



00	Novembre 2014	PRIMA EMISSIONE	S.J.S. Engineering s.r.l.
REVISIONE	DATA	MOTIVAZIONE	PROPONENTE

Stazione appaltante



**AUTORITA' PORTUALE DI TRIESTE**

Incarico

**PORTO DI TRIESTE - TERMINAL CONTAINER MOLO VII  
ALLUNGAMENTO 100m**

Livello progettuale

**PROGETTO DEFINITIVO**

Soggetto attuatore



Titolo

**RELAZIONE SULLE INDAGINI**

Area code

**0129 TST**

Title code

**01020-00**

Check

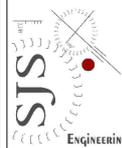
**R04**

Job code

**C-01**

Progettazione

**S.J.S. Engineering s.r.l.**



\*Roma (00187)  
Via Collina, n. 36  
Taranto (74123)  
P.zza Castel S. Angelo, n.11  
Mosca (123242)  
Krasnaya Presnaya  
st. 22 - Ufficio 3

Certified office\*  
COMPANY WITH  
QUALITY SYSTEM  
CERTIFIED BY DNV  
= ISO 9001 =

Il Responsabile del Procedimento

Il Direttore Tecnico  
**Ing. Michelangelo Lentini**

Progettisti

**Ing. B. Lentini  
Ing. A. Porretti  
Ing. R. Isola  
Ing. M. Filippone  
Dott. Geol. G. Cardinali  
Dott.ssa V. Colosimo  
Ing. L. Drago  
Ing. P. Semeraro**

Edited

Drago

Checked

ML

Date

Novembre 2014

Filename

0129TST01020-00-R04.doc



	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>1</b>	Di <b>38</b>

## INDICE

<b>1. PREMESSA ED OBIETTIVI DEL LAVORO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. SINTESI DELLE INDAGINI ESEGUITE .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Indagini topografiche.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Indagini sulle strutture.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Indagini geognostiche e geotecniche .....</b>	<b>8</b>
<b>2.4 Prospezioni sismiche a riflessione, rilievo multibeam, rilievo magnetometrico e side scan sonar.....</b>	<b>11</b>
<b>2.5 Prospezioni sismiche a rifrazione.....</b>	<b>13</b>
<b>3. INDAGINI TOPOGRAFICHE.....</b>	<b>15</b>
<b>4. INDAGINI SULLE STRUTTURE .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Descrizione delle attività .....</b>	<b>19</b>
4.1.1 Personale e strumentazione.....	19
4.1.2 Metodologia di prova – Test pacometrico.....	19
4.1.3 Metodologia di prova – Test ultrasonico.....	19
4.1.4 Metodologia di prova – Test di durezza superficiale (sclerometrico).....	20
4.1.5 Metodologia di prova – Metodo SONREB .....	20
4.1.6 Metodologia di prova – Videoispezione.....	21
4.1.7 Metodologia di prova – Determinazione della profondità di carbonatazione e determinazione del profilo di penetrazione degli ioni cloruro.....	21
<b>4.2 Acquisizione dati e risultati sperimentali .....</b>	<b>22</b>
<b>4.3 Pavimentazione portuale esistente .....</b>	<b>23</b>
<b>5. PROSPEZIONI SISMICHE A RIFLESSIONE, RILIEVO MULTIBEAM, RILIEVO MAGNETOMETRICO E SIDE SCAN SONAR.....</b>	<b>24</b>
<b>5.1 Prospezioni sismiche a riflessione (sub bottom profiler).....</b>	<b>24</b>
<b>5.2 Rilievo batimetrico mediante sistema multibeam.....</b>	<b>25</b>
<b>5.3 Rilievo magnetometrico.....</b>	<b>26</b>
<b>5.4 Rilievo side scan sonar .....</b>	<b>27</b>
<b>6. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE .....</b>	<b>30</b>
<b>7. PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE.....</b>	<b>35</b>
<b>8. ALLEGATI.....</b>	<b>38</b>

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>2</b>	Di <b>38</b>

## INDICE TABELLE

---

Tabella 1 Cronoprogramma della campagna di indagini 2014.....	4
Tabella 2 Spessore degli strati di pavimentazione.....	23
Tabella 3 Dati relativi al rilievo side scan sonar.....	28
Tabella 4 Ubicazione dei sondaggi e relative coordinate Gauss Boaga.....	30
Tabella 5 Valore medio dei Risultati prove Pocket Penetrometer.....	31
Tabella 6 Valore medio dei Risultati prove Vane Test.....	31
Tabella 7 Tabella di sintesi dei campioni prelevati con indicazione del tipo di campionamento.....	31
Tabella 8 Risultati delle prove SPT suddivisi per sondaggio.....	33
Tabella 9 Risultati dei valori dell'angolo di attrito interno per litotipi sabbiosi.....	34

## INDICE FIGURE

---

Figura 1 Estensione areale del rilievo topografico.....	5
Figura 2 Punti di ispezioni e carotaggi sulle strutture.....	7
Figura 3 Ubicazione sondaggi realizzati nel 2014-da S1 a S11.....	9
Figura 4 Area indagata a strisce per le prospezioni sismiche a riflessione.....	12
Figura 5 Stralcio planimetrico delle prospezioni sismiche a rifrazione.....	14
Figura 6 Bitta Tipo A.....	15
Figura 7 Bitta tipo B.....	16
Figura 8 Bitta tipo C.....	16
Figura 9 Respingenti tipo F.....	17
Figura 10 Respingenti tipo G.....	17
Figura 11 Indicazione in pianta delle sezioni e profili ricostruiti.....	18
Figura 12 Area rilevata.....	25
Figura 13 Mosaico side scan sonar.....	29
Figura 14 Dromocrone linea 1.....	36
Figura 15 Sezione sismo - stratigrafica della linea 1.....	36

---

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>		Pagina <b>3</b>	Di <b>38</b>

## 1. PREMESSA ED OBIETTIVI DEL LAVORO

La presente relazione raccoglie le procedure e le risultanze della campagna di indagini geognostiche e geotecniche eseguita secondo il **“Piano di indagine campagna geognostica e indagini geotecniche e delle strutture esistenti”**, previsto per le opere di ammodernamento del Molo VII del Porto di Trieste.

L'intervento riguarderà l'allungamento del molo esistente per una lunghezza di circa 100m a partire dalla testata. L'impalcato di nuova realizzazione sarà costruito mediante una serie di pali, ammorsati allo strato roccioso, sormontati da piastre prefabbricate, posate in semplice appoggio.

L'ammodernamento delle vie di corsa lungo la banchina sud, per un tratto di 300m dalla testata, interesserà tanto le vie di corsa quanto le piastre limitrofe che, per facilitare le operazioni di demolizione della trave di bordo, verranno rimosse e successivamente ripristinate garantendo le performance adeguate agli obiettivi prefissati.

Sempre in banchina, saranno alloggiate bitte per l'ormeggio di navi porta-container del tipo Ultra Large Container Vessel (ULCV-14.000TEUs) e parabordi ad alte prestazioni, capaci di dissipare le energie trasmesse in fase di accosto.

L'area a terra sarà adibita allo stoccaggio e alla movimentazione dei container: per questo, è stata prevista la prosecuzione delle vie di corsa per il transito delle gru a portale RMGC, nonché la realizzazione di 3 nuovi ordini di binari a servizio del nuovo equipment.

Attraverso la campagna di indagini condotta, si è investigato, da un punto di vista geomorfologico e geognostico, un'area di 80.000mq contenuta, a partire dall'esistente, in un perimetro di 200x400m.

E' stato possibile:

- ricostruire l'andamento batimetrico del fondale;
- identificare la presenza di ordigni bellici;
- definire puntualmente le caratteristiche **geologiche-geotecniche** del sito in esame.

La tipologia delle indagini ed il posizionamento dei punti da indagare sono stati definiti tenendo conto dei sondaggi già effettuati, dall'Autorità Portuale di Trieste, in fase preliminare alla realizzazione del molo esistente (elaborato 0129TST01054).

L'obiettivo perseguito è stato quello di sondare le aree non ancora indagate col fine di ottenere i dati necessari ad una completa caratterizzazione lito-stratigrafica e geomeccanica del volume di terreno immerso, per la definizione del volume di terreno significativo (3.2.2 del DM 14/01/2008).

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>4</b>	Di <b>38</b>

Tutte le fasi della campagna geognostica sono state eseguite secondo le "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" A.G.I. (1977).

L'elaborazione dei risultati delle prove è stata effettuata nel pieno rispetto del D.M. 14-1-2008 e della Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 Istruzioni per l'Applicazione del D.M. 14-1-2008.

E' stato eseguito poi un **Rilievo Topografico** per la ricostruzione plano-altimetrica dell'area e dei sottoservizi presenti perchè fosse delineato esattamente lo stato dei luoghi, necessario punto di partenza per la progettazione del nuovo tratto.

Infine, sono state eseguite **Prove distruttive e non** sull'esistente, ed in particolar modo sulle piastre disposte sia sul tratto di testata che a sud, realizzate rispettivamente negli anni '60 e '80, che hanno fornito utili informazioni sullo stato conservativo e sulle caratteristiche geometriche della struttura (spessori della soletta, armatura, spessore pavimentazione, caratterizzazione degli strati, ecc.).

La campagna di indagini è stata svolta dal 01.10.2014 al 14.11.2014 secondo il cronoprogramma di seguito riportato.

Tabella 1 Cronoprogramma della campagna di indagini 2014

Indagine	Data inizio indagine	Data fine indagine	Società esecutrice
Rilievo topografico	01/10	07/10	Geosyntech s.r.l.
Indagini sulle strutture	08/10	14/10	Geosyntech s.r.l. -
Sondaggi, prove SPT e prelievo di campioni	15/10	24/10	Geosyntech s.r.l. -
Prove di laboratorio -strutture -geotecniche	24/10	07/11	<b>L.G.T. Laboratorio Geotecnico S.r.l.</b>
Prospezioni geo-fisiche: Sismica a riflessione	08/10	10/10	Geosyntech s.r.l.
Prospezioni geo-fisiche: Sismica a rifrazione	10/11	14/11	Geosyntech s.r.l. -
Indagine magnetometrica e batimetrica	13/10	13/10	Geosyntech s.r.l. -

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>5</b>	Di <b>38</b>

## 2. SINTESI DELLE INDAGINI ESEGUITE

Le indagini eseguite sono state di diverso tipo, tutte mirate ad accertare e ricostruire le caratteristiche meccaniche, fisiche e dimensionali della struttura esistente.

### 2.1 Indagini topografiche

Il rilievo topografico è stato eseguito all'interno della aree riportate nella figura 1, ossia lungo la testata del molo per un'area di 401,5 x 40m e lungo la banchina Sud per un'area di 300m x 40m.

Si sono ottenute le seguenti informazioni:

- dimensioni effettive dell'impalcato e delle vie di corsa;
- quote altimetriche dell'intero impalcato, mediante rilevazione di più punti della banchina e ricostruzione di profili e sezioni;
- posizione delle bitte, dei respingenti ferroviari e dei giunti presenti nell'area;
- andamento plano-altimetrico dei sottoservizi.

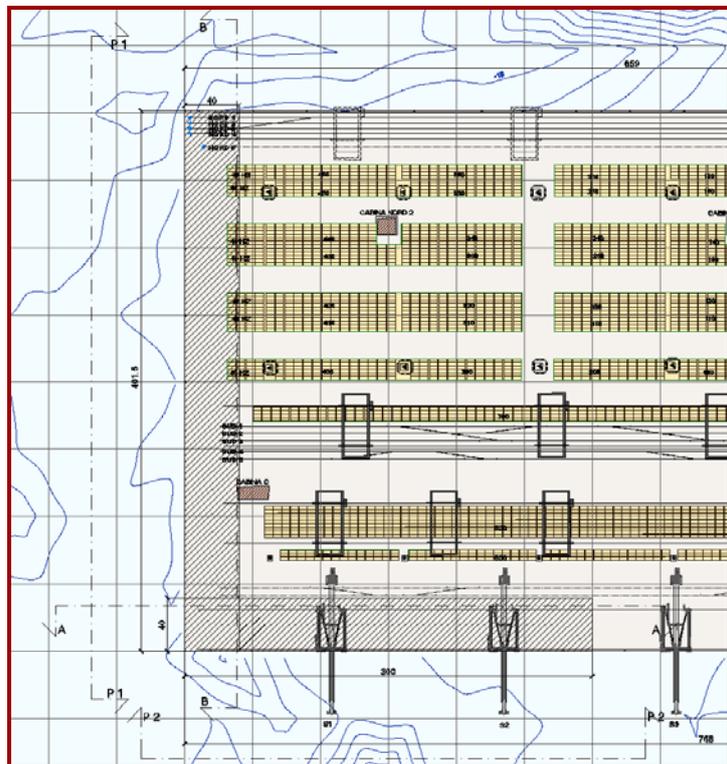


Figura 1 Estensione areale del rilievo topografico

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>6</b>	Di <b>38</b>

## 2.2 Indagini sulle strutture

Il progetto di allungamento del molo prevede la costruzione di una struttura a giorno come prolungamento delle banchine esistenti, con interposizione di un giunto strutturale fra l'esistente e il nuovo tratto.

Le indagini eseguite hanno consentito di valutare lo stato conservativo delle travi e delle piastre (copriferro, carbonatazione, stato di ossidazione delle armature), sia attraverso ispezioni visive documentate che mediante di prove distruttive e non distruttive quali:

- **prove ultrasoniche e sclerometria a rimbalzo (SonReb)** su più punti. Il metodo (SONREB) si basa sulla combinazione dei risultati ottenuti, nelle stesse zone di prova, con prove sclerometriche (UNI-EN 12504-2:2001) ed ultrasoniche (UNI EN 12504-4:2005), correlando l'indice di rimbalzo (REBound) con la velocità delle onde ultrasoniche (SONic), con la resistenza a compressione del calcestruzzo, attraverso la calibrazione della relazione che lega queste tre grandezze, effettuata mediante regressione statistica dei valori sperimentali.
- **prove pacometriche**, eseguite attraverso uno strumento, il pacometro, che sfruttando le proprietà magnetiche del ferro, consente di localizzazione delle armature. Il funzionamento del pacometro si basa, infatti, sul principio dell'induzione magnetica: lo strumento consiste in una sonda emettitrice di campo magnetico collegata ad una unità di elaborazione digitale ed acustica. La sonda, fatta scorrere lungo la superficie della membratura in calcestruzzo, rileva la posizione delle armature, lo spessore del copriferro e, con buona approssimazione, il diametro dei ferri. L'utilizzo del pacometro è regolato dalle norme BS 1881:204
- **prove distruttive** integrate con prove non distruttive tipo SONREB, queste ultime in numero maggiore per la definizione più ampia dello stato del calcestruzzo. I carotaggi sono stati eseguiti in corrispondenza dei punti in cui sono state eseguite alcune delle prove sclerometriche ed ultrasoniche, per poter correlare i risultati con quelli delle indagini non distruttive.

Sono state prelevate **n. 6 carote dalle solette delle piastre**, mediante rimozione della pavimentazione, per un'area di 1 mq (1mx1m), ubicate nei punti riportati nella figura seguente, non interferenti con le nervature delle piastre stesse.

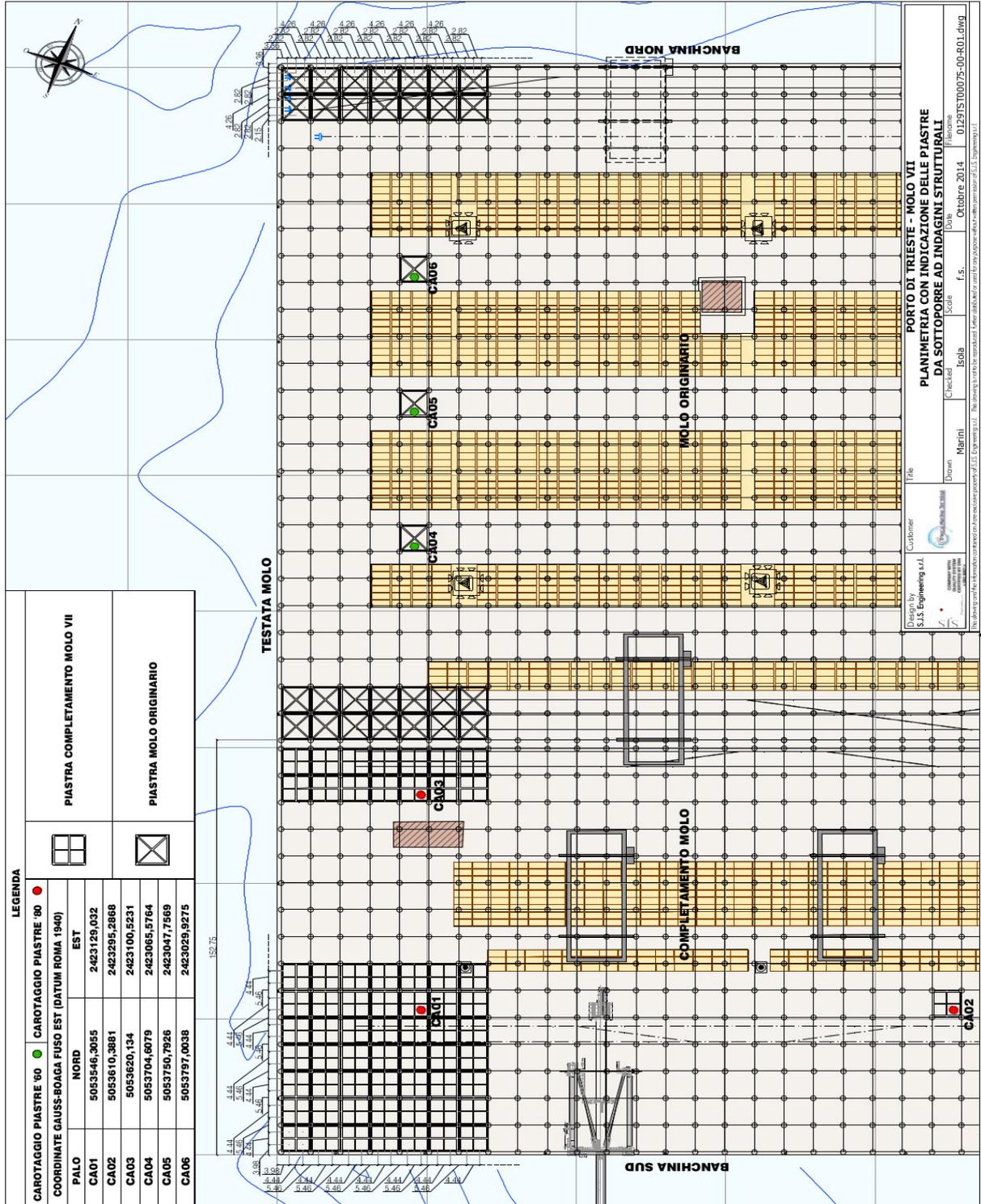
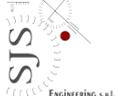


Figura 2 Punti di ispezioni e carotaggi sulle strutture

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>		Pagina <b>8</b>	Di <b>38</b>

Dalle carote estratte, è stata determinata la **profondità di carbonatazione ed il grado di corrosione da cloruri** e le caratteristiche meccaniche residue del calcestruzzo. I campioni sono stati consegnati ad un laboratorio ufficiale, autorizzato per le sue prove materiali e quindi per la determinazione della resistenza a rottura (UNI-EN 12504-1:2009) ed il contenuto di solfati e cloruri.

### 2.3 Indagini geognostiche e geotecniche

Al fine di disporre di tutte le informazioni necessarie alle verifiche di resistenza e di deformabilità della nuova struttura, sono state eseguite una serie di prove, in situ ed in laboratorio, per la definizione di un modello geotecnico del sottosuolo con cui l'opera dovrà interagire.

Come risulta dallo schema planimetrico di ubicazione dei sondaggi (elaborato 0129TST01054), la distribuzione dei punti da esplorare, aventi interasse variabile, è tale da coprire interamente l'area interessata dal prolungamento.

Le prove hanno consentito:

- la definizione del profilo stratigrafico;
- la caratterizzazione fisico-meccanica dei diversi strati rilevati.

In particolar modo, è stato indagato lo strato dei sedimenti marini, per la definizione di tutti i parametri legati alla portanza e alla deformabilità (cedimenti), nonché l'ammasso flyschoidale, alterato per i primi metri, integro negli strati successivi in cui verranno ammorsati i pali di fondazione.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>9</b>	Di <b>38</b>



TRIESTE

PORTO NUOVO

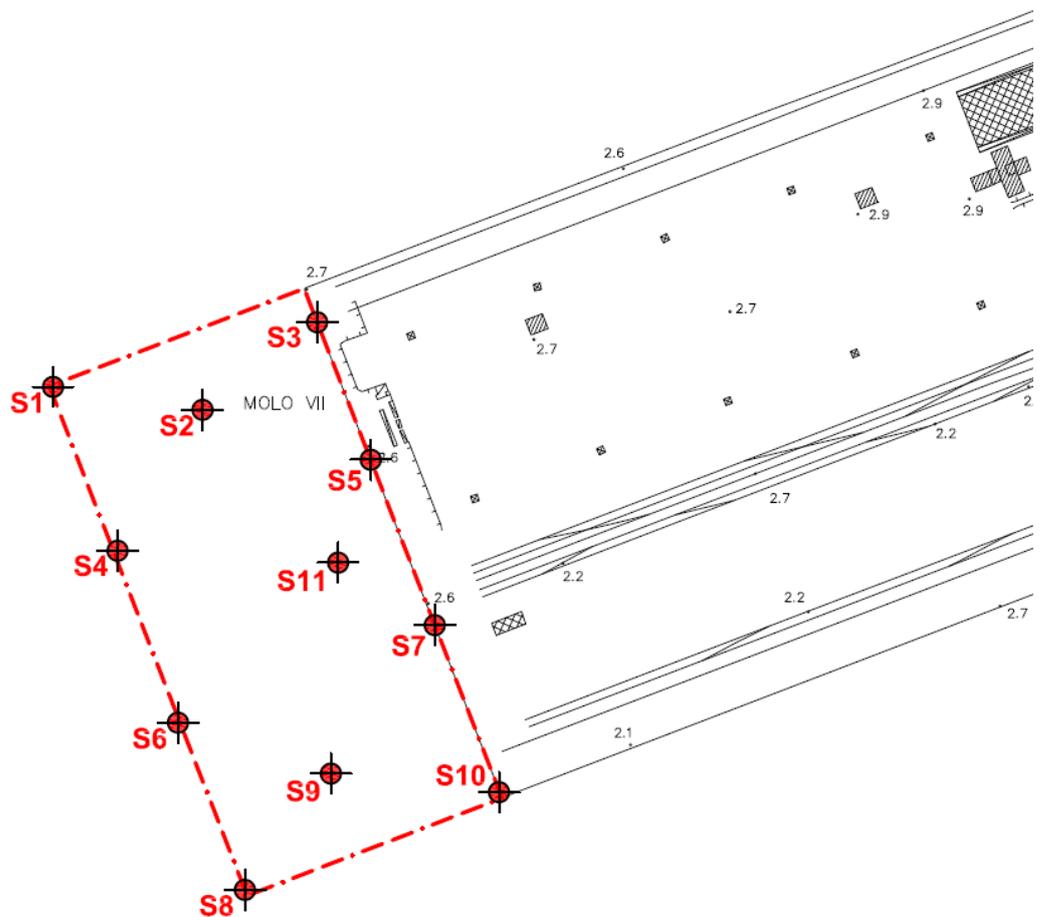
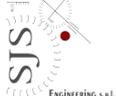


Figura 3 Ubicazione sondaggi realizzati nel 2014-da S1 a S11

Sono stati eseguiti n°11 sondaggi localizzati come in figura, di cui 4 eseguiti da terra, 7 da mare, con profondità tali da raggiungere lo strato roccioso integro.

Lungo le verticali indagate sono state effettuate complessivamente:

- n°20 prove penetrometriche dinamiche (SPT);
- n°16 prelievi di campione dei sedimenti limoso-argillosi
- n°12 prelievi su strato roccioso costituito da Flysch;

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>		Pagina <b>10</b>	Di <b>38</b>

Per tutti i sondaggi è stata registrata la modalità di esecuzione della perforazione ed il campionamento alle diverse profondità raggiunte.

Oltre alla ricostruzione stratigrafica, sono state eseguite prove di laboratorio per la caratterizzazione del campione attraverso dei parametri indice quali:

- determinazione del contenuto d'acqua - Norma ASTM D 2216/98;
- misura del peso dell'unità di volume - Norma BS 1377 T15/e;
- misura del peso specifico dei grani - Norma ASTM D 854-00;
- indice dei vuoti;
- porosità;
- grado di saturazione;
- peso di volume del secco;
- limiti di Atterberg - Norma ASTM D 4318-84;

Per ciascun campione è stata eseguita l'analisi granulometrica per setacciatura e per sedimentazione.

Su n.**12** campioni prelevati, è stata effettuata la prova di compressione triassiale non consolidata, non drenata UU, nel rispetto delle raccomandazioni AGI del 1994

Sono state eseguite poi n.**4** prove di compressione triassiale consolidata drenata (CID) secondo indicazioni AGI del 1994 con interpretazione grafica dei cerchi di Mohr a rottura e caratteristiche di resistenza in tensioni efficaci nella prova di taglio triassiale C.I.D..

Per identificare e caratterizzare geomeccanicamente l'ammasso roccioso del Flysch, sono state spinte le perforazioni oltre lo starato alterato, fino a riscontrare materiale compatto ed integro, per non meno di 2 m.

Le carote prelevate sono state sottoposte a descrizione litologica e determinazione dei parametri indici ISRM -1977 quali:

- contenuto d'acqua allo stato naturale;
- peso dell'unità di volume;
- peso specifico dei grani;
- peso dell'unità di volume del secco;
- porosità

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>		Pagina <b>11</b>	Di <b>38</b>

- assorbimento d'acqua;

Sono inoltre state eseguite, su n.6 carote, delle prove di compressione uniassiale su roccia, secondo le direttive ISRM del 1979, per la determinazione del modulo elastico, mentre su n.10 provini, o spezzoni di carota, sono state svolte prove di punzonamento su roccia (Point Load Strength Index) per la determinazione dell'indice di resistenza a punzonamento dell'elemento roccioso.

## **2.4 Prospezioni sismiche a riflessione, rilievo multibeam, rilievo magnetometrico e side scan sonar**

La definizione dello spessore dello strato dei limi e delle argille superficiali, così come il profilo del tetto del Flysch è alla base del dimensionamento della palificata.

In generale, l'indagine sismica a riflessione, basata sulla generazione di onde acustiche che si propagano nel fluido e nel sottosuolo e che, in corrispondenza di interfacce caratterizzate da un contrasto di impedenza acustica, vengono riflesse, consente l'individuazione del tetto del Flysch attraverso la restituzione di profili 2D. L'energia riflessa viene registrata da sensori sensibili alle variazioni di pressione, denominati idrofoni. Il tipo di sorgente, la configurazione ed il numero dei sensori vengono scelti in base alla profondità da raggiungere.

