

# PERIZIA DI VARIANTE N. 3

**INTERVENTI PER IL DRAGAGGIO DI 2,3 M m<sup>3</sup> DI SEDIMENTI IN AREA MOLO  
POLISETTORIALE PER LA REALIZZAZIONE DI UN PRIMO LOTTO DELLA CASSA DI  
COLMATA FUNZIONALE ALL'AMPLIAMENTO DEL V SPORGENTE DEL PORTO DI TARANTO**

**Progetto di Variante n. 3**

**MARGINAMENTO A TERRA - Raccordo Vertice "C"**

**Relazione di Tenuta Idraulica**

SCALA:

CODICE PROGETTO  
PUG102

CODICE ELABORATO  
PC-IDR-MT-00-00-RE-01-A

REV  
A

REP  
138

REVISIONI	C					
	B					
	A	GEN. 2020	EMISSIONE	VARI	ALTIERI	TOSIANI
	REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO

IL PROGETTISTA



**TECNOSTRUTTURE S.r.l.**

SEDE LEGALE:  
Piazza Regina Margherita n.27 - 00198 ROMA  
SEDE OPERATIVA:  
Via delle Querciole n. 13 - 00037 Segni (RM)



## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>VERIFICA DELLA TENUTA IDRAULICA (VERTICE C) .....</b>	<b>3</b>
2.1	DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE .....	4
2.2	DESCRIZIONE DEL MODELLO ADOTTATO .....	5
2.3	RISULTATI DELLE ANALISI .....	8

## 1 PREMESSA

La presente relazione, ad integrazione ed approfondimento del Progetto Esecutivo, illustra la modellazione ed i relativi risultati ottenuti ai fini della verifica della tenuta idraulica dei nodi di singolarità tra marginamento a mare e marginamento a terra della cassa di colmata in fase di realizzazione. Le predette analisi tengono altresì specificamente conto dei vincoli costruttivi evidenziatisi in corso di realizzazione delle predette opere.

Si tratterà nello specifico il vertice C, in corrispondenza del V Sporgente, rispetto al quale, sono stati previsti una serie di accorgimenti tecnici-costruttivi al fine di consentire una adeguata sovrapposizione/compenetrazione delle due diverse strutture, essenzialmente a scopi di conterminazione idraulica. Quanto previsto nella presente sede progettuale, come detto, tiene conto degli effettivi vincoli costruttivi relativi agli all'infissione di pali e diaframmi nel tratto terminale dell'allineamento BC in prossimità del V Sporgente, che non hanno consentito in tale tratto di raggiungere le geometrie previste in Progetto Esecutivo.

Ai fini della analisi condotte, l'unica ragionevolmente possibile via di filtrazione è stata individuata all'interno del dominio poroso interposto tra le strutture metalliche di pali e diadrammi, relative al marginamento a mare e, la giustaposizione con il diaframma plastico, costituito da pannellature continue in miscela ternaria spessore 60cm ed interposto telo in HDPE, realizzato nella parte a terra. Al fine di garantire l'adeguata saturazione tra le due strutture, tale dominio viene trattato, esternamente, prevedendo la realizzazione di un pannello in miscela plastica vergine, da realizzarsi in escavazione e sostituzione integrale del terreno in posto e, internamente, prevedendo il trattamento del volume residuale con coronelle compenstrate di colonne in jet-grouting, realizzate secondo la medesima tecnologia prevista per l'occlusione dei gargami palo-diaframma prevista in Progetto Esecutivo.

Le verifiche idrauliche sono svolte ai fini del conseguimento di una permeabilità della cinturazione equivalente ad una barriera verticale con spessore di 1.0 m dotata di una conducibilità idraulica inferiore a  $k = 1.0 \cdot 10^{-9}$  m/s in conformità alla *Direttiva 1999/31/CE del Consiglio, del 26 aprile 1999, relativa alle discariche di rifiuti - Gazzetta ufficiale n. L 182 del 16/07/1999*).

Si rimanda agli elaborati grafici e descrittivi generali e di calcolo strutturale per gli specifici dettagli relativi alla soluzione prevista in termini tecnologici e costruttivi.



### **Autorità Portuale di Taranto**

Interventi per il dragaggio di 2,3 M m<sup>3</sup> di sedimenti in area Molo Polisettoriale e per la realizzazione di un primo lotto della cassa di colmata funzionale all'ampliamento del V Sporgente del Porto di Taranto

*Relazione tecnica – Verifiche di tenuta idraulica dei nodi tra i marginamenti a mare e a terra – Vertice C*

