



# **CITTÀ DI AGROPOLI**

## Provincia di Salerno



**SETTORE AREA TECNICA  
ASSETTO ED UTILIZZAZIONE DEL TERRITORIO  
PORTO E DEMANIO**



Oggetto

**STUDIO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL FONDALE  
NEL SETTORE SUDORIENTALE  
DEL PORTO DI AGROPOLI**

**PROGETTO DEI LAVORI DI RIPRISTINO DEI FONDALI  
DEL PORTO DI AGROPOLI**

**PROGETTO DEFINITIVO**

Elaborato

**RELAZIONE TECNICA**

Data

**maggio 2009**

Il Responsabile del Procedimento  
Ing. Agostino Sica

Il Progettista  
Ing. Agostino Sica

Il Consulente  
Prof. Geol. Pantaleone De Vita

# INDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
1.1.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA .....	6
<b>2.</b>	<b>RILIEVO BATIMETRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1	RILIEVO BATIMETRICO DEL FONDALE NEL SETTORE SUDORIENTALE DEL PORTO .....	10
2.2	CARATTERI MORFOLOGICI E GEOLOGICI DEL FONDALE NEL SETTORE RILEVATO .....	19
2.2.1	<i>Settore 1, compreso tra lo scivolo del "Molo vecchio" ed il primo pontile galleggiante .....</i>	<i>19</i>
2.2.2	<i>Settore 2, compreso tra il primo pontile galleggiante e l'area in assegnazione alla LNI.....</i>	<i>21</i>
2.3	ANALISI DELLA BATIMETRIA ED IDENTIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI DI DRAGAGGIO .....	22
<b>3.</b>	<b>PIANO DI CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI .....</b>	<b>24</b>
3.1.	CAMPIONAMENTO ED ANALISI.....	24
3.2	DESCRIZIONE DELLE CAROTE.....	27
3.3	RISULTATI DELLE ANALISI .....	34
<b>4.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEL FONDALE NELL'AREA DI INTERVENTO .....</b>	<b>36</b>
4.1	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (DPM E DPL) .....	36
4.2	RICOSTRUZIONE DEL TETTO DEL SUBSTRATO ROCCIOSO.....	50
<b>5.</b>	<b>INDICAZIONI PER LA PROGETTAZIONE DELL'ESCAVO.....</b>	<b>51</b>
5.1	CALCOLO DEI VOLUMI DI ESCAVO E SEZIONE TIPO DI RACCORDO AI PONTILI COMUNALI.....	51
5.2	MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLE OPERAZIONI DI ESCAVO .....	56
5.3	MONITORAGGIO DURANTE LE OPERAZIONI DI ESCAVO .....	58
5.4	IDENTIFICAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA DI STOCCAGGIO DEL MATERIALE DRAGATO.....	58

## ELENCO DELLE TAVOLE FUORI TESTO

- **TAVOLA 01:** INDAGINE BATIMETRICA SINGLE BEAM SUI FONDALI DEL PORTO DI AGROPOLI (GEOMARINE, 2002) (SCALA 1:1.000)
- **TAVOLA 02:** INDAGINE MORFOLOGICA "SIDE SCAN SONAR" SUI FONDALI DEL PORTO DI AGROPOLI (GEOMARINE, 2002) (SCALA 1:1.000)
- **TAVOLA 03:** INDAGINE BATIMETRICA DI DETTAGLIO E RICOSTRUZIONE DEL TETTO DEL SUBSTRATO ROCCIOSO NEL SETTORE SUDORIENTALE DEL PORTO DI AGROPOLI (SCALA 1:500)
- **TAVOLA 04:** PIANO DI CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI (SCALA 1:500)
- **TAVOLA 05:** SEZIONI DEL PROGETTO DI ESCAVO (SCALA 1:500)
- **TAVOLA 06:** DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

## 1. INTRODUZIONE

Fin dagli anni '90 alle autorità comunali e agli operatori portuali del Comune di Agropoli è noto un fenomeno di interrimento di alcuni settori dello stesso; in particolare, tale fenomeno ha portato all'innalzamento del fondale, proprio laddove esso era già poco profondo per cause naturali, prima della costruzione del porto. A giudizio delle Autorità competenti (Guardia Costiera), tale condizione costituisce un pericolo ed un limite alla navigazione. Le aree in cui tale problematica è evidente sono localizzate nei pressi del molo di sottoflutto e in piccole zone della banchina lungo Via Porto, quindi nella zona ad ovest del "Molo vecchio", ovvero nel settore sudorientale dell'intera area portuale. L'interrimento di dette zone appare essere "fisiologico" poiché dovuto alla normale decantazione di materiale provenienti dagli scarichi degli impluvi terrestri naturali che si riversano nel bacino, e poco condizionato dall'apporto solido esterno ad opera delle correnti e del moto ondoso. Questo dato è confermato dai tassi di sedimentazione bassi che registrano un interrimento del bacino di circa 1 m in media nell'ambito di oltre 30 anni intercorsi dalla chiusura del molo foraneo, terminata nella prima metà degli anni settanta.

A partire dal 2001 il Comune di Agropoli ha espresso la necessità di programmare un intervento di manutenzione e ripristino del fondale al fine di favorire la navigabilità, anche nelle zone svantaggiate dal fondale poco elevato. A tale scopo sono state eseguite una serie di indagini batimetriche e geofisiche finalizzate alla ricostruzione delle condizioni geologiche e strutturali del bacino e dei manufatti ivi insistenti.

Per le indagini geologiche è stato eseguito dal dott. Geol. Alessandro Conforti lo studio "*Indagini geognostiche preliminari per l'escavo del porto di Agropoli*", consistente in una serie di carotaggi effettuati lungo la banchina ed i pontili, di cui si è tenuto conto in questo studio, che hanno consentito di accertare le condizioni geologico-tecniche esistenti al disotto delle opere portuali.

Le indagini batimetriche, commissionate ed eseguite dalla Geomarine S.a.s., hanno consentito di ricostruire la batimetria per l'intero porto, permettendo la ricostruzione del modello morfobatimetrico dell'intero bacino (vedi relazioni ed allegati agli atti presso gli uffici del Comune).

In questa seconda fase di studio, illustrata nella presente relazione tecnica, le cui fasi operative sono state eseguite tra dicembre 2008 e gennaio 2009, sono state dettagliate dal punto di vista geologico e geomorfologico le aree ritenute più problematiche per la navigazione poiché a fondale più basso, approfondendo quanto già fatto nella fase precedente, soprattutto nel settore sudorientale del porto.

I criteri progettuali illustrati in questa relazione tecnica, conseguenti alle indagini geologiche e geomorfologiche, sono conformi alla pianificazione imposta dalle leggi vigenti (D.Lgs. 152/1999; 152/2006) in merito agli interventi di dragaggio delle aree portuali, seguendo le linee progettuali pubblicate dall'ex-I.C.R.A.M., oggi I.S.P.R.A.. Come prescritto dalla normativa è stata ricostruita la situazione storica pregressa del bacino portuale per verificare se vi siano stati eventi particolari che abbiano potuto inquinare i sedimenti da rimuovere.

Come già accennato, il molo di sopraflutto del porto è stato completato e chiuso tra la fine degli anni sessanta e l'inizio degli anni settanta, mentre il molo di sottoflutto (altresì noto come "Molo vecchio") era invece stato realizzato negli anni '50. L'area racchiusa dal molo di sopraflutto ed il promontorio roccioso di Agropoli era quindi una insenatura incastrata con un preesistente sistema deposizionale di spiaggia (*pocket beach*) con qualche affioramento di blocchi di substrato ed alcune piccole colonie di fanerogame marine (*Posidonia oceanica*) nell'area prospiciente l'attuale Via Porto, un ambiente questo del tutto simile a quello esistente nell'area denominata San Francesco. Dalla chiusura a tutt'oggi il porto è stato utilizzato solo per attività diportistica e attività di pesca, con unità di piccole dimensioni, in entrambe i casi, tranne che per pescherecci, comunque inferiori a 25 m, che stanzialmente non hanno mai superato le 4 unità. All'inizio degli anni '90 sono stati realizzati i pontili centrali lunghi circa 60 m in cemento mediante fondazione sul substrato roccioso cui è conseguita la regolamentazione dell'ormeggio, prima non esistente. In generale, negli ultimi 10 anni, l'attività di pesca e la presenza di barche da lavoro è andata progressivamente diminuendo in favore delle unità da diporto che raggiungono in alcuni casi lunghezze superiori a 12 m, sebbene la maggioranza delle imbarcazioni da diporto siano di piccole dimensioni. Il porto non ha mai ospitato attività marittime industriali e commerciali, pertanto i possibili inquinanti presenti sono solo legati alle attività del piccolo diportismo. Non sono noti dagli archivi comunali eventi particolari di inquinamento delle acque portuali.

L'attività di consulenza tecnica d'ufficio svolta in questo studio è stata autorizzata dalla Facoltà di Scienze MMFFNN dell'Università di Napoli "Federico II" con nota prot. N. 2008/0123369 del 27/10/2008 (ai sensi dell'art. 53 del D.Lvo 30/03/2001 n. 165).

### ***1.1. Inquadramento geologico e geomorfologico dell'area***

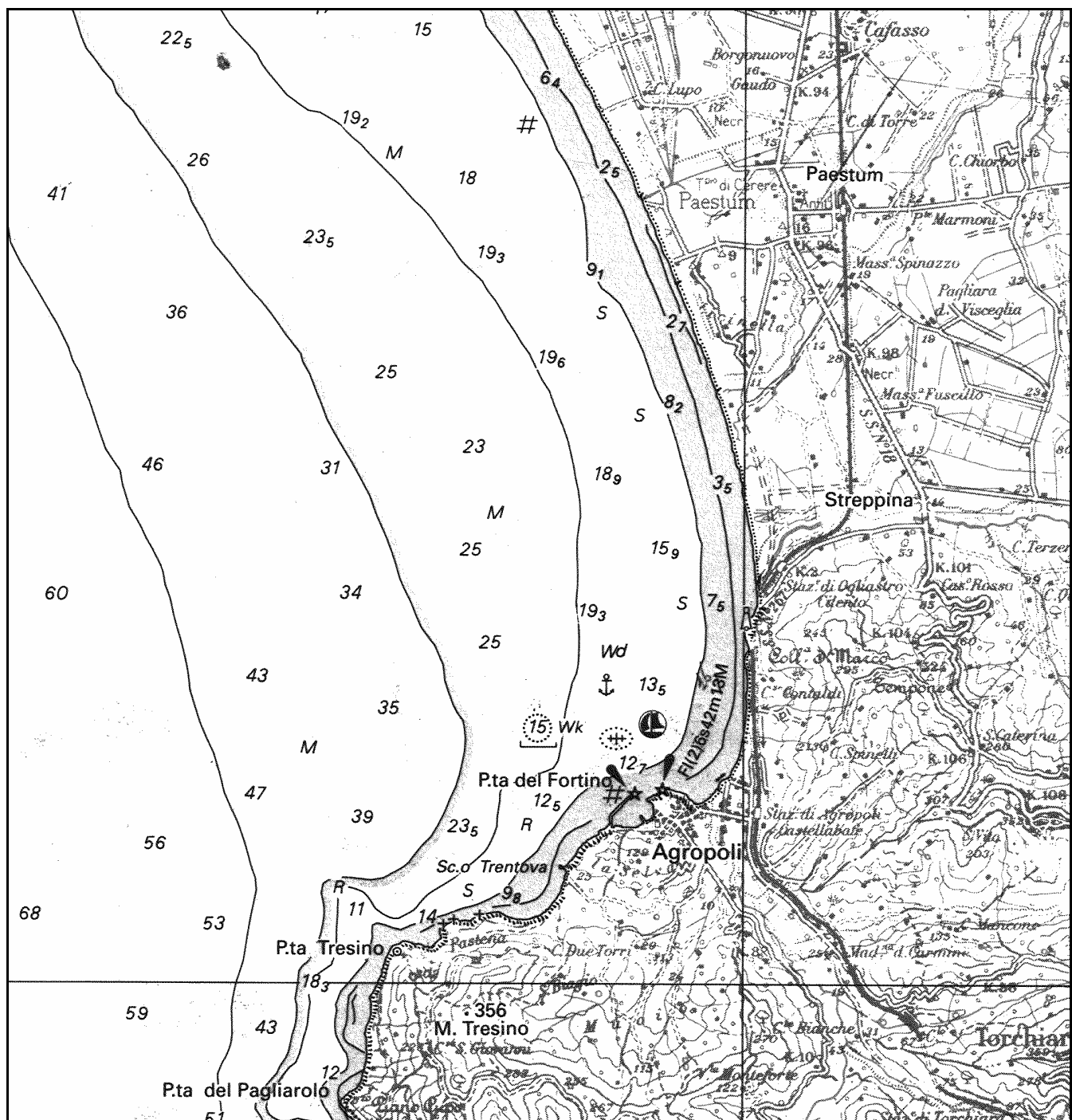
La zona di studio è collocata nell'insenatura antistante il promontorio di Agropoli (Fig. 1.1). Quest'area si trova immediatamente a Sud del passaggio dalla morfologia costiera bassa sabbiosa della piana del Sele alla costa alta e rocciosa Cilentana.

L'area portuale è delimitata a ENE dal promontorio di Agropoli che è bordato da alte falesie costituite da marna calcarea, in particolare quella che si affaccia sul porto è molto ripida e sviluppata in altezza, mentre la stessa passa verso S-SE al promontorio della Selva caratterizzato da falesie meno elevate. Le litologie affioranti in questa zona (Fig. 1.2) sono depositi torbiditici silicoclastici e calcarei tipici della formazione di San Mauro (Bonardi *et alii*, 1988), in passato globalmente denominati come "Flysch del Cilento". In particolare affiorano litologie, come la marna calcarea, che sono localmente denominate come "fogliarina" o "ferraiola", e alternanze ritmiche di arenarie e peliti in strati dai 10 ai 35 cm. Negli affioramenti di arenarie e peliti visibili nella zona, gli effetti della deformazione tettonica sono limitati a clivaggi ed ad alcuni sistemi di faglia. Alla meso-scala non si riscontrano strutture plicative. Negli affioramenti di marna calcarea si riconoscono vari sistemi di discontinuità orientati e demarcati dalla presenza di vene di calcite da pressosoluzione.

Dal punto di vista morfologico, l'area, prima della costruzione della struttura portuale, si presentava, così come è ben documentato da foto storiche (collezioni private), come un'insenatura naturale delimitata da falesie di marna calcarea nella zona di S. Francesco e della Rupe, bordata da affioramenti di arenarie ed argille.

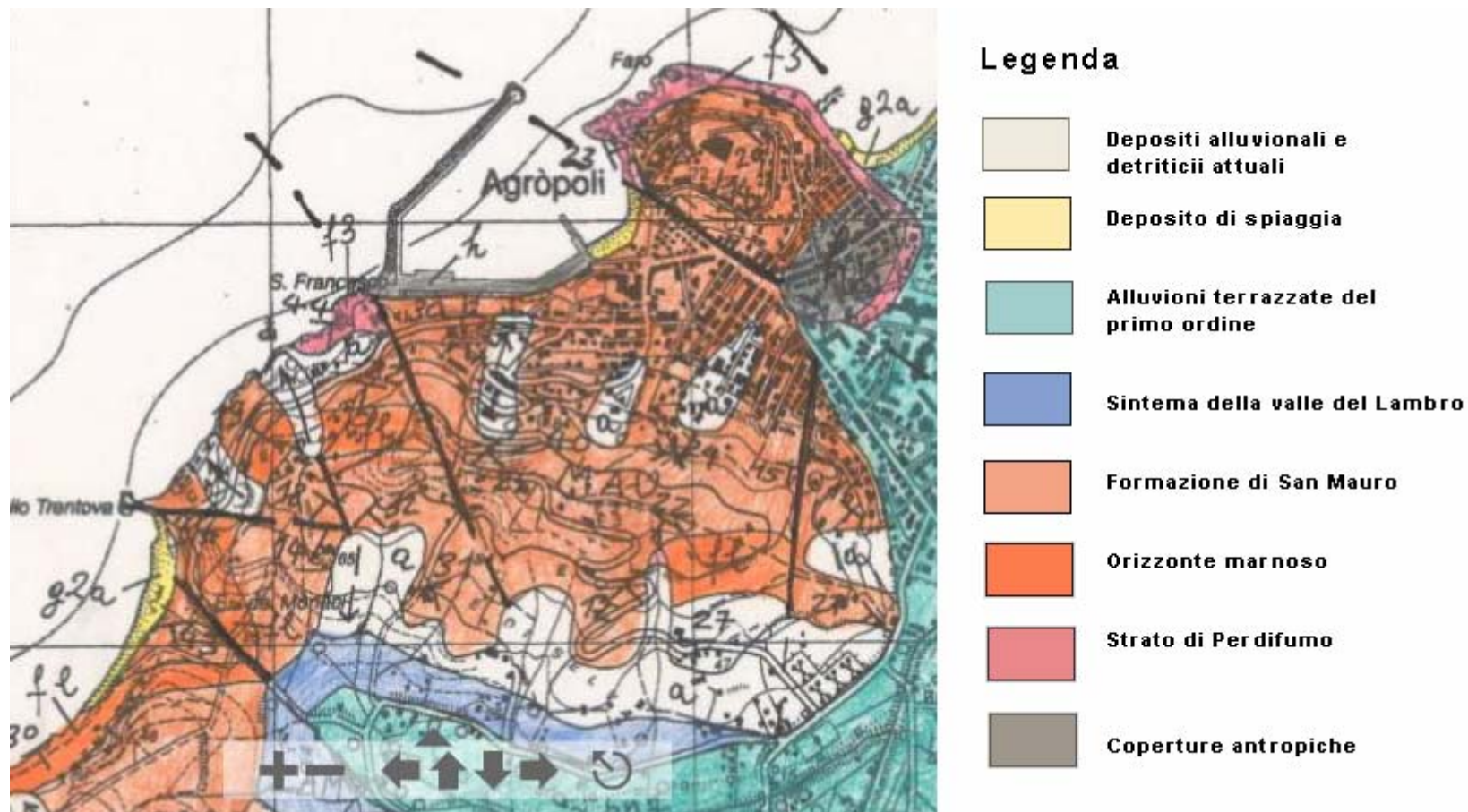
La linea di costa era costituita in minima parte da un arenile ma principalmente da ghiaie e ciottoli e blocchi e talvolta affioramenti rocciosi, trattandosi di una zona di frangenza con elevata energia. Come sopra accennato, l'area più interna dell'attuale bacino portuale era caratterizzata in prevalenza da un ambiente di spiaggia, a sedimentazione in prevalenza sabbiosa, favorita dagli apporti derivanti da due impluvi, corrispondenti agli attuali uffici della Guardia Costiera e all'altezza del quadrato della Lega Navale Italiana (LNI). Nella zona antistante Via Porto insisteva un'area colonizzata da fanerogame marine (*Posidonia*

*oceanica*), collocata in prevalenza su substrato sabbioso in un fondale di circa 2-3 m. Com'è noto, queste piante acquatiche addensano il sedimento con le radici, formando caratteristiche morfologie a materassi rilevate rispetto al fondo (*mattes*). Dopo la chiusura del bacino, conseguente alla costruzione del molo foraneo, e la riduzione della circolazione e del moto ondoso all'interno e l'intorbidimento della acque, queste colonie sono morte lasciando però queste forme fossili a protuberanza, soprattutto nel settore SE del porto, laddove si raggiungono le profondità minime.



