

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

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

### PROGETTO DEFINITIVO

## RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO

### Lotto 2: Taormina (e) – Giampileri (e)

VI03 – Viadotto Letojanni

Relazione di calcolo opere provvisionali – Parte 1 di 2

SCALA:

-

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

RS2S 02 D 09 CL VI0303 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autore	Data
A	Emissione Esecutiva	A. Ingletti	Gennaio 2018	L. Utzeri	Gennaio 2018	P. Carlesimo	Gennaio 2018	A. Vitozzi	2018

Ordine di lavoro n. 4207/18  
Ing. Vitozzi  
ITALEFERR S.p.A.  
Progetto e gestione delle varianti  
Aut. Min. Infrastr. e Trasporti  
Aut. Min. Agricoltura, Pesca e Foreste  
Aut. Min. Ambiente e Territorio  
Aut. Min. Economia e Finanze  
Aut. Min. Giustizia  
Aut. Min. Salute  
Aut. Min. Sviluppo Economico  
Aut. Min. Università e Ricerca  
Aut. Min. Interni  
Aut. Min. Difesa  
Aut. Min. Agricoltura, Pesca e Foreste  
Aut. Min. Ambiente e Territorio  
Aut. Min. Economia e Finanze  
Aut. Min. Giustizia  
Aut. Min. Salute  
Aut. Min. Sviluppo Economico  
Aut. Min. Università e Ricerca  
Aut. Min. Interni  
Aut. Min. Difesa

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.1	NORMATIVE E STANDARD DI RIFERIMENTO .....	4
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	5
3.1	ACCIAIO .....	5
3.1.1	Acciaio per armatura strutture in c.a.....	5
3.1.2	Profilati e piastre metalliche.....	5
3.2	CALCESTRUZZO.....	5
3.2.1	Calcestruzzo magro per getti di livellamento.....	5
3.2.2	Calcestruzzo pali, diaframmi di fondazione, cordoli opere provvisionali.....	5
4	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	6
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	8
5.1	TERRENO.....	8
5.2	JET GROUTING .....	9
6	ANALISI DELL'INTERAZIONE PARATIA-TERRENO .....	9
7	CRITERI DI VERIFICA .....	10
8	ANALISI DELLE OPERE PROVVISORIALI .....	13
8.1	DESCRIZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO.....	13
8.1.1	Sezione P01 .....	13
8.1.2	Sezione P04 .....	14
8.2	SCHEMA E FASI DI CALCOLO .....	16
8.2.1	Sezione P01 .....	16
8.2.2	Sezione P04 .....	21

9	RISULTATI E VERIFICHE PARATIA .....	26
9.1	SEZIONE P01.....	26
9.1.1	<i>RISULTATI (combinazione nominal):</i> .....	26
9.1.2	<i>RISULTATI e VERIFICHE SLU STR PARATIA DI PALI (combinazione A1+M1+R1):</i> .....	27
9.1.3	<i>VERIFICA SLU GEO PARATIA DI PALI (combinazione A2+M2+RI)</i> .....	32
9.1.4	<i>VERIFICA SLU STRU PUNTONE (combinazione A1+M1+RI)</i> .....	33
9.1.5	<i>VERIFICA SLU STRU TRAVE DI RIPARTIZIONE (combinazione A1+M1+RI)</i> .....	35
9.1.6	<i>VERIFICA SLU UPL</i> .....	38
9.1.7	<i>INCIDENZA PALI</i> .....	40
9.2	SEZIONE P04.....	41
9.2.1	<i>RISULTATI (combinazione nominal):</i> .....	41
9.2.2	<i>RISULTATI e VERIFICHE SLU STR PARATIA DI PALI (combinazione A1+M1+R1):</i> .....	42
9.2.3	<i>VERIFICA SLU GEO PARATIA DI PALI (combinazione A2+M2+RI)</i> .....	47
9.2.4	<i>VERIFICA SLU STRU PUNTONE (combinazione A1+M1+RI)</i> .....	48
9.2.5	<i>VERIFICA SLU STRU TRAVE DI RIPARTIZIONE (combinazione A1+M1+RI)</i> .....	51
9.2.6	<i>VERIFICA SLU UPL</i> .....	53
9.2.7	<i>INCIDENZA PALI</i> .....	54

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b> <b>LOTTO 2: Taormina - Giampileri</b>					
	<b>U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI</b> <b>VI03 – Viadotto Letojanni - Relazione di calcolo</b> <b>opere provvisionali</b>	COMMESSA <b>RS2S</b>	LOTTO <b>02 D 09</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0303 002</b>	REV. <b>A</b>

## 1 PREMESSA

La presente relazione di calcolo delle opere provvisionali si riferisce alla progettazione definitiva del Lotto 2 della Linea Ferroviaria Messina-Catania-Palermo nella tratta Fiumefreddo-Giampileri, avente uno sviluppo complessivo di circa 42 km. La relazione è relativa al viadotto Letojanni, avente una lunghezza di circa 243 m (VI03).

## 2 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 NORMATIVE E STANDARD DI RIFERIMENTO

Si riporta nel seguito l'elenco delle leggi e dei decreti di carattere generale, assunti come riferimento.

- Decreto Ministeriale del 14/01/2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04/02/2008, Supplemento Ordinario n.30.
- Circolare 01/02/2009, n.617 – Istruzione per l'applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14/01/2008.
- DM 06/05/2008 – “Integrazione al DM 14/01/2008 di approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- RFI DTC SI MA IFS 001 A – “Manuale di progettazione delle opere civili”
- RFI DTC SI SP IFS 001 A – “Capitolato generale tecnico d'appalto delle opere civili”
- UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

### 2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Nella presente relazione si è fatto riferimento ai seguenti elaborati:

- RS2S02D78RHGE0005001B - Relazione geotecnica generale 1/6.
- RS2S02D78F6GE0005001B - Profilo longitudinale geotecnico - Tav.1/6
- RS2S02D09CLVI0303003A - Relazione di calcolo opere provvisionali – Parte 2 di 2

### 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:  $1.15 \leq f_{tk}/f_{yk} < 1.35$

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

#### 4 DESCRIZIONE DELL’OPERA

La presente relazione di calcolo tratta delle analisi delle sollecitazioni e delle verifiche di resistenza delle opere provvisionali previste per i lavori di realizzazione del viadotto Letojanni. In Figura 1 **Errore. L’origine riferimento non è stata trovata.** è rappresentata una parte del viadotto ove sono le sezioni P01, P04 e P05. Tali sezioni sono state considerate le più gravose per la loro tipologia e per questo motivo sono state oggetto di studio, in termini di verifiche geotecniche e strutturali. Nella relazione corrente sono presentate le verifiche relative alle opere provvisionali delle pile P01 e P04. Le verifiche relative alla pila P05, in cui è prevista un’opera provvisoria costituita da una paratia tirantata, sono riportate nella Relazione di calcolo delle opere provvisionali – Parte 2 di 2.

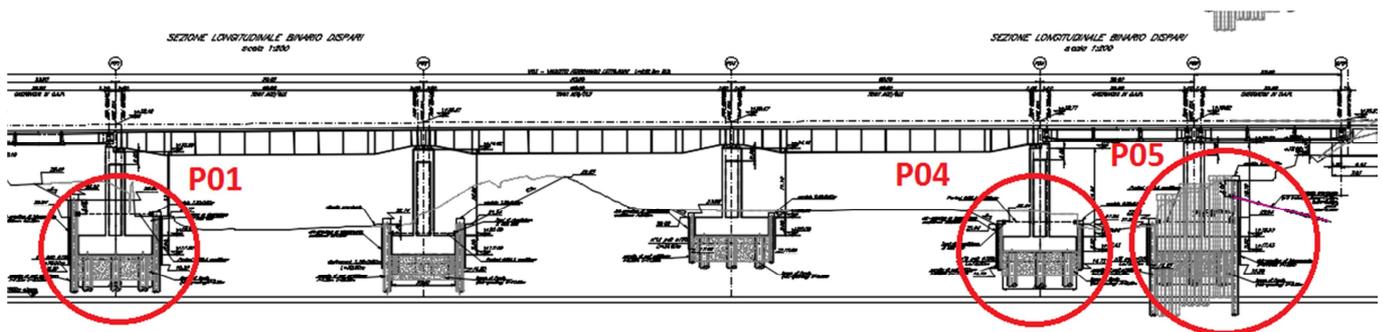


Figura 1

In Figura 2 è rappresentata la sezione dell’opera provvisoria prevista per la pila P01, costituita da una paratia di pali  $\Phi 1000$  di lunghezza  $L=20 \text{ m}$  ad interasse  $i=1.2\text{m}$ , sostenuta da un livello di puntoni.

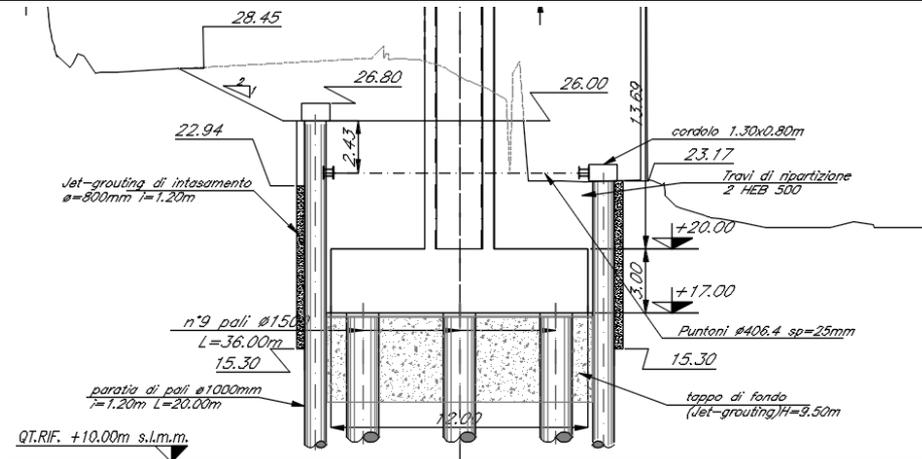


Figura 2

In Figura 3 è rappresentata la sezione dell'opera provvisoria prevista per la pila P04, costituita da una paratia di pali di diametro  $\Phi 600$ , lunghezza  $L=11$  m, posti ad interasse  $i=0.8$  m, sostenuta da un livello di puntoni

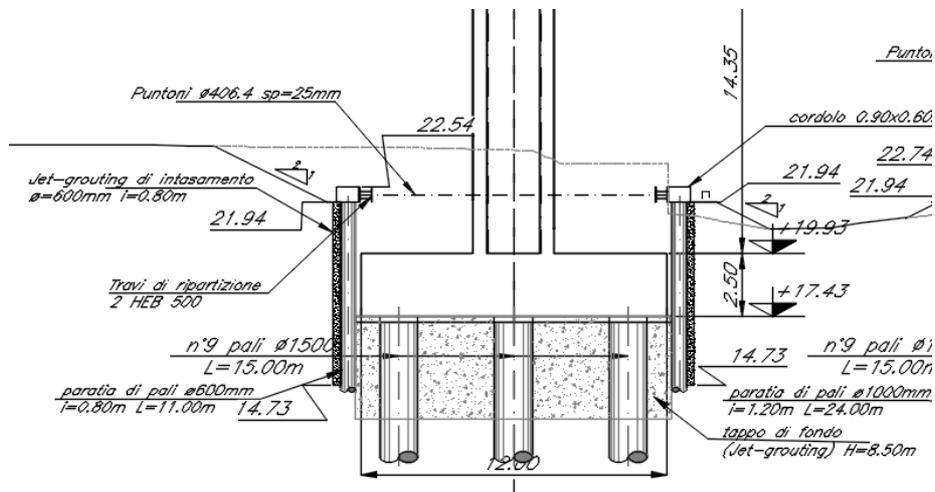


Figura 3

## 5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 5.1 Terreno

Per quanto riguarda la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni presenti in corrispondenza del viadotto si rimanda alla relazione geotecnica generale 1/6.

Dall'insieme dei dati forniti dalle indagini, le opere sono interessate dalle seguenti unità litologiche per la tratta interessata dal viadotto Letojanni. Nella sezioni di riferimento il sottosuolo risulta costituito da sabbie grossolane e sabbie limose o debolmente limose, con presenza di ghiaia e a tratti ghiaie e ciottoli in matrice limoso sabbiosa e da Arenarie da fini a grossolane da poco a ben cementate con frequenti intercalazioni di argille limose e marnose di colore grigio, talora debolmente cementate (Tabella 1). Nei dimensionamenti delle opere, cautelativamente, si è considerata una stratigrafia omogenea costituita da sole alluvioni.

Tipologia	$\gamma_{sat}$	w	c'	$\phi'$	$c_u$	E	$E_u$	$R_v$	$C_v$	k
	kN/m <sup>3</sup>	%	kPa	°	kPa	MPa	MPa	MPa	cm <sup>2</sup> /s	m/s
Unità bb e ba – Sabbie grossolane o limose con ghiaia e ciottoli e ghiaia in matrice limoso sabbiosa	18-20	-	0	35	0	30-35	-	-	-	$e^{-6}$ - $e^{-6}$
CODb – Arenarie da fini a grossolane da poco a ben cementate, con intercalazioni di argilla	23-25	-	100	47	-	333	-	2,3	-	$e^{-6}$ - $e^{-7}$

Tabella 1

Per quanto concerne la falda, nella zona in esame il livello di falda oscilla tra i 18 ed i 19.5 mslm come si evince dal profilo geotecnico di riferimento. Per i dimensionamenti delle opere provvisionali della pila P05, il livello è stato posto 5.5 m sopra il fondo scavo.

Per quanto riguarda i parametri da assegnare ai litotipi nei calcoli, si è fatto riferimento ai valori medi di ciascun intervallo: per  $\phi'$  è stato assunto 34° e per E' un valore pari a 32.5 MPa.

Essendo queste opere di tipo provvisorio non è necessaria la verifica sismica.

## 5.2 Jet grouting

Per il jet grouting sono state assunte le seguenti caratteristiche:

- $c' = 100$  kPa
- $\varphi' = 34^\circ$
- $E = 162.5$  MPa (5 volte il terreno in posto)

## 6 ANALISI DELL'INTERAZIONE PARATIA-TERRENO

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.

