

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
PROVVEDITORATO INTERREGIONALE OPERE PUBBLICHE  
SICILIA - CALABRIA  
UFFICIO 4 - OPERE MARITTIME SICILIA  
PALERMO

OPERE PER CONTO DEL COMUNE DI VALDERICE

COMUNE DI VALDERICE - PORTO DI BONAGIA

Potenziamento delle opere marittime esistenti per la messa in sicurezza del porto (ai sensi dell'art.5 L.R. 21/98), comprendenti costruzione diga foranea di sopraflutto, prolungamento diga foranea di sottoflutto, banchine e piazzali operativi

PROGETTO DEFINITIVO - GENERALE

<i>Elaborato:</i>	RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA	<i>Scala:</i>
1.2		

N. 63 Palermo 27 OTT. 2011

ABBUONATO AL PARERE DEL CONSIGLIO  
COMUNALE IN DATA 15/12/2011

REDATTO DA:

DIRIGENTE TECNICO  
(Ing. Pietro Viviano)

DIRETTORE TECNICO  
(Ing. Leonardo Tallo)

FUNZIONARIO TECNICO  
(Geom. Francesco Daidone)

COLLABORATORE

DIRETTORE TECNICO  
(Geom. Salvatore Verde)

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
DIRIGENTE TECNICO  
(Ing. Pietro Viviano)



**MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
PROVVEDITORATO INTERREGIONALE OPERE PUBBLICHE  
SICILIA - CALABRIA  
UFFICIO 4 - OPERE MARITTIME SICILIA  
PALERMO**



PROGETTO DI POTENZIAMENTO DELLE OPERE MARITTIME ESISTENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI BONAGIA (AI SENSI DELL'ART.5 L.R. 21/98), COMPRENDENTI LA COSTRUZIONE DELLA DIGA FORANEA DI SOPRAFLUTTO, IL PROLUNGAMENTO DELLA DIGA FORANEA DI SOTTOFLUTTO, DELLE BANCHINE E DEI PIAZZALI OPERATIVI

**RELAZIONE GEOLOGICA ED INDAGINI GEOGNOSTICHE**  
**Decreto ministeriale (Infrastrutture) 14 Gennaio 2008**

**APPLICAZIONI **AGG** GEOLOGIA E GEOTECNICA**

VIA LIVIO BASSI, 22  
91100 TRAPANI  
TEL: 0923 549079  
CELL: 333 5048252  
E-MAIL: STUDIO.BAIATA@LIBERO.IT



**IL GEOLOGO**  
(Dott. Giuseppe Baiata)

**SOMMARIO:**

- 1- Premessa;
- 2- Programma di Indagine alle N.T.C.;
- 3- Modellazione Geologica;
- 4- Caratteristiche Geomorfologiche;
- 5- Modellazione Stratigrafica Strutturale;
- