

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO

COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE

PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI

Fognatura bianca e nera
Relazione di calcolo camere di spinta e arrivo

SCALA:

-

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

I Z 0 9 0 0 D 2 6 C L I N 0 2 0 0 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Semau <i>F. Semau</i>	Settembre 2019	C. Laporta <i>C. Laporta</i>	Settembre 2019	S. Lo Presti <i>S. Lo Presti</i>	Settembre 2019	F. Sacchi Settembre 2019	

ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD
Dott. Ing. Francesco Sacchi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
n. 23472/Snc-A

File: IZ0900D26CLIN0200002A.docx

n. Elab.: 183



PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO
COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE
PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI
PL INTERFERENTI

FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE
DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN09	00	D26	CLIN0200002	A	1 di 50

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	5
2.2	ELABORATI DI PROGETTO	6
2.3	BIBLIOGRAFIA	6
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	7
3.1	CARPENTERIA METALLICA	7
3.2	Calcestruzzo	7
3.3	ACCIAIO DI ARMATURA IN BARRE	8
4	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	9
5	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	12
6	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO.....	13
6.1	VITA NOMINALE	13
6.2	CLASSE D'USO.....	13
6.3	PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA	14
6.4	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO	14
6.5	CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	15
6.6	AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO	15
7	ANALISI DEI CARICHI.....	16
7.1	SPINTA DEL TERRENO	16
7.1.1	Profondità massima di scavo	19
7.2	SOVRACCARICO ACCIDENTALE	19
7.3	SPINTA TUBO AL DI SOTTO DELLA LINEA FERROVIARIA.....	19
8	VERIFICHE AGLI STATI LIMITI	21
9	MODELLAZIONE NUMERICA	24
9.1	Fasi di costruzione	29
10	CRITERI DI VERIFICA	30
10.1	VERIFICA DEL MICROPALO.....	30
10.1.1	Verifiche geotecniche.....	30

10.1.2	Verifiche strutturali	31
10.2	VERIFICA DEL PUNTONE.....	31
10.3	VERIFICA DELLA TRAVE DI RIPARTIZIONE.....	31
10.4	VERIFICA DEI CEDIMENTI CAUSATI DALLO SCAVO MECCANIZZATO.	31
11	RISULTATI	33
12	VERIFICHE.....	40
12.1	VERIFICA DEI MICROPALI VERTICALI.....	40
12.1.1	Verifiche geotecniche.....	40
12.1.2	Verifiche strutturali	40
12.2	Verifica dei puntoni	44
12.3	VERIFICA DELLE TRAVI DI RIPARTIZIONE	46
12.4	Verifica dei cedimenti causati dallo scavo meccanizzato	47
12.5	Incidenza delle armature in barre	48

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN020002</td> <td>A</td> <td>3 di 50</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN020002	A	3 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN020002	A	3 di 50								

1 PREMESSA

Nell'ambito del "Progetto definitivo relativo al completamento del nodo di Udine – PRG e ACC del P.M. Cargnacco e opere sostitutive dei pl interferenti" si prevede la progettazione di n°3 nuovi tombinamenti della Roggia di Palma da eseguire lungo Via Casali Caiselli, alla progressiva p.k. 6+925 dell'annesso progetto ferroviario. L'intervento risulta inserito in un progetto più ampio che deve la sua origine alle necessità, da parte di RFI, di soddisfare le nuove esigenze logistiche dettate dall'attuale contesto economico in forte sviluppo della zona industriale Udinese (ZIU-ZAU) e dell'impianto ABS che, nell'ambito degli interventi di riorganizzazione funzionale del Nodo di Udine, vede anche la necessità di ottimizzare e potenziare l'attuale infrastruttura ferroviaria.

Nella presente relazione di calcolo si riportano le verifiche geotecniche e strutturali delle opere da realizzarsi per la posa dei tubi prefabbricati al di sotto della linea ferroviaria, in corrispondenza dell'attraversamento indicato indicativamente in Figura 1 ed in dettaglio negli elaborati di progetto (Doc. rif. [18]).

L'intervento in esame prevede la posa in opera in sotterraneo di una condotta all'interno della quale saranno alloggiati i tubi delle reti di acque nere e bianche.

Le operazioni di posa saranno effettuate mediante la tecnica del microtunnelling ed, in particolar modo, facendo uso di una camera di spinta e di una di arrivo per il recupero dell'unità di perforazione. Le camere saranno costituite da micropali opportunamente puntellati e, durante la fase di esercizio, consentiranno le operazioni di verifica e manutenzione delle condotte.

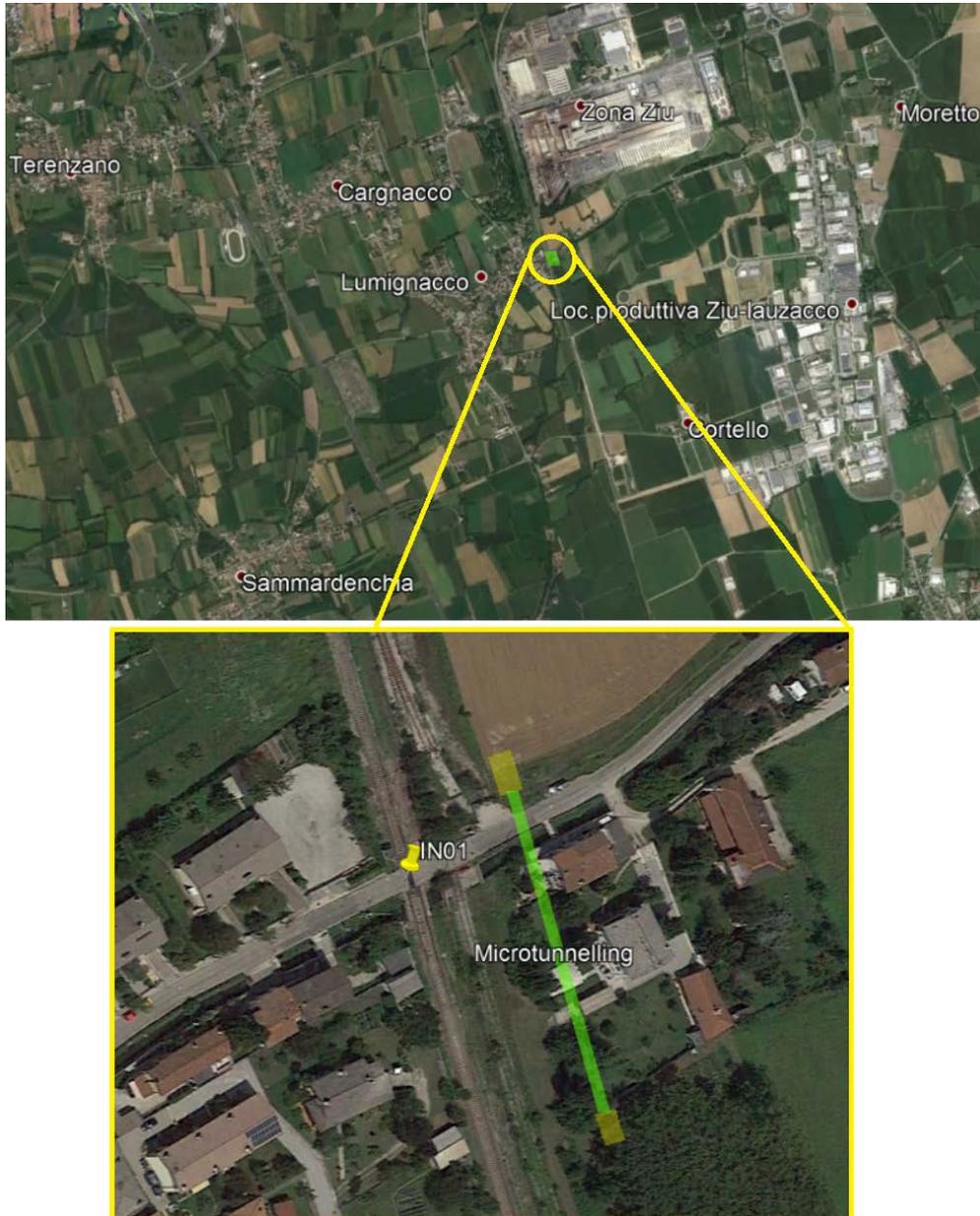


Figura 1: Inquadramento dell'area di intervento

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN0200002</td> <td>A</td> <td>5 di 50</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN0200002	A	5 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN0200002	A	5 di 50								

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Le principali Normative nazionali ed internazionali vigenti alla data di redazione del presente documento e prese a riferimento sono le seguenti:

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", Supplemento Ordinario alla G.U. n.42 del 20.2.2018;
- [2] UNI EN 1990:2006 - Criteri generali di progettazione strutturale
- [3] UNI EN 1991-1-1:2006 - Azioni sulle strutture
- [4] UNI EN 1992-1-1:2005 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo
- [5] UNI EN 1993-1-1:2007 - Progettazione delle strutture in acciaio
- [6] UNI EN 1997-1:2005 - Progettazione geotecnica
- [7] UNI EN 1998-5:2005 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica
- [8] UNI 11104:2016 - Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206
- [9] UNI EN 206:2016 - Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità
- [10] UNI EN 13670:2010 - Esecuzione di strutture di calcestruzzo
- [11] Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 001 - Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario;
- [12] Istruzione RFI DTC INC CS SP IFS 001 - Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie;
- [13] 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.
- [14] RFI DTC SI CS MA IFS 001 B "Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II – Sezione 3 Corpo Stradale".
- [15] RFI DTC SI CS MA IFS 001 A – Manuale di progettazione delle opere civili – parte II Sezione 3 – Corpo Stradale

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN0200002</td> <td>A</td> <td>6 di 50</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN0200002	A	6 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN0200002	A	6 di 50								

2.2 ELABORATI DI PROGETTO

- [16] IZ0900D26RGSL0300001A, Relazione geotecnica
- [17] IZ0900D26RIIN0200001A, Relazione adeguamento fognatura bianca e nera
- [18] IZ0900D26PZIN0200001A, Microtunnelling - Pianta prospetto e sezioni camera di spinta e tubi
- [19] IZ0900D26PZIN0200002A, Microtunnelling - Fasi esecutive
- [20] IZ0900D26W9IN0200002A, Fognatura bianca e nera – Particolare attraversamento Roggia Palma

2.3 BIBLIOGRAFIA

- [1] Bond A., Harris A. (2008) Decoding Eurocode 7, London: Taylor & Francis, 616pp.
- [2] Bowles J. (1997) , “Foundation Analysis Design”, McGraw-Hill, Singapore.
- [3] Lancellotta R. (1991), “Geotecnica” – Edizioni Zanichelli.
- [4] Lancellotta R. Calavera J. (1999), “Fondazioni”, McGraw-Hill Libri Italia , Milano.
- [5] NAVFAC (1982), “Foundations and earth Structures. Design manual 7.2”. Department of the Navy, Naval Facilities Engineering Command.
- [6] Peck (1969), Deep Excavation and Tunneling in Soft Ground, 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- [7] Reilly and New (1982), Settlements above tunnels in the United Kingdom – their magnitude and prediction, Tunnelling 82.
- [8] Taylor, D.W. (1948), Fundamental of soil mechanics. John Wiley, New York.
- [9] Terzaghi, K. And Peck, R. and Mesri, G. (1996), Soil mechanics in Engineering practice, 3rd edition, John Wiley & Sons Inc., Canada.
- [10] Viggiani C. (2000), “Fondazioni”, Hevelius Edizioni, Benevento.
- [11] Wood ,D.M. (1990), Soil behaviour and critical state soil mechanics, Cambridge University Press, United States of America.

