

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## PROGETTO DEFINITIVO

### NODO DI NOVARA

### 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO

### GALLERIA DI DUE CANNE SOTTO AUTOSTRADA A4

### Relazione di calcolo paratie di pali

SCALA:

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

N M 0 Y 0 0 D 1 1 C L G A 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	A. Ingloiti	Maggio 2021	M.Milovanovic 	Maggio 2021	F. Perrone 	Maggio 2021	D. Maranzano Maggio 2021



 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO</b></p> <p><b>OPERE D'ARTE</b></p>					
	GA01 Relazione di calcolo paratie di pali	COMMESSA <b>NMOY</b>	LOTTO 10	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 01 00 001	REV. A

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	DESCRIZIONE DELLE OPERE.....	5
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	7
3.1	STRUTTURE IN FONDAZIONE – PALI, PARATIE E SOLETTA INFERIORE .....	7
3.2	STRUTTURE IN ELEVAZIONE – SOLETTA SUPERIORE.....	7
3.3	ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA CONTROLLATO IN STABILIMENTO.....	7
4	CARATTERISTICHE DEI TERRENI .....	8
5	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	10
5.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	10
6	ANALISI DEI CARICHI .....	11
6.1	PESO PROPRIO.....	11
6.2	PERMANENTI PORTATI.....	11
6.3	CARICHI MOBILI .....	11
6.3.1	<i>Azioni da traffico stradale q1</i> .....	12
6.3.2	<i>Incremento dinamico q2</i> .....	12
6.3.3	<i>Azione longitudinale di frenamento e accelerazione q3</i> .....	12
6.3.4	<i>Azione centrifuga q4</i> .....	13
6.3.5	<i>Azioni sui parapetti q8</i> .....	13
6.4	AZIONE DEL VENTO .....	13
6.4.1	<i>Azione del vento</i> .....	13
6.5	VARIAZIONI TERMICHE DELLA STRUTTURA .....	15
6.6	AZIONI SISMICHE .....	15
6.7	COMBINAZIONI DI CARICO .....	17
6.7.1	<i>Combinazioni per SLU</i> .....	17
6.7.2	<i>Combinazioni per SLE</i> .....	18
6.7.3	<i>Combinazioni sismiche ed eccezionali</i> .....	19
6.7.4	<i>Coefficienti parziali per le verifiche geotecniche</i> .....	19



**NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO  
BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO**

**OPERE D'ARTE**

GA01 Relazione di calcolo paratie di pali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	10	D 29 CL	GA 01 00 001	A	3 di 28

7	DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE OPERA.....	19
8	CONCLUSIONI.....	28
9	ALLEGATI.....	28

	<b>NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO</b>  <b>OPERE D'ARTE</b>					
GA01 Relazione di calcolo paratie di pali	COMMESSA <b>NMOY</b>	LOTTO 10	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 01 00 001	REV. A	FOGLIO 4 di 28

## 1 PREMESSA

L'opera in esame si colloca all'interno del progetto definitivo degli interventi di prima fase del PRG di Novara Boschetto ed è ubicata fra lo scalo di Novara Boschetto ed il quartiere urbano di Vignale.

In tale zona è prevista la dismissione del binario pari dell'Interconnessione AV, con smantellamento del deviatoio d'ingresso.

La bretella merci rimarrà così semplificata, andandosi ad innestare con un flesso sull'attuale tracciato dell'Interconnessione Ovest pari di Novara, che sarà dismessa. Il tracciato della bretella proseguirà su quello dell'attuale Interconnessione pari sino alla radice dello scalo di Novara Boschetto, per consentire l'ingresso nel fascio Autostrada viaggiante come riconfigurato in progetto.

Il binario dispari dell'Interconnessione Ovest di Novara avrà funzione bidirezionale sia in ingresso che in uscita dall'AV e a tal fine sarà prevista una comunicazione pari/dispari verso Torino.

Gli interventi previsti per la funzionalità sopra descritta sono: armamento, trazione elettrica, LFM, Impianti di Segnalamento, opere civili, espropri, ambiente.

È prevista la realizzazione di un'opera di sotto-attraversamento dell'A4 per la bretella merci sull'Interconnessione pari; l'opera sarà a doppia canna, quindi predisposta per un eventuale raddoppio della bretella con utilizzo anche dell'Interconnessione dispari.

La realizzazione della bretella merci comporta l'interruzione di via delle Rosette nel tratto di sotto-attraversamento dell'A4 e della linea AV. La funzionalità viabilistica verrà assicurata dal nuovo tratto di via delle Rosette a sostituzione del PL sulla Novara-Domodossola a Vignale, con prosecuzione ad est sulla viabilità esistente, verso C.so della Vittoria.

Per gli interventi di cui sopra si dovrà intervenire sugli impianti di TE di linea e sugli impianti di segnalamento del PJ1 di Novara Ovest (con interventi anche presso il PCS di Settimo Torinese).

	<b>NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO</b>					
	<b>OPERE D'ARTE</b>					
GA01 Relazione di calcolo paratie di pali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NMOY	10	D 29 CL	GA 01 00 001	A	5 di 28

## 2 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Nella presente relazione si riporta l'intervento in corrispondenza dell'autostrada A4.

Al fin di realizzare i nuovi binari di Vignale, sarà necessario prevedere un serie di opere di adeguamento, sia nel tratto di stretto affiancamento, sia nel tratto di interferenza vera con A4.

Il sottopasso del rilevato autostradale è previsto mediante due manufatti distinti, uno per il binario dispari ed uno per il binario pari, di larghezza interna pari a 6.20m, da realizzarsi con modalità differenti.

La prima parte porzione delle 2 gallerie sarà realizzata con scatolare aperto sul fondo fondato su pali, quindi una volta demolito parte del muro di sostegno della piattaforma autostradale si realizzeranno le fondazioni profonde costituite da pali di diametro pari a 100cm e lunghezza 18.00m allineati con le pareti perimetrali della galleria e distanti 3.00 lungo lo stesso asse.

La seconda porzione di galleria, quella di sviluppo longitudinale maggiore sottostante il rilevato autostradale, sarà realizzato da un solettone in c.a. appoggiato su paratia di pali in c.a. di diametro pari a 1.00m e di lunghezza complessiva pari a 20.00m. La funzione dei pali sarà di sostegno del solettone in prima fase e di sostegno del solettone e dei fronti di scavo in seconda fase con lo scavo in sottomurazione della galleria.

Oggetto della presente relazione di calcolo è il dimensionamento dei pali nelle fasi di scavo, una volta realizzato il traverso superiore. In pratica la paratia di pali sarà sollecitata a flessione dalla spinta dei terreni nel corso della fase 2 consistente nello scavo della galleria e autostrada in esercizio. Per garantire il rispetto dei criteri di sicurezza si dovrà procedere con scavo graduale e posa di elementi provvisori di contrasto intermedio per riduzione della lunghezza libera di inflessione del palo sollecitato dal terreno.

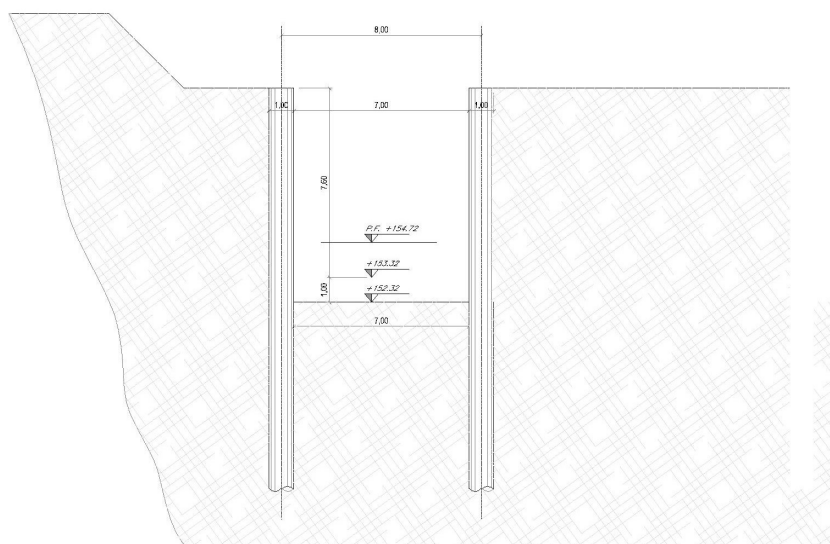


Figura 1 – Sezione del manufatto oggetto della presente relazione di calcolo.