**Fig. 1.1** – stralcio della Carta Nautica (Foglio n. 36) dell'Istituto Idrografico della Marina.(I.I.M.). Scala di stampa circa 1:90.000.





**Fig. 1.2** – stralcio della bozza di Carta Geologica in scala 1:50.000 del Foglio N° 502 - Agropoli (Progetto CARG) tratto dal sito dell'APAT ([www.apat.it](http://www.apat.it)). Scala di stampa circa 1:20.000.

## **2. RILIEVO BATIMETRICO**

### ***2.1 Rilievo batimetrico del fondale nel settore sudorientale del porto***

Sulla base del rilievo batimetrico effettuato nel 2001 dalla Geomarine S.a.s. con tecnica sonar multifrequenza sono stati identificati, nell'ambito del porto di Agropoli, alcuni settori che maggiormente necessitano di interventi di dragaggio del fondale per la messa in essere di condizioni di sufficiente profondità alla navigabilità di natanti di piccola e media grandezza. Tra i settori del porto per i quali attualmente le condizioni di fondale non consentono la navigabilità ottimale di imbarcazioni a motore di piccola e media grandezza, soprattutto in condizione di marea minima sigiziale, è quello, nel settore sudorientale, compreso tra lo scivolo del "Molo Vecchio" ed i primi pontili comunali, quindi corrispondente al settore più interno del bacino portuale. In quest'area esiste un bassofondo, in gran parte preesistente alla realizzazione del porto, che in seguito si è accentuato a causa della deposizione di sedimenti fini in gran parte apportati dallo scarico fognario di acque bianche, collocato in prossimità del primo pontile comunale, prospiciente la sede della Guardia Costiera, che canalizza le acque dell'originario impluvio che ivi sfociava a mare. In questo settore, il rilievo batimetrico effettuato dalla Geomarine S.a.s., sebbene con dettaglio limitato a causa della difficile navigabilità, ha evidenziato profondità inferiori ad 1.0 m (Tavole 01 e 02). Tuttavia, profondità anche inferiori a 0.5 m sono state sempre facilmente apprezzate visivamente in particolari condizioni di bassa marea.

In base all'identificazione di questo settore prioritario di intervento ed in considerazione del dettaglio batimetrico fornito dai rilievi della Geomarine S.a.s. in quest'area, limitato dalla scarsa navigabilità della stessa ed al dettaglio della restituzione (equidistanza isobate 0.5 m), sono stati programmati rilievi di dettaglio basati su tecniche topografiche tradizionali. Nello specifico, in questa zona, la presenza di fondali caratterizzati da profondità generalmente inferiori a 2.5 m, ha consentito di ritenere possibile l'adozione di tecniche topografiche usualmente adottate per la realizzazione di piani quotati terrestri, basate sull'uso di un tacheometro/teodolite e di una stadia a sviluppo verticale, in questo caso manovrata da un operatore posizionato su una piccola imbarcazione a remi oppure al bordo della banchina o pontile.

Il settore del porto sottoposto a rilevamento batimetrico corrisponde approssimativamente ad un'area rettangolare estesa dal "Molo vecchio" a tutta la zona dove si sviluppano i pontili comunali, approssimativamente fino al settore in assegnazione alla Lega Navale Italiana (L.N.I.), per una superficie complessiva di circa 2 ha.

È stata utilizzata la tecnica topografica basata sulla determinazione delle coordinate di un punto del fondale ( $x, y, z$ ) a partire dalla distanza e dal dislivello rispetto ad un punto stazione, di coordinate note, e dell'angolo azimutale, riferito ad un secondo punto di riferimento, anch'esso a coordinate note. Le coordinate del punto stazione e di quello di riferimento, quindi tutte quelle dei punti del fondale rilevati, sono state espresse in metri nel sistema internazionale UTM fuso 33 est, *datum* WGS84, così come espressamente richiesto dalle norme ex-I.C.R.A.M., attualmente I.S.P.R.A.

La misura delle distanze e dei dislivelli dei punti del fondale dal punto stazione sono state calcolate dalle letture effettuate con teodolite/tacheometro, con angolo parallattico costante, su una stadia verticale manovrata da un operatore collocato al bordo dei pontili/banchina o su una piccola imbarcazione a remi. In tutti i casi è stata rispettata la condizione di verticalità mediante verifica con bolla sferica.

È stato utilizzato il teodolite/tacheometro Galileo TG4 con precisione nella lettura degli angoli azimutali e zenitali di  $1^\circ$  (0.01 gradi centesimali) che consente di stimare la distanza di un punto da quello stazione ed il dislivello relativo con un errore di circa  $\pm 5$  cm su 100 m di distanza (errore 0.5 ‰).

Com'è noto, il teodolite/tacheometro deve essere messo in stazione manovrando tre viti calanti che permettono la verticalità dell'asse primario  $\mathbf{a}_1$  intorno al quale ruota l'*alidada*; su questa è montato un asse secondario  $\mathbf{a}_2$ , intorno al quale ruota un cannocchiale in cui è definito il terzo asse  $\mathbf{a}_3$  detto *asse di collimazione*. Le misure degli angoli vengono effettuati su cerchi graduati, quello per gli angoli *azimutali*, è normale all'asse primario e quindi è orizzontale quando lo strumento è in stazione; quello per gli angoli *zenitali* è normale all'asse secondario e giace in un piano verticale se anche l'asse primario è verticale.

Il cerchio orizzontale è solidale con la base, mentre l'indice di lettura è fissato all'*alidada* che ruota; il cerchio verticale è fissato all'asse secondario e ruota insieme al *cannocchiale*, mentre l'indice di lettura è solidale con l'*alidada* (Fig. 2.1).

Il teodolite/tacheometro è usualmente utilizzato mediante posizionamento dello stesso su un treppiede la cui altezza dal terreno viene registrata al fine del calcolo del dislivello tra il punto di misura e quello stazione.



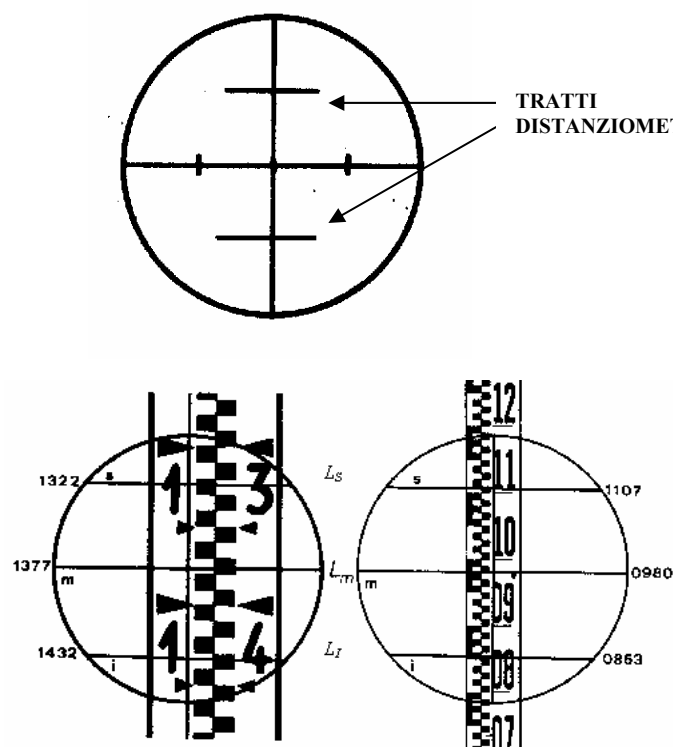
#### **Descrizione**

- 1) Vite di blocco verticale
- 2) Mirino di puntamento
- 3) Lente del cannocchiale
- 4) Messa a fuoco del cannocchiale
- 5) Bolla torica dell'*alidada*
- 6) Viti di rettifica della livella
- 7) Vite di blocco orizzontale
- 8) Blocco contro uso accidentale del cerchio orizzontale
- 9) Regolazione cerchio orizzontale
- 10) Piombo ottico
- 11) Base
- 12) Viti calanti
- 13) Attacco declinatore magnetico
- 14) Specchio
- 15) Oculare del reticolo di lettura cerchi
- 16) Oculare del cannocchiale
- 17) Viti dei piccoli movimenti verticali
- 18) Viti dei piccoli movimenti orizzontali
- 19) Blocco della base

**Fig. 2.1** – Teodolite / Tacheometro

Per la misura delle distanze, l'oculare del cannocchiale è dotato di un apposito reticolo inserito tra le lenti del cannocchiale (Fig. 2.2), caratterizzato oltre che da un centro, in cui si intersecano l'asse orizzontale e quello verticale che dividono l'oculare in quattro quadranti, anche da due tratti distanziometrici, posti a mezza altezza sull'asse verticale, rispettivamente al di sopra e al di sotto dell'intersezione con l'asse orizzontale.

La misura della distanza, viene effettuata attraverso la lettura dall'oculare del cannocchiale del tacheometro sulla stadia, in corrispondenza dei tratti distanziometrici  $L_s$ ,  $L_m$ ,  $L_i$  (Fig. 2.2).

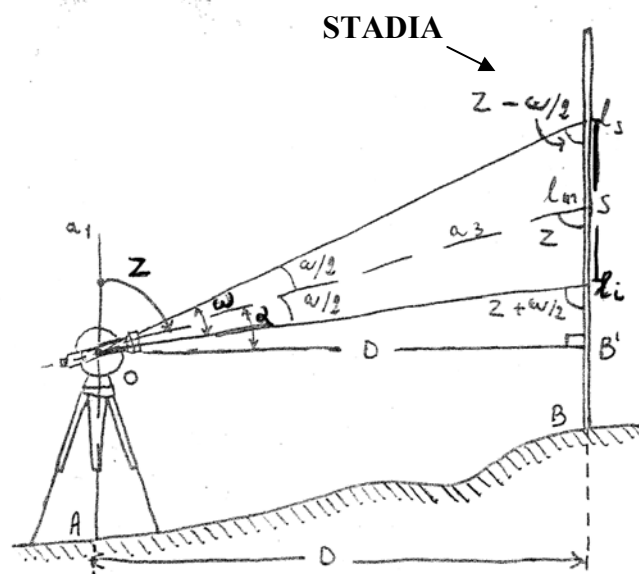


**Fig. 2.2** – Oculare, tratti distanziometrici e metodo di lettura della misura

La determinazione della distanza si basa sulla costanza dell'angolo (misure ad angolo parallattico costante) formato tra le linee orizzontali del reticolo del cannocchiale ed il fuoco dello stesso. Da ciò consegue che la differenza tra le letture  $L_s$  ed  $L_i$  (Fig. 2.3) sulla stadia, in corrispondenza delle linee orizzontali del reticolo, aumenti all'aumentare della distanza dal punto di misura. Da ciò deriva che la distanza tra il punto stazione ed il punto di rilevamento è, secondo l'equazione della stadia, pari a:

$$D = 100 \cdot (L_s - L_i) \cdot \sin^2 z$$

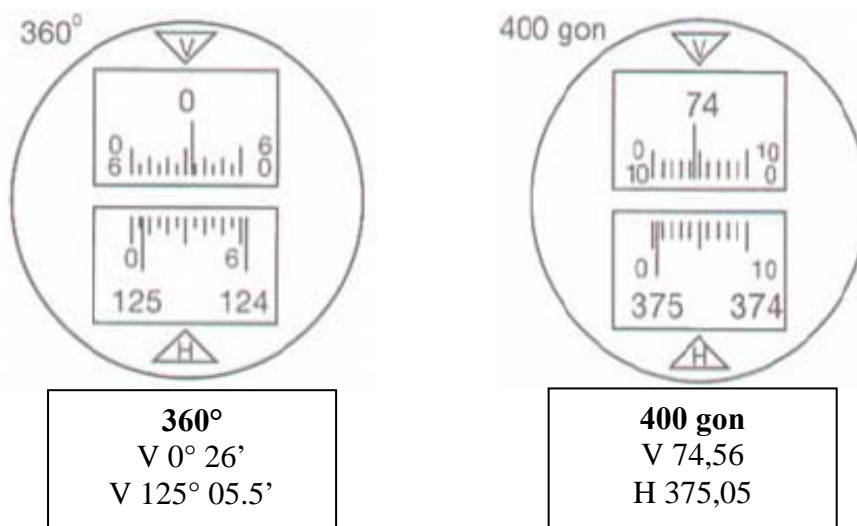
*Dove 100 è la costante diastimometrica, caratteristica dello strumento*



**D:** distanza dello strumento dal punto di misura;  
**l<sub>s</sub>:** lettura superiore;  
**l<sub>m</sub>:** lettura mediana;  
**l<sub>i</sub>:** lettura inferiore;  
**z:** angolo zenitale dell'asse di collimazione.  
 $\omega$ : angolo parallattico costante;  
**o-l<sub>m</sub>:** asse di collimazione  $a_3$ ;  
**o:** centro strumentale;

**Fig. 2.3** – Rappresentazione schematica di come si effettua una lettura e dei suoi parametri

Gli angoli azimutali (a) e zenitali (z) si leggono tramite l'apposito oculare (Fig. 2.4), l'intervallo delle divisioni è di  $2^\circ$  ed è possibile stimare  $1^\circ$ , l'immagine dei cerchi e dell'indice di lettura si mettono a fuoco agendo sull'oculare stesso.

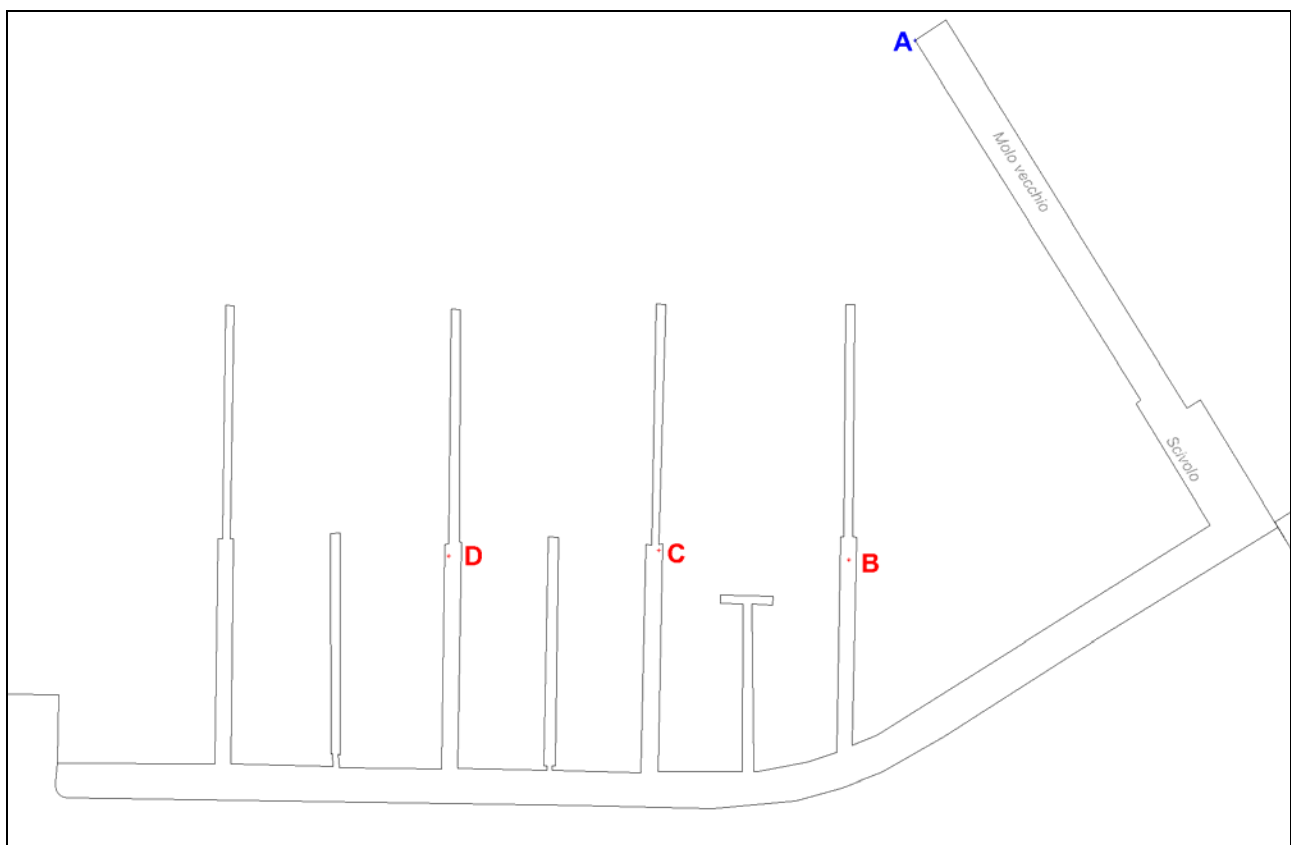


**Fig. 2.4** – Rappresentazione degli oculari per la lettura degli angoli (400 gon è la graduazione centesimale del cerchio).

