

# SOSTITUZIONE DEL PONTE DI RACCORDO AL CASELLO AUTOSTRADALE TRA VIA PISA, VIA DEI FIESCHI E VIA ROMA

Committente:

## COMUNE DI RECCO



Progettista:



Ing. P. Maestrelli

Responsabile della sicurezza in fase di progettazione:



Ing. M. Goso



## PROGETTO ESECUTIVO

NOME FILE			CODICE COMMESSA					TIPO		NUMERO TAVOLA				REV.	
PR2220_PE_R071_A			P	R	2	2	2	0	P	E	R	0	7	1	A
SCALA		TITOLO TAVOLA													
-		RELAZIONE DI CALCOLO OPERE CIVILI E FONDAZIONI													
DATA															
Luglio 2025															

D					
C					
B					
A	Revisione	Luglio 2025	STG	VACCAREZZA	MAESTRELLI
0	Emissione	Febbraio 2023	STG	VACCAREZZA	MAESTRELLI
REVISIONE	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO





## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVE E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
2.1	NORMATIVE NAZIONALI ED INTERNAZIONALI .....	6
2.2	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO .....	6
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>7</b>
3.1	CALCESTRUZZO PER MAGRI DI FONDAZIONE .....	7
3.2	CALCESTRUZZO PER FONDAZIONE .....	7
3.3	ACCIAIO PER ARMATURE FONDAZIONE .....	8
3.4	ACCIAIO PER ARMATURE MICROPALI .....	8
<b>4</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE OPERE.....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....</b>	<b>10</b>
5.1	GENERALITÀ .....	10
5.2	PIANO INDAGINE INTEGRATIVO.....	11
<b>6</b>	<b>MODELLAZIONE .....</b>	<b>13</b>
6.1	CARATTERISTICHE DEL MODELLO DI CALCOLO .....	13
6.2	ANALISI DEI CARICHI.....	14
6.2.1	PESO PROPRIO.....	14
6.2.2	CARICHI SUGLI APPOGGI .....	14
6.2.3	CARICHI VARIABILI .....	25
6.3	COMBINAZIONI DEI CARICHI .....	25
6.4	VINCOLI.....	25
6.4.1	RIGIDEZZA ASSIALE PALI DI FONDAZIONE .....	25
6.4.2	RIGIDEZZA TRASVERSALE PALI DI FONDAZIONE.....	26
6.5	AZIONI NEI PALI DI FONDAZIONE.....	27
6.6	SOLLECITAZIONI FLESSIONALI SLU NELLA PIASTRA DI FONDAZIONE.....	34
6.7	SOLLECITAZIONI FLESSIONALI SLE NELLA PIASTRA DI FONDAZIONE .....	40
<b>7</b>	<b>VERIFICHE DI RESISTENZA DELLA FONDAZIONE (SLU).....</b>	<b>41</b>
7.1	CENNI METODOLOGICI E NORMATIVI .....	41



PROGETTO ESECUTIVO  
PONTI SUL TORRENTE RECCO

Relazione di calcolo opere civili e fondazioni

PR2220 PE\_R071

Rev. 0

7.2	VERIFICA MOMENTO RESISTENTE PIASTRA FONDAZIONE .....	42
8	VERIFICHE A FESSURAZIONE E TENSIONI DI ESERCIZIO DELLA FONDAZIONE (SLE).....	43
8.1	CENNI METODOLOGICI E NORMATIVI .....	43
8.2	CALCOLO APERTURA FESSURE E VERIFICHE TENSIONI DI ESERCIZIO .....	43
9	VERIFICHE SUI MICROPALI DI FONDAZIONE (SLU) .....	46
9.1	CENNI METODOLOGICI E NORMATIVI .....	46
9.2	VERIFICA A CAPACITÀ PORTANTE DEI MICROPALI AI CARICHI ASSIALI .....	48

⌘ - ⌘ - ⌘ - ⌘ - ⌘



## 1 PREMESSA

La presente relazione riporta una sintesi dei calcoli di verifica delle strutture relative ad opere civili e fondazioni nell'ambito degli interventi da realizzarsi nel centro abitato del Comune di Recco, ricompresi nell'ambito di un più vasto complesso di opere volte alla riqualificazione delle aree e di un fabbricato esistente (ex-"Microart") per destinarlo a nuovo utilizzo quale Media Struttura di Vendita, tra Via Roma, in sponda sinistra e Via Pisa e Via Dei Fieschi, in sponda destra.

I calcoli di verifica sono stati effettuati secondo le disposizioni delle NTC 2018 e succ. Circolare, alla luce delle combinazioni di carico più sfavorevoli.

Le unità di misura, salvo diversamente specificato, sono da intendersi kN, kNm e m.

Il calcolo delle strutture è stato condotto con l'ausilio del codice di calcolo STRAUS7 vers. 2.3.7 di comprovata attendibilità.

## 2 NORMATIVE E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normative nazionali ed internazionali

I dimensionamenti effettuati e le relative verifiche, riportati e non nella presente relazione, vengono eseguiti nel rispetto della Normativa Vigente, con particolare riferimento a:

- D.M. 18 gennaio 2018. Testo Unitario “Nuove norme Tecniche per le Costruzioni” → NTC.
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7. “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018” → CIRC.
- Deliberazione della giunta regionale (Regione Liguria) 17.03.2017 n°216 “OPCM 3519/2006. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria.” → DGR216.
- EUROCODICE 1 – Azioni sulle strutture, Parte 1-4: Azioni in generale – Azione del vento → EC1.
- EUROCODICE 2 – Costruzioni in conglomerato cementizio → EC2.
- EUROCODICE 3 – Progettazione delle strutture di acciaio → EC3.
- EUROCODICE 4 – Strutture miste acciaio-calcestruzzo → EC4.
- EUROCODICE 7 – Progettazione geotecnica → EC7.
- EUROCODICE 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture → EC8.

### 2.2 Documentazione di progetto

Per la redazione del presente elaborato sono stati presi in considerazione i seguenti documenti:

- Dott. Geol. E. Barboro: “Mitigazione del rischio idraulico e locale risistemazione viaria tra via Pisa – via dei Fieschi e via Roma con sostituzione del ponte di raccordo al casello autostradale sul torrente Recco in comune di Recco (GE) - Relazione geologica idrogeologica sismica. Progetto definitivo” - Luglio 2016 (aggiornamento 2019).

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali che dovranno essere impiegati per la realizzazione delle opere sono i seguenti.

#### 3.1 Calcestruzzo per magri di fondazione

*Classe di resistenza C12/15*

Resistenza cubica caratteristica  $R_{ck} = 15 \text{ N/mm}^2$

Resistenza cilindrica caratteristica  $f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 12 \text{ N/mm}^2$

#### 3.2 Calcestruzzo per fondazione

*Classe di esposizione XC1-XC2*

*Classe di consistenza S4*

*Diametro massimo inerti 20 mm per il corpo spalle  
10 mm per i baggioli*

*Classe di resistenza C25/30*

Resistenza cubica caratteristica:	$R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
Resistenza cilindrica caratteristica:	$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 24,9 \text{ N/mm}^2$
Resistenza media a compressione:	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 32,9 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a compressione:	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 14,11 \text{ N/mm}^2$
Resistenza media a trazione semplice:	$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2,55 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica a trazione semplice:	$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 1,79 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a trazione:	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1,19 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico:	$E_c = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0,3} = 31447 \text{ N/mm}^2$

#### Controlli

Sui calcestruzzi verranno eseguiti prelievi di campione così come previsto dal D.M. 17/01/2018, da sottoporre a prove di laboratorio.

#### Prescrizioni per la durabilità delle opere

Ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche e della protezione contro il degrado del calcestruzzo, le NTC definiscono al punto 4.1.6.1.3 il COPRIFERRO NOMINALE, inteso come la distanza tra la superficie dell'armatura più esterna e la faccia del calcestruzzo più prossima (tale valore non va confuso con il parametro "d" utilizzato nei calcoli per la definizione dell'altezza utile della sezione).

Il valore del Copriferro Nominale è definito in funzione di:

- *vita utile della struttura*
- *ambiente in cui si trova la struttura*
- *classe di calcestruzzo impiegata.*

Nel caso in esame l'opera si trova in un **ambiente ordinario** (GRUPPO DI ESIGENZA A) che richiede la limitazione delle fessurazioni ai seguenti valori per armature poco sensibili:

Combinazione frequente  $w < w_2 = 0,3 \text{ mm}$

Combinazione quasi permanente  $w < w_1 = 0,2 \text{ mm}$ .

Per strutture aventi vita utile di **100 anni**, in dette condizioni ambientali, le NTC definiscono come classe di calcestruzzo minima la C25/30 ed in particolare, per le opere in oggetto, un copriferro minimo sul ferro più esterno pari a  $20+10 = 30 \text{ mm}$ .

### 3.3 Acciaio per armature fondazione

Acciaio FeB44k (B450C)

Resistenza caratteristica allo snervamento

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

Resistenza di calcolo

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

Modulo elastico

$$E_s = 210.000 \text{ N/mm}^2.$$

#### Controlli

Sulle barre di armatura verranno eseguiti prelievi di campione così come previsto dal D.M. 17/01/2018, da sottoporre a prove di laboratorio.

#### Mandrini piegatura tondini

Particolare attenzione va posta alla lavorazione delle armature. In accordo alle indicazioni riportate in EC2, par. 8.3, i diametri dei mandrini impiegati per la piegatura delle barre dovranno rispettare i seguenti limiti inferiori:

per barre  $\phi \leq 16 \text{ mm}$  → diametro minimo del mandrino  $4 \cdot \phi$

per barre  $\phi > 16 \text{ mm}$  → diametro minimo del mandrino  $7 \cdot \phi$ .

### 3.4 Acciaio per armature micropali

Acciaio S355

Resistenza caratteristica allo snervamento

$$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza di calcolo

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 338 \text{ N/mm}^2$$

Modulo elastico

$$E_s = 210.000 \text{ N/mm}^2.$$

#### Controlli

Sulle armature tubolari verranno eseguiti prelievi di campione così come previsto dal D.M. 17/01/2018, da sottoporre a prove di laboratorio.



#### 4 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Le opere di fondazione del nuovo ponte sono costituite da due travi in c.a. realizzate su micropali di fondazione. La sezione delle travi è rappresentata nell'immagine seguente.

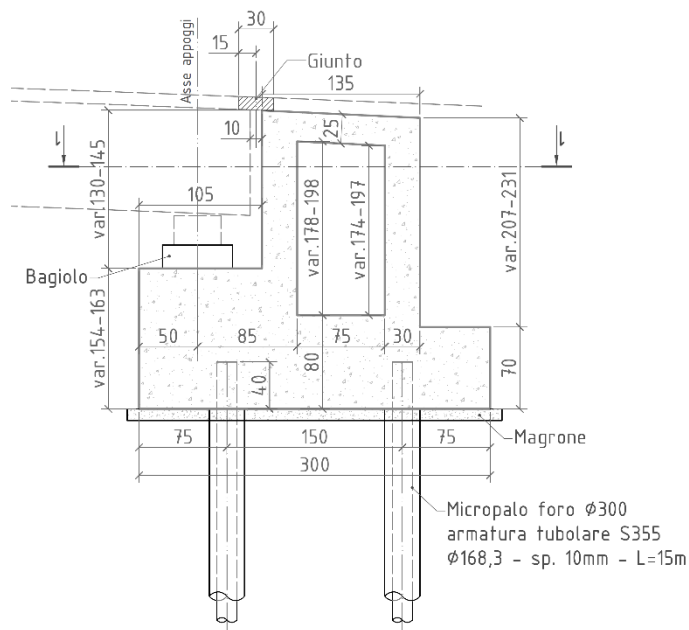
Una piastra larga 3 metri, di spessore pari a 120 – 80 – 70 cm, lunga in totale rispettivamente 58,90 metri nel caso della spalla Est e 52,90 m nel caso della spalla Ovest.

Al di sopra della piastra più spessa sono intestati i baggioli.

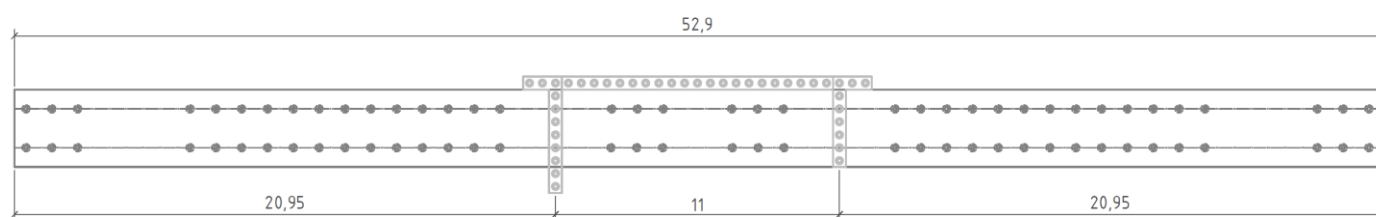
Sulla parte centrale si elevano il paraghiaia controterra ed un secondo setto che ha la funzione di fare da appoggio alla soletta di copertura del vano di ispezione dei singoli appoggi, che può avvenire da appositi finestre lasciate in quest'ultimo ritto.

Entrambi i setti hanno altezza variabile e spessore 30 cm mentre la soletta ha una larghezza di 135 cm ed uno spessore di 25 cm.

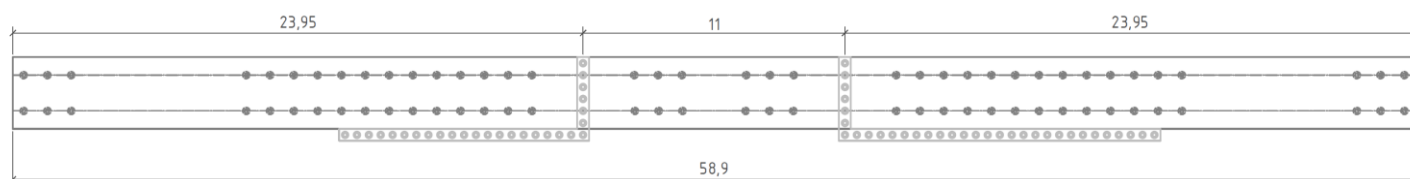
A causa della necessità di realizzare le opere per fasi successive vista la presenza del traffico veicolare comunque da mantenere, entrambe le spalle presenteranno due giunti intermedi che di fatto le dividono in tre corpi distinti.



Ogni spalla è fondata su 76 micropali, realizzati su 2 allineamenti, con foro diametro 200 mm e profondità 15 m, armati con tubolare metallico in acciaio S355 diametro 168,3 mm e spessore 10 mm.



Disposizione pali e lunghezza dei 3 conchi della spalla Ovest



Disposizione pali e lunghezza dei 3 conchi della spalla Est

## 5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

### 5.1 Generalità

Dalla relazione geologica redatta dal Dott. Geol Elisabetta Barboro si evince che la zona su cui verrà realizzato il nuovo ponte è ubicata nella parte terminale del bacino del Torrente Recco nell'area piana alluvionale intensamente urbanizzata.

La zona ricade all'interno dell'ansa golenale, in località S. Rocco, posta in sinistra orografica del T. Recco, lungo la strada statale 333 Recco-Uscio-Gattorna, ad una quota altimetrica compresa tra 9-10 mt s.l.m.m. Il substrato roccioso del tipo calcareo-marnoso ha influito maggiormente la morfologia del tratto costiero fra Genova e Chiavari.

