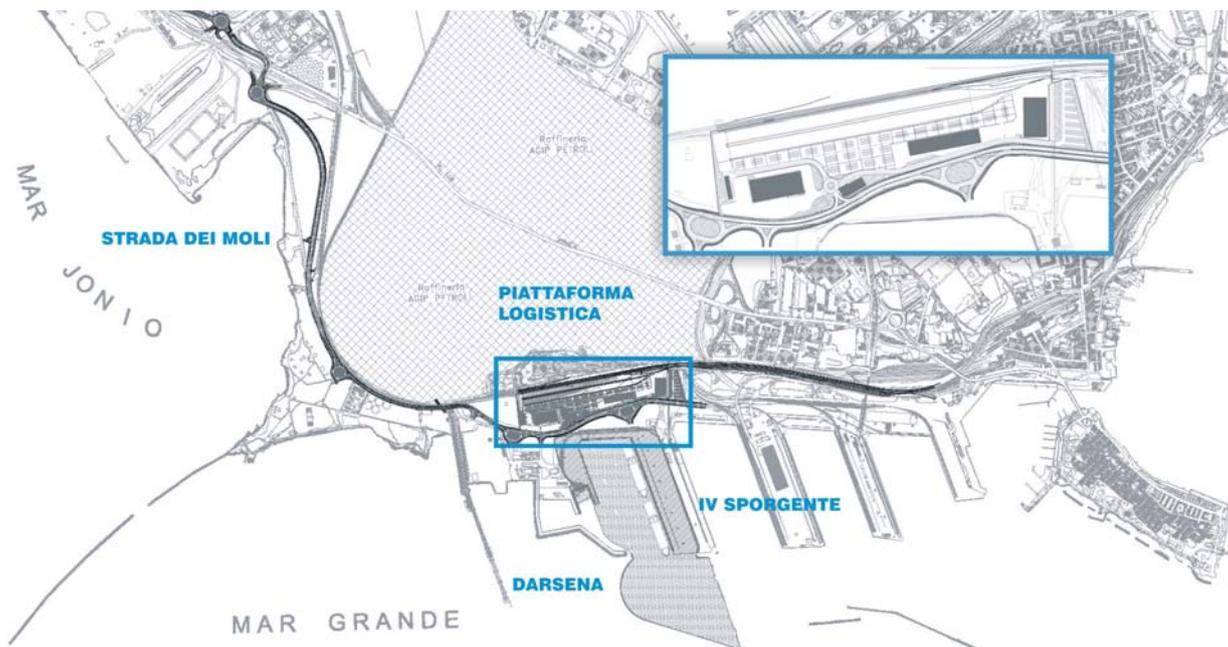




Titolo <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Area IV Sporgente e Darsena Ovest Relazione geologica e geotecnica			Documento no. 123.700 B1 OOAS 002	Rev 01	Pag. 1	di 18
			 Autorità Portuale di Taranto			
Tipo doc. GEN	Emesso da DTL	Commessa no. 123-700	Progetto: Piastra Portuale di Taranto Legge obiettivo delibera CIPE 74/03 Responsabile del procedimento: Ing. D. Daraio			



<b>Progettazione</b> 	<b>Consulenza:</b>  <b>STUDIO GEOTECNICO ITALIANO srl</b> ingegneria geotecnica - ingegneria sismica - ingegneria ambientale geologia applicata
---	---

P	A	SGI	Nosari	Melis	G.Geddo	01	Prima emissione	29-09-2006
St.	Sc.	Redatto	Controllato	Controllato	Approvato	Rev.	Tipo di revisione	Data

SOCIETA' DI PROGETTO:

**TARANTO LOGISTICA S.p.A.**

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra Portuale di Taranto IV Sporgente e Darsena Ovest	123.700 B1 OOAS 002	01	2	18

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>GEOMETRIA DELL'AREA E CARICHI PREVISTI</b> .....	<b>5</b>
3.1	CARICHI PREVISTI AREA QUARTO SPORGENTE .....	5
3.2	CARICHI PREVISTI AREA DARSENA OVEST.....	5
<b>4</b>	<b>STRATIGRAFIA DEL SITO E PROFONDITA' FONDALE</b> .....	<b>7</b>
4.1	INDAGINI SVOLTE .....	7
4.2	STRATIGRAFIA DEL SITO.....	8
4.3	QUOTE DI FONDALE ATTUALI E FUTURE.....	9
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b> .....	<b>10</b>
5.1	PREMESSA .....	10
5.2	DEPOSITI DI FONDALE.....	10
5.2.1	<i>Granulometria</i> .....	10
5.2.2	<i>Resistenza e deformabilità</i> .....	10
5.3	ARGILLE DI TARANTO .....	11
5.3.1	<i>Granulometria</i> .....	11
5.3.2	<i>Limiti di consistenza</i> .....	11
5.3.3	<i>Peso di volume naturale</i> .....	12
5.3.4	<i>Contenuto di Carbonati</i> .....	12
5.3.5	<i>Contenuto Organico</i> .....	12
5.3.6	<i>Storia tensionale</i> .....	13
5.3.7	<i>Deformabilità delle argille di Taranto</i> .....	14
5.3.7.1	Introduzione .....	14
5.3.7.2	Compressibilità in condizioni drenate.....	14
5.3.7.3	Compressibilità secondaria.....	14
5.3.7.4	Moduli di deformabilità .....	14
5.3.8	<i>Parametri di consolidazione</i> .....	16
5.3.8.1	Permeabilità .....	16
5.3.8.2	Coefficiente di consolidazione .....	16
5.3.9	<i>Resistenza al taglio non drenata</i> .....	16
5.3.10	<i>Resistenza al taglio drenata</i> .....	17
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>18</b>

### FIGURE:

1-22

### APPENDICI:

Appendice A Sezioni stratigrafiche

### ALLEGATI:

Allegato 1 Considerazioni sui depositi di fondale derivanti dagli studi compiuti da ICRAM



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente Darsena Ovest	123.700 B1 OOAS 002	01	3	18

## 1 PREMESSA

Il presente documento illustra i risultati della campagna di indagine geotecnica eseguita nell'area del Porto di Taranto destinata all'ampliamento del IV Sporgente.

L'attività di indagine è consistita nell'esecuzione di 7 sondaggi a mare ed uno a terra, nel prelievo di campioni e nell'esecuzione di prove con dilatometro piatto in foro (DMT). I campioni prelevati nel corso delle indagini sono stati sottoposti a prove di laboratorio per classificarli e determinarne le caratteristiche di resistenza meccanica e di deformabilità. Viene allegata alla presente relazione una copia su supporto informatico dei certificati delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati nella campagna di indagine.

Nel documento sono descritti: l'area oggetto di indagine ed i carichi di progetto, le stratigrafie e la sintesi dei risultati di laboratorio.

Il sito in oggetto ricade nel territorio comunale di Taranto, classificato in zona sismica dalla normativa vigente.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente Darsena Ovest	123.700 B1 OOAS 002	01	4	18

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Per la redazione della relazione sono stati considerati i seguenti documenti:

- (a) *“Area Ampliamento IV Sporgente Taranto - Indagine Geotecnica ed ambientale - Programma e Specifica Tecnica”*, SGI, rif. SGI 07123-010S01E03-NOS/PAT/CES, 3/3/2006.
- (b) *“Progetto definitivo ampliamento IV sporgente”*, SINA, rif. SINA 123-700 prima emissione, 6/2/2006.
- (c) *“Report sulle indagini geognostiche ampliamento IV Sporgente Taranto”*, Toma Abele Trivellazioni Srl.
- (d) *“Documento Sintesi Prove di laboratorio”*, CGG Srl.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente Darsena Ovest	123.700 B1 OOAS 002	01	5	18

### 3 GEOMETRIA DELL'AREA E CARICHI PREVISTI

L'area a mare oggetto di indagine è situata all'interno del Mar Grande di Taranto, compresa tra il quarto sporgente e la darsena servizi. In **figura 1** è rappresentata l'area con le ubicazioni delle indagini eseguite.

Le opere in progetto consistono nell'allargamento del quarto sporgente e della darsena ovest per mezzo di cassoni cellulari, a tergo dei quali verrà eseguito un riempimento.

Il calcolo dei carichi previsti è effettuato suddividendo in due le aree di intervento a seconda della geometria dei cassoni che verranno impiagati.

La prima (nel seguito, area quarto sporgente) comprende le zone che saranno interessate dall'allargamento del quarto sporgente e dall'avanzamento della linea di costa verso sud. All'interno di questa porzione cadono i sondaggi mIV\_3, mIV\_4, mIV\_5, mIV\_6, mIV\_7.

La seconda (nel seguito, area darsena ovest) comprende le zone di allargamento della linea di costa lato ovest e quelle del molo della darsena ovest (sondaggi mIV\_2, mIV\_1, mIV\_8).

#### 3.1 Carichi previsti area quarto sporgente

La posa dei cassoni è preceduta dalla realizzazione di una trincea di imbasamento a quota -14.00 m s.l.m., riempita di pietrame per circa 1,3 m, che rappresenta lo strato su cui sono poggiate le opere.

I cassoni cellulari hanno un'altezza di 13.70 m e sono sormontati da una trave di coronamento in calcestruzzo gettato in opera di spessore pari a 2 m.

Si assumono, per il calcolo dei carichi, i seguenti pesi di volume medi:

$$\text{Pietrame di base} \quad \gamma_p = 19 \frac{kN}{m^3}$$

$$\text{Riempimento cassoni} \quad \gamma_{riemp} = 21 \frac{kN}{m^3}$$

$$\text{Acqua} \quad \gamma_w = 10 \frac{kN}{m^3}$$

$$\text{CLS (coronamento)} \quad \gamma_{cls} = 24 \frac{kN}{m^3}$$

La pressione media efficace esercitata dai cassoni sull'imbasamento (quota -14 m s.l.m.) è stimato pari a:

$$p = \gamma_p \cdot 1.3 + \gamma_{riemp} \cdot 12.7 + \gamma_{riemp} \cdot 1 + \gamma_{cls} \cdot 2 = 210 kPa$$

#### 3.2 Carichi previsti area darsena ovest

La posa dei cassoni è preceduta dalla realizzazione di una trincea di imbasamento a quota -9.00 m s.l.m., riempita di pietrame per circa 1,3 m, che rappresenta lo strato su cui sono poggiate le opere.

I cassoni cellulari hanno un'altezza di 8.70 m e sono sormontati da una trave di coronamento in calcestruzzo gettato in opera di spessore pari a 1 m. Per il calcolo dei carichi sono stati assunti i pesi di volume medi



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente Darsena Ovest	123.700 B1 OOAS 002	01	6	18

considerati precedentemente. La pressione media efficace esercitata dai cassoni sull'imbasamento (quota -9 m s.l.m.) è stimata pari a:

$$p = \gamma_p \cdot 1.3 + \gamma_{riemp} \cdot 7.7 + \gamma_{riemp} \cdot 1 + \gamma_{cls} \cdot 1 = 13 \text{ kPa}$$



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente Darsena Ovest	123.700 B1 OOAS 002	01	7	18

## 4 STRATIGRAFIA DEL SITO E PROFONDITA' FONDALE

### 4.1 Indagini svolte

La campagna d'indagine geotecnica nell'area portuale di Taranto è stata condotta tra l'aprile e il maggio 2006. Sono state eseguite sia prove in sito sia prove di laboratorio su campioni prelevati nel corso dei sondaggi. In particolare, le prime sono state condotte dalla ditta TOMA Abele Trivellazioni S.r.l. insieme alla società GEOPROJECT s.a.s. per le prove DMT mentre le seconde dal laboratorio geotecnico CGG S.r.l..

Qui di seguito si riassumono il numero di prove della campagna nell'area in questione:

- Prove in sito:
  - n° 7 sondaggi meccanici a rotazione con carotaggio continuo a mare, sigle MIV 1 ÷ MIV 7;
  - n° 1 sondaggio meccanico a rotazione con carotaggio continuo a terra, ubicato in corrispondenza dell'isolotto presente nell'area Portuale, sigla MIV 8;
  - n° 12 prove con Dilatometro Piatto (DMT) sulle verticali MIV 1, MIV 4 e MIV 6; ogni prova interessa un spessore di terreno pari a 1,4m circa.
- Prove in laboratorio su campioni prelevati in sito:
  - n° 26 granulometrie per vagliatura (ASTM D422-63(R02));
  - n° 17 areometrie (ASTM D422-63(R02));
  - n° 44 determinazioni di pesi di volume (ASTM D2435-04) e contenuti naturali d'acqua (CNR-UNI 10008);
  - n° 23 prove per determinare i limiti di consistenza della frazione passante al vaglio 0.4mm (CNR-UNI 10014);
  - n° 5 pesi specifici dei grani (CNR-UNI 10013);
  - n° 11 prove per valutare il contenuto di sostanze organiche (ASTM D2974-00);
  - n° 17 prove per valutare il contenuto di carbonati di calcio (ASTM D 4373-02);
  - n° 10 prove edometriche ad incremento di carico (ASTM D2435-04 – Method A);
  - n° 23 prove triassiali non consolidate - non drenate (UU) (ASTM D2850-03);
  - n° 3 prove triassiali consolidate isotropicamente - non drenate (CIU) (ASTM D4767-04);
  - n° 2 prova di taglio diretto (ASTM D3080-04);

La figura 1 mostra la planimetria dell'area oggetto di studi insieme all'ubicazione dei sondaggi e la batimetria nell'area del IV Sporgente.

Le stratigrafie dei sondaggi, insieme ai certificati delle prove di laboratorio ed alla documentazione fotografica delle cassette catalogatrici sono riportate nei documenti (c) e (d).



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente Darsena Ovest	123.700 B1 OOAS 002	01	8	18

## 4.2 Stratigrafia del sito

L'area della futura banchina si trova attualmente in mare, ad eccezione di una piccola zona emersa (penisola) su cui è stato eseguito il sondaggio MIV8.

La stratigrafia dell'area in esame è decisamente regolare e pressoché uniforme nell'ambito dei sondaggi eseguiti.

In dettaglio la stratigrafia di riferimento può essere così sintetizzata:

- a) **Depositi di Fondale:** lo spessore varia da 0.3 m a 3.0 m. I depositi del fondale presentano una granulometria di tipo limoso sabbioso con presenza di argilla e, raramente, ghiaia. Si osservano inoltre resti di conchiglie ed alghe. In questo strato le determinazioni di laboratorio eseguite si limitano a delle granulometrie. Le descrizioni stratigrafiche dei sondaggi definiscono il deposito come soffice ed estremamente compressibile.
- b) **“Argilla alterata”:** ove presente, si osservano spessori di questo strato variabili da 1.0 m a 4.7m. Si tratta di un'argilla plastica, consistente, di colore giallastro che precede l'argilla di Taranto di seguito descritta (ben più compatta).
- c) **“Argilla di Taranto”:** il tetto di questa formazione inizia da una quota variabile tra circa -4 m s.l.m. (MIV1) e -11m s.l.m. (MIV6) e lo strato si estende fino alle massime profondità indagate, -30m s.l.m.. Il materiale è costituito da argilla limosa plastica da consistente a molto consistente, di colore grigio azzurro tendente al verdastro con la profondità. Questo strato, dopo le operazioni di dragaggio, accoglierà il piano di posa dei cassoni. Su questo strato sono state eseguite prove in sito (dilatometro Marchetti) e prove di laboratorio. Sono state inoltre eseguite in cantiere prove speditive con pocket penetrometer per la stima della consistenza del materiale. Le prove Triassiali UU di laboratorio hanno confermato l'elevata consistenza di queste argille, che presentano una resistenza al taglio non drenata  $C_u$  dell'ordine di  $250 \div 400$  kPa a livello del piano di posa ( -9 m s.l.m. e -14m s.l.m.). Il contenuto di carbonati, superiore al 20% in peso, inoltre, indica un significativo grado di cementazione del materiale. E' una formazione che si è depositata nel Pleistocene ed ha subito importanti processi di consolidazione e diagenesi. Questi fenomeni hanno portato ad elevati valori di rapporto di preconsolidazione ( $OCR = 10 \div 25$  a seconda della profondità) unitamente ad una microstruttura interna particolarmente marcata. Conseguenza di questo è l'elevata resistenza di tale formazione per livelli tensionali che rimangono nel dominio di preconsolidazione ( $\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v \leq \sigma'_p$ ) ed un brusco decadimento della resistenza dovuto alla rottura della struttura interna se si superano le tensioni di preconsolidazione/cementazione, del resto decisamente alta ( $\sim 800 \div 2000$ kPa).

Il sondaggio eseguito a terra (MIV8) mostra lo stesso tipo di profilo, ad eccezione della parte più superficiale, nella quale uno strato di calcarenite debolmente cementata di colore giallastro sostituisce i depositi di fondale (assenti). La calcarenite, di spessore pari a circa 2.7m, sovrasta le argille alterate. Si rimanda al documento (c) per una descrizione dettagliata delle stratigrafie.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente Darsena Ovest	123.700 B1 OOAS 002	01	9	18

### 4.3 Quote di fondale attuali e future

In corrispondenza dei punti di sondaggio, il fondale varia da profondità minima di 2.6m (MIV2) ad una massima di 6.5m (MIV7) dal livello del medio mare. Per una conoscenza più dettagliata della quota del fondale si rimanda alla **figura 1** in cui viene riportata la batimetria completa della area.

Per l'area in oggetto sono previsti dragaggi fino a quota -12m s.l.m. (in adiacenza al IV Sporgente) ed a quota -7m s.l.m.(in adiacenza alla darsena OVEST). Le quote scavo delle trincee per la posa dei cassoni sono rispettivamente a -14 e -9 m s.l.m..



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente Darsena Ovest	123.700 B1 OOAS 002	01	10	18

## 5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 5.1 Premessa

Nel presente capitolo vengono definiti i parametri geotecnici di interesse per i terreni di fondazione, derivanti dalla caratterizzazione geotecnica dei materiali. I terreni di fondazione sono stati caratterizzati sulla base dei risultati delle prove in sito ed in laboratorio condotte nell'ambito del presente studio e da un confronto con i dati di letteratura esistente sulla formazione delle argille di Taranto.

