

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)

VI13 - Viadotto ferroviario a Singolo binario

Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali

SCALA:

-

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

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzazio Da
A	Emissione Esecutiva	G. Grimaldi	Gen. 2020	M.D'effremo	Gen. 2020	A.Barreca	Gen. 2020	A. Vittorini Mag. 2020 ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti Dott. Ing. Angelo Vittozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma N° A20783
B	1° agg. a consegna CSLLPP	G. Grimaldi	Mag. 2020	G.Meneschincheri	Mag. 2020	A.Barreca	Mag. 2020	

File: [RS3T30D09CLV11303001B.doc](#)

n. Elab.: **09_328**

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO VI13 - Viadotto ferroviario a Singolo binario					
	<i>Progetto definitivo</i> <i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisoriale</i>	COMMESSA RS3T	LOTTO 30	CODIFICA D03CL	DOCUMENTO VI1303001	REV. 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 provvisoriale	7
4.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	8
5.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	10
5.1	TERRENO.....	10
5.2	JET GROUTING	11
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	RISULTATI E VERIFICHE DELLA PARATIA	31
8.2.1	RISULTATI (COMBINAZIONE SLE).....	31
8.2.2	RISULTATI E VERIFICHE SLU-STR PARATIA (combinazione A1+M1+R1).....	32
8.2.3	RISULTATI E VERIFICHE SLU-STR PER IL SISTEMA DI CONTRASTO (combinazione A1+M1+R1).....	40

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO VI13 - Viadotto ferroviario a Singolo binario</p>					
<p><i>Progetto definitivo</i> <i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i></p>	<p>COMMESSA RS3T</p>	<p>LOTTO 30</p>	<p>CODIFICA D09CL</p>	<p>DOCUMENTO VI1303001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 3 di 52</p>

8.2.4 Verifica SLU-GEO della paratia (combinazione A2+M2+R1).....	48
9. VERIFICHE SLU – UPL.....	49

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisorie</i>	RS3T	30	D03CL	VI1303001	B	4 di 52

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 ϕ 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	VI1303001	B	5 di 52

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

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	6 di 52

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	VI1303001	B	7 di 52

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: ≥ 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	VI1303001	B	8 di 52

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

4. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il *Viadotto VI13* si estende dal km 34+729,32 al km 34+827,27 (Singolo binario) per uno sviluppo complessivo di circa 97.95 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).

Le spalle sono realizzate in c.a. gettato in opera e sono di tipo tradizionale. Le pile sono cave di dimensioni pari a 3.30/3.40x7.00m rispettivamente per la P1 e la P2.

Le fondazioni del *Viadotto VI13*, 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	VI1303001	B	9 di 52

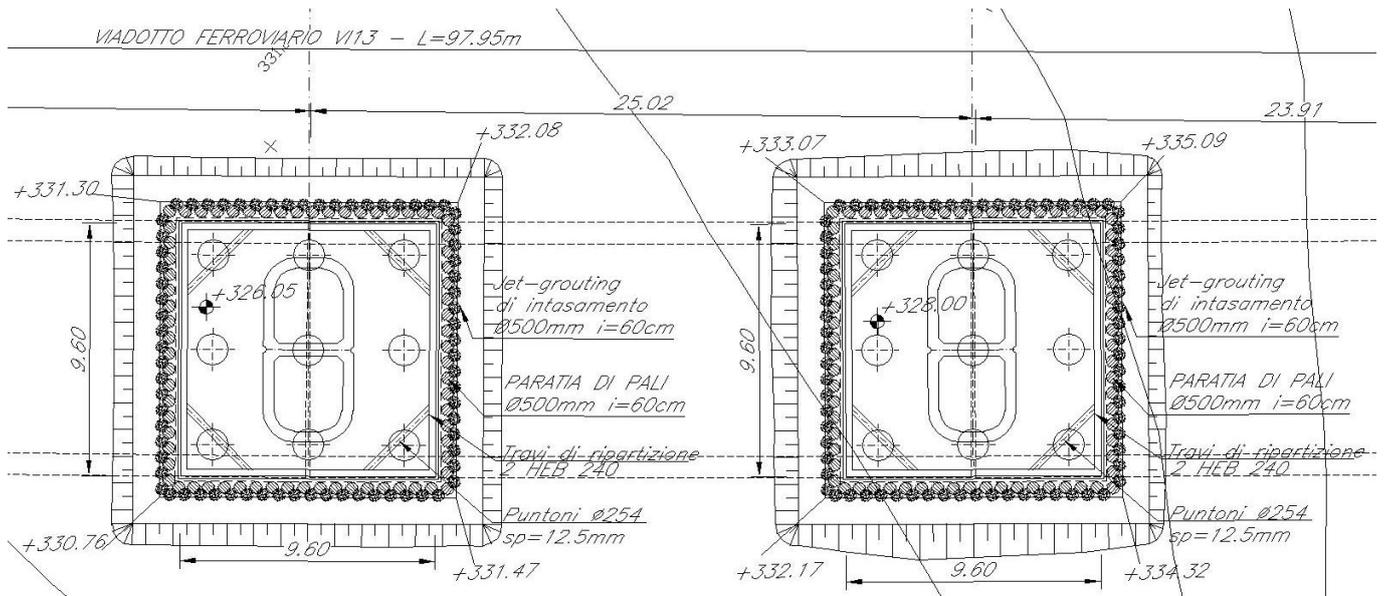


Figura 1: planimetria di scavo tipo con indicazione delle opere di sostegno

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	11 di 52

5.2 Jet grouting

Per il jet grouting sono state assunte le seguenti caratteristiche:

- $\gamma_{jet} = \gamma_{terreno\ trattato}$
- $c'_{jet} = 200\ kPa$
- $\varphi' = \varphi'_{terreno\ trattato}$
- $E = 500\ MPa$
- $K_{jet}\ (m/s) = k_{terreno}/100$
- $\delta/\varphi' = 0$ (per l'attrito di interfaccia jet-grouting/acciaio; 0.5 per l'attrito di interfaccia jet-grouting/cls)

Si fa notare che tali valori non sono stati utilizzati nelle analisi in quanto non si prevede di realizzare un tampone di fondo.

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisorie</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	12 di 52

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.

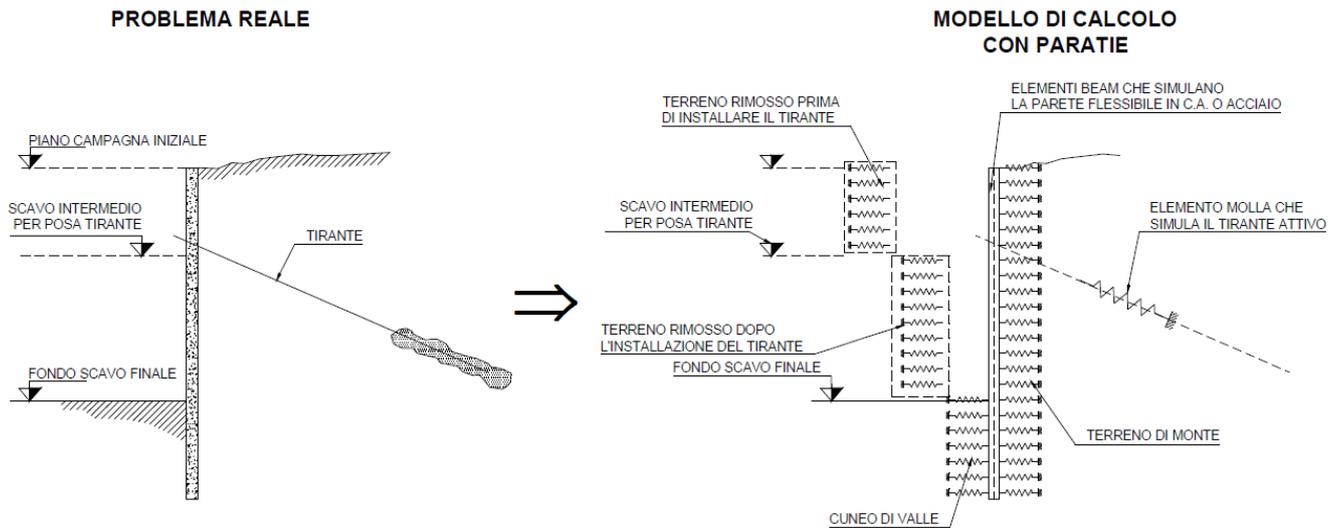
Lo studio del comportamento di un elemento di paratia inserito nel terreno viene effettuato tenendo conto della deformabilità dell'elemento stesso, considerato in regime elastico, e soggetto alle azioni derivanti dalla spinta dei terreni, dalle eventuali differenze di pressione idrostatiche, dalle spinte 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	VI1303001	B	13 di 52



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 (σ'_h) e la tensione verticale efficace (σ'_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 Provvisorie</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	14 di 52

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 Δ , 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 Δ 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.

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisoriale</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	15 di 52

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 (≤ 1) associata al bulbo di ancoraggio.

Progetto definitivo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	16 di 52

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 γ_R opera direttamente sulla resistenza del sistema.

