

# CASSA DI ESPANSIONE DEL TORRENTE BAGANZA NEI COMUNI DI FELINO, SALA BAGANZA, COLLECCHIO E PARMA (PR-E-1047)

## PROGETTO ESECUTIVO

03	02/03/2021	Revisione per osservazioni Nota DGD n.21124 del 08-10-2020	MAGLIOCCHETTI	CASSANI	BERTERO
02	24/07/2020	Revisione per osservazioni DGD e validazione	MAGLIOCCHETTI	CASSANI	BERTERO
00	15/07/2019	Prima emissione	MAGLIOCCHETTI	CASSANI	BERTERO
REV.	DATA	MODIFICHE	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZ.

## ARGINATURE E SISTEMAZIONE CASSE DI ESPANSIONE RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO INTERVENTI IN JET GROUTING

### ASSOCIAZIONE TEMPORANEA DI IMPRESE

MANDATARIA:

MANDANTI:



IL R.U.P.:

 Dott. Ing. Mirella Vergnani  
(documento firmato digitalmente)

 Progettista responsabile integrazioni  
prestazioni specialistiche e Direttore Tecnico  
della mandataria.  
Hydrodata S.p.A.  
Ord. Ing. Torino N°7570L  
Dott. Ing. Roberto Bertero  
(documento firmato digitalmente)

 Progettista/Progettisti responsabili elaborato  
Rock Soil S.p.A.  
Dott. Ing. Giovanna Cassani  
Ord. Ing. Milano N°20997

 Dott. Ing. Giovanna Cassani  
(documento firmato digitalmente)


CODICE ELABORATO:

B	A	G	3	0	7	A	R	G	R	R	E	0	3	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

ID (1)

CAP. (2)

TIPO (3)

DOC. (4)

PROGR. (5-6) REV. (7)

SCALA

 MARZO  
2021

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
1.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO .....</b>	<b>6</b>
2.1	STRATIGRAFIE DI RIFERIMENTO .....	6
-	Profilo 1 .....	6
-	Profilo 3 .....	6
-	Profilo 6 .....	6
-	Profilo 4 .....	7
-	Profilo 2 .....	7
<b>3</b>	<b>UBICAZIONE DEGLI INTERVENTI .....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI .....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>ATTREZZATURE.....</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>SISTEMA JET-GROUTING.....</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>GEOMETRIE .....</b>	<b>15</b>
<b>8</b>	<b>FASI REALIZZATIVE .....</b>	<b>17</b>
8.1	FASI REALIZZATIVE DEL SINGOLO TRATTAMENTO.....	17
8.2	FASI REALIZZATIVE DI UN GRUPPO DI TRATTAMENTI ADIACENTI.....	17
<b>9</b>	<b>MISCELE E PARAMETRI ESECUTIVI .....</b>	<b>18</b>
<b>10</b>	<b>CAMPI PROVA JET GROUTING .....</b>	<b>19</b>
10.1	UBICAZIONE DEI CAMPI PROVA .....	19
10.2	GEOMETRIA DEI CAMPI PROVA .....	20
10.3	COMPOSIZIONE INIZIALE DELLE MISCELE .....	21
10.4	PROVE E CONTROLLI .....	21
10.4.1	Controlli alla scala della singola colonna.....	21
10.4.2	Controlli alla scala del diaframma.....	22
10.5	MONITORAGGIO A PIANO CAMPAGNA .....	22
<b>11</b>	<b>CONTROLLI E PRESCRIZIONI IN FASE REALIZZATIVA .....</b>	<b>23</b>
11.1	CONTROLLI ALLA SCALA DELLA SINGOLA COLONNA.....	23
11.1.1	Misura dei parametri di iniezione.....	23
11.1.2	Misura del tracciamento del piazzamento .....	23
11.1.3	Misura della deviazione dei fori.....	23

11.1.4	Misura del diametro delle colonne .....	24
11.1.5	Controllo del refluo .....	24
11.1.6	Controllo della miscela .....	24
11.2	CONTROLLI ALLA SCALA DEL DIAFRAMMA.....	25
11.2.1	Tenuta idraulica del trattamento (Lefranc e/o Lugeon) .....	25
11.2.1.1	Descrizione della prova di permeabilità Lefranc.....	25
11.2.2	Prove geofisiche (Cross-Hole) .....	26
<b>12</b>	<b>VERIFICA STATICA DEI CONSOLIDAMENTI.....</b>	<b>27</b>
12.1	RESISTENZE DI PROGETTO .....	27
12.2	AZIONI DI PROGETTO .....	28
12.3	VERIFICHE IN CONDIZIONI SLE .....	31
12.4	VERIFICHE IN CONDIZIONI SLU .....	31

## 1 PREMESSA

La presente relazione recepisce quanto riportato nelle " Osservazioni Istruttorie sugli elaborati del P.E. aggiornato a Luglio 2020" documento redatto dalla *Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche*.

Nello specifico si riporta:

### Pag. 11

Per quanto riguarda le colonne in jet grouting la relazione di calcolo verifica la compatibilità del trattamento previsto con le sollecitazioni indotte, valutate in termini di sforzi assiali trasmessi alle colonne dal rilevato soprastante (non si espongono gli analoghi calcoli per i manufatti di cls), risultati compatibili sia agli SLE che agli SLU.

*Preso atto di tali positivi risultati, le sollecitazioni andrebbero esplorate anche nel tratto di connessione (1 m) del setto con il nucleo dei rilevati (il progetto prevede l'esecuzione del trattamento a partire dai piani di fondazione dei manufatti in cls e dei rilevati arginali), tenuto conto che questo risulterà l'elemento più vulnerabile. Dovranno peraltro essere illustrate le modalità esecutive per realizzare tale tratto di connessione.*

Come richiesto si sono effettuate tali verifiche integrative, con esito positivo, e sono state riportate nella Relazione tecnica – Interventi in Jet Grouting (BAG307ARGRRE032) al Capitolo 12 da Pag. 25.

La presente Relazione Tecnica – Interventi in Jet Grouting si articola nello specifico nei seguenti capitoli:

- INQUADRAMENTO GEOTECNICO
- UBICAZIONE DEGLI INTERVENTI
- DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI
- ATTREZZATURE
- SISTEMA JET-GROUTING MONO-FLUIDO
- GEOMETRIE
- FASI REALIZZATIVE
- MISCELE E PARAMETRI ESECUTIVI
- CONTROLLI E PRESCRIZIONI IN FASE REALIZZATIVA
- VERIFICA DEL JET GROUTING
- CAMPI PROVA JET GROUTING

La presente relazione riporta la descrizione e le prescrizioni degli interventi in jet grouting con funzione di taglione di tenuta idraulico in corrispondenza di alcuni rilevati della cassa di espansione del Torrente Baganza in località Sala Baganza, a sud ovest della città di Parma. I centri abitati più vicini sono:

- Sala Baganza, a sud-ovest dell'area di progetto;
- Casale di Felino (Comune di Felino), a sud-est dell'area di progetto;
- Carignano (Comune di Parma), a est dell'area di progetto.





Figura 1 – Inquadramento territoriale



Figura 2 – Inserimento dell'opera

## 1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- “Norme tecniche per le costruzioni” Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;

- CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008;
- UNI EN 1997-1:2013 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali;
- UNI EN 1997-2:2007 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo;
- UNI EN 1998-5:2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. 1977 AGI – Associazione Geotecnica Italiana;
- Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica - Linee guida 2005 AGI – Associazione Geotecnica Italiana;
- D.M. 26 giugno 2014 n.91 “Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (Dighe e Traverse)”.

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO

Per quanto riguarda il dettaglio approfondito dell'inquadramento geotecnico si rimanda alla documentazione dedicata di progetto esecutivo, rappresentata nello specifico sia dagli elaborati grafici, sia dalla Relazione Geotecnica Generale (BAG303GEORRE030).

### 2.1 STRATIGRAFIE DI RIFERIMENTO

Le stratigrafie di riferimento in corrispondenza degli allineamenti lungo i quali saranno realizzati i diaframmi con funzione di tenuta idraulica sono riportate nel seguito.

#### - Profilo 1

*Tabella 1 – Modello geotecnico Argine di valle comparto 2 e Manufatto C*

P.C. medio +132,50			
Profondità in m da P.C.			Unità Geotecnica
0,0	÷ 5,5		UG1A
5,5	÷ 8,0		UG2A
8,0	÷ 9,5		UG2B
9,5	÷ 19,5		UG2A
19,5	÷ 24,0		UG2B
24,0	÷ 29,0		UG2A
29,0	÷ 36,5		UG2B
36,5	÷ 41,5		UG2A

#### - Profilo 3

*Tabella 2 – Modello geotecnico Argine Ovest comparto 2*

P.C. variabile da +140,0 a +132,5			
Profondità in m da P.C.			Unità Geotecnica
0,0	÷ 5,5		UG1A
5,5	÷ 8,0		UG2A
8,0	÷ 9,5		UG2B
9,5	÷ 19,5		UG2A
19,5	÷ 37,0		UG2B
37,0	÷ 45,0		UG2A

#### - Profilo 6

*Tabella 3 – Modello geotecnico per Argine est comparto 2 (sezione tipo 3)*

P.C. variabile da +139,0 a +134,5
-----------------------------------

Profondità in m da P.C.	Unità Geotecnica
0,0 ÷ 1,5	UG2B
1,5 ÷ 9,5	UG2A
9,5 ÷ 11,0	UG2B
11,0 ÷ 21,0	UG2A
21,0 ÷ 23,0	UG2B
23,0 ÷ 39,0	UG2A

I profili stratigrafici sopra mostrati fanno riferimento ad una lunghezza dei taglioni idraulici di 14 m, poiché l'approfondimento dei diaframmi in jet grouting deve essere tale da garantire una barriera idraulica grazie alla bassa permeabilità e grazie al raggiungimento dello strato di argilla e limo (U.G.2B), caratterizzato da una permeabilità inferiore a quella delle altre unità geotecniche.