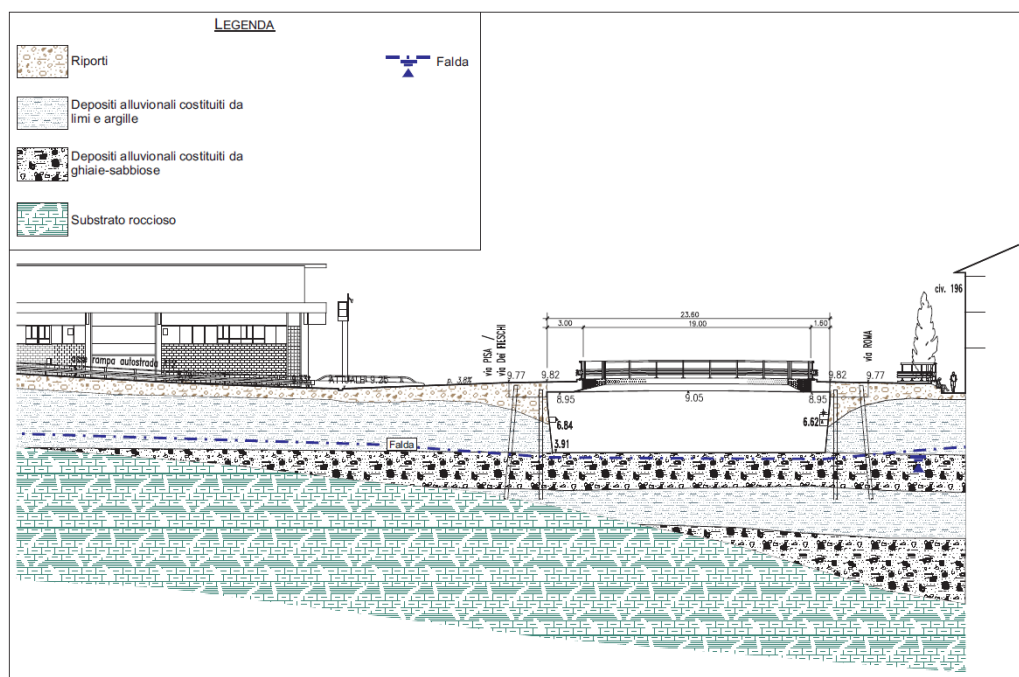
Lungo la fascia costiera, da Boccadasse fino a Rapallo e Zoagli, la presenza continua di calcari marnosi ha originato una morfologia a rilievi che raggiungono altezze medie sui 500-600 mt a brevi distanze dal mare, rilievi che sono separati da vallette incise da torrenti, il quali vanno a sfociare su modeste spiagge.

Lungo le coste, quasi ovunque alte, l'abrasione marina ha posto in particolare evidenza gli strati a composizione prevalentemente calcarea, inarcati dai fenomeni tettonici, localmente così intenso da non consentire di determinare una geometria prevalente del complesso roccioso.

Entrando nel dettaglio si tratta di un'area di terrazzamento alluvionale recente, ad andamento pressoché pianeggiante, caratterizzata, per la maggior parte, dalla presenza di depositi fini di natura limosa con lenti ghiaioso-sabbiose, frammisti, nella parte superficiale, a terreno di riporto.

Verso la zona di radice del terrazzo, nei pressi del raccordo con il versante, si distingue una fascia, allungata con direzioni all'incirca N-S, costituente una frangia pedemontana a composizione detritico alluvionale.

Nella figura successiva viene riportata la stratigrafia interpretativa allegata alla relazione geologica.



Sezione stratigrafica interpretativa

Il deposito è costituito da una sequenza di materiali alluvionali a granulometria fine intercalati da depositi di ghiaie e sabbie con presenza di frazione limoso-argillosa.

Di seguito viene riportata la parametrizzazione del deposito.

### Riporti

*Materiali eterogenei a granulometria prevalentemente grossolana e privi di coesione:*

- peso specifico naturale  $\gamma = 19 - 20 \text{ kN/mc}$
- angolo d'attrito  $\phi = 28^\circ$
- coesione efficace  $C = 0 \text{ KPa}$

*Depositi alluvionali costituiti da ghiaie-sabbiose con ciottoli*

- peso specifico naturale  $\gamma = 20 - 21 \text{ kN/mc}$
- angolo d'attrito  $\phi = 31 - 33^\circ$
- coesione efficace  $C = 0 \text{ KPa}$

*Depositi alluvionali marini costituiti da sabbie-limose, debolmente argillose*

- peso specifico naturale  $\gamma = 19 - 20 \text{ kN/mc}$
- angolo d'attrito  $\phi = 30 - 32^\circ$
- coesione efficace  $C = 0 \text{ KPa}$

*Substrato roccioso costituito da calcari marnosi compatti e fratturati*

- peso specifico naturale  $\gamma = 25 \text{ kN/mc}$
- angolo d'attrito  $\phi = 33 - 35^\circ$
- coesione efficace  $C = 200 \text{ KPa}$

Secondo la relazione geologica il sito è classificabile sismicamente come B e con classe topografica T1.

## **5.2 Piano indagine integrativo**

Preliminarmente all'inizio delle lavorazioni sarà necessario integrare le indagini geognostiche mediante l'esecuzione delle seguenti prove:

- N. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo di lunghezza 20 m da eseguirsi in corrispondenza delle nuove spalle del ponte subito a monte del muro d'argine esistente (minimo uno per spalla). Dovranno essere effettuati prelievi di campioni rimaneggiati/indisturbati e prove SPT ad intervalli regolari, n.1 prova/3 m (le prove SPT dovranno essere localizzate negli orizzonti in cui il terreno è prevalentemente a comportamento granulare, ovvero nella parte superficiale del deposito). Tutte le carote dovranno essere

collocate in apposite cassette catalogatrici, descritte e fotografate. Le prove in situ comprendono anche pocket penetrometer tests calibrati per poter misurare resistenze fino a 2 MPa. Un rivestimento temporaneo dovrà essere utilizzato per poter assicurare la stabilità delle pareti del foro durante tutte le fasi di perforazione attraverso il terreno;

- N. 2 stendimenti MASW (minimo uno per spalla);
- N. 2 prove HVSR (minimo una per spalla);
- Prove di laboratorio come sotto riportato.

Indagine	Lunghezza [m]	Indicazioni
S1	20	Sondaggio a carotaggio continuo con prove SPT
S2	20	Sondaggio a carotaggio continuo con prove SPT
MASW 1	30	Prova sismica di superficie MASW
MASW 2	30	Prova sismica di superficie MASW
HVSR-N-1	-	Prova sismica HVSR in prossimità della prova MASW 1
HVSR-N-2	-	Prova sismica HVSR in prossimità della prova MASW 2

*Prove in situ*

Il numero e la profondità delle prove in foro, la profondità di utilizzo del doppio carotiere, della punta diamantata e del rivestimento provvisorio sono da ritenersi indicativi, essendo necessario valutare tali indicazioni con la DL durante le fasi di perforazione ed estrazione delle carote per l'esame del materiale riscontrato.

Dovranno essere effettuate anche prove di laboratorio sui campioni prelevati nei fori di sondaggio, secondo il seguente programma:

- Sui campioni rimaneggiati analisi granulometrica mediante vagliatura, peso dell'unità di volume naturale e Limiti di Atterberg (minimo 3 granulometrie, minimo 3 determinazione della massa volumica);
- Sui campioni indisturbati (se presenti), analisi granulometrica mediante vagliatura, contenuto d'acqua naturale, Limiti di Atterberg, analisi granulometrica mediante sedimentazione qualora il contenuto di fine risulti superiore al 35%, peso specifico dei grani ed n. 2 prove di taglio diretto in base alla tipo di terreno prelevato e qualora lo stesso ne consenta l'esecuzione;
- Su almeno due campioni di roccia dovranno essere effettuate la determinazione misura del peso dell'unità di volume e due prove di compressione monoassiale;
- Su almeno due campioni di roccia dovranno essere effettuate le prove di compressione monoassiale strumentate al fine di ricavare il modulo elastico della roccia;

Il programma sopra riportato si basa sulle condizioni stratigrafiche attese nell'area di progetto. Se differenti condizioni di suolo verranno rilevate, il programma di laboratorio verrà modificato in accordo ad esse.

## 6 MODELLAZIONE

### 6.1 Caratteristiche del modello di calcolo

L'analisi delle opere di fondazione è stata condotta con l'ausilio di un modello FEM realizzato con il codice di calcolo STRAUS7 vers. 2.3.7 di comprovata attendibilità.

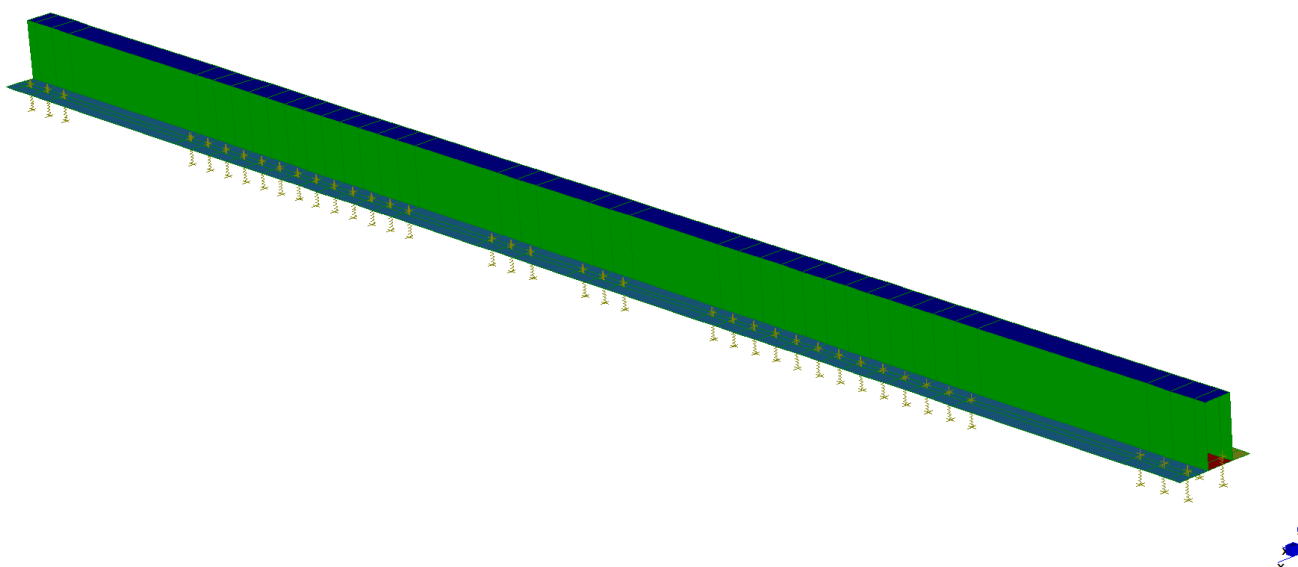
Come richiesto dalle NTC, il modello tridimensionale della struttura rappresenta in modo adeguato le effettive distribuzioni spaziali di massa, rigidezza e resistenza.

Nella definizione del modello, alcuni elementi strutturali considerati "secondari" sono stati rappresentati unicamente in termini di peso.

La struttura della fondazione è stata modellata con una serie di elementi "plate".

Come vincoli, nei nodi corrispondenti ai pali di fondazione sono state inserite delle molle, rappresentative dei micropali di fondazione.

Si riporta di seguito la vista assonometrica generale del modello 3D globale.



## 6.2 Analisi dei carichi

### 6.2.1 Peso proprio

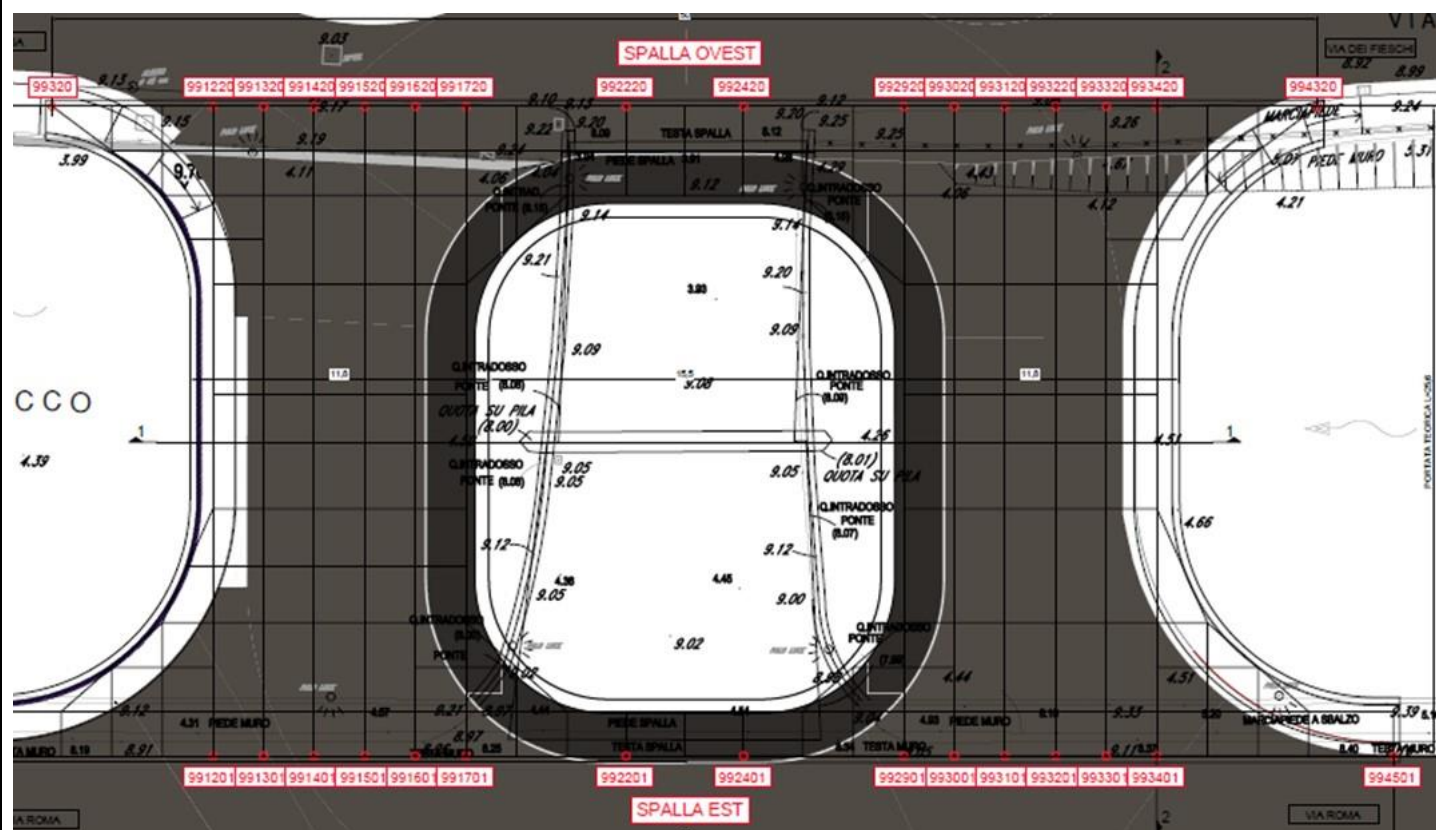
Il peso proprio degli elementi strutturali viene implementato direttamente dal modello in funzione della densità dei materiali che costituiscono l'elemento.

### 6.2.2 Carichi sugli appoggi

I carichi derivanti dalla sovrastruttura sono stati desunti dal modello di calcolo del ponte.

Si riporta nelle immagini seguenti lo schema dei nodi con la numerazione di quelli corrispondenti agli appoggi.

Nelle successive tabelle si riportano i valori delle sollecitazioni nei vari nodi nelle diverse combinazioni di carico.



*Numerazione nodi corrispondenti agli appoggi*

I carichi, riportati nelle tabelle a seguire, sono stati applicati al modello nelle posizioni corrispondenti ai relativi appoggi, con una terna di forze nelle tre direzioni X (asse longitudinale della spalla), Y (asse trasversale della spalla) e Z (asse verticale).