Data: 09/2019

Rev. A

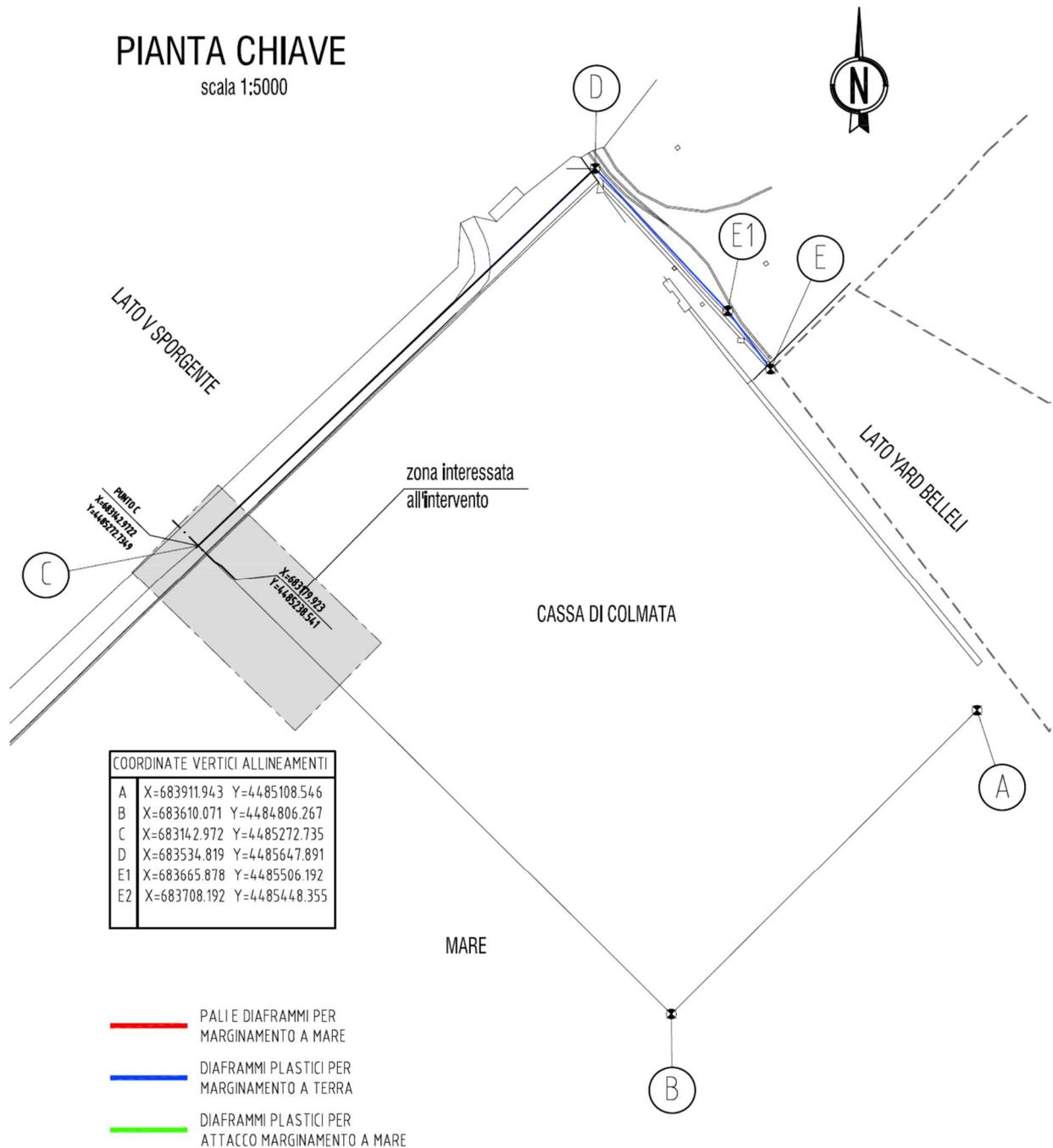


Figura 1: Geometria cassa di colmata

## 2 VERIFICA DELLA TENUTA IDRAULICA (VERTICE C)

Si riportano di seguito i risultati dello specifico studio finalizzato alla verifica dei requisiti di permeabilità equivalente del marginamento a mare, rispetto alle condizioni locali del vertice C, tenuto conto degli specifici accorgimenti adottati e finalizzati all'impermeabilizzazione del dominio intercluso tra il predetto e il marginamento a terra. Tale dominio, rappresenta l'unica via di possibile passaggio dei moti di filtrazione tra le due barriere: marginamento a mare costituito da pali e diaframmi e marginamento a terra costituito da pannelli compenetrati in miscela plastica con telo in HDPE interposto.

Le analisi condotte, sono state orientate alla verifica delle soluzioni progettuali nelle diverse configurazioni, rispetto al raggiungimento dei valori di permeabilità equivalente prescritti dal D.lgs. 36/2003 per barriere di conterminazione nel caso di contenimento di rifiuti non pericolosi, e quindi rispetto al valore  $k \leq 1 \cdot 10^{-9}$  m/s di uno spessore di barriera equivalente di 1m. Le verifiche sono state altresì condotte rispetto ai criteri U.S. EPA 1984-1988 relativamente ai limiti in termini di portata filtrante unitaria attraverso la barriera fissati nel range 1.71-6.83 l/m<sup>2</sup>/anno.