L'indagine viene eseguita mediante un'imbarcazione che traina la sorgente sismica ed i sensori: con l'avanzare del mezzo nautico, si delinea il profilo sismico continuo che rappresenta una sezione sismo - stratigrafica dell'area.

La calibratura e la taratura del dato sismico è condotta mediante acquisizione di alcuni stendimenti, in corrispondenza di sondaggi a mare di litostratigrafia nota, che definiscono i parametri di acquisizione mediante test condotti prima dell'inizio del rilievo.

L'elaborazione di tutti i profili 2D conduce alla costruzione di un modello tridimensionale dell'assetto geolitologico dell'area indagata.

La figura che segue riporta la maglia degli stendimenti sismici a riflessione eseguiti, per un lunghezza complessiva di circa 10.000m.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>12</b>	Di <b>38</b>

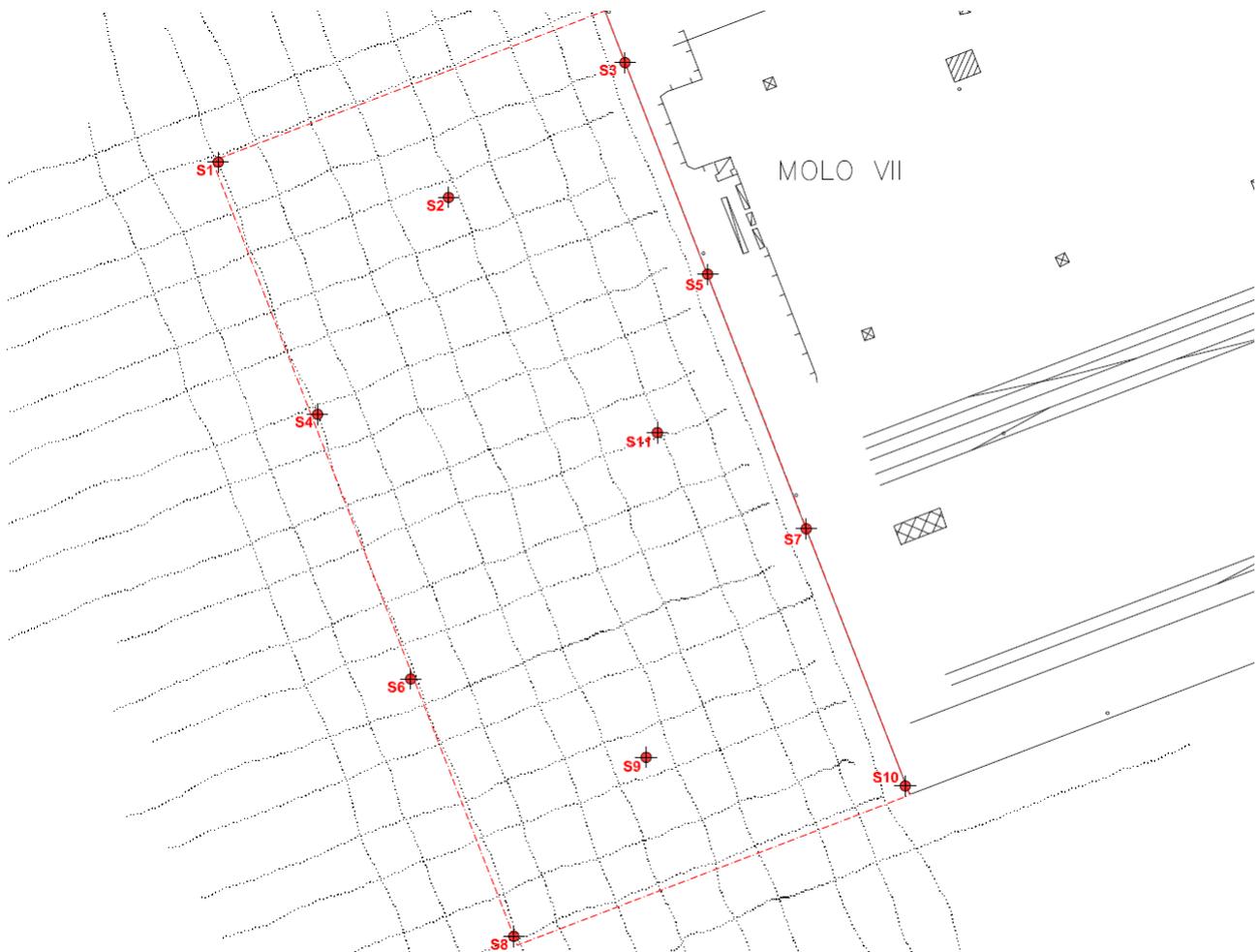
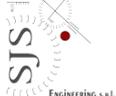


Figura 4 Area indagata a strisce per le prospezioni sismiche a riflessione

Si è reso inoltre necessario eseguire delle indagini magnetometriche che hanno fornito informazioni utili alla:

- Localizzazione e delimitazione di oggetti metallici sepolti;
- Individuazione di tubazioni di ferro e cavità o corpi contenenti materiali ferrosi;
- Bonifiche belliche.

Questa esplorazione si è resa necessaria per garantire che le lavorazioni di perforazione, legate ai sondaggi e alla realizzazione della palificata, fossero condotte in piene condizioni di sicurezza.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>		Pagina <b>13</b>	Di <b>38</b>

## 2.5 Prospezioni sismiche a rifrazione

La progettazione del gruppo di pali a sostegno del nuovo impalcato non può prescindere dalla definizione dell'azione sismica di progetto.

Le disposizioni della Normativa tecnica per le Costruzioni, attualmente in vigore, consentono un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (3.2 del DM 14-01-2008).

Le categorie di sottosuolo sono correlate al parametro  $V_{s,30}$  e  $V_s$ , per la quale il decreto recita: *"Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità"*. La stessa Norma precisa che la profondità di 30 m, nel caso di fondazioni su pali, è riferita alla testa dei pali.

Questo dato è stato determinato attraverso le prospezioni sismiche a rifrazione. La tecnica di indagine ha consentito la ricostruzione del profilo del substrato roccioso su cui insistono gli strati argillosi-limosi e argillosi-sabbiosi che costituiscono i fondali.

Questa metodologia di acquisizione, largamente utilizzata nell'esplorazione del sottosuolo, si basa sulla generazione di onde acustiche che vengono propagate nel fluido e nel sottosuolo e che, in corrispondenza di interfacce di impedenza acustica, vengono riflesse.

L'energia riflessa è registrata da sensori sensibili alle variazioni di pressione, denominati idrofoni. Il tipo di sorgente, la configurazione ed il numero dei sensori viene definito in base alla profondità dal fondale marino. Nel caso in questione, per l'esecuzione del rilievo, sono stati utilizzati due *baycable*, con 24 idrofoni ciascuno, interdistanti 5.0 m, collegati a due sismografi Seismic Source Daq Link III. Come sorgente sismica, è stato utilizzato un cannone ad aria compressa Bolt DHS 5500, comandato da un sistema di controllo.

I dati sono stati acquisiti in corrispondenza di n° 7 linee sismiche, di lunghezza pari a 235.0 m ciascuna, la cui ubicazione è meglio evidenziata nell'elaborato 0129TST01076.

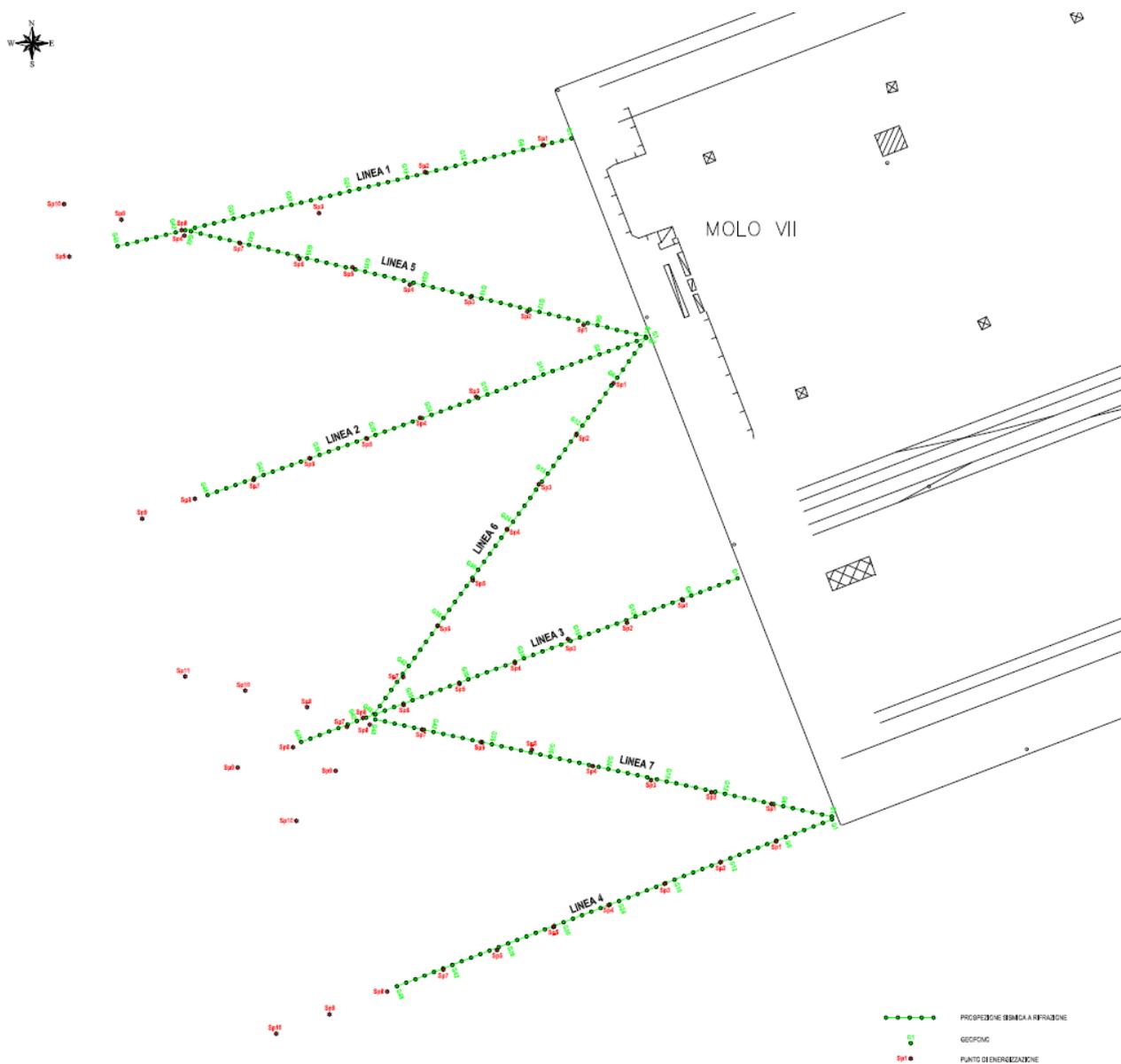


Figura 5 Stralcio planimetrico delle prospezioni sismiche a rifrazione

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>15</b>	Di <b>38</b>

### 3. INDAGINI TOPOGRAFICHE

I rilevamenti plano-altimetrici, finalizzati alla definizione di una cartografia e/o modelli digitali del terreno (DTM) sono stati eseguiti con strumentazione idonea e certificata (total station, GPS, etc.), limitatamente all'area di interesse indicata nel piano di indagini nonchè al paragrafo 2.1 della presente relazione.

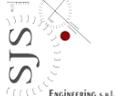
Il lavoro ha comportato:

- a) la materializzazione di 3 capisaldi 5001, 5002 e 5003 le cui schede monografiche si allegano alla presente relazione;
- b) la rilevazione della quota di punti dell'impalcato esistente;
- c) la traccia della rete elettrica;
- d) la traccia dell'impianto idrico-antincendio;
- e) la traccia delle linee elettriche di alimentazione delle gru.

Sono state poi definite planimetricamente le posizioni delle 3 tipologie di bitte per l'ormeggio delle portacontainer, di seguito illustrate.



Figura 6 Bitta Tipo A

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>		Pagina <b>16</b>	Di <b>38</b>

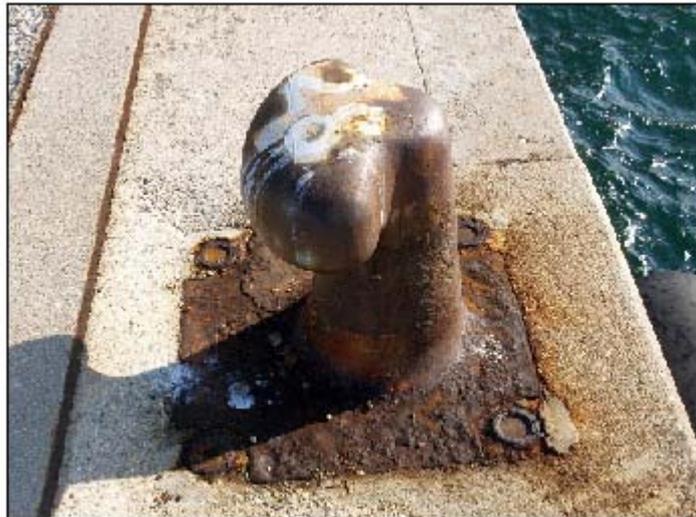


Figura 7 Bitta tipo B



Figura 8 Bitta tipo C

Sono stati individuati anche i diversi respingenti al termine delle vie di corsa delle gru esistenti, raffigurate nel seguito:

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>17</b>	Di <b>38</b>



Respingente ferrovia di tipo F1



Respingente ferrovia di tipo F2

Figura 9 Respingenti tipo F



Respingente gru di tipo G1



Respingente gru di tipo G2

Figura 10 Respingenti tipo G

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>18</b>	Di <b>38</b>

Gli elaborati grafici di riferimento sono 0129TST01061 e 0129TST01062.

Sono stati ricostruiti anche due profili longitudinali, uno della testata del molo esistente, di lunghezza pari a circa 400 m, e l'altro sul lato sud del molo, per una lunghezza di circa 300 m e due sezioni trasversali, ortogonali tra loro, lungo la mezzeria dell'impalcato (0129TST010075).

Le informazioni ottenute hanno consentito di stabilire le quote della pavimentazione, dell'estradosso della soletta delle piastre e la quota in testa al palo della struttura in progetto.

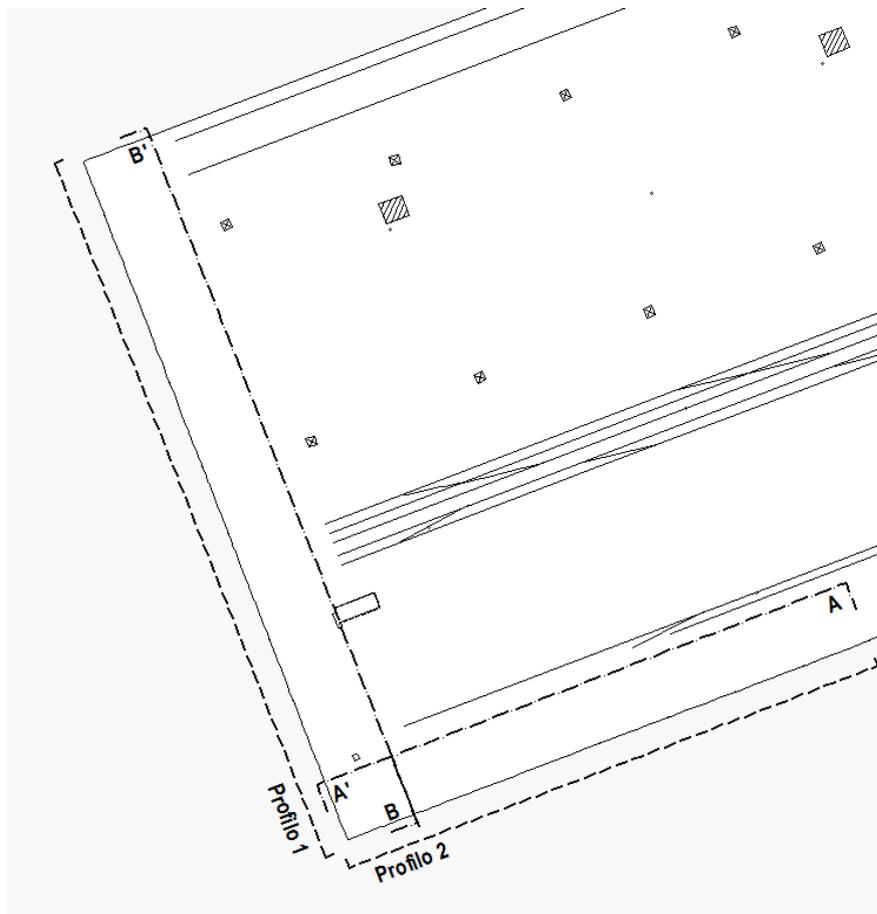


Figura 11 Indicazione in pianta delle sezioni e profili ricostruiti

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>		Pagina <b>19</b>	Di <b>38</b>

## 4. INDAGINI SULLE STRUTTURE

Come già anticipato, è stata condotta un'approfondita campagna di indagini della struttura quali l'indagine magnetometrica, l'indagine ultrasonica e l'indagine sclerometrica per la determinazione della resistenza a compressione dei calcestruzzi. Tutte le indagini sono state poi correlate con il metodo SONREB. Infine, sono state verificate determinate le profondità di carbonatazione e di penetrazione degli ioni cloruro.

### 4.1 Descrizione delle attività

Prima dell'inizio delle attività, sono state identificate e preparate le aree da sottoporre ad indagine. Ai n.6 punti di indagine, sono state assegnate le sigle progressive da CA 01 a CA 06, come riportate nella planimetria allegata (Allegato 1).

Di seguito si riportano le metodologie adottate e le caratteristiche delle attrezzature utilizzate, nonché i risultati sperimentali a cui si è pervenuti.

#### 4.1.1 Personale e strumentazione

Le indagini sono state effettuate da una squadra composta da n.2 tecnici specializzati in possesso di certificazione di II livello, come previsto da UNI EN ISO 9712 "Bureau Veritas", per prove PND per le tipologie (UT) ultrasuoni, (SC) prove sclerometriche, (PC) prove di carico e (MG) magnetometriche.

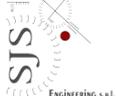
#### 4.1.2 Metodologia di prova – Test pacometrico

Il Test pacometrico rientra tra le indagini non distruttive. L'attrezzatura utilizzata per la prova è una sonda magnetometrica, modello P331 B della Elcometer.

#### 4.1.3 Metodologia di prova – Test ultrasonico

Il Test ultrasonico (norma UNI EN 12504-4) è basato sulla misura del tempo di propagazione di onde ultrasoniche, a frequenze superiori alla soglia dell'udibile, tra 2 punti di un corpo elastico.

In corrispondenza dei punti di misura vengono posizionati due trasduttori di tipo piezoelettrico (sonde) che hanno la proprietà di trasformare una tensione elettrica in energia meccanica e viceversa. La sonda emittente, sollecitata da un treno di impulsi ad alta tensione, genera onde di pressione che costituiscono il fascio ultrasonoro il quale, dopo aver attraversato il materiale, raggiunge la sonda ricevente. Questa, a sua volta, trasforma la pressione acustica ricevuta in un

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>		Pagina <b>20</b>	Di <b>38</b>

segnale elettrico che, una volta amplificato, viene elaborato dal computer per essere visualizzato, in fase di acquisizione, come onda elastica. Fissato come tempo zero, l'istante di partenza del segnale ed il tempo di arrivo del primo impulso e conoscendo preliminarmente la distanza di percorrenza del segnale, è possibile determinare la velocità di percorrenza del treno ultrasonoro nel materiale indagato.

Per le prove è stata utilizzata una centralina di acquisizione elettronica, tipo MCHA della Boviar S.r.l con trasduttori piezometrici.

#### **4.1.4 Metodologia di prova – Test di durezza superficiale (sclerometrico)**

Il metodo (norma UNI EN 12504-2) si basa sulla corrispondenza esistente tra il carico unitario di rottura a compressione e la durezza superficiale del conglomerato. Le prove sclerometriche vengono utilizzate per stimare, con le dovute limitazioni del procedimento, la resistenza a compressione del calcestruzzo. La prova viene eseguita mediante l'uso di uno sclerometro. Il principio di funzionamento dello sclerometro è che una massa scagliata da una molla colpisce un pistone a contatto con la superficie ed il risultato della prova viene espressa come distanza di rimbalzo della massa. L'indice sclerometrico determinato, può essere utilizzato sia per la valutazione dell'uniformità del calcestruzzo in sito che per la delimitazione delle zone di calcestruzzo di scarsa qualità o comunque deteriorate. La valutazione di resistenza del calcestruzzo viene riportata con una precisione di circa il 20%, vista la non omogeneità ed anisotropicità del materiale.

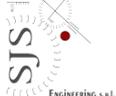
L'attrezzatura utilizzata è lo sclerometro GEI Concrete D/12/SC0006 della Boviar con relativa incudine di taratura IT GEI matr. B/11/IT0001.

#### **4.1.5 Metodologia di prova – Metodo SONREB**

Il metodo SONREB (SONicREBound) è un metodo di indagine non distruttivo sul calcestruzzo indurito. E' un metodo che si basa su correlazioni di tipo sperimentale tra la resistenza e la velocità degli ultrasuoni combinata con il valore dell'indice di rimbalzo per ottenere una stima del valore di resistenza del calcestruzzo.

La forma analitica che sembra meglio descrivere il legame tra i due parametri non distruttivi e la resistenza (cubica) stimata  $R_s$  del calcestruzzo in situ è:

$$R_s = a N^b V^c$$

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>		Pagina <b>21</b>	Di <b>38</b>

ove le costanti a,b e c dipendono da diversi fattori legati alle modalità che caratterizzano la campagna sperimentale.

Per poter meglio uniformare le curve di correlazione ottenibili con tale espressione esponenziale, è raccomandato tarare i risultati con quelli di resistenza R ottenuti da alcune carote di calcestruzzo, estratte in prossimità dei punti di indagine non distruttivi.

#### **4.1.6 Metodologia di prova – Videoispezione**

Il metodo di indagine in oggetto prevede l'ispezione dei fori di carotaggio mediante videocamera predisposta all'uopo. Nella fattispecie, sono state utilizzate una videocamera endoscopica Somikonmod. PX-3714-675 con risoluzione 1280x720 ed un endoscopio industriale ItalecoSK-11P100 con risoluzione 640x480.

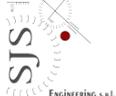
#### **4.1.7 Metodologia di prova – Determinazione della profondità di carbonatazione e determinazione del profilo di penetrazione degli ioni cloruro**

Il metodo (secondo norma UNI EN 9944), utilizzato per la determinazione della profondità di carbonatazione, consiste nello spruzzare la superficie del provino appena estratto con una soluzione all'1% di alcol etilico di fenoltaleina. La soluzione vira al rosso a contatto con materiali il cui PH risulta maggiore di circa 9.2 e rimane incolore per valori minori. La profondità di carbonatazione è valutata in millimetri.

Per determinare il profilo di penetrazione degli ioni cloruro, vengono estratti, secondo il metodo Volhard, i cloruri dal calcestruzzo con acqua o con acido nitrico e successivamente determinato il dosaggio degli ioni estratti per argentometria.

Lo scopo di questa prova è quello di conoscere l'aumento di concentrazione ad un determinato tempo rispetto al contenuto totale presente inizialmente della quantità degli ioni di cloruro.

L'allegato 4 riporta i risultati ottenuti dalla suddetta prova e cioè il profilo di concentrazione dei cloruri a partire dalla superficie di intradosso delle piastre ai diversi livelli della carota prelevata.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>		Pagina <b>22</b>	Di <b>38</b>

## 4.2 Acquisizione dati e risultati sperimentali

Per programmare la campagna di indagine si è fatto riferimento al progetto esecutivo di completamento del Molo VII del 1983. Dagli elaborati si evince che le Piastre hanno una dimensione di 9.88 x 9.88 m e hanno nervature di rinforzo laterali e centrali.

La soletta superiore ha uno spessore di 260 mm, con armatura longitudinale e trasversale  $\varnothing 14/20$ , e copriferro non minore di 40 mm.

Nell'allegato 3 sono riportati, nel dettaglio, i risultati delle indagini non distruttive e distruttive eseguite.

Le aree indagate hanno evidenziato uno stato del calcestruzzo integro con assenza di ammaloramenti e valori di profondità di carbonatazione inferiore agli 8 mm.

L'integrità del materiale è stata confermata anche dai dati ottenuti dai profili di penetrazione degli ioni cloruro; infatti le prove eseguite hanno fornito percentuali, rispetto alla massa di cemento, inferiori ai valori limiti definiti al punto 5.2.7, nel prospetto 10 della UNI EN 206-1:2006.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>23</b>	Di <b>38</b>

### 4.3 Pavimentazione portuale esistente

Per poter indagare tali superfici si è provveduto ad asportare il pacchetto stradale, genericamente composto da:

- uno strato superficiale di conglomerato bituminoso, di spessore variabile tra i 3 e gli 8 cm;
- una platea di calcestruzzo magro di spessore variabile tra i 5 ed i 22 cm;
- un misto cementato a varia pezzatura di spessore compreso tra i 18 e i 33 cm.

Nella seguente tabella vengono indicati gli spessori nei punti di indagine.

Tabella 2 Spessore degli strati di pavimentazione

	PUNTO INDAGINE					
	CA 01	CA 02	CA 03	CA 04	CA 05	CA 06
<b>Conglomerato bituminoso (cm)</b>	8	7	3	6	4	6
<b>Calcestruzzo magro (cm)</b>	5	8	10	16	22	20
<b>Misto cementato ( cm)</b>	33	30	33	18	16	9+8*

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>		Pagina <b>24</b>	Di <b>38</b>

## 5. PROSPEZIONI SISMICHE A RIFLESSIONE, RILIEVO MULTIBEAM, RILIEVO MAGNETOMETRICO E SIDE SCAN SONAR

Le indagini a mare eseguite sono:

- Le prospezioni sismiche a riflessione;
- Il rilievo batimetrico di dettaglio mediante sistema Multibeam;
- Il rilievo delle anomalie magnetiche;
- Il rilievo del fondale marino mediante sistema Side Scan Sonar,

### 5.1 Prospezioni sismiche a riflessione (sub bottom profiler)

La metodologia di acquisizione mediante prospezioni geofisiche di tipo sismico a mare è largamente utilizzata nell'esplorazione del sottosuolo ed è basata sulla generazione di onde acustiche che si propagano nel fluido e nel sottosuolo e che, in corrispondenza di interfacce caratterizzate da un contrasto di impedenza acustica, vengono riflesse. L'energia riflessa è registrata da sensori sensibili alle variazioni di pressione, denominati idrofoni. Il tipo di sorgente, la configurazione ed il numero dei sensori sono stati definiti in base alla profondità dal fondale marino delle interfacce da rilevare.

In generale la buona qualità dei dati ha consentito il riconoscimento dell'assetto litostratigrafico presente nell'area, caratterizzato da sedimenti fini limoso-argilloso-sabbiosi in contatto con il "top" del substrato Flyschoides. Per la calibrazione dei dati sismici, sono state utilizzate le stratigrafie di perforazione dei n° 11 sondaggi a mare eseguiti nell'area di studio, mentre per la conversione in profondità è stata utilizzata una velocità media dei sedimenti fini pari a 1.605 m/s.

