



REGIONE AUTONOMA  
FRIULI VENEZIA GIULIA



Autorità di Sistema Portuale  
del Mare Adriatico Orientale

---

# Piano Regolatore Portuale del Porto di Monfalcone Variante Localizzata

---

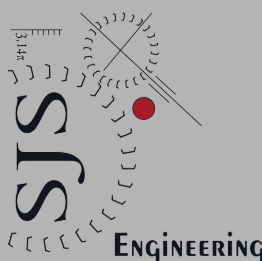
Il Responsabile del  
procedimento

Dott. Marco Padrini

Il Presidente dell'Autorità di  
Sistema Portuale

Dott. Zeno D'Agostino

Progettisti



Archest

Titolo Elaborato

**INQUADRAMENTO  
GEOLOGICO E GEOTECNICO**

Codice Elaborato

Elaborato

P.5.2.2

Revisione	Data	Descrizione
1	Novembre 2019	Emissione per Adozione
0	Settembre 2019	Prima emissione

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO</b> .....	<b>3</b>
	2.1 Inquadramento geologico .....	3
	2.2 Inquadramento idrogeologico.....	7
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE</b> .....	<b>10</b>
	3.1 Definizione della situazione lito-stratigrafica locale.....	16
<b>4</b>	<b>CATEGORIA DEL SUOLO E CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA</b> .....	<b>24</b>
	4.1 Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche .....	24
	4.2 Amplificazione stratigrafica e topografica.....	26
<b>5</b>	<b>ANALISI DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DEL TERRENO</b> .....	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>PROBLEMATICHE GEOTECNICHE</b> .....	<b>30</b>

## 1 INTRODUZIONE

Lo scrivente raggruppamento temporaneo (RT) costituito da MODIMAR s.r.l. (mandatario), SJS Engineering s.r.l. (mandante) e Archest s.r.l. (mandante) è risultato aggiudicatario del servizio tecnico di pianificazione, progettazione e coordinamento tecnico scientifico del Piano Regolatore Portuale (PRP di seguito) del porto di Monfalcone, a seguito di gara indetta dalla Regione Friuli Venezia Giulia – Direzione Centrale Infrastrutture e Territorio (RFVG).

Per i cogenti motivi indicati nella Premessa del documento *"P.2 Relazione generale"*, la RFVG, di concerto con *tutti* i portatori di interesse del Porto, ha scelto di perseguire lo strumento di "Variante Localizzata al PRP" del porto di Monfalcone, quale unico ed efficace strumento per attuare rapidamente un intervento decisivo, fondamentale ed indifferibile per lo sviluppo del porto di Monfalcone.

Il presente Studio Specialistico *"P.5.2.2 Inquadramento Geologico e Geotecnico"* accompagna il progetto di "Piano Regolatore Portuale di Monfalcone - Variante Localizzata".

Il presente documento riporta in sintesi gli elementi conoscitivi geologici, idrogeologici, geotecnici, sulla base dei numerosi dati di base a disposizione (in particolare i dati geotecnici derivanti dalle operazioni di campagna propedeutiche alla Variante Generale al PRP di Monfalcone del 2005 ed alle indagini eseguite a supporto del progetto dei lavori di approfondimento del canale di accesso e del bacino di evoluzione del porto di Monfalcone del quale è in corso la procedura di gara per l'appalto dei lavori).

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

### 2.1 Inquadramento geologico

La piana monfalconese rappresenta l'estremo limite sud-orientale della Pianura Friuliana che si trova a diretto contatto con il complesso calcareo, prevalentemente Cretacico, che costituisce il Carso goriziano e triestino.

Il Carso si estende in direzione Nord-Ovest Sud-Est su una vasta area ripartita fra Slovenia, Croazia e Italia. La parte italiana è conosciuta come "Carso triestino" ed è limitata a Nord-Ovest dalle alluvioni dell'Isonzo, a Nord-Est dal tratto finale del Vipacco, a Sud-Est dal solco della Val Rosandra e a Sud-Ovest dall'Adriatico. Geograficamente quindi, abbraccia, oltre all'intera provincia di Trieste, anche parte di quella di Gorizia.

L'aspetto superficiale del paesaggio carsico è caratterizzato da distese pietrose e brulle in cui si succedono doline e inghiottitoi più o meno ampi, campi carreggiati, scannellature, vaschette di corrosione e grize (campi di pietrame). Inoltre, la concomitanza dei fattori litologici e tettonici, dà luogo ai polje. Dal punto di vista stratigrafico, sul Carso Triestino affiorano depositi di piattaforma carbonatica di età compresa fra l'Aptiano e l'Eocene inferiore, potenti fino a 2000 m, sovrastanti da depositi torbiditici (Flysch) di età Eocene Inferiore-medio. I litotipi carbonatici (calcari e subordinatamente dolomie) sono inseriti nella "Formazione dei Calcari del Carso" e solo recentemente sono stati divisi in "membri" informali e provvisori.

Dal punto di vista strutturale il Carso si presenta come una dolce anticlinale che può essere assimilata alla struttura prealpina friulana. L'anticlinale presenta l'asse orientato secondo la direzione NW-SE, corrispondente a quella che è l'orientazione caratteristica delle strutture formatesi durante la fase dinarica dell'orogenesi alpina, e configurazione asimmetrica, con il fianco settentrionale più sviluppato e meno acclive e il fianco meridionale meno sviluppato e più acclive.

Geograficamente è evidente la presenza di tre distinti trend tettonici:

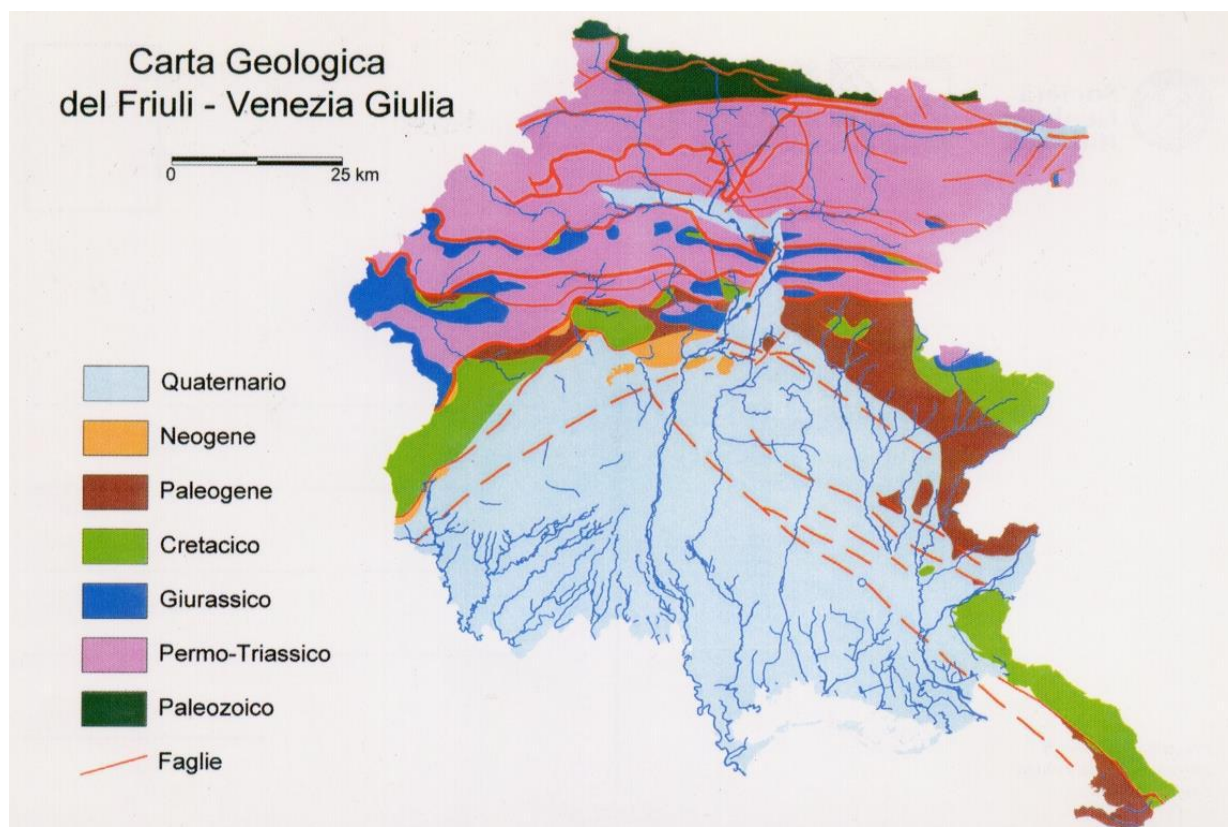
- tilaventino, dominante nel settore centrale montano e pedemontano dell'area, con linee orientate in senso E-W che porta le unità tettoniche ad accavallarsi con vergenza verso S;
- dinarico, caratterizzante il settore orientale, a direzione NW-SE e vergenza SW;
- valsuganese, tipico del settore prealpino occidentale, a direzione NE-SW con vergenza SE delle unità coinvolte.

Una sintesi della geologia della regione Friuli Venezia Giulia è presente nella seguente figura con indicata l'area d'interesse che ricade sui depositi Quaternari ed è limitata a Nord-Est dalle formazioni del Cretaceo del Carso goriziano-triestino.

Nell'area di interesse gli strati presentano una direzione principale ESE-WNW ed immersione dominante secondo la direzione S-SW con inclinazione variabile dai 20°, rilevata nei pressi della statale a Monfalcone, ai 40° in corrispondenza di M.te S. Antonio nell'area di Lisert.

Nei pressi di Monfalcone, a Sud della linea ferroviaria, gli strati calcarei immergono direttamente sotto ad una coltre di materiali incoerenti la cui potenza aumenta progressivamente in direzione del mare. Questi sedimenti, attribuibili al Quaternario medio-superiore, sono costituiti da un'alternanza di depositi alluvionali, marini e di transizione riconducibili alle variazioni della linea di costa avvenute nel Quaternario a causa di fenomeni connessi alle fasi glaciali (abbassamento relativo del livello marino) e interglaciali (innalzamento relativo del livello marino).

La genesi della piana monfalconese va collegata, tuttavia, agli episodi deposizionali del Fiume Isonzo nel periodo compreso tra il postwurmiano e l'attuale.



**Fig. 1.1 – Carta Geologica semplificata del Friuli Venezia Giulia. (Carulli et alii, 2000)**

Nella figura 1.2 è riportato uno stralcio Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia, scala 1:150.000 (Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia – G.B Carulli, 2006) che in tutta l'area a mare interessata dai dragaggi, dalla realizzazione della nuova diga foranea, della nuova cassa di colmata, dalla banchina del nuovo terminal mutipurpose e delle autostrade del mare e dal relativo rilevato a mare dalla porzione meridionale è caratterizzata dalla presenza di depositi quaternari classificati come sedimenti marino-lagunari appartenenti all'Attuale. La granulometria varia da sabbie pelitiche di colore grigio scuro a peliti sabbiose di colore grigio verdastro o cenere, grigio plumbeo o nerastro.

In corrispondenza dell'attuale cassa di colmata, in parte interessata dalla realizzazione del piazzale del suddetto terminal, sono invece presenti depositi del Quaternario identificati come "Aree di bonifica e di riporto artificiale" e visualizzati con il colore grigio chiaro e il numero 30. Tali depositi da un punto di vista cronologico sono stati attribuiti all'"Attuale".

In questo livello litostratigrafico sono state raggruppate le estese aree oggetto di imponenti interventi di bonifica nonché quelle più limitate oggetto di riporti artificiali. Le opere di bonifica hanno portato

ad un rimaneggiamento dei terreni in situ senza modificarne, nel complesso, natura e composizione. Le aree di riporto artificiali invece hanno comportato spesso l'immissione di materiali alloctoni usati per il tombamento di terreni destinati ad usi urbani e industriali (valle delle Noghere, cantieri di Monfalcone). Nello specifico i sedimenti della cassa di colmata in oggetto sono stati classificati da un punto di vista tessiturale come limi argillosi talora con sabbie e ghiaie subordinate.