### 5.2 Depositi di fondale

#### 5.2.1 Granulometria

In **allegato 1** è riportata un'analisi dei dati granulometrici derivanti dalla campagna di indagine realizzata da ICRAM nell'area del IV sporgente.

Dai dati forniti da ICRAM deriva che:

- i depositi di fondale hanno spessori variabili da 0 fino a 3 m circa, secondo quanto rappresentato in figura 2 di allegato 1.
- I depositi di fondale appartenenti alle aree di interesse sono caratterizzati da un contenuto di terreni fini inferiore al 50%. Essi sono costituiti da terreni granulari ( $d > 0.063\text{mm}$ ) mediamente per il 60-70% in peso.

La **figura 2** mostra il fuso granulometrico dei 6 campioni prelevati nei depositi di fondale. Si nota una notevole dispersione dei dati con variazioni del contenuto di sabbia dal 30% al 75% e di contenuto di fine dal 12% al 65%.

La **figura 4** riporta la distribuzione granulometrica con la profondità. Si osserva la netta differenza tra lo strato di fondale e quello delle argille sottostanti, che ne rende immediata l'identificazione.

#### 5.2.2 Resistenza e deformabilità

A causa della natura stessa del deposito, non sono state effettuate prove in sito o in laboratorio tali da consentirne una caratterizzazione in termini di resistenza e deformabilità. Tali parametri possono essere quindi ipotizzati sulla base dell'esperienza degli scriventi, in considerazione delle condizioni attuali dello strato.

Per tale formazione possono essere stimati i seguenti parametri di resistenza e deformabilità rappresentativi delle condizioni attuali.

-  $E = 3.0 \div 3.5 \text{ MPa}$

-  $\phi' = 26^\circ - 28^\circ$

-  $c' = 0$

Per la natura sabbiosa di tale strato e per i modesti spessori che lo caratterizzano, inoltre, si valuta che i cedimenti saranno scontati in tempi relativamente modesti.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente Darsena Ovest	123.700 B1 OOAS 002	01	11	18

E' diverso il caso in cui si voglia determinare il comportamento che avrà lo strato dei depositi di fondale a seguito del carico imposto dal riempimento che verrà effettuato a tergo dei cassoni. In tal caso il materiale avrà scontato un importante processo di compattazione e prevarrà la componente sabbiosa che lo caratterizza.

Per il deposito può essere quindi assunto un comportamento tipo terreno sabbioso in condizioni di normalconsolidazione, tenuto conto delle pressioni verticali efficaci presenti a fine costruzione del riempimento.

Per valutarne le caratteristiche si suggerisce di utilizzare la correlazione empirica suggerita da Hardin (1978) e Kramer (1996), valida per le sabbie:

$$G_0 = 625 \cdot [1/(0.3 + 0.7 \cdot e^2)] \cdot OCR^K \cdot (p_a \cdot \sigma_m')^{0.5}$$

dove:

$e$  = indice dei vuoti (può essere assunto cautelativamente pari a 0.6÷0.65 a fine costruzione)

OCR = grado di sovraconsolidazione (1.0)

$K$  = costante = 0.5

$p_a$  = pressione atmosferica = 100 kPa

$\sigma_m'$  = pressione efficace media in kPa alla quota di interesse

$G_0$  = modulo di taglio a piccole deformazioni

Il modulo di taglio operativo per le condizioni di carico statico (carico di esercizio della banchina) potrà essere assunto cautelativamente pari al 20 % del modulo  $G_0$ .

## 5.3 Argille di Taranto

### 5.3.1 Granulometria

La **figura 3** mostra il fuso granulometrico dei campioni prelevati nelle argille di Taranto.

Per tale formazione è stato ottenuto un fuso granulometrico molto più ristretto rispetto a quello dei depositi di fondale, indice di una elevata omogeneità. Si tratta quindi di un materiale ben gradato con un contenuto di fine dell'ordine del 90%÷98% ed il 2%÷10% circa di sabbia. Il contenuto di argille varia a sua volta tra il 50% e il 75% mentre il limo è presente in percentuali del 25%÷40%.

### 5.3.2 Limiti di consistenza

La **figura 5** riporta il valore dei limiti di Atterberg e del contenuto d'acqua mentre la **figura 6** i valori dell'indice plastico delle argille di Taranto. Si osserva che il contenuto d'acqua è sempre prossimo al limite plastico. La consistenza del materiale è quindi prossima ad essere semi-solida o solido-plastica, questo indica che il comportamento delle argille in questione sarà rigido a bassi livelli tensionali. Tali assunzioni sono confermati dai valori dell'indice di liquidità (**figura 7**) prossimi allo 0 e quindi un 'indice di consistenza medio pari a 1,  $IC = 1 - IL$ .

In sintesi, le determinazioni di laboratorio sulle argille di Taranto hanno fornito i seguenti risultati:



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente Darsena Ovest	123.700 B1 OOAS 002	01	12	18

- Il limite liquido varia mediamente nell'intervallo  $36 \div 56\%$ , mentre il limite plastico è compreso nell'intervallo  $22 \div 34\%$ . L'indice plastico risulta quindi compreso nell'intervallo  $14 \div 25\%$ . Osservando la **figura 8** in cui i dati sono riportati sulla carta di Casagrande, in generale si può affermare che si tratta di argille inorganiche di medio-alta plasticità.
- Per quanto concerne il contenuto naturale d'acqua  $w$ , riportato in **figura 9**, si sono ottenuti dei valori compresi tra il  $20 \div 30\%$ , che tendenzialmente diminuiscono con la profondità. Sono presenti anche alcuni dati anomali che indicano valori di  $w$  più elevati a profondità maggiori. Tali valori sono attribuibili alla possibile presenza di materiali con componente organica oppure sono derivanti da un disturbo in fase di campionamento.  
Del disturbo di tali campioni è stato tenuto conto considerando meno attendibili i risultati ottenuti nelle prove di laboratorio eseguite su di essi.
- I valori dell'indice di attività, rappresentati in **figura 10**, variano mediamente nell'intervallo  $0.3 \div 0.6$ , che contraddistingue un'argilla inattiva e quindi poco rigonfiante.
- La **figura 11** riporta infine il valore dell'indice dei vuoti  $e_0$  ricavato sulla base dei dati di contenuto d'acqua. Non sono stati rappresentati i campioni giudicati eccessivamente disturbati, ossia che presentavano un contenuto d'acqua troppo elevato in funzione della profondità, nell'ipotesi di un peso specifico dei grani pari a  $2.70$  ed ipotizzando un grado di saturazione pari a  $1.0$ . I valori di  $G_s$  ottenuti in laboratorio sono riportati in **figura 12**. I valori dell'indice dei vuoti calcolato variano quindi nell'intervallo  $0.60 \div 0.75$  a basse profondità fino alla profondità di  $-15\text{m s.l.m.}$ , e tra  $0.55 \div 0.65$  a profondità maggiori.

### 5.3.3 *Peso di volume naturale*

La **figura 13** riporta i valori del peso di volume naturale determinati dalle prove di laboratorio sui campioni prelevati in sito. Dal grafico si osserva una lieve tendenza dei valori ad aumentare con la profondità, passando da  $18.5 \div 19.5 \text{kN/m}^3$  fino a  $-13\text{m s.l.m.}$  a  $19.5 \div 20 \text{kN/m}^3$  per profondità maggiori. Si evidenzia che i valori relativi a campioni apparentemente disturbati in fase di prelievo non sono stati presi in considerazione.

### 5.3.4 *Contenuto di Carbonati*

La **figura 14** riporta il valore del contenuto di carbonati (% di  $\text{CaCO}_3$ ). Si osserva che i valori variano nell'intervallo  $25 \div 30\%$ , testimoniando una possibile cementazione del materiale.

### 5.3.5 *Contenuto Organico*

La **figura 15** riporta il valore del contenuto di sostanze organiche, variabili nell'intervallo  $1 \div 2\%$ , in linea con i valori indicati in letteratura per questa formazione (argille di Taranto).



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente Darsena Ovest	123.700 B1 OOAS 002	01	13	18

### 5.3.6 Storia tensionale

La **figura 16** riporta i valori stimati della tensione di preconsolidazione, ricavati dalle prove edometriche e delle tensioni efficaci iniziali, per la formazione delle argille di Taranto. Si osserva come i valori delle prime siano di almeno un ordine di grandezza superiori rispetto a quelli delle seconde. Come già riportato nel 4.2, si tratta di argille che hanno avuto un importante processo di sovraconsolidazione, dovuto a cicli di carico e scarico (sedimentazione - erosione) e processi di diagenesi che hanno segnato significativamente la loro storia tensionale.

La **figura 17** riporta i valori dei rapporti di preconsolidazione OCR calcolati sia come  $\frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}}$  ottenibili dalle prove edometriche, sia come interpretazione dei risultati ottenuti dalle prove dilatometriche (DMT) in accordo alle usuali correlazioni empiriche di letteratura:

$$OCR_{DMT} = (0.5K_D)^{1.56}$$

in cui  $K_D = \frac{p_0 - u_0}{\sigma'_{v0}}$  indice delle tensioni laterali

dove

$p_0$  è la pressione che si ricava dalla prova DMT;

$u_0$  è la pressione idrostatica iniziale;

$\sigma'_{v0}$  è la tensione efficace alla profondità di prova.

Si osserva che i valori di OCR ricavati dall'interpretazione delle due prove sono nettamente differenti. In particolare, i valori di  $OCR_{DMT}$  sono notevolmente più alti di quelli ottenibili dalle prove edometriche. La ragione di questa discrepanza di risultati risiede da un lato nella sovrastima dei valori di OCR ottenuti dall'interpretazione delle prove DMT, originata soprattutto dalla presenza di una diffusa cementazione delle argille di Taranto. La correlazione empirica tra OCR e  $K_D$  normalmente impiegata per l'interpretazione delle prove DMT è stata infatti formulata basandosi su dati di argille prive di cementazione, "aging" e struttura. D'altro canto l'interpretazione delle prove edometriche in termini di  $\sigma'_p$  mostra notevoli margini di incertezza per questo tipo di materiale. La prova DMT, quindi, conferma la marcata cementazione imputabile all'elevato contenuto di carbonati.

Ai fini dei calcoli progettuali si suggerisce cautelativamente di utilizzare un profilo di OCR prossimo a quello ottenuto con le prove edometriche. In particolare, per quote comprese tra -9 e -15 m s.l.m. OCR pari a 18÷20 mentre per quote inferiori a -15m s.l.m. OCR pari a 10÷12.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente Darsena Ovest	123.700 B1 OOAS 002	01	14	18

### 5.3.7 Deformabilità delle argille di Taranto

#### 5.3.7.1 Introduzione

I valori di deformabilità sono stati ricavati dall'interpretazione dei risultati delle prove edometriche e delle prove DMT.

#### 5.3.7.2 Compressibilità in condizioni drenate

La **figura 18** riporta i valori dei rapporti di compressione CR e di ricompressione RR ricavati dall'interpretazione delle prove edometriche. Sulla base dell'esame di tali dati si può concludere quanto segue:

- i valori dei rapporti di compressione sono compresi nell'intervallo  $0.17 \div 0.24$ . Tenendo conto che l'effetto del disturbo sul campione è quello di diminuire la compressibilità nel ramo di compressione vergine, si è deciso di assumere un valore del rapporto di compressione vergine CR pari a:

$$CR = 0.22$$

- i valori dei rapporto di ricompressione sono compresi nell'intervallo  $0.007 \div 0.016$ . Il valore del rapporto può essere assunto pari a:

$$RR = 0.012$$

#### 5.3.7.3 Compressibilità secondaria

Per quanto concerne la determinazione del coefficiente di compressibilità secondaria  $C_{\alpha\epsilon}$ , per lo studio in esame si è considerata la correlazione proposta da [6]:

$$\frac{C_{\alpha\epsilon}}{CR} = 0.04 \pm 0.01$$

Sulla base di quanto esposto al punto precedente si è pertanto ottenuto:

$$C_{\alpha\epsilon} \cong 1\%$$

Si fa presente che data la situazione del sito, per la quale si prevede che il materiale rimanga ampiamente nell'ambito della sovraconsolidazione l'influenza dei cedimenti secondari appare trascurabile.

#### 5.3.7.4 Moduli di deformabilità

Ai fini progettuali è possibile rappresentare il comportamento di queste argille attraverso legami costitutivi elastici in cui il legame tra sforzi e deformazioni è univocamente determinato dai moduli elastici, approccio usualmente utilizzato per le sabbie. Tale semplificazione è motivata da considerazioni sullo stato tensionale attuale della formazione ( $\sigma'_{v0}$ ) e sulla storia tensionale della formazione stessa ( $\sigma'_p$ ). Infatti, dalle prove edometriche si è osservato che si è molto lontani dalla pressione di preconsolidazione dello strato di argilla



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente Darsena Ovest	123.700 B1 OOAS 002	01	15	18

(OCR 10÷20), per cui l'incremento tensionale  $\Delta\sigma'_v$  che si avrà con l'applicazione dei previsti livelli di carico imposti dalla realizzazione della banchina risulterà comunque notevolmente inferiore a  $\sigma'_p$  (vedi par. 5.3.6). Si prevede perciò che lo stato tensionale rimarrà sempre nel campo di sovraconsolidazione (ricarico).

Noti i carichi di progetto, l'approccio potrà quindi essere il seguente:

$$\Delta\varepsilon = RR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

$$M_{edo} = \frac{\Delta\sigma'_{v0}}{\Delta\varepsilon}$$

$$E' = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} M_{edo} \quad \text{dalla teoria dell'elasticità}$$

dove:

$\Delta\varepsilon$  è la deformazione;

$M_{edo}$  è il modulo edometrico;

$E'$  è il modulo di Young.

$RR$  è il rapporto di ricompressione,  $\left( \frac{C_r}{1+e_0} \right)$

La **figura 19** riporta l'andamento dei moduli di Young valutati dalle prove edometriche nell'intervallo tensionale atteso nella condizione di progetto paragonato ai valori analoghi ricavati dalle prove DMT.

Si osserva che i moduli ricavati dalle prove edometriche sono di molto inferiori rispetto ai moduli ricavati dall'interpretazione dei risultati delle prove dilatometriche.

Questa evidente discrepanza è a nostro avviso imputabile ai fattori seguenti:

- il parziale disturbo (ancorché limitato) in fase di prelievo di materiale con sensibile cementazione quale l'argilla di Taranto, che tende a sovrastimare la deformabilità in fase di ricompressione;
- la sovrastima della rigidezza del materiale cementato da parte delle prove DMT, per cui la valutazione viene fatta relativamente al modulo tangente in corrispondenza della tensione verticale efficace in sito;
- la generale sottostima dei moduli edometrici da prove di laboratorio nel tratto di sovraconsolidazione rispetto alle osservazioni in sito. I valori di deformabilità in condizioni di sovraconsolidazione derivanti da back analysis risultano, infatti, da 2.0 a 2.5 volte inferiori a quanto derivabile dall'interpretazione delle prove edometriche.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente Darsena Ovest	123.700 B1 OOAS 002	01	16	18

E' plausibile che le operazioni di scavo per la realizzazione dell'imbasamento dei cassoni possano provocare un parziale rimaneggiamento delle argille intervallo di 1-2m di profondità dalla quota finale di scavo con conseguente parziale rigonfiamento del materiale in scarico per spessori paragonabili.

Alla luce di quanto detto, si suggerisce di utilizzare, ai fini della valutazione dei cedimenti delle nuove opere, un profilo di deformabilità delle argille di Taranto secondo lo schema seguente:

- dalla quota di posa dell'imbasamento a 2.0m di profondità:  
 $E' \cong 20\text{MPa}$ ;
- da 2.0m di profondità in poi:  
 $E' \cong 30-1.65z \text{ Mpa}$   
Essendo z la quota in m s.l.m. (da scrivere come valore negativo).

### 5.3.8 Parametri di consolidazione

#### 5.3.8.1 Permeabilità

I dati a disposizione per la stima del coefficiente di permeabilità non derivano da misure dirette di  $k_v$ , ma dall'interpretazione della curva di consolidazione in termini di  $c_v$  (misura indiretta). Le prove edometriche hanno fornito valori di  $k_v$  alla tensione geostatica variabili fra  $1.9 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$  e  $8 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ . Questi valori sono generalmente più alti di quelli di proposti da letteratura ( $2 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$ ).

In accordo a Lollino (2000) [5], il rapporto  $\frac{k_h}{k_v}$  è valutabile pari a 3 per campioni di argille di Taranto prelevati a 25m dal piano campagna. Utilizzando questo rapporto, il coefficiente di permeabilità orizzontale si può stimare variabile nell'intervallo  $6 \times 10^{-9}$  e  $2.4 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ .

#### 5.3.8.2 Coefficiente di consolidazione

Per quanto concerne i valori del coefficiente di consolidazione in direzione verticale, i dati ricavati dalle curve di consolidazione, per livelli tensionali simili a quelli in gioco, variano in un intervallo comprese tra  $8.15 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$  e  $4.8 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ , quindi osserviamo un valore medio dell'ordine di  $2.00 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$  in linea con la letteratura che indica valori di  $3 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$  per il tratto sovraconsolidato.

### 5.3.9 Resistenza al taglio non drenata

La **figura 20** riporta i valori della resistenza al taglio non drenata ricavata dalle prove triassiali non consolidate – non drenate e dalle prove dilatometriche.

Si osservano valori di  $C_u$  molto elevati anche alla quota del piano del fondalem, testimonianza della elevata consistenza di questa formazione argillosa.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente Darsena Ovest	123.700 B1 OOAS 002	01	17	18

I valori di progetto di  $C_u$  possono essere assunti come segue:

- da -5 a -12m s.l.m.  $C_u = 270\text{kPa}$ ;
- da -12 a -18m s.l.m.  $C_u = 400\text{kPa}$ ;
- oltre i -18m s.l.m.  $C_u = 500\text{kPa}$ .

