



Autorità di Sistema Portuale  
del Mare Adriatico Orientale  
Porti di Trieste e Monfalcone

## PROGETTO AdSP n. 1951

*Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste*

CUP: C94E21000460001

### Progetto di Fattibilità Tecnico Economica Fascicolo A– intervento PNC da autorizzare

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:		
arch. Gerardo Nappa	AdSP MAO	Responsabile dell'integrazione e Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione
arch. Sofia Dal Piva	AdSP MAO	Progettazione generale
arch. Stefano Semenic	AdSP MAO	Progettazione generale
ing. Roberto Leoni	BITECNO S.r.l.	Sistema di trazione elettrica ferroviaria
ing. Saturno Minnucci	MINNUCCI ASSOCIATI S.r.l.	Impianti speciali e segnalamenti ferroviari
ing. Dario Fedrigo	ALPE ENGINEERING S.r.l.	Progettazione strutturale oo.cc. ferrovia e strade
ing. Andrea Guidolin p.i. Furio Benci	SQS S.r.l.	Progettazione della sicurezza
ing. Carlo Glauco Amoroso	HMR Ambiente S.r.l.	Progettazione MISP e cassa di colmata
p.i. Trivellato, dott. G. Malvasi, dott. S. Bartolomei	p.i. Antonio Trivellato d.i.	Modellazione rumore, atmosfera, vibrazioni
dott. Gabriele Cailotto ing. Anca Tamasan	NEXTECO S.r.l.	Studio di impatto ambientale e piano di monitoraggio ambientale
ing. Sebastiano Cristoforetti	CRISCON S.r.l.s.	Relazione di sostenibilità
ing. Tommaso Tassi	F&M Ingegneria S.p.A.	Progettazione degli edifici pubblici nel contesto dell'ex area "a caldo"
ing. Michele Titton	ITS s.r.l.	Connessione stradale alla GVT
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: ing. Paolo Crescenzi		

NOME FILE: <i>IGNR_P_R_C-GEO_2AT_002_02_00_nuovo</i>	SCALA: ---
TITOLO ELABORATO: <b>RISPOSTA ALLE OSSERVAZIONI CIRCA GLI ASPETTI GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI</b>	ELABORATO: <i>IGNR_P_R_C-GEO_2AT_002_02_00</i> <b><u>NUOVA EMISSIONE</u></b>

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
00	01/02/2023	Definitivo	A Borgia	S.Dal Piva	G.Nappa

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>RISPOSTA ALLE OSSERVAZIONI CIRCA GLI ASPETTI GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI</p>	<p>Pag. 2 di 31</p>
---	---	---------------------

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PRESCRIZIONE DELLA COMMISSIONE VIA NAZIONALE .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>PRESCRIZIONE 6.1.A .....</b>	<b>7</b>
2.1	ASSUNZIONI NELLA RELAZIONE DI CALCOLO .....	7
2.2	APPROFONDIMENTI FATTI .....	9
2.2.1	<i>Rilevazioni geologiche .....</i>	<i>9</i>
2.2.2	<i>Log di realizzazione dei pali in flysch e misure fonometriche.....</i>	<i>11</i>
2.3	CONCLUSIONI .....	11
<b>3</b>	<b>PRESCRIZIONE 6.1.B .....</b>	<b>14</b>
3.1	MONITORAGGIO DELLA FALDA ACQUIFERA DELLA EX-FERRIERA DI SERVOLA.....	14
3.1.1	<i>Misure originarie .....</i>	<i>14</i>
3.1.2	<i>Monitoraggio della falda nella Collina di Servola .....</i>	<i>23</i>
3.1.2.1	Campagna gennaio-febbraio 2022 .....	23
3.1.2.2	Campagna gennaio 2024.....	24
3.1.3	<i>Monitoraggio piezometrico in seno al barrieramento a mare (Progetto INVITALIA) .....</i>	<i>25</i>
3.1.4	<i>Ricostruzione piezometrica e considerazioni sulla struttura di sostegno del piede della collina di Servola .....</i>	<i>26</i>
3.2	PRESCRIZIONI PER IL MONITORAGGIO DELLA FALDA.....	29
3.3	CONCLUSIONI .....	30

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>RISPOSTA ALLE OSSERVAZIONI CIRCA GLI ASPETTI GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI</p>	<p>Pag. 3 di 31</p>
---	---	---------------------

## SOMMARIO FIGURE

Figura 2.1: parametri geotecnici assunti nel calcolo strutturale nell'elaborato 2FER_P_R_N-STR_2AT_003_02_01. Le frecce evidenziano i riferimenti al flysch .....	7
Figura 2.2: in sfondo azzurro il riferimento testuale tratto dalla relazione di calcolo della paratia di sostegno del piede della collina di Servola che contemporaneamente funge da chiusura di monte della cinturazione dell'area ex a caldo prevista nella MISP redatta da Logistica Giuliana (approvata con DD 391 del 31.10.2023). La quota idrostatica della falda a monte della barriera è assunta pari a +8.0 m s.m.m.....	7
Figura 2.3: stralcio della tavola 2FER_P_G_Z-ARM_2AT_011_07_00 che mostra come il fondo della vicina galleria ferroviaria esistente sia a quota 8.0m s.m.m.....	8
Figura 2.4: deformazioni massime determinate nel calcolo strutturale nell'elaborato 2FER_P_R_N-STR_2AT_003_02_01 .....	8
Figura 2.5: verifiche di stabilità globale riscontrabili nel capitolo 7.2.4 della relazione di calcolo .....	9
Figura 2.6: rilievi geologici fatti a gennaio 2024 sul versante della collina di Servola esposto a ovest-sud-ovest lungo il quale è prevista la struttura in pali secanti di sostegno del previsto sbancamento funzionale alla realizzazione del rilevato ferroviario della nuova Stazione di Servola. È confermata la giacitura a reggipoggio e l'alternanza di strati marnosi e arenacei tipici del flysch .....	10
Figura 2.7: log della Liebherr LB 36 durante la trivellazione dei pali compenetrati lungo il barrieramento a mare. Gli ultimi 3m (evidenziati in giallo nel grafico di destra) sono all'interno di flysch e hanno richiesto circa 40minuti di trivellazione: come risulta dal numero di giri necessario per avanzare di un metro (grafico in blu al centro) la consistenza litoide comporta un rallentamento della velocità di avanzamento, ma certamente non la impedisce.....	11
Figura 2.8: sezione geologica AA ricostruita a seguito di ispezione e misure geologiche del 23.01.2024; si osserva il fianco verso SO della sinclinale il cui asse immerge leggermente verso S-E.....	12
Figura 3.1: Ubicazione dei piezometri utilizzati per la calibrazione del modello con indicate le zone di appartenenza (piezometri ALTI, BASSI, A MARE, RIO PRIMARIO e INTERMEDI) .....	15
Figura 3.2: Livello piezometrico del PZ11 durante il periodo febbraio-marzo 2019 (scala di sinistra). Livello di marea nello stesso periodo (scala di destra). Piovosità (scala di sinistra in mm). Notare come ai picchi di pioggia, anche relativamente piccoli, corrispondono significative variazioni del livello piezometrico.....	16
Figura 3.3: Correlazione tra pioggia e variazione del livello di falda basata sui dati registrati al piezometro PZ11 nelle due campagne di monitoraggio. Si nota come con piovosità ridotte la falda risale di oltre due ordini di grandezza rispetto al valore della piovosità, mentre con piovosità elevate la falda non risale così significativamente. ....	17
Figura 3.4: Livello piezometrico del PZ24 durante il periodo febbraio-marzo 2019 (scala di sinistra). Livello di marea nello stesso periodo con media mobile su 24 ore (scala di destra). Piovosità (scala di sinistra in mm). Notare come i dati piezometrici siano stati corretti "rialzandoli"	

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>RISPOSTA ALLE OSSERVAZIONI CIRCA GLI ASPETTI GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI</p>	<p>Pag. 4 di 31</p>
---	---	---------------------

nella prima parte del periodo in base alla calibrazione eseguita. Non si nota una forte correlazione dei livelli piezometrici con i dati di pioggia. .... 17

Figura 3.5: Livello piezometrico del PZXbis durante il periodo febbraio-marzo 2019 e livello di marea nello stesso periodo. Piovosità (scala di sinistra in mm). Notare come vi sia una corrispondenza totale tra la marea ed i livelli di falda i cui picchi seguono con un ritardo di circa 30 min. i picchi di marea. .... 18

Figura 3.6: Livello piezometrico (scala di sinistra) e variazione della temperatura (scala di destra invertita con minimi in alto e massimi in basso), oltre al dato mareale, alla sua media mobile (scala di sinistra) ed alla pioggia (scala di sinistra in mm), del DZ2bis durante il periodo febbraio-marzo 2019. .... 19

Figura 3.7: Livello piezometrico (scala di sinistra) e dato di piovosità giornaliera (scala di destra in mm) del PZ2.A1 durante il periodo marzo-aprile 2019. Notare i picchi nella falda in corrispondenza dei picchi di piovosità in modo simile al PZ11 (Figura 3.2), ma in questo caso con piogge di piccola intensità non vi sono aumenti nel livello di falda. Notare altresì che la prima parte del periodo è stata corretta verso l'alto in base alla calibrazione eseguita a metà del periodo. .... 20

Figura 3.8: Ubicazione dei piezometri di rilevamento della falda (Tabella 1.3) nella Collina di Servola. La linea nera marca la strada di accesso agli uffici della ex-ferriera. In blu sono indicati sondaggi e piezometri, in rosso le sezioni di tomografia sismica. .... 24

Figura 3.9: sezione tipo del rilevato ferroviario in corrispondenza della collina di Servola (sulla sinistra nell'immagine) tratta dal progetto delle strutture ferroviarie del PFTE AdSPMAO n. 1951; sotto al rilevato è continuo il telo del capping delle MISP. Per le valutazioni espresse nel presente documento si giudica opportuno di aggiungere al doppio drenaggio già previsto dal PFTE n.1951 degli sfoghi di sicurezza che entrerebbero in funzione soltanto in caso di inefficienza del sistema di drenaggio: sarebbero sufficienti fori dell'ordine dei Ø150mm in attraversamento del diaframma a quota +8.10m slmm (dove è indicativamente posta la freccia orizzontale azzurra). .... 26

Figura 3.10: Codifica dei piezometri soggetti a monitoraggio e isopieze. .... 28

Figura 3.11: Livello di falda ante operam con indicati i valori piezometrici misurati nel singolo piezometro. .... 29

Figura 3.12: barriera perimetrale e sistema di pozzi e drenaggi previsti nella MISP generale redatta da Logistica Giuliana e approvata con decreto direttoriale 391 del 31.10.2023. La parte relativa alle aree con associate funzioni pubbliche è assunta in seno al PFTE 1951 di AdSPMAO in forza del comma 8, dell'art. 3-bis dell'AdP del 2020 e in forza del DM 330/2021 che ha assegnato a AdSPMAO i fondi PNC per la realizzazione del progetto. .... 30

## SOMMARIO TABELLE

Tabella 1: Suddivisione dei piezometri per zone. Sottolineati i piezometri non funzionanti. .... 14

Tabella 2: Dati di calibrazione. In rosso il dato relativo al piezometro PZXbis al momento non preso in considerazione. .... 22

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>RISPOSTA ALLE OSSERVAZIONI CIRCA GLI ASPETTI GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI</p>	<p>Pag. 5 di 31</p>
---	---	---------------------

Tabella 3: Dati di monitoraggio della falda della Collina di Servola eseguiti nel gennaio-febbraio 2022. ....	23
Tabella 4: Dati di monitoraggio ante operam della falda della ex-Ferriera di Servola .....	25
Tabella 5: Paragone tra i dati di monitoraggio di progetto e ante operam della falda della ex-Ferriera di Servola. ....	25

	Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001  RISPOSTA ALLE OSSERVAZIONI CIRCA GLI ASPETTI GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI	Pag. 6 di 31
---	--	--------------

## **1 PRESCRIZIONE DELLA COMMISSIONE VIA NAZIONALE**

La prescrizione richiesta dal parere della Commissione VIA Nazionale recita:

*"6.1 Relativamente agli aspetti geologici ed idrogeologici, il Proponente dovrà:*

*6.1.a Fornire la verifica di stabilità della collina di Servola che sarà oggetto di un parziale sbancamento. Tale studio dovrà dare evidenza che gli scavi da eseguire non determinino decompressioni nel versante.*

*6.1.b I modelli idrogeologici presentati, così come affermato dai progettisti, presentano margini di incertezza. Per tale motivo, il Proponente dovrà predisporre un monitoraggio delle falde al fine di definire con maggiore precisione il reale assetto idrogeologico e verificare gli effetti delle opere a farsi sulla circolazione idrica sotterranea".*

Il presente documento riscontra la prescrizione citata rispetto ai due punti indicati presentando e discutendo le azioni di campo e desktop condotte ai fini del riscontro.