Infine, in tutte le linee sismiche acquisite è stata riconosciuta l'interfaccia sismostratigrafica rappresentata dalla base dei sedimenti fini e dal "top" della formazione Flyschoides.

L'allegato 5 riporta le specifiche tecniche della strumentazione adottata e l'elaborazione finale è rappresentata nel documento 0129TST01065.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>25</b>	Di <b>38</b>

## 5.2 Rilievo batimetrico mediante sistema multibeam

L'indagine strumentale condotta è stata finalizzata alla definizione del fondale marino e alla verifica di eventuali "target" presenti nell'area di ampliamento.

Attraverso il rilievo è stato ricostruito il profilo batimetrico e morfologico del fondale. Le misure sono state eseguite utilizzando un ecoscandaglio multifascio (*Multibeam*) della Reson modello Seabat 7125, capace di ottenere simultaneamente 512 beam equidistribuiti, ad una frequenza massima di 50 impulsi al secondo.

Il rilievo è stato svolto nell'intera area di ampliamento del Molo VII e lungo la banchina Nord, percorrendo rotte tra parallele, ad una distanza tale da garantire la sovrapposizione dei dati (*overlapping*) di almeno il 20%.

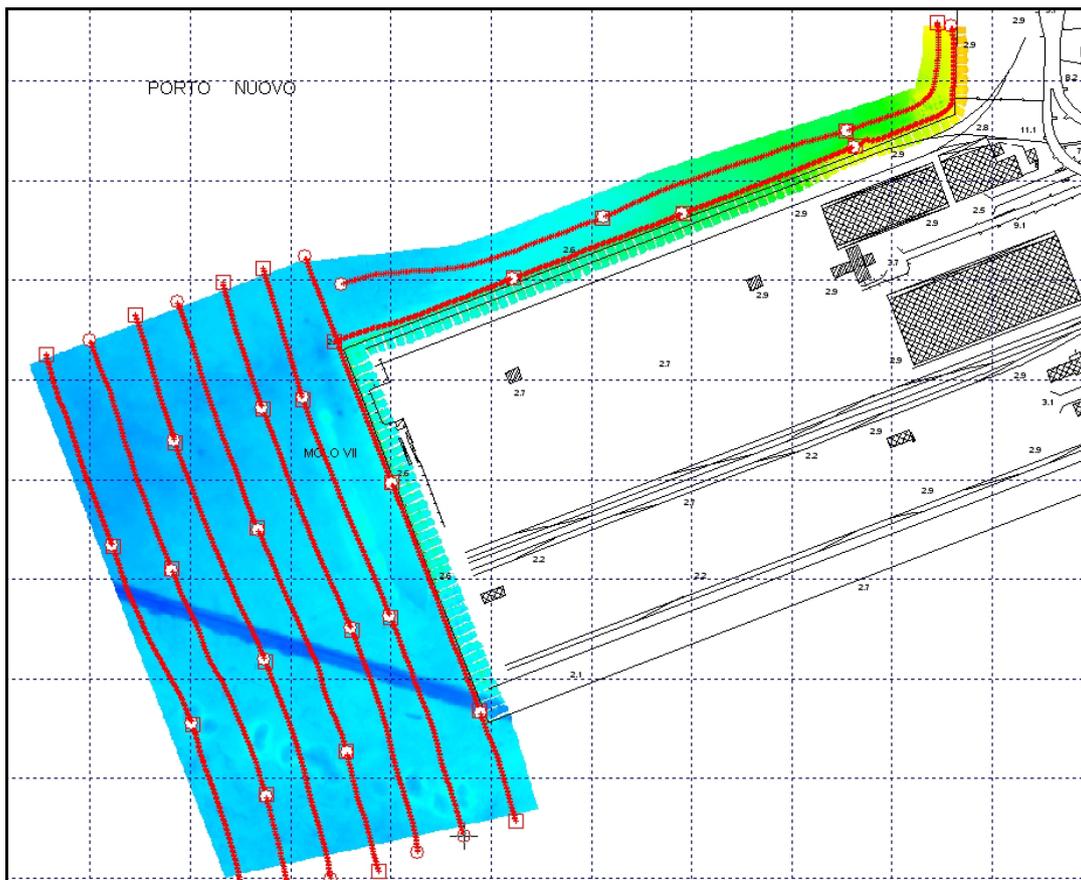


Figura 12 Area rilevata

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>		Pagina <b>26</b>	Di <b>38</b>

L'utilizzo del Multibeam ha permesso di creare delle mappe batimetriche a copertura totale, con celle (*pixel*) di dimensioni decimetriche, attraverso l'invio e la decodifica simultanea di alcune centinaia di beam, equispaziati sul fondale marino con apertura angolare variabile da 120° a 165°.

Nell'allegato 5 sono riportate le specifiche tecniche della strumentazione utilizzata mentre i risultati sono riportati all'interno dell'elaborato 0129TST01063.

Il fondale, nell'area di interesse, si attesta sui -18 - 18,50 m rispetto al livello medio marino, con un leggero incremento, fino a circa -19m, ad una distanza di circa 100 metri dalla testata.

### **5.3 Rilievo magnetometrico**

Questa metodologia di indagine consiste nel misurare i valori dell'intensità del C.M.T. (*Campo Magnetico Terrestre*) e successivamente analizzarne le variazioni o anomalie. Dall'analisi di queste anomalie, riferite agli strati di terreno più vicini alla superficie, è possibile individuare la presenza di formazioni sepolte o, nel caso di rilievi eseguiti in mare, anche in prossimità dell'interfaccia acqua/sedimento. Ovviamente, affinché si possa osservare un cambiamento significativo nelle misure magnetiche, è necessario che vi sia un corrispondente contrasto fra le proprietà magnetiche delle diverse strutture e del sedimento che le contiene.

Per il corretto utilizzo degli strumenti di misura, bisogna tener conto che, nella prospezione magnetica, il sistema di misura mira a valutare essenzialmente l'intensità totale del campo magnetico ed il suo gradiente; in quest'ultimo caso si parla di magnetometria differenziale o gradiometria. Il metodo magnetometrico differenziale o gradiometrico si basa sull'impiego di un magnetometro differenziale o gradiometro, nel quale lo spazio tra i sensori è fisso ed è piccolo rispetto alla distanza dalle sorgenti i cui gradienti sono oggetto di misura.

L'informazione relativa al gradiente è particolarmente utile nella ricerca di anomalie superficiali, poiché consente di rimuovere gli effetti dovuti al campo magnetico regionale locale. Le anomalie di gradiente tendono infatti a "risolvere" (scomporre) anomalie complesse nelle loro costituenti individuali; inoltre, è possibile eliminare gli effetti delle variazioni diurne o delle tempeste magnetiche, senza fare ricorso all'ausilio di un secondo magnetometro come stazione base.

I dati ottenuti sono da correlare con la posizione delle anomalie registrate.

Il sistema di posizionamento utilizzato è rappresentato da un ricevitore GPS con correzione RTK RTCM ottenuta in tempo reale dalla rete FREDNET di proprietà della Regione Friuli Venezia Giulia, composta da numerose stazioni GPS permanenti che permettono di calcolare una *Virtual Reference Station* in prossimità della zona da rilevare.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>		Pagina <b>27</b>	Di <b>38</b>

I dati conseguiti hanno manifestato l'assenza di anomalie magnetiche riconducibili a formazioni di corpi sepolti. In prossimità della testata del molo esistente, si rilevano anomalie da attribuire alla presenza dei pali costituenti la palificata a sostegno dell'impalcato a giorno.

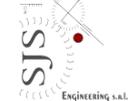
L'allegato 5 riporta le specifiche tecniche della strumentazione e le procedure seguite per l'analisi dei dati. L'elaborazione finale è riportata nell'elaborato 0129TST01064.

## 5.4 Rilievo side scan sonar

Il sonar a scansione laterale (*Side Scan Sonar*) è uno strumento che si basa sulla riflessione e diffrazione del suono in acqua, producendo immagini del fondale a grande scala, simili a fotografie aeree. Per l'acquisizione dei dati, il sonar viene trainato a poppa dell'imbarcazione ed emette onde acustiche verso il basso e lateralmente. I parametri tipici dell'onda acustica di ritorno, quali frequenza e lunghezza d'onda, dipendono dalle caratteristiche litologiche e tessiturali del fondale indagato; ciò significa che roccia e sedimenti grossolani producono più energia riflessa rispetto a sabbia e fango. Un ulteriore fattore che influenza il tipo di risposta acustica è l'angolo di incidenza. Il segnale di ritorno è caratterizzato da ampiezze d'onda deboli e, pertanto, i trasduttori devono possedere particolari caratteristiche. Il segnale così ottenuto ed elaborato attraverso *software* dedicati, viene restituito su uno schermo o registratore grafico e simultaneamente salvato su *hard disk*. La rappresentazione finale dei singoli profili consiste in un sonogramma in scala di grigi (*o colourmapsand, red-green, dark rainbow, ecc.*), proporzionale all'ampiezza del segnale ricevuto. Ne risulta un'immagine simile ad una fotografia successivamente corretta per la distorsione laterale, per la velocità dell'imbarcazione, per l'offset antenna GPS e per le variazioni dell'assetto del *Towfish*, fornendo un'accurata visione in pianta della morfologia del fondale marino, compresa la dimensione e la forma di eventuali oggetti.

Lo strumento è interfacciato con il sistema di navigazione al fine di poter correlare direttamente i dati di navigazione sulla strisciata così acquisita. Sulle registrazioni vengono visualizzate, oltre all'immagine planimetrica del fondale, la profondità cui si trova il trasduttore, i dati di navigazione, i vari parametri utilizzati per ottenere i migliori risultati dal punto di vista visivo (TVG) e per eliminare il rumore di fondo.

Una peculiarità delle registrazioni con *Side Scan Sonar* è data dall'importanza delle ombre generate da oggetti presenti sul fondo, poiché consentono di ottenere una visione tridimensionale dell'immagine e di definirne le altezze. In base alla diversa risposta acustica è possibile ricavare anche informazioni indirette, di carattere puramente indicativo, sulla natura del sedimento.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>28</b>	Di <b>38</b>

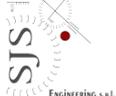
Per l'esecuzione del rilievo è stata mappata una superficie pari a 190.000 mq, avente lunghezza di 500 metri e larghezza di 380 metri. Il rilievo è stato condotto mediante acquisizione di sei strisciate orientate parallelamente alla banchina Ovest del Molo VII, aventi lunghezza pari a 500 m circa e copertura laterale di 75 m. Il passo unitario profilo-profilo è risultato pari a 50 m circa, con copertura superiore al 100 %.

Nella seguente tabella sono riportati i principali parametri di acquisizione utilizzati per il rilievo Side Scan Sonar dell'area studiata e per la restituzione dei sonogrammi acquisiti.

Tabella 3 Dati relativi al rilievo side scan sonar

	<b>Rilievo Dettaglio</b>
Copertura laterale di acquisizione	75 metri
Copertura laterale di restituzione nel mosaico	variabile 50÷75 metri
Frequenza di acquisizione	100-500 kHz
Frequenza di restituzione nel mosaico	500 kHz
Velocità dell'imbarcazione in acquisizione	3-5 nodi
Profondità del Towfish	3-5 metri
Offset antenna GPS-Tow fish	15.80 metri
Numero profili realizzati	6
Numero profili utilizzati per il mosaico	4
Passo unitario profilo-profilo	50 metri

I dati sono stati elaborati attraverso il software Coda Octopus GeokitMosaics e rappresentati in un mosaico, riportante le **caratteristiche morfologiche** dell'area.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>		Pagina <b>29</b>	Di <b>38</b>

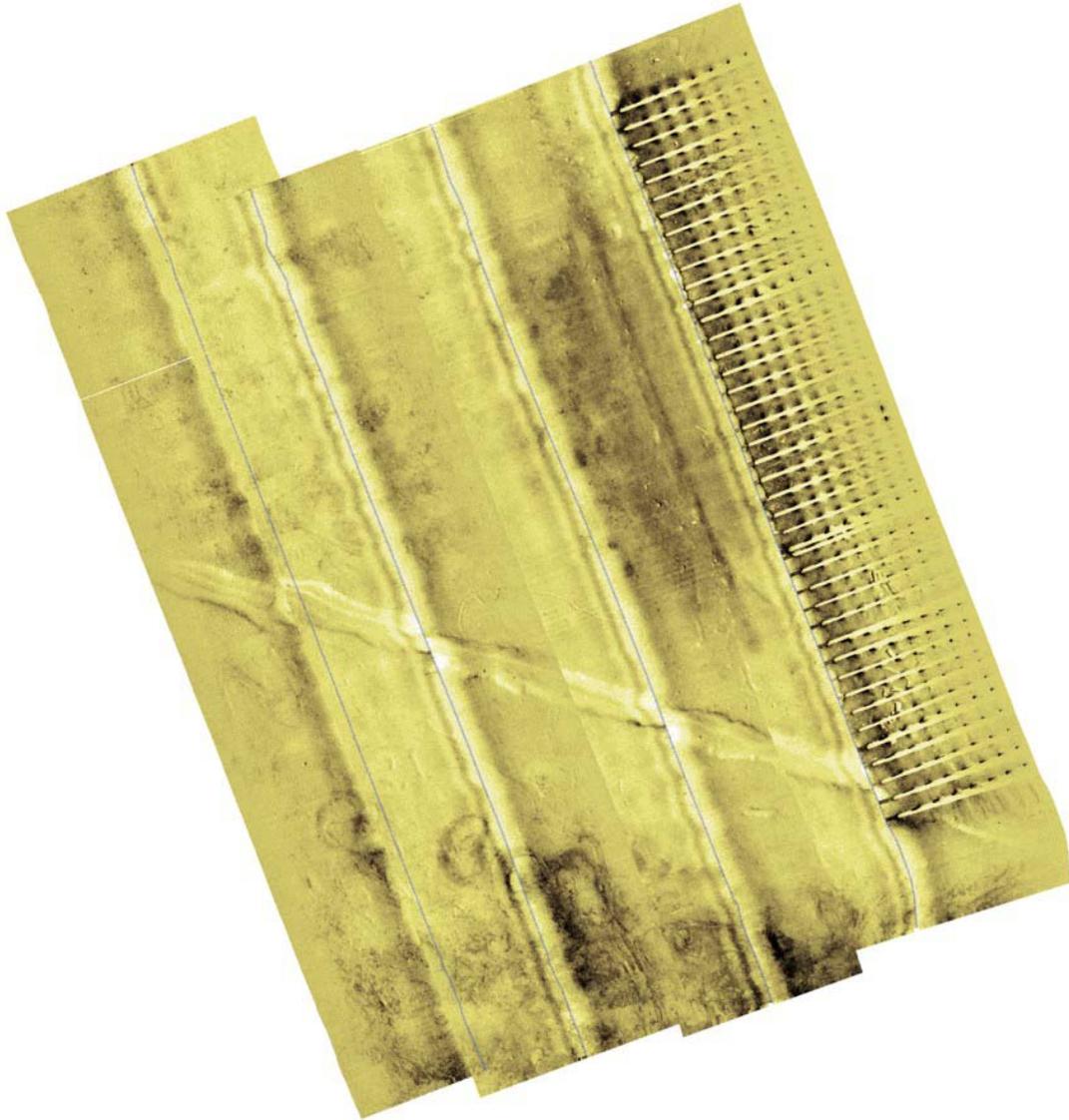


Figura 13 Mosaico side scan sonar

Il Mosaico Side Scan Sonar, sopra rappresentato, è stato realizzato utilizzando 4 dei 6 profili acquisiti, evidenziati in colore blu. Questa scelta è risultata ottimale per evitare le aree di disturbo tipiche dei sonogrammi Side Scan Sonar sotto la verticale del Towfish.

L'allegato 5 riporta le specifiche della strumentazione e l'analisi dei dati. I grafici sono riportati all'interno dell'elaborato 0129TST01064.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>30</b>	Di <b>38</b>

## 6. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE

Nell'area di studio è stata condotta una campagna di indagini geognostiche consistita nell'esecuzione di n.11 sondaggi a mare, sia a carotaggio continuo che a distruzione di nucleo, nei materiali fini incoerenti, spinti sino al raggiungimento dei primi metri di substrato flyschoidi.

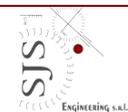
Quattro sondaggi sono stati eseguiti da terra, in corrispondenza della testata, gli altri 7 da mare, mediante l'utilizzo di pontone marittimo.

Per rilevare l'esatta ubicazione dei punti di sondaggio, è stato eseguito un rilievo topografico di dettaglio mediante strumentazione GPS in coordinate assolute in Sistema Gauss-Boaga. Di seguito si riportano le coordinate e le quote rilevate dei punti di indagine, indicati nella planimetria allegata.

Tabella 4 Ubicazione dei sondaggi e relative coordinate Gauss Boaga

<b>Sondaggio</b>	<b>Nord</b>	<b>Est</b>	<b>Quota batimetrica (m s.l.m.m.)</b>
S1	5053783,59	2422770,79	- 19,31
S2	5053764,41	2422884,45	- 19,05
S3	5053828,80	2422968,10	- 17,72
S4	5053660,82	5053637,98	- 19,05
S5	5053727,72	2423007,27	- 17,65
S6	5053534,44	2422866,52	- 18,88
S7	5053606,13	2423054,01	- 18,22
S8	5053411,50	2422915,39	- 18,92
S9	5053496,99	2422978,13	- 18,65
S10	5053483,33	2423100,95	- 18,48
S11	5053652,09	2422983,42	- 18,48

Le perforazioni, nei primi metri dal fondale marino, sono state svolta a distruzione di nucleo, mentre negli strati più profondi si è proceduto a carotaggio continuo con carotiere semplice di Ø 101 mm e rivestimento di Ø 127 mm, fino all'utilizzo del carotiere doppio e corona diamantata per le litologie Flyschoidi.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>31</b>	Di <b>38</b>

Sulle carote estratte, per l'identificazione dei valori di resistenza a compressione semplice (*UCS*) e di resistenza al taglio non drenata (*Su*), sono state eseguite delle prove speditive mediante *Pocket Penetrometer* e *Pocket Vane*, i cui valori medi ponderati sono di seguito riportati:

Tabella 5 Valore medio dei Risultati prove Pocket Penetrometer

<b><i>Pocket Penetrometer (P.P.) medio (kPa)</i></b>	
Limo argilloso-sabbioso	20÷30

Tabella 6 Valore medio dei Risultati prove Vane Test

<b><i>Vane Test (V.T.) medio (kPa)</i></b>	
Limo argilloso-sabbioso	50÷70

Sempre durante le perforazioni, sono stati prelevati n.17 campioni indisturbati con campionatore tipo *Shelby*, e n.12 campioni semidisturbati di materiale litoide, per essere sottoposti ad analisi di laboratorio geotecnico.

Tabella 7 Tabella di sintesi dei campioni prelevati con indicazione del tipo di campionamento

<b><i>Sondaggio</i></b>	<b><i>Tipo Campione</i></b>	<b><i>Campione</i></b>	<b><i>Profondità di campionamento da fondale marino (m da f.m.)</i></b>
S1	Semidisturbato	C1	- 23,50 ÷ - 24,00
S2	Indisturbato	C1	- 13,00 ÷ - 13,50
	Indisturbato	C2	- 15,40 ÷ - 16,00
	Indisturbato	C3	- 17,40 ÷ - 18,00
	Indisturbato	C4	- 20,60 ÷ - 21,00
S3	Indisturbato	C1	- 18,30 ÷ - 18,65
	Semidisturbato	C2	- 21,60 ÷ - 22,00
S4	Indisturbato	C1	- 14,40 ÷ - 15,00
	Indisturbato	C2	- 19,40 ÷ - 20,00
	Semidisturbato	C3	- 24,00 ÷ - 24,80

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>32</b>	Di <b>38</b>

<b>Sondaggio</b>	<b>Tipo Campione</b>	<b>Campione</b>	<b>Profondità di campionamento da fondale marino (m da f.m.)</b>
S5	Indisturbato	C1	- 8,50 ÷ - 9,00
	Indisturbato	C2	- 11,00 ÷ - 11,50
	Semidisturbato	C3	- 33,80 ÷ - 34,00
S6	Indisturbato	C1	- 14,00 ÷ - 14,60
	Indisturbato	C2	- 19,00 ÷ - 19,50
	Semidisturbato	C3	- 24,00 ÷ - 24,50
	Semidisturbato	C4	- 25,00 ÷ - 25,50
S7	Indisturbato	C1	- 13,00 ÷ - 13,50
	Indisturbato	C2	- 15,30 ÷ - 15,90
S7	Semidisturbato	C3	- 24,80 ÷ - 25,00
	Semidisturbato	C4	- 27,00 ÷ - 27,40
S8	Indisturbato	C1	- 11,50 ÷ - 12,00
	Indisturbato	C2	- 16,50 ÷ - 17,00
	Semidisturbato	C3	- 31,80 ÷ - 32,00
S10	Indisturbato	C1	- 9,00 ÷ - 9,50
	Indisturbato	C2	- 11,00 ÷ - 11,50
	Indisturbato	C3	- 16,00 ÷ - 16,50
	Semidisturbato	C4	- 24,65 ÷ - 24,90
S11	Semidisturbato	C1	- 24,40 ÷ - 24,60

Nel corso delle attività, sono state eseguite anche n.20 prove S.P.T. (*Standard Penetration Test*) in foro, riportate di seguito unitamente ai parametri acquisiti in fase di prova.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>33</b>	Di <b>38</b>

Tabella 8 Risultati delle prove SPT suddivisi per sondaggio

<b>Sondaggio</b>	<b>SPT n°</b>	<b>Quota da fondale marino (m da f.m.)</b>	<b>N di colpi</b>	<b>N<sub>SPT</sub></b>
S2	1	- 13,50 ÷ - 13,95	1/2/1	3
	2	- 16,00 ÷ - 16,45	2/4/4	8
	3	- 18,00 ÷ - 18,45	2/6/7	13
S3	1	- 12,00 ÷ - 12,45	4/6/8	14
	2	- 18,00 ÷ - 18,30	4/R 11 cm	/
S4	1	- 18,00 ÷ - 18,45	4/6/8	14
S5	1	- 9,00 ÷ - 9,45	2/1/0	1
	2	- 13,50 ÷ - 13,95	10/14/18	32
S6	1	- 14,60 ÷ - 15,05	1/2/2	4
	2	- 19,50 ÷ - 19,95	1/1/3	4
S7	1	- 13,50 ÷ - 13,95	7/10/19	29
	2	- 15,90 ÷ - 16,35	7/11/13	24
S8	1	- 12,00 ÷ - 12,45	2/2/1	3
	2	- 15,00 ÷ - 15,45	1/3/2	5
	3	- 19,00 ÷ - 19,45	2/2/6	8
S10	1	- 9,50 ÷ - 9,95	2/3/3	6
	2	- 11,50 ÷ - 11,95	7/10/16	26
S11	1	- 13,00 ÷ - 13,45	1/2/2	4
	2	- 16,00 ÷ - 16,45	1/1/1	2
	3	- 20,00 ÷ - 20,39	15/37/R 9 cm	/

I valori di N<sub>SPT</sub> ottenuti sono tutti compresi tra 1 e 32 colpi/piede di avanzamento, con *rifiuto* nelle zone di contatto litologico con il Flysch.

Grazie ai dati SPT, mediante correlazioni di carattere empirico tra i valori di N<sub>SPT</sub> ed i parametri geotecnici, sono stati stimati i valori dell'angolo di attrito interno  $\phi$  per i litotipi sabbiosi, compresi in un intervallo tra 20°÷30° per i livelli meno addensati e 30°÷ 40° negli altri casi, mentre per i materiali più fini limo-argillosi, è emerso uno stato di consistenza da molle a plastico.

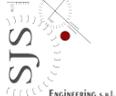
	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	Pagina <b>34</b>	Di <b>38</b>

Tabella 9 Risultati dei valori dell'angolo di attrito interno per litotipi sabbiosi

<b>Metodo di stima</b>	<b>Valori <math>\varphi</math> di picco</b>
<i>Road Bridge Specification</i>	$19^{\circ} \div 37^{\circ}$
<i>Owasaki &amp; Iwasaki</i>	$19^{\circ} \div 40^{\circ}$
<i>Japanese National Railway</i>	$20^{\circ} \div 30^{\circ}$
<i>Peck-Hanson &amp; Thorburn</i>	$27^{\circ} \div 36^{\circ}$
<i>De Mello</i>	$20^{\circ} \div 38^{\circ}$

Il materiale litoide estratto, relativo ai primi metri di substrato roccioso flyschoidale, è stato riconosciuto e classificato mediante l'indice RQD (*Rock Quality Designation*) dal quale è emerso che il bed-rock è caratterizzato nei suoi primi metri da qualità *scadente* che, però, migliora all'aumentare della profondità sino a diventare una roccia di qualità *media*, talvolta *discreta*.

Infine, sono stati acquisiti anche i dati relativi alle caratteristiche di sedimentazione, fratturazione e indice di rugosità JRC (*Joint Roughness Coefficient*) degli strati.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>		Pagina <b>35</b>	Di <b>38</b>

## 7. PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE

L'area antistante al Molo VII è stata indagata mediante prospezioni sismiche a rifrazione: sono state tracciate 7 linee, aventi ognuna una lunghezza di circa 235.0 m, riportate nell'elaborato 0129TST01076.

La loro distribuzione è stata determinata dalla necessità di confrontare i dati delle misurazioni con i risultati delle indagini geognostiche e geofisiche svolte nella medesima area

Sono stati utilizzati due *baycable*, con 24 idrofoni ciascuno, interdistanti 5.0 m, collegati a due sismografi Seismic Source Daq Link III.

Quale sorgente sismica, è stato utilizzato un cannone ad aria compressa Bolt DHS 5500, comandato da un sistema di controllo. Per l'ottenimento del tempo di scoppio, è stato installato un idrofono *near field* sul cannone sismico per la trasmissione via radio (RTS-100) della *signature* al sistema di registrazione. Il sistema di acquisizione utilizzato è consistito in n° 2 sismografi Daq Link III, RTS-100 installati a bordo di laboratorio mobile.

Le operazioni di posa del *baycable* sul fondale marino e di energizzazione con cannone, anch'esso poggiato sul fondale, sono state condotte da imbarcazione.

L'ubicazione del cavo e dei punti di energizzazione è stata eseguita mediante il sistema di navigazione PDS 2000 ed utilizzando i dati batimetrici precedentemente acquisiti.

A seguito della definizione dei modelli di velocità, è stata eseguita l'inversione tomografica per ogni singola linea; negli elaborati allegati, sono riportate, per ciascuna linea, le dromocrone misurate e quelle calcolate, i valori di velocità e l'inversione tomografica dei primi arrivi (rif. 0129TST01077).