### 5.3.10 Resistenza al taglio drenata

Le **figure 21** e **22** riportano rispettivamente i valori di coesione efficace,  $c'$  e l'angolo di attrito interno,  $\phi'$  ottenuti dalla prova di taglio diretto e dalle prove triassili CIU. Sulla base di questi risultati si propongono i seguenti valori di progetto dei parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate:

$$c' = 20 \div 40 \text{ kPa}$$

$$\phi' = 26^\circ \div 28^\circ$$

Tali valori risultano congruenti con i dati di letteratura disponibili, ed in particolare con quanto suggerito da [3]. Si sottolinea comunque come l'utilizzo dei valori di riferimento per  $\phi'$  e  $c'$  non possa prescindere da una specifica analisi del problema (stabilità di pareti di scavo) e debba essere di volta in volta affrontato tenendo conto dell'eventualità di un rimaneggiamento del materiale. In particolare, per la determinazione della pendenza delle pareti di scavo, occorre considerare che il rimaneggiamento del materiale possa provocare una notevole riduzione, fino all'annullamento, della coesione efficace.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto IV Sporgente Darsena Ovest	123.700 B1 OOAS 002	01	18	18

## 6 BIBLIOGRAFIA

- [1] Cestari F. (2005), "*Prove Geotecniche in sito*". Ed terza, GEO-GRAPH SEGRATE.
- [2] Cotecchia F. (2003), "*Mechanical behaviour of the stiff clays from the Montemesola Basin in relation to their geological history and structure*". Tan et al. (eds.), Characterisation and Engineering Properties of Natural Soil 2 vol. (vol. 2), 817-850.
- [3] Cotecchia F. and Chandler, R.J.(1995), "*Geotechnical properties of the Pleistocene clays of the Pappadai Valley, Taranto, Italy*". Quarterly Journal of Engineering Geology 28(1), 5-22.
- [4] Lancellotta R. (2004), "*Geotecnica*". Ed. terza, ZANICHELLI.
- [5] Lollino, P. (2000), "*Analisi del comportamento di una diga in calcarenite e della sua fondazione in argille grigio-azzurre*". Phd Thesis, Technical University of Bari (Italy).
- [6] Mesri G. e Godlewski P.M. (1977), "*Time and stress-compressibility relationship*". JGED, ASCE, GT5.

**FIGURE**

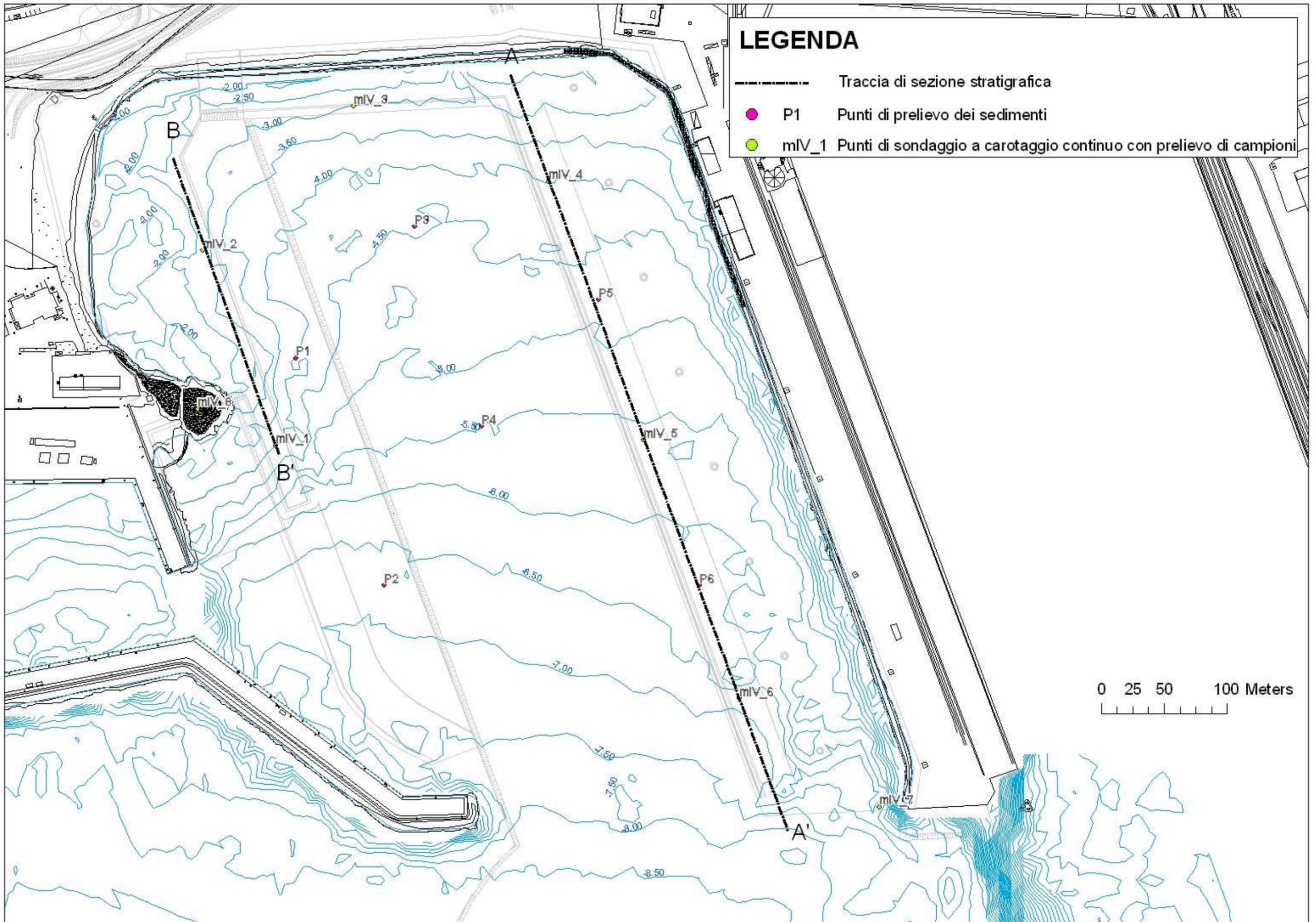
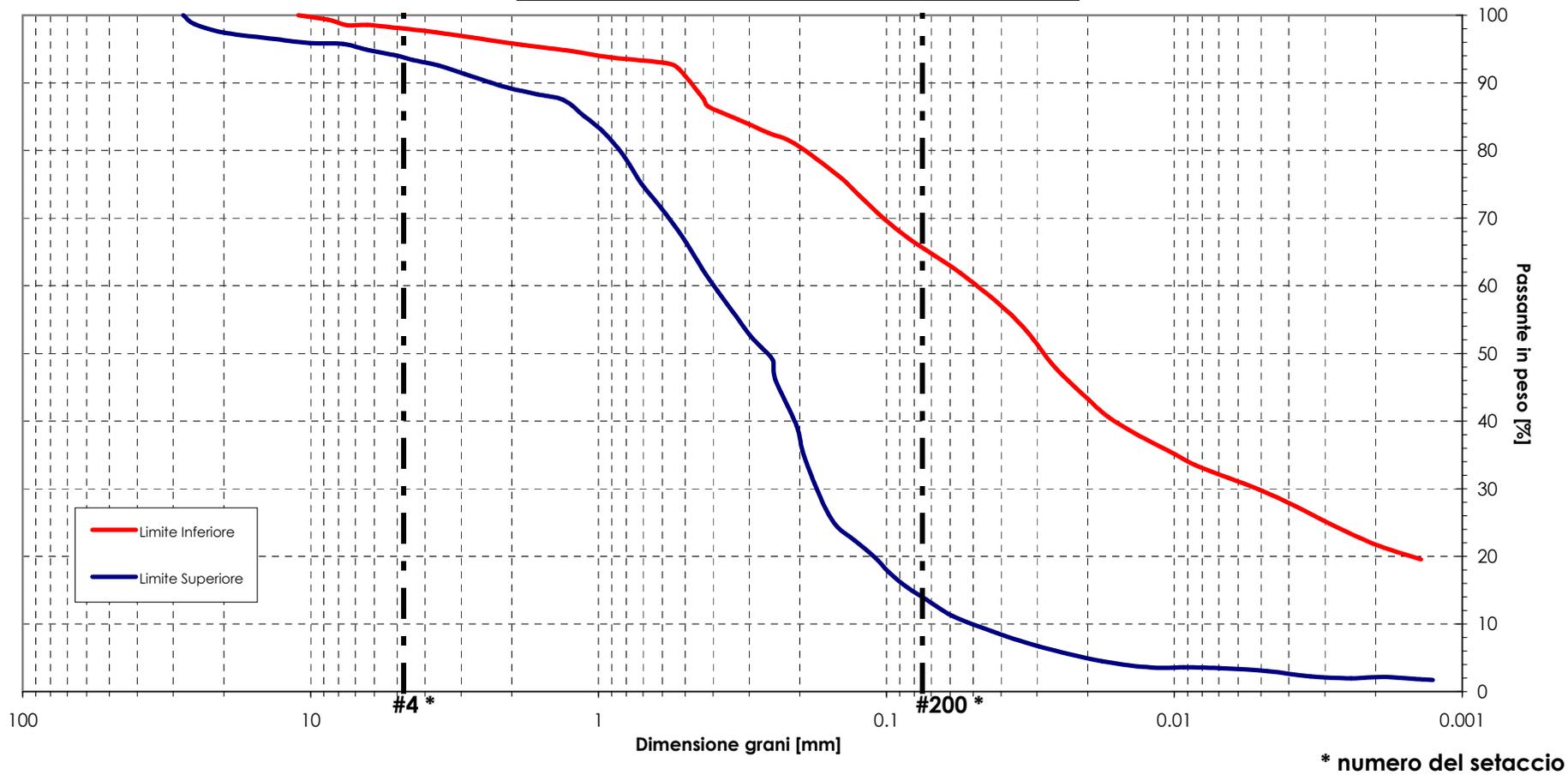


Figura 1

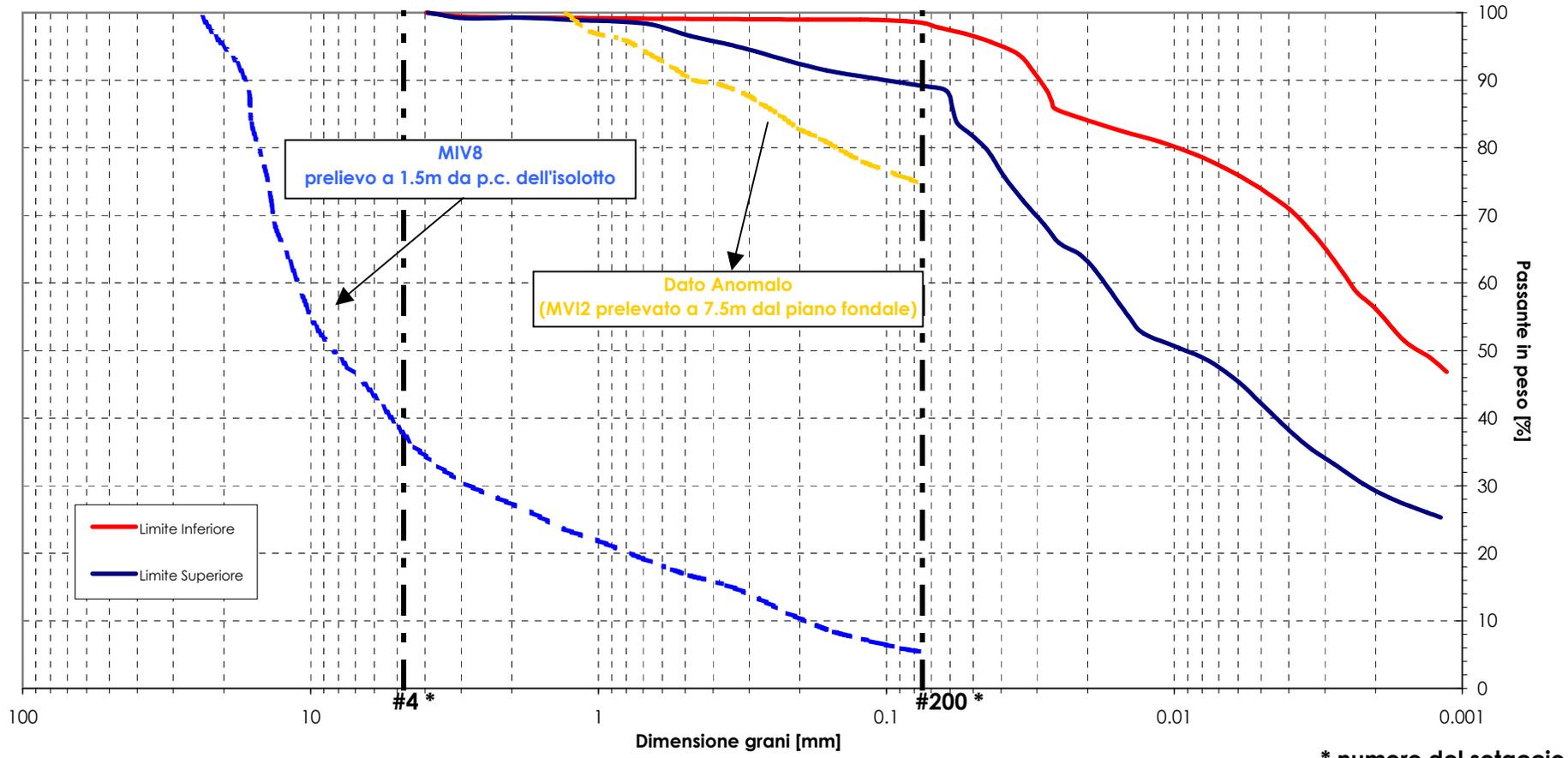
**Distribuzione Granulometrica - Deposito di fondale  
Molo IV Sporgente  
(ASTM D422)**



	GHIAIA		SABBIA			LIMO	ARGILLA
	grossa	fine	grossa	media	fine		
75	19	4.75	2	0.425	0.075	0.005	

**Figura 2**

**Distribuzione Granulometrica - Argille di Taranto  
Molo IV Sporgente  
(ASTM D422)**



	GHIAIA		SABBIA			LIMO	ARGILLA
	grossa	fine	grossa	media	fine		
75	19	4.75	2	0.425	0.075	0.005	

**Figura 3**

### Distribuzione Granulometrica Molo IV Sporgente

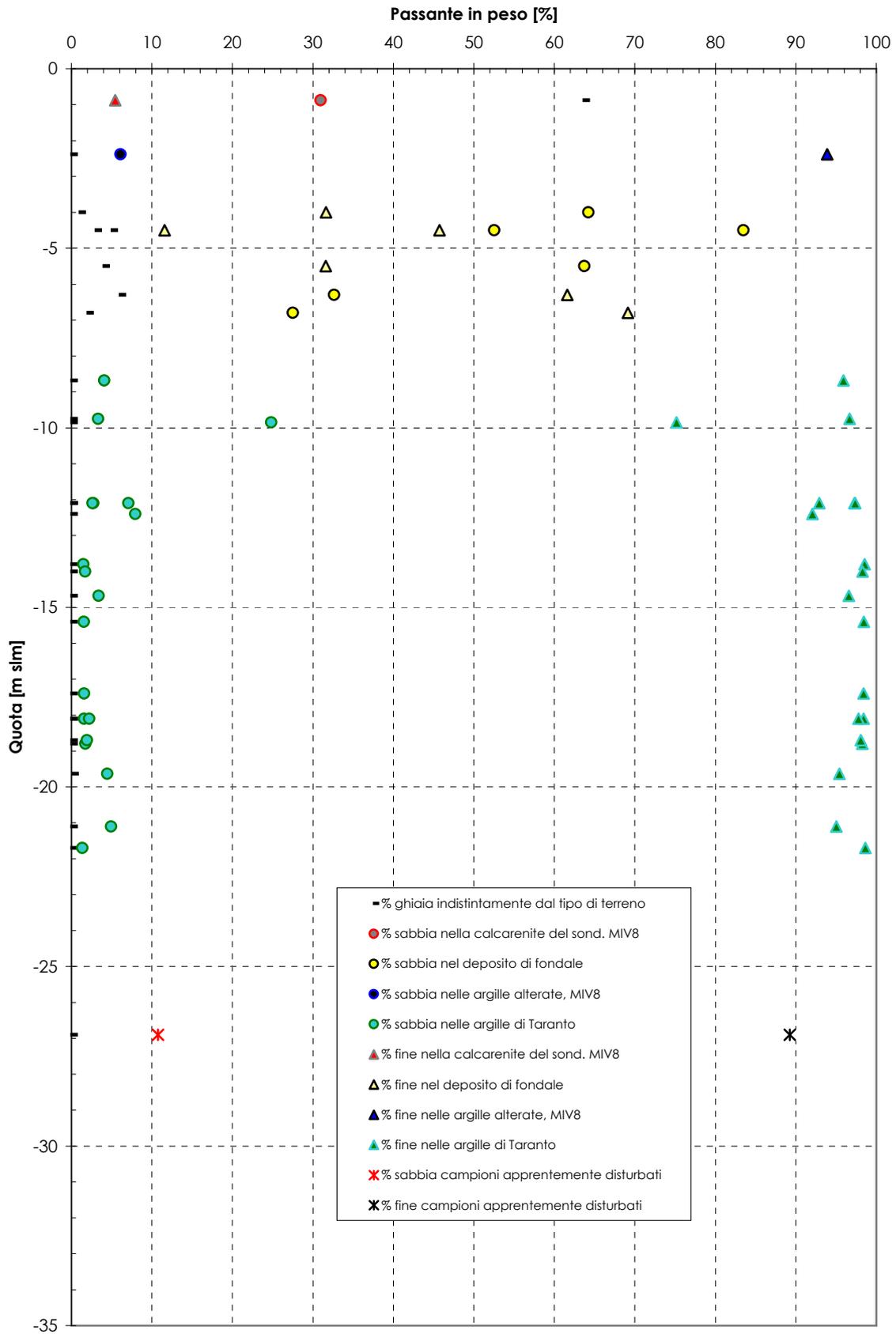


Figura 4

Limite Liquido, L.L. - Limite Plastico, P.L. - Contenuto d'Acqua, w  
Molo IV Sporgente