## 2 PRESCRIZIONE 6.1.A

### 2.1 Assunzioni nella relazione di calcolo

Nella relazione di calcolo della paratia di sostegno del piede della collina di Servola funzionale all'allestimento degli spazi necessari per la costruzione del rilevato ferroviario (*Relazione di calcolo paratia di conterminazione*, elaborato 2FER\_P\_R\_N-STR\_2AT\_003\_02\_01), già adeguata rispetto alle osservazioni della commissione nominata dal CSLPP, sono espressi i calcoli geotecnici mediante cui è verificata la configurazione delle opere strutturali (sollecitazioni e deformazioni) e la stabilità globale collina.

La relazione di calcolo nel suo capitolo 4.3 assume parametri geotecnici che, pur considerando nell'analisi statica omogeneo e isotropo il flysch, sono particolarmente cautelativi con angoli di attrito compresi fra 24 e 25° e coesioni fra 40 e 150 kPa e densità anch'essa cautelativa e pari a 24-25 kN/m<sup>3</sup>.

	Terreni	γDRY [kN/m <sup>3</sup> ]	γSAT [kN/m <sup>3</sup> ]	K <sub>1</sub> [m/s]	K <sub>2</sub> [m/s]	c' [kPa]	φ' [°]	Moduli Elastici [kPa] or [kN/m <sup>2</sup> ]
	riempim Sabbia/Ghiaia	19	20	0.000001	0.000001	0	34	E <sub>vc</sub> = 4000 E <sub>ur</sub> = 12000
	riporto Sabbia/Ghiaia	18	19	0.0001	0.0001	0	30	E <sub>vc</sub> = 5000 E <sub>ur</sub> = 8000
	flysch alterato Sabbia/Ghiaia	22	23	0.00001	0.00001	40	24	E <sub>vc</sub> = 150000 E <sub>ur</sub> = 240000
	flysch integro Sabbia/Ghiaia	22	23	0.00001	0.00001	150	25	E <sub>vc</sub> = 250000 E <sub>ur</sub> = 400000

Figura 2.1: parametri geotecnici assunti nel calcolo strutturale nell'elaborato 2FER\_P\_R\_N-STR\_2AT\_003\_02\_01. Le frecce evidenziano i riferimenti al flysch

I calcoli sono riferiti alle sollecitazioni che si generano sulla paratia ad opera delle spinte attive del terreno (flysch) retrostante giustamente maggiorate per il fatto che il versante a tergo della paratia è inclinato verso la paratia, alla spinta idrostatica, ai sovraccarichi accidentali e alle sollecitazioni di un sisma.

Nel progetto è stato assunto di avere la falda a +8.0m s.m.m. a monte della paratia (vedi relazione di calcolo 2FER\_P\_R\_N-STR\_2AT\_003\_02\_01), cioè un livello maggiore rispetto alla quota della falda di riferimento in recepimento delle richieste del CSLPP (cfr. seguente Figura 2.3).

#### 6.2.2 Spinta idrostatica

Si assume, secondo quanto già specificato, che a monte dell'opera la falda si attesti a quota +8.0m l.m.m., mentre a valle della stessa, cautelativamente, la si è assunta a +0.00 l.m.m. (livello mare).

Figura 2.2: in sfondo azzurro il riferimento testuale tratto dalla relazione di calcolo della paratia di sostegno del piede della collina di Servola che contemporaneamente funge da chiusura di monte della cinturazione dell'area ex a caldo prevista nella MISP redatta da Logistica Giuliana (approvata con DD 391 del 31.10.2023). La quota idrostatica della falda a monte della barriera è assunta pari a +8.0 m s.m.m.



La quota considerata è coerente con la topografia dello scorrimento della vicina galleria ferroviaria esistente, come si evince dalla sezione della tavola 2FER\_P\_G\_Z-ARM\_2AT\_011\_07\_00 di cui di seguito si riporta uno stralcio.

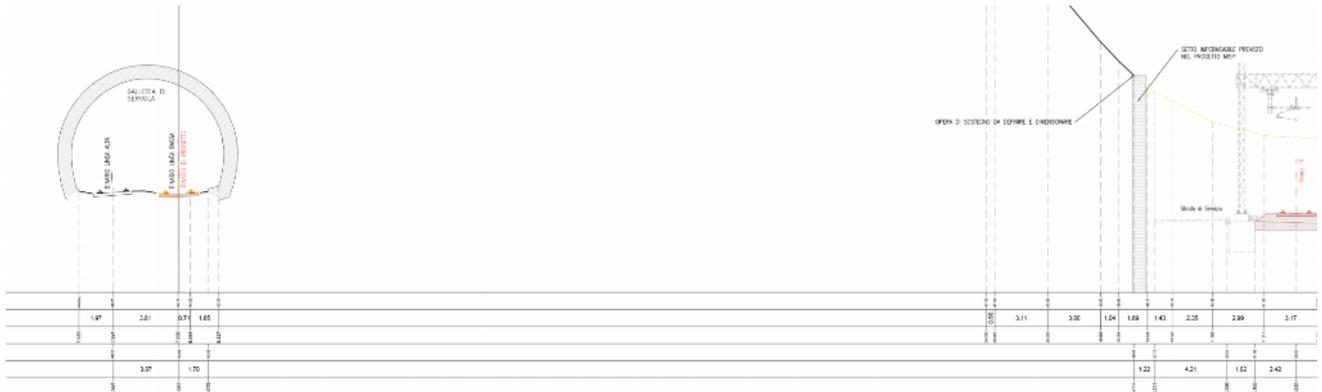


Figura 2.3: stralcio della tavola 2FER\_P\_G\_Z-ARM\_2AT\_011\_07\_00 che mostra come il fondo della vicina galleria ferroviaria esistente sia a quota 8.0m s.m.m.

A fronte delle geometrie del versante e delle caratteristiche meccaniche assunte per i componenti strutturali (pali secanti Ø880 a interasse di 70cm e tiranti) e dei terreni, sono state fatte le verifiche bidimensionali con il software Paratie Plus vers. 22.0.8 di Harpaceas srl:

- con modelli di calcolo elasto-plastici per la determinazione delle sollecitazioni e delle deformazioni nelle strutture;
- con schemi alla Bishop per la verifica della stabilità globale della collina, nelle più sfavorevoli condizioni (sisma).

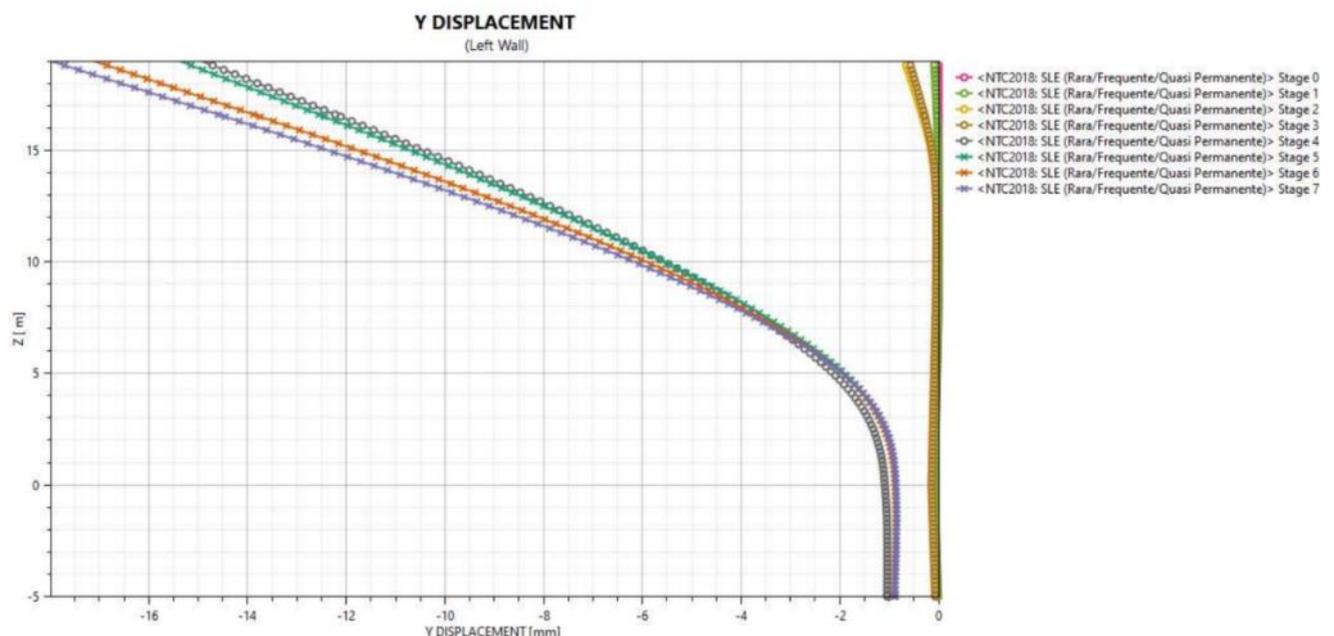


Figura 2.4: deformazioni massime determinate nel calcolo strutturale nell'elaborato 2FER\_P\_R\_N-STR\_2AT\_003\_02\_01



Lo spostamento in testa massimo calcolato (si veda il capitolo 7.1.6 della relazione di calcolo) è di 18mm. Tale spostamento è da considerare molto conservativo nella misura in cui:

- il software, per il tipo di schema di calcolo, sovrastima gli spostamenti;
- è del tutto trascurato l'effetto di incastro che la giacitura a reggipoggio garantisce agli strati di flysch, dato che il software non considera in alcun modo l'anisotropia del mezzo;
- la resistenza passiva del rilevato ferroviario al piede dell'opera di sostegno è cautelativamente considerata con riferimento a 60cm di materiale con 34° di angolo di attrito, senza coesione, quando nella realtà sarà più rigido di quanto considerato in relazione al fatto che si tratta di ballast e che il sottofondo sarà molto costipato in ragione della destinazione d'uso ferroviaria.

Il capitolo 7.2.4 della relazione di calcolo è dedicato alle verifiche di stabilità globale alla Bishop, molto cautelativamente trascurando sia il contributo del muro (paratia) che quello dei tiranti, in condizioni col massimo livello di scavo al piede (SLU) e in caso di sisma (SLV).

Le verifiche hanno dato evidenza di coefficienti di sicurezza che nel peggiore dei casi (SLV) sono superiori a 1.35, ben al di sopra del 1.2 stabilito dalla norma.

