



Via Karl Ludwig von Bruck, 3  
34143 TRIESTE  
www.porto.trieste.it

# PIANO REGOLATORE DEL PORTO DI TRIESTE

Giugno 2014

## Studio Ambientale Integrato

Rev.1

Settembre 2014

### Progetto delle Opere di Piano

### Relazione Geologica

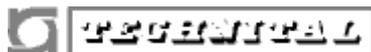
#### Responsabile Unico del Procedimento

Ing. Eric Marcone

#### Elaborazione del Piano Regolatore Portuale

Fino a luglio 2014 elaborazione: Segretario Generale f.f. Walter Sinigaglia

Fino al 2010 elaborazione: Segretario Generale dott. Martino Conticelli



Dott. Ing. Francesco Mattarolo



Dott. Arch. Vittoria Biego



Revisione 1 conseguente alla richiesta di integrazioni formulata dal Ministero dell' Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare con nota prot. n. U.prot DVA-2014-0010057 del 09/04/2014 - [ID-VIP: 2046] *Piano regolatore portuale di Trieste. Procedura di VIA integrata VAS ai sensi dell' art. 6 comma 3 ter del D.Lgs. 152/2006. Richiesta integrazioni*

REVISIONE	DATA	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO
0	Settembre 2014		F. Mattarolo	V. Biego F. Mattarolo
1				
2				
3				

NOME FILE
MI026S-RS01-PRP

## **AUTORITA' PORTUALE DI TRIESTE**

# **PIANO REGOLATORE DEL PORTO DI TRIESTE STUDIO AMBIENTALE INTEGRATO**

## **PROGETTO DELLE OPERE DI PIANO**

### **RELAZIONE GEOLOGICA**

**Settembre 2014**

## INDICE

1. INTRODUZIONE.....	4
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	5
3. ASPETTI GEOLOGICI.....	11
4. ASPETTI MORFOLOGICI E GEOMORFOLOGICI .....	19
5. ASPETTI IDROGEOLOGICI .....	23
6. TETTONICA .....	28
7. SISMICITA' .....	29
8. STRATIGRAFIA E LITOLOGIA DELL'AREA PORTUALE .....	30
9. ASPETTI GEOTECNICI.....	40
10. CONCLUSIONI.....	42

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 2.1. Golfo di Trieste.....	5
Figura 2.2 – Planimetria generale del Porto di Trieste. ....	8
Figura 3.1. Inquadramento geologico a grande scala dell'area triestina.....	11
Figura 3.2 – Stralcio Carta Geologica 1:50.000 della RVFG. ....	14
Figura 3.3. carta Geologica Foglio 110 Trieste in scala 1.10.000 .....	14
Figura 3.4. Composizione granulometrica dei sedimenti olocenici.....	16
Figura 3.5. Schema temporale semplificato dell'area portuale (Fonte: Area portuale. Piano caratterizzazione del SIN di trieste) .....	17
Figura 3.6. Profilo sismico trasversale alla baia di muggia (Fonte: Area portuale. Piano caratterizzazione del SIN di trieste) .....	18
Figura 4.1 – Morfologia della costa fra Duino e Trieste.....	20
Figura 5.1 – Rappresentazione dei corpi idrici sotterranei del bacino del Levante delle Alpi Orientali (Fonte: Piano di Gestione dei bacini idrografici delle Alpi Orientali).....	24
Figura 6.1 – Inquadramento tettonico strutturale della Regione FVG (fonte: carta geologica in scala 1.50.000 della Regione FVG). ....	28
Figura 7.1 – Classificazione sismica della Regione FVG.....	29
Figura 8.1 – Carta litologica e stratigrafica.....	32
Figura 8.2. Ubicazione profili sismici nell'ambito del piano di caratterizzazione del sin di trieste.....	38
Figura 8.3. Carta delle isopache dei depositi olocenici limoso argillosi (Piano di caratterizzazione del sin) .....	39

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 8-1 – Parametri geotecnici. ....	41
--	----

## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione ha lo scopo di illustrare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrologiche e più in generale le condizioni di pericolosità geologica delle aree e dei terreni interessati dagli interventi previsti dal Piano Regolatore Portuale. Il documento è stato redatto sulla base d'informazioni bibliografiche integrate da rilievi di campo, indagini geognostiche dirette ed indirette eseguite in diverse fasi temporali per opere e progetti poste entro e nell'intorno delle aree portuali.

Una planimetria generale del Porto di Trieste è riportata in Figura 2.2.



Il monte Carso, a ridosso della città, raggiunge la quota di 458 metri sul livello del mare.

Il Porto di Trieste, rappresentato in figura 2.2, occupa la stretta fascia costiera che separa la città dal mare, e si spinge verso Sud Est occupando la parte settentrionale della Baia di Muggia, nella quale trova sede la zona industriale.

La baia di Muggia è poco profonda (8-20 m) orientata NW-SE, con una lunghezza di 7 Km e larghezza di circa 4 Km.

In analogia con la restante parte del Golfo l'area occupata dal Porto è contraddistinta da rilievi collinari degradanti verso la linea di costa, interrotti da incisioni o valli percorse dai corsi d'acqua che scendono dai rilievi. I principali corsi d'acqua che sfociano nella rada portuale sono il Torrente Rosandra ed il Rio Osopo, entrambi caratterizzati da un regime di tipo torrentizio, con portate molto limitate che nei periodi di piena aumentano in maniera significativa scaricando grandi quantità di sedimenti fini.

La costa, laddove non antropizzata, presenta una natura prevalentemente rocciosa con l'isobata -10 m s.l.m.m. posta a soli 150-200 m dalla linea di riva. L'area occupata dalla città di Trieste, dalle infrastrutture portuali, e spesso anche la linea di costa e le zone retrostanti, infatti, ha subito pesanti interventi che hanno modificato la morfologia ed anche l'idrografia originaria. La parte interna della baia di Muggia, ad esempio, una volta paludosa; è stata nel tempo bonificata ed è ora sede di importanti insediamenti industriali.

Il Porto rappresenta un polo internazionale per i flussi di interscambio terra-mare che interessano l'intero mercato del Centro-Est Europa. L'importanza del Porto di Trieste è legata a diversi aspetti quali:

- la particolare posizione geografica, che lo rende il porto più a Nord dell'Adriatico e il punto di collegamento più diretto per tutti i paesi del Centro Europa;
- la presenza di fondali profondi e quindi adatti ad accogliere navi di grossa stazza senza particolari esigenze di attività di dragaggio manutentivo;
- la sua condizione di Punto Franco, grazie alla quale le merci provenienti via mare possono essere introdotte liberamente nel Porto qualunque sia la loro destinazione, provenienza e natura senza essere soggette a dazi o altre imposizioni.

Il suo sviluppo risale agli inizi del 1900 con la costruzione delle tre dighe esterne e la creazione delle grandi strutture industriali. Nei decenni successivi sono realizzate altre

importanti opere come il canale industriale, il canale di navigazione, il terminale dell'oleodotto Trieste – Monaco e l'allargamento delle banchine commerciali.

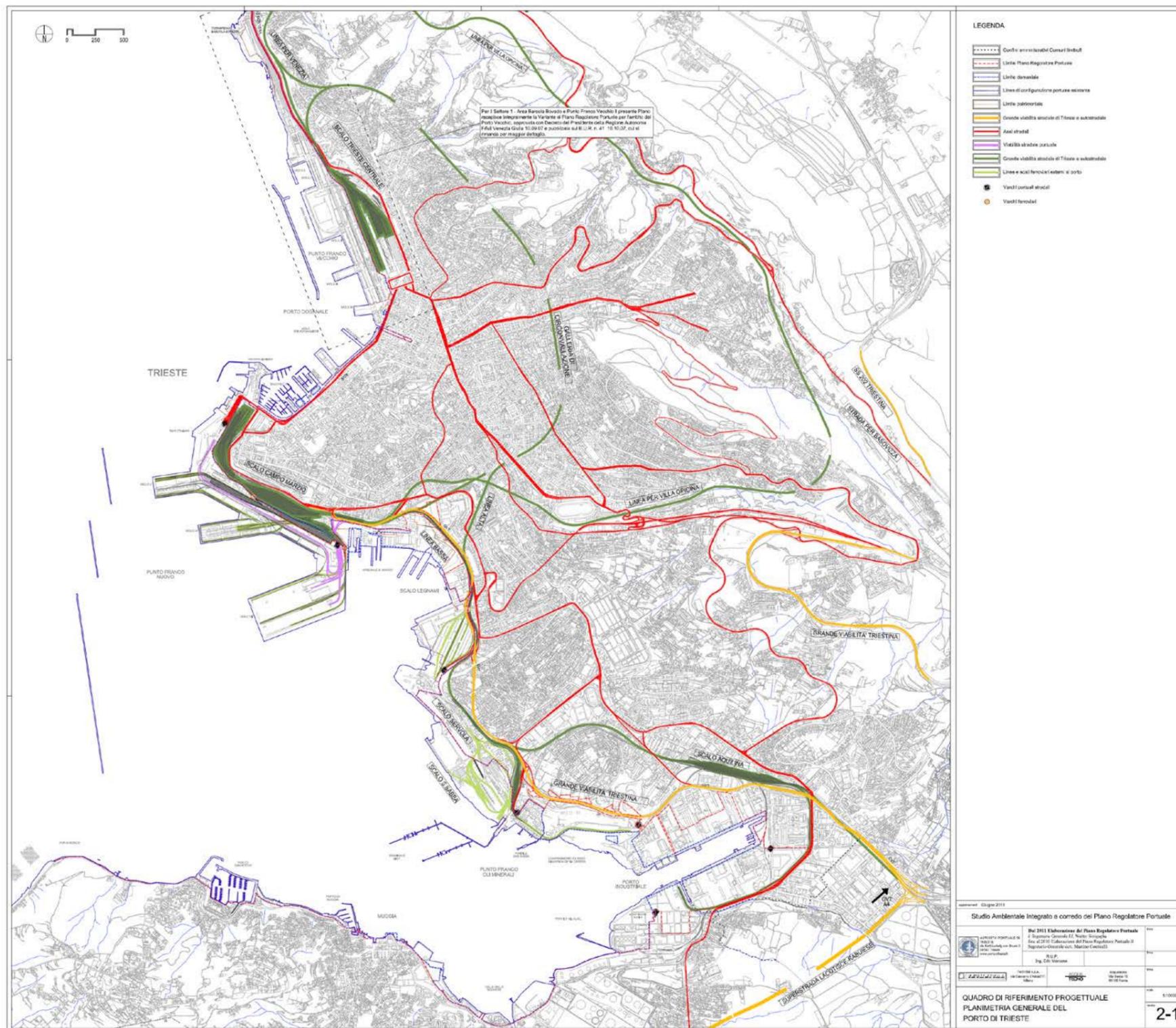


FIGURA 2.2 – PLANIMETRIA GENERALE DEL PORTO DI TRIESTE.

Dal punto di vista delle infrastrutture di collegamento viarie e ferroviarie il Porto dispone di una rete ferroviaria interna (75 km di binari) integrata con la rete nazionale e internazionale, che permette a tutte le banchine di essere servite da binari, con possibilità di smistamento e/o composizione dei treni direttamente nei vari terminali; l'efficienza della rete viaria è garantita, invece, da un raccordo diretto e da una strada sopraelevata che si immette nel sistema stradale esterno (Grande Viabilità Triestina, denominata localmente SS202).

Lo scalo portuale dispone di oltre 2.300.000 m<sup>2</sup> di aree, di cui circa 1.800.000 m<sup>2</sup> in regime di Punto Franco. Più di 900.000 m<sup>2</sup> sono utilizzati per il deposito e lo stoccaggio delle merci e 500.000 m<sup>2</sup> di questi sono rappresentati da aree coperte.

Il Punto Franco di Trieste è suddiviso nelle seguenti unità operative:

- Punto Franco Vecchio;
- Porto Doganale;
- Punto Franco Nuovo (Molo V, Molo VI, Molo VII);
- Scalo Legnami;
- Ferriera Servola;
- Punto Franco Oli Minerali (area ex Esso);
- Punto Franco Industriale (area ex Aquila);

mentre l'unità territoriale di Barcola-Bovedo, delle Rive, dell'Arsenale San Marco, dello Scalo Gaslini e del litorale di Muggia non sono considerabili in quanto prive di accosti.

Le prime tre unità sono destinate ad attività commerciali, mentre le restanti sono destinate ad attività industriali.

Le banchine presenti si sviluppano per 12.128 m, in direzione Ovest-Sud Ovest (tutte le banchine sono orientate nella direzione del vento di Bora, per favorire gli accosti anche con venti intensi), con 47 ormeggi operativi, disposti lungo la linea di costa da Nord a Sud, di cui:

- 24 per navi convenzionali e multipurpose;
- 11 per navi full-container, Ro-Ro e traghetti;
- 5 attracchi a uso industriale;
- 5 attracchi per petroliere;
- 2 attracchi per grandi navi passeggeri e da crociera.