- **Profilo 4**

*Tabella 4 – Modello geotecnico per Argine Ovest comparto 1 (sezione tipo 6)*

P.C. variabile da +142,0 a +137,0		
Profondità in m da P.C.		Unità Geotecnica
0,0 ÷ 5,5		UG1A
5,5 ÷ 8,0		UG2B
8,0 ÷ 18,5		UG2A
18,5 ÷ 29,5		UG2B
29,5 ÷ 40,0		UG2A

*Tabella 5 – Modello geotecnico Argini a monte briglia (sezione tipo 5)*

P.C. variabile da +146,5 a +142,0		
Profondità in m da P.C.		Unità Geotecnica
0,0 ÷ 2,5		UG1A
2,5 ÷ 10,5		UG2A
10,5 ÷ 21,0		UG2B
21,0 ÷ 40,0		UG2A

- **Profilo 2**

*Tabella 6 – Modello geotecnico per arginature di separazione dei due comparti (tipo 1)*

P.C. medio +139,50		
Profondità in m da P.C.		Unità Geotecnica
0 ÷ 6,0		UG1A/UG2A



6,0 ÷ 8,0	UG2A
8,0 ÷ 9,0	UG2B
9,0 ÷ 17,5	UG2A
17,5 ÷ 27,0	UG2B
27,0 ÷ 40,0	UG2A

*Tabella 7 – Modello geotecnico per manufatto A e B*

P.C. medio +136,50	
Profondità in m da P.C.	Unità Geotecnica
0 ÷ 3,0	UG1A
3,0 ÷ 5,5	UG2B
5,5 ÷ 16,5	UG2A
16,5 ÷ 25,0	UG2B
25,0 ÷ 40,0	UG2A

I profili stratigrafici sopra mostrati fanno riferimento ad una lunghezza dei taglioni idraulici di 11 m, poiché l'approfondimento dei diaframmi in jet grouting deve essere tale da garantire una barriera idraulica grazie alla bassa permeabilità e grazie al raggiungimento dello strato di argilla e limo (U.G.2B), caratterizzato da una permeabilità inferiore a quella delle altre unità geotecniche.

### 3 UBICAZIONE DEGLI INTERVENTI

In linea generale il progetto prevede la messa in opera di diaframmi con funzione di taglione idraulico al piede delle opere di sostegno (rilevati e manufatti) laddove il gradiente idraulico tra monte e valle risulti significativo.

La realizzazione di tali diaframmi avviene tramite l'esecuzione con colonne di terreno consolidato con tecnologia jet-grouting. Tale tecnologia risulta idonea con riferimento ai terreni in oggetto, con significativi vantaggi rispetto alle altre tecnologie tradizionalmente utilizzate per i diaframmi di tenuta, sia in termini di esecuzione che ambientali, in quanto le tempistiche di esecuzione sono ridotte e non si produce materiale di scarto.

L'ubicazione in pianta delle aree dove è previsto il diaframma di tenuta idraulica (Tipo 1 con lunghezza 14 m, Tipo 2 con lunghezza 11 m e Tipo 3 con lunghezza di 17 m) è riportata nella seguente figura.

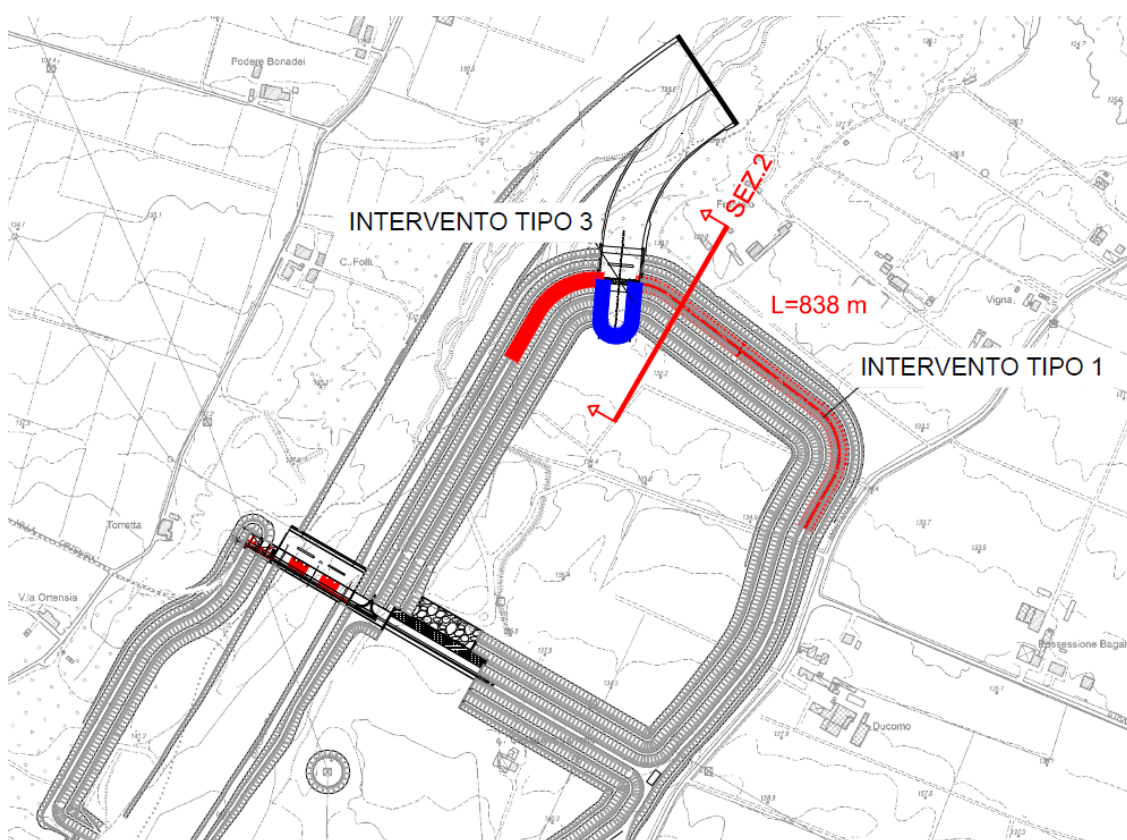


Figura 3 – Ubicazione dei diaframmi di tenuta - Tipo 1 e Tipo 3

Il diaframma in jet grouting di Tipo 1 è appunto posizionato in corrispondenza dell'argine del comparto due situato a Nord della cassa di espansione, mentre il diaframma Tipo 3 è stato predisposto al di sotto del manufatto C. Tali diaframmi si sono resi necessari a causa dell'elevato gradiente tra monte e valle (il profilo 1 vede la presenza di uno dei rilevati con altezza maggiore) e al fine di garantire una sufficiente impermeabilità idraulica al disotto di tale area.

L'estensione totale dell'intervento di tipo 1 raggiunge una lunghezza di 663 m, mentre l'intervento di tipo 3 raggiunge una lunghezza di 175 m circa.

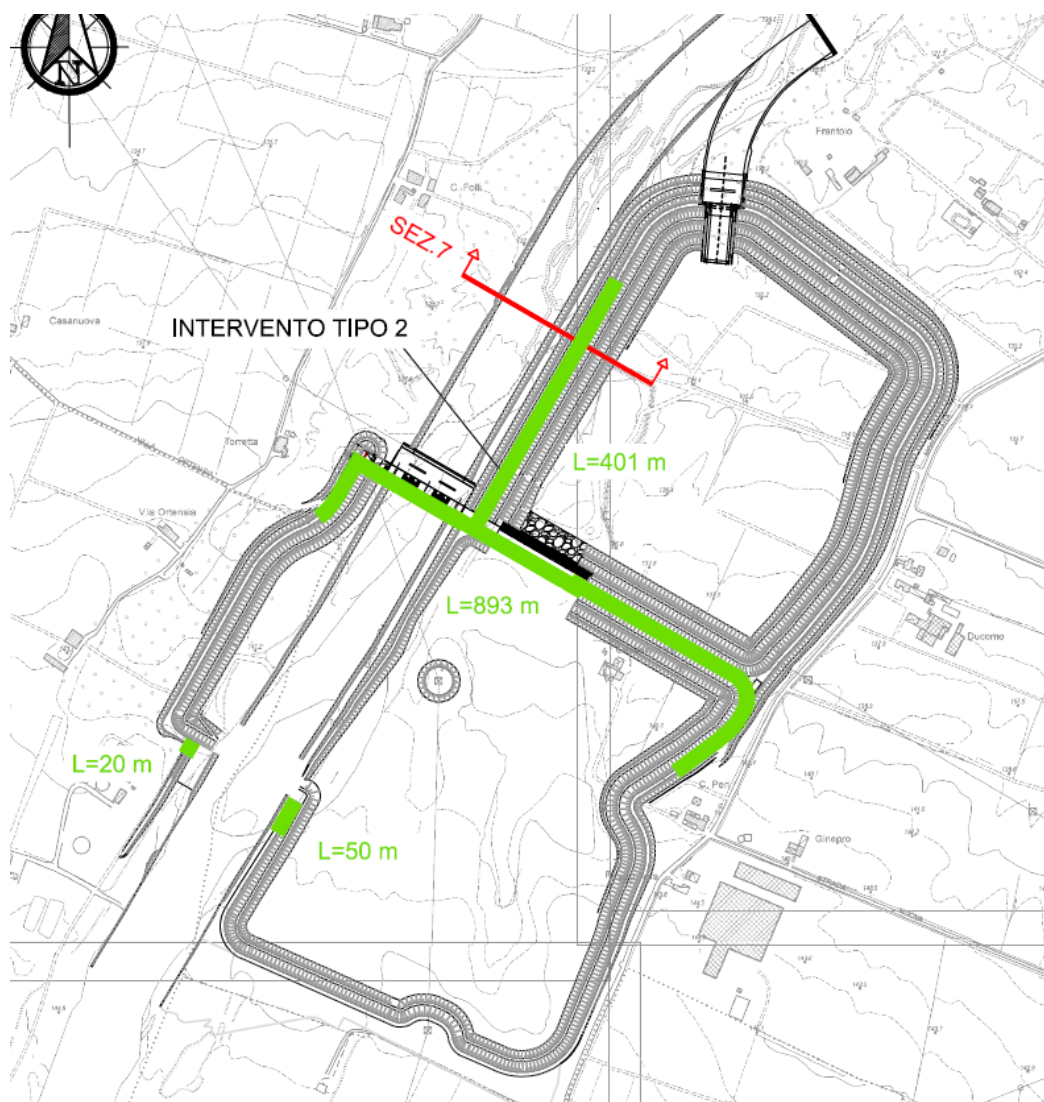


Figura 4 – Ubicazione dei diaframmi di tenuta - Tipo 2 e Tipo A/B

L'intervento in jet grouting di Tipo 2 si estende al disotto del rilevato di separazione tra i due compartimenti. Si è inoltre previsto un particolare intervento alla base dei manufatti A e B (intervento jet di tipo A/B). Inoltre si è previsto il posizionamento dello schermo di impermeabilizzazione anche nella zona di collegamento tra la briglia di ingresso e la cassa di espansione. Il criterio fondante che è stato seguito per l'ubicazione del diaframma di tenuta è quello della continuità dello schermo in fondazione che, come si vede dalle planimetrie, è garantita.