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 CARPENTERIA METALLICA

Acciaio in profili a sezione aperta laminati a caldo saldati

Tipo EN 10025-2 S355 J2+N – per spessori nominali $t \leq 40$ mm

Tipo EN 10025-2 S355 K2+N – per spessori nominali $t > 40$ mm

Acciaio in profili a sezione aperta laminati a caldo non saldati

Tipo EN 10025-2 S355 J0+N

Acciaio in profili a sezione cava

Tipo EN 10210-1 S355 J0H+N

modulo elastico

$E_s = 210000$ MPa

resistenza caratteristica a rottura

$f_{tk} \geq 510$ MPa

resistenza caratteristica a snervamento

$f_{yk} \geq 355$ MPa

3.2 Calcestruzzo

Elemento strutturale: cordoli di collegamento, rifodere e solette

Peso specifico, γ_c	25,00 kN/mc
Classe di resistenza	C25/30
Resistenza cubica caratteristica, R_{ck}	30 N/mm ²
Resistenza cilindrica caratteristica, f_{ck}	25 N/mm ²
Resistenza cilindrica media, f_{cm}	33 N/mm ²
Resistenza a trazione media, f_{ctm}	2.55 N/mm ²
Resistenza a trazione per flessione media, f_{ctm}	3.06 N/mm ²
Resistenza a trazione per flessione caratteristica, f_{ctk}	2.14 N/mm ²
Modulo elastico, E_{cm}	31447 N/mm ²

3.3 ACCIAIO DI ARMATURA IN BARRE

Tipo acciaio	B 450 C
Peso specifico, γ_a	78,50 kN/mc
Tensione nominale di snervamento, $f_{y\ nom}$	450 N/mm ²
Tensione nominale di rottura, $f_{t\ nom}$	540 N/mm ²
Minima tensione caratteristica di snervamento, $f_{yk\ min}$	450 N/mm ²
Minima tensione caratteristica di rottura, $f_{tk\ min}$	540 N/mm ²
Minimo rapporto tra i valori caratteristici, $(f_t/f_y)_{k\ min}$	1,15
Massimo rapporto tra i valori caratteristici, $(f_t/f_y)_{k\ max}$	1,35
Massimo rapporto tra i valori nominali, $(f_y/f_{y\ nom})_k$	1,25
Allungamento caratteristico sotto carico massimo, $(A_{gt})_k$	7,5 %
Modulo di elasticità dell'acciaio, E	206000 N/mm ²

4 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Le camere di spinta e di arrivo consentiranno la posa in opera in sotterraneo di una condotta all'interno della quale saranno alloggiati i tubi delle reti di acque nere e bianche, come illustrato nelle figure che seguono.

La camera di spinta avrà una lunghezza di 11.8 m, una larghezza di 5.8 m e sarà caratterizzata da una profondità di scavo di circa 7.25 m. La camera di arrivo avrà una lunghezza di 8.3 m, una larghezza di 4.8 m e sarà caratterizzata da una profondità di scavo di circa 8.6 m. (v. Figura 2).

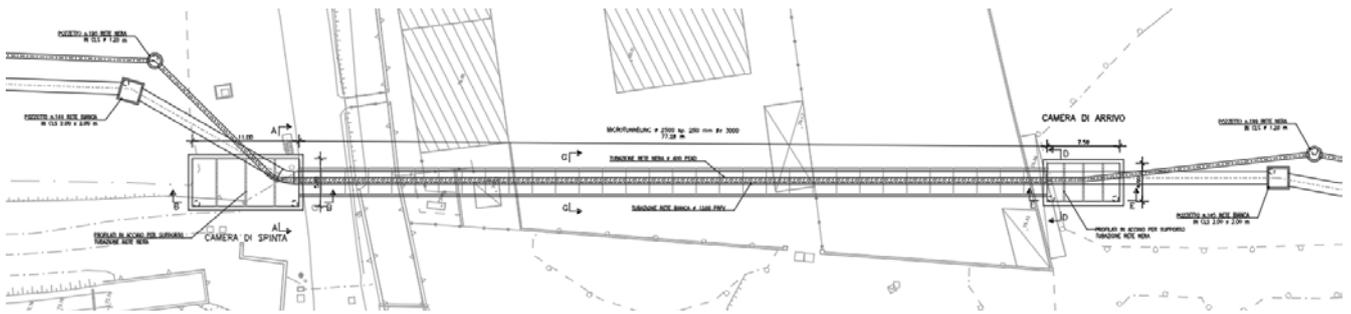


Figura 2 – Camera di spinta (a sinistra) e camera di arrivo (a destra)

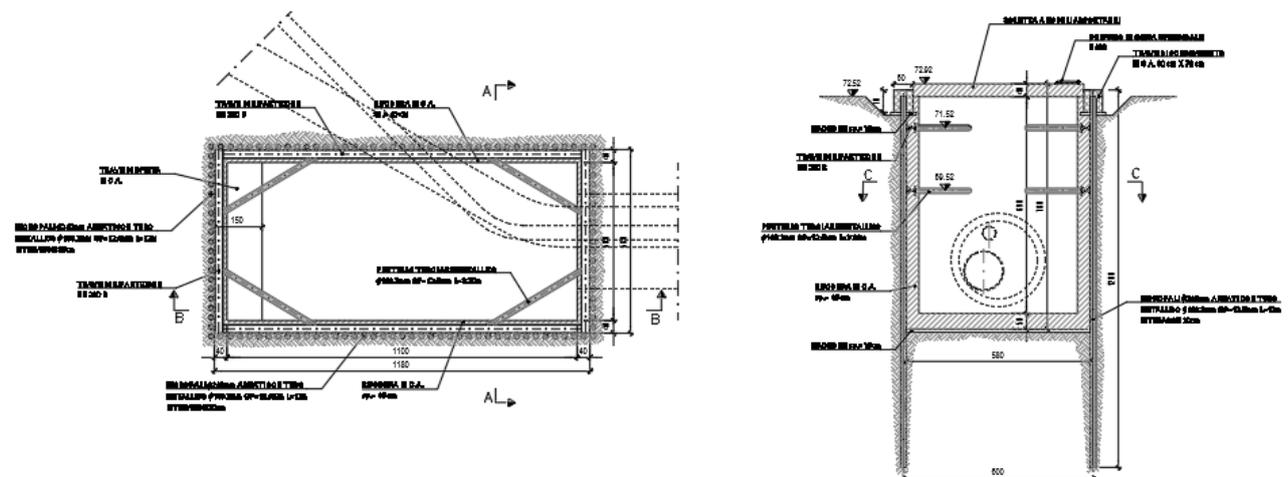


Figura 3 – Camera di spinta: pianta e sezione

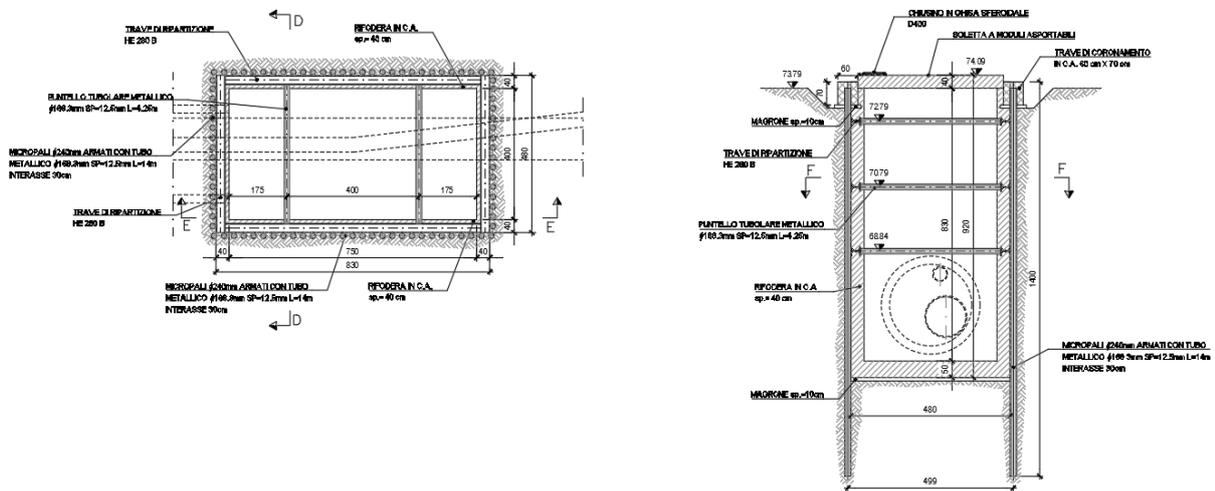


Figura 4 – Camera di arrivo: pianta e sezione

Entrambe le camere saranno costituite da micropali realizzati con perforazioni aventi diametro pari a 240 mm ed interasse 0.3 m. I micropali avranno tubolare in acciaio S355, 168.3 mm in diametro e dello spessore di 12.5 mm. Al fine di garantire i livelli prestazionali richiesti, si prevede l'utilizzo di puntelli tubolari 168.7 mm in diametro e dello spessore di 10 mm e di travi di ripartizione HE 280 B. Sulla sommità dei micropali si prevede la realizzazione di una trave di coronamento in calcestruzzo di dimensioni 60x70 cm. Internamente, si prevede una rifodera in c.a. dello spessore di 40 cm. La soletta inferiore, anch'essa in c.a., avrà uno spessore di 50 cm, mentre la soletta superiore sarà costituita da elementi in calcestruzzo prefabbricati dello spessore di 35 cm. Tutte le caratteristiche dell'opera di sostegno sono riassunte nella seguente tabella ed indicate in dettaglio negli elaborati grafici di progetto (Doc. rif. [18]).

Tabella 1 – Elementi costituenti le opere di sostegno

	Camera di spinta	Camera di arrivo
Z_{scavo} (m pc)	7.4	8.8
$D_{perforazione}$ micropali (mm)	240	240
$L_{perforazione}$ micropali (m)	12	14
Interasse micropali (m)	0.3	0.3
Tubolare micropali (mm)	168.3*12.5	168.3*12.5

	Camera di spinta	Camera di arrivo
Z 1°ordine puntelli (m pc)	1	1
Tubolare 1°ordine puntelli (mm)	168.3*10	168.3*10
Z 2°ordine puntelli (m pc)	3	3
Tubolare 2°ordine puntelli (mm)	168.3*10	168.3*10
Z 3°ordine puntelli (m pc)	-	5
Tubolare 3°ordine puntelli (mm)	-	168.3*10
Travi di ripartizione	HE 280 B	HE 280 B

La posa delle condotte avverrà seguendo le seguenti fasi costruttive:

1. Costruzione delle paratie;
2. Scavo delle camerette e contestuale installazione dei puntelli;
3. Realizzazione della soletta e della trave di spinta ed installazione dell'anello di ingresso;
4. Posizionamento della MTBM;
5. Scavo meccanizzato e posa dei conci prefabbricati;
6. Recupero della testa della MTBM;
7. Costruzione delle rifodere e posa della soletta superiore.

Per maggiori informazioni si faccia riferimento agli elaborati di progetto dedicati (Doc. rif. [19]).

Successivamente alla posa della condotta, le camerette saranno adoperate per svolgere le attività di verifica e manutenzione dei tubi della acquedottistica.

5 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Il modello geotecnico di riferimento è stato definito sulla base di quanto emerso dalla Relazione Geotecnica Generale (Doc. rif. [16]) ed è sintetizzato in Tabella 2.

Tabella 2 - Modello geotecnico di riferimento

Unità litologiche	Profondità		γ	ϕ'	c'	E_{op}
	m p.c.		kN/m^3	$^\circ$	kPa	MPa
Sabbia limosa / limo sabbioso	0	1.5	18	32	0	25
Ghiaia sabbiosa con ciottoli	1.5	30	20	38	0	65

Dalle misure freaticometriche effettuate, si stima una soggiacenza di falda di circa 33 m p.c. e, pertanto, la falda risulta non interferente con l'opera in oggetto.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN0200002</td> <td>A</td> <td>13 di 50</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN0200002	A	13 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN0200002	A	13 di 50								

6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

6.1 VITA NOMINALE

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

Nel presente caso l'opera viene inserita nella seguente tipologia di costruzione:

- 1 *Costruzioni temporanee e provvisorie*
- 2 *Costruzioni con livelli di prestazioni ordinarie*
- 3 *Costruzioni con livelli di prestazione elevati*

La cui vita nominale è pari a 50 anni.

6.2 CLASSE D'USO

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un' interruzione di operatività o di un eventuale collasso, l'opera appartiene alla seguente classe d'uso I (Tabella §2.5.1.1.2.1 di RFI DTC SI PS MA IFS 001 B):

- I *Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.*
- II *Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*
- III *Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.*
- IV *Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento*

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI					
	FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO	COMMESSA IN09	LOTTO 00	CODIFICA D26	DOCUMENTO CLIN0200002	REV. A

delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il coefficiente d'uso è pari a 0.7, coerentemente a quanto indicato nella Tab. 2.4.II delle NTC.

Tabella 3 – Valori del coefficiente di uso C_u

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente d'uso	0.7	1.0	1.5	2.0

6.3 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Il periodo di riferimento $V_R = V_N * C_U = 50 * 0.7 = 35.0$ anni.

6.4 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.2 delle NTC2018. I terreni di progetto possono essere caratterizzati come appartenenti a terreni di Categoria B:

- A *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*
- B *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*
- C *Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*
- D *Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità*

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN0200002</td> <td>A</td> <td>15 di 50</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN0200002	A	15 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN0200002	A	15 di 50								

equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

6.5 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

In condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la classificazione proposta nelle NTC, secondo la quale le categorie individuate si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. L'area interessata risulta classificabile come T1.