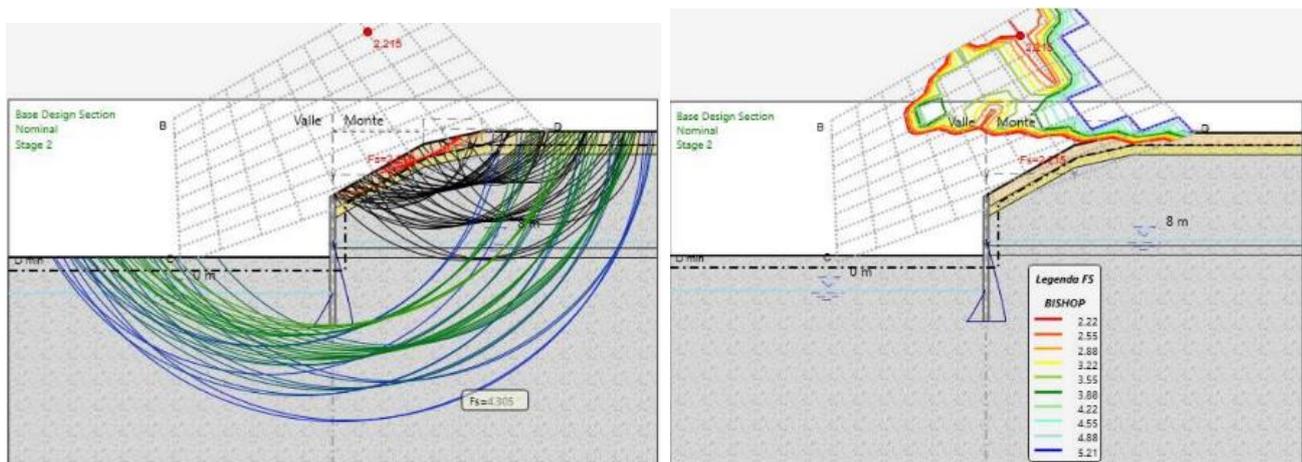


Figura 2.5: verifiche di stabilità globale riscontrabili nel capitolo 7.2.4 della relazione di calcolo

## 2.2 Approfondimenti fatti

### 2.2.1 Rilevazioni geologiche

A seguito di ispezione e rilievo geologico effettuato in data 23 e 24.01.2024 e a seguito delle misure freatimetriche di cui si riferisce in dettaglio nel successivo §3.1.2.2, è stato possibile verificare le assunzioni del calcolo strutturale di cui all'elaborato 2FER\_P\_R\_N-STR\_2AT\_003\_02\_01 relativo alla barriera che fungerà contemporaneamente da sostegno strutturale del piede della collina e da cinturazione idrogeologica a monte dell'area contaminata oggetto di MISP.



*Figura 2.6: rilievi geologici fatti a gennaio 2024 sul versante della collina di Servola esposto a ovest-sud-ovest lungo il quale è prevista la struttura in pali secanti di sostegno del previsto sbancamento funzionale alla realizzazione del rilevato ferroviario della nuova Stazione di Servola. È confermata la giacitura a reggipoggio e l'alternanza di strati marnosi e arenacei tipici del flysch*

Lo spessore degli strati litoidi arenacei misurato nei punti in cui affiorava il flysch va dai 25 ai 40cm; tali strati si alternano con quelli marnosi decimetrici di consistenza limoso-argillosa che hanno dato evidenza di alterazione data dall'esposizione agli agenti atmosferici.

Quanto sopra conferma ciò che è riportato nella relazione geologica del PFTE 1951 rispetto alle giaciture  $0^{\circ}\pm 10^{\circ}/40^{\circ}\pm 10^{\circ}$  lì citate.

Correlando le evidenze geologiche con quelle idrogeologiche delle misure freatiche nei piezometri sulla collina è stato possibile fare le seguenti importanti considerazioni:

- la giacitura degli strati di flysch comporta che la permeabilità per componenti del flusso sia in direzione verticale (come può essere quello conseguente alla ricarica dalle piogge), sia orizzontale verso la paratia (come potrebbe essere il flusso da monte governato da gradiente idraulico) è legata a quella particolarmente bassa ( $k\sim 10^{-9}\text{m/s}$ ) degli orizzonti coesivi marnosi. Da questo ne discende che il flusso della falda a tergo della paratia si orienta necessariamente in direzione sud-est seguendo la sinclinale, verosimilmente verso il drenaggio che oggi offre l'ambito del paleolaveo del rio Primario o il collettore che lo ha deviato verso sud;
- in posizione molto prossima al futuro asse della paratia (SG12; cfr anche §3.1.2.2) l'altezza di falda misurata si attesta intorno ai +6.8 m s.m.m., abbondantemente al di sotto della quota assunta nel calcolo (+8.0 m s.m.m.) che, pertanto, resta una quota di salvaguardia;
- per le considerazioni riferite prima e per la previsione di porre in opera un doppio sistema di drenaggio (orizzontale  $\varnothing 500\text{mm}$  e  $\varnothing 800\text{mm}$  in verticale a interasse di 50m), gli alti piezometrici osservati sulla collina in posizione più arretrata (fino a +14.3 m s.m.m. in SG13) non si ritiene che possano diventare pressione idrostatica sul retro della struttura. Ciononostante, oltre a tenere monitorata la falda durante in e post operam, si è presa la decisione di aggiungere dei drenaggi a quota +8.10 ms.m.m. che entrino in funzione in carenza di prestazione del doppio sistema di drenaggio



### 2.2.2 Log di realizzazione dei pali in flysch e misure fonometriche

Contestualmente alle prove vibrazionali eseguite in data 24.01.2024, sono stati acquisiti i log, cioè le registrazioni dei parametri di funzionamento delle trivelle utilizzate per la realizzazione dei pali lungo il barrieramento a mare, in tutto analoghi a quelli previsti per il diaframma di monte di sostegno del piede della collina di Servola.

Le misure e i log si riferiscono alla trivellazione effettuata all'interno del flysch.

Si rimanda alla relazione specialistica inerente alla *Valutazione previsionale del livello vibratorio - opere di fascicolo A* (elaborato 1GNR\_P\_R\_D-AMB\_1GE\_962-02-00) per i dettagli del caso; qui basti riferire che le caratteristiche dei suoli sono particolarmente efficaci nella riduzione della propagazione delle vibrazioni prodotti dagli utensili a rotazione utilizzati e questo è utile per stabilire che gli effetti della costruzione della paratia sugli ammassi rocciosi circostanti sono trascurabili.

I log delle trivelle, d'altra parte, sono utili per provare che, sebbene gli strati litoidi del flysch siano consistenti, le macchine utilizzate sono certamente in grado di attraversarle.

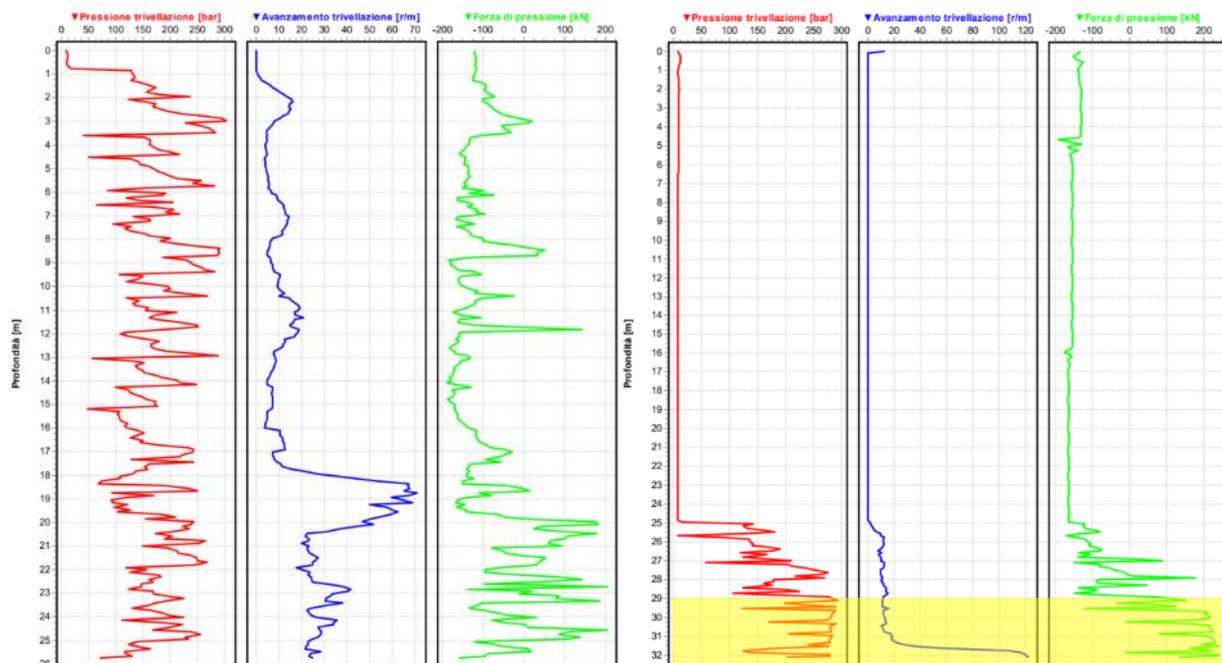


Figura 2.7: log della Liebherr LB 36 durante la trivellazione dei pali compenetrati lungo il barrieramento a mare. Gli ultimi 3m (evidenziati in giallo nel grafico di destra) sono all'interno di flysch e hanno richiesto circa 40minuti di trivellazione: come risulta dal numero di giri necessario per avanzare di un metro (grafico in blu al centro) la consistenza litoida comporta un rallentamento della velocità di avanzamento, ma certamente non la impedisce.

## 2.3 Conclusioni

Rispetto a quanto osservato dalla commissione VIA al punto 6.1.a va deve essere chiaro che è fisicamente impossibile che sia impedito il detensionamento dei terreni retrostanti la prevista



paratia, poiché in generale ad ogni azione (lo scavo di sbancamento) non può non corrispondere una reazione (il detensionamento).

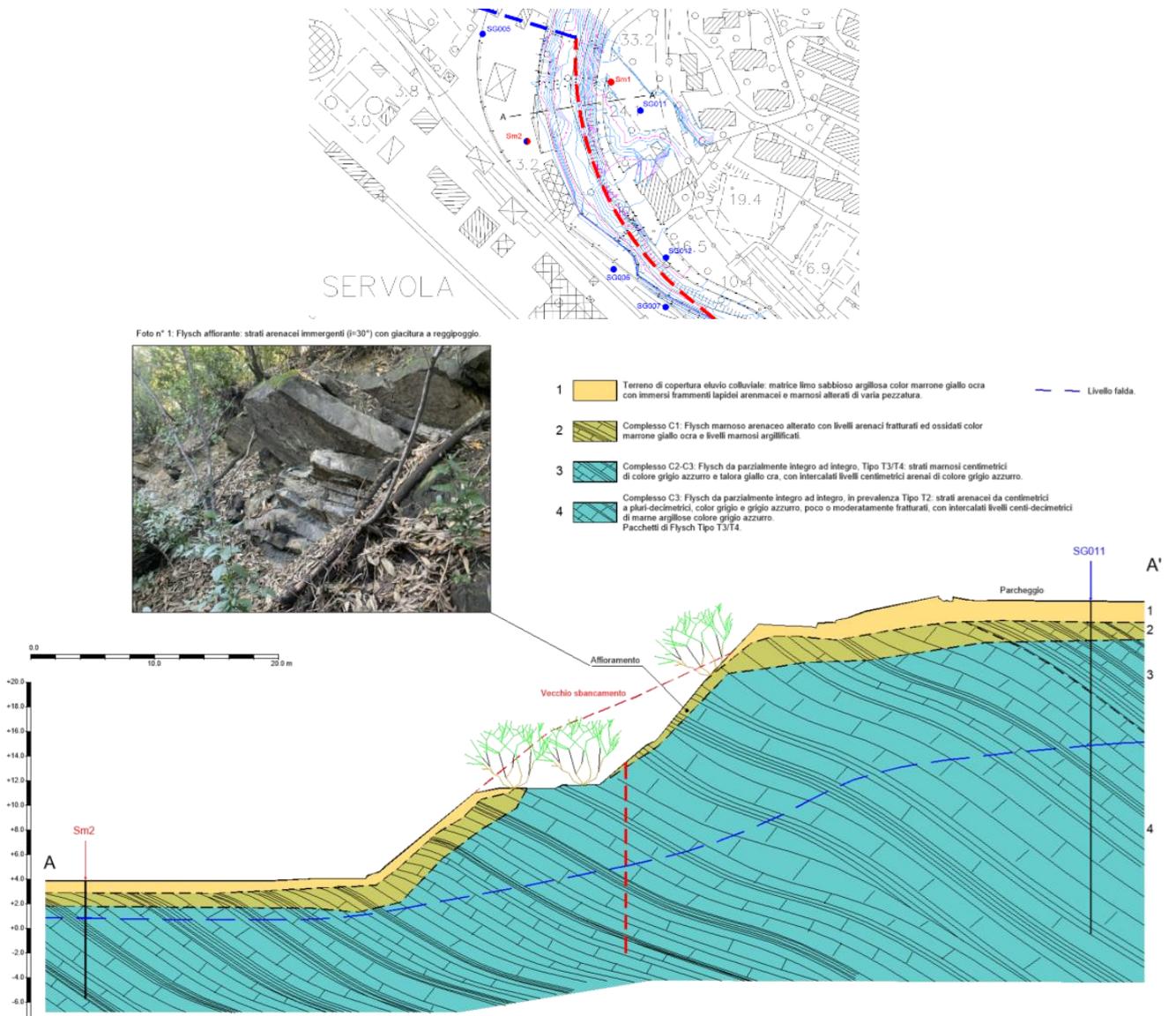


Figura 2.8: sezione geologica AA ricostruita a seguito di ispezione e misure geologiche del 23.01.2024; si osserva il fianco verso SO della sinclinale il cui asse immerge leggermente verso S-E.