Inoltre il Porto dispone di 4 bacini di carenaggio con dimensione massima  $295 \times 56 \times 12 \text{ m}^3$ , e due canali di accesso, uno a Nord (Canale Nord) e uno a Sud (Canale Sud).

La rada portuale, ed i terminali in essa presenti, è protetta da un sistema di tre dighe foranee, delle quali la principale è la diga Luigi Rizzo Sud, lunga quasi 1.500 m, che definisce il limite del canale di accesso Sud; un sistema di dighe foranee è ubicato anche a protezione del Punto Franco Vecchio.

Il Porto di Trieste è sede storica di insediamenti industriali che movimentano via mare quantitativi significativi sia di rinfuse liquide che di rinfuse solide, attraverso accosti in area demaniale gestiti in autonomia funzionale e mediante concessione d'uso della banchina da parte dell'Autorità Portuale, e rappresentano una parte del complesso di attività produttive localmente insediate sotto il coordinamento dell'Ente Zona Industriale di Trieste (EZIT), rientranti sia nel ramo secondario (trasformazione) che nel ramo terziario (logistica, ecc.).

Con Decreto del 24 Febbraio 2003, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha provveduto alla perimetrazione del Sito Inquinato di Interesse Nazionale (SIN) di Trieste; l'area perimetrata del SIN comprende la fascia costiera fra lo Scalo Legnami e la Punta Olmi e include praticamente la totalità degli specchi acquei compresi fra le dighe foranee Luigi Rizzo centrale e Sud, che fronteggiano rispettivamente il Molo VI e il Molo VII, e la linea di costa compresa fra il lato Sud del Molo V e San Rocco.

### 3. ASPETTI GEOLOGICI

A grande scala il settore interno del Golfo di Trieste, rappresentato schematicamente in figura 3.1, mostra ampi lembi del bacino marnoso arenaceo dell'Istria settentrionale (sinclinale Trieste Capodistria) ed il lembo sud occidentale dell'altipiano calcareo di Trieste e dell'Istria Montana (Carso di Trieste e dell'Alta Istria) costituito nel suo insieme da una vasta anticlinale parzialmente spianata, percorsa e complicata da importanti pieghe secondarie con direzione Sud Est-Nord Ovest. Una faglia inversa, rappresentata in figura, segna il passaggio fra il complesso dei calcari grigi o biancastri del Cretaceo e del Paleocene-Eocene inferiore, appartenente all'altipiano calcareo, dal bacino marnoso qui rappresentato dal Flysch di Trieste databile fra il Paleocene e l'Eocene medio.

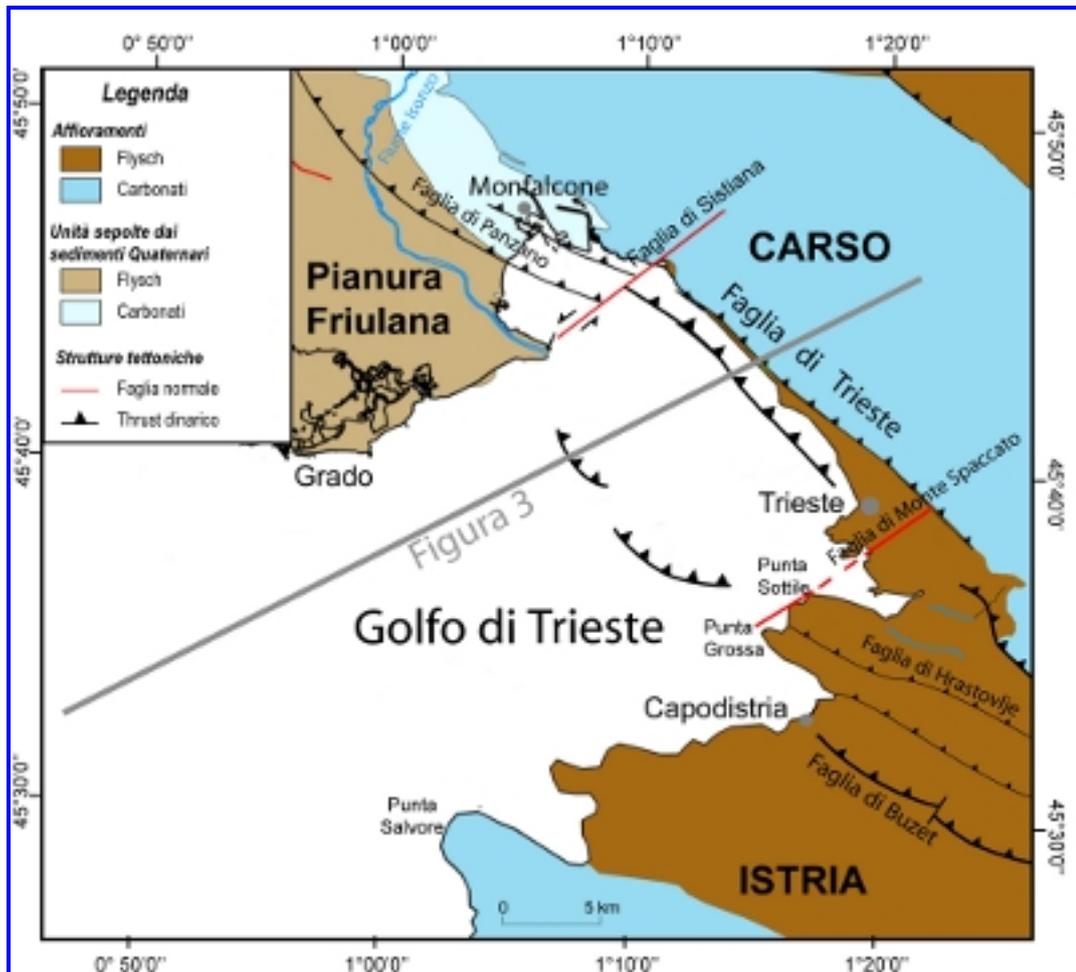


FIGURA 3.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO A GRANDE SCALA DELL'AREA TRIESTINA

Ad una scala di maggiore dettaglio geologicamente il tratto di territorio in studio ricade:

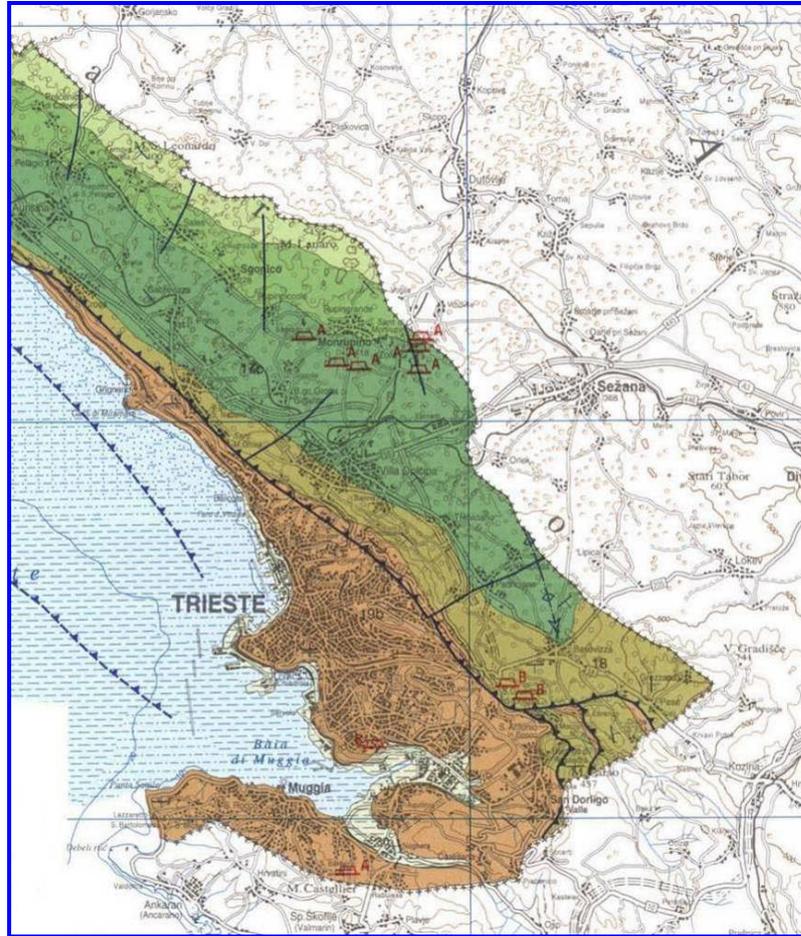
- nel Foglio 53(a) “Trieste” della carta Geologica d’Italia in scala 1.100.000;
- nella parte meridionale della Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia in scala 1.50.000, redatta dal Servizio Geologico della Regione in collaborazione con le Università di Trieste e di Udine, di cui uno stralcio è riportato in Figura 3.2.

L’assetto geologico dell’area di stretto interesse progettuale è quindi caratterizzato da un basamento roccioso afferente alla Formazione del Flysch triestino, di età paleogenica, costituito da un’alternanza ritmica e variabile di arenarie e marne in strati normalmente ben distinti.

Tecnicamente si distinguono facies prevalentemente arenacee con intercalazioni di marne, facies al 50% di marne ed arenarie, e facies marnose con rare intercalazioni arenacee.

Le arenarie sono rocce a matrice carbonatica inglobanti una frazione detritica costituita essenzialmente da granuli di calcite, quarzo, altri silicati e resti di microfossili.

Le marne sono rocce carbonatiche argillose; hanno composizione mineralogica simile alle arenarie, ma si differenziano per una maggiore percentuale di carbonati a scapito degli altri componenti mineralogici; essendosi depositate in straterelli o lamine sottili si presentano fogliettate.



30

Aree di bonifica e di riporto artificiale. *Reclamation and antropic cover areas. Attuale*

- 19b

b

a

Alternanze pellico-arenacee ben stratificate con calciruditi e calcareniti talora in potenti banchi carbonatici (*Flysch del Grivò*: a - *Megastrato del M. Ioanaz*; b - *M. di Vernasso*; *Flysch di Claut*); alternanze di areniti e/o siltiti con marne calcareo-silicee a clasti di quarzo e selce (*Flysch di Cormons*, *Flysch di Clauzetto*, "*Flysch di Trieste*"); depositi di bacino. *Interbedded shales and sandstones with calcirudites and calcarenites, sometimes in thick carbonate beds (a, b); alternation of sandstones and/or siltstones with calcareous-siliceous marls with quartz and silica clasts: basinal deposits. Paleocene p.p. - Eocene medio.*
- 19a

Calcsiltiti grigio-nerastre con banchi di breccia ed areniti nella parte superiore (*Membro di Drenchia*, *Flysch di Ucceja*); calcareniti con breccie e calciruditi (*Flysch di Clodig*, *Flysch di M. Brieka*); alternanze arenaceo-pelliche, con spessi orizzonti di breccia (*Flysch dello Iudrio*) e peliti rossastre ad arenarie grigie intercalate (*Flysch di Calla*); arenarie con orizzonti calciclastici (*Flysch di Masarolisi*); depositi di bacino. *Grey-blackish calcisiltites, with breccia beds and sandstones intercalations towards the top; calcarenites with breccias and mudstones; sandstone-shale alternations, with frequent breccia beds and reddish shales with interbedded grey sandstones; sandstones with calcareous clastic beds: basinal deposits. Cretacico sup. - Paleocene p.p.*
- 18

Calcarei grigi e nocciola a stratificazione metrica o indistinta molto fossiliferi (*Calcarei a Miliolidi*, *Calcarei a Nummuliti ed Alveoline*, *Mb. di M.te Grisa e Opicina*, *Liburnico: Vreme e Cosina*); breccie carbonatiche e marne debolmente arenacee con nummuliti: depositi di piattaforma. *Grey and dark brown fossiliferous limestones in m-thick beds or massive; carbonate breccias and sandy marls with nummulites: platform deposits. Paleocene - Eocene inf.*
- 17c

Calcarei bioclastici biancastri, massicci con abbondanti rudiste, talora con intercalazioni di calcari micritici (*Calcarei di M. Cavallo*, *Calcareni del Molassa*, *Calcarei di Aurisina*, *Fm. dei Calcarei del Carso triestino p.p.*, *Calcarei di Monte San Michele*); depositi di piattaforma aperta. *Whitish bioclastic limestones, massive, with abundant rudists, sometimes with interbedded micritic limestones: carbonate platform deposits. Cretacico sup.*

FIGURA 3.2 – STRALCIO CARTA GEOLOGICA 1:50.000 DELLA RVFG.

Un maggiore dettaglio dell'inquadramento geologico dell'area cittadina e portuale si evince dalla carta di sintesi GEO-CGT, foglio 110 Trieste della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Centrale Ambiente e Lavori Pubblici, Servizio Geologico, redatta in scala 1:10.000 e rappresentata in figura 3.3. L'area urbana è occupata dal Flysch di Trieste mentre l'intero settore portuale è caratterizzato da materiale di origine antropica. Oltre la linea di costa sono cartografate prevalenti peliti e peliti sabbiose.