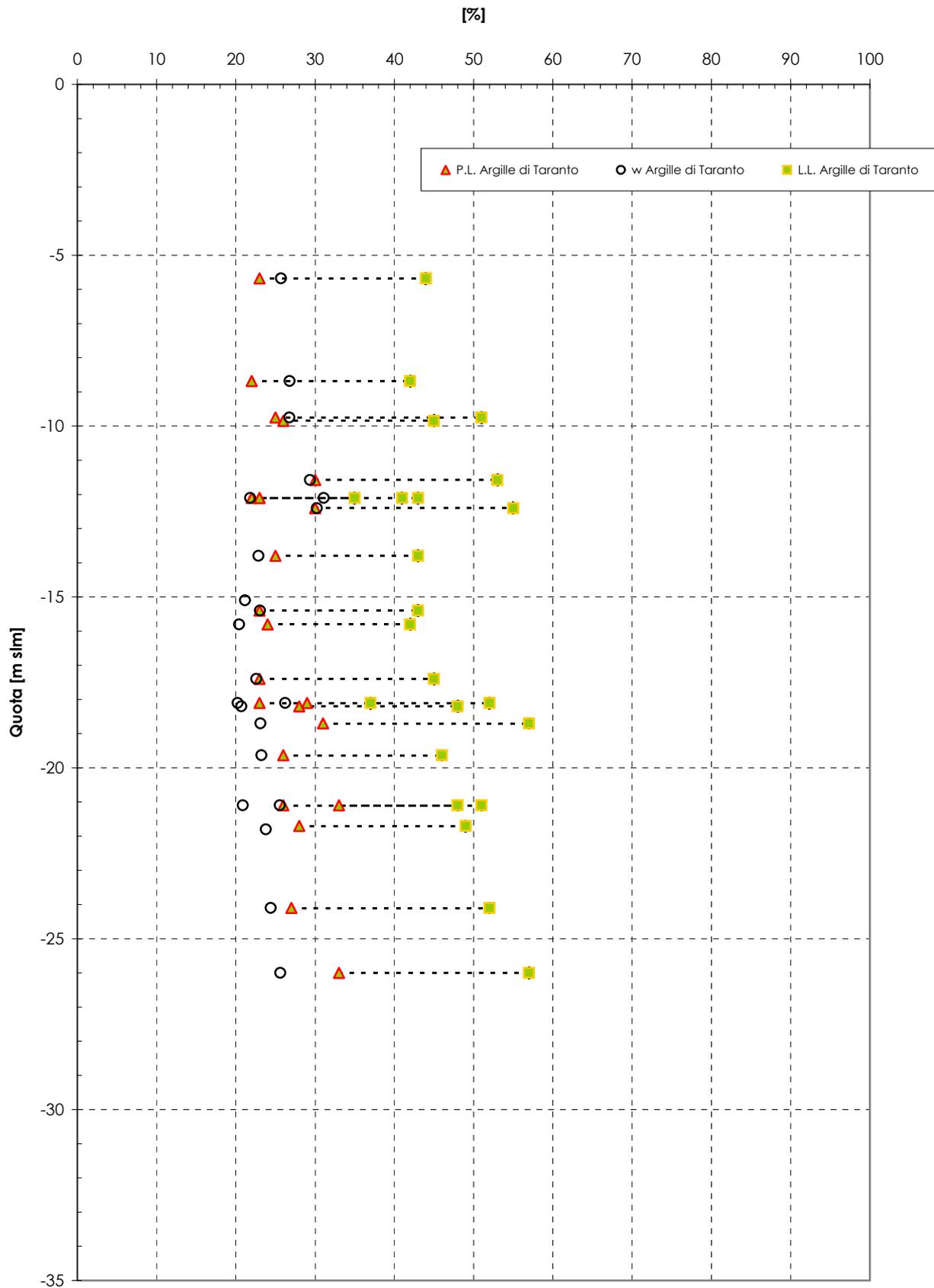


Figure 5

Indice Plastico, P.I.  
Molo IV Sporgente

[%]

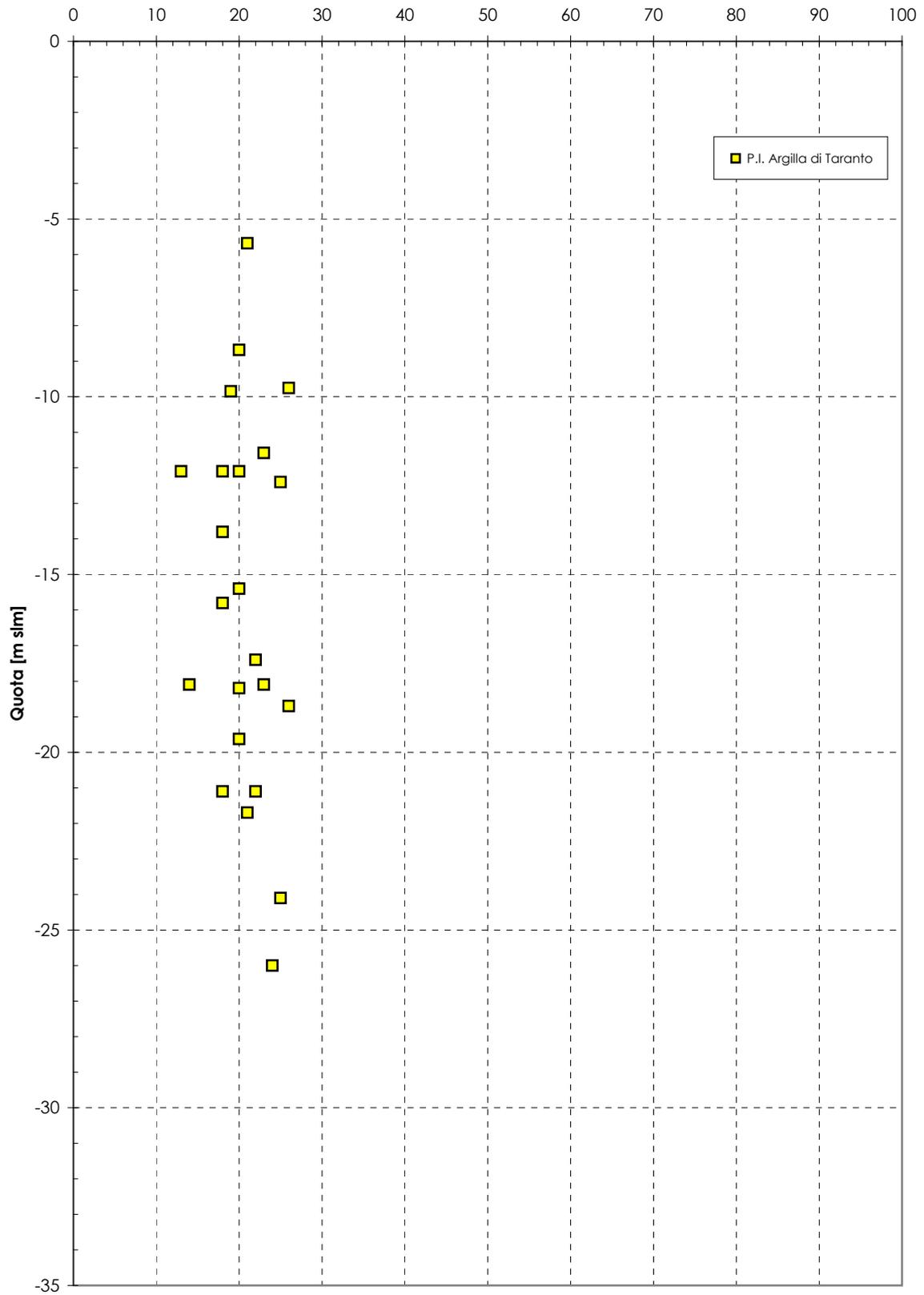


Figure 6

Indice di Liquidità - "Argille di Tarnato"  
Molo IV Sporgente

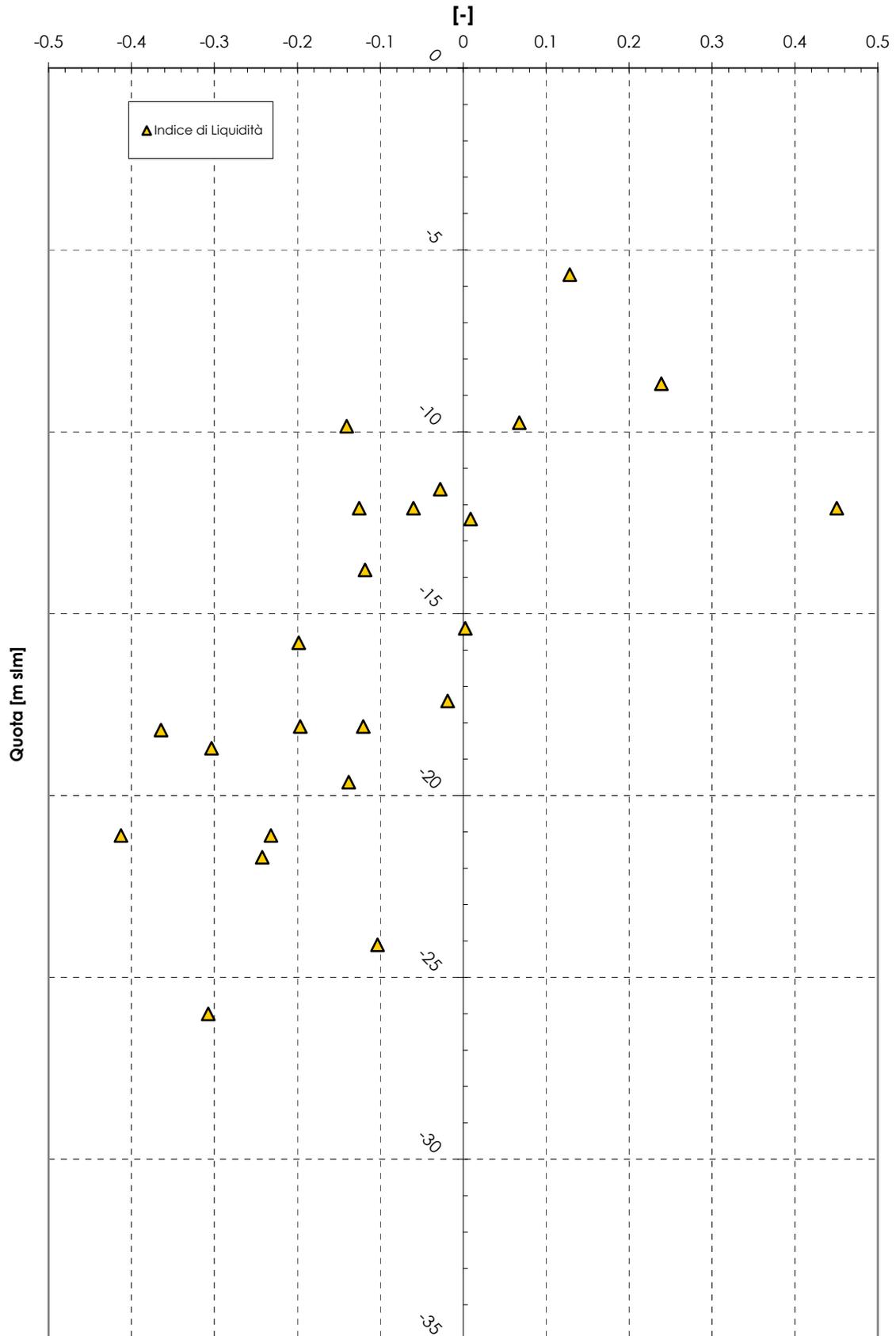
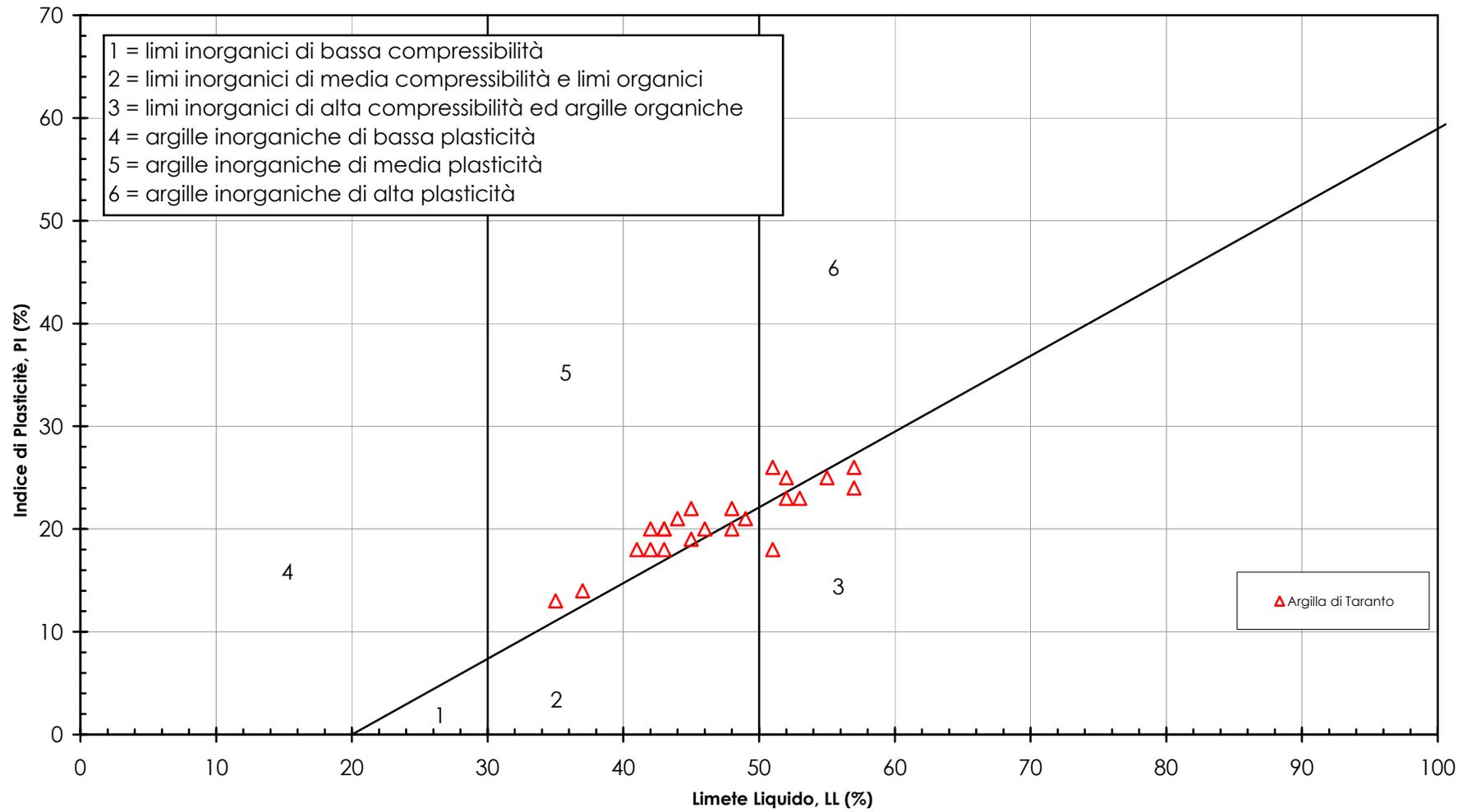