Allo scopo si impiega il codice di calcolo "PARATIE PLUS" Versione 17.0 della HarpaCeas s.r.l. di Milano.

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 idrostatica, 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 spostamento, ai valori limite della pressione attiva o passiva.

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

Con tale metodologia, si può quindi seguire analiticamente la successione delle fasi di costruzione, di carico e di contrasto, consentendo di ottenere informazioni attendibili sull'entità delle deformazioni e sugli effetti che esse inducono sul diagramma delle pressioni esercitate dal terreno sulla paratia.

Il metodo sopra esposto è sicuramente valido per il calcolo delle sollecitazioni all'interno della struttura che, come noto (cfr. [Becci & Nova, 1987], [Dhouib, 1995]), sono praticamente indipendenti dalla rigidità delle molle che simulano il terreno. Permangono le limitazioni intrinseche al metodo ed in particolare quella di non permettere la determinazione degli spostamenti del piano campagna.

## 7 CRITERI DI VERIFICA

Seguendo le prescrizioni contenute nelle Norme tecniche per le Costruzioni (D.M. 14.01.2008) per il dimensionamento delle paratie, si è assicurato che sia verificata la condizione:

$$Ed \leq Rd$$

Per le paratie si devono considerare almeno i seguenti stati limite ultimi:

### SLU di tipo geotecnico (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 dell'insieme terreno-opera;

### 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.

Le verifiche devono essere effettuate considerando le seguenti combinazioni di coefficienti:

- C1 : (A1+M1+R1)
- C2 : (A2+ M2+R1)

La circolare 02.02.2009 n.617 chiarisce:

- Verifiche STRU: C1
- Verifiche GEO: C2

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I.

La verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera deve essere effettuata secondo l'Approccio1:

-  $C2 : (A2+M2+R2)$

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II e 6.8.I.

Le azioni di progetto Ed sono quindi state ottenute applicando i coefficienti A1 e A2 riportati in Tabella 6.2.I (NTC2008) alle azioni caratteristiche.

La resistenza di progetto Rd è stata ottenuta applicando i coefficienti parziali M1 e M2 di Tabella 6.2.II ai parametri del terreno, ed i coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nella Tabella 6.5.I alle resistenze.

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

**Tabella 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	$\tan \phi'_k$	$\gamma_\phi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_t$	1,0	1,0

**Tabella 6.5.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno.**

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b> <b>LOTTO 2: Taormina - Giampileri</b>					
	<b>U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI</b> <b>VI03 – Viadotto Letojanni - Relazione di calcolo</b> <b>opere provvisoriale – Parte 1 di 2</b>	COMMESSA <b>RS2S</b>	LOTTO <b>02 D 09</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0303 002</b>	REV. <b>A</b>

**Tabella 6.8.1 – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.**

Coefficiente	<b>R2</b>
$\gamma_R$	1.1

Per le verifiche delle membrature in acciaio si è fatto riferimento ai fattori parziali di Tabella 4.2.V.

**Tabella 4.2.V** Coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità

Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4	$\gamma_{M0} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature	$\gamma_{M1} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari	$\gamma_{M1} = 1,10$
Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)	$\gamma_{M2} = 1,25$

Per acciaio da armatura o in trefoli si è adottato un coefficiente  $\gamma_M = 1.15$ .

Le verifiche sismiche sono state omesse poiché le opere oggetto di studio sono opere provvisorie con durata prevista inferiore a due anni.

## 8 ANALISI DELLE OPERE PROVVISORIALI

### 8.1 Descrizione delle sezioni di calcolo

#### 8.1.1 Sezione P01

##### Paratia di pali

$D_p = 1000$  mm                      diametro di perforazione

$i = 1.20$  m                              interasse longitudinale tra i pali

$L = 20.0$  m                              lunghezza del palo

Armatura longitudinale B450C:

$\phi = 20$  mm                              diametro armatura longitudinale

$n = 20$                                       numero barre

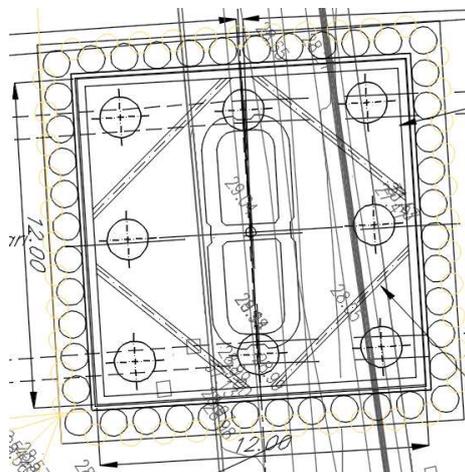
Armatura trasversale B450C:

$\phi = 10$  mm                              diametro armatura trasversale

$s = 0.2$  m                              passo equivalente dell'elica

##### Sistema di puntoni

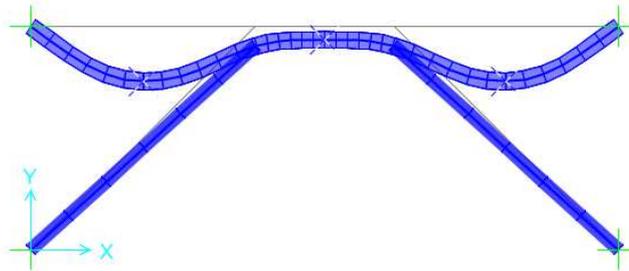
La Figura 4 mostra la pianta dello scavo della sezione P01



**Figura 4**

I puntoni sono sezioni circolari cave in acciaio (S275) aventi  $\Phi 406.4\text{mm}$  inclinati di circa  $42^\circ$ .

La rigidezza del puntone è stata valutata tramite una modellazione agli elementi finiti in ambiente SAP2000 . Alla trave di ripartizione è stato applicato un carico uniformemente distribuito di  $1 \text{ KN/m}$  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 =  $1.629 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ . Tramite la formula  $k = \frac{1}{u}$  si valuta la rigidezza  $k \simeq 61000 \text{ kN/m}$  da applicare alle molle nel modello in Paratie Plus. La Figura 5 mostra lo schema statico utilizzato in SAP2000:



**Figura 5**

### 8.1.2 Sezione P04

#### Paratia di pali:

$D_p = 600 \text{ mm}$  diametro di perforazione

$i = 0.80 \text{ m}$  interasse longitudinale tra i pali

$L = 11.0 \text{ m}$  lunghezza del palo

#### Armatura longitudinale B450C:

$\phi = 16 \text{ mm}$  diametro armatura longitudinale

$n = 12$  numero barre

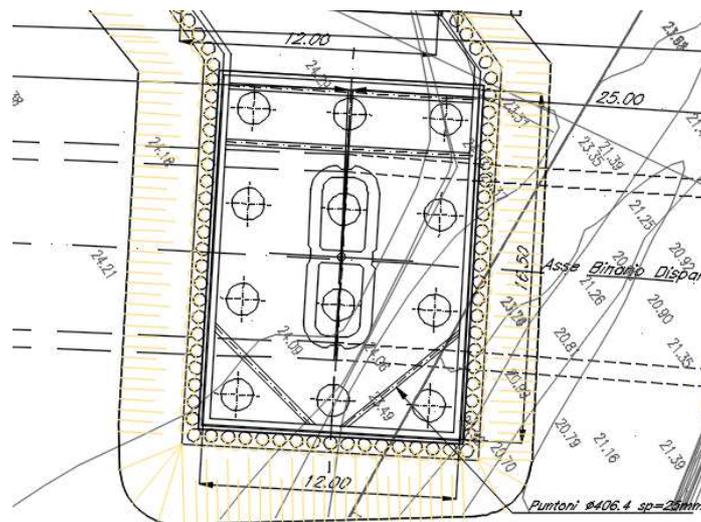
#### Armatura trasversale B450C:

$\phi = 8 \text{ mm}$  diametro armatura trasversale

$s = 0.25 \text{ m}$  passo equivalente elica

### Sistema di puntoni

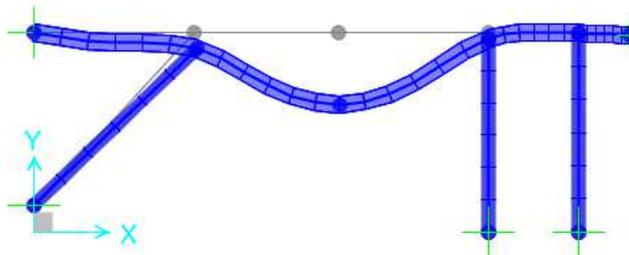
La Figura 6 mostra la pianta dello scavo della sezione P04. Si è verificato che il sistema di puntoni si rende necessario per altezze di scavo maggiori di 3.2 m, pertanto tale sistema non è previsto per la pila P3.



**Figura 6**

I puntoni sono sezioni circolari cave in acciaio (S275) aventi  $\Phi 406.4\text{mm}$  inclinati di circa  $42^\circ$ .

La rigidezza del puntone è stata valutata tramite una modellazione agli elementi finiti in ambiente SAP2000 . Alla trave di ripartizione è stato applicato un carico uniformemente distribuito di 1 kN/m e si è ricercato lo spostamento massimo su tale elemento che è risultato essere pari a  $7.92 \cdot 10^{-5}$  m. Tramite la formula  $k = \frac{1}{u}$  si valuta la rigidezza  $k \approx 12500$  kN/m da applicare alle molle nel modello in Paratie Plus. La Figura 7 mostra lo schema statico utilizzato in SAP2000:

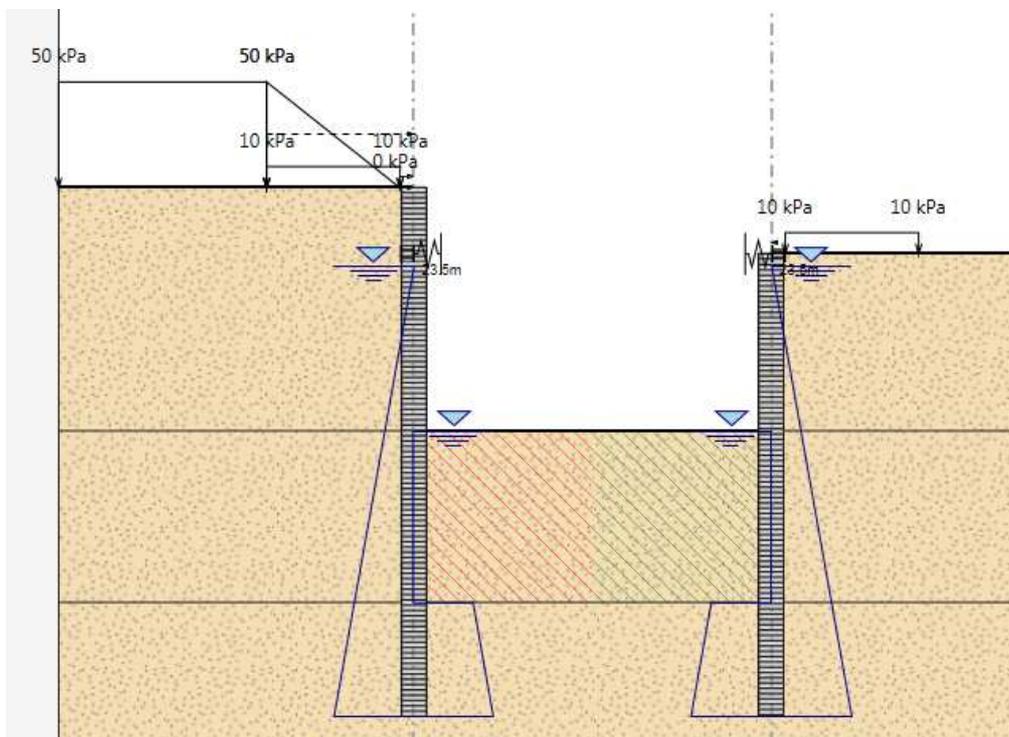


**Figura 7**

## 8.2 Schema e fasi di calcolo

### 8.2.1 Sezione P01

#### GEOMETRIA SEZIONE P01



Tipo paratia: **Paratia di pali destra e sinistra**

Altezza fuori terra	9,20	[m]
Profondità di infissione	10,8	[m]
Altezza totale della paratia	20,0	[m]
Numero di file di pali	1	[m]
Interasse fra i pali della fila	1,20	[m]
Diametro dei pali	1,0	[m]
Diametro armatura longitudinale	20	[mm]
N barre longitudinali	20	-
Diametro armatura trasversale	10,0	[mm]

Passo armatura trasversale

0,2

[m]

Il cordolo di collegamento dei pali ha dimensioni trasversali 1.30 m x 0.80 m.

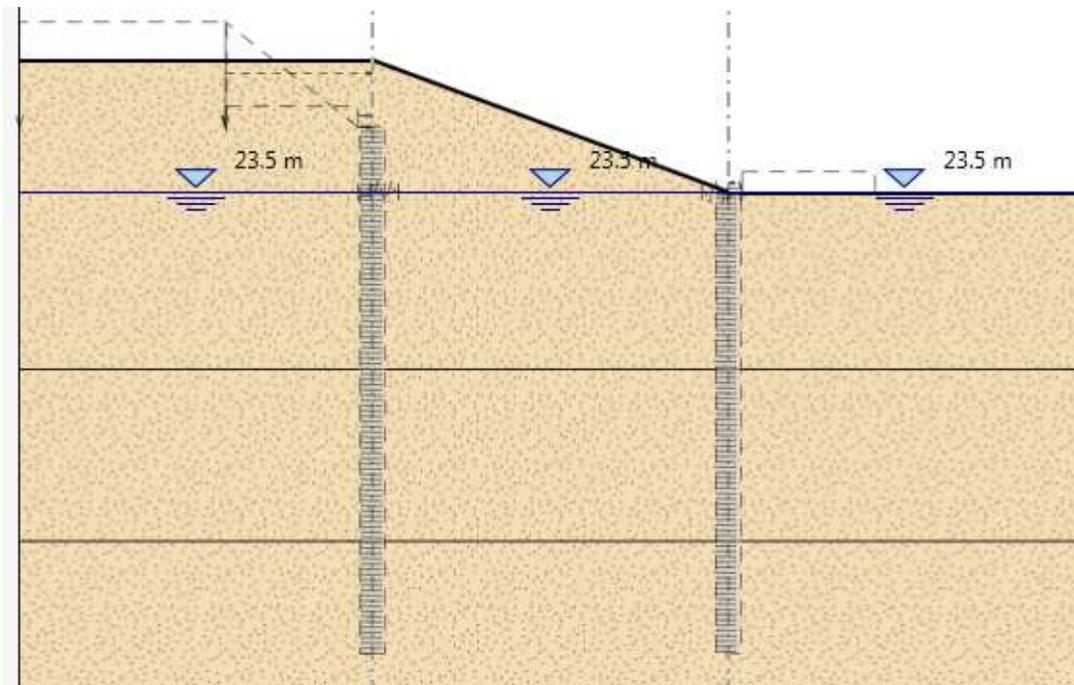
La massima altezza di scavo è di 9.2 m.