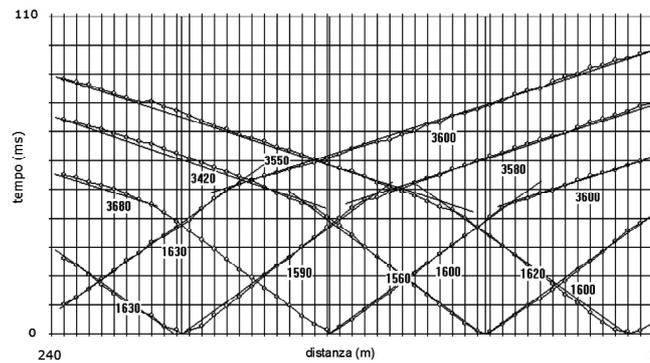
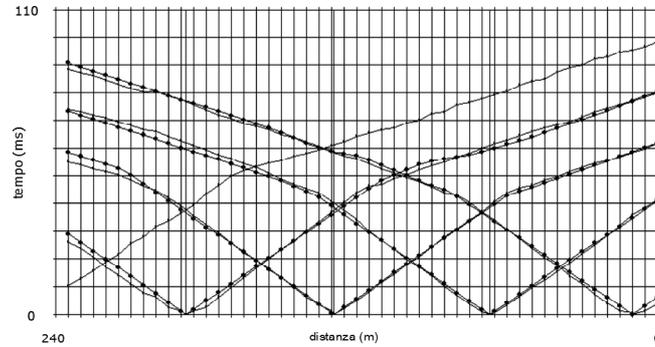


Figura 14 Dromocrone linea 1

**SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA**

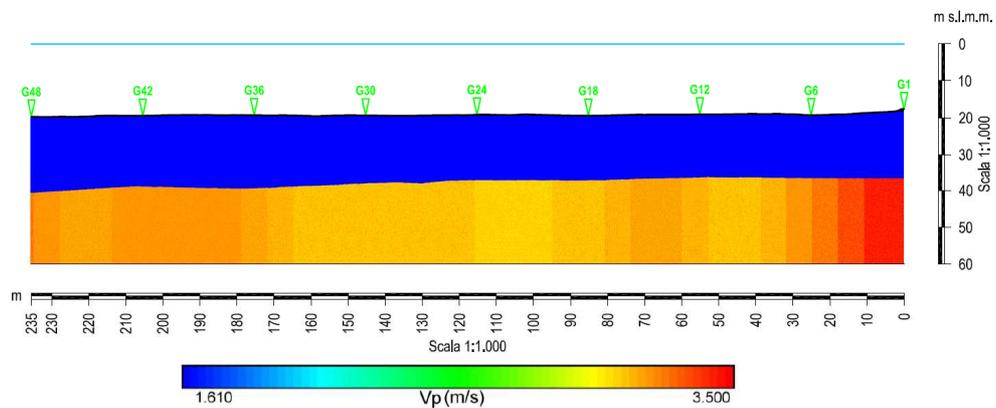
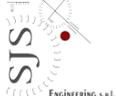


Figura 15 Sezione sismo - stratigrafica della linea 1

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>		Pagina <b>37</b>	Di <b>38</b>

Sulla base dei dati così acquisiti, è stato possibile confermare che l'area è caratterizzata dalla presenza, nei primi metri da fondale, di un complesso limoso-argilloso-sabbioso con velocità

$$V_p = 1.605 \div 1.650 \text{ m/s,}$$

sovrastante il bed-rock flyschoidale, avente una velocità

$$V_p = 3.200 \div 3.400 \text{ m/s.}$$

Nell'inversione tomografica, si sono rilevati dei locali decrementi di velocità, propri delle alterazioni del Flysch, piuttosto che alle diverse alternanze ritmiche di sedimentazione tra il litotipo arenaceo e quello marnoso.

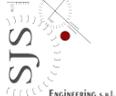
Infine, per quanto nell'area in oggetto non siano state eseguite delle misure di velocità delle onde S ( $V_s$ ), sulla base delle prospezioni sismiche eseguite, è stato comunque possibile determinare le velocità  $V_s$  di tutta l'area, risultate pari a:

- $V_s = 160 \div 220 \text{ m/s}$  per il complesso limoso - argilloso - sabbioso
- $V_s = 900 \div 1.200 \text{ m/s}$  per il bed - rock flyschoidale.

Nell'allegato 6 si descrive nel dettaglio la strumentazione adottata, le strisce indagate ed i risultati ottenuti, anche riscontrabili negli elaborati 0129TST01176 e 0129TST01177.

Roma, Novembre 2014

Il Direttore Tecnico  
Dott. Ing. Michelangelo LENTINI

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>		Pagina <b>38</b>	Di <b>38</b>

## 8. ALLEGATI

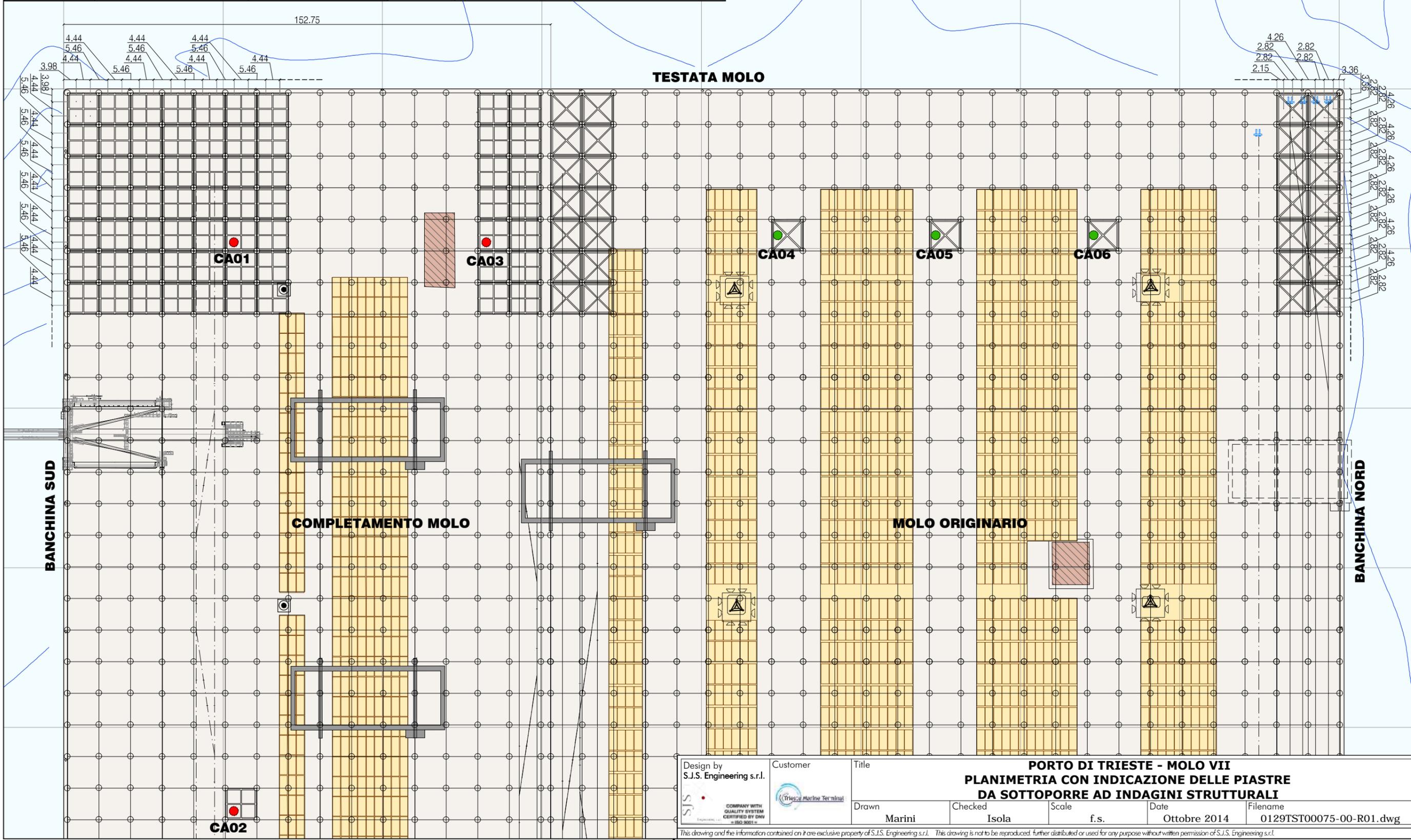
### INDAGINI

- Allegato 1: Planimetria indagini sulle strutture esistenti
  - Allegato 2: Video delle indagini sulle strutture esistenti (allegato fuori testo – cd)
  - Allegato 3: Relazione tecnica indagini diagnostiche distruttive e non distruttive
  - Allegato 4: Rapporti di prova - profili di penetrazione ioni cloruro
  - Allegato 5: Report prospezioni sismiche a riflessione, rilievo multibeam, rilievo magnetometrico e side scan sonar
  - Allegato 6: Report prospezioni sismiche a rifrazione
-

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	<b>ALLEGATO</b>

## ALLEGATO 1- PLANIMETRIA INDAGINI SULLE STRUTTURE ESISTENTI

LEGENDA			
<b>CAROTAGGIO PIASTRE '60</b>	●	<b>CAROTAGGIO PIASTRE '80</b>	●
<b>COORDINATE GAUSS-BOAGA FUSO EST (DATUM ROMA 1940)</b>			
<b>PALO</b>	<b>NORD</b>	<b>EST</b>	
<b>CA01</b>	<b>5053546,3055</b>	<b>2423129,032</b>	
<b>CA02</b>	<b>5053610,3881</b>	<b>2423295,2868</b>	
<b>CA03</b>	<b>5053620,134</b>	<b>2423100,5231</b>	
<b>CA04</b>	<b>5053704,6079</b>	<b>2423065,5764</b>	
<b>CA05</b>	<b>5053750,7926</b>	<b>2423047,7569</b>	
<b>CA06</b>	<b>5053797,0038</b>	<b>2423029,9275</b>	



Design by S.J.S. Engineering s.r.l.	Customer 	Title <b>PORTO DI TRIESTE - MOLO VII</b>			
		<b>PLANIMETRIA CON INDICAZIONE DELLE PIASTRE</b> <b>DA SOTTOPORRE AD INDAGINI STRUTTURALI</b>			
Drawn Marini	Checked Isola	Scale f.s.	Date Ottobre 2014	Filename 0129TST00075-00-R01.dwg	
<small>This drawing and the information contained on it are exclusive property of S.J.S. Engineering s.r.l. This drawing is not to be reproduced, further distributed or used for any purpose without written permission of S.J.S. Engineering s.r.l.</small>					

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento  <b>0129TST01020-00-R04</b>
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	<b>ALLEGATO</b>

## ALLEGATO 2 - VIDEO DELLE INDAGINI SULLE STRUTTURE ESISTENTI

**(Allegato fuori testo – CD)**

---

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	<b>ALLEGATO</b>

**ALLEGATO 3 - RELAZIONE TECNICA INDAGINI DIAGNOSTICHE DISTRUTTIVE E  
NON DISTRUTTIVE**

---



Committente:	<b>TMT SPA – PUNTO FRANCO NUOVO, MOLO VII - TRIESTE</b>
Società incaricata dell'indagine	<b>GEOSYNTECH SRL – VIA CICERONE, 4 - TRIESTE</b>
Cantiere :	<b>PORTO DI TRIESTE – AMPLIAMENTO MOLO VII</b>
Direttore Lavori :	<b>Dott. Geol. Carlo Alberto Masoli</b>
Elaborato :	<b>Relazione tecnica indagini diagnostiche non distruttive volte alla caratterizzazione dello stato conservativo delle piastre in calcestruzzo dell'impalcato del Molo VII</b>
Rapporto di prova :	685/2014
Codice laboratorio :	6315/14 – n. accettazione 4669-4670-4679-4682
Data :	24/10/14

Il Tecnico	A. Nadalin	Ing. Giovanni Pozzetto
------------	------------	------------------------



Associazione Laboratori  
 di Ingegneria  
 e Geotecnica



Azienda Certificata da SQS  
 UNI EN ISO9001:2008  
 n. 30861



## INDICE

<b>1.</b>	<b><u>PREMESSA</u></b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b><u>DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA'</u></b>	<b>3</b>
2.1	PERSONALE E STRUMENTAZIONE	3
2.2	METODOLOGIA DI PROVA – TEST PACHOMETRICO	3
2.3	METODOLOGIA DI PROVA – TEST ULTRASONICO	4
2.4	METODOLOGIA DI PROVA – TEST DI DUREZZA SUPERFICIALE (SCLEROMETRICO)	4
2.5	METODOLOGIA DI PROVA – METODO SONREB	4
2.6	METODOLOGIA DI PROVA – VIDEOISPEZIONE	5
2.7	METODOLOGIA DI PROVA – DETERMINAZIONE DELLA PROFONDITÀ DI CARBONATAZIONE E DETERMINAZIONE DEL PROFILO DI PENETRAZIONE DEGLI IONI CLORURO	5
<b>3.</b>	<b><u>ACQUISIZIONE DATI E RISULTATI SPERIMENTALI</u></b>	<b>5</b>
<b>4.</b>	<b><u>INQUADRAMENTO E PLANIMETRIA DELL'OPERA</u></b>	<b>19</b>
<b>5.</b>	<b><u>ALLEGATO</u></b>	<b>20</b>



## **1. PREMESSA**

Su incarico e per conto della società Geosyntech srl lo scrivente laboratorio è stato incaricato ad eseguire una campagna di indagini conoscitiva e descrittiva della struttura portante della soletta del Molo VII. Tali indagini sono consistite in indagine magnetometrica, indagine ultrasonica, sclerometrica e per la determinazione della resistenza a compressione dei calcestruzzi. Tali indagini sono state correlate infine con il metodo SONREB. Sono inoltre state verificate le profondità di carbonatazione e profondità di penetrazione degli ioni cloruro. Le indagini sono state eseguite in data 8-9 e 13-14 ottobre 2014.

## **2. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA'**

Le specifiche attività per lo svolgimento delle indagini in oggetto sono state le seguenti:

- identificazione delle strutture da descrivere;
- preparazione delle aree di prova;
- effettuazione delle prove;
- elaborazione dei risultati e redazione della relazione tecnica.

Le strutture indagate sono le piastre prefabbricate posizionate sopra alle teste dei pali infissi a mare. Tale piastre in calcestruzzo armato, di dimensione 10 x 10 metri fanno da basamento al pacchetto stradale del Molo VII. Sono stati indagati 6 punti di indagine identificati dalla Committente. A tali punti sono stati assegnate le sigle progressive da CA 01 a CA 06. Il posizionamento dei punti è indicato nella planimetria in allegato. I dettagli relativi alle prove in oggetto, le attrezzature utilizzate ed i risultati sperimentali sono riportati nel seguito.

### **2.1 Personale e strumentazione**

Le indagini sono state effettuate da una squadra composta da n. 2 tecnici specializzati ed in possesso di certificazione di II livello come previsto da UNI EN ISO 9712 da "Bureau Veritas" per prove PND per le tipologie (UT) ultrasuoni, (SC) prove sclerometriche, (PC) prove di carico e (MG) magnetometriche.

### **2.2 Metodologia di prova – Test pachometrico**

Il Test pachometrico ha avuto lo scopo di individuare i ferri di armatura presenti e di stimarne (ove possibile) diametro e spessore del copriferro.

Trattandosi di un'indagine non distruttiva ed indiretta, il rilievo pachometrico presenta un certo grado di incertezza, soprattutto in presenza di strutture di ridotte dimensioni, copriferro di spessore esiguo o di ferri di armatura ravvicinati (in relazione alla risoluzione della sonda) che risultano quindi rilevabili ma non distinguibili in numero e nei diametri stimati.

Il pachometro rientra nei metodi magnetici delle indagini non distruttive, in quanto sfrutta le proprietà magnetiche del ferro per la localizzazione delle armature.

Il funzionamento del pachometro si basa sul principio dell'induzione magnetica.



Lo strumento consiste in una sonda emittente un campo magnetico collegata ad una unità di elaborazione digitale ed acustica.

La sonda è fatta scorrere lungo la superficie del calcestruzzo armato e dall'assorbimento del campo magnetico si è in grado di determinare la posizione delle armature, lo spessore del copriferro e, con buona approssimazione, il diametro dei ferri. L'attrezzatura utilizzata è il modello P331 B della Elcometer

### **2.3 Metodologia di prova – Test ultrasonico**

Il metodo (norma UNI EN 12504-4) è una tecnica di indagine basata sulla misura del tempo di propagazione di vibrazioni a frequenze superiori alla soglia dell'udibile (ultrasuoni) tra 2 punti di un corpo elastico.

In corrispondenza dei punti di misura vengono posizionati due trasduttori di tipo piezoelettrico (sonde) che hanno la proprietà di trasformare una tensione elettrica in energia meccanica e viceversa. La sonda emittente, sollecitata da un treno di impulsi ad alta tensione, genera onde di pressione che costituiscono il fascio ultrasonoro il quale, dopo aver attraversato il materiale, raggiunge la sonda ricevente. Questa a sua volta trasforma la pressione acustica ricevuta in un segnale elettrico che opportunamente amplificato viene elaborato dal computer per poter essere visionato in fase di acquisizione come onda elastica. Determinando il tempo zero di partenza del segnale ed il tempo di arrivo del primo impulso e conoscendo preliminarmente la distanza di percorrenza del segnale, è possibile determinare la velocità di percorrenza del treno ultrasonoro nel materiale indagato.

L'attrezzatura utilizzata per le prove è una centralina di acquisizione elettronica MCHA della Boviar S.r.l con trasduttori piezometrici.

### **2.4 Metodologia di prova – Test di durezza superficiale (sclerometrico)**

Il metodo (norma UNI EN 12504-2) si basa sulla corrispondenza esistente tra il carico unitario di rottura a compressione e la durezza superficiale del conglomerato. Le prove sclerometriche vengono utilizzate per stimare, con le dovute limitazioni del procedimento, la resistenza a compressione del calcestruzzo. Tale prova viene eseguita mediante l'uso di uno sclerometro. Il principio di funzionamento dello sclerometro è che una massa scagliata da una molla colpisce un pistone a contatto con la superficie ed il risultato della prova viene espressa come distanza di rimbalzo della massa. L'indice sclerometrico determinato può essere utilizzato sia per la valutazione dell'uniformità del calcestruzzo in sito che per delimitare le zone di calcestruzzo di scarsa qualità o deteriorato presenti nelle strutture. La sola valutazione di resistenza del calcestruzzo viene riportata con una precisione di circa il 20% vista la non omogeneità ed anisotropicità del materiale.

L'attrezzatura utilizzata è lo sclerometro GEI Concrete D/12/SC0006 della Boviar con relativa incudine di taratura IT GEI matr. B/11/IT0001.

### **2.5 Metodologia di prova – Metodo SONREB**

Il metodo SONREB (SONic REBound) è un metodo di indagine non distruttivo sul calcestruzzo indurito. Esso è un metodo che si basa su correlazioni di tipo sperimentale tra la resistenza e la velocità degli ultrasuoni combinata con il valore dell'indice di rimbalzo per ottenere una stima del valore di resistenza del calcestruzzo. La forma analitica che sembra meglio descrivere il legame tra i due parametri non distruttivi e la resistenza (cubica) stimata  $R_s$  del calcestruzzo in situ è:



$$R_s = a N^b V^c$$

ove le costanti a, b e c dipendono da diversi fattori legati alle modalità che caratterizzano la campagna sperimentale.

Per poter meglio uniformare le curve di correlazione ottenibili con tale espressione esponenziale è raccomandato tarare tali risultati con risultati di resistenza R ottenuti da alcune carote di calcestruzzo estratte in prossimità dei punti di indagine non distruttivi.

## **2.6 Metodologia di prova – Videoispezione**

Il metodo di indagine in oggetto prevede l'ispezione dei fori di carotaggio mediante videocamera predisposta all'uso. Nella fattispecie sono state utilizzate una videocamera endoscopica Somikon mod. PX-3714-675 con risoluzione 1280x720 ed un endoscopio industriale Italeco SK-11P100 con risoluzione 640x480.

## **2.7 Metodologia di prova – Determinazione della profondità di carbonatazione e determinazione del profilo di penetrazione degli ioni cloruro**

Il metodo (secondo norma UNI EN 9944) prevede, per determinare la profondità di carbonatazione, di spruzzare la superficie del provino appena estratto con una soluzione all'1% in alcol etilico di fenolftaleina. Tale soluzione vira al rosso a contatto con materiali il cui PH sia maggiore di circa 9.2 e rimane incolore per valori minori. Pertanto viene determinata in millimetri la profondità di carbonatazione.

Per determinare il profilo di penetrazione degli ioni cloruro vengono estratti, secondo il metodo Volhard, i cloruri dal calcestruzzo con acqua o con acido nitrico e successivamente viene determinato il dosaggio degli ioni estratti per argentometria. Tale determinazione, effettuata a diverse profondità, determina l'aumento di concentrazione di tali ioni ad un determinato tempo rispetto al contenuto totale già presente inizialmente.

## **3. ACQUISIZIONE DATI E RISULTATI SPERIMENTALI**

Per programmare la campagna di indagine si è fatto riferimento a alle tavole di Progetto Esecutivo Generale per il " Completamento del Molo VII nel bacino E.F. Duca D'Aosta del Porto di Trieste" del 1983. Da tali tavole si evince che le Piastre Tipo hanno una dimensione di 10.0 x 10.0 m e sono percorse da nervature di rinforzo ortogonali a metà della lunghezza dei 4 lati.

Per poter indagare tali superfici si è provveduto ad asportare il pacchetto stradale impostato superiormente alle piastre. Esso è genericamente composto da uno strato superficiale di conglomerato bituminoso di spessore variabile tra i 3 e gli 8 cm, di una platea di calcestruzzo magro di spessore variabile nei vari punti tra i 5 ed i 22 cm poggiante su di un misto cementato a varia pezzatura di spessore compreso tra i 18 e di 33 cm.

Nella seguente tabella vengono indicati gli spessori punto per punto.



	Punto indagine					
	CA 01	CA 02	CA 03	CA 04	CA 05	CA 06
Conglomerato bituminoso (cm)	8	7	3	6	4	6
Calcestruzzo magro (cm)	5	8	10	16	22	20
Misto cementato ( cm)	33	30	33	18	16	9+8*

\* Nel punto CA 06 al di sotto del calcestruzzo magro sono presenti 9 cm di pietrame grossolano di diametro massimo 8 cm e 8 cm di misto cementato

In seguito sono indicati in planimetria i posizionamenti dei punti di indagine, numerati progressivamente da CA 01 a CA 06.



Committente	GEOSYNTECH srl
Cantiere	AMPLIAMENTO MOLO VII
Località	Trieste
Punto Indagine	CA 01

### TEST PACHOMETRICO

Armature					
Longitudinale			Trasversale		
Passo	mm	200	Passo	mm	200
Diametro	mm	14	Diametro	mm	14
Copriferro rilevato	mm	75	Copriferro rilevato	mm	>80

Copriferro inferiore misurato	mm	60
-------------------------------	----	----

Profondità di carbonatazione	mm	0
------------------------------	----	---

### TEST ULTRASONICO

Velocità ultrasuoni media rilevata	m/sec	4741
Velocità ultrasuoni media rilevata carota	m/sec	4665

### TEST SCLEROMETRICO

Indice medio di rimbalzo	Ir	47
--------------------------	----	----

### PROVA DI COMPRESSIONE

Valore resistenza rottura $f_c$	N/mm <sup>2</sup>	72,7
---------------------------------	-------------------	------

### METODO SONREB (Norme RILEM NDT)

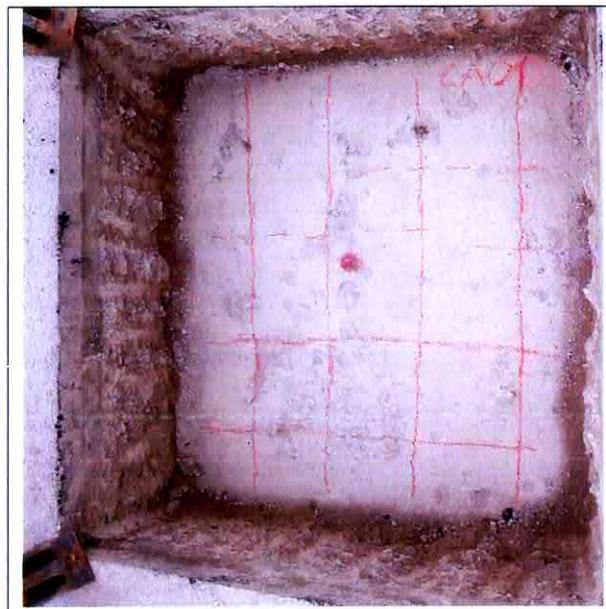
Valore resistenza $f_c$ stimata	N/mm <sup>2</sup>	70,3
---------------------------------	-------------------	------



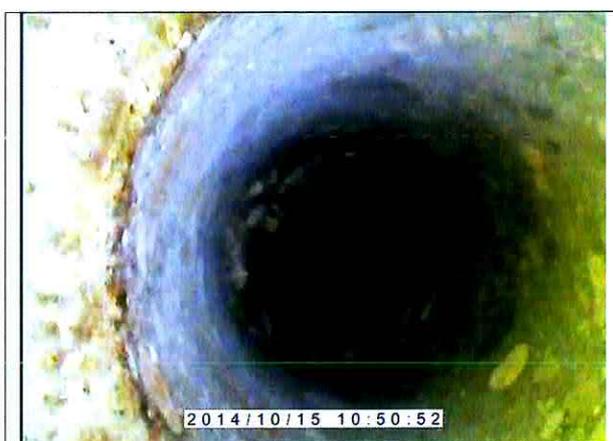
Committente	GEOSYNTECH srl
Cantiere	AMPLIAMENTO MOLO VII
Località	Trieste
Punto Indagine	CA 01



Visione generale punto indagine



Griglia rilievo pacometrico



Calcestruzzo integro. Non sono presenti evidenti segni di ammaloramento del calcestruzzo

Videoispezione 1 – Ingresso foro



Calcestruzzo integro. Non sono presenti evidenti segni di ammaloramento del calcestruzzo. Fondo foro presenza di barre d'armatura di 14 mm. Spessore piastra 280 mm.