In sezione l'ubicazione di tali trattamenti è in corrispondenza della base fondazionale dei rilevati (o dei manufatti in c.l.s.), in particolare al centro del rilevato, dove è previsto il posizionamento del nucleo di argilla che compone il cuore del rilevato zonato.

L'estensione totale dell'intervento di tipo 2 raggiunge una lunghezza complessiva di circa 1004 m. In particolare si ha una estensione di 400 m lungo il profilo dell'arginatura Ovest del compartimento 2, si sviluppa per 533 m lungo la base dell'arginatura centrale ed infine, in corrispondenza della briglia di ingresso, si raggiunge una lunghezza totale di 70 m.

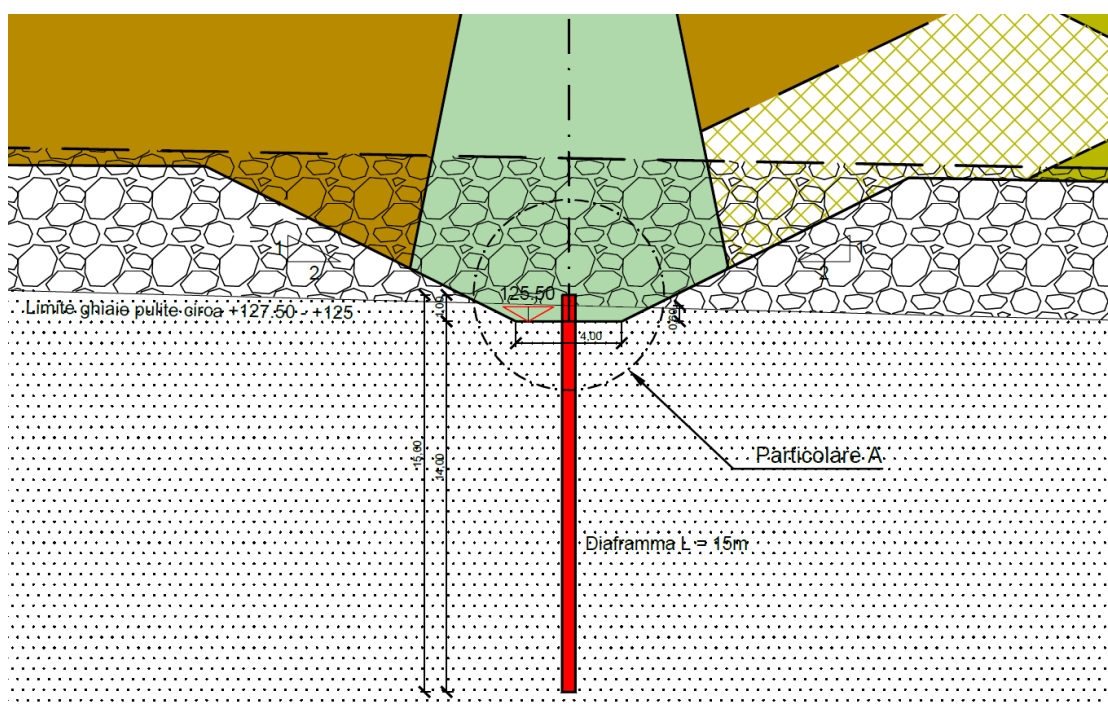


Figura 5 – Particolare dell'imposta del diaframma in jet grouting in corrispondenza della base del rilevato zonato

L'intervento tipo A/B invece interessa la base dei manufatti A e B per una lunghezza complessiva di 370 m.

Come si evidenzia dalle figure precedentemente descritte (interventi tipo 1, tipo 2, tipo A/B e tipo 3) è garantita ed assicurata la continuità dello schermo di fondazione dal punto di vista progettuale in corrispondenza dei manufatti principali e dei rilevati arginali, nei tratti dove si ritiene necessaria la presenza di tali trattamenti. Si rimanda agli elaborati grafici per visionare la sviluppata dei taglioni in jet-grouting (elab.graf. BAG307ARGDPL042, BAG307ARGDPL052, BAG307ARGDPL062, BAG307ARGDPL072, BAG307ARGDSZ141).

Si precisa inoltre che non si ritiene necessaria l'estensione dello schermo di tenuta idraulica anche nella zona di collegamento tra la briglia di ingresso e la cassa, poiché le verifiche di stabilità geotecniche ed idrauliche sono comunque soddisfatte.

## 4 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

I trattamenti saranno eseguiti in verticale dal p.c., a partire dal piano di fondazione dei manufatti in c.l.s. e dei rilevati arginali.

La scansione delle operazioni per il trattamento colonnare è la seguente:

- a) esecuzione della perforazione fino alla quota di progetto con attrezzature idonee.
- b) esecuzione dell'iniezione di miscela ad altissima pressione.

L'iniezione di miscela avviene contemporaneamente ad un moto di rotazione e risalita della batteria di perforazione con velocità predeterminate. Il sollevamento delle aste avviene per "step di risalita" di lunghezza predeterminata.

L'intervento nella sua globalità consiste nella realizzazione di 664 m di trattamento Tipo 1, di 1004 m di trattamento Tipo 2, di 370 m di trattamento tipo A/B e di 175 m di trattamento Tipo 3 disposto lungo gli allineamenti dei rilevati arginali.

Ciascun trattamento da piano campagna sarà caratterizzato da un tratto a vuoto e da uno consolidato a pieno di lunghezza 14 m per quanto riguarda le colonne in jet grouting di Tipo 1, di 11 m per le colonne in jet grouting di Tipo 2 e di 17 m per il Tipo 3.

Il trattamento Tipo A consiste in colonne di consolidamento in jet grouting di diametro 1500 mm e altezza di 11 m (n.°683), mentre il trattamento di Tipo B consiste in colonne di pari diametro ma con altezza di 16 m (n.° di 1815).

Ogni allineamento in jet-grouting dovrà garantire la tenuta idraulica durante il collaudo e l'esercizio dell'opera, una volta terminati i trattamenti e i relativi controlli.

I trattamenti in corrispondenza dei manufatti A, B e C dovranno essere realizzati secondo quanto riportato negli opportuni elaborati grafici precedentemente citati.



## 5 ATTREZZATURE

Le attrezzature utilizzate per la realizzazione degli interventi saranno:

- a) Perforatrici tipo Casagrande o similari;
- b) Impianto di produzione miscela cementizia, con silos per stoccaggio cemento;
- c) Silos o vasche metalliche per stoccaggio acqua;
- d) Pompe alta pressione.

## **6 SISTEMA JET-GROUTING**

Si prevede in prima istanza un sistema monofluido, previa verifica dell'esito dei campi prova. Il sistema prevede la disgregazione e la contemporanea miscelazione del terreno in situ mediante un getto di miscela cementizia.

In una prima fase, la perforazione viene eseguita a rotazione direttamente tramite la batteria di iniezione. Il monitor è attrezzato con uno o due ugelli per la miscela cementizia.

Durante la perforazione si provvede ad immettere il fluido di perforazione che fuoriesce dal fondo dell'asta, agevolando la penetrazione nel terreno e mantenendo pulite le lame dell'utensile disgregatore.

Al termine della perforazione il passaggio al fondo viene chiuso mediante una biglia o una valvola a molla e si procede al trattamento in risalita, con l'iniezione della miscela cementizia che fuoriesce ad alta pressione attraverso gli ugelli laterali creando la colonna di terreno consolidato.

Alla modalità classica di iniezione, viene in associata, l'iniezione di acceleranti di presa attraverso un condotto delle aste. Per questo il monitor viene attrezzato con ugelli coassiali, come per il jet grouting doppio fluido.

## 7 GEOMETRIE

Gli interventi oggetto di questa relazione consistono in diaframature costituite da colonne secanti di jet grouting aventi diametro 60 cm e interasse tra le colonne di 50 cm. In corrispondenza del solo manufatto C si predisporrà una seconda fila di trattamenti jet a quinconce, con distanza di 50 cm tra le due file.

**DIAFRAMMA**  
 Disposizione planimetrica delle colonne di Jet-grouting (Diametro 60 cm)  
 Scala 1:20

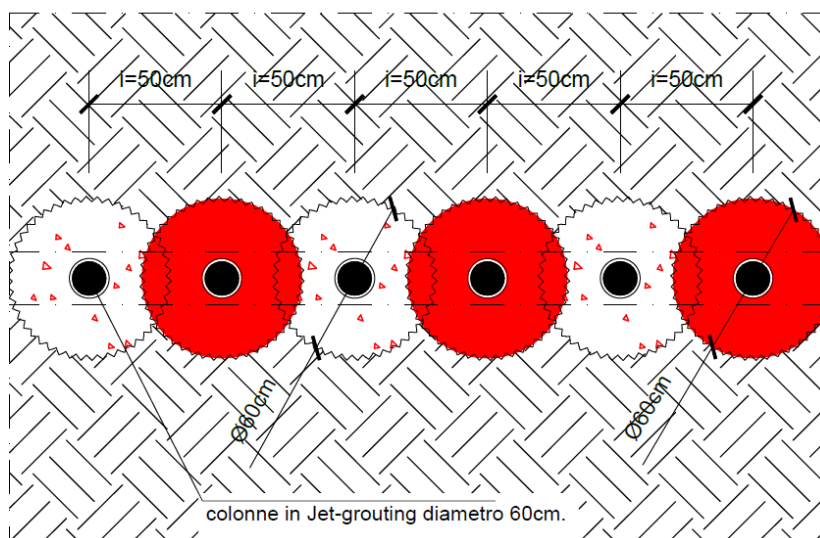


Figura 6 – Disposizione planimetrica delle colonne in jet grouting a formare lo schermo di impermeabilizzazione

**PARTICOLARE "B"**  
**DIAFRAMMA**  
 Disposizione planimetrica delle colonne di Jet-grouting tipo 2 (Diametro 60 cm)  
 Scala 1:20