Nel calcolo si è tenuto conto del carico accidentale dovuto ai mezzi di cantiere  $q_{acc} = 10.0 \text{ kN/m}^2$  uniformemente distribuito su un'area di impronta di 5.0 m posto in prossimità dell'estradosso della paratia. Inoltre per semplificare la geometria di calcolo lo scavo in pendenza stabile ai lati della paratia è stata considerato come un carico trapezoidale con altezza  $50 \text{ kN/m}^2$ .

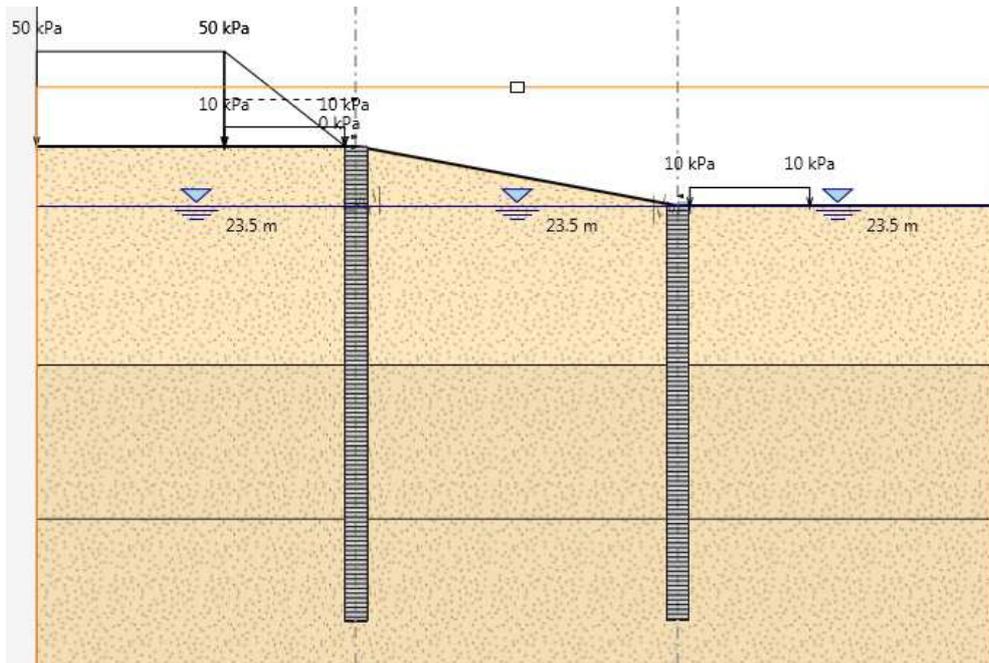
Di seguito si riportano le fasi di calcolo che sono state analizzate in successione.

### Fasi di calcolo

#### **FASE 0: Generazione stato tensionale iniziale**



**FASE 1: Installazione delle paratie di pali + attivazione carico di cantiere  $q_{acc}=10.0$  kPa + attivazione carico trapezoidale che simula il terreno**



Nome: Pali accostati

Inerzia Equivalente: 0.0409 m<sup>4</sup>/m

Area Equivalente: 0.6545 m

Mat. omogeneizzazione: C25/30

Da utilizzare per:

- Muri
- Solette (specificare il Dead Load: 5 kN/m)
- Puntelli
- Puntoni

Geometria e materiali

Custom

Materiale: Inerzia: m<sup>4</sup>/m Area: m<sup>2</sup>/m

Diaframma o Pali

Calcestruzzo

Materiale: C25/30

Spessore Ct: 0 m

Diametro Cd: 1 m

Passo Cs: 1.2 m

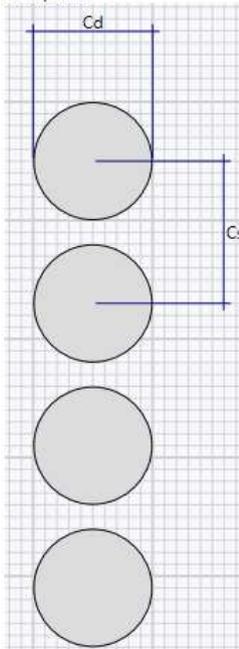
Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidezza [0-1]: ac: 1

Acciaio

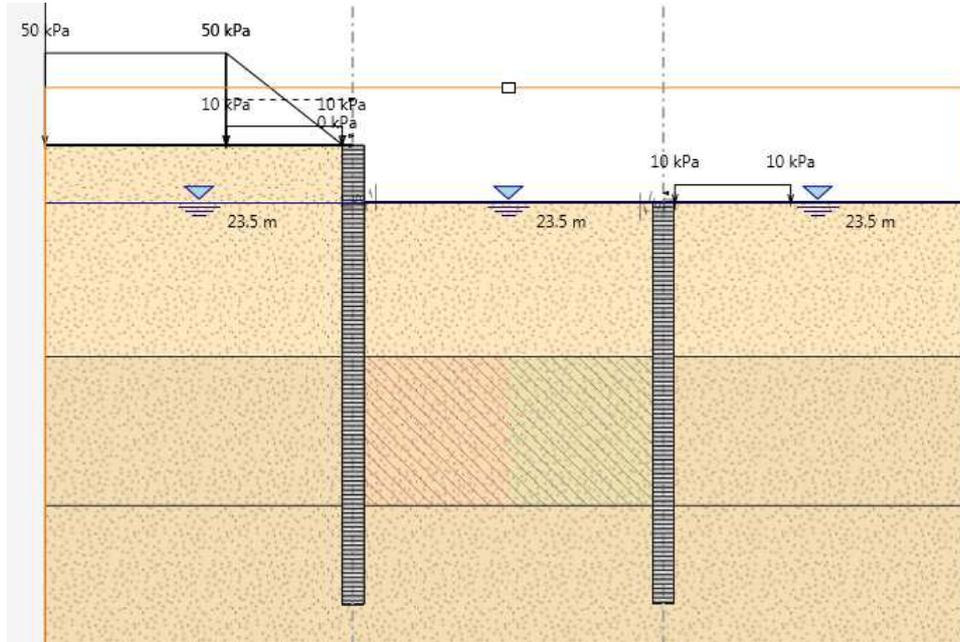
Materiale: Fe360

Passo Ss: 1.2 m

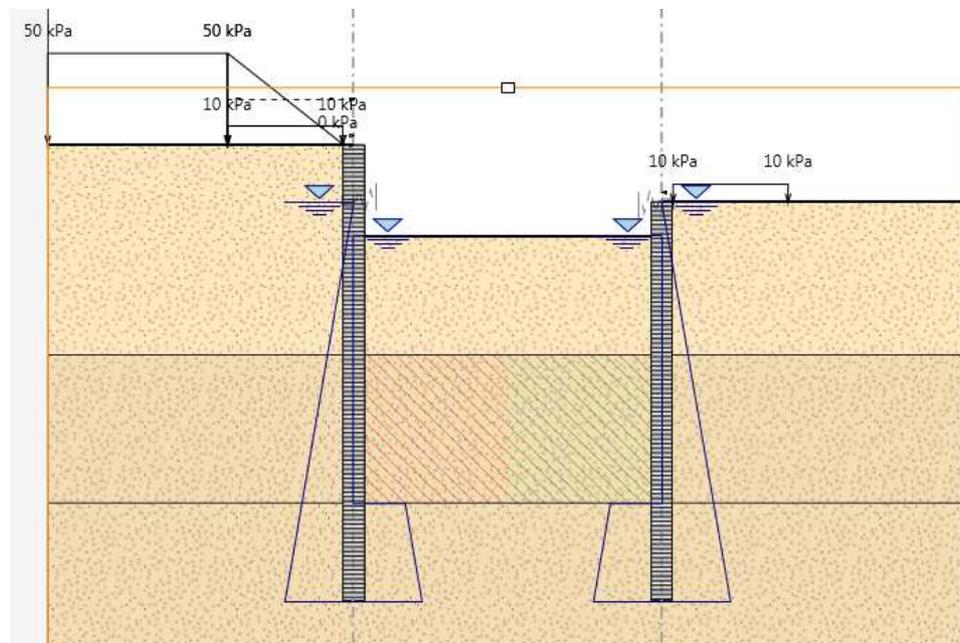
Anteprima



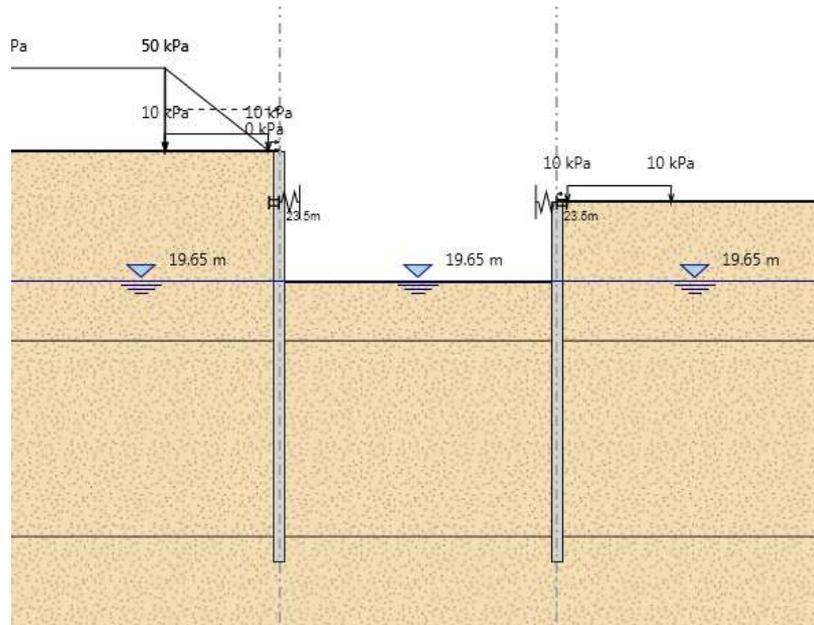
**FASE 2: Scavo a sbalzo fino a arrivare a quota 23.5mslm + Attivazione del Tappo di Jet Grouting**



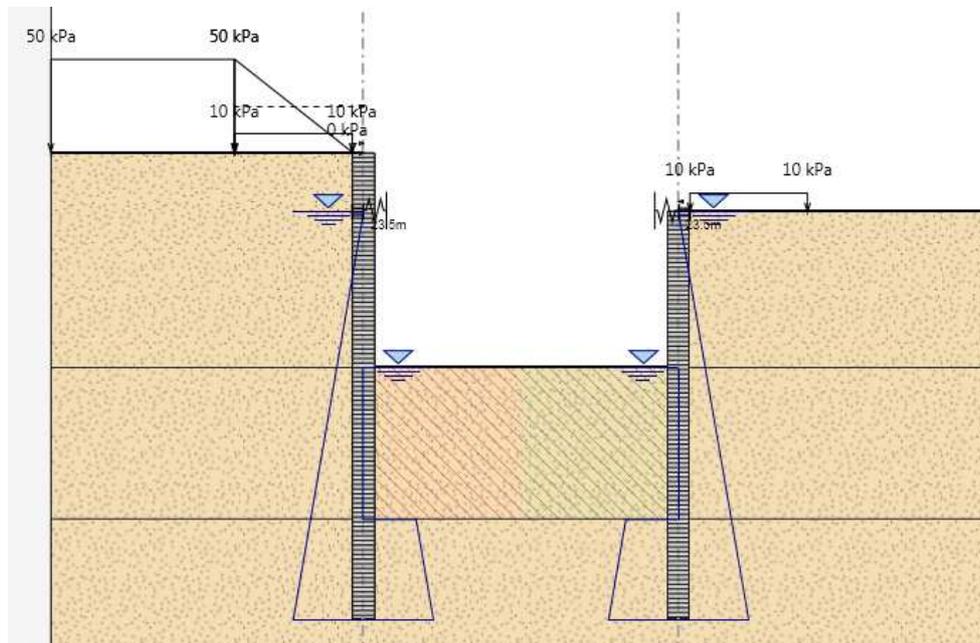
**FASE 3: Scavo a sbalzo fino a arrivare a quota 22 mslm**



**FASE: Installazione dei puntoni, con relative travi di ripartizione dei carichi, a 2,5 metri dalla testa della paratia**

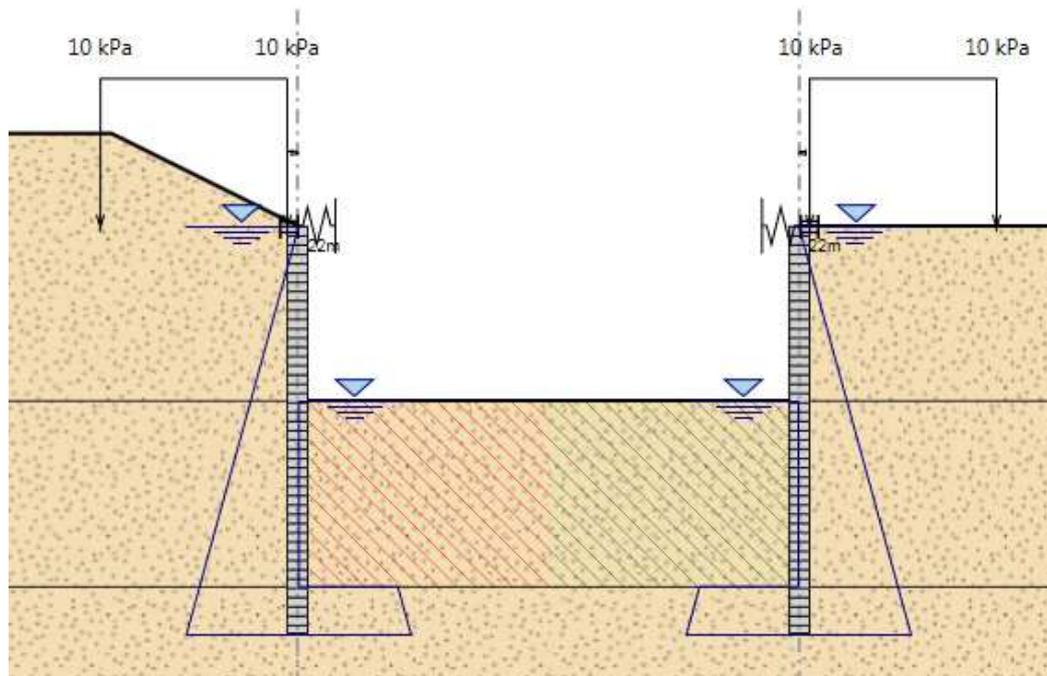


**FASE 5: Scavo fino ad arrivare a quota 16.8 mslm**



### 8.2.2 Sezione P04

#### GEOMETRIA SEZIONE P04



Tipo paratia: **Paratia di pali destra e sinistra**

Altezza fuori terra	4,70	[m]
Profondità di infissione	6,3	[m]
Altezza totale della paratia	11,0	[m]
Numero di file di pali	1	[m]
Interasse fra i pali della fila	0,80	[m]
Diametro dei pali	0,6	[m]
Diametro armatura longitudinale	12	[mm]
N barre longitudinali	16	-
Diametro armatura trasversale	8	[mm]
Passo armatura trasversale	0,25	[m]

Il cordolo di collegamento dei pali ha dimensioni trasversali 0.90 m x 0.60 m.

