



AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE DEL MARE ADRIATICO ORIENTALE - Porto di Trieste



INTERVENTI DI AMPLIAMENTO ALLA RADICE DEL MOLO VI PROG. A.P.T. N. 1801

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
dott.ing. Eric Marcone

PROGETTO		RESPONSABILI		
 <p>Via Colleoni, 56/58 36016 Thiene (VI) tel. 0445/375300 fax 0445/375375 e-mail: altieri@studioaltieri.it</p> <p>STUDIO ALTIERI SPA</p>	 <p>Via S.Fermo, 11 - 33100 - Udine tel.0432/526179 - fax 0432/624309 e-mail: alpe@alpeprogetti.it</p>	<p>INCARICATO DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</p> <p>dott.ing. Carlo Glauco Amoroso</p>	<p>RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE STRUTTURALE</p> <p>dott.ing. Francesco Alessandrini</p>	<p>RESPONSABILE DEGLI ASPETTI GEOLOGICI</p> <p>dott.geol. Umberto Stefanel</p>
		 <p>Viale Terza Armata n. 7 - 34123 TRIESTE (TS) T. 040 633864 - F. 040 3483217 e-mail: info@sqs-ts.com</p>	<p>COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p>p.l. Furio Benci</p>	<p>RESPONSABILE PROGETTAZIONE IMPIANTI ELETTRICI E SPECIALI</p> <p>dott.ing. Dario Turolla</p>
 <p>Via Enrico Davila, 1 35028 Piove di Sacco (PD) Tel. 0425/1900552 email: info@progettando-srl.it</p>	<p>dott. geol. Umberto Stefanel Via G. Tullio n° 13 33100 Udine Tel/Fax 0432.513442 - Mob. 348.6037250 umbigeo@libero.it umberto.stefanel@epap.sicurezzaepostale.it</p>			

PROGETTO DEFINITIVO

TITOLO **Relazione geotecnica e sismica**

ELABORATO

**RGTS
0022**

NOME FILE **RGTS 0022 - Relazione geotecnica e sismica**

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	10-05-2017	EMISSIONE	DV	DF	FA

INDICE

1	PREMESSA	3
2	MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	6
2.1	QUADRO GEOLOGICO DELL'AREA	6
2.2	SUCCESSIONE STRATIGRAFICA PER L'AREA PORTUALE-MARINA	7
2.2.1	<i>Il Flysch di Trieste.....</i>	<i>8</i>
2.3	ASPETTI MORFOLOGICI E IDROGEOLOGICI.....	9
2.4	INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE	10
2.4.1	<i>Sondaggi geognostici.....</i>	<i>12</i>
2.4.2	<i>Indagini di laboratorio e campionamenti ambientali</i>	<i>14</i>
2.4.3	<i>Indagine geofisica (MASW).....</i>	<i>16</i>
2.5	MODELLO GEOLOGICO	19
2.6	MODELLO GEOTECNICO	20
3	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	23
3.7	LIQUEFAZIONE	25
4	RILIEVO BATIMETRICO.....	26
5	CRITERI DI DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLE OPERE IN PROGETTO.....	28



1 PREMESSA

La relazione è relativa ai lavori di ampliamento alla radice del Molo VI a Trieste, finalizzati alla realizzazione di due accosti Ro-Ro della larghezza di 40.0m nello spazio compreso tra il Molo VI e la banchina esistente (accosti 38-39), con opere che sono già previste nel Piano Regolatore Portuale di Trieste.



Figura 1. Estratto della carta tecnica regionale con indicazione del sito oggetto dell'intervento alla radice del Molo VI.

Le opere prevedono l'avanzamento della banchina nel tratto terminale per circa 35 m in modo tale da poter realizzare due rampe per ormeggio e carico e scarico tramite i portelloni di poppa dei mezzi rotabili.

Dal punto di vista strutturale l'intervento consisterà nella realizzazione di una banchina pensile su pali di grosso diametro, disposti con maglia generalmente quadrata di lato 10.0m. I pali previsti sono del tipo trivellato, di diametro 1.6m, intestati per almeno 8.0m nel substrato flyschoide integro; in sommità sono collegati all'impalcato in progetto a formare una connessione a cerniera.

L'impalcato è costituito da delle travi principali, ottenute con elementi prefabbricati tralicciati che in prima fase fungono da cassero a perdere, e in seconda fase vanno a collaborare con la struttura complessiva. Su dette travi si dispongono, con funzione di solo cassero a perdere, dei pannelli alveolari precompressi con altezza di 30cm, che permettono la successiva esecuzione del getto della soletta. L'intera struttura è infine post-tesa mediante l'uso di una serie di cavi di



RELAZIONE GEOTECNICA e SISMICA

post-tensione viplati da 0.6" super. L'impalcato così realizzato presenta uno spessore complessivo di 82cm, che passa a 102cm in corrispondenza delle travi. La finitura superficiale è costituita da una pavimentazione bituminosa ad alto modulo.

Il collegamento tra pali e impalcato è ottenuto con spinotti in acciaio, inghisati nei 2 getti (palo e impalcato), di diametro $\Phi 100\text{mm}$, efficaci a trasferire i carichi orizzontali a cui l'orizzontamento è soggetto.

Lungo i bordi lato banchina esistente l'impalcato va in appoggio tramite delle piastre in acciaio inox-teflon che hanno il compito di trasmettere il carico verticale riducendo al minimo gli effetti sulla struttura esistente. Le piastre metalliche permettono uno spostamento orizzontale di $\pm 200\text{mm}$, pari allo spostamento massimo a cui è soggetto l'intero impalcato.

Il bordo banchina sarà oggetto di un intervento di rinforzo generale, tramite la placcatura della parete immersa (attualmente caratterizzata anche da cavità più o meno profonde) con una struttura in c.a. di spessore medio 50cm, collegata ai massi esistenti con ancoraggi metallici distribuiti a quinconce. Il consolidamento dell'insieme avviene tramite la realizzazione di micropali inclinati, di diametro 168mm, posti ad interasse di 0.75m. In superficie le 2 lavorazioni saranno rese solidali tramite la realizzazione di un cordolo in c.a., di spessore minimo 40cm, che ingloba le teste dei micropali e l'estremità superiore della placcature, e funge altresì da piano di appoggio per l'impalcato.

Nella presente relazione si riporta nello specifico la definizione di un modello geotecnico dell'area d'intervento, ricostruendo il quadro geologico e stratigrafico del sito.

Sono riportati i principali aspetti evidenziati dalla Relazione Geologica (RG_0010_r00), a cui si rimanda per i dettagli; nel seguito si fa riferimento alla campagna d'indagini integrative eseguita nel mese di marzo 2017, finalizzata all'affinamento del modello geologico, geotecnico e sismico dei terreni di fondazione e alla caratterizzazione chimico-fisica dei sedimenti al fine del loro eventuale futuro dragaggio e smaltimento.

Il modello geotecnico ed i parametri geotecnici caratteristici così ottenuti sono stati utilizzati per definire i criteri di dimensionamento e le verifiche strutturali dei principali elementi strutturali, quali i pali di fondazione $\Phi 1600\text{mm}$ e i micropali inclinati $\Phi 168\text{mm}$ per il consolidamento della banchina esistente.



RELAZIONE GEOTECNICA e SISMICA

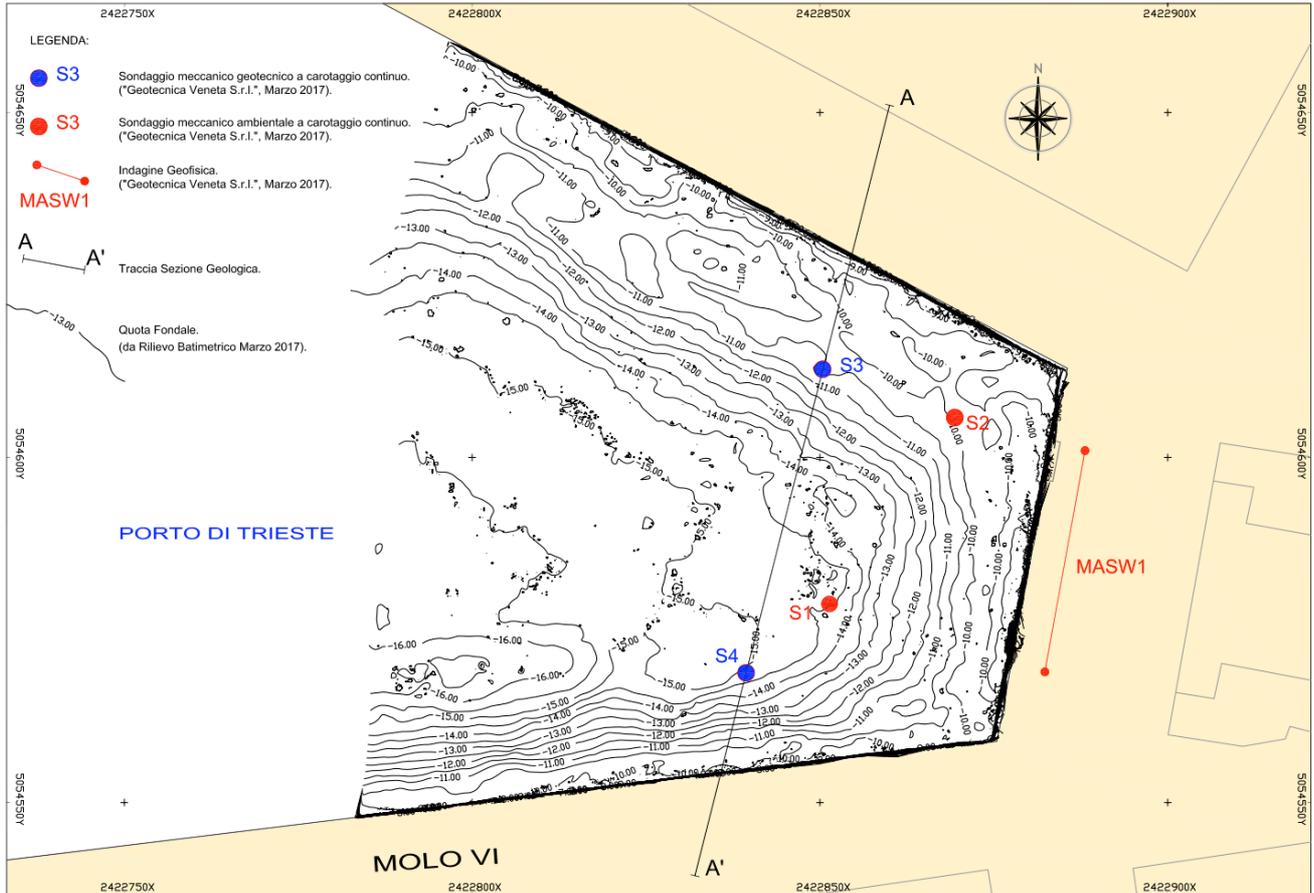


Figura 2. Batimetria fondale e planimetria indagini geognostiche.