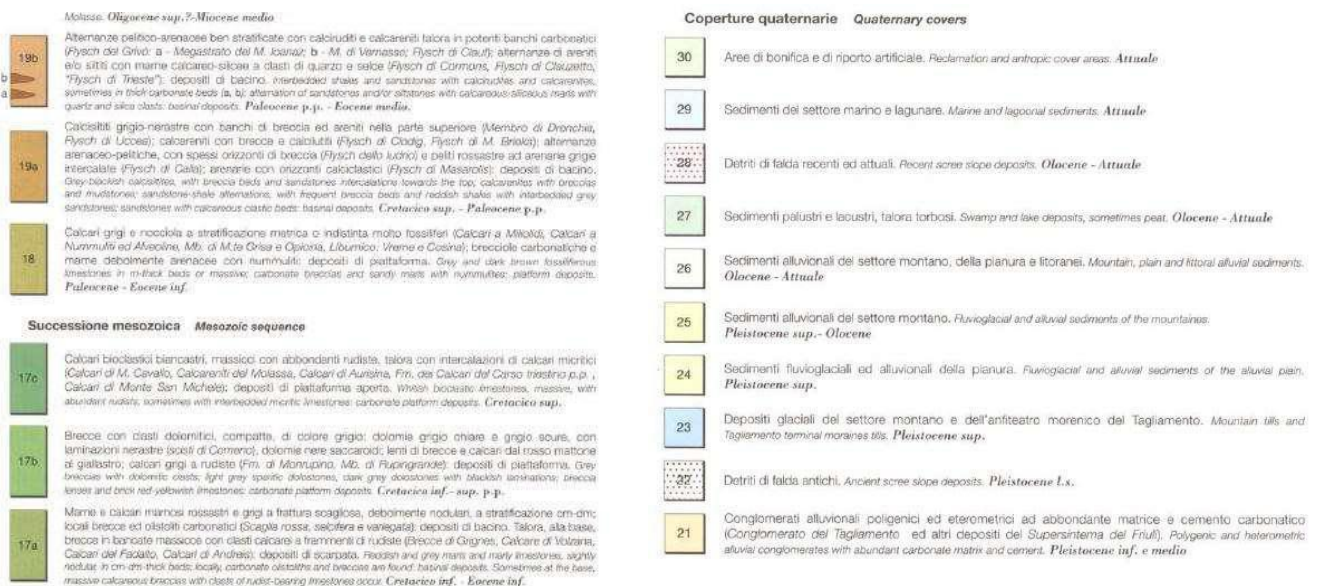


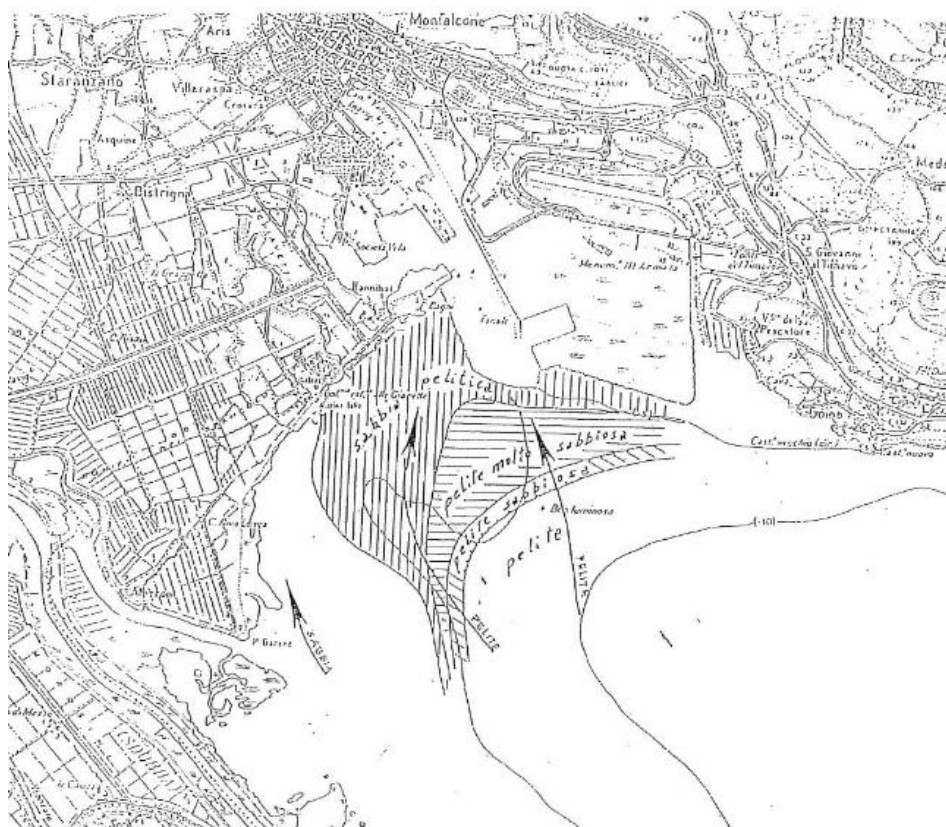
Figura 1.2: Estratto Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia, scala 1:150.000 (Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia – G.B Carulli, 2006)

Il Porto di Monfalcone si affaccia sulla Baia di Panzane che costituisce la sezione settentrionale del Golfo di Trieste, delimitata da una linea ideale che congiunge Marina di Aurisina con Punta Sdobba. Tra Marina di Aurisina e Duino la costa è alta e rocciosa, essendo costituita dalle estreme propaggini meridionali dell'altopiano carsico; verso Ovest, la costa diventa rapidamente bassa, modellata dalle piane alluvionali dei fiumi, in particolar modo dalla foce dell'Isonzo.

Il Fiume Isonzo rappresenta il principale corso d'acqua della zona, la sua foce, negli lùtimi Secoli, è andata via via migrando dalla zona di Grado (I secolo d.C.), alla foce dell'Isonzato (XII secolo d.C.), alla Sdobba (XVI secolo d.C.) ed infine alla Quarantia (1896) da dove è stato artificialmente ricondotto alla Sdobba (1938) per evitare l'interramento della Baia di Panzano.

La deposizione dei materiali trasportati dai fiumi è caratterizzata da una classazione dei sedimenti dovuta all'alternanza di periodi di maggiore e minore portata. Questa variazione di portate, oltre ad influire sul divagare dell'alveo fluviale, ha caratterizzato la serie stratigrafica alluvionale che si presenta con la caratteristica struttura lenticolare: sulla stessa verticale si ha il deposito, a più riprese, di materiali aventi peso e dimensioni differenti. La caratterizzazione litologica dell'area risulta, pertanto, a struttura embricata con eterogeneità granulometriche verticali e, in particolar modo, orizzontali con il deposito successivo di ciottoli e ghiaie seguiti da sabbie grosse e fini da limi e argille con disposizione generale sottoforma di lenti a varia composizione percentuale, allineate in senso Nord-Sud e con lievissime inclinazioni (v. figura 3).

Nel corso del tempo la morfologia della baia è stata profondamente modificata dall'intervento antropico. In questa baia si è proceduto al dragaggio del canale di accesso al porto e di un canale laterale e, oltremodo, all'escavazione del bacino di Panzano e alla costruzione della cassa di colmata, le cui scogliere di protezione sono state collocate sul fondale a 2,5 m di profondità.



**Figura 1.3 - Distribuzione granulometrica e dispersione dei sedimenti nel Golfo di Panzano**

## 2.2 Inquadramento idrogeologico

In linea generale le caratteristiche idrogeologiche della Pianura friulana sono contrassegnate dal progressivo affinamento dei caratteri granulometrici che si manifesta sia con la profondità sia procedendo da Nord verso Sud.

L'Alta pianura friulana, infatti, è costituita da alluvioni grossolane accumulate nella fase di decrescita delle piene di fiumi e torrenti ed è caratterizzata dalla presenza di numerosi conoidi di deiezione che per la maggior parte dell'anno si presentano asciutti a causa dell'elevata permeabilità del suolo. La falda è alimentata dagli acquiferi in roccia della fascia pedemontana, dalle perdite di subalveo dei principali corsi d'acqua superficiali e dalle infiltrazioni meteoriche.

Al contrario, la Bassa pianura friulana, intesa come entità fisiografica, si estende tra i fiumi Torre - Isonzo a Est e il fiume Tagliamento a Ovest e si sviluppa dalla fascia delle risorgive a Nord fino alla frangia lagunare a Sud (Fontana, 2006). È caratterizzata da terreni di natura argilloso-sabbiosa, con pendenza del suolo molto ridotta e da alvei fluviali con andamento tipicamente meandriforme. Potenti depositi pelitici sono intercalati in modo complesso e irregolare a orizzonti ghiaioso-sabbiosi, talvolta sono presenti anche estesi orizzonti torbosi. Questi depositi sono in parte di origine fluvioglaciale e in parte di origine marina, lagunare e palustre e la loro genesi è legata alle variazioni eustatiche connesse al glacialismo wurmiano.



Figura 2.1. Principali unità fisiografiche del bacino idrogeologico del Friuli Venezia Giulia (PRTA, 2018)



L'Alta e la Bassa pianura friulana sono separate dalla "linea delle risorgive" che si sviluppa lungo una direttrice Est-Ovest e rappresenta il limite dove parte delle acque della falda freatica raggiunge la superficie a causa della diminuzione della permeabilità dei litotipi costituenti il sottosuolo.

La "linea delle risorgive" identifica quindi il limite in cui una parte cospicua dell'acqua contenuta nella falda freatica indifferenziata dell'Alta pianura friulana risale in superficie, a causa del calo della permeabilità dei depositi che incontra nel sottosuolo, dando origine a numerosi corsi d'acqua (fiumi di risorgiva) che costituiscono una rete idrografica copiosamente alimentata e quasi totalmente regimata lungo tutto il percorso fino alla Laguna di Marano Lagunare e Grado. Uno schema generale della Pianura friulana è richiamato nella seguente figura. In profondità, la falda freatica presente nell'Alta pianura si stratifica (nella Bassa pianura) in una serie di acquiferi semiconfinati, confinati e artesiani, tra i quali si possono distinguere dieci acquiferi profondi principali (ARPA-FVG, 2001; Cucchi et al., 1999). Gli acquiferi sono sede di falde artesiane con scorrimento delle acque da Nord verso Sud.

Per completezza, va detto che in quasi tutta la Bassa pianura, e specialmente là dove affiorano orizzonti ghiaioso - sabbiosi, a scarsa profondità dal piano campagna è presente in genere dell'acqua contenuta in una falda freatica "sospesa" che, se riveste un'importanza solo relativa nel quadro dell'assetto idrogeologico globale, ha una certa rilevanza per le problematiche relative al territorio.

Le sette unità idrologiche superficiali principali che caratterizzano la Pianura friuliana (Stefanini e Cucchi, 1976 e 1977), mutano sia arealmente sia verticalmente e sono così descrivibili:

- Sistema Falda A: costituita da più livelli acquiferi (tra cui i principali individuabili sono indicati A1, A2 e A3) situati tra 30 e 80 m da p.c., caratterizzati da sedimenti ghiaioso - sabbiosi intercalati a orizzonti impermeabili. La potenza massima dei vari livelli si aggira attorno ai 10 metri;
- Falda B: costituita da due livelli acquiferi (indicati B1 e B2) situati tra 80 e 110 metri da p.c.. Si tratta di una falda abbastanza continua, sviluppata in orizzonti sabbiosi e con una potenza media di 8 metri;
- Falda C: piuttosto discontinua, è situata in orizzonti sabbiosi tra 120 e 140 metri da p.c. ed ha potenza di circa 5 metri. Generalmente risulta ben sviluppata nell'area perilagunare e nella retrostante Bassa Pianura;
- Falda D: è una falda abbastanza continua, generalmente contenuta in ghiaie tra 160 e 170 metri da p.c. e con potenza variabile tra 4 e 12 metri;
- Falda E: situata tra 190 e 200 metri da p.c., è considerata spesso come un'articolazione profonda della Falda D. Quando distinguibile dalla precedente, presenta potenza in genere superiore a una decina di metri;
- Falda F: si trova tra 240 e 260 metri da p.c., in depositi a granulometria variabile. E' una falda con buona continuità areale, ben definita e potente;
- □ Falda G: è la falda più profonda, rinvenuta tra 280 e 300 metri da p.c. (nel sottosuolo di Lignano Sabbiadoro). Questa falda, che nella zona della Laguna di Grado è ubicata a quote lievemente superiori (260 metri di profondità) e immediatamente sopra il basamento roccioso, si presenta localmente discontinua e si sviluppa in depositi prevalentemente sabbiosi con potenza variabile da alcuni metri fino a una decina di metri.

Sotto al sistema artesiano multifalda descritto, si riscontra uno strato di argille con una potenza media di circa 80 m, al disotto del quale, fino al basamento roccioso (arenarie e marne del Flysch eocenico), sono presenti almeno tre falde profonde.

Il Piano di Tutela delle Acque della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia (2018) classifica i corpi idrici sotterranei sulla base di tre ambiti geografici: Corpi idrici montani, Corpi idrici di alta pianura e Corpi idrici di bassa pianura.

L'area in esame ricade nell'estremo settore meridionale del corpo idrico "Alta pianura isontina – P10". Questo corpo idrico si sviluppa nella piana del fiume Isonzo, con apporti principali dovuti alle perdite subalveo dell'Isonzo e dei corsi d'acqua minori (Versa, Vipacco). La qualità delle acque freatiche è generalmente buona, con bassi valori di inquinanti. Comunque, come tutta l'alta pianura, la granulometria grossolana dei sedimenti non offre una difesa particolare da un potenziale inquinamento.