I coefficienti parziali di sicurezza, γ_{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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO VI13 - Viadotto ferroviario a Singolo binario					
	<i>Progetto definitivo</i> <i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	COMMESSA RS3T	LOTTO 30	CODIFICA D09CL	DOCUMENTO VI1303001	REV. B

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	VI1303001	B	18 di 52

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

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

⁽¹⁾ 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:

γ_{G1} coefficiente parziale dei carichi permanenti G_1 ;

γ_{G2} coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali G_2 ;

γ_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	VI1303001	B	19 di 52

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 γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	γ_φ	1,0	1,25
Coazione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_r	γ_γ	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	VI1303001	B	20 di 52

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 γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ 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 γ_{G1}

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO VI13 - Viadotto ferroviario a Singolo binario					
	<i>Progetto definitivo</i> <i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	COMMESSA RS3T	LOTTO 30	CODIFICA D09CL	DOCUMENTO VI1303001	REV. 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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA PROGETTO DEFINITIVO VI13 - Viadotto ferroviario a Singolo binario					
<i>Progetto definitivo</i> <i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	COMMESSA RS3T	LOTTO 30	CODIFICA D09CL	DOCUMENTO VI1303001	REV. B	FOGLIO 22 di 52

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	VI1303001	B	23 di 52

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
- $L = 10.0$ m lunghezza del palo

GEOMETRIA SEZIONI DI CALCOLO

La massima altezza di scavo è di 5.00 m. Tale valore è stato incrementato rispetto a quello nominale di 0.5 m.

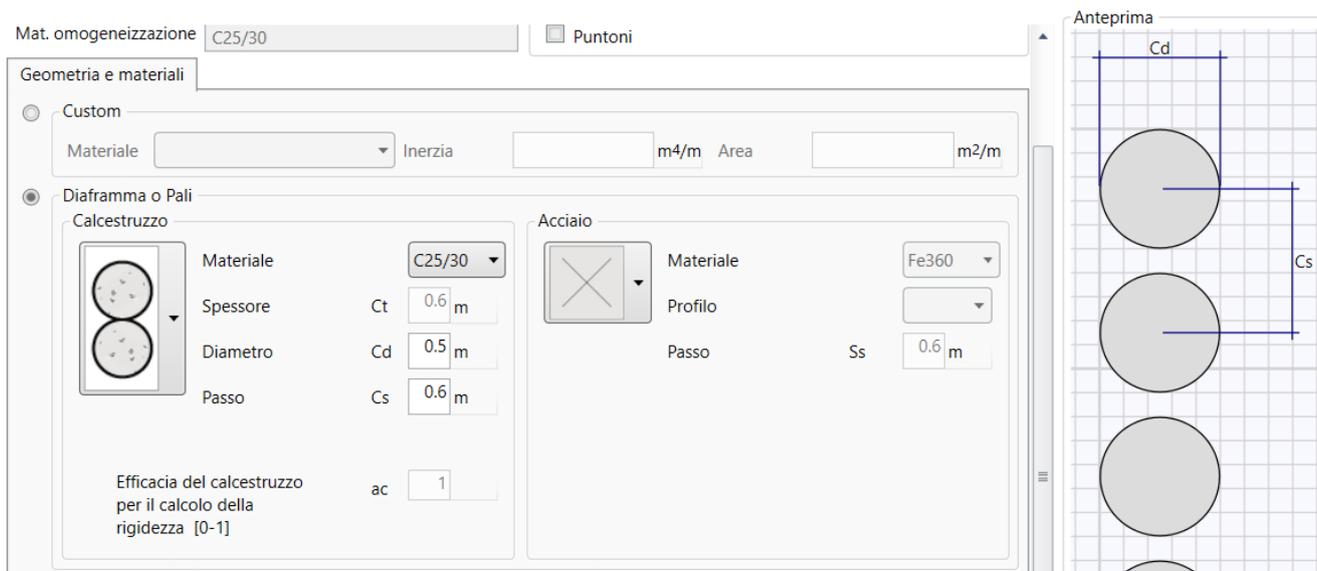
Nel calcolo si è tenuto conto del carico accidentale dovuto ai mezzi di cantiere $q_{acc} = 10$ kPa uniformemente distribuito su un'area di impronta di 5.0 m posto in prossimità dell'estradosso della paratia. Tale sovraccarico è stato considerato diffuso in profondità con un angolo di 45°.

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	5.5	[m]
Profondità di infissione	4.50	[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>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	24 di 52



Sistema di puntone (sezioni circolari cave in acciaio S275)

- tubolare cavi $\varnothing = 254$ mm
- Spessore = 12.5 mm
- Inclinazione = 45°
- Travi di ripartizione: 2xHEB240

La rigidità 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 mezziera 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 rigidità $k \approx 75000$ 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	VI1303001	B	25 di 52

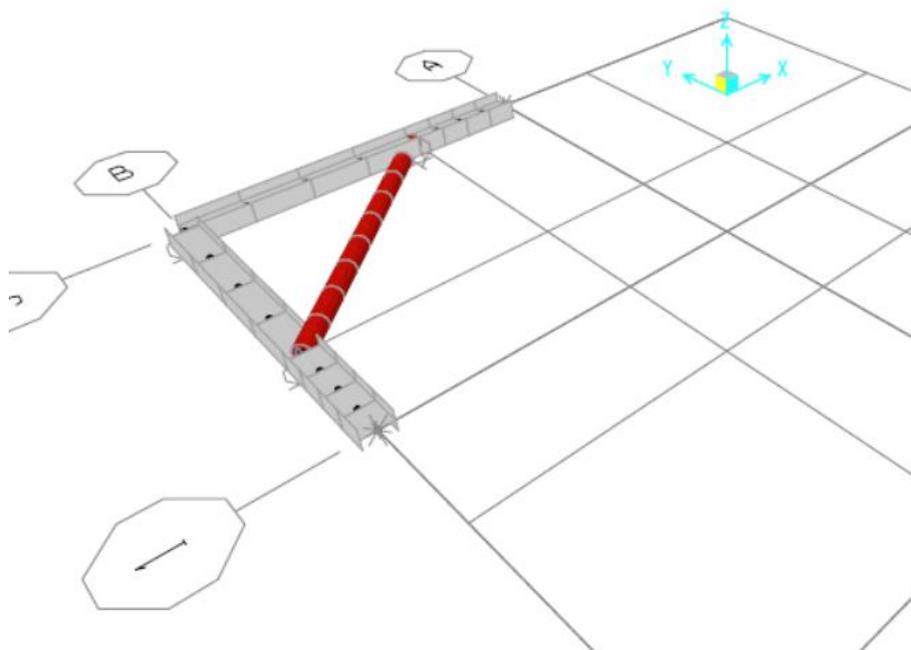
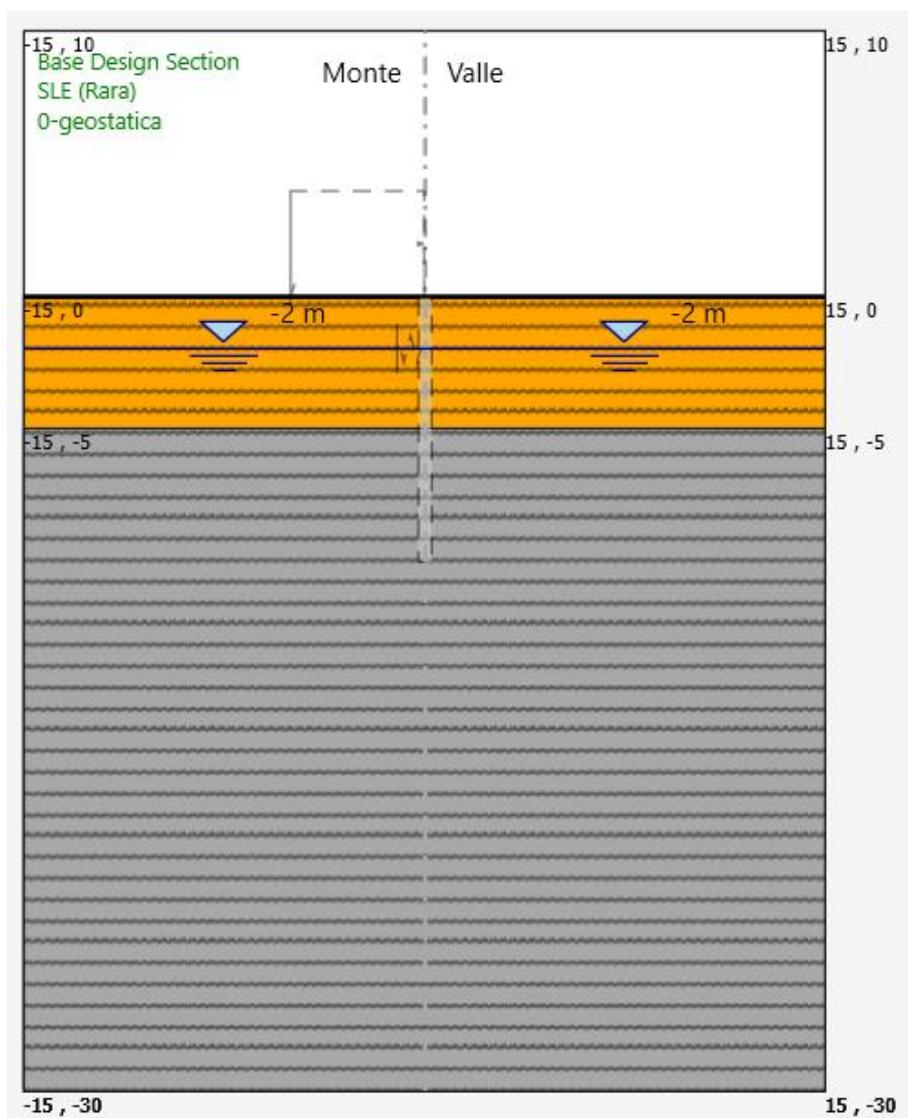


Figura 2: schema statico utilizzato nel codice di calcolo SAP2000 per la valutazione della rigidezza da assegnare al sistema di controventamento della paratia

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.