Il dislivello ( $\Delta h$ ) tra il punto focale dello strumento e la misura centrale della stadia ( $L_m$ ) è calcolabile mediante la formula:

$$\Delta h = 100 \times (L_s - L_i) \times \sin z \times \cos z$$

Al fine di ridurre l'errore sulle misure, sono stati utilizzati diversi punti stazione, dai quali le distanze rispetto ai punti di rilevamento fossero generalmente inferiori a 100 m. A tale proposito sono stati adottati 3 differenti punti stazione (B, C e D, in Fig. 2.5) localizzati all'estremità dei pontili comunali, ciascuno a coordinate note, avendo in tutti i casi come punto di riferimento per le misure degli angoli azimutali lo spigolo esterno del "Molo vecchio" (A in Fig. 2.5), ben visibile da tutti e tre i punti stazione.



**Fig. 2.5** – Schema dei punti stazione (B, C e D) utilizzati per il rilevamento topografico del fondale e del punto di riferimento comune (A) per la determinazione degli angoli azimutali. Per ciascun punto sono state determinate le coordinate metriche nel sistema internazionale UTM, fuso 33 est, datum WGS84. Nelle descrizioni che seguono i pontili comunali (riconoscibili per la maggiore larghezza) e quelli galleggianti (riconoscibili per la minore larghezza) sono numerati in maniera crescente a partire da quello più prossimo al "Molo vecchio".

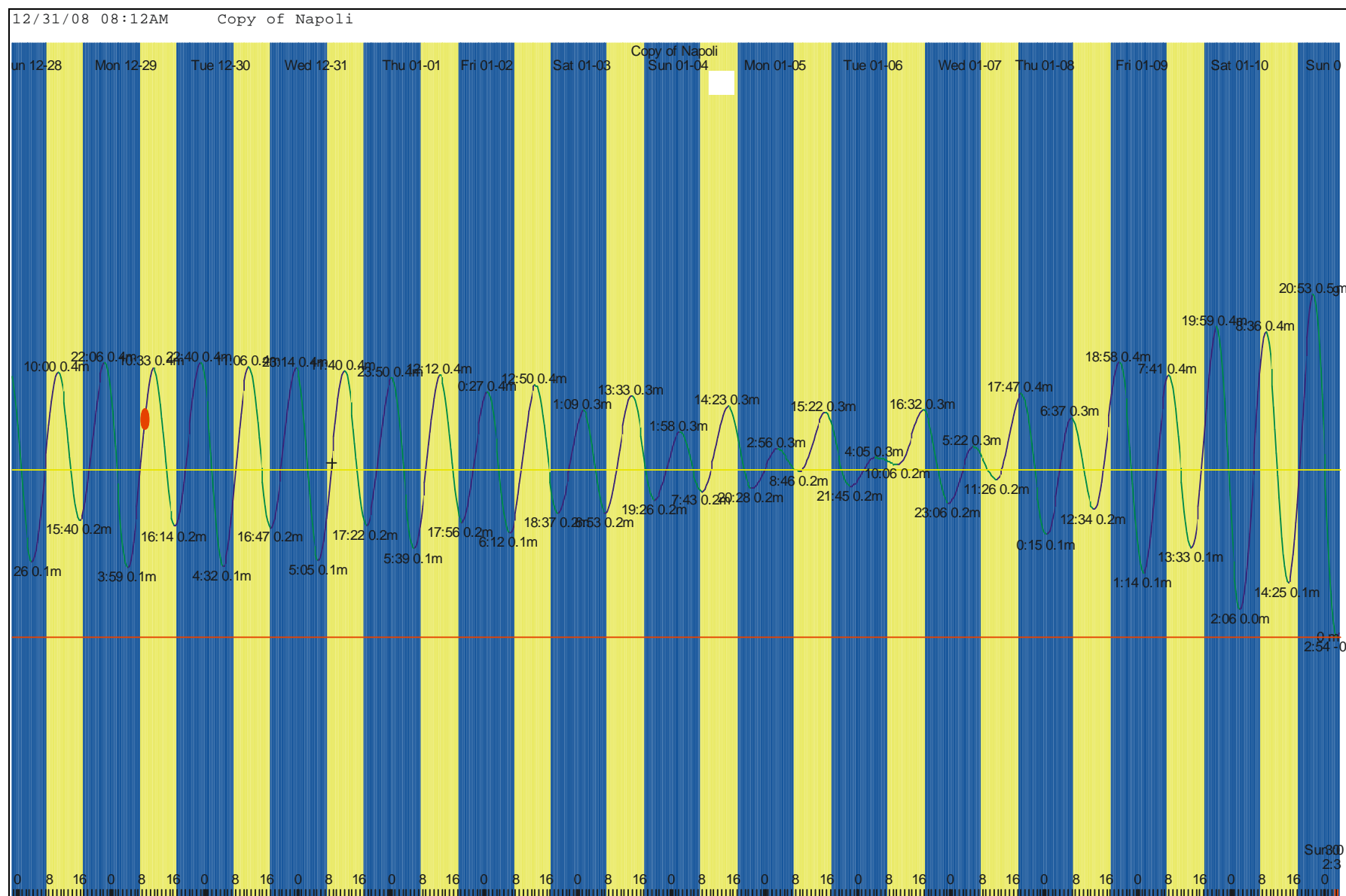
Sono stati rilevati in totale 286 punti, comprensivi sia di quelli rilevati dai pontili e dalla banchina, manovrando la stadia dal bordo degli stessi, e sia di quelli rilevati mediante imbarcazione.

Le quote dei punti di rilevamento del fondale sono stati riferiti alla quota dei punti stazione rispetto al livello del mare, esistente alla data ed all'ora del rilevamento. Successivamente, sulla base delle elaborazioni del software WXTide32, che consente di simulare la marea per ogni latitudine e longitudine, è stato possibile determinare la quota dei punti stazione rispetto al livello minimo di marea (MLLW – *Mean Lower Low Water*, corrispondente al più basso livello di marea normalmente occorrente), considerando la differenza di quota tra il livello del mare alla data ed all'ora del rilevamento rispetto al livello MLLW. Da ciò è stato possibile determinare la quota dei punti del fondale riferita al MLLW (Tab. 2.1).

<b>Punto stazione</b>	<b>E UTM - WGS84</b>	<b>N UTM - WGS84</b>	<b>Data / Ora</b>	<b>Quota (m s.l.m.)</b>	<b>Quota (m s.l.m.-MLLW)</b>
<b>B</b>	498583.16	4466725.07	29 dicembre 2008 - 9.35	0.54	0.91
<b>C</b>	498532.86	4466727.64	29 dicembre 2008 - 9.35	0.51	0.88
<b>D</b>	498477.37	4466726.16	29 dicembre 2008 - 9.35	0.50	0.87
<b>Punto di riferimento A</b>	498600.52	4466862.38	29 dicembre 2008 - 9.35	1.78	2.15

**Tab. 2.1** – quote dei punti stazione rispetto al livello del mare esistente il 29 dicembre 2008 alle 9:35 e stima della quota rispetto al livello più basso di marea normalmente occorrente (MLLW), sulla base del dislivello stimato con il software WXTide32 (Fig. 2.6).





**Fig. 2.6** – elaborazione della variazione del livello del mare ottenuta mediante il software WXTide32 per il mese di dicembre 2008 – gennaio 2009 per un punto di coordinate corrispondente al porto di Agropoli, assimilato dal software al porto di Napoli. Le misure della quota dei punti stazione (B, C e D) sono state determinate il 29 dicembre 2008 alle 9:35 (momento rappresentato dall'ellisse rossa). La linea rossa orizzontale rappresenta il livello di marea più bassa normalmente occorrente (MLLW).

I dati topografici del fondale rilevati mediante la tecnica anzidetta sono stati integrati, nelle zone esterne a quelle rilevate, soprattutto laddove il fondale si approfondisce oltre i 2.5 m, con i dati batimetrici rilevati dalla Geomarine S.a.s., anch'essi georiferiti nel sistema internazionale UTM, fuso 33 est, *datum* WGS84.

Dall'insieme dei dati topografici del fondale, è stata ricavata la carta batimetrica del settore sudorientale del porto di Agropoli, utilizzando il criterio dell'interpolazione lineare e la rappresentazione delle isobate con equidistanza 0.25 m. La rappresentazione cartografica è stata effettuata in scala 1:500, limitatamente all'area propriamente rilevata (Tavola 03). Nelle rappresentazioni cartografiche sono anche visualizzati i punti del fondale che sono stati rilevati.

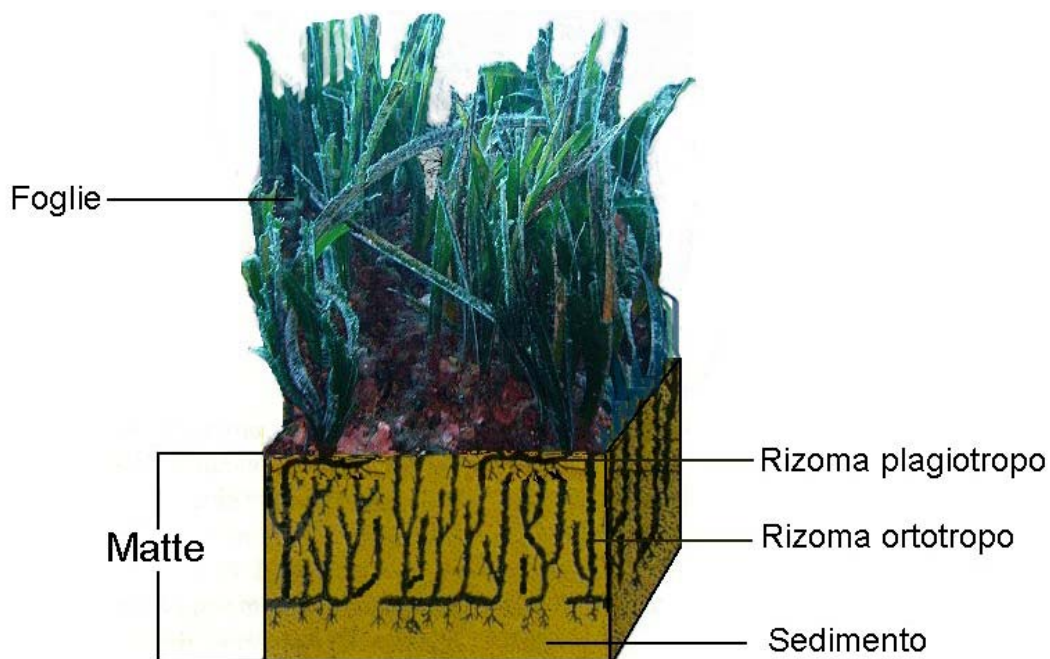
## ***2.2 Caratteri morfologici e geologici del fondale nel settore rilevato***

La dettagliata ricostruzione batimetrica ha consentito di analizzare la morfologia del fondale e di interpretarne la natura in relazione alle caratteristiche geologiche ed alle biocenosi locali, ottenendo un approfondimento superiore a quanto realizzato dalla Geomarine S.a.s. sull'intera area portuale (Tavola 02). L'analisi ha consentito di identificare due settori a differenti caratteristiche per la cui identificazione si fa riferimento ad una numerazione dei pontili comunali e di quelli galleggianti crescente a partire dal "Molo vecchio" verso ovest (Fig. 2.5).

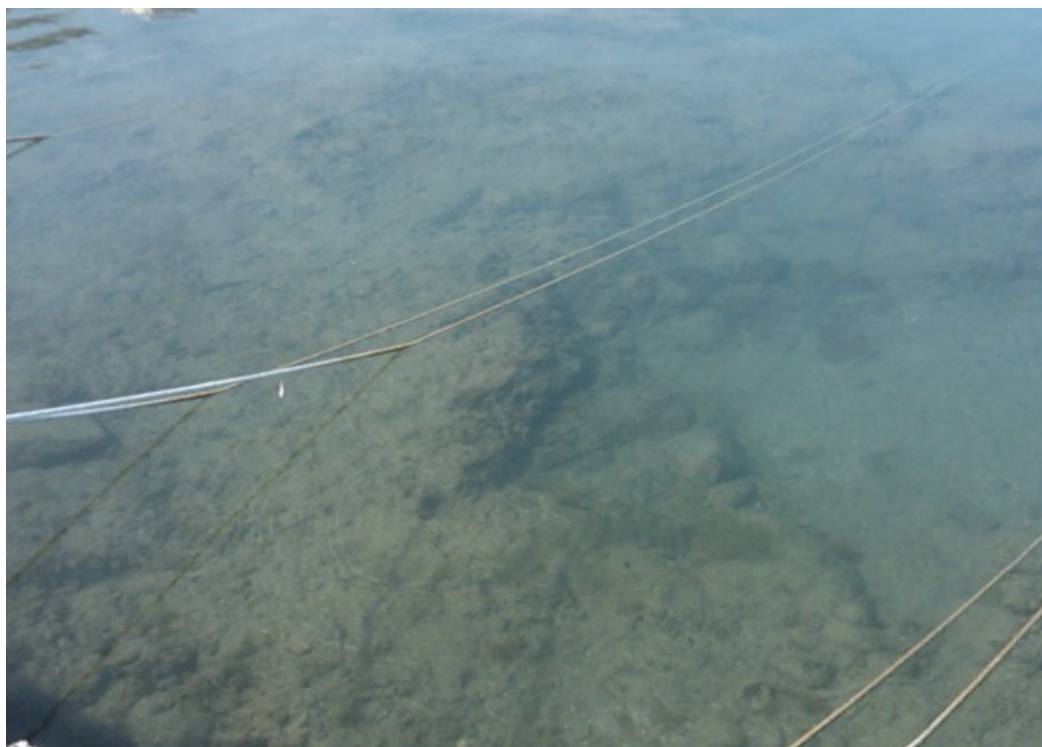
### ***2.2.1 Settore 1, compreso tra lo scivolo del "Molo vecchio" ed il primo pontile galleggiante***

In questa zona, il fondale raggiunge i valori minimi con profondità inferiori a 0.5 m, se riferite al livello del mare MLLW (al più basso livello di marea normalmente occorrente). La morfologia descrive un ampio bassofondo con una profondità media di circa 1 m, se riferita al MLLW, caratterizzato da una serie di alti e minimi relativi che conferiscono allo stesso una morfologia mammellonare. Il siffatto bassofondo si protrae oltre il primo pontile comunale, raggiungendo il primo dei pontili galleggianti e formando in questa ristretta fascia tre alti relativi con profondità inferiori a 0.5 m e morfologia anche in questo caso mammellonare. L'esame visivo del fondale, effettuato in condizioni di elevata trasparenza delle acque (Tavola 06), ha consentito di accertare che, in gran parte, le morfologie mammellonari sono riconducibili a strutture pseudo-biohermali, connesse al sistema di rizomi e radici generati dai banchi di *Posidonia oceanica* e dai sedimenti limoso-sabbiosi intrappolati tra le stesse, in copertura di depositi di spiaggia. Queste strutture che prendono il nome di *mattes* (Figg. 2.6 e 2.7) sono considerabili come pseudo-biohermali poiché costituiti di rizomi e radici che, sebbene soggetti a decomposizione, possono conservare la loro struttura e funzione di trattenimento del sedimento per millenni. Per l'accertamento del reale spessore delle *mattes* e quindi per la caratterizzazione della profondità e della natura del substrato sono state effettuate delle specifiche indagini geognostiche, consistite in prove penetrometriche dinamiche, discusse nel paragrafo seguente. Infatti, questo aspetto è chiaramente apparso di

grande rilevanza, in considerazione delle diverse problematiche tecnologiche esistenti per effettuare lo scavo in sedimenti sciolti o in roccia ad elevata resistenza meccanica.



**Fig. 2.6** – Schema della mattea costituita da rizomi e radici che intrappolano il sedimento la cui completa decomposizione può richiedere millenni dopo la morte dell'alga.



**Fig. 2.7** – Foto della struttura pseudo-biohermale a mattes, scattata in corrispondenza del primo pontile comunale. È possibile evidenziare come essa costituisca una morfologia rilevata rispetto al fondale sabbioso circostante, essendo sovrapposta allo stesso.

In corrispondenza dello scarico fognario di acque bianche, approssimativamente localizzato nel punto di raccordo tra il primo pontile comunale e la banchina del porto, è stato rilevato un ulteriore alto relativo del fondale, con profondità inferiori a 0.75 m, attribuibile al deposito di conoide formatosi allo sbocco della suddetta fogna che, durante i periodi di piogge intense e prolungate, convoglia i deflussi superficiali di un bacino idrografico relativamente ampio, caratterizzati da elevato trasporto solido in sospensione di granulometrie variabili dal limo alle sabbie grossolane.

#### 2.2.2 Settore 2, compreso tra il primo pontile galleggiante e l'area in assegnazione alla LNI

In questo settore, il fondale raggiunge la massima profondità con valori anche superiori a 2.5 m e valori minimi di poco inferiori ad 1.5 m; esso si caratterizza quindi per l'esistenza di buone condizioni di navigabilità per imbarcazioni a motore di piccole e medie dimensioni. L'analisi morfologica del fondale evidenzia in questo settore la presenza di due zone di bassofondo relativo, separate da tre fasce a maggiore profondità. La prima zona è localizzata in corrispondenza del secondo pontile galleggiante, mentre la seconda è localizzata tra il terzo pontile galleggiante e l'ultimo pontile comunale. Anche in questi casi le aree a minore profondità sono da attribuire alla presenza di *mattes* di *Posidonia oceanica* fossilizzate, ed ai sedimenti medio-fini intrappolate nelle stesse, in copertura di depositi di spiaggia, più che all'affioramento del substrato fliscioide.

### ***2.3 Analisi della batimetria ed identificazione degli interventi di dragaggio***

L'analisi della batimetria è stata effettuata, oltre che mediante la caratterizzazione geomorfologica del fondale e l'identificazione dei due settori descritti in precedenza, anche mediante l'esame dettagliato di profili batimetrici riferiti a sette allineamenti paralleli alla banchina del porto, definiti Profili Longitudinali (PL1 ÷ PL7) e rappresentati in scala 1:500 (Tavola 05). La scelta di effettuare profili batimetrici paralleli alla banchina è stata indotta dall'andamento curvo di quest'ultima, che avrebbe altresì comportato l'intersezione dei profili (nel caso realizzati ortogonalmente alla banchina). Nello specifico, i profili longitudinali paralleli sono stati realizzati ad una rispettiva distanza di 10 m, di cui il primo (PL1) è stato realizzato anch'esso alla distanza di 10 m dalla banchina. Quindi l'insieme dei profili longitudinali copre una fascia, parallela alla banchina, ampia 70 m, nella quale sono state rilevate le condizioni di fondale che richiedono maggiormente interventi di dragaggio.