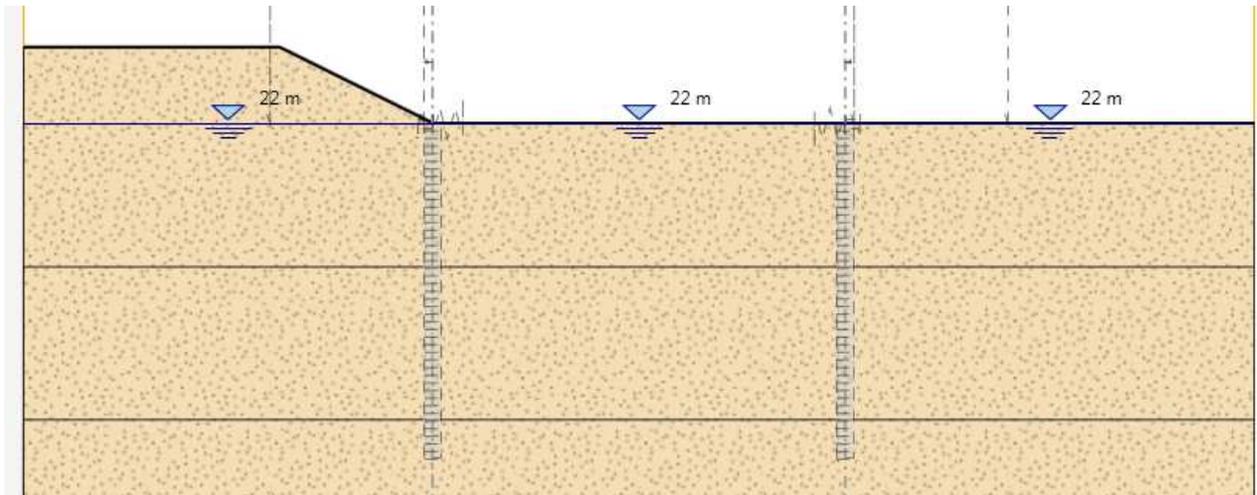
La massima altezza di scavo è di 4.7 m.

Nel calcolo si è tenuto conto del carico accidentale dovuto ai mezzi di cantiere  $q_{acc} = 10.0 \text{ kN/m}^2$  uniformemente distribuito su un'area di impronta di 5.0 m posto in prossimità dell'estradosso della paratia.

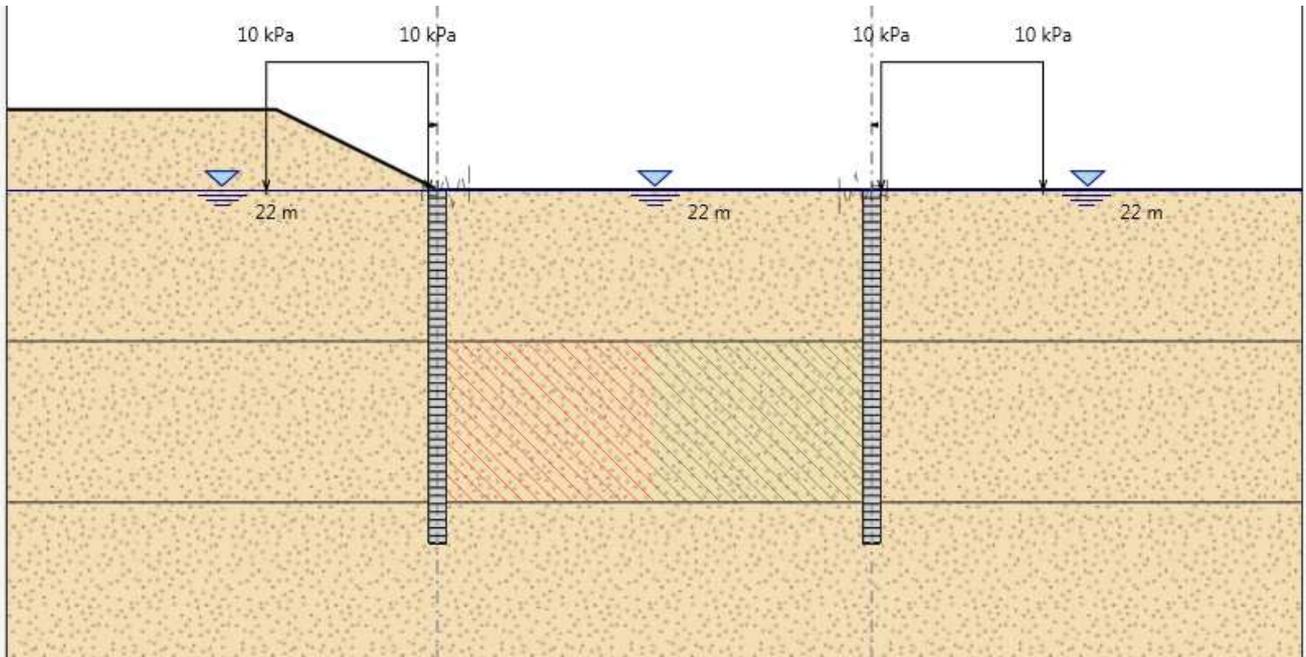
Di seguito si riportano le fasi di calcolo che sono state analizzate in successione.

### Fasi di calcolo

#### **FASE 0: Generazione stato tensionale iniziale**



**FASE 1: Installazione delle paratie di pali + attivazione carico di cantiere  $q_{acc}=10.0 \text{ kPa}$ +tappo jet**



Nome: Pali accostati

Inerzia Equivalente: 0.008 m<sup>4</sup>/m

Area Equivalente: 0.3534 m

Mat. omogeneizzazione: C25/30

Da utilizzare per:

- Muri
- Solette (specificare il Dead Load: 5 kN/m)
- Puntelli
- Puntoni

Geometria e materiali

Custom

Materiale: Inerzia: m<sup>4</sup>/m Area: m<sup>2</sup>/m

Diaframma o Pali

Calcestruzzo

Materiale: C25/30

Spessore Ct: 0 m

Diametro Cd: 0.6 m

Passo Cs: 0.8 m

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

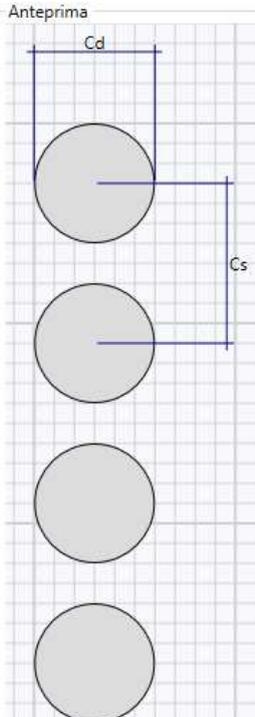
Acciaio

Materiale: Fe360

Profilo:

Passo Ss: 0.8 m

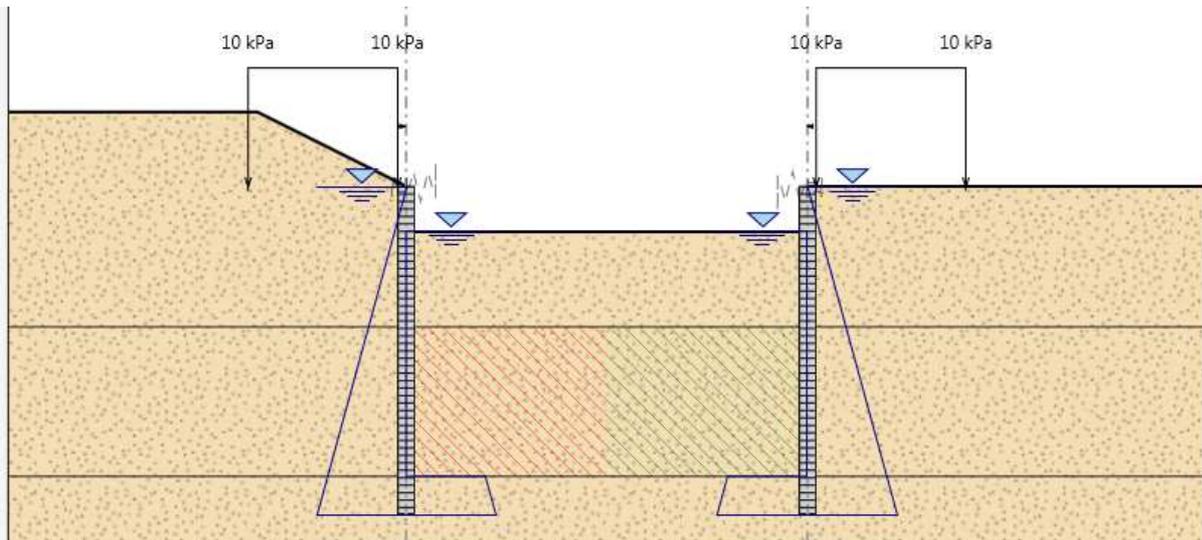
Anteprima



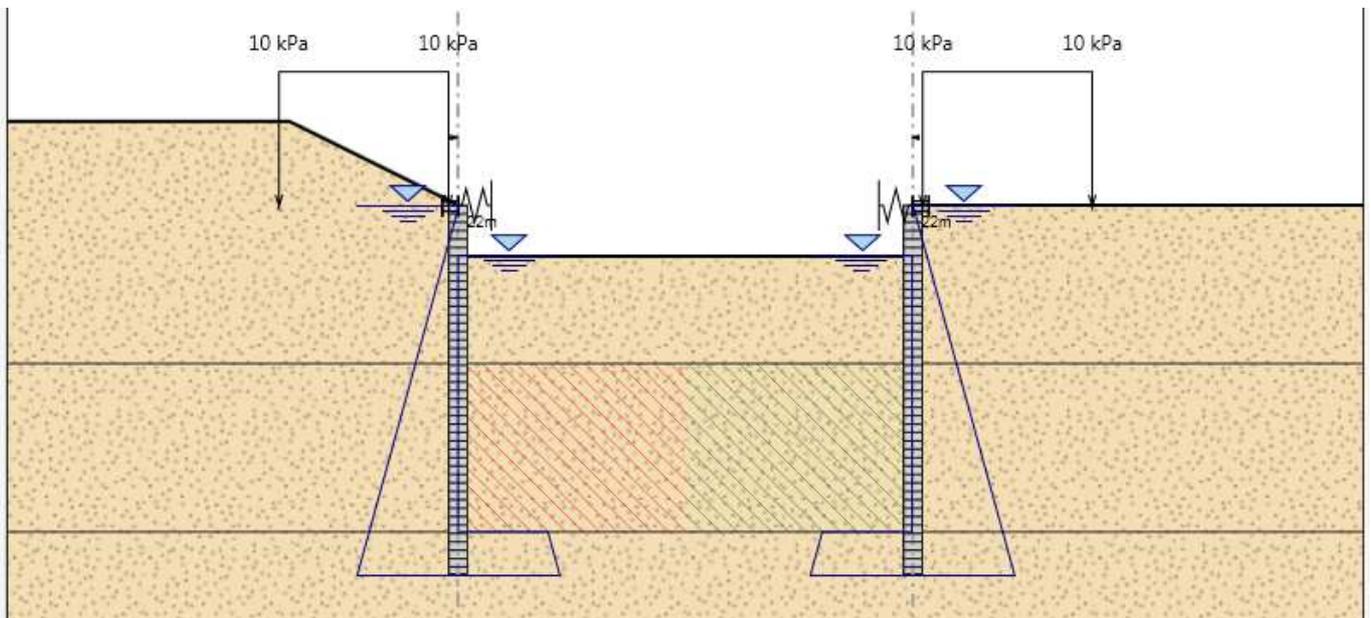
U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI  
VI03 – Viadotto Letojanni - Relazione di calcolo  
opere provvisionali – Parte 1 di 2

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	02 D 09	CL	VI0303 002	A	24 di 54