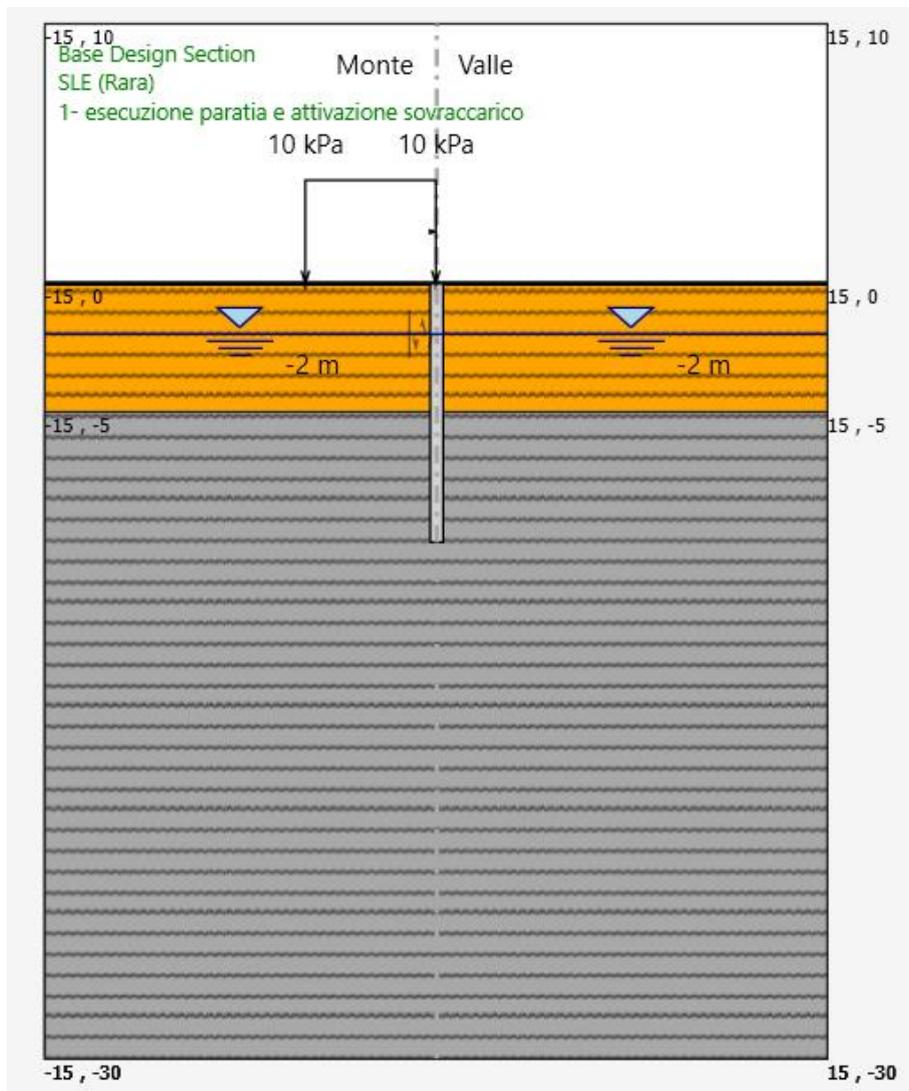
<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D03CL	VI1303001	B	26 di 52

FASE 0: Generazione stato tensionale iniziale



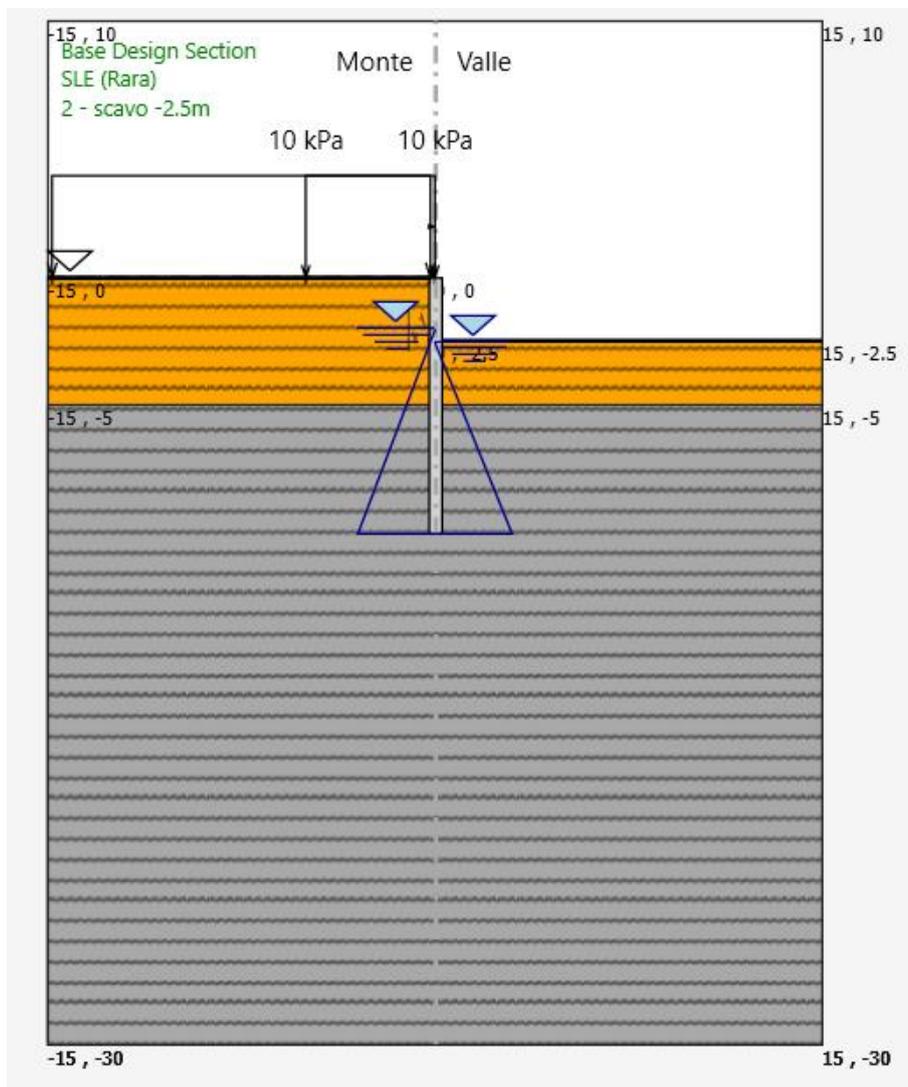
<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	27 di 52

FASE 1: Esecuzione della paratia e attivazione dei sovraccarichi



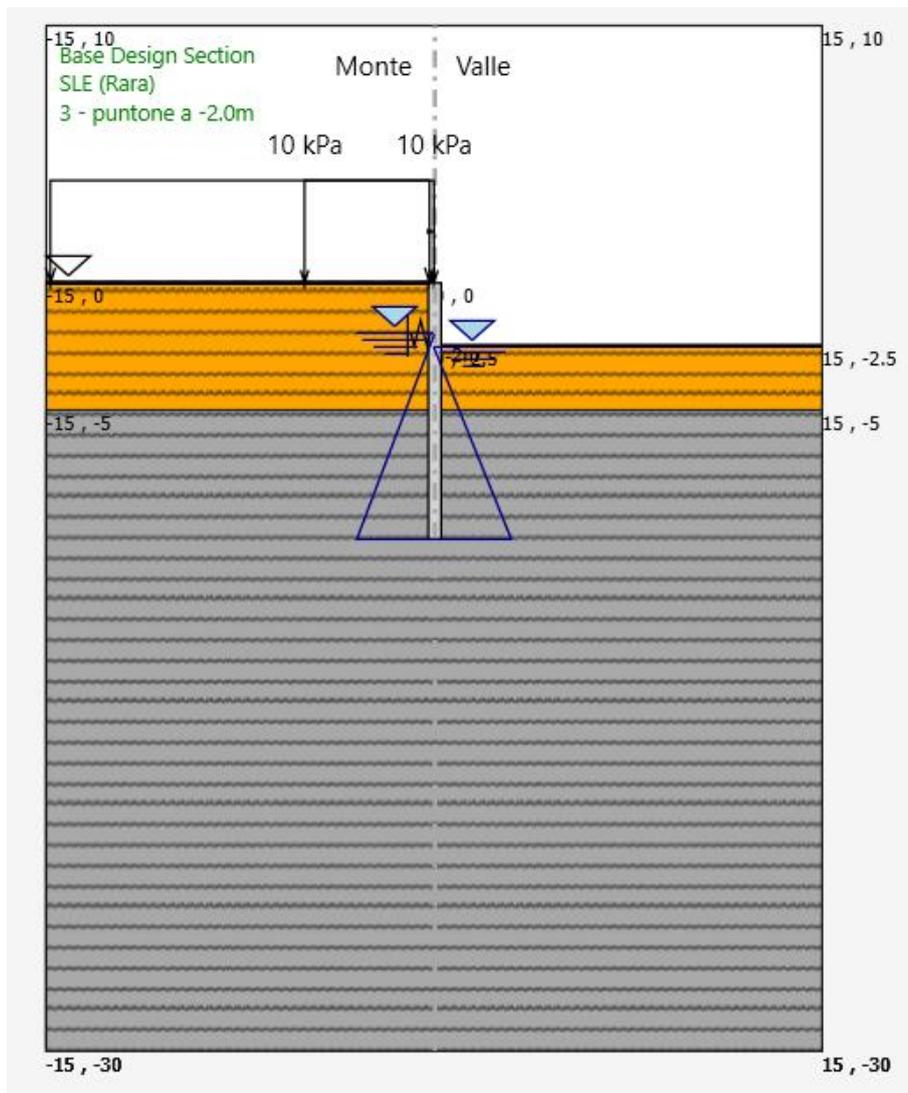
<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	28 di 52