### 6.2.2.1 Tabella reazioni elementari – spalla Est

Spalla Est	Nodo 992401			Nodo 992901		
	Isolatore elastomerico			Isolatore elastomerico		
Carichi permanenti	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Fase 1 - Carichi permanenti strutturali	100	0	0	550	0	0
Fase 2 - Carichi permanenti portati	100	0	0	250	0	0
Ritiro	0	0	0	0	0	0
Massimi carichi permanenti	150	0	0	750	0	0
Minimi carichi permanenti	150	0	0	750	0	0
Cedimenti vincolari (+/-)	0	0	0	0	0	0
Effetti ambientali	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Variazione termica (*) (**)						
Variazione termica (+/-)	0	10	20	0	10	20
Vento (*)						
Vento (+/-)	50	20	0	50	20	0
Fase 3 - Sovraccarichi accidentali da traffico	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Schema di carico 1 (*)						
Massimo carico verticale (file M100)	250	0	10	350	0	0
Minimo carico verticale (file M100)	150	0	0	550	0	0
Massimo carico verticale (file M200)	150	0	0	550	0	0
Minimo carico verticale (file M200)	100	0	0	300	0	0
Massimo carico verticale (file T100)	0	0	0	150	0	0
Minimo carico verticale (file T100)	0	0	0	150	0	0
Massimo carico verticale (file T200)	0	0	0	200	0	0
Minimo carico verticale (file T200)	0	0	0	0	0	0
Frenatura						
Frenatura (+/-)	0	0	20	0	0	20
Attrito (**)	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
SLU	0	0	0	0	0	0
SLE Rara	0	0	0	0	0	0
SLE Frequente	0	0	0	0	0	0
SLE Quasi Permanente	0	0	0	0	0	0
Sisma SLV	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Sisma - Componente elementare direzione X (+/-)	0	40	0	50	40	0
Sisma - Componente elementare direzione Y (+/-)	50	0	40	50	0	40
Sisma - Componente elementare direzione Z (+/-)	50	0	0	50	0	0
Sisma - Involuppo delle componenti (+/-)	50	40	40	50	40	40
Sisma SLC	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Sisma - Componente elementare direzione X (+/-)	50	60	0	50	60	0
Sisma - Componente elementare direzione Y (+/-)	50	0	60	50	0	60
Sisma - Componente elementare direzione Z (+/-)	50	0	0	50	0	0
Sisma - Involuppo delle componenti (+/-)	50	60	60	50	60	60



PROGETTO ESECUTIVO  
PONTI SUL TORRENTE RECCO

Relazione di calcolo opere civili e fondazioni

PR2220 PE R071

Rev. 0

Spalla Est	Nodo 993001			Nodo 993101		
	Isolatore elastomerico			Isolatore elastomerico		
<b>Carichi permanenti</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Fase 1 - Carichi permanenti strutturali	300	0	0	250	0	0
Fase 2 - Carichi permanenti portati	200	0	0	150	0	0
Ritiro	0	0	0	0	0	0
Massimi carichi permanenti	450	0	0	350	0	0
Minimi carichi permanenti	450	0	0	350	0	0
Cedimenti vincolari (+/-)	0	0	0	0	0	0
<b>Effetti ambientali</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
<b>Variazione termica (*) (**)</b>						
Variazione termica (+/-)	0	20	20	0	20	20
<b>Vento (*)</b>						
Vento (+/-)	50	20	0	50	20	0
<b>Fase 3 - Sovraccarichi accidentali da traffico</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
<b>Schema di carico 1 (*)</b>						
Massimo carico verticale (file M100)	200	0	0	100	0	0
Minimo carico verticale (file M100)	500	0	0	400	0	0
Massimo carico verticale (file M200)	500	0	0	400	0	0
Minimo carico verticale (file M200)	400	0	0	400	0	0
Massimo carico verticale (file T100)	250	0	0	350	0	0
Minimo carico verticale (file T100)	250	0	0	350	0	0
Massimo carico verticale (file T200)	250	0	0	300	0	0
Minimo carico verticale (file T200)	0	0	0	0	0	0
<b>Frenatura</b>						
Frenatura (+/-)	0	0	20	0	0	20
<b>Attrito (**)</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
SLU	0	0	0	0	0	0
SLE Rara	0	0	0	0	0	0
SLE Frequente	0	0	0	0	0	0
SLE Quasi Permanente	0	0	0	0	0	0
<b>Sisma SLV</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Sisma - Componente elementare direzione X (+/-)	50	40	0	0	40	0
Sisma - Componente elementare direzione Y (+/-)	50	0	40	50	0	40
Sisma - Componente elementare direzione Z (+/-)	50	0	0	50	0	0
Sisma - Involuppo delle componenti (+/-)	50	40	40	50	40	40
<b>Sisma SLC</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Sisma - Componente elementare direzione X (+/-)	50	60	0	0	60	0
Sisma - Componente elementare direzione Y (+/-)	50	0	60	50	0	60
Sisma - Componente elementare direzione Z (+/-)	50	0	0	50	0	0
Sisma - Involuppo delle componenti (+/-)	50	60	60	50	60	60





PROGETTO ESECUTIVO  
PONTI SUL TORRENTE RECCO

Relazione di calcolo opere civili e fondazioni

PR2220 PE R071

Rev. 0

Spalla Est	Nodo 993201			Nodo 993301		
	Isolatore elastomerico			Isolatore elastomerico		
<b>Carichi permanenti</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Fase 1 - Carichi permanenti strutturali	250	0	0	250	0	0
Fase 2 - Carichi permanenti portati	100	0	0	150	0	0
Ritiro	0	0	0	0	0	0
Massimi carichi permanenti	350	0	0	400	0	0
Minimi carichi permanenti	350	0	0	400	0	0
Cedimenti vincolari (+/-)	0	0	0	0	0	0
<b>Effetti ambientali</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
<b>Variazione termica (*) (**)</b>						
Variazione termica (+/-)	0	20	20	0	20	20
<b>Vento (*)</b>						
Vento (+/-)	50	20	0	50	20	0
<b>Fase 3 - Sovraccarichi accidentali da traffico</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
<b>Schema di carico 1 (*)</b>						
Massimo carico verticale (file M100)	100	0	0	100	0	0
Minimo carico verticale (file M100)	300	0	0	200	0	0
Massimo carico verticale (file M200)	300	0	0	200	0	0
Minimo carico verticale (file M200)	350	0	0	200	0	0
Massimo carico verticale (file T100)	450	0	0	450	0	0
Minimo carico verticale (file T100)	450	0	0	450	0	0
Massimo carico verticale (file T200)	300	0	0	350	0	0
Minimo carico verticale (file T200)	0	0	0	50	0	0
<b>Frenatura</b>						
Frenatura (+/-)	0	0	30	0	0	30
<b>Attrito (**)</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
SLU	0	0	0	0	0	0
SLE Rara	0	0	0	0	0	0
SLE Frequente	0	0	0	0	0	0
SLE Quasi Permanente	0	0	0	0	0	0
<b>Sisma SLV</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Sisma - Componente elementare direzione X (+/-)	0	40	0	50	40	0
Sisma - Componente elementare direzione Y (+/-)	50	0	40	50	0	40
Sisma - Componente elementare direzione Z (+/-)	50	0	0	50	0	0
Sisma - Involuppo delle componenti (+/-)	50	40	40	50	40	40
<b>Sisma SLC</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Sisma - Componente elementare direzione X (+/-)	0	60	0	50	60	0
Sisma - Componente elementare direzione Y (+/-)	50	0	60	50	0	60
Sisma - Componente elementare direzione Z (+/-)	50	0	0	50	0	0
Sisma - Involuppo delle componenti (+/-)	50	60	60	50	60	60



PROGETTO ESECUTIVO  
PONTI SUL TORRENTE RECCO

Relazione di calcolo opere civili e fondazioni

PR2220 PE R071

Rev. 0

Spalla Est	Nodo 993401			Nodo 994501		
	Isolatore elastomerico			Isolatore elastomerico		

Carichi permanenti	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Fase 1 - Carichi permanenti strutturali	750	0	0	100	0	0
Fase 2 - Carichi permanenti portati	250	0	0	100	0	0
Ritiro	0	0	0	0	0	0
Massimi carichi permanenti	1000	0	0	200	0	0
Minimi carichi permanenti	1000	0	0	200	0	0
Cedimenti vincolari (+/-)	0	0	0	0	0	0

Effetti ambientali	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
<b>Variazione termica (*) (**)</b>						
Variazione termica (+/-)	0	20	20	0	30	20
<b>Vento (*)</b>						
Vento (+/-)	50	20	0	50	20	0

Fase 3 - Sovraccarichi accidentali da traffico	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
<b>Schema di carico 1 (*)</b>						
Massimo carico verticale (file M100)	50	0	0	0	0	0
Minimo carico verticale (file M100)	100	0	0	0	0	0
Massimo carico verticale (file M200)	100	0	0	0	0	0
Minimo carico verticale (file M200)	100	0	0	0	0	0
Massimo carico verticale (file T100)	350	0	0	0	0	0
Minimo carico verticale (file T100)	350	0	0	0	0	0
Massimo carico verticale (file T200)	450	0	0	0	0	0
Minimo carico verticale (file T200)	100	0	0	50	0	0
<b>Frenatura</b>						
Frenatura (+/-)	0	0	30	0	0	30

Attrito (**)	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
SLU	0	0	0	0	0	0
SLE Rara	0	0	0	0	0	0
SLE Frequente	0	0	0	0	0	0
SLE Quasi Permanente	0	0	0	0	0	0

Sisma SLV	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Sisma - Componente elementare direzione X (+/-)	50	40	0	50	40	0
Sisma - Componente elementare direzione Y (+/-)	0	0	40	50	0	40
Sisma - Componente elementare direzione Z (+/-)	50	0	0	50	0	0
<b>Sisma - Involuppo delle componenti (+/-)</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>40</b>

Sisma SLC	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Sisma - Componente elementare direzione X (+/-)	50	60	0	50	60	0
Sisma - Componente elementare direzione Y (+/-)	0	0	60	50	0	60
Sisma - Componente elementare direzione Z (+/-)	50	0	0	50	0	0
<b>Sisma - Involuppo delle componenti (+/-)</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>60</b>

(\*): Le condizioni nella tabella sono tra loro mutuamente esclusive

(\*\*): Carichi trasversali di segno opposto sul singolo allineamento

### 6.2.2.2 Tabella carichi combinati – spalla Est

Spalla Est	Nodo 992401			Nodo 992901		
	Isolatore elastomerico			Isolatore elastomerico		
COMBINAZIONI DI CARICO	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
SLU Max	550	30	40	1700	30	40
SLU Min	100	-20	-30	500	-20	-30
SLE RaraMax	400	20	30	1200	20	30
SLE Rara Min	150	0	10	700	0	10
SLE Frequente Max	350	10	20	1100	10	20
SLE Frequente Min	150	10	10	700	10	10
SLE Quasi Permanente Max	150	10	10	700	10	10
SLE Quasi Permanente Min	150	0	0	700	0	0
SLV	150	40	50	750	50	50
SLC	150	50	60	750	60	60
	Nodo 993001			Nodo 993101		
	Isolatore elastomerico			Isolatore elastomerico		
COMBINAZIONI DI CARICO	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
SLU Max	1250	30	40	1000	30	40
SLU Min	250	-20	-30	250	-20	-30
SLE RaraMax	900	20	30	750	20	30
SLE Rara Min	450	0	20	350	0	20
SLE Frequente Max	800	10	20	650	20	30
SLE Frequente Min	450	0	10	350	0	10
SLE Quasi Permanente Max	450	10	10	350	10	10
SLE Quasi Permanente Min	450	0	0	350	0	0
SLV	450	50	50	350	50	50
SLC	450	60	60	350	60	60
	Nodo 993201			Nodo 993301		
	Isolatore elastomerico			Isolatore elastomerico		
COMBINAZIONI DI CARICO	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
SLU Max	1000	40	50	1050	40	50
SLU Min	250	-30	-40	250	-30	-40
SLE RaraMax	750	30	30	750	30	30
SLE Rara Min	350	0	20	400	-10	20
SLE Frequente Max	650	20	30	650	20	30
SLE Frequente Min	350	0	10	400	0	10
SLE Quasi Permanente Max	350	10	10	350	10	10
SLE Quasi Permanente Min	350	0	0	350	0	0
SLV	350	50	50	400	50	50
SLC	350	60	60	400	60	60
	Nodo 993401			Nodo 994501		
	Isolatore elastomerico			Isolatore elastomerico		
COMBINAZIONI DI CARICO	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
SLU Max	1900	40	50	300	60	50
SLU Min	750	-30	-40	100	-50	-40
SLE RaraMax	1400	30	30	200	40	40
SLE Rara Min	950	-10	20	150	-10	20
SLE Frequente Max	1250	20	30	200	20	30
SLE Frequente Min	950	0	20	150	0	20
SLE Quasi Permanente Max	950	10	10	150	20	10
SLE Quasi Permanente Min	950	0	0	150	-10	0
SLV	950	50	50	150	60	50
SLC	950	60	60	150	70	60



PROGETTO ESECUTIVO  
PONTI SUL TORRENTE RECCO

Relazione di calcolo opere civili e fondazioni

PR2220 PE R071

Rev. 0

6.2.2.3 Tabella reazioni elementari – spalla Ovest

Spalla Ovest	Nodo 992420			Nodo 992920		
	Isolatore elastomerico			Isolatore elastomerico		
Carichi permanenti	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Fase 1 - Carichi permanenti strutturali	150	0	0	600	0	0
Fase 2 - Carichi permanenti portati	100	0	0	250	0	0
Ritiro	0	0	0	0	0	0
Massimi carichi permanenti	200	0	0	800	0	0
Minimi carichi permanenti	200	0	0	800	0	0
Cedimenti vincolari (+/-)	0	0	0	0	0	0
Effetti ambientali	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Variazione termica (*) (**)						
Variazione termica (+/-)	0	10	20	0	10	20
Vento (*)						
Vento (+/-)	50	20	0	50	20	0
Fase 3 - Sovraccarichi accidentali da traffico	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Schema di carico 1 (*)						
Massimo carico verticale (file M100)	600	0	10	500	0	0
Minimo carico verticale (file M100)	350	0	0	800	0	0
Massimo carico verticale (file M200)	150	0	0	550	0	0
Minimo carico verticale (file M200)	150	0	0	350	0	0
Massimo carico verticale (file T100)	0	0	0	150	0	0
Minimo carico verticale (file T100)	0	0	0	150	0	0
Massimo carico verticale (file T200)	0	0	0	200	0	0
Minimo carico verticale (file T200)	0	0	0	0	0	0
Frenatura						
Frenatura (+/-)	0	0	20	0	0	20
Attrito (**)	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
SLU	0	0	0	0	0	0
SLE Rara	0	0	0	0	0	0
SLE Frequente	0	0	0	0	0	0
SLE Quasi Permanente	0	0	0	0	0	0
Sisma SLV	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Sisma - Componente elementare direzione X (+/-)	0	40	0	50	40	0
Sisma - Componente elementare direzione Y (+/-)	50	0	40	50	0	40
Sisma - Componente elementare direzione Z (+/-)	50	0	0	50	0	0
Sisma - Involuppo delle componenti (+/-)	50	40	40	50	40	40
Sisma SLC	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Sisma - Componente elementare direzione X (+/-)	50	60	0	50	60	0
Sisma - Componente elementare direzione Y (+/-)	50	0	60	50	0	60
Sisma - Componente elementare direzione Z (+/-)	50	0	0	50	0	0
Sisma - Involuppo delle componenti (+/-)	50	60	60	50	60	60



PROGETTO ESECUTIVO  
PONTI SUL TORRENTE RECCO

Relazione di calcolo opere civili e fondazioni

PR2220 PE R071

Rev. 0

Spalla Ovest	Nodo 993020			Nodo 993120		
	Isolatore elastomerico			Isolatore elastomerico		
<b>Carichi permanenti</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Fase 1 - Carichi permanenti strutturali	350	0	0	300	0	0
Fase 2 - Carichi permanenti portati	200	0	0	150	0	0
Ritiro	0	0	0	0	0	0
Massimi carichi permanenti	500	0	0	400	0	0
Minimi carichi permanenti	500	0	0	400	0	0
Cedimenti vincolari (+/-)	0	0	0	0	0	0
<b>Effetti ambientali</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
<b>Variazione termica (*) (**)</b>						
Variazione termica (+/-)	0	20	20	0	20	20
<b>Vento (*)</b>						
Vento (+/-)	50	20	0	50	20	0
<b>Fase 3 - Sovraccarichi accidentali da traffico</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
<b>Schema di carico 1 (*)</b>						
Massimo carico verticale (file M100)	250	0	0	100	0	0
Minimo carico verticale (file M100)	300	0	0	150	0	0
Massimo carico verticale (file M200)	500	0	0	400	0	0
Minimo carico verticale (file M200)	400	0	0	450	0	0
Massimo carico verticale (file T100)	250	0	0	350	0	0
Minimo carico verticale (file T100)	250	0	0	350	0	0
Massimo carico verticale (file T200)	250	0	0	300	0	0
Minimo carico verticale (file T200)	0	0	0	0	0	0
<b>Frenatura</b>						
Frenatura (+/-)	0	0	20	0	0	20
<b>Attrito (**)</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
SLU	0	0	0	0	0	0
SLE Rara	0	0	0	0	0	0
SLE Frequente	0	0	0	0	0	0
SLE Quasi Permanente	0	0	0	0	0	0
<b>Sisma SLV</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Sisma - Componente elementare direzione X (+/-)	50	40	0	0	40	0
Sisma - Componente elementare direzione Y (+/-)	50	0	40	50	0	40
Sisma - Componente elementare direzione Z (+/-)	50	0	0	50	0	0
Sisma - Involuppo delle componenti (+/-)	50	40	40	50	40	40
<b>Sisma SLC</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Sisma - Componente elementare direzione X (+/-)	50	60	0	0	60	0
Sisma - Componente elementare direzione Y (+/-)	50	0	60	50	0	60
Sisma - Componente elementare direzione Z (+/-)	50	0	0	50	0	0
Sisma - Involuppo delle componenti (+/-)	50	60	60	50	60	60