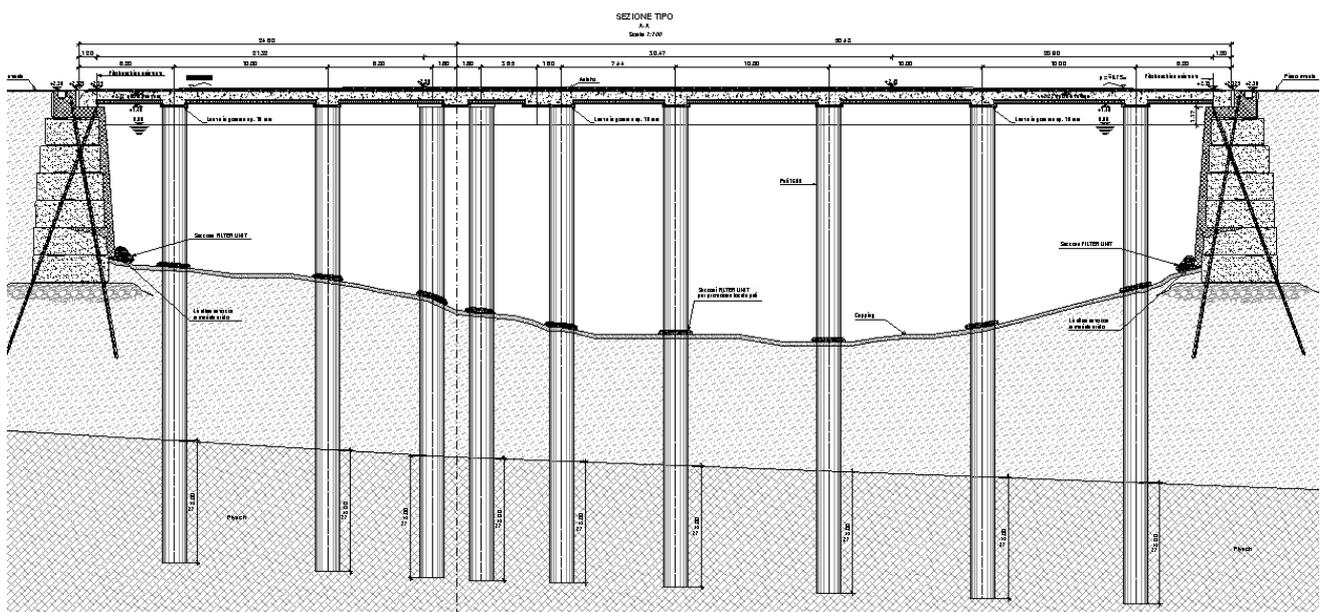


Figura 3. Sezione A-A di Progetto (non in scala).



2 MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

2.1 Quadro geologico dell'area

Nel complesso il Golfo di Trieste risulta formato da lembi del bacino marnoso arenaceo dell'Istria Settentrionale (sinclinale Trieste Capodistria) e dal lembo Sud Occidentale dell'Altopiano Calcareo di Trieste e dell'Istria Montana (Carso di Trieste e dell'Alta Istria) che insieme vanno a formare una vasta anticlinale spianata percorsa da pieghe secondarie con direzione Sud Est - Nord Ovest; la "Faglia di Trieste" (faglia inversa) delimita il passaggio fra il complesso dei termini calcarei del Cretaceo e del Paleocene-Eocene inferiore appartenente all'Altopiano Carsico con il bacino marnoso qui rappresentato dal "Flysch di Trieste" (Età Paleocene - Eocene medio).

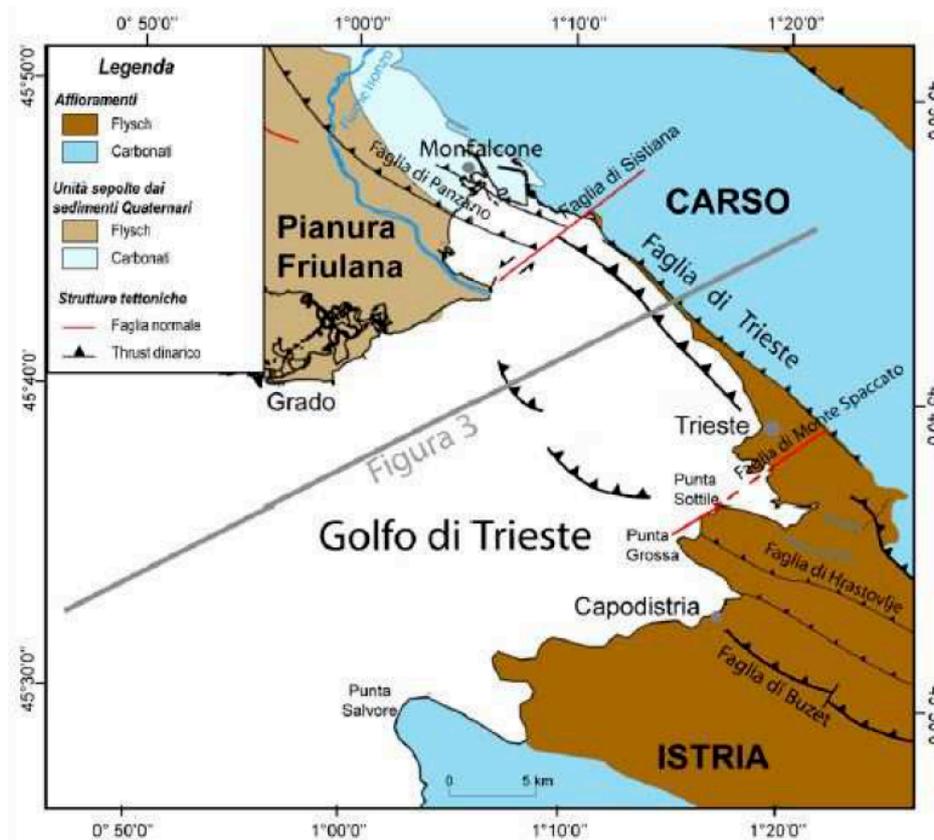


Figura 4. Mappa Geologica del Golfo di Trieste.

Il *Flysch* (presente lungo la costa e che ricopre nel Golfo i carbonati) risulta deformato dall'attività di un sistema di faglie con andamento all'incirca parallelo alla linea di costa (Faglie dinariche con orientamento Nord Ovest - Sud Est); tali faglie interessano anche i sedimenti più recenti sovrastanti costituiti da depositi continentali e marini di età sino all'attuale, indicando una recente attività tettonica.

Altri lineamenti strutturali (con direzione Nord Est - Sud Ovest) sono rappresentati da faglie trascorrenti tra le quali la "Faglia di Sistiana" e la "Faglia di Monte Spaccato".



Parte della Città di Trieste sorge su terreni formati da rocce marnoso arenacee del "Flysch di Trieste" o su depositi alluvionali di fondovalle derivanti dall'erosione della formazione marnoso arenacea. Le porzioni cittadine situate nell'area urbana di pianura sono ricavate da bonifiche di antiche aree di transizione mare-terraferma, aree paludose o di saline; bonifiche ed interramenti (di varia natura) si sono susseguiti nel tempo nella fascia litoranea modificandone profondamente la morfologia, anche per il recupero di aree da destinare alle attività portuali ed industriali. Sono riconosciuti ampi settori caratterizzati da materiali di riporto antropico.

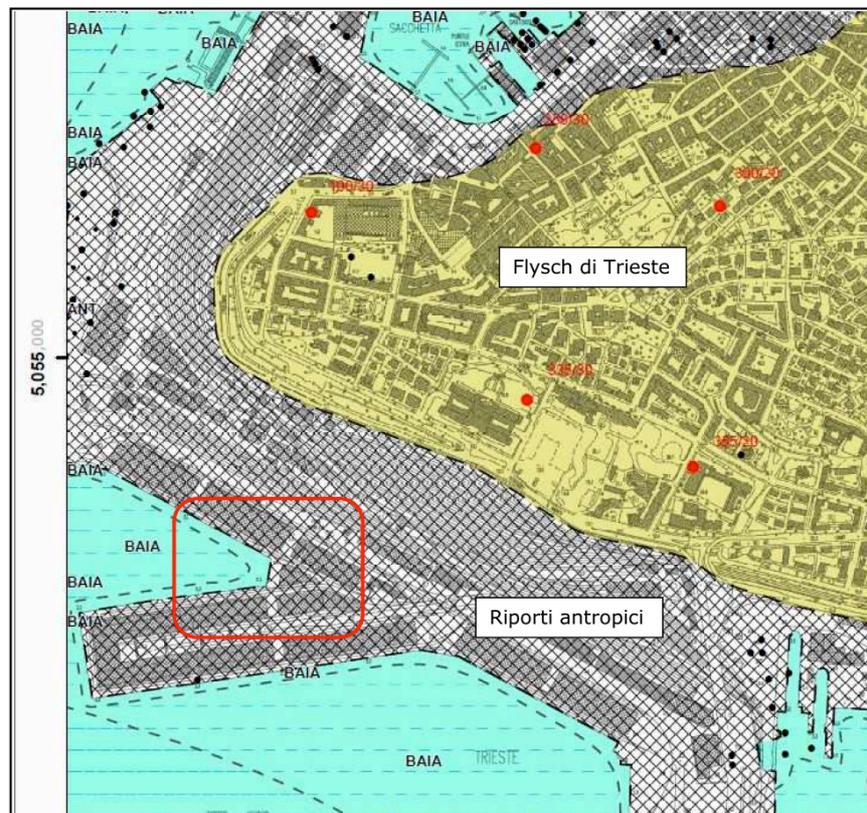


Figura 5. "Carta Geologica di Sintesi Geologica GEO-CGT" Scala 1:10.000 Foglio 110-Trieste Sezione 110140.

2.2 Successione stratigrafica per l'area portuale-marina

Sulla base delle indagini e degli studi geologici eseguiti, come meglio illustrati nell'allegata Relazione geologica (RG_0010_r00), si può elaborare la seguente successione stratigrafica per l'area urbana e portuale-marina.

Il basamento roccioso in facies di Flysch marnoso arenaceo, è presente a partire da profondità decametrica e pluridecametrica, al di sotto di una coltre di terreni di materiali sciolti di origine marina (sabbie, peliti sabbiose e peliti), continentale e antropica. I materiali che ricoprono il Flysch integro (substrato) sono costituiti, oltre da una coltre di alterazione e decompressione dell'ammasso roccioso ("Cappellaccio di alterazione" - Flysch degradato), da depositi continentali tardo pleistocenici di ambiente subaereo di origine fluviale attribuibili ad una fase glaciale con regressione marina formati da elementi ghiaiosi arenacei e calcarei per lo più poco arrotondati e sovente alterati e molto alterati, in abbondante matrice fina limoso sabbiosa e



RELAZIONE GEOTECNICA e SISMICA

argillosa, con livelli sabbiosi e argilloso limosi; trattasi di depositi per lo più molto consistenti e addensati, color giallastro, marrone e verdognolo, con variabile presenza di clasti.