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



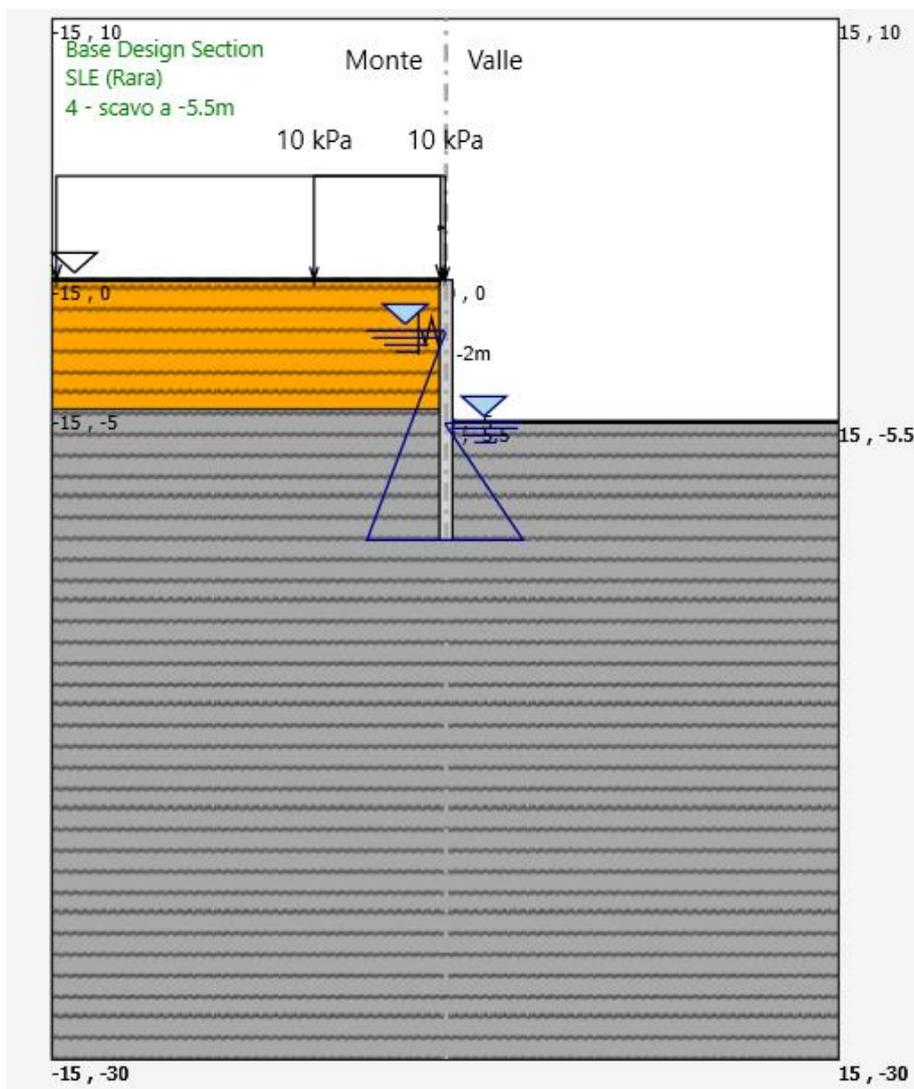
<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	29 di 52

FASE 3: Installazione puntoni 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	VI1303001	B	30 di 52

FASE 4: Scavo fino ad una profondità di 5.5 m dal p.c



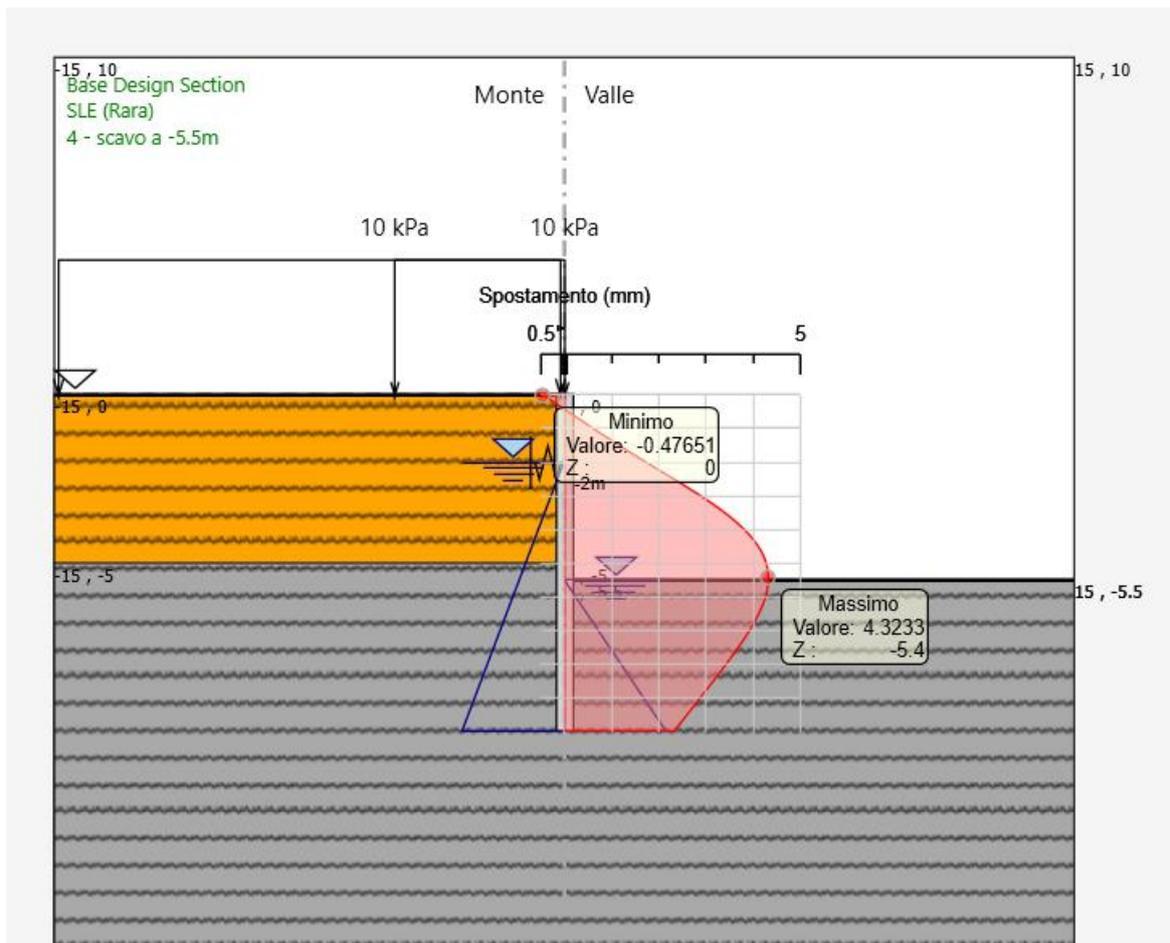
<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	31 di 52

8.2 RISULTATI E VERIFICHE DELLA PARATIA

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

8.2.1 RISULTATI (COMBINAZIONE SLE)

Dall'involuppo degli spostamenti in combinazione SLE si osserva che lo spostamento massimo orizzontale della paratia risulta pari a circa 4 mm.



Progetto definitivo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo delle Opere Provisionali	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	32 di 52

8.2.2 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 4.6 m da testa palo e risulta pari a 110 kNm/m.