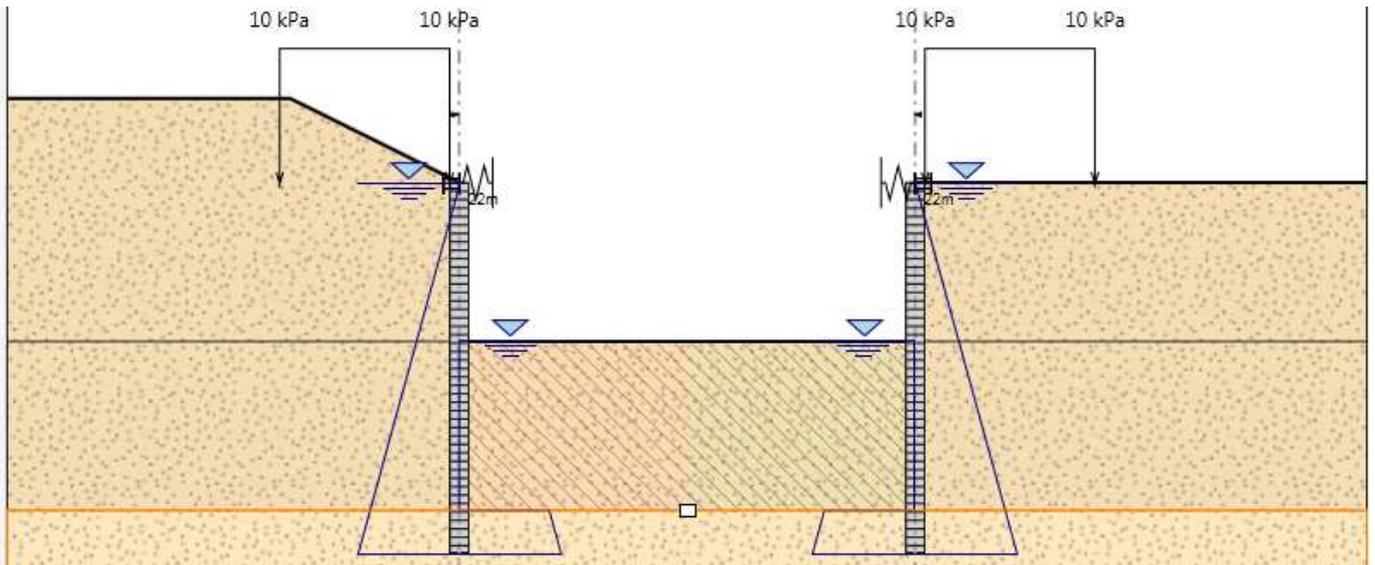
**FASE 2: Scavo a sbalzo fino a arrivare a quota 20.5 mslm**



**FASE 3: Attivazione dei puntoni**



**FASE 4: Scavo a fino all'arrivo a quota 17.3 mslm**



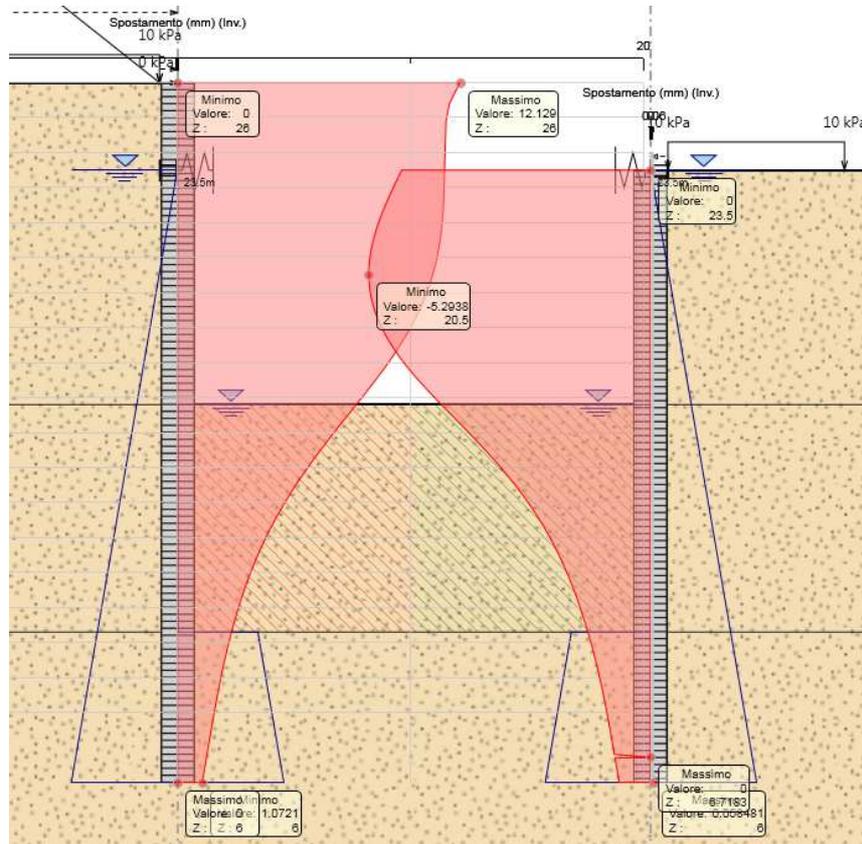
## 9 RISULTATI E VERIFICHE PARATIA

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

### 9.1 SEZIONE P01

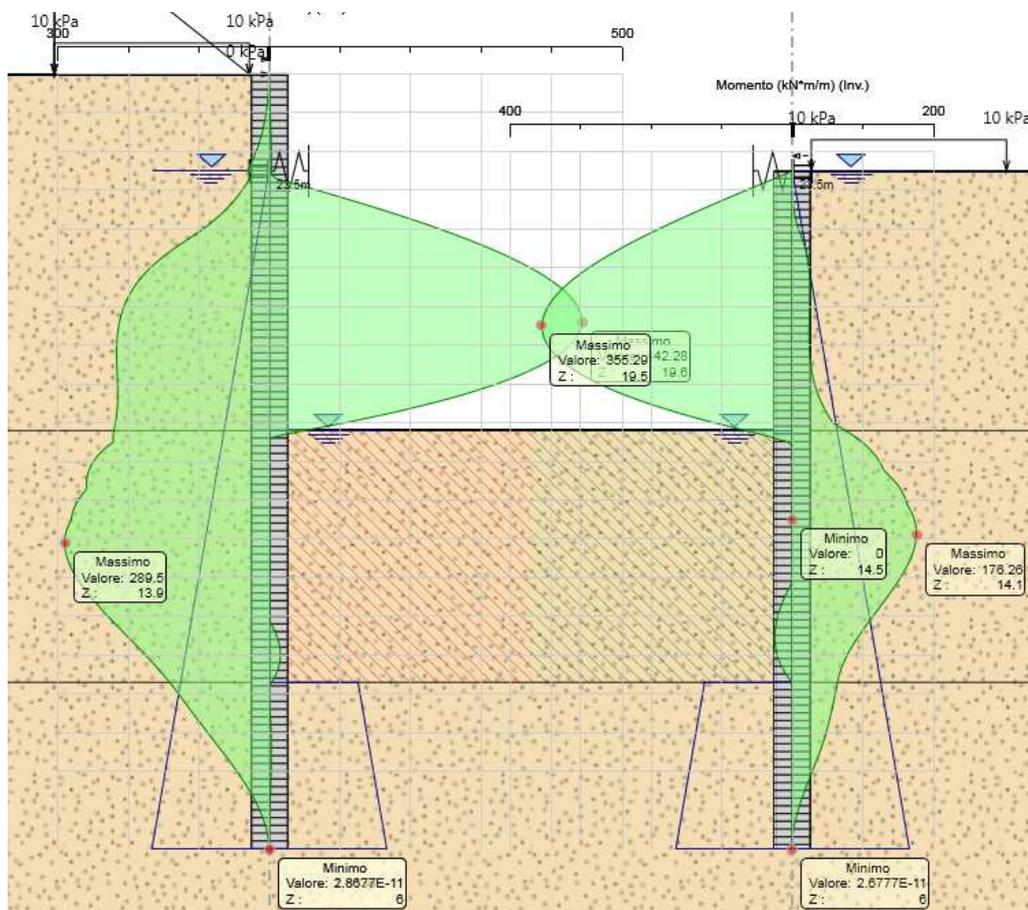
#### 9.1.1 RISULTATI (combinazione nominal):

Dall'involuppo degli spostamenti in combinazione nominale si osserva che lo spostamento massimo orizzontale della paratia di sinistra si ha in testa alla stessa e vale 12.13 mm, per la paratia di destra si ha quota di 20.50 mslm e risulta pari a 5.3 mm.

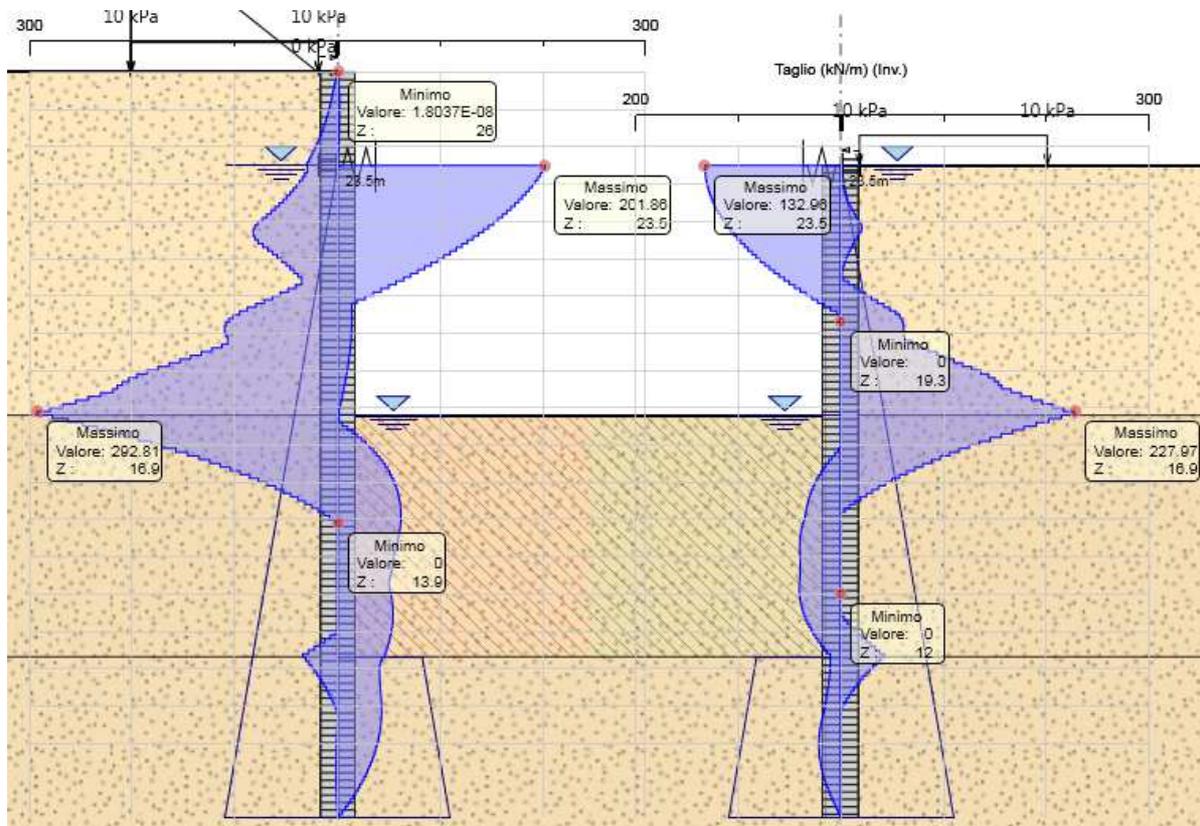


**9.1.2 RISULTATI e VERIFICHE SLU STR PARATIA DI PALI (combinazione A1+M1+R1):**

Dall'involuppo del momento flettente in combinazione A1+M1+R1 si osserva che il massimo valore sulla paratia di sinistra si ha ad una quota di 19.50 mslm ( 6.5 metri dalla testa del palo) e risulta pari a 442.3 kNm/m. Il massimo valore sulla paratia di destra si ha ad una quota di 19.60 mslm (3.9 metri dalla testa del palo) e risulta pari a 355.3 kNm/m.



Dall'involuppo taglio in combinazione A1+M1+R1 si osserva che il massimo valore sulla paratia di sinistra si ha ad una quota di 16.9 mslm (9.1 metri dalla testa del palo) e risulta pari a 292.8 kN/m. Il massimo valore sulla paratia di destra si ha alla stessa quota di 16.9 mslm (7.0 metri dalla testa del palo) e risulta pari a 228 kN/m.

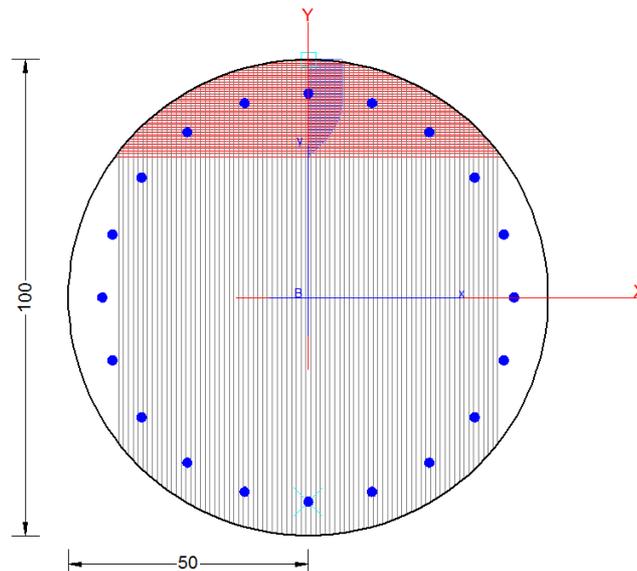


Nella seguente tabella si riassume l'armatura longitudinale e trasversale prevista che risulta essere la stessa per entrambe le pareti in quanto le caratteristiche della sollecitazione risultano essere simili.

Armatura longitudinale	Lunghezza gabbia [m]	Armatura prevista
<b>Gabbia 1</b>	11	20Φ20
<b>Gabbia 2</b>	11	20Φ20

Armatura trasversale	Passo [m]	Armatura prevista
<b>Elica</b>	0.2	100Φ10
<b>Anello irrigidimento</b>	2	10Φ24

Le verifiche sono state effettuate con il programma *RC-Sec*. Di seguito è riportato il Report delle verifiche a SLU.