I depositi marini sovrastanti, per lo più molto soffici e poco consistenti, sono formati da termini prevalentemente limoso argillosi, a tratti debolmente sabbiosi, color grigio e grigio scuro, variamente organici, con conchiglie e con livelli caratterizzati da abbondante tritume conchigliare ed accumuli algali. Lo spessore di tali depositi può raggiungere e superare anche i 15-20 metri

A ricoprire i depositi marini sono presenti, nell'area prossima alla costa e nelle zone antropizzate, accumuli di materiali di riporto antropico di varia natura, con spessore assai variabile, il quale si presenta per lo più sciolto e poco addensato.

Per la radice del Molo VI sono previsti non meno di 12-16 metri di materiali di riporto di varia natura che ricoprono sedimenti marini (peliti e peliti sabbiose), continentali (limi, ghiaie alterate in matrice limo sabbioso argillosa etc.) ed il substrato roccioso flyschoidale (il cui tetto è previsto a quota -20 / -25 m s.l.m. circa).

2.2.1 Il Flysch di Trieste

La successione torbidaica che costituisce il cosiddetto "Flysch di Trieste" è formata da un'alternanza ritmica ed irregolare di rocce clastiche rappresentate da litotipi dotati di caratteristiche fisiche e proprietà geomeccaniche assai diverse: arenarie e marne (o peliti).

Le arenarie sono prevalentemente delle calcareniti ben stratificate, con spessore del singolo strato assai variabile da pochi centimetri sino a bancate di potenza superiore a 50-70 cm (ed oltre 1 metro) e resistenza meccanica del litotipo non alterato in genere elevata, in media superiore a 30-50 MPa (max 70-120 MPa).

Le marne sono rocce prevalentemente carbonatico-argillose costituite da pacchetti di lamine sottili, sovente fogliettate e generalmente assai friabili. Il comportamento meccanico dell'ammasso roccioso può essere soggetto a profonde modificazioni a causa della forte igroscopicità delle marne, con conseguente variazione delle proprietà fisico-meccaniche della massa rocciosa, riduzione delle caratteristiche di resistenza e maggiore deformabilità della massa stessa. Il litotipo integro possiede generalmente una bassa resistenza meccanica (resistenza a compressione semplice minore di 10-20 Mpa).

Il variare delle alternanze e degli spessori di un litotipo e la sua prevalenza rispetto all'altro determinano vari "tipi" di Flysch con caratteristiche geomeccaniche significativamente diverse. La degradazione fisico-chimica di un ammasso roccioso flyschoidale si manifesta con diversa intensità sia in rapporto al "Tipo" di Flysch presente che in rapporto al suo assetto strutturale, al grado di suddivisione globale e all'esposizione del versante interessato. La porzione più superficiale di un ammasso roccioso in facies di flysch, completamente alterate decompresso e disarticolato è chiamato "Complesso C1". Al di sotto è generalmente presente un ammasso roccioso che ha subito una parziale degradazione ed una certa disarticolazione, denominato "Complesso C2". Soggiacente al C2 appare gradualmente il "Complesso C3", costituito dal flysch da parzialmente alterato ad integro.



2.3 Aspetti morfologici e idrogeologici

L'area oggetto di intervento possiede una morfologia di origine antropica, pianeggiante, determinata dai lavori di rimodellamento della linea di costa (che qui andava a formare un promontorio roccioso con scarpata) con riempimento e livellamento con materiali di riporto per una larghezza (dalla scarpata di S. Andrea – Campi Elisi sino al mare) variabile da 200 a più di 300/350 metri circa.

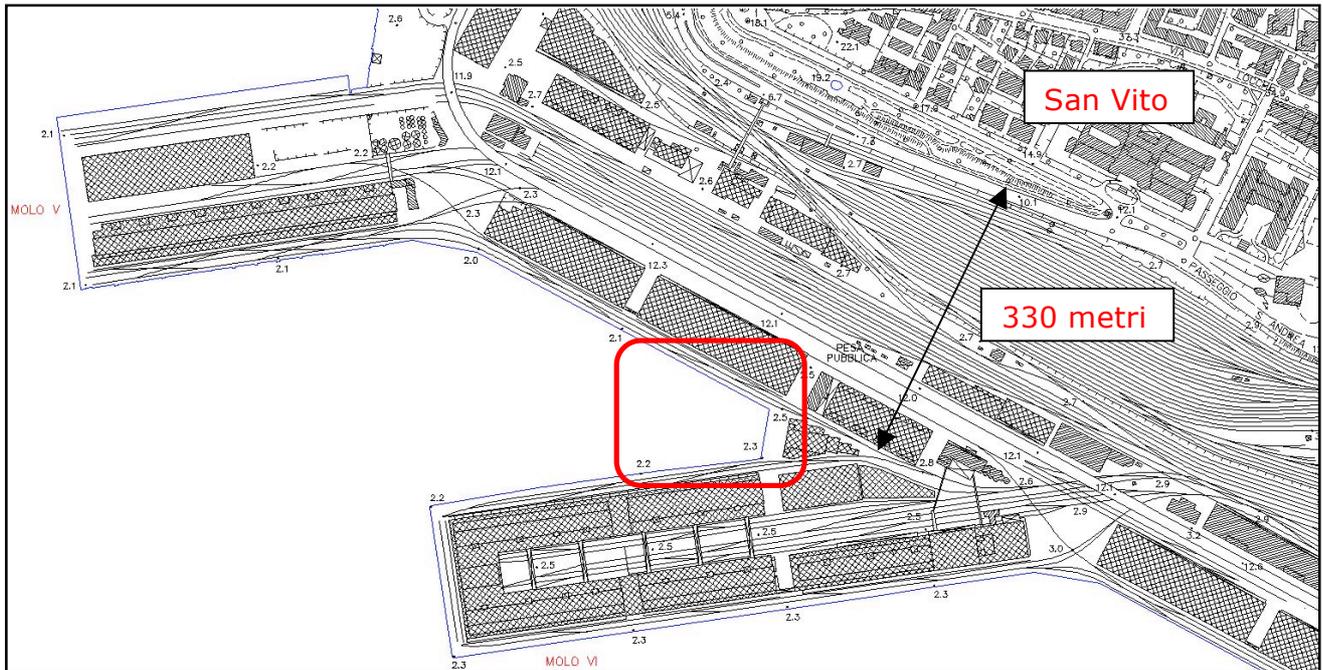


Figura 6. Zona oggetto di intervento (da CTR) con quote terreno.

La quota delle banchine è pari a +2.1 / +2.3 m.l.m. con quote di +2.7 / +2.9 m.l.m. nelle porzioni occupate dalle aree ferroviarie per poi verso Est (Passeggio S. Andrea) passare a quote comprese da +3.5 a +10.1 m.l.m. della base del rilievo flyschoidale di San Vito – San Giusto (linea dell'antica costa a scarpata).

La zona compresa tra il mare ed il Passeggio S. Andrea – Viale dei Campi Elisi è occupata da edifici, magazzini, piazzali di movimentazione merci, linee ferrate e strade facenti parte delle attività portuali e di dogana.

Dal punto di vista idrogeologico, lungo la costa le aree di colmata e di riporto sono caratterizzate da una elevata permeabilità per porosità interstiziale (detriti grossolani); tali depositi sono talora sede di acquiferi alimentati dalle quantità di acqua infiltrata per piovosità diretta e, a seconda della geometria del substrato, della quota e dell'estensione, risultano in connessione con il mare.

Nella fascia di raccordo tra il promontorio di San Vito costituito dal substrato arenaceo marnoso e dalla sua copertura di alterazione e l'area costiera di recente formazione antropica (riempimento a mare di materiali inerti) può essere presente un corpo idrico superficiale di tipo freatico alimentato dalle acque di origine meteorica oltre che da modeste venute d'acqua in corrispondenza dei livelli arenacei fessurati che vanno ad alimentare l'acquifero contenuto nei materiali inerti.

**RELAZIONE GEOTECNICA e SISMICA**

Nell'area più prossima alle banchine portuali (Moli) impostata su terreni di riporto poggianti su sedimenti marini in prevalenza limo argillosi sovrastanti il basamento roccioso non risultano presenti livelli permeabili sede di acquiferi con circolazione idrica.

Non risultano a tutt'oggi nell'area portuale punti di misurazioni freaticometriche (piezometri) atti a ricostruire l'andamento della superficie piezometrica, la direzione principale di deflusso delle acque sotterranee ed il gradiente idraulico medio per definirne anche i rapporti delle acque sotterranee alimentate dalle precipitazioni efficaci con il livello di base (livello medio mare).

2.4 Indagini geognostiche integrative

Nell'ambito del progetto di ampliamento della radice del molo VI del Punto Franco Nuovo del Porto di Trieste, consistente nella costruzione di due accosti Ro-Ro della larghezza di 40 m compresi tra il Molo VI ed il Molo V è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche, geotecniche, geofisiche ed ambientali nello specchio acqueo compreso tra i due Moli.

Le indagini, finalizzate all'affinamento del modello geologico, geotecnico e sismico dei terreni di fondazione nonché alla caratterizzazione chimico-fisica dei sedimenti al fine del loro futuro dragaggio e smaltimento, sono state condotte nel mese di marzo 2017, secondo il Piano di Indagini integrative (Elaborato RLA 02 del giugno 2016). I punti di indagine sono ubicati così come riportato nella planimetria riportata di seguito.

Sono stati eseguiti, da pontone galleggiante n° 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo denominati S1 ÷ S4. I sondaggi S1 ed S2 hanno finalità ambientale e hanno raggiunto profondità di -6.0 m dal piano del fondale. I sondaggi S3 ed S4 sono stati utilizzati per definire la stratigrafia ed il modello geotecnico del sito e si sono spinti fino ad intercettare per almeno 4 m il substrato roccioso (rispettivamente -16.10 m ed -13.00 m dal fondale).

Tabella 1. Coordinate dei punti di indagine.