Figura 7

**Carta di Casagrande  
Molo IV Sporgente**



**Figura 8**

Contenuto d'acqua, w  
Molo IV Sporgente

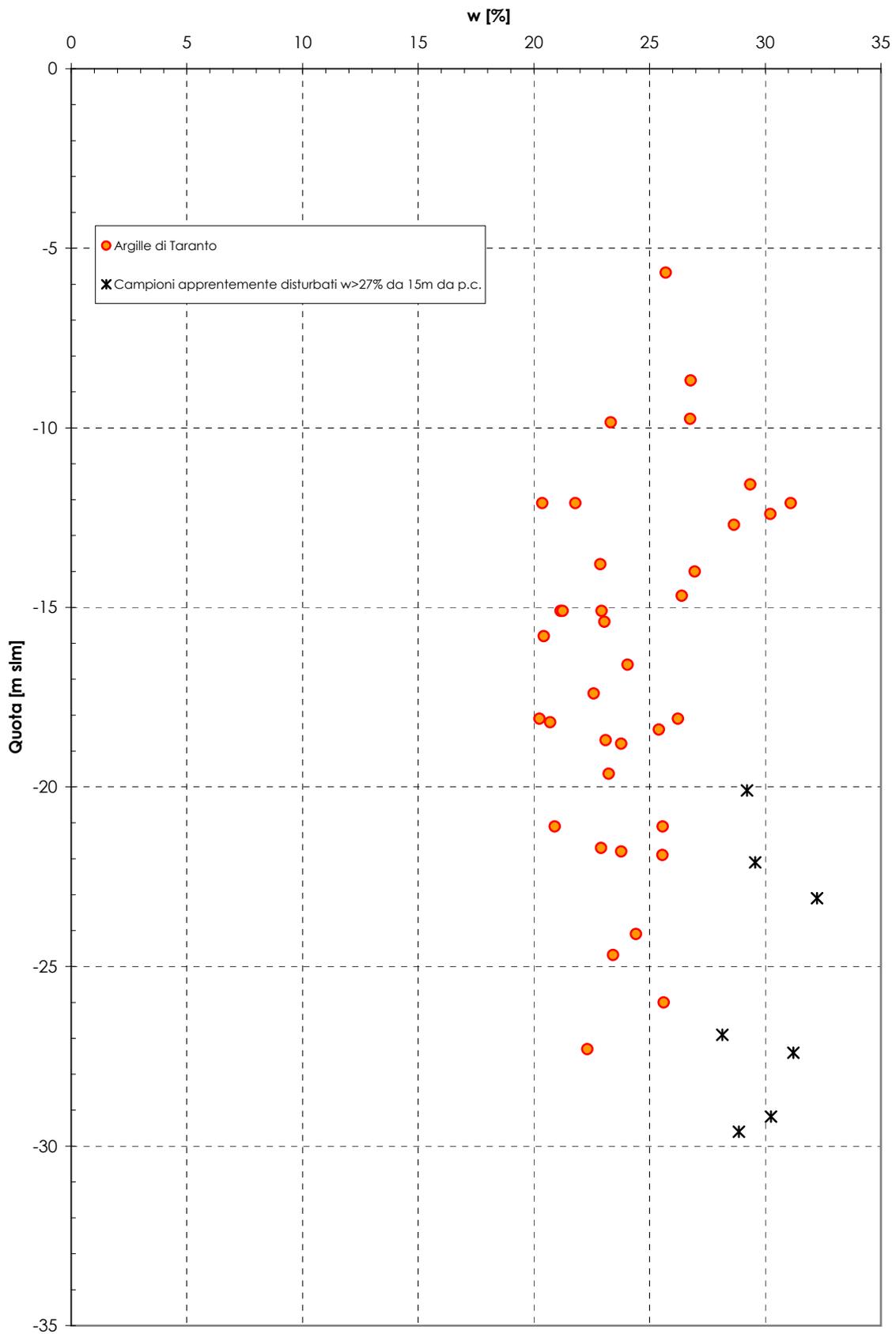


Figura 9

Indice di Attività - "Argille di Taranto"  
Molo IV Sporgente

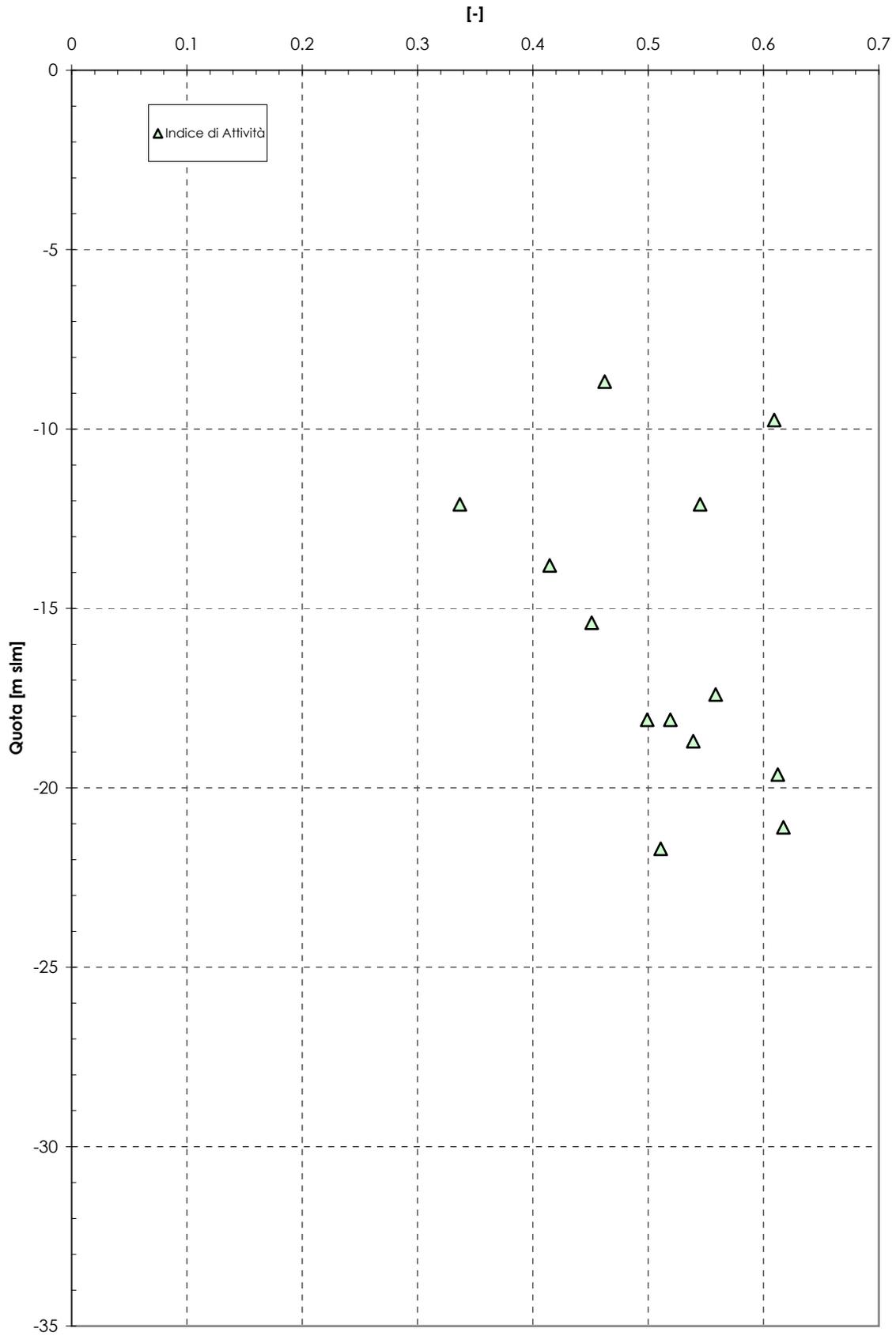


Figura 10

Indice dei vouti inizile,  $e_0$   
Molo IV Sporgente

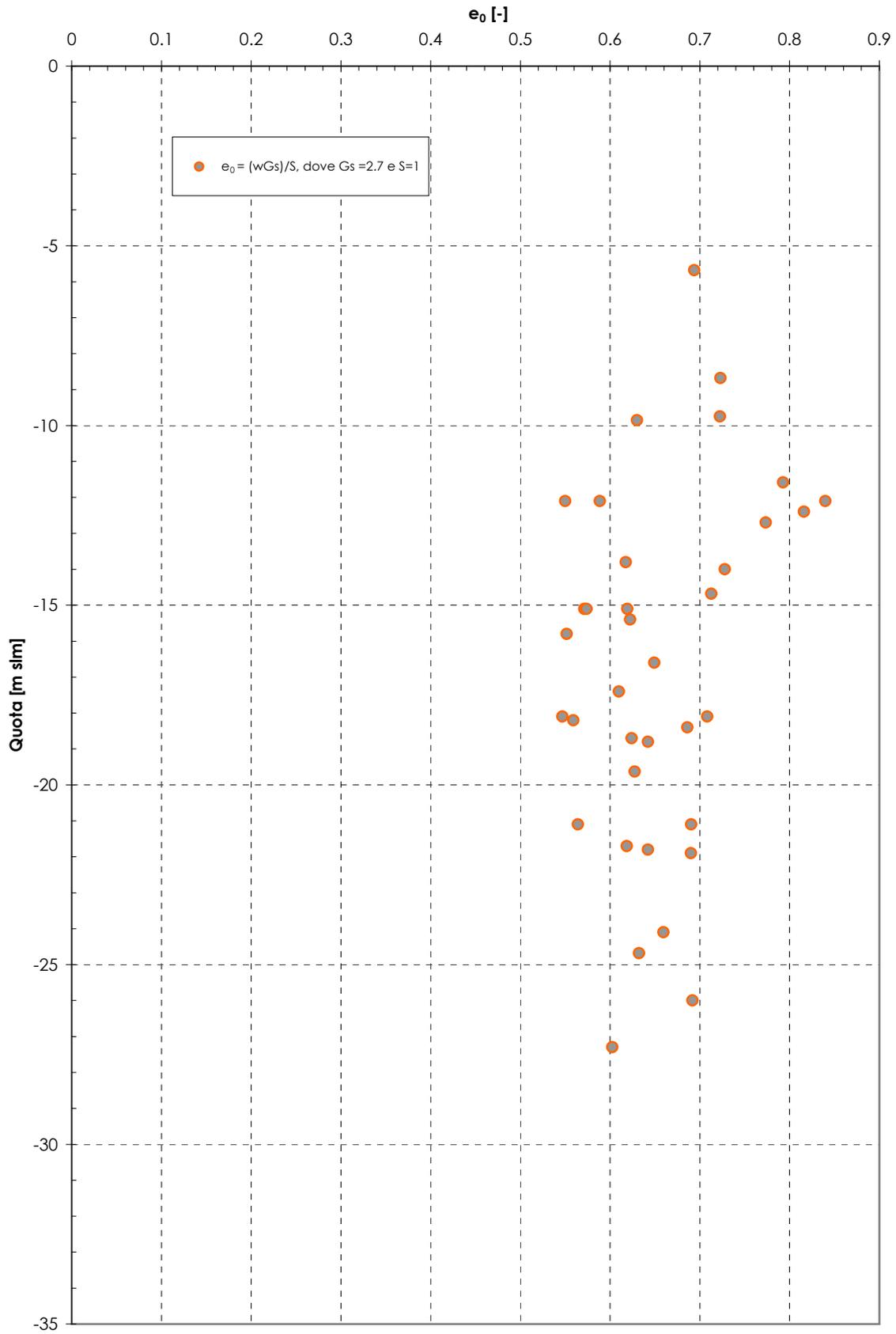


Figura 11

Peso Specifico Grani, Gs  
Molo IV Sporgente

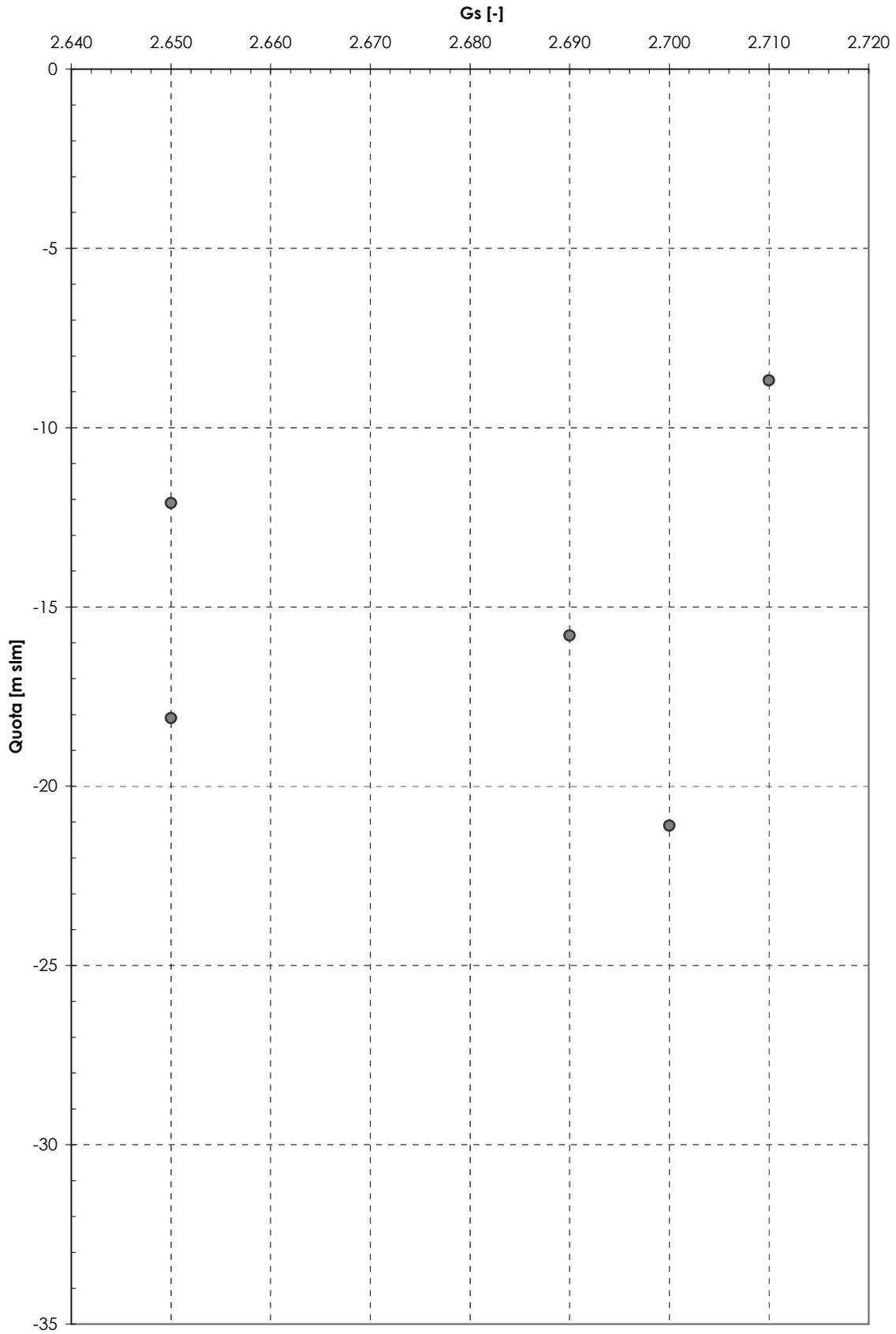


Figura 12

Peso dell'unità di volume naturale,  $\gamma$   