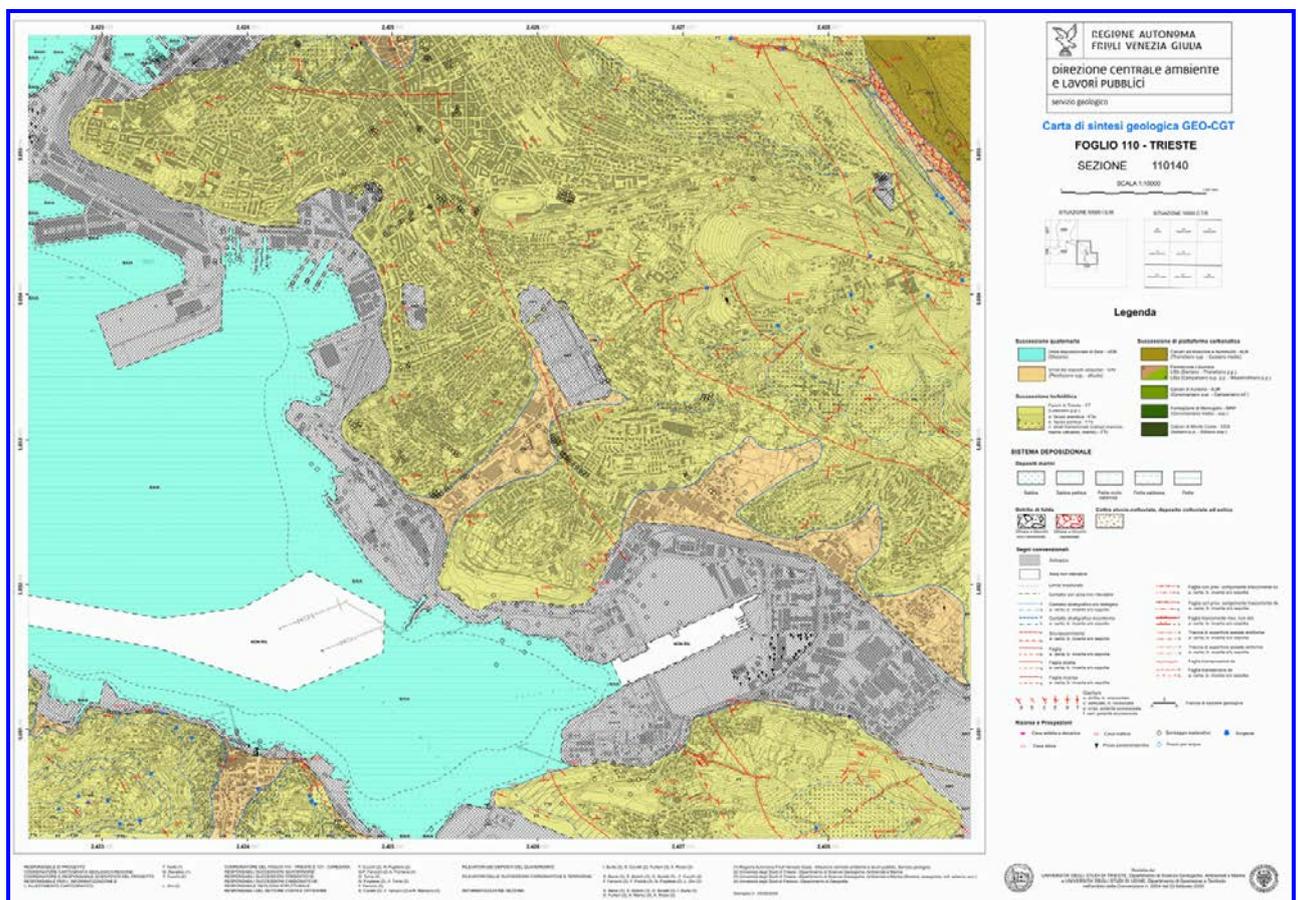


FIGURA 3.3. CARTA GEOLOGICA FOGLIO 110 TRIESTE IN SCALA 1.10.000

Il tetto della formazione flyscioide si presenta, sia in affioramento sia nel sottosuolo, alterato e degradato fino al punto da perdere la propria struttura litoide. Frequentemente si rileva in forma di una matrice limoso sabbiosa argillosa inglobante frammenti arenitici e scaglie di marna. Quest'orizzonte, denominato "Flysch alterato" e con spessore compreso fra 0,5 e 3,0 m, segna il passaggio tra il basamento roccioso in senso stretto ed i sovrastanti depositi di copertura.

I dati disponibili, riferiti ad indagini geognostiche in ambito portuale o in campo petrolifero, e le varie informazioni bibliografiche consultate, confermano anche lungo le coste ed a mare la presenza del basamento roccioso (Flysch), seppur a profondità decametrica o pluridecametrica, al di sotto di una coltre di materiali sciolti di origine marina, continentale o antropica. Si presenta disposto secondo una morfologia a gradoni circa paralleli alla linea di costa, che probabilmente rappresentano antiche linee di spiaggia (Mosetti, F. "Morfologia dell'Adriatico settentrionale" - 1966). La stratificazione, dovuta alle alternanze di marne ed arenarie, è piano parallela con evidenza di strutture deformative quali pieghe e faglie. Il tetto è costituito da un'evidente superficie di erosione con troncatura netta; le scarpate sono alternate a terrazzi larghi da decine a centinaia di metri. Le variazioni e complicazioni laterali sono imputabili a paleo-terrazzamenti determinati dalle azioni erosive dei principali torrenti locali, quali i Rii Farneto, Settefontane, Roncheto, Primario, Ospio, Zaule e Rosandra.

Analisi geofisiche eseguite a mare, oltre ad evidenziare la morfologia a gradoni del substrato roccioso, hanno altresì confermato come la Baia di Muggia sia una struttura di escavazione di origine fluviale dove il substrato, nella porzione centrale, si approfondisce sensibilmente mentre lateralmente, lungo la linea di costa, può talvolta essere riscontrato a modesta profondità dal piano campagna.

Lungo ed ai margini dell'attuale linea di costa sul Flysch poggia uno spessore decametrico di peliti o peliti sabbiose di deposizione marina attribuibili all'Olocene.

Nel tratto a mare oltre la linea di costa indagini geofisiche e geognostiche eseguite nell'ambito del Piano di Caratterizzazione Ambientale dell'area marino costiera del sito d'interesse nazionale (SIN) di Trieste (redatto da Multiproject Srl e Alpine Ocean Seismic Survey Italy Srl con la collaborazione dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale) mostrano una situazione ancor più diversificata.

I materiali più profondi a contatto con il Flysch, sono tardo Pleistocenici ed attribuibili ad una fase glaciale (regressione marina) in ambiente subaereo. Trattasi di depositi granulari, anche grossolani, di origine fluviale con corpi lenticolari e sistemi argine canale. Il relativo spessore è stimabile in circa 7,0 – 8,0 m.

Con l'Olocene si assiste ad una trasgressione marina che porta dapprima ad un ambiente di paludi salmastre e livelli di torbe, cui seguono livelli più francamente marini in stratificazione sub orizzontale per uno spessore complessivo di circa 7 – 9 m, con punte di 15 m – 20 m, il che significa un tasso di sedimentazione di circa 1 mm/anno con picchi fino

a 1,5 – 2,0 mm/anno. Le informazioni ricavate da carotaggi mostrano termini prevalentemente limoso argillosi, a tratti debolmente sabbiosi, colore grigio scuro fino a nerastro, da poco consistenti a molli, variamente organici. In figura 3.4 si riporta la composizione granulometria dei sedimenti Olocenici tratta dalla documentazione relativa al Piano di caratterizzazione ambientale dell'area marino costiera del SIN di Trieste.

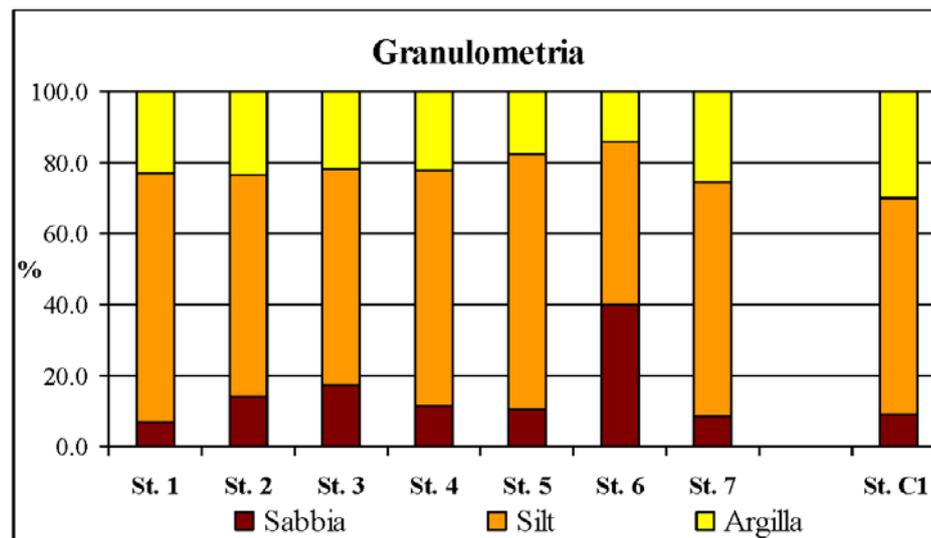


FIGURA 3.4. COMPOSIZIONE GRANULOMETRICA DEI SEDIMENTI OLOCENICI

Essendo l'area fortemente antropizzata sia a terra che, più limitatamente, a mare, si riscontra una diffusa presenza di materiale di riporto impiegato nel primo caso per ricavare lo spazio necessario per l'insediamento delle attività industriali e portuali, nel secondo caso e per la realizzazione dei canali e delle dighe foranee. Litologicamente la composizione risulta essere piuttosto diversa; normalmente si riscontrano depositi limoso argilloso sabbiosi derivanti da scavi e sbancamenti effettuati (spesso nella città di Trieste o nei dintorni) a carico del Flysch. In alternativa si osserva materiale arido eterometrico (dalla ghiaia sino ai grossi blocchi) di natura calcarea, proveniente da cave poste più all'interno, spesso frammisto ad una matrice fine.

La figure 3.5 e 3.6 costituiscono un quadro di sintesi di quanto sin qui esposto.

In figura 3.5 è riportato lo schema cronologico semplificato dei principali eventi che caratterizzano l'area portuale, con evidenza della fase deposizionale del Flysch, una successiva fase erosiva cui segue una deposizione dapprima continentale (fluviale) ed infine una marina prevalentemente pelitica.

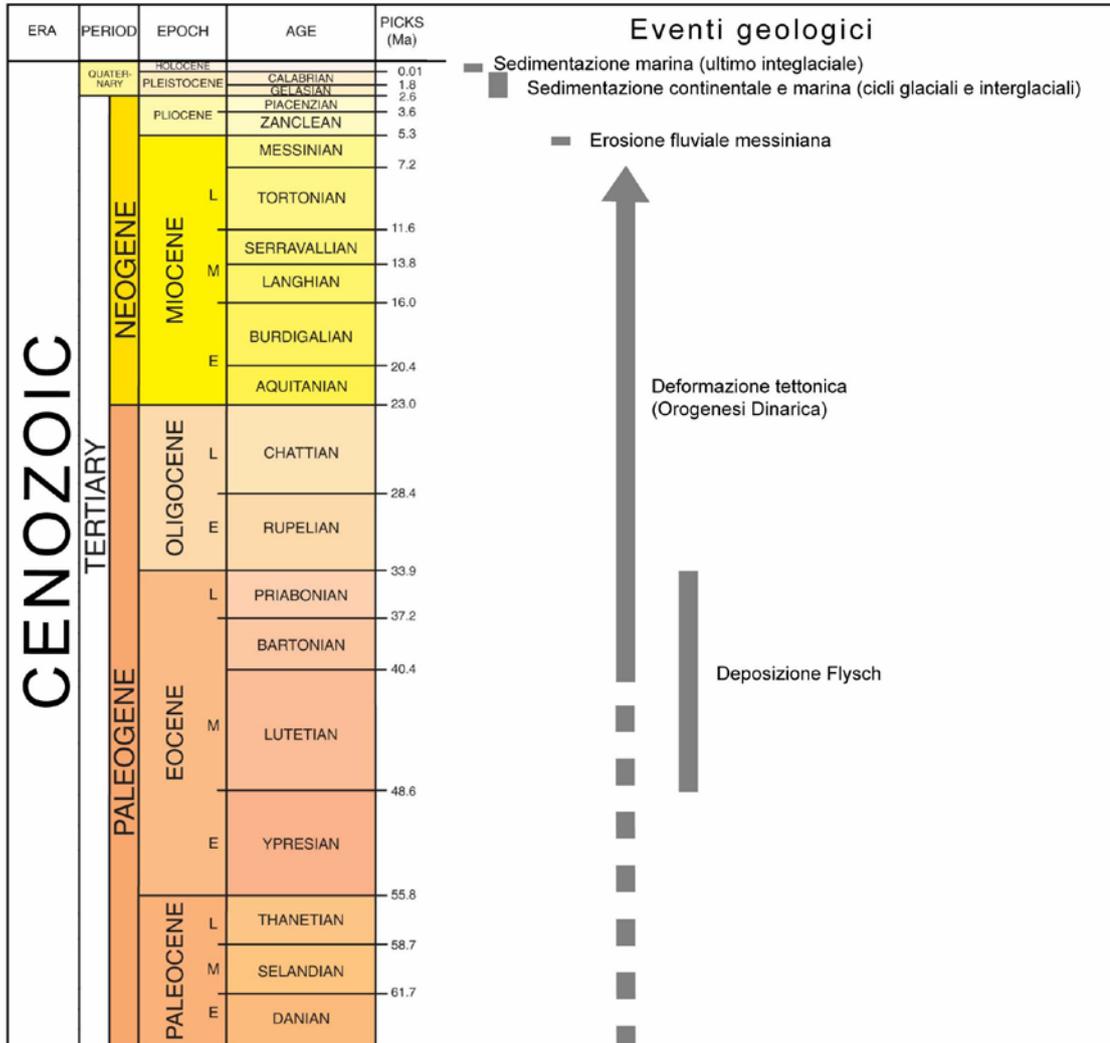


FIGURA 3.5. SCHEMA TEMPORALE SEMPLIFICATO DELL'AREA PORTUALE (FONTE: AREA PORTUALE. PIANO CARATERIZZAZIONE DEL SIN DI TRIESTE)