PROGETTO ESECUTIVO  
PONTI SUL TORRENTE RECCO

Relazione di calcolo opere civili e fondazioni

PR2220 PE R071

Rev. 0

Spalla Ovest	Nodo 993220			Nodo 993320		
	Isolatore elastomerico			Isolatore elastomerico		
<b>Carichi permanenti</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Fase 1 - Carichi permanenti strutturali	300	0	0	300	0	0
Fase 2 - Carichi permanenti portati	150	0	0	150	0	0
Ritiro	0	0	0	0	0	0
Massimi carichi permanenti	400	0	0	450	0	0
Minimi carichi permanenti	400	0	0	450	0	0
Cedimenti vincolari (+/-)	0	0	0	0	0	0
<b>Effetti ambientali</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
<b>Variazione termica (*) (**)</b>						
Variazione termica (+/-)	0	20	20	0	20	20
<b>Vento (*)</b>						
Vento (+/-)	50	20	0	50	20	0
<b>Fase 3 - Sovraccarichi accidentali da traffico</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
<b>Schema di carico 1 (*)</b>						
Massimo carico verticale (file M100)	100	0	0	100	0	0
Minimo carico verticale (file M100)	400	0	0	250	0	0
Massimo carico verticale (file M200)	300	0	0	200	0	0
Minimo carico verticale (file M200)	350	0	0	200	0	0
Massimo carico verticale (file T100)	450	0	0	450	0	0
Minimo carico verticale (file T100)	450	0	0	450	0	0
Massimo carico verticale (file T200)	300	0	0	350	0	0
Minimo carico verticale (file T200)	50	0	0	50	0	0
<b>Frenatura</b>						
Frenatura (+/-)	0	0	30	0	0	30
<b>Attrito (**)</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
SLU	0	0	0	0	0	0
SLE Rara	0	0	0	0	0	0
SLE Frequente	0	0	0	0	0	0
SLE Quasi Permanente	0	0	0	0	0	0
<b>Sisma SLV</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Sisma - Componente elementare direzione X (+/-)	0	40	0	50	40	0
Sisma - Componente elementare direzione Y (+/-)	50	0	40	50	0	40
Sisma - Componente elementare direzione Z (+/-)	50	0	0	50	0	0
Sisma - Involuppo delle componenti (+/-)	50	40	40	50	40	40
<b>Sisma SLC</b>	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Sisma - Componente elementare direzione X (+/-)	0	60	0	50	60	0
Sisma - Componente elementare direzione Y (+/-)	50	0	60	50	0	60
Sisma - Componente elementare direzione Z (+/-)	50	0	0	50	0	0
Sisma - Involuppo delle componenti (+/-)	50	60	60	50	60	60



PROGETTO ESECUTIVO  
PONTI SUL TORRENTE RECCO

Relazione di calcolo opere civili e fondazioni

PR2220 PE R071

Rev. 0

Spalla Ovest	Nodo 993420			Nodo 994520		
	Isolatore elastomerico			Isolatore elastomerico		

Carichi permanenti	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Fase 1 - Carichi permanenti strutturali	550	0	0	100	0	0
Fase 2 - Carichi permanenti portati	200	0	0	50	0	0
Ritiro	0	0	0	0	0	0
Massimi carichi permanenti	700	0	0	150	0	0
Minimi carichi permanenti	700	0	0	150	0	0
Cedimenti vincolari (+/-)	0	0	0	0	0	0

Effetti ambientali	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
<b>Variazione termica (*) (**)</b>						
Variazione termica (+/-)	0	20	20	0	30	20
<b>Vento (*)</b>						
Vento (+/-)	50	20	0	50	20	0

Fase 3 - Sovraccarichi accidentali da traffico	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
<b>Schema di carico 1 (*)</b>						
Massimo carico verticale (file M100)	50	0	0	0	0	0
Minimo carico verticale (file M100)	100	0	0	0	0	0
Massimo carico verticale (file M200)	100	0	0	0	0	0
Minimo carico verticale (file M200)	100	0	0	0	0	0
Massimo carico verticale (file T100)	300	0	0	0	0	0
Minimo carico verticale (file T100)	300	0	0	0	0	0
Massimo carico verticale (file T200)	350	0	0	50	0	0
Minimo carico verticale (file T200)	100	0	0	50	0	0
<b>Frenatura</b>						
Frenatura (+/-)	0	0	30	0	0	30

Attrito (**)	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
SLU	0	0	0	0	0	0
SLE Rara	0	0	0	0	0	0
SLE Frequente	0	0	0	0	0	0
SLE Quasi Permanente	0	0	0	0	0	0

Sisma SLV	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Sisma - Componente elementare direzione X (+/-)	50	40	0	50	40	0
Sisma - Componente elementare direzione Y (+/-)	0	0	40	50	0	40
Sisma - Componente elementare direzione Z (+/-)	50	0	0	50	0	0
<b>Sisma - Involuppo delle componenti (+/-)</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>40</b>

Sisma SLC	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
Sisma - Componente elementare direzione X (+/-)	50	60	0	50	60	0
Sisma - Componente elementare direzione Y (+/-)	0	0	60	50	0	60
Sisma - Componente elementare direzione Z (+/-)	50	0	0	50	0	0
<b>Sisma - Involuppo delle componenti (+/-)</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>60</b>

(\*): Le condizioni nella tabella sono tra loro mutuamente esclusive

(\*\*): Carichi trasversali di segno opposto sul singolo allineamento

#### 6.2.2.4 30Tabella carichi combinati – spalla Ovest

Spalla Ovest	Nodo 992420			Nodo 992920		
	Isolatore elastomerico			Isolatore elastomerico		
COMBINAZIONI DI CARICO	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
SLU Max	1050	40	40	2050	50	40
SLU Min	150	-30	-30	550	-40	-30
SLE RaraMax	750	30	30	1500	30	30
SLE Rara Min	200	10	10	750	10	10
SLE Frequente Max	600	20	20	1300	20	20
SLE Frequente Min	200	20	10	750	10	10
SLE Quasi Permanente Max	200	10	10	750	10	10
SLE Quasi Permanente Min	200	0	0	750	0	0
SLV	200	40	50	800	50	50
SLC	200	50	60	800	60	60
	Nodo 993020			Nodo 993120		
	Isolatore elastomerico			Isolatore elastomerico		
COMBINAZIONI DI CARICO	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
SLU Max	1300	50	40	1050	50	40
SLU Min	300	-40	-30	250	-40	-30
SLE RaraMax	950	30	30	750	40	30
SLE Rara Min	450	10	20	400	10	20
SLE Frequente Max	850	20	20	650	20	30
SLE Frequente Min	450	10	10	400	10	10
SLE Quasi Permanente Max	450	10	10	400	10	10
SLE Quasi Permanente Min	450	0	0	400	0	0
SLV	500	50	50	400	50	50
SLC	500	60	60	400	60	60
	Nodo 993220			Nodo 993320		
	Isolatore elastomerico			Isolatore elastomerico		
COMBINAZIONI DI CARICO	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
SLU Max	1050	50	50	1150	50	50
SLU Min	250	-40	-40	300	-40	-40
SLE RaraMax	800	40	30	850	40	30
SLE Rara Min	400	10	20	450	10	20
SLE Frequente Max	700	20	30	700	30	30
SLE Frequente Min	400	10	10	450	10	10
SLE Quasi Permanente Max	400	10	10	400	10	10
SLE Quasi Permanente Min	400	0	0	400	0	0
SLV	400	50	50	450	50	50
SLC	400	60	60	450	60	60
	Nodo 993420			Nodo 994520		
	Isolatore elastomerico			Isolatore elastomerico		
COMBINAZIONI DI CARICO	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]	Verticale [kN]	Trasversale [kN]	Longitudinale [kN]
SLU Max	1400	60	50	200	60	50
SLU Min	500	-50	-40	100	-50	-40
SLE RaraMax	1000	40	30	150	40	40
SLE Rara Min	700	0	20	150	0	20
SLE Frequente Max	950	30	30	150	30	30
SLE Frequente Min	700	10	20	150	0	20
SLE Quasi Permanente Max	700	10	10	150	20	10
SLE Quasi Permanente Min	700	0	0	150	-10	0
SLV	700	50	50	150	60	50
SLC	700	60	60	150	70	60



### 6.2.3 Carichi variabili

Oltre alle azioni da traffico presenti sull'impalcato, al fine di simulare comunque il transito anche sulla soletta di spalla, è stata considerata una combinazione di carico con ad essa applicato un carico uniformemente distribuito pari a 10 kN/mq.

## 6.3 Combinazioni dei carichi

I carichi definiti in precedenza sono stati combinati come segue.

Combinazione	Azione	Coeff.
SLU-1	Peso proprio	1,5
	Carichi sugli appoggi SLU	1
	Azioni variabili	1,5
SLU-2	Peso proprio	1,5
	Carichi sugli appoggi SLU	1
	Azioni variabili	0
SLE RR / FR / QP	Peso proprio	1
	Carichi sugli appoggi SLE RR / FR / QP	1
	Azioni variabili	1

## 6.4 Vincoli

Al fine di simulare la presenza dei pali di fondazione, sono stati inseriti in corrispondenza degli stessi delle molle elastiche le cui rigidezze sono di seguito indicate:

- costante elastica verticale  $k_v = 240.000 \text{ kN/m}$
- costante elastica orizzontale  $k_h = 11.000 \text{ kN/m}$ .

Di seguito si riporta il calcolo delle due rigidezze.

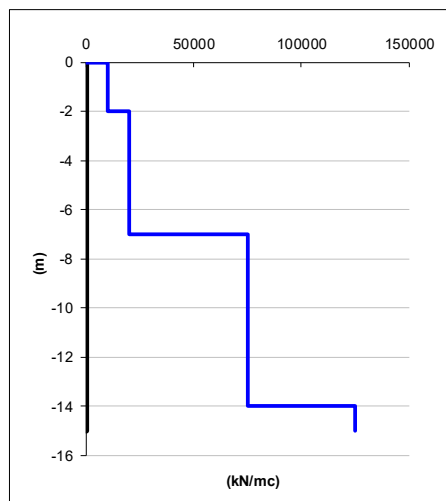
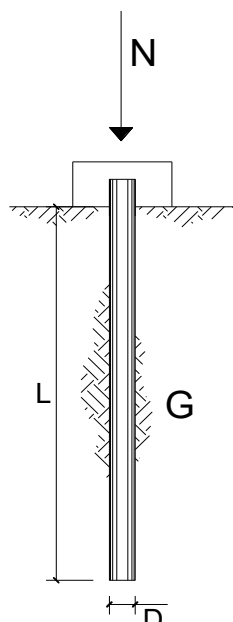
### 6.4.1 Rigidezza assiale pali di fondazione

Il coefficiente di reazione verticale è stato calcolato mediante la teoria di Randolph & Wroth (1978) che prevede le assunzioni riportate nello schema seguente.

La stima della rigidezza della molla  $k_v$  deriva dalla misura in campo delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ . Il modulo a piccole deformazioni  $G_0$  è stimabile secondo la relazione:

$$G_0 = \rho \cdot V_s^2$$

A favore di sicurezza si assume un modulo di taglio  $G$  comprese tra 1/3 e 1/4 del modulo a piccole deformazioni.



strati terreno	descrizione	spessore (m)	G sup (kN/m²)	G inf (kN/m²)	G base (kN/m²)	v
p.c.=strato 1		2.00	10000	10000		0.3
strato 2		5.00	20000	20000		0.3
strato 3		7.00	75000	75000		0.3
strato 4		1.00	125000	125000		0.3
strato 5						
strato 6						

Diametro del palo 0.30 (m)

J palo 3.98E-04 (m⁴)

Lunghezza del palo 15.00 (m)

raggio di influenza 10.78 (m)

E cls 25000 (Mpa)

**Rigidezza 240095 (kN/m)**

#### 6.4.2 Rigidezza trasversale pali di fondazione

La stima del coefficiente di reazione orizzontale del palo è stata calcolata con la teoria di Matlock & Reese (1956) che prevede l'utilizzo delle seguenti formulazioni:

$$k_h = A_s + B_s \sqrt{z_{media}}$$

$$A_s = 40 \left( c \cdot N_c + \frac{1}{2} \gamma' \cdot D \cdot N_\gamma \right)$$

$$B_s = 40 \cdot \gamma \cdot N_q$$

Il coefficiente di reazione orizzontale in kN/m è quindi ricavabile dalla relazione:

$$E_s = k_h \cdot d$$

I dati di calcolo per la stima del coefficiente sono riportati nel seguito.

#### Dati di Input

Diametro palo:	Dp =	0.30 m
Lunghezza palo:	Lp =	15.00 m
Altezza di scavo:	D =	0.00 m
Profondità del palo da p.c.:	z <sub>tot</sub> =	15.00 m
Falda da p.c. (in valore assoluto):	zw =	5.00 m

#### Condizione drenata

##### Stratigrafia di calcolo

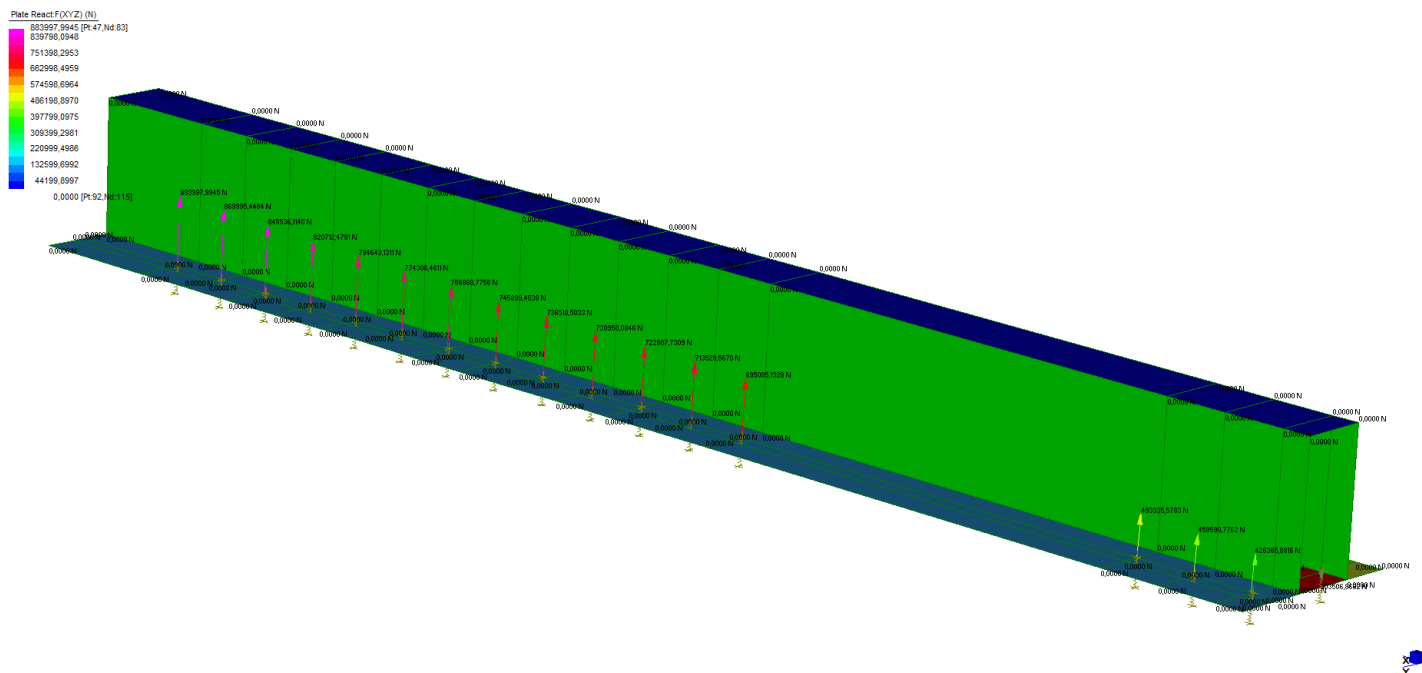
N°	Descrizione	Spessore da p.c. (m)	Z <sub>media</sub> strato da p.c. (m)	γ (kN/m³)	γ' (kN/m³)	φ (°)	c (kPa)	N <sub>q</sub>	N <sub>c</sub>	N <sub>γ</sub>	As	Bs	k <sub>h</sub> (kN/m³)	Es(z) (MPa)
1	Alt/b-f	14.00	7.00	20.00	10.00	30.00	0.00	18.40	30.14	22.40	1344.15	7360.45	20818	6.25
2		1.00	14.50	25.00	15.00	35.00	100.00	33.30	46.12	48.03	188816.98	19977.65	264890	79.47
3			0.00		0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
4			0.00		0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
5			0.00		0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
6			0.00		0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
7			0.00		0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
8			0.00		0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
9			0.00		0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
10			0.00		0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00