D'altra parte, la riduzione delle pressioni orizzontali conseguenti allo sbancamento innesca necessariamente la reazione della struttura che sarà realizzata, la quale reagisce proprio in relazione alla deformazione a cui è sottoposta dallo squilibrio di pressioni fra i suoi due lati e questo contrasta e limita il detensionamento del versante della collina che ci sarebbe in sua assenza.

Le verifiche sul campo e di calcolo che sono state fatte sotto ipotesi cautelative escludono che tale detensionamento sia tale da innescare instabilità sia locali, sia globali. Anche la nuova

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>RISPOSTA ALLE OSSERVAZIONI CIRCA GLI ASPETTI GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI</p>	<p>Pag. 13 di 31</p>
---	---	----------------------

sezione geologica redatta sulla scorta delle più recenti ispezioni geologiche prova che il versante già oggi è pressoché verticale anche in assenza di alcuna opera di sostegno (cfr. Figura 2.8).

A fronte delle verifiche piezometriche più recenti si è assunta un'ulteriore sicurezza prevedendo l'aggiunta di drenaggi in attraversamento della paratia che escludono l'accumulo di pressioni a tergo della struttura, anche nel caso in cui il doppio sistema di drenaggio già previsto fosse insufficiente per qualunque motivo. Si veda in proposito quanto sviluppato al §3.1.4 e, in particolare, quanto rappresentato nella Figura 3.9.

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>RISPOSTA ALLE OSSERVAZIONI CIRCA GLI ASPETTI GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI</p>	<p>Pag. 14 di 31</p>
---	---	----------------------

### 3 PRESCRIZIONE 6.1.B

#### 3.1 Monitoraggio della falda acquifera della ex-ferriera di Servola

##### 3.1.1 Misure originarie

Si riporta di seguito il monitoraggio della falda acquifera di interesse ai piedi della collina di Servola che fu eseguito dall’Agenzia INVITALIA nel febbraio-aprile 2019 quando la ferriera era in ancora attività.

Il monitoraggio fu eseguito utilizzando un una serie di piezometri con strumentazione dedicata. Essi sono suddivisi per zone in funzione della loro rilevanza ai fini del modello idrogeologico come indicato in Tabella 1 e nella successiva figura 2-1.

*Tabella 1: Suddivisione dei piezometri per zone. Sottolineati i piezometri non funzionanti.*

Zona	Identificativo
Piezometri alti	<u>PZ3.A3</u> , PZ2.A1, PZ11, PZ1.A2
Piezometri bassi	PZ24, PZ1.A3, PZ4, <u>PZ1.A1</u> , PZ7, PZ7.A2
Rio Primario	PZ9, Dz2bis, Dz3bis, PZ10, PZ8.A2, PZ6.A2, PZ3.A2
Intermedi	PZ23, PZ4A1, PZ25A2bis, PZ4.A2bis
Mare	PZ2.A3, PZXbis, PZYbis, PZWbis, PZ3.A1, <u>PZ9.A2</u> , PZ16, PZ11.A2, PZ10.A2, <u>PZ22</u> , PZ2.A2

I piezometri alti sono locati nella parte verso monte della ex-Ferriera attorno alla Collina di Servola. Tra questi il piezometro PZ3.A3, locato nella area uffici sulla Collina di Servola, per quanto sia stato utilizzato per realizzare misure del livello di falda e prove di permeabilità non ha mai restituito dati utili, essendo stato dichiarato sempre “secco”.

I piezometri bassi sono locati alla base della Collina di Servola a “valle” idrogeologica rispetto ai piezometri alti. Tra questi il piezometro PZ1.A1, locato immediatamente verso monte del ex-Parco Minerali, non ha restituito dati nell’intervallo febbraio – aprile 2019.

I piezometri Rio Primario sono stati ubicati nella zona di monte del Rio Primario all’interno della Ferriera e coprono l’area in cui il Rio Primario è stato deviato nel 1962.

I piezometri intermedi occupano una fascia tra i piezometri bassi e del Rio Primario ed i piezometri della costa (mare).



I piezometri mare sono locati lungo la riva del golfo di Muggia. Tra questi il piezometro PZ9.A2, locato lungo la riva, ed il piezometro PZ22, locato a fianco del mandracchio a SE della Ferriera, non hanno restituito dati nell'intervallo febbraio - aprile 2019.

Nonostante le carenze descritte nei piezometri monitorati, la copertura areale è stata sufficiente a permettere un'adeguata calibrazione del modello idrogeologico.



Figura 3.1: Ubicazione dei piezometri utilizzati per la calibrazione del modello con indicate le zone di appartenenza (piezometri ALTI, BASSI, A MARE, RIO PRIMARIO e INTERMEDI)

Di seguito vengono descritti i monitoraggi così come registrati ad alcuni piezometri che sono caratteristici ed esemplificativi del loro comportamento generale.

Il Piezometro PZ11 (Figura 3.2) ha generalmente un comportamento regolare con un livello di falda che varia tra i 3.5 ed i 4.0 m s.l.m.m.. Si nota come non vi sia alcuna correlazione con la marea, ma che questa correlazione sia, invece, molto evidente con la piovosità.

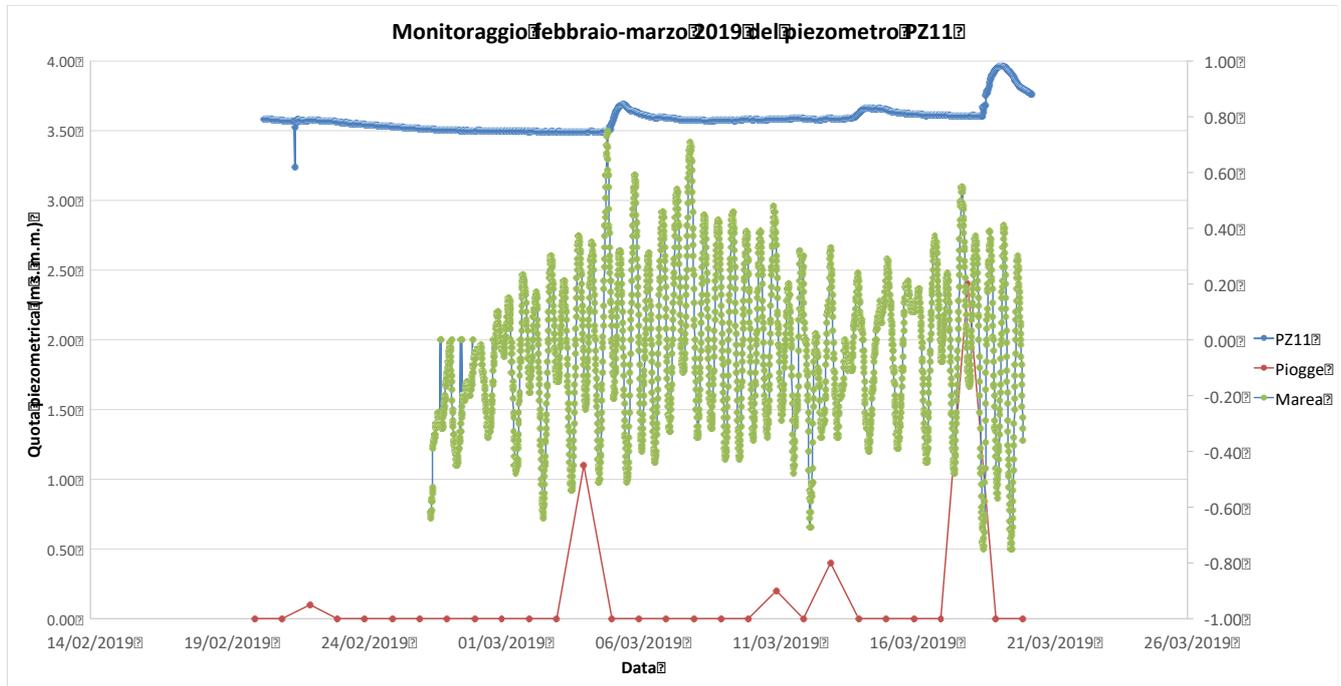


Figura 3.2: Livello piezometrico del PZ11 durante il periodo febbraio-marzo 2019 (scala di sinistra). Livello di marea nello stesso periodo (scala di destra). Piovosità (scala di sinistra in mm). Notare come ai picchi di pioggia, anche relativamente piccoli, corrispondono significative variazioni del livello piezometrico.

Esiste una correlazione logaritmica tra pioggia e variazione del livello di falda con un alto coefficiente di correlazione (cfr. Figura 3.3).

Infatti, con il picco di piovosità alquanto ridotto di 2.4 mm la falda risale di 35 cm, mentre con piovosità maggiori anche di un ordine di grandezza la falda sale in proporzione minore. Ciò sembra indicare che durante la pioggia l'area del piezometro viene "inondata" da acque di ruscellamento superficiale o piuttosto da dispersori o rotture della fognatura della raccolta acqua piovana.

Infine, terminata la pioggia, la falda decade esponenzialmente indicando un normale fenomeno di dispersione nell'acquifero.