- T1 Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.*
- T2 Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$.*
- T3 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$.*
- T4 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$.*

6.6 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Di seguito si riportano i valori dei parametri spettrali dipendenti dal sito dell'opera in oggetto:

Latitudine 42.00°N	Longitudine 13.25°E
a_g (g) (SLV)	0.161
Risposta Sismica Locale	
Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s	1.200
Coefficiente di amplificazione topografica S_t	1.0
Accelerazione massima attesa al suolo	
a_{max} (g) ($a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$)	0.193

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN020002</td> <td>A</td> <td>16 di 50</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN020002	A	16 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN020002	A	16 di 50								

7 ANALISI DEI CARICHI

I carichi considerati nelle verifiche eseguite sono rispettivamente:

- spinta del terreno;
- sovraccarico variabile dovuto alla presenza dei mezzi di cantiere;
- spinta sulla trave reggispinga dovuta alla traslazione del tubo al di sotto del binario;
- azione sismica, in fase di esercizio.

La distanza minima tra camerette e linea ferroviaria è superiore ai 7 m. Pertanto, si ritengono trascurabili gli effetti sulla struttura generati dal traffico ferroviario e dal peso dell'armamento.

7.1 SPINTA DEL TERRENO

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo K_0 , il coefficiente di spinta attiva K_A e il coefficiente di spinta passiva K_P .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace σ'_h a quella verticale σ'_v attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v$$

K_0 dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace ϕ' e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_{0NC} (\text{OCR})^m$$

dove

$$K_{0NC} = 1 - \sin \phi'$$

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN020002</td> <td>A</td> <td>17 di 50</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN020002	A	17 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN020002	A	17 di 50								

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ($OCR=1$). OCR è il grado di sovraconsolidazione e m è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7. Ladd et al. (1977), Jamiolkowski et al. (1979) forniscono valori di m per argille italiane.

Il coefficiente di spinta attiva e passiva sono dati secondo Rankine per una parete liscia, da:

$$K_A = \tan^2(45^\circ - \phi'/2)$$

$$K_P = \tan^2(45^\circ + \phi'/2)$$

Attraverso valori opportuni di K_A e K_P si tiene conto dell'angolo di attrito δ tra paratia e terreno e della pendenza del terreno a monte ed entro la luce di scavo; si possono usare a questo scopo i valori desunti da NAVFAC (1986) o quelle elaborate da Caquot e Kerisel (1948).

Il valore limite della tensione orizzontale sarà dato da:

$$\sigma'_h = K_A \sigma'_v - 2c'K_A^{0.5}$$

$$\sigma'_h = K_P \sigma'_v + 2c'K_P^{0.5}$$

a seconda che il collasso avvenga in spinta attiva o passiva rispettivamente. c' è la coesione drenata del terreno.

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

$$k = E / L$$

ove E è un modulo di rigidezza del terreno mentre L è una grandezza geometrica caratteristica. Poiché nel programma PARATIE le molle sono posizionate a distanze finite Δ , la rigidezza di ogni molla è:

$$K = E \Delta / L$$

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

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN020002</td> <td>A</td> <td>18 di 50</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN020002	A	18 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN020002	A	18 di 50								

$$L_A = 2/3 l_A \tan(45^\circ - \phi'/2)$$

e in zona passiva (downhill):

$$L_P = 2/3 l_P \tan(45^\circ - \phi'/2)$$

dove e sono rispettivamente:

$$l_A = \min[l; 2H]$$

$$l_P = \min[l-H; H]$$

e dove l = altezza totale della paratia e H = altezza corrente dello scavo. La logica di questa scelta è illustrata nella pubblicazione di Becci e Nova (1987).

Si assume in ogni caso un valore di H non minore di 1/10 dell'altezza totale della parete.

Il parametro E dipende dalla storia tensionale del sito nonché dall'incremento locale dello stato tensionale come illustrato in Becci e Nova (1987).

Il modulo E può essere considerato dipendente dalla pressione media $p = (\sigma'v + \sigma'h)/2$ secondo la legge

$$E = R(p/p_a)^n$$

in cui p_a è la pressione atmosferica mentre R e n sono quantità determinabili sperimentalmente. E' ovvio che ponendo $n=0$ si può considerare il caso di modulo costante, mentre se n è posto pari a 1, si ha il caso, tipico delle argille normalconsolidate, in cui il modulo varia linearmente con la profondità. Nelle nostre analisi si è posto $n=0$.

Il valore R è in genere diverso in condizioni di carico vergine o di scarico-ricarico. Valori indicativi di R e n sono dati da Janbu (1963). La variabilità di questi parametri è grandissima. Per una sabbia n può variare tra 0.2 e 1.0 e R tra 8 e 200 MPa. Per un'argilla normalmente consolidata $n \sim 1$. I valori di R per argille italiane possono essere dedotti da Jamiolkowski et al. (1979).

Si noti inoltre che, poiché lo stato tensionale iniziale vergine non è isotropo, la rigidezza del terreno in condizioni di carico vergine è minore di quella che si può misurare in prove triassiali drenate isotropicamente consolidate.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN0200002</td> <td>A</td> <td>19 di 50</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN0200002	A	19 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN0200002	A	19 di 50								

Nel caso in cui $n=0$, il valore del modulo R in condizioni di carico vergine può essere considerato identico al valore del modulo elastico inteso tradizionalmente. Per una correlazione con i risultati delle più comuni prove in sito si veda ad esempio Bowles (1988).

Il modulo di scarico-ricarico è da 3 a 10 volte maggiore nel caso di argille, mentre e in genere da 1.5 a 3 volte più grande nel caso di sabbie. Nel caso specifico si è comunque scelto di mantenerlo uguale a quello di carico vergine.

7.1.1 Profondità massima di scavo

Nel caso in cui la funzione di sostegno è affidata alla resistenza del volume di terreno a valle dell'opera, il modello geometrico di riferimento deve tenere conto delle possibili variazioni del profilo del terreno a monte e a valle del paramento rispetto ai valori nominali. In particolare, secondo le indicazioni delle NTC, la quota di valle deve essere diminuita di una quantità pari al minore dei seguenti valori:

- 10% dell'altezza di terreno da sostenere nel caso di opere a sbalzo;
- 10% della differenza di quota fra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo nel caso di opere vincolate;
- 0,5 m.

7.2 SOVRACCARICO ACCIDENTALE

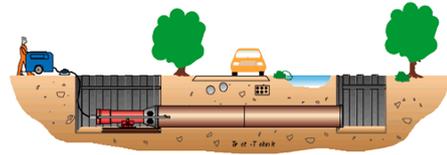
Nelle fasi di scavo delle camerette, di posa della condotta e di esercizio si adotta un sovraccarico pari a 10 kPa per considerare il transito di mezzi di cantiere o agricoli.

7.3 SPINTA TUBO AL DI SOTTO DELLA LINEA FERROVIARIA

La pressione agente sulla camera di spinta è stata calcolata considerando l'attrito che si sviluppa ai lati della condotta circolare ripartita sull'area di spinta, ovvero la superficie della trave di spinta.

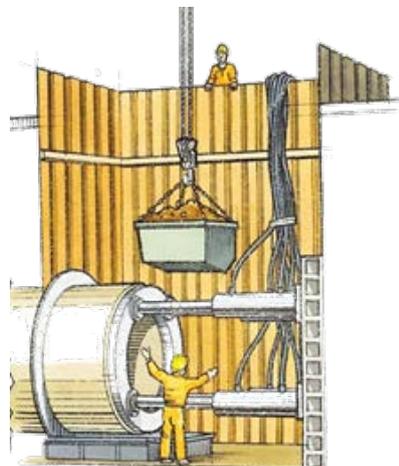
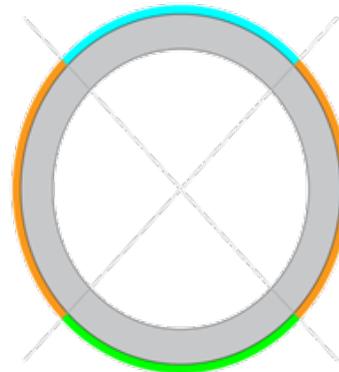
INPUT GEOMETRIA

Profondità sommità tubo	3.7 m pc
Profondità falda	33.0 m pc
Profondità base tubo	6.7 m pc
Tipo di posa	Microtunnelling -
Diametro tubi, D_{tubo}	3000 mm
Spessore tubi, s_{tubo}	250 mm
Superficie laterale tubi $A_{\text{tubo,lat est}}$	9.4 mq/m
Area sezione tubi, A_{sezione}	2.2 mq/m
Peso dei tubi, P_{tubo}	25 kN/mc
Incremento di peso tubi, $\Delta P_{\text{tubo-te}}$	0.0 kN/m
Carico accidentale, q_{acc}	0 kPa
Lunghezza totale di spinta, $L_{\text{tot spii}}$	76 m
Lunghezza trave di spinta, L_{trave}	5.8 m
Larghezza trave di spinta, B_{trave}	3.5 m
Spinta testa/terreno <i>microtunnelling</i>	80 %
Riduzione attrito slurry <i>microtunnelling</i>	40 %
Distanza interjeck <i>microtunnelling</i>	38 m



ATTRITO TERRENO

γ	20 kN/mc
ϕ	38 °
δ/ϕ	0.67 °
σ_v sommità tubo	74 kPa
u sommità tubo	0 kPa
σ'_v sommità tubo	74 kPa
σ'_v base tubo	134 kPa
u base tubo	0.0 kPa
σ'_v base tubo	134.0 kPa
k_0	0.384 -
σ'_h sommità tubo	28.4 kPa
σ'_h base tubo	51.5 kPa
Coefficiente di attrito	0.474 -
Attrito superiore	93 kN/m
Attrito laterale	89 kN/m
Attrito inferiore	140 kN/m
Attrito totale	321 kN/m
Attrito totale ridotto	193 kN/m
Pressione testa	226 kN



CALCOLO SPINTA

Lunghezza di calcolo, L_{calc}	38 m
Spinta totale, S_{tot}	7553 kN
Pressione agente sulla trave, S_{tra}	372 kPa

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN0200002</td> <td>A</td> <td>21 di 50</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN0200002	A	21 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN0200002	A	21 di 50								

8 VERIFICHE AGLI STATI LIMITI

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC-2018 al par.2.5.3:

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

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

Combinazione caratteristica rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche delle tensioni d'esercizio:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} \dots;$$

Combinazione caratteristica frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots;$$

Combinazione quasi permanente, impiegata per gli effetti a lungo termine, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots;$$

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

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_F , γ_M e γ_R (relativi alle resistenze dei pali soggetti a carichi assiali), nonché i coefficienti di combinazione ψ delle azioni sono dati dalle tabelle NTC2018 5.2.V, 5.2.VI, 6.2.II e 6.4.II che vengono riportate nel seguito.

L'analisi mira a garantire la sicurezza e le prestazioni attese attraverso il conseguimento dei seguenti requisiti:

- sicurezza nei confronti degli Stati Limite di Esercizio (SLE);

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN020002</td> <td>A</td> <td>22 di 50</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN020002	A	22 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN020002	A	22 di 50								

- sicurezza nei confronti degli Stati Limite Ultimi (SLU).

Le verifiche di sicurezza agli SLU sono da effettuarsi applicando il primo approccio progettuale (Approccio 1) che prevede le due seguenti combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: A1+M1+R1 (STR);
- Combinazione 2: A2+M2+R1 (GEO);

Considerando i coefficienti parziali riportati nelle seguenti tabelle ed R1 pari ad 1.

In particolare sono stati verificati i seguenti stati limiti ultimi:

- collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera;
- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia;
- raggiungimento della resistenza massima allo sfilamento dei tiranti;
- instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno.

Per quest'ultimo meccanismo, la verifica deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 dell'Approccio 1 definita come segue, assumendo R2 pari a 1.1 in condizioni statiche ed a 1.2 in condizioni sismiche:

- Combinazione 2: A2+M2+R2 (GEO).

Nelle condizioni di esercizio gli spostamenti dell'opera sono stati valutati per verificarne la compatibilità con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza delle opere adiacenti.