Totale = 15.00 m

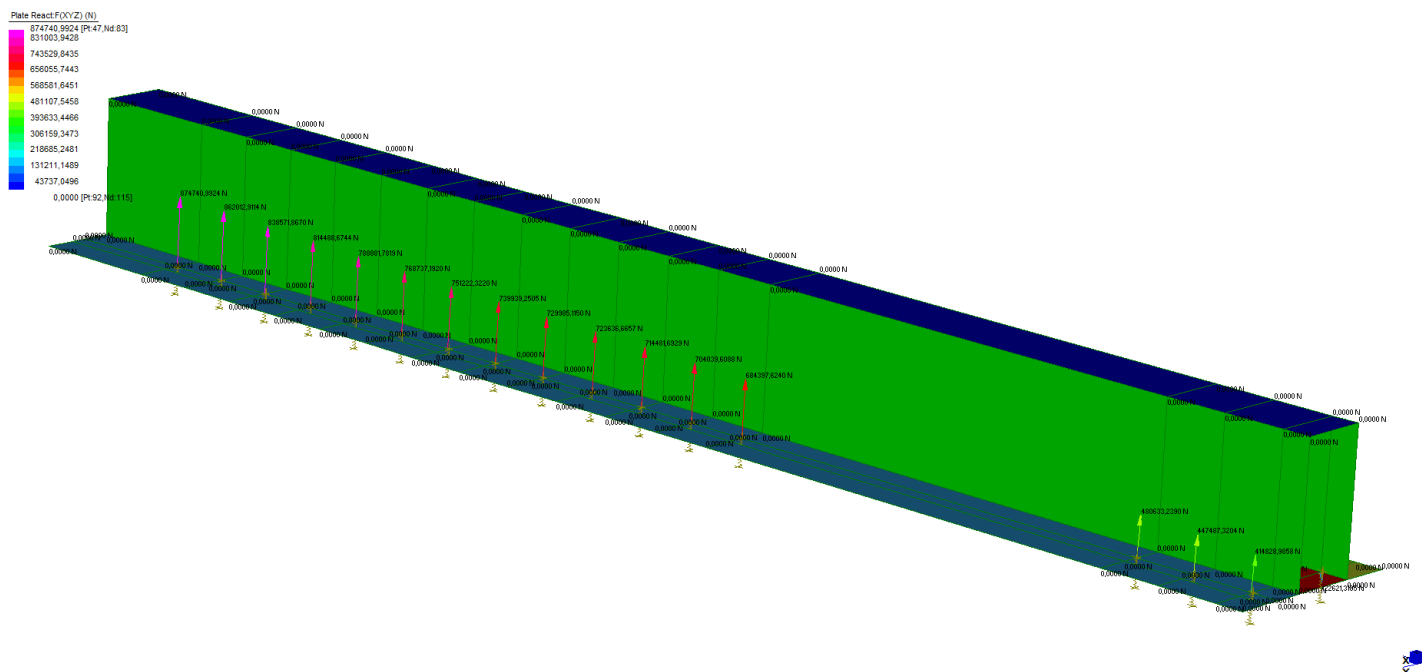
Es,medio (MPa) = 11.13

## 6.5 Azioni nei pali di fondazione

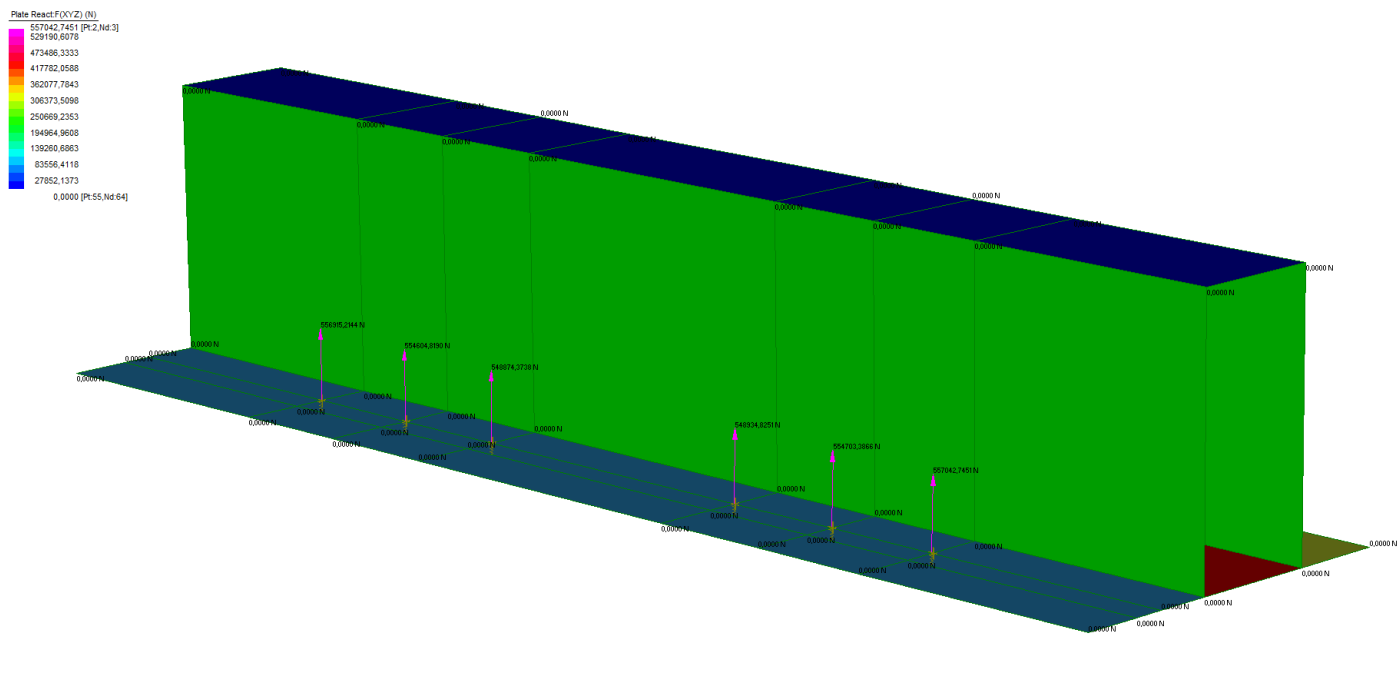
Le azioni nei pali di fondazione ricavate dal modello sono riportate nei grafici a seguire.



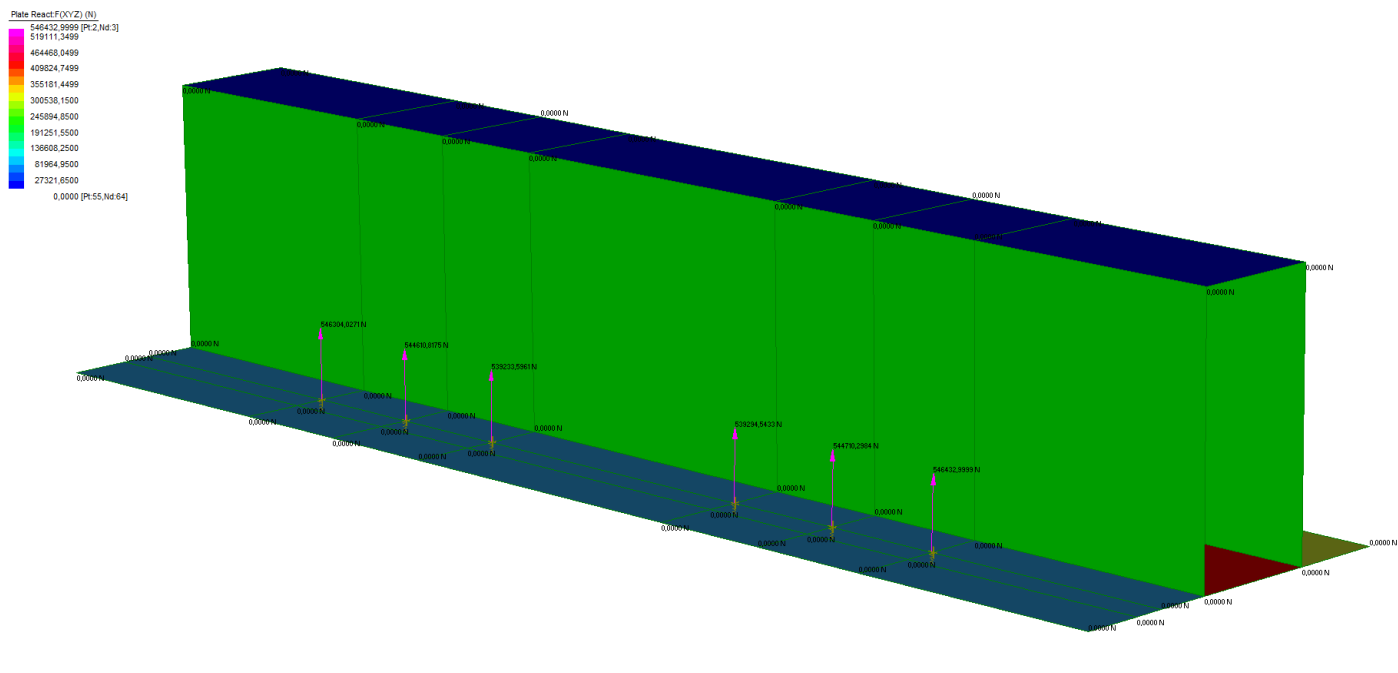
*Spalla Ovest concio di monte – combinazione SLU 1*



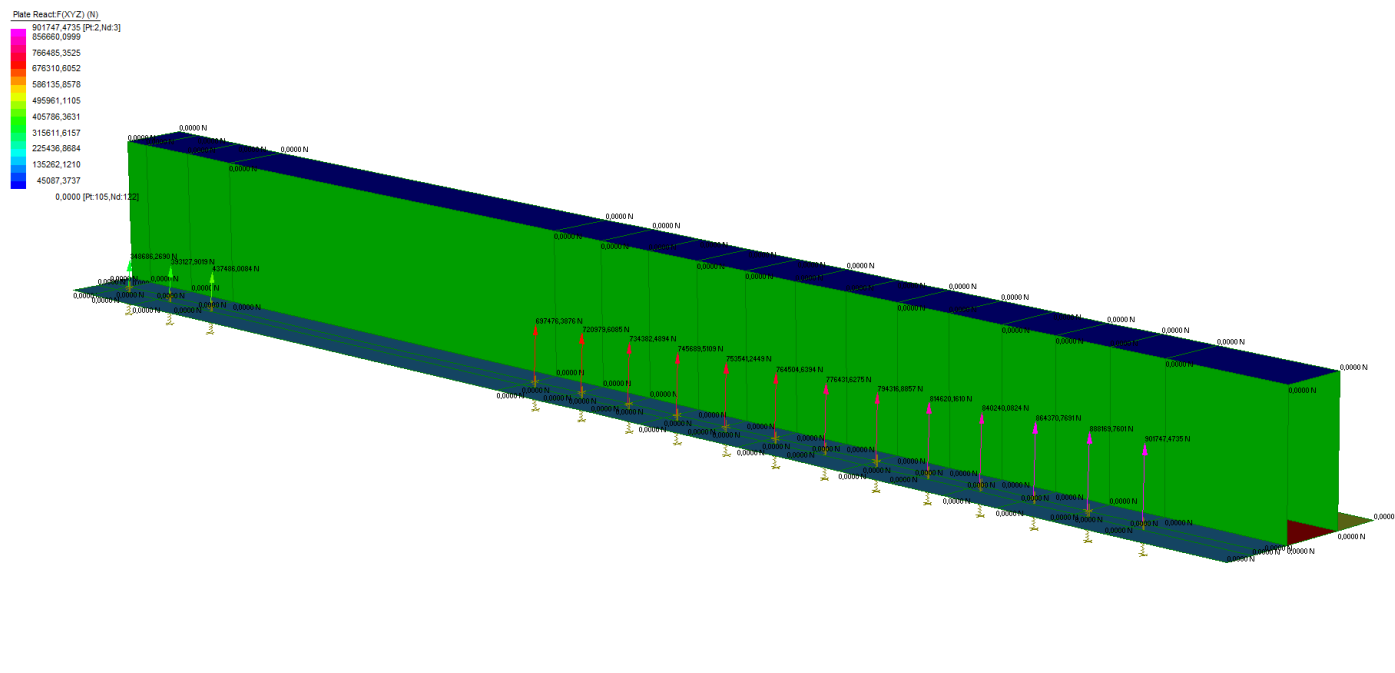
*Spalla Ovest concio di monte – combinazione SLU 2*



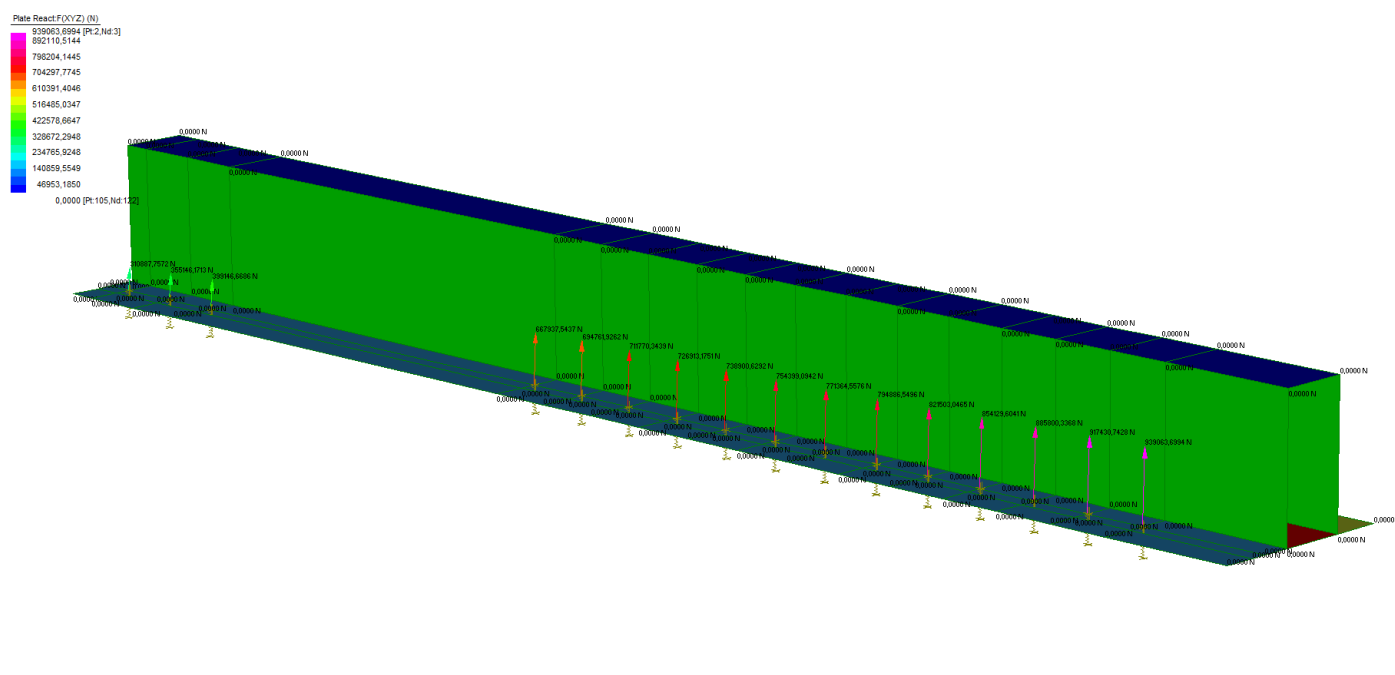
Spalla Ovest concio centrale – combinazione SLU 1



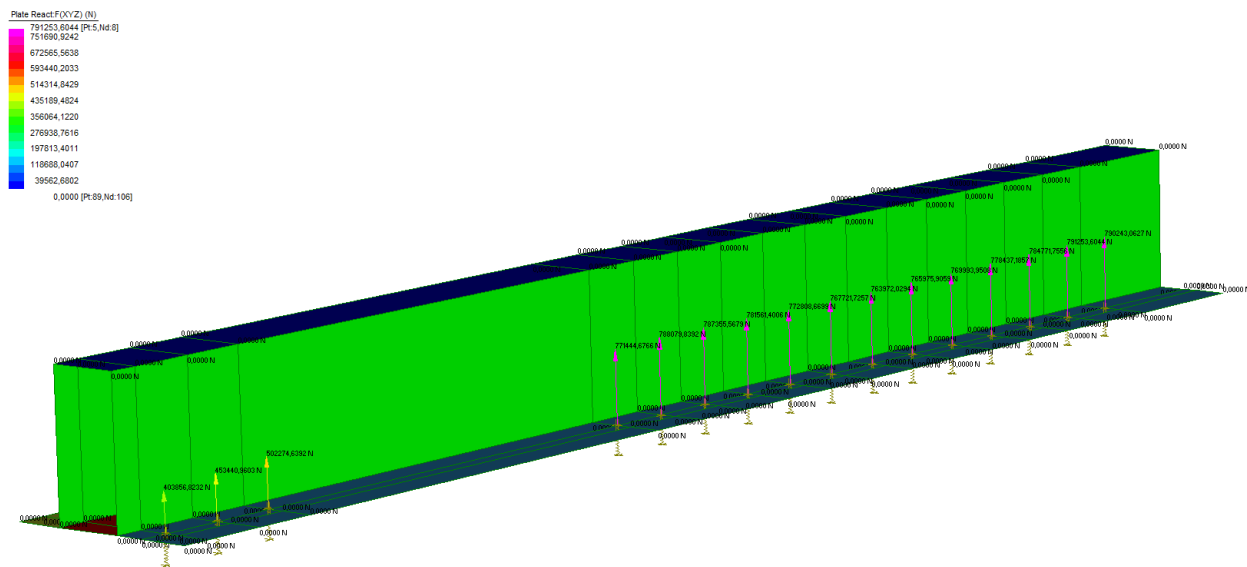
Spalla Ovest concio centrale – combinazione SLU 2