## REPORT RC-SEC

### Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di calcolo fcd:	14.160 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	7.080 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Circolare
Classe Conglomerato:	C25/30

Raggio circ.:	50.0 cm
X centro circ.:	0.0 cm
Y centro circ.:	0.0 cm

### DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro	Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro	Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio	Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre	Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
Ø	Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	43.3	20	20

### ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe:	10 mm
Passo staffe:	20.0 cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale

### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	506.80	0.00	351.40	0.00

### RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.7 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 11.5 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 4.7 cm

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	506.80	0.00	0.00	955.33	0.00	1.885	40.8(15.7)

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00389	0.0	50.0	0.00235	0.0	43.3	-0.01258	0.0	-43.3

### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000172319	-0.005115939	0.218	0.712

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO**

Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
 Vsdu Taglio di progetto [kN] = proiezz. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro  
 Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.19) NTC]  
 Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.  
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
 Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
 ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

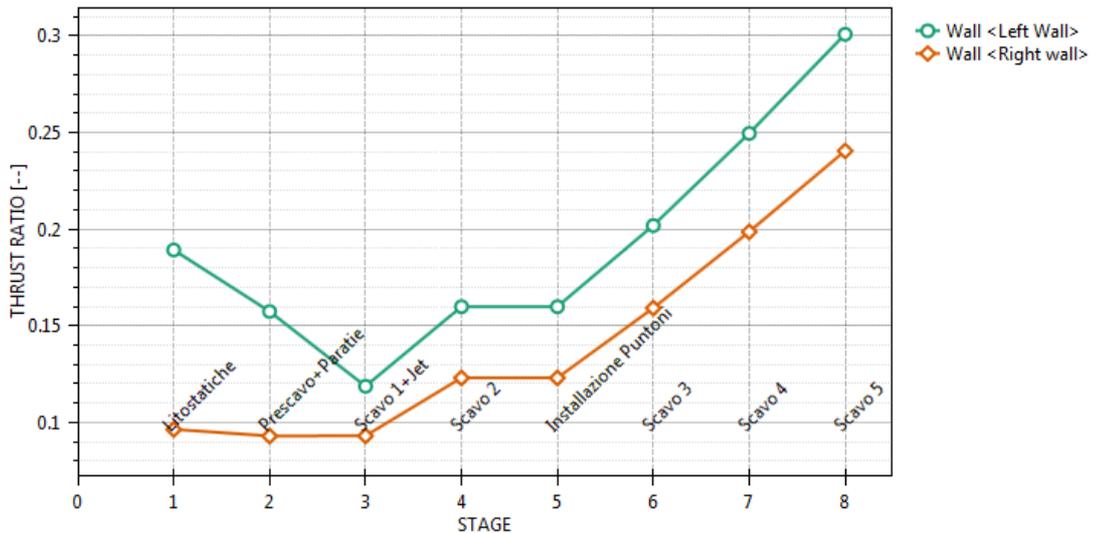
N°Comb	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Ast	A.Eff
1	N	351.40	1459.70	594.00	84.4	78.7	21.80°	1.000	4.7	8.0(0.0)

**9.1.3 VERIFICA SLU GEO PARATIA DI PALI (combinazione A2+M2+RI)**

Il massimo rapporto di mobilitazione della spinta passiva è circa il 30% sulla paratia di sinistra.

**Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva**

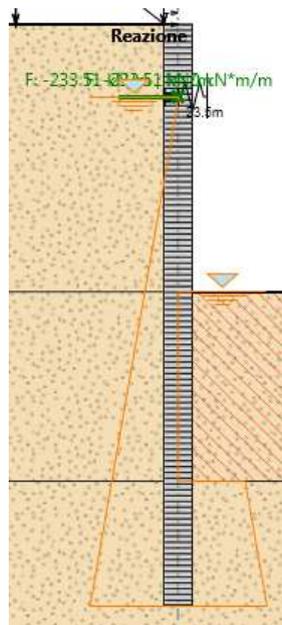
D.A. <A2+M2+R1>



#### 9.1.4 VERIFICA SLU STRU PUNTONE (combinazione A1+M1+R1)

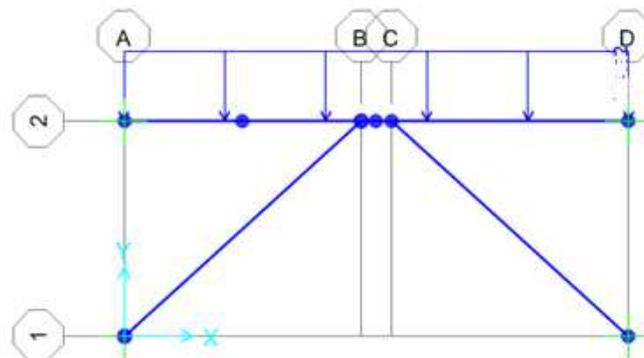
I puntone sono caratterizzati da un profilo circolare cavo  $\phi 406.4$   $s=25$ mm.

Tramite il programma di calcolo Paratie Plus è stata valutata la reazione nella molla in combinazione A1+M1+R1 che risulta essere pari a 233.5 kN/m sulla paratia di sinistra.



Tale reazione 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.



Tale sforzo è  $N_{Ed} = 915.70$  kN. Si è proceduto dunque alla verifica di instabilità del puntone compresso.

$N_{b,Rd}$  è la resistenza all'instabilità nell'asta compressa, data da

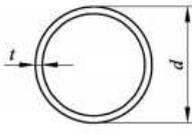
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

essendo la sezione di classe 1.

Infatti:

$$\frac{d}{t} = 16.256 \leq 50\varepsilon^2 = 42.72$$

e come riportato nella tabella sottostante la sezione è di classe 1.

Sezioni tubolari						
						
Classe	Sezione soggetta a flessione e/o compressione					
1	$d/t \leq 50 \varepsilon^2$					
2	$d/t \leq 70 \varepsilon^2$					
3	$d/t \leq 90 \varepsilon^2$					
	Nota Per $d/t > 90 \varepsilon^2$ vedere EN 1993-1-6.					
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	$\varepsilon^2$	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

**Figura 2.3** Tabella 5.2- parte 3 di EN 1993-1-1: rapporti lato/spessore per parti compresse.

I coefficienti  $\chi$  dipendono dal tipo di sezione e dal tipo di acciaio impiegato; essi si desumono, in funzione di appropriati valori della snellezza adimensionale  $\bar{\lambda}$ , dalla seguente formula

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0.88$$

dove  $\phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$ ,  $\alpha$  è il fattore di imperfezione, ricavato dalla Tab 4.2.VI, e la snellezza adimensionale  $\bar{\lambda}$  è pari a

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_{yk}}{N_{cr}}} = 0.631$$

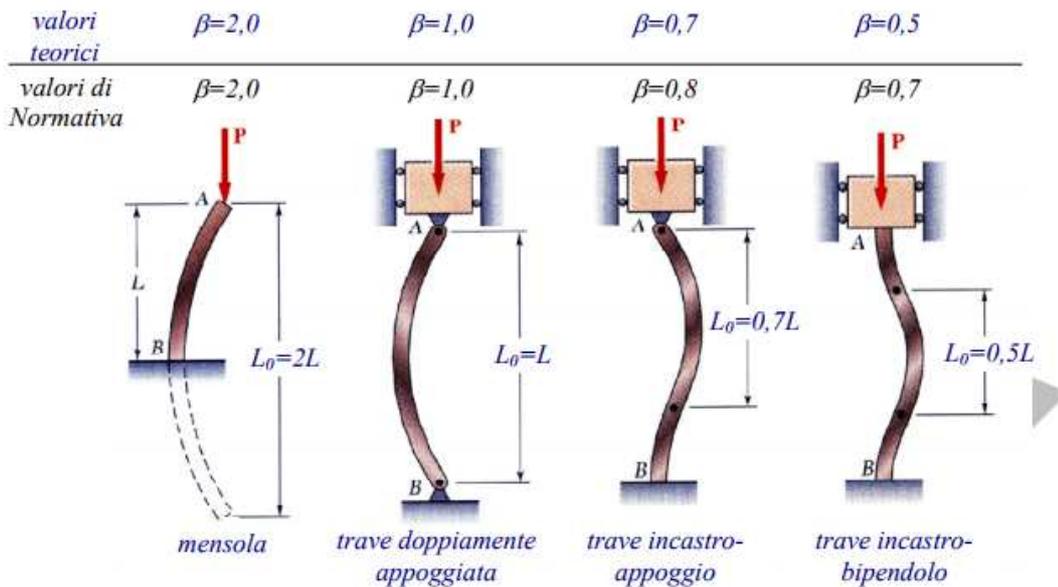
dove  $N_{cr} = \frac{\pi^2 * EJ}{L_o^2}$  e  $\alpha = 0.21$  essendo il tubolare una sezione formata a caldo.

Nella formulazione precedente

$$E = 210 * 10^9 \frac{N}{m^2}$$

$$J = 0.000547 m^4$$

$$L_o = \beta L = 1 * 7.4 = 7.4 m$$



Risulta:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 6296.92 \text{ kN}$$

Dunque essendo  $N_{Ed} = 915.70 \text{ kN}$  la verifica risulta essere soddisfatta.

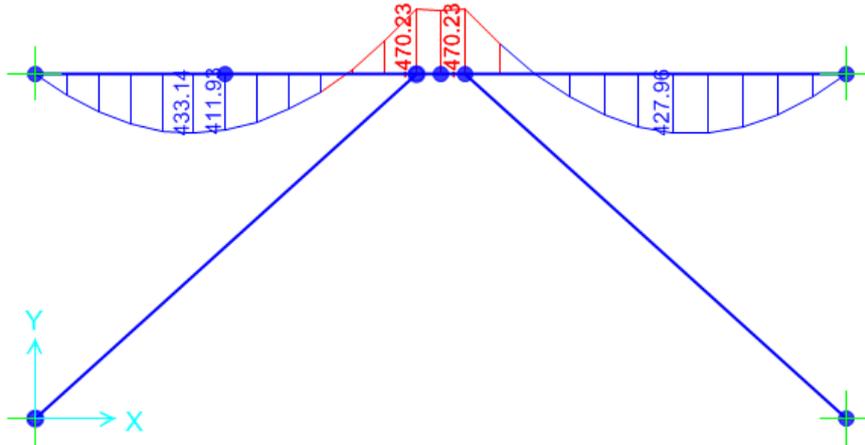
### 9.1.5 VERIFICA SLU STRU TRAVE DI RIPARTIZIONE (combinazione A1+M1+R1)

#### VERIFICA A MOMENTO

Il momento flettente di calcolo  $M_{Ed}$  deve rispettare la seguente condizione:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Per ricavare la sollecitazione massima a flessione nella trave di ripartizione si è ricavato il carico uniformemente distribuito sulla trave di ripartizione su ParatiePlus 17 nella combinazione A1+M1+R1. Tale carico è stato applicato allo schema trave/puntone su Sap2000. Il momento massimo risulta essere 470.23 KNm.



La resistenza di calcolo a flessione retta della sezione  $M_{c,Rd}$  vale per le sezioni di classe 1 e 2

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 3255.86 \text{ kNm}$$

Ove  $W_{pl}$  della sezione composta è la somma di  $W_{pl}$  dei due profilati HE500B ( $W_{pl}=4815\text{cm}^3$ )

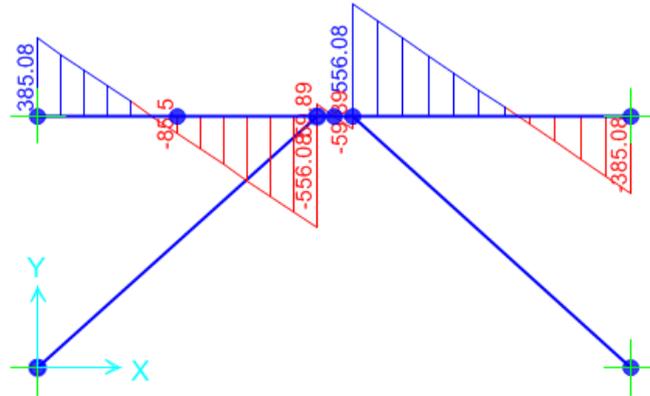
Dunque la verifica risulta essere soddisfatta.

### VERIFICA A TAGLIO

Il taglio di calcolo  $T_{Ed}$  deve rispettare la seguente condizione:

$$\frac{T_{Ed}}{T_{c,Rd}} \leq 1$$

Per ricavare la sollecitazione massima a taglio nella trave di ripartizione si è ricavato il carico uniformemente distribuito sulla trave di ripartizione su ParatiePlus 17 nella combinazione A1+M1+R1. Tale carico è stato applicato allo schema trave/puntone su Sap2000. Il taglio massimo risulta essere 556.08 KN.



La resistenza di calcolo taglio della sezione  $T_{c,Rd}$  vale:

$$T_{c,Rd} = \frac{A_v * f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2156.65 \text{ kN}$$

Ove  $A_v$  della sezione composta è la somma di  $A_v$  dei due profilati HE500B ( $A_v=89.82 \text{ cm}^2$ )

Dunque la verifica risulta essere soddisfatta.

### 9.1.6 VERIFICA SLU UPL

Le opere geotecniche, come riportato al paragrafo 6.2.3.2 della NTC 2008, devono essere verificate nei confronti dei possibili stati limiti di sollevamento o di sifonamento.

Per la stabilità al sollevamento deve risultare che il valore di progetto dell'azione instabilizzante  $V_{inst,d}$ , combinazione di azioni permanenti ( $G_{inst,d}$ ) e variabili ( $Q_{inst,d}$ ), sia non maggiore della combinazione dei valori di progetto delle azioni stabilizzanti ( $G_{stb,d}$ ) e delle resistenze ( $R_d$ ):

$$V_{inst,d} \leq G_{stb,d} + R_d \quad (6.2.4)$$

$$\text{dove } V_{inst,d} = G_{inst,d} + Q_{inst,d} \quad (6.2.5)$$

Per le verifiche di stabilità al sollevamento, i relativi coefficienti parziali sulle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.III. Tali coefficienti devono essere combinati in modo opportuno con quelli relativi ai parametri geotecnici (M2).

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	SOLLEVAMENTO (UPL)
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9
	Sfavorevole		1,1
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0
	Sfavorevole		1,5
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0
	Sfavorevole		1,5

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Il controllo della stabilità al sifonamento si esegue verificando che il valore di progetto della pressione interstiziale instabilizzante ( $u_{inst,d}$ ) risulti non superiore al valore di progetto della tensione totale stabilizzante ( $\sigma_{stb,d}$ ), tenendo conto dei coefficienti parziali della Tab. 6.2.IV:

$$u_{inst,d} \leq \sigma_{stb,d} \quad (6.2.6)$$

In entrambe le verifiche, nella valutazione delle pressioni interstiziali, si devono assumere le condizioni più sfavorevoli, considerando i possibili effetti delle successioni stratigrafiche sul regime di pressione dell'acqua.