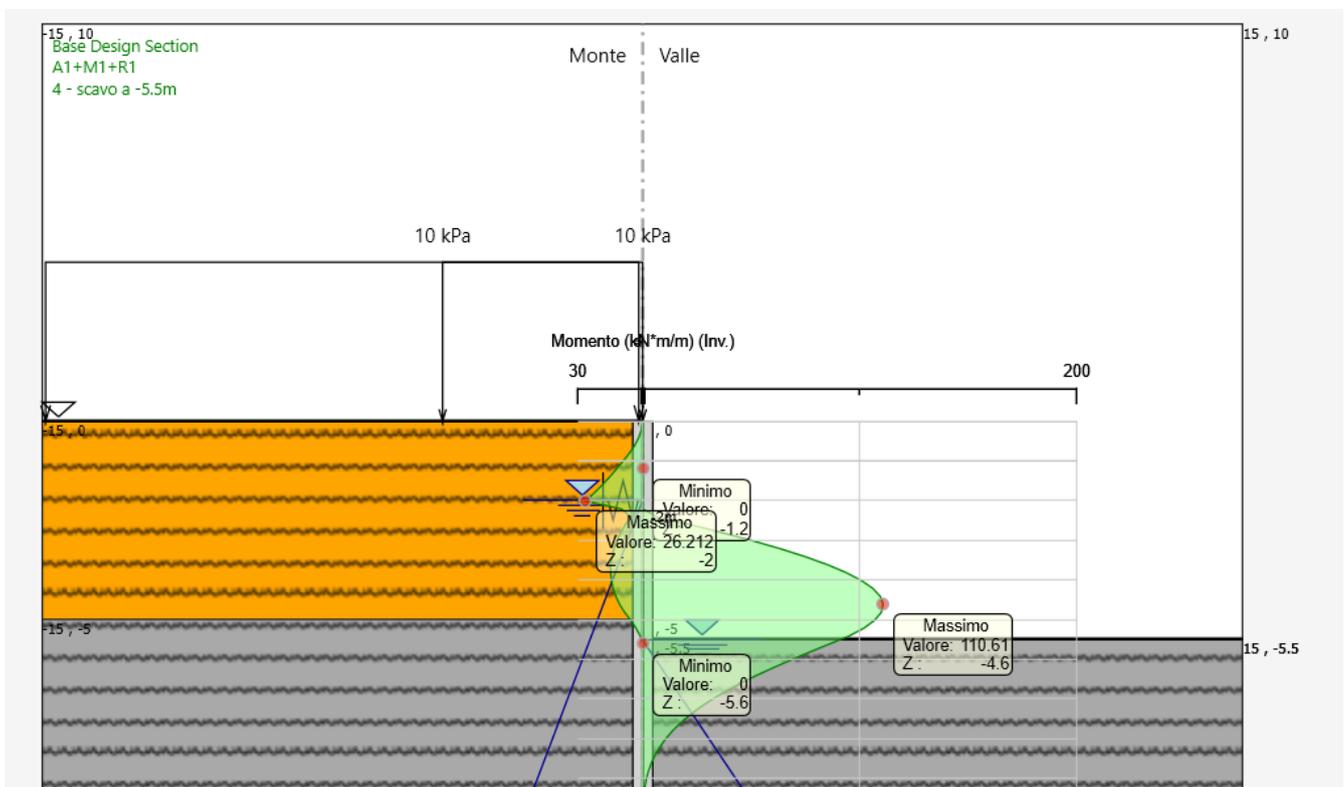


Figura 3: momento flettente allo SLU-STR

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	33 di 52

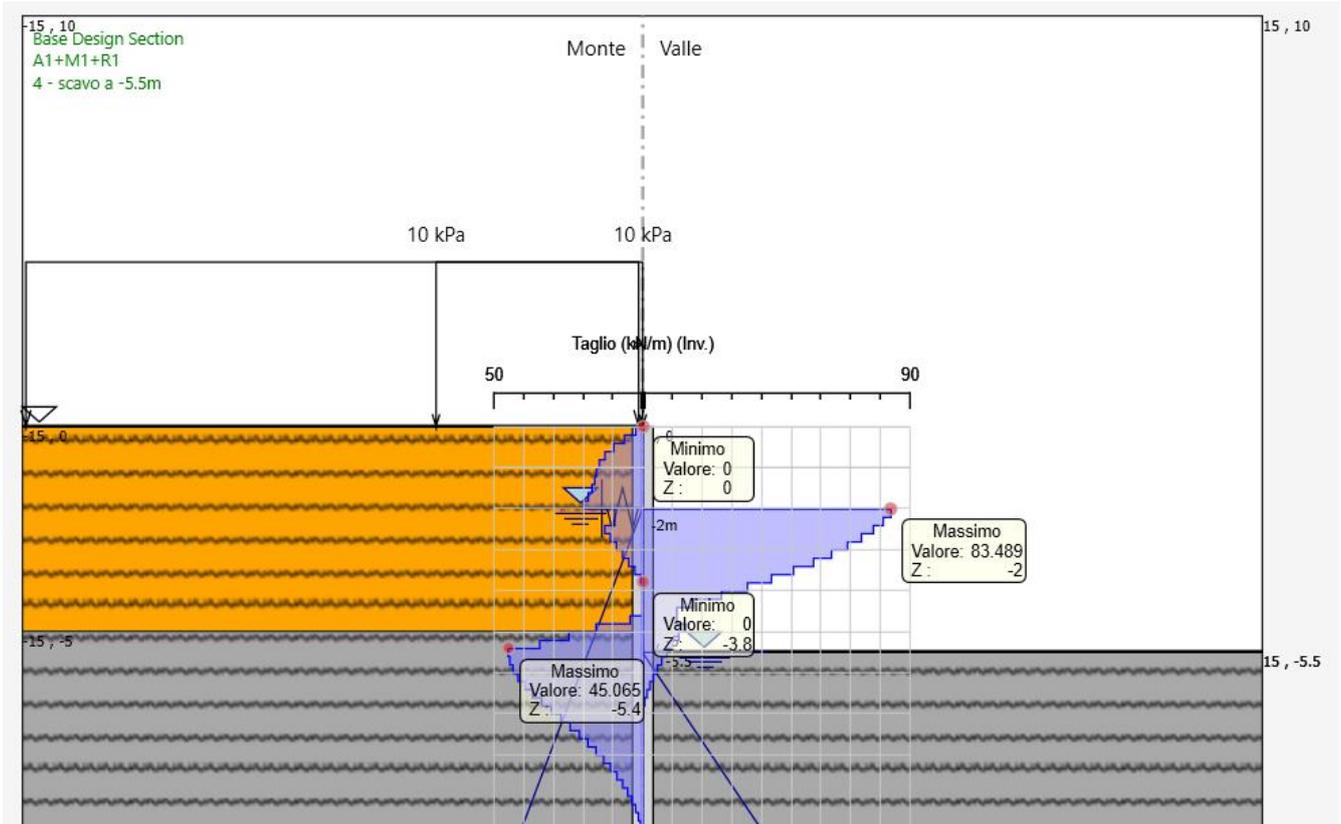


Figura 4: forza di taglio allo SLU-STR

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	34 di 52

Paratia di pali presidio scavi pila P1&2 Viadotto VI13

combinazione (-)	M (kN*m/m)	profondità (m)	V (kN/m)
SLU-STR	110.0	4.6	85.0
SLE	84.0	4.6	-

Valori per verifiche strutturali

combinazione (-)	D _{palo} (m)	i _{palo} (m)	M (kN*m)	N (kN)	V (kN)
SLU-STR	0.5	0.6	66.0	22.6	51.0
SLE	0.5	0.6	50.4	22.6	-

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: 10Ø16 (percentuale di armatura= 1.02%)
- Armature di taglio: spirale Ø8/20
- Fattore di sicurezza allo SLU (pressoflessione)= 2.09
- Fattore di sicurezza allo SLU (taglio)= 4.40
- Massima tensione di compressione nel conglomerato= 7.08 MPa
- Massima tensione di trazione nelle barre di armatura= 187.4 MPa

GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION

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 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

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	35 di 52

Ultimate strain ϵ_{cu} : 0.0035
 Compression diagram stress-strain: Parabola-Rettangle
 Mean Elastic Modulus E_{cm} : 31475.8 MPa
 Mean tensile strength f_{ctm} : 2.6 MPa
 E_s/E_c in SLS combination: 15.00
 Stress limit in SLS Characteristic comb.: 15.0 kN/cm²

STEEL - Longitudinal Bars and Stirrups: B450C
 Characteristic yield stress f_{yk} : 450.00 MPa
 Tensile strength f_{tk} : 450.0 MPa
 Design yield stress f_{yd} : 391.3 MPa
 Design strength f_{td} : 391.3 MPa
 Design ultimate strain ϵ_{su} : 0.068
 Mean elastic modulus E_s : 200000.0 MPa
 SLS Charact. - S_s 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
 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: 10 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	22.60	66.00	61.00

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	36 di 52

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	22.60	50.40	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:	5.2 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 [cm ²] 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	22.60	66.00	22.47	138.14	2.093	14.1(0.0)

ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES

Parameter	Description
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	-0.00225	0.0	25.0	0.00162	0.0	18.0	-0.00803	0.0	-18.0

ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION

Parameter	Description
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]

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	37 di 52

Comb.	a	b	c	x/d	D
1	0.000000000	0.000268224	-0.003205610	0.303	0.819

ULTIMATE LIMIT STATES - SHEAR CHECKS

Stirrup diameter:	10	mm	
Stirrups spacing(pitch):	20.0	cm	< Max spacing for code = 24.0 cm
Area stirrup/m:	8.1	cm ² /m	> Stirrup area strictly necessary for shear = 1.8cm ² /m
Area stirrups/m:	8.1	cm ² /m	> Min. Area stirrup bars (9.5N) = 3.8cm ² /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 ² /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 ² /m]
A.Eff	Effective Area of hoops+cross-ties in the shear direction in current comb. [cm ² /m]

Comb.	Check	Ved	Vrd,max	Vrd,s	Zm Dm	bw	Ctg	Ast min	Ast	A.Eff
1	OK	61.00	351.84	268.92	33.8 37.7	42.6	2.50	3.8	1.8	8.1

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete:	Considered if not less than -fctm
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 ²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff	Area of tension steel bars [cm ²] 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	7.08 (15.0)	0.0	0.0	-187.4 (360.0)	0.0	-18.0	341	6.0	0.018