Si evidenzia che l'area d'intervento, in quanto posta sulla linea di costa, presenta una situazione idrogeologica locale non tipologicamente riconducibile alla macroclassificazione effettuata dal Piano di Tutela. In relazione alla situazione geologica locale si hanno acquiferi di tipo carsico a monte e in profondità mentre la parte più superficiale è interessata da depositi più grossolani che contengono un acquifero freatico interconnesso con le acque marine.

### 3 Caratteristiche stratigrafiche e geotecniche

Per la definizione delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dell'area dove è prevista la realizzazione delle opere previste nella Variante Localizzata del PRP del porto di Monfalcone ci si è avvalsi delle campagne di indagini e degli studi condotti in occasione della redazione della Variante del PRP del porto di Monfalcone del 2005 e della progettazione dei lavori di approfondimento del canale di accesso e del bacino di evoluzione del porto di Monfalcone.

Nelle figure di seguito riportate sono sintetizzati i sondaggi e le indagini di campo eseguite nel corso delle seguenti campagne:

#### A) CASSA DI COLMATA ESISTENTE

***Campagna di indagini eseguita nel 1990 nella cassa di colmata nell'ambito dello studio eseguito dalla S.T.A. Hydraulica s.r.l.:***

- n. 15 sondaggi a carotaggio continuo fino alla profondità di 15m ÷ 25m;
- esecuzione di prove S.P.T., misure con penetrometro e scissometro tascabili nei terreni coesivi, prelievo di campioni indisturbati;
- esecuzione di prove di classificazione, di compressibilità edometrica e di resistenza al taglio in cella triassiale.

***Indagini eseguite nel 2009 nell'ambito del piano di caratterizzazione redatto dal Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste:***

- n. 98 sondaggi di cui n. 67 profondi 5m, n. 25 profondi 6m e n. 6 profondi 8m;
- n. 14 sondaggi ubicati lungo l'argine, profondi 7m;
- esecuzione di prove di permeabilità in sito e prelievo di campioni indisturbati;
- prove di permeabilità in cella triassiale.

***Indagini geognostiche in sito e in laboratorio eseguite dal dr. Geologo G.B. Graziani per conto dell'Azienda Speciale per il Porto di Monfalcone nel mese di giugno 2012:***

- n. 7 sondaggi a carotaggio continuo profondi 20m;
- esecuzione di prove S.P.T., prove di permeabilità Lefranc, misure con penetrometro e scissometro tascabile, prelievo di campioni indisturbati;
- n. 20 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) fino a profondità comprese fra 15m e 20m;
- n. 20 prove di dissipazione durante l'esecuzione delle CPTU;
- esecuzione di prove di classificazione, e di permeabilità in cella triassiale.

***Campagna aprile -maggio 2018***

- n. 6 sondaggi a carotaggio continuo, di cui 2 (S01 e S03) a 5 m e gli altri 4 a 10 m;
- n. 14 prove penetrometriche CPTU spinte a profondità comprese tra 13 e 16 m da p.c.;
- prelievo di campioni rimaneggiati e indisturbati;

- esecuzione di prove di classificazione, granulometriche, determinazione di limiti di Atterberg, di prove Proctor standard, triassiali, di taglio diretto, di compressibilità edometrica e misure di permeabilità in cella triassiale.

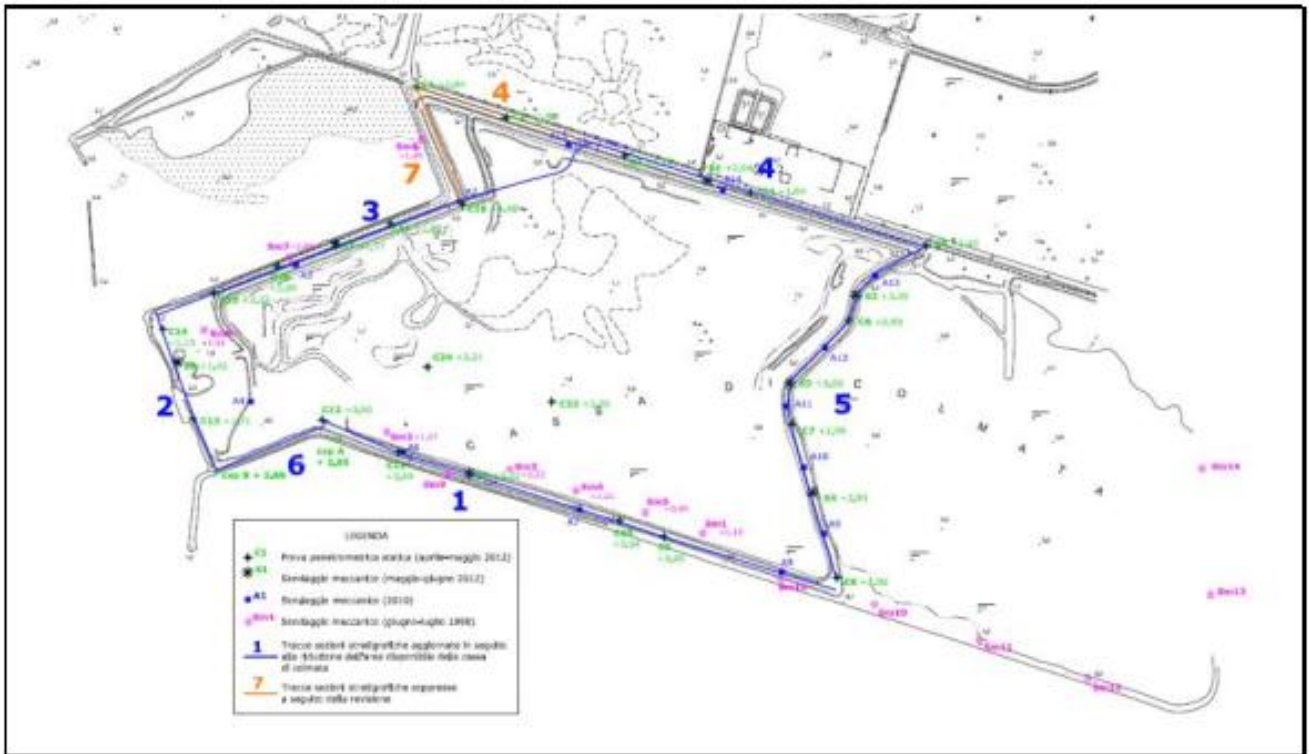


Fig. 3.1 - Ubicazione dei sondaggi eseguiti nel 1990 nel 2012 lungo il perimetro della cassa di colmata (i sondaggi del 1990 sono riportati in magenta, quelli del 2012 in verde)

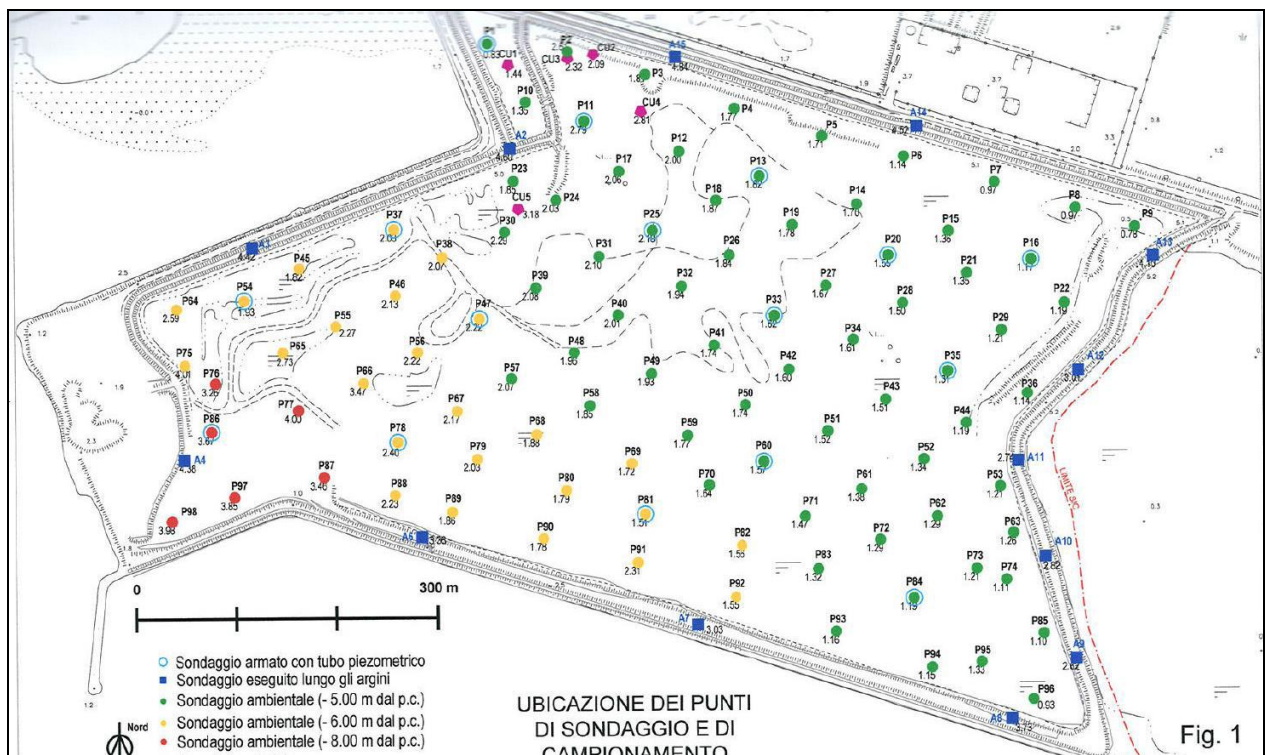
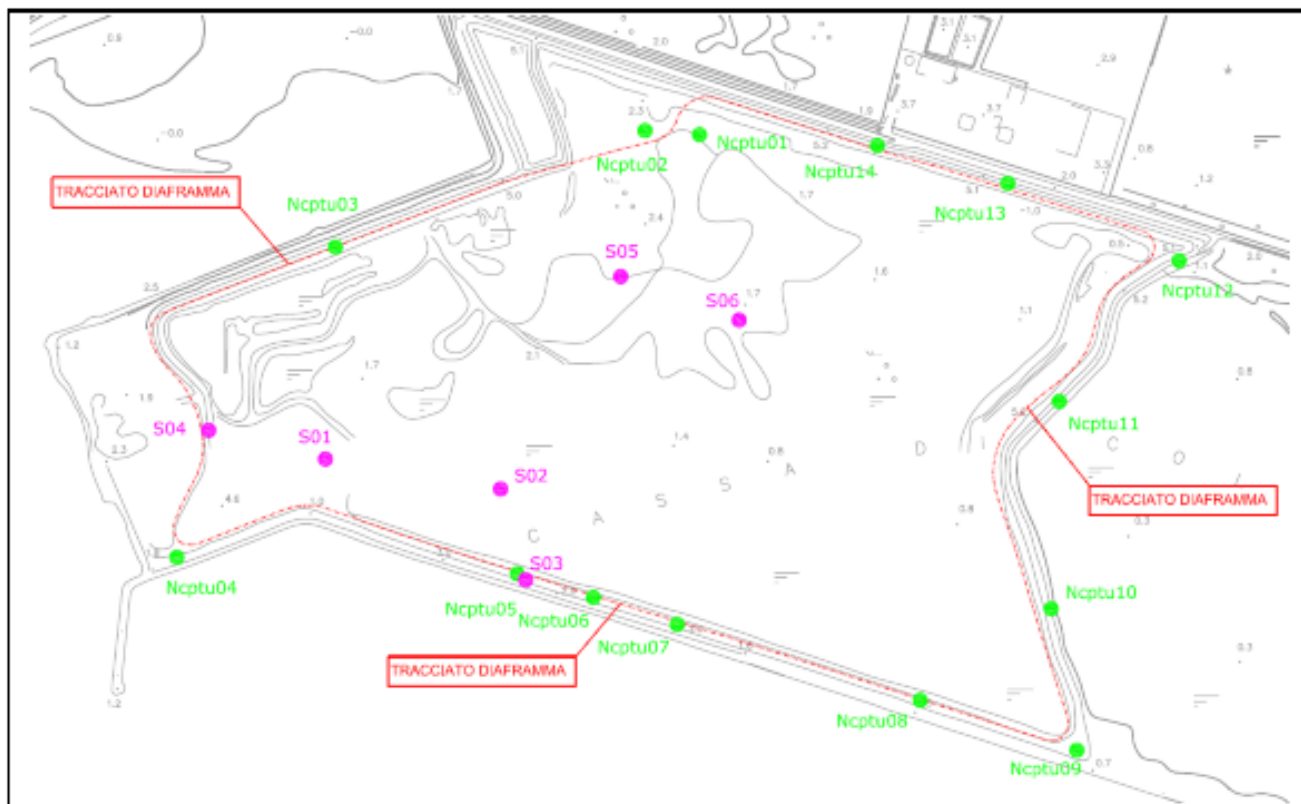


Fig. 3.2 - Ubicazione dei sondaggi eseguiti nel 2009 lungo il perimetro e all'interno della cassa di colmata