Videoispezione 2



Committente	GEOSYNTECH srl
Cantiere	AMPLIAMENTO MOLO VII
Località	Trieste
Punto Indagine	CA 02

### TEST PACHOMETRICO

#### Armature

Longitudinale			Trasversale		
Passo	mm	200	Passo	mm	200
Diametro	mm	14	Diametro	mm	14
Copriferro rilevato	mm	60	Copriferro rilevato	mm	70

Copriferro inferiore misurato	mm	42
-------------------------------	----	----

Profondità di carbonatazione	mm	0
------------------------------	----	---

### TEST ULTRASONICO

Velocità ultrasuoni media rilevata	m/sec	4718
Velocità ultrasuoni media rilevata carota	m/sec	4755

### TEST SCLEROMETRICO

Indice medio di rimbalzo	Ir	46
--------------------------	----	----

### PROVA DI COMPRESSIONE

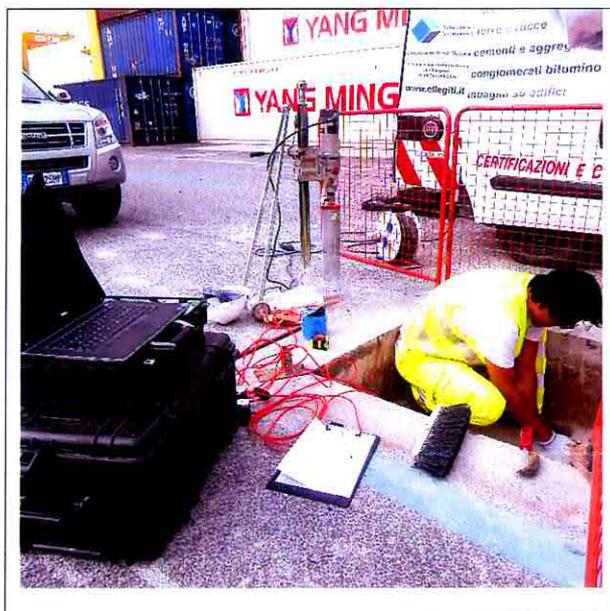
Valore resistenza rottura $f_c$	N/mm <sup>2</sup>	63,1
---------------------------------	-------------------	------

### METODO SONREB (Norme RILEM NDT )

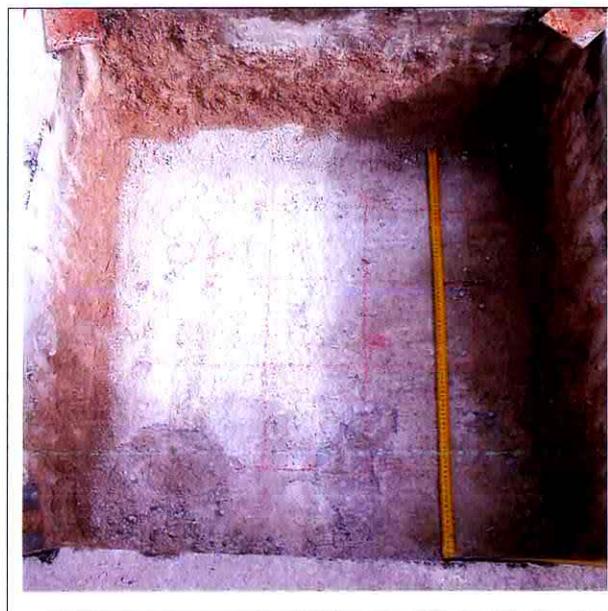
Valore resistenza $f_c$ stimata	N/mm <sup>2</sup>	70,2
---------------------------------	-------------------	------



Committente	GEOSYNTECH srl
Cantiere	AMPLIAMENTO MOLO VII
Località	Trieste
Punto Indagine	CA 02



Visione generale punto indagine



Griglia rilievo pacometrico



Calcestruzzo integro. Non sono presenti evidenti segni di ammaloramento. Presenza di barre d'armatura diam. 14 mm a 60 mm dal top.

Videoispezione 1 – Ingresso foro



Calcestruzzo integro. Non sono presenti evidenti segni di ammaloramento. Fondo foro presenza di barre d'armatura di 14 mm. Spessore piastra 260mm.

Videoispezione 2



Committente	GEOSYNTECH srl
Cantiere	AMPLIAMENTO MOLO VII
Località	Trieste
Punto Indagine	CA 03

### TEST PACHOMETRICO

Armature					
Longitudinale			Trasversale		
Passo	mm	200	Passo	mm	200
Diametro	mm	14	Diametro	mm	14
Copriferro rilevato	mm	65	Copriferro rilevato	mm	75

Copriferro inferiore misurato	mm	48
-------------------------------	----	----

Profondità di carbonatazione	mm	0
------------------------------	----	---

### TEST ULTRASONICO

Velocità ultrasuoni media rilevata	m/sec	4611
Velocità ultrasuoni media rilevata carota	m/sec	4741

### TEST SCLEROMETRICO

Indice medio di rimbalzo	Ir	50
--------------------------	----	----

### PROVA DI COMPRESSIONE

Valore resistenza rottura $f_c$	N/mm <sup>2</sup>	72,0
---------------------------------	-------------------	------

### METODO SONREB (Norme RILEM NDT)

Valore resistenza $f_c$ stimata	N/mm <sup>2</sup>	74,4
---------------------------------	-------------------	------



Committente	GEOSYNTECH srl
Cantiere	AMPLIAMENTO MOLO VII
Località	Trieste
Punto Indagine	CA 03



Visione generale punto indagine



Griglia rilievo pacometrico



Calcestruzzo integro. Non sono presenti evidenti segni di ammaloramento

Videoispezione 1 – Ingresso foro



Calcestruzzo integro. Non sono presenti evidenti segni di ammaloramento. Fondo foro presenza di barre d'armatura diam. 14 mm. Spessore piastra 260 mm.

Videoispezione 2



Committente	GEOSYNTECH srl
Cantiere	AMPLIAMENTO MOLO VII
Località	Trieste
Punto Indagine	CA 04

### TEST PACHOMETRICO

Armature					
Longitudinale			Trasversale		
Passo	mm	200	Passo	mm	200
Diametro	mm	14	Diametro	mm	14
Copriferro rilevato	mm	41	Copriferro rilevato	mm	48

Copriferro inferiore misurato	mm	-
-------------------------------	----	---

Profondità di carbonatazione	mm	8
------------------------------	----	---

### TEST ULTRASONICO

Velocità ultrasuoni media rilevata	m/sec	4583
Velocità ultrasuoni media rilevata carota	m/sec	4625

### TEST SCLEROMETRICO

Indice medio di rimbalzo	lr	38
--------------------------	----	----

### PROVA DI COMPRESSIONE

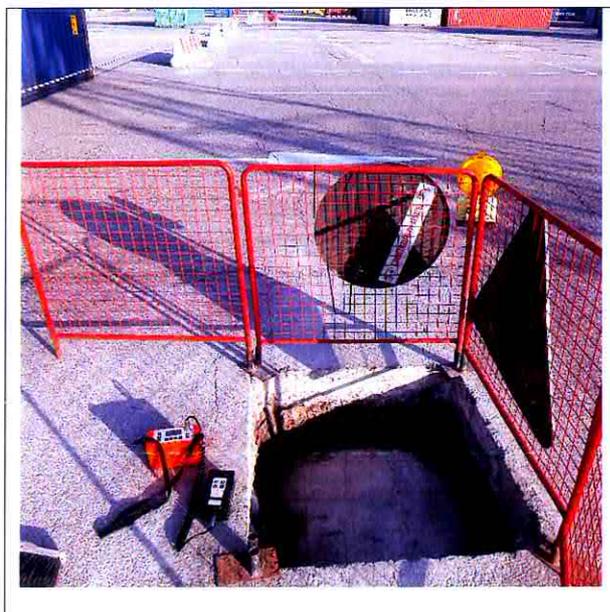
Valore resistenza rottura $f_c$	N/mm <sup>2</sup>	40,8
---------------------------------	-------------------	------

### METODO SONREB (Norme RILEM NDT)

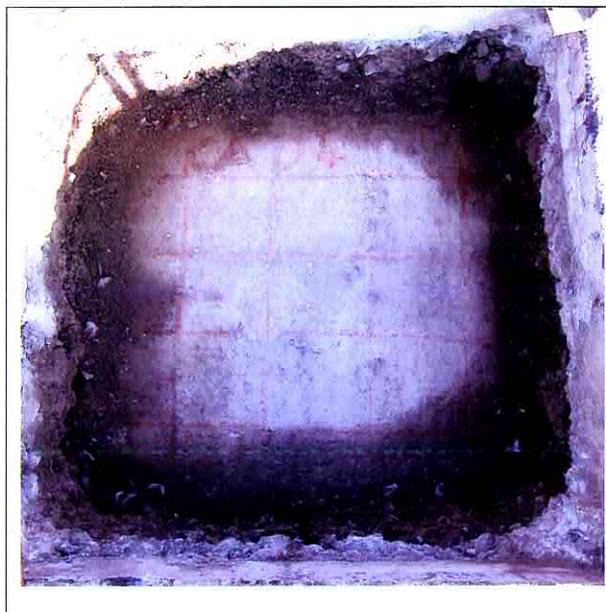
Valore resistenza $f_c$ stimata	N/mm <sup>2</sup>	50,6
---------------------------------	-------------------	------



Committente	GEOSYNTECH srl
Cantiere	AMPLIAMENTO MOLO VII
Località	Trieste
Punto Indagine	CA 04



Visione generale punto indagine



Griglia rilievo pacometrico



Calcestruzzo integro. Non sono presenti evidenti segni di ammaloramento.

Videospedizione 1 – Ingresso foro



Calcestruzzo integro. Non sono presenti evidenti segni di ammaloramento. Spessore piastra 230 mm

Videospedizione 2



Committente	GEOSYNTECH srl
Cantiere	AMPLIAMENTO MOLO VII
Località	Trieste
Punto Indagine	CA 05

### TEST PACHOMETRICO

Armature					
Longitudinale			Trasversale		
Passo	mm	200	Passo	mm	200-250
Diametro	mm	14	Diametro	mm	14
Copriferro rilevato	mm	47	Copriferro rilevato	mm	59

Copriferro inferiore misurato	mm	39
-------------------------------	----	----

Profondità di carbonatazione	mm	7
------------------------------	----	---

### TEST ULTRASONICO

Velocità ultrasuoni media rilevata	m/sec	4272
Velocità ultrasuoni media rilevata carota	m/sec	4496

### TEST SCLEROMETRICO

Indice medio di rimbalzo	Ir	39
--------------------------	----	----

### PROVA DI COMPRESSIONE

Valore resistenza rottura $f_c$	N/mm <sup>2</sup>	47,4
---------------------------------	-------------------	------

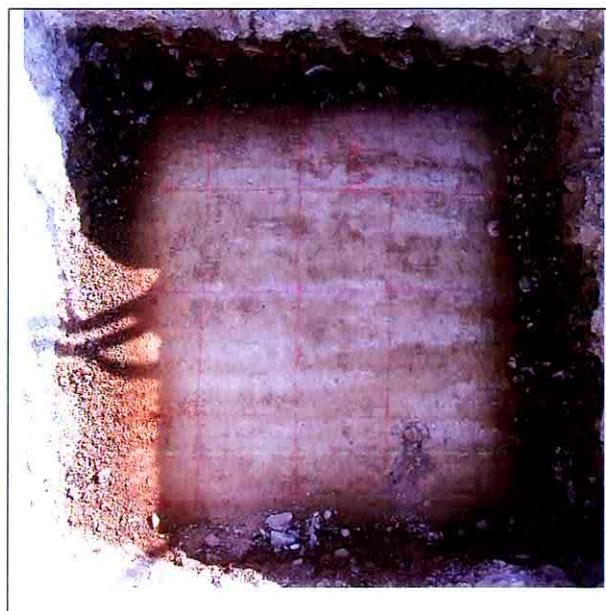
### METODO SONREB (Norme RILEM NDT)

Valore resistenza $f_c$ stimata	N/mm <sup>2</sup>	42,3
---------------------------------	-------------------	------

Committente	GEOSYNTECH srl
Cantiere	AMPLIAMENTO MOLO VII
Località	Trieste
Punto Indagine	CA 05



Visione generale punto indagne



Griglia rilievo pacometrico



Calcestruzzo integro. Non sono presenti evidenti segni di ammaloramento

Videispezione 1 – Ingresso foro



Calcestruzzo integro. Non sono presenti evidenti segni di ammaloramento. Fondo foro presenza barre d'armatura diam. 14 mm. Spessore piastra 230 mm

Videispezione 2



Committente	GEOSYNTECH srl
Cantiere	AMPLIAMENTO MOLO VII
Località	Trieste
Punto Indagine	CA 06

### TEST PACHOMETRICO

Armature					
Longitudinale			Trasversale		
Passo	mm	200	Passo	mm	180-250
Diametro	mm	14	Diametro	mm	14
Copriferro rilevato	mm	59	Copriferro rilevato	mm	45

Copriferro inferiore misurato	mm	40
-------------------------------	----	----

Profondità di carbonatazione	mm	6
------------------------------	----	---

### TEST ULTRASONICO

Velocità ultrasuoni media rilevata	m/sec	4448
Velocità ultrasuoni media rilevata carota	m/sec	4473

### TEST SCLEROMETRICO

Indice medio di rimbalzo	lr	43
--------------------------	----	----

### PROVA DI COMPRESSIONE

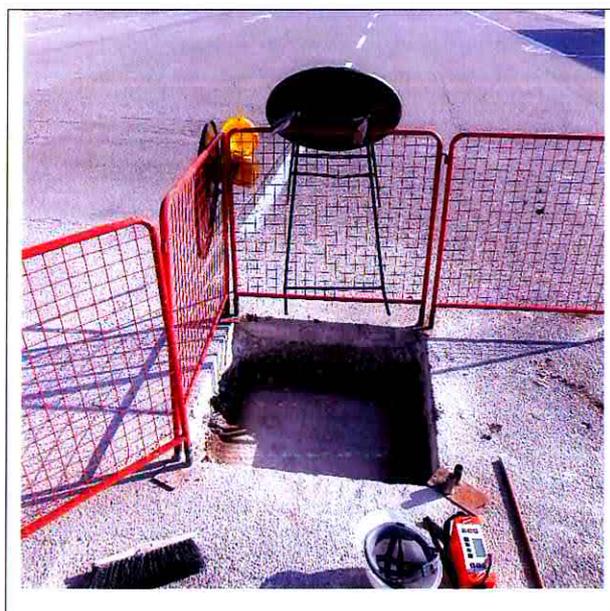
Valore resistenza rottura $f_c$	N/mm <sup>2</sup>	46,6
---------------------------------	-------------------	------

### METODO SONREB (Norme RILEM NDT)

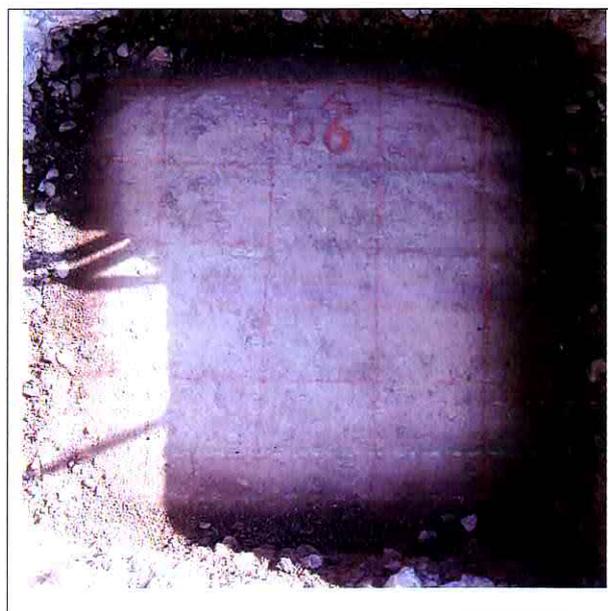
Valore resistenza $f_c$ stimata	N/mm <sup>2</sup>	54,0
---------------------------------	-------------------	------



Committente	GEOSYNTECH srl
Cantiere	AMPLIAMENTO MOLO VII
Località	Trieste
Punto Indagine	CA 06



Visione generale punto indagine



Griglia rilievo pacometrico



Calcestruzzo integro. Non sono presenti evidenti segni di ammaloramento

Videispezione 1 – Ingresso foro



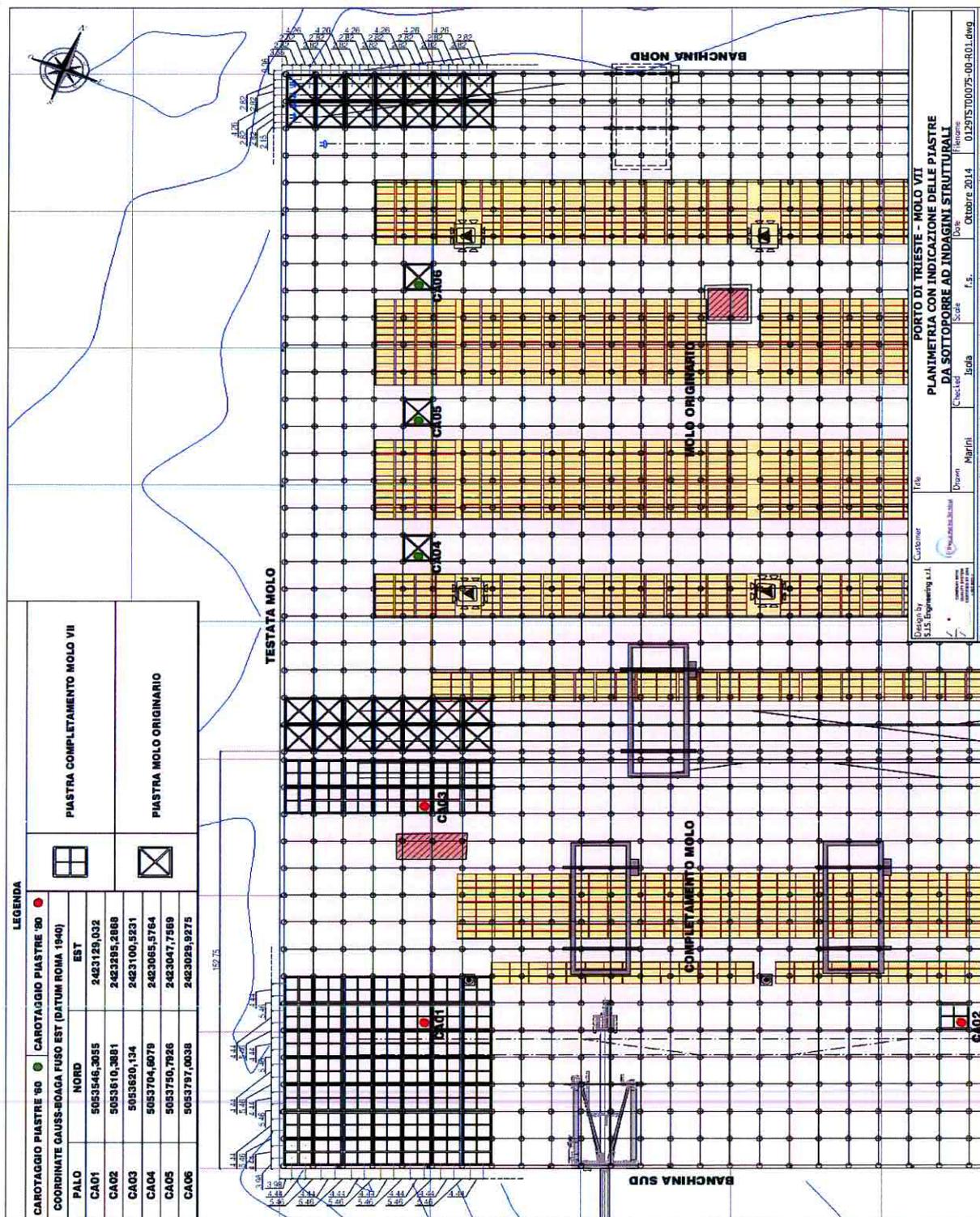
Calcestruzzo integro. Non sono presenti evidenti segni di ammaloramento. Fondo foro presenza barre d'armatura diam. 14 mm. Spessore piastra 230 mm

Videispezione 2



#### 4. INQUADRAMENTO E PLANIMETRIA DELL'OPERA

Planimetria del sito indagato





**5. ALLEGATO**

Certificati di prova di resistenza a rottura per compressione su provini di calcestruzzo n.10307

L.G.T. Laboratorio Geotecnico Srl

Via Pasteur, 2A/1 - 33050 Ruda (Udine) – tel. 0431 30151 fax 0431 372967 email info@ellegiti.it

**Prove su Calcestruzzi, Acciai e Aggregati**

Laboratorio autorizzato ai sensi dell'Art. 59 del DPR 380 del 06/06/2001 ad eseguire e certificare prove su materiali da costruzione

**Prove su materiali e prodotti per uso strutturale**

Legge 1086/71 - Decreto Ministeriale 14/01/2008 Norme Tecniche sulle Costruzioni

CERTIFICATO DI PROVA N. **11384**

Lavoro N. **6315/14**

**Committente** T.M.T S.p.A  
Punto Franco Nuovo - Molo VII - Trieste (TS)

**Cantiere** AUTORITA' PORTUALE DI TRIESTE  
Porto di Trieste - Allungamento Molo VII

**Località** Trieste (TS)

**Richiedente** Dott. Geol. C.A. Masoli

**Richiesta n.** \_\_\_\_\_ del **09/10/14**

**Verbale di accettazione n.** **4670** del **09/10/14**

**Impr. esecutrice** Geosyntech srl - Via Cicerone,4 - Trieste

**Prelievo a cura di** LGT- Laboratorio Geotecnico srl

Dichiarazione :

- Il presente certificato si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prova .
- La riproduzione, anche parziale, del Certificato di prova deve essere autorizzata per iscritto dal Laboratorio .

Spazio destinato alla marca da bollo in caso d'uso

**Data di emissione** **28/10/14**

Lo Sperimentatore: Sig. A. Nadalin

Il Direttore del Laboratorio: Ing. Giovanni Pozzetto

Azienda Certificata ISO 9001:2008 N. 30861

pag. 1/2

**ALIQ**

ASSOCIAZIONE LABORATORI DI INGEGNERIA E GEOTECNICA





	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	<b>ALLEGATO</b>

**ALLEGATO 4 - RAPPORTI DI PROVA - PROFILI DI PENETRAZIONE IONI  
CLORURO**

L.G.T. Laboratorio Geotecnico Srl

Via Pasteur, 2A/1 - 33050 Ruda (Udine) - tel. 0431 30151 fax 0431 372967 email info@ellegiti.it

**Prove su Calcestruzzi, Acciai e Aggregati**

Laboratorio autorizzato ai sensi dell'Art. 59 del DPR 380 del 06/06/2001 ad eseguire e certificare prove su materiali da costruzione

**Prove su materiali e prodotti per uso strutturale**

Legge 1086/71 - Decreto Ministeriale 14/01/2008 Norme Tecniche sulle Costruzioni

RAPPORTO DI PROVA N.

11483

Lavoro N.

6315/14

Committente

T.M.T S.p.A  
Punto Franco Nuovo - Molo VII - Trieste (TS)

Cantiere

AUTORITA' PORTUALE DI TRIESTE  
Porto di Trieste - Allungamento Molo VII

Località

Trieste (TS)

Richiedente

Dott. Geol. C.A. Masoli - Geosyntech srl  
Via Cicerone,4 - Trieste

Richiesta n.

-

del

09/10/14

Materiale analizzato

Carote in calcestruzzo

Verbale accettazione N.

4670

del

09/10/14

Prelievo a cura di

LGT- Laboratorio Geotecnico srl

Dichiarazione :

- Il presente certificato si riferisce esclusivamente ai campioni sottoposti a prova .
- La riproduzione, anche parziale, del Certificato di prova deve essere autorizzata per iscritto dal Laboratorio .

Spazio destinato alla marca da bollo in caso d'uso

Data di emissione 17/11/14

Lo Sperimentatore: Dott.ssa Simonetta Ceschia

Il Direttore del Laboratorio: Ing. Giovanni Pozzetto

Azienda Certificata ISO 9001:2008 N. 30861

pag. 1/2

ALIQ

ASSOCIAZIONE LABORATORI DI INGEGNERIA E GEOTECNICA



**Prove su Calcestruzzi, Acciai, Materiali da Costruzione e Aggregati**

Laboratorio autorizzato ai sensi dell'Art. 59 del DPR 380 del 06/06/2001 ad eseguire e certificare prove su materiali da costruzione

**Prove su materiali e prodotti per uso strutturale**

RAPPORTO DI PROVA N. 11483

Lavoro N. 6315/14

**Determinazione (quantitativa) del profilo di penetrazione degli ioni cloruri Cl<sup>-</sup> nel calcestruzzo (UNI 9944)**Materiale analizzato: **Carote in calcestruzzo**

Data di fine prove 17/11/14

**SIGLA CAMPIONE CAROTA**

Polvere ottenuta dalla macinazione di dischetto - distanza dalla base (cm)	C01	C02	C03	C04	C05	C06
	% di Cloruri (Cl-%)					
1 cm	0,035	0,033	0,032	0,043	0,045	0,043
2 cm	0,018	0,018	0,018	0,021	0,026	0,032
3 cm	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,007
4 cm	0,018	0,018	0,018	0,014	0,016	non rilevabile

## Note:

Valori di riferimento per il cls sono riportati nella UNI EN 206 - 1 : 2006 - P.to 5.2.7 Prospetto 10

Data di emissione 17/11/14

Lo Sperimentatore: Dott.ssa  
Simonetta Ceschia

Il Direttore del Laboratorio: Ing. Giovanni Pozzetto

Azienda Certificata ISO 9001:2008 N. 30861

pag.2/2

PS 75-01/22007 Rev.1

ALIQ ASSOCIAZIONE LABORATORI DI  
INGEGNERIA E GEOTECNICA

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	<b>ALLEGATO</b>

**ALLEGATO 5 - REPORT PROSPEZIONI SISMICHE A RIFLESSIONE, RILIEVO  
MULTIBEAM, RILIEVO MAGNETOMETRICO E SIDE SCAN SONAR**

**INDAGINI GEOLOGICO-GEOTECNICHE E  
PROSPEZIONI SISMICHE A MARE PER  
IL PROGETTO DEFINITIVO DI AMPLIAMENTO  
DEL MOLO VII DEL PORTO DI TRIESTE**

*Relazione Tecnica Prospezioni Sismiche a  
Riflessione, Rilievo Multibeam, Rilievo  
Magnetometrico e Side Scan Sonar*

## 1.0) PREMESSA

A seguito dell'incarico conferitoci da TMT - Trieste Marine Terminal spa, per quanto al progetto definitivo di ampliamento del Molo VII del Porto di Trieste, sono state eseguite delle indagini a mare consistite nell'esecuzione di prospezioni sismiche a riflessione, rilievo batimetrico di dettaglio mediante sistema Multibeam, rilievo delle anomalie magnetiche e rilievo del fondale marino mediante sistema Side Scan Sonar, i cui risultati sono compendati nella presente relazione tecnica e nei relativi elaborati allegati.

## 2.0) PROSPEZIONI SISMICHE A RIFLESSIONE (SUB BOTTOM PROFILER)

La metodologia di acquisizione mediante prospezioni geofisiche di tipo sismico a mare è largamente utilizzata nell'esplorazione del sottosuolo ed è basata sulla generazione di onde acustiche che si propagano nel fluido e nel sottosuolo e che, in corrispondenza di interfacce caratterizzate da un contrasto di impedenza acustica, vengono riflesse. L'energia riflessa è registrata da sensori sensibili alle variazioni di pressione, denominati idrofoni. Il tipo di sorgente, la configurazione ed il numero dei sensori sono stati definiti in base alla profondità dal fondale marino delle interfacce da rilevare. Per l'esecuzione del rilievo è stata utilizzata una sorgente sismica controllata con frequenza variabile, denominata *chirp*. Le principali caratteristiche del sistema utilizzato sono riassunte nella tabella seguente.