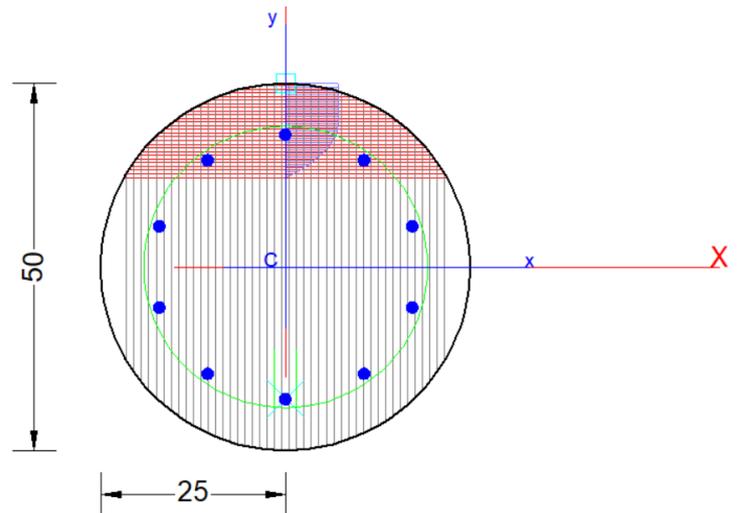
SLS CHARACTERISTIC - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Check	Section is assumed cracked if flexural tensile stress exceeds fctm in at least one combination
Check	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

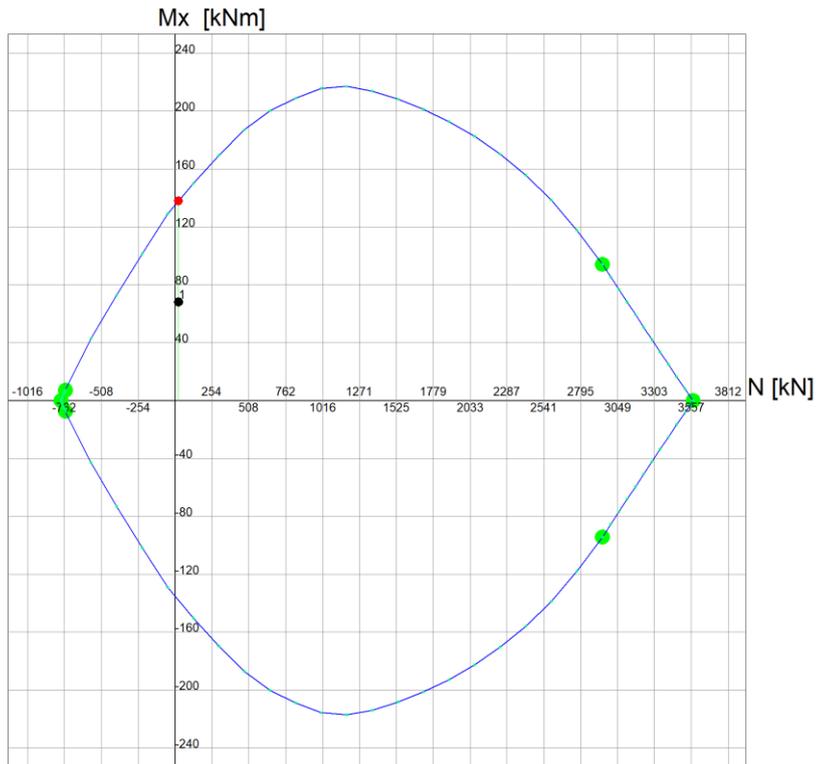
<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	38 di 52

k_4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
 \varnothing Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in A_c 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) = $0.6 S_{max} / E_s$
 $s_{r\ max}$ Max final crack [mm] spacing
 w_k Calculated value [mm] of crack width = $s_{r\ max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [eq.(7.8)]. Limit value of w_k is shown between brackets
 $M_{X\ crack}$ First cracking bending moment around X axis[kNm]
 $M_{Y\ crack}$ First cracking bending moment around Y axis[kNm]

Comb.	Check	e1	e2	k2	\varnothing	$e_{sm} - e_{cm}$	$s_{r\ max}$	w_k	$M_{x\ crack}$	$M_{y\ crack}$
1	OK	-0.00118	0	0.500	16.0	0.00056 (0.00056)	331	0.186	37.55	0.00



<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	39 di 52

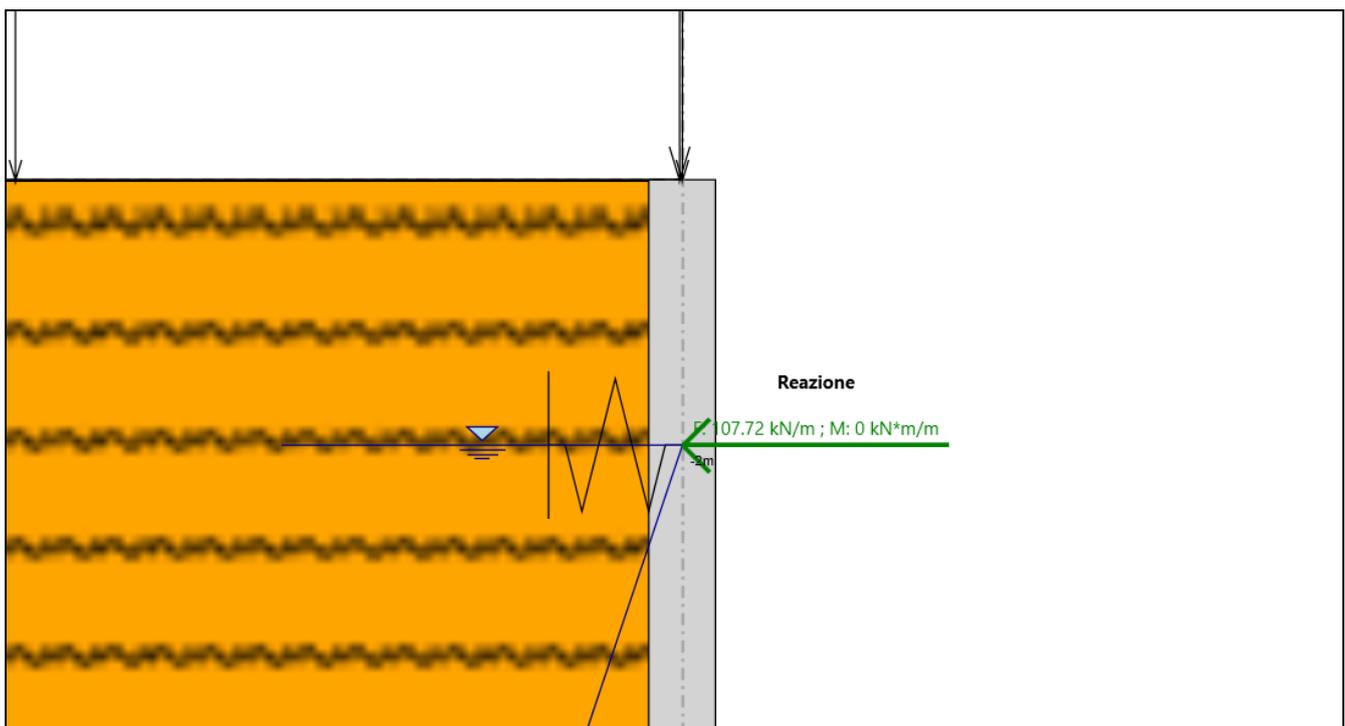


Grid spacing Mx = 40 kNm Grid spacing N = 254 kN

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	40 di 52

8.2.3 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 107 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.



Riepilogo delle sollecitazioni:

- Max momento sulla singola trave di ripartizione= $0.5 \cdot 153 = 76.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$
- Taglio max della singola trave di ripartizione= $0.5 \cdot 203 = 101.5 \text{ kN}$
- Forza assiale della singola trave di ripartizione= $0.5 \cdot 203 = 101.5 \text{ kN}$
- Sforzo assiale nei puntone= kN