LIBRETTO DELLE MISURE					
NOME	WGS84-ETRF2000		Gauss-Boaga Fuso Est		Quota Fondale
	Latit.	Longit.	Nord	Est	
S1	45°38'15,8396" N	13°45'12,2231" E	5054578,088	2422851,866	-14,25 m
S2	45°38'16,7458" N	13°45'13,0160" E	5054605,786	2422869,466	-9,75 m
S3	45°38'16,9630" N	13°45'12,1254" E	5054612,790	2422850,288	-10,20 m
S4	45°38'15,5294" N	13°45'11,6390" E	5054568,710	2422839,071	-14,80 m



RELAZIONE GEOTECNICA e SISMICA

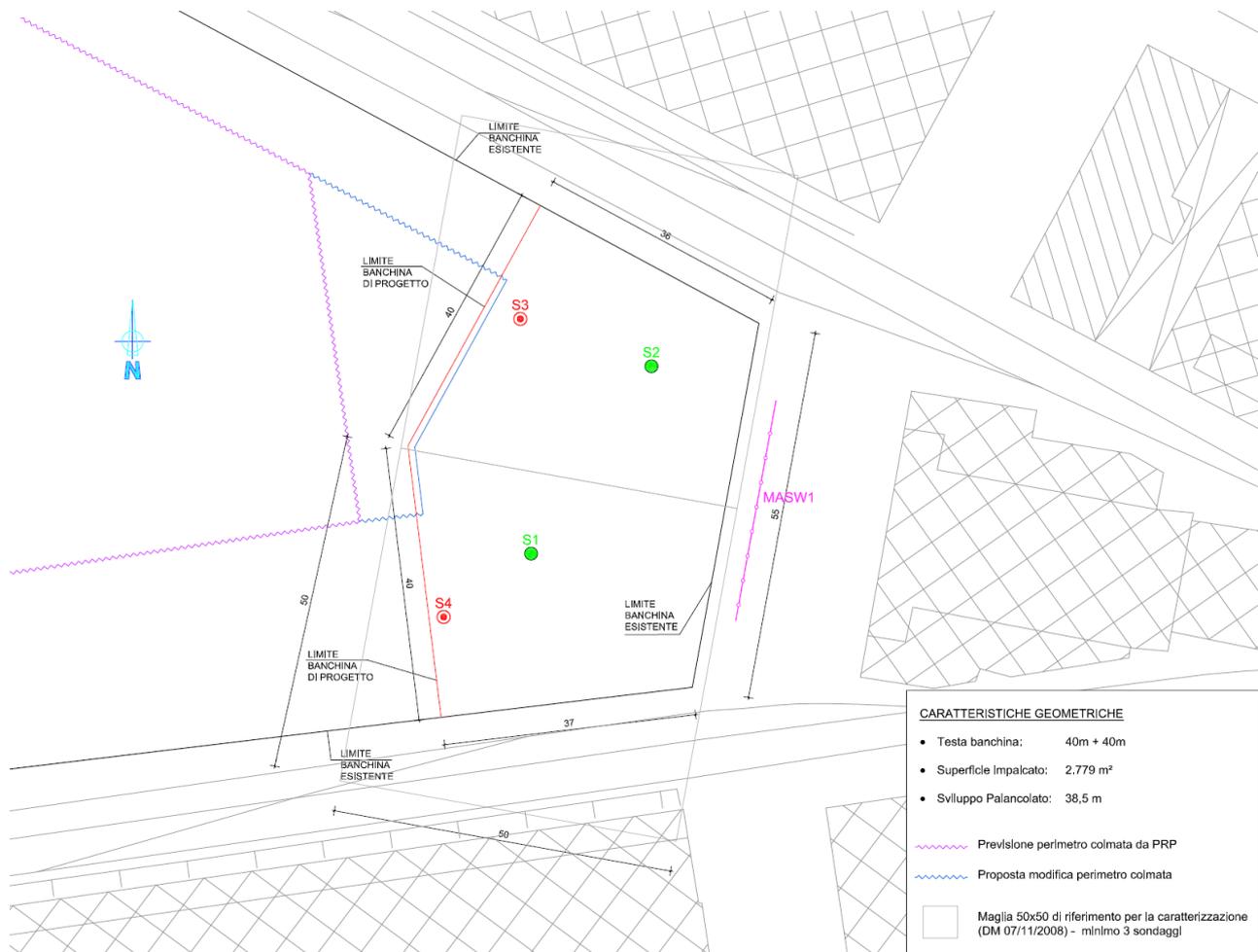


Figura 7. Planimetria. Disposizione indagini integrative.

Nel corso dei sondaggi ambientali e dei primi 6 m del sondaggio S3 si è provveduto al prelievo di campioni per l'esecuzione di analisi chimico-fisiche, microbiologiche ed eco-tossicologiche dei sedimenti. Nel corso dei sondaggi sono state eseguite in foro prove penetrometriche dinamiche (totale di n° 13 prove SPT) e, in corrispondenza dei terreni coesivi mediamente compatti, prove scissometriche (totale di n° 4 prove FVT nei sondaggi S3 e S4).

Per ogni verticale di indagine è stata compilata la scheda stratigrafica con la classificazione dei terreni (rif. Raccomandazioni AGI 1977), la profondità dei punti di campionamento, i risultati delle prove penetrometriche (SPT) e scissometriche (Vane Test). Le schede dei sondaggi geognostici eseguiti in sito sono riportate in allegato alla Relazione Geologica (RG_0010).

L'indagine geotecnica è stata completata con la ricostruzione del modello sismo-stratigrafico del sito e la valutazione del parametro $V_{s,30}$, conformemente a quanto previsto dal DM 14/01/2008 ed Eurocodice 7-8, partendo dall'esecuzione a terra in corrispondenza della testa del molo di uno stendimento di sismica attiva del tipo MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves).

E' stato inoltre eseguito il rilievo batimetrico dell'area e il rilievo magnetometrico del fondale per rilevare anomalie elettromagnetiche associabili a masse ferrose).

Si rimanda al Rapporto di Indagine per le informazioni di dettaglio.



RELAZIONE GEOTECNICA e SISMICA

2.4.1 Sondaggi geognostici

Il **Sondaggio S1** ha come riferimento la quota media mare con fondale a -14.50 metri (battente d'acqua ore 9.00). La perforazione ha raggiunto la profondità di -20.25 metri, interessando 6.0 metri di terreno al di sotto della quota fondale marino.

I primi metri di fondale sono formati (-14.25 / -17.85 metri) da materiali fini limoso argillosi debolmente sabbiosi con tritume conchigliare e resti algali e vegetali; i depositi di fondale risultano caratterizzati da una bassissima consistenza (Pocket Penetrometer < 10 KPa, Tor Vane < 5 KPa).

Da -17.85 a -19.25 metri di profondità s.l.m. è presente un terreno limoso argilloso, organico e torboso con P.P.=20 KPa e Tor Vane=7 KPa, passante inferiormente ad un deposito limoso argilloso grigio con frammenti lapidei marnoso arenacei subangolari, probabile livello di alterazione del substrato flyschoidi ("Complesso C1" - "Complesso C2").

Le prove SPT in foro di sondaggio hanno fornito i seguenti valori:

Quota:	N1	N2	N3	N _{SPT}
-15.75 metri	1	0	1	1
-17.25 metri	1	1	2	3
-18.75 metri	3	3	3	6

Il **Sondaggio S2** ha come riferimento la quota media mare con fondale a -9.75 metri (battente d'acqua ore 8.00) ed ha raggiunto la profondità di -15.75 metri, interessando 6.0 metri di terreno al di sotto della quota fondale marino.

Il fondale risulta qui costituito (-9.95 / -14.35 metri) da blocchi calcarei ed arenacei (60 cm di diametro), ciottoli e ghiaia di varia pezzatura (al tetto anche vetri, pezzi di ferro e di stoffa), in matrice limoso argillosa nerastra; trattasi di un fondale a consistenza fangosa e sabbiosa sciolta e molto sciolta (-13.95 / -14.35 metri) che ha inglobato sino in profondità materiale più grossolano.

Da -14.35 a -15.75 metri è presente un deposito limo argilloso grigio verdastro con frammenti di conchiglie al tetto e puntature carboniose e vegetali di copertura del substrato roccioso (non intercettato dal Sondaggio S2).

Le prove SPT in foro di sondaggio hanno fornito i seguenti valori:

Profondità:	N1	N2	N3	N _{SPT}
-11.25 metri	2	50 (R)	-	-
-13.25 metri	1	3	50 (R)	-
-14.25 metri	5	3	3	6

Il **Sondaggio S3** ha come riferimento la quota media mare con fondale a -10.20 metri (battente d'acqua ore 15.00) ed ha raggiunto la profondità di -26.30 metri.

Le porzioni più superficiali del fondale risultano qui costituite (-10.20 / -12.20 metri) da un primo strato con ciottoli (diametro 15 cm), ghiaia calcarea subarrotondata, pezzi di ferro e frammenti di laterizi, plastica e tritume conchigliare in matrice limoso argilloso grigio scuro-nerastro e da limo argilloso color grigio con ghiaia e ciottoli (-12.20 / -13.50 metri) con P.P.<10



RELAZIONE GEOTECNICA e SISMICA

KPa e Tor Vane < 5.0 KPa; trattasi dei primi livello di fondale a consistenza fangosa e/o molto soffice che hanno inglobato elementi grossolani sino in profondità.

Il deposito marino pelitico / di transizione si estende sino a -14.7 metri (limo argilloso grigio chiaro con gusci di bivalvi e sostanze organiche e vegetali); seguono sabbie medie e fini debolmente limose color grigio con elementi di ghiaia fina e di ghiaia medio fina con sabbia (-14.70 / -15.50 metri).

Da -15.50 a -19.10 metri il Sondaggio S3 ha attraversato un deposito continentale consistente (P.P.=150-250 KPa, Tor Vane > 55-100 KPa, Vane Test in foro Max >150 KPa, Res. = 39 KPa, $N_{SPT}=15$), limoso argilloso color grigio nocciola con chiazze ocracee.

Il "Cappellaccio" di alterazione del substrato flyschoidale (Complesso C1 - C2) è stato intercettato da -19.10 a -21.40 metri e risulta costituito da scaglie lapidee disarticolate ed alterate in matrice limo argilloso sabbiosa color marrone nocciola; trattasi di un terreno molto addensato e compatto (le prove SPT hanno fornito "Rifiuto" all'avanzamento).

Il substrato roccioso marnoso arenaceo risulta molto fratturato e disgiunto (per stratificazione sottile centi-decimetrica) con valori R.Q.D. ("Rock Quality Designation") compresi tra 0 e 37.

Le prove SPT in foro di sondaggio hanno fornito i seguenti valori:

Profondità:	N1	N2	N3	N_{SPT}
-16.20 metri	3	6	9	15
-19.20 metri	50 (R)			-
-20.70 metri	50 (R)			-

Le prove Vane Test in foro di sondaggio hanno fornito i seguenti valori:

Profondità:	Max (Kpa)	Residua (KPa)
-17.20 metri	148	39
-17.70 metri	> 150	-

L'Indice R.Q.D. (carotaggio in roccia) è risultato il seguente:

Intervallo:	R.Q.D. %	Qualità Ammasso
-21.40 / -22.90	37	Scadente
-22.90 / -23.90	0	Molto scadente
-23.90 / -25.40	16	Molto scadente
-25.40 / -26.30	20	Molto scadente

Il **Sondaggio S4** ha come riferimento la quota media mare con fondale a -14.80 metri (battente d'acqua ore 14.00) e ha raggiunto la profondità di -27.80 metri.

Nelle porzioni più superficiali del fondale (-14.80/-17.30 metri), formato da un materiale a consistenza fangosa molto soffice limo argilloso color nerastro (P.P.<10 KPa, Tor Vane<5.0 KPa), sono presenti elementi di ghiaia, frammenti di plastica e ciottoli con tritume conchigliare.

Seguono sabbie medio fini, per lo più debolmente limose color grigio (-17.30/-18.20 metri), che ricoprono un blocco calcareo di 30 cm di diametro inglobato in profondità a causa della bassa consistenza del fondale fangoso.

**RELAZIONE GEOTECNICA e SISMICA**

Segue un deposito continentale consistente e molto consistente costituito da -15.50 a -22.20 metri da limo argilloso da bruno a grigio, con chiazze ocracee (P.P.=150-270 KPa, Tor Vane > 60-100 KPa), a tratti con presenza di elementi ghiaiosi.