Tabella 4 - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ce}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole		1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

Tabella 5 - Coefficienti di combinazione delle azioni

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	g_{f1}	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di	g_{f2}	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
carico	g_{f3}	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	g_{f4}	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

⁽¹⁾ 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

⁽²⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tabella 6 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN0200002</td> <td>A</td> <td>24 di 50</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN0200002	A	24 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN0200002	A	24 di 50								

9 MODELLAZIONE NUMERICA

Il calcolo agli elementi finiti delle paratie è stato effettuato utilizzando il codice PARATIE (versione 19.1.0) prodotto dalla “CeAs” – Milano – ITA. In particolare, si è provveduto ad esaminare entrambi i lati della camera di spinta, per valutare la risposta della struttura sia nei punti maggiormente sollecitati dalla pressione esercitata in fase di spinta della MTBM (modello A, in Figura 7), che in quelli ritenuti più critici in ragione della maggiore spaziatura orizzontale tra i puntelli (modello B, in Figura 7). La modello creato per la camera di arrivo (modello C) è invece rappresentato in Figura 8.

In tutti i casi, a favore di sicurezza si sono trascurati gli effetti stabilizzanti conseguenti dalla natura tridimensionale dell’opera, mediante una simulazione 2D.

Gli effetti nelle opere di sostegno flessibile delle spinte del terreno e delle azioni concentrate offerte dalla eventuale tirantatura sono stati esaminati con l’ausilio del programma di calcolo per l’analisi di strutture di sostegno flessibili PARATIE.

PARATIE analizza il comportamento meccanico di una struttura di sostegno flessibile di uno scavo in terreno o roccia, ponendo l’accento sull’aspetto dell’interazione “locale” fra parete e terreno.

Lo studio di una parete flessibile è condotto attraverso una simulazione numerica del reale: il programma stabilisce e risolve un sistema di equazioni algebriche la cui soluzione permette di riprodurre abbastanza realisticamente l’effettivo comportamento dell’opera di sostegno.

La simulazione numerica utilizzata segue due differenti percorsi:

Analisi classica = viene eseguita una analisi all’equilibrio limite della singola o doppia paratia. Il calcolo delle sollecitazioni avviene per mezzo delle teorie classiche. Il calcolo degli spostamenti avviene tramite un’analisi elastica semplificata considerando lo schema di carico e di vincoli imposti dall’Utente.

Analisi non lineare secondo un modello “a molle” elasto plastiche” per la parte terreno. La schematizzazione in elementi finiti avviene in questo modo:

- Si analizza un problema piano (nel piano Y-Z): i gradi di libertà nodali attivi sono lo spostamento laterale e la rotazione fuori piano: gli spostamenti verticali sono

automaticamente vincolati (di conseguenza le azioni assiali nelle pareti verticali non sono calcolate);

- La parete flessibile di sostegno vera e propria è schematizzata da una serie di elementi finiti BEAM verticali;
- Il terreno, che spinge contro la parete (da monte e da valle) e che reagisce in modo complesso alle deformazioni della parete, è simulato attraverso un doppio letto di molle elasto-plastiche connesse agli stessi nodi della parete;
- Si adotta un valore dell'angolo di attrito terreno paratia, (δ), pari a $0.5 \phi'$. In sismica tale valore è nullo;
- i tiranti, i puntoni, le solette, gli appoggi cedevoli o fissi, sono schematizzati tramite molle puntuali convergenti in alcuni punti (nodi) della parete ove convergono parimenti elementi BEAM ed elementi terreno.

Nello specifico, per lo studio della camera di spinta i puntoni sono stati modellati esplicitamente con molle di rigidezza assiale pari a $k = E A / L$, opportunamente orientate in funzione della loro inclinazione rispetto alla paratia.

Lo scopo di PARATIE è lo studio di un problema definito; in altre parole, il programma analizza la risposta, durante le varie fasi realizzative, di una parete caratterizzata in tutte le sue componenti (altezza, infissione e spessore della parete, entità dei tiranti, ecc.). Il problema è ricondotto a uno schema piano in cui viene analizzata una "fetta" di parete di larghezza unitaria, come mostrato nella Figura seguente.

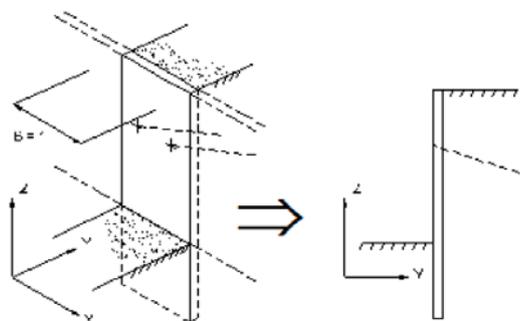


Figura 5 – Schema di modellazione piana effettuata per mezzo del software PARATIE

La modellazione numerica dell'interazione terreno-struttura è del tipo "trave su suolo elastico". Le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale EJ, mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie; ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno:

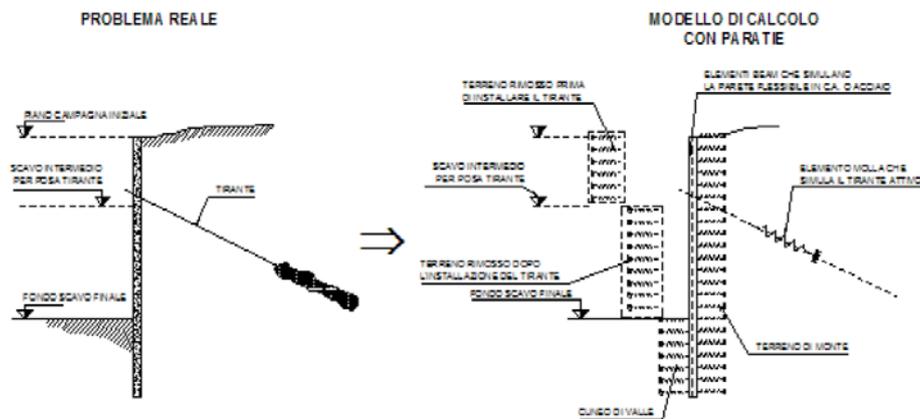


Figura 6 – Trave su suolo elastico: modellazione numerica della paratia e dei vincoli

Il limite di questo schema sta nell'ammettere che ogni porzione di terreno, schematizzata da una "molla", abbia comportamento del tutto indipendente dalle porzioni adiacenti; l'interazione fra le varie regioni di terreno è affidata alla rigidità flessionale della parete.

PARATIE calcola internamente e aggiorna costantemente tale parametro, sulla base del modulo elastico (Young) e la geometria del muro. In altre parole, ad ogni passo, la rigidità K della "molla" viene calcolata dalla seguente equazione:

$$k = a \cdot \frac{E_s \cdot t}{L}$$

dove

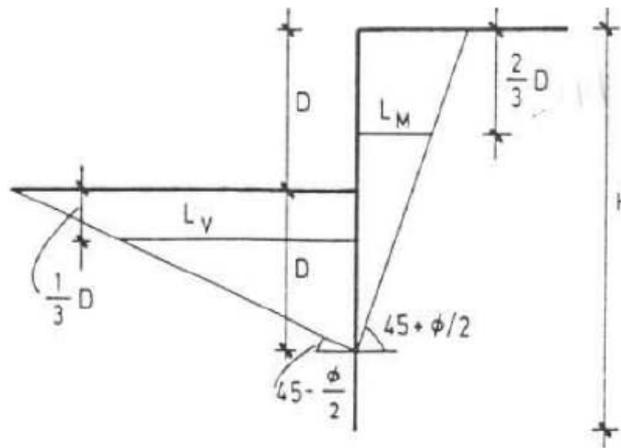
a è un fattore di scala posto pari a 1;

Es è il modulo di Young del terreno;

t è l'interasse della molla;

L è un parametro geometrico che tiene conto della geometria del muro

Nella figura seguente viene riportato in via grafica il criterio per la definizione di L a monte ed a valle (L_M e L_V).



La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie, eventualmente tirantate, viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un'analisi statica incrementale: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di tiranti applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati.

Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elastoplastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson (Bathe, 1996).

L'analisi ha lo scopo di indagare la risposta strutturale in termini di deformazioni laterali subite dalla parete durante le varie fasi di scavo e di conseguenza la variazione delle pressioni orizzontali nel terreno. Per far questo, in corrispondenza di ogni nodo è necessario definire due soli gradi di libertà, cioè lo spostamento orizzontale e la rotazione attorno all'asse X ortogonale al piano della struttura (positiva se antioraria).

Ne consegue che con questo strumento non possono essere valutati:

- cedimenti o innalzamenti verticali del terreno in vicinanza dello scavo;
- condizioni di stabilità generale del complesso parete+terreno+tiranti.

In questa impostazione particolare, inoltre, gli sforzi verticali nel terreno non sono per ipotesi influenzati dal comportamento deformativo orizzontale, ma sono una variabile del tutto indipendente, legata ad un calcolo basato sulle classiche ipotesi di distribuzione geostatica.

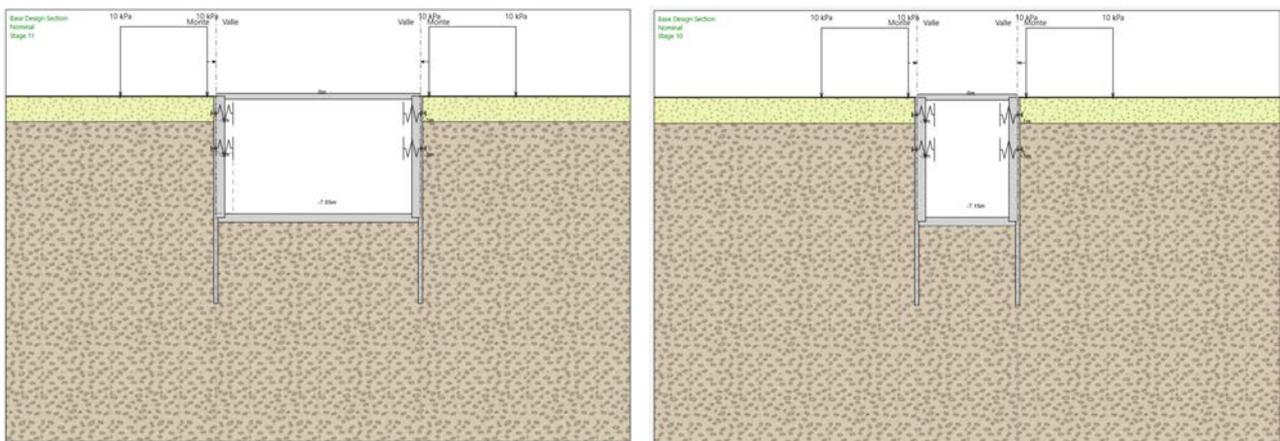


Figura 7 – Modelli Paratie per la camera di spinta: modello A (a sinistra) e modello B (a destra)

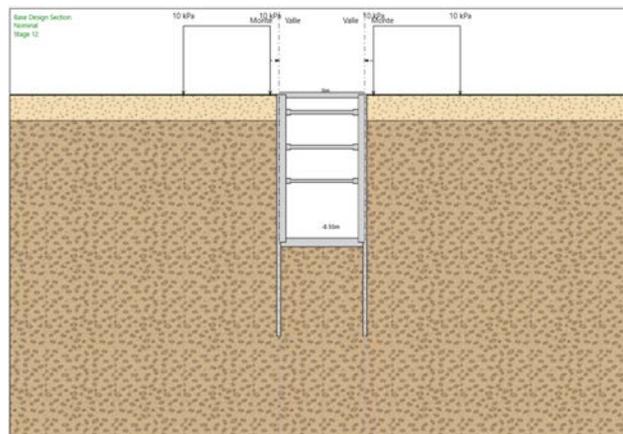


Figura 8 – Modello Paratie per la camera di arrivo: modello C

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN020002</td> <td>A</td> <td>29 di 50</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN020002	A	29 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN020002	A	29 di 50								

9.1 Fasi di costruzione

Per la camera di spinta sono previste le seguenti fasi operative:

FASE 1: Geostatica;

FASE 2: Realizzazione dei micropali ed applicazione dei sovraccarichi accidentali;

FASE 3: Scavo fino a -1.5 m;

FASE 4: Installazione del primo ordine di puntelli e della relativa trave di ripartizione;

FASE 5: Scavo fino a -2.5 m;

FASE 6: Installazione del secondo ordine di puntelli e della relativa trave di ripartizione;

FASE 7: Raggiungimento fondoscavo;

FASE 8: Sovrascavo (v. 7.1.1);

FASE 9: Realizzazione soletta e trave di spinta;

FASE 10: Applicazione della massima pressione sulla trave di spinta;

FASE 11: Configurazione finale;

FASE 12: Sollecitazione sismica.