**Fig. 3.3 - Ubicazione dei sondaggi e delle prove penetrometriche eseguite nel 2018 lungo il perimetro e all'interno della cassa di colmata**

### C) BACINO DI EVOLUZIONE E CANALE DI ACCESSO

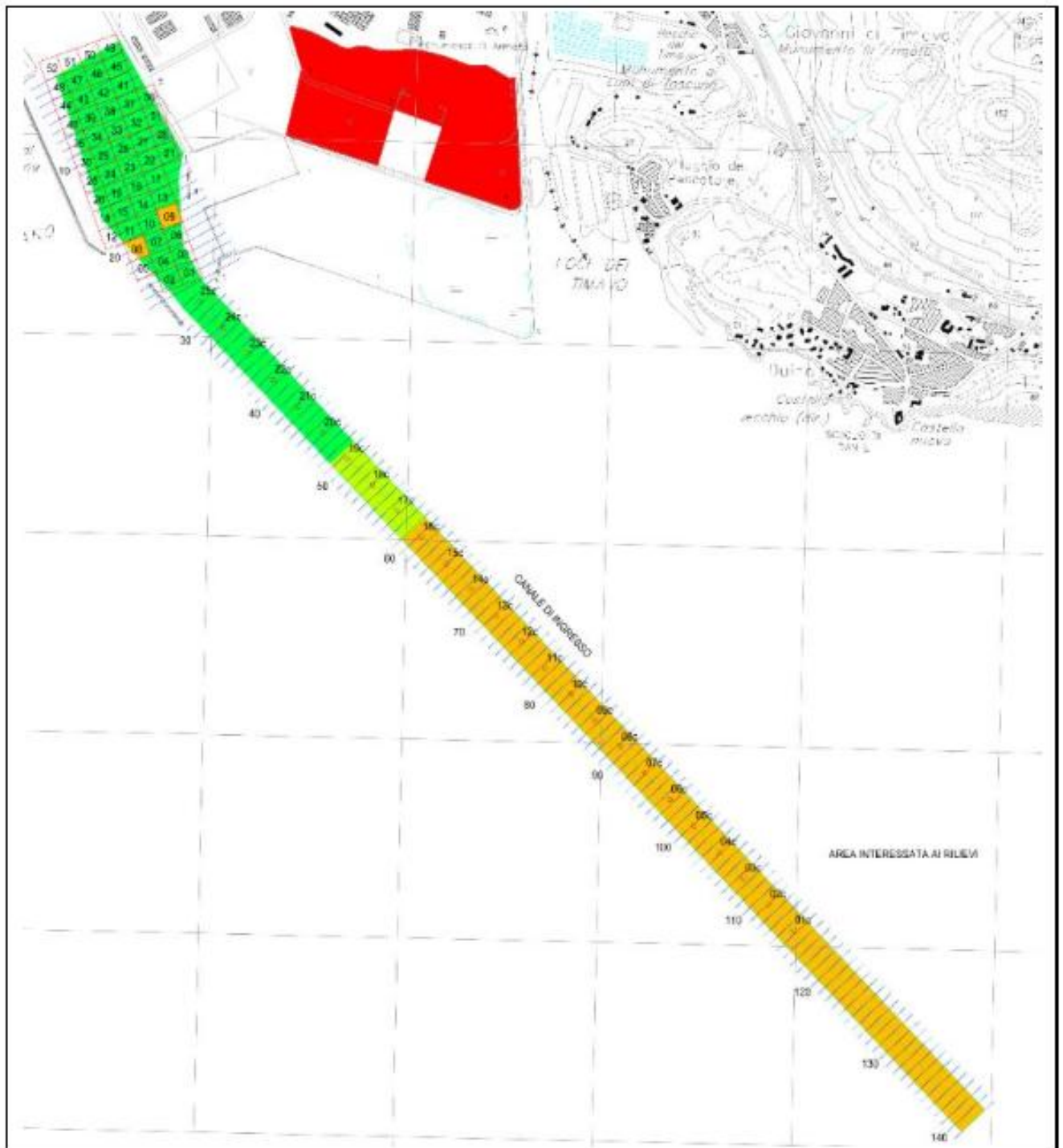
#### ***Campagna di caratterizzazione del 1999***

- 52 sondaggi dal bacino di evoluzione e 25 dal canale di accesso, per un totale di 184 campioni (da ciascun sondaggio sono stati estratti più campioni).
- esecuzione di analisi granulometriche e chimiche

#### ***Campagna di caratterizzazione eseguita dall'Azienda Speciale per il porto di Monfalcone nel mese di ottobre 2011***

- 3 sondaggi dal bacino di evoluzione e 13 dal canale di accesso di lunghezza pari a 1.5 m
- esecuzione di analisi granulometriche e chimiche

In merito a questa campagna di indagini, non essendo disponibili i certificati delle prove e la relazione delle indagini svolte, sono stati considerati nella ricostruzione del modello geotecnico solamente i sondaggi presenti negli elaborati del progetto definitivo (EG\_12 – “Diaframma cassa di colmata – stato di progetto”), ovvero quelli eseguiti in corrispondenza dell'argine lato mare (lungo la traccia della sezione 1 di figura Fig. 3.3).



**Fig. 3.4 - Ubicazione dei sondaggi eseguiti nel 1999 all'interno del bacino di evoluzione e del canale di accesso al Porto di Monfalcone**

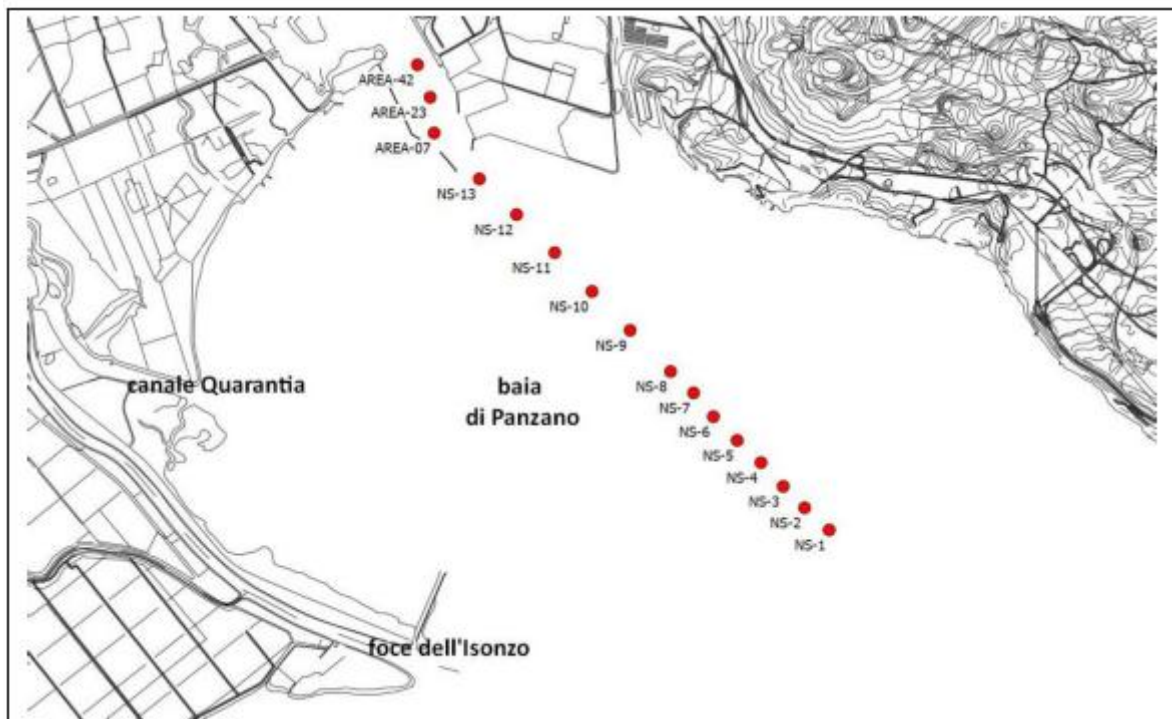


Fig. 3.5 - Ubicazione dei 16 sondaggi geognostici eseguiti nel 2011 lungo l'asse del canale di accesso al Porto di Monfalcone

### C) BANCHINA, COLMATA A MARE E DIGA FORANEA

***Campagna di indagini Luglio 2002 (Ditta Sondaggi s.r.l e prove di laboratorio presso il laboratorio di Geotecnica dell'Università degli Studi di Trieste.***

- n. 14 sondaggi a mare a carotaggio continuo fino alla profondità di circa 25m;
- prelievo di n°65 campioni rimaneggiati e di n°19 campioni indisturbati
- esecuzione di prove di classificazione, di compressibilità edometrica, di resistenza al taglio e di misura della permeabilità

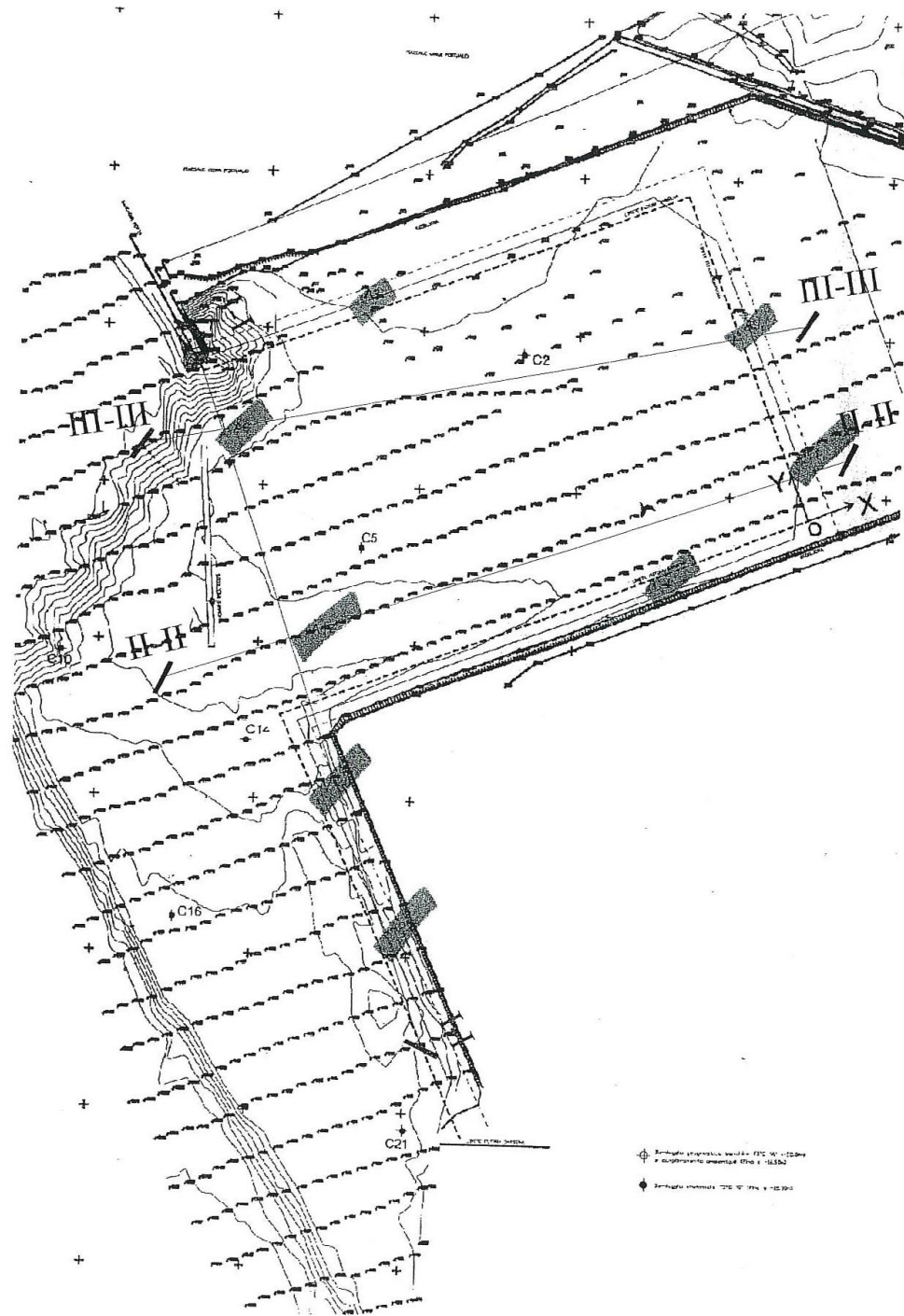


Fig. 3.6 - Campagna Luglio 2002- Localizzazione dei sondaggi e sezioni



### 3.1 Definizione della situazione lito-stratigrafica locale

Dall'analisi dei risultati delle suddette indagini di campo e di prove di laboratorio effettuate nella zona di interesse (v. sezioni stratigrafiche riportate in appendice emerge che il sottosuolo è caratterizzato da una successione di materiali granulari eterodimensionali in matrice coesiva, generalmente costituiti da sabbie medio-fini limose alluvionali interdigitati a limi e argille, anche torbose, di origine prevalentemente marina poggianti, ad una profondità di 12-13 metri, su ghiaie medio-fini.