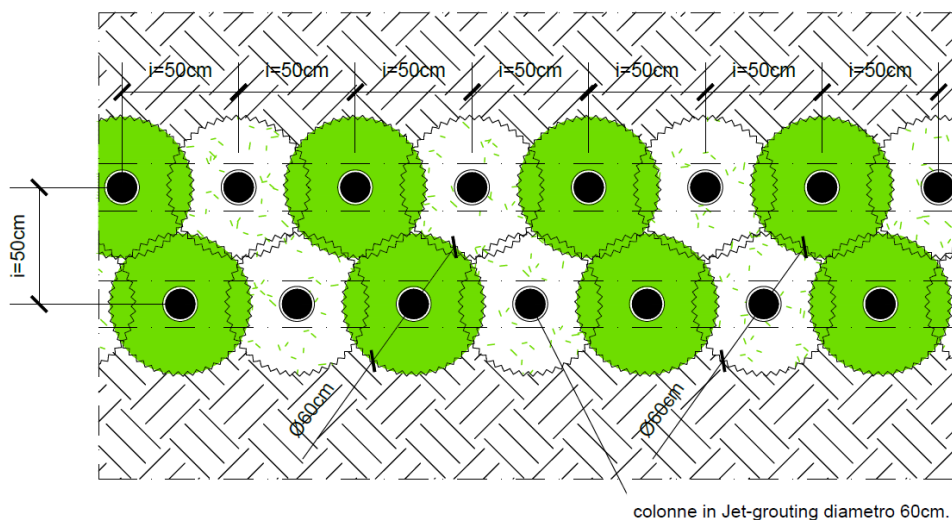
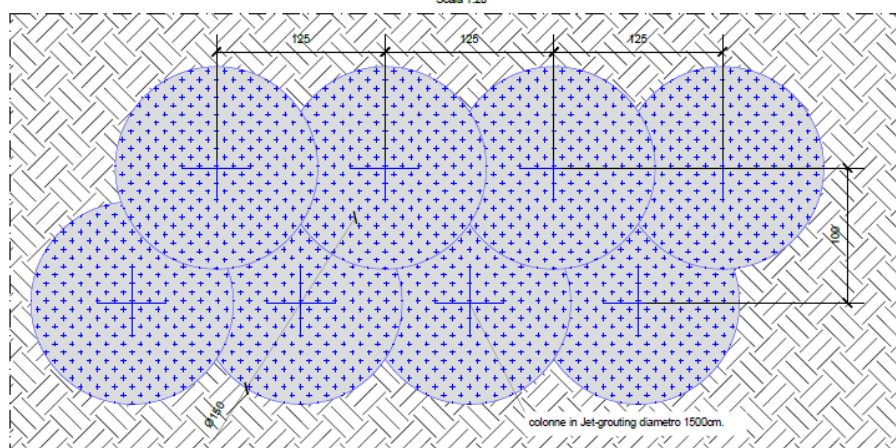


Figura 7 – Disposizione planimetrica delle colonne in jet grouting su due file a formare lo schermo di impermeabilizzazione alla base del manufatto C

**PARTICOLARE "B"**  
**DIAPHRAGMA**  
 Disposizione planimetrica delle colonne di Jet-grouting in corrispondenza dei manufatti A e B (Diametro 1500 cm)  
 Scala 1:20



Pag. 16 di 33

## 8 FASI REALIZZATIVE

### 8.1 FASI REALIZZATIVE DEL SINGOLO TRATTAMENTO

a) Tracciamento e piazzamento

Si procede al centramento della punta di perforazione sul singolo picchetto.

b) Perforazione a scendere

Si esegue una perforazione a rotazione con batterie di iniezione, attrezzando il monitor con 2 ugelli ed immettendo miscela cementizia a bassa pressione nella fase di risalita.

c) Iniezione jetting

Si passa quindi alla fase di trattamento in risalita con iniezione di miscela cementizia ed accelerante di presa.

### 8.2 FASI REALIZZATIVE DI UN GRUPPO DI TRATTAMENTI ADIACENTI

Al fine di evitare collegamenti fra un trattamento appena effettuato e quello adiacente in fase di realizzazione si definiranno colonne primarie e colonne secondarie, si procederà quindi ad effettuare il trattamento sulle prime e successivamente (dopo un numero definito di trattamenti, valutato in fase operativa) si procederà a realizzare le colonne secondarie.



## 9 MISCELE E PARAMETRI ESECUTIVI

I parametri operativi sono riportati nel seguito. Tali parametri andranno comunque verificati in sede di campo prova e in corso d'opera ed eventualmente modificati su indicazione del progettista in funzione dell'esito del monitoraggio e dei controlli effettuati.

- Numero ugelli:	2
- Diametro ugelli:	3.5 mm
- Rapporto acqua/cemento della miscela cementizia:	A/C=1.3
- Pressione miscela:	350 bar
- Portata miscela cementizia:	250 l/min
- Tempo di estrazione:	0.91 min/m
- Velocità di estrazione:	110 cm/min
- Velocità di rotazione:	5 giri/min
- Massa di cemento per metro cubo di trattamento:	496 kg/mc
- Volume miscela iniettato per metro lineare:	228 l/m
- Cemento iniettato:	140 kg/m
- Percentuale sostituzione %:	80%
- Energia specifica tot.:	8 MJ/m

## 10 CAMPI PROVA JET GROUTING

Il presente capitolo riguarda le specifiche tecniche ed esecutive dei campi prova dei trattamenti mediante jet grouting per la realizzazione dei setti di tenuta idraulica.

I campi prova sono necessari per fornire elementi utili al fine di individuare:

- I parametri di iniezione più opportuni per ottenere i risultati attesi;
- La maglia più opportuna delle perforazioni che dipende dall'errore di verticalità e dal diametro delle colonne;
- La corretta compenetrazione delle colonne jet-grouting;
- La resistenza e i parametri elastici del materiale consolidato;
- L'omogeneità del trattamento;
- La permeabilità della zona trattata.

### 10.1 UBICAZIONE DEI CAMPI PROVA

L'ubicazione dei campi prova ha lo scopo di valutare se i parametri e le geometrie del trattamento sono ideali per tutte le zone geologicamente rappresentative in cui si andrà ad eseguire lo schermo idraulico con funzione definitiva. Per quanto riguarda l'intervento di Tipo 1 si predispongono 2 campi prova lungo l'allineamento dell'arginatura Nord del compartimento 2, al fine di valutare l'efficacia e la fattibilità del trattamento sia nell'area limitrofa al manufatto C, sia nella zona più ad Est.

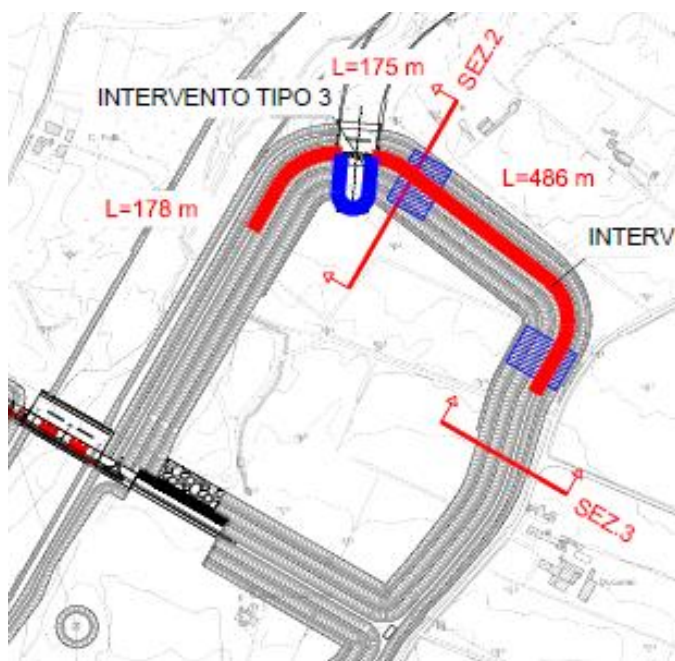


Figura 10 – Ubicazione dei campi prova per l'intervento di Tipo 1

Per quanto riguarda invece il trattamento di Tipo 2, si predispongono 5 campi prova al fine di indagare l'allineamento di arginatura centrale (separazione tra i due compartimenti) e manufatti A e B e le arginature a Sud e a Nord.

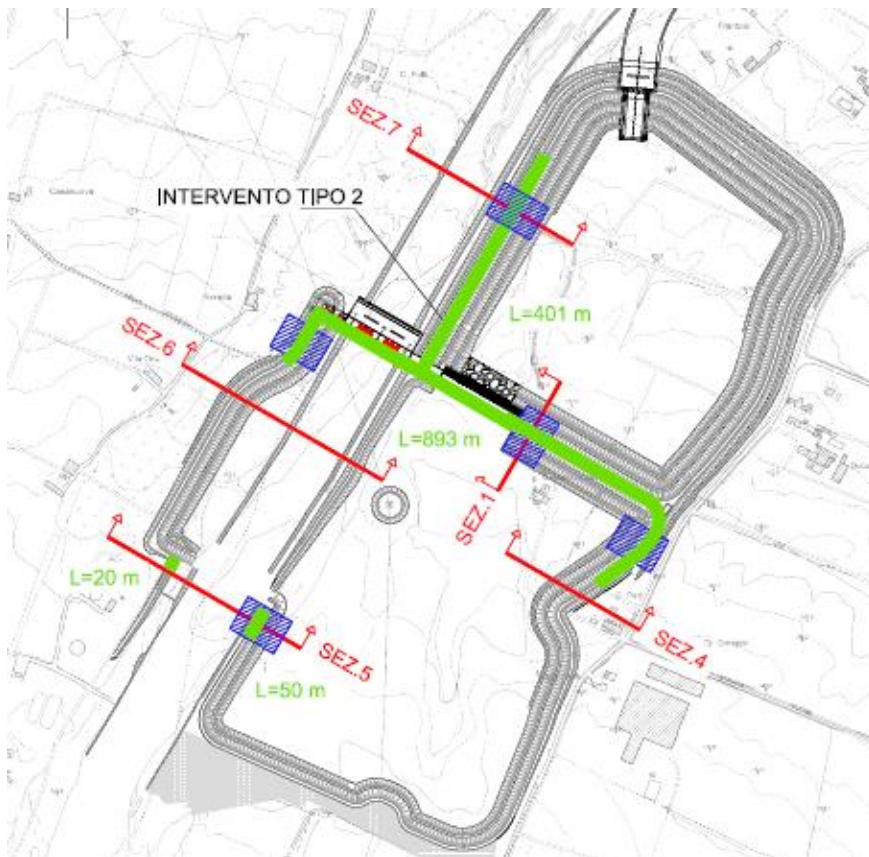


Figura 11 – Ubicazione dei campi prova per l'intervento di Tipo 2

## 10.2 GEOMETRIA DEI CAMPI PROVA

Si prevede la realizzazione dei trattamenti per il campo prova tramite l'esecuzione di 5 colonne in jet grouting per ogni zona di prova.

Le colonne dovranno avere medesima geometria e interasse di quelle del trattamento definitivo, ovvero diametro 60 cm e interasse 50 cm, il trattamento Tipo 1 ha una lunghezza di 14 m, mentre il trattamento Tipo 2 dovrà avere una lunghezza di 11.

Si predisporranno 2 fori di indagine in corrispondenza dell'area di terreno soggetta a trattamento, ad una distanza di circa 75 cm e due fori di indagine esterni all'area soggetta a trattamento.