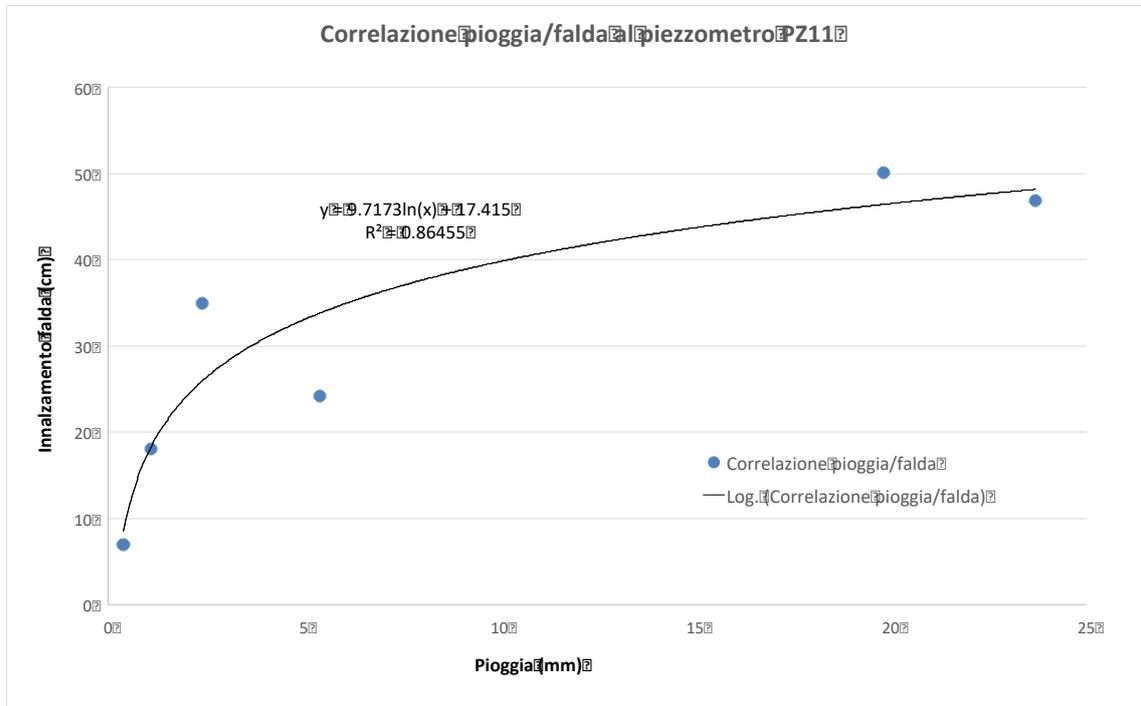


Figura 3.3: Correlazione tra pioggia e variazione del livello di falda basata sui dati registrati al piezometro PZ11 nelle due campagne di monitoraggio. Si nota come con piovosità ridotte la falda risale di oltre due ordini di grandezza rispetto al valore della piovosità, mentre con piovosità elevate la falda non risale così significativamente.

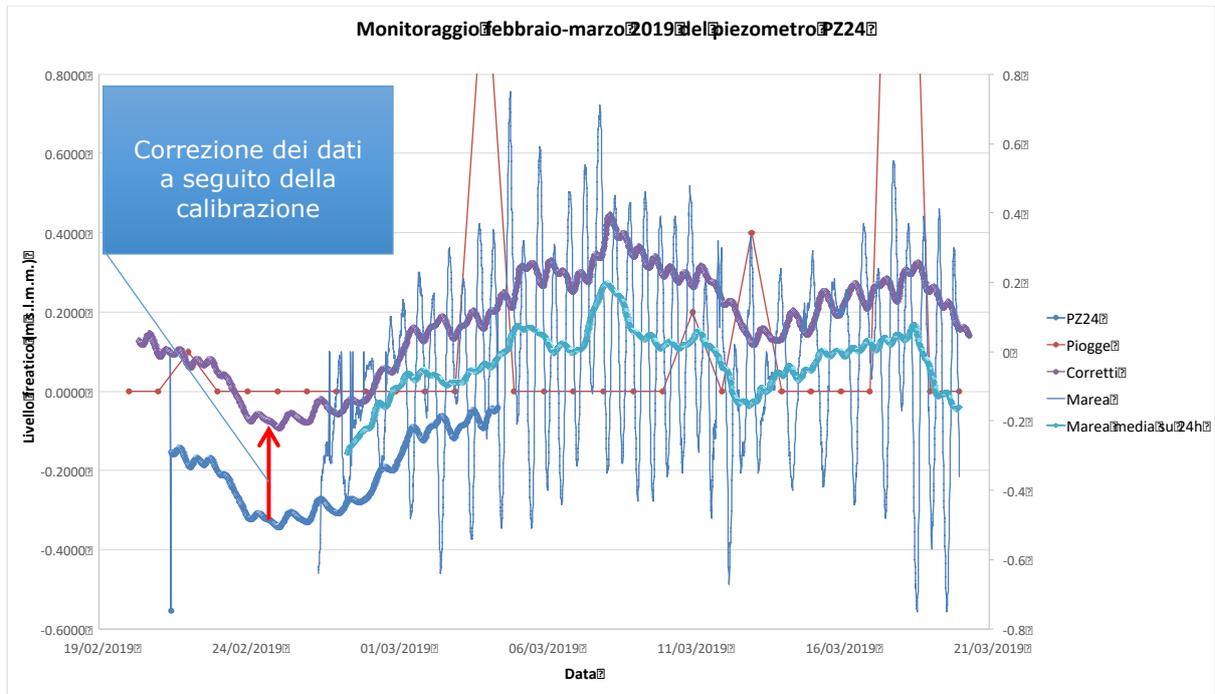


Figura 3.4: Livello piezometrico del PZ24 durante il periodo febbraio-marzo 2019 (scala di sinistra). Livello di marea nello stesso periodo con media mobile su 24 ore (scala di destra). Piovosità (scala di sinistra in mm). Notare come i dati piezometrici siano stati corretti "rialzandoli" nella prima parte del periodo in base alla calibrazione eseguita. Non si nota una forte correlazione dei livelli piezometrici con i dati di pioggia.



I dati del piezometro PZ24 (cfr. Figura 3.4) durante il monitoraggio nella prima parte del periodo sono stati corretti in base alla calibrazione effettuata nella seconda parte dello stesso periodo sommando un fattore correttivo. L'oscillazione corretta mostra una periodicità con piccole ampiezze che segue l'oscillazione della marea diurna con un ritardo di 6:30 h, ma segue ancor più da vicino le variazioni della marea integrate tramite la media mobile su 24h.

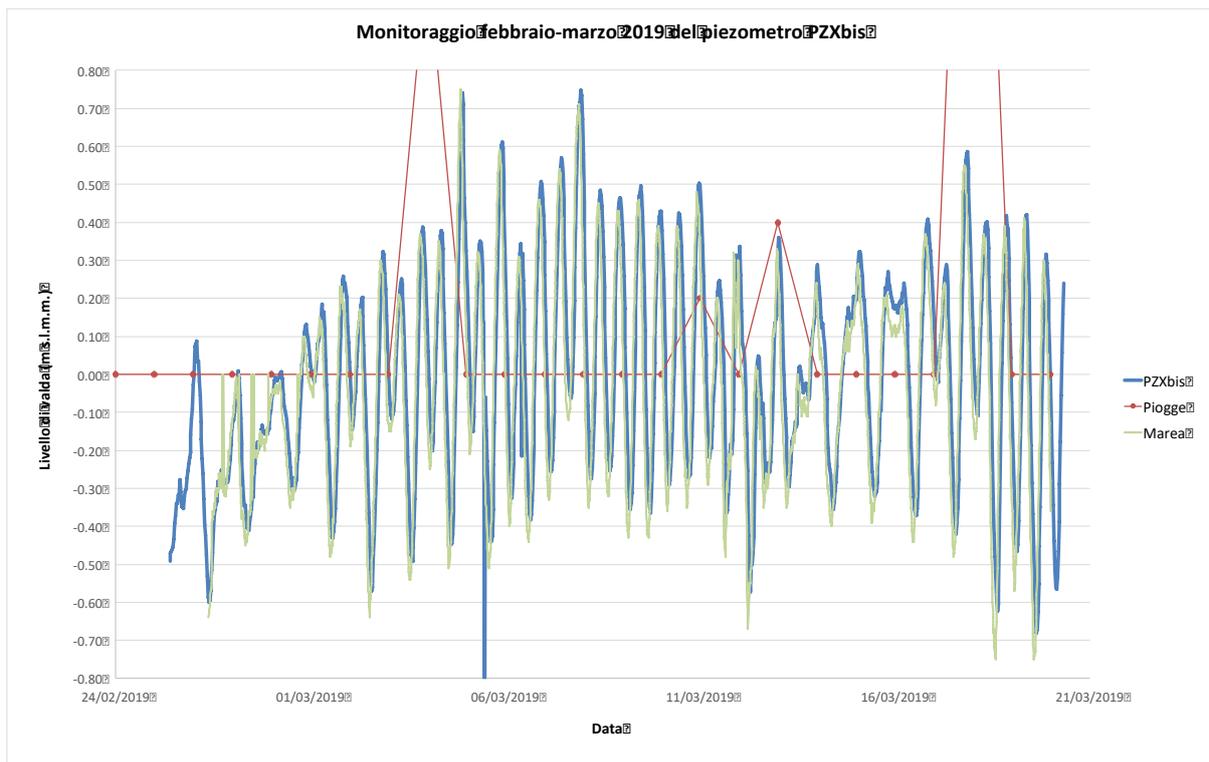


Figura 3.5: Livello piezometrico del PZXbis durante il periodo febbraio-marzo 2019 e livello di marea nello stesso periodo. Piovosità (scala di sinistra in mm). Notare come vi sia una corrispondenza totale tra la marea ed i livelli di falda i cui picchi seguono con un ritardo di circa 30 min. i picchi di marea.

I livelli di falda registrati al piezometro PZXbis (cfr. Figura 3.5) mostrano una totale sovrapposizione con i dati mareali con un ritardo che è di soltanto circa 30 min.

Si noti, altresì, come i massimi piezometrici siano leggermente superiori ai massimi di marea (2-3 cm), mentre i minimi mareali sono sempre chiaramente inferiori ai minimi della falda (7-8 cm).

Questo comportamento suggerisce che vi sia una significativa alimentazione della falda da monte, verosimilmente in relazione alla ricarica dalle aree pianeggianti esposte alle piogge e in assenza di un capping. Poiché le valutazioni modellistiche idrogeologiche sono state condotte assumendo i dati dello stato di fatto descritti, si valuta che l'attuazione della MISP porti ad una sostanziale riduzione del fenomeno osservato.

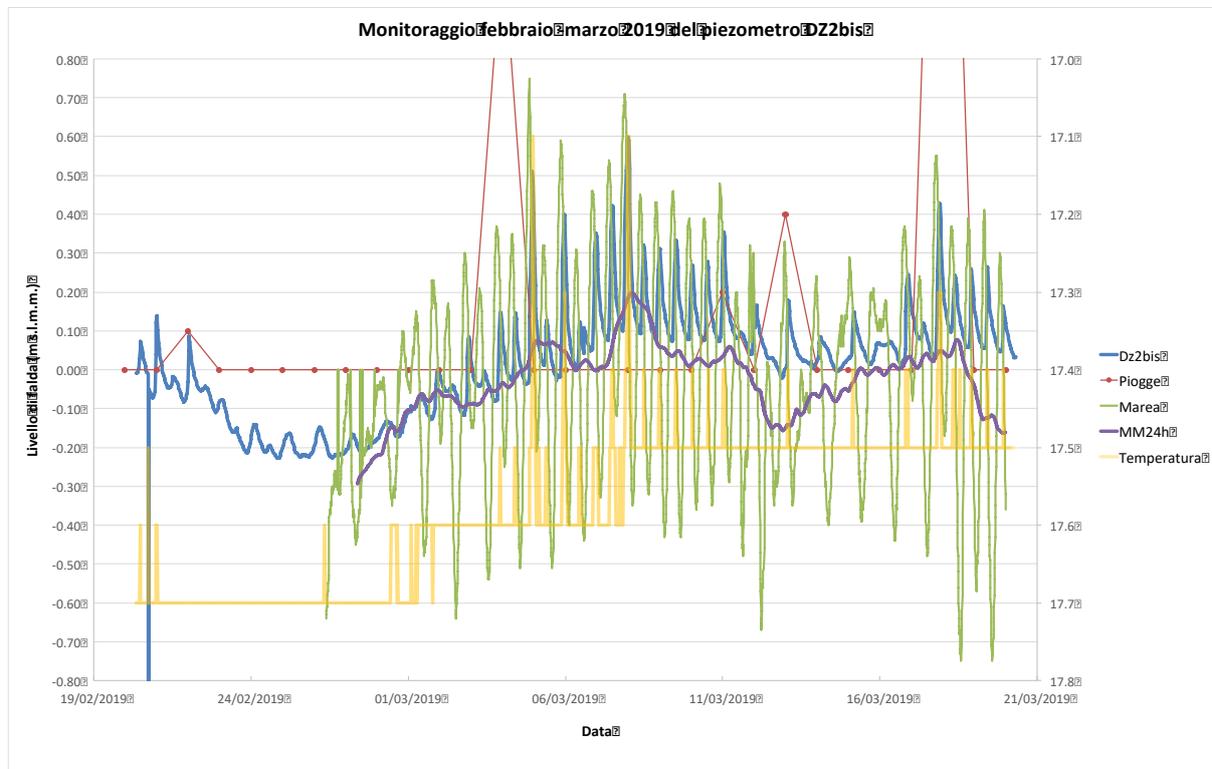


Figura 3.6: Livello piezometrico (scala di sinistra) e variazione della temperatura (scala di destra invertita con minimi in alto e massimi in basso), oltre al dato mareale, alla sua media mobile (scala di sinistra) ed alla pioggia (scala di sinistra in mm), del DZ2bis durante il periodo febbraio-marzo 2019.