L'analisi è stata condotta secondo il tipico approccio dell'equivalenza tra le portate filtranti attraverso barriere impermeabili giuntate e quelle attraverso barriere porose. La valutazione delle portate filtranti attraverso il dominio intercluso tra le due differenti barriere è stata condotta mediante l'ausilio del software FEM Seep/W, tenendo conto delle effettive geometrie del volume interessato alle varie profondità, oltre che degli specifici accorgimenti finalizzati al trattamento di tale dominio, rispetto agli standard di permeabilità intrinseca raggiungibile per le due diverse tecnologie, nonché delle relative permeabilità caratteristiche dei terreni in sito così come caratterizzati nell'ambito della campagna di indagini propedeutiche alla progettazione esecutiva e prove eseguite.

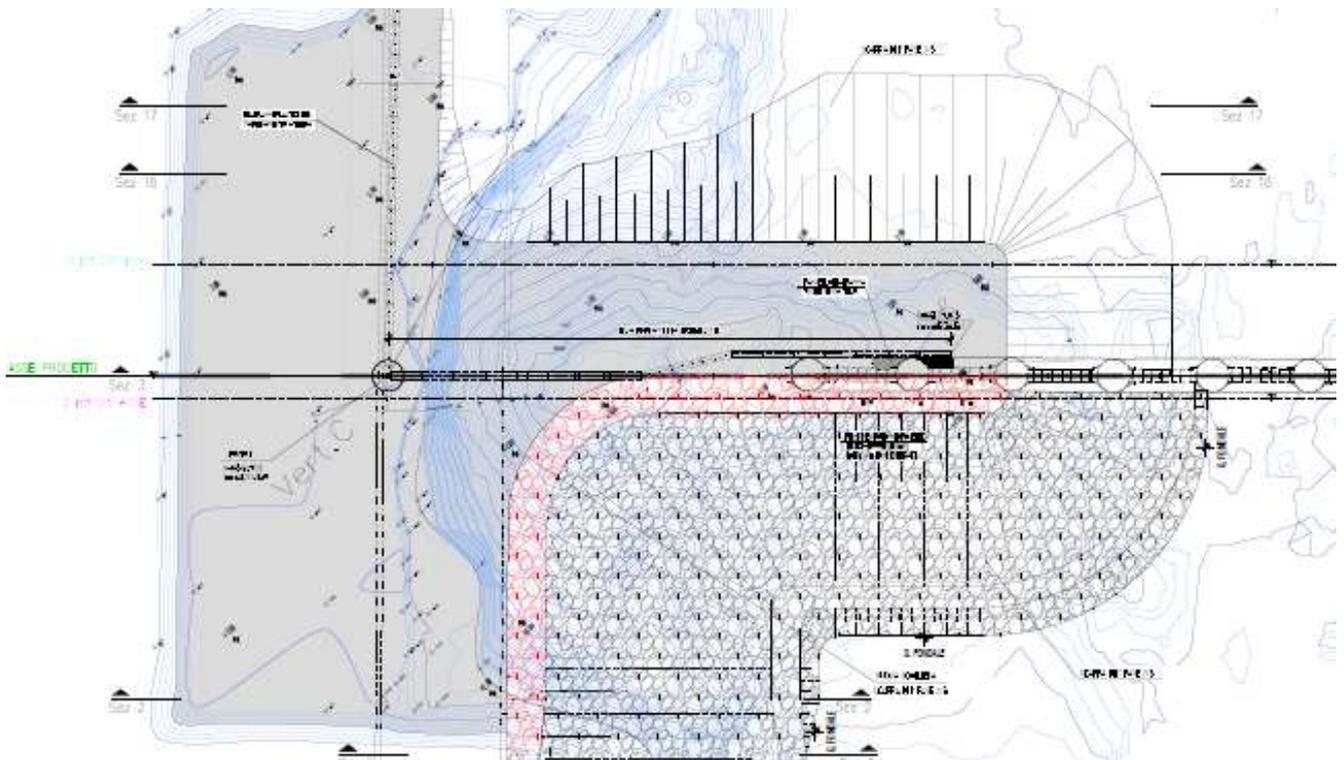


Figura 2: Planimetria vertice C

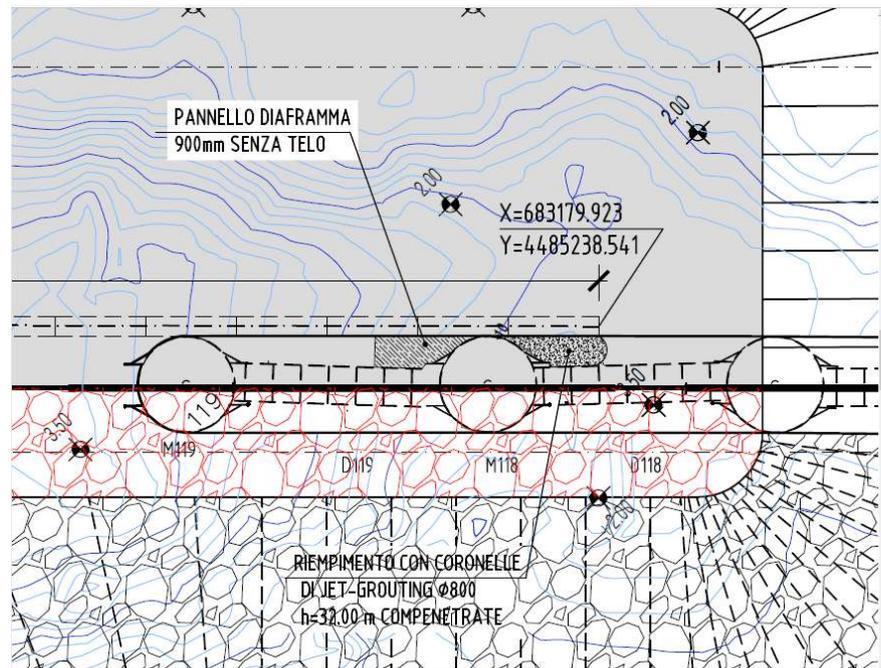


Figura 3: Particolare vertice C

## 2.1 DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE

La soluzione tecnica prevista per l'occlusione del volume poroso intercluso tra le due strutture di marginamento, prevede la realizzazione, al lato esterno della giustaposizione tra le due diverse strutture di marginamento, di un pannello di occlusione in miscela plastica, da realizzarsi secondo la medesima tecnologia del marginamento a terra e relativi medesimi standard prestazionali. La realizzazione di detto pannello di occlusione, avverrà, infatti, previa escavazione in benna bivalve e relativa sostituzione integrale del volume in posto con miscela ternaria. Al lato interno, l'occlusione verrà completata mediante la realizzazione di una batteria di coronelle di colonne in jet-grouting compenetrante da realizzarsi secondo le medesime specifiche tecniche previste in Progetto Esecutivo per l'occlusione del gargame tra palo e diaframma prevista per le strutture del marginamento a mare.

La miscela vergine verrà tarata, rispetto all'ottenimento di una permeabilità a 28gg.  $k \leq 5 \cdot 10^{-10}$  m/s, adottando il seguente mix design:

- Cemento Altoforno / Pozzolatico 42,5; Rapporti C/A = 0,35 per Altoforno (circa 300-310 kg/m<sup>3</sup>); C/A= 0,4 per Pozzolatico (circa 350 kg/m<sup>3</sup>);
- Bentonite; Rapporto B/A = 0,06 (circa 50-52 kg/m<sup>3</sup>);