Per la camera di arrivo si prevedono un numero maggiore di fasi di scavo e l'installazione di un terzo ordine di tiranti.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN020002</td> <td>A</td> <td>30 di 50</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN020002	A	30 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN020002	A	30 di 50								

10 CRITERI DI VERIFICA

Coerentemente con quanto previsto dalla normativa vigente, le verifiche agli Stati Limite Ultimo della paratia sono condotte con riferimento a tutti i meccanismi di rottura e instabilità che possono verificarsi e previsti da normativa tecnica. Le verifiche di esercizio sono, invece, finalizzate alla valutazione degli spostamenti e della loro compatibilità con la funzionalità delle strutture adiacenti, compresa la sede ferroviaria.

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. I coefficienti di sicurezza adottati sono i seguenti:

coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo: 1.50;

coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre: 1.15;

Il paragrafo in oggetto illustra nel dettaglio i criteri generali adottati per le verifiche strutturali e geotecniche condotte nel progetto. Ulteriori dettagli di carattere specifico, laddove impiegati, sono dichiarati e motivati nelle relative risultanze delle verifiche.

10.1 VERIFICA DEL MICROPALO

10.1.1 Verifiche geotecniche

10.1.1.1 VERIFICA DELLA MASSIMA SPINTA PASSIVA MOBILITATA

La lunghezza di ammassamento della paratia di micropali deve essere tale da garantire la stabilità dell'opera in tutte le fasi di realizzazione. La stabilità è verificata per mezzo del programma di calcolo Paratie, verificando la convergenza della soluzione calcolata e, dunque, l'equilibrio nella direzione orizzontale ed alla rotazione. Nell'ambito delle analisi si verificherà quindi che la spinta passiva mobilitata sia sempre inferiore alla spinta passiva ultima di progetto, nella Combinazione 2 dell'Approccio 1, garantendo un adeguato margine di sicurezza.

10.1.1.2 VERIFICA DEGLI SPOSTAMENTI

Il calcolo degli spostamenti della berlinese è effettuato con PARATIE e secondo quanto previsto dalle NTC. Orientativamente, lungo la paratia il valore limite degli spostamenti sarà pari a 1/200

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN0200002</td> <td>A</td> <td>31 di 50</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN0200002	A	31 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN0200002	A	31 di 50								

dell'altezza di scavo, per quanto riguarda il limite di spostamento agli SLE e gli spostamenti al piede dovranno essere trascurabili.

10.1.1.3 ALTRE VERIFICHE

Inoltre, in considerazione dell'elevata soggiacenza della falda, non è necessario verificare la stabilità al sollevamento, al sifonamento o ad altri stati limite di tipo idraulico.

10.1.2 Verifiche strutturali

10.1.2.1 VERIFICA DEI TUBI DI ARMATURA DEI MICROPALI

La verifica dei tubi di armatura dei micropali, sia verticali che inclinati, viene eseguita secondo il criterio valido per sezioni tubolari compatte (classe 1 o 2) con il metodo plastico descritto nelle NTC. Le verifiche a flessione ed a taglio saranno effettuate con Paratie, in termini di coefficiente di sfruttamento.

10.2 VERIFICA DEL PUNTONE

La verifica dei puntoni viene eseguita secondo il criterio valido per sezioni compatte di classe 1 o 2 con il metodo plastico descritto nelle NTC.

10.3 VERIFICA DELLA TRAVE DI RIPARTIZIONE

La verifica delle travi di ripartizione dei tiranti viene eseguita secondo il criterio valido per sezioni compatte di classe 1 o 2 con il metodo plastico descritto nelle NTC. Anche queste verifiche sono condotte in modo automatico dal software Paratie.

10.4 VERIFICA DEI CEDIMENTI CAUSATI DALLO SCAVO MECCANIZZATO

La verifica viene effettuata in condizioni di campo libero e per mezzo di metodi empirici consolidati (Doc. rif. [6]) e volti a stimare il profilo del bacino di subsidenza generata dallo scavo. In via preliminare, il calcolo è eseguito cautelativamente assumendo parametri di forma (coefficiente di

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN020002</td> <td>A</td> <td>32 di 50</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN020002	A	32 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN020002	A	32 di 50								

flesso K) massimi per la formazione attraversata ed un volume perso superiore ad 1%. Di seguito si riporta una sintesi dei principali input di calcolo:

- Diametro di scavo = 3m;
- Profondità asse scavo = 5.2m;
- Coefficiente K=0.4, valore di letteratura attribuibile a terreni incoerenti ghiaiosi (Doc. rif. [7]);
- Volume loss = 1.25%, valore scelto nel caso in esame per scavi con TMB tipo SS o EPB.

Le analisi considerano la presenza di un'abitazione a due piani nelle vicinanze della condotta, ad una distanza orizzontale compresa tra 3.56 m e 18 m dall'asse del microtunnel. La linea ferroviaria esistente si posiziona a distanze superiori. In questa fase, si ritengono accettabili cedimenti assoluti e differenziali inferiori a 5mm in corrispondenza dell'abitazione.

11 RISULTATI

Nel presente capitolo si riassumono i risultati del calcolo effettuato sull'opera descritta nel capitolo 4, esaminando entrambi i lati della paratia nel dominio bidimensionale (v. capitolo 9).

INVILUPPO MOMENTO FLETTENTE

Nella figura che segue si illustra il momento flettente massimo calcolato per le combinazioni agli Stati Limite Ultimo.

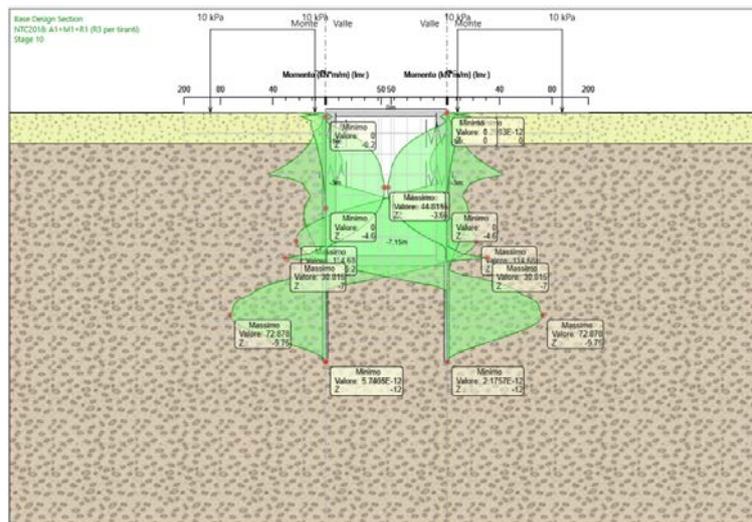
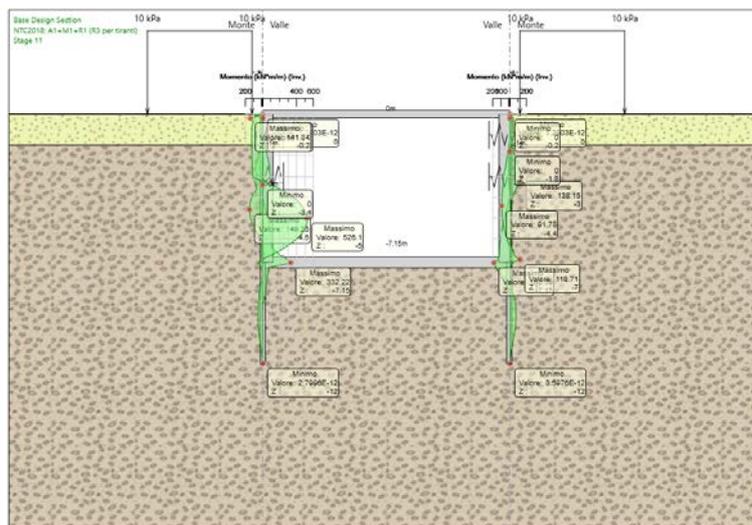


Figura 9 – Camera di spinta: momento flettente massimo SLU/SLV - modelli A (in alto) e B (in basso)

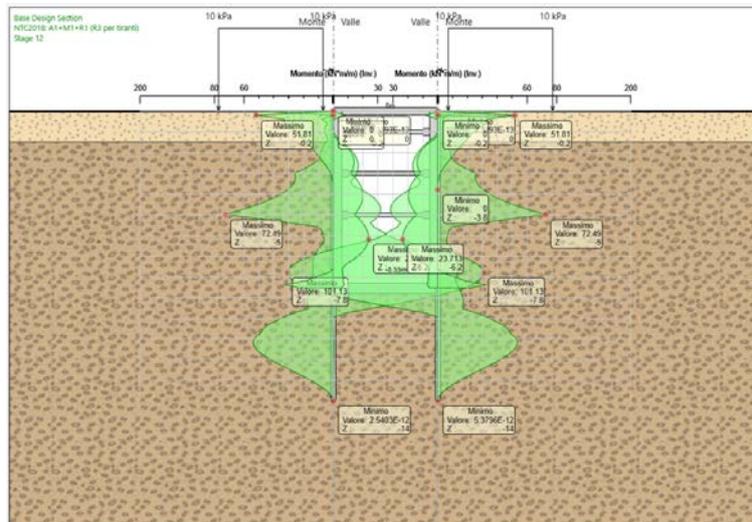


Figura 10 – Camera di arrivo: momento flettente massimo SLU/SLV – modello C

INVILUPPO AZIONE DI TAGLIO

Nella figura che segue si illustra l'azione di taglio massima calcolata per le combinazioni agli Stati Limite Ultimo.

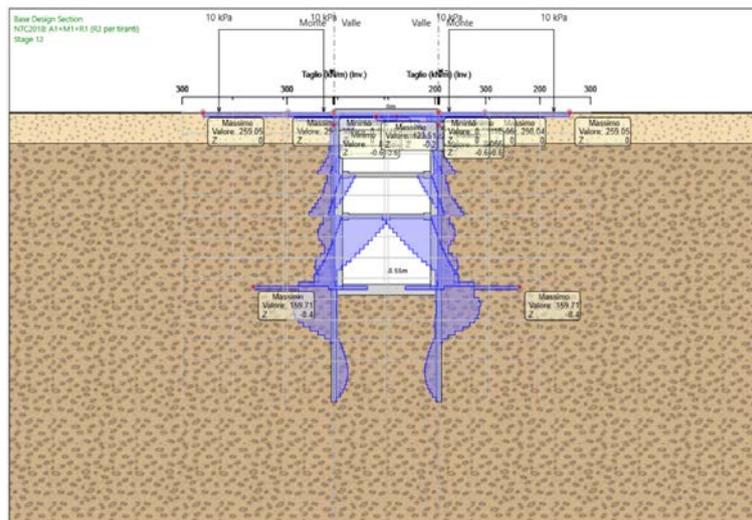


Figura 11 – Camera di arrivo: azione di taglio massimo SLU/SLV – modello C

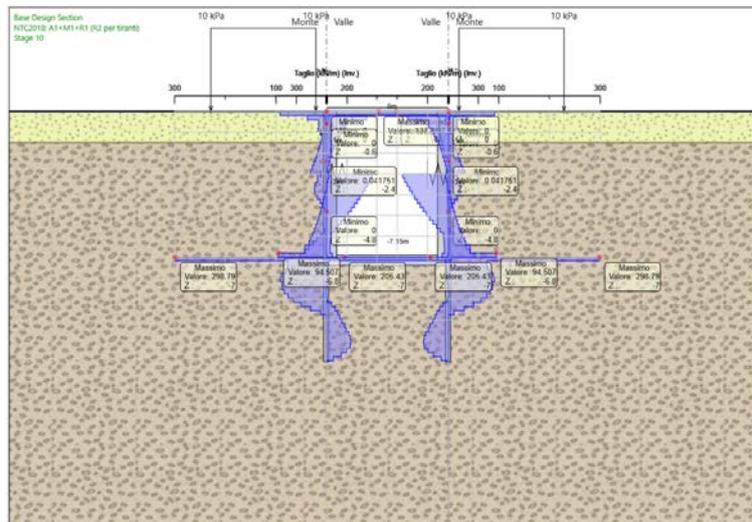
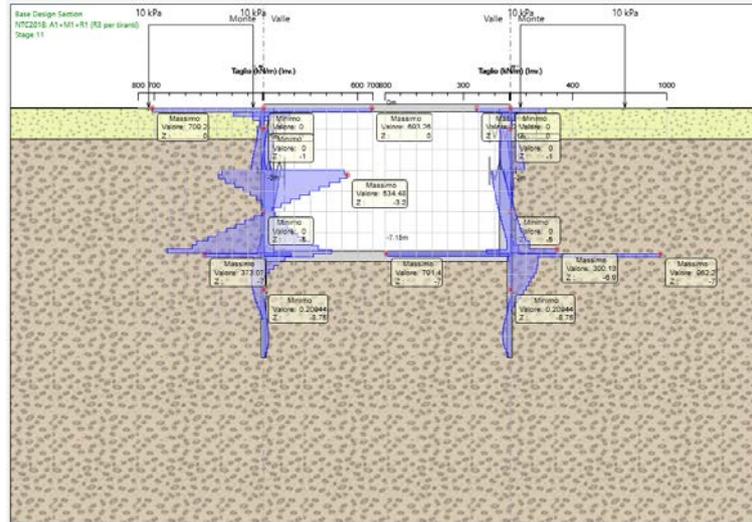


Figura 12 – Camera di spinta: azione di taglio massimo SLU/SLV - modelli A (in alto) e B (in basso)

SPOSTAMENTO MASSIMO PARATIA

Nelle figure che seguono si illustrano gli spostamenti massimi calcolati negli Stati Limite di Esercizio.