Al fine di esaltare la morfologia del fondale, la rappresentazione dei profili longitudinali è stata effettuata amplificando di 10 volte ( $\times 10$ ) la scala delle altezze rispetto a quella delle distanze. In ciascun profilo sono stati rappresentati i pontili comunali (in grigio) e quelli galleggianti (in marrone). Ciascun profilo longitudinale è stato restituito in scala 1:500 ed è stato riportato graficamente sugli stessi il livello più basso di marea normalmente occorrente (MLLW). Sui profili longitudinali è stato progettato il dragaggio e sono state definite le aree di intervento, fissando il valore di profondità da ripristinare, pari a 1.5 m (cfr. cap. 5).

Oltre agli interventi derivanti dal rilievo batimetrico, si rende necessario un altro intervento di minore incidenza in termini di escavo da effettuarsi sul lato interno del "Molo vecchio" antistante il promontorio roccioso, in corrispondenza della zona di attracco dell'aliscafo (Metrò del mare), finalizzato più che al ripristino del fondale, di per sé già sufficiente, alla rimozione di sedimenti fini che durante le manovre dell'aliscafo si mobilitano, intorbidando l'acqua ed arrecando fastidio ai bagnanti che effettuano balneazione nei paraggi nel periodo estivo. In particolare, il dragaggio dovrebbe consistere nella rimozione dei primi decimetri di sedimento e nella messa in opera di un tappeto di misto di ghiaia e sabbia (classe A1a della classifica AASHTO), spesso da 0.2 a 0.3 m, che dovrebbe avere la

funzione di stabilizzazione dei sedimenti, sollecitati dalle correnti idriche prodotte dalle eliche dell'aliscafo. Per tale motivo, il piano di caratterizzazione discusso nel capitolo seguente ha compreso anche questa zona (cfr. campione AG6).

### **3. PIANO DI CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI**

#### ***3.1. Campionamento ed analisi***

In accordo alla normativa vigente (D.L 152/1999; 152/2006 e successive integrazioni) ed in accordo con le linee Guida dell'ex-I.C.R.A.M. (attualmente I.S.P.R.A.), riportate sul “Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini” si è proceduto ad un programma di campionatura per la verifica del grado di inquinamento dei materiali da asportare nel bacino portuale. Poiché tutte le aree oggetto d'intervento sono localizzate in prossimità delle banchine sono stati individuati 6 poligoni di 50 m di lato (Tavola 04), con un lato corrispondente alla banchina portuale, nei quali eseguire il prelievo di campioni per le varie analisi necessarie, secondo la “Tipologia 1” riportata nel manuale sopra citato, corrispondente a quei settori di porto da sottoporre a dragaggio in cui la distanza da manufatti, quali pontili e darsene, è inferiore a 50 m. Il piano di campionatura ha quindi previsto 6 campioni, prelevati sotto forma di carote di 1 m di spessore. La scelta di tale spessore è dettata dalle finalità del progetto che riguarda il ripristino del fondale mediante dragaggio non superiore ad 1 m. Le stazioni di carotaggio sono state eseguite nei punti indicati nell'allegato stralcio del piano di caratterizzazione (Tavola 04), la posizione effettiva del punto di campionatura è stata rilevata mediante tacheometro/teodolite con riferimento a due punti noti della struttura portuale, riportati poi in coordinate chilometriche proiettate in UTM e riferite al datum WGS84 (Fig. 2.5). La scelta dei punti di campionatura è stata mirata alle zone di effettivo intervento, poiché in alcune aree il poligono  $50 \times 50$  m ricopriva zone dove non si ritiene necessario l'intervento di ripristino, le carote sono state eseguite non perfettamente al centro del poligono ma piuttosto nelle zone d'intervento, poiché queste non ricoprono l'intera area.

Per le analisi fisiche, chimiche, biologiche e sedimentologiche, come secondo normativa, il Comune di Agropoli ha stipulato una convenzione con l'I.A.M.C. C.N.R. di Napoli, in base alla quale i ricercatori del CNR hanno presieduto alle operazioni di esecuzione del carotaggio ed hanno provveduto ad eseguire le misurazioni in sito al momento dell'estrazione del campione dalla carota ed hanno eseguito le campionature necessarie per le analisi richieste dalla normativa.



Le operazioni sono state eseguite mediante un campionatore a doppio carotiere provvisto di valvola di arresto del materiale (Fig. 3.1), un tubo di PVC per la raccolta del sedimento. Il tubo in PVC viene estratto dalla parte alta del campionatore dove è installata una testa smontabile provvista di un otturatore in teflon. Lo strumento è stato manovrato da un operatore tecnico subacqueo, O.T.S., (Claudio Maccarelli, aut. regione Campania n° 540265/65 del 02-07-04), incaricato dal Comune di Agropoli, il quale ha infisso il campionatore mediante la percussione con una massa di 20 kg. Una volta eseguita l'operazione il subacqueo riportava il campionatore in superficie mantenendolo in posizione verticale, qui su una barca appoggio veniva estratto il tubo in PVC contenente il sedimento che veniva portato presso il locale dove venivano eseguite le campionature sulla carota raccolta. Successivamente il sedimento veniva estruso dal tubo mediante uno stantuffo a tenuta. La penetrazione del campionatore sul fondo era in tutti i casi completa fino ai 100 cm, tuttavia l'estrusione del campione non sempre raggiungeva i 100 cm di lunghezza, ciò dovuto alla compattazione del sedimento durante la campionatura e l'estrusione, tuttavia si può assumere che tale campione rappresentativo di una profondità pari a 100 cm al disotto del fondo mare.

I risultati delle analisi sono stati elaborati e forniti con le relative certificazioni nella relazione tecnica prodotta dai responsabili della convenzione da parte dell'IAMC, e sono disponibili in allegato alla presente relazione tecnica.



**Fig. 3.1** – foto del campionatore utilizzato per il prelievo di campioni di sedimenti del fondale. Nella seconda fotografia è possibile vedere il tubo di PVC contenuto nel campionatore.

### 3.2 *Descrizione delle carote*

I 6 sondaggi sopra citati hanno fornito un recupero di sedimento variabile da un minimo di 50 cm ad un massimo di 1 m (Figg. 3.2a ÷ 3.2i). Dall'analisi macroscopica di ogni sondaggio è emersa la presenza di un livello superficiale, corrispondente in genere ai primi 10 cm del sedimento (interfaccia acqua-sedimento), composto da sabbia-limosa o limo-sabbioso (AG01) ad esclusione del sondaggio AG07, che presenta in prevalenza sabbia.

Tutte le carote raccolte evidenziano una stratigrafia molto simile, in genere si ritrova un intervallo di spessore variabile, caratterizzato da sabbia medio-fine con resti conchigliari (bivalvi, piccoli gasteropodi), ciottoli a spigoli vivi (da millimetrici a centimetrici) e resti di *Posidonia oceanica* (generalmente resti di rizomi e radici). Alla base di quasi tutti i sondaggi si ritrova un livello più compatto di sabbie, a frazione da medio-fine a grossolana, con presenza di gusci e frammenti di conchiglie e molti resti di *Posidonia oceanica*. All'interno di questo deposito sabbioso, si osserva in alcuni sondaggi la presenza di diversi ciottoli e ghiaia a spigolo vivo (con diametro fino a 3 cm).

Le carote **AG01** ed **AG07** collocate tra il molo di sottoflutto (detto anche “Molo vecchio”) ed il primo pontile in Cemento in Via Porto, rientrano nei due poligoni a 50 m di lato della principale area d'intervento, i materiali di seguito descritti riportano una prevalenza di sabbie fini con una frazione limosa minore.

<b>AG01 (498.651 E - 4.466.743 N)</b>	
<b>Profondità dal fondo (cm)</b>	<b>Descrizione</b>
0 – 6	Limo-sabbioso molto plastico con presenza di vermi
6 – 50	Livello di sabbia medio-fine
50 – 80	Livello molto compatto di sabbia media con <i>Posidonia oceanica</i> e molti frammenti conchigliari

AG03 (495.8547 E – 4.466.681 N)	
Profondità dal fondo (cm)	Descrizione
0 – 4	Sabbia limosa poco compatta con frammenti conchigliari
4 – 8	Livello compatto con resti di <i>Posidonia oceanica</i> (scaglie)
8 - 20	Sabbia limosa leggermente più compatta rispetto al top
20 – 40	Ancora sabbia-limosa con molti bivalvi e resti di <i>Posidonia oceanica</i>
40 - 60	Livello molto compatto di sabbia di colore marrone-grigio con resti di <i>Posidonia oceanica</i> . Presenza di un ciottolo a spigoli vivi di circa 2 cm di diametro.

AG04 (498.470 E – 4.466.708 N)	
Profondità dal fondo (cm)	Descrizione
0 – 10	Livello di sabbia media con scarsa matrice limosa con resti di <i>Posidonia oceanica</i> (scaglie) e frammenti conchigliari. Presenza di materiale scuro, tipo catrame.
10 – 40	Sabbia media. A 24 cm pezzo di plastica con resti <i>Posidonia oceanica</i> .
40– 60	Livello di sabbia più plastico con matrice limosa.
60 – 100	Livello più compatto di sabbia con resti di <i>Posidonia Oceanica</i> .

<b>AG05 (498.423 E – 4.466.695 N)</b>	
<b>Profondità dal fondo (cm)</b>	<b>Descrizione</b>
0 – 10	Sabbia molto limosa plastica con scarsi resti di <i>Posidonia oceanica</i> .
10 – 60	Aumenta la frazione sabbiosa, vermi vivi, scarsa la frazione conchigliare. A 25 cm ciottoli a spigoli vivi (con diametro di circa 1 cm).
60 – 75	Sabbia media molto compatta con resti di bivalvi e ciottoli a spigoli vivi (con diametro variabile da 1 a 2 cm).

<b>AG06 (498.647 E – 4.466.844 N)</b>	
<b>Profondità dal fondo (cm)</b>	<b>Descrizione</b>
0 – 10	Sabbia limosa con vari frammenti conchigliari e ciottoli a spigoli vivi.
20 – 30	Aumenta la frazione conchigliare. Molti bivalvi e piccoli gasteropodi.
30 – 50	Sabbia limosa molto plastica con scarsi resti di <i>Posidonia oceanica</i> e un ciottolo di circa 3 cm di diametro alla base della carota.

<b>AG07 (498.593 E – 4.466.695 N)</b>	
<b>Profondità dal fondo (cm)</b>	<b>Descrizione</b>
0 – 60	Sabbia medio-fine ben classata con rari resti di <i>Posidonia oceanica</i> (scaglie). Scarsi frammenti conchigliari (bivalvi) e pochi ciottoli a spigoli vivi

Le analisi granulometriche realizzate secondo la scala Wentworth con percentuale di vaglio di 2 mm tramite granulometro laser, confermano le osservazioni descrittive. La classe granulometrica che domina nei sedimenti delle carote **AG01** e **AG07** è in prevalenza sabbia con una percentuale rispettivamente variabile tra circa il 75% e il 90 ÷ 97%. Da ciò deriva che

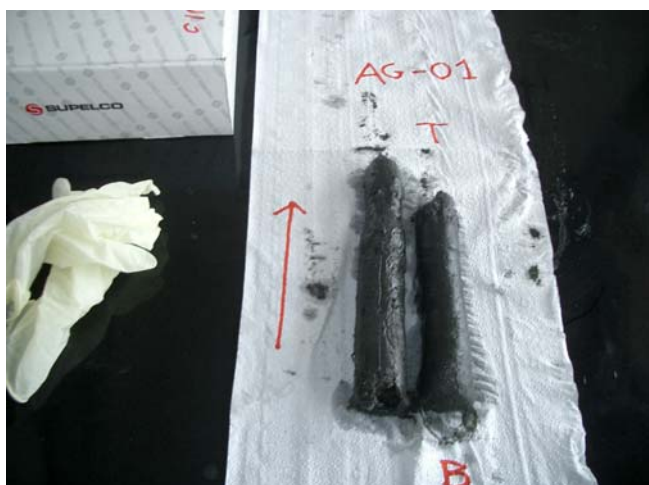
proprio nella zona di maggiore intervento, i sedimenti derivano in prevalenza dal trasporto dell'impluvio tombato che attraversa Via Porto, in prossimità della sede della Guardia Costiera, tali sedimenti formano una sorta di conoide allo sbocco della tombatura sul lato sinistro del primo pontile comunale.

Per quanto riguarda i sedimenti campionati con le altre carote, le percentuali di sabbia oscillano, invece, tra il 32% e il 61% con la frazione fine che non supera mai il 10% e la frazione più grossolana (ghiaia) che raggiunge percentuali anche del 36% (campione superficiale della carota **AG04**).

La carota **AG03** è stata campionata in corrispondenza delle *mattes* di *Posidonia oceanica* sopra descritti, che, nonostante la morte delle piante sottomarine, costituiscono ancora strutture capaci di trattenere e consolidare i sedimenti marini intrappolati; queste *mattes* presentano una parte superiore più dura al di sotto di cui si riscontra invece del materiale sottile intrappolato dalle radici delle piante.

Le carote **AG04** e **AG 05** sono state prelevate nel lato più interno del bacino portuale dove la circolazione è più limitata, infatti contengono maggiore quantità di materiale organico e sono costituite da sedimenti al fondo più limosi, che testimoniano la decantazione di materiali sottili. Al di sotto si riscontrano, invece, sedimenti più sabbiosi legati ad una sedimentazione di bacino aperto, precedente alla chiusura del porto.





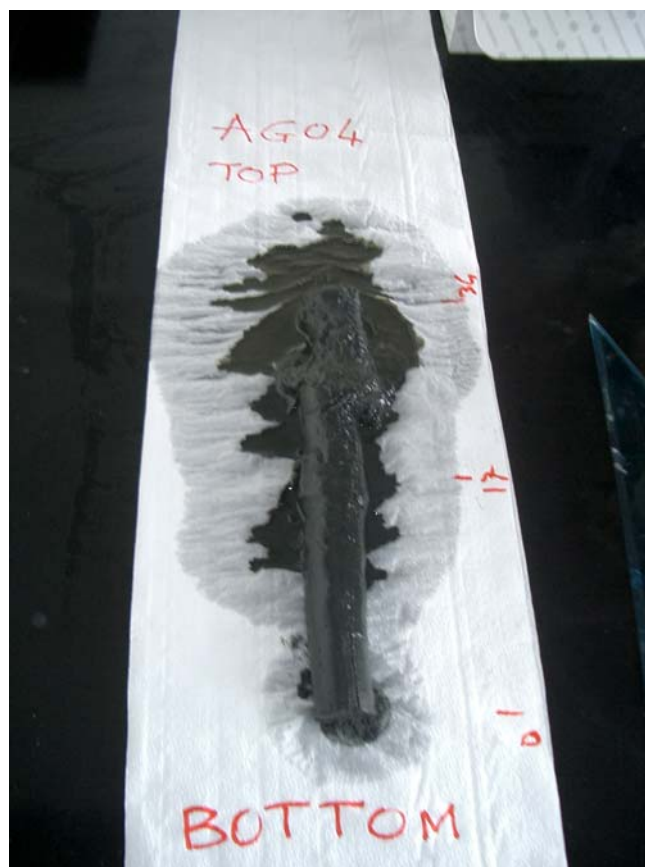
*Fig. 3.2a – campione AG-01.*



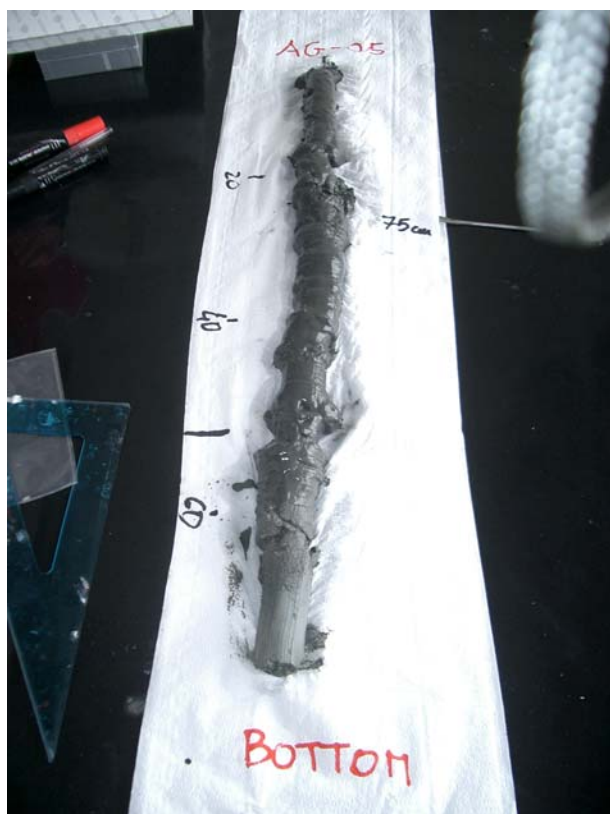
*Fig. 3.2b – campione AG-02,*



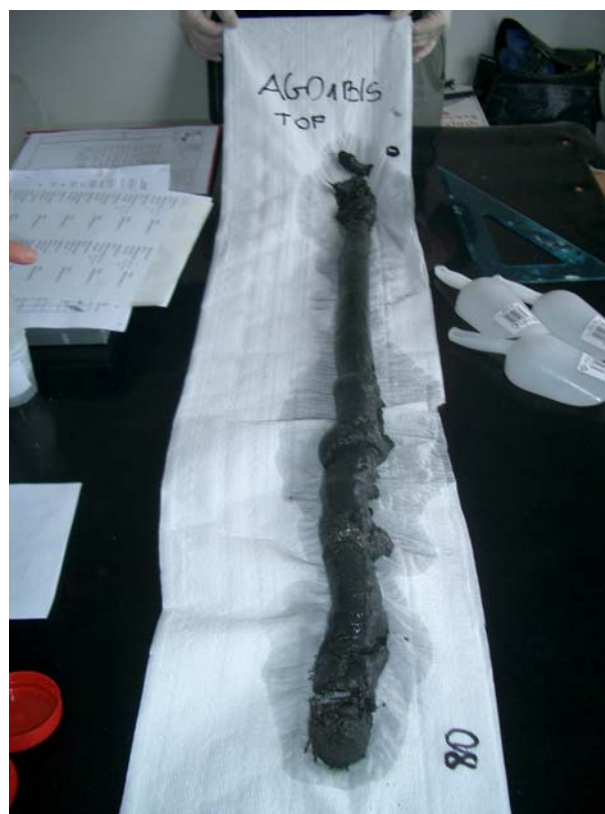
*Fig. 3.2c – campione AG-03.*



*Fig. 3.2d – campione AG-04.*



**Fig. 3.2e** – campione AG-05.



**Fig. 3.2g** – campione AG-01bis.



**Fig. 3.2f** – campione AG-06.



**Fig. 3.2h** – campione AG-07.





*Fig. 3.2i – campione AG-04 bis.*

### 3.3 *Risultati delle analisi*

Il lavoro di caratterizzazione ambientale è stato effettuato sulle 6 carote prelevate ed ha previsto le seguenti indagini chimico-fisiche, effettuate su due campioni prelevati a due diverse altezze della carota (da 0 a 20 cm un altro a fondo carota): residuo fisso a 600°C; residuo fisso a 105°C; contenuto d'acqua naturale; determinazione in sito di Eh e pH. La caratterizzazione chimica ha previsto, per ogni campione la verifica delle concentrazioni di Cr, Cu, Ni, V, Co, Zn, Pb, As, Cr, e Hg, inoltre i valore di Carbonio e Azoto totali nei sedimenti. Ulteriori analisi hanno previsto la misura dei valori di concentrazione di Idrocarburi pesanti (C>12) e leggeri (C<12). Sono state misurate le concentrazioni di composti organici, i 16 IPA considerati prioritari da US EPA e i PCB. Infine, le indagini microbiologiche sono state effettuate solo sul primo livello di carote campionate. Per una trattazione più analitica delle indagini si rimanda alla relazione tecnica fornita da I.A.M.C. a corredo dei risultati e della certificazione delle analisi.