Nelle verifiche al sifonamento, in presenza di adeguate conoscenze sul regime delle pressioni interstiziali, i coefficienti di sicurezza minimi sono indicati nella Tab. 6.2.IV. Valori superiori possono essere assunti e giustificati tenendo presente della pericolosità del fenomeno in relazione alla natura del terreno nonché dei possibili effetti della condizione di collasso.

Nel caso in esame si è assunta una distribuzione idrostatica delle pressioni interstiziali a monte e a valle della paratia fino al letto del tappo e pressioni interstiziali nulle all'interno del tappo stesso. Nella verifica a sollevamento del tappo si è tenuto conto dell'apporto di resistenza aggiuntivo dato dall'attrito con la paratia. Per la valutazione delle tensioni normali che favoriscono l'attrito tra parete e terreno sono state considerate le pressioni interstiziali (idrostatiche) a monte della paratia, agenti lungo lo spessore del tappo stesso:

$$\sigma_{stb,d} = \gamma_{G1} * h_{jet\ grouting} * \gamma_{jet\ grouting} + R_{lat} = 141\ kPa$$

Con

$$R_{lat} = 18.21\ kPa$$

$$u_{inst,d} = \gamma_{G1} * u_{(fondo_{jet-grouting})} = 139.7\ kPa$$

Essendo  $\sigma_{stb,d} > u_{inst,d}$  la verifica risulta essere soddisfatta con un tappo di jet-grouting di 6.5 m.

### 9.1.7 INCIDENZA PALI

Si valuta l'incidenza del palo e risulta pari a  $90 \frac{kg}{m^3}$ .

	$\phi$ (mm)	L (m)	N° Ferri	Peso (kg)
Ferri Long.	20	11	20	542.520
Ferri Long.	20	11	20	542.520
Elica	10	3	100	213.220
Anello	24	3	10	111.558

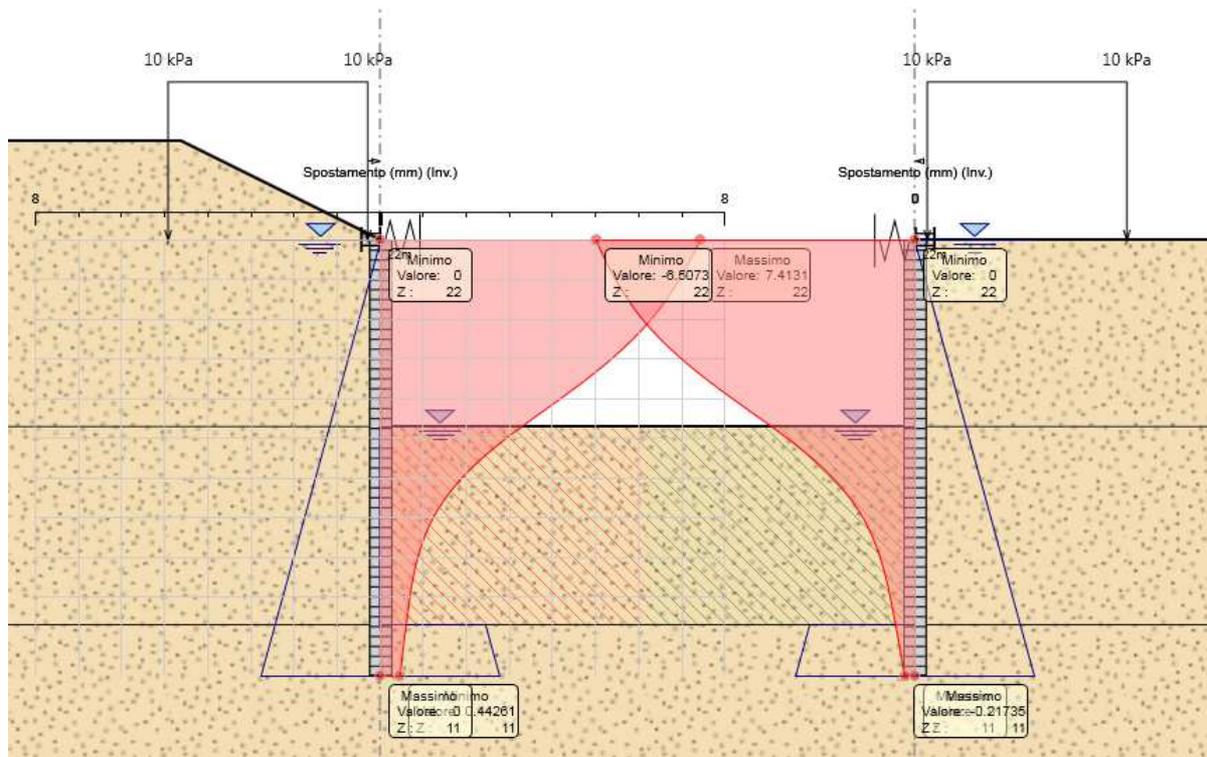
1409.819 **TOT**

Volume CLS (m <sup>3</sup> )	15.708
<b>INCIDENZA (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>90.00</b>

## 9.2 SEZIONE P04

### 9.2.1 RISULTATI (combinazione nominal):

Dall'involuppo degli spostamenti in combinazione nominale si osserva che lo spostamento massimo orizzontale della paratia di destra si ha in testa alla stessa risulta pari a 6.5 mm, per la paratia di sinistra si ha in testa alla stessa e vale 7.4 mm.

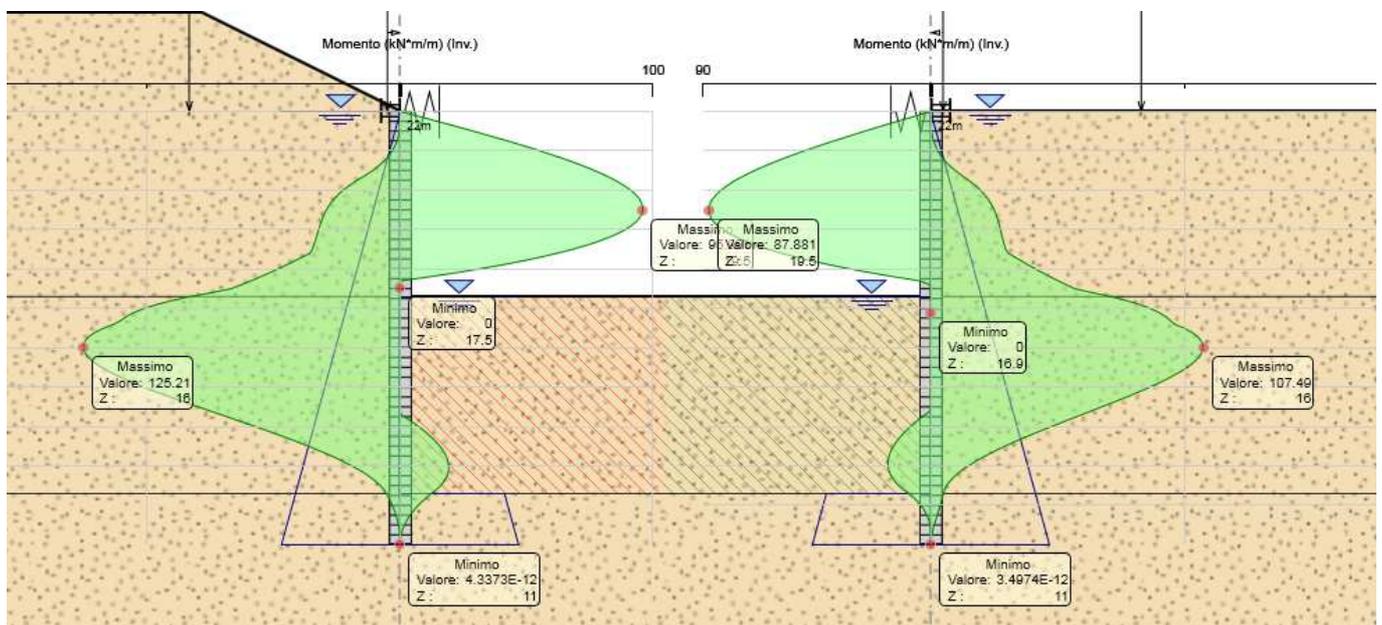


U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI  
VI03 – Viadotto Letojanni - Relazione di calcolo  
opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	02 D 09	CL	VI0303 002	A	42 di 54

### 9.2.2 RISULTATI e VERIFICHE SLU STR PARATIA DI PALI (combinazione A1+M1+R1):

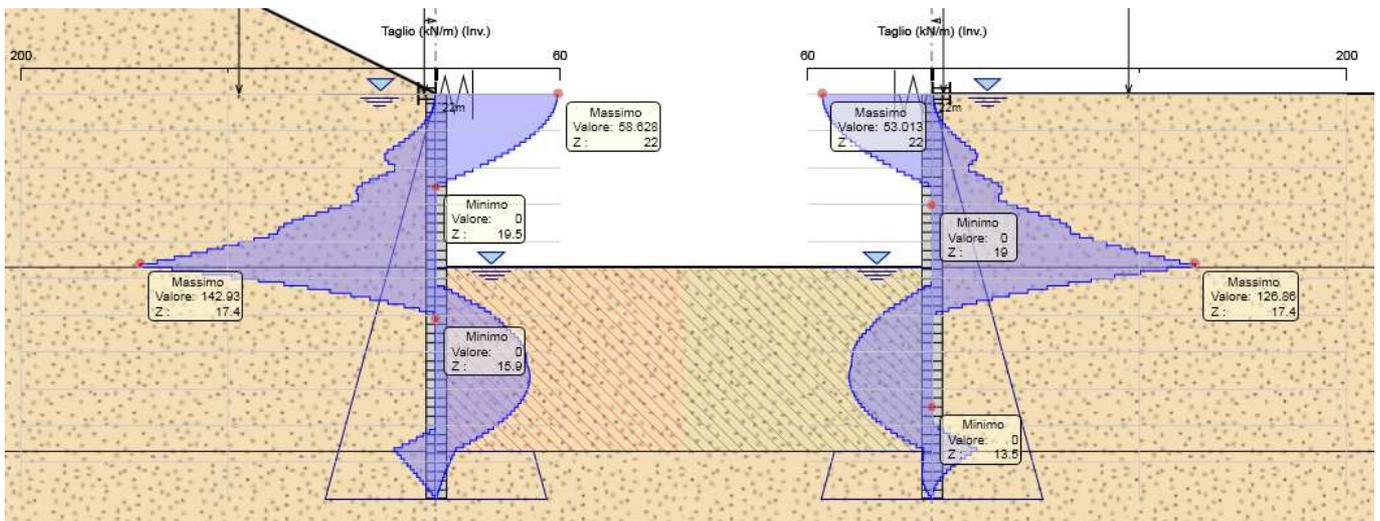
Dall'involuppo del momento flettente in combinazione A1+M1+R1 si osserva che il massimo valore sulla paratia di sinistra si ha ad una quota di 16.00 mslm ( 5 metri dalla testa del palo) e vale 125.2 kNm/m. Il massimo valore sulla paratia di destra si ha ad una quota di 16.00 mslm (5 metri dalla testa del palo) e vale 107.5 kNm/m



**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**  
**VI03 – Viadotto Letojanni - Relazione di calcolo**  
**opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	02 D 09	CL	VI0303 002	A	43 di 54

Dall'involuppo taglio in combinazione A1+M1+R1 si osserva che il massimo valore sulla paratia di sinistra si ha ad una quota di 17.4 mslm (4.6 metri dalla testa del palo) e vale 143 kN/m. Il massimo valore sulla paratia di destra si ha alla stessa quota di 17.4 mslm (4.6 metri dalla testa del palo) e vale 126.88 kN/m.

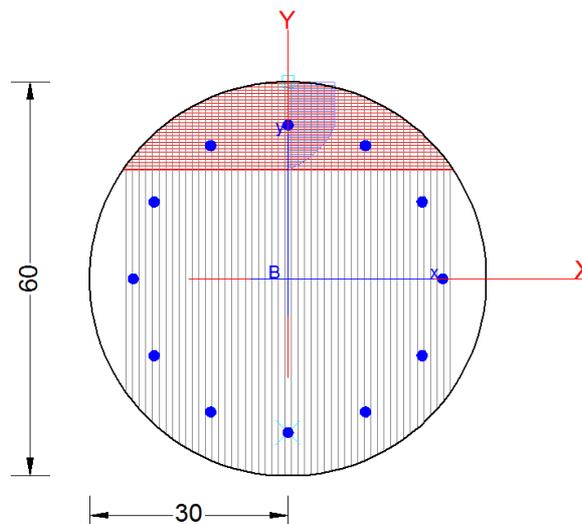


Nella seguente tabella si riassume l'armatura longitudinale e trasversale prevista.

Armatura longitudinale	Lunghezza gabbia [m]	Armatura prevista
<b>Gabbia 1</b>	11	12 $\Phi$ 16

Armatura trasversale	Passo [m]	Armatura prevista
<b>Elica</b>	0.25	44 $\Phi$ 8
<b>Anello irrigidimento</b>	2	6 $\Phi$ 24

Le verifiche sono state effettuate con il programma *RC-Sec*. Di seguito è riportato il Report delle verifiche a SLU.