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	41 di 52

- Luce puntoni = 4.75 m

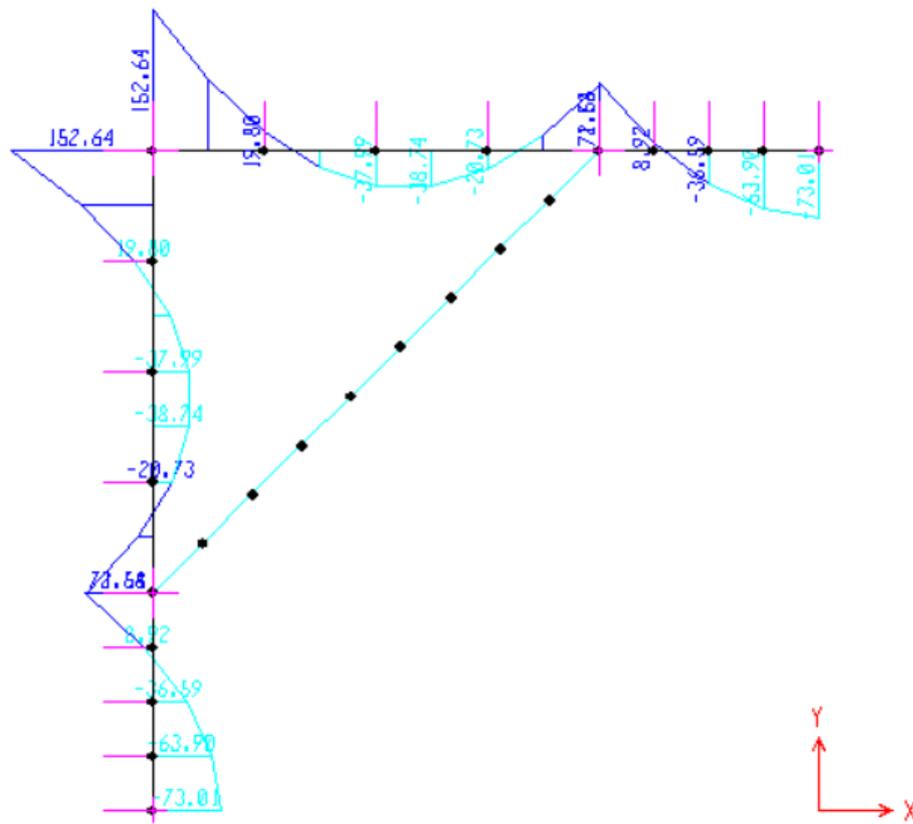


Figura 5: momento flettente allo SLU-STR

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	42 di 52

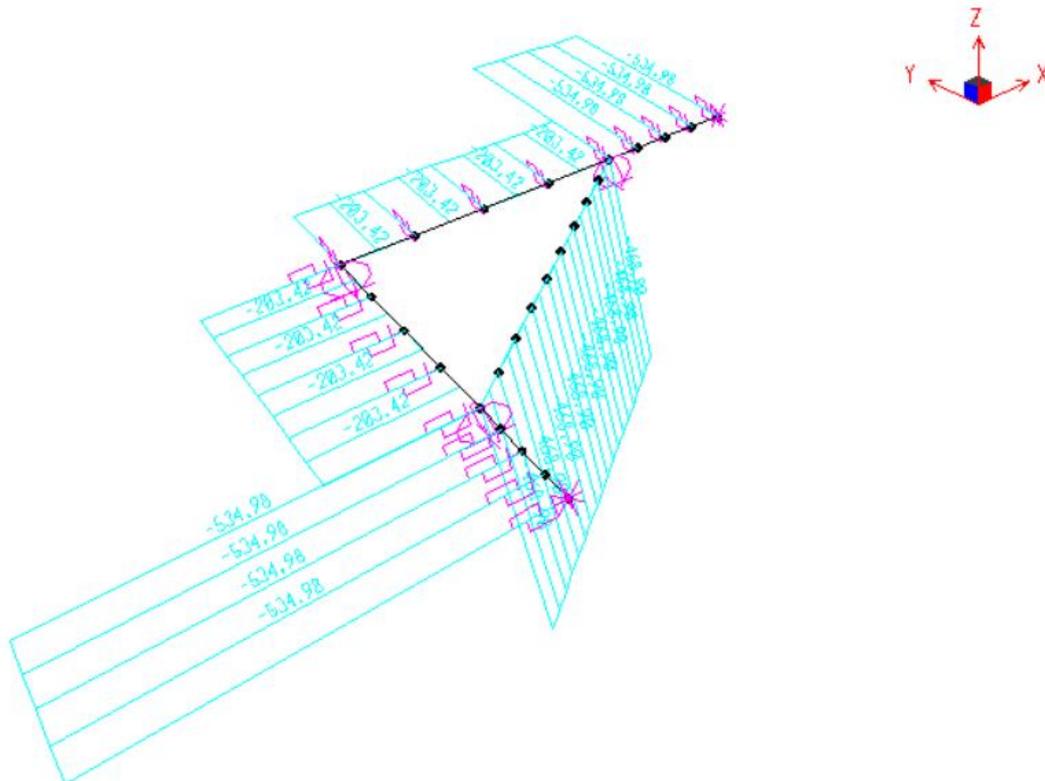


Figura 6: forza assiale allo SLU-STR

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	43 di 52

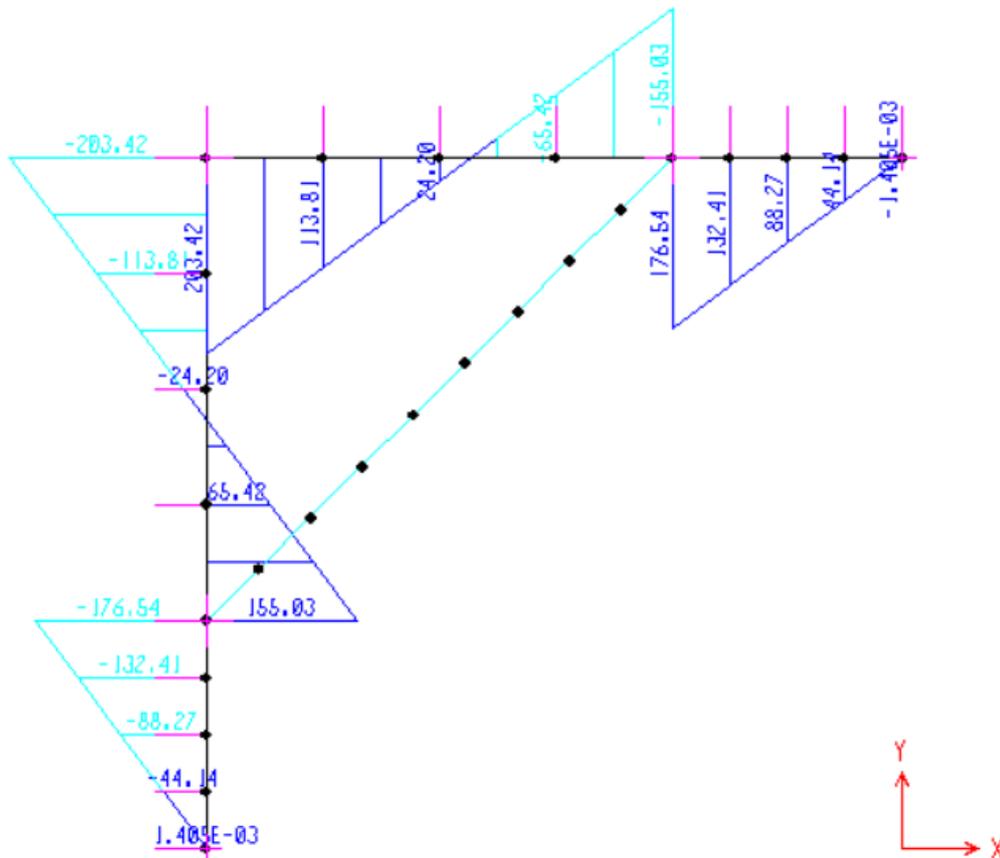


Figura 7: forza di taglio allo SLU-STR

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)= $1/0.277= 3.61$
- Minimo fattore di sicurezza allo SLU puntoni (pressoflessione e taglio)= $1/0.22= 4.54$

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provvisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	44 di 52

Verifica travi di ripartizione

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

Caratteristiche meccaniche del profilo		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 ²]
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 ⁴]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse forte	$W_{el,y}$	9.383E+05 [mm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	$W_{pl,y}$	1.053E+06 [mm ³]
Area resistente a taglio nel piano dell'anima	$A_{V,z}$	3323 [mm ²]
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 ⁴]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse debole	$W_{el,z}$	3.269E+05 [mm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse debole	$W_{pl,z}$	4.984E+05 [mm ³]
Area resistente a taglio nel piano delle ali	$A_{V,y}$	8540 [mm ²]
Raggio d'inerzia attorno all'asse debole	i_z	60.8 [mm]
Momento d'inerzia torsionale	I_t	1.027E+06 [mm ⁴]
Costante di Warping	I_w	4.869E+11 [mm ⁶]

Caratteristiche di sollecitazione nella sezione di verifica

Forza normale (positiva se di compressione)	N_{Ed}	101.50 [kN]
Forza di taglio agente in direzione parallela all'anima	$V_{z,Ed}$	101.50 [kN]
Forza di taglio agente in direzione parallela alle ali	$V_{y,Ed}$	0.00 [kN]
Momento flettente attorno all'asse maggiore di inerzia	$M_{y,Ed}$	76.50 [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

VI1303001

REV.

B

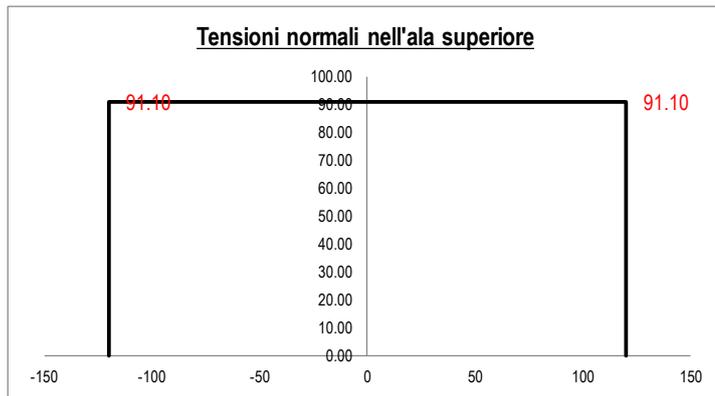
FOGLIO

45 di 52

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

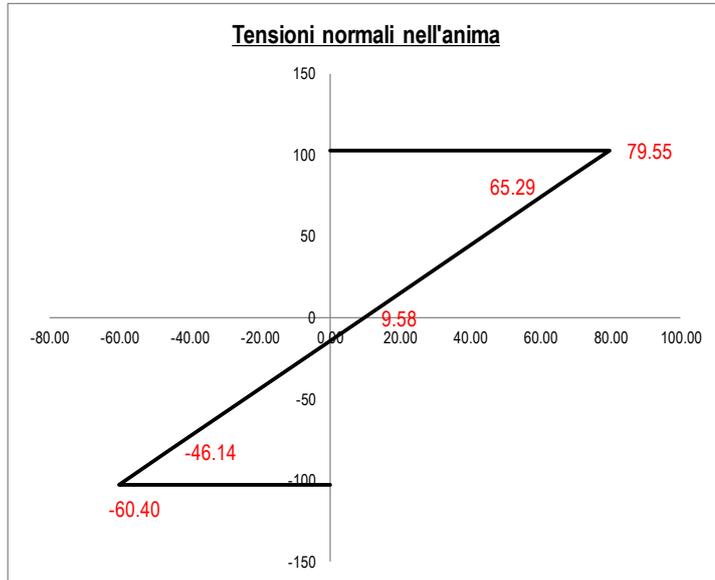


Tensioni elastiche per CL < 4

σ_A	91.10	[N/mm ²]
σ_B	91.10	[N/mm ²]
σ_C	91.10	[N/mm ²]
σ_D	79.55	[N/mm ²]
σ_E	79.55	[N/mm ²]