Le registrazioni della falda e della temperatura al piezometro DZ2bis nel periodo febbraio-marzo 2019 in paragone ai dati mareali sono riportati nella Figura 3.6.

Si noti come nel periodo di acqua bassa (prima parte di febbraio) il livello piezometrico segua da vicino la media mobile su 24h del livello del mare oltre a presentare oscillazioni di più breve periodo che seguono i picchi di marea. Cioè, pur localizzandosi il piezometro a circa 550 m dalla costa (è il piezometro più lontano dalla costa) la falda si trova al di sotto del livello del mare seguendo l'andamento dell'acqua bassa. Invece, quando le oscillazioni di marea superano circa i 20 cm s.l.m.m. il piezometro inizia a registrare dei picchi del livello di falda che seguono i picchi di marea con un ritardo di circa 2:30h. Ugualmente si registrano diminuzioni repentine della temperatura pari a 0.1-0.5 °C con lo stesso ritardo. Non si registrano però picchi negativi di valore paragonabile in corrispondenza dei minimi di marea.

Ovviamente questo è un comportamento anomalo che, se confermato dai monitoraggi futuri, potrebbe essere giustificato tramite l'assunzione che esista un drenaggio particolarmente efficiente che metta in comunicazione il piezometro DZ2bis con il mare.

Oltre a ciò, si può ipotizzare che lo scatolare di cemento armato, realizzato nel 1962 per derivare il Rio Primario, trovi una giunzione non a tenuta completa in prossimità di dove lo stesso scatolare si va ad innestare al Rio Primario vero e proprio (anch'esso intubato) all'uscita dal sedime della Ferriera. Dai dati a disposizione tale giuntura si trova proprio a circa 20 cm s.l.m.m.



In conclusione, si dovrebbe ipotizzare che il piezometro DZ2bis segue da vicino le variazioni di marea (in modo più simile al PZ24 e meno al PZXbis) tramite un drenaggio molto efficiente, che però ne smorza le oscillazioni di alta frequenza, ed allo stesso tempo riceve un apporto diretto dal mare attraverso lo scatolare del Rio Primario tutte le volte che l'alta marea supera i 20 cm s.l.m.m. in modo da produrre i picchi positivi della falda associati alla repentina riduzione della temperatura.

La questione problematica non è tanto l'apporto diretto dal mare tramite la perdita di acqua marina dallo scatolare del Rio Primario deviato, ma piuttosto il fatto che il piezometro DZ2bis mostri un livello di falda mediamente molto basso e risenta così evidentemente delle variazioni di marea di lungo termine, comportandosi come piezometri che si localizzano vicini al mare. Due potrebbero essere le ipotesi:

- la prima che il drenaggio realizzato nel 1962 sotto lo scatolare del Rio Primario deviato sia effettivamente molto efficiente (ipotesi sviluppata come "modello Rio Primario");
- la seconda che in fase di realizzazione dello scatolare del Rio Primario deviato sia stata realizzato o mantenuto collegamento (una condotta?) tra l'attacco del Rio Primario e la costa (ipotesi sviluppata come "modello Mandracchio").

Le analisi successive eseguite durante la fase *in operam* del progetto di marginamento a mare (cosiddetto Progetto INVITALIA) hanno mostrato come la prima di queste due ipotesi sia quella corretta.

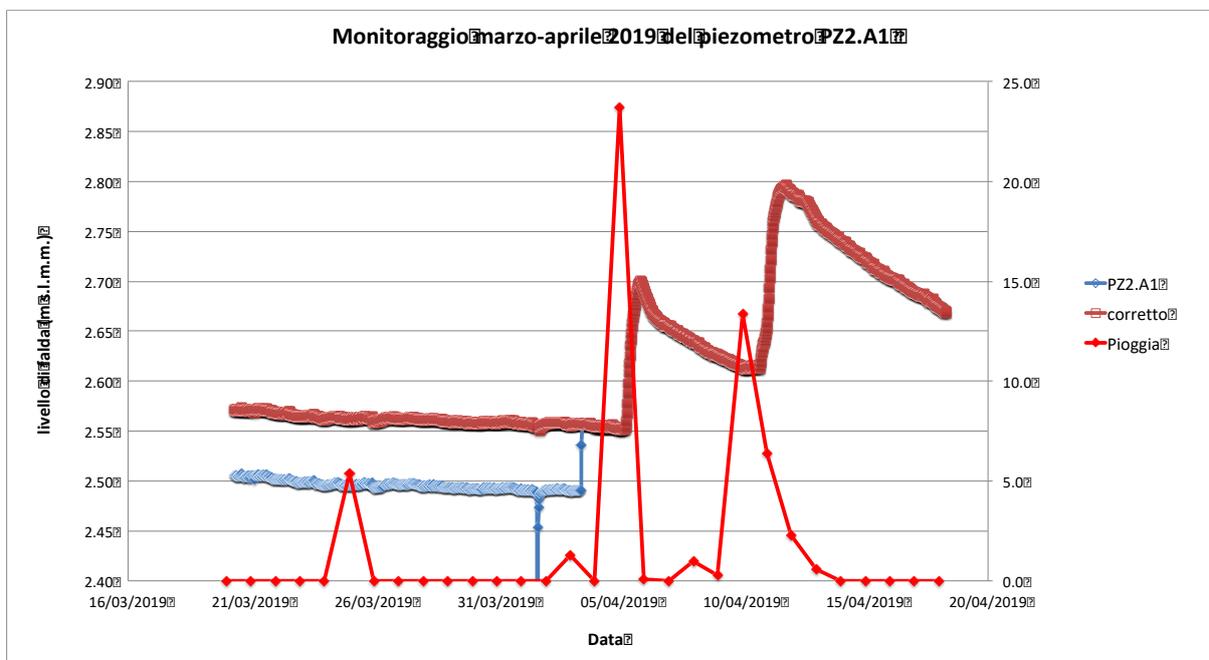


Figura 3.7: Livello piezometrico (scala di sinistra) e dato di piovosità giornaliera (scala di destra in mm) del PZ2.A1 durante il periodo marzo-aprile 2019. Notare i picchi nella falda in corrispondenza dei picchi di piovosità in modo simile al PZ11 (Figura 3.2), ma in questo caso con piogge di piccola intensità non vi sono aumenti nel livello di falda. Notare altresì che la prima parte del periodo è stata corretta verso l'alto in base alla calibrazione eseguita a metà del periodo.

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>RISPOSTA ALLE OSSERVAZIONI CIRCA GLI ASPETTI GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI</p>	<p>Pag. 21 di 31</p>
---	---	----------------------

La falda al piezometro PZ2.A1 (Figura 3.6), come peraltro in quasi tutti gli altri piezometri (per esempio PZ7, PZ7.A2, PZ10 e PZ3.A2), registra un andamento fortemente influenzato dalla piovosità soltanto quando, a differenza del PZ11, la piovosità tende ad essere significativa (almeno maggiore di 6 mm).

Questo andamento potrebbe testimoniare la presenza di dispersione in acquifero dal sistema fognario delle acque piovane sulla collina di Servola ogniqualvolta si superi una portata definita.

Come mostrato, dove è stato necessario applicarlo, i dati di monitoraggio sono stati corretti per riportarli ai livelli di calibrazione strumentale.

Infine, con lo scopo di eliminare l'influenza della oscillazione di marea nei dati di monitoraggio, sia per il primo (febbraio-marzo) che per il secondo periodo (marzo-aprile) del 2019 di rilevamento della falda, è stata adottata la seguente procedura:

- 1) È stato scelto l'intervallo di tempo tra due minimi di marea corrispondenti ai quarti di luna mediando i valori di marea rilevati in tale intervallo. Per il primo periodo la media è pari a -2 cm s.l.m.m., mentre per il secondo periodo la media ha un valore di -1 cm s.l.m.m.. Tali incertezze, rispetto allo zero del livello medio del mare, sono praticamente paragonabili all'errore di misura (circa  $\pm 1$  cm) e possono essere trascurate.
- 2) È stata fatta la media dei dati calibrati, per il medesimo intervallo temporale dei due periodi di misura, di tutti i piezometri monitorati.
- 3) In base all'analisi dei dati sono state adottate, per il primo periodo di misura, ulteriori correzioni per i piezometri localizzati nella zona "Rio Primario" basandosi sulle calibrazioni effettuate durante il secondo periodo che sembrano maggiormente attendibili.
- 4) Infine, è stata computata la media tra i dati piezometrici corretti del primo e del secondo periodo di misura in modo da ottenere i dati di calibrazione per il modello idrogeologico.

I risultati di questa procedura sono riportati Tabella 2 dove:

- La media dei piezometri nel primo periodo è indicata come "Falda 1" e quella del secondo periodo come "Falda 2".
- Nella colonna "Correzione" sono riportati i dati dei piezometri relativi alla zona del "Rio Primario" così come corretti secondo quanto indicato al soprastante punto 3).
- La colonna "Differenza" corrisponde, appunto, alla differenza tra "Falda" 2 e "Falda 1", dove si osserva che tali differenze risultano mediamente contenute in un intervallo ristretto con una media di 3 cm ed una deviazione standard di 9 cm. Questa media e deviazione standard sulla differenza tra le due campagne di misura indicano immediatamente l'accuratezza che il modello idrogeologico deve ottenere per poter essere considerato calibrato. In pratica, qualora il modello idrogeologico predica la quota di falda dei piezometri di calibrazione con una precisione di  $\pm 9$  cm si deve ritenere che la calibrazione ha raggiunto il livello ottimale massimo. Questo ovviamente senza considerare che nel modello vi sono errori dipendenti dalle



imperfette conoscenze della geologia, della permeabilità, della ricarica e delle condizioni al contorno.

- Le colonne "Modello Rio Primario" e "Modello Mandracchio" con le associate colonne "Differenza" corrispondono ai risultati dei due modelli idrogeologici sopra indicati.

Tabella 2: Dati di calibrazione. In rosso il dato relativo al piezometro PZXbis al momento non preso in considerazione.