In figura 3.6 è riportato un profilo sismico trasversale alla Baia di Muggia con evidenza del tetto del Flysch, dei sedimenti fluviali tardo pleistocenici (riscontrati nella baia di Muggia ma spesso assenti nell'immediata adiacenza della linea di costa) e dei sedimenti marini olocenici.

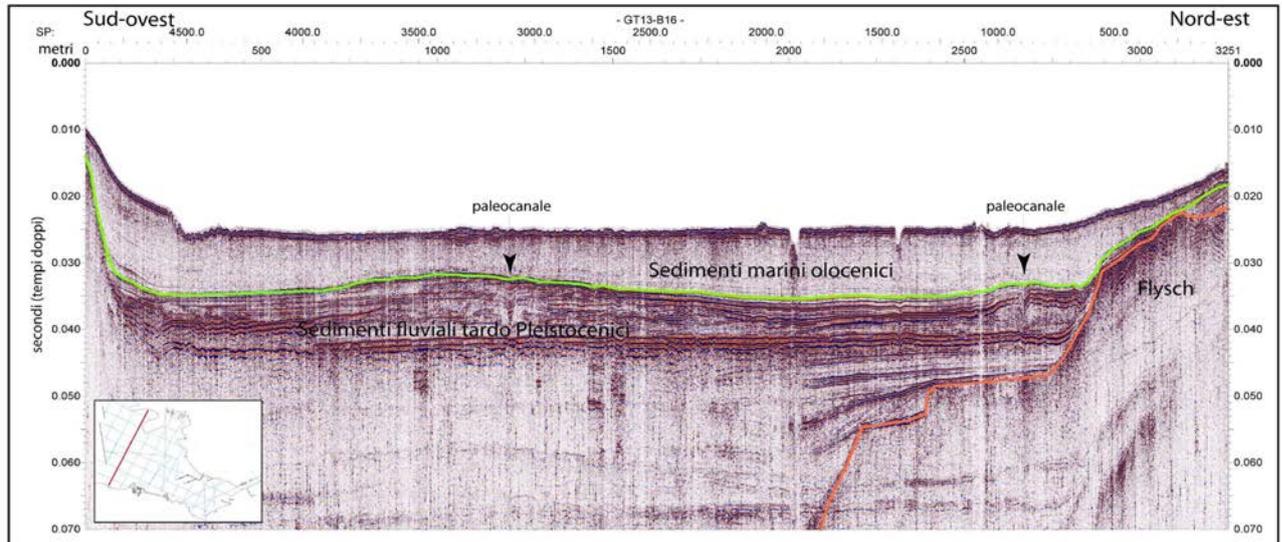


FIGURA 3.6. PROFILO SISMICO TRASVERSALE ALLA BAIÀ DI MUGGIA (FONTE: AREA PORTUALE. PIANO CARATERIZZAZIONE DEL SIN DI TRIESTE)

#### **4. ASPETTI MORFOLOGICI E GEOMORFOLOGICI**

I processi tettonici e di erosione fluviomarina sono i fattori che maggiormente hanno condizionato la morfologia della baia di Muggia e del Golfo di Trieste.

In analogia con il resto della costa triestina meridionale l'assetto dell'area in studio è contraddistinto da rilievi collinari degradanti verso la linea di costa, interrotti da incisioni o valli percorse dai corsi d'acqua che scendono dai rilievi. Lungo i versanti sono evidenti fenomeni calanchivi e franosi sia attivi che inattivi. Parte di questi sono dovuti ad attività antropica di scalzamento al piede, parte invece sono imputabili all'erosione fluviale. Nessun fenomeno interessa comunque le aree di stretto interesse progettuale. Sono presenti ed evidenti, soprattutto nella valle di S. Bartolomeo, zone inondabili dalle maree ordinarie.

Come si evince dalla Figura 4.1 la costa nel tratto a levante di Monfalcone si mantiene bassa e paludosa fino a Duino, diventando poi alta, scoscesa e talvolta perfino inaccessibile da Sistiana a Trieste.

Le coste alte e ripide e le falesie sono imputabili alla facile erodibilità del Flysch, scalzato continuamente al piede dell'erosione marina. Con l'erezione di una barriera frangiflutti, e di una strada litoranea, l'arretramento della compagine flyschoida è stato limitato alla sola quota imputabile agli agenti atmosferici ed all'azione antropica.

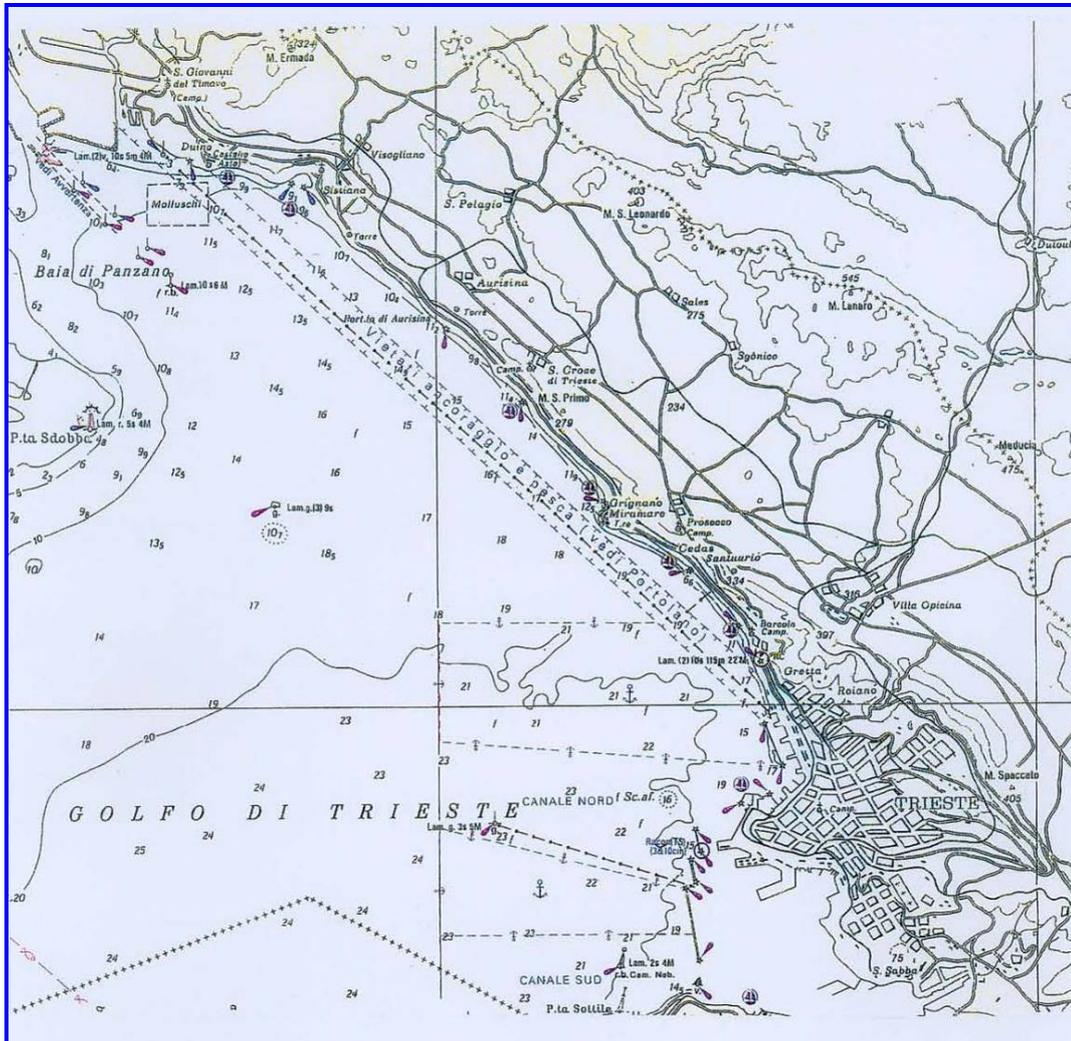


FIGURA 4.1 – MORFOLOGIA DELLA COSTA FRA DUINO E TRIESTE.

La natura prevalentemente rocciosa della costa da Duino a Punta San Rocco, e la presenza dell'isobata -10 m a soli 150-200 m dalla linea di costa, determina un'interazione pressoché nulla tra dinamica morfologica naturale della costa e porto di Trieste.

Parte della città di Trieste è situata su terreni Flysciodi o su depositi di fondovalle derivanti dall'erosione della formazione marnoso-arenacea, mentre le parti della città situate nell'area urbana di pianura sono ricavate da bonifiche di antiche aree paludose o di saline. In tale contesto l'azione dell'uomo è intervenuta fortemente, entro l'area cittadina, modificando la morfologia e l'idrografia originaria, tanto da renderle spesso irriconoscibili.

La formazione marnoso-arenacea è solcata da numerosi corsi d'acqua; molti di questi torrenti, dopo aver contribuito con le loro pur scarse alluvioni a costipare e formare parte della zona pianeggiante cittadina, sono ora incanalati sotto la città.

Fra il molo 1 e il molo 2 (Porto Vecchio) sfociava in superficie il torrente di Roiano, drenante i versanti di Scorcola-Cologna-Gretta: quasi metà del suo percorso scorre oggi incanalato sotto il rione cittadino omonimo.

Fra il molo 3 e il molo 4 (Porto Vecchio) sfocia incanalato sotto la città il reticolo fluviale più importante, costituito dalla confluenza fra il torrente Farneto (che scorreva nella valle di San Giovanni) ed il torrente Settefontane (che scorreva nella valle di Rozzol). Il torrente Farneto sfociava in mare pressappoco là dove oggi si incrociano le vie Battisti e Carducci, mentre il torrente Settefontane sfociava in mare presso l'attuale piazza Goldoni. Altri brevi torrenti scorrevano sui versanti pendenti del colle di San Vito, che scendeva a picco sul mare formando un promontorio (area del Porto Nuovo).

La costa meridionale proseguiva prima a scarpata (zona Sant'Andrea-Campi Elisi) e poi riceveva alcuni brevi torrenti nell'insenatura oggi posta a monte dell'area Arsenale del Lloyd-Cantiere San Marco. Più a sud, fra il promontorio di Servola e il Monte San Pantaleone, scorreva la valle del rio Primario (oggi in gran parte ricoperto).

Un tempo la Baia di Muggia, che indagini geofisiche hanno confermato essere una struttura di escavazione fluviale, rientrava molto più profondamente nell'entroterra, e quindi il mare occupava una vasta area sede oggi del Porto Industriale. Più a Sud la valle del Rio Osopo (o Valle delle Noghere) era più arretrata rispetto all'attuale linea di costa (il torrente defluiva a mare attraverso un ampio estuario, indice dello scarso apporto fluviale rispetto all'erosione marina). La costa muggesana, tranne qualche lieve deposito in corrispondenza delle foci dei principali corsi d'acqua, aveva pressappoco l'attuale aspetto.

Il progressivo aumento del livello marino (mediamente 1,6 mm/anno), con la conseguente azione erosiva sulle coste da un lato e la diminuita pendenza dei corsi d'acqua dall'altro, provocò il rapido interrimento di alcune zone costiere.