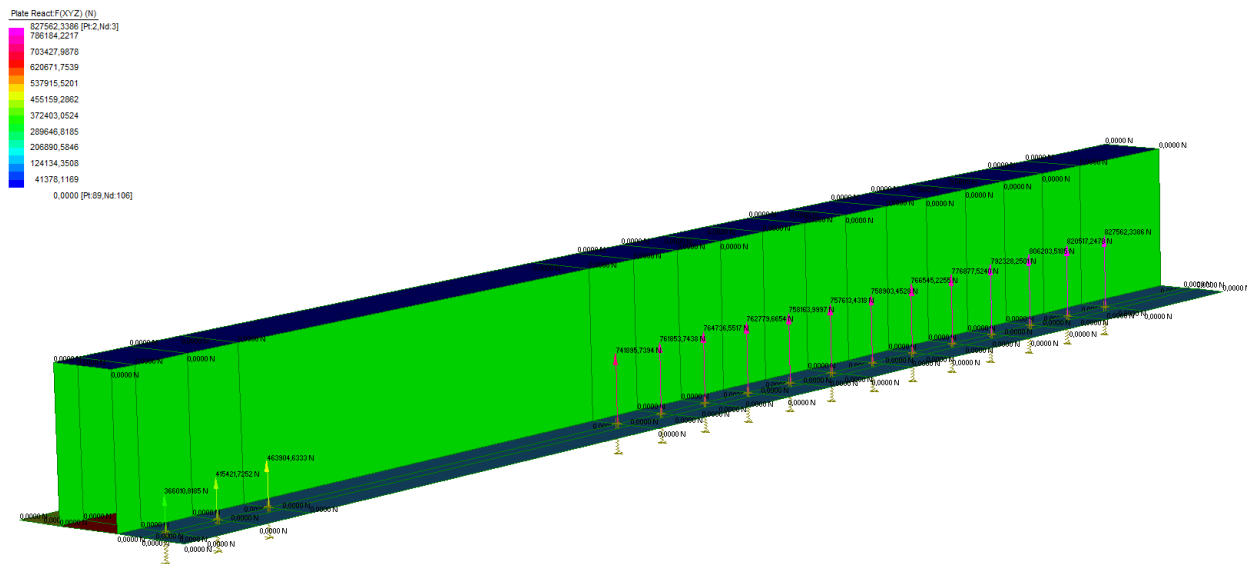
Spalla Ovest concio di valle – combinazione SLU 1



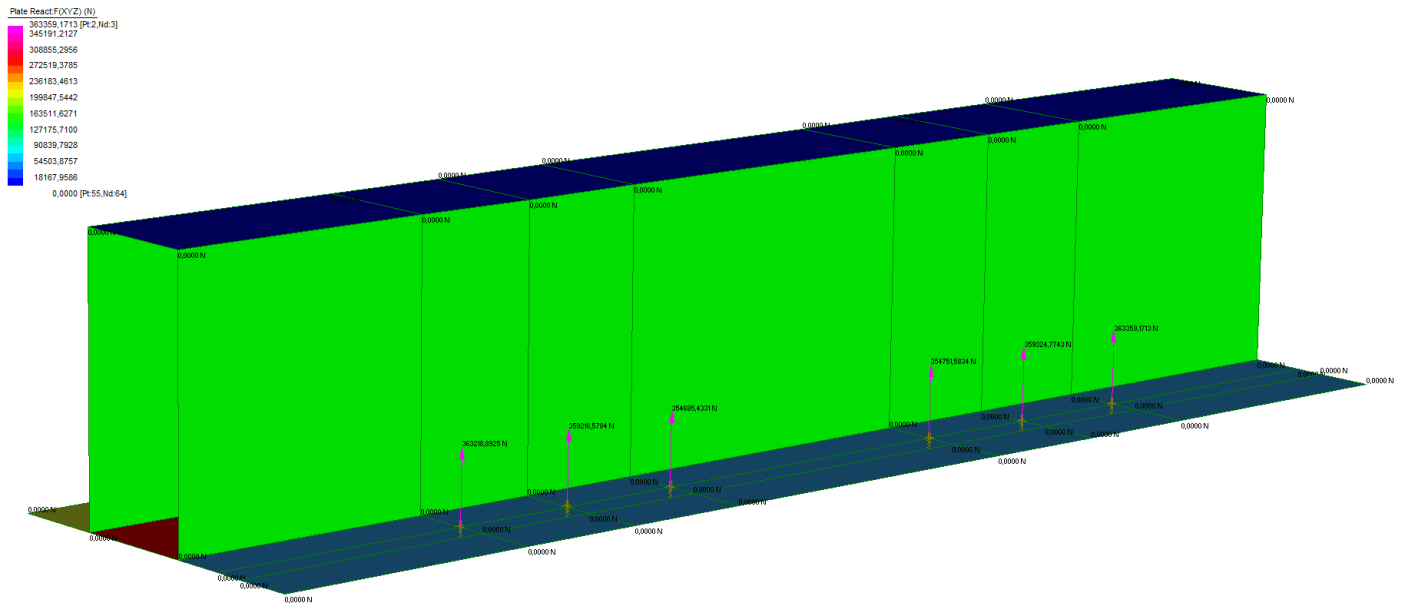
Spalla Ovest concio di valle – combinazione SLU 2



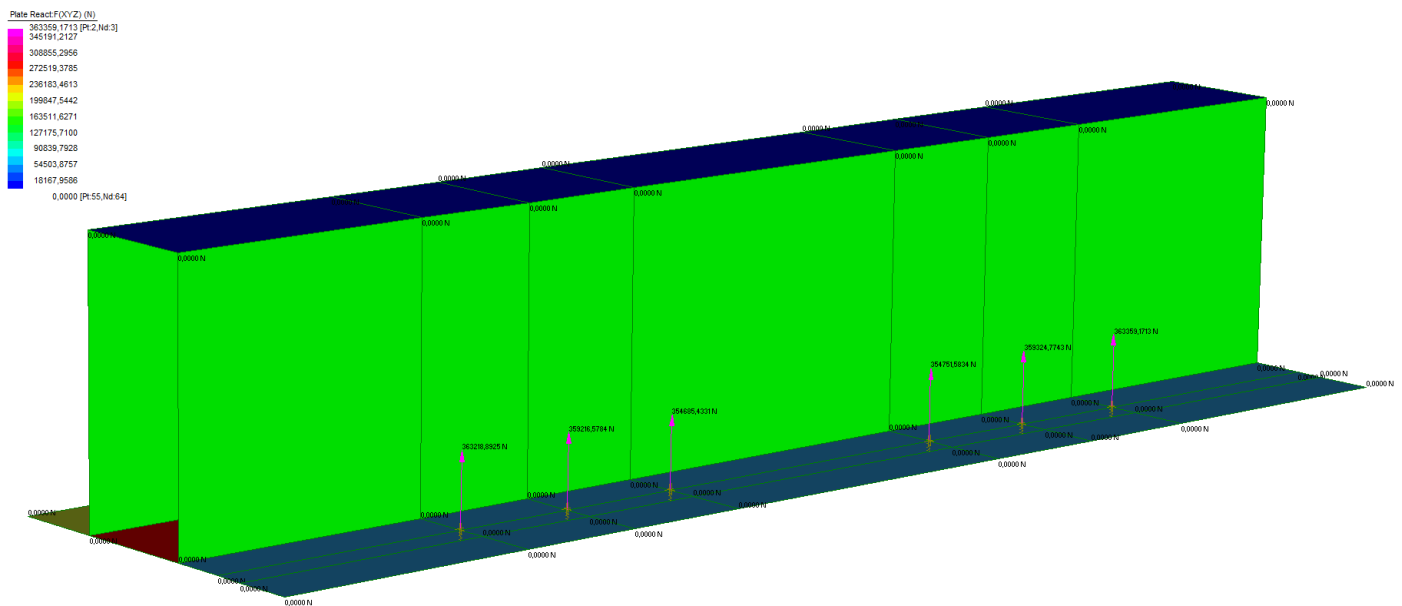
Spalla Est concio di monte – combinazione SLU 1



Spalla Est concio di monte – combinazione SLU 2

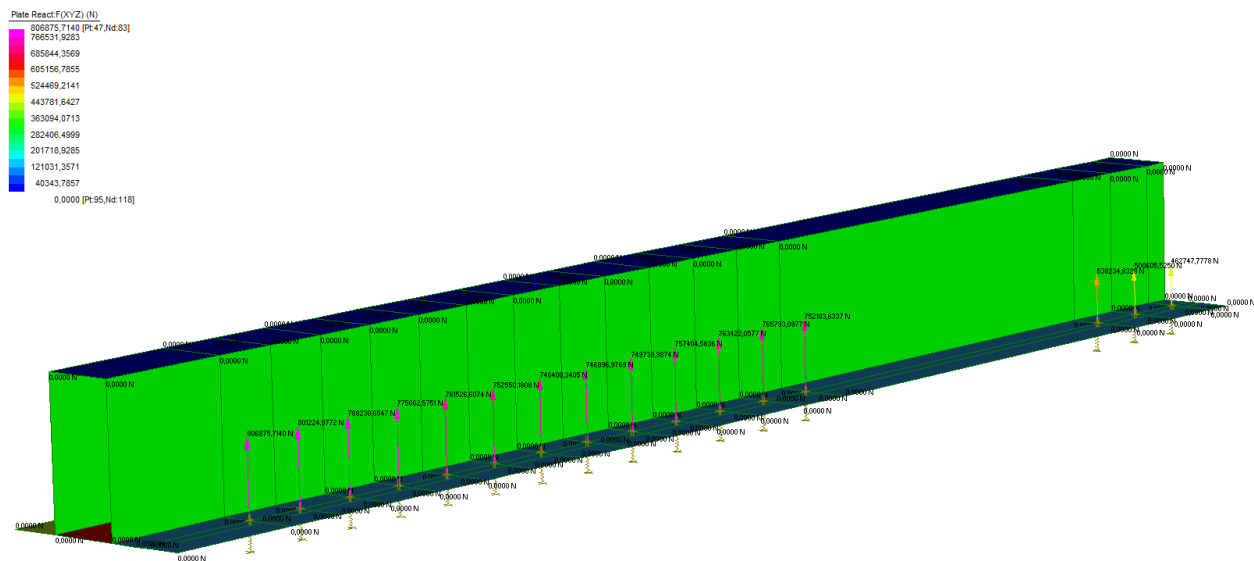


*Spalla Est concio centrale – combinazione SLU 1*

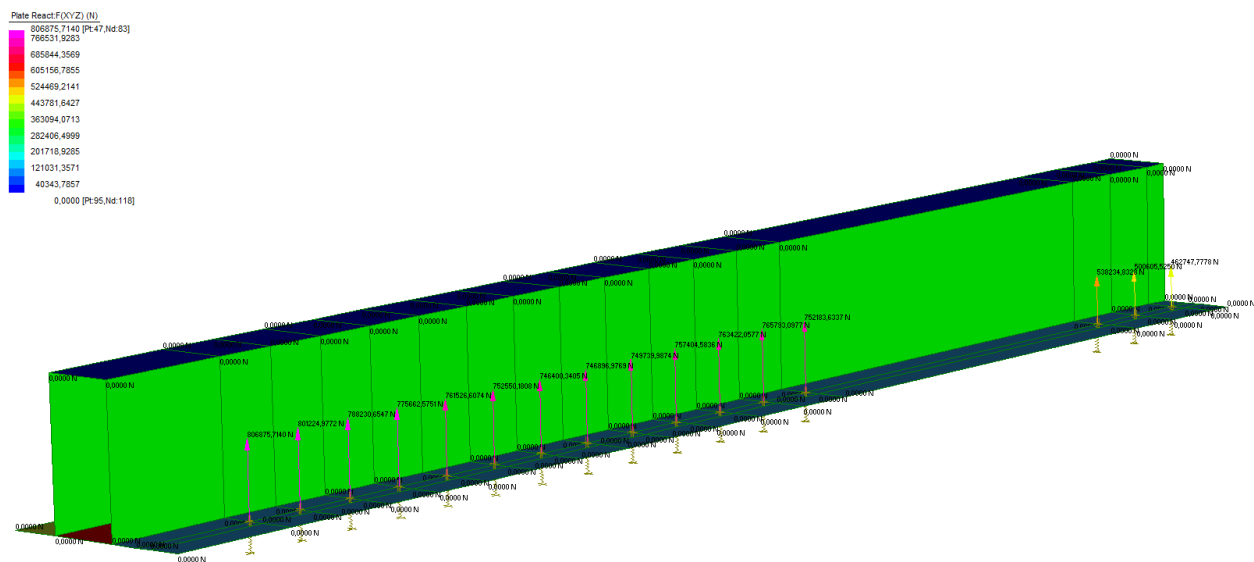


*Spalla Est concio centrale – combinazione SLU 2*





Spalla Est concio di valle – combinazione SLU 1



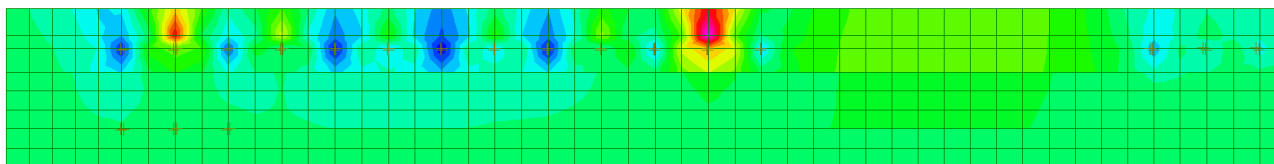
Spalla Est concio di valle – combinazione SLU 2

## 6.6 Sollecitazioni flessionali SLU nella piastra di fondazione

Di seguito si riportano gli involuppi delle sollecitazioni nella piastra di fondazione delle due spalle, ricavate dal modello di calcolo.