	Piezometro	Falda <sup>1</sup> (cm <sup>3</sup> /lmm)	Correzione (cm <sup>3</sup> /lmm)	Falda <sup>2</sup> (cm <sup>3</sup> /lmm)	Differenza (cm)	Media (cm <sup>3</sup> /lmm)	Modello <sup>2</sup> Rio <sup>1</sup> Primario (cm <sup>3</sup> /lmm)	Differenza (cm)	Modello <sup>2</sup> Mandracco (cm <sup>3</sup> /lmm)	Differenza (cm)
Piezometri alti	PZ2.A1	2.52		2.61	0.09	2.57	2.60	0.03	2.50	-0.07
	PZ11	3.58		3.83	0.25	3.70	3.65	-0.05	3.65	-0.05
	PZ1.A2	3.99		4.03	0.03	4.01	4.02	0.01	4.05	0.04
Piezometri bassi	PZ24	0.24		0.16	-0.08	0.20	0.31	0.11	0.31	0.11
	PZ1.A3	2.49		2.46	-0.03	2.48	2.40	-0.08	2.52	0.04
	PZ4	1.14		1.02	-0.13	1.08	1.16	0.08	1.13	0.05
	PZ7	1.47		1.42	-0.05	1.44	1.51	0.07	1.50	0.06
	PZ7.A2	1.24		1.37	0.13	1.31	1.38	0.07	1.33	0.02
Piezometri Rio Primario	PZ9	1.20		1.22	0.02	1.21	1.18	-0.03	1.21	0.00
	Dz2bis	0.08		0.10	0.02	0.09	0.10	0.01	0.10	0.01
	Dz3bis	0.92	0.70	0.73	0.03	0.71	0.72	0.01	0.72	0.01
	PZ10	0.91	0.72	0.77	0.05	0.75	0.78	0.03	0.77	0.02
	PZ8.A2	0.99	1.03	1.07	0.04	1.05	1.02	-0.03	1.03	-0.02
	PZ6.A2	0.17	0.91	0.75	-0.17	0.83	0.85	0.02	0.82	-0.01
	PZ3.A2	0.76		0.79	0.03	0.77	0.74	-0.03	0.69	-0.08
Piezometri intermedi	PZ23	-0.01		-0.03	-0.02	-0.02	0.05	0.07	0.06	0.08
	PZ4.A1	0.29		0.29	0.00	0.29	0.35	0.06	0.35	0.06
	PZ5.A2bis	0.20		0.20	-0.01	0.20	0.28	0.08	0.28	0.08
	PZ4.A2bis	0.22		0.22	-0.01	0.22	0.23	0.01	0.28	0.06
Piezometri mare	PZ2.A3	0.01		0.18	0.16	0.09	0.04	-0.05	0.04	-0.05
	PZXbis	0.03		0.31	0.27	0.03	0.03	0.00	0.03	0.00
	PZYbis	0.06				0.06	0.12	0.06	0.12	0.06
	PZWbis	0.17		0.27	0.10	0.22	0.29	0.07	0.28	0.06
	PZ3.A1	0.25		0.36	0.11	0.31	0.26	-0.05	0.25	-0.06
	PZ16	0.11		0.13	0.02	0.12	0.08	-0.04	0.08	-0.04
	PZ11.A2	0.05		0.26	0.21	0.15	0.12	-0.03	0.13	-0.02
	PZ10.A2	0.19		0.23	0.04	0.21	0.14	-0.07	0.17	-0.04
	PZ2.A2	0.41		0.41	0.00	0.41	0.36	-0.05	0.35	-0.06
	Media <sup>2</sup>					0.03			0.01	0.01
Deviazione <sup>2</sup> standard <sup>2</sup>					0.09			0.05	0.02	

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>RISPOSTA ALLE OSSERVAZIONI CIRCA GLI ASPETTI GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI</p>	<p>Pag. 23 di 31</p>
---	---	----------------------

### 3.1.2 Monitoraggio della falda nella Collina di Servola

#### 3.1.2.1 Campagna gennaio-febbraio 2022

Il monitoraggio della falda nella Collina di Servola è stato eseguito nel gennaio-febbraio 2022 su 5 piezometri (Tabella 3) riportati in pianta nella Figura 3.8.

I dati di monitoraggio mostrano che, all'interno della collina, la falda (piezometri SG009, SG011 e SG013) si trova ad una quota superiore anche di vari metri rispetto a quella supposta dalla calibrazione il modello idrogeologico. Ciò indica che l'attuale galleria della ferrovia di Servola non drena a sufficienza gli afflussi (da monte e dall'alto) della falda.

Tabella 3: Dati di monitoraggio della falda della Collina di Servola eseguiti nel gennaio-febbraio 2022.

Piezometro	Quota BP	Profondità falda da BP	Quota falda	Finestratura da BP		Data misura	Conducibilità idraulica
				da	a		
	m slmm	m	m slmm	m	m		Lefranc m/s
SG009	13,14	-1,86	11,28	-1	-13,6	17/02/22	2,83E-06
						17/02/22	1,46E-06
SG011	26,25	-13,19	13,06	-1	-27	03/02/22	3,80E-06
						08/02/22	5,07E-07
SG012	16,05	-11,95	4,1	-1	-17	27/01/22	8,30E-07
						28/01/22	5,26E-06
SG013	30,23	-16,27	13,96	-1	-29,5	11/02/22	2,07E-06
						16/02/22	8,32E-07
SG014	6,81	-0,97	5,84	-1	-5	31/01/22	6,95E-06
SG015	5,43	-2,6	2,83	-1	-5	02/02/22	6,53E-06

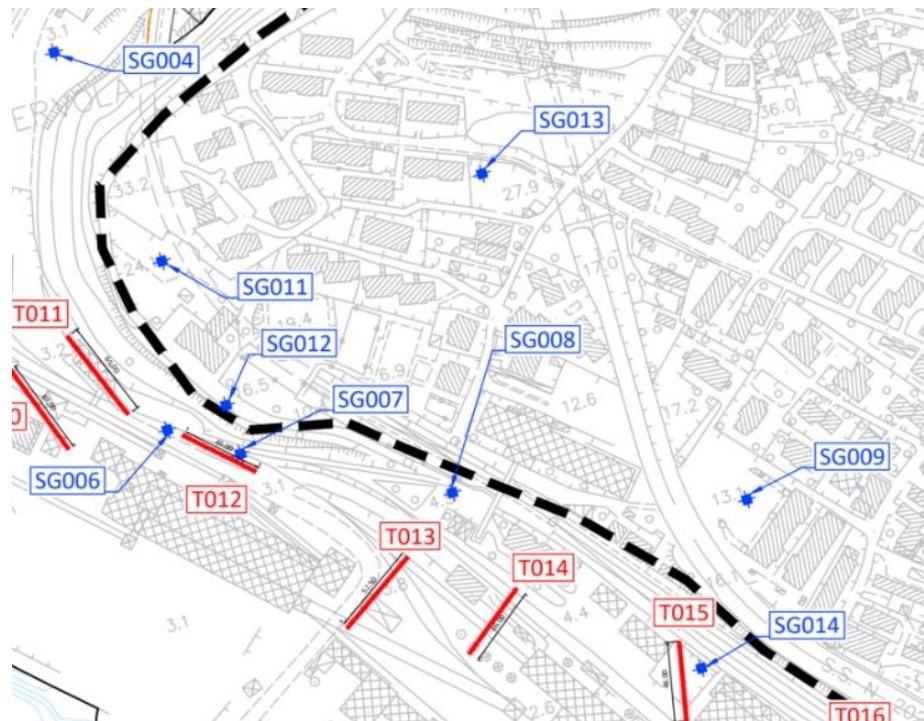


Figura 3.8: Ubicazione dei piezometri di rilevamento della falda (Tabella 1.3) nella Collina di Servola. La linea nera marca la strada di accesso agli uffici della ex-ferriera. In blu sono indicati sondaggi e piezometri, in rosso le sezioni di tomografia sismica.

Si nota, in particolare, come il piezometro SG011 pur trovandosi abbastanza vicino al margine della collina presenta un livello di falda elevato e di poco inferiore a quello del piezometro SG013 (locato in posizione significativamente più interna rispetto al primo ma prima della galleria autostradale), ma superiore a quello a quello del piezometro SG009 (che si trova a distanza maggiore verso SE oltre l'autostrada). Gli altri piezometri, incluso il piezometro SG012 – che è il più vicino al margine della collina – presentano quote paragonabili a quelle riportate nel modello idrogeologico calibrato.

L'assetto geologico strutturale della Collina di Servola permette di giustificare tale andamento anisotropo della falda (vedi relazione geologica). Infatti, nell'area di interesse, la formazione del Flysch mostra un assetto di sinclinale con asse leggermente immergente a SE. Dato che la permeabilità nel Flysch è controllata dalla fratturazione degli strati arenacei, mentre gli strati marnosi intervallati costituiscono acquicludi, la falda tende necessariamente a fluire prevalentemente verso SE (la direzione degli strati arenacei) e meno facilmente verso SO – in questa direzione, infatti, il flusso è limitato dagli strati marnosi –. Ne segue necessariamente che i gradienti di falda sono più elevati verso SO che verso SE.

### 3.1.2.2 Campagna gennaio 2024

Le misure freatiche prese il 23 e 24.01.2024 sulla collina hanno registrato i seguenti livelli (per la posizione planimetrica si faccia riferimento alla precedente Figura 3.8):

- SG11:  $24.1 - 11.6 = +12.5$  m s.m.m.
- **SG12:  $16.5 - 9.7 = 6.8$  m s.m.m.**

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>RISPOSTA ALLE OSSERVAZIONI CIRCA GLI ASPETTI GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI</p>	<p>Pag. 25 di 31</p>
---	---	----------------------

- SG13: 27.9-13.61=14.3m s.m.m.

Il piezometro SG11 è più lontano dalla paratia di quanto lo sia SG12. Pertanto, quest'ultimo viene considerato quello che più da vicino può rappresentare la quota massima della falda verso monte a contatto della stessa paratia (+6.8 m s.m.m.). Pertanto, la quota della falda scelta per il calcolo delle pressioni idrostatiche di 8 m slmm risulta essere cautelativa.

### 3.1.3 Monitoraggio piezometrico in seno al barrieramento a mare (Progetto INVITALIA)

Prima della attuazione del progetto Invitalia, a novembre 2022 è stato ripetuto il monitoraggio già presentato al §3.1.1.

Il monitoraggio ha avuto una durata di 4 giorni in modo da poter includere vari cicli di marea e poter così ottenere un valore attendibile dei livelli di falda medi anche per i piezometri in prossimità del mare.

A causa dei lavori di smantellamento della ex area a caldo della Ferriera, non è stato però possibile recuperare e monitorare molti dei piezometri che erano stati originariamente monitorati; viceversa sono stati monitorati due piezometri precedentemente non monitorati. Per i dati monitorati negli stessi piezometri è stato fatto un paragone tra i due set di rilevamento (cfr. seguente tabella 2.5).

Per la maggior parte dei piezometri la falda misurata nella fase ante operam (cfr. seguente Tabella 4) è sostanzialmente simile a quella misurata nella precedente fase di progetto. Le differenze (Tabella 5) possono facilmente essere ascritte ai suddetti lavori di demolizione. I piezometri PZ23 e PZ16 hanno valori superiori a quelli precedenti in quanto durante il periodo di monitoraggio il livello medio del mare è stato superiore (a 0.16 m slmm invece che a -0.02m slmm).

Tabella 4: Dati di monitoraggio ante operam della falda della ex-Ferriera di Servola

Piezometri m slmm	PZ9	PZ16	PZ23	PZ24	DZ3Bis	PZ2A1	PZ3A2	PZ3A3	PZ4A1	PZ7A2	PZ9A2	DZ2bis	PZWbis	PZ10
Media	1,50	0,66	0,43	0,49	0,90	2,04	0,83	4,65	0,44	1,35	0,26	0,33	0,30	0,87
Deviazione standard	0,14	0,10	0,09	0,09	0,07	0,16	0,07	0,87	0,07	0,16	0,20	0,12	0,18	0,07

Tabella 5: Paragone tra i dati di monitoraggio di progetto e ante operam della falda della ex-Ferriera di Servola.



	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>RISPOSTA ALLE OSSERVAZIONI CIRCA GLI ASPETTI GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI</p>	<p>Pag. 27 di 31</p>
---	---	----------------------

una sinclinale con asse leggermente immergente a SE. Dato che la permeabilità nel Flysch è controllata dalla fratturazione degli strati arenacei, mentre gli strati marnosi interposti tra questi costituiscono acquicludi, la falda tende sostanzialmente a fluire verso SE (la direzione degli strati arenacei) e non verso NO e SO – in questa direzione, infatti, il flusso è limitato dagli strati marnosi.