Alle alluvioni fluviali si sono sovrapposte quelle di origine marina (argille soprattutto), impaludando vaste aree e provocando divagazioni dei corsi d'acqua: il Torrente Settefontane spostò il suo percorso terminale più a Sud (sfociando a mare presso l'attuale Piazza della Borsa), mentre il Torrente Farneto, inizialmente diretto lungo l'asse dell'attuale Canale, si è spostato a Nord. Gli altri vari rii, assorbiti dalle loro stesse

alluvioni, scomparvero. Nella piana di Zaule i corsi d'acqua minori divagavano nelle paludi, mentre il Torrente Rosandra si spostava a ridosso del Monte d'Oro.

Con l'avvio delle grandi trasformazioni antropiche le aree paludose vennero in parte bonificate ed in parte sostituite da saline, ed il Torrente Farneto ed il Torrente Settefontane vennero incanalati. Oltre alle saline del Borgo Teresiano ce ne erano di minori allo sbocco della Valle di Roiano, a Campo Marzio, nell'insenatura di Servola ed alle foci del Rio Primario.

La progressiva espansione della città portò alla bonifica delle saline, allo sbancamento di rilievi arenacei, all'ampliamento delle aree portuali (per ottenere le quali varie aree costiere occupate dal mare furono colmate), all'incanalamento, rettifica ed arginatura dei torrenti principali, successivamente ricoperti, ed infine alla creazione di nuove saline nelle aree di palude della Valle di Zaule e delle Noghere.

Nel Golfo di Trieste il basamento roccioso, generalmente coperto da una potente coltre di sedimenti marini argillosi, è sempre arenaceo e mostra diversi spianamenti fluvio-marini costituiti da ripide scarpate intervallate da superfici quasi orizzontali.

## 5. ASPETTI IDROGEOLOGICI

I bacini idrografici principali del territorio hanno lo spartiacque nei terreni calcarei, cui può essere conferita una permeabilità elevata a causa della roccia fessurata resa beante dal progredire della dissoluzione. Il risultato è il rapido convogliamento delle acque in profondità, fino a raggiungere il “livello di base carsico”, che corrisponde, a seconda dei casi, ad un substrato impermeabile costituito da rocce non carsificabili, al livello del mare o, infine, al livello dei più prossimi fondi vallivi marnoso-arenacei non permeabili.

In Figura 5.1 sono rappresentati i corpi idrici sotterranei del bacino del Levante delle Alpi Orientali.

I terreni marnoso-arenacei, pur non carsificabili, ritenuti impermeabili nei confronti delle soprastanti rocce carbonatiche con cui sono in contatto stratigrafico o tettonico, possono comunque ospitare falde idriche in seno alle facies arenacee o alla coltre di alterazione. Localmente la ricchezza d’acqua del Flysch è nota, essendo censiti oltre 700 pozzi d’acqua di profondità tra i 10 ed i 20 m che captano falde superficiali, un tempo sfruttate per uso agricolo ed ancor prima per uso potabile. Ma anche in zone dove non esistono opere di prelievo e sfruttamento una modesta falda più o meno superficiale è quasi sempre presente, contenuta all’interno del cappellaccio di alterazione del Flysch.

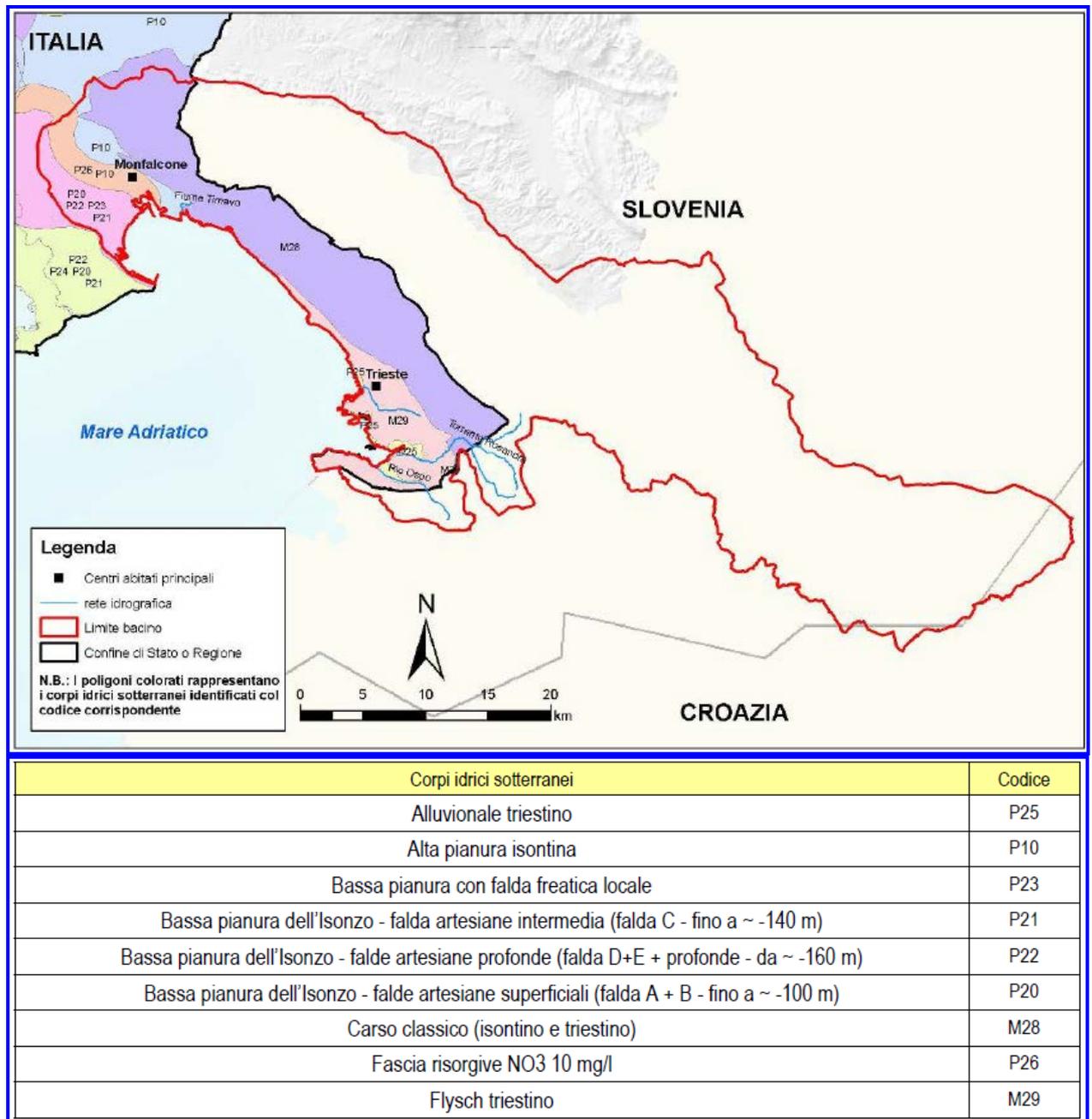


FIGURA 5.1 – RAPPRESENTAZIONE DEI CORPI IDRICI SOTTERRANEI DEL BACINO DEL LEVANTE DELLE ALPI ORIENTALI (FONTE: PIANO DI GESTIONE DEI BACINI IDROGRAFICI DELLE ALPI ORIENTALI)

Pur se l'intervento dell'uomo ha trasformato profondamente la morfologia e la topografia originaria del territorio per dar posto alle importanti infrastrutture portuali ed industriali, i lavori non hanno sostanzialmente interferito con le falde sotterranee che si trovano, almeno quelle sfruttabili, a monte della linea di costa.

Nelle aree in prossimità della linea di costa non sono note problematiche o interferenze particolari connesse con la presenza di falde sotterranee poiché queste, quando presenti, restano confinate entro livelli profondi, poco potenti e spesso frammisti ad argilla e pertanto scarsamente produttivi.

Nelle aree di colmata non ancora ultimate o nelle discariche, laddove il terreno superficiale risulta permeabile (detriti grossolani) possono circolare delle quantità d'acqua infiltrata per piovosità diretta o per fratturazione dell'arenaria, esigue e trascurabili.

Solamente nella piana di Zaule e nella Valle delle Noghère (Rio Ospò) sono presenti in profondità, nelle aree relativamente prossime all'attuale linea di costa, depositi fluviali ghiaiosi più grossolani (e più permeabili) interessati da circolazione idrica sotterranea. Queste due zone di pianura, anticamente paludose e poi in parte bonificate per la creazione di saline, sono state recentemente ulteriormente bonificate per la realizzazione di opere portuali ed industriali.

Il deposito alluvionale della piana di Zaule è spesso mediamente circa 40 m. Al fondo del deposito, immediatamente sopra il Flysch, e lungo l'asse della valle (là dove scorreva prima delle divagazioni fluviali il Torrente Rosandra) i materiali sono prevalentemente costituiti da ghiaia (molto permeabile).

Il deposito alluvionale del Rio Ospò risulta di composizione più eterogenea, con ghiaie calcaree limitate alla parte più profonda e nell'alta Valle delle Noghère e con alternanze di spessi strati sabbiosi ed argillosi nella parte superficiale e nella zona più a mare. Il livello ghiaioso profondo è poco potente ed inizia ad ispessirsi solo a circa 2 Km a monte dell'attuale costa.

Entro i livelli ghiaiosi permeabili, sia più superficiali sia profondi, scorre acqua di falda con portata media, solo per la piana di Zaule, superiore ai 250 l/s. Tale acqua viene attualmente emunta da vari pozzi di insediamenti industriali posti nell'area a monte della Via Flavia; a valle di questa le acque sotterranee, di portata ben inferiore per il maggior spessore dei livelli impermeabili e per la minor permeabilità degli strati acquiferi, non vengono più

emunte da alcuni decenni per l'instaurarsi, a causa dell'eccessivo prelievo idrico, di intrusioni d'acqua marina.

Nell'area del Canale Industriale i sedimenti sono prevalentemente d'origine marina: l'area compresa fra la Nuova Sopraelevata e la Riva Giovanni da Verrazzano (zona industriale Ovest) è stata strappata al mare e i primi 4-8 m circa (a seconda della distanza dalla costa) sono costituiti da materiale di riporto che sovrasta argille miste a limo, mentre l'area opposta al Canale Industriale (compresa fra la Riva Cadamosto e la Via Flavia) è costituita, sotto un paio di metri di terreno di riporto, da uno strato potente di argille marine (spesso 15 m verso mare, cioè verso la foce del Torrente Rosandra, e 3 m verso monte) che sovrasta un livello di 1 m circa di argille marine frammischiate a ghiaia. Laddove prevale la ghiaia possono scorrere limitate quantità d'acqua.

Nel seguito sono brevemente riassunte le principali caratteristiche idrogeologiche dell'area costiera oggetto del Piano Portuale:

- aree Barcola-Bovedo, Servola-Ferriera e San Sabba-Via Errera: sono aree di recente formazione antropica (discariche a mare di materiali inerti), i cui lati posti verso monte sono costituiti dalle pendici marnoso-arenacee. Nel caso in cui questa formazione rocciosa si presentasse ricca della componente arenacea e fosse fratturata potrebbero esistere piccole venature d'acqua e quindi esigue fuoriuscite dai versanti coperti dai materiali inerti. Non si hanno comunque dati al riguardo e se i riempimenti delle aree a mare sono stati effettuati secondo criteri tecnici e scientifici adeguati non dovrebbero sussistere problemi legati a presenza di acqua entro il materiale di riporto.
- aree Porto Franco Vecchio, Rive e Porto Nuovo: aree portuali impostate su terreni di più antica formazione antropica, poggianti su sedimenti marini in prevalenza limo-argillosi e sovrastanti il basamento roccioso. Dai diversi sondaggi reperiti per queste aree non risulta essere mai presente in profondità alcun livello permeabile contenente falde sotterranee. Nel caso in cui il materiale di riporto superficiale sia permeabile (limitatamente ad alcune zone e nelle parti più superficiali) può essere presente acqua di origine meteorica.
- area Porto Industriale - Valle Zaule: i sedimenti sono prevalentemente d'origine marina. La zona industriale Ovest (area compresa fra la Nuova Sopraelevata e la Riva Giovanni da Verrazzano) è stata strappata al mare e i primi 4-8 m sono costituiti da materiale di riporto che sovrasta argille miste a limo, mentre l'area opposta al Canale industriale (compresa fra la Riva Cadamosto e la Via Flavia) è costituita, sotto un paio di metri di terreno di riporto, da uno strato potente di argille marine, che sovrasta un livello di argille marine frammischiate a ghiaia in cui possono riscontrarsi limitate quantità d'acqua.