I carotaggi per i 2 fori interni all'area trattata dovranno essere eseguiti a recupero di nucleo.

Al fine di controllare eventuali sollevamenti/cedimenti del p.c. si andranno a predisporre 4 caposaldi CS nell'intorno delle colonne di prova.

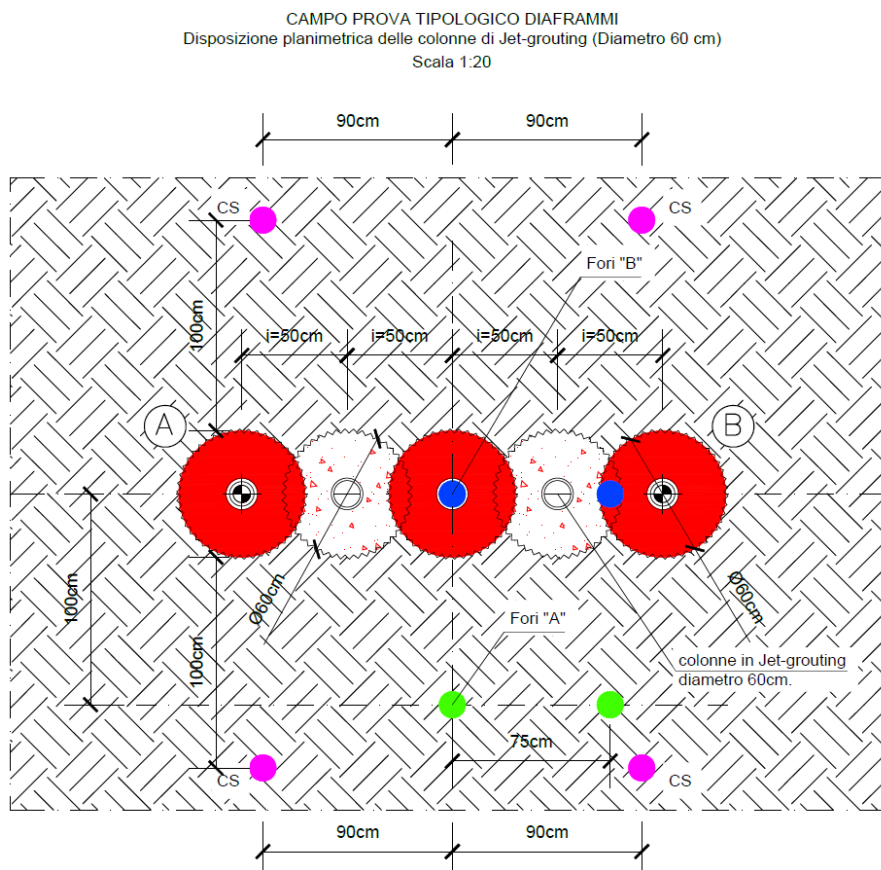


Figura 12 – Campo prova tipologico jet grouting

### 10.3 COMPOSIZIONE INIZIALE DELLE MISCELE

La composizione iniziale delle miscele e i parametri iniziali di prova sono quelli previsti in progetto, definiti all'interno del capitolo 9.

Tali parametri andranno verificati in corso d'opera ed eventualmente modificati su indicazione del progettista.

## 10.4 PROVE E CONTROLLI

Prove, controlli e prescrizioni del campo prova sono le medesime adottate per i trattamenti definitivi descritte all'interno del capitolo 11 della presente relazione, a meno delle specifiche di seguito riportate.

#### 10.4.1 Controlli alla scala della singola colonna

I controlli alla scala della singola colonna, in sede di campo prova, dovranno essere eseguiti per ogni colonna di trattamento.

Quindi per la singola colonna si dovrà verificare:

- Parametri di iniezione;
- Tracciamento del piazzamento;

- Deviazione del foro;
- Diametro reso;

Per quanto riguarda invece:

- Controllo sul refluo;
- Controllo della miscela;

Tali controlli dovranno effettuarsi in numero di 4 per ogni campo prova, quindi si eseguiranno 4 prelievi di campioni su refluo con le quali si produrranno provini al fine di effettuare prove di schiacciamento e valutare una resistenza a compressione pari o superiore a 3 MPa.

Si preleveranno inoltre 4 campioni dalle carote estratte a maturazione avvenuta del trattamento per eseguire prove di schiacciamento a 28gg e verificare una resistenza a compressione pari o superiore a 3 MPa.

#### **10.4.2 Controlli alla scala del diaframma**

Le prove da effettuare per verificare continuità e impermeabilità dello schermo idraulico sono:

- Prove Lefranc e/o Lugeon;
- Prove Cross-Hole.

Tali prove sono da effettuarsi in numero di due per ogni campo prova nei fori di cui in precedenza, sia prima del trattamento che post-trattamento a maturazione avvenuta.

#### **10.5 MONITORAGGIO A PIANO CAMPAGNA**

In prossimità dei campi prova sono disposti 4 capisaldi, al fine di valutare eventuali sollevamenti e/o cedimenti anomali riscontrati in fase di trattamento.

Le letture al fine del monitoraggio avranno frequenza giornaliera fino a completamento del monitoraggio.



## 11 CONTROLLI E PRESCRIZIONI IN FASE REALIZZATIVA

In fase realizzativa dei trattamenti sia di Tipo 1 che di Tipo 2 si dovranno effettuare controlli e si dovranno seguire le prescrizioni riportate nel seguito. I controlli in fase realizzativa si effettueranno ogni 50 m sugli allineamenti di progetto che andranno quindi a formare il diaframma di tenuta idraulica necessario in fase di esercizio.

### 11.1 CONTROLLI ALLA SCALA DELLA SINGOLA COLONNA

#### 11.1.1 Misura dei parametri di iniezione

Durante l'iniezione il Perforatore e l'Impiantista controlleranno sistematicamente che la pressione indicata sul manometro coincida con i parametri stabiliti.

I dati di iniezione verranno monitorati mediante il sistema di controllo e registrazione automatico.

Un sistema di registrazione dati equipaggerà tutte le perforatrici. L'apparecchiatura elettronica è in grado di registrare, per ogni perforazione, i seguenti parametri significativi:

- pressione dei fluidi;
- portata dei fluidi;
- velocità di rotazione.

#### 11.1.2 Misura del tracciamento del piazzamento

A partire dalle coordinate di progetto bisognerà individuare con precisione (tolleranza centimetrica: <2cm) sul terreno la posizione di ogni singola perforazione (interassi, distanze da punti di riferimento). Ciascun trattamento avrà un codice univoco.

L'individuazione e la codifica sul terreno, di ogni singolo punto di perforazione, verrà effettuata dal Topografo; si dovrà quindi prestare massima cura durante il piazzamento della macchina con il corretto centramento della punta di perforazione rispetto al picchetto che segnerà la posizione e il codice del foro.

L'allineamento della antenna di perforazione verrà controllato su due assi fra loro ortogonali, con un livello a bolla.

Il punto di lancio a p.c. sarà individuato con sistema GPS in base alle coordinate di progetto.

#### 11.1.3 Misura della deviazione dei fori

Per garantire il requisito di impermeabilità a partire dalla maglia e dai diametri stabiliti e che verranno appunto testati in sede di campo prova, è invece localmente richiesta una deviazione massima pari a 0.5%.

A questo scopo si ritiene necessario che la deviazione di ogni trattamento venga misurata mediante una strumentazione specifica in modo da verificare a diverse quote da piano campagna le geometrie dei trattamenti appena eseguiti ed eventualmente riconsolidare le zone che eventualmente dovessero rilevarsi critiche (presenza di discontinuità).

Lo strumento per effettuare tali controlli sarà installato in fondo alla batteria di aste, tra l'utensile di perforazione ed il monitor portaugelli per il jet.

Le misure di inclinazione/deviazione della perforazione rispetto alla verticale, a profondità predefinite e per tutta la lunghezza del foro, verranno eseguite nel corso della perforazione ed i dati acquisiti mantenuti nella memoria dello strumento.

Completata la perforazione, si procederà, come di consueto, all'esecuzione del trattamento jet grouting per la realizzazione della colonna in progetto.

Al completamento del trattamento jet grouting di ogni colonna, una volta estratta completamente la batteria di aste recante al fondo lo strumento di misura, con un apposito dispositivo verranno trasferiti i dati di deviazione registrati dallo strumento ad un computer portatile, per successiva elaborazione e restituzione.

Mediante uno specifico software, i dati acquisiti verranno elaborati al fine di determinare in termini assoluti la traiettoria della perforazione lungo tutta la profondità e, conseguentemente, la posizione effettiva della colonna di terreno consolidato realizzata.

La restituzione 3D della posizione assoluta di tutte colonne consentirà di

- individuare eventuali carenze del trattamento in termini di presenza di discontinuità all'interno del volume di terreno trattato;
- di consolidare le zone che eventualmente dovessero rilevarsi critiche.

#### **11.1.4 Misura del diametro delle colonne**

La verifica del diametro reso delle colonne verrà effettuata con perforazioni verticali tra i trattamenti che consentiranno:

- di individuare eventuali carenze del trattamento in termini di presenza di discontinuità all'interno del volume di terreno trattato;
- di consolidare le zone che eventualmente dovessero rilevarsi critiche;
- Il numero, l'intensità e la distribuzione dei carotaggi dipenderanno anche dall'esito degli altri controlli (es: deviazione aste, ...).

#### **11.1.5 Controllo del refluo**

Il refluo andrà isolato e convogliato alla vasca di raccolta ed effettuato un controllo sulle quantità e sulla continuità del medesimo. Tali aspetti saranno verificati tramite una prova di schiacciamento ogni 100 colonne su provino cubico di refluo.

#### **11.1.6 Controllo della miscela**

Prova di schiacciamento ogni 100 colonne su provino cubico e controllo sulla composizione e sulle caratteristiche della miscela (viscosità marsh, densità).

La resistenza a compressione del provino dopo 28 giorni dovrà essere almeno pari a 3 MPa.

## 11.2 CONTROLLI ALLA SCALA DEL DIAFRAMMA

Al fine di garantire la continuità dello schermo idraulico non solamente in lunghezza ma anche lungo l'estensione globale del trattamento si effettueranno prove geofisiche, inoltre si andranno ad eseguire prove al fine di valutare la tenuta idraulica.

### 11.2.1 Tenuta idraulica del trattamento (Lefranc e/o Lugeon)

Dovranno essere eseguite ogni 50 colonne prove Lefranc e/o Lugeon al fine di verificare l'effettiva tenuta idraulica del setto in opportuni fori realizzati tra le colonne di jet grouting (fori in numero di 2 ogni 50 colonne).