Per questi motivi si ritiene che la paratia di sostegno del nuovo asse ferroviario coincidente con il diaframma a monte idrogeologica debba tenere conto della presenza di una falda, internamente alla Collina di Servola, a quote che potrebbero raggiungere quote di 15-20m slmm. Pertanto, al fine di escludere la possibilità che tali quote di falda generino pressioni sulla paratia superiori a quelle per le quali è dimensionata (+8.0m slmm), si dà atto che a tergo della barriera è presente un doppio sistema di drenaggio (un tubo microfessurato orizzontale Ø500 mm a quota ±0.0m s.m.m. intercettato da pozzi Ø800 mm per tutta l'altezza con interasse di 50 m). Inoltre, per ulteriore garanzia di sicurezza, si propone di aggiungere nella paratia dei fori ~Ø150 mm a interasse 1.4 m (uno ogni coppia di pali secanti) alla quota di +8.10 m s.m.m. per assicurare che non ci sia accumulo di acqua oltre le quote di calcolo e per permettere eventuali interventi manutentivi di ripristino del drenaggio.

Trattandosi di acqua che non è ancora venuta in contatto con il volume contaminato oggetto di MISP, l'eventuale uscita di acqua dai fori descritti non pone questioni ambientali quando divenga flusso sull'impalcato ferroviario.



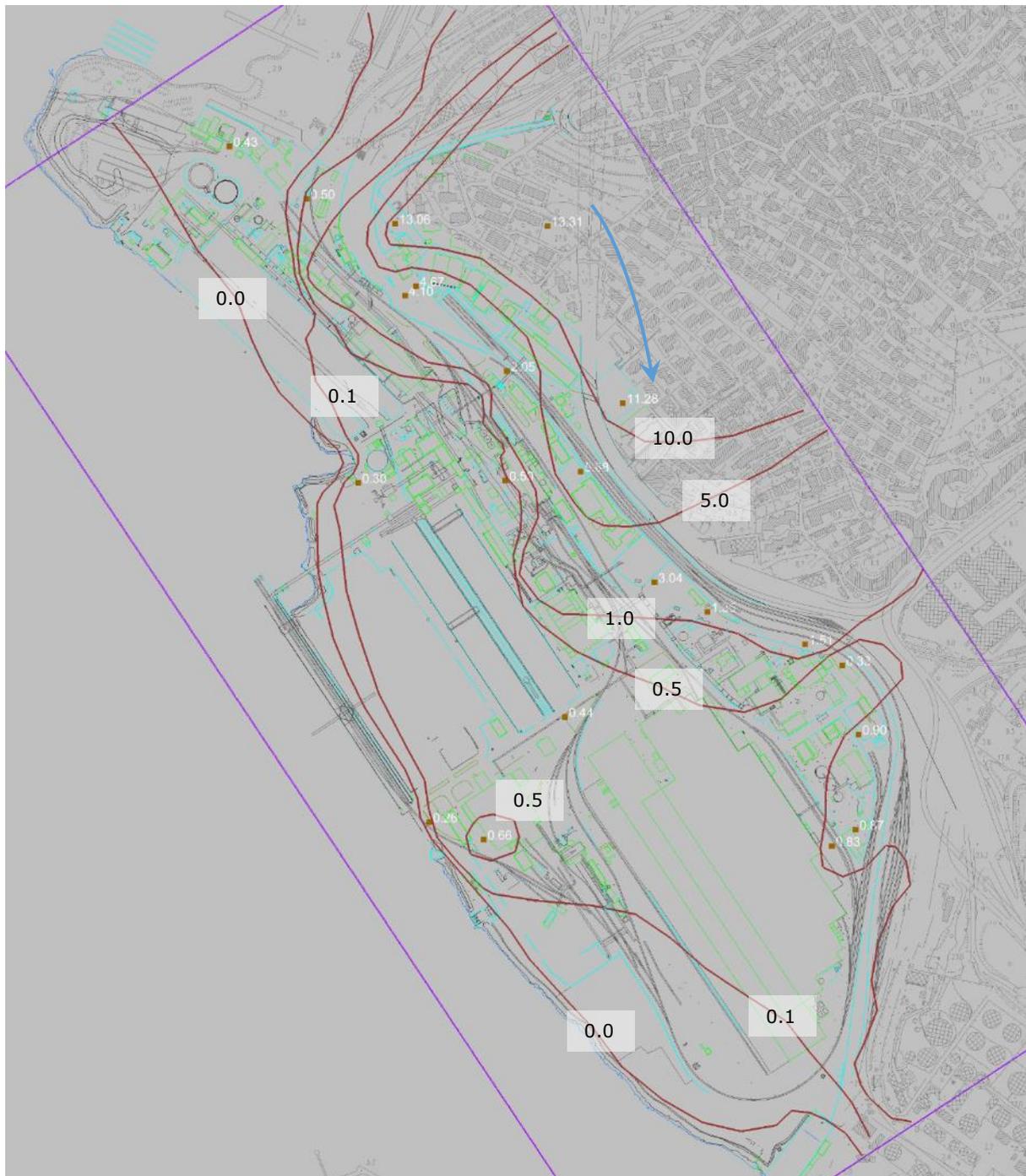


Figura 3.11: Livello di falda ante operam con indicati i valori piezometrici misurati nel singolo piezometro.

### 3.2 Prescrizioni per il monitoraggio della falda

Dai dati acquisiti al momento si ritiene necessario monitorare almeno due volte all'anno in periodo di magra e di morbida (mediamente aprile e ottobre) la falda ai piezometri SG009, SG011, SG012, SG013 per almeno tre anni (2024, 2025 e 2026). Successivamente si potrà valutare in



accordo con le autorità competenti la riduzione dei piezometri monitorati ai soli piezometri SG011 e SG012.

In accordo con il progetto di barrieramento a mare curato da INVITALIA il monitoraggio dei piezometri della Collina di Servola (cfr. planimetria di Figura 3.8) dovrà essere integrato con i dati di monitoraggio dei piezometri monitorati per il citato progetto.

Calibrare il modello nelle circostanze riscontrate di una permeabilità fortemente eterogenea derivante dalla presenza nel Flysch in sinclinale immergente a SE è possibile, ma certamente difficile da realizzare con il codice di calcolo utilizzato (MODFLOW); d'altra parte, si ritiene che con le osservazioni operative indicate nel §3.1.4 non si pongano questioni rilevanti sulla scelta tipologica delle opere o sull'entità sostanziale delle conseguenze del modello sulla determinazione delle portate in gioco.

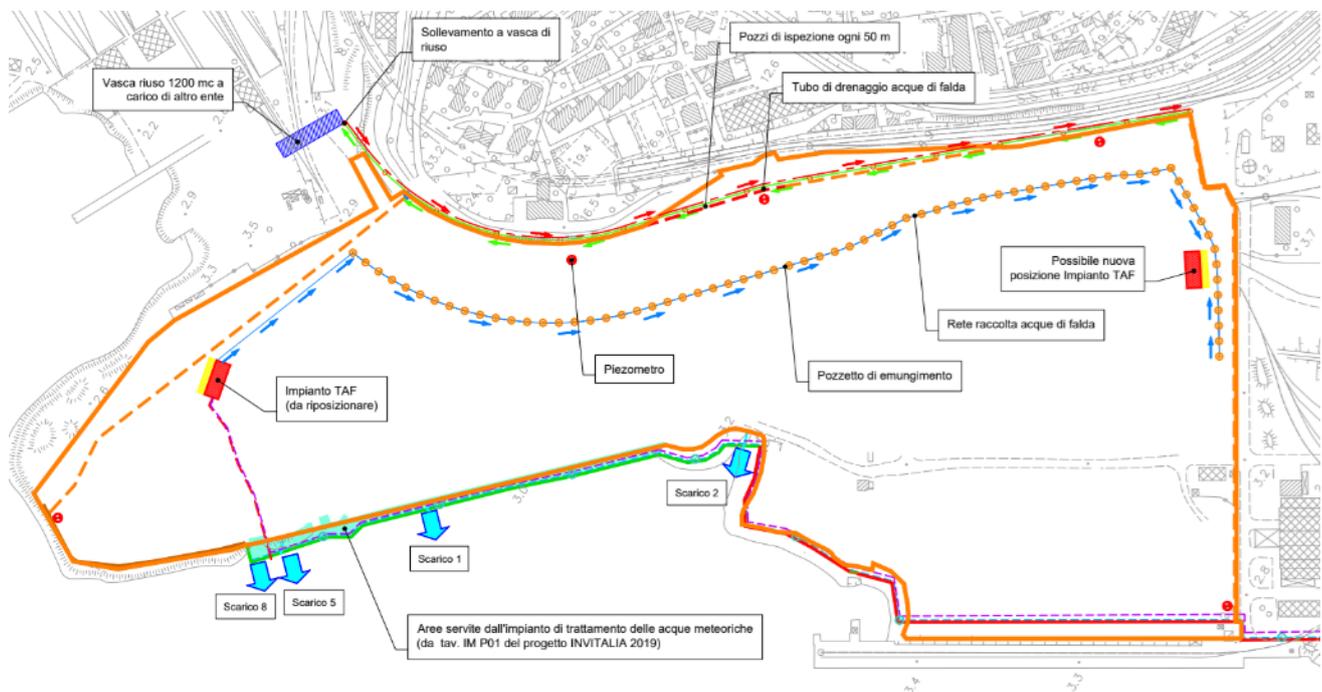


Figura 3.12: barriera perimetrale e sistema di pozzi e drenaggi previsti nella MISP generale redatta da Logistica Giuliana e approvata con decreto direttoriale 391 del 31.10.2023. La parte relativa alle aree con associate funzioni pubbliche è assunta in seno al PFTE 1951 di AdSPMAO in forza del comma 8, dell'art. 3-bis dell'AdP del 2020 e in forza del DM 330/2021 che ha assegnato a AdSPMAO i fondi PNC per la realizzazione del progetto.

### 3.3 Conclusioni

Gli approfondimenti riepilogati nel presente documento in riscontro alla prescrizione 6.1.b della Commissione VIA consentono di trarre le seguenti conclusioni.

- sono state fatte nuove misure e nuove verifiche geologiche oltre che piezometriche:
  - o nell'area della ex-ferriera di Servola per il progetto di barrieramento a mare curato da Invitalia;

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>RISPOSTA ALLE OSSERVAZIONI CIRCA GLI ASPETTI GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI</p>	<p>Pag. 31 di 31</p>
---	---	----------------------

- nella collina di Servola per il progetto attuale;
- sono stati controllati gli effetti sulla falda in correlazione a maree e piogge, legando le analisi anche alla conformazione attuale del sito e alla presenza di sottoservizi (scatolare del rio Primario e drenaggio di fondo);
- certamente i previsti interventi di MISP unitamente a quelli del barrieramento a mare agiranno in maniera sostanziale su:
  - gli apporti dalla collina all'area della ex ferriera, nella misura in cui è previsto il diaframma di monte,
  - la ricarica superficiale ad opera delle piogge,
  - la connessione con le maree;
- la modellazione idrogeologica e la progettazione hanno fatto assunzioni cautelative che, all'esito delle più recenti osservazioni, possono essere ulteriormente migliorate con i monitoraggi proposti e con i presidi di sicurezza indicati per la paratia di monte;
- le incertezze espresse nelle relazioni, che in qualche misura permangono, risultano essere però ininfluenti rispetto all'esito dell'ottimizzazione che possono discendere dai futuri monitoraggi indicati in questo documento;
- ci si attende che la soluzione delle incertezze, conseguenti alla ricalibrazione del modello, comportino una riduzione delle portate da drenare e trattare, e pertanto non si reputa che queste possano cambiare:
  - il tipo di opere previste o il loro dimensionamento;
  - l'ordine di grandezza delle portate di acqua di falda da gestire (stimate fin qui in via cautelativa e pertanto considerate possibilmente riducibili).