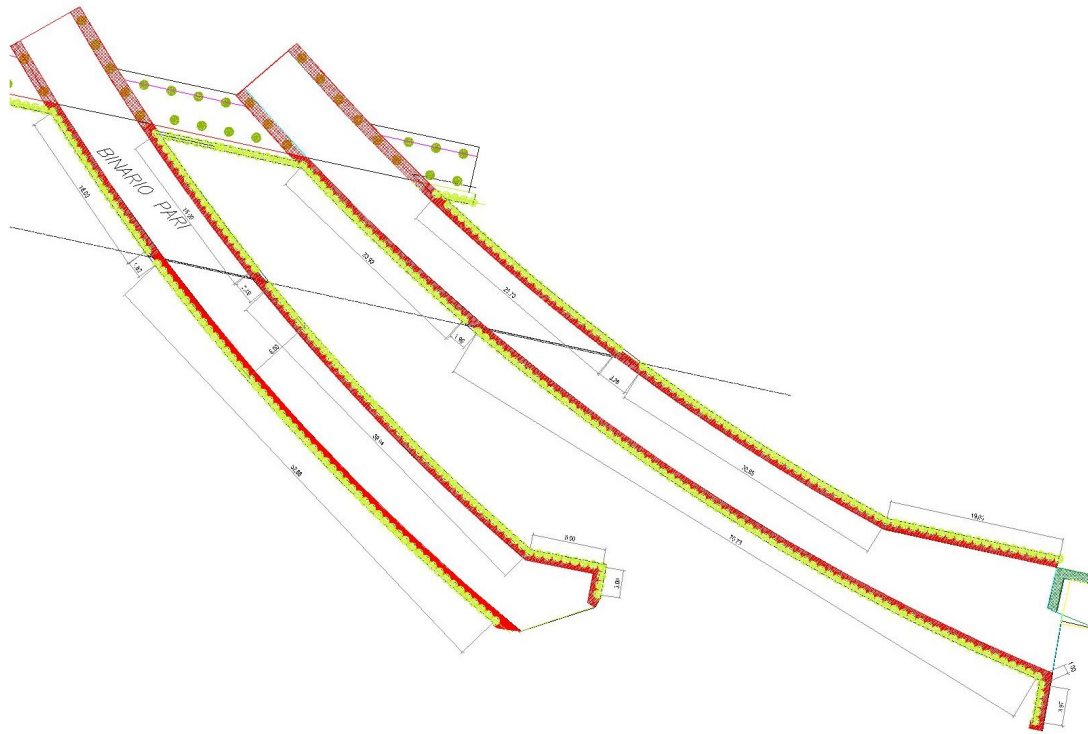


Figura 2 – Pianta dei manufatti oggetto della presente relazione di calcolo.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO</b>  <b>OPERE D'ARTE</b>					
	GA01 Relazione di calcolo paratie di pali	COMMESSA NMOY	LOTTO 10	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 01 00 001	REV. A

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### 3.1 Strutture in Fondazione – Pali, paratie e soletta inferiore

##### CALCESTRUZZO MAGRO classe C12/15

Resistenza caratteristica a 28 gg.	$R_{ck} = 150 \text{ daN/cm}^2$
------------------------------------	---------------------------------

##### CALCESTRUZZO classe C30/37 Pali

Resistenza caratteristica a 28 gg.	$R_{ck} = 300 \text{ daN/cm}^2$
Classe di esposizione	XC3
Rapporto acqua/cemento max	0.55
Dose minima cemento	$320 \text{ kg/m}^3$
Consistenza	S4-S5
Diametro massimo degli aggregati	32 mm
Copriferro minimo	60 mm

#### 3.2 Strutture in Elevazione – Soletta superiore

##### CALCESTRUZZO classe C32/40

Resistenza caratteristica a 28 gg.	$R_{ck} = 400 \text{ daN/cm}^2$
Classe di esposizione	XC4
Rapporto acqua/cemento max	0.50
Dose minima cemento	$340 \text{ kg/m}^3$
Consistenza	S4-S5
Diametro massimo degli aggregati	25 mm
Copriferro minimo	45 mm (estradosso)

#### 3.3 Acciaio per barre di armatura controllato in stabilimento

Acciaio barre ad aderenza migliorata	B450C
--------------------------------------	-------

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO</b>  <b>OPERE D'ARTE</b>					
	GA01 Relazione di calcolo paratie di pali	COMMESSA NMOY	LOTTO 10	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 01 00 001	REV. A

#### 4 CARATTERISTICHE DEI TERRENI

Dal punto di vista più strettamente geotecnico, il sottosuolo dell'area di progetto è costituito da sedimenti pressoché esclusivamente granulari, più grossolani nella parte superiore, di natura da ghiaiosa a ghiaioso-sabbiosa, a più fini, in quella inferiore, da sabbiosi a sabbioso-limosi, più raramente debolmente ghiaiosi.

Uno strato di terreni di riporto di spessore compreso tra 0.5-1.50 m, seguito da un livello di sabbia limosa da sciolta a mediamente addensata, localmente ghiaiosa, talora contenente residui organici, spesso da 1.5 a 2.70 m, contraddistingue la porzione più superficiale del sottosuolo lungo l'intera tratta presa in esame.

La successione prosegue inferiormente con un materasso di depositi più grossolani ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi mediamente addensati. Tali litotipi caratterizzano il sottosuolo fino a profondità comprese tra -14 m e -16 dal p.c., in corrispondenza del tratto comprendente l'interferenza con l'autostrada A4 e la linea TAV TO-MI (sondaggi SN80-S258) e -9 m circa, nel tratto più orientale, nel tratto corrispondente alla fine dell'intervento di progetto (sondaggi S260-S261).

La falda si trova a circa 1.70m dal p.c.. In relazione ai caratteri stratigrafici del sottosuolo emersi dalle indagini a disposizione e in precedenza descritti, il modello geotecnico del sottosuolo può considerarsi rappresentato dalle seguenti 3 Unità Geotecniche:

- **Unità geotecnica E – Corpo di Rilevati – dal p.c. a salire (circa 9.00-10.00m d.p.c.)**

Unità geotecnica	Peso di volume kN/m <sup>3</sup>	Nspt	Coesione efficace c' (kPa)	Densità relativa Dr (%)	Angolo di attrito $\phi'$	Modulo edometrico Ed (MPa)
UNITA' E	20	/	0	/	34° - 35°	/

- **Unità geotecnica superiore D – Limo con argilla debolmente sabbioso - fino a 1.50m dal p.c.**

Unità geotecnica	Peso di volume kN/m <sup>3</sup>	Nspt	Coesione efficace c' (kPa)	Densità relativa Dr (%)	Angolo di attrito $\phi'$	Modulo edometrico Ed (MPa)
UNITA' D	18.0 – 19.0	/	50-60	/	26° - 28°	/

- **Unità geotecnica intermedio B – Ghiaia eterometrica, con clasti poligenici arrotondati**



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO</b>  <b>OPERE D'ARTE</b>					
	GA01 Relazione di calcolo paratie di pali	COMMESSA <b>NMOY</b>	LOTTO 10	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 01 00 001	REV. A

Unità geotecnica	Peso di volume kN/m <sup>3</sup>	Nspt	Coesione efficace c' (kPa)	Densità relativa Dr (%)	Angolo di attrito $\phi'$	Modulo edometrico Ed (MPa)
<b>UNITA' B</b>	20.0	/	0	/	40° - 44°	/

- **Unità geotecnica inferiore C – Sabbie da media a fine con locale presenza di ghiaie e limo**

Unità geotecnica	Peso di volume kN/m <sup>3</sup>	Nspt	Coesione efficace c' (kPa)	Densità relativa Dr (%)	Angolo di attrito $\phi'$	Modulo edometrico Ed (MPa)
<b>UNITA' C</b>	18.0 – 19.0	/	0	/	34° - 36°	/


La falda si trova a circa 10 m dalla testa del rilevato autostradale.

	<b>NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO</b>  <b>OPERE D'ARTE</b>					
GA01 Relazione di calcolo paratie di pali	COMMESSA <b>NMOY</b>	LOTTO 10	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 01 00 001	REV. A	FOGLIO 10 di 28

## 5 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

### 5.1 Documenti Referenziati

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086: *Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.*
- D.M. del 17.01.2018 “*Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (G.U. n.42 del 20.02.2018);*
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 B: “*Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - sez.2 : Ponti e strutture “ del 22/12/2017.*
- RFI DTC SI CS MA IFS 001 B: “*Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - sez.3. : Corpo stradale” del 22/12/2017.*
- RFI DTC SI GA MA IFS 001 B: “*Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - sez.4. : Gallerie” del 22/12/2017.*
- EN 1991-2 “*Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2 : carichi da traffico sui ponti”*
- EN 1992-1 “*Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-1 : Regole generali e regole per edifici”*
- EN 1992-1 “*Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 2: ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi.”*
- EN 1997-1 “*Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica- Parte 1 : Regole generali.”*
- Regolamento (UE) n.1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea.