Da -22.20 a -23.80 metri si estendono i cosiddetti "Complessi C1-C2" ("Cappellaccio di alterazione - Flysch degradato) costituiti da corpi detritici e livelli alterati e molto alterati marnosi ed arenacei in matrice fina limo argillosa color marrone nocciola; trattasi di un terreno molto addensato e compatto (le prove SPT hanno fornito "Rifiuto" all' avanzamento).

Il flysch, da parzialmente alterato e disarticolato nelle porzioni più superficiali a parzialmente integro, si estende da -23.80 metri.

Il substrato roccioso marnoso arenaceo risulta molto fratturato e disgiunto (per stratificazione sottile centi-decimetrica) con valori R.Q.D. ("Rock Quality Designation") compresi tra 0 e 12 (Ammasso roccioso "Molto Scadente").

Le prove SPT in foro di sondaggio hanno fornito i seguenti valori:

Profondità:	N1	N2	N3	N _{SPT}
-15.80 metri	0	1	1	2
-17.30 metri	1	2	1	3
-22.30 metri	50 (R)			-
-23.30 metri	50 (R)			-

Le prove Vane Test in foro di sondaggio hanno fornito i seguenti valori:

Profondità:	Max (Kpa)	Residua (KPa)
-16.30 metri	36	12
-16.80 metri	42	14

L' Indice R.Q.D. (carotaggio in roccia) è risultato il seguente:

Intervallo:	R.Q.D. %	Qualità Ammasso
-23.80 / -24.80	0	Molto scadente
-24.80 / -25.80	12	Molto scadente
-25.80 / -26.80	0	Molto scadente
-26.80 / -27.80	0	Molto scadente

2.4.2 Indagini di laboratorio e campionamenti ambientali

Si riporta una breve descrizione delle tipologie di indagini di laboratorio messe in atto al fine di determinare la qualità ambientale dei terreni di futuro scavo. La descrizione dettagliata e i risultati delle indagini ambientali sono riportati nella Relazione di bonifica a mare (RBM_PS 0041), facente parte integrante della documentazione di progetto e a cui si rimanda.

Nel corso dei sondaggi S1, S2 e S3 sono stati prelevati n° 24 campioni medi rappresentativi del sedimento, ogni 50 cm (per i primi 2.0 m) ed ogni 100 cm successivamente fino a -6.0 m dal fondale.

Le analisi fisiche geotecniche eseguite sui terreni campionati sono le seguenti:



RELAZIONE GEOTECNICA e SISMICA

- esame visivo del campione, descrizione e classificazione del terreno (AGI 1994);
- determinazione del contenuto naturale d'acqua (W%) (UNI CEN ISO/TS 17892-1: 2005);
- determinazione della massa volumica dei terreni a grana fine (ρ) (UNI CEN ISO/TS 17892-2);
- analisi granulometrica mediante setacciatura (AGI 1994);
- analisi granulometrica per sedimentazione mediante procedimento per decantazione (AGI 1994).

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei risultati delle analisi geotecniche condotte in laboratorio sui campioni scelti (rif. nomenclatura campioni come da schede dei sondaggi geognostici allegate alla Relazione Geologica RG 0010). Maggiori dettagli sulle prove eseguite sui diversi campioni di materiale sono riportati nei Rapporti di Indagine della Ditta esecutrice "Geotecnica Veneta S.r.l.", a cui si rimanda.

Tabella 2. Risultati delle analisi fisiche-geotecniche di laboratorio.

COMMITTENTE: Autorità Portuale di Trieste			CANTIERE: Molo VI° Trieste										
PRATICA n°: 17/010		SCALA WENTWORTH					n° doc.: 17/010-Tab-1					rev. 0 del	05/04/17
Sond. n°	Camp. n°	Profondità: m	Ghiaia (%) > 2mm	Sabbia (%) 2mm-62,5 μ m	Limo (%) 62,5-8 μ m	Argilla (%) < 8 μ m	ρ Mg/m ³	W %	Wl %	Wp %	Ip	Grado di Plasticità	Grado di saturazione (%)
1	A	0.00 - 0.50	2	21	45	32	1.844	55.4					
	B	0.50 - 1.00	0	23	32	45	1.729	56.6					
	C	1.00 - 1.50	0	6	42	52	1.727	54.9					
	D	1.50 - 2.00	0	13	45	42	1.725	56.1					
3	E	2.00 - 3.00	16	51	19	14	2,030	16.0					
	F	3.00 - 4.00	0	25	34	41	1,941	37.82					
	G	4.00 - 5.00	0	17	31	52	1,843	40.8					
	H	5.00 - 6.00	0	24	32	42	1,862	41.7					

Sui primi 4 campioni dei sondaggi S1 ed S2 e su tutti gli 8 campioni prelevati dal sondaggio S3 sono state eseguite, secondo metodiche EPA, CNR IRSA/Q64 e ISO accreditate, le analisi chimiche e microbiologiche previste dal DM 07/11/2008, confrontando i valori di concentrazione ottenuti con i Valori di intervento per il SIN Trieste ed ai valori limite secondo D.Lgs.152/06 Parte IV Titolo V All.5 Tab.1 Col.A - *Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale*.

Dai sondaggi S2 e S3 è stato prelevato anche un campione medio omogeneo sullo sviluppo da 0.0 a 6.0 m per l'esecuzione di analisi chimiche al fine della classificazione del terreno quale materiale di rifiuto.



Su nessuno dei campioni prelevati è stata riconosciuta la presenza di amianto.

Sui sedimenti campionati sono state eseguite inoltre specifiche analisi ecotossicologiche, in accordo con il DM 173/16.

2.4.3 Indagine geofisica (MASW)

Le caratteristiche sismo-stratigrafiche dei terreni sono state indagate mediante esplorazione geofisica con tecnica MASW. Sono stati disposti sul terreno una serie di n° 24 sensori (geofoni), ad intervalli costanti di 2.0m, collegati ad un sismografo; la lunghezza complessiva del profilo sismico è di 33.0m. La prova è definita "sismica attiva" in quanto si provvede a generare artificialmente delle vibrazioni impulsive in corrispondenza di punti prestabiliti lungo lo stendimento, misurando i tempi di ritardo nell'acquisizione del segnale da parte del sismografo.

La prova ha permesso di determinare la velocità delle onde V_p e V_s negli strati del sottosuolo caratterizzati da diverse proprietà fisico-meccaniche.

Su ognuna delle acquisizioni effettuate è stata eseguita un'analisi ω - p (trasformata τ - p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh e l'inversione della curva di dispersione con il metodo phase-shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

Si riportano i grafici ad isolinee sui quali è identificata la curva di dispersione delle onde di Rayleigh e il confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.



RELAZIONE GEOTECNICA e SISMICA

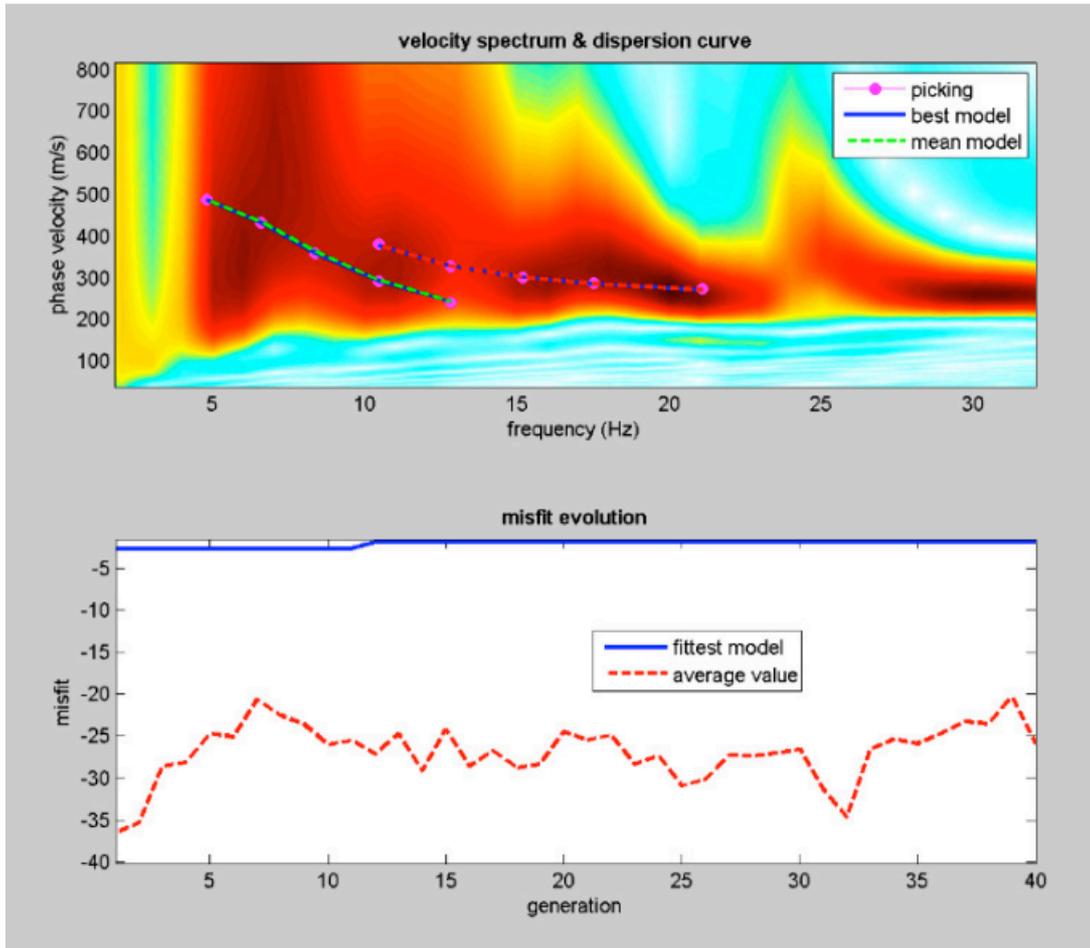


Figura 8. Sopra, grafici ad isolinee nel dominio velocità di fase – frequenza. Sotto, confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