- Additivo per bentonite : Disperdente, deflocculante fluidificante e riduttore di acqua libera Add/A= 0,003% aggiunto direttamente nell'acqua dell'impasto - (circa 3kg/m<sup>3</sup>); poi alla fine durante la miscelazione con il cemento aggiungere un altro 0,003 di additivo.

Il trattamento con la tecnica del jet-grouting bi/tri fluido, dovrà essere tarato al fine di rendere un nucleo di terreno trattato incluso tra le due diverse strutture di marginamento, dotato di adeguate caratteristiche di continuità geometrico, spaziale, impermeabilità, in grado di assicurare il rispetto dei limiti imposti dai predetti criteri normativi.

Al fine dell'ottenimento della permeabilità caratteristica del terreno trattato/sostituito e relativa effettiva geometria del trattamento resa, l'ottenimento dei prefissati valori di permeabilità equivalente della barriera dovrà necessariamente essere espresso dai risultati di un campo prove e/o attraverso adeguate sperimentazioni. Le specifiche di tali prove potranno essere valutate con maggiore dettaglio in fase costruttiva.

Dalla consistenza e natura dei terreni da trattare si può ritenere che il processo prospettato sia in grado di formare una colonna con un diametro nominale reso di almeno 1.0 m confinato lateralmente dalle pareti metalliche del giunto.

Le modalità costruttive sono tali da poter ritenere che la conducibilità idraulica della colonna possa leggermente decrescere procedendo dal centro verso l'esterno, pertanto per le analisi numeriche di seguito riportate, si considera cautelativamente un diametro efficace del trattamento di soli 60 cm, ove è possibile garantire un'elevata omogeneità del trattamento con bassissimi valori di conducibilità idraulica ( $K_{UG} \approx 5 \cdot 10^{-8} \div 5 \cdot 10^{-9}$  m/s).

## 2.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO ADOTTATO

Per determinare la permeabilità equivalente della barriera, nel rispetto del D.Lgs. 36/2003, si è proceduto imponendo l'eguaglianza delle portate filtranti attraverso i giunti di accoppiamento palo-diaframma, calcolate mediante modellazione alle differenze finite, con quelle che attraversano una barriera porosa equivalente (*slurry wall*), caratterizzata da spessore unitario e da permeabilità equivalente  $K_e$  [m/s] (a titolo meramente esemplativo si riporta in Figura 4 un caso relativo all'equivalenza idraulica per palancofati metallici).

