VERIFICA SODDISFATTA
			(fattore di sicurezza al sollevamento del fondo scavo)	

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1403001	B	69 di 69

## 11.2 Sezione di calcolo Spalla SP1

$\Delta H =$	2	m	(differenza di carico rispetto al fondo scavo)		
$D =$	4.5	m	(infissione paratia/lunghezza colonna di intasamento sotto fondo scavo)		
$\gamma' =$	10	kN/m <sup>3</sup>		$L_{colonna\_jet} =$	7.5 m
$\gamma_w =$	10	kN/m <sup>3</sup>	(peso di volume acqua)		
$\gamma_{G1} =$	0.9		(coefficiente parziale azioni permanenti favorevoli)		
$\gamma_f =$	0.9		(coefficiente parziale resistenze)		
$G_{stb,d} =$	91	kN/m	$\gamma_{G1} \cdot (\gamma' \cdot D \cdot D / 2)$		
$R_k =$	0	kN/m	(resistenza, valore caratteristico)		
$R_d =$	0	kN/m	(resistenza, valore di progetto)		
$A_{stb,d} =$	91	kN/m	(azione stabilizzante complessiva, valore caratteristico)		
$\gamma_{G1} =$	1.1		(coefficiente parziale azioni permanenti sfavorevoli)		
$H_c =$	0.82	m	(sovrappressione idrodinamica espressa in metri d'acqua)		$H_c = (\Delta H \cdot D) / (\Delta H + 2D)$
$A_{instb,d} =$	20.3	kN/m			
$i_e =$	0.182		(gradiente idraulico medio lungo il percorso di filtrazione)		
$FS =$	4.50		$FS = \frac{W'}{S_w} = \frac{\gamma' \cdot D \cdot D / 2}{\gamma_w \cdot H_c \cdot D / 2} = \frac{\gamma' \cdot D}{\gamma_w \cdot H_c}$		VERIFICA SODDISFATTA
			(fattore di sicurezza al sollevamento del fondo scavo)		

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.