Caratteristiche del sistema	<i>EdgeTech 3200-XS Topside</i> <i>SB-216S Towfish</i>
Frequenza	2 – 16 kHz
Range impulsi selezionabili	2 – 16, 2 – 12, 2 – 10 kHz
Risoluzione verticale	6 – 10 cm
Penetrazione	6 m (in sabbie grossolane), 80 m (in peliti)
Angolo di apertura	16° - 23°
Profondità massima di operatività	300 m
<i>Trasmitters</i>	2
<i>Arrays</i> di ricevitori	4
Velocità operativa/massima	3-4 / 7 nodi
Temperatura di utilizzo	0° - +40° C
<i>Interfaccia</i>	
<i>Monitor</i>	SVGA 800x600 72 Hz
Controllo	Trackball
Temperatura di utilizzo	0° - +40° C
<i>Peso e dimensioni</i>	
Dimensioni <i>Towfish</i>	105 L x 67 W x 40 H cm
Peso <i>Towfish</i>	76 kg a secco

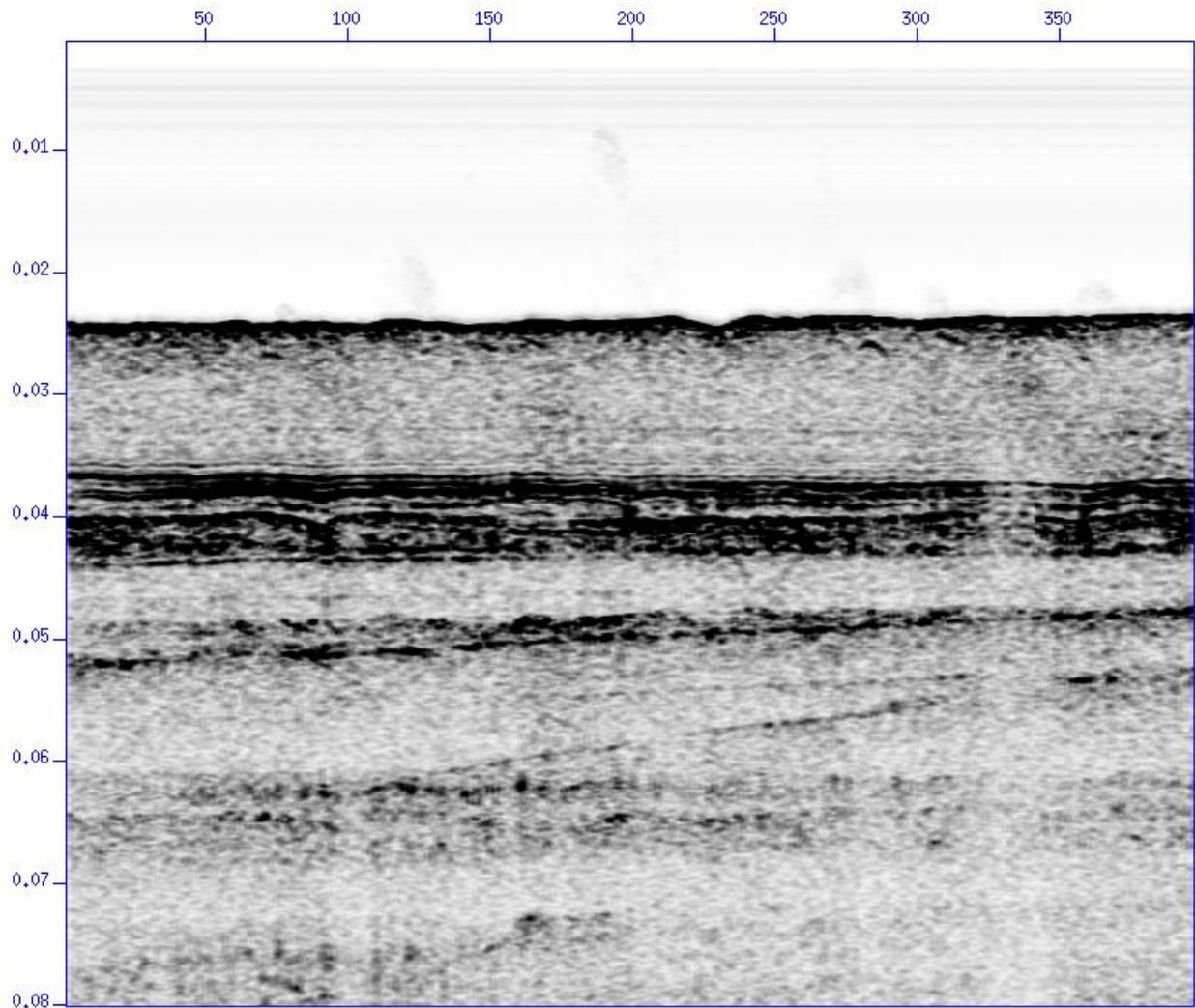
Per il rilievo Sub Bottom Profiler è stato utilizzato un sistema costituito da un *Towfish* (modello Edgetech SB-216S) trainato a poppa dell'imbarcazione. Le operazioni di messa a mare del *Towfish* sono state svolte utilizzando un sistema di sollevamento motorizzato. Il *Towfish* è stato collegato all'imbarcazione mediante l'apposito cavo di traino in dotazione. La profondità di immersione è stata fissata a 2.0 m tramite l'utilizzo di un apposito galleggiante. Il rilievo è stato condotto a velocità compresa tra 3 e 4 nodi, tipicamente 3.5 nodi. In assetto dinamico, questa configurazione ha determinato una profondità effettiva di 1.5 m dal livello medio mare. Un'opportuna correzione statica è stata applicata per riferire il dato alla superficie del mare che, oltre all'effettiva profondità della sorgente/ricevitori, ha tenuto conto del livello di marea. I parametri utilizzati nelle fasi di acquisizione sono di seguito riportati:

- *up-sweep:* 2-10Khz;
- *lunghezza:* 20 ms;
- *frequenza di energizzazione:* 2 Hz.

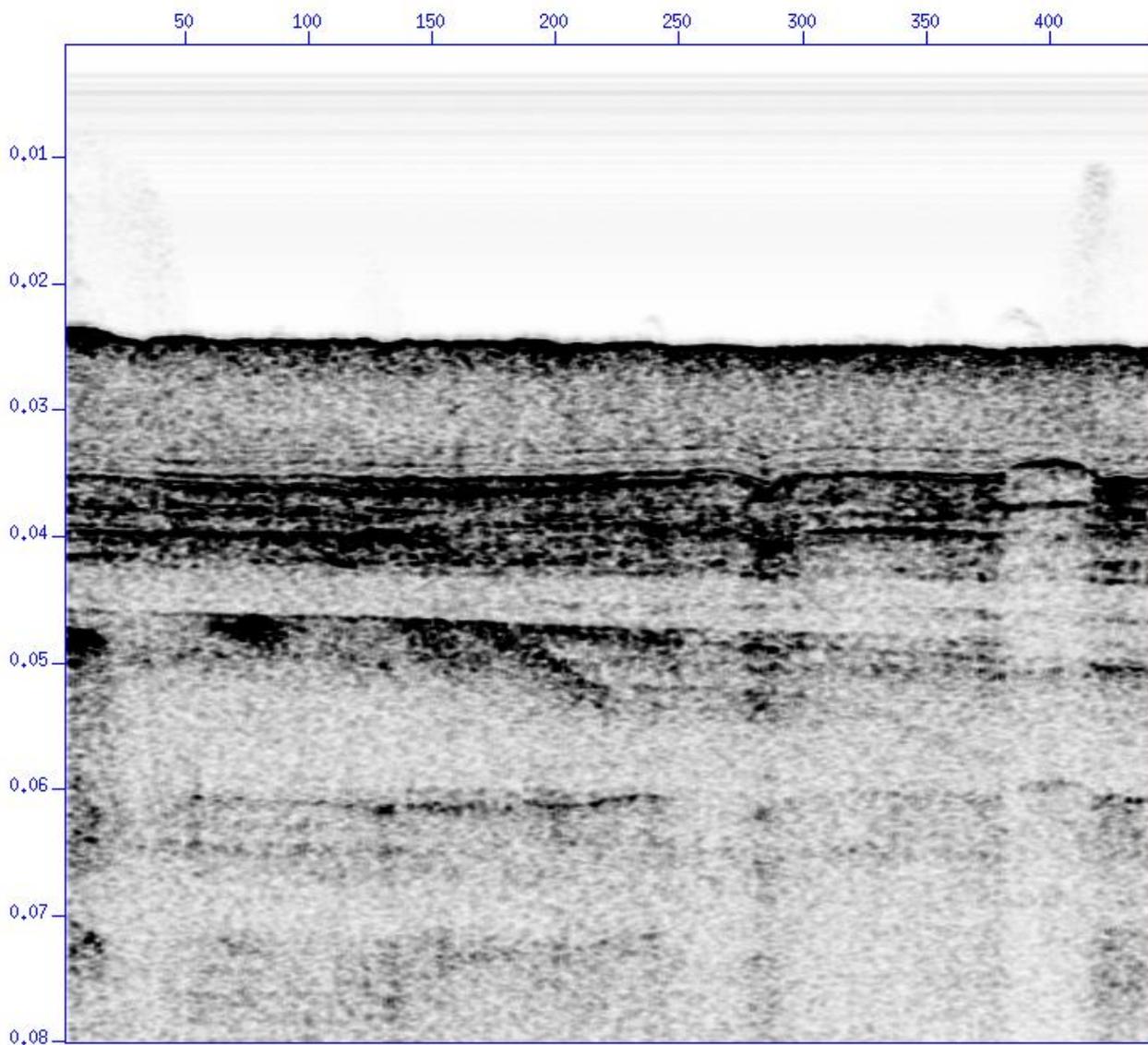
L'elaborazione o *processing* è la sequenza di operazioni di trattamento delle onde acustiche registrate, al fine di produrre una sezione sismica in tempi (twt). Gli obiettivi dell'elaborazione sono rappresentati dall'attenuazione del rumore (sorgente ed ambientale) e dal recupero della corretta posizione dell'energia distribuita lungo la traccia. Per l'elaborazione dei dati è stata utilizzata la seguente sequenza:

- *correlazione;*
- *trasformata di Hilbert;*
- *aggiornamento header con coordinate;*
- *correzione statica a datum l.m.m.m;*
- *editing;*
- *recupero divergenza sferica.*

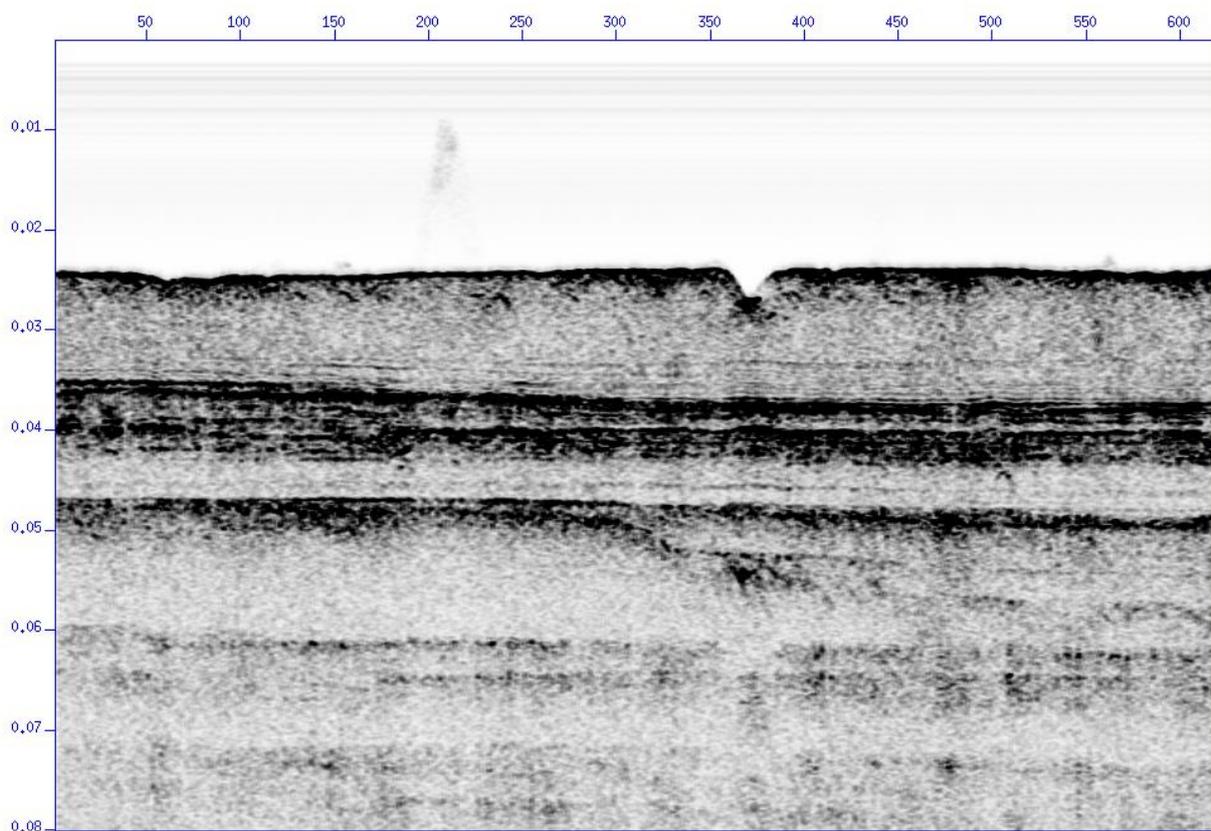
Sono di seguito riportati alcuni esempi dei dati sismici così elaborati.



*Sezione sismica in tempi (s) perpendicolare al fronte del Molo VII (NE a destra).  
L'orizzonte con pendenze crescenti verso sinistra, compresa tra 50 e 65 ms, corrisponde al  
"top" della formazione flyschoida*



*Sezione sismica in tempi (s) perpendicolare al fronte del Molo VII (NE a sinistra).  
L'orizzonte con pendenze crescenti verso destra, compresa tra 45 e 60 ms, corrisponde al  
"top" della formazione flyschoida*



*Sezione sismica in tempi (s) parallela al fronte del Molo VII (NW a sinistra).*

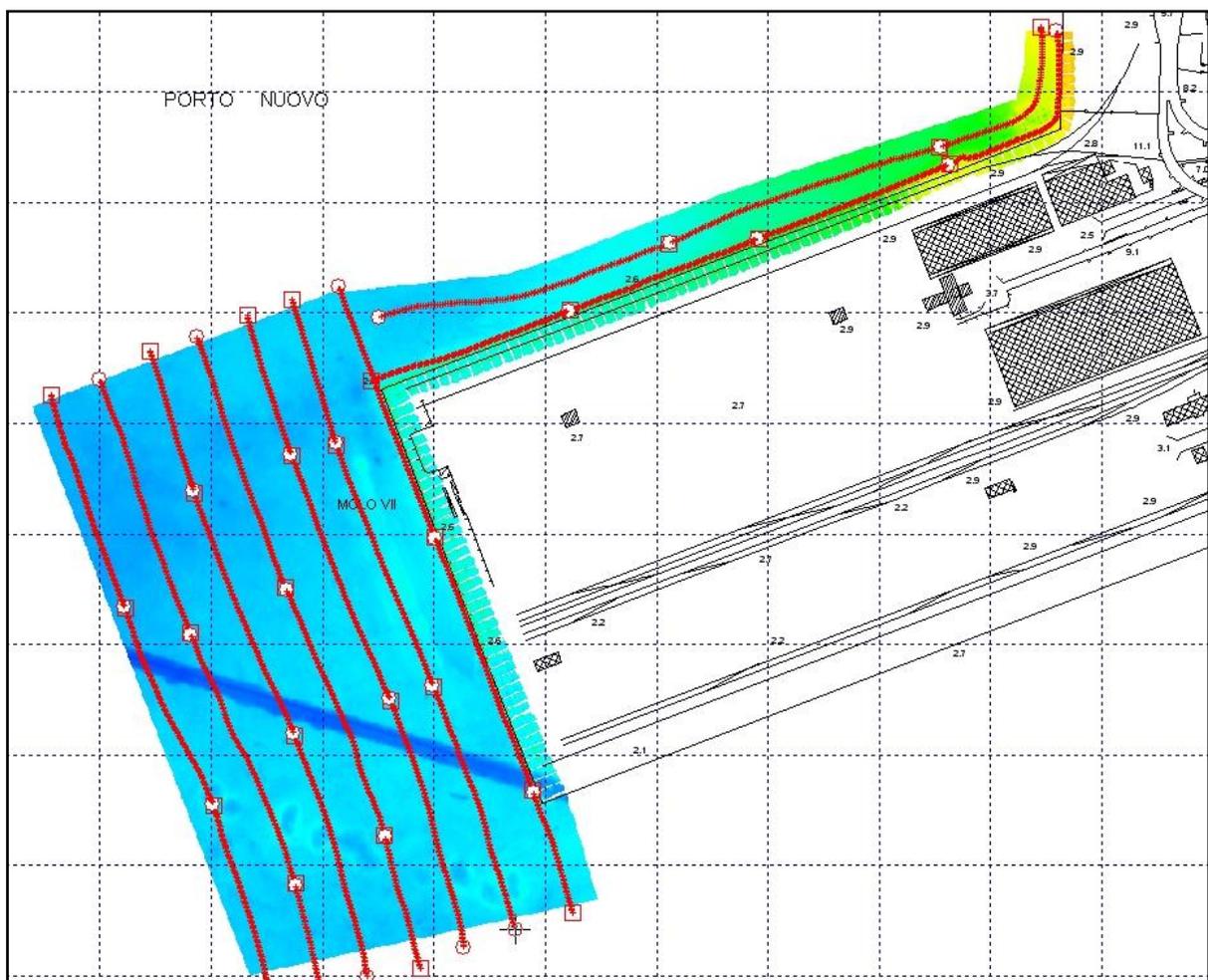
*L'orizzonte con pendenze crescenti verso destra, compresa tra 47 e 60 ms, corrisponde al "top" della formazione flyschoida*

In generale la buona qualità dei dati ha consentito il riconoscimento dell'assetto litostratigrafico presente nell'area, caratterizzato da sedimenti fini limoso-argilloso-sabbiosi in contatto con il "top" del substrato flyschoida. Per la calibrazione dei dati sismici, sono state utilizzate le stratigrafie di perforazione dei n° 11 sondaggi a mare eseguiti nell'area di studio, mentre per la conversione in profondità è stata utilizzata una velocità media dei sedimenti fini pari a 1.605 m/s.

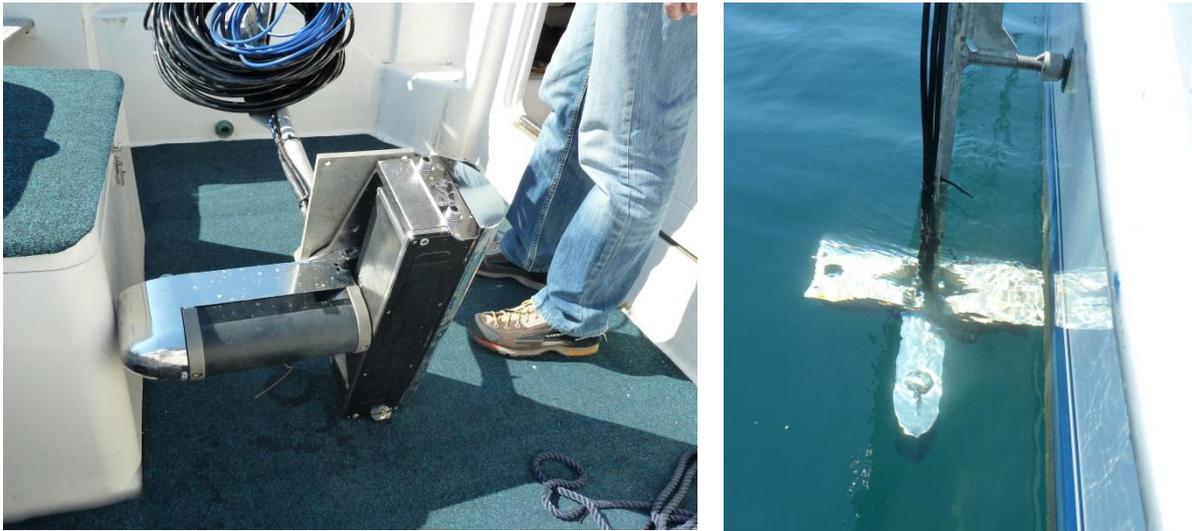
Infine, in tutte le linee sismiche acquisite è stata riconosciuta l'interfaccia sismostratigrafica rappresentata dalla base dei sedimenti fini e dal "top" della formazione flyschoida.

### 3.0) RILIEVO BATIMETRICO MEDIANTE SISTEMA MULTIBEAM

L'indagine strumentale condotta è stata finalizzata alla migliore definizione dell'assetto del fondale marino e per la verifica di eventuali "target" presenti nell'area di ampliamento del Molo VII. In particolare, le indagini svolte sono state finalizzate alla definizione dell'assetto batimetrico e morfologico del fondale marino e per individuare eventuali anomalie presenti sul fondale. Le misure sono state eseguite utilizzando un ecoscandaglio multifascio (*Multibeam*) della Reson modello Seabat 7125, che consente di ottenere simultaneamente 512 beam equidistribuiti sul fondale, con una frequenza massima di 50 impulsi al secondo. Il rilievo è stato svolto sull'intera area di ampliamento del Molo VII e lungo la banchina Nord, percorrendo rotte tra loro parallele a distanza tale da garantire una sovrapposizione dei dati (*overlapping*) di almeno il 20%.



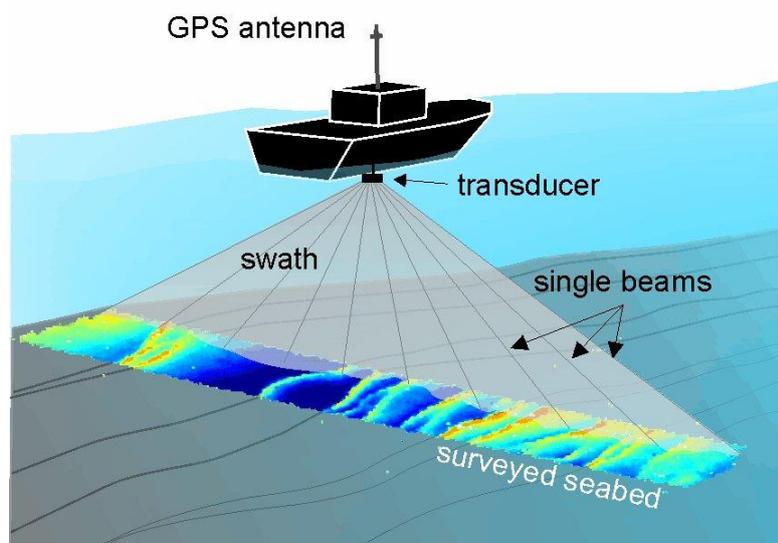
*Area rilevata*



### *Multibeam utilizzato*

L'utilizzo del Multibeam consente di ottenere mappe batimetriche a copertura totale con celle (*pixel*) di dimensioni decimetriche, mediante invio e decodifica simultanea di alcune centinaia di beam equispaziati sul fondale marino con apertura angolare variabile da 120° a 165°.

La risoluzione longitudinale lungo la rotta percorsa è direttamente proporzionale alla velocità del rilievo ed alla frequenza (*ping rate*) con cui vengono emessi gli impulsi acustici, mentre la risoluzione trasversale del dato è legata alla profondità dell'area da investigare ed all'apertura angolare del fascio di emissione. Entrambe queste risoluzioni sono state mantenute mediamente inferiori a 10 cm.



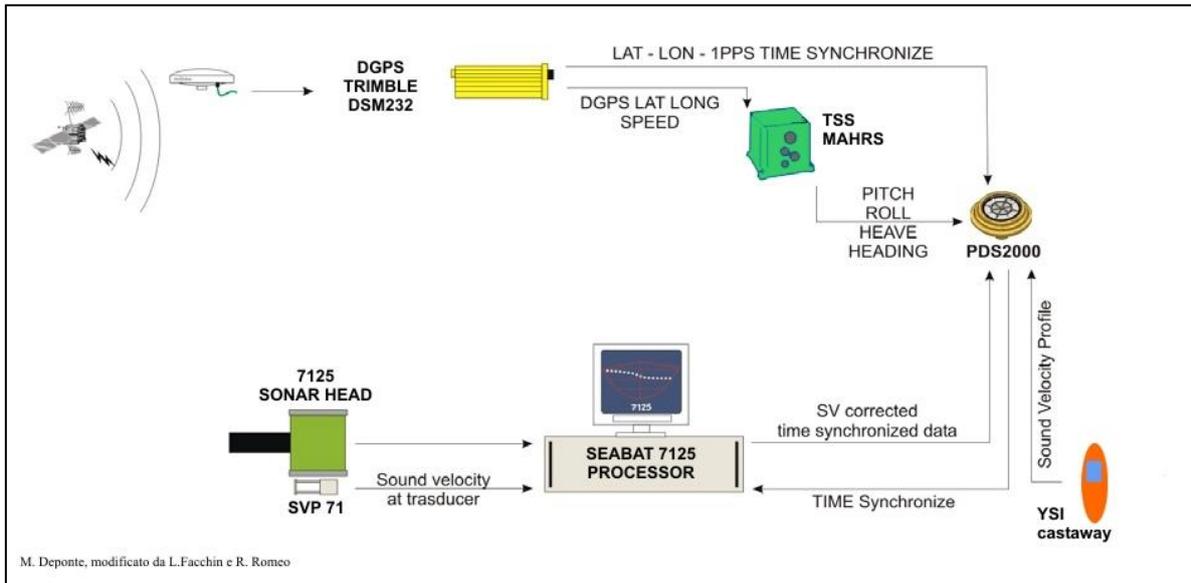
### *Copertura Multibeam*

Un sistema di acquisizione Multibeam è composto da sei elementi fondamentali tra loro interconnessi, ognuno dei quali indispensabili per una corretta validazione dei dati:

- *il sonar Processor;*
- *il trasduttore;*
- *il sensore di moto e girobussola;*
- *Il GPS differenziale;*
- *le sonde di velocità del suono;*
- *il software di acquisizione.*

Il *sonar processor* Reson Seabat 7125 è la componente principale del sistema, che genera l'impulso elettrico che viene mandato al trasduttore e quindi inviato sotto forma di onda acustica al fondale marino. Il trasduttore è composto da una parte trasmittente e da una parte ricevente, formata da un *array* di idrofoni che ricevono gli echi acustici di ritorno; questi echi vengono convertiti in segnali, successivamente elaborati dal *sonar processor* per ottenere il dato finale, sotto forma di 512 valori che costituiscono la cosiddetta spazzata (*swath*). Per validare il dato è necessario acquisire, per ogni impulso inviato, l'assetto dell'imbarcazione in termini di beccheggio (*pitch*), rollio (*roll*), sollevamento legato al moto ondoso (*heave*) e direzione (*heading*); a tal fine è stato utilizzato un sensore di moto con girobussola integrata Teledyne-TSS modello MAHRS. Il valore di rollio viene utilizzato dal *sonar processor* per direzionare l'impulso acustico in modo tale che questo venga inviato sempre al *nadir*. Il Multibeam genera impulsi con una frequenza (*ping rate*) che può arrivare fino a 50 H; quindi, risulta indispensabile una perfetta sincronia nella ricezione di tutti i dati che arrivano al sistema e tale funzione è svolta dal GPS differenziale, che invia al sistema un impulso al secondo per la sincronia degli strumenti. Lo stesso GPS fornisce un accurato posizionamento dei dati ricevuti. Per correggere la traiettoria di un impulso acustico inviato in un fluido è basilare conoscere il corretto valore della velocità del suono nel fluido; per tale motivo è stata utilizzata una sonda SVP che invia i dati in continuo al sonar processor; inoltre, sono stati acquisiti profili di velocità periodici per conoscere il valore della velocità del suono lungo l'intera colonna d'acqua.