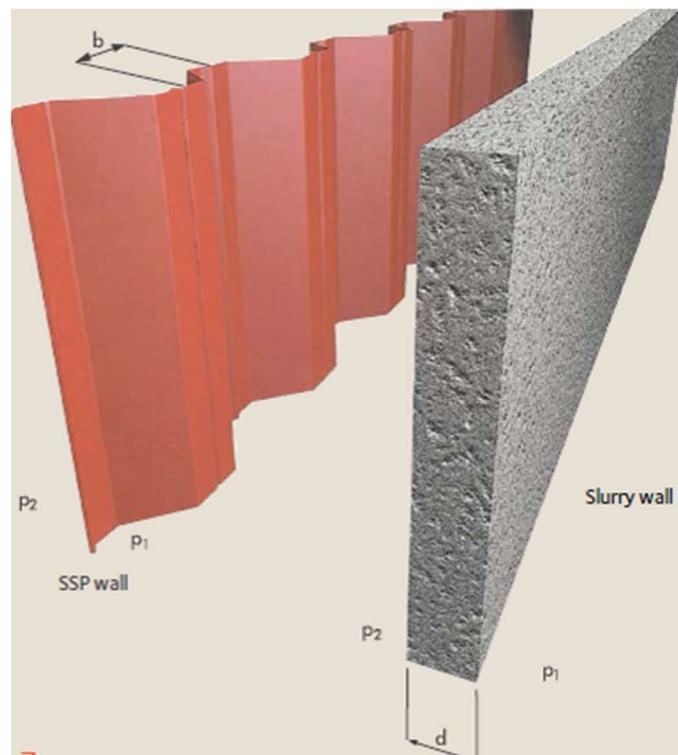


Figura 4 : Modello barriera giuntata - muro poroso equivalente

### Portata filtrante barriere impermeabili giuntate

In generale è possibile assumere la portata filtrante attraverso una barriera impermeabile giuntata come proporzionale alla pressione dell'acqua lungo la barriera alla generica profondità  $z$ :

$$q(z) \propto \Delta p(z)$$

Il coefficiente di proporzionalità è indicato con  $q$  [m/s], impedenza idraulica.

La portata  $q(z)$  è quindi esprimibile come:

$$q(z) = q \cdot \Delta p(z) / \gamma_w$$

dove

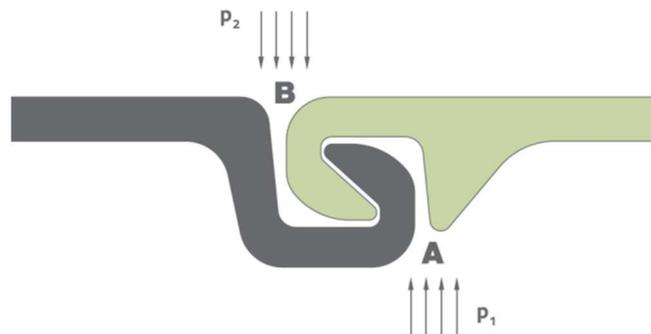
- $\gamma_w$  [kN/m<sup>3</sup>] è il peso unità di volume dell'acqua di mare;
- $\Delta p(z)$  è definito come la differenza tra le pressioni interstiziali monte-valle lungo la profondità del marginamento (in condizione idrostatica). Come mostrato, puramente a titolo di esempio, in

Figura 5:

La portata totale filtrante attraverso un giunto tra elementi definiti come impermeabili, lungo la generica altezza della barriera, per metro lineare di sviluppo longitudinale, è definita tramite l'integrale:

$$Q_m = (q / \gamma_w) \int_0^H \Delta p(z) dz \cdot (1/b)$$

dove  $b$  è l'interesse tra i giunti.