Molo IV Sporgente

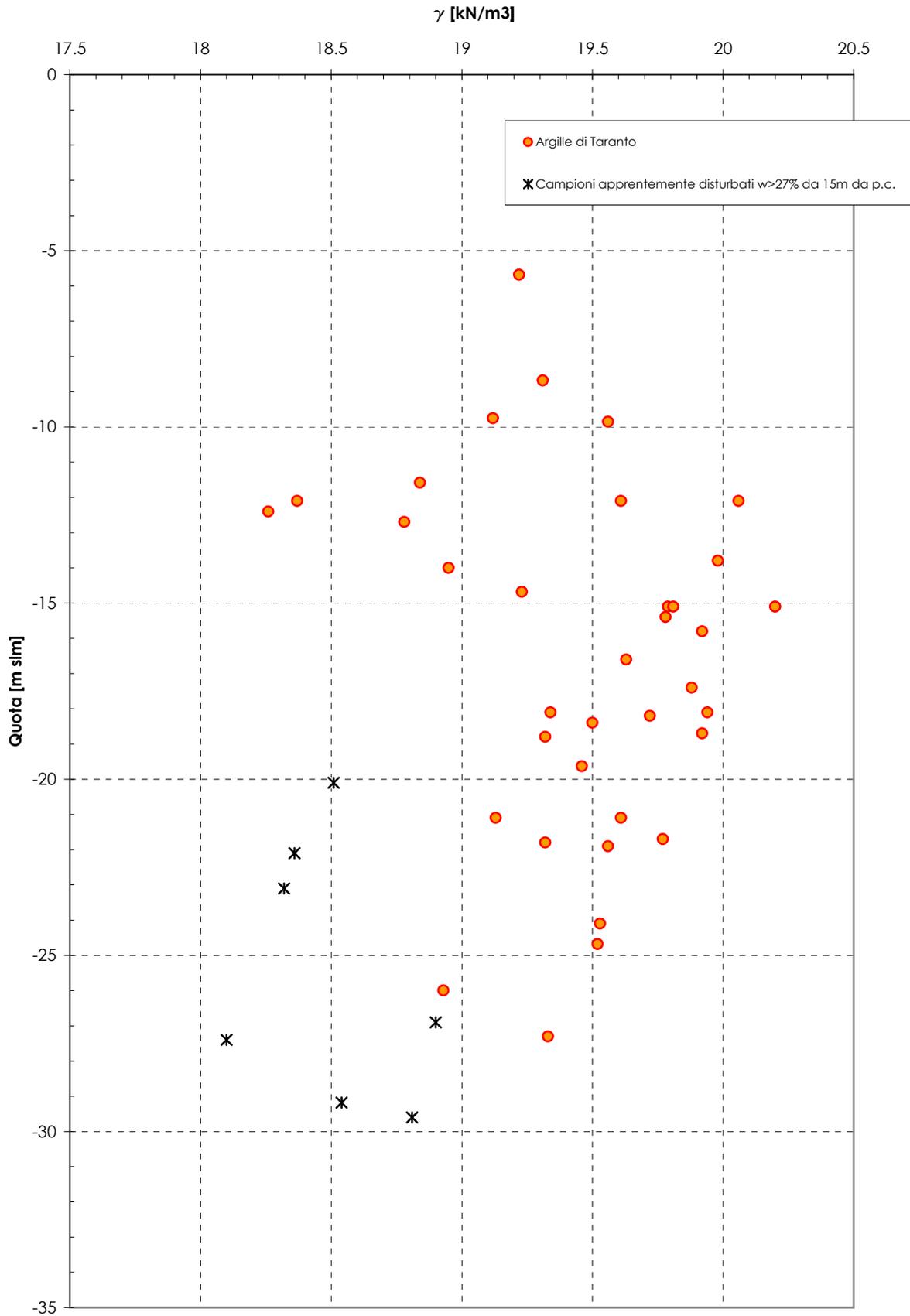


Figura 13

Contenuto di Carbonati  
Molo IV Sporgente

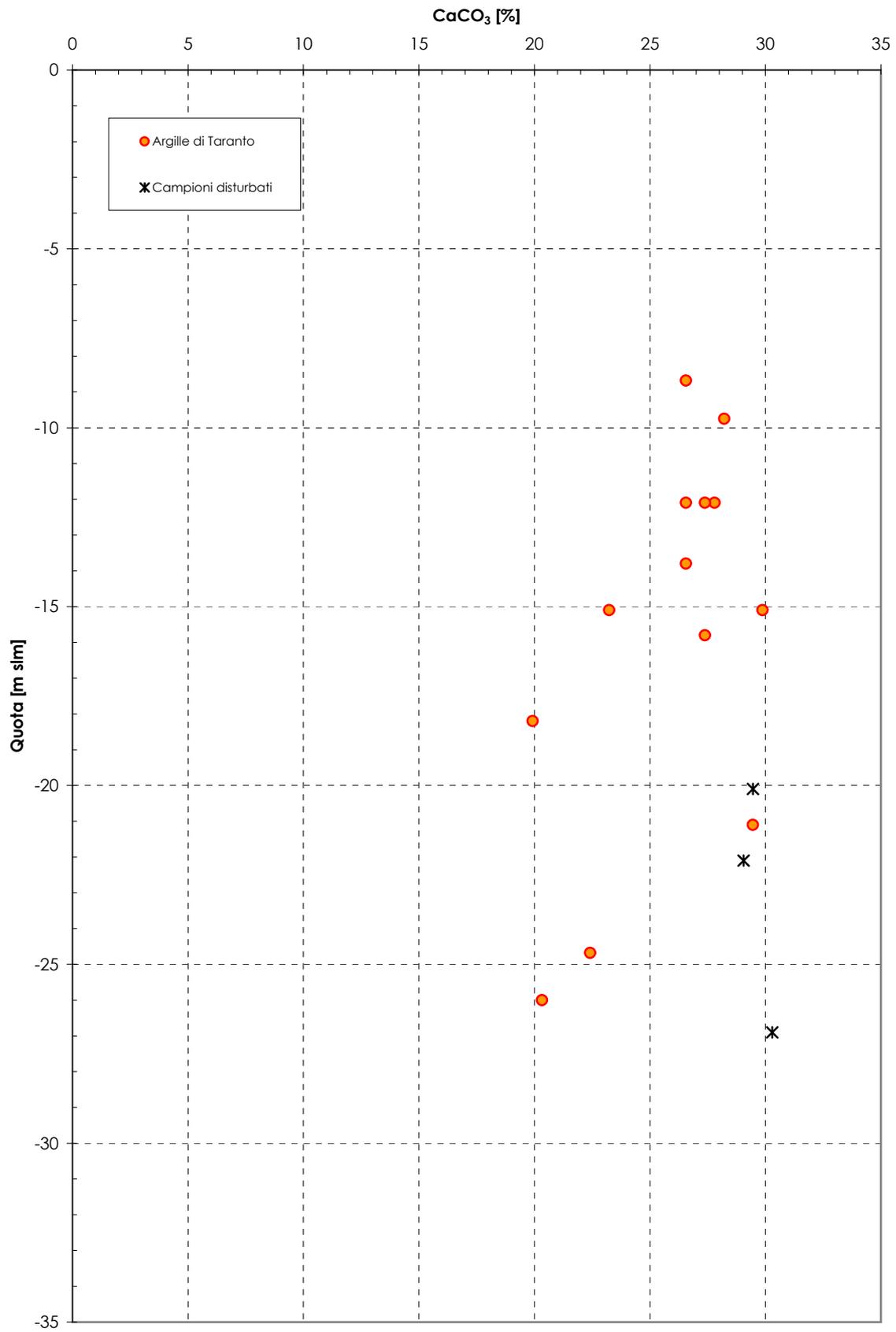


Figura 14

Contenuto di Sostanze Organiche  
Molo IV Sporgente

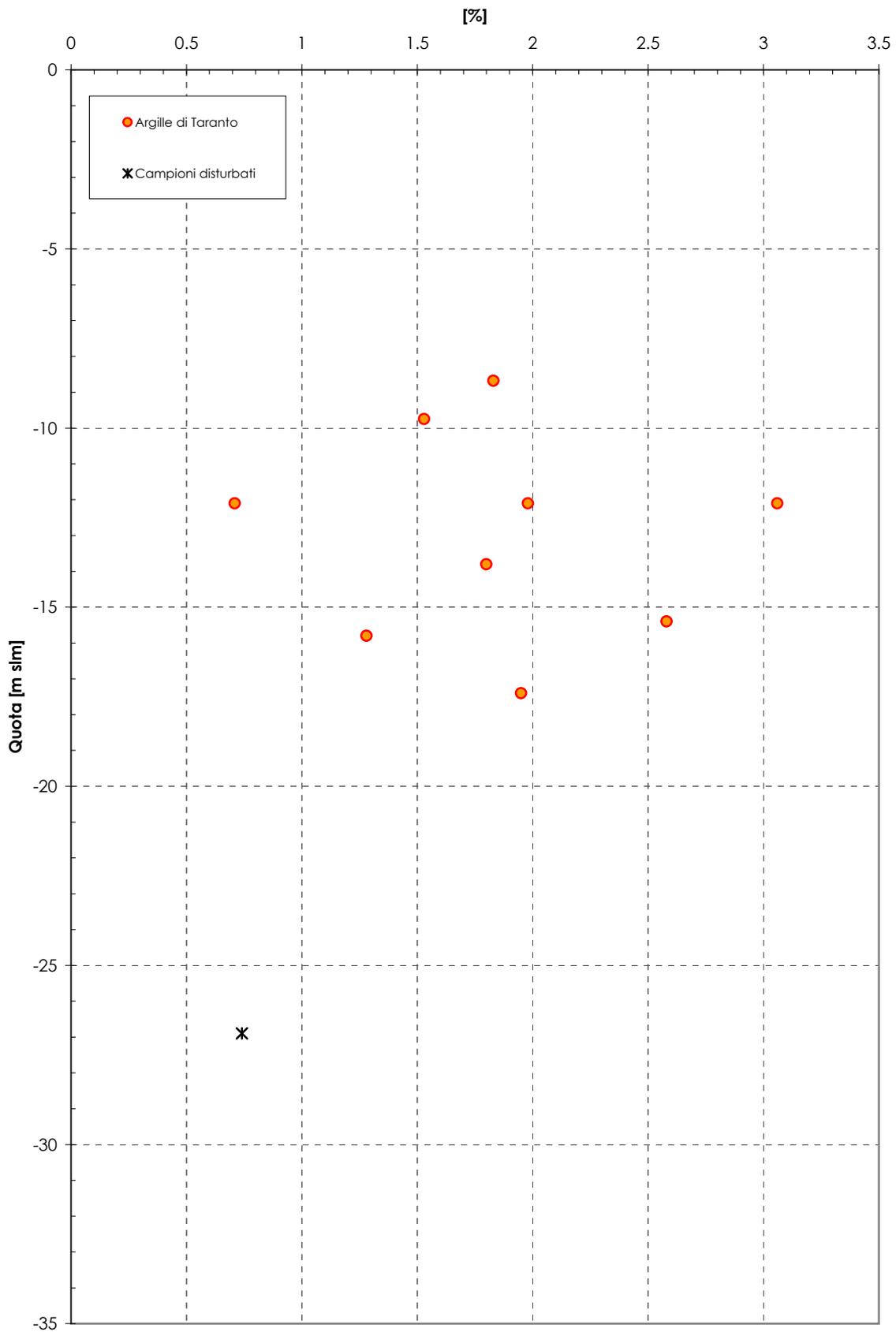


Figura 15

### Tensioni Efficaci Molo IV Sporgente

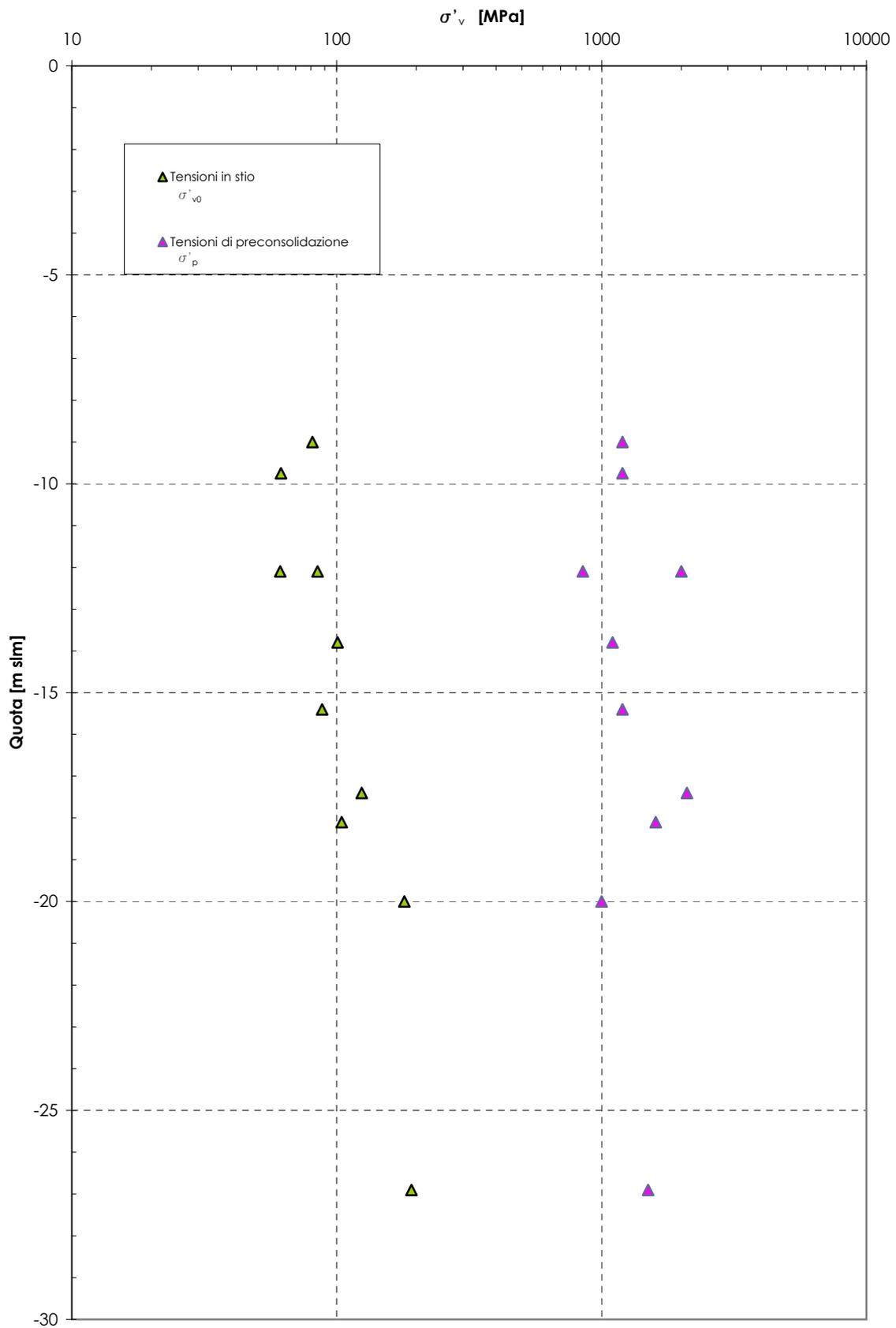


Figura 16

**Rapporto di Preconsolidazione, OCR  
Risultati prove edometriche e prove DMT  
Molo IV Sporgente**

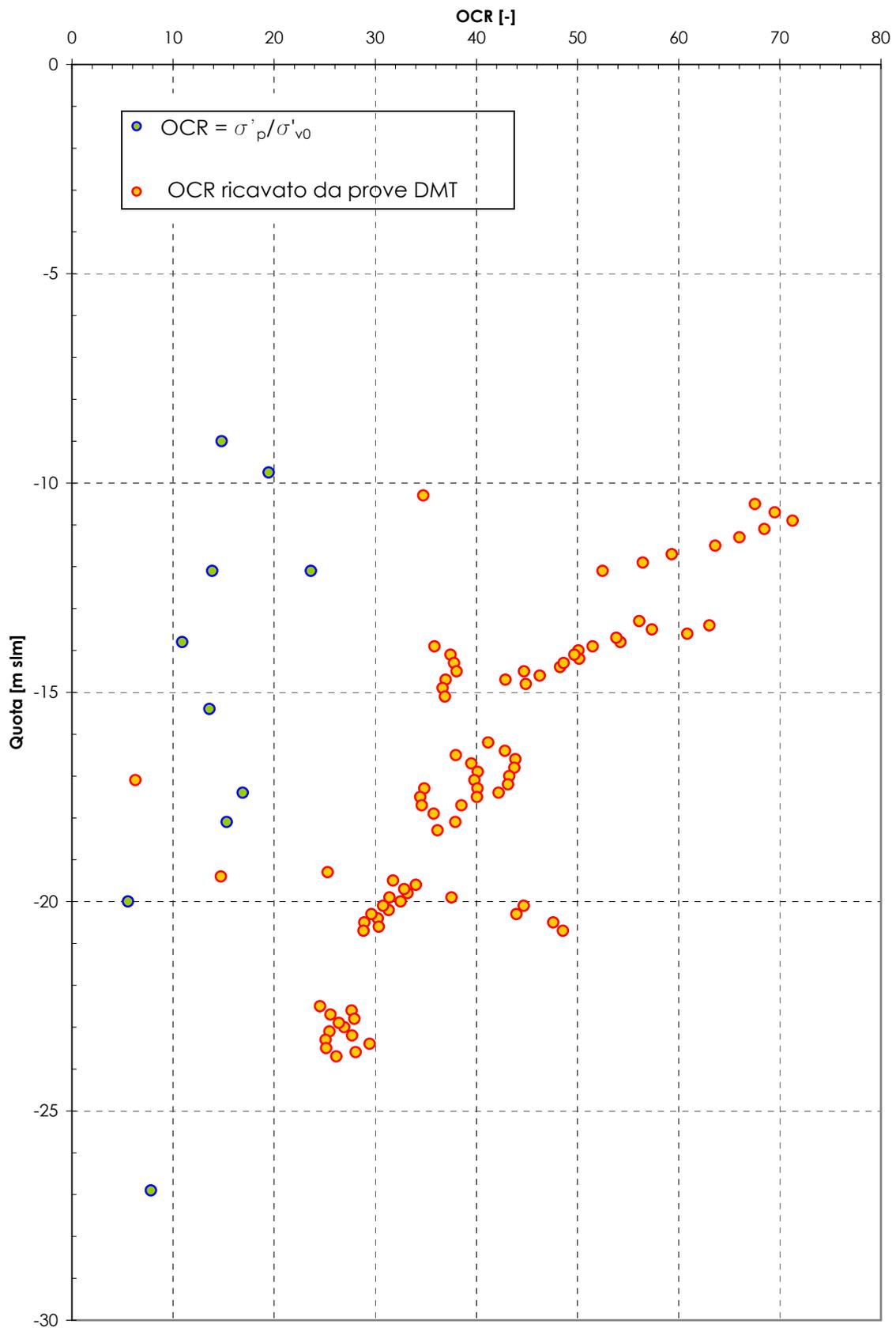
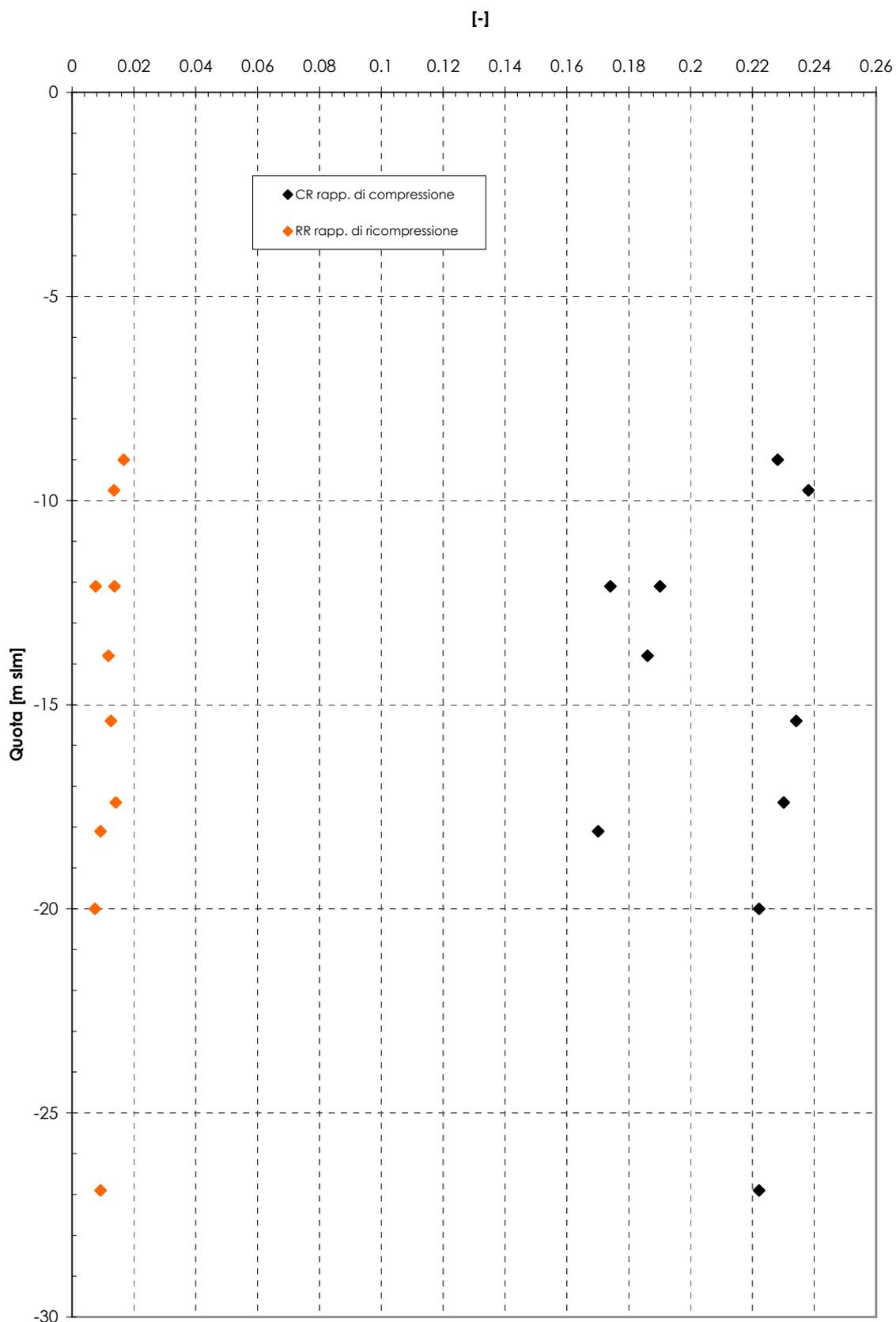