	<b>NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO</b>  <b>OPERE D'ARTE</b>					
GA01 Relazione di calcolo paratie di pali	COMMESSA <b>NMOY</b>	LOTTO 10	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 01 00 001	REV. A	FOGLIO 11 di 28

## 6 ANALISI DEI CARICHI

### 6.1 Peso proprio

- Peso proprio cls

$$\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$$

### 6.2 Permanenti portati


Di seguito si riportano i pesi che contribuiscono a definire il carico permanente:

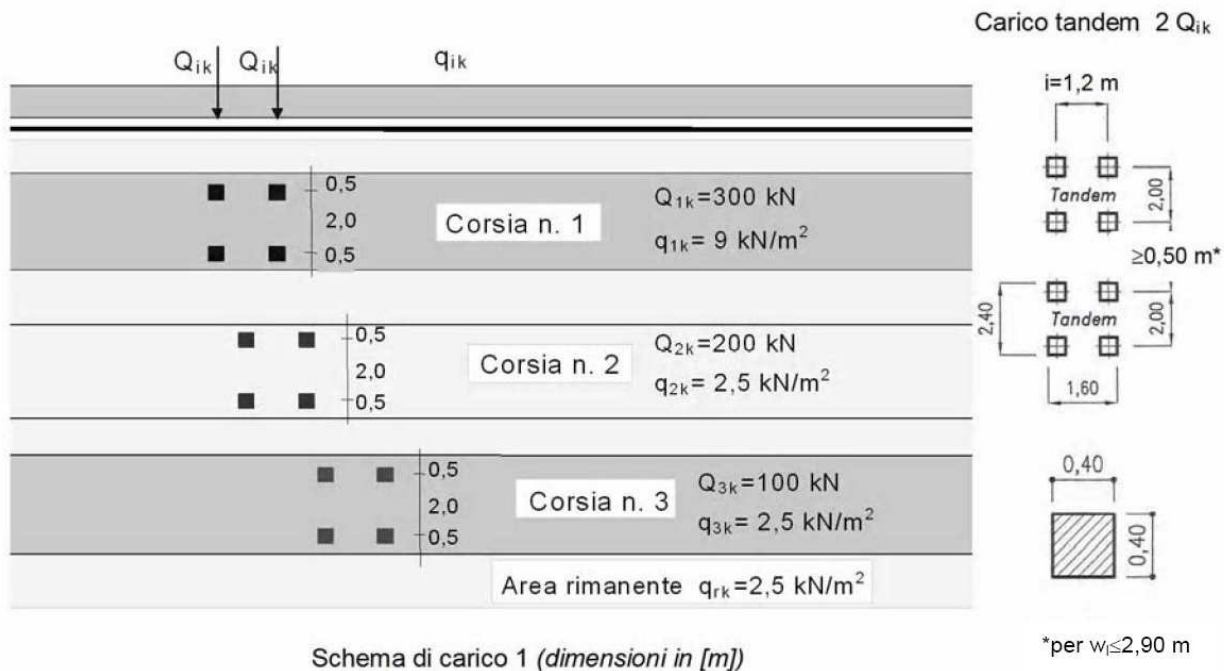
- Pendenza trasversale soletta 1.5 %
- Massetto
- Sottofondazione autostradale
- Rullato arido
- Binder
- Manto di usura

Data l'altezza del pacchetto soprastante il solettone si assume nel calcolo un peso permanente portato pari a 25 kN/mq.

### 6.3 Carichi mobili

Il numero delle colonne di carichi mobili da considerare nel calcolo dei ponti è quello massimo compatibile con la larghezza della carreggiata, comprese le eventuali banchine di rispetto e per sosta di emergenza, nonché gli eventuali marciapiedi non protetti e di altezza inferiore a 20 cm, tenuto conto che la larghezza di ingombro convenzionale è stabilita per ciascuna colonna in 3,00 m.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO</b>  <b>OPERE D'ARTE</b>					
	GA01 Relazione di calcolo paratie di pali	COMMESSA <b>NMOY</b>	LOTTO 10	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 01 00 001	REV. A



### 6.3.1 Azioni da traffico stradale q1

Le azioni di servizio sono rappresentate dal traffico stradale per ponti per il transito di carichi mobili:

azioni da carico stradale  $q_{ik} = 9,00 \text{ kN/m}^2$ ,  $Q_{1k} = 300 \text{ kN}$ ,

azioni su porzioni rimanenti  $q_{rk} = 2,50 \text{ kN/m}^2$ ,

I carichi concentrati sono stati ripartiti su una superficie ricavata dalla diffusione dell'impronta di carico a  $45^\circ$  tenendo uno spessore di pavimentazione stradale pari a 60cm (ipotesi a favore di sicurezza dal momento che il ricoprimento è maggiore).

### 6.3.2 Incremento dinamico q2

Non sono previste interruzioni strutturali significative tali da determinare azioni dinamiche di incremento dei carichi da traffico stradale.

### 6.3.3 Azione longitudinale di frenamento e accelerazione q3

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0.6(2Q_{1k}) + 0.10q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN}$$

Nel caso specifico l'azione è pari a:

$$q_3 = 0.6 \cdot 2 \cdot 30000 + 0.1 \cdot 900 \cdot 3.00 \cdot 2 \cdot 8.00 = 36000 + 43200 = 72200 \text{ daN, valore compreso nel range.}$$

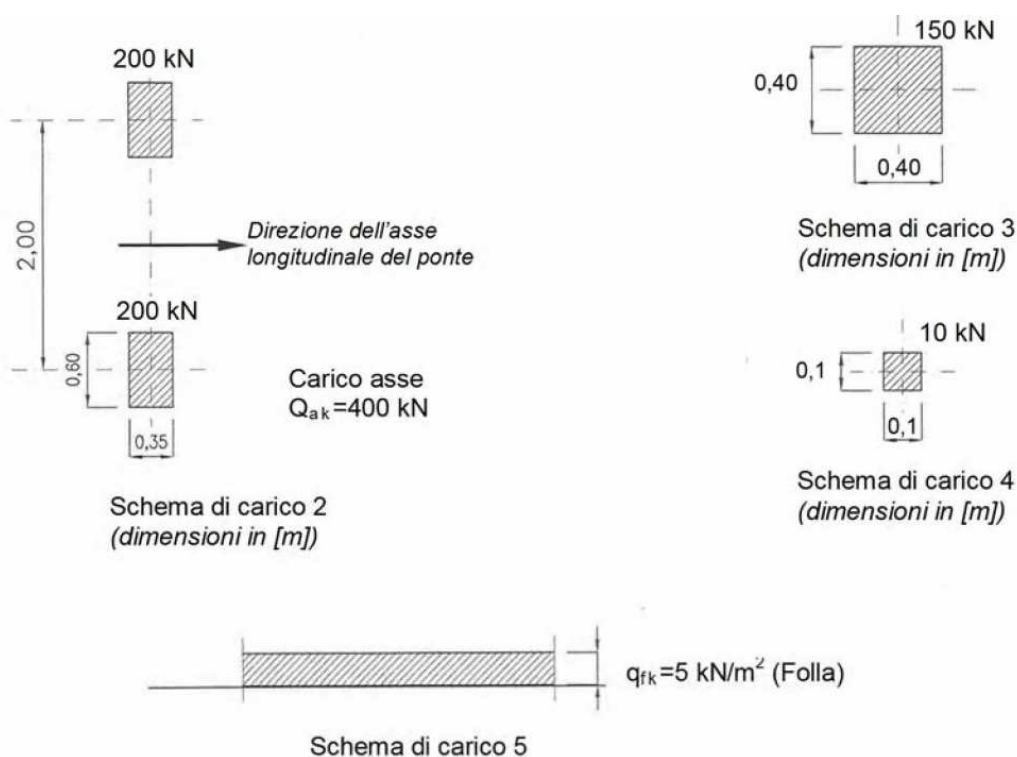
 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO</b>  <b>OPERE D'ARTE</b>					
	GA01 Relazione di calcolo paratie di pali	COMMESSA <b>NMOY</b>	LOTTO 10	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 01 00 001	REV. A

### 6.3.4 Azione centrifuga $q_4$

Il ponte in oggetto presenta sviluppo rettilineo dell'impalcato, quindi l'azione è nulla.

### 6.3.5 Azioni sui parapetti $q_8$

Sono applicate le azioni dei sicurvia come previsto dalle norme in funzione della tipologia di carico. Nella presente situazione e sistemazione finale non vi sono dispositivi di ritenuta dagli urti sulla struttura oggetto della presente relazione di calcolo.