La stratigrafia della zona portuale si può riassumere come segue:

- **Sedimenti marini superficiali:** questo strato decimetrico è costituito da sedimenti marini fini costituiti da argille limose con sabbia.
- **Limi sabbiosi e sabbia:** si tratta di una serie di interdigitazioni molto fitte di livelli limoso-sabbiosi e sabbiosi dallo spessore variabile tra i 3 e gli 8 metri.
- **Argille a tratti sabbioso-limose:** questo strato coesivo, mediamente consistente, è presente con spessori da pochi decimetri a 6 metri.
- **Sabbie debolmente limose:** questo strato granulare di potenza ridotta (max 3 m) è presente con continuità al disotto delle argille.
- **Ghiaie:** questo strato di ghiaie con ciottoli in matrice coesiva, sostanzialmente limosa debolmente argillosa si incontra dai 12-14 metri di profondità fino alla profondità massima raggiunta dai sondaggi.

Nelle figure seguenti sono riportate le sezioni stratigrafiche ricostruite sulla base dei risultati della campagna di indagini del 2012 (v. figure 3.7 - 3.9).

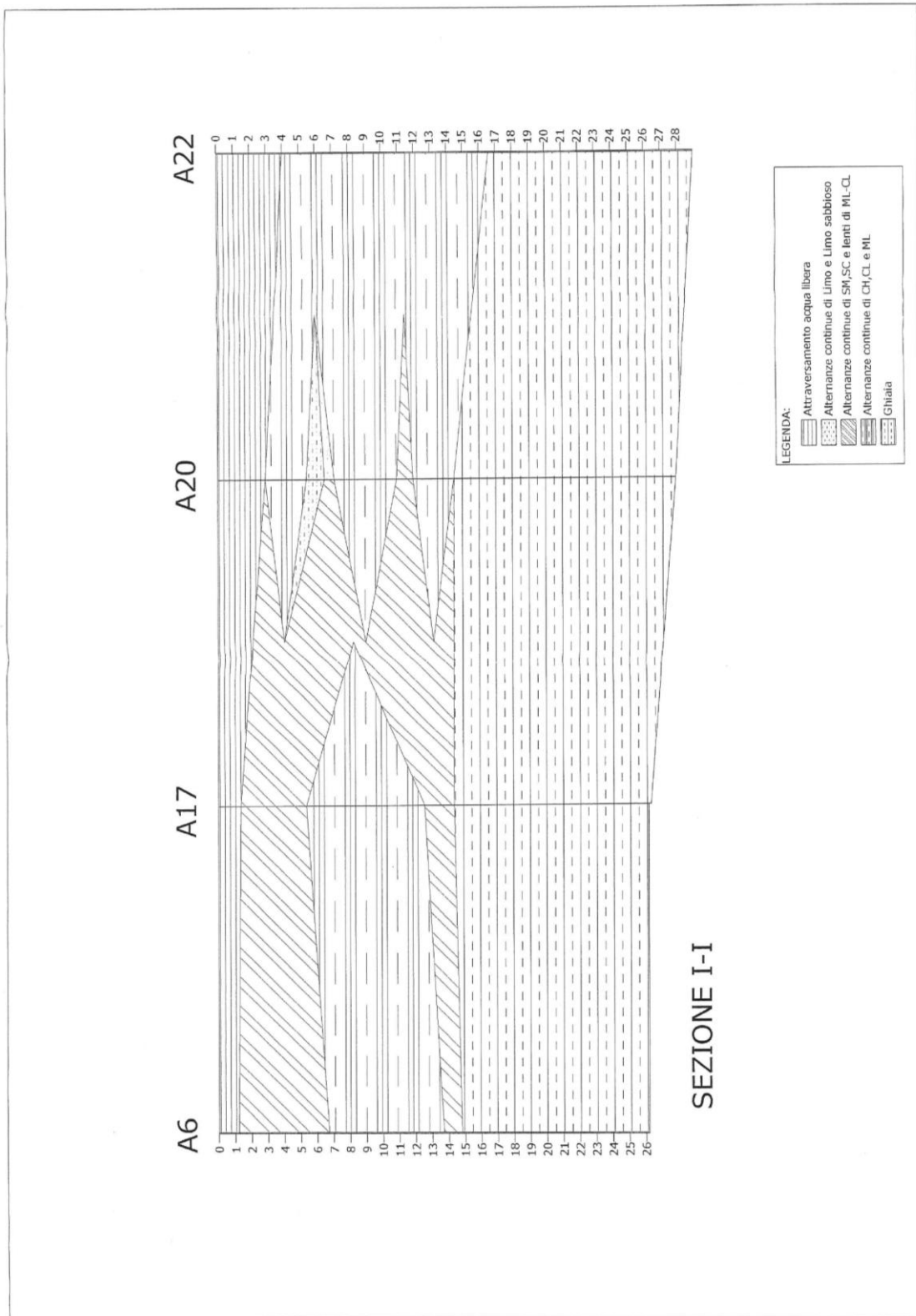


Fig. 3.7 - Campagna Luglio 2002. Sezione stratigrafica I-I

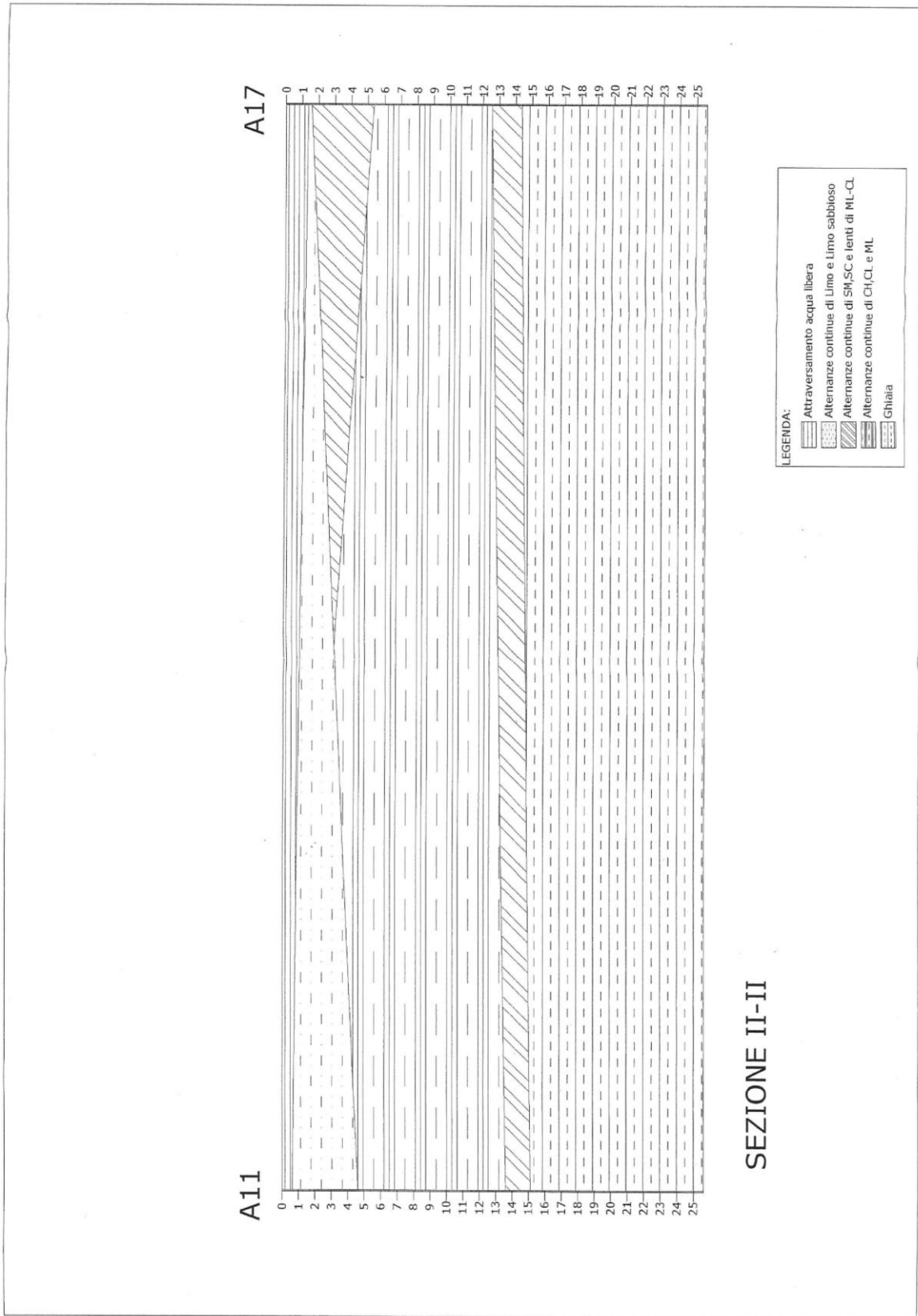


Fig. 3.8 - Campagna Luglio 2002. Sezione stratigrafica II-II

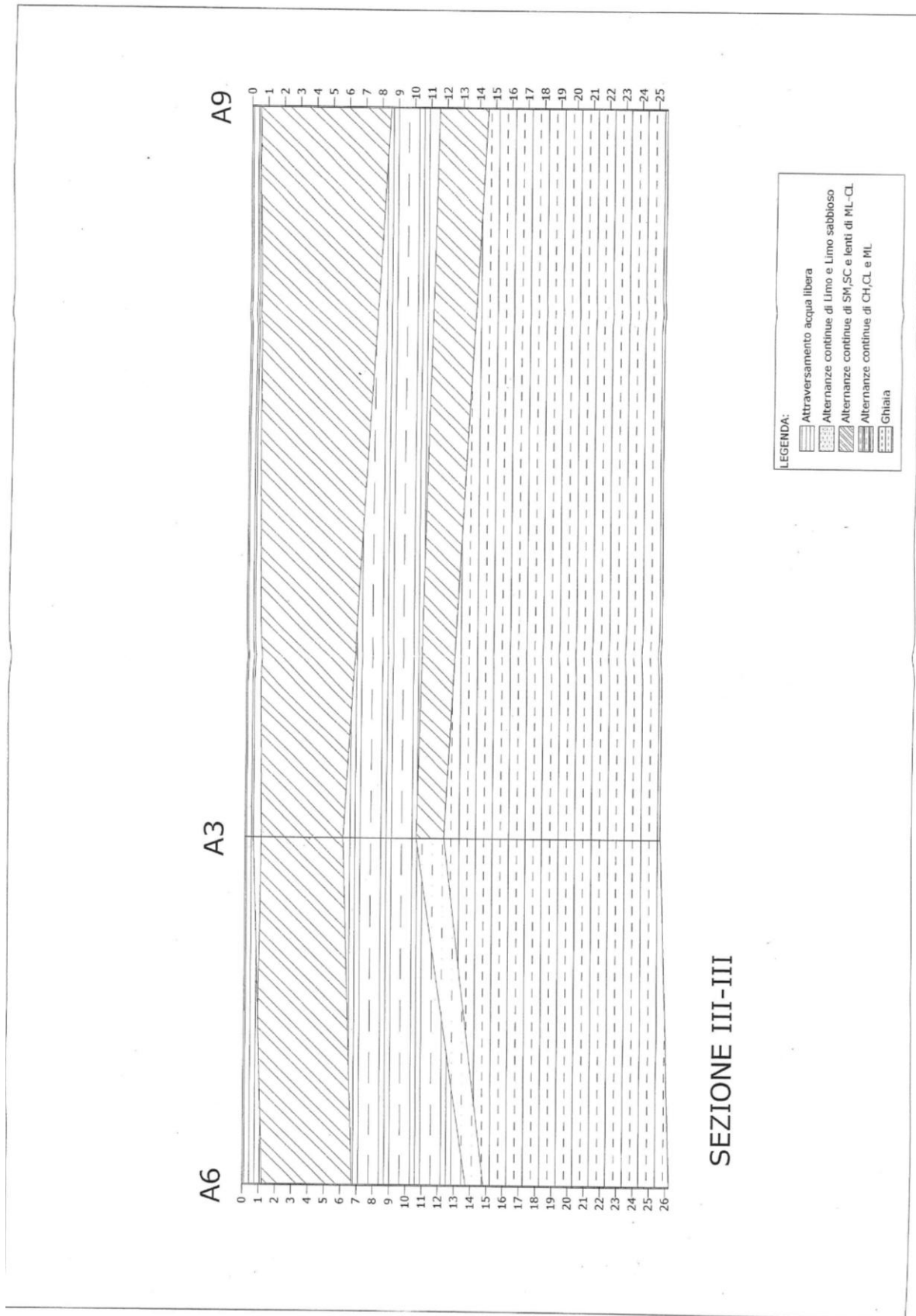


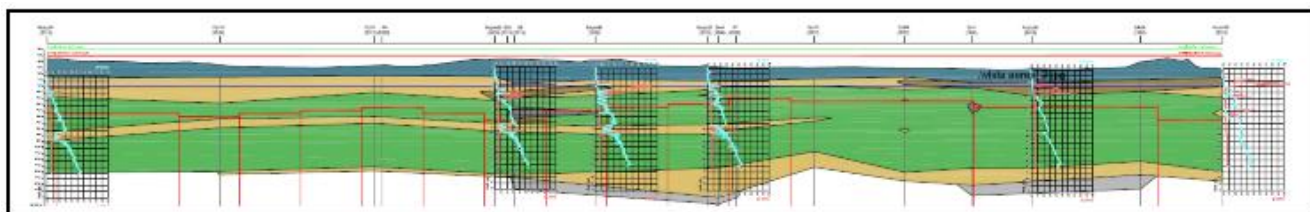
Fig. 3.9 - Campagna Luglio 2002. Sezione stratigrafica Ili-III

Per l'area della cassa di colmata esistente la notevole mole di dati forniti dalle numerose campagne di indagini eseguite nell'ambito della progettazione esecutiva dei lavori di approfondimento del canale di accesso e del bacino di evoluzione, ha permesso una approfondita e dettagliata caratterizzazione stratigrafica dell'area della quale di seguito si riporta una sintesi estratta dalla relazione geotecnica del progetto esecutivo dei suddetti lavori.