- area ex Aquila: il terreno, a prescindere dagli interrimenti artificiali, è costituito da sedimenti fluviolacustri e marini argillosi. L'area posta più a monte, verso il promontorio di Aquilina, confina con la formazione marnoso-arenacea affiorante.
- area Valle delle Noghere: è l'unico tratto di costa dell'area del Piano Regolatore Portuale, assieme alla piana di Zaule, in cui sono presenti in profondità, nelle aree più prossime all'attuale linea di costa, depositi fluviali ghiaiosi più grossolani, più permeabili e quindi interessati da circolazione idrica sotterranea. Queste due zone di pianura, anticamente paludose e poi in parte bonificate per la creazione di saline, sono state recentemente ulteriormente bonificate per la realizzazione di opere portuali ed industriali.
- costa muggesana: costituisce un tratto di costa oggetto di trasformazioni antropiche relativamente meno imponenti, se si eccettuano i riempimenti nelle parti a mare delle due insenature principali oggi occupate dall'abitato di Muggia e dal Porto di San Rocco. Per la prevalente componente marnosa della formazione flyschoidale, presente in tutto il territorio muggesano, i sedimenti alluvionali (ove presenti) sono prevalentemente argillosi e quindi impermeabili, con scarse intercalazioni sabbiose.

## 6. TETTONICA

L'area a ridosso del Golfo di Trieste fa parte dell'estrema porzione settentrionale della cosiddetta Sinclinale Capodistria-Trieste. Dal punto di vista tettonico è caratterizzata dalla presenza di due unità che, in accordo con quanto definito da Placer nel 1981, si dividono nella:

- “Piattaforma di Comeno”, cui corrisponde la successione carbonatica dell'anticlinale del Basso Carso, in parte sovrastata anche dalla successione torbidityca del Flysch;
- “Struttura embriata della Ciceria”, cui corrispondono i termini torbidityci posti a Sud del fianco Sud occidentale dell'anticlinale del Carso.

La genesi di tale situazione va ricercata in un'originale spinta da Nord Est, cui in un secondo momento si sono sovrapposte e sostituite ulteriori spinte provenienti da Nord Ovest. La disposizione degli strati si presenta secondo una successione di sinclinali ed anticlinali con assi posti in direzione Nord Ovest-Sud Est, che seguono l'andamento generale della fase dinamica dell'orogenesi alpina. Analogamente con direzione Nord Ovest-Sud Est sono le principali dislocazioni tettoniche di quest'area così come rappresentato sinteticamente in Figura 6.1. I profondi processi dislocativi che hanno interessato l'area triestina sono avvenuti nel Pliocene inferiore, e le lineazioni tettoniche ricadenti nel territorio non sono sismogenetiche.



FIGURA 6.1 – INQUADRAMENTO TETTONICO STRUTTURALE DELLA REGIONE FVG (FONTE: CARTA GEOLOGICA IN SCALA 1.50.000 DELLA REGIONE FVG).

## 7. SISMICITA'

Nelle classificazioni sismiche antecedenti al 2008 l'area in studio è caratterizzata da condizioni di modesto rischio sismico. Questo nonostante la vicinanza ad una fascia ad elevata sismicità che comprende la pianura friulana, la Slovenia, l'area del bellunese, del Cansiglio e della Carinzia, tutte note per il loro elevato grado di sismicità..

In particolare la zona di Trieste è addirittura considerata non sismica sino al 2003; successivamente, quando con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 Marzo 2003 tutto il territorio nazionale viene considerato sismico, viene inserita (vedi Figura 7.1) in "zona 4", la più bassa (minore rischio) in ambito nazionale.

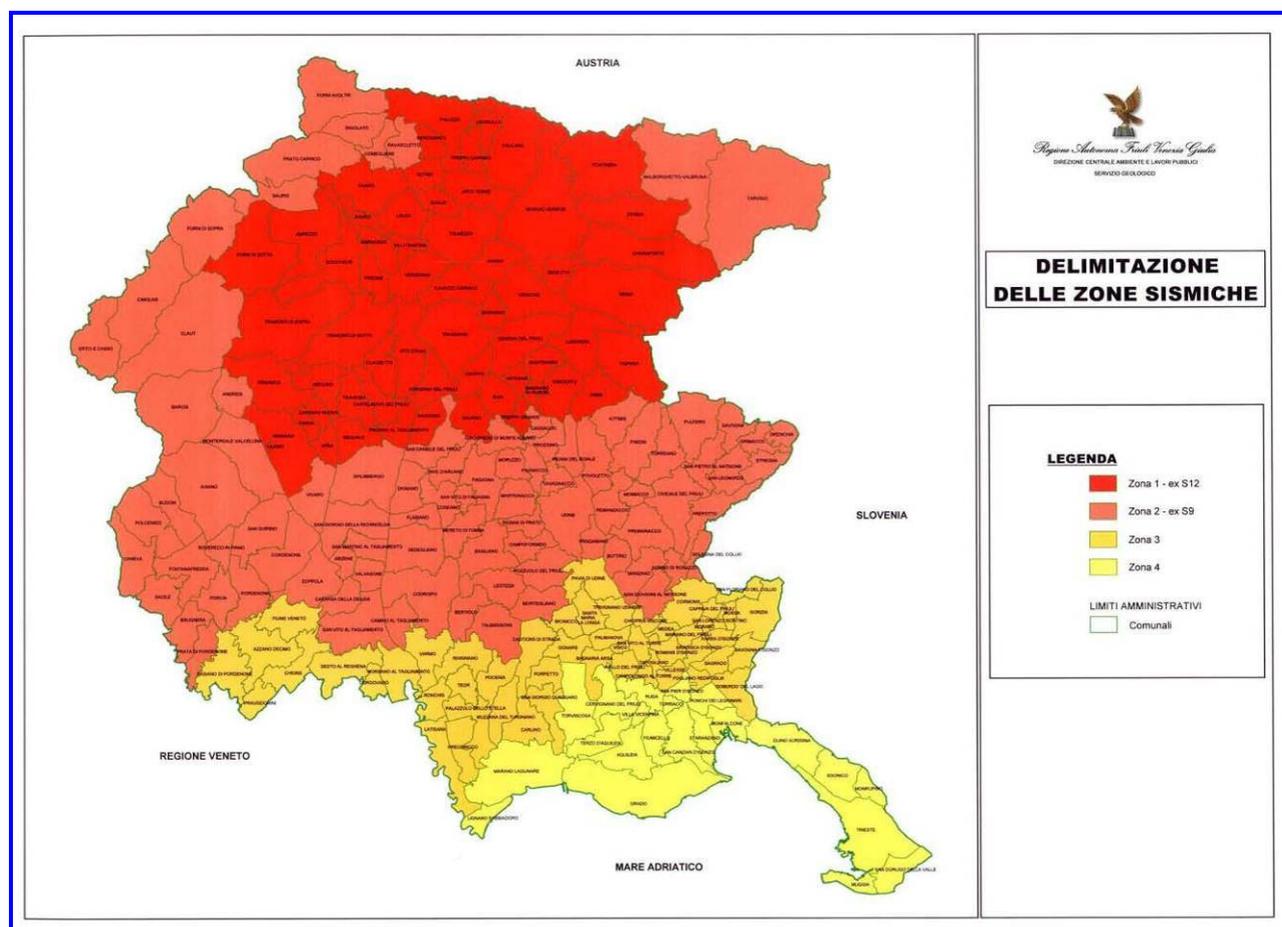


FIGURA 7.1 – CLASSIFICAZIONE SISMICA DELLA REGIONE FVG.

## 8. STRATIGRAFIA E LITOLOGIA DELL'AREA PORTUALE

Come già in parte anticipato al capitolo 3 attorno alle aree portuali la fascia costiera è stata intensamente rimaneggiata dall'opera dell'uomo. La linea di costa attuale deriva in massima parte da interramenti e bonifiche, mentre il fondale è stato nel tempo variamente sottoposto ad escavazioni.

In corrispondenza della linea di costa si riscontrano prevalenti depositi pelitici (limi ed argille, a tratti debolmente sabbiosi) attribuibili all'Olocene, soffici ed uniformemente distribuiti, aventi spessore metrico con punte sino a circa 20 m. Hanno origine marina, colore grigio scuro o verdastro e presenza variabile di sostanza organica. In profondità seguono peliti, ricche nella componente argillosa, di origine continentale (fluviolacustre) con frequente presenza di livelli torbosi nelle aree un tempo paludose.

In corrispondenza delle strutture portuali i sedimenti pelitici sono spesso ricoperti, soprattutto in prossimità della riva, da materiali grossolani di origine artificiale (derivati dalle opere di interrimento e banchinamento) immersi in matrice limosa a tratti abbondante il cui spessore è variabile da metrico a decametrico.

Nella Baia di Muggia rilievi sismici eseguiti a mare mostrano, interposti fra le peliti ed il Flysch, depositi granulari fluviali tardo pleistocenici (vedasi figura 3.6) il cui spessore è nell'ordine di circa 10 m, anche se alcune terebrazioni geognostiche mostrano locali contesi con potenze anche maggiori;

Questo complesso di materiali sciolti, avente spessore mediamente variabile da 20 fino ad oltre 50 m, poggia sul basamento flyschoide.

I dati a disposizione, costituiti essenzialmente da stratigrafie di sondaggi di diversa profondità nei tratti a terra e rilievi sismici in mare, hanno permesso la redazione di un profilo stratigrafico indicativo, riportato nella carta litologica e stratigrafica di Figura 8.1.

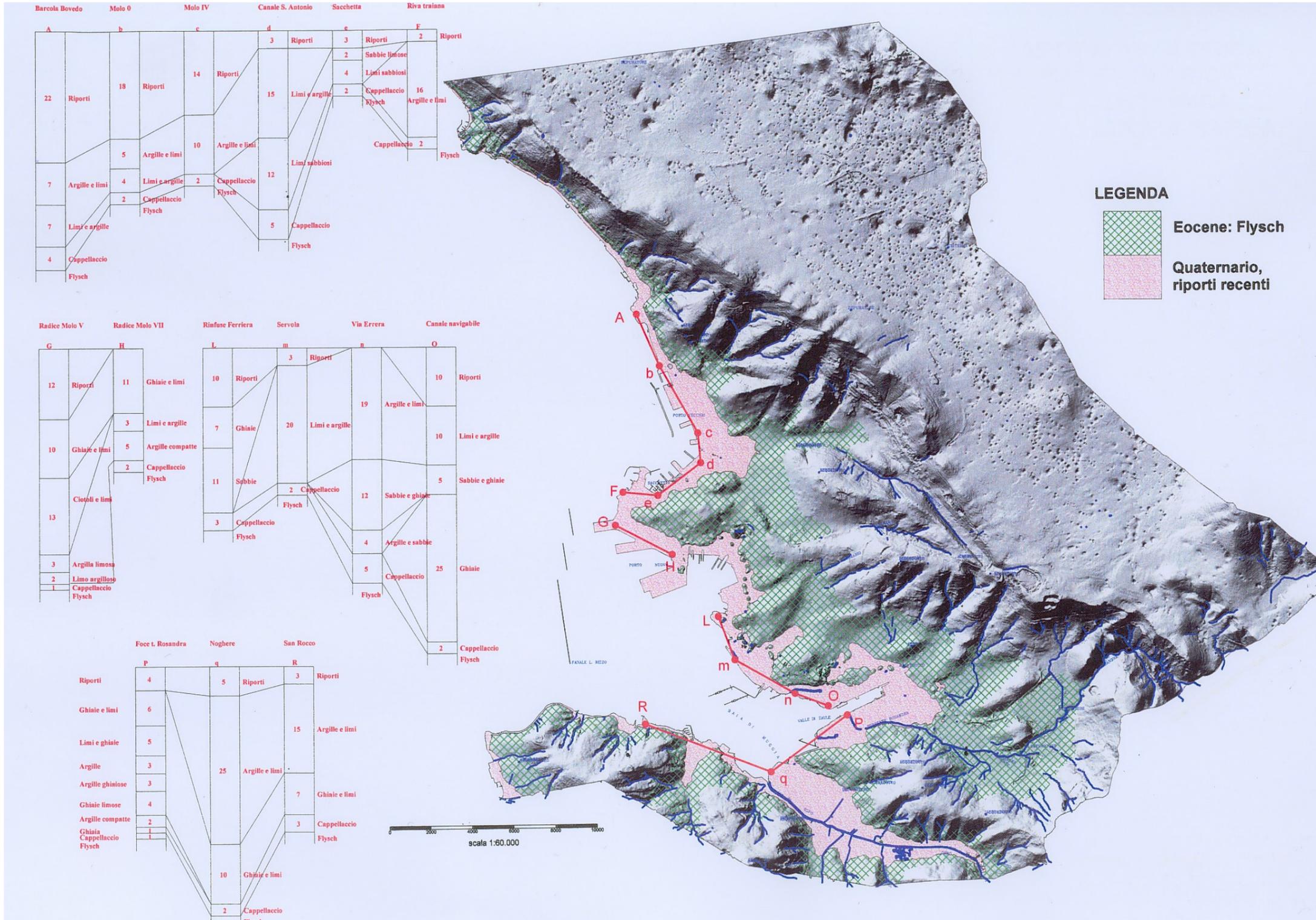


FIGURA 8.1 – CARTA LITOLOGICA E STRATIGRAFICA

Per un maggiore dettaglio procedendo da Nord verso Sud nelle varie aree di competenza portuale sono definibili le seguenti successioni stratigrafiche.