Plate Moment XX (N.m/m)

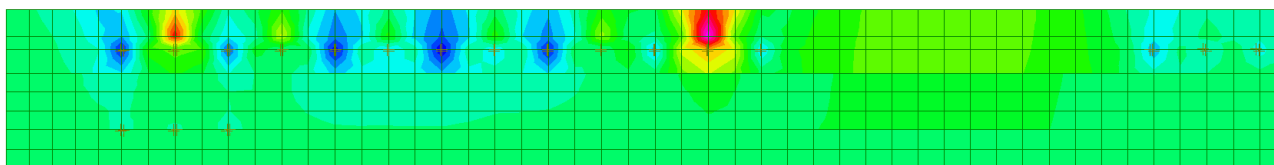
611433.7881 [Pl:34, Nd:57]  
566991.5951  
478107.2091  
389222.8231  
300338.4371  
211454.0511  
122569.6651  
33685.2791  
-55199.1069  
-144083.4929  
-232967.8789  
-277410.0719 [Pl:20, Nd:33]



*Spalla Est concio di monte – azioni flettenti XX (involuppo  $SLU_{max}$ )*

Plate Moment XX (N.m/m)

609363.0584 [Pl:34, Nd:57]  
554590.1901  
475068.4515  
385538.7129  
296008.9742  
206479.2356  
116949.4970  
27419.7584  
-62109.9802  
-151639.7189  
-241169.4575  
-285934.3268 [Pl:20, Nd:33]



*Spalla Est concio di monte – azioni flettenti XX (involuppo  $SLU_{min}$ )*

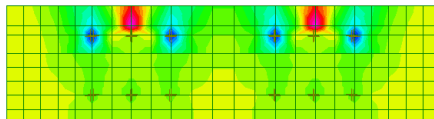
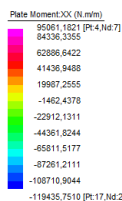


PROGETTO ESECUTIVO  
PONTI SUL TORRENTE RECCO

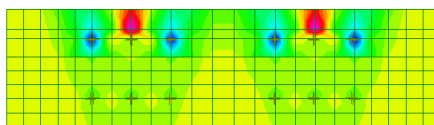
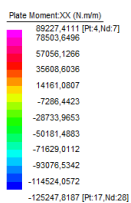
Relazione di calcolo opere civili e fondazioni

PR2220 PE\_R071

Rev. 0



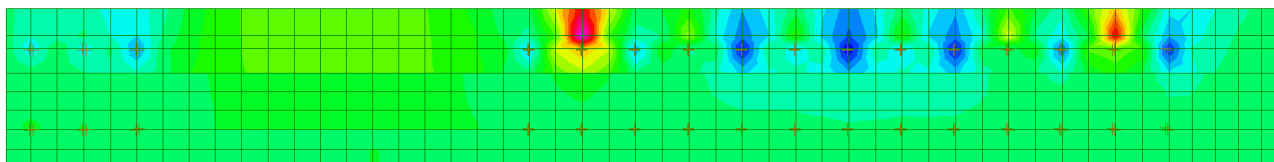
*Spalla Est concio centrale – azioni flettenti XX (inviluppo  $SLU_{max}$ )*



*Spalla Est concio centrale – azioni flettenti XX (inviluppo  $SLU_{min}$ )*

Plate Moment XX (N.m/m)

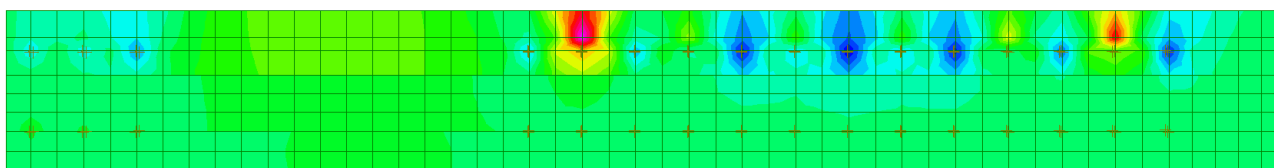
590868.7205 [Pt:13, Nd:27]  
547183.9624  
458814.5062  
372445.0300  
285075.5539  
197706.0777  
110336.6015  
22967.1253  
-64402.3509  
-151771.8271  
-239141.3033  
-282826.0414 [Pt:29, Nd:53]



*Spalla Est concio di valle – azioni flettenti XX (inviluppo  $SLU_{max}$ )*

Plate Moment XX (N.m/m)

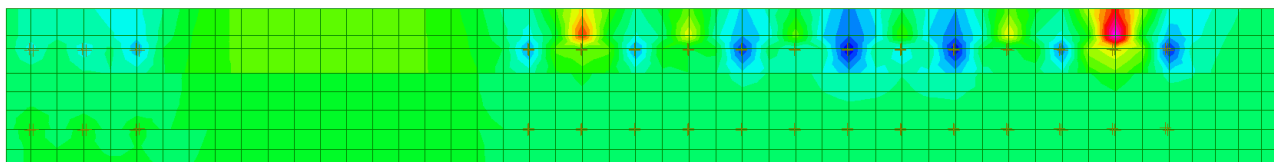
589516.8124 [Pt:13, Nd:27]  
542878.8765  
455403.0048  
367927.1330  
280451.2613  
192975.3885  
105499.5178  
18023.6460  
-69452.2258  
-156928.0975  
-244403.9693  
-288141.9052 [Pt:29, Nd:53]



*Spalla Est concio di valle – azioni flettenti XX (inviluppo  $SLU_{min}$ )*

Plate Moment XX (N.m/m)

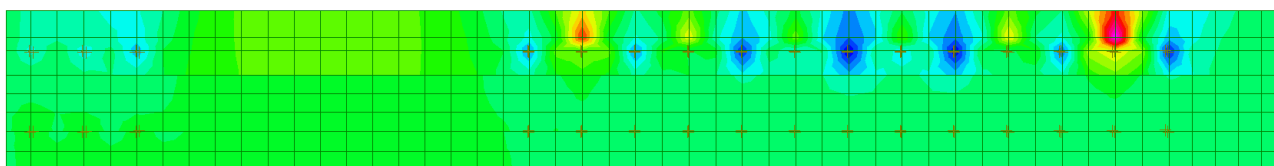
557088.8489 [Pt:43, N4 77]  
515080.9717  
431065.6172  
347050.2627  
263034.9082  
179019.5537  
95004.1992  
10988.8447  
-73026.5098  
-157041.8643  
-241057.2189  
-283084.8961 [Pt:29, N4 53]



*Spalla Ovest concio di monte – azioni flettenti XX (inviluppo  $SLU_{max}$ )*

Plate Moment XX (N.m/m)

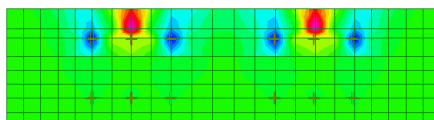
552198.8711 [Pt:43, N4 77]  
510169.6996  
426111.7565  
342053.8134  
257995.8703  
173937.5272  
89879.9841  
5822.0410  
-78235.9021  
-162293.8452  
-246351.7883  
-288380.7599 [Pt:29, N4 53]



*Spalla Ovest concio di monte – azioni flettenti XX (inviluppo  $SLU_{min}$ )*

Plate Moment XX (N.m/m)

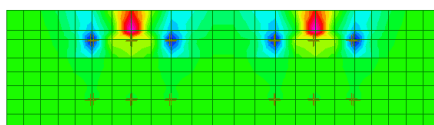
234678.9970 [Pt:4,Nd:7]  
214371.4341  
173756.3083  
133141.1826  
92526.0568  
51910.9310  
11295.8053  
-29319.3205  
-69934.4463  
-110549.5720  
-151164.6978  
-171472.2607 [Pt:17,Nd:28]



*Spalla Ovest concio centrale – azioni flettenti XX (inviluppo  $SLU_{max}$ )*

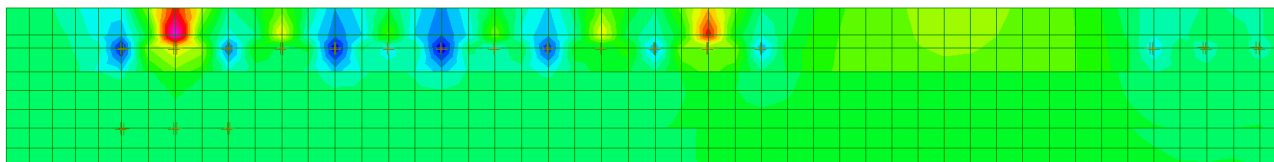
Plate Moment XX (N.m/m)

228945.2259 [Pt:4,Nd:7]  
208538.7482  
167925.7928  
127312.6374  
86699.6819  
46096.9265  
5473.9711  
-35138.9643  
-75751.9398  
-118364.8952  
-156977.8506  
-177284.3283 [Pt:17,Nd:28]



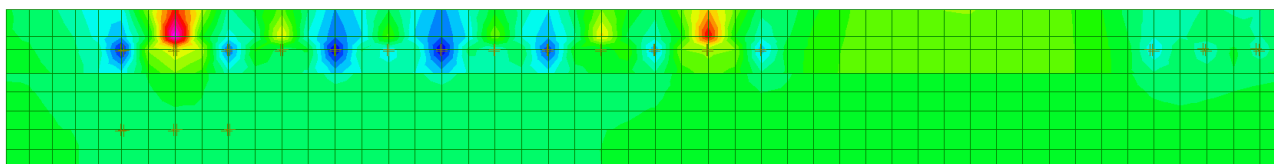
*Spalla Ovest concio centrale – azioni flettenti XX (inviluppo  $SLU_{min}$ )*

Plate Moment XX (N.m/m)  
547185.9063 [Pt 4, Nd 7]  
506529.0966  
422515.4832  
339401.8677  
256288.2523  
173174.6369  
90061.0214  
6947.4060  
-76186.2094  
-159279.8249  
-242393.4403  
-283950.2480 [Pt 20, Nd 33]



*Spalla Ovest concio di valle – azioni flettenti XX (involuppo  $SLU_{max}$ )*

Plate Moment XX (N.m/m)  
537282.8665 [Pt 4, Nd 7]  
486729.5329  
412662.8653  
329596.1978  
248529.5303  
163462.8628  
80396.1954  
-2670.4721  
-85737.1396  
-168803.8071  
-251870.4746  
-293403.8083 [Pt 14, Nd 23]



*Spalla Ovest concio di valle – azioni flettenti XX (involuppo  $SLU_{min}$ )*

## 6.7 Sollecitazioni flessionali SLE nella piastra di fondazione

Nella tabella seguente si riporta il riepilogo delle sollecitazioni flessionali allo SLE ricavate dal modello, da utilizzarsi per le successive verifiche.

SPALLA	SLE RR		SLE FR		SLE QP	
	M <sub>max</sub> [kNm]	M <sub>min</sub> [kNm]	M <sub>max</sub> [kNm]	M <sub>min</sub> [kNm]	M <sub>max</sub> [kNm]	M <sub>min</sub> [kNm]
EST concio di monte	454,38	-196,59	402,81	-178,03	324,19	-118,39
EST concio centrale	88,23	-73,82	54,85	-81,73	3,3	-60,90
EST concio di valle	438,06	-199,77	387,94	-186,71	310,63	-143,30
OVEST concio di monte	407,49	-205,40	347,08	-187,36	193,73	-130,43
OVEST concio centrale	166,52	-123,40	124,64	-107,76	12,93	-66,11
OVEST concio di valle	397,39	-210,95	346,72	-182,35	212,65	-103,75

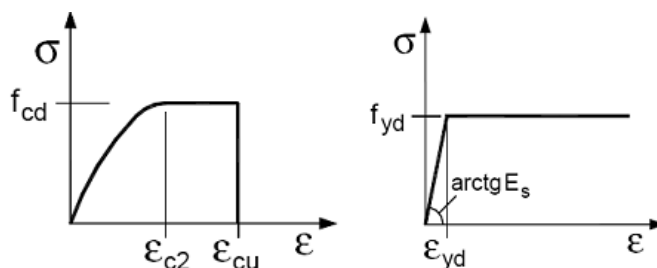


## 7 VERIFICHE DI RESISTENZA DELLA FONDAZIONE (SLU)

### 7.1 Cenni metodologici e normativi

In base al punto 4.1.2.1 NTC, per tutti gli elementi strutturali deve essere verificato che il valore di progetto di ciascuna sollecitazione, sia inferiore al corrispondente valore della resistenza di progetto.

I legami  $\sigma$ - $\epsilon$  dei materiali, adottati per il calcolo di queste ultime, sono quelli indicati dalle NTC e EC2.



*Legami  $\sigma$ - $\epsilon$  per il calcestruzzo (parabola rettangolo) e per l'acciaio (legame elastico-perfettamente plastico)*

I valori dei parametri  $f_{cd}$ ,  $\epsilon_{c2}$ ,  $\epsilon_{cu}$ ,  $f_{yd}$ ,  $\epsilon_{yd}$  compaiono nei form di calcolo riportati nelle relative verifiche.

Per classi di resistenza inferiori a C50/60 risulta:

$$\epsilon_{c2} = 0,20\%$$

$$\epsilon_{cu} = 0,35\%$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c.$$

Per acciaio B450C risulta:

$$\epsilon_{ud} = 0,675\%$$

$$\epsilon_{yd} = 0,1957\%$$

$$f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2.$$

## 7.2 Verifica momento resistente piastra fondazione

Verifica C.A. S.L.U. - File: sezione

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

TITOLO :

N° Vertici 8 Zoom N° barre 71 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	240,648	468,975	2	0,79	7	502,6
2	240,648	458,975	3	0,79	27	502,6
3	300,648	458,975	4	0,79	47	502,6
4	300,648	388,975	5	0,79	67	502,6
5	0,648	388,975	6	0,79	87	502,6
6	0,648	508,975	7	0,79	107	502,6

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>Ed</sub> 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N  
Centro Baricentro cls  
Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali B450C C25/30

$\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s/E_c$  200,000 N/mm²  $f_{cd}$  14,17 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8 ‰  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $G_{c,adm}$  9,75  
 $G_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,6  
 $\tau_{c1}$  1,829

M<sub>MRd</sub> 1,333 kNm  
 $\sigma_c$  -14,17 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  31,65 ‰  
d 113,6 cm  
x 11,31 x/d 0,09957  
 $\delta$  0,7

Metodo di calcolo S.L.U. + S.L.U. - Metodo n

Tipo flessione Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

M-curvatura

Precompresso

Verifica C.A. S.L.U. - File: sezione

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

TITOLO :

N° Vertici 8 Zoom N° barre 71 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	240,648	468,975	2	0,79	7	502,6
2	240,648	458,975	3	0,79	27	502,6
3	300,648	458,975	4	0,79	47	502,6
4	300,648	388,975	5	0,79	67	502,6
5	0,648	388,975	6	0,79	87	502,6
6	0,648	508,975	7	0,79	107	502,6

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>Ed</sub> 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N  
Centro Baricentro cls  
Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato acciaio - Acciaio snervato

Materiali B450C C25/30

$\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s/E_c$  200,000 N/mm²  $f_{cd}$  14,17 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8 ‰  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $G_{c,adm}$  9,75  
 $G_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,6  
 $\tau_{c1}$  1,829

M<sub>MRd</sub> -1,126 kNm  
 $\sigma_c$  -14,17 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,354 ‰  
 $\epsilon_s$  67,5 ‰  
d 113,6 cm  
x 5,378 x/d 0,04733  
 $\delta$  0,7

Metodo di calcolo S.L.U. + S.L.U. - Metodo n

Tipo flessione Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

M-curvatura

Precompresso

Calcolo dei valori di momento resistente della piastra di fondazione

Come risulta dal calcolo sopra riportato, il momento resistente della sezione risulta per ogni combinazione, sempre maggiore del valore di progetto.

## 8 VERIFICHE A FESSURAZIONE E TENSIONI DI ESERCIZIO DELLA FONDAZIONE (SLE)

### 8.1 Cenni metodologici e normativi

I limiti forniti al punto 4.1.2.2.4 delle NTC sono funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature.

Nel caso in esame:

classe di esposizione XC1/XC2 → condizioni ambientali: ordinarie

acciaio per armatura ordinario → armatura poco sensibile

per cui:

→ combinazione frequente      limite di apertura fessure       $\omega_3 = 0,4 \text{ mm}$

→ combinazione quasi permanente      limite di apertura fessure       $\omega_2 = 0,3 \text{ mm}$ .

In base al punto 4.1.2.2.5. delle NTC, valutate le azioni nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni rara e quasi permanente delle azioni, si devono calcolare le massime tensioni sia nel cls sia nell'acciaio, verificando che i valori ottenuti siano inferiori ai seguenti limiti:

tensione nel calcestruzzo       $\sigma_c < 0,60 f_{ck}$  per combinazione rara

$\sigma_c < 0,45 f_{ck}$  per combinazione quasi permanente

tensione nell'acciaio       $\sigma_s < 0,80 f_{yk}$  per combinazione rara.

### 8.2 Calcolo apertura fessure e verifiche tensioni di esercizio

Nel form seguente sono riportati i calcoli relativi alle verifiche in oggetto. Assumendo i massimi valori di sollecitazione, la sezione risulta non fessurata e le tensioni di esercizio risultano contenute entro i limiti di normativa.