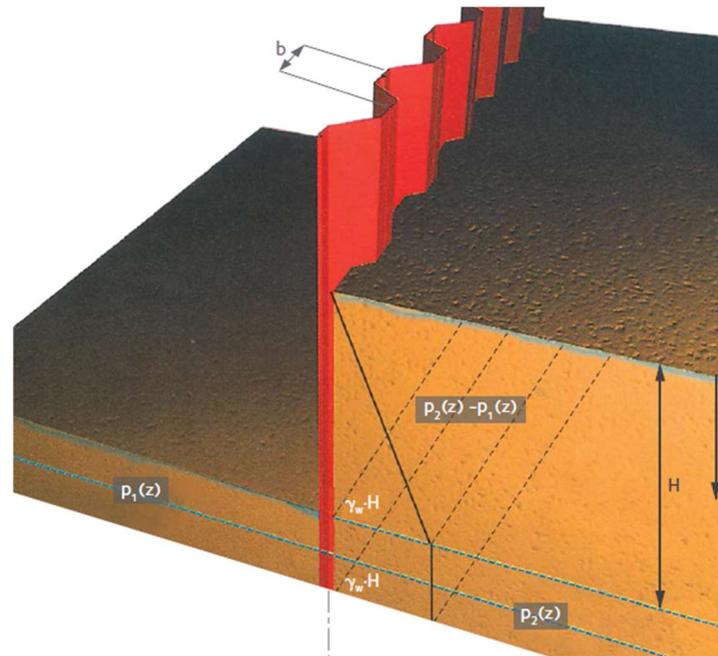


Figura 5: Esempio di distribuzione del gradiente di pressione  $\Delta p(z)$

### Portata attraverso una barriera porosa equivalente

La portata filtrante cosiddetto “slurry wall” equivalente (usuale assunzione in ambito di barriere giuntate), per metro lineare di sviluppo, è definita tramite l’integrale:

$$Q_{sw} = (K_e / \gamma_w) \int_0^H \Delta p(z) dz * (1/d)$$

ove  $d$  è lo spessore del muro poroso.

Dall’uguaglianza  $Q_m = Q_{sw}$ , imponendo  $d=1m$ , risulta quindi che

$$K_e = \rho \cdot (1m) / b$$

dove  $\rho$  = impedenza idraulica

$b$  = interasse tra i giunti (vedi Figura 4).

Rispetto al caso in esame, la valutazione delle portate filtranti attraverso il giunto di accoppiamento palo-diaframma, assimilabile al concetto di “impedenza” rispetto al generico carico idraulico imposto, è stata effettuata mediante le predette analisi numeriche di filtrazione condotte rispetto al nucleo poroso intercluso all’interno del gargame di accoppiamento palo-diaframma, tenuto conto della geometria di progetto e dei relativi accorgimenti da porre in opera ai fini del trattamento del materiale intercluso.

## 2.3 RISULTATI DELLE ANALISI

Le condizioni locali, relative alla geometria e tipologia materiale intercluso, sono state distinte, rispetto a 3 analisi rappresentative delle differenti litologie presenti alle varie profondità fino alla testa del substrato impermeabile rappresentato dalle argille grigio azzurre presenti ad una profondità variabile tra -23m e -29m.

Per ciascuna analisi, quindi, sono state tenute in conto le diverse geometrie previste e le relative permeabilità medie dei materiali interclusi rispetto a profondità omogenee, così come caratterizzate nell'ambito della campagna di indagini e prove eseguita. Le tratte sono riassunte nella seguente tabella:

Tratto GIUNTO	Profondità	Terreno intercluso	K miscela vergine	K <sub>JG</sub> terreno trattato
	[m]	[-]	[-]	[-]
A	0 – 13	Riporti	5.00E-10	5.00E-08
B	13 - 22	Unità DLA	5.00E-10	1.00E-08
C	22 - 29	Unità DLS	5.00E-10	5.00E-09

Tabella 1: Caratteristiche dei tratti analizzati

Nell'ambito delle modellazioni sviluppate, come si evince dalle figure in seguito riportate, è stata prevista la completa occlusione del volume interposto tra le due strutture. La permeabilità considerata per il pannello in miscela vergine è quella caratteristica ottenuta nell'ambito delle specifiche prove di qualificazione, assunta pari a  $5.0 \cdot 10^{-10}$  m/s. Per il nucleo di terreno trattato sono stati assunti valori variabili in un intervallo di  $5.0 \cdot 10^{-9}$ - $5.0 \cdot 10^{-8}$  m/s, range di valori conservativi, e generalmente facilmente conseguibili con la tecnica descritta rispetto ai terreni da trattare.

Per quanto concerne le condizioni al contorno adottate, è stata applicata una variazione di carico idraulico alla due estremità di 9m (colore verde/giallo), tenuto conto del massimo gradiente idraulico atteso rispetto alle ipotesi di progetto, mentre sono stati imposti impermeabili tutti gli altri contorni (colore azzurro).