## 6.4 Azione del vento

### 6.4.1 Azione del vento


Parametri per la determinazione del carico vento secondo il D.M. 17 gennaio 2018 e Circolare applicativa n° 7 del 21 Gennaio 2019:

Velocità di riferimento

$$v_b = v_{b0} \quad \text{per} \quad a_s \leq a_0,$$

$$v_b = v_{b0} + k_a (a_s - a_0) \quad \text{per} \quad a_0 < a_s \leq 750\text{m},$$

ZONA: 1

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO</b>  <b>OPERE D'ARTE</b>					
	GA01 Relazione di calcolo paratie di pali	COMMESSA <b>NMOY</b>	LOTTO 10	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 01 00 001	REV. A

$V_{b0} = 25 \text{ m/s}$ ,

$a_0 = 1000 \text{ m}$ ,

$k_s = 0.40$ .

Altezza sul livello del mare = 155.00 m.s.l.m.

Periodo di ritorno del vento per la tipologia di struttura in esame: 50 anni, da cui:

$$c_r = 0.75 * \sqrt{1 - 0.2 * \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T_R}\right)\right]} = 0.75 * \sqrt{1 - 0.2 * \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{50}\right)\right]} = 0.75 * 1.33 = 1,$$

Per un periodo di ritorno del vento di 100 anni il coefficiente moltiplicativo vale:

$$c_r = 0.75 * \sqrt{1 - 0.2 * \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T_R}\right)\right]} = 0.75 * \sqrt{1 - 0.2 * \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{100}\right)\right]} = 0.75 * 1.3857 = 1.04,$$

Per un periodo di ritorno del vento di 200 anni il coefficiente moltiplicativo vale:

$$c_r = 0.75 * \sqrt{1 - 0.2 * \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T_R}\right)\right]} = 0.75 * \sqrt{1 - 0.2 * \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{200}\right)\right]} = 0.75 * 1.435 = 1.076,$$

Ponendosi a favore di sicurezza si assume periodo di ritorno pari a 200 anni; la velocità di riferimento vale pertanto:

$$v_b = 25 * 1.076 = 27 \text{ m/s}.$$

La pressione del vento sulle superfici è data dalla formula:

$$p = q_b * c_e * c_p * c_d,$$

con

$q_b$  = pressione cinetica di riferimento,

$c_e$  = coefficiente di esposizione,

$c_p$  = coefficiente di forma o aerodinamico,

$c_d$  = coefficiente dinamico.

L'azione tangenziale del vento viene valutata con l'espressione riportata di seguito

$$p_f = q_b * c_e * c_f,$$

con

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO</b>  <b>OPERE D'ARTE</b>					
	GA01 Relazione di calcolo paratie di pali	COMMESSA <b>NMOY</b>	LOTTO 10	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 01 00 001	REV. A

$q_b$  = pressione cinetica di riferimento,

$c_e$  = coefficiente di esposizione,

$c_f$  = coefficiente di attrito.

### Pressione cinetica di riferimento

La pressione cinetica di riferimento si ricava dalla formula

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 \text{ con } \rho = 1.25 \text{ kg/m}^3 \text{ il peso convenzionale dell'aria.}$$

$$q_b = 1.25 * 27^2 / 2 = 456 \text{ N/m}^2.$$

### Categoria di esposizione

Classe di rugosità del terreno gruppo C.

I parametri per determinare il coefficiente di esposizione sono:

Categoria: III

$$K_r = 0.20$$

$$Z_0 = 0.10 \text{ m}$$

$$Z_{\min} = 5 \text{ m}$$

$$C_e = 0.20^2 * \{1 * \ln(z/0.10) * [7 + 1 * \ln(z/0.10)]\} \quad \text{per } z > 5 \text{ m}$$

$$C_e(z_{\min}) = 0.20^2 * \{1 * \ln(5/0.10) * [7 + 1 * \ln(5/0.10)]\} = 1.71$$

L'altezza massima in elevazione è pari a 5.50m, si assume che il coefficiente di esposizione sia quello per z minima.

## **6.5 Variazioni termiche della struttura**

Le variazioni termiche uniformi da considerare per le opere direttamente esposte alle azioni atmosferiche, rispetto alla temperatura media dal sito, sono espresse in funzione dei materiali costituenti l'opera e della tipologia di armamento. In particolare con ponti in ca o cap con qualunque armamento  $\Delta T = \pm 15^\circ \text{C}$

Esclusivamente per il calcolo delle escursioni dei giunti e degli apparecchi d'appoggio la variazione di temperatura di cui al precedente capoverso dovrà essere incrementata del 50% per tutte le tipologie di impalcato. In aggiunta alla variazione termica uniforme andrà considerata anche una differenza di temperatura di  $5^\circ \text{C}$  fra estradosso ed intradosso di impalcato, con andamento lineare tra detti estremi e nei due casi di estradosso più caldo dell'intradosso e viceversa.

## **6.6 Azioni sismiche**

	<b>NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO</b>					
	<b>OPERE D'ARTE</b>					
GA01 Relazione di calcolo paratie di pali	COMMESSA NMOY	LOTTO 10	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 01 00 001	REV. A	FOGLIO 16 di 28

L'azione sismica è valutata con riferimento alle indicazioni del Decreto Ministeriale del 17.01.2018 "Aggiornamento delle nuove norme tecniche per le costruzioni", nel seguito brevemente NTC2018.

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nei quali la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

In base alla tabella 2.5.1.1.1-1 delle "Istruzioni per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari" (rif. RFI-DTC-SI-PS-MA-IFS-001-B) l'opera viene assimilata a "Infrastrutture ferroviarie nuove non AV ( $v \leq 250$  km/h). La vita nominale risulta pertanto  $V_N = 75$  anni.

TIPO DI COSTRUZIONE <sup>(1)</sup>	Vita Nominale [ $V_N$ ] <sup>(4)</sup>
OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE ESISTENTI <sup>(2)</sup>	50
INFRASTRUTTURE FERROVIARIE NUOVE AD ALTA VELOCITA' ( $V > 250$ km/h)	100
INFRASTRUTTURE FERROVIARIE NUOVE NON AV ( $V \leq 250$ km/h)	75
OPERE DI GRANDI DIMENSIONI: PONTI E VIADOTTI CON CAMPATE DI LUCE MAGGIORE DI 150 m	$\geq 100$ <sup>(3)</sup>
(1) - La medesima $V_N$ ; si applica a tutte le opere dell'infrastruttura ferroviaria cui appartengono. (2) - Rientrano in questa classe i raddoppi in affiancamento mentre interventi in variante planimetrica di infrastrutture esistenti di lunghezza superiore a 10 km devono classificarsi infrastrutture nuove. (3) - Da definirsi per il singolo progetto. (4) - La stessa $V_N$ ; si applica anche ad apparecchi di appoggio, coprigiunti e impermeabilizzazione di ponti e viadotti ferroviari.	

Tab. 1.1.1-1 - Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un'eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Nel caso in oggetto si fa riferimento alla **Classe IV**: "Infrastrutture ferroviarie strategiche", a cui corrisponde un coefficiente di uso  $C_u = 2.0$ .

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella tabella 1.1.2-1 delle "Istruzioni per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari" (rif. RFI-DTC-SI-PS-MA-IFS-001-B).

TIPO DI COSTRUZIONE	Classe d'uso	Coefficiente d'uso [ $C_U$ ]
INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE	C IV	2.0
INFRASTRUTTURE FERROVIARIE AD ALTA VELOCITA' ( $V > 250$ km/h)	C III	1,5
INFRASTRUTTURE FERROVIARIE NON STRATEGICHE	C II	1,0

Tabella 1.1.2-1 - Coefficienti d'uso per le infrastrutture ferroviarie

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_u$ . Tale coefficiente è funzione della classe d'uso e nel caso specifico si assume un valore pari a 1.

$$V_R = V_N \times C_u = 75 \text{ anni} \times 2 = 150 \text{ anni}$$

Il sottosuolo rientra nella categoria di suolo di fondazione di tipo "C" ovvero "depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di  $V_{S30}$  compresi tra 180 e 360 m/s ( $15 < NSPT < 50$ ,  $70 < c_u < 250$  kPa)".



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO</b>  <b>OPERE D'ARTE</b>					
	GA01 Relazione di calcolo paratie di pali	COMMESSA <b>NMOY</b>	LOTTO 10	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 01 00 001	REV. A

Ai fini degli effetti dell'azione sismica locale, si assume un coefficiente di topografia ST pari ad 1.0 (categoria topografica T1).

Con riferimento allo stato limite SLV (10% della probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR), per il comune di Novara il valore massimo della accelerazione su suolo rigido pianeggiante è  $ag = 0.048$  g. Considerando il coefficiente di amplificazione stratigrafica  $SS = 1.5$  e topografica  $ST = 1$ , si ottiene la accelerazione massima in sito  $amax = SS \cdot ST \cdot ag = 0.072$  g.