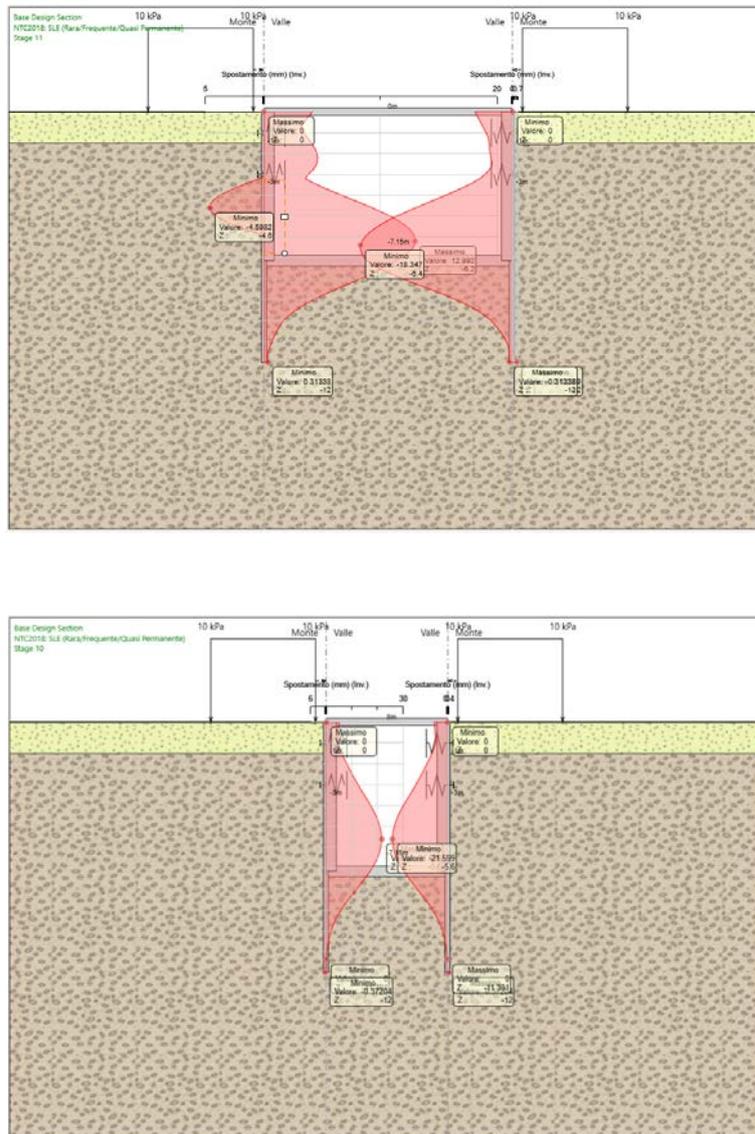


Figura 13 – Camera di spinta: spostamento massimo SLE - modelli A (in alto) e B (in basso)

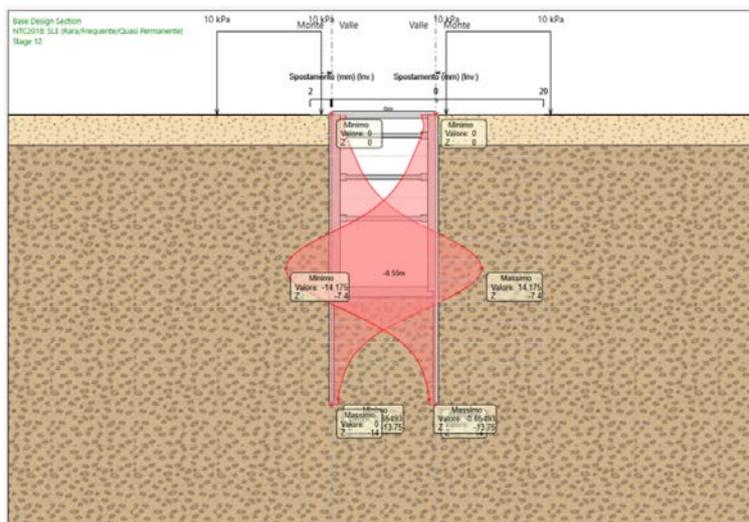


Figura 14 – Camera di arrivo: spostamento massimo SLE – modello C

SPINTA PASSIVA MOBILITATA

Tabella 7 - Inviluppo spinta reale efficace / Spinta passiva

Design Assumption	ID Modello	Stage	Muro	Lato	Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva
					%
NTC2018: A2+M2+R1	A	Stage 10	Left Wall	LEFT	13.27
NTC2018: A2+M2+R1	A	Stage 8	Left Wall	RIGHT	38.81
NTC2018: A2+M2+R1	A	Stage 8	Right wall	LEFT	38.81
NTC2018: A2+M2+R1	A	Stage 11	Right wall	RIGHT	8.64
NTC2018: A2+M2+R1	B	Stage 1	Left Wall	LEFT	7.98
NTC2018: A2+M2+R1	B	Stage 8	Left Wall	RIGHT	41.35
NTC2018: A2+M2+R1	B	Stage 8	Right wall	LEFT	41.35
NTC2018: A2+M2+R1	B	Stage 1	Right wall	RIGHT	7.98
NTC2018: A2+M2+R1	C	Stage 1	Left Wall	LEFT	7.96
NTC2018: A2+M2+R1	C	Stage 11	Left Wall	RIGHT	35.09
NTC2018: A2+M2+R1	C	Stage 11	Right wall	LEFT	35.09
NTC2018: A2+M2+R1	C	Stage 1	Right wall	RIGHT	7.96

AZIONE MASSIMA SUI PUNTONI

Tabella 8 – Azione massima sui puntoni

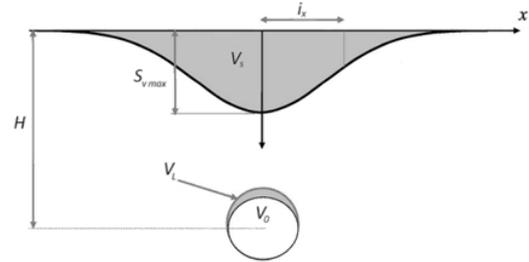
Design Assumption	ID Modello	Ordine	Azione massima
			kN/m
NTC2018: A1+M1+R1	A	1	49
NTC2018: A1+M1+R1	A	2	245
NTC2018: A1+M1+R1	B	1	20
NTC2018: A1+M1+R1	B	2	109
NTC2018: A1+M1+R1	C	1	25

Design Assumption	ID Modello	Ordine	Azione massima
			kN/m
NTC2018: A1+M1+R1	C	2	58
NTC2018: A1+M1+R1	C	3	172

BACINO DI SUBSIDENZA

GEOMETRIA

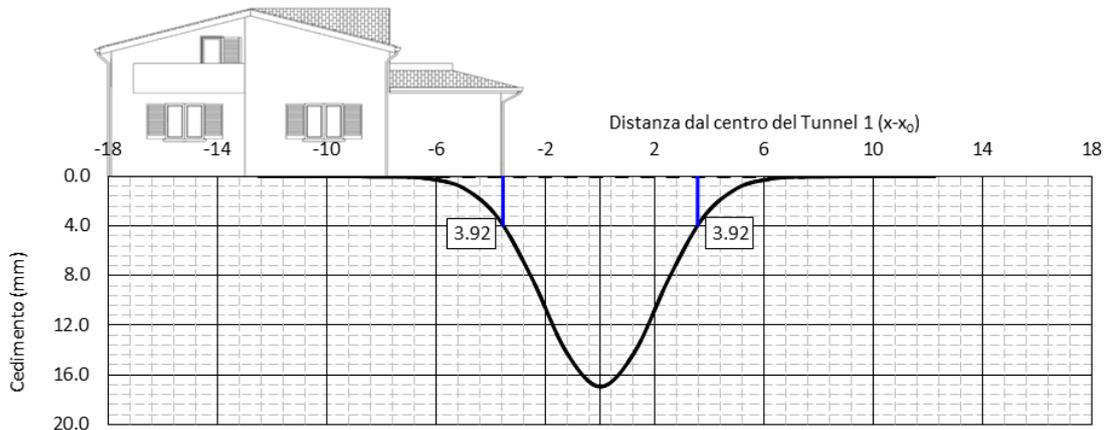
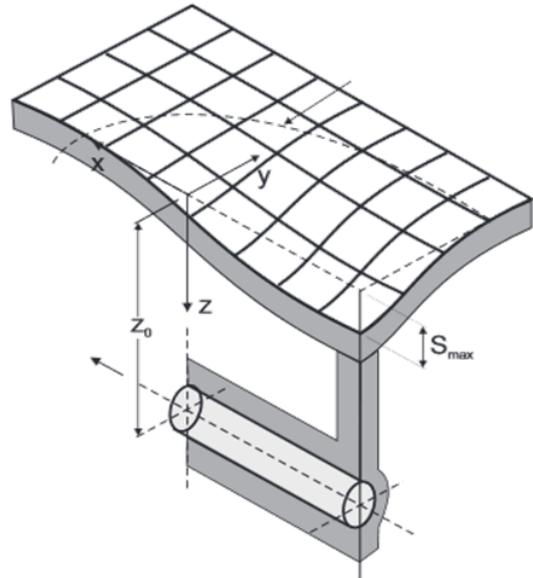
Numero di tunnel	1	
Distanza d'interesse dall'asse tunnel (x_0)	3.56 m	
Profondità d'interesse, z	0.00 m	
	Tunnel 1	
Diametro del tunnel, D	3.00	m
Profondità asse tunnel, H	5.20	m
Volume loss al fronte di scavo, V_L	1.25	%
Coefficiente di flesso, K	0.40	-



CALCOLO DEL CEDIMENTO TRASVERSALE

Distanza del punto di flesso, i_x	2.08	m
Cedimento massimo, S_{max}	16.95	m

Tunnel 1		Totale
$x-x_0$	S_x	S_x
m	mm	mm
-12.48	0.00	0.00
-11.23	0.00	0.00
-9.98	0.00	0.00
-8.74	0.00	0.00
-7.49	0.03	0.03
-6.24	0.19	0.19
-4.99	0.95	0.95
-3.74	3.35	3.35
-2.50	8.25	8.25
-1.25	14.16	14.16
0.00	16.95	16.95
1.25	14.16	14.16
2.50	8.25	8.25
3.74	3.35	3.35
4.99	0.95	0.95
6.24	0.19	0.19
7.49	0.03	0.03
8.74	0.00	0.00
9.98	0.00	0.00
11.23	0.00	0.00
12.23	0.00	0.00



 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN020002</td> <td>A</td> <td>40 di 50</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN020002	A	40 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN020002	A	40 di 50								

12 VERIFICHE

12.1 VERIFICA DEI MICROPALI VERTICALI

12.1.1 Verifiche geotecniche

Sulla base dei risultati presentati nel precedente capitolo, la percentuale di spinta passiva massima mobilitata nella Combinazione 2 è tale da garantire la stabilità dell'opera alla rototraslazione.

Gli spostamenti stimati sono da ritenersi cautelativi in ragione delle caratteristiche tridimensionali dell'opera (studiata nel dominio piano); ciononostante, sono in grado di garantire i requisiti prestazionali dell'opera e, quindi, di soddisfare le verifiche agli SLE.

12.1.2 Verifiche strutturali

Le seguenti figure illustrano come il massimo livello di sfruttamento della struttura a momento, a taglio o a compressione sia sempre ampiamente inferiore al 100%. Le verifiche strutturali agli SLU sono, pertanto, soddisfatte.