#### *Barcola Bovedo - Molo 0*

Le informazioni recenti provengono da sondaggi eseguiti in mare ed a terra sul terrapieno di Barcola e all'altezza del Molo 0. Dall'esame delle stratigrafie si ricava che la successione stratigrafica a Barcola è la seguente:

Fino a 22 m	Riporti
Da 22 a 29 m	Argille e limi
Da 29 a 36 m	Limi e argille
Da 36 a 40 m	Cappellaccio di alterazione del Flysch
>40 m	Flysch di Trieste marnoso arenaceo

Tale successione varia con continuità fino al Molo 0, in corrispondenza del quale si ha la seguente successione di strati:

Fino a 18 m	Riporti
Da 18 a 23 m	Argille e limi
Da 23 a 27 m	Limi e argille
Da 27 a 29 m	Cappellaccio di alterazione del Flysch
>29 m	Flysch di Trieste marnoso arenaceo

#### *Molo IV*

Alcuni sondaggi recenti lungo l'attuale banchina, tra il Molo III ed il Molo IV, mostrano la presenza di una componente poligenica eterogenea di potenza notevolmente variabile, funzione della distanza dalle opere di ricarica a mare. Si osservano in particolare i seguenti strati:

Fino a 14 m	Riporti
Da 14 a 24 m	Argille e limi
Da 24 a 26 m	Cappellaccio di alterazione del Flysch
>26 m	Flysch di Trieste marnoso arenaceo

#### *Foce Canale Sant' Antonio*

Sono noti 3 sondaggi eseguiti alla fine degli anni '80 in funzione di radicali trasformazioni di fabbricati che mostrano i seguenti strati:

Fino a 3 m	Riporti
Da 3 a 18 m	Limi ed argille
Da 18 a 30 m	Limi sabbiosi
Da 30 a 35 m	Cappellaccio di alterazione del Flysch
>35 m	Flysch di Trieste marnoso arenaceo

### *Sacchetta*

La successione di strati è stata ricavata da notizie storiche e da deduzioni mediate da sondaggi e scavi limitrofi:

Fino a 3 m	Riporti
Da 3 a 5 m	Sabbie limose
Da 5 a 9 m	Limi sabbiosi
Da 9 a 11 m	Cappellaccio di alterazione del Flysch
>11 m	Flysch di Trieste marnoso arenaceo

### *Riva Traiana*

La zona è stata studiata per i lavori recenti di allargamento e banchinamento della Riva Traiana. Il complesso delle indagini ammonta a 20 sondaggi con prelievo di campioni. Anche in quest'area sono presenti terreni coesivi che poggiano sul substrato di base costituito dalla formazione del Flysch. La successione stratigrafica osservata è la seguente:

Fino a 2 m	Riporti
Da 2 a 18 m	Argille e limi
Da 18 a 20 m	Cappellaccio di alterazione del Flysch
>20 m	Flysch di Trieste marnoso arenaceo

### *Molo V – Molo VII*

Indagini sono state eseguite per il progetto di rifacimento della banchina Nord del Molo V; alcuni sondaggi sono ubicati in prossimità della radice del Molo VII. Sono stati considerati 11 sondaggi geognostici di cui 3 eseguiti a mare e 8 eseguiti a terra. Per il Molo V la successione stratigrafica è la seguente:

Fino a 12 m	Riporti
Da 12 a 22 m	Ghiaie e limi
Da 22 a 35 m	Ciottoli e limi
Da 35 a 38 m	Argilla limosa
Da 38 a 40 m	Limo argilloso
Da 40 a 41 m	Cappellaccio di alterazione del Flysch
>41 m	Flysch di Trieste marnoso arenaceo

Mentre per il Molo VII:

Fino a 11 m	Riporti
Da 11 a 14 m	Limi ed argille
Da 14 a 19 m	Argille compatte
Da 19 a 21 m	Cappellaccio di alterazione del Flysch
>21 m	Flysch di Trieste marnoso arenaceo

*Scalo Legnami - Ferriera*

A Servola (zona Scalo Legnami) sono disponibili una serie di campagne di indagini eseguite dal 1981 fino al 1989 per un totale di 112 sondaggi, di cui 7 in mare e 110 a terra. Da tali indagini si ricava la seguente stratigrafia:

Fino a 10 m	Riporti
Da 10 a 17 m	Ghiaie
Da 17 a 28 m	Sabbie
Da 28 a 31 m	Cappellaccio di alterazione del Flysch
>31 m	Flysch di Trieste marnoso arenaceo

Nell'area della Ferriera la successione stratigrafica ricavata dalle indagini è data dai seguenti strati:

Fino a 3 m	Riporti
Da 3 a 24 m	Limi ed argille
Da 24 a 36 m	Cappellaccio di alterazione del Flysch
>36 m	Flysch di Trieste marnoso arenaceo

*Terminal Petroli*

Le quote superiori del banco roccioso, accertate mediante indagini geognostiche, variano a seconda della posizione e della distanza dalla linea di costa. Sono di circa -37 m in corrispondenza della radice dei pontili, -40 m al gomito del pontile di accesso ed al distacco del pontile operativo n°1, -53 m alla piattaforma del pontile n°1, -45 m al distacco del pontile operativo n° 2, -50 m alla piattaforma del pontile n°2.

*Via Errera*

Per la progettazione della mantellata a protezione della discarica di via Errera è stato eseguito 1 sondaggio localizzato in prossimità della linea di costa.

La situazione stratigrafica comincia a complicarsi per l'intersecarsi dei sedimenti dei diversi torrenti che in questo tratto di costa giungono a mare:

Fino a 15 m	Argille e limi
Da 15a 27 m	Sabbie e ghiaie
Da 27a 31 m	Argille e sabbie
Da 31 a 36 m	Cappellaccio di alterazione del Flysch
>36 m	Flysch di Trieste marnoso arenaceo

*Canale navigabile (destra idraulica)*

La situazione stratigrafica e geotecnica è la stessa del caso precedente. Le condizioni sono sempre molto complicate poiché alla formazione della zona contribuiscono diversi tributari con i loro conoidi volumetricamente non trascurabili. In destra del Canale, al suo sbocco in mare, sono stati eseguiti, alla metà degli anni '80, 3 sondaggi da cui si ricava quanto segue:

Fino a 10 m	Riporti
Da 10 a 20 m	Limi e argille
Da 20 a 25 m	Sabbie e ghiaie
Da 25a 50 m	Ghiaie
Da 50 a 52 m	Cappellaccio di alterazione del Flysch
>52 m	Flysch di Trieste marnoso arenaceo

*Canale navigabile (foce Torrente Rosandra)*

La situazione stratigrafica e geotecnica è la stessa del caso precedente. I diversi tributari con i loro depositi hanno creato una situazione estremamente eterogenea. In prossimità della foce del Torrente Rosandra, lungo l'argine sinistro sono noti due sondaggi da cui si desume:

Fino a 4 m	Riporti
Da 4 a 15 m	Ghiaie e limi
Da 15 a 18 m	Argille
Da 18 a 21m	Argille ghiaiose
Da 21 a 25 m	Ghiaie limose
Da 25 a 27 m	Argille compatte
Da 27 a 28 m	Ghiaie
Da 28 a 33 m	Cappellaccio di alterazione del Flysch
>33 m	Flysch di Trieste marnoso arenaceo

*Valle delle Noghere*

È il culmine delle due situazioni precedenti. Man mano che dall'interno ci si avvicina alla foce si ritrovano le evidenze di tutti i processi fluvio-marini, ai quali si è poi sovrapposta l'opera di bonifica. Questa complessità ha determinato nel tempo la necessità di risposte puntuali con un conseguente alto numero di campagne geognostiche eseguite per un totale

di 60 sondaggi, da cui si evince un'area con incisioni vallive che si approfondiscono andando verso il mare.

La formazione del Flysch risulta coperta da lenti più o meno ghiaiose e sabbiose disposte casualmente, con andamento per lo più longitudinale rispetto alla valle. In corrispondenza della attuale linea di costa, alla foce del Rio Osopo si ritiene valida la seguente successione, ottenuta come media delle singole specificità:

Fino a 5 m	Riporti
Da 5 a 30 m	Argille e limi
Da 30 a 40 m	Ghiaie e limi
Da 40 a 42 m	Cappellaccio di alterazione del Flysch
>42 m	Flysch di Trieste marnoso arenaceo

#### *Porto turistico S. Rocco*

I terreni sottostanti i fondali sono stati studiati grazie a indagini geognostiche costituite da 8 sondaggi a terra e 8 sondaggi a mare. Lo schema stratigrafico è simile a quello determinato per la adiacente zona di Valle delle Noghere ma con potenze ridotte:

Fino a 3 m	Riporti
Da 3 a 18 m	Argille e limi
Da 18 a 22 m	Ghiaie e limi
Da 22 a 25 m	Cappellaccio di alterazione del Flysch
>25 m	Flysch di Trieste marnoso arenaceo

#### *Baia di Muggia*

Nel febbraio - marzo 2013 nell'ambito del Piano di Caratterizzazione Ambientale dell'area marino costiera del sito di interesse nazionale di Trieste, commissionato dall'Autorità Portuale, è stata eseguita una dettagliata campagna costituita da 34 profili sismici monocanale a riflessione per un totale di oltre 60 Km. Lo scopo della campagna, i cui risultati sono stati già illustrati al capitolo 3, era individuare la stratigrafia dei depositi di copertura al fine di ottimizzare l'ubicazione dei successivi campionamenti ambientali. L'ubicazione degli stendimenti è riportata in figura 8.2.

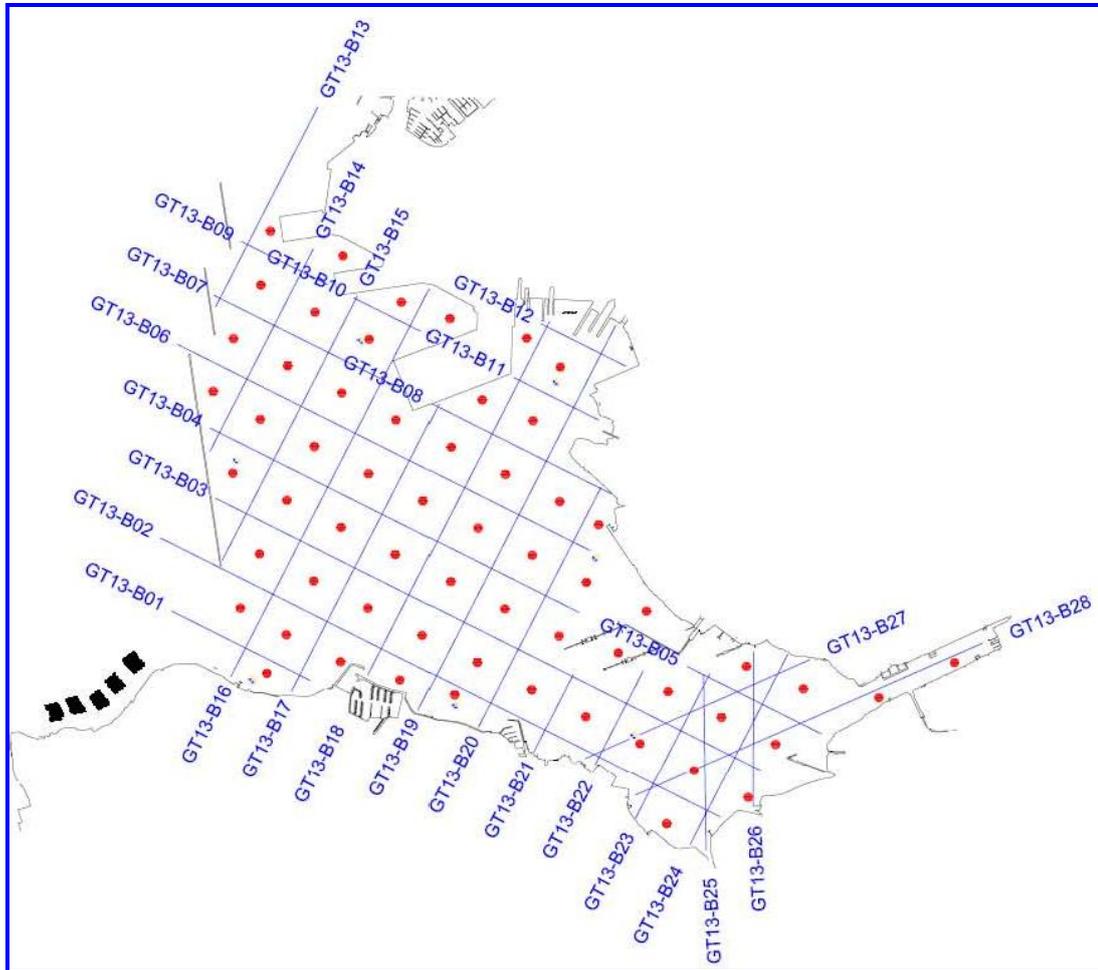


FIGURA 8.2. UBICAZIONE PROFILI SISMICI NELL' AMBITO DEL PIANO DI CARATTERIZZAZIONE DEL SIN DI TRIESTE

Le citate indagini geofisiche, integrate da sondaggi e campionamenti ambientali, hanno messo in luce la seguente successione stratigrafica, dal basso verso l'alto:

- substrato Flyscioide stratificato e gradonato, con evidenza di una morfologia a valle fluviale che nella porzione centro meridionale della Baia di Muggia si approfondisce sensibilmente, ricoperto da materiali sciolti Olocenici e Pliocenici;
- depositi granulari Pliocenici di ambiente fluviale e continentale aventi spessore medio nell'ordine di 7 – 8 m;
- depositi limoso argillosi, a tratti debolmente sabbiosi, olocenici avente spessore di circa 9 – 10 m con punte fino a 20 m;
- locali lembi di materiale di riporto proveniente dai dragaggi o dalla costruzione delle dighe.