Tensioni efficaci per CL = 4

$\sigma_{A,eff}$	91.10	[N/mm ²]
$\sigma_{B,eff}$	91.10	[N/mm ²]
$\sigma_{C,eff}$	91.10	[N/mm ²]
$\sigma_{D,eff}$	79.55	[N/mm ²]
$\sigma_{E,eff}$	79.55	[N/mm ²]

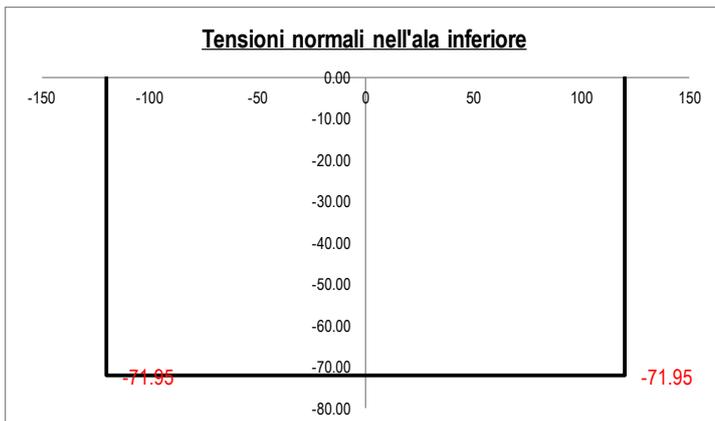


Tensioni elastiche per CL < 4

σ_F	79.55	[N/mm ²]
σ'_F	65.29	[N/mm ²]
σ_G	9.58	[N/mm ²]
σ'_H	-46.14	[N/mm ²]
σ_H	-60.40	[N/mm ²]

Tensioni efficaci per CL = 4

$\sigma_{F,eff}$	79.55	[N/mm ²]
$\sigma'_{F,eff}$	65.29	[N/mm ²]
$\sigma_{G,eff}$	9.58	[N/mm ²]
$\sigma'_{H,eff}$	-46.14	[N/mm ²]
$\sigma_{H,eff}$	-60.40	[N/mm ²]



Tensioni elastiche per CL < 4

σ_I	-60.40	[N/mm ²]
σ_L	-60.40	[N/mm ²]
σ_M	-71.95	[N/mm ²]
σ_N	-71.95	[N/mm ²]
σ_O	-71.95	[N/mm ²]

Tensioni efficaci per CL = 4

$\sigma_{I,eff}$	-60.40	[N/mm ²]
$\sigma_{L,eff}$	-60.40	[N/mm ²]
$\sigma_{M,eff}$	-71.95	[N/mm ²]
$\sigma_{N,eff}$	-71.95	[N/mm ²]
$\sigma_{O,eff}$	-71.95	[N/mm ²]

Progetto definitivo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo delle Opere Provisionali	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	46 di 52

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 0.037 [-]

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

$\rho_{N-My-pl}$  0.277 [-]

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)

$\rho_{N-My-Mz-pl}$  0.077 [-]

Verifica di presso/tenso flessione biassiale (metodo cautelativo)

$\rho_{N-My-Mz-pl}$  0.277 [-]

Progetto definitivo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo delle Opere Provisionali	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	47 di 52

Verifica puntone

Tipo di acciaio utilizzato S 275

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

Caratteristiche del profilo

Sezione trasversale del tubolare UTENTE

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	β_y	1.00 [-]
Coefficiente di lunghezza di libera inflessione attorno all'asse z - z	β_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

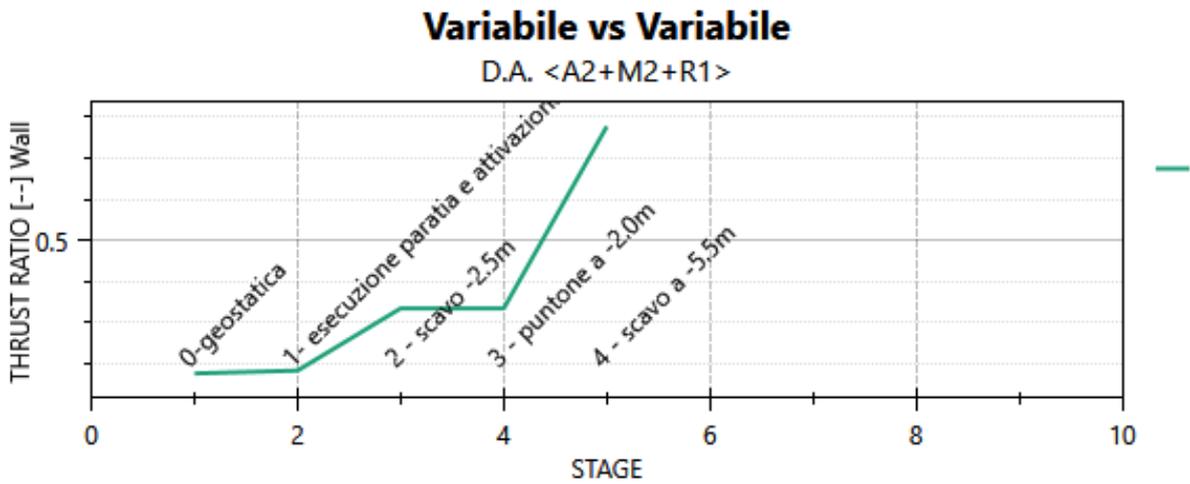
Svuota

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	468.00						✓ 0.22

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	48 di 52

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

Il massimo rapporto di mobilitazione della spinta passiva è circa il 78%.



Design Assumption :A2+M2+R1

STAGE THRUST_RATIO [--]

1	0.178
2	0.185
3	0.335
4	0.335
5	0.776

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	49 di 52

9. 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 γ_F (o γ_E)	Sollevamento (UPL)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9
	Sfavorevole		1,1
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8
	Sfavorevole		1,5
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0
	Sfavorevole		1,5

⁽¹⁾ 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 γ_G

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	VI1303001	B	50 di 52

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:

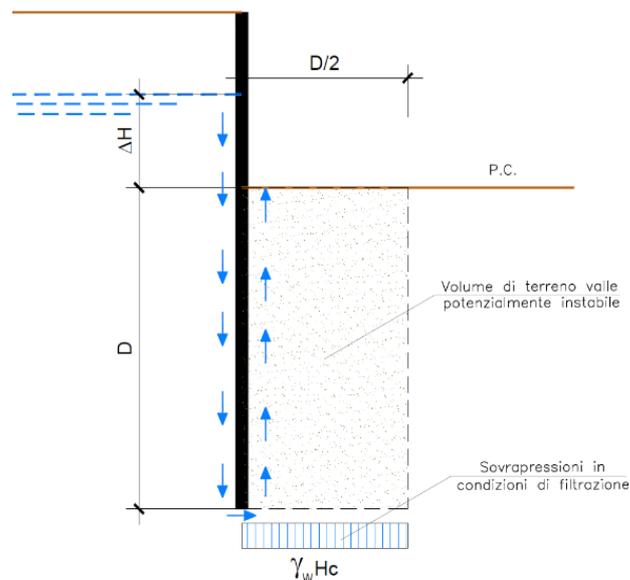


Figura 8: Schema di filtrazione per effetto di scavi sotto falda a valle di opere di sostegno

<i>Progetto definitivo</i>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<i>Relazione di calcolo delle Opere Provisionali</i>	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	51 di 52

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.

Progetto definitivo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo delle Opere Provvisoriale	RS3T	30	D09CL	VI1303001	B	52 di 52

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 risultati 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. Viene omessa la verifica a sifonamento considerata la natura prettamente coesiva dei terreni al fondo scavo.

Verifica al sollevamento - Pile P1-P2 viadotto VI13

$\Delta H =$	3	m	(differenza di carico rispetto al fondo scavo)	
$D =$	5	m	(infissione paratia)	
$\gamma' =$	11	kN/m ³		
$\gamma_w =$	9.81	kN/m ³	(peso di volume acqua)	
$\gamma_{G1} =$	0.9		(coefficiente parziale azioni permanenti favorevoli)	
$\gamma_f =$	0.9		(coefficiente parziale resistenze)	
$G_{stb,d} =$	124	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)	
$A_{stb,d} =$	124	kN/m	(azione stabilizzante complessiva, valore caratteristico)	
$\gamma_{G1} =$	1.1		(coefficiente parziale azioni permanenti sfavorevoli)	
$H_c =$	1.15	m	(sovrappressione idrodinamica espressa in metri d'acqua)	$H_c = (\Delta H \cdot D) / (\Delta H + 2D)$
$A_{instb,d} =$	31.1	kN/m		
$i_e =$	0.231		(gradiente idraulico medio lungo il percorso di filtrazione)	
$FS =$	3.98		$FS = \frac{W'}{S_w} = \frac{\gamma' \cdot D \cdot D/2}{\gamma_w \cdot H_c \cdot D/2} = \frac{\gamma' \cdot D}{\gamma_w \cdot H_c}$	VERIFICA SODDISFATTA
			(fattore di sicurezza al sollevamento del fondo scavo)	

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.