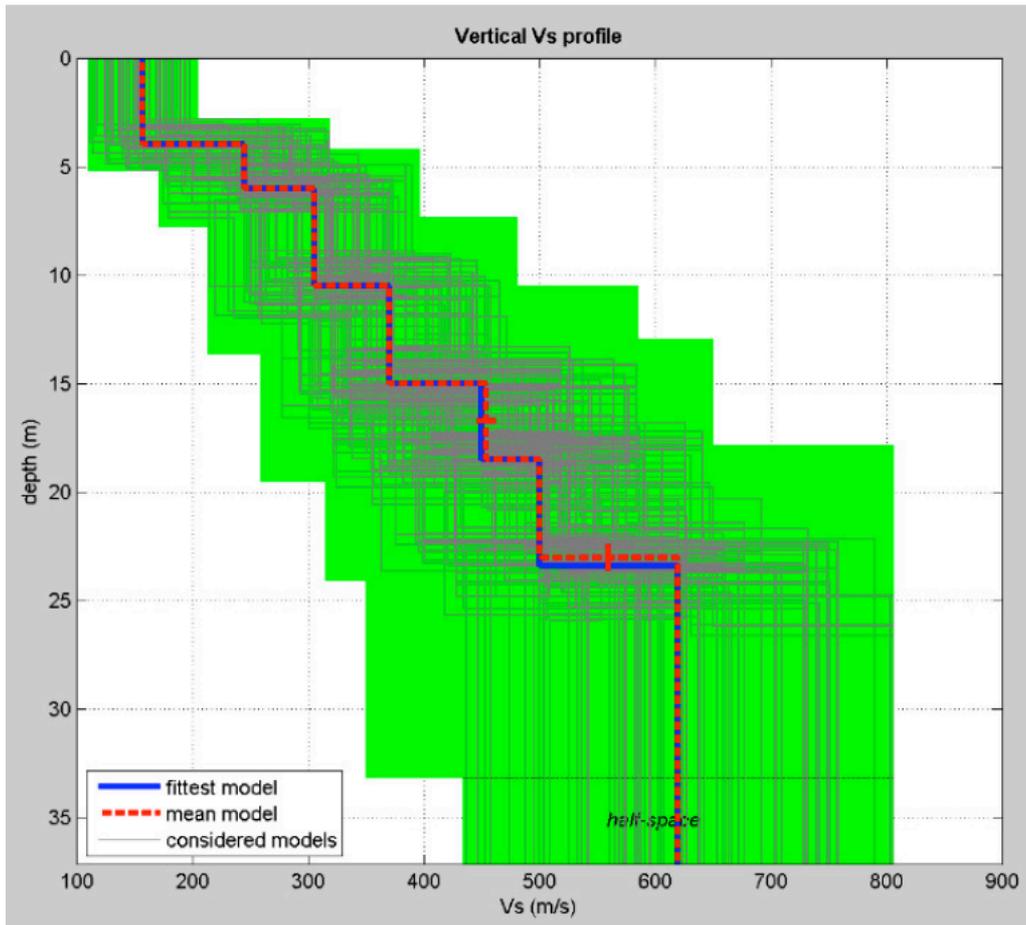


Figura 9. Profilo di velocità delle onde S stimato nel sito in esame.

Tabella 3. Modello di velocità delle onde S per il sito in esame (Rapporto "Geotecnica Veneta").

Strato	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Spessore
1	320	157	4
2	549	245	2
3	608	305	4.5
4	781	370	4.5
5	928	450	3.5
6	1071	500	4.94
7	1206	620	Inf.

Si osserva che le caratteristiche dei terreni in sito, molto scadenti nei metri superficiali, migliorano gradualmente e sensibilmente in profondità.

La velocità media di propagazione delle Onde di taglio entro i 30 metri di profondità (Vs30), calcolata con la seguente espressione:

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

è pari a Vs30 = 338 m/s.



Dall'esame dei dati dell'Indagine M.A.S.W. si ricava che il substrato roccioso in facies di Flysch intercettato con i sondaggi meccanici a carotaggio continuo S3 e S4 a partire da quota -21.40/-23.80 metri livello mare, possiede una velocità $V_s=620$ m/s.

Le velocità dei materiali di riporto e di copertura del substrato possiedono velocità V_s comprese tra 157 e 500 m/s circa.

Si ritiene l'indagine geofisica non del tutto rappresentativa della situazione litostratigrafica dell'area oggetto di intervento, essendo stata questa effettuata in corrispondenza del limite della banchina; presumibilmente la presenza delle strutture antropiche (blocchi che costituiscono la banchina) ha fornito valori di velocità non corrispondenti ai terreni sciolti e molto soffici incontrati nel corso dei sondaggi (sedimenti pelitici marini e materiali sciolti antropici). In sede di progetto esecutivo sarà opportuno dettagliare con maggior precisione le caratteristiche geofisiche del suolo, in particolare per la parte a mare, in cui si intestano le fondazioni della nuova banchina.

2.5 Modello geologico

Utilizzando i dati stratigrafici (sondaggi a mare S3 e S4) e batimetrici dell'indagine integrativa (*"Geotecnica Veneta s.r.l."*, Marzo 2017) ed i dati ricavati da quanto riportato nel *"Piano Regolatore Portuale del Porto di Trieste"*, è stata ricostruita la Sezione Geologica A-A' in corrispondenza dell'intervento in progetto (vedi Figura 2 e Figura 3).

Nell'area di intervento e nell'immediato intorno non sono presenti indagini geognostiche in numero adeguato per permettere una ricostruzione geometrica spaziale delle varie Unità Litologiche e per definirne i loro rapporti reciproci. Per una migliore definizione della geometria della berma in pietrame e dei rapporti stratigrafici tra le varie Unità Geotecniche, nonché per definire le caratteristiche geomeccaniche del substrato roccioso su cui verranno impostati i pali di fondazione del Molo e per un corretto dimensionamento delle opere di fondazione e consolidazione dello stesso, saranno da prevedere, per il Progetto Esecutivo, nuove indagini consistenti in Sondaggi meccanici con prove in sito e di laboratorio.

La Sezione A-A' (orientata all'incirca N-S) evidenzia la presenza, al di sotto dei massi in cemento armato che definiscono il limite della banchina del Molo VI e dell'ormeggio Nord e della colmata, di una scogliera di fondazione presumibilmente in pietrame. Tale fondazione si ritiene appoggi su depositi alluvionali molto addensati (limi consolidati con ghiaia) e/o sul terreno di copertura ed alterazione (Complessi C1, C2 e C3) del substrato roccioso in facies di Flysch arenaceo marnoso.

La posa in opera della berma in pietrame è avvenuta per gravità interessando inoltre depositi soffici pelitici e limoso argillosi con sostanza organica di copertura del deposito continentale; sono quindi possibili sacche e/o livelli residui di tali materiali rimaneggiati e parzialmente ricoperti dai "massi naturali".

Le porzioni più superficiali del fondale risultano costituite da materiali vari formati da ghiaia, massi, pezzi di ferro e di laterizi, con tritume conchigliare, limo e sabbia per lo più colore nerastro; tale livello risulta quindi una commistione tra i depositi pelitici marini ed materiali di riempimento antropico. Al di sotto di tale livello ad elevata contaminazione antropica si estende un deposito marino pelitico sabbioso (molto soffice) e talora sabbioso (molto sciolto) con il più



delle volte immersi elementi ghiaiosi e ciottoli inglobati di provenienza antropica per discesa gravitativa a causa della bassissima consistenza del deposito marino.

Seguono, da quota -16.3 metri (lato Nord Sondaggio S3) / -18.5 metri (lato Sud Sondaggio S4), prevalenti limi consolidati color grigio verdastro e ocre e limi con sabbia e ghiaia molto addensati (deposito clastico continentale); a partire da -19.1 / -22.2 metri è presente il Complesso C1 (e C2) ovvero il livello di alterazione del Flysch formato da corpi detritici marnosi ed arenacei alterati e molto alterati color marrone, in matrice limo sabbiosa, passante al substrato da parzialmente alterato ad integro da fratturato a molto fratturato.

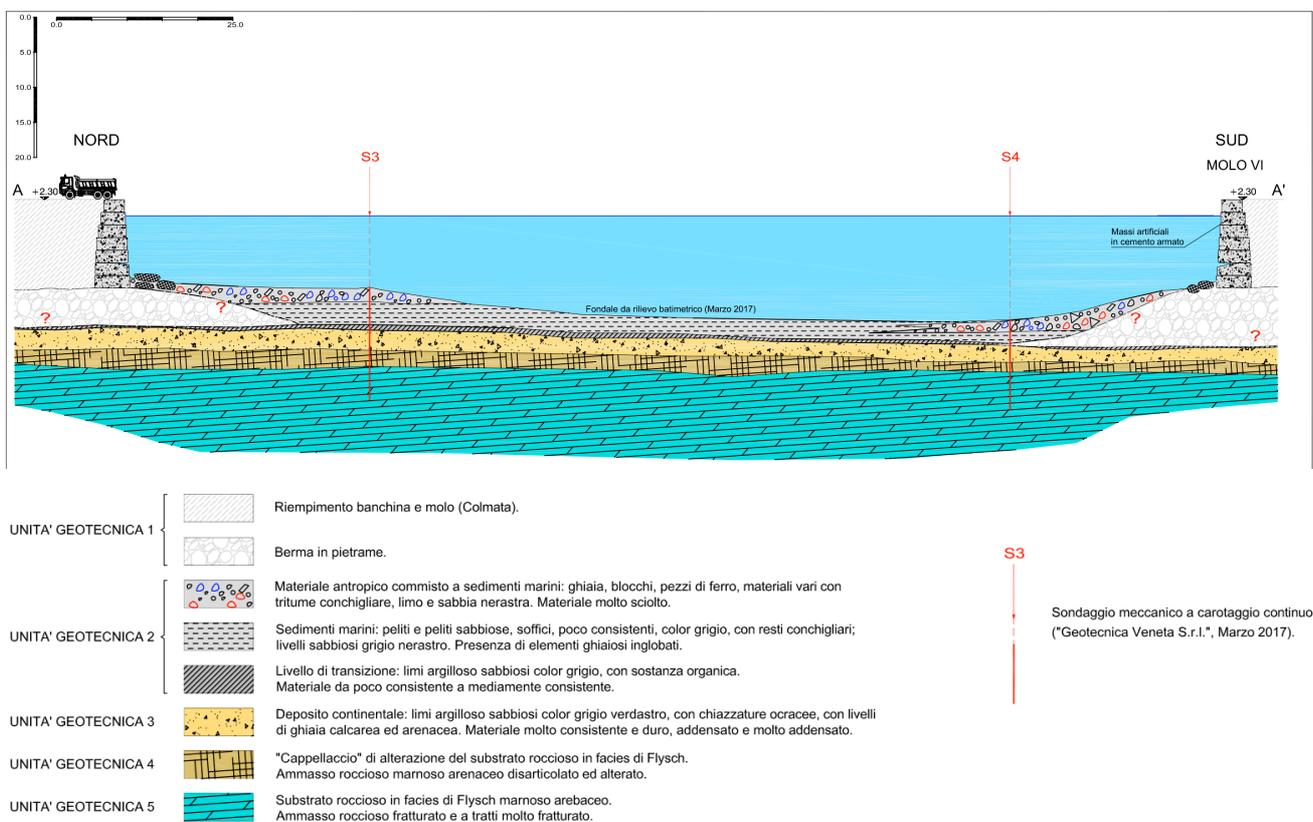


Figura 10. Sezione geologica A-A'.

2.6 Modello geotecnico

Sulla base dei dati desunti dall'indagine integrativa (prove in sito e di laboratorio) e da precedenti interventi (*"Indagine Geognostica Integrativa per il Progetto Esecutivo di realizzazione della Piattaforma Logistica"*, Anno 2015), si possono assegnare ai vari livelli individuati, i seguenti valori dei principali parametri geotecnici.

Unità Geotecnica 1: Riporti Antropici (colmata e scogliera di fondazione).

I materiali di riempimento, di colmata e di fondazione costituiti da materiali vari per lo più grossolani messi in opera a gravità senza compattazione artificiale, sono per lo più sciolti

**RELAZIONE GEOTECNICA e SISMICA**

(laddove prevalgono le ghiaie e sabbie) e/o poco consistenti laddove sono presenti livelli terrosi e/o argillosi.