### **Vasca di colmata - Sezione lato mare**

Lungo questa sezione, che contermina la cassa di colmata lato mare si incontra la seguente successione stratigrafica (Fig. 3.10):

- Strato di riporto, presente ovunque dal piano campagna fino alla quota di circa +1.0 m s.m.m..
- Strato di sabbia limosa-limo sabbioso talora intercalato con lo strato di sabbia più consistente. Tale strato presenta uno spessore variabile tra 1 e 4 m.
- Banco argilloso impermeabile, presente a quote relativamente superficiali (da 0.0 a -3.0 m s.m.m.) fino a quote comprese tra -11.0 e -15.0 m s.m.m.. La continuità del banco argilloso è risultata interrotta da uno strato di sabbia limosa di spessore compreso tra 0.5 e 1.5 m (tra la progressiva 0 e la 650 m); sono stati inoltre rilevati dei banchi di ghiaia, blocchi calcarei e trovanti nel tratto centrale.
- Strato di sabbia limosa, presente al di sotto del banco argilloso con spessori e consistenze variabili.
- Strato di ghiaia: la presenza della ghiaia è stata rinvenuta nel tratto centrale e nel tratto orientale, dove le indagini sono state spinte a profondità maggiori; la quota del tetto dello strato varia tra -15.0 e -18.0 m s.m.m..



**Fig. 3.10 - Sezione geologico-stratigrafica perimetrale (lato mare, Sud-Ovest)**

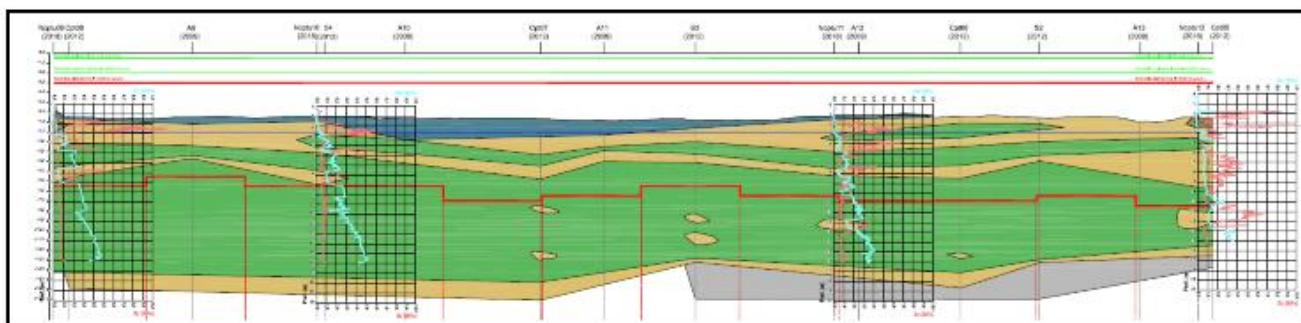
### **Vasca di colmata - Sezione lato SIC**

Lungo questa sezione, che contermina la cassa di colmata lato SIC si incontra la seguente successione stratigrafica (Fig. 3.11):

- Strato di riporto, presente dal piano campagna fino a profondità comprese tra +1.5 e -1.0 m s.m.m; nel tratto terminale questo strato non è stato rinvenuto in quanto le prove sono state condotte in corrispondenza del tracciato previsto per il nuovo argine (il cui asse è spostato verso l'interno della cassa rispetto all'argine esistente).
- Strato di sabbia limosa-limo sabbioso, presente lungo tutto il perimetro lato SIC e talora affiorante a piano campagna con spessori variabili tra 1.5 e 7.0 m; al suo interno è stata

rinvenuta la presenza di uno strato continuo di limo argilloso e argilla limosa e di una lente coesiva più superficiale.

- Banco argilloso impermeabile, presente da quote relativamente superficiali (da -1.0 a -2.0 m s.m.m.) nel tratto meridionale, con spessori piuttosto consistenti (superiori a 10 m). Lo strato, pur approfondendosi, mantiene uno spessore consistente (mediamente superiore ai 10 m); nel tratto settentrionale (fino al confine con il lato Nord del perimetro della cassa) lo spessore si riduce e lo strato si approfondisce (la quota del tetto raggiunge i -6.0 m s.m.m.). All'interno del banco è stata rinvenuta la presenza di una lente di sabbia nel tratto meridionale e nel tratto settentrionale; nel tratto centrale il banco coesivo si presenta sostanzialmente omogeneo con qualche lente sabbiosa isolata.
- Strato di sabbia limosa, presente al di sotto del banco argilloso con spessori e consistenze variabili. Nel tratto in cui le indagini hanno consentito di raggiungere la ghiaia sottostante, lo strato presenta spessori modesti (mediamente inferiori a 1 m); nel tratto più meridionale (dove la ghiaia, non rilevata nel corso delle indagini, si trova presumibilmente a quote più profonde di -16.0 m s.m.m.) lo strato sabbioso-limoso è più consistente.
- Strato di ghiaia: la presenza della ghiaia è stata rinvenuta nel tratto settentrionale, a profondità variabili tra -13.0 e -16.0 m s.m.m..



**Fig. 3.11 - Sezione geologico-stratigrafica perimetrale (lato SIC, Est)**

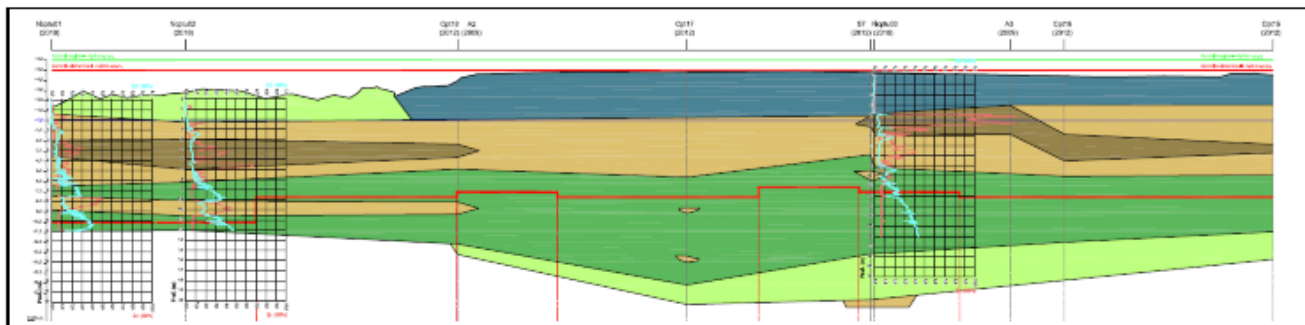
### **Vasca di colmata - Sezione lato darsena**

Lungo questa sezione, che contermina la cassa di colmata lato darsena, si incontra la seguente successione stratigrafica (Fig. 3.12):

- Strato di riporto, presente dal piano campagna fino a quote comprese tra +1.5 e 0.0 m s.m.m.. Questo strato non è presente nel tratto di perimetro confinante con l'area della cassa;
- Strato di sabbia limosa-limo sabbioso talora intercalato con lo strato di sabbia più consistente. Lo strato presenta spessori piuttosto consistenti (tra 5.0 e 7.0 m) e raggiunge profondità comprese tra -4.0 e -6.5 m s.m.m..
- Banco argilloso impermeabile, presente anche in questo caso (come nel tratto precedente) a quote più profonde (tra -4.0 fino anche a -6.5 m s.m.m.). Lo strato è più profondo e presenta spessori modesti nel tratto iniziale. Inoltre in questa zona, all'interno del banco coesivo è presente una lente sabbiosa che ne interrompe la continuità. Proseguendo verso Sud-Ovest, lo spessore dello strato argilloso, che rimane comunque profondo, aumenta raggiungendo

valori anche superiori a 10 m. Oltre la progressiva 2250 m non è più stata rilevata la presenza della lente sabbiosa, ma solamente di puntuali livelletti incoerenti di scarsa rilevanza.

- - Limo argilloso, presente al di sotto del banco argilloso. In questo lato del perimetro della cassa lo strato limoso argilloso sostituisce di fatto la sabbia limosa sottostante al banco coesivo.



**Fig. 3.12 - Sezione geologico-stratigrafica perimetrale (lato darsena, Nord-Ovest)**

Le caratteristiche eotecniche medie che emergono dai risultati delle prove di laboratorio eseguite in occasione delle diverse campagne di indagini, ad eccezione dello strato superficiale di sedimenti marini, che a causadel modesto spessore non è stato possibile classificare dal punto di vista geotecnico, e per lo strato di ghiaie, nel quale non sono state mai eseguite prove, sono i seguenti:

□ **Limi sabbiosi e sabbia:**

- Peso di volume materiale saturo:  $\gamma_s = 17,0 \text{ kN/m}$
- Angolo di attrito interno:  $\phi' = 32^\circ$
- Coesione:  $c' = 5 \text{ kPa}$
- Modulo edometrico:  $E = 14 \text{ MPa}$
- Coefficiente di Permeabilità  $k =: 3 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$

□ **Argille a tratti sabbioso-limose:**

- Peso di volume materiale saturo:  $\gamma_s = 17,0 \text{ kN/m}$
- Angolo di attrito interno:  $\phi' = 24^\circ$
- Coesione:  $c' = 0 \text{ kPa}$
- Coesione:  $c_u = 18 \text{ kPa}$
- Modulo edometrico:  $E = 1,9 \text{ MPa}$
- Coefficiente di Permeabilità  $k =: 8 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$

□ **Sabbie debolmente limose:**

- Peso di volume materiale saturo:  $\gamma_s = 18,0 \text{ kN/m}$
- Angolo di attrito interno:  $\phi' = 32^\circ$

- Coesione:  $c' = 0$  kPa
- Modulo edometrico:  $E = 40$  MPa



## 4 CATEGORIA DEL SUOLO E CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA

Per la definizione della categoria del suolo e la classificazione sismica dell'area si è fatto riferimento allo studio eseguito nell'ambito del progetto esecutivo dei lavori di approfondimento del canale di accesso e del bacino di evoluzione del porto di Monfalcone del quale nel seguito è riportato un estratto.

L'azione sismica di riferimento per la cassa di colmata del porto di Monfalcone, (Lat. 45.781073 e Long. 13.561605) per un tempo di ritorno di 475 anni (Spettri di risposta.xls 1.03 del C.S.L.P.) è caratterizzata dai seguenti valori che si riferiscono al basamento rigido orizzontale:

$A_g = 0.130g$  accelerazione massima di riferimento per  $T_r = 475$  anni;

$F_o = 2.492$  fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T^*_c = 0.335$  periodo d'inizio tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

### 4.1 Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche

La categoria di sottosuolo, in fase di progettazione definitiva, è stata definita applicando l'approccio che prevede l'impiego di formule empiriche che permettono di correlare i valori della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  ai risultati di altre prove in sito (nel caso specifico prove penetrometriche). Pertanto, entro la profondità massima indagata, circa 20 m, la velocità delle onde di taglio  $V_s$ , ricavata dai risultati delle CPTU, è risultata crescere quasi linearmente da circa 100 m/s a 150÷200 m/s e quindi, anche se non sono noti i valori di  $V_s$  nello strato ghiaioso più profondo (rilevato nel corso delle campagne geotecniche in corrispondenza dei punti di indagine più profondi), il terreno è stato classificato prudenzialmente come appartenente alla categoria D (depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m).

Alla luce delle prescrizioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018, è stata eseguita una indagine sismica con tecnica MASW.

L'indagine è stata eseguita all'interno della cassa di colmata (nello spigolo tra il lato Nord e la darsena; cfr. Fig. 4.1). La tecnica MASW, applicata al caso specifico, ha consentito di ottenere un'ottima risoluzione nei primi 30 metri p.c. delle onde  $V_s$ . Il profilo delle velocità delle onde S con i relativi valori per gli strati omogenei attraversati è riportato nella successiva Fig. 4.2.