#### 11.2.1.1 Descrizione della prova di permeabilità Lefranc

Le prove di permeabilità in sito sono intese a determinare il coefficiente di permeabilità dei terreni. Le prove Lefranc sono eseguibili a fondo di un foro di sondaggio.

Le modalità di esecuzione saranno le seguenti:

- a) realizzazione di una sezione filtrante a fondo-foro, sollevando per una lunghezza prestabilita la colonna di rivestimento o eseguendo un tratto di perforazione sotto la scarpa della colonna stessa; tutto il tratto del foro non interessato dalla prova deve essere rivestito con una tubazione e particolare cura va posta per evitare la risalita dell'acqua all'esterno del tubo di rivestimento, ad esempio mediante la posa in opera di un (packer) otturatore pneumatico atto ad isolare la cavità di prova immediatamente sotto la scarpa del rivestimento.
- b) a seconda se la prova avvenga "a carico costante" o "a carico variabile" si procederà mantenendo fisso il livello dell'acqua immessa nel tubo di rivestimento e misurando la portata di regime cioè il volume necessario a mantenere tale livello costante ad intervalli temporali predeterminati oppure misurando la variazione nel tempo del livello dell'acqua nel foro, dopo aver creato un temporaneo innalzamento (abbassamento per prove eseguite sotto falda) riempiendo il foro d'acqua (emungendo acqua dalla falda).

Nel caso che il terreno interessato dalla cavità filtrante tenda a franare o a rifluire è necessario adottare particolari provvedimenti per la creazione della cavità di prova procedendo ad esempio come segue:

- a) Rivestire il foro fino al fondo con tubazione provvisoria;
- b) Immettere nel fondo del foro ghiaia pulita o materiale a permeabilità decisamente superiore a quella del terreno da provare;
- c) Sollevare di qualche decimetro la colonna di rivestimento, curando che la base di questa non risalga mai al di sopra dello strato di ghiaia immessa.

In particolare nel corso della prova per garantirne l'affidabilità si dovrà verificare:

- a) la realizzazione di una cavità filtrante di geometria ben definita, con minimo disturbo del terreno circostante (nel caso di sondaggio ciò implica la scelta di idonei mezzi ed utensili di perforazione e l'abolizione di ogni additivo, come bentonite e simili, all'eventuale acqua di circolazione);
- b) l'ottenimento di un moto laminare dell'acqua immessa (o estratta) secondo schemi di flusso più simili possibili ai modelli teorici.

Infine le letture avverranno con questa frequenza:

- 1 lettura al minuto da 0 a 15';
- 1 lettura ogni 2 minuti da 15' a 30';
- 1 lettura ogni 5 minuti da 30' a 60'.

### 11.2.2 Prove geofisiche (Cross-Hole)

Stabiliti preventivamente tramite i picchetti i punti di perforazione dei trattamenti, dovranno essere eseguite due prove Cross-Hole: una su terreno vergine (fori verdi) ed una su terreno consolidato (fori blu), al fine di ottenere il profilo di onde di taglio Vs del terreno che ci si appresta a trattare e confrontarle con quelle del terreno trattato; tali prove dovranno avere uno sviluppo tale da raggiungere la profondità massima dei consolidamenti e saranno eseguite in opportuni fori predisposti sia all'interno del futuro diaframma, sia all'esterno di esso, in modo da verificare la continuità sia lungo l'allineamento stesso, sia trasversalmente ad esso. Si andranno quindi ad eseguire 4 fori ogni 50 colonne.

Successivamente all'esecuzione dei trattamenti su terreno vergine si dovrà eseguire nuovamente la prova Cross-Hole, in corrispondenza del setto (tra i fori blu), al fine di valutare l'incremento di velocità delle onde di taglio Vs dovuta al consolidamento.

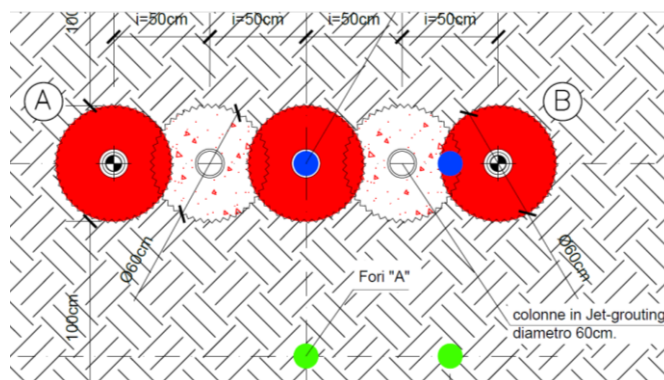


Figura 13 – Fori “A” (in verde) eseguiti all'esterno dell'area trattata e fori “B” (in blu) eseguiti all'interno dell'area trattata

## 12 VERIFICA STATICA DEI CONSOLIDAMENTI

Durante la fase di esercizio dell'opera in esame, il diaframma in jet grouting sarà soggetto al carico del rilevato, che genera dunque uno sforzo di compressione che, se troppo elevato, può comportare la rottura per schiacciamento del setto.

In questo capitolo si effettua dunque la verifica dei diaframmi in jet grouting come setto compresso.

Le sollecitazioni sono ottenute a partire dalle analisi PLAXIS effettuate con approccio A2+M2 presentate all'interno della Relazione Geotecnica riguardo la stabilità dei rilevati arginali e delle loro fondazioni. Per quanto riguarda le fasi di calcolo, la stratigrafia ed i parametri geotecnici utilizzati si rimanda alla relazione "BAG307ARGRRE010".

Le Sezioni di verifica per i setti in jet-grouting sono quindi:

- Sezione 1;
- Sezione 2;
- Sezione 7;

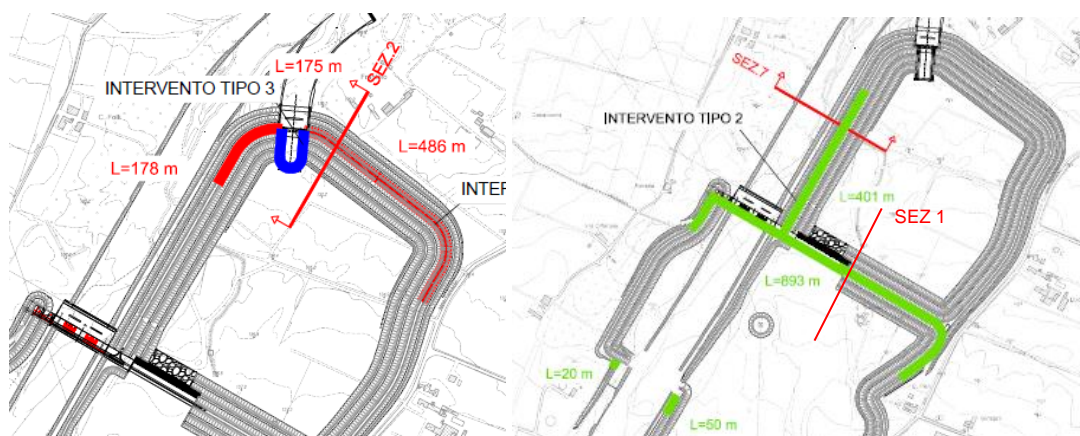


Figura 14 – Sezioni di calcolo considerate per le verifiche a compressione del setto in jet-grouting

### 12.1 RESISTENZE DI PROGETTO

La verifica viene svolta considerando il setto di tenuta idraulica come un pilastro non armato soggetto a sola azione di compressione, costituito da un materiale avente una resistenza a compressione a 28gg di 3 MPa.

Il numero di prove sul materiale estratto durante l'esecuzione dei campi prova e durante l'esecuzione dei trattamenti definitivi è tale da considerare tale valore di resistenza come valore di resistenza caratteristico ( $R_{ck}$ ).

Secondo normativa quindi il valore di  $f_{ck}$  del materiale in esame è pari a  $0.83 \cdot R_{ck} = 2.49$  MPa.

Si ottiene dunque un valore di  $f_{cd}$  pari a 1.41 MPa e di conseguenza una azione assiale resistente di circa 847 kN per metro lineare di setto in jet grouting.



## 12.2 AZIONI DI PROGETTO

Le azioni di progetto sono estratte dai modelli di calcolo delle sezioni sopra citate in corrispondenza della fase di fine costruzione del rilevato arginale. Vengono riportate e verificate le sollecitazioni massime lungo il setto in jet e nel tratto innestato all'interno del rilevato arginale.