Le caratteristiche geotecniche di questa unità sono di difficile parametrizzazione a causa dell'elevata eterogeneità. Tali materiali sono stati oggetto di una naturale compattazione nel corso del tempo ma anche presumibilmente di una non trascurabile decadenza delle proprietà geotecniche a causa del moto ondoso, dell'effetto della marea nonché dei dissesti delle opere di contenimento e conterminazione.

Litologia prevalente:	Materiali di riempimento di varia natura; depositi grossolani talora con presenza di matrice fina.
Profondità da p.c. tetto:	+2.3 metri
Profondità da p.c. letto:	-16.0 / -18.5 metri circa
N _{SPT} medio:	-
Peso di volume (allo stato naturale):	$\gamma=17.0 - 20.0$ kN/mc
Angolo medio di attrito interno:	$\phi=28^\circ - 30^\circ$
Coesione:	$c=0.00$ kPa

Unità Geotecnica 2: Complesso pelitico sabbioso a tratti commisto a materiali antropici al tetto.

Questa unità comprende sia i livelli costituenti l'immediato fondale con presenza di materiali antropici, che i livelli pelitici e pelitico-sabbiosi (spesso con abbondante sostanza organica e tritume conchigliare) nonché sabbioso-limosi per lo più molto soffici e molto sciolti e comprende anche il livello limoso-argilloso color grigio scuro talora con sostanza organica di transizione ai depositi continentali.

Litologia prevalente:	Peliti sabbiose color grigio e grigio scuro, sabbie limose, al tetto con presenza di materiali antropici. Limi argillosi color grigio e grigio scuro al letto.
Profondità da p.c. tetto:	da -9.0 / -15.0 metri circa
Profondità da p.c. letto:	-16.0 / -19.0 metri circa
N _{SPT} medio:	2 - 3
Pocket Penetrometer:	< 10 kPa
Tor Vane:	5 - 8 kPa
Vane Shear Test:	Max: 36-42 kPa; Res.: 12-14 kPa
Peso di volume (allo stato naturale):	$\gamma=17.0 - 18.0$ kN/mc
Contenuto naturale di acqua:	W=45 - 60 %
Angolo medio di attrito interno:	$\phi=0^\circ$
Coesione non drenata:	$c_u=10 - 20$ kPa
Modulo di Deformazione Edometrico:	$E_d=1.5 - 3.0$ MPa

Unità Geotecnica 3: Complesso limoso sabbioso più o meno ghiaioso.

L'unità risulta qui formata da prevalenti limi e limi argilloso-sabbiosi molto consistenti color nocciola giallastro e grigio verdastro, a tratti con presenza di elementi ghiaiosi calcarei ed arenacei per lo più alterati, di varia pezzatura.

L'unità sfuma al sottostante Complesso C1 di degradazione del Flysch.

**RELAZIONE GEOTECNICA e SISMICA**

Litologia prevalente:	Limi e limi argilloso sabbiosi color grigio verdastro e giallastro ocra con elementi ghiaiosi.
Profondità da p.c. tetto:	da -16.0 / -19.0 metri circa
Profondità da p.c. letto:	-19.0 / -20.0 metri circa
N _{SPT} medio:	> 40 - 50
Pocket Penetrometer:	> 150 - 200 kPa
Tor Vane:	> 100 kPa
Vane Shear Test:	Max: > 150 kPa; Res.: > 40 kPa
Peso di volume (allo stato naturale):	$\gamma=18.0 - 19.5$ kN/mc
Angolo medio di attrito interno:	$\phi=34^\circ - 36^\circ$
Coesione:	$c=0.0 - 10.0$ kPa
Modulo di Deformazione:	$E_d=35 - 50$ MPa

Unità Geotecnica 4: "Cappellaccio" di alterazione del substrato roccioso in facies di Flysch.

L'unità risulta qui formata dal Complesso C1 e dal Complesso C2; trattasi di scaglie marnose alterate color marrone e livelli lapidei arenacei a vario grado di alterazione, disgregazione e decompressione in matrice limo-sabbioso-argillosa.

A tale unità segue il Complesso C3 e la roccia in posto da parzialmente integra ad integra.

Litologia prevalente:	Scaglie lapidee alterate in matrice limo-sabbioso-argillosa.
Profondità da p.c. tetto:	da -19.0 / -20.0 metri circa
Profondità da p.c. letto:	-21.0 / -22.0 metri circa
N _{SPT} medio:	> 50 - 80
Pocket Penetrometer:	> 300 - 600 kPa
Tor Vane:	> 100 kPa
Peso di volume (allo stato naturale):	$\gamma=20.0 - 22.0$ kN/mc
Angolo medio di attrito interno:	$\phi=25^\circ - 30^\circ$
Coesione:	$c=50.0 - 100.0$ kPa
Modulo di Deformazione:	$E_d=60 - 80$ MPa

Unità Geotecnica 5: Substrato roccioso in facies di Flysch; ammasso roccioso fratturato.

L'unità è costituita dal Flysch di Trieste formato da una alternanza di livelli arenacei e pacchetti marnosi; il substrato si presenta da parzialmente alterato ad integro, localmente fratturato e molto fratturato, a stratificazione evidente (debole inclinazione degli strati), giunti di strato serrati e lisci.

Litologia prevalente:	Flysch di Trieste (alternanza di livelli arenacei e marnosi).
Profondità da p.c. tetto:	da -21.0 / -22.0 metri circa
R.Q.D. medio:	0 - 37
Peso di volume (allo stato naturale):	$\gamma=25.0 - 26.0$ kN/mc
Angolo medio di attrito interno:	$\phi=30^\circ - 35^\circ$
Coesione:	$c=150.0 - 250.0$ kPa
Modulo di Deformazione:	$E_d=70 - 250$ MPa
Resistenza a compressione uniassiale della roccia:	Marna: 2.0 - 4.5 MPa Arenaria: 20.0 - 60.0 MPa



3 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

L'area oggetto degli interventi in esame è situata in comune di Trieste (TS). La Classificazione Sismica del territorio del Friuli Venezia Giulia è stata definita nell'Allegato alla Delibera della Giunta Regionale n°845 del 06/05/2010, pubblicata sul BUR n°20 del 19/05/2010.

Sulla base di tale Classificazione il Comune di Trieste è inserito nella Zona 3 (con $0.05g < a_g \leq 0.175g$).

Codice ISTAT 2001	Denominazione:	Nuova Zona Sismica	Aree di Alta/Bassa Sismicità	Zone Sismiche previgenti (d.g.r. 2325/2003)
06032006	TRIESTE	3	Bassa	4

La mappa di pericolosità sismica, introdotta dalle "Norme tecniche per le costruzioni" del 14.01.2008, definisce i parametri di sismicità in base alla localizzazione del sito, espressa in termini di latitudine e longitudine.

Nel caso in esame la posizione della zona è individuata dalle seguenti coordinate (ED50):

Latitudine 45°.638795 N

Longitudine 13°.754723 E

Sulla base delle indagini svolte (Sondaggi a mare e prova geofisica M.A.S.W.) si è potuto verificare la presenza di un substrato roccioso in facies di Flysch che si attesta a circa 20 metri di profondità da l.m.m.; il substrato è ricoperto da terreni addensati e da materiali molto soffici (peliti) e sciolti (terreni di riporto).

Questi ultimi possiedono velocità delle Onde di Taglio (V_s) comprese tra 150 e 370 m/s sulla base dell'indagine MASW (suoli di Categoria C).

In assenza di più prove geofisiche dirette ("Down-Hole" in foro) atte a definire su tutta la verticale la velocità media delle Onde di Taglio (V_s), si declassa, a favore di sicurezza, il sito in oggetto, alla categoria di suolo "E".

L'area è caratterizzata da una superficie pianeggiante (Categoria T1) a cui compete un Coefficiente Topografico $S_T=1.0$.

Per l'opera in progetto si fa riferimento alla classe d'uso IV (costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti) e Vita Nominale $V_N=100$ anni, da cui il coefficiente d'uso $C_U=2.0$ ed il Periodo di Riferimento per le azioni sismiche strutturali $V_R=200$ anni.

Si riassumono di seguito i parametri sismici per l'opera in progetto.



Coordinate Geografiche della località in esame (ED50)						
Latitudine:		13.754723				
Longitudine:		45.638795				
Coordinate Geografiche dei 4 punti del reticolo						
ID	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Distanza (Km)			
11880	13.7038	45.6348	3.984			
11881	13.7752	45.6346	1.657			
11659	13.7754	45.6846	5.345			
11658	13.7040	45.6848	6.457			
VITA DELLA STRUTTURA						
Vita nominale dell' opera:		$V_N = 100$ anni				
Classe d' uso:		IV				
Coefficiente d' uso:		$C_U = 1.0$				
Periodo di riferimento per le azioni sismiche strutturali:		$V_R = V_N \times C_U = 200$ anni				
CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO						
Categoria Topografica:		T1				
Coefficiente Topografico:		$S_T = 1.0$				
Categoria Suolo:		E				
Parametri Sismici:						
	SL Stati Limite	P_{VR}	T_R	a_g	F_0	T_C^*
		(%)	(anni)	(g)	(-)	(s)
sle	Operatività (SLO)	81%	120	0.063	2.574	0.270
sle	Danno (SLD)	63%	201	0.079	2.530	0.288
slu	Salvaguardia Vita (SLV)	10%	1898	0.173	2.602	0.352
slu	Prevenzione Collasso (SLC)	5%	2475	0.188	2.608	0.358

Coefficienti Sismici:								
	SL Stati Limite	S_S	C_C	S_T	K_H	K_V	A_{MAX}	β_S
		(-)	(-)	(-)	(-)	(s)	(m/s^2)	(-)
Sle	Operatività (SLO)	1.600	1.940	1.000	0.020	0.010	0.982	0.200
Sle	Danno (SLD)	1.600	1.890	1.000	0.025	0.013	1.233	0.200
Slu	Salvaguardia Vita (SLV)	1.510	1.750	1.000	0.063	0.031	2.559	0.240
Slu	Prevenzione Collasso (SLC)	1.460	1.740	1.000	0.066	0.033	2.694	0.240

Sle = Stato limite di esercizio; **Slu** = Stato limite ultimo **SL** = Stato Limite considerato; **P_{VR}** = Probabilità di superamento dello Stato Limite considerato; **T_R** = Tempo di ritorno (anni); **a_g** = Accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido; **F₀** = Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; **T_C*** = Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale; **S_S** = Coefficiente di amplificazione stratigrafica; **C_C** = Coefficiente funzione categoria di sottosuolo; **S_T** = Coefficiente di amplificazione topografica; **K_H** = $\beta_S \times (A_{MAX}/g)$ Coefficiente sismico orizzontale; **K_V** = $\pm 0,5 \times K_H$ Coefficiente sismico verticale; **A_{MAX}** = accelerazione massima attesa; **β_S** = Coefficiente di riduzione dell' accelerazione massima attesa al sito.