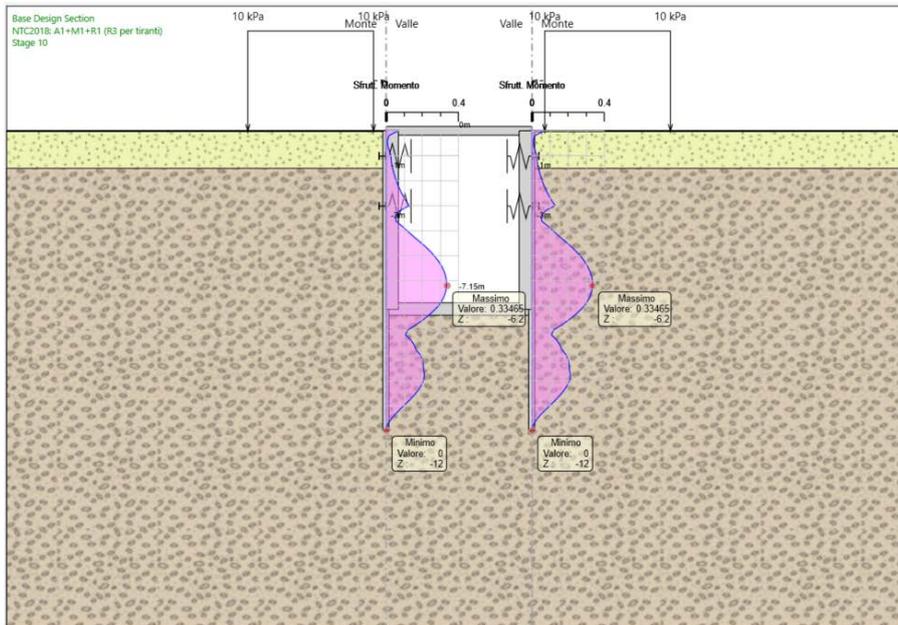
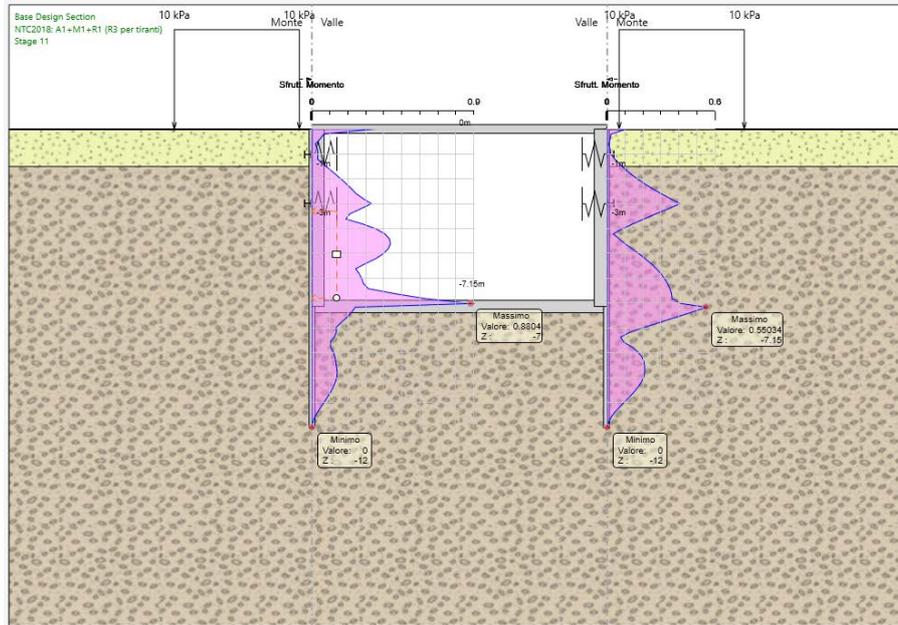


Figura 15 –Camera di spinta: Involuppo del massimo grado di sfruttamento del tubolare a flessione (SLU/SLV) – modello A (in alto) e modello B (in basso)

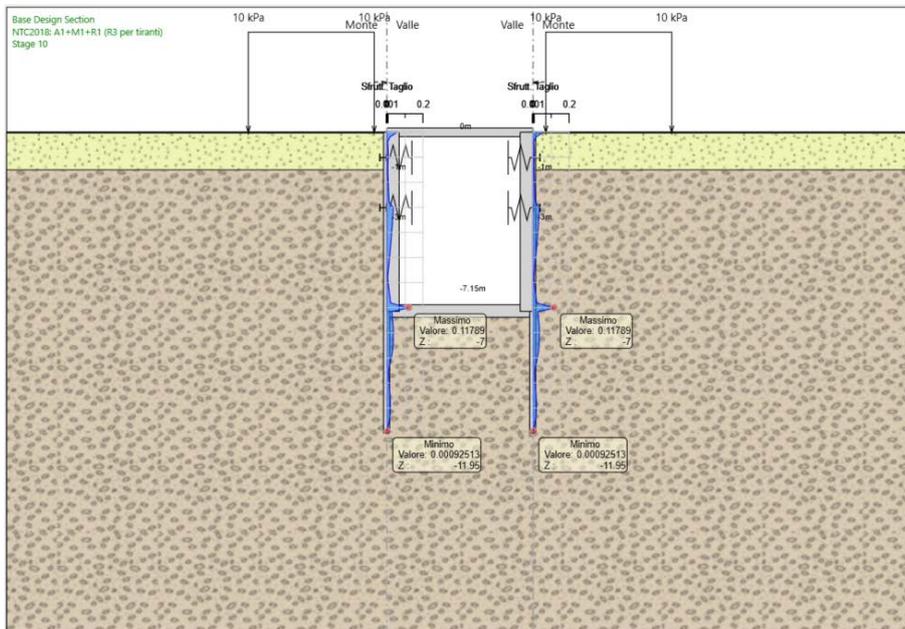
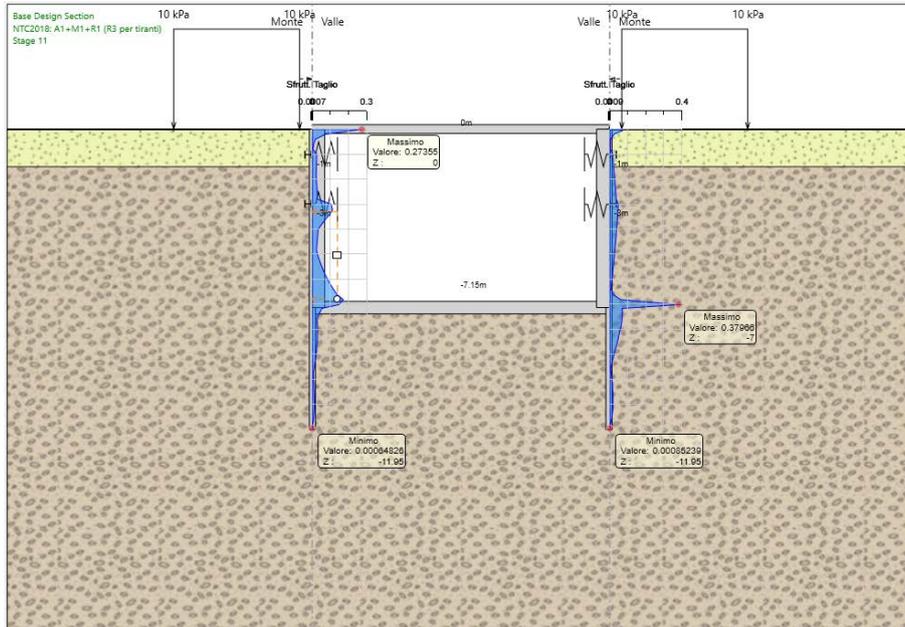


Figura 16 – Camera di spinta: involuppo del massimo grado di sfruttamento del tubolare a taglio (SLU/SLV) – modello A (in alto) e modello B (in basso)

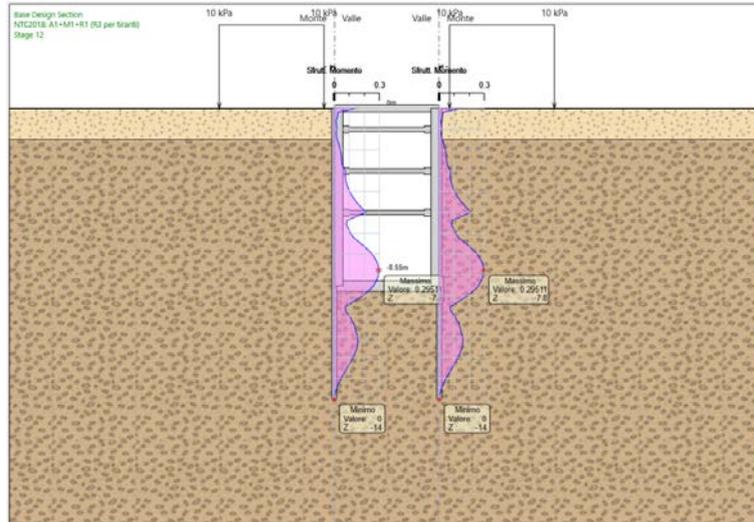


Figura 17 –Camera di arrivo: Involuppo del massimo grado di sfruttamento del tubolare a flessione (SLU/SLV) – modello C

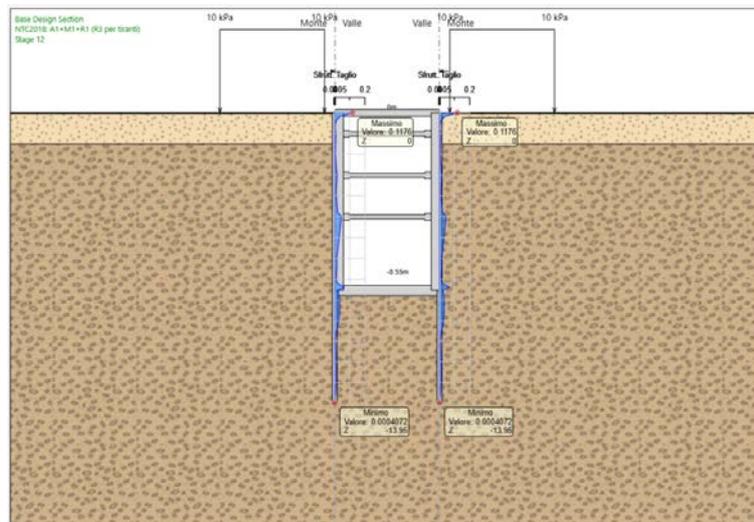
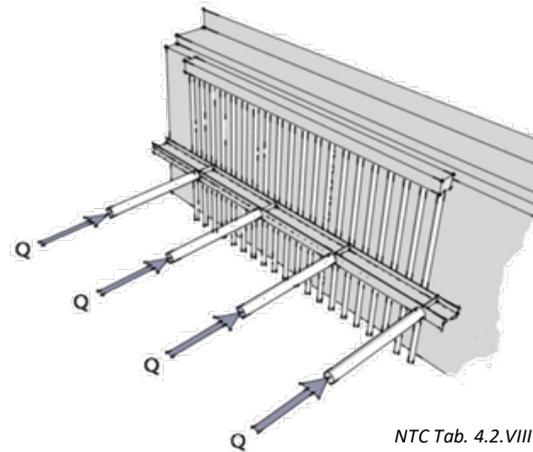


Figura 18 – Camera di arrivo: involucro del massimo grado di sfruttamento del tubolare a taglio (SLU/SLV) – modello C

12.2 Verifica dei puntoni

Materiali e tecnologie

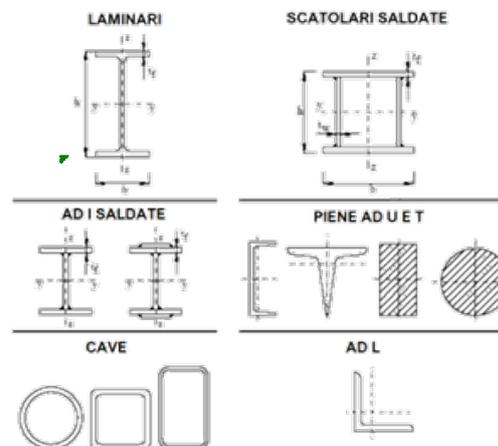
ID calcolo	Camera di spinta
Descrizione combinazione	azione massima
Sezioni trasversali	Cave
Classe acciaio	S355
Diametro ext. puntone, D_e (mm)	168.30
Spessore puntone, sp (mm)	10.00
Lunghezza puntone, L (m)	5.5
Interasse, i (m)	1.90
Tubolare	168.3x10
Limiti	Sezione formata "a caldo"
Asse d'inflexione	qualunque
Curva d'instabilità	a
Res. caratt. acciaio, f_{yk} (N/mm ²)	355
Coefficiente parziale, γ_{mo}	1.05
Res. design acciaio, f_{yd} (N/mm ²)	338.10
Modulo elastico, E (kPa)	2.10E+08
Peso al metro, P (kg/m)	39.02
Sezione del puntone, A (cm ²)	49.73
Res. assiale progetto, $N_{c,Rd}$ (kN)	16813.48
Modulo res. elastico, W_{el} (cm ³)	185.86
Modulo res. plastico, W_{pl} (cm ³)	250.92
Momento di inerzia, I (cm ⁴)	1563.99