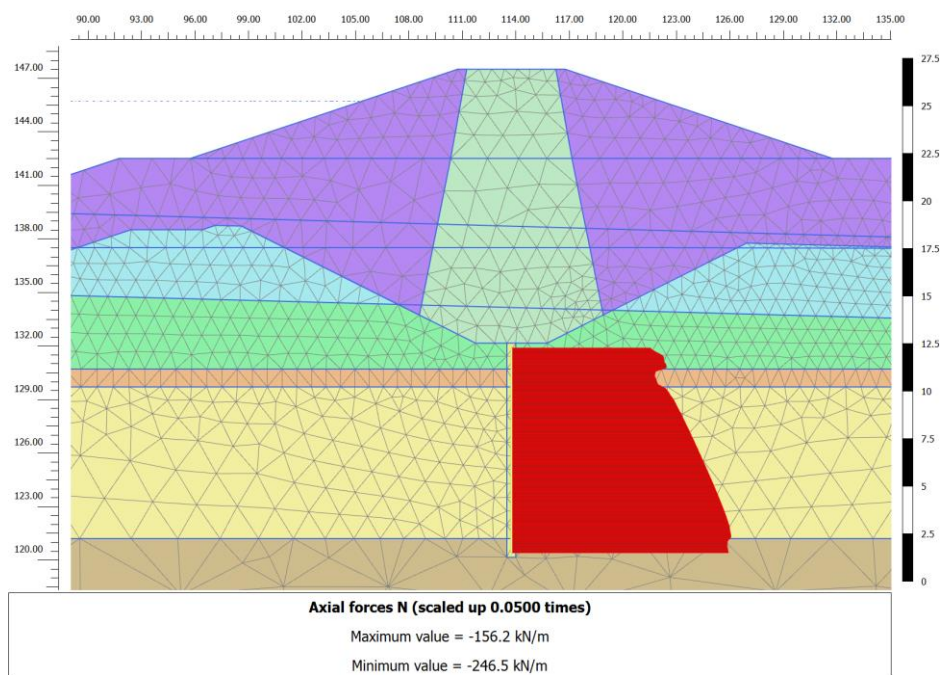


Figura 15 – Azione assiale all'interno del setto in jet grouting – Sezione 1

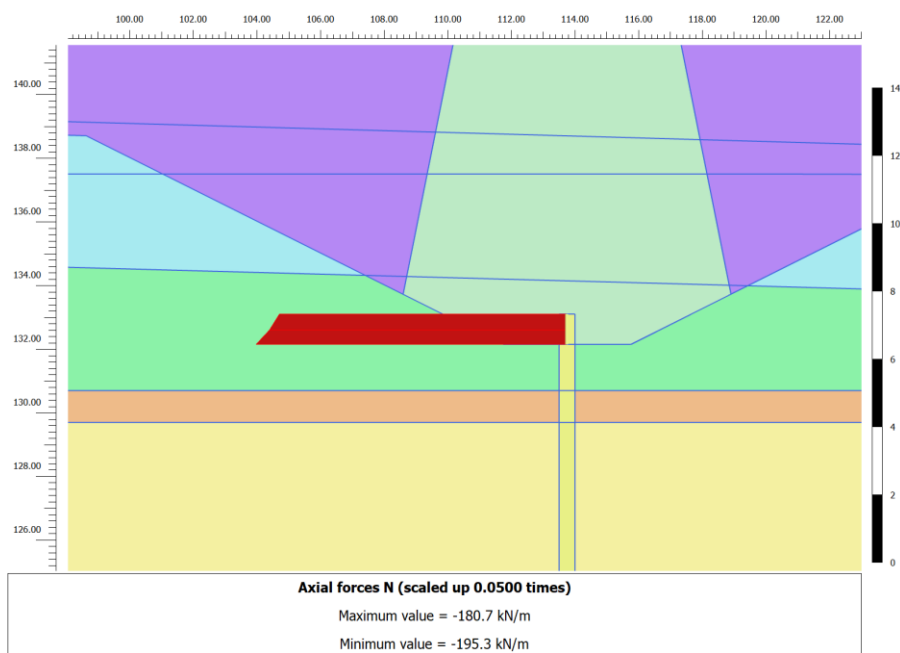


Figura 16 – Azione assiale all'interno del setto in jet grouting – Sezione 1 – tratto interno al rilevato arginale

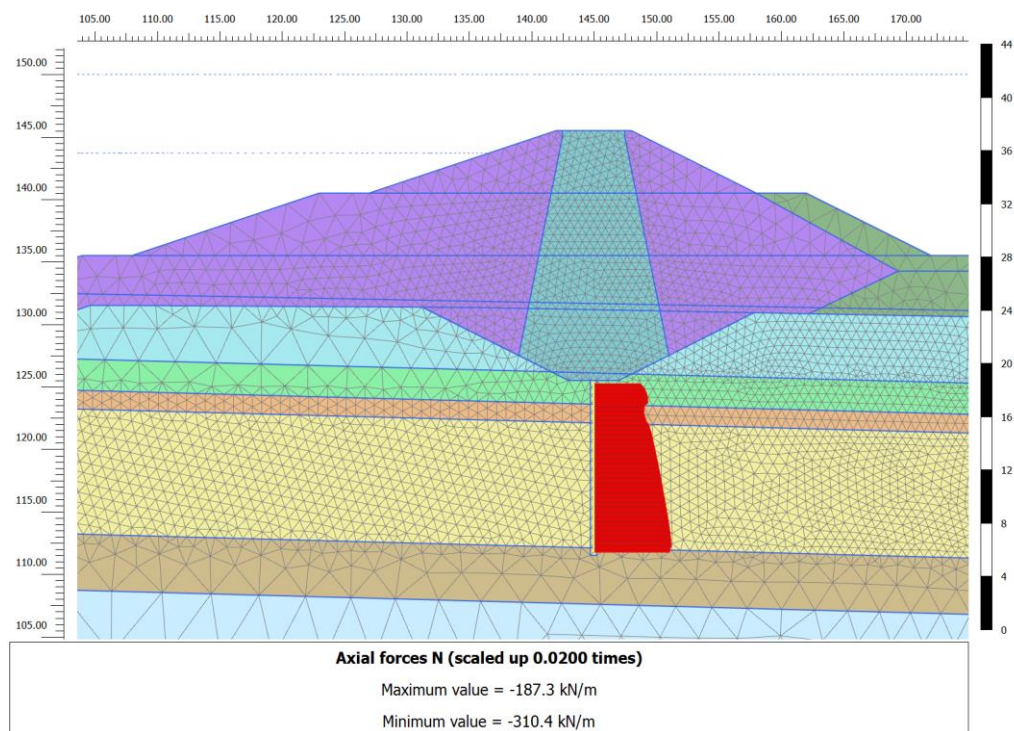


Figura 17 – Azione assiale all'interno del setto in jet grouting – Sezione 2

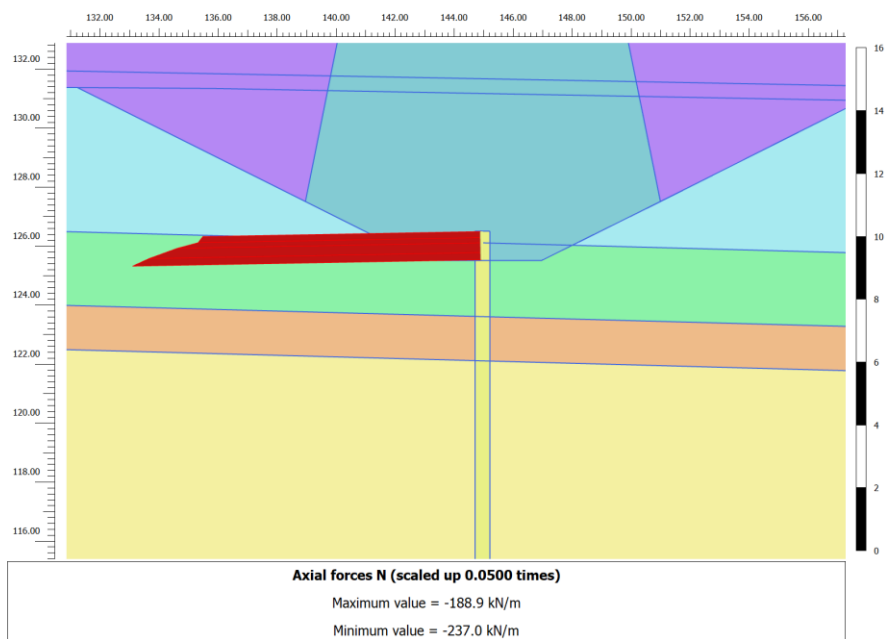


Figura 18 – Azione assiale all'interno del setto in jet grouting – Sezione 2 – tratto interno al rilevato arginale

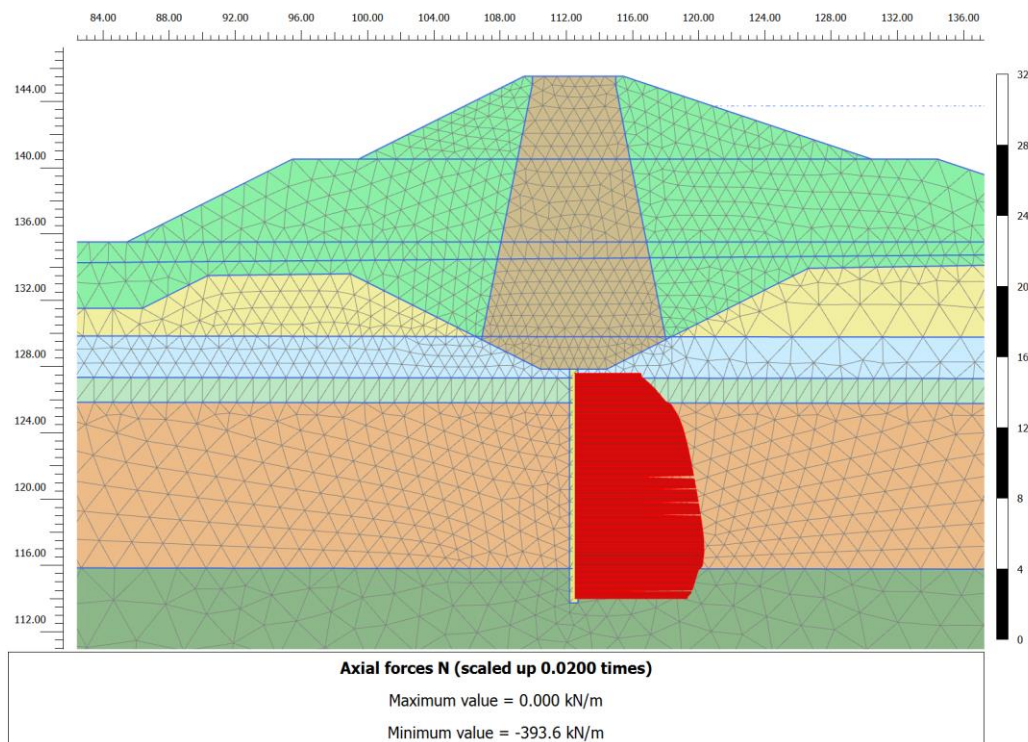


Figura 19 – Azione assiale all'interno del setto in jet grouting – Sezione 7

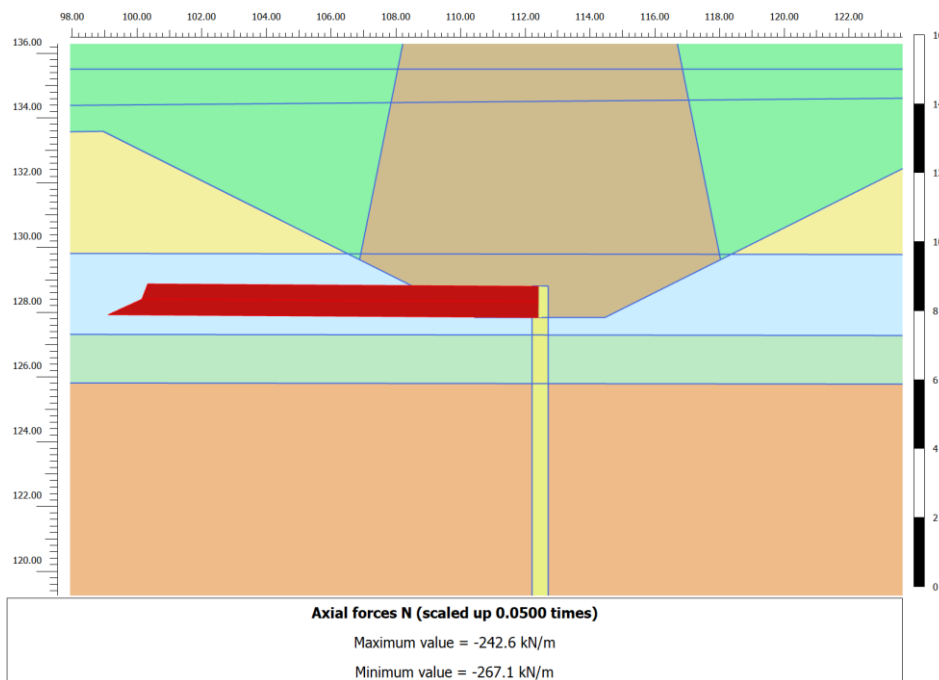


Figura 20 – Azione assiale all'interno del setto in jet grouting – Sezione 7 – tratto interno al rilevato arginale