Sulla base delle ipotesi di progetto adottate è stata determinata l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito:

$$a_{\max} = S \times a_g = S_S \times S_T \times a_g$$

dove:

- S = Coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T).
- a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Si ottiene, per il sito in oggetto:

$$A_{\max} = 0.261 \text{ g}$$

3.7 Liquefazione

Fenomeni di liquefazione si possono originare nei terreni se la scossa sismica determina un aumento della pressione interstiziale fino ad eguagliare la pressione di confinamento e la probabilità che un deposito raggiunga questa condizione dipende dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso.

La suscettibilità alla liquefazione di un deposito sedimentario dipende anche dalle caratteristiche granulometriche dello stesso (Sherif&Ishibashi, 1978) e, pertanto, analizzando le curve granulometriche di terreni che durante i terremoti avevano subito liquefazione, sono state elaborate alcune fasce granulometriche critiche.

Se la curva granulometrica del deposito ricade all'interno della fascia granulometrica critica, il pericolo di liquefazione è possibile o elevato, mentre nel caso contrario la suscettibilità alla liquefazione è bassa.

Si segnala che parte dell'area portuale è inclusa nello "Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Trieste MS1", Dott. Geol. P. Marsich (in via di approvazione), tra le "Zone di Attenzione per Liquefazione" per la presenza di depositi sabbiosi sciolti.



4 RILIEVO BATIMETRICO

Il rilievo batimetrico è stato condotto utilizzando il sistema idrografico MBES costituito da apparati per la determinazione della posizione da satelliti GPS Navstar, da apparati e strumenti per l'acquisizione di dati idrografici e da piattaforme di navigazione gestite da software dedicato.

I dati batimetrici acquisiti, sono stati validati mediante software specifici al fine di consentire:

- la pulizia dei dati di navigazione (in particolare salti di navigazione);
- la pulizia dei dati di profondità basata sull'applicazione di filtri statistici;
- l'applicazione delle correzioni di marea per riferire i dati alla superficie richiesta;
- la produzione del Modello Digitale del Terreno (DTM);
- l'estrazione dal DTM del file .xyz.

I dati idrografici MBES validati sono stati successivamente elaborati con il software Hypack-Max e restituiti su Cartografia Tecnica Regionale (CTR).

L'andamento delle batimetrie è rappresentato attraverso un piano quotato con passo opportuno e curve di livello (isobate). La figura seguente mostra un estratto del risultato del rilievo.

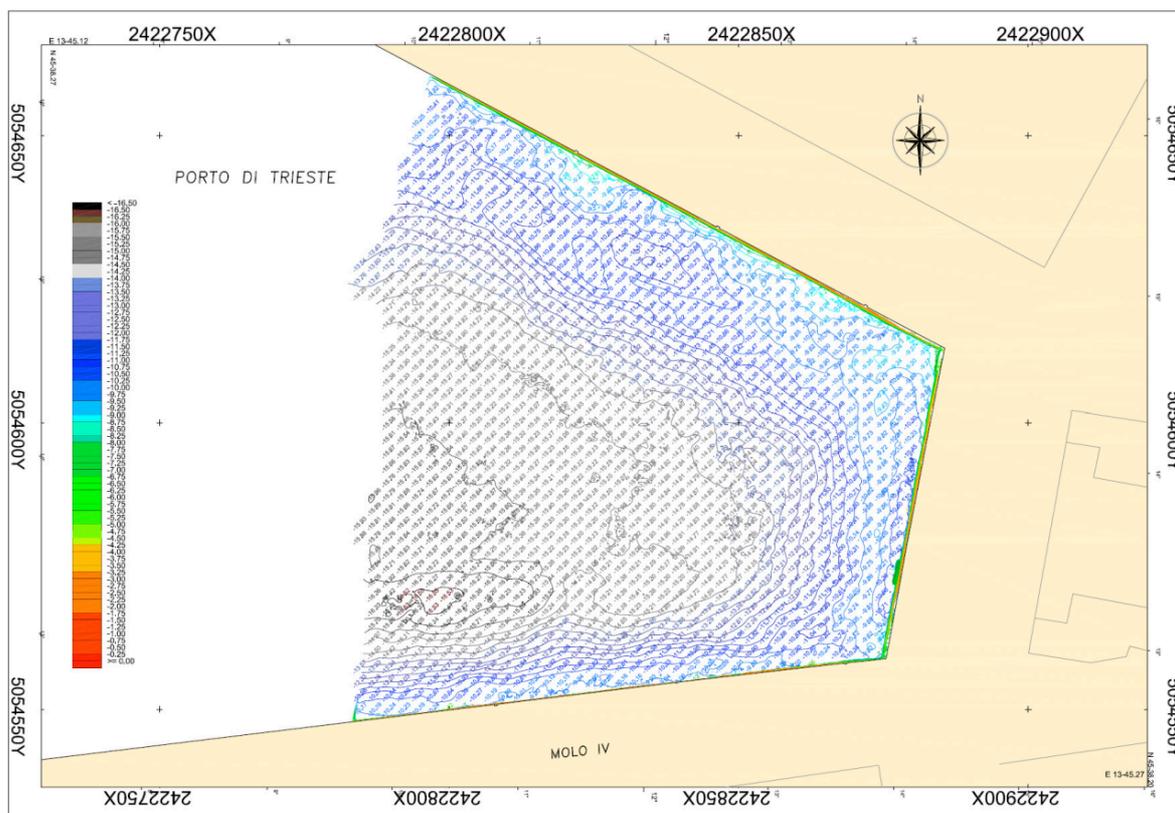


Figura 11. Restituzione planimetrica del piano quotato (maglia 2.50x2.50m) con curve batimetriche (passo 0.50m).



RELAZIONE GEOTECNICA e SISMICA

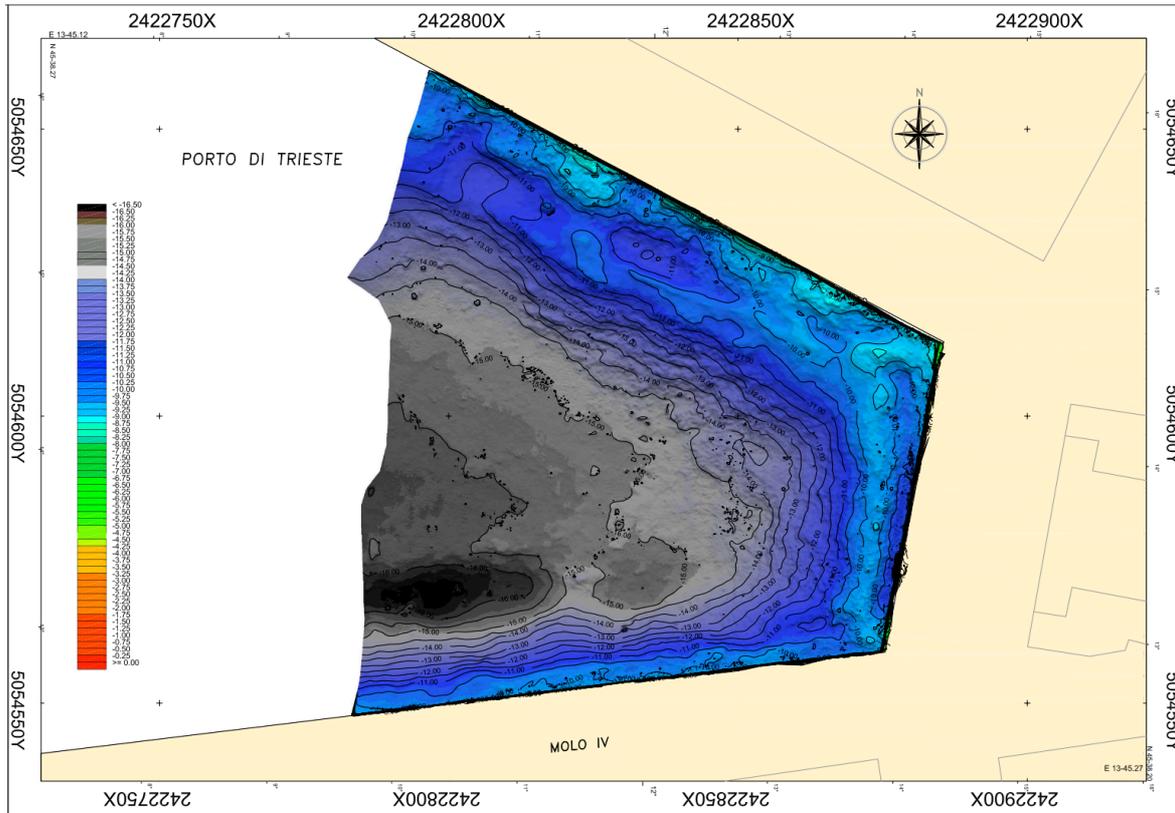


Figura 12. Restituzione planimetrica del modello digitale del fondale con curve batimetriche (passo 0.50m).



5 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLE OPERE IN PROGETTO

Dall'insieme delle risultanze stratigrafiche e geotecniche precedentemente illustrate è stato possibile far derivare un modello geotecnico del sottosuolo adeguato al livello di progettazione, che ha permesso di affinare i criteri di progettazione delle differenti opere, consentendo di verificare le condizioni di stabilità e di sicurezza delle stesse secondo i criteri delle Norme Tecniche per le Costruzioni, di cui al D.M. 14.01.2008.

Particolare attenzione è stata posta nella valutazione della portanza verticale e orizzontale dei pali di fondazione che sostengono l'impalcato e della capacità portante dei micropali realizzati per consolidare il bordo della banchina esistente.

L'impalcato poggia su pali di fondazione di grosso diametro ($\varnothing 1600\text{mm}$), del tipo trivellato, disposti con maglia generalmente quadrata di lato 10.0m, intestati per almeno 8.0m nel substrato flyschoidale. Il collegamento tra pali e impalcato è realizzato tramite spinotti in acciaio, posti in asse palo e inghisati nel getto della soletta.

L'insieme è separato strutturalmente dalle restanti opere esistenti, mediante un giunto continuo sismico.

La banchina esistente è stata ispezionata, riconoscendo un elevato grado di ammaloramento del paramento, con condizioni di instabilità per mancata verticalità di tratti di banchina e presenza di cavità anche rilevanti. Le maggiori criticità sono presenti sul fronte della radice del Molo VI e sul tratto del molo VI nelle zone interessate dall'azione dei propulsori delle navi.

Nell'ambito del progetto di ampliamento è previsto anche l'intervento di consolidamento del paramento verticale della banchina esistente, mediante la realizzazione di micropali inclinati e incrociati disposti a quinconce, ammorsati almeno per 5.0m nel terreno di base e inghisati in testa nel getto del cordolo sommitale in c.a. La facciata esterna è stabilizzata con una rifodera strutturale in c.a. con funzione di solidarizzazione del paramento e di intasamento di sgrottamenti, la quale è anch'essa collegata al cordolo sommitale in c.a. e ancorata all'esistente mediante chiodature sub-orizzontali.

Il calcolo dettagliato di dimensionamento e verifica delle opere sopra descritte è riportato nelle relazioni di calcolo (elab. CStr_003x), facenti parte integrante della documentazione di progetto e a cui si rimanda.