Le masse partecipanti all'azione sismica oltre ai pesi propri e ai permanenti portati sono costituite dalle masse dei treni, scalati al 20% del loro peso e della loro massa.

Per il sisma in direzione trasversale e longitudinale, si assume per le spalle e per le pile, un fattore di struttura  $q=1.5$ , considerando come prescritto la struttura in classe di duttilità alta "CDB".

Per le azioni sugli appoggi, gli spostamenti, i ritegni e le verifiche a taglio degli elementi strutturali, si assume  $q=1.0$ .

## 6.7 Combinazioni di carico

### 6.7.1 Combinazioni per SLU

Le combinazioni di carico considerate, conformi al metodo degli stati limite e alla normativa vigente. Le azioni per lo stato limite ultimo vengono combinate secondo la formula riportata di seguito:

$$F_d = \sum_{j=1}^m (\gamma_{G1j} \cdot G_{k1j}) + \sum_{j=1}^m (\gamma_{G2j} \cdot G_{k2j}) + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0i} \cdot \gamma_{Qi} \cdot Q_{ki})$$

i valori dei moltiplicatori delle azioni sono riportati nella tabella 1:

Tipologia di carico		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_F$		STR	GEO
Carichi permanenti strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	Sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	Sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	Favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	Sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	Favorevoli	$\gamma_{Q1}$	0,00	0,00	0,00
	Sfavorevoli		1,50	1,50	1,30

Precompressione	Favorevoli	$\gamma_{s1}$	0,90	1,00	1,00
	Sfavorevoli		1,00	1,00	1,00
Ritiro e viscosità	Favorevoli	$\gamma_{s2}, \gamma_{s3}, \gamma_{s4}$	0,00	0,00	0,00
	Sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

**Tabella 1 – Coefficienti moltiplicativi delle azioni per SLU**


I coefficienti di combinazione delle azioni variabili sono riportati nella tabella 2.

Categoria/Azione variabile	Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
Azioni da traffico	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,00
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,00
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,00
	Schema 2	0,00	0,75	0,00
	2	0,00	0,00	0,00
	3	0,00	0,00	0,00
	4 (folla)	0,00	0,75	0,00
	5	0,00	0,00	0,00
Vento	A ponte scarico SLU e SLE	0,60	0,20	0,00
	In esecuzione	0,80	0,00	0,00
	A ponte carico SLU e SLE	0,60	0,00	0,00
Neve	SLU e SLE	0,00	0,00	0,00
	In esecuzione	0,80	0,60	0,50
Variazioni termiche	SLU e SLE	0,60	0,60	0,50

**Tabella 2 – Coefficienti di combinazione delle azioni per SLE**

### 6.7.2 Combinazioni per SLE

Combinazioni rare:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO</b>  <b>OPERE D'ARTE</b>					
	GA01 Relazione di calcolo paratie di pali	COMMESSA <b>NMOY</b>	LOTTO 10	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 01 00 001	REV. A

$$F_d = \sum_{j=1}^m (G_{k1j}) + \sum_{j=1}^m (G_{k2j}) + P + Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0i} \cdot Q_{ki})$$

Combinazioni frequenti:

$$F_d = \sum_{j=1}^m (G_{k1j}) + \sum_{j=1}^m (G_{k2j}) + P + \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

Combinazioni quasi permanenti

$$F_d = \sum_{j=1}^m (G_{k1j}) + \sum_{j=1}^m (G_{k2j}) + P + \Psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

### 6.7.3 Combinazioni sismiche ed eccezionali

Combinazione sismica (azione sismica E)

$$F_d = E + \sum_{j=1}^m (G_{k1j}) + \sum_{j=1}^m (G_{k2j}) + P + \sum_{i=1}^n (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

Combinazione eccezionale (azione eccezionale A<sub>d</sub>)

$$F_d = A_d + \sum_{j=1}^m (G_{k1j}) + \sum_{j=1}^m (G_{k2j}) + P + \sum_{i=1}^n (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

### 6.7.4 Coefficienti parziali per le verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche dei pali di fondazioni sono state eseguite utilizzando i seguenti coefficienti parziali:

Carico di punta:  $\gamma_b = 1.35$ ,

Aderenza laterale:  $\gamma_s = 1.15$ .

La verifica di capacità portante è stata eseguita con la combinazione A1+M1+R3.

## 7 DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE OPERA

Si riporta di seguito il calcolo per il predimensionamento e la verifica della galleria sotto A4 con due modellazioni distinte, il modello di paratia contrastata in testa e al piede per il dimensionamento dei piedritti della galleria nelle varie fasi realizzative, e modello F.E.M. rappresentativo del solettone di copertura della galleria sollecitato dai carichi autostradali.

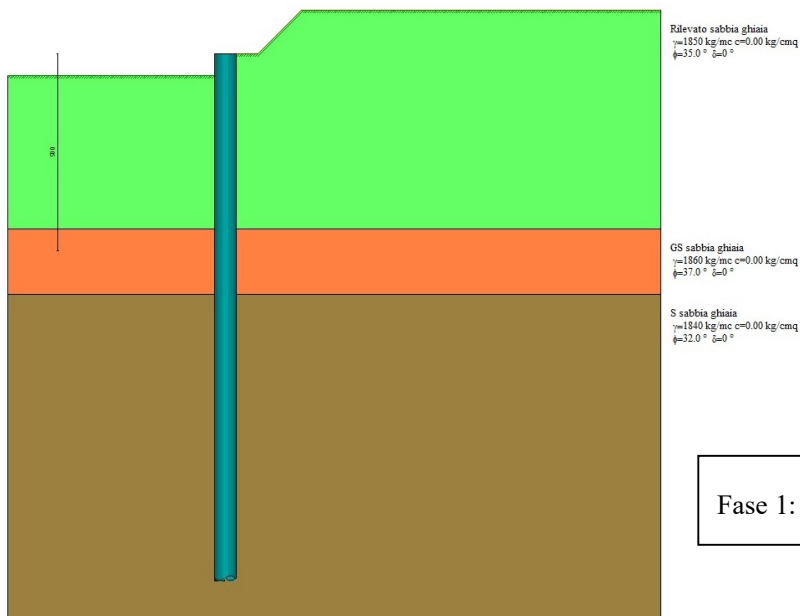
Per il modello geotecnico si è utilizzato il software PAC 14 della Aztec Informatica s.r.l., mentre per la modellazione F.E.M. della piastra in C.A. di copertura della galleria il software Sismicad 12.16 della Concrete s.r.l.

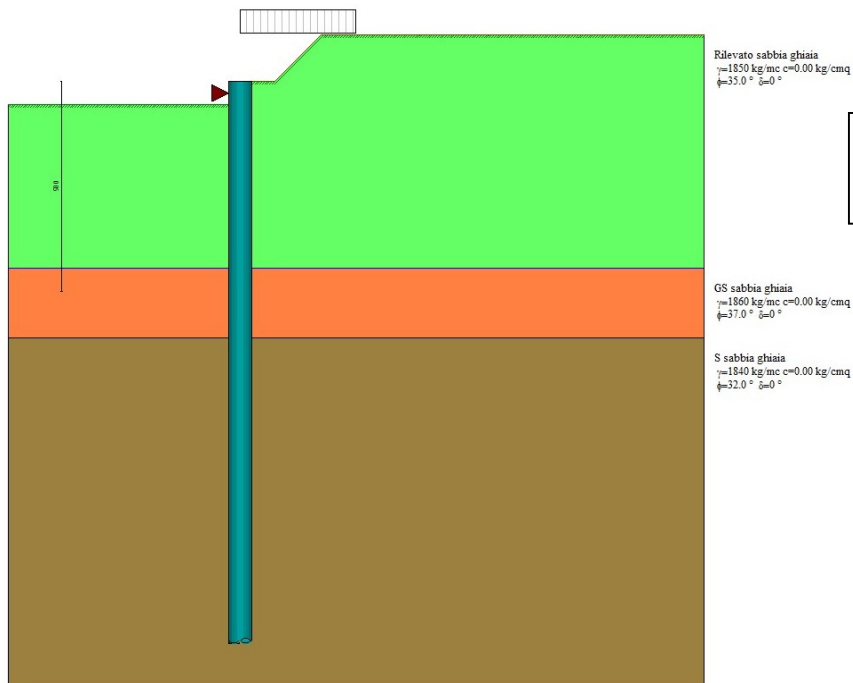
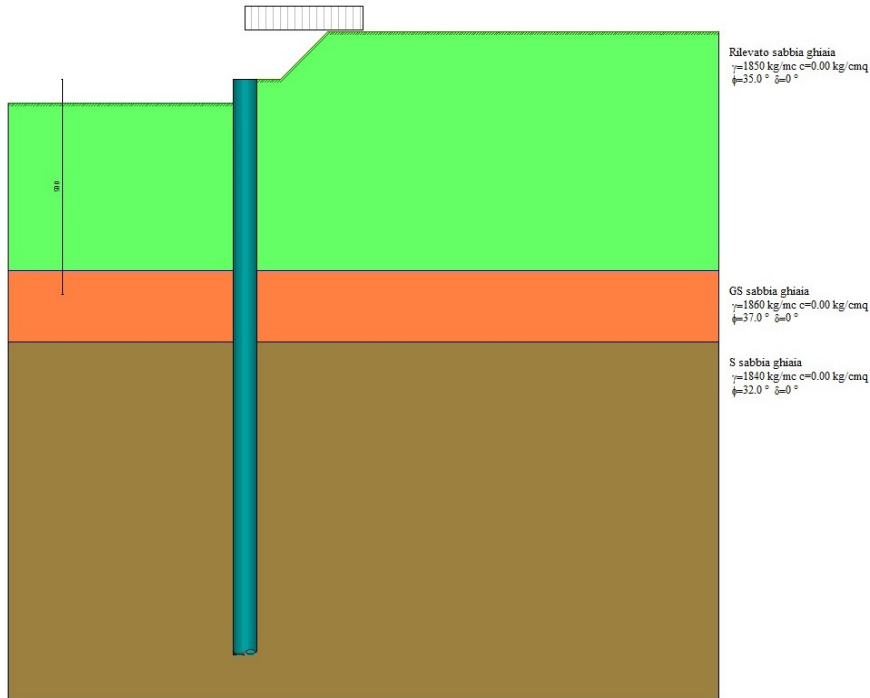
 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO</b> <b>BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO</b>  <b>OPERE D'ARTE</b>					
	GA01 Relazione di calcolo paratie di pali	COMMESSA <b>NMOY</b>	LOTTO 10	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 01 00 001	REV. A