Come richiesto dalla normativa vigente (D.Lgs. 152/2006), sono state rilevate le concentrazioni di: idrocarburi, metalli, composti organici e microbiologici. I valori sono stati confrontati con le tabelle del citato D.Lgs, traendo in sintesi i risultati di seguito puntualizzati.

- Il carbonio organico totale è compreso tra 2.45 % e 0.1%, mentre le percentuali di Azoto totale nel sedimento sono sempre sotto i limiti di lettura dello strumento.
- Gli idrocarburi leggeri sono sempre al di sotto delle soglie strumentali, tranne sul top della carota **AG06** in cui sono stati misurati come 0.010 mg/kg.
- Gli idrocarburi pesanti mostrano valori compresi tra 5 e 438 mg/kg, solo il top della carota **AG04** è caratterizzato da un'elevata concentrazione (1083 mg/kg) limitata alla zona, legato verosimilmente alla fuoriuscita di carburante dal serbatoio di un natante affondato nella zona nei giorni precedenti alla campionatura.
- I valori dei metalli pesanti risultano sempre al di sotto dei limiti riportati nella colonna B per siti industriali ed antropizzati (Tab.1 dell'All. 5 - Titolo V della parte Quarta del D.Leg 152/2006). Per tutti i parametri analizzati, vari campioni riportano concentrazioni superiori alla colonna A (per aree naturali) di detta tabella.

- Per i composti organici la concentrazione di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), dei singoli congeneri per cui esistono valori di riferimenti soglia e dei PCB, i valori di concentrazione escludono un significativo impatto antropico nell'area investigata.
- Le indagini microbiologiche hanno riportato l'assenza della Salmonella, i valori degli altri microrganismi risultano molto limitati.

In conclusione, l'insieme delle analisi chimiche e microbiologiche escludono un significativo contributo di microinquinanti nei sedimenti ed importanti contaminazioni che impongono interventi di bonifica prima dell'attività di rimozione del materiale.

Per i valori dei parametri chimici richiesti dalla normativa vigente, i sedimenti possono essere classificati, secondo la tabella 2.2 “Classi di qualità del materiale caratterizzato e opzioni di gestione compatibili” del “Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini” (I.C.R.A.M.), per lo più appartenenti alla classe di qualità **B1**. Sebbene ridotti volumi di sedimento potrebbero essere ascritti alla classe **A2**, per l'esiguità degli spessori e la limitatezza areale risulterebbe impossibile in fase di esecuzione lavori differenziarne il prelievo e quindi la destinazione.

Per i sedimenti della classe B1, che nel caso specifico sono caratterizzati da una prevalenza di sabbia (50-65 %), sono previsti i seguenti impieghi:

1. *Riutilizzi a terra (secondo la normativa vigente);*
2. *Deposizione in bacini di contenimento che assicurino il trattenimento di tutte le frazioni granulometriche del sedimento (incluso il riempimento di banchine).*
3. *Trasporto in discarica autorizzata.*

## 4. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEL FONDALE NELL'AREA DI INTERVENTO

### 4.1 Prove penetrometriche dinamiche (DPM e DPL)

Al fine di fornire indicazioni utili per la progettazione dell'escavo, è stata effettuata la caratterizzazione geologica del settore del porto di cui è stata rilevata la batimetria (cfr. cap. 2). La suddetta caratterizzazione è stata finalizzata all'identificazione dello spessore di sedimenti sciolti, ovvero della profondità del tetto del substrato roccioso al disotto dell'attuale fondale. Questo aspetto è, infatti, di assoluta rilevanza ai fini della progettazione delle opere di dragaggio, poiché da esso dipende la tecnica di scavo da utilizzare ed anche i costi.

A tale scopo sono state effettuate indagini penetrometriche dinamiche, differenziate, in relazione all'utilizzazione dai pontili o da un'imbarcazione, rispettivamente in prove DPM (penetrometro dinamico medio della PAGANI – DL030) e DPL (penetrometro dinamico leggero).

Nell'area indagata, limitatamente al settore 1, sono state realizzate complessivamente 9 prove penetrometriche dinamiche di cui 4 (P1 ÷ P4; cfr. Fig. 4.1 ÷ Fig. 4.4), mediante il penetrometro dinamico medio (DPM) al bordo del primo pontile comunale, e 5 (P5 ÷ P9; cfr. Fig. 4.5 ÷ Fig. 4.9) mediante il penetrometro dinamico leggero (DPL), da una piccola imbarcazione e con l'ausilio di un operatore in piedi in acqua bassa. Queste ultime prove sono state concentrate laddove le strutture a *mattes* raggiungono la minore profondità.

Com'è noto, la prova penetrometrica dinamica consente di determinare indirettamente le caratteristiche geomeccaniche dei terreni costituenti il sottosuolo, incoerenti o coesivi, mediante una procedura standardizzata che permette la misura dell'energia necessaria all'infissione nel terreno di una punta conica.

Nel caso del DPM, la punta è costituita da un cono di acciaio con angolo di 90° ed area di base di circa 10 cm<sup>2</sup>. La suddetta punta conica viene infissa nel terreno mediante una batteria di aste di acciaio, di diametro 20 mm e peso di 2.4 kg/m, alla cui estremità superiore è

esercitata un'energia d'impatto costante, rappresentata dalla caduta di un maglio di 30 kg di peso dall'altezza di 20 cm (58.86 J).

Invece, nel caso del DPL la punta è costituita da un cono di acciaio con angolo di  $90^\circ$  ed area di base di circa  $6 \text{ cm}^2$ . La suddetta punta conica viene infissa nel terreno mediante una batteria di aste di acciaio, di diametro 16 mm e peso di 1.64 kg/m, alla cui estremità superiore è esercitata un'energia d'impatto costante, rappresentata dalla caduta di un maglio di 6 kg di peso dall'altezza di 50 cm (29.43 J).

In entrambi i casi, la prova consiste nel misurare il parametro  $N_{10}$ , rappresentato dal numero di cadute del maglio, **numero di colpi**, necessari all'infissione nel terreno della batteria di aste per 10 cm. La punta conica ha un diametro superiore a quello delle aste che la seguono, pertanto le aste sono soggette durante l'infissione ad un attrito laterale trascurabile, soprattutto con terreni incoerenti e per profondità non elevate. L'attrito che inevitabilmente si genera al crescere della profondità è inoltre compensato dal peso delle aste anch'esso crescente con la profondità.

Nel caso del DPM, l'attrezzatura penetrometrica utilizzata consta di un gruppo motore, di 4.5 Hp, che aziona una pompa ad olio; l'olio in pressione, attraverso una tubazione di mandata ed una di ritorno, aziona un motore idraulico che, mediante un manovellismo, solleva e lascia cadere liberamente la massa battente di 30 kg sul piatto di battuta situato in testa alla batteria di aste. La frequenza di cadute del maglio è di circa 55 colpi/minuto. La prova viene spinta fino alla profondità di interesse, difficilmente superiore ai 15 m, o comunque fino alla profondità alla quale il numero di colpi diventa molto elevato; generalmente si adotta il valore di 100 colpi, per il quale si ritiene che sussista il "rifiuto" alla penetrazione. Il risultato finale della prova penetrometrica dinamica è la misura del numero di colpi necessario all'infissione di 10 cm di aste, questa è correlabile mediante relazioni empiriche alle principali caratteristiche geomeccaniche dei terreni.

Mentre nel caso del DPL, il maglio e la sua caduta vengono effettuati mediante sollevamento e rilascio manuali.

Le prove sono state spinte in ogni caso fino alla profondità di “rifiuto” ritenuta, per il contesto geologico locale come corrispondente al substrato flisciode arenaceo-marnoso. Da ciò è stato possibile caratterizzare l’assetto stratigrafico del fondale investigato.

L’analisi dei sondaggi penetrometrici evidenzia una spiccata eterogeneità dei depositi marini. In particolare, dall’esame dei *logs* penetrometrici (figure seguenti) è possibile evincere tale differente comportamento geomeccanico.

Al fine di esprimere le misure effettuate con i due differenti penetrometri è stata utilizzata la “*formula degli olandesi*” (Sanglerat, 1972) che esprime il numero di colpi in termini di resistenza dinamica (MPa), considerando le caratteristiche geometriche e dinamiche di ciascun penetrometro dinamico.

$$Rd(MPa) = \frac{m \times H \times g}{A \times \frac{z}{N_z}} \times \frac{m}{m + m'} \Rightarrow \left[ \frac{kg \times m \times m}{s^2 \times m^2 \times m} = \frac{N}{m^2} \right]$$

dove:

$Rd$  = resistenza dinamica (MPa);

$m$  = peso del maglio (kg);

$H$  = altezza di caduta (m);

$g$  = accelerazione di gravità ( $m/s^2$ );

$A$  = sezione della punta ( $m^2$ );

$z$  = intervallo di profondità nel quale sono discretizzate le misure (m);

$N_z$  = numero di colpi rilevato per l’infissione della punta e delle aste di un intervallo di profondità  $z$ ;

$m'$  = peso dell’incudine e delle aste infisse (kg).

Per la presenza di terreni a comportamento chiaramente incoerente è stata valutato quale parametro rappresentativo della resistenza al taglio dei materiali, l’angolo di attrito efficace ( $\phi'$ ). Tale parametro, com’è noto, esprime la resistenza al taglio del terreno in termini di tensioni efficaci ed è applicabile su terreni a media-elevata permeabilità saturi, quando

questi sono sottoposti ad un sovraccarico applicato ad una velocità inferiore a quella necessaria alla dissipazione delle pressioni interstiziali; com'è noto, tale condizione è definita come condizione drenata.

Per ciò che attiene la caratterizzazione geomeccanica, a partire dai risultati delle prove penetrometriche DPM, è stata utilizzata la relazione tra il numero di colpi della prova penetrometrica standard ( $N_{SPT}$ ) e l'angolo di attrito in termini di tensioni efficaci ( $\phi'$ ), nota come *Road Bridge Specification*:

$$\phi' = \sqrt{15 \cdot N_{SPT}} + 15$$

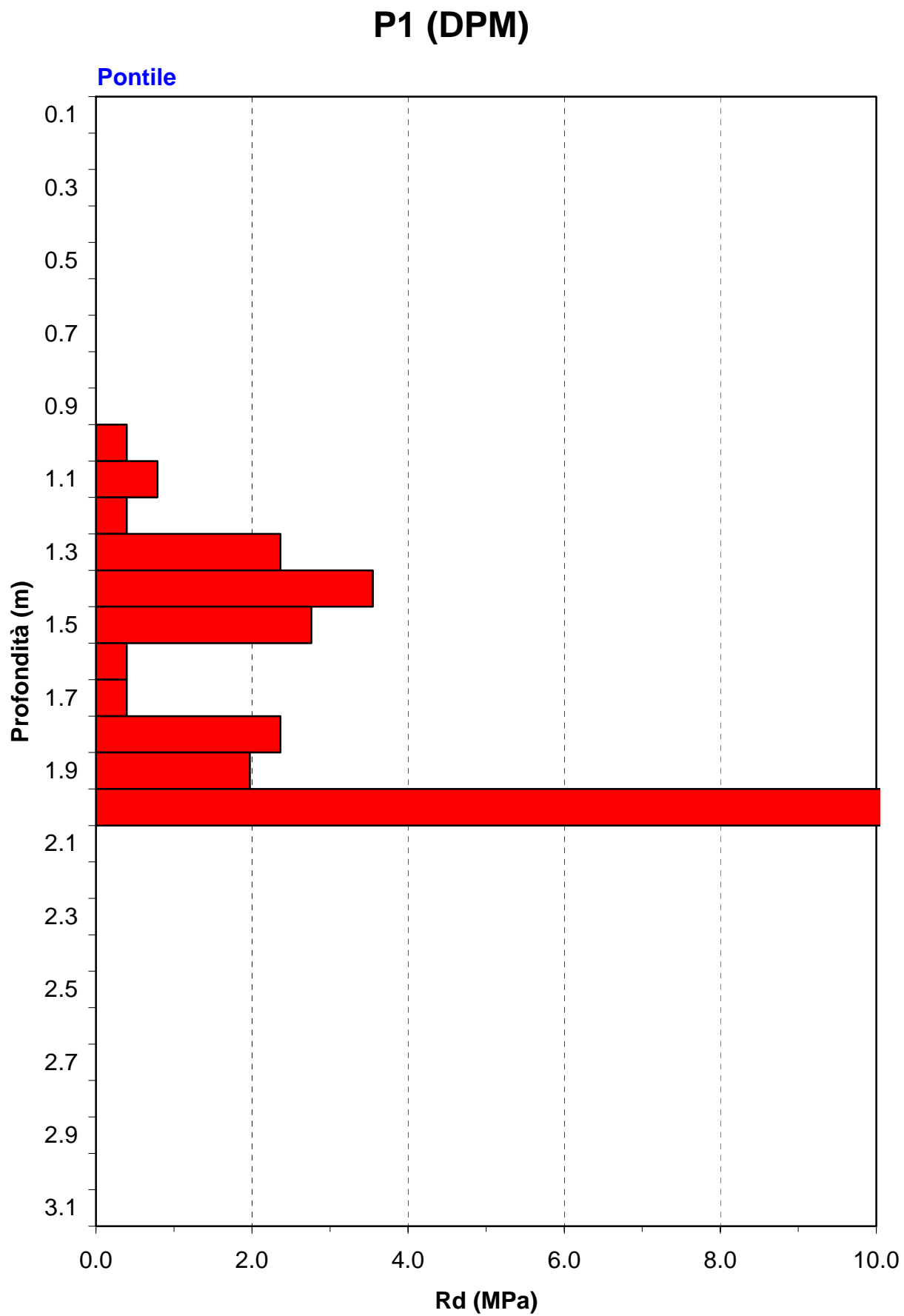
Il valore di  $N_{10}$  ottenuto mediante il DPL è stato trasformato in quello equivalente di DPM, mediante il rapporto  $Rd_{DPL}/Rd_{DPM}$ . I valori di  $N_{10DPM}$  sono stati trasformati in valori di  $N_{SPT}$  mediante la relazione empirica di Vanelli e Benassi (1983), sperimentata per il penetrometro dinamico medio DL030. Successivamente, applicando la formula empirica nota come *Road Bridge Specification* è stato determinato per ciascun intervallo di profondità il valore equivalente di angolo attrito efficace ( $\phi'$ ).

I risultati di caratterizzazione geomeccanica (Tab. 4.1), sebbene indicativi per l'approssimazione insita nelle formule empiriche e nelle correlazioni indirette, possono essere cautelativamente utilizzati limitatamente ai valori più bassi ( $17^\circ \div 20^\circ$ ) che, peraltro, appaiono congruenti con litologie sabbioso-limose sciolte.