Il terreno risulta classificato come appartenente alla categoria C (depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m).

Va tuttavia osservato che il valore  $V_{s,30}$  equivalente è pari a 190 m/s, ovvero di poco superiore al limite che segna il passaggio da categoria di sottosuolo C e D (pari a 180 m/s) e che gli

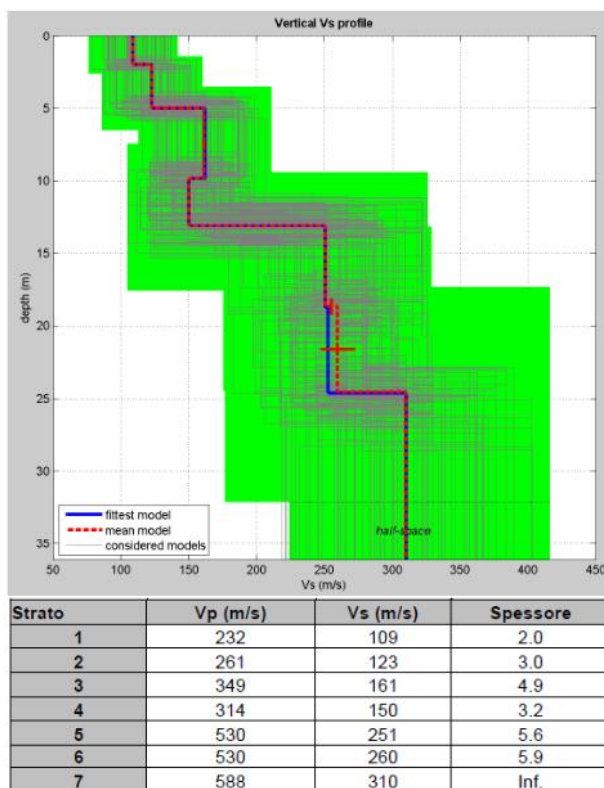
strati più superficiali fino a 13 m da p.c. (in linea con la ricostruzione basata sulle correlazioni con le prove CPT) presentano valori di Vs compresi tra 100 e 160 m/s).

Alla luce di quanto evidenziato, appare quindi ragionevole e cautelativo considerare il terreno come appartenente alla categoria di sottosuolo D.

In merito alla categoria topografica, trattandosi di superficie pianeggiante, il sito può essere considerato appartenente alla categoria topografica T1.



Fig. 4.1 – Ubicazione indagine sismica (marzo 2019)



VS<sub>eq</sub> = 190 m/s

Suolo di tipo C

Fig. 4.2 - Profilo di velocità delle onde S stimato e modello di velocità delle onde S

## 4.2 Amplificazione stratigrafica e topografica

In relazione a quanto riportato dalla L.R. Fvg 16/2009, art. 3, comma 2, lett a) – “Norme per la costruzione in zona sismica e per la tutela fisica del territorio”. (cfr. allegato alla DGR n. 845 del 6 maggio 2010), si assume una vita nominale della struttura pari a  $V_n = 50$  anni ed un coefficiente d’uso pari a  $C_u = II$ .

Per il suolo appartenente alla categoria D, i fattori correttivi relativi allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) assumono i valori riportati nella successiva tabella.

Stato limite	Tr (anni)	ag(g)	Fo	T*c	SS	Cc	ST
SLV	475	0.130	2.492	0.335	1.80	2.160	1.0

L’accelerazione massima prevista al suolo è quindi pari a:

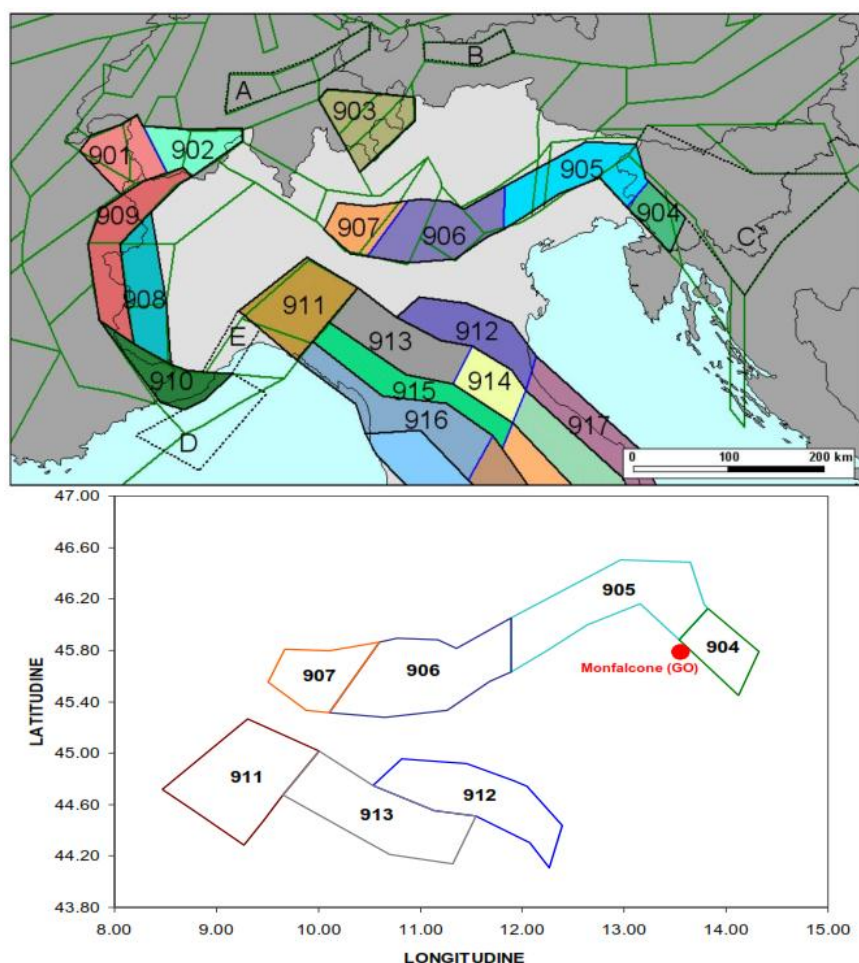
$$a_{max} = S_S \times S_T \times a_g = 1.80 \times 1.0 \times 0.130g = 0.234g$$

## 5 ANALISI DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DEL TERRENO

Per l'analisi del potenziale di liquefazione del terreno si è fatto riferimento allo studio eseguito nell'ambito del progetto esecutivo dei lavori di approfondimento del canale di accesso e del bacino di evoluzione del porto di Monfalcone del quale nel seguito è riportato un estratto.

L'incremento di pressione interstiziale che si sviluppa all'interno dei terreni granulari saturi e poco addensati in occasione di eventi sismici può dare origine alla riduzione o all'annullamento delle pressioni litostatiche efficaci e quindi a fenomeni di collasso delle opere interagenti con il terreno o a fenomeni di cedimento generati dalla riduzione dell'indice dei vuoti.

Con riferimento al "Rapporto Conclusivo dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia" (aprile 2004), la località in oggetto ricade all'esterno (zona grigio chiaro) delle zone sismogenetiche ZS9 (vedi successiva Fig. 5.1); in tale ambito è possibile stimare per il sito, adottando il metodo della disaggregazione, una magnitudo momento di riferimento  $M_W \approx 5.3$ .



**Fig. 5.1 - Zonazione sismogenetica ZS9 per il Nord Italia (in alto); dettaglio posizione di Monfalcone (GO) rispetto alle zone sismogenetiche ZS9 (in basso)**

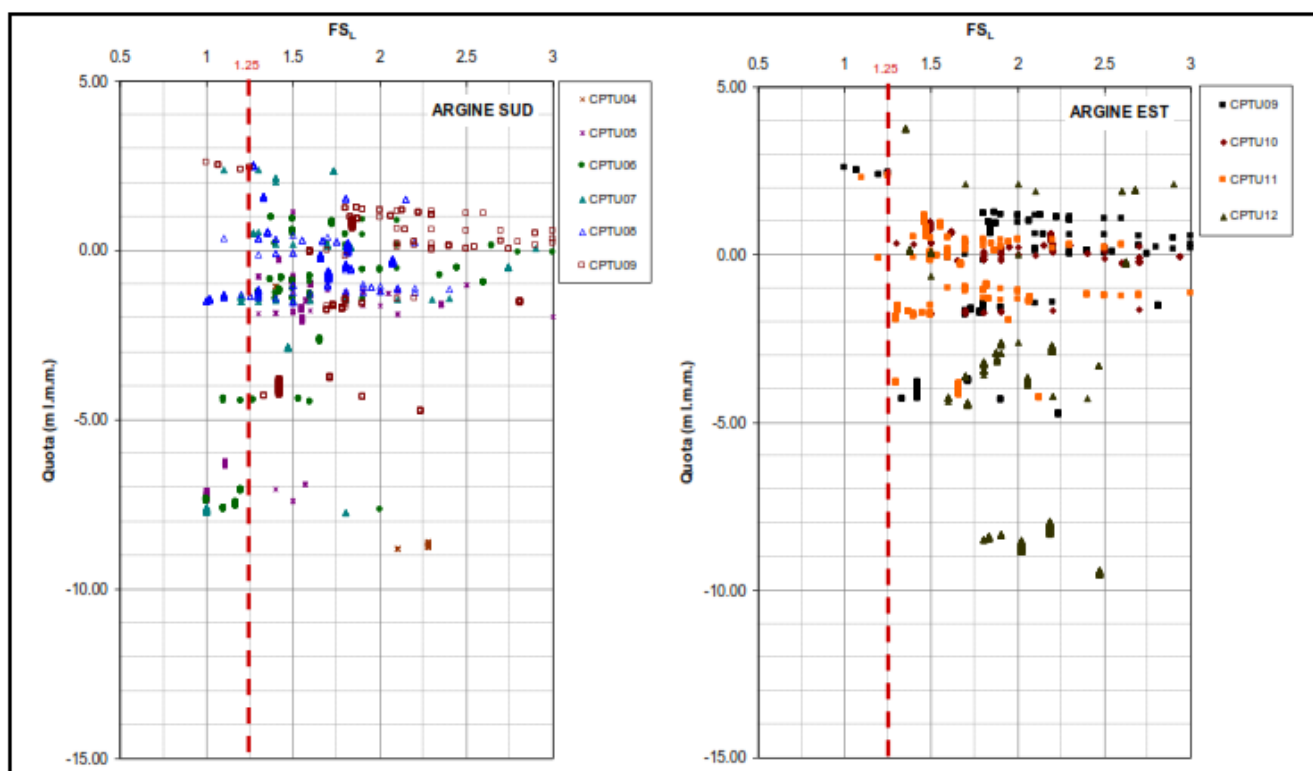
Per quanto riguarda la valutazione del rischio di liquefazione delle formazioni granulari presenti nei primi 15 m di profondità, si considera un sisma SLV con tempo di ritorno  $T_R = 475$  anni, con accelerazione su suolo di tipo A (roccia affiorante) pari a  $a_g = 0.130g$  e sottosuolo di categoria D ( $S_s = 1.8$ ), l'accelerazione free-field risulta :

$$a_{max} = S_s \times S_T \times a_g = 1.80 \times 1.0 \times 0.130g = 0.234g \text{ (cfr. vedi precedente paragrafo 4).}$$