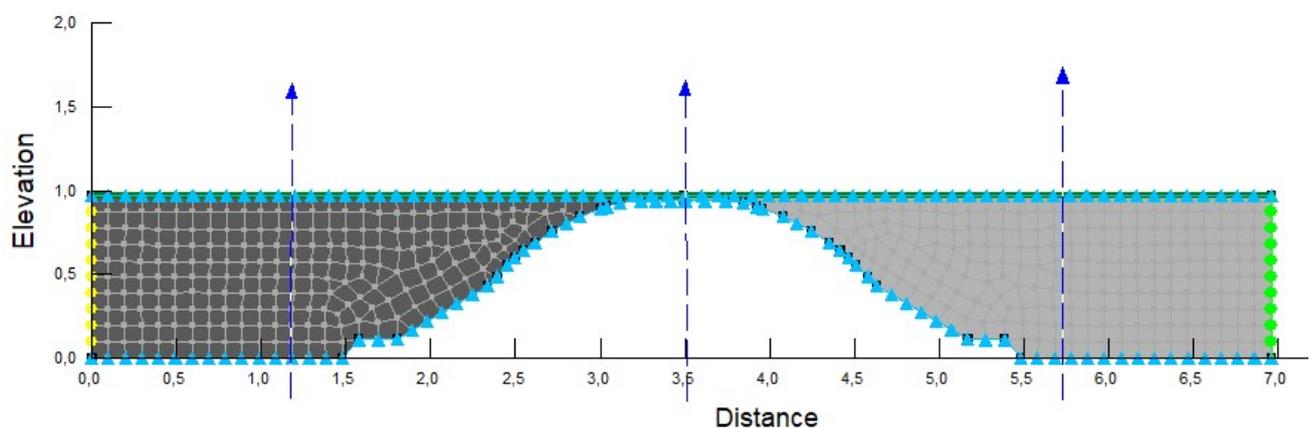


Figura 6: Dominio di filtrazione – Modello FEM

Per ogni tratto del nucleo poroso di occlusione tra le due strutture, sono messe in evidenza le linee equipotenziali che s’instaurano all’interno del dominio poroso, e si registrano le portate uscenti (m<sup>3</sup>/s) alla sezione di valle (in fig: lato destro).

Dalla Figura 7 alla Figura 9 si riportano i risultati grafici ottenuti rispetto a tali analisi.