Profondità	P1	$\phi'$	P2	$\phi'$	P3	$\phi'$	P4	$\phi'$	P5	$\phi'$	P6	$\phi'$	P7	$\phi'$	P8	$\phi'$	P9	$\phi'$
(m)	( $N_{10}$ )	(°)	( $N_{10}$ )	(°)	( $N_{10}$ )	(°)	( $N_{10}$ )	(°)	( $N_{10}$ )	(°)	( $N_{10}$ )	(°)	( $N_{10}$ )	(°)	( $N_{10}$ )	(°)	( $N_{10}$ )	(°)
0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	22	8	25	-	-
0.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	20	4	21	7	24	-	-
0.8	-	-	3	22	-	-	-	-	-	-	8	24	3	20	6	23	3	20
0.9	-	-	5	24	-	-	-	-	5	22	6	23	7	24	4	21	4	21
1.0	1	17	3	22	-	-	-	-	5	22	6	23	2	18	5	22	3	20
1.1	2	20	1	17	6	25	-	-	6	23	3	20	2	18	4	21	2	18
1.2	1	17	1	17	4	23	-	-	4	21	3	20	5	22	5	22	3	20
1.3	6	25	7	26	8	27	-	-	5	22	2	18	7	24	2	18	4	21
1.4	9	28	5	24	1	17	-	-	4	21	5	22	5	22	2	18	3	20
1.5	7	26	4	23	1	17	-	-	1	15	2	18	4	21	3	20	3	20
1.6	1	17	1	17	2	20	-	-	1	15	1	15	4	21	Rifiuto	-	3	20
1.7	1	17	1	17	1	17	-	-	1	15	2	18	9	25			3	20
1.8	6	25	9	28	1	17	1	17	1	15	2	18	5	22			Rifiuto	-
1.9	5	24	60	42	1	17	1	17	1	15	2	18	5	22				
2.0	Rifiuto	-	Rifiuto	-	4	23	1	17	Rifiuto	-	4	21	3	19				
2.1					10	28	40	38			4	21	18	29				
2.2					Rifiuto	-	3	22			8	24	Rifiuto	-				
2.3							1	17			8	24						
2.4							6	25			9	25						
2.5							20	33			Rifiuto	-						
2.6							60	42										
2.7							Rifiuto	-										
2.8																		
2.9																		
3.0																		

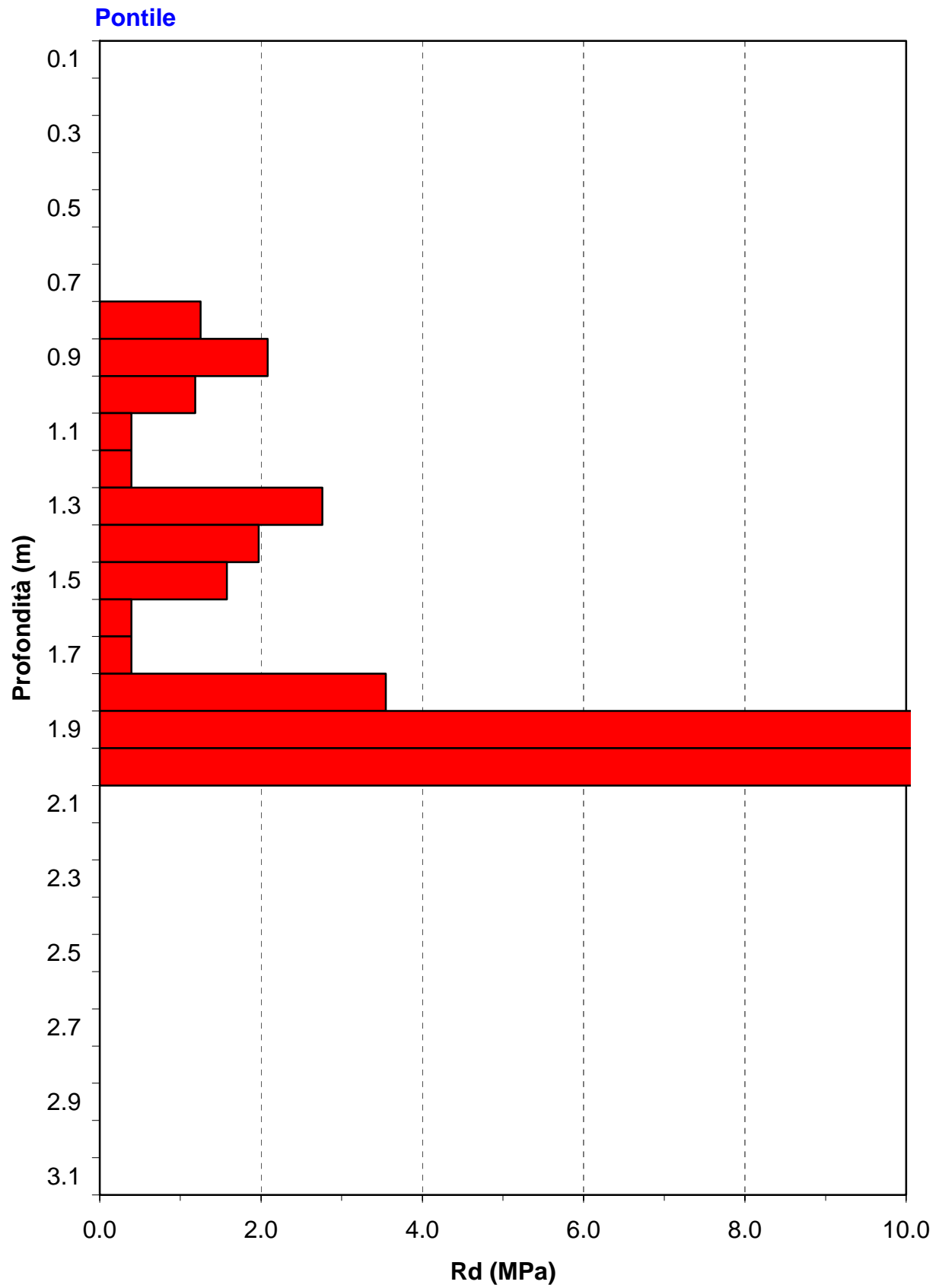
**Tab. 4.1:** risultati delle nove prove penetrometriche dinamiche e caratterizzazione geomeccanica dei terreni attraversati mediante la formula Road Bridge Specification.





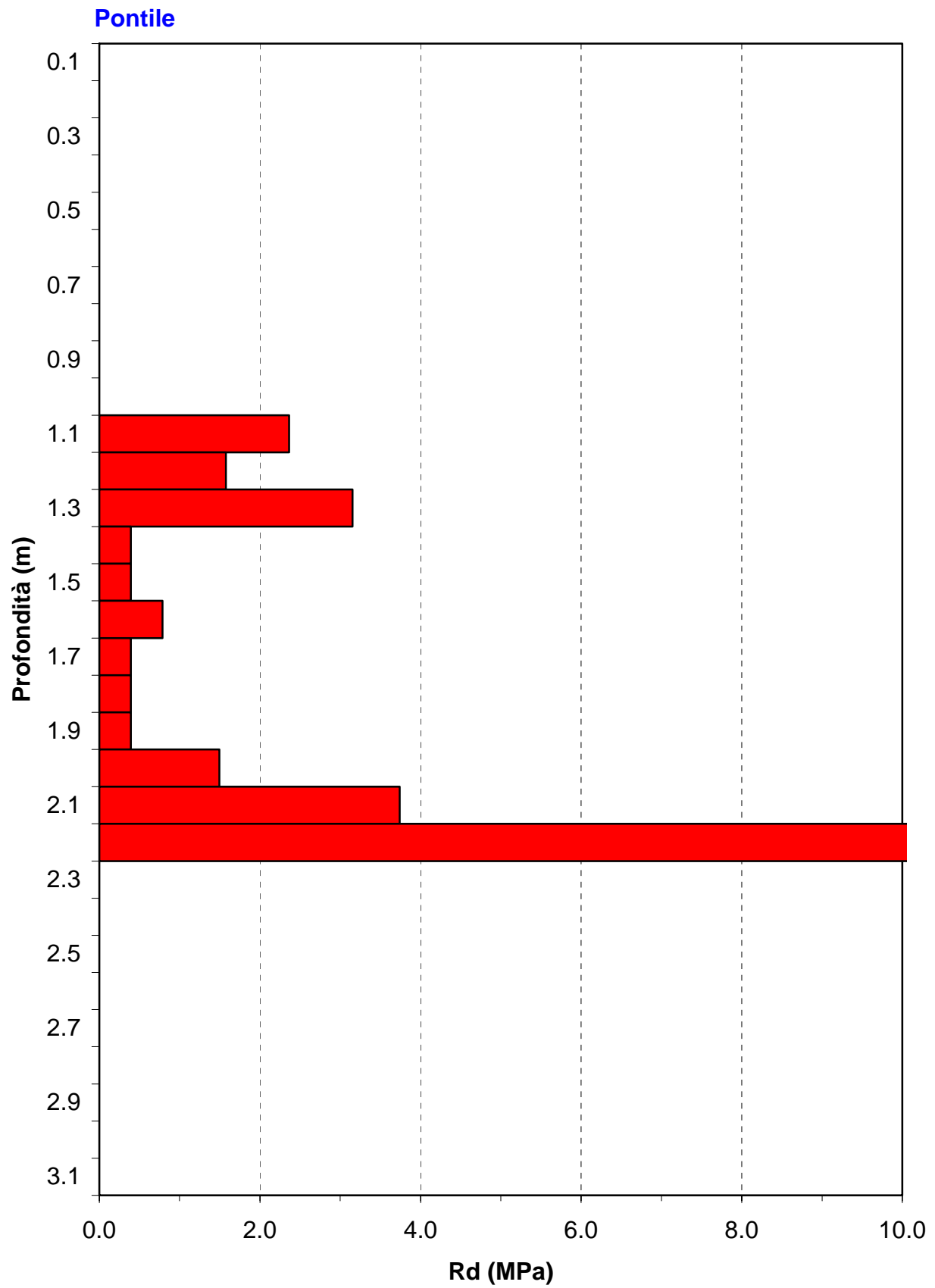
*Fig. 4.1 - prova penetrometrica P1, effettuata con il DPM sul primo pontile comunale.*

## P2 (DPM)



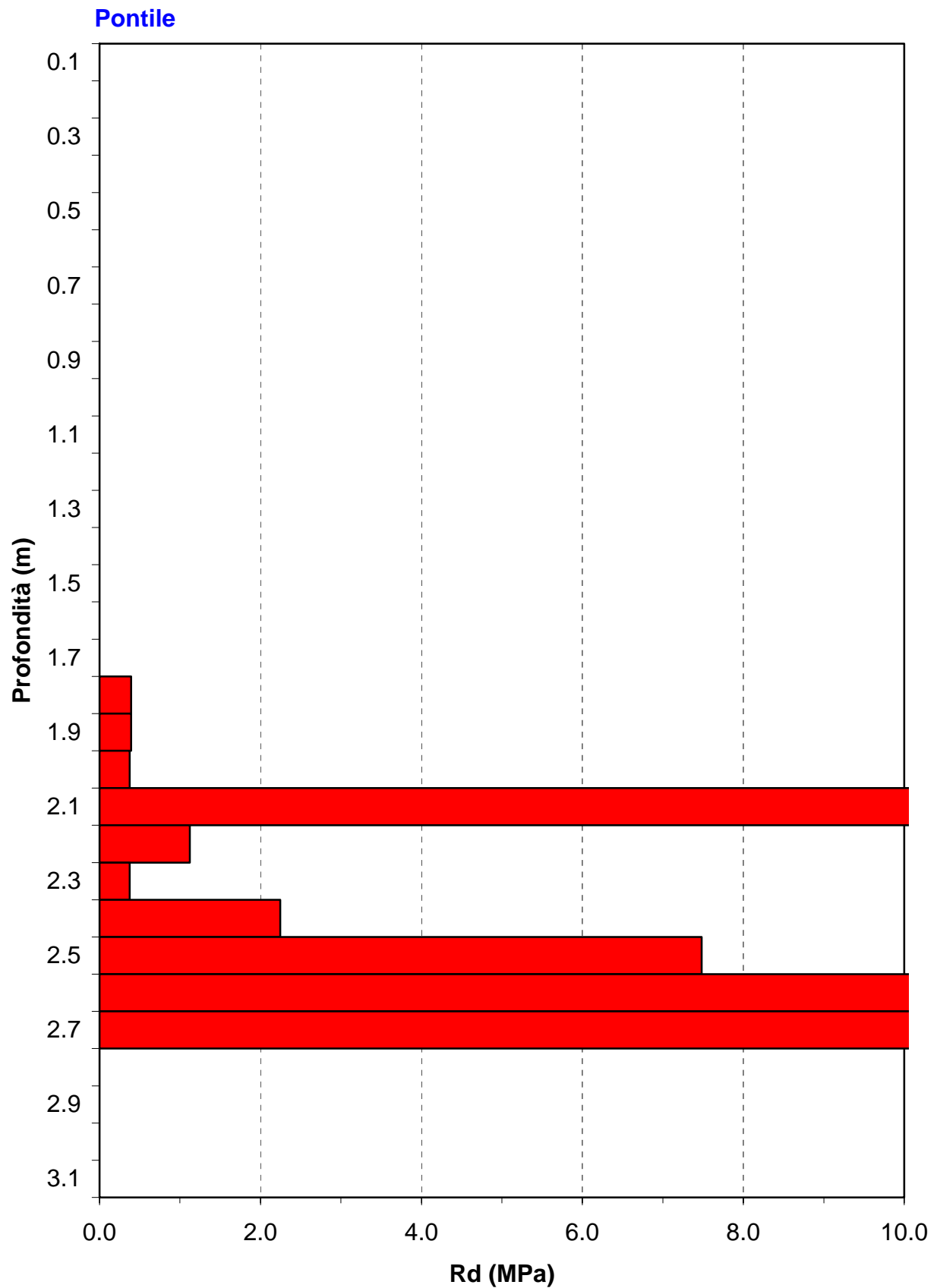
*Fig. 4.2 - prova penetrometrica P2, effettuata con il DPM sul primo pontile comunale.*

## P3 (DPM)



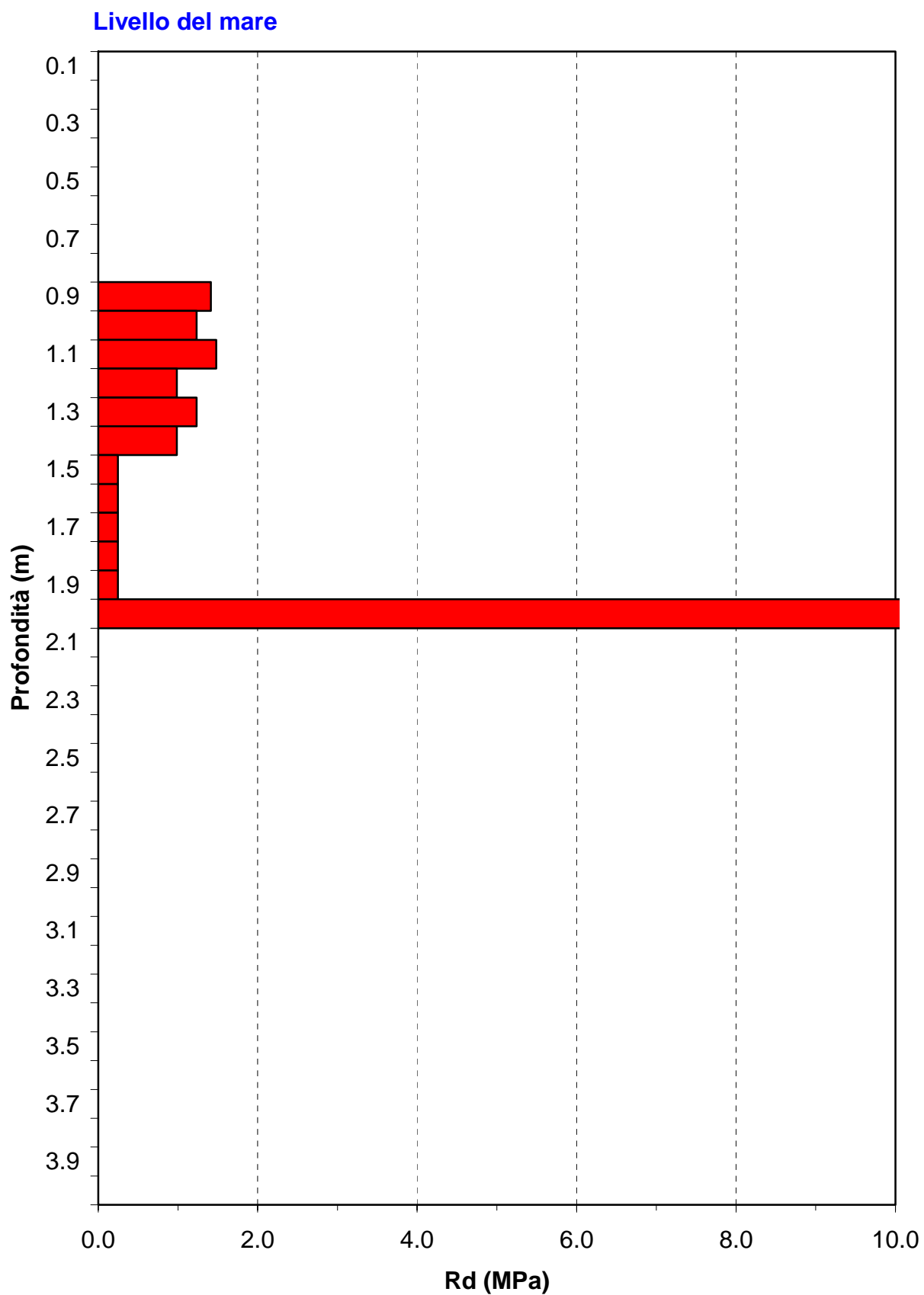
*Fig. 4.3 - prova penetrometrica P3, effettuata con il DPM sul primo pontile comunale.*