I dati elaborati dal *sonar processor* vengono successivamente inviati al software di acquisizione, dove sono georeferenziati e corretti in relazione all'assetto dell'imbarcazione.



### Componenti del sistema Multibeam

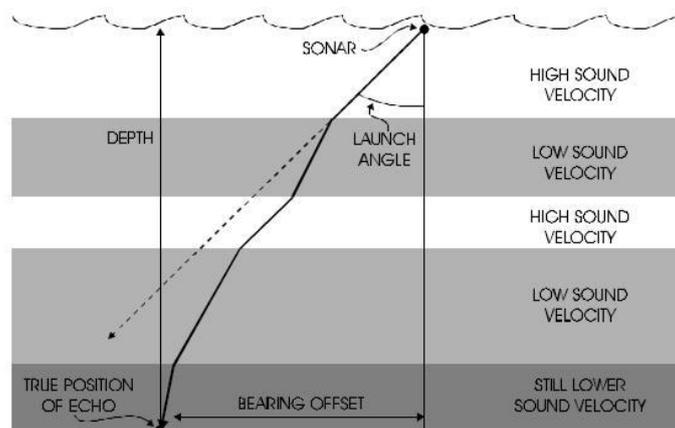
Prima di iniziare l'acquisizione dei dati, sono stati impostati i parametri nel software di acquisizione. In particolare, per i parametri geodetici sono stati utilizzati i seguenti riferimenti.

Ellissoide	WGS84
Proiezione	UTM33 N

Inoltre, per ottenere dati validabili, è necessario introdurre nel software le posizioni precise del trasduttore del Multibeam, del sensore di moto e del GPS. A tal fine, è stato scelto un sistema di riferimento X,Y,Z, con l'asse X centrato sul sensore di moto, l'asse Y coincidente con l'asse longitudinale dell'imbarcazione e l'asse Z centrato sulla linea di galleggiamento.

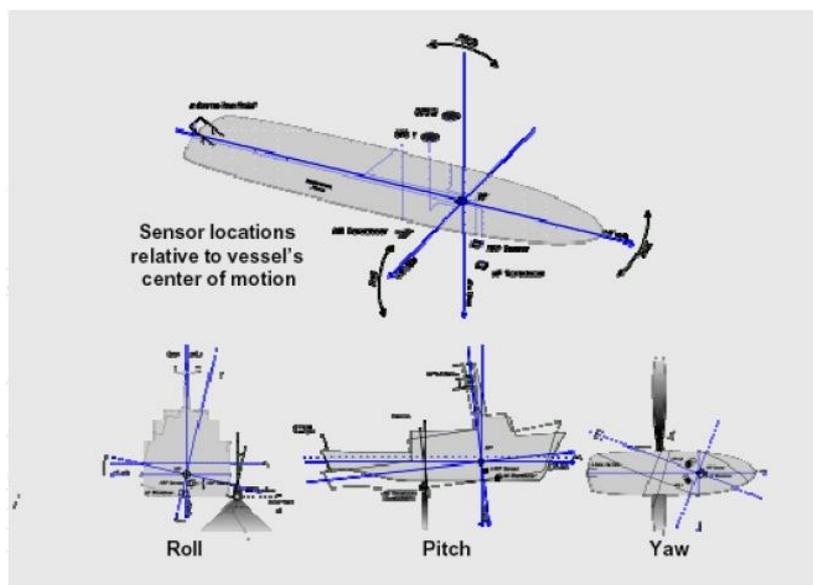
Strumento	X (m)	Y (m)	Z (m)
Trasduttore Multibeam	- 1.27	- 0.60	- 0.60
GPS	- 1.27	- 0.46	+ 2.32
Sensore di moto	0.00	0.00	- 0.233

I profili di velocità del suono sono utilizzati per la correzione della traiettoria dell'impulso acustico lungo la colonna d'acqua. A tal fine, sono stati acquisiti tre profili prima e durante le operazioni di acquisizione mediante sonda CTD YSI CastAway.



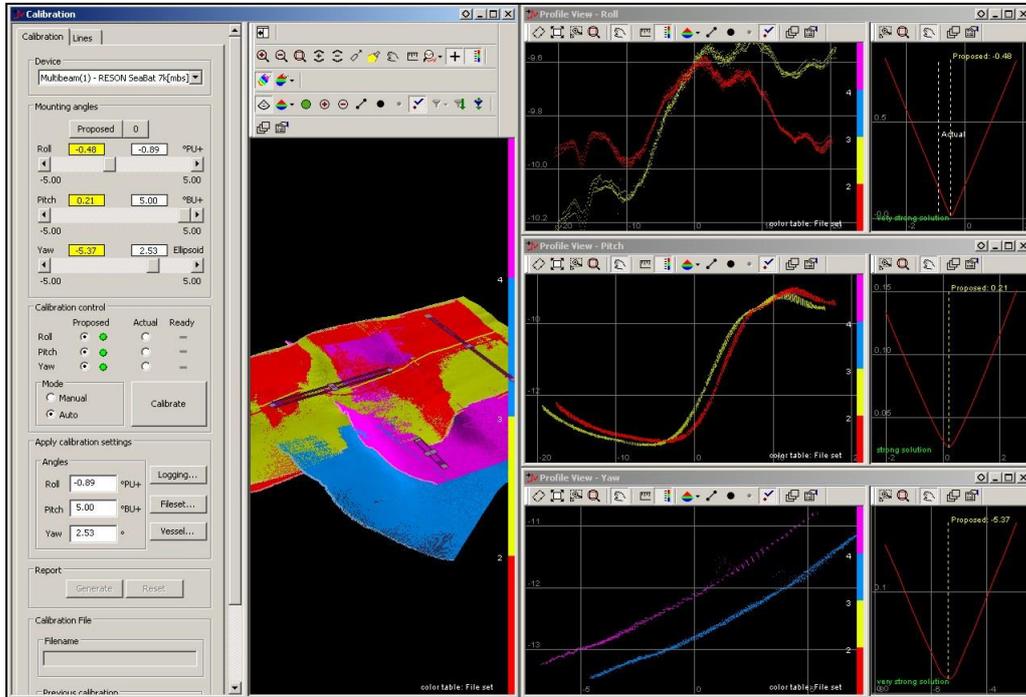
*Traiettoria dell'impulso acustico*

Dopo aver impostato tutti i parametri sopra descritti nel software di acquisizione, si è proceduto alla calibrazione del sistema. L'obiettivo della calibrazione è quello di conoscere gli angoli di installazione del trasduttore (angoli di *pitch*, *roll* e *yaw*) rispetto al sistema di riferimento X,Y,Z, con una precisione del centesimo di grado. Per ottenere una simile precisione, viene eseguita una misura indiretta mediante acquisizione dei dati Multibeam su rotte predefinite con almeno un ostacolo sul fondo. Il software di acquisizione consente di calibrare i dati mediante misurazione dell'errore medio; poi impone un angolo ipotetico di *roll* e, procedendo per approssimazioni successive, calcola l'errore medio in funzione dell'angolo impostato. Da questa procedura si ottiene una funzione a parabola il cui minimo è il valore ottimale da impostare nel sistema.

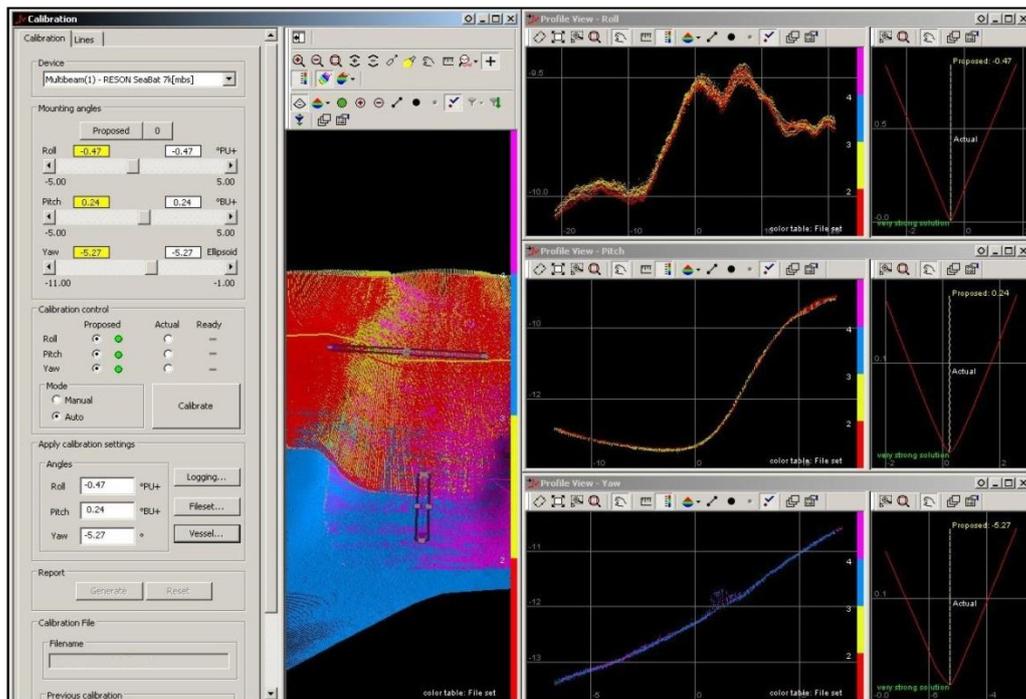


*Angoli di installazione nel sistema XYZ*

Nelle figure successive sono riportate le schermate del software con i profili acquisiti prima e dopo la calibrazione; nella colonna più a destra si può notare l'andamento parabolico della funzione dell'errore.



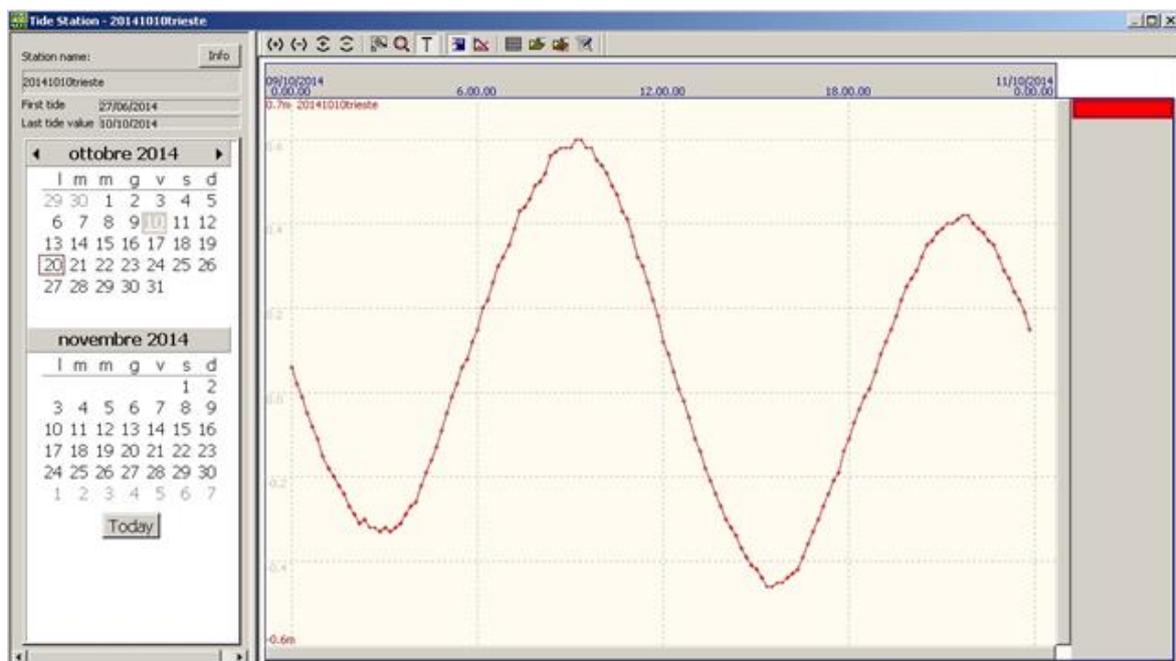
*Profili prima della calibrazione - PDS2000*



*Profili dopo la calibrazione - PDS2000*

Per il rilievo di banchine portuali, è di fondamentale importanza la funzionalità di *Beam Steering*, presente nei Multibeam di ultima generazione. In questa modalità di acquisizione l'impulso acustico inviato dal trasduttore può venir inclinato via software, in modo da aumentare la copertura lungo le pareti verticali. Il rilievo è stato condotto a velocità massima di 4 nodi, in modo da garantire un'elevata risoluzione longitudinale dei dati, mentre la sovrapposizione fra le linee adiacenti (*overlapping*) è stata sempre superiore al 20%.

Tutti i dati batimetrici sono stati corretti utilizzando i dati della stazione mareografica di Trieste della rete nazionale dell'ISPRA. La stazione mareografica, ubicata presso il Molo della Lega Navale, è dotata di capisaldi altimetrici. Ogni caposaldo è riferito al livello medio mare misurato a Genova dall'antico mareografo Thompson. I capisaldi determinano la quota altimetrica mediante livellazione di alta precisione, condotta a partire dalle linee principali stabilite dall'IGM. Tuttavia, dal 07.10.2009, il valore identificato come "livello idrometrico" viene misurato con un nuovo sensore radar, denominato SIAP+MICROS TLR, con precisione millimetrica. I dati così acquisiti sono stati importati nel software di elaborazione PDS2000, che corregge istantaneamente il livello di marea interpolando le misure effettive, in modo da ottenere una curva continua.



*Correzione di marea - PDS2000*

Il software di elaborazione prevede l'applicazione di una serie di filtri automatici, che possono venir impostati anche durante l'acquisizione, per il controllo della qualità dei dati.

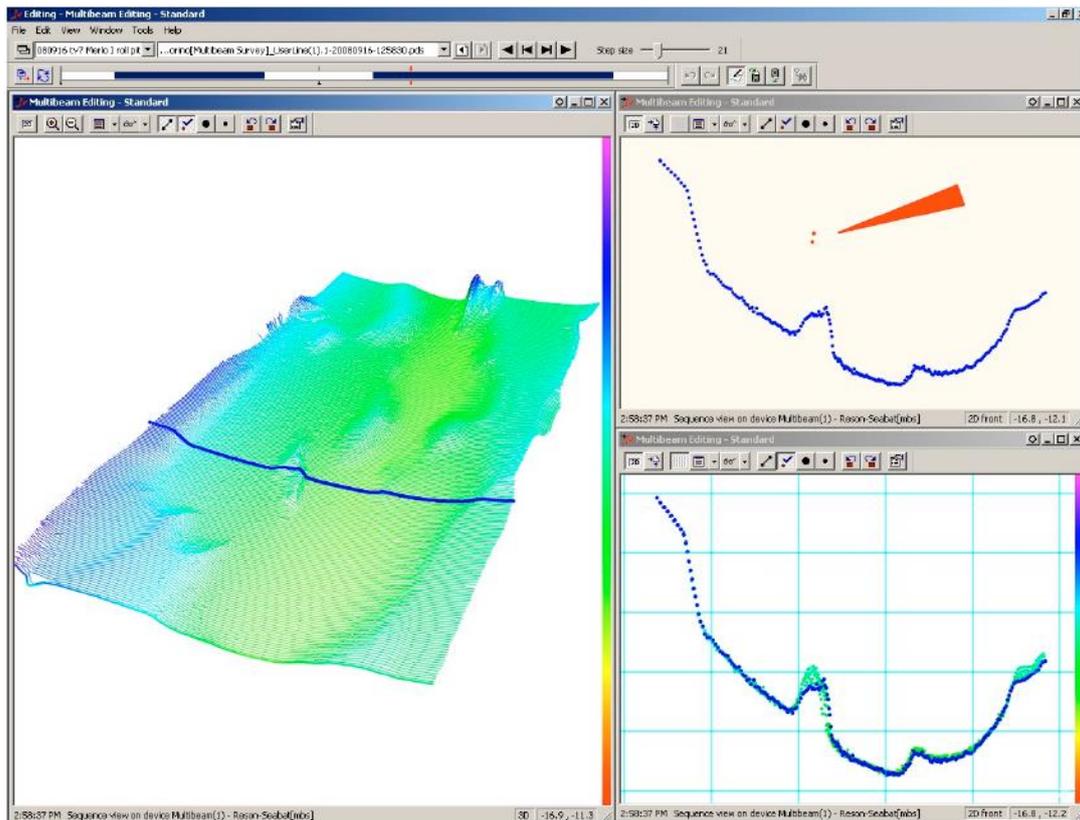
Tali filtri sono:

- *Beam Quality*: elimina i beam che non soddisfano il livello di qualità impostato;
- *Depth*: elimina i beam fuori dal range di profondità minima e massima impostato;
- *Statistic*: elimina i beam che non soddisfano i parametri statistici impostati;
- *Beam reject*: elimina i beam selezionati;
- *Range*: elimina i beam fuori dai valori di range minimo e massimo impostato;
- *Nadir*: elimina i beam al di fuori dei valori angolari impostati;
- *Slope*: elimina i beam che creano un'inclinazione del fondale superiore a quella impostata;
- *Intersect*: elimina i beam che hanno un angolo di intersezione superiore a quello impostato;
- *Flying object*: elimina beam relativi ad oggetti troppo alti rispetto al fondale;
- *IHO error*: elimina dati che non soddisfano i valori di precisione IHO;
- *Custom error*: elimina gli errori di propagazione verticale.

L'applicazione di questi filtri non viene mai fatta in maniera irreversibile e ciò consente all'Operatore di poter variare i parametri dei singoli filtri, applicarli ed eventualmente ripristinare la situazione precedente fino al raggiungimento del risultato ottimale, senza il pericolo di eliminare definitivamente dati validi.

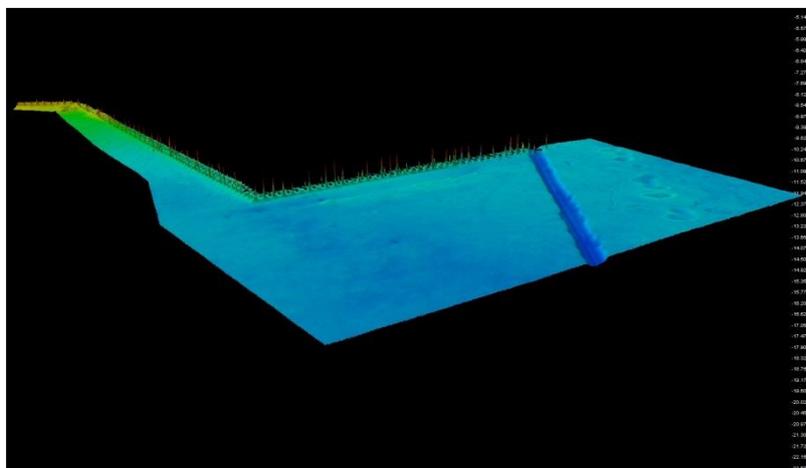
Nell'elaborazione svolta sono stati utilizzati esclusivamente i filtri di *Beam quality*. Il successivo controllo dei dati è stato svolto in maniera manuale per evitare che le strutture delle banchine e di altre opere portuali venissero interpretate erroneamente dal software.

L'*editing* manuale dei dati prevede un *replay* rallentato dei dati, che vengono visualizzati simultaneamente da più punti di vista, in modo che le anomalie possano venir identificate e rimosse.



### *Editing manuale dei dati - PDS2000*

La fase finale dell'elaborazione è consistita nella generazione del modello digitale 3D dell'area; a tal fine, sono state impostate le dimensioni della cella (*pixel*) del DTM desiderato. Tutti i punti che ricadono all'interno della stessa cella vengono mediati in modo da creare un DTM con densità dei punti costante. Nella restituzione dei dati sono stati generati DTM con cella quadrata di 50 cm, 1.0 m, 2.0 m e 5.0 m.



### *Visione 3D del rilievo batimetrico*

#### 4.0) RILIEVO MAGNETOMETRICO

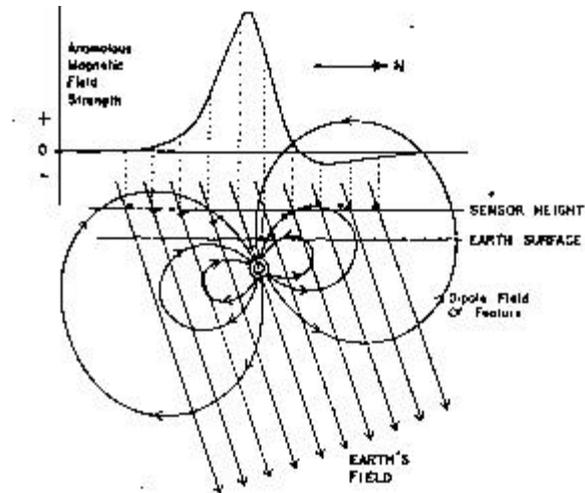
Questa metodologia di indagine consiste nel misurare i valori dell'intensità del C.M.T. (*Campo Magnetico Terrestre*) e successivamente analizzarne le variazioni o anomalie. Dall'analisi di queste anomalie riferite agli strati di terreno più vicini alla superficie è possibile individuare la presenza di formazioni sepolte o, nel caso di rilievi eseguiti in mare, anche in prossimità dell'interfaccia acqua/sedimento. Ovviamente, affinché si possa osservare un cambiamento significativo nelle misure magnetiche è necessario che vi sia un corrispondente contrasto fra le proprietà magnetiche delle diverse strutture e del sedimento che le contiene.

Per il corretto utilizzo degli strumenti di misura, bisogna tener conto che nella prospezione magnetica il sistema di misura mira a valutare essenzialmente l'intensità totale del campo magnetico ed il suo gradiente; in quest'ultimo caso si parla di magnetometria differenziale o gradiometria. Il metodo magnetometrico differenziale o gradiometrico si basa sull'impiego di un magnetometro differenziale o gradiometro, nel quale lo spazio tra i sensori è fisso ed è piccolo rispetto alla distanza dalle sorgenti i cui gradienti sono oggetto di misura.

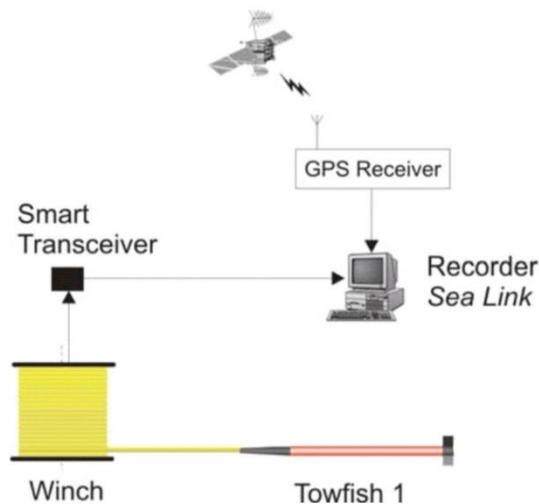
L'informazione relativa al gradiente è particolarmente utile nella ricerca di anomalie superficiali, poiché consente di rimuovere gli effetti dovuti al campo magnetico regionale locale. Le anomalie di gradiente tendono infatti a "risolvere" (scomporre) anomalie complesse nelle loro costituenti individuali; inoltre, è possibile eliminare gli effetti delle variazioni diurne o delle tempeste magnetiche, senza fare ricorso all'ausilio di un secondo magnetometro come stazione base.

Per meglio comprendere come le anomalie magnetiche siano legate alle strutture presenti nel sottosuolo, si esamini un esempio in condizioni ideali. Se il campo magnetico fosse misurato, in condizioni ideali, su una fila di punti sopra un fondale marino pianeggiante ed uniforme, tutti i valori sarebbero gli stessi. Se in questo sedimento vi fosse sepolta una piccola struttura isolata avente una diversa suscettività magnetica, questa influenzerebbe localmente il campo magnetico. Questo campo extra, indotto, è noto come *campo dipolare* che si sommerebbe a quello della Terra, generando una anomalia. Se in queste nuove condizioni vengono rifatte le misure lungo una fila di punti posti al disopra della sorgente, il profilo magnetico

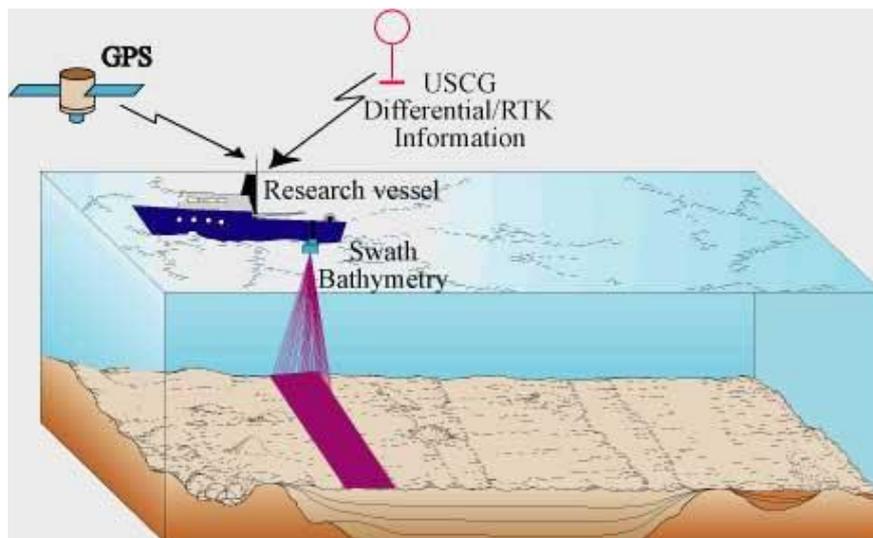
diventerebbe quello della figura seguente. E' bene ricordare che il campo è vettoriale, quindi l'intensità del campo totale è rappresentata da un vettore la cui orientazione dipende dall'orientazione dei vettori componenti (orizzontali N-S, E-O e verticale Z).



Il magnetometro SeaSPY utilizzato nel presente rilievo, misura il campo magnetico ambientale utilizzando una tecnologia basata sulla risonanza magnetica nucleare, applicata specificatamente a nuclei di idrogeno. Il segnale del magnetometro, interamente digitale, viene misurato all'interno del *Towfish* trainato a poppa dell'imbarcazione dove il segnale è più forte e meno soggetto al rumore esterno. Il sensore SeaSPY è omnidirezionale, ovvero la quantità di segnale prodotto dal sensore è completamente indipendente dalla direzione del campo magnetico. Per il rilievo in oggetto è stata utilizzata una configurazione del sensore singolo, trainato a distanza di 19.7 m dalla poppa dell'imbarcazione.