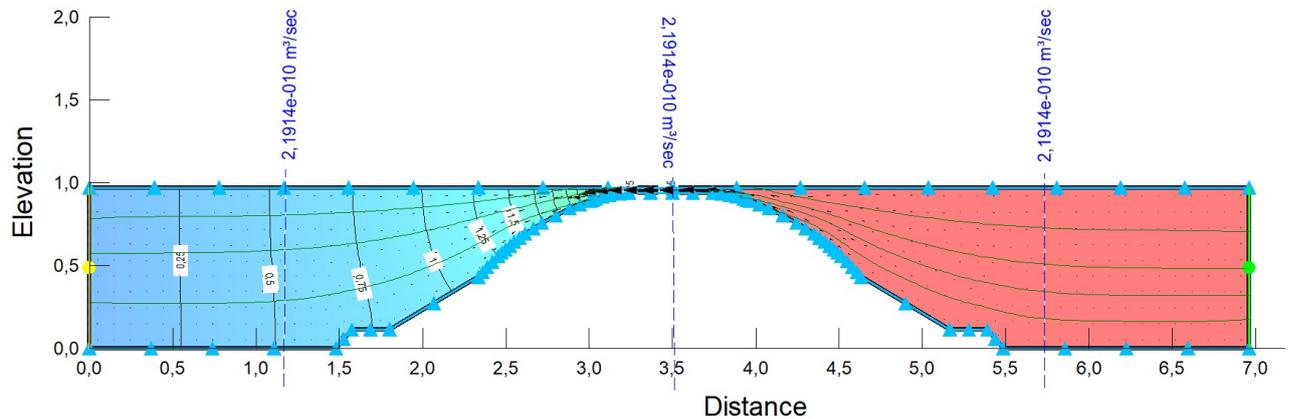


Figura 7: Tratto A, linee equipotenziali e portata filtrante

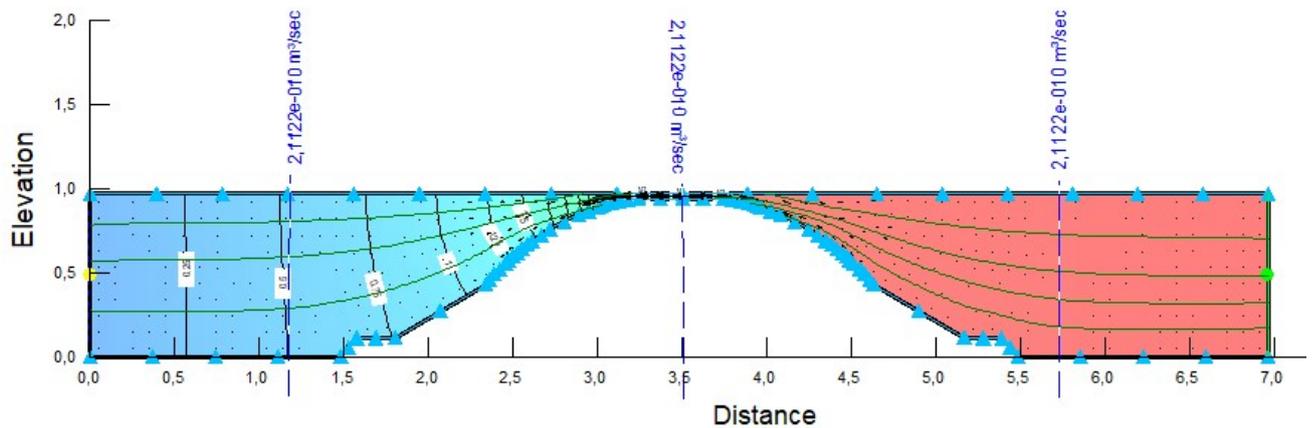


Figura 8: : Tratto B, linee equipotenziali e portata filtrante

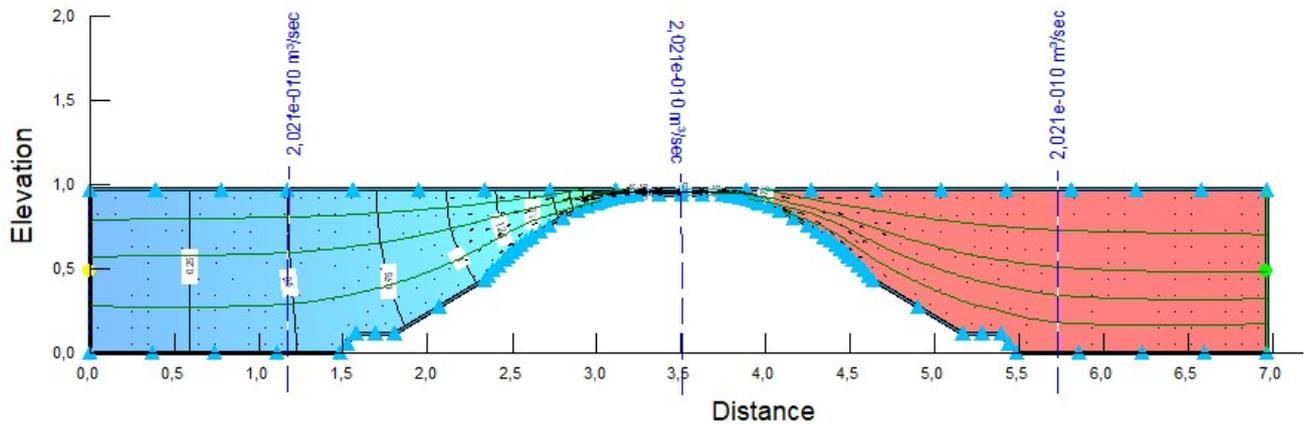


Figura 9: Tratto C, linee equipotenziali e portata filtrante

Alla luce delle analisi condotte, si riportano di seguito i valori di impedenza idraulica  $\rho$  calcolati per i 4 tratti di giunto palo-diaframma per le rispettive portate filtranti, e i relativi valori di permeabilità equivalente  $K_e$  ottenuti rispetto ad uno spessore  $d=1m$ . Come si evince dai risultati ottenuti le permeabilità equivalenti della barriera risultano sempre inferiori al limite di normativa  $K=1 \cdot 10^{-9} m/s$ .

Tratto GIUNTO	Q [m³/s]	$\rho$ [m/s]	$K_e$ [m/s]
A	2.19E-10	2.43E-11	<b>2.43E-11</b>
B	2.11E-10	2.34E-11	<b>2.34E-11</b>
C	2.02E-10	2.24E-11	<b>2.24E-11</b>

Tabella 2: Risultati ottenuti in termini di portate filtranti e permeabilità equivalenti per ciascun tratto

Come ulteriore confronto, si è proceduto alla verifica della prescrizione “US, EPA” per diaframmi di contenimento di rifiuti (US Environmental Protection Agency”, Evaluation of Subsurface Engineering Barriers at Waste Site). Tale verifica impone una portata unitaria filtrante dal sistema massima, sotto gradiente idraulico unitario, compresa al più nel range  $1.71 \div 6.83 l/m^2/anno$ . Nel caso in esame, assunto una variazione di carico idraulico  $\Delta H=9m$ , la portata filtrante massima  $Q_{u,\Sigma}$  dovrà essere inferiore a  $4.88 \cdot 10^{-7} m^3/s$  (per unità di area). Come si evince dai risultati ottenuti la sommatoria delle portate filtranti della barriera risultano sempre inferiori al predetto limite di normativo.

Tratto GIUNTO	$Q_{u,i}$ [m³/s]	$\Sigma Q_{u,i}$ [m³/s]
A	1.42E-09	<b>4.74E-09</b>
B	1.90E-08	
C	1.41E-08	

Tabella 3: Risultati ottenuti in termini di sommatoria delle portate unitarie filtranti



**Autorità Portuale di Taranto**

Interventi per il dragaggio di 2,3 M m<sup>3</sup> di sedimenti in area Molo Polisettoriale e per la realizzazione di un primo lotto della cassa di colmata funzionale all'ampliamento del V Sporgente del Porto di Taranto

*Relazione tecnica – Verifiche di tenuta idraulica dei nodi tra i marginamenti a mare e a terra – Vertice C*

Data 07/2019  
Rev. A