## P4 (DPM)



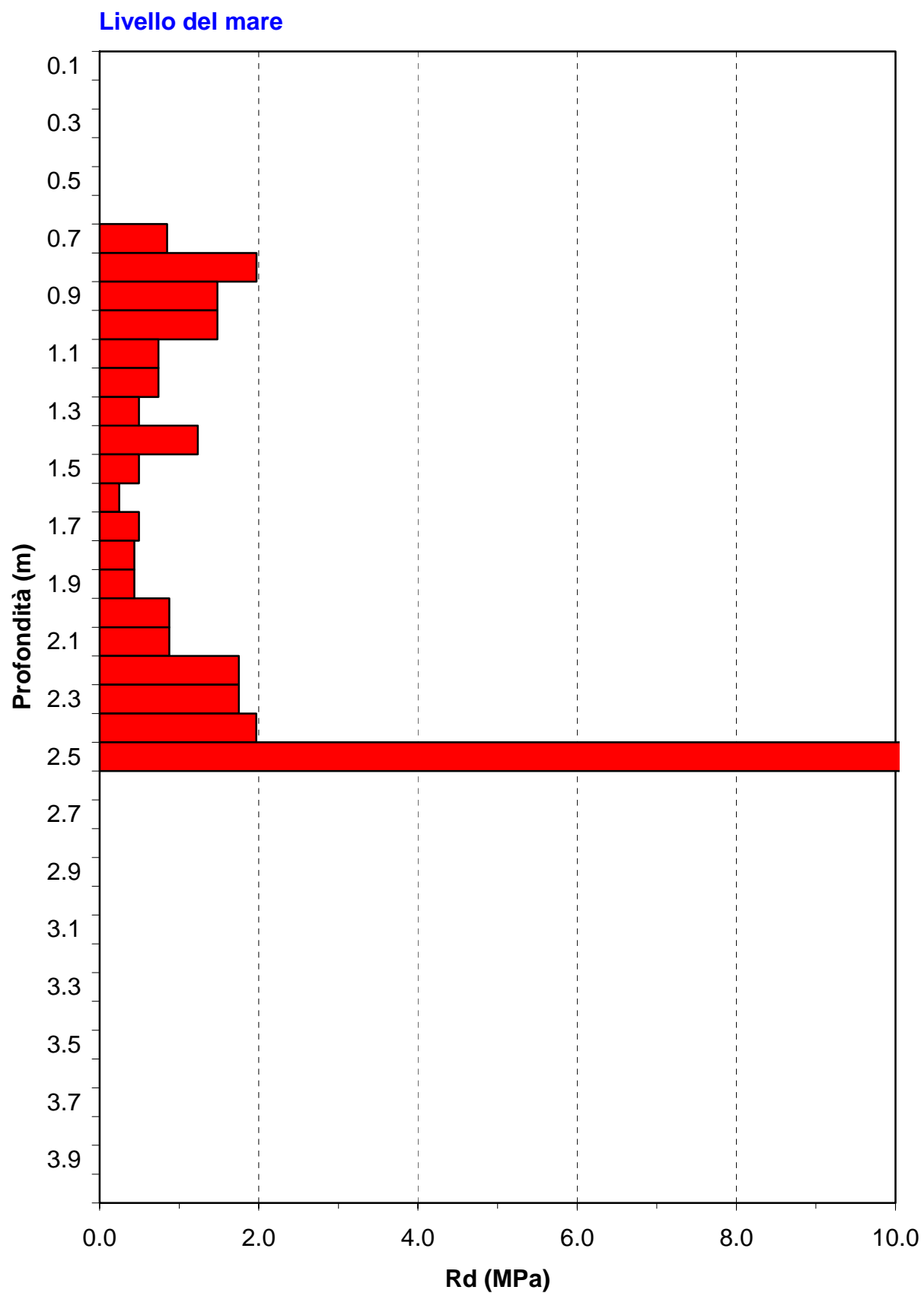
*Fig. 4.4 - prova penetrometrica P4, effettuata con il DPM sul primo pontile comunale.*

## P5 (DPL)



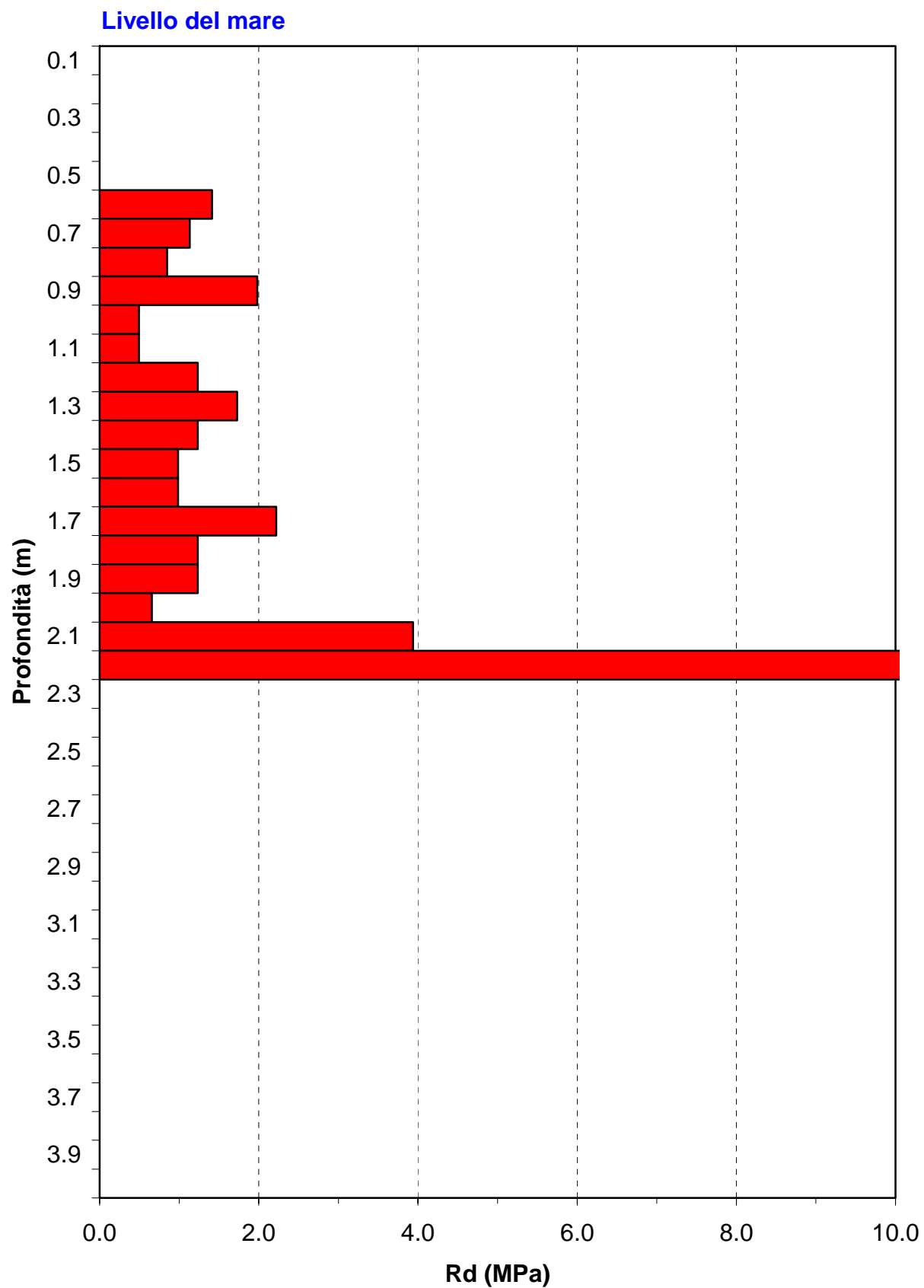
*Fig. 4.5 - prova penetrometrica P5, effettuata con il DPL dall'imbarcazione.*

## P6 (DPL)



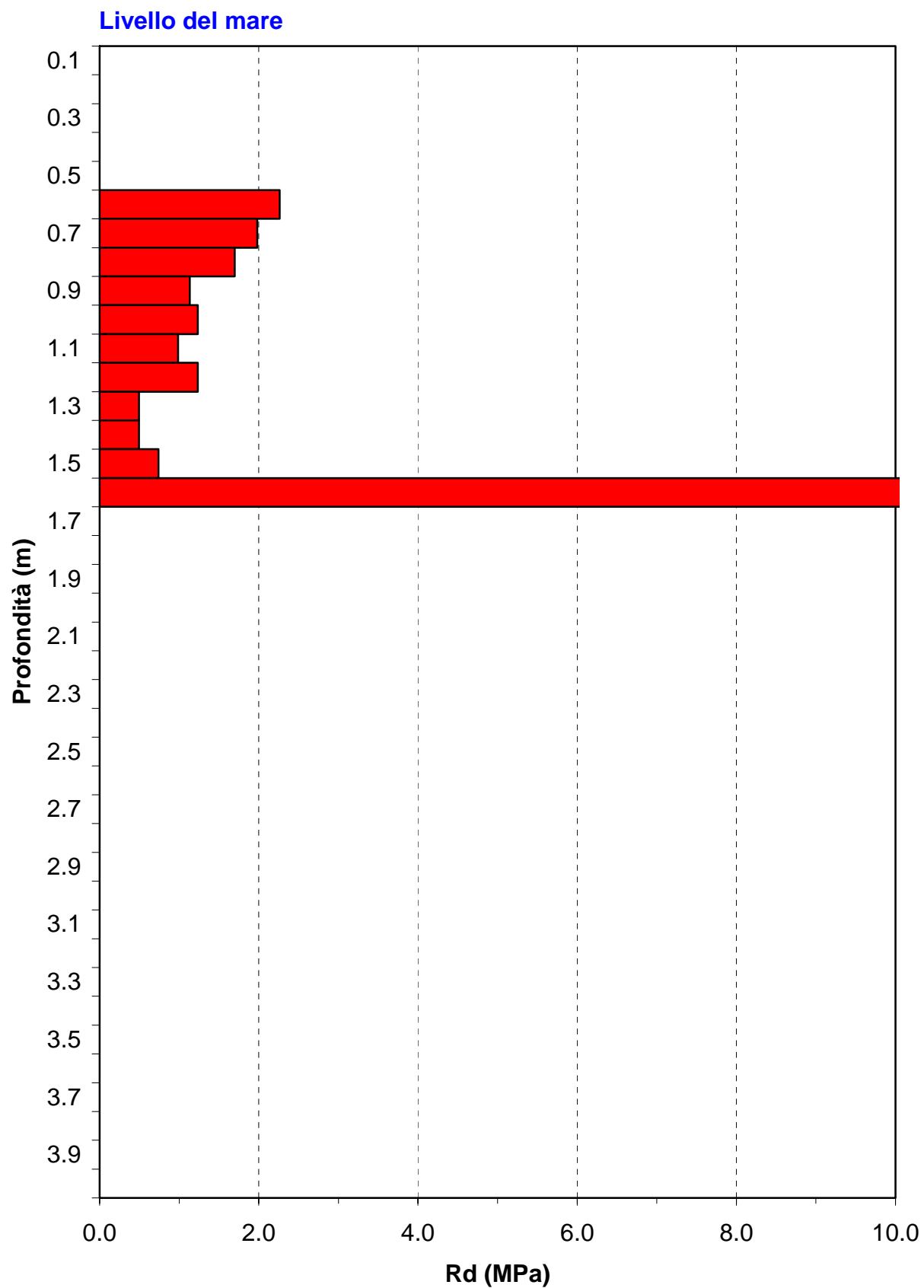
*Fig. 4.6 - prova penetrometrica P6, effettuata con il DPL dall'imbarcazione.*

## P7 (DPL)



*Fig. 4.7 - prova penetrometrica P7, effettuata con il DPL dall'imbarcazione.*

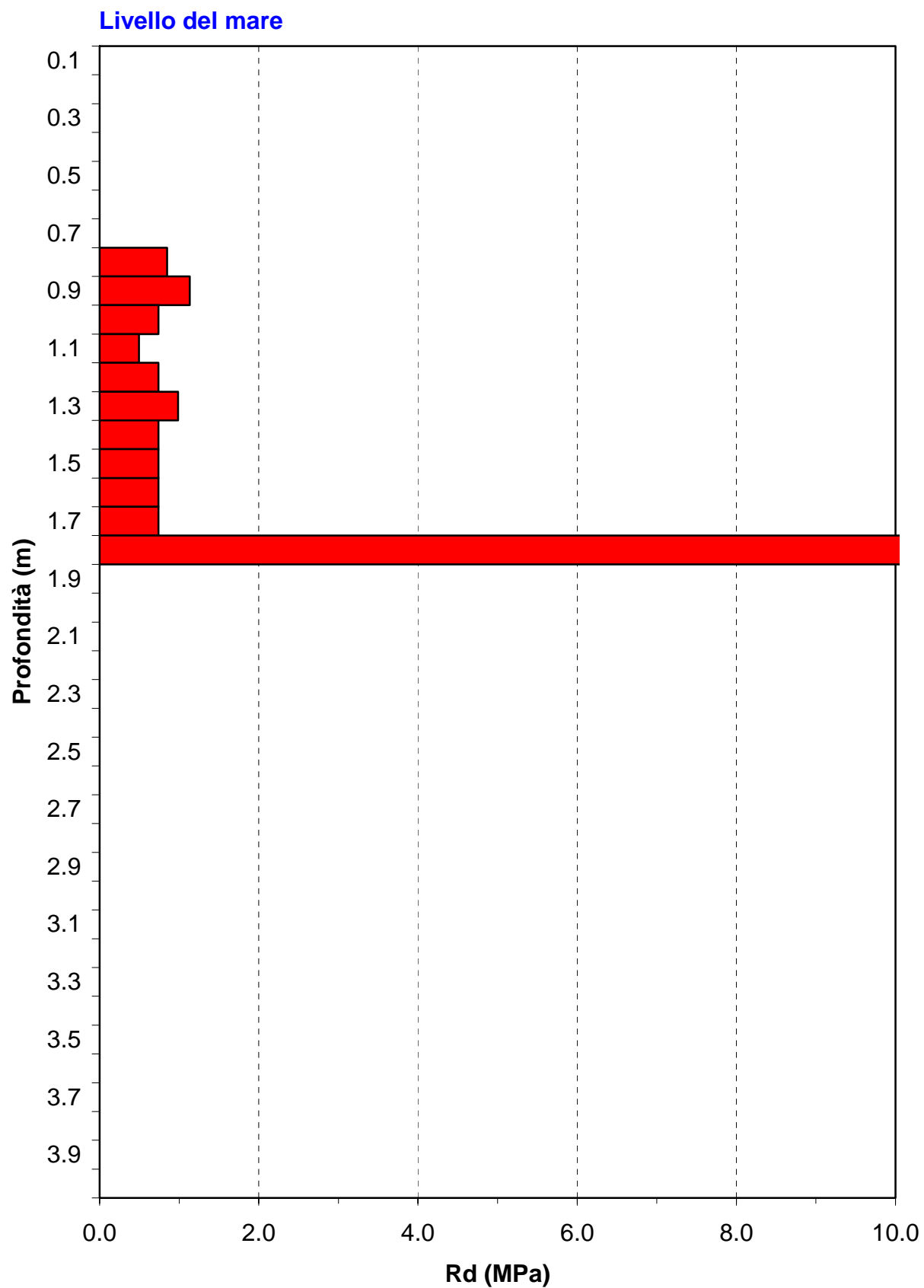
## P8 (DPL)



*Fig. 4.8 - prova penetrometrica P8, effettuata con il DPL dall'imbarcazione.*



## P9 (DPL)



*Fig. 4.9 - prova penetrometrica P9, effettuata con il DPL dall'imbarcazione.*

## 4.2 Ricostruzione del tetto del substrato roccioso

L'insieme dei dati di quota del substrato roccioso (fliscioide), identificato mediante rifiuto delle prove penetrometriche, e derivato dai carotaggi continui effettuati lungo il molo ed i pontili comunali, nell'ambito dello studio geologico "*Indagini geognostiche preliminari per l'escavo del porto di Agropoli*" eseguito dal dott. Geol. Alessandro Conforti nel giugno 2001, ha consentito di ricostruire l'andamento del tetto del substrato. Nel dettaglio, i dati di localizzazione spaziale del tetto del substrato, georeferenziati nel sistema internazione UTM, fuso 33 est, *datum* WGS84, sono stati elaborati mediante interpolazione lineare, ottenendo una carta ad isolinee, rappresentativa delle variazioni di quota del tetto del substrato rispetto al livello MLLW. La suddetta carta ad isolinee è stata sovrapposta a quella batimetrica, consentendo di stimare, per confronto, lo spessore delle strutture biohermali e dei sedimenti litorali sovrapposti al substrato roccioso. Dalla batimetrie e dalla profondità del substrato sono state quindi ricavate sezioni geologiche, la cui analisi ha fornito informazioni di elevata rilevanza per il progetto di escavo.

In termini generali, l'analisi morfologica del tetto del substrato roccioso evidenzia la presenza di un alto in corrispondenza del settore compreso tra il "Molo vecchio" e, approssimativamente, il primo pontile galleggiante che si protende come un piccolo promontorio verso nord, descrivendo isolinee convesse verso nord. Nel settore immediatamente ad ovest, il substrato arretra verso la linea di riva ed immerge regolarmente verso nord, descrivendo isolinee parallele alla linea di riva. Infine, nell'estremità occidentale dell'area rilevata, all'inizio dell'area portuale assegnata alla Lega Navale Italiana (LNI), il substrato si approfondisce bruscamente, evidenziando l'esistenza di un antica forma di erosione lineare (paleocanale), successivamente riempita dai sedimenti litorali.

Sulla base dei dati batimetrici e di profondità del tetto del substrato sono state realizzate sezioni geologiche lungo i profili longitudinali PL1 ÷ PL7 (Tavola 05). Dette sezioni sono state realizzate in maniera semplificata ai fini della progettazione dell'escavo, considerando l'insieme dei depositi litorali e delle strutture biohermali ed il substrato fliscioide. Questa differenziazione è stata basata sulla differente resistenza meccanica dei due corpi geologici e quindi sulle differenti problematiche di escavo.

Dette sezioni sono state rappresentate in scala 1:500, con esagerazione di 10 volte della scala verticale rispetto a quella orizzontale.

## **5. INDICAZIONI PER LA PROGETTAZIONE DELL'ESCAVO**

Sulla base degli elementi acquisiti è stato possibile caratterizzare gli elementi salienti necessari alla progettazione dell'escavo del settore sud-orientale del porto di Agropoli, compreso tra il "Molo vecchio" e l'area portuale in assegnazione alla Lega Navale Italiana (LNI), in alcune parti del quale sono state rilevate condizioni di fondale basso (anche inferiore a 0.50 m in caso di marea sigiziale), tali da impedire la navigazione di imbarcazioni da diporto di piccola-media grandezza. Il progetto comprende anche la rimozione di sedimenti fini sul lato interno del "Molo vecchio" in corrispondenza dell'attracco dell'aliscafo e la stabilizzazione del fondo (cfr. par. 2.3).

Per l'identificazione della profondità ottimale da ripristinare mediante le operazioni di escavo, è stato considerato che, per la distanza intercorrente tra i pontili (anche quelli galleggianti) pari a circa 22 m, lo spazio di manovra a disposizione per le imbarcazioni, nel caso ovvio di imbarcazioni già ormeggiate su entrambi i lati dei pontili, consentirebbe l'attracco di imbarcazioni a motore di lunghezza non superiore a 7 m, quindi con pescaggio non superiore a circa 1.0 m (nel caso di motore entro bordo con piede e scavo a V). Inoltre, le operazioni di escavo, comportando un incremento dei posti barca nel settore compreso tra il primo pontile comunale ed il "Molo vecchio", consentirebbero la ricollocazione delle imbarcazioni a motore con le suddette caratteristiche, attualmente ormeggiate in zone a profondità anche superiori a 2 m, e quindi la creazione di nuovi posti per imbarcazioni a vela, di lunghezza inferiore a 7 m, che richiedono un pescaggio superiore ad 1 m. In tal senso è stata identificata la profondità ottimale da ripristinare come pari a 1.5 m rispetto al livello di marea minima sigiziale (LMMW).