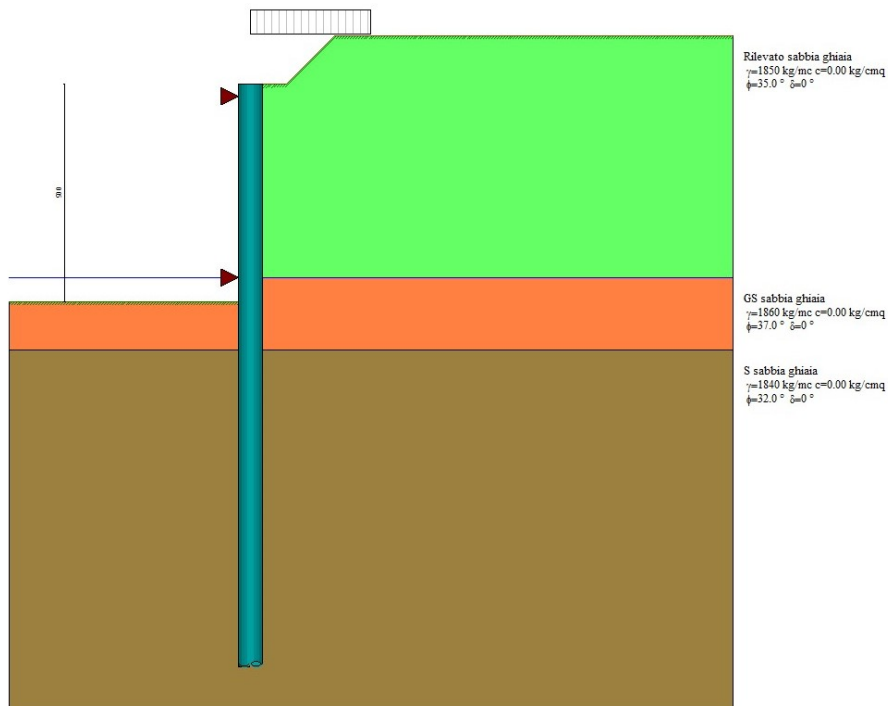
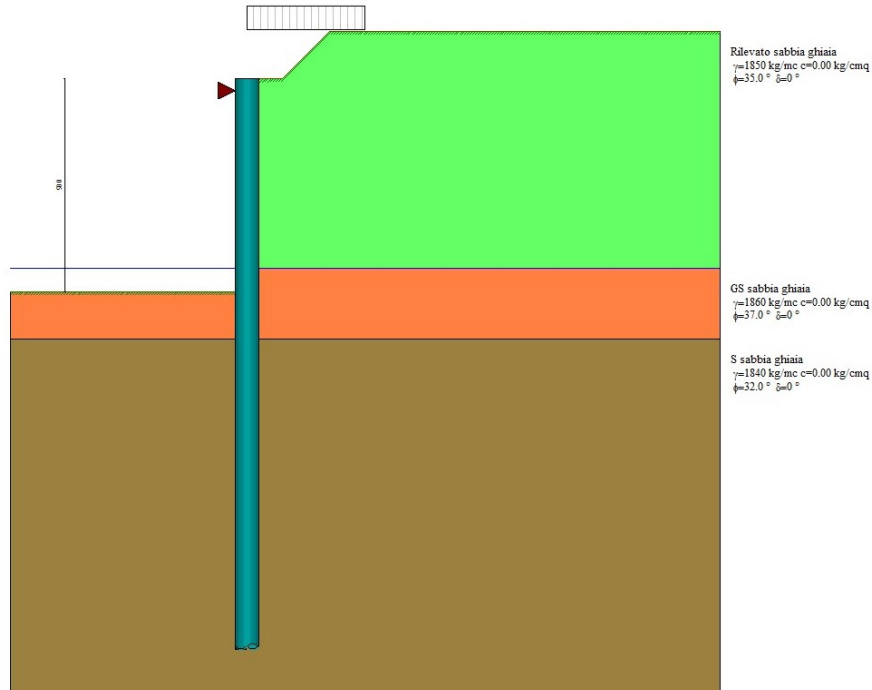
Negli allegati 1 e 2 alla presente relazione di calcolo vi sono paragrafi dedicati che descrivono le caratteristiche del software utilizzato.

Le fasi realizzative del modello di calcolo si riassumono:

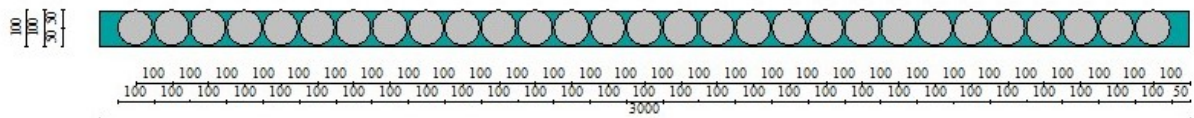
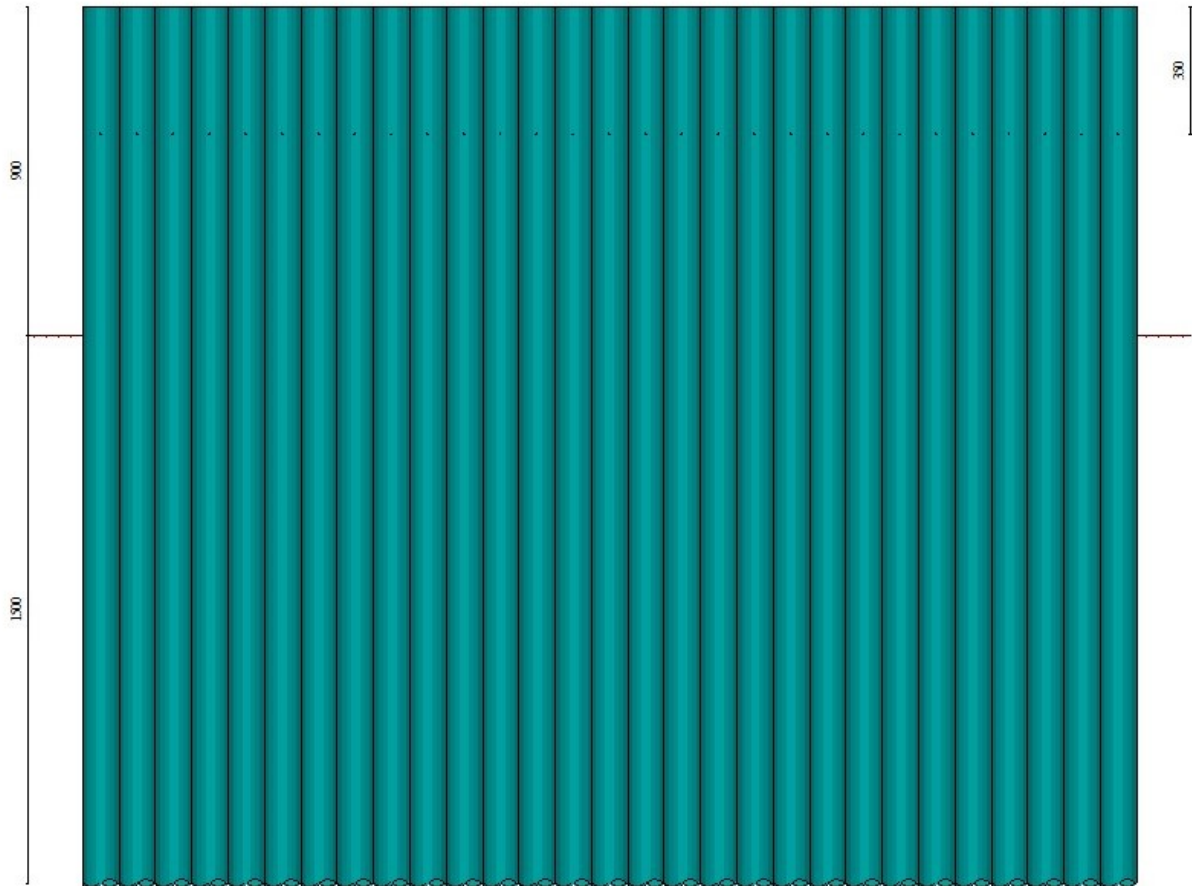
- 1) Infissione di pali e attivazione sovraccarico  $q = 30 \text{ kPa}$  a monte delle due paratie;
- 2) Realizzazione scavo a quota  $-1.00\text{m}$ ;
- 3) Getto del solettone in testa (spessore  $1 \text{ m}$ ) con sovraccarico  $q = 25 \text{ kPa}$ ;
- 4) Scavo fino a quota  $-9.50\text{m}$ ;
- 5) Getto del solettone di fondo (spessore  $1 \text{ m}$ );
- 6) Attivazione azione sismica.