Figura 17

**Rapporto di compressione e Rapporto di ricompressione  
risultati prove edometriche  
Molo IV Sporgente**



**Figura 18**

**Moduli di Young, E'**  
**Risultati prove edometriche e prove DMT**  
**Molo IV Sporgente**

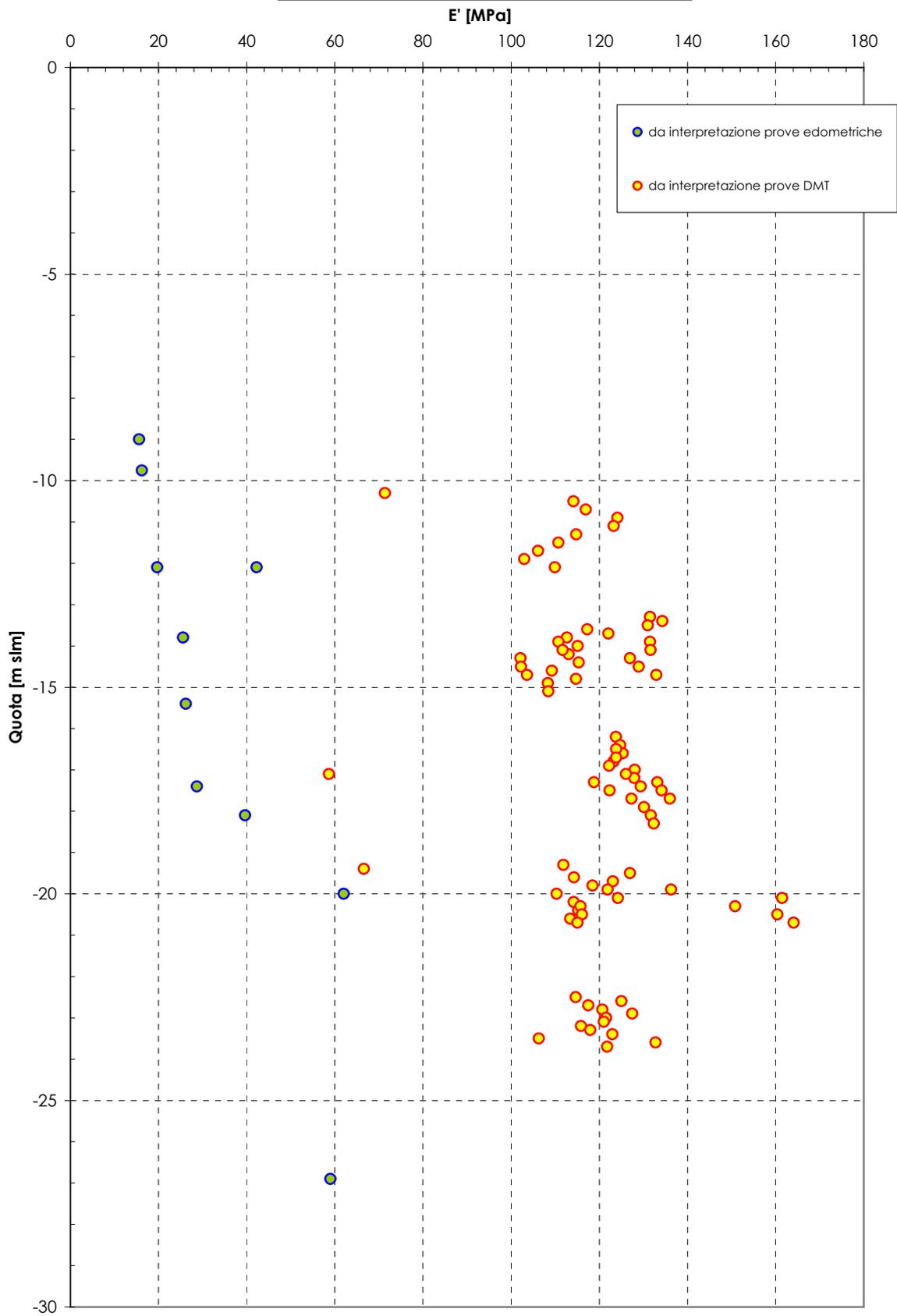


Figura 19

**Resistenza al taglio non drenata, Cu  
Molo IV Sporgente**

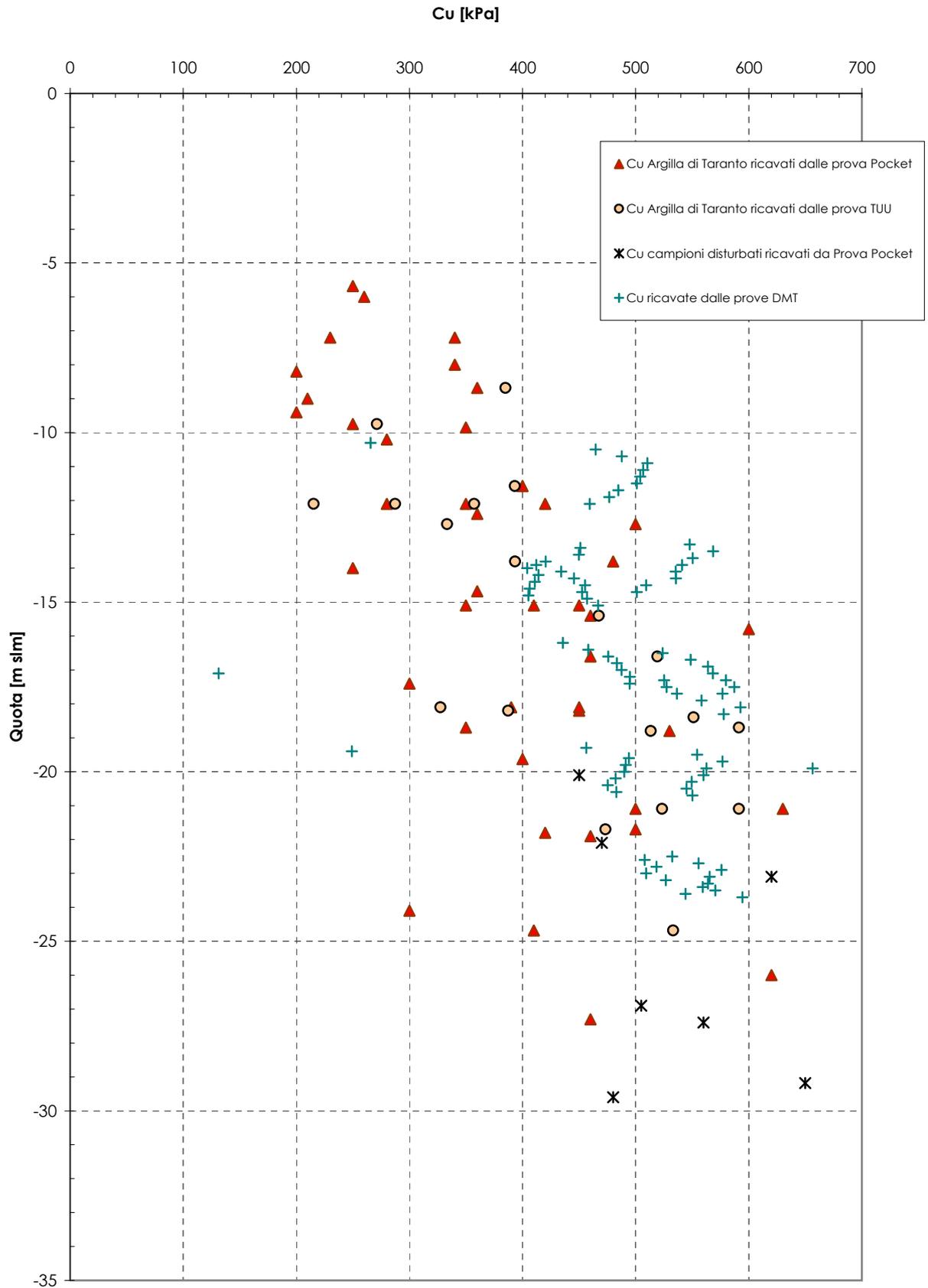
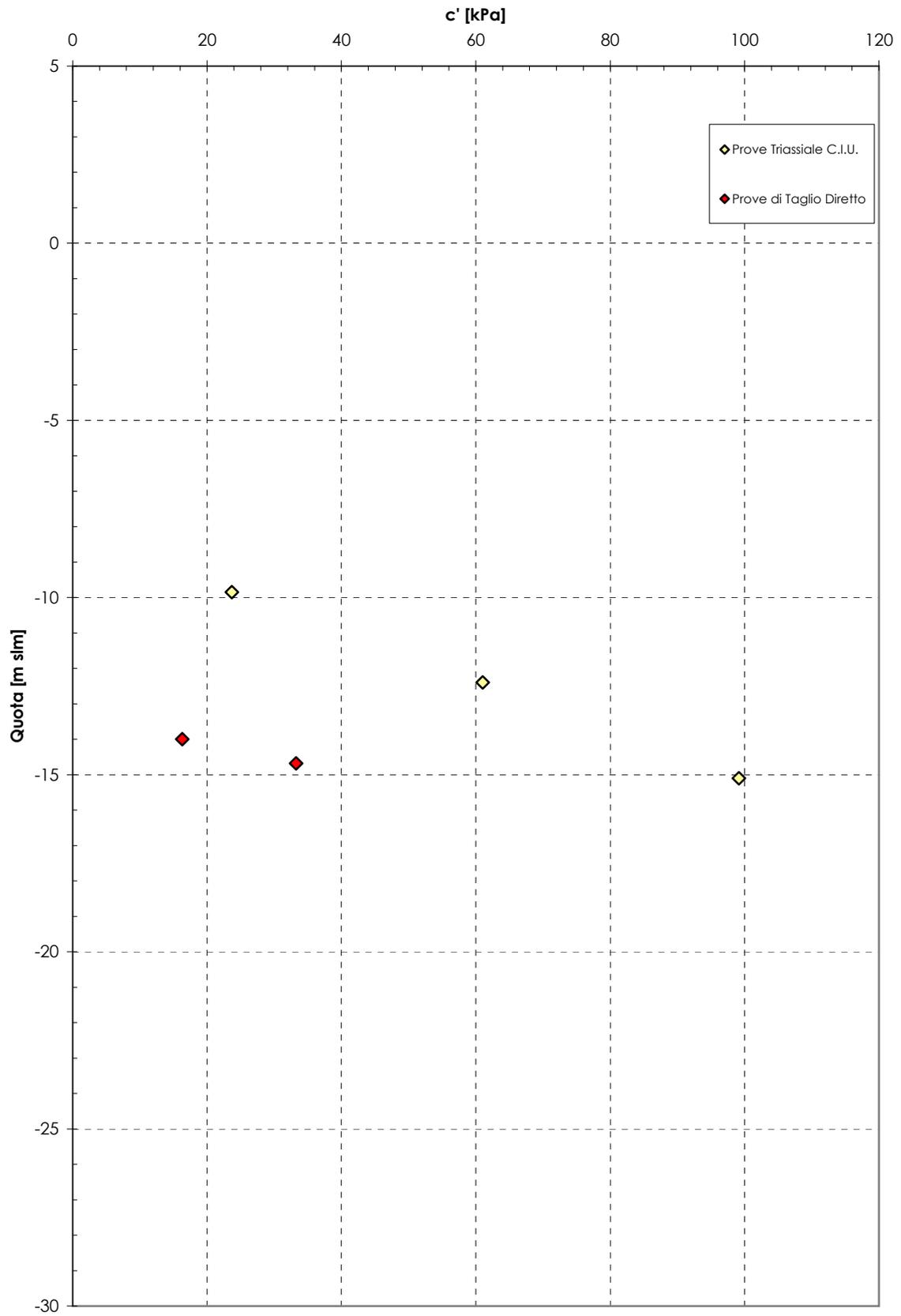