## REPORT RC-SEC

### Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di calcolo fcd:	14.160 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	7.080 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Circolare
Classe Conglomerato:	C25/30

Raggio circ.:	30.0 cm
X centro circ.:	0.0 cm
Y centro circ.:	0.0 cm

### DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro	Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro	Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio	Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre	Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
Ø	Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	23.4	12	16

### ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe:	10 mm
Passo staffe:	20.0 cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale

### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	100.20	0.00	114.40	0.00

### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.8 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 10.5 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 4.8 cm

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	100.20	0.00	0.00	206.40	0.00	2.060	18.1(4.1)

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00318	0.0	30.0	0.00179	0.0	23.4	-0.01037	0.0	-23.4

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

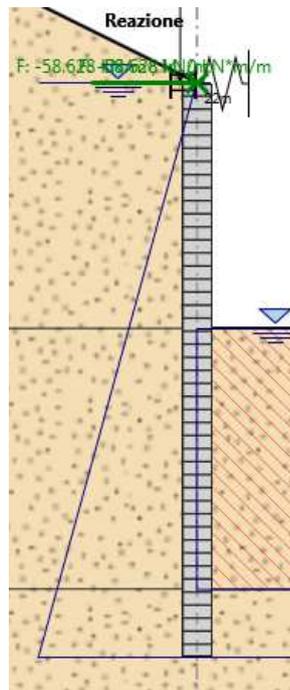
N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
--------	---	---	---	-----	--------



#### 9.2.4 VERIFICA SLU STRU PUNTONE (combinazione A1+M1+R1)

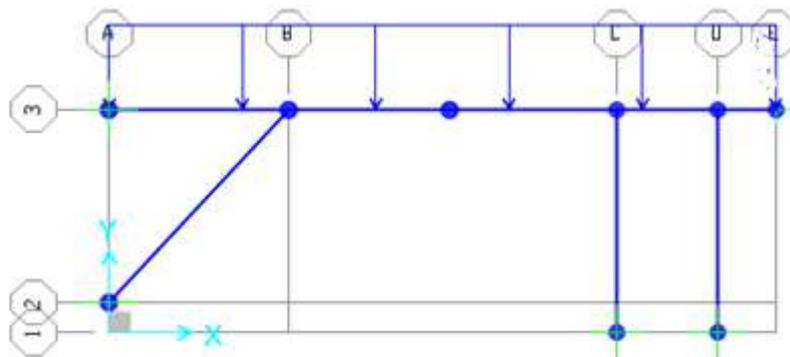
I puntone sono caratterizzati da un profilo circolare cavo  $\phi$  406.4 s=25mm.

Tramite il programma di calcolo Paratie Plus è stata valutata la reazione nella molla in combinazione A1+M1+R1 che risulta essere pari a 58.6 kN/m sulla paratia di sinistra.



Tale reazione 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.



Tale sforzo è  $N_{Ed} = 464.27 \text{ kN}$ . Si è proceduto dunque alla verifica di instabilità del puntone compresso.

$N_{b,Rd}$  è la resistenza all'instabilità nell'asta compressa, data da

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

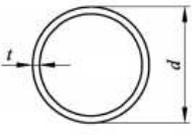
 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b>					
	<b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b> <b>LOTTO 2: Taormina - Giampilieri</b>					
<b>U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI</b> <b>VI03 – Viadotto Letojanni - Relazione di calcolo</b> <b>opere provvisionali – Parte 1 di 2</b>	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 09	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0303 002	REV. A	FOGLIO 49 di 54

essendo la sezione di classe 1.

Infatti:

$$\frac{d}{t} = 16.256 \leq 50\varepsilon^2 = 42.72$$

e come riportato nella tabella sottostante la sezione è di classe 1.

Sezioni tubolari						
						
Classe	Sezione soggetta a flessione e/o compressione					
1	$d/t \leq 50 \varepsilon^2$					
2	$d/t \leq 70 \varepsilon^2$					
3	$d/t \leq 90 \varepsilon^2$					
	Nota Per $d/t > 90 \varepsilon^2$ vedere EN 1993-1-6.					
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	$\varepsilon^2$	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

**Figura 2.3** Tabella 5.2- parte 3 di EN 1993-1-1: rapporti lato/spessore per parti compresse.

I coefficienti  $\chi$  dipendono dal tipo di sezione e dal tipo di acciaio impiegato; essi si desumono, in funzione di appropriati valori della snellezza adimensionale  $\bar{\lambda}$ , dalla seguente formula

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0.89$$

dove  $\phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$ ,  $\alpha$  è il fattore di imperfezione, ricavato dalla Tab 4.2.VI, e la snellezza adimensionale  $\bar{\lambda}$  è pari a

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_{yk}}{N_{cr}}} = 0.589$$

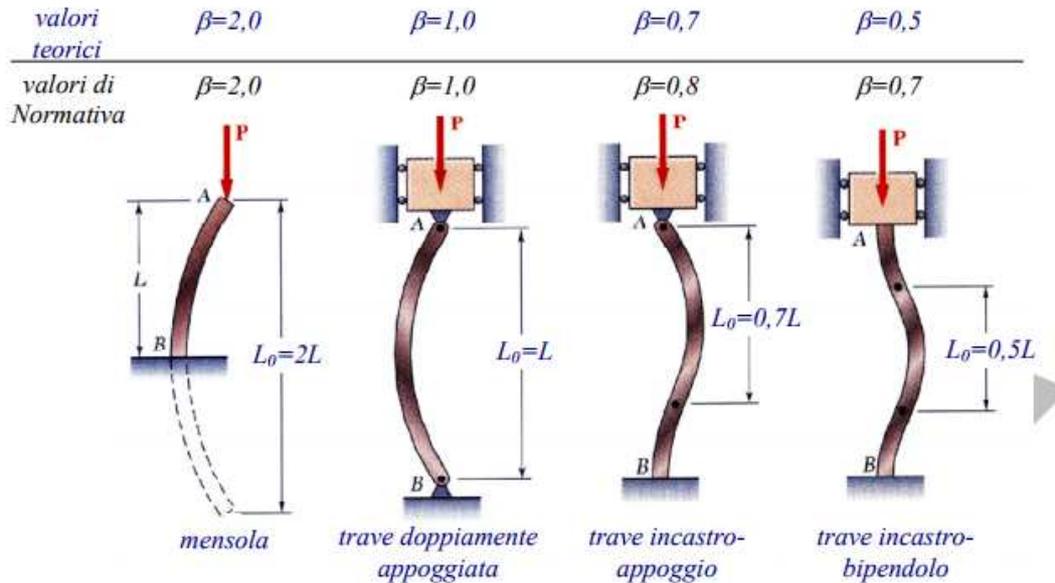
dove  $N_{cr} = \frac{\pi^2 * EJ}{L_0^2}$  e  $\alpha = 0.21$  essendo il tubolare una sezione formata a caldo.

Nella formulazione precedente

$$E = 210 * 10^9 \frac{N}{m^2}$$

$$J = 0.000547 m^4$$

$$L_0 = \beta L = 1 * 6.9 = 6.9 m$$



Risulta:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 6415.27 \text{ kN}$$

Dunque essendo  $N_{Ed} = 464.27 \text{ kN}$  la verifica risulta essere soddisfatta.

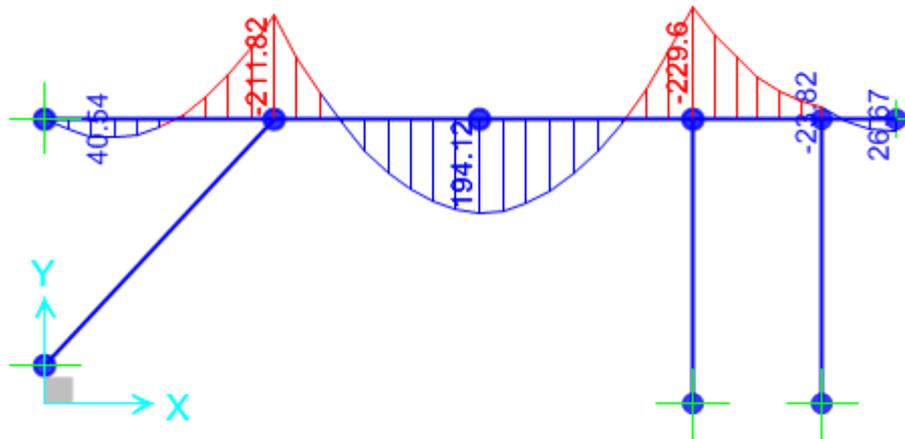
### 9.2.5 VERIFICA SLU STRU TRAVE DI RIPARTIZIONE (combinazione A1+M1+R1)

#### VERIFICA A MOMENTO

Il momento flettente di calcolo  $M_{Ed}$  deve rispettare la seguente condizione:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Per ricavare la sollecitazione massima a flessione nella trave di ripartizione si è ricavato il carico uniformemente distribuito sulla trave di ripartizione su ParatiePlus 17 nella combinazione A1+M1+R1. Tale carico è stato applicato allo schema trave/puntone su Sap2000. Il momento massimo risulta essere 229.60 KNm.



La resistenza di calcolo a flessione retta della sezione  $M_{c,Rd}$  vale per le sezioni di classe 1 e 2

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 3255.86 \text{ kNm}$$

Ove  $W_{pl}$  della sezione composta è la somma di  $W_{pl}$  dei due profilati HE500B ( $W_{pl}=4815\text{cm}^3$ )

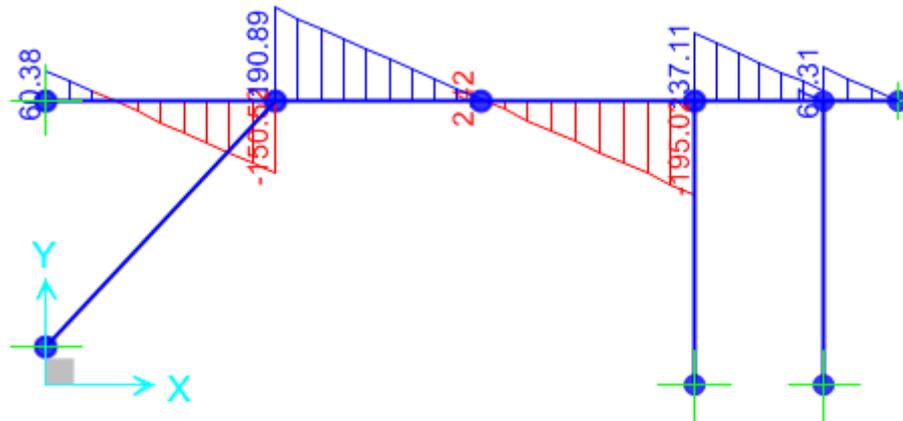
Dunque la verifica risulta essere soddisfatta.

#### VERIFICA A TAGLIO

Il taglio di calcolo  $T_{Ed}$  deve rispettare la seguente condizione:

$$\frac{T_{Ed}}{T_{c,Rd}} \leq 1$$

Per ricavare la sollecitazione massima a taglio nella trave di ripartizione si è ricavato il carico uniformemente distribuito sulla trave di ripartizione su ParatiePlus 17 nella combinazione A1+M1+R1. Tale carico è stato applicato allo schema trave/puntone su Sap2000. Il taglio massimo risulta essere 195.02 KN.



La resistenza di calcolo taglio della sezione  $T_{c,Rd}$  vale:

$$T_{c,Rd} = \frac{A_v * f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2156.65 \text{ kN}$$

Ove  $A_v$  della sezione composta è la somma di  $A_v$  dei due profilati HE500B ( $A_v=89.82 \text{ cm}^2$ )

Dunque la verifica risulta essere soddisfatta.

### 9.2.6 VERIFICA SLU UPL

Le opere geotecniche, come riportato al paragrafo 6.2.3.2 della NTC 2008, devono essere verificate nei confronti dei possibili stati limiti di sollevamento o di sifonamento.

Per la stabilità al sollevamento deve risultare che il valore di progetto dell'azione instabilizzante  $V_{inst,d}$ , combinazione di azioni permanenti ( $G_{inst,d}$ ) e variabili ( $Q_{inst,d}$ ), sia non maggiore della combinazione dei valori di progetto delle azioni stabilizzanti ( $G_{stb,d}$ ) e delle resistenze ( $R_d$ ):

$$V_{inst,d} \leq G_{stb,d} + R_d \quad (6.2.4)$$

$$\text{dove } V_{inst,d} = G_{inst,d} + Q_{inst,d} \quad (6.2.5)$$

Per le verifiche di stabilità al sollevamento, i relativi coefficienti parziali sulle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.III. Tali coefficienti devono essere combinati in modo opportuno con quelli relativi ai parametri geotecnici (M2).

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	SOLLEVAMENTO (UPL)
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9
	Sfavorevole		1,1
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0
	Sfavorevole		1,5
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0
	Sfavorevole		1,5

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Il controllo della stabilità al sifonamento si esegue verificando che il valore di progetto della pressione interstiziale instabilizzante ( $u_{inst,d}$ ) risulti non superiore al valore di progetto della tensione totale stabilizzante ( $\sigma_{stb,d}$ ), tenendo conto dei coefficienti parziali della Tab. 6.2.IV:

$$u_{inst,d} \leq \sigma_{stb,d} \quad (6.2.6)$$

In entrambe le verifiche, nella valutazione delle pressioni interstiziali, si devono assumere le condizioni più sfavorevoli, considerando i possibili effetti delle successioni stratigrafiche sul regime di pressione dell'acqua.

Nelle verifiche al sifonamento, in presenza di adeguate conoscenze sul regime delle pressioni interstiziali, i coefficienti di sicurezza minimi sono indicati nella Tab. 6.2.IV. Valori superiori possono essere assunti e giustificati tenendo presente della pericolosità del fenomeno in relazione alla natura del terreno nonché dei possibili effetti della condizione di collasso.

Nel caso in esame si è assunta una distribuzione idrostatica delle pressioni interstiziali a monte e a valle della paratia fino al letto del tappo e pressioni interstiziali nulle all'interno del tappo stesso. Nella verifica a sollevamento del tappo si è tenuto conto dell'apporto di resistenza aggiuntivo dato dall'attrito con la paratia. Per la valutazione delle tensioni normali che favoriscono l'attrito tra parete e terreno sono state considerate le pressioni interstiziali (idrostatiche) a monte della paratia, agenti lungo lo spessore del tappo stesso:

$$\sigma_{stb,d} = \gamma_{G1} * h_{jet\ grouting} * \gamma_{jet\ grouting} + R_{lat} = 108.5\ kPa$$

Con

$$R_{lat} = 14.00\ kPa$$

$$u_{inst,d} = \gamma_{G1} * u_{(fondo_{jet-grouting})} = 106.7\ kPa$$

Essendo  $\sigma_{stb,d} > u_{inst,d}$  la verifica risulta essere soddisfatta con un tappo di jet-grouting di 5 m.

### 9.2.7 INCIDENZA PALI

Si valuta l'incidenza del palo e risulta pari a  $90 \frac{kg}{m^3}$ .

	$\phi$ (mm)	L (m)	N° Ferri	Peso (kg)
<b>Ferri Long.</b>	16	11	12	208.296
<b>Elica</b>	8	2	44	36.037
<b>Anello</b>	24	2	6	36.814

281.147 **TOT**

<b>Volume CLS (m<sup>3</sup>)</b>	3.110
<b>INCIDENZA (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>90.00</b>