Il sistema di posizionamento utilizzato è rappresentato da un ricevitore GPS con correzione RTK RTCM ottenuta in tempo reale dalla rete FREDNET di proprietà della Regione Friuli Venezia Giulia, composta da numerose stazioni GPS permanenti che permettono di calcolare una *Virtual Reference Station* in prossimità della zona da rilevare.



I dati magnetometrici sono stati acquisiti e memorizzati dal software BOB 2.5.0.0 della Marine Magnetics Underwater Magnetometer, mentre per la navigazione è stato utilizzato il software PDS 2000 della Reson finalizzato all'acquisizione di dati geofisici in ambiente marino. Propedeutica alla fase di acquisizione, è stata la realizzazione di una “crociera”, cioè un database con tutti i parametri necessari per la corretta esecuzione della prospezione marina in oggetto.

La misura degli off-set di installazione è stata effettuata al termine della mobilitazione della strumentazione presso la banchina di ormeggio. Successivamente, è stato inserito l'assetto di partenza della strumentazione nel software PDS2000 e BOB con le posizioni relative a tutti gli strumenti, con particolare attenzione al layback del Towfish del magnetometro.

E' di seguito riportata la tabella relativa agli off-set in metri, riferiti ad un punto arbitrario (Zero Offset), della strumentazione a bordo dell'imbarcazione utilizzata.

OFFSETS			
COG (Centre of Gravity)			
Identificativo	Offset X (m)	Offset Y (m)	Offset Z (m)
Zero Offset	0.00	0.00	0.00
DGPS Trimble DSM 232			
Identificativo	Offset X (m)	Offset Y (m)	Offset Z (m)
Antenna DGPS	0.00	0.00	2.32
Marine Magnetics SsaSPY Marine Magnetometer			
Identificativo	Offset X (m)	Offset Y (m)	Offset Z (m)
SeaSPY	- 19.70	0.00	Da sensore interno

I parametri di acquisizione utilizzati sono di seguito riassunti:

- *Ping rate: 4 Hz*
- *Velocità di acquisizione: 3.5 nodi*
- *Interlinea: 25 metri*

L'autocalibrazione dei dati magnetometrici è stata eseguita tramite una funzione propria del software BOB 2.5.0.0 e verificata a monitor. I dati acquisiti nel corso del rilievo sono stati sottoposti a controllo di qualità ed a prima elaborazione preliminare, direttamente sull'imbarcazione, al fine di accertare la qualità dei dati raccolti e verificare la copertura dell'area. L'elaborazione ed esportazione dei dati è stata eseguita tramite una funzione propria del software BOB 2.5.0.0, successivamente verificata a monitor.

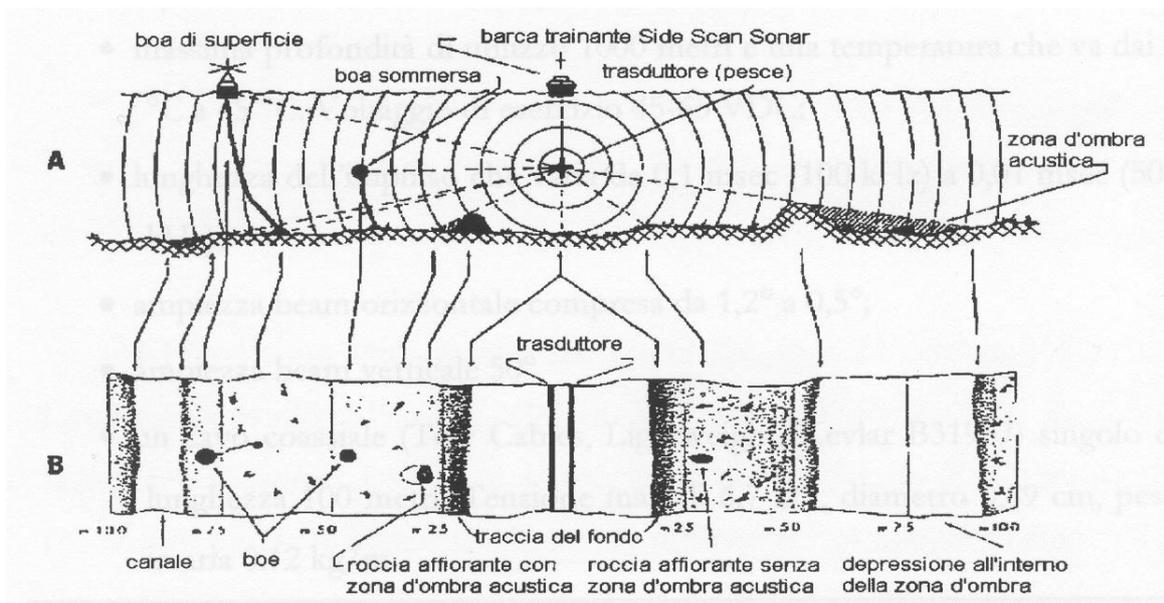
Al termine delle operazioni di processing preliminare, che ha consentito di verificare la qualità dei dati acquisiti, sono stati ottenuti dei dati corretti dal punto di vista planimetrico. Questi dati sono rappresentati da coordinate X,Y e dal valore del campo magnetico rilevato, dove la X corrisponde alla longitudine e la Y alla latitudine. La X e la Y sono state georeferenziate utilizzando una proiezione UTM Fuso 33, Ellissoide WGS84; successivamente, i valori sono stati convertiti nel sistema Gauss-Boaga Fuso Est ed i valori del campo magnetico rilevati sono stati restituiti graficamente ed espressi in nT (nanoTesla).

## 5.0) RILIEVO SIDE SCAN SONAR

Il sonar a scansione laterale (*Side Scan Sonar*) è uno strumento che si basa sulla riflessione e diffrazione del suono in acqua, producendo immagini del fondale a grande scala, simili a fotografie aeree. Per l'acquisizione dei dati, il sonar viene trainato a poppa dell'imbarcazione ed emette onde acustiche verso il basso e lateralmente. I parametri tipici dell'onda acustica di ritorno, quali frequenza e lunghezza d'onda, dipendono dalle caratteristiche litologiche e tessiturali del fondale indagato; ciò significa che roccia e sedimenti grossolani producono più energia riflessa rispetto a sabbia e fango. Un ulteriore fattore che influenza il tipo di risposta acustica è l'angolo di incidenza. Il segnale di ritorno è caratterizzato da ampiezze d'onda deboli e, pertanto, i trasduttori devono possedere particolari caratteristiche. Il segnale così ottenuto ed elaborato attraverso *software* dedicati, viene restituito su uno schermo o registratore grafico e simultaneamente salvato su *hard disk*. La rappresentazione finale dei singoli profili consiste in un sonogramma in scala di grigi (*o colourmap sand, red-green, dark rainbow*, ecc.), proporzionale all'ampiezza del segnale ricevuto. Ne risulta un'immagine simile ad una fotografia successivamente corretta per la distorsione laterale, per la velocità dell'imbarcazione, per l'offset antenna GPS e per le variazioni dell'assetto del *Towfish*, fornendo un'accurata visione in pianta della morfologia del fondale marino, compresa la dimensione e la forma di eventuali oggetti.

Lo strumento è interfacciato con il sistema di navigazione al fine di poter correlare direttamente i dati di navigazione sulla strisciata così acquisita. Sulle registrazioni vengono visualizzate, oltre all'immagine planimetrica del fondale, la profondità cui si trova il trasduttore, i dati di navigazione, i vari parametri utilizzati per ottenere i migliori risultati dal punto di vista visivo (TVG) e per eliminare il rumore di fondo.

Una peculiarità delle registrazioni con *Side Scan Sonar* è data dall'importanza delle ombre generate da oggetti presenti sul fondo, poiché consentono di ottenere una visione tridimensionale dell'immagine e di definirne le altezze. In base alla diversa risposta acustica è possibile ricavare anche informazioni indirette, di carattere puramente indicativo, sulla natura del sedimento.



Schema esemplificativo del funzionamento dell'apparecchiatura Side Scan Sonar (da Stefanon, 1985).

Lo strumento utilizzato è EDGE TECH, modello DF-1000/DCI - Digital Side Scan Sonar System, avente le seguenti principali caratteristiche:

- elaboratore basato sul sistema di registrazione CODA DA-50 (Coda Technologies);
- registrazione simultaneamente con frequenze da 100 +/- 10 kHz a 500 +/- 20 kHz;
- lunghezza dell'impulso compresa tra 100 kHz (0.1 ms) e 500 kHz (0.01 ms);
- ampiezza orizzontale del raggio a 100 kHz - 1.2° e a 500 kHz - 0.5°;
- ampiezza verticale del raggio a 100 kHz - 50° e a 500 kHz - 20°;
- A/D risoluzione 12 bit/campione;
- 4 Canali Side Scan Sonar;
- rapporto di campionamento 24 kHz /canale;
- accessori, sensore di pressione, pitch e roll;
- Towfish (DF-1000 Towfish) con lunghezza di 158 cm, diametro di 11,4 cm e peso in aria di 25 kg;
- massima profondità di utilizzo 1.000 metri per temperature comprese tra - 30° e 60°;
- voltaggio di esercizio 45-65 VDC;
- cavo coassiale singolo di lunghezza 200 metri, tensione max di 6,7 kN, diametro 0,89 cm, peso in aria 0.12 kg/m;
- velocità massima di esercizio 6.0 nodi.



*Particolari costruttivi e foto del “Towfish”*

Per l’esecuzione del rilievo è stata mappata una superficie pari a 190.000 mq, avente lunghezza di 500 metri e larghezza di 380 metri. Il rilievo è stato condotto mediante acquisizione di sei strisciate orientate parallelamente alla banchina Ovest del Molo VII, aventi lunghezza pari a 500 m circa e copertura laterale di 75 m. Il passo unitario profilo-profilo è risultato pari a 50 m circa, con copertura superiore al 100 %.

Nella seguente tabella sono riportati i principali parametri di acquisizione utilizzati per il rilievo Side Scan Sonar dell’area studiata e per la restituzione dei sonogrammi acquisiti, mediante realizzazione di un mosaico di dettaglio ad alta risoluzione.

	<b>Rilievo Dettaglio</b>
Copertura laterale di acquisizione	75 metri
Copertura laterale di restituzione nel mosaico	variabile 50÷75 metri
Frequenza di acquisizione	100-500 kHz
Frequenza di restituzione nel mosaico	500 kHz
Velocità dell’imbarcazione in acquisizione	3-5 nodi
Profondità del Towfish	3-5 metri
Offset antenna GPS-Tow fish	15.80 metri
Numero profili realizzati	6
Numero profili utilizzati per il mosaico	4
Passo unitario profilo-profilo	50 metri

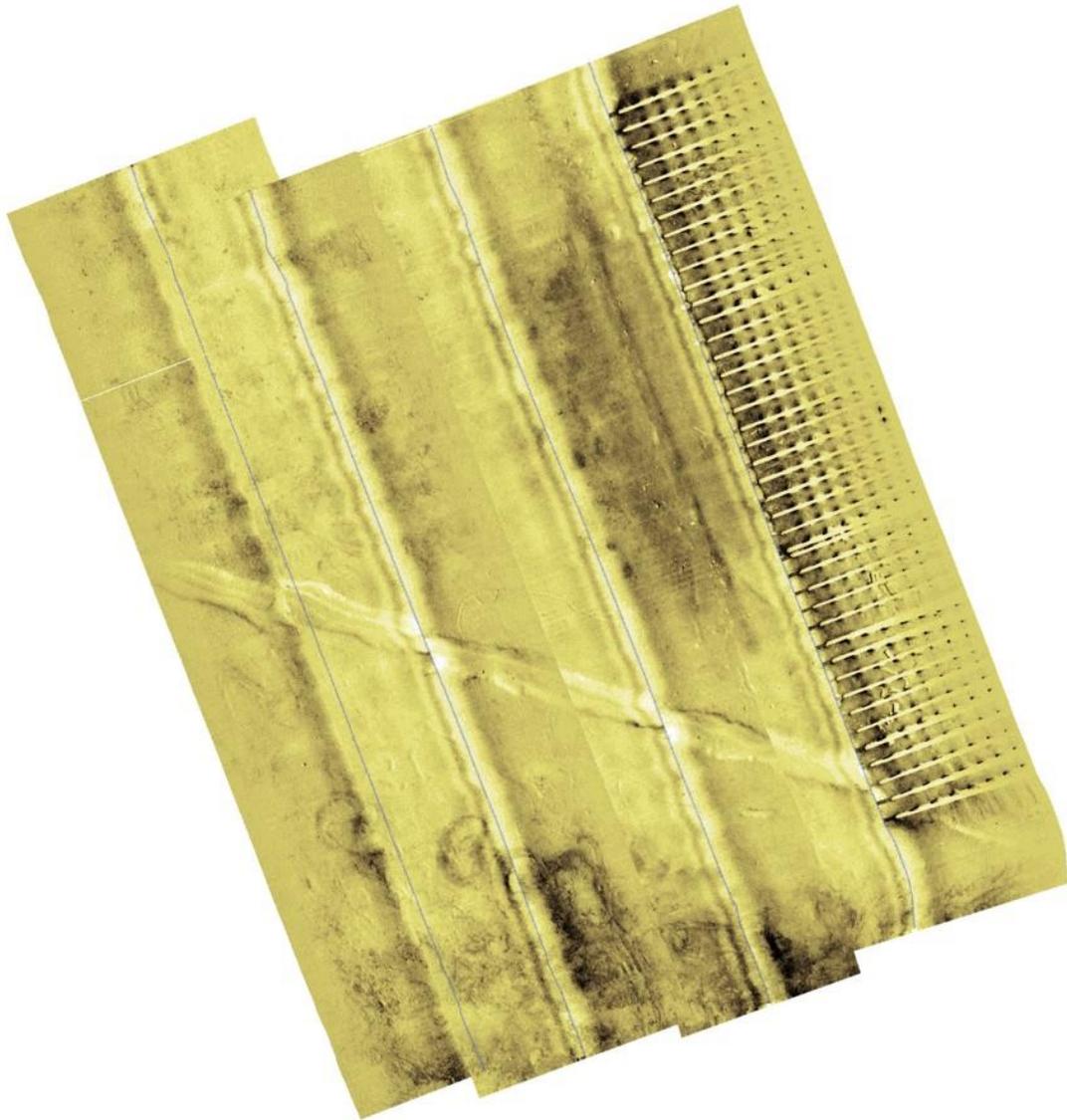
I dati acquisiti sono stati elaborati attraverso il software Coda Octopus Geokit Mosaics e rappresentati graficamente in un mosaico, al fine di individuare eventuali anomalie presenti sul fondale e definire le caratteristiche morfologiche dell'area antistante il Molo VII. Sono di seguito riassunte le procedure di elaborazione dei dati SSS per la creazione del mosaico.

Elaborazione delle singole strisciate (pre-mosaico):

- predisposizione del sistema di riferimento;
- regolazione del Time Variant Gain (TVG);
- verifica del valore di profondità del Towfish impostato per ogni strisciata;
- verifica del *Fish Height* eseguita in automatico e corretta dove necessario;
- applicazione della funzione *Slant Range Correction* per eliminare la colonna d'acqua;
- impostazione del tipo di rappresentazione prescelto;
- elaborazione delle strisciate successive;

Creazione del mosaico (modulo “*Mosaic*”):

- definizione dei limiti di rappresentazione del mosaico;
- avvio della funzione “*Geo-Corrected Samples*”;
- avvio della prima strisciata all'interno del modulo “*Mosaic*”;
- definizione dei canali da mosaicare (frequenza 100 o 500 kHz);
- applicazione della funzione “*Nav Smoothing*”, settaggio dei parametri relativi ed avvio della funzione “*Recalculate*”;
- applicazione della funzione “*Data Structure*” per i parametri *Image Display Mode*, *Sonar Beam Width*, *Image Range*, ecc..;
- verifica dell'*overlapping* ed eventuale ampliamento dell'*Image Range*;
- eventuale ulteriore correzione del TVG;
- avvio delle strisciate successive;
- eventuale modifica dell'orientazione del mosaico;
- esportazione del mosaico calcolato.



Il Mosaico Side Scan Sonar, sopra rappresentato, è stato realizzato utilizzando 4 dei 6 profili acquisiti, evidenziati in colore blu. Tale scelta è risultata ottimale per evitare le aree di disturbo tipiche dei sonogrammi Side Scan Sonar sotto la verticale del Towfish. Le linee inserite nel mosaico sono risultate quelle ottimali per la migliore definizione morfologica del fondale.

*Trieste, ottobre 2014*




	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01020-00-R04</b>
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>
	<b>RELAZIONE SULLE INDAGINI</b>	<b>ALLEGATO</b>

## ALLEGATO 6 - REPORT PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE



*Punto Franco Nuovo - Trieste*

**INDAGINI GEOLOGICO-GEOTECNICHE E  
PROSPEZIONI SISMICHE A MARE PER  
IL PROGETTO DEFINITIVO DI AMPLIAMENTO  
DEL MOLO VII DEL PORTO DI TRIESTE**

*Relazione Tecnica Prospezioni  
Sismiche a Rifrazione*



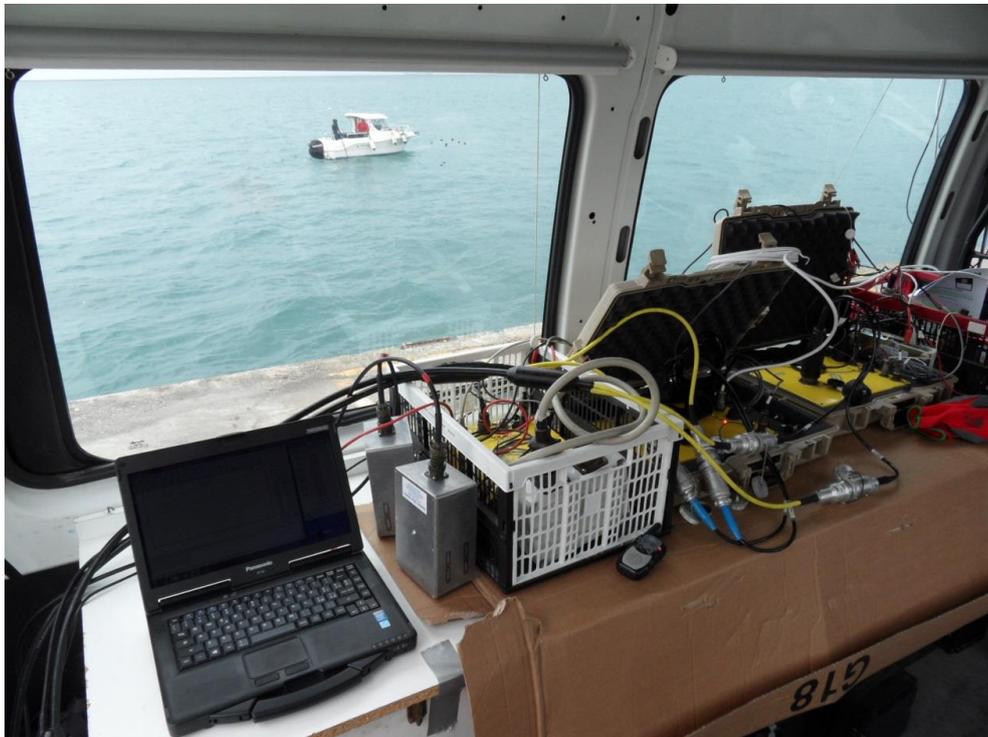
*novembre 2014*

## 1.0) PREMESSA

A seguito dell'incarico conferitoci da TMT - Trieste Marine Terminal spa, per quanto al progetto definitivo di ampliamento del Molo VII del Porto di Trieste, sono state eseguite delle indagini a mare consistite nell'esecuzione di prospezioni sismiche a rifrazione, i cui risultati sono compendati nella presente relazione tecnica e nei relativi elaborati allegati.

## 2.0) PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE A MARE

La metodologia di acquisizione mediante prospezioni geofisiche di tipo sismico a mare è largamente utilizzata nell'esplorazione del sottosuolo ed è basata sulla generazione di onde acustiche che si propagano nel fluido e nel sottosuolo e che, in corrispondenza di interfacce caratterizzate da un contrasto di impedenza acustica, vengono riflesse. L'energia riflessa è registrata da sensori sensibili alle variazioni di pressione, denominati idrofoni. Il tipo di sorgente, la configurazione ed il numero dei sensori sono stati definiti in base alla profondità dal fondale marino delle interfacce da rilevare. Per l'esecuzione del rilievo sono stati utilizzati due *baycable*, con 24 idrofoni ciascuno, interdistanti 5.0 m, collegati a due sismografi Seismic Source Daq Link III. Quale sorgente sismica, è stato utilizzato un cannone ad aria compressa Bolt DHS 5500, comandato da un sistema di controllo; i dati sono stati acquisiti in corrispondenza di n° 7 linee sismiche, aventi lunghezza di 235.0 m ciascuna, la cui ubicazione è meglio evidenziata negli elaborati allegati. Per l'ottenimento del tempo di scoppio è stato installato un idrofono *near field* sul cannone sismico per la trasmissione via radio (RTS-100) della *signature* al sistema di registrazione. Il sistema di acquisizione utilizzato è consistito in n° 2 sismografi Daq Link III, RTS-100 installati a bordo di laboratorio mobile.



*Laboratorio mobile installato su furgone*

Le operazioni di posa del *baycable* sul fondale marino e di energizzazione con cannone, anch'esso poggiato sul fondale, sono state condotte da imbarcazione.



*Stesura baycable sul fondale marino*

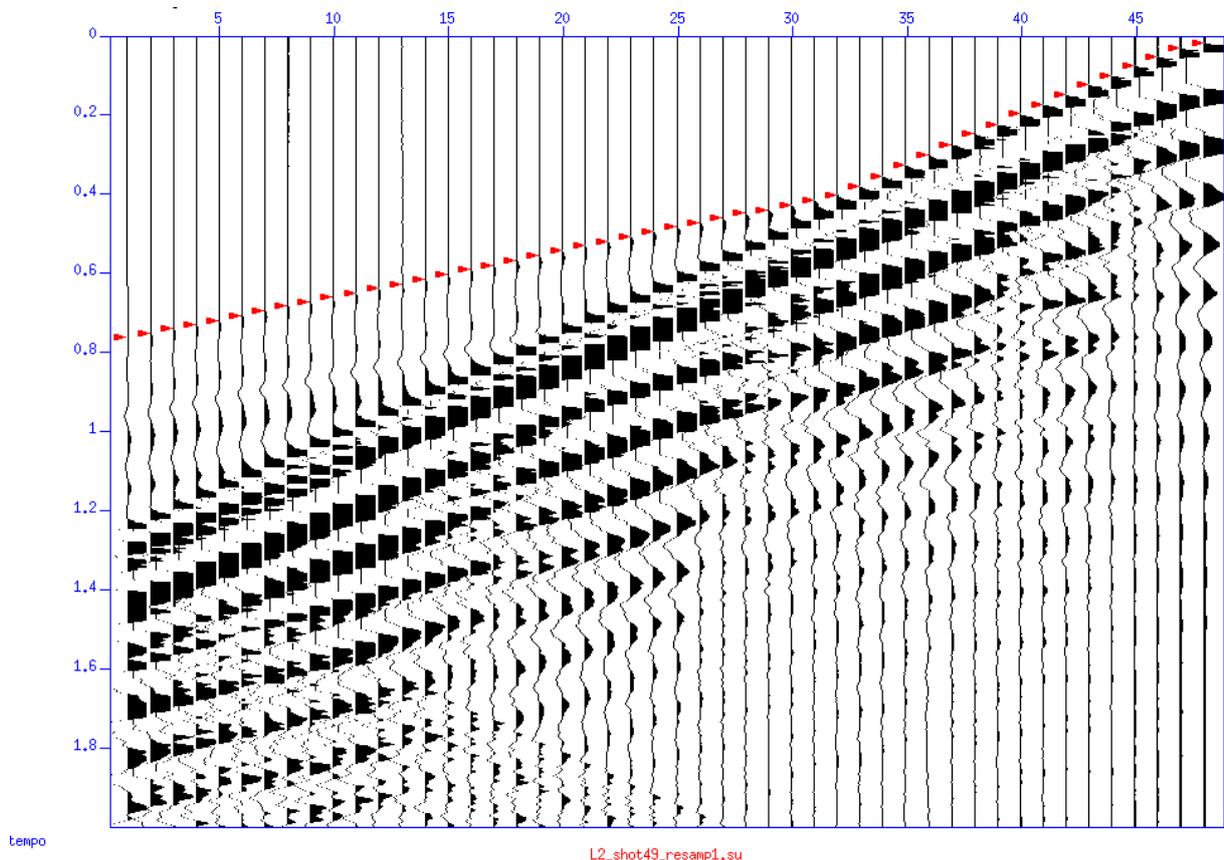


*Cannone Bolt DHS-5500*

L'ubicazione del cavo e dei punti di energizzazione è stata eseguita mediante il sistema di navigazione PDS 2000 ed utilizzando i dati batimetrici precedentemente acquisiti nell'area. Sono di seguito riportati i parametri di acquisizione delle linee sismiche.

- canali: 48 idrofoni + 2 ausiliari (signature near field + segnale PPS);
- campionamento: 0.125 ms;
- lunghezza registrazione: 5 s;
- sorgente: mud gun Bolt DHS 5500 (70 bar);
- trigger radio-link: RTS-100.

I dati sismici così acquisiti sono stati sincronizzati al tempo zero ( $T_0$ ) sulla base del segnale *near field*. Dopo la correzione delle geometrie di acquisizione, è stato effettuato il riconoscimento dei primi tempi di primo arrivo (*picking*). La qualità dei dati è risultata molto buona, come illustrato nella figura esemplificativa di seguito riportata.



*Dato sismico con indicazione dei primi tempi di arrivo*

A seguito della definizione dei modelli di velocità, è stata eseguita l'inversione tomografica per ogni singola linea; negli elaborati allegati sono riportate per ciascuna linea le dromocrone misurate e quelle calcolate, i valori di velocità e l'inversione tomografica dei primi arrivi.

Sulla base dei dati così acquisiti, in relazione alle precedenti indagini svolte nell'area in esame, si conferma che la stessa è caratterizzata dalla presenza nei primi metri da fondale marino di un complesso limoso-argilloso-sabbioso con velocità  $V_p = 1.605 \div 1.650$  m/s, sovrastante il bed-rock flyschoidale con velocità  $V_p = 3.200 \div 3.400$  m/s. Inoltre, nell'inversione tomografica si rilevano dei locali decrementi di velocità, propri della presenza di alterazioni del Flysch, piuttosto che a differenti alternanze ritmiche di sedimentazione tra il litotipo arenaceo e quello marnoso.

Infine, per quanto nell'area in oggetto non siano state eseguite delle misure di velocità delle onde S ( $V_s$ ), sulla base di precedenti prospezioni sismiche eseguite a terra in aree finitime quella oggetto di studio e caratterizzate dalla presenza della medesima successione litostratigrafica, sono state definite le velocità  $V_s$  per l'area in esame, pari a  $V_s = 160 \div 220$  m/s per il complesso limoso-argilloso-sabbioso e pari a  $V_s = 900 \div 1.200$  m/s per il bed-rock flyschoidale.

*Trieste, novembre 2014*