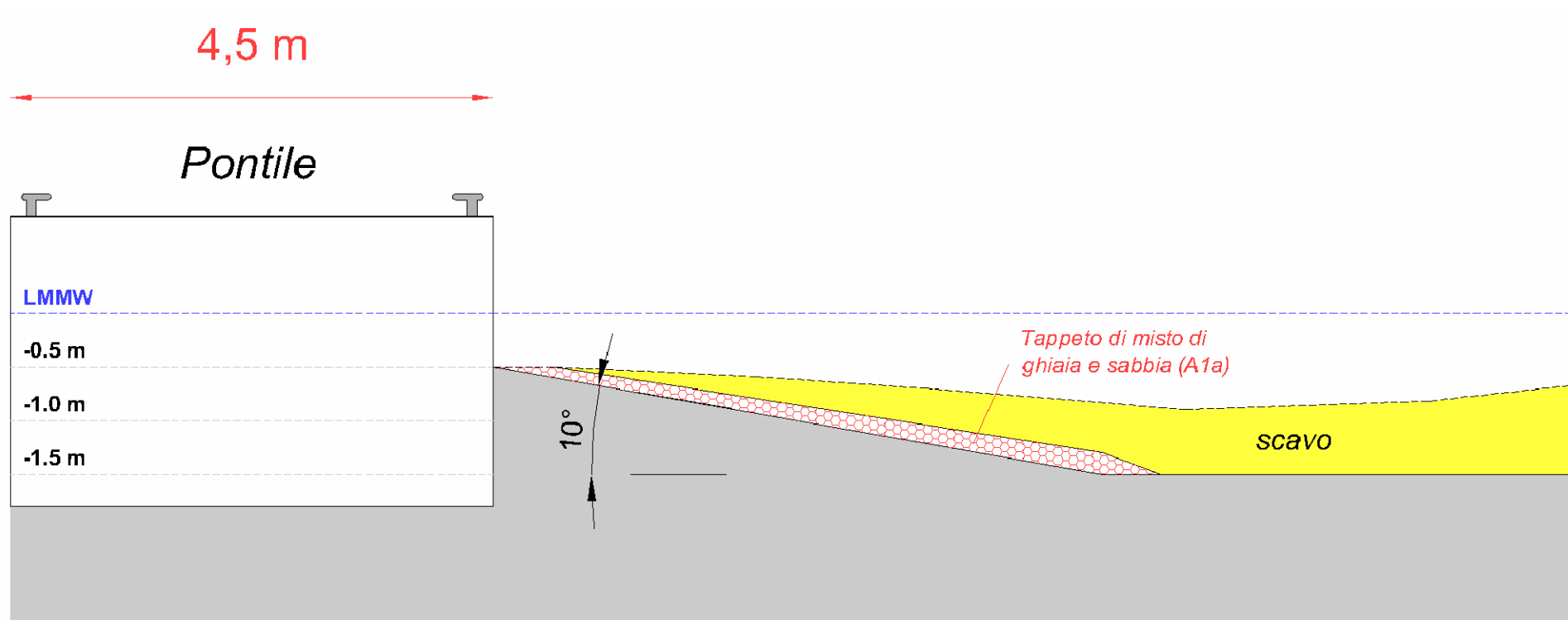
### ***5.1 Calcolo dei volumi di escavo e sezione tipo di raccordo ai pontili comunali***

Il calcolo dei volumi di escavo è stato effettuato considerando la rimozione delle porzioni di fondale superiori alla isobata di -1.5 m, quindi identificando sui profili longitudinali PL1 ÷ PL7 (Tavola 05), tra loro equidistanti 10 m, le aree derivanti dall'intersezione del profilo batimetrico e la linea di profondità di 1.5 m (in giallo nella Tavola 05). In ogni caso la profondità di escavo non è mai risultata superiore ad 1 m (dal fondo), restando quindi in stretta congruenza con il piano di caratterizzazione dei sedimenti che ha previsto il prelievo di carote fino a tale profondità.

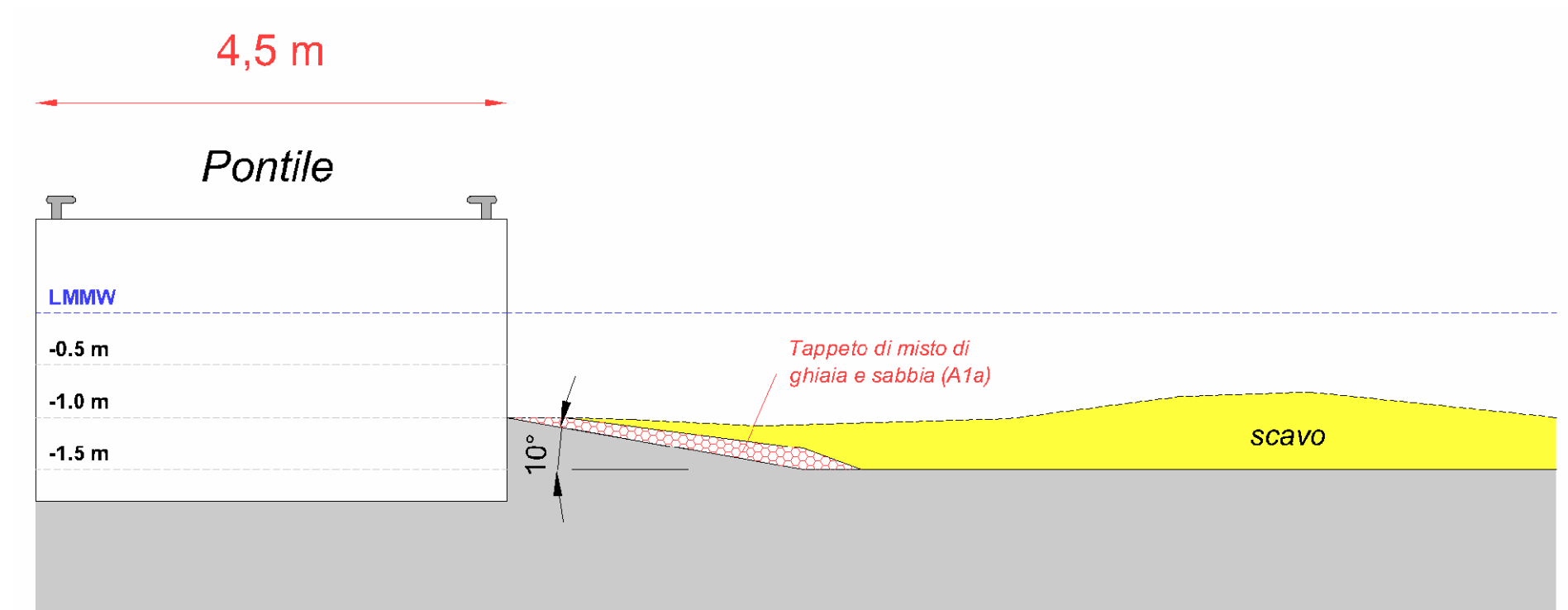
In corrispondenza dei pontili non galleggianti, fondati mediante cassoni in calcestruzzo, è stato ipotizzato nel progetto un angolo della pendice di raccordo tra il piede del pontile e la quota -1.5 m, pari a  $10^\circ$ . Detto angolo appare essere cautelativamente accettabile per la:

- presenza di sedimenti a prevalente granulometria sabbiosa, caratterizzati da un angolo di attrito interno superiore a  $10^\circ$ , come peraltro confermato dai risultati delle prove penetrometriche che, sebbene in maniera indicativa, evidenziano valori minimi attorno ai  $20^\circ$ ;
- per la lunghezza della pendice artificiale, che non raggiungerebbe valori superiori a 6 m nel caso di un'altezza di scavo pari ad 1 m (quota del fondo al piede del pontile pari a 0.5 m);
- per messa in opera, a protezione della pendice, di un tappeto di misto di ghiaia e sabbia grossolana (A1a della classifica AASHTO), di spessore variabile compreso tra 0.2 e 0.3 m, che avrebbe la funzione di stabilizzare il sedimento sottostante impedendone i movimenti conseguenti alla risacca, quindi prevenendo l'erosione della scarpata e lo scalzamento al piede del pontile (Figg. 5.1a e 5.1b).

Il tappeto di misto di ghiaia e sabbia grossolana (A1a della classifica AASHTO), di spessore variabile compreso tra 0.2 e 0.3 m, dovrebbe essere collocato anche nella zona di intervento corrispondente al lato interno del "Molo vecchio", al fine di evitare la rimozione dei sedimenti ad opera delle correnti idriche sviluppate durante le manovre dalle eliche dell'aliscafo.



**Fig. 5.1a:** sezione tipo dello scavo in prossimità del pontile nel caso ideale di profondità iniziale, al piede del pontile, pari a 0.5 m. La pendice artificiale è ricoperta da un tappeto di misto di ghiaia e sabbia grossolana (classe A1a della classifica AASHTO) per annullare l'effetto dell'erosione.



**Fig. 5.1b:** sezione tipo dello scavo in prossimità del pontile nel caso ideale di profondità iniziale, al piede del pontile, pari a 1.0 m. La pendice artificiale è ricoperta da un tappeto di misto di ghiaia e sabbia grossolana (classe A1a della classifica AASHTO) per annullare l'effetto dell'erosione.

La misura effettuata su ciascun profilo longitudinale (PL1 ÷ PL7), tenendo conto anche della sezione tipo descritta, ha consentito di stimare un volume totale di materiale da sottoporre a dragaggio che, assieme a quello derivante dal dragaggio nell'area corrispondente al lato interno del "Molo vecchio", è pari a circa 3000 m<sup>3</sup>, che dopo l'escavazione ed il paleggio potrebbe incrementare fino al circa il 25%, quindi raggiungere circa 3800 m<sup>3</sup> (Tab. 5.1). Nel caso della zona corrispondente all'attracco dell'aliscafo, il volume è stato stimato, considerando la rimozione di 0.2 m di spessore su un'area di 1000 m<sup>2</sup> (50 m × 20 m).

In base alla ricostruzione della profondità tetto del substrato roccioso, il volume di materiale corrisponderebbe globalmente a sedimenti da sciolti a pseudocoerenti (*mattes* di *Posidonia oceanica*), quindi caratterizzati da problematiche di scavo meno onerose di quelle richieste nel caso di fondale roccioso.

PROFILO LONGITUDINALE (TAVOLA 05)	SUPERFICI DI ESCAVO (m <sup>2</sup> )		TOTALE (m <sup>2</sup> )
	<i>Strutture pseudo-biohermali e sedimenti litorali</i>	<i>Substrato flisciode</i>	
<b>PL1</b>	68.4	0	68.4
<b>PL2</b>	69.0	0	69.0
<b>PL3</b>	52.4	0	52.4
<b>PL4</b>	41.9	0	41.9
<b>PL5</b>	35.3	0	35.3
<b>PL6</b>	14.0	0	14.0
<b>PL7</b>	1.6	0	1.6
<b>Media</b>			<b>40.37</b>
<b>Volume di scavo (media × 70 m) (m<sup>3</sup>)</b>		<b>2826</b>	
<b>Volume escavo lato interno "Molo vecchio" (attracco aliscafo) (m<sup>3</sup>)</b>		<b>200</b>	
<b>TOTALE</b>		<b>3026</b>	
<b>Incremento 25% per paleggio (m<sup>3</sup>)</b>		<b>3782</b>	

**Tab. 5.1** – stima dei volumi di scavo, effettuata su ciascuno dei profili longitudinali paralleli alla banchina (PL1 ÷ PL7) e per il settore del Molo vecchio adibito all'attracco dell'aliscafo.

La quantità di misto di ghiaia e sabbia (A1a della classifica AASHTO), da mettere in opera al piede dei pontili comunali e nella zona dell'attracco dell'aliscafo, ammonterebbe a circa 350 m<sup>3</sup>.

## ***5.2 Modalità di esecuzione delle operazioni di escavo***

Per la programmazione delle attività di dragaggio in aree portuali è stato fatto riferimento al già citato manuale dell'ex-I.C.R.A.M. (attualmente I.S.P.R.A.), che identifica i seguenti obiettivi per la minimizzazione dell'impatto sull'ambiente circostante:

- A. dragaggio in sicurezza e precisione, minimizzando le quantità d'acqua presente nei materiali rimossi;***
- B. rendere nulle o minime le quantità di materiale disperso, adottando ove possibile sistemi chiusi;***
- C. limitare la torbidità e la mobilitazione di inquinanti indotta dalle operazioni.***

Nel caso specifico, i suddetti obiettivi sono stati resi raggiungibili dal progetto sulla base delle informazioni in parte già acquisite con il piano di caratterizzazione dei sedimenti e dalla opportuna programmazione degli interventi di dragaggio, finalizzata alla minimizzazione degli impatti ambientali, che hanno consentito di analizzare i possibili impatti sull'ambiente circostante il sito di dragaggio, con particolare riferimento a quanto indicato nel citato manuale:

- a) variazioni della morfologia e della batimetria dei fondali;*
- b) aumento della torbidità delle acque durante le attività di dragaggio e le sue possibili ripercussioni sulle aree limitrofe, con particolare attenzione alle biocenosi di elevato interesse naturalistico e agli usi legittimi del mare;*
- c) eventuale risospensione del materiale depositato ma non ancora consolidato e che, una volta terminate le attività di dragaggio, potrebbe essere rimesso in circolo nella colonna d'acqua dalle correnti o dal passaggio delle navi;*
- d) possibili aumenti di concentrazione nella colonna d'acqua di quei contaminanti risultati a rischio nella fase di caratterizzazione del sedimento.*

In considerazione della specificità del progetto di escavo, delle caratteristiche morfologiche, batimetriche, sedimentologiche e biologiche del fondale all'interno dello stesso, nonché al fine di ottemperare agli obiettivi prescritti dal manuale dell'ex-ICRAM (punti A ÷ C e a ÷ d), si indicano le tecniche di escavo e di gestione dello stesso.



- 1°) In considerazione delle profondità molto modeste, sempre inferiori a 2 m, dei modesti spessori da rimuovere, sempre inferiori ad 1 m, della consistenza non litoide dei depositi di fondale da dragare e della localizzazione molto puntuale degli interventi, si ritiene opportuno l'uso di un **escavatore meccanico**, montato su **pontone galleggiante** di adeguate dimensioni e di pescaggio inferiore a 1.5 m. L'escavatore dovrebbe utilizzare in alternativa, a seconda delle condizioni maggiormente favorevoli, una *benna mordente* e una *benna trascinata*. Quest'ultimo attrezzo è quello che si presterebbe meglio al dragaggio dei fondali, poiché, una volta calata sul fondale, essa viene trascinata verso la macchina da un sistema di funi di acciaio, raccogliendo il materiale durante questo movimento e mantenendo una quota approssimativamente costante.
- 2°) Il pontone, una volta riempito lo spazio a bordo, atto ad accogliere il materiale dragato, dovrebbe accostare alla banchina, preferibilmente quella interna del "Molo vecchio", attualmente adibita all'attracco dell'aliscafo, per consentire il trasferimento del carico su camion fino alla destinazione finale, compatibile con quelle previste per la classe B1 del manuale dell'ex-I.C.R.A.M.
- 3°) Al fine di contenere il materiale disperso durante il dragaggio e di evitare la diffusione della torbidità in aree più ampie del porto, il progetto di escavo prevede la messa in opera di una diga mobile, in materiale plastico, da aprire dopo la fine di ciascun carico del pontone e, comunque, dopo la sedimentazione della maggior parte dei sedimenti in sospensione successiva alla fase di scavo. A tal proposito è necessario sottolineare che per la bassa profondità e vicinanza alla linea di riva, i sedimenti dragati sono depositi litorali di granulometria ad elevata frazione sabbiosa. Ciò comporta la presenza minoritaria di frazioni fini, in particolare di argille, per la cui decantazione sono necessari tempi estremamente lunghi; quindi, nel contempo, anche la difficoltà della rimessa in circolo del sedimento dal fondale dopo il dragaggio, soprattutto per l'assenza in questo settore di forti correnti.
- a. È infine da sottolineare come proprio l'area adibita a dragaggio sia quella naturalmente caratterizzata dal maggiore intorbidimento dell'acqua dell'intero porto, in occasione di fenomeni alluvionali che alimentano i deflussi dell'impiuvio tombato, prossimo alla Guardia Costiera.

### ***5.3 Monitoraggio durante le operazioni di escavo***

Le fasi di dragaggio saranno sottoposte ad azioni di monitoraggio, sia in corso d'opera, sia al termine delle operazioni di escavo, pur in considerazione del fatto che per il contenimento fisico dei sedimenti in sospensione, mediante diga mobile in materiale plastico, non sussisterebbero rischi per le biocenosi esistenti nelle altre aree del porto. Il piano di monitoraggio consisterebbe, in accordo alle prescrizioni del manuale dell'ex- I.C.R.A.M. per i sedimenti di classe non A, nel controllo di:

- 1) profondità dei fondali e quantità del materiale dragato;
- 2) livelli di torbidità e concentrazione di solidi sospesi nelle acque dell'area interessata al dragaggio e delle zone limitrofe;
- 3) possibili alterazioni delle biocenosi di elevato pregio naturalistico;
- 4) possibili aumenti di concentrazione nella colonna d'acqua e sui fondali delle aree circostanti la zona di dragaggio di quei contaminanti risultati a rischio nella fase di caratterizzazione del sedimento;
- 5) variazioni della biodisponibilità e mobilità dei contaminanti mediante l'utilizzo di bioindicatori.

Per i soli sedimenti di classe A il monitoraggio può essere limitato ai punti 1, 2 e 3.

### ***5.4 Identificazione e caratterizzazione dell'area di stoccaggio del materiale dragato***

Per il volume relativamente modesto di sedimenti da dragare potrebbe essere valutato lo smaltimento degli stessi in una discarica autorizzata, oltre che la messa a dimora in un opportuno sito di stoccaggio eventualmente indicato dall'Amministrazione Comunale.

Geol. Pantaleone De Vita  
*Professore Associato di Geologia Applicata  
Dipartimento di Scienze della Terra  
Università di Napoli "Federico II"*