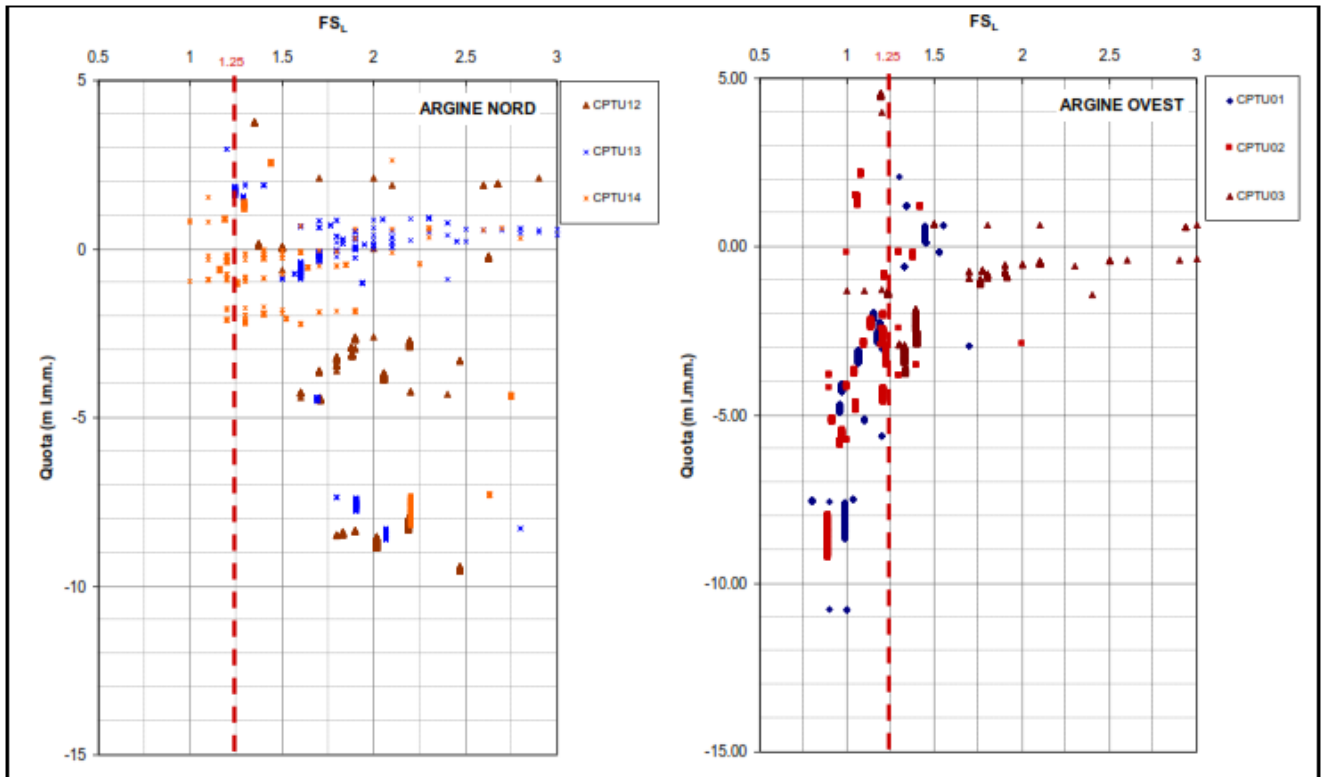
Nelle figure seguenti (Fig. 5.2 e Fig. 5.3) si riporta l'andamento del fattore di sicurezza alla liquefazione (FSL) per gli strati granulari, ottenuto dall'elaborazione delle prove CPTU eseguite nel corso della più recente campagna di indagini geotecniche (aprile-maggio 2018), con riferimento all'accelerazione free-field 0.234g.

Ai fini della valutazione del rischio di liquefazione, si ritiene maggiormente cautelativo utilizzare i risultati delle prove CPTU, piuttosto che i dati dell'indagine sismica, in quanto le prove penetrometriche consentono una più accurata analisi di dettaglio del comportamento degli strati superficiali (maggiormente significativi con riferimento alla tipologia di intervento) in relazione alla natura specifica del materiale (granulare e coesivo).

Dai risultati delle elaborazioni eseguite il fattore di sicurezza alla liquefazione risulta in genere superiore al valore minimo di normativa ( $F_{SLmin} = 1.25$ ); è quindi ragionevole escludere il manifestarsi di fenomeni di liquefazione associabili a strati spessore significativo.



**Fig. 5.2 – Profilo del fattore di sicurezza alla liquefazione (FSL) delle formazioni granulari risultante dall'interpretazione delle prove CPTU**



**Fig. 5.3 – Profilo del fattore di sicurezza alla liquefazione (FSL) delle formazioni granulari risultante dall'interpretazione delle prove CPTU**

## 6 PROBLEMATICHE GEOTECNICHE

La ricostruzione geologica e stratigrafica delle aree a mare dove si sviluppano le opere previste nella Variante Localizzata del PRP del porto di Monfalcone ha evidenziato una discreta omogeneità stratigrafica che risulta coerente anche quella delle aree dove si sviluppa il porto esistente.

Le informazioni raccolte e la ricostruzione effettuata fa escludere, nell'area di studio, la presenza di problematiche geotecniche che possano condizionare la fattibilità/stabilità delle opere previste e allo stesso tempo consente di far riferimento, per la definizione delle caratteristiche tecniche e dei costi delle nuove opere da realizzare, ai progetti di opere analoghe realizzate in altri porti Italiani con condizioni geotecniche e stratigrafiche simili a quella del porto di Monfalcone (Porti di Livorno, Piombino e Brinisi).

A tale riguardo si fa presente che le condizioni stratigrafiche e geotecniche delle formazioni che caratterizzano l'area del porto di Monfalcone, fino ad oggi, non hanno posto particolari limitazioni nei riguardi della scelta della soluzione tecnica da adottare per la realizzazione delle opere portuali esistenti che nel passato, per i muri di banchina, si è orientata su soluzioni a gravità che, anche a distanza di decenni dalla loro costruzione, si trovano in un buono stato di conservazione e non presentano segni di dissesto, come ad esempio cedimenti e/o rotazioni/spostamenti, che evidenzino l'esistenza di problematiche di tipo geotecnico.

Analogamente per le opere di difesa a scogliera non si rilevano segni di cedimenti e/o dissesto.

Anche nei riguardi dei cedimenti dei terreni di fondazione delle opere, che peraltro nel tempo non hanno prodotto effetti rilevanti nelle opere portuali (banchine, opere foranee e piazzali) non si ritiene che possano rappresentare una particolare criticità nei riguardi della fattibilità delle opere programmate.

Per quanto riguarda le soluzioni tecniche previste per la realizzazione delle nuove opere del Porto di Monfalcone occorre premettere che si tratta di opere che non presentano particolare complessità e che possono essere considerate di routine nel campo delle opere marittime.

Le opere di difesa infatti si sviluppano su di fondali che al massimo raggiungono profondità di 10.00 m. Analogamente per le nuove strutture di banchina lo stato di conservazione delle opere esistenti costituiscono un valido riferimento nei riguardi della loro fattibilità tecnica ed economica.

Scendendo nel dettaglio per la realizzazione delle parti delle nuove opere foranee che si sviluppano in corrispondenza di fondali naturali con profondità fino a circa 10 m si è optato per la stessa soluzione a scogliera già adottata in passato per la realizzazione delle opere di difesa esistenti

Per le nuove banchine si è invece optato per una soluzione alla danese per la quale si è fatto riferimento sia ai progetti di analoghe opere realizzate recentemente nei porti di Livorno, Piombino e Brindisi nei quali si riscontrano condizioni geotecniche simili a quelle del porto di Monfalcone.

La soluzione alla danese è stata preferita a quella a gravità adottata in passato per la realizzazione delle attuali banchine del porto di Monfalcone in quanto per la sua realizzazione non richiede il preventivo dragaggio dei fondali, indispensabile nel caso di una soluzione a gravità per la realizzazione dello scanno di fondazione. In questa maniera quindi la realizzazione della banchina è indipendente dalla esecuzione dei dragaggi con notevoli vantaggi di tipo autorizzativo ed esecutivo.

Le uniche problematiche geotecniche che si potranno incontrare nel corso della realizzazione delle opere programmate dalla Variante Localizzata al PRP del porto di Monfalcone potrebbero riguardare i dragaggi ed il riutilizzo dei materiali di risulta per la realizzazione dei nuovi rilevati del nuovo terminal Multipurpose e delle Autostrade del mare.

In particolare dal punto di vista granulometrico dall'elaborazione dei risultati delle analisi granulometriche eseguite in passato risulta che la distribuzione tessiturale dei fondali all'interno dell'area portuale risulta abbastanza omogenea, con sedimenti di natura prevalentemente sabbioso pelitica su quasi tutto lo spessore interessato dai dragaggi.

Gli aspetti di primaria importanza ai fini delle valutazioni geotecniche sul sistema di dragaggio e di costruzione dei nuovi terrapieni sono le seguenti:

- i terreni da dragare;
- i terreni di fondazione dei nuovi terrapieni;
- i mezzi di escavo e di trasporto dei materiali dragati;
- i materiali per la realizzazione dei terrapieni;
- le opere di delimitazione/contenimento;
- i tempi di realizzazione e di utilizzo dei terrapieni.

Le indagini di campo disponibili sono state utilizzate anche per avanzare le prime ipotesi sul sistema di dragaggio più idoneo e per effettuare delle valutazioni preliminari sul comportamento geotecnico di tali materiali che dopo essere stati dragati potranno essere sversati a formazione di rilevati all'interno di aree delimitate in parte dalle nuove strutture di banchina ed in parte dalle opere a scogliera che delimitano il lato esterno del nuovo terrapieno.

Per i terreni in esame, di natura prevalentemente limoso- sabbioso, i sistemi di dragaggio possibili sono:

- draga a secchie: non molto indicata, a causa dei bassi rendimenti e degli elevati costi;
- draga a cucchiaio: non molto indicata, a causa degli elevati volumi da dragare e dei conseguenti costi;
- draga aspirante a punto fisso: adatta allo scavo di terreni sabbiosi e in grado di refluire direttamente nella vasca di colmata;
- draga aspirante con disgregatore: adatta sia allo scavo di terreni sabbiosi che di formazioni rocciose e in grado, mediante aggiunta di stazioni di pompaggio in serie, di raggiungere recapiti distanti fino a 10 km;
- draga aspirante a testa raspante autocaricante semovente: sebbene adatta allo scavo di qualsiasi tipo di terreno, richiede molto spazio per spostarsi nel luogo in cui svuotare la stiva del terreno scavato e un varco per l'accesso alla vasca di colmata;

Esistono differenze nella gestione logistica del cantiere tra dragaggio meccanico o idraulico, che dovranno essere tenute in considerazione nella scelta: i tempi di esecuzione; la continuità/discontinuità del processo; la facilità/difficoltà nella gestione del recapito a distanze anche elevate del materiale dragato.

Dal punto di vista geotecnico il principale aspetto che contraddistingue le due tipologie di dragaggio è lo stato del materiale che viene immesso nel sito di destinazione.



Nel caso di draga idraulica si ottiene un materiale che perde completamente la sua struttura iniziale ed è caratterizzato da un rapporto liquido:solido pari a circa 5:1 (variabile in base al tipo di draga); in base alla distribuzione granulometrica del materiale dragato e alle caratteristiche geometriche della vasca di destinazione, deve essere valutata la compatibilità tra la sedimentabilità del materiale (che viene determinata attraverso specifiche prove di laboratorio) e i tempi e volumi disponibili per la sedimentazione del solido e il successivo processo di consolidazione.

Nel caso di draga meccanica il materiale dragato mantiene gran parte delle caratteristiche strutturali originarie, presentando problematiche potenzialmente minori nei processi di sedimentazione e consolidazione.

L'immissione dei materiali dragati nella vasca di colmata da luogo a fenomeni di consolidazione che coinvolgono sia i terreni di fondazione della vasca di colmata, già esaminati in precedenza, sia il materiale immesso che, a causa dello stato tensionale crescente provocato dalla deposizione del materiale sovrastante, è soggetto a progressiva diminuzione di volume.

Gli aspetti essenziali che riguardano il fenomeno della consolidazione sono:

- la variazione di volume/il cedimento totale finale: da tale entità dipende strettamente la quantità di materiale effettivamente necessaria per il riempimento della vasca;
- il tempo necessario affinché il cedimento si sviluppi completamente: tale aspetto può influenzare pesantemente lo svolgimento delle fasi esecutive per la realizzazione e per l'utilizzo dei terrapieni.

Nel caso di utilizzo di draghe di tipo idraulico, che nel caso in esame sono sicuramente più idonee visti gli elevati volumi di sedimenti da rimuovere, la composizione delle colmate sarà condizionata dai fenomeni di sedimentazione della frazione solida della miscela acqua/sedimento che verrà immessa dalle draghe nell'area di colmata: nella zona più prossima ai punti di immissione sarà prevalente la frazione più grossolana (sabbie e ghiaia) mentre man mano che ci si allontana dal punto di immissione diventerà sempre più prevalente la frazione più fine (limo e argilla).

Ovviamente occorre distinguere gli interventi di consolidazione per la parte dove sarà prevalente la frazione limoso/argillosa da quella dove saranno prevalenti le sabbie.

In particolare nell'area dove si concentrerà la deposizione dei materiali più fini l'intervento di consolidazione potrà essere costituito da una serie di dreni verticali (ad es. dreni a nastro) disposti ad una distanza reciproca che in questa sede, facendo riferimento a interventi analoghi progettati recentemente in situazioni simili, è stata assunta pari 2.00 m e da un rilevato di precarica di altezza tale da riprodurre le condizioni di carico di esercizio dei futuri piazzali.

Nelle porzioni delle colmate che saranno costituite prevalentemente da sabbie è invece necessario prevedere un diverso tipo di intervento che, considerate le caratteristiche granulometriche dei materiali (sabbie), non è mirato ad una riduzione dei percorsi di filtrazione ma ad un miglioramento delle condizioni di addensamento che in questo caso potrà essere costituito da la realizzazione di una serie di pali in ghiaia a dislocamento che in questa sede, facendo riferimento a interventi analoghi progettati recentemente in situazioni simili, è previsto che vengano disposti ad una distanza reciproca di 2.00 m ed all'applicazione di un rilevato di precarica di altezza tale da riprodurre le condizioni di carico di esercizio dei futuri piazzali.