Dalla figura 3.6 del capitolo 3 si evince la presenza sia dei depositi pelitici olocenici sia dei sottostanti depositi fluviali pleistocenici.

In figura 8.3 si riporta un dettaglio della carta dello spessore dei depositi Olocenici; l'immagine permette anche di apprezzare la morfologia a valle fluviale della Baia di Muggia.

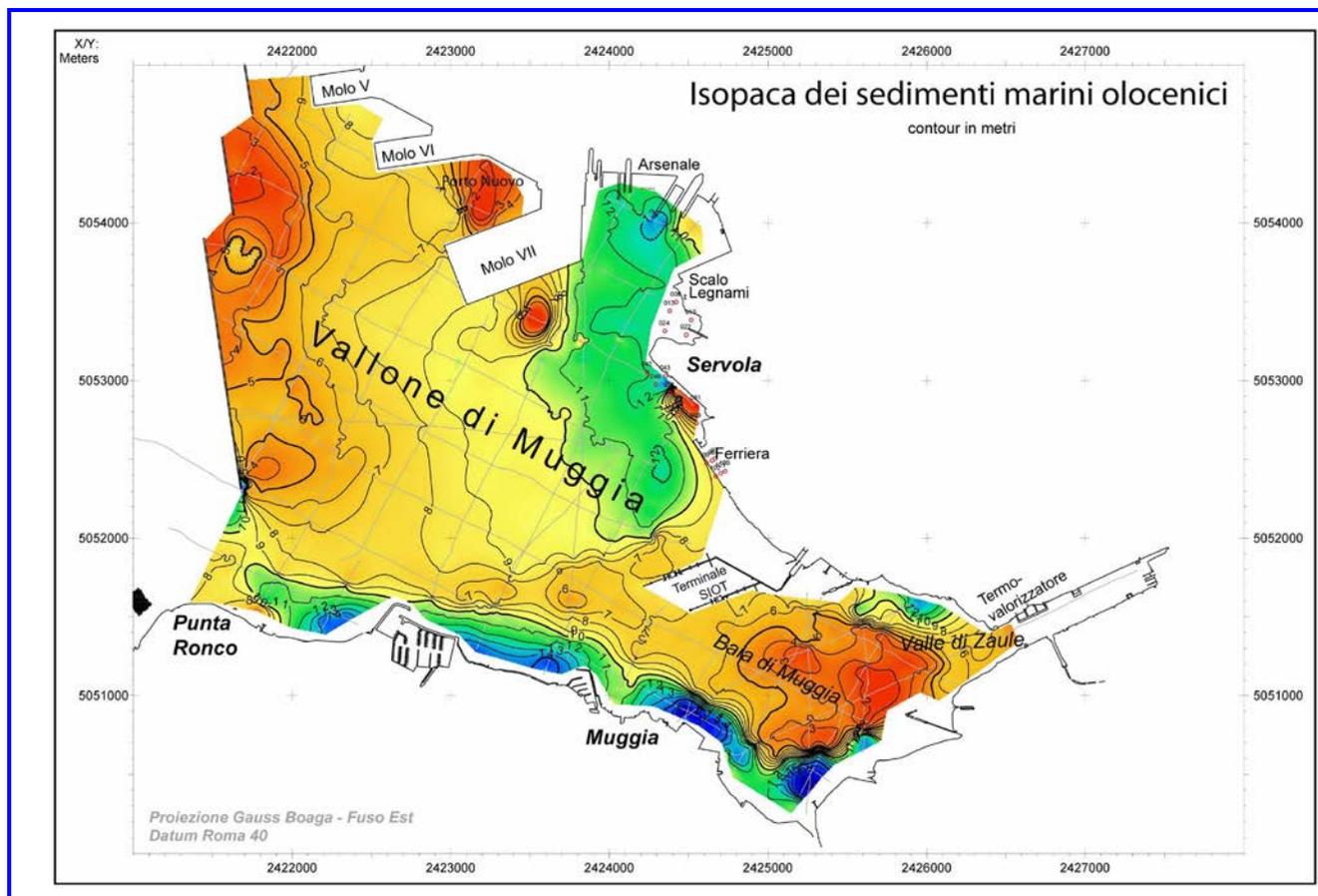


FIGURA 8.3. CARTA DELLE ISOPACHE DEI DEPOSITI OLOCENICI LIMOSO ARGILLOSI (PIANO DI CARATTERIZZAZIONE DEL SIN)

## 9. ASPETTI GEOTECNICI

Tecnicamente i lavori eseguiti in ambito portuale, durante i diversi periodi, si sono sempre scontrati con problematiche derivanti dalla particolare situazione stratigrafica e geotecnica della zona: depositi di materiali prevalentemente fini soffici, più raramente granulari, naturali o antropici, che per spessori decametrici poggiano su un substrato roccioso.

Le colmate hanno richiesto, in più occasioni, periodi molto lunghi prima di “stabilizzarsi” e rendere possibile la costruzione di opere e fabbricati. Le prime banchine, poggianti su materiale sciolto in posto, talvolta e solo parzialmente bonificato, erano soggette a spostamenti verticali ed anche orizzontali molto importanti, che hanno richiesto onerosi interventi di manutenzione e riparazione se non, addirittura, di ricostruzione.

Gli importanti spessori delle coperture non permettevano sempre di mettere a nudo il substrato lapideo portante, e così la tecnica si è spostata verso fondazioni di tipo indiretto. A parte qualche esperienza con gettiniezione, la soluzione più opportuna e ormai tradizionalmente usata nel porto di Trieste prevede la realizzazione di pali di fondazione in calcestruzzo o acciaio, saldamente intestati nel substrato roccioso, con impalcati in cemento armato.

Dal punto di vista puramente geotecnico le molteplici variazioni e combinazioni litologiche possono essere ricondotte a sole 4 unità riferibili a:

- riporti;
- complesso limoso-argilloso;
- complesso ghiaioso-limoso;
- flysch.

A ciascuno di questi possono essere attribuiti, sulla base dei risultati delle indagini geognostiche disponibili, i parametri geotecnici riepilogati in Tabella 9-1.

TABELLA 9-1 – PARAMETRI GEOTECNICI.

	Parametri geotecnici									
	W %	$\gamma_{nat}$ t/m <sup>3</sup>	Poket kg/cm <sup>2</sup>	c kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$	UU kg/cm <sup>2</sup>	E <sub>ed</sub> kg/cm <sup>2</sup>	C <sub>u</sub> kg/cm <sup>2</sup>	E <sub>i</sub> kg/cm <sup>2</sup>	K Cm/sec
<b>Riporti</b>	45-70	1.7-2.0	-	0	22°- 30°					
<b>Complesso limoso-argilloso</b>	45-70	1.7-1.9	0.3-1	0.1-0.2	20°- 28°		20	0.1-0.2		410 <sup>-8</sup>
<b>Complesso ghiaioso-limoso</b>	45-70	1.9-2.0	0.5-1	0.2-0.3	25°- 30°		35	0.2-0.4		
<b>Flysch</b>	- -	2.55 2.75	- -	2-5 -	15°- 40° -	45 marna 100 aren.	da 700 a 3000		1·10 <sup>4</sup>	

in cui:

- W            contenuto naturale d'acqua
- $\gamma_{nat}$         peso specifico naturale
- Pocket      penetrometro da tasca
- c            coesione
- $\phi$             angolo d'attrito
- UU        compressione perpendicolare alla superficie dello strato
- E<sub>ed</sub>        modulo edometrico
- C<sub>u</sub>        resistenza al taglio (vane test)
- E<sub>i</sub>        modulo di elasticità statica
- K        coefficiente di permeabilità

Chiaramente i valori riportati sono da intendersi come indicativi e medi. In caso di successivi sviluppi progettuali essi dovranno trovare conferma in una campagna geognostica specifica e localizzata il cui scopo sarà, in un quadro caratterizzato da una sensibile variabilità, anche quello di individuare l'esatta successione stratigrafica e la profondità del substrato flyschoidale. Sulla base dei dati acquisiti si potrà meglio verificare/tarare la soluzione tecnica più appropriata per la realizzazione delle opere.

## 10. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono stati analizzati i caratteri geologici, geomorfologici, idrogeologici e geotecnici dell'area portuale dedotti sulla base d'informazioni bibliografiche e dei risultati d'indagini geognostiche dirette ed indirette eseguite in diverse fasi nel tempo.

Sulla base delle informazioni disponibili risulta che le aree portuali sono caratterizzati da sedimenti prevalentemente pelitici di deposizione marina di colore grigio scuro o verdastro, variamente organici, spesso poco consistenti fin'anche a molli. Seguono peliti, ricche nella componente argillosa, di origine continentale (fluvio-lacustre) con frequente presenza di livelli torbosi attribuibili ad una fase di transizione continentale marina.

Al di sopra delle peliti sono presenti spessori generalmente metrici, con punte sino ad oltre una decina di metri, di materiali di riporto a composizione eterogenea (spesso granulare ma con matrice fine) impiegati per la bonifica e regolarizzazione delle aree e la costruzione delle opere portuali; a mare si riscontrano materiali di riporto impiegati per la realizzazione delle dighe o per l'escavazione dei canali.

Questo complesso di materiali sciolti, avente spessore complessivamente variabile da 20 fino ad oltre 50 m, poggia su un basamento flyschoidale a composizione marnoso arenacea, stratificato e molto spesso gradonato per effetto di fenomeni erosivi (imputabili ai corsi d'acqua) e tettonici.

Indagini geofisiche mostrano, nella zona della baia di Muggia, uno spessore di circa 7 – 8 m di depositi granulari di origine continentale e fluviale interposti fra il Flysch e le soprastanti peliti. Mostrano inoltre locali contesti di alto strutturale dove il Flysch può giungere a condizioni di affioramento o sub affioramento.

Nelle aree di costa non sono note problematiche o interferenze particolari connesse con la presenza di falde sotterranee poiché queste, quando presenti, restano confinate entro livelli profondi, poco potenti e spesso frammisti ad argilla e pertanto scarsamente produttivi. Nei terrapieni, laddove il terreno superficiale risulta permeabile (detriti grossolani) possono circolare delle quantità d'acqua infiltrata per piovosità diretta o per fratturazioni dell'arenaria, esigue e trascurabili.

Solamente nella piana di Zaule e nella Valle delle Noghere (Rio Ospio) sono presenti in profondità, nelle aree relativamente prossime all'attuale linea di costa, depositi fluviali ghiaiosi più grossolani (e più permeabili) interessati da circolazione idrica sotterranea.

Dal punto di vista tecnico i lavori eseguiti in ambito portuale, durante i diversi periodi, si sono sempre scontrati con problematiche derivanti dalla particolare situazione stratigrafica e geotecnica della zona caratterizzata, come sopra esposto, da depositi di materiali prevalentemente fini, talvolta granulari, naturali o antropici, che per spessori decametrici poggiano su un substrato roccioso.

Le colmate hanno richiesto, in più occasioni, periodi molto lunghi prima di “stabilizzarsi” e rendere possibile la costruzione di opere e fabbricati.

Gli importanti spessori delle coperture non permettevano sempre di mettere a nudo il substrato lapideo portante, e così la tecnica si è spostata verso fondazioni di tipo indiretto. La soluzione tradizionalmente impiegata nel porto di Trieste prevede la realizzazione di pali di fondazione in calcestruzzo o acciaio, saldamente intestati nel substrato roccioso, con impalcati in cemento armato.

Dal punto di vista geotecnico le molteplici variazioni e combinazioni litologiche possono essere ricondotte a:

- **depositi di copertura**, costituiti da materiale di riporto, depositi sedimentari prevalentemente limoso-argillosi, depositi sedimentari prevalentemente ghiaioso-limosi;
- **substrato** arenaceo marnoso in facies di Flysch.

In caso di successivi sviluppi progettuali l'esatta stratigrafia e caratterizzazione geotecnica dei materiali dovrà in ogni caso trovare conferma e dettaglio in una campagna geognostica specifica, puntuale, tarata sulla base delle opere previste.