Di seguito si riporta lo schema di paratia analizzato in prospetto e pianta, il file di I/O con i dettagli numerici dei risultati e delle verifiche è raccolto in allegato 1 alla presente relazione.



Si riportano di seguito l'involuppo SLU delle combinazioni di carico considerate (A1 M1 R1 / A2 M2 R1) per il momento flettente.

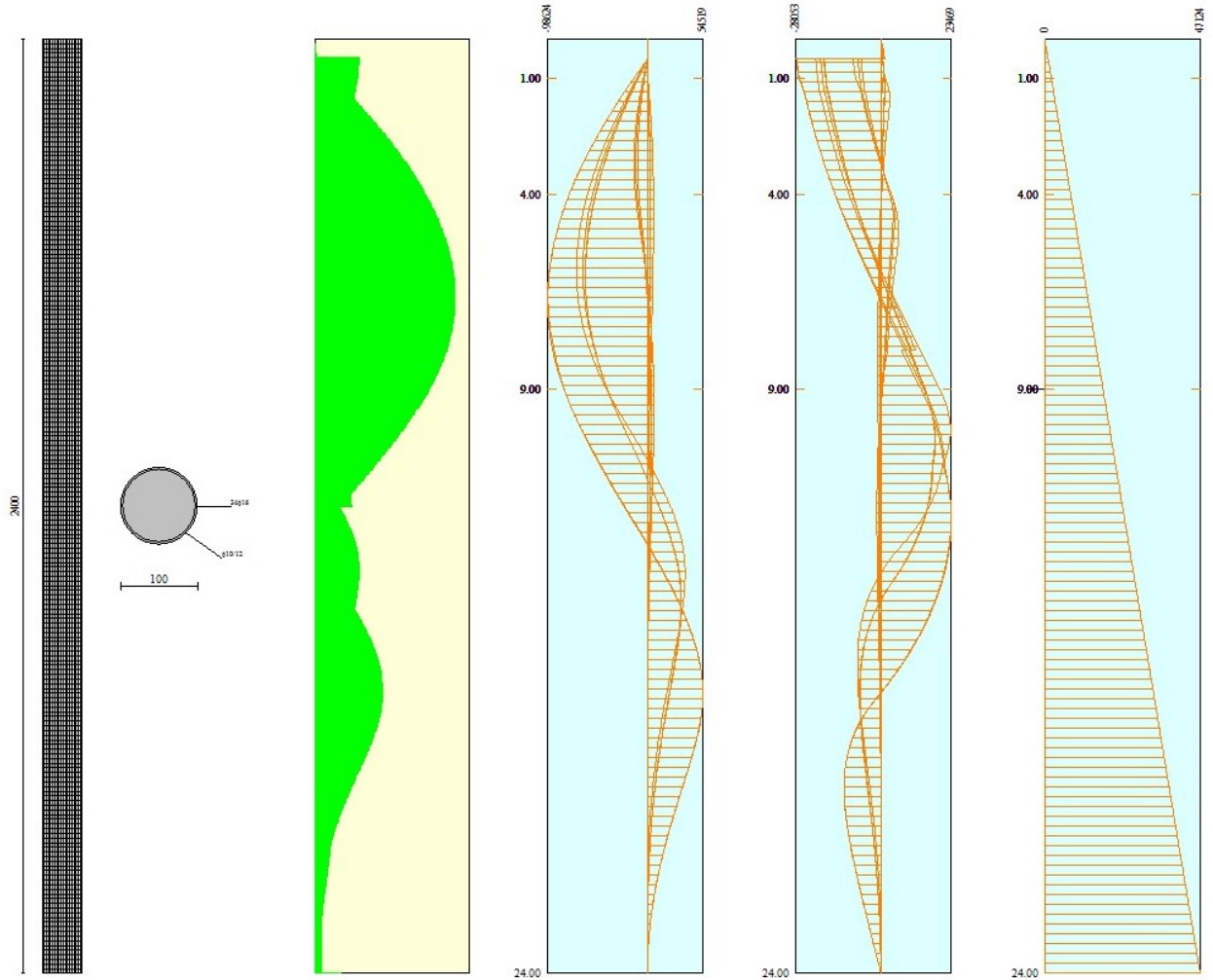
Involuppo Momento

taglio

sforzo normale

GA01 Relazione di calcolo paratie di pali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	10	D 29 CL	GA 01 00 001	A	24 di 28



Armatura pali:

barre longitudinali n° 40 diametro 16mm,

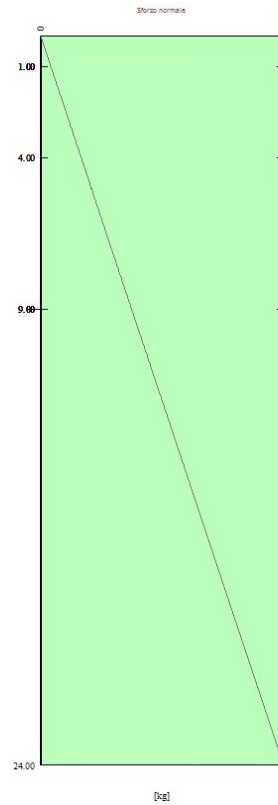
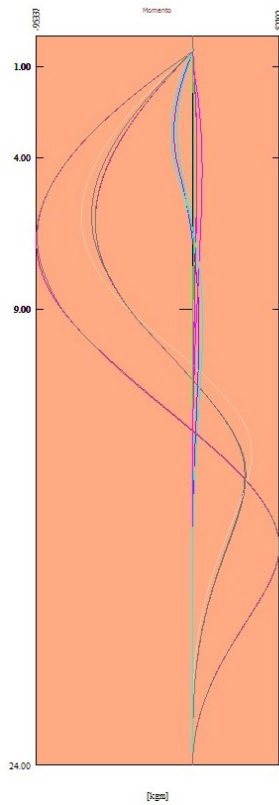
staffe diametro 10mm passo 12cm.