**VERIFICA ALLO S.L.E. DI UNA SEZIONE RETTANGOLARE IN C.A. (riferimento di calcolo: circolare 252 del 15.10.1996)**

**MOMENTI DI VERIFICA**

	combinazione quasi permanente	$M_d - qp$	Nm	324190
	combinazione frequente	$M_d - fr$	Nm	402810
	combinazione rara	$M_d - rr$	Nm	454380

**VALORI NOMINALE LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE**

	combinazione quasi permanente	$w_{lim} - qp$	mm	0,30
	combinazione frequente	$w_{lim} - fr$	mm	0,40

**Caratteristiche della sezione**

Larghezza sezione		NOTE	b	mm	3000
Altezza sezione			h	mm	700

**Caratteristiche dell'armatura**

Resistenza caratteristica allo snervamento			$f_{yk}$	N/mm <sup>2</sup>	450
Copriferro lembo teso		riferito al baricentro dell'armatura	c	mm	64
Copriferro reale		ricoprimento ferro + esterno	cf	mm	56
Altezza utile della sezione			h'	mm	636
Copriferro lembo compresso		riferito al baricentro dell'armatura	c'	mm	64
Sezione armatura lembo teso			A <sub>s</sub>	mm <sup>2</sup>	3216
Sezione armatura lembo compresso		= 0 se in semplice armatura	A' <sub>s</sub>	mm <sup>2</sup>	3216
Rapporto armature			γ	-	1,00
Diametro dell'armatura di trazione		o equivalente	φ	mm	16
Distanza fra le barre		se s > 14φ ==> s = 14φ	s	mm	200
Modulo elastico armatura			E <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	210000
Braccio dell'armatura lembo teso			d	mm	286
Braccio dell'armatura lembo compresso			d'	mm	286
Coefficiente di omogeneizzazione			m	-	15
Momento inerzia sezione non fessurata			J	mm <sup>4</sup>	93641678080
			W	mm <sup>3</sup>	267547652

**Caratteristiche del calcestruzzo**

Resistenza caratteristica cubica			R <sub>ck</sub>	N/mm <sup>2</sup>	30
Resistenza caratteristica cilindrica			f <sub>ck</sub>	N/mm <sup>2</sup>	24,90
Coefficiente di sicurezza del cls			γ <sub>c</sub>	-	1,50
			α <sub>cc</sub>	-	0,85
Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo			f <sub>cd</sub>	N/mm <sup>2</sup>	14,11
			f <sub>ctm</sub>	N/mm <sup>2</sup>	2,56
			f <sub>ctk</sub>	N/mm <sup>2</sup>	1,79
Resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo			f <sub>ctd</sub>	N/mm <sup>2</sup>	1,19
			f <sub>cm</sub>	N/mm <sup>2</sup>	32,90
			E <sub>cm</sub>	N/mm <sup>2</sup>	31447

**Momento di I^a fessurazione tipico della sezione**

			M <sub>fess</sub>	Nm	684419
		COMB. QUASIPERMANENTE	==>	SEZIONE NON FESSURATA	
		COMB. FREQUENTE	==>	SEZIONE NON FESSURATA	
Distanza asse neutro dal lembo compresso			x	mm	121,29
Momento inerzia sezione			J	mm <sup>4</sup>	14722708621
Tensione nell'armatura nella sez fessurata per f <sub>ctm</sub>			σ <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	358,91



PROGETTO ESECUTIVO  
PONTI SUL TORRENTE RECCO

Relazione di calcolo opere civili e fondazioni

PR2220 PE\_R071

Rev. 0

Tensioni nella sezione		VERIFICA			
COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE					
Tensione massima cls compresso	$\sigma_c < 0,45 f_{ck}$	verifica soddisfatta	$\sigma_c$	$N/mm^2$	2,67
Tensione massima armatura al lembo teso			$\sigma_s$	$N/mm^2$	170,01
Tensione massima armatura al lembo compresso			$\sigma'_s$	$N/mm^2$	18,92
COMBINAZIONE FREQUENTE					
Tensione massima cls compresso			$\sigma_c$	$N/mm^2$	3,32
Tensione massima armatura al lembo teso			$\sigma_s$	$N/mm^2$	211,24
Tensione massima armatura al lembo compresso			$\sigma'_s$	$N/mm^2$	23,51
COMBINAZIONE RARA					
Tensione massima cls compresso	$\sigma_c < 0,60 f_{ck}$	verifica soddisfatta	$\sigma_c$	$N/mm^2$	3,74
Tensione massima armatura al lembo teso	$\sigma_s < 0,80 f_{yk}$	verifica soddisfatta	$\sigma_s$	$N/mm^2$	238,28
Tensione massima armatura al lembo compresso			$\sigma'_s$	$N/mm^2$	26,52

## 9 VERIFICHE SUI MICROPALI DI FONDAZIONE (SLU)

### 9.1 Cenni metodologici e normativi

Le verifiche delle fondazioni profonde su pali sono eseguite in accordo al capitolo 6.4 delle N.T.C. 2018 e al capitolo 7.11.5 per l'analisi in condizioni sismiche.

Le verifiche delle fondazioni su pali devono essere effettuate con riferimento almeno ai seguenti stati limite, quando pertinenti:

- 1) SLU di tipo geotecnico (GEO)
  - collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
  - collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali;
  - collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione;
  - stabilità globale;
- 2) SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza dei pali;
  - raggiungimento della resistenza della struttura di collegamento dei pali.

La verifica viene effettuata accertando che il valore di progetto delle azioni o dell'effetto delle azioni  $E_d$  sia inferiore al valore di progetto delle resistenze  $R_d$  per ogni stato limite considerato.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:

- Combinazione 2: ( $A_2+M_2+R_2$ )

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II NTC 2008 per le azioni e i parametri geotecnici, e nella Tabella 6.8.I per le resistenze globali. Nel caso in esame tale verifica non risulta rilevante per le fondazioni dell'edificio in quanto esso risulta ubicato in una zona pianeggiante e priva di possibili cinatismi riconducibili alla stabilità globale.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.4.II NTC 2008, in accordo all'Approccio 2: Combinazione  $A_1+M_1+R_3$ .

Nelle verifiche effettuate con l'approccio 2 che siano finalizzate al dimensionamento strutturale, il coefficiente  $\gamma_R$  non deve essere portato in conto.

Si riportano di seguito le tabelle di normativa considerate per il calcolo delle opere geotecniche.

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

Per le rocce, al valore caratteristico della resistenza a compressione uniassiale  $q_u$  deve essere applicato un coefficiente parziale  $\gamma_{qu}=1,6$ .

**Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali**

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	$\gamma_R$	(R3)	(R3)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale <sup>(*)</sup>	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

<sup>(\*)</sup> da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

**Tab. 6.4.VI - Coefficiente parziale  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali**

Coefficiente parziale (R3)
$\gamma_T = 1,3$

I valori di capacità portante vengono ulteriormente ridotti del fattore di correlazione  $\xi_3$  pari a 1.7, considerando un numero di indagini disponibili maggiore di 1.

Trattandosi di micropali trivellati vengono usate le formulazioni proposte da *Bustamante e Doix (1985)* le quali dipendo dal tipo di tecnica di iniezione utilizzata (modalità delle sbulbature) e resistenza limite a taglio del terreno attraversato.

Il calcolo della portata del singolo palo risulta essere data dalla formula seguente:

$$Q_P = Q_{lat} + Q_{base} = \sum_i \pi \cdot D_{si} \cdot s_i \cdot l_{si} + Q_{base}$$

Dove:

$D_{si}$  diametro di perforazione incrementato della sbulbatura ( $D_{si} = \alpha \cdot D_{perf}$ )

$s_i$  tensione laterale [MPa]

$l_{si}$  altezza del palo immerso nel terreno

## 9.2 Verifica a capacità portante dei micropali ai carichi assiali

Le spalle del ponte oggetto di analisi sono fondate su micropali realizzati a rotopercussione con diametro di perforazione 300 mm, lunghezza palo 15 m e armatura tubolare metallica 168.3x8 mm in acciaio S355.

Dalla relazione geologica si evince che le sponde del Torrente Recco sono costituite dalla seguente stratigrafia interpretativa:

- 0÷3 m – riporti eterogenei;
- 3÷7 m – depositi alluvionali costituiti da limi e argille;
- 7÷12 m – Depositi alluvionali costituiti da ghiaie sabbiose;
- >12 m – substrato roccioso.

I micropali di fondazione sono realizzati a partire da circa -1 m dal p.c. attuale, pertanto, attraversano circa 2 metri di materiale di riporto i quali non vengono considerati nel calcolo della portanza.

Da tabella seguente viene ipotizzato il coefficiente  $\alpha$  di sbulbatura del palo: vista la tipologia di terreno viene assunto un coefficiente pari a 1,10 sia per la roccia sia per i terreni.



TERRENO	Valori di $\alpha$		Quantità minima di miscela consigliata	
	IRS	IGU	IRS	IGU
Ghiaia	1.8	1.3 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
Ghiaia sabbiosa	1.6 - 1.8	1.2 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
sabbia ghiaiosa	1.5 - 1.6	1.2 - 1.3	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia grossa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia fine	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia limosa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs	1.5 Vs
Limo	1.4 - 1.6	1.1 - 1.2	2 Vs	1.5 Vs
Argilla	1.8 - 2.0	1.2	(2.5 - 3) Vs	(1.5 - 2) Vs
Marne	1.8	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs per strati compatti	
Calcari marnosi	1.8	1.1 - 1.2	(2 - 6) Vs o più per strati fratturati	
Calcari alterati o fratturati	1.8	1.1 - 1.2	(1.1 - 1.5) Vs per strati poco fratturati; 2 Vs o più per strati fratturati	
Roccia alterata e/o fratturata	1.2	1.1	(1.1 - 1.5) Vs per strati poco fratturati; 2 Vs o più per strati fratturati	

*Coefficiente  $\alpha$  per le sbulature*

Per quanto riguarda l'attrito laterale terreno-calcestruzzo vengono utilizzati i grafici proposti da Bustamante-Doix per litotipi a ugual comportamento geotecnico.

Lo strato alluvionale costituito da sabbie-ghiaiose prevalentemente grossolane ha una tensione laterale stimata in 120 kPa (vedi frecce blu del grafico), mentre per le sabbie a maggior granulometria fine la tensione laterale risulta pari a circa 90 kPa (frecce rosse grafico).

La resistenza laterale per lo strato roccioso è valutata con il grafico relativo alle rocce fratturate e viene stimato in 250 kPa.

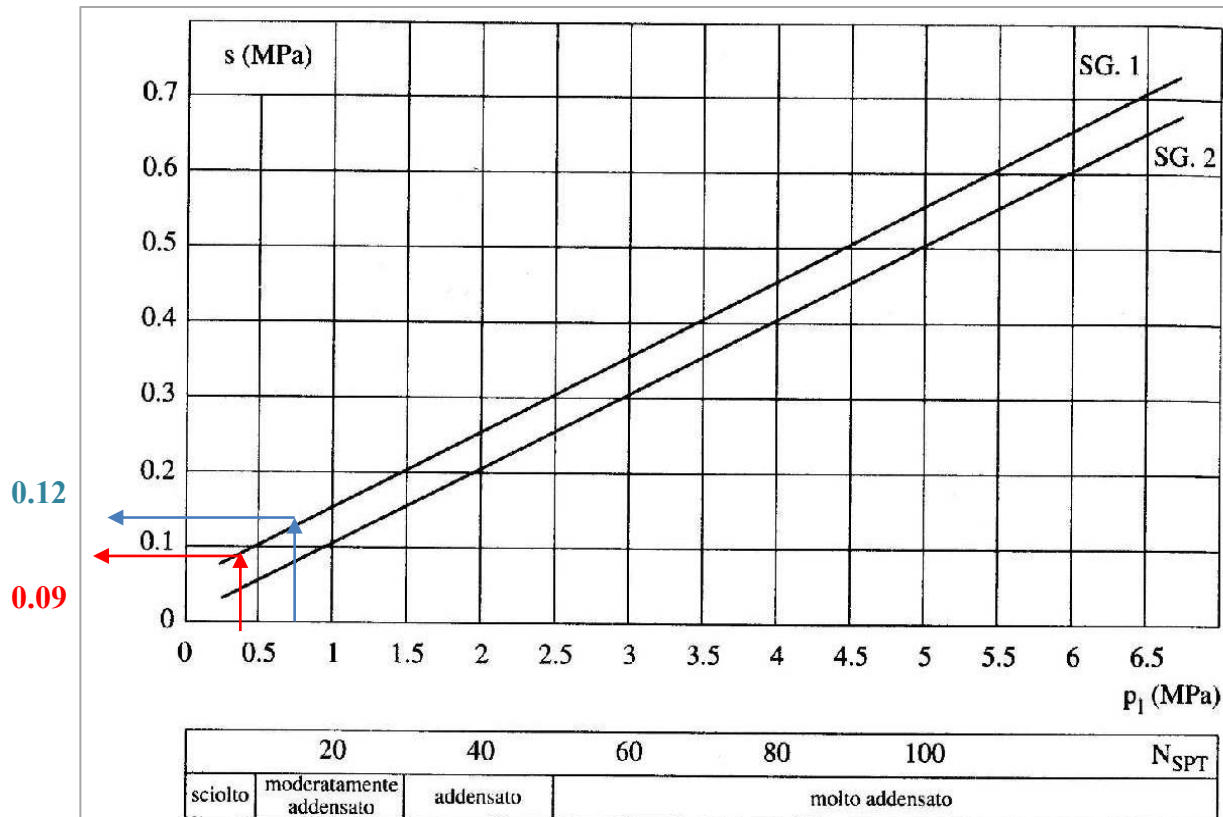


Fig. 13.16. Abaco per il calcolo di  $s$  per sabbie e ghiaie

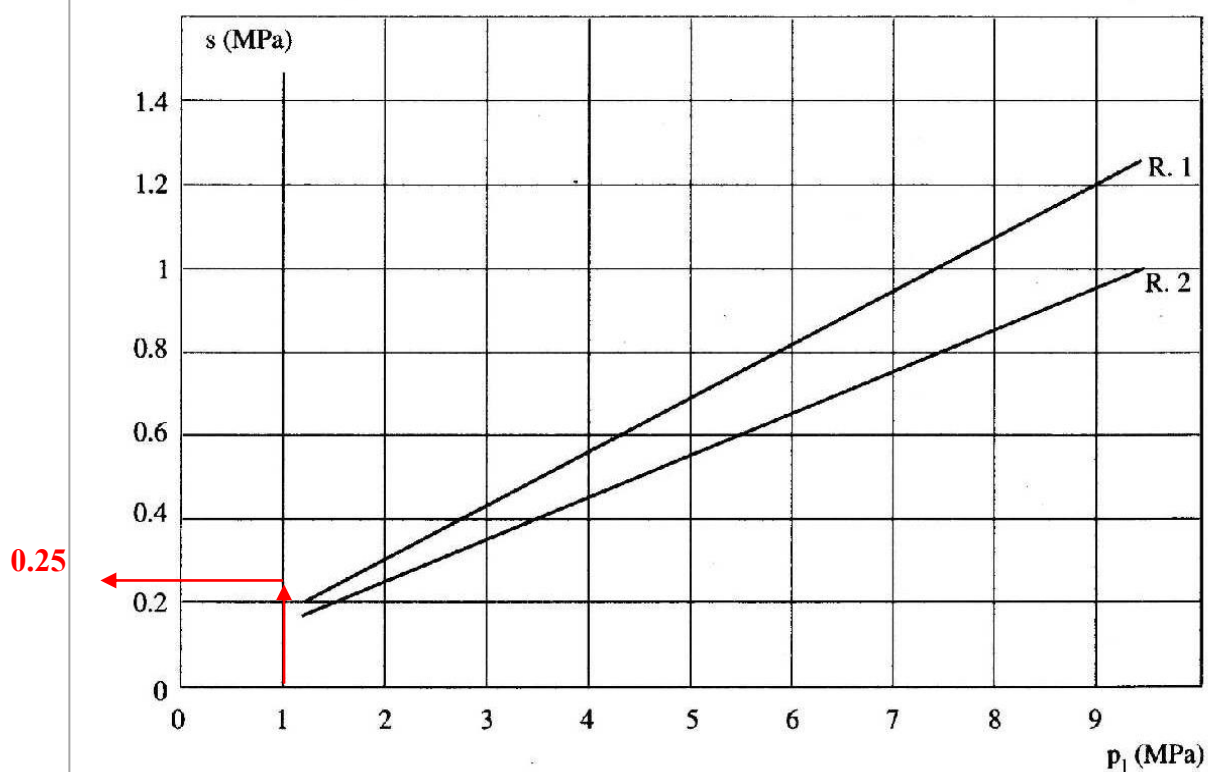


Fig. 13.19. Abaco per il calcolo di  $s$  per rocce alterate e fratturate

Tipo terreno	Spessore [m]	$\alpha$ [-]	D [m]	Si [kPa]	Qsi [kN]
Riporto	2	1.1	0.3	0	0
Deposito alluvionale fine	5	1.1	0.3	90	466,5
Deposito alluvionale grossolano	5	1.1	0.3	120	622,0
Cappellaccio	3	1.1	0.3	200	684,2

Il totale dei contributi  $Q_{si}$  per i vari strati risulta pari a 1772,7 kN.

Applicando il coefficiente sul numero di prove (1,70) e sulla resistenza laterale (1,15) si ottiene

$$Q_{lat} = 906,8 \text{ kN.}$$

La capacità alla punta viene assunta pari al 10% della portata laterale ovvero

$$Q_{base} = 90,7 \text{ kN.}$$

Il peso del palo è pari a  $P_{palo} = (\pi D^2 / 4) L \gamma_{cls} = 26,5 \text{ kN}$ ; pertanto risulta:

$$Q_{lim} = Q_{lat} + Q_{base} - P_{palo} = 971 \text{ kN.}$$

Confrontando questo valore con i risultati della modellazione, risulta che in ogni combinazione, per entrambe le spalle, la portata dei pali risulta maggiore alle sollecitazioni a cui sono sottoposti.