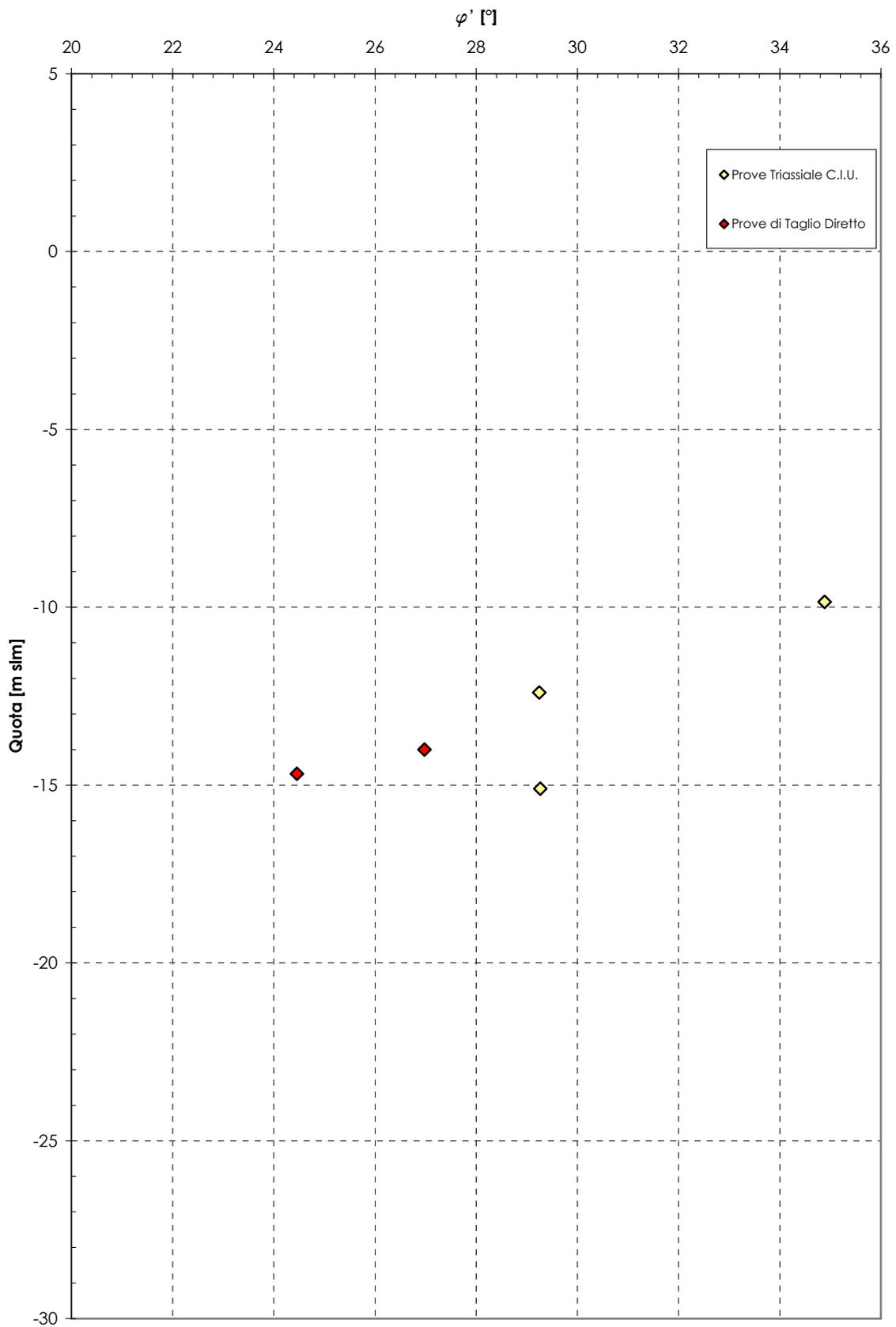
Figure 20

**Coesione efficace,  $c'$ :**  
**Risultati prove triassiali CIU e prove di taglio diretto**  
**Molo IV Sporgente**



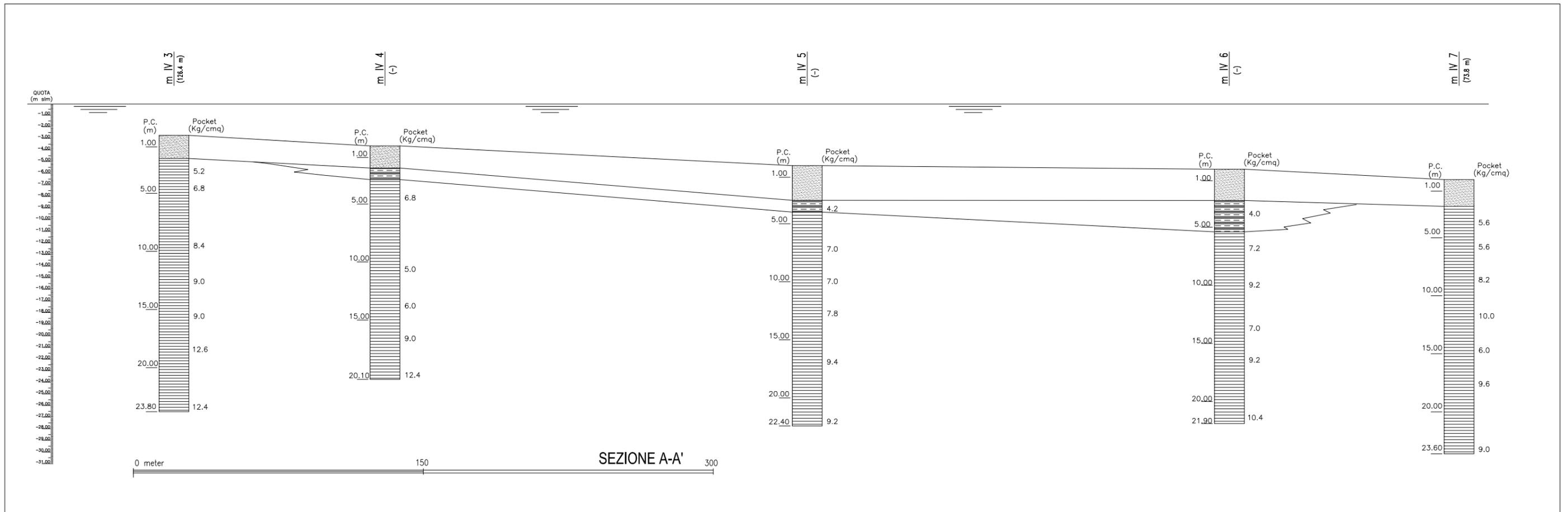
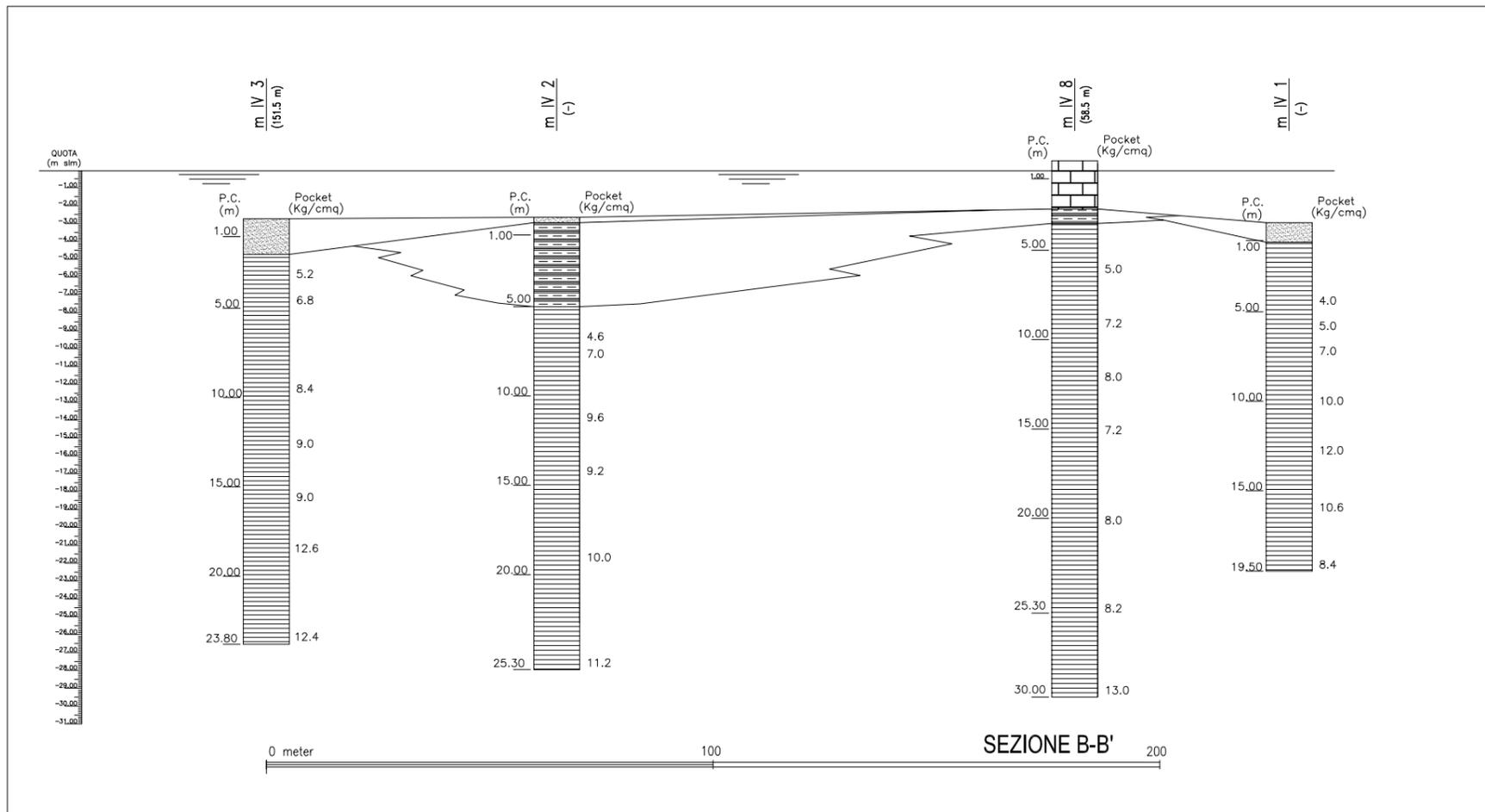
**Figura 21**

**Angolo di attrito interno,  $\varphi'$ :**  
**Risultati prove triassiali CIU e prove di taglio diretto**  
**Molo IV Sporgente**



**Figura 22**

**APPENDICE A**  
**SEZIONI STRATIGRAFICHE**



## ALLEGATO 1

### Considerazioni sui depositi di fondale derivanti dagli studi compiuti da ICRAM

Sono stati considerati gli studi compiuti da ICRAM:

1. *“Volumi di sedimento corrispondenti allo strato di recente sedimentazione dell’area del IV sporgente nel Porto di Taranto sottoposta a caratterizzazione”*, CII-EI-PU-T\_AP, Settembre 2004.
2. *“Elaborazione e valutazione dei risultati della caratterizzazione ai fini della individuazione delle più appropriate modalità di gestione dei sedimenti”*, CII-EI-PU-TA-IV, Aprile 2005.

L’area del IV sporgente è stata caratterizzata da ICRAM con sondaggi disposti su una maglia 50m per 50m (figura 1) e campionamenti effettuati a diverse profondità. E’ stato implementato da ICRAM un modello geostatistico con la finalità di valutare il livello medio del tetto delle argille e, di conseguenza, gli spessori dei depositi di fondale.

In figura 2 è riportata una rappresentazione del valore medio della profondità (dal fondo marino) del tetto delle argille in area IV sporgente. Si può assumere, quindi, che i depositi di fondale abbiano spessori variabili da 0 fino a 3 m circa secondo quanto rappresentato in figura 2.

Nel corso delle attività di caratterizzazione sono state effettuate da parte di ICRAM analisi granulometriche sui campioni. Per ogni campione sono state misurate le frazioni di ghiaia, sabbia, limo e argilla.

Con la finalità di descrivere da un punto di vista granulometrico i depositi di fondale appartenenti alle aree di futuro riempimento a tergo dei cassoni, sono stati considerati 123 campioni con le seguenti caratteristiche:

- il loro prelievo è avvenuto a profondità tale da appartenere allo strato dei depositi di fondale;
- sono riferiti a sondaggi appartenenti alle future aree di riempimento (sondaggi B di figura 1).

Su tali dati è stata determinata la frazione granulometrica più grossolana (ghiaie e sabbie -  $d > 0,063\text{mm}$ ). In figura 3 è rappresentato il numero di campioni appartenente a diverse classi di contenuto di ghiaia e sabbia per diverse profondità di prelievo.

Dalla figura si evince come i depositi di fondale appartenenti alle aree di interesse siano caratterizzati, per la maggior parte, da un contenuto di terreni fini inferiore al 50%. I campioni considerati sono costituiti mediamente da ghiaie e sabbie per il 60-70% in peso.

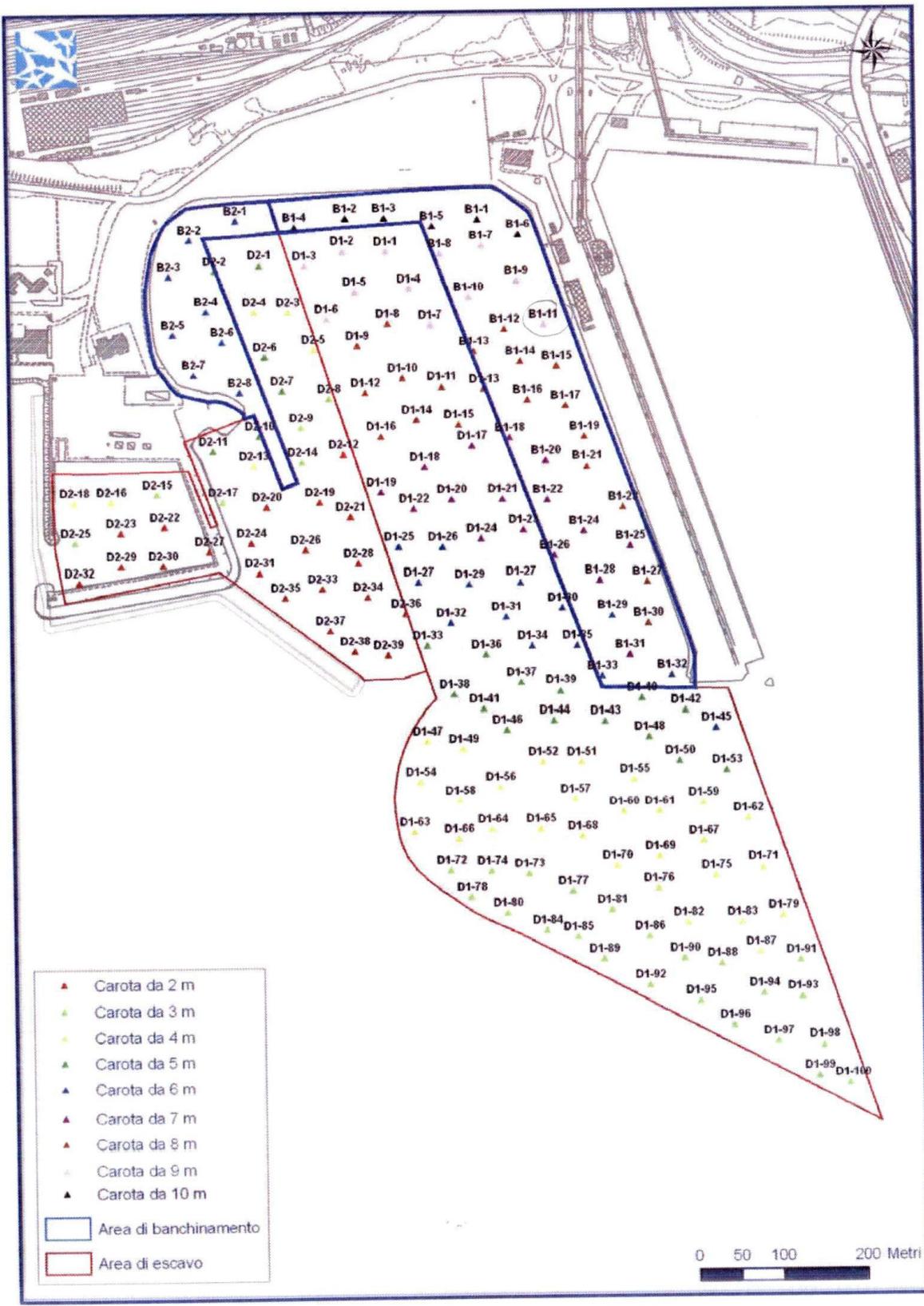


Figura 1

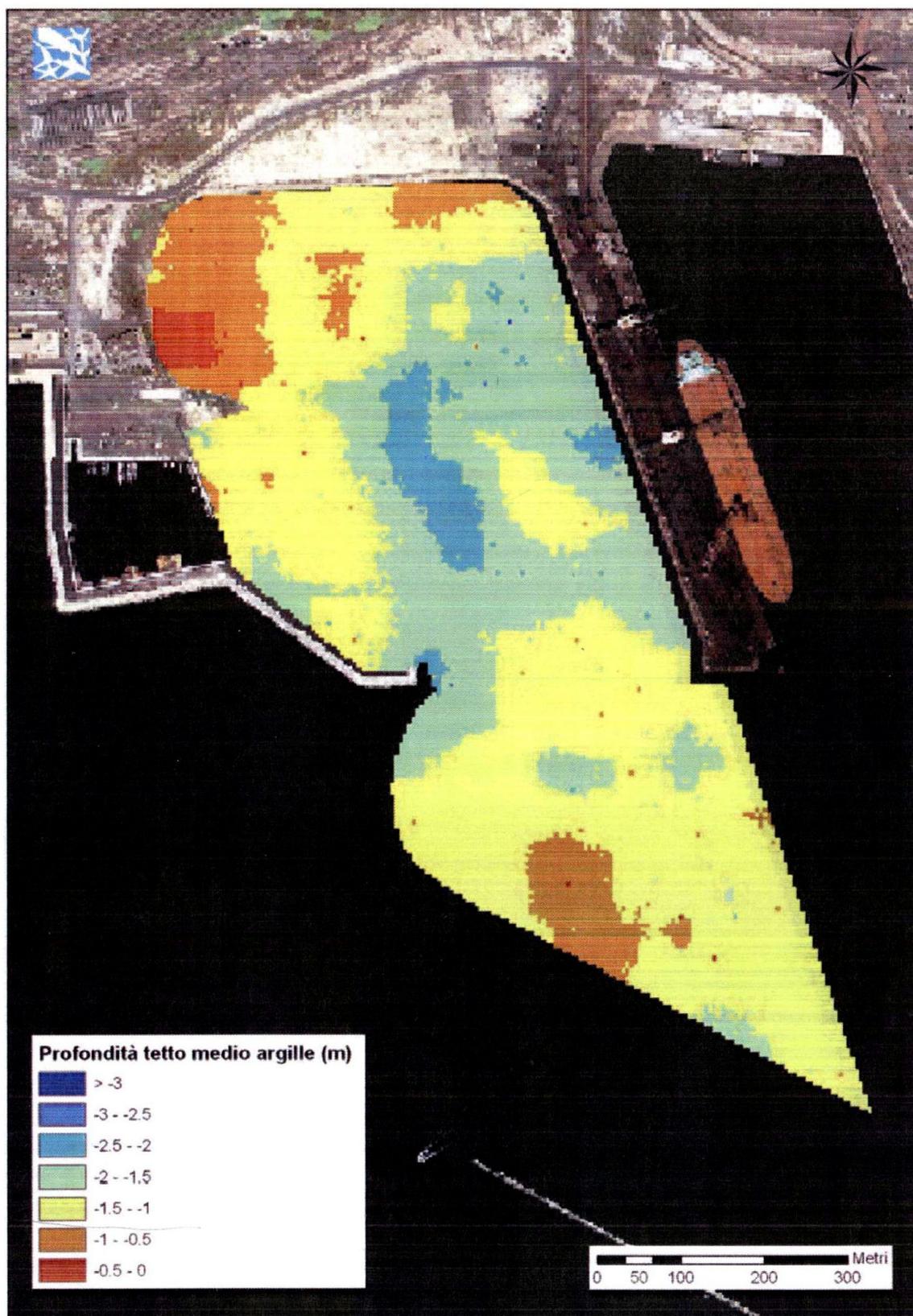


Figura 2

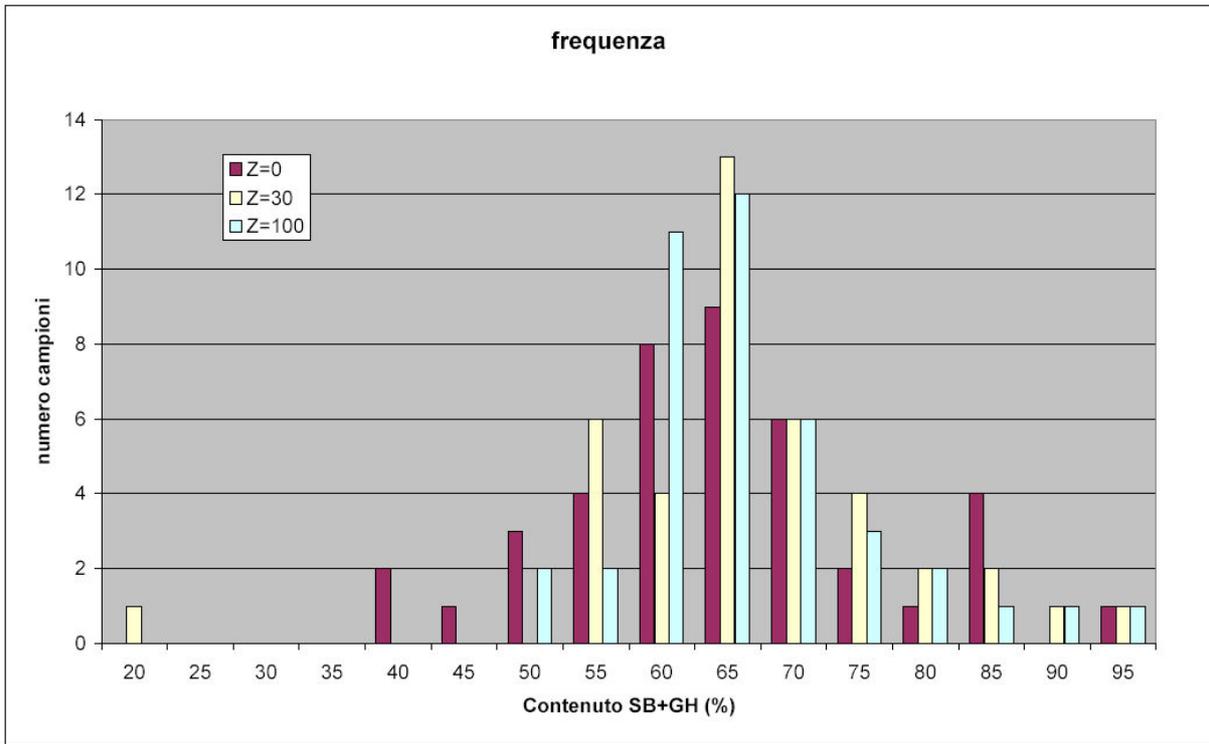


Figura 3