NTC Tab. 4.2.VIII

NTC Tab. 4.2.VIII

NTC Tab. 4.2.VIII



Azioni

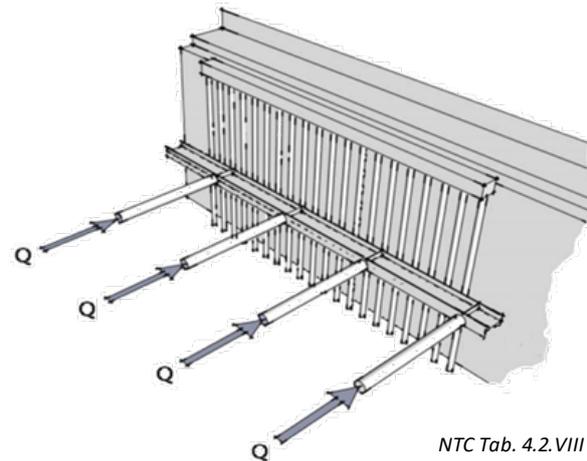
Assiale, N_{Ed} (kN/m)	245.00
--------------------------	--------

Verifiche

Carico elastico agente, N_{cr} (kN)	1.07E+03	✓	
Azione assiale, N_{Ed} (kN)	465.50	✓	
Coefficiente di snellezza, λ	1.28	✓	NTC Tab. 4.2.VIII
Fattore imperfezione, α	0.21	✓	NTC Tab. 4.2.VIII
Fattore Φ	1.44	✓	NTC eq.4.2.44
Coefficiente χ	0.48	✓	NTC eq.4.2.44
Res. instabilità, $N_{b,Rd}$ (kN)	806.49	✓	NTC eq.4.2.42
Sfruttamento compressione, Λ_N	57.72%	✓	NTC eq.4.2.41
Verifica compressione, $N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$	V	✓	

Materiali e tecnologie

ID calcolo	Camera di arrivo
Descrizione combinazione	azione massima
Sezioni trasversali	Cave
Classe acciaio	S355
Diametro ext. puntone, D_e (mm)	168.30
Spessore puntone, sp (mm)	10.00
Lunghezza puntone, L (m)	5
Interasse, i (m)	4.00
Tubolare	168.3x10
Limiti	Sezione formata "a caldo"
Asse d'inflexione	qualunque
Curva d'instabilità	a
Res. caratt. acciaio, f_{yk} (N/mm ²)	355
Coefficiente parziale, γ_{mo}	1.05
Res. design acciaio, f_{yd} (N/mm ²)	338.10
Modulo elastico, E (kPa)	2.10E+08
Peso al metro, P (kg/m)	39.02
Sezione del puntone, A (cm ²)	49.73
Res. assiale progetto, $N_{c,Rd}$ (kN)	16813.48
Modulo res. elastico, W_{el} (cm ³)	185.86
Modulo res. plastico, W_{pl} (cm ³)	250.92
Momento di inerzia, I (cm ⁴)	1563.99



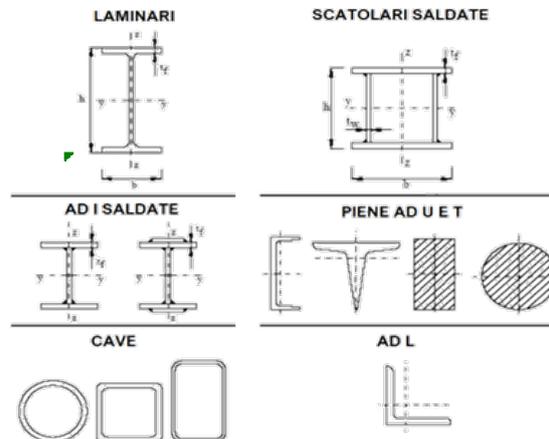
NTC Tab. 4.2.VIII

NTC Tab. 4.2.VIII

NTC Tab. 4.2.VIII

Azioni

Assiale, N_{Ed} (kN/m)	172.00
--------------------------	--------



Verifiche

Carico elastico agente, N_{cr} (kN)	1.30E+03	✓	
Azione assiale, N_{Ed} (kN)	688.00	✓	
Coefficiente di snellezza, λ	1.17	✓	NTC Tab. 4.2.VIII
Fattore imperfezione, α	0.21	✓	NTC Tab. 4.2.VIII
Fattore Φ	1.28	✓	NTC eq.4.2.44
Coefficiente χ	0.55	✓	NTC eq.4.2.44
Res. instabilità, $N_{b,Rd}$ (kN)	926.86	✓	NTC eq.4.2.42
Sfruttamento compressione, Λ_N	74.23%	✓	NTC eq.4.2.41
Verifica compressione, $N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$	V	✓	

12.3 VERIFICA DELLE TRAVI DI RIPARTIZIONE

Come dimostrato dalla seguente tabella, tutte le verifiche condotte sulla trave di ripartizione sono soddisfatte.

Tabella 9 – Travi di ripartizione: verifiche SLU

ID Modello	Connessione	Sezione	D.A.	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Sfruttamento a momento	Sfruttamento a taglio	Instabilità
A	1ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 4	0	0	0	0
A	1ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 4	0	0	0	0
A	1ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 5	-28.034	0.017	0.047	0
A	1ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 5	-28.034	0.017	0.047	0
A	2ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 6	0	0	0	0
A	1ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 6	-28.034	0.017	0.047	0
A	1ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 6	-28.034	0.017	0.047	0
A	2ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 6	0	0	0	0
A	2ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 7	-145.68	0.088	0.242	0
A	1ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 7	8.2114	0.005	0.014	0
A	1ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 7	8.2114	0.005	0.014	0
A	2ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 7	-145.68	0.088	0.242	0
A	2ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 8	-165.12	0.1	0.274	0
A	1ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 8	15.274	0.009	0.025	0
A	1ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 8	15.274	0.009	0.025	0
A	2ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 8	-165.12	0.1	0.274	0
A	2ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 9	-171.38	0.104	0.285	0
A	1ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 9	16.983	0.01	0.028	0
A	1ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 9	16.983	0.01	0.028	0
A	2ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 9	-171.38	0.104	0.285	0
A	2ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 10	69.377	0.042	0.115	0
A	1ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 10	-27.675	0.017	0.046	0
A	1ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 10	22.687	0.014	0.038	0
A	2ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 10	-186.2	0.113	0.31	0
A	2ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 11	-202.45	0.123	0.337	0
A	1ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 11	-33.714	0.02	0.056	0
A	1ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 11	-8.9518	0.005	0.015	0
A	2ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 11	-158.11	0.096	0.263	0
A	2ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 12	-202.45	0.123	0.337	0
A	1ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 12	-33.714	0.02	0.056	0
A	1ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 12	-8.9518	0.005	0.015	0
A	2ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 12	-158.11	0.096	0.263	0
B	1ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 4	0	0	0	0
B	1ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 5	-20.292	0.123	0.107	0
B	2ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 6	0	0	0	0
B	1ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 6	-20.292	0.123	0.107	0
B	2ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 6	0	0	0	0
B	2ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 7	-94.409	0.57	0.496	0
B	1ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 7	-20.738	0.125	0.109	0
B	1ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 7	-20.738	0.125	0.109	0
B	2ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 7	-94.409	0.57	0.496	0
B	2ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 8	-109.06	0.661	0.572	0
B	1ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 8	-18.329	0.111	0.096	0
B	2ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 8	-109.06	0.661	0.572	0
B	2ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 9	-109.63	0.664	0.575	0
B	1ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 9	-18.341	0.111	0.096	0
B	1ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 9	-18.341	0.111	0.096	0
B	2ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 9	-109.63	0.664	0.575	0
B	2ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 10	-109.26	0.662	0.574	0

ID Modello	Connessione	Sezione	D.A.	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Sfruttamento a momento	Sfruttamento a taglio	Instabilità
B	1ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 10	-18.027	0.109	0.095	0
B	1ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 10	-18.027	0.109	0.095	0
B	2ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 10	-109.26	0.662	0.574	0
B	2ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 11	-109.26	0.662	0.574	0
B	1ordSX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 11	-18.027	0.109	0.095	0
B	1ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 11	-18.027	0.109	0.095	0
B	2ordDX	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 11	-109.26	0.662	0.574	0
C	1ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 4	0	0	0	0
C	1ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 4	0	0	0	0
C	1ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 5	-25.264	0.068	0.088	0
C	1ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 6	-25.264	0.068	0.088	0
C	2ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 6	0	0	0	0
C	2ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 6	0	0	0	0
C	1ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 7	-18.357	0.049	0.064	0
C	2ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 7	-57.81	0.155	0.202	0
C	1ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 8	-18.357	0.049	0.064	0
C	2ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 8	-57.81	0.155	0.202	0
C	3ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 8	0	0	0	0
C	3ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 8	0	0	0	0
C	1ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 9	-16.35	0.044	0.057	0
C	1ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 9	-16.35	0.044	0.057	0
C	2ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 9	-56.42	0.151	0.197	0
C	2ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 9	-56.42	0.151	0.197	0
C	3ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 9	-63.834	0.171	0.223	0
C	3ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 9	-63.834	0.171	0.223	0
C	1ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 10	-15.168	0.041	0.053	0
C	1ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 10	-15.168	0.041	0.053	0
C	2ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 10	-45.06	0.121	0.158	0
C	2ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 10	-45.06	0.121	0.158	0
C	3ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 10	-142	0.381	0.497	0
C	3ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 10	-142	0.381	0.497	0
C	1ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 11	-15.075	0.04	0.053	0
C	1ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 11	-15.075	0.04	0.053	0
C	2ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 11	-43.177	0.116	0.151	0
C	2ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 11	-43.177	0.116	0.151	0
C	3ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 11	-152.1	0.408	0.532	0
C	3ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 11	-152.1	0.408	0.532	0
C	1ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 12	-8.6414	0.023	0.03	0
C	1ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 12	-8.6414	0.023	0.03	0
C	2ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 12	-37.939	0.102	0.133	0
C	2ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 12	-37.939	0.102	0.133	0
C	3ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 12	-151.72	0.407	0.531	0
C	3ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 12	-151.72	0.407	0.531	0
C	1ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 13	-8.6414	0.023	0.03	0
C	1ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 13	-8.6414	0.023	0.03	0
C	2ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 13	-37.939	0.102	0.133	0
C	2ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 13	-37.939	0.102	0.133	0
C	3ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 13	-151.72	0.407	0.531	0
C	3ord	HE 280B	A1+M1+R1	Stage 13	-151.72	0.407	0.531	0

12.4 Verifica dei cedimenti causati dallo scavo meccanizzato

Sulla base dei risultati ottenuti, si ritiene che la pericolosità relativa alle lavorazioni esaminate soddisfi i criteri definiti nel capitolo 10 e sia, pertanto, da ritenersi accettabile. In questa fase della progettazione, si prevede l'installazione di un sistema di monitoraggio composto da assestimetri e

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PRG E ACC DEL P.M. CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI</p>												
<p>FOGNATURA PIANCA E NERA - RELAZIONE DI CALCOLO CAMERE DI SPINTA E ARRIVO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IN09</td> <td>00</td> <td>D26</td> <td>CLIN020002</td> <td>A</td> <td>48 di 50</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IN09	00	D26	CLIN020002	A	48 di 50
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IN09	00	D26	CLIN020002	A	48 di 50								

capisaldi di livellazione topografica, posti in prossimità dell'abitazione e della linea ferroviaria esistenti.

Nell'ambito del progetto esecutivo, si provvederà a descrivere compiutamente le strutture esistenti, al fine di effettuare analisi numeriche di dettaglio che possano confermare i risultati ottenuti con metodi empirici. Successivamente e qualora ritenuto necessario, si redigerà un piano di monitoraggio allo scopo di verificare, in corso d'opera, le previsioni di progetto ed intervenire all'occorrenza. Sommarariamente, il piano di monitoraggio potrà prevedere: una soglia di attenzione, raggiunta la quale si avvierà un processo di revisione delle misure in sito e delle assunzioni progettuali relative alla pericolosità; una soglia di allerta, che richiederà l'introduzione di interventi migliorativi e di riduzione della vulnerabilità; una soglia di allarme, raggiunta la quale si provvederà a ridurre il grado di esposizione.

12.5 Incidenza delle armature in barre

Sulla base delle sollecitazioni ottenute e rappresentate nel precedente capitolo, in questa fase di progettazione si considerano le seguenti incidenze.

Tabella 10 – Incidenza armatura

	Trave di coronamento	Rifodere	Soletta inferiore	Soletta superiore
Incidenza (kg/m ³)	50	50	70	100