Tabella 8 – Sollecitazioni massime di compressione estratte dai modelli di calcolo

Sezione di calcolo	N SLE [kN/m]	N SLU [kN/m]	M [kNm/m]
Sezione1	-246.5	-320.45	0
Sezione2	-310.4	-403.52	0
Sezione7	-393.6	-511.68	0

Tabella 9 – Sollecitazioni massime di compressione estratte dai modelli di calcolo – tratto innestato nel rilevato arginale

Sezione di calcolo	N SLE [kN/m]	N SLU [kN/m]	M [kNm/m]
1	-195.3	-253.89	0
2	-237	-308.1	0
7	-267	-347.1	0

### 12.3 VERIFICHE IN CONDIZIONI SLE

In tale paragrafo si svolgono le verifiche delle tensioni di esercizio in condizioni SLE, la tensione massima non deve superare il valore di tensione ammissibile, calcolato come  $0.45 \cdot f_{ck} = 1.12 \text{ MPa}$ .

Tabella 10 – Verifiche delle tensioni di esercizio SLE

VERIFICHE DELLE TENSIONI DI ESERCIZIO - Fine costruzione					
SEZIONE RESISTENTE			TENSIONI DI CALCOLO		
Sezione	Larghezza (cm)	Altezza (cm)	Combinazione	$\sigma_{c,max}$ (MPa)	$\sigma_{c,amm}$ (MPa)
1	100	60	QUASI PERMANENTE	-0.411	1.121
2	100	60	QUASI PERMANENTE	-0.517	1.121
7	100	60	QUASI PERMANENTE	-0.656	1.121

Tabella 11 – Verifiche delle tensioni di esercizio SLE – tratto innestato nel rilevato arginale

VERIFICHE DELLE TENSIONI DI ESERCIZIO - Fine costruzione					
SEZIONE RESISTENTE			TENSIONI DI CALCOLO		
Sezione	Larghezza (cm)	Altezza (cm)	Combinazione	$\sigma_{c,max}$ (MPa)	$\sigma_{c,amm}$ (MPa)
1	100	60	QUASI PERMANENTE	-0.326	1.121
2	100	60	QUASI PERMANENTE	-0.395	1.121
7	100	60	QUASI PERMANENTE	-0.445	1.121

### 12.4 VERIFICHE IN CONDIZIONI SLU

Si effettuano verifiche dunque in condizioni SLU nella condizione maggiormente gravosa dal punto di vista del carico agente sul setto, tale condizione si verifica dunque a fine costruzione del rilevato, in assenza di invaso.

Le sollecitazioni vengono moltiplicate per 1.3.

Tabella 12 – Sollecitazioni SLU

VERIFICHE DI RESISTENZA IN CONDIZIONI STATICHE (SLU) - Fine costruzione					
SEZIONE RESISTENTE			AZIONI DI PROGETTO		
Sezione	Larghezza (cm)	Altezza (cm)	Combinazione	$N_{Ed}$ (kN/m)	$M_{Ed}$ (kNm/m)
1	100	60	FONDAMENTALE	-320.5	0
2	100	60	FONDAMENTALE	-403.5	0
7	100	60	FONDAMENTALE	-511.7	0

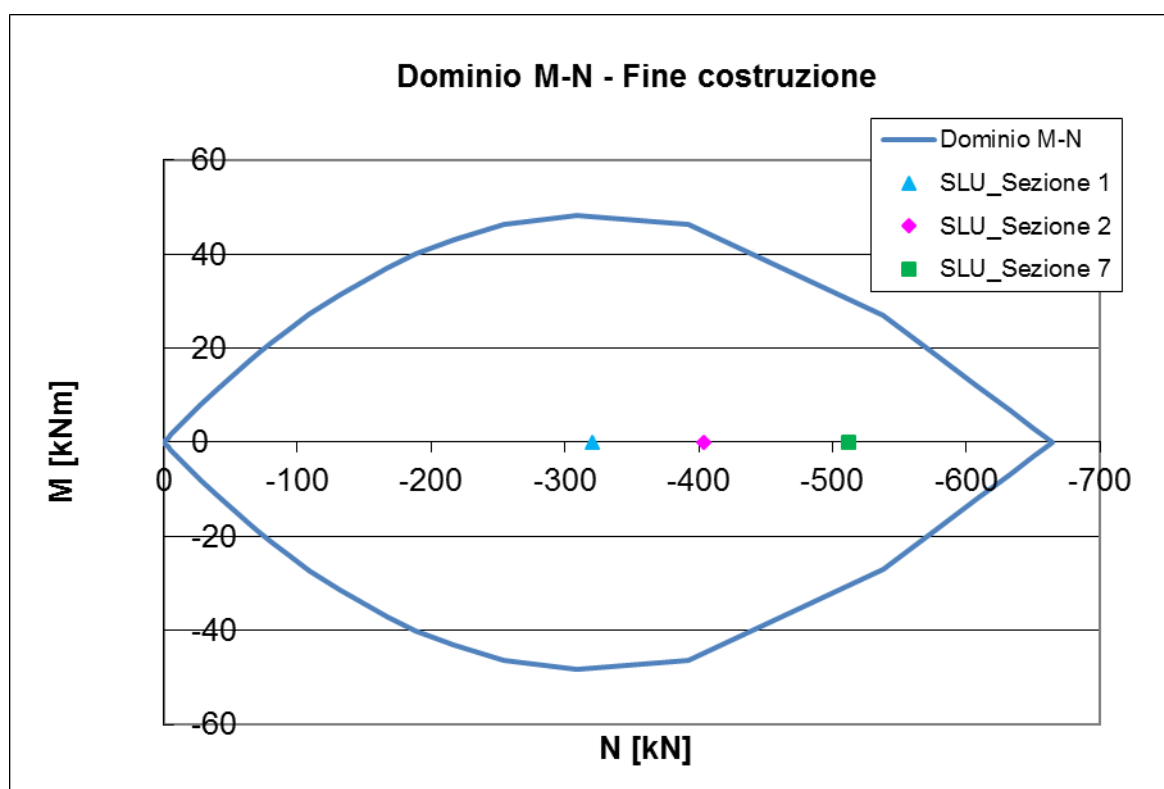


Figura 21 – Verifica SLU per le sezioni di calcolo considerate

Tabella 13 – Sollecitazioni SLU – tratto innestato nel rilevato arginale

VERIFICHE DI RESISTENZA IN CONDIZIONI STATICHE (SLU) - Fine costruzione					
SEZIONE RESISTENTE			AZIONI DI PROGETTO		
Sezione	Larghezza (cm)	Altezza (cm)	Combinazione	$N_{Ed}$ (kN/m)	$M_{Ed}$ (kNm/m)
1	100	60	FONDAMENTALE	-253.9	0
2	100	60	FONDAMENTALE	-308.1	0
7	100	60	FONDAMENTALE	-347.1	0



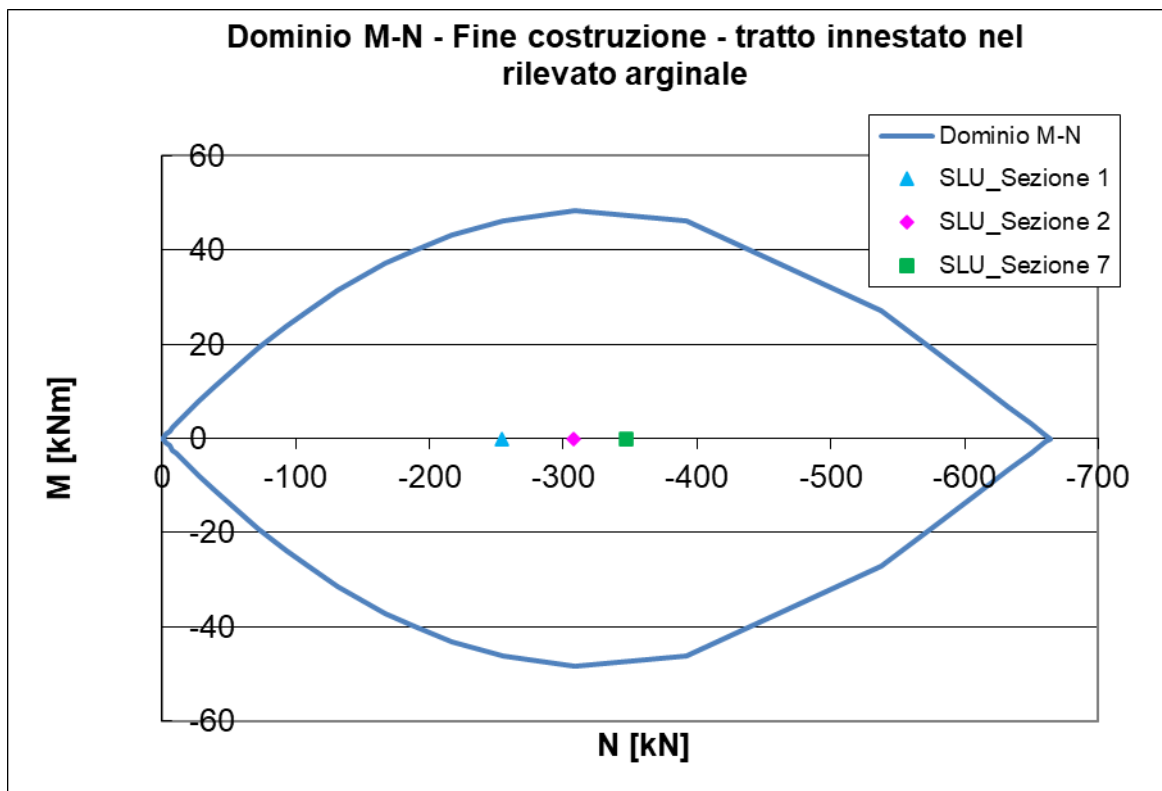


Figura 22 – Verifica SLU per le sezioni di calcolo considerate – tratto innestato nel rilevato arginale