Diagramma Involuppo delle sollecitazioni per le varie fasi realizzative



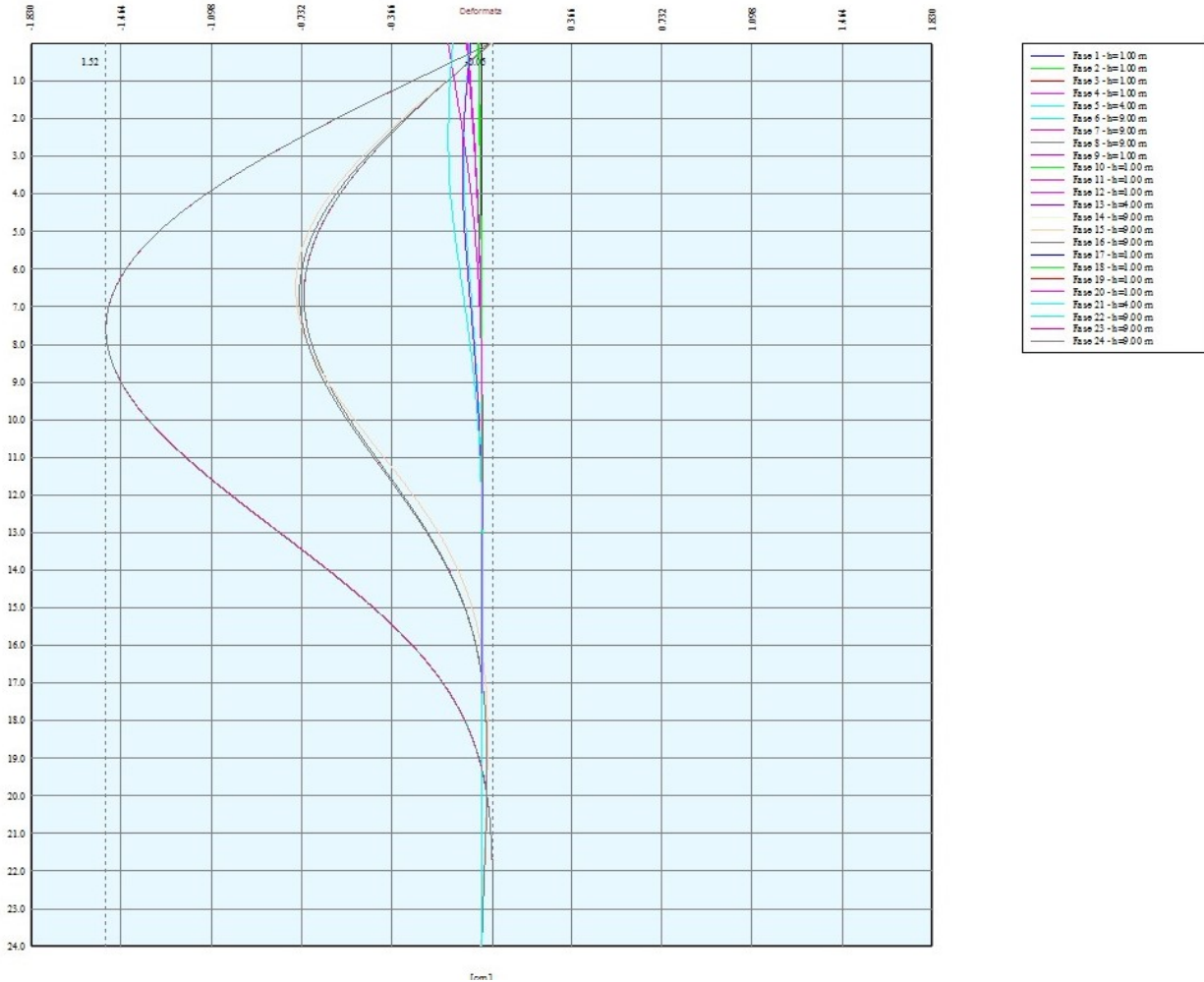
GA01 Relazione di calcolo paratie di pali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	10	D 29 CL	GA 01 00 001	A	25 di 28



- Fase 1 - h=1.00 m
- Fase 2 - h=1.00 m
- Fase 3 - h=1.00 m
- Fase 4 - h=1.00 m
- Fase 5 - h=4.00 m
- Fase 6 - h=9.00 m
- Fase 7 - h=9.00 m
- Fase 8 - h=9.00 m
- Fase 9 - h=1.00 m
- Fase 10 - h=1.00 m
- Fase 11 - h=1.00 m
- Fase 12 - h=1.00 m
- Fase 13 - h=4.00 m
- Fase 14 - h=9.00 m
- Fase 15 - h=9.00 m
- Fase 16 - h=9.00 m
- Fase 17 - h=1.00 m
- Fase 18 - h=1.00 m
- Fase 19 - h=1.00 m
- Fase 20 - h=1.00 m
- Fase 21 - h=4.00 m
- Fase 22 - h=9.00 m
- Fase 23 - h=9.00 m
- Fase 24 - h=9.00 m

VERIFICATO con c.s. = 1.10



Sopra si è riportato il diagramma involuppo delle deformate

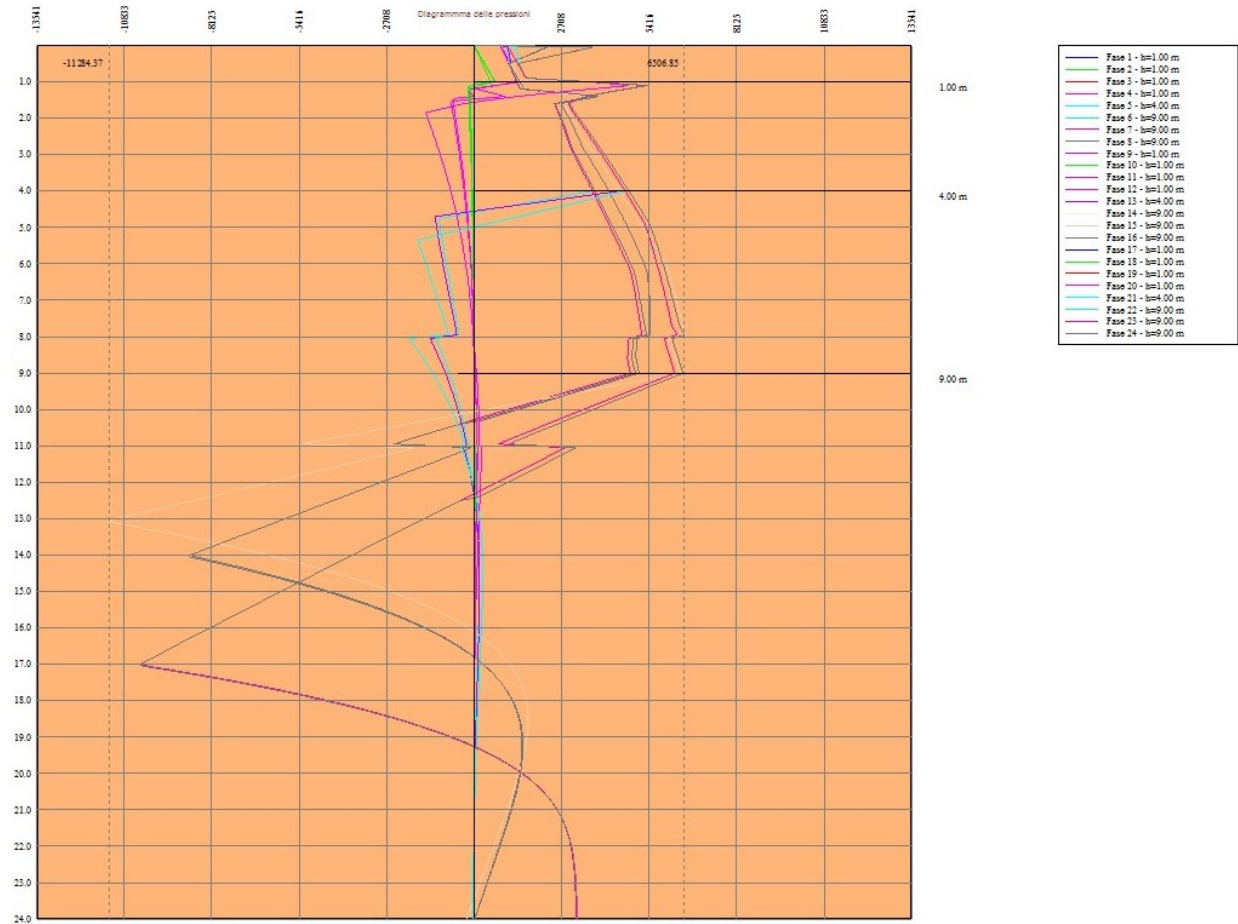


Diagramma involuppo delle pressioni per le singole fasi realizzative

	<b>NODO DI NOVARA, 1a FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLE MERCI E PRG DI BOSCHETTO</b>  <b>OPERE D'ARTE</b>					
GA01 Relazione di calcolo paratie di pali	COMMESSA <b>NMOY</b>	LOTTO 10	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 01 00 001	REV. A	FOGLIO 28 di 28

## 8 CONCLUSIONI

Nella presente relazione si riporta l'intervento in corrispondenza dell'autostrada A4 legato alle opere geotecniche di sostegno da porre in opera per la realizzazione del solettone in c.a. per il ripristino della sede dell'autostrada e sotto il quale prenderà forma la galleria artificiale ferroviaria.

Il dimensionamento dei manufatti verifica le condizioni di sicurezza minime richieste dalle vigenti norme tecniche.

## 9 ALLEGATI

- ALLEGATO – Modello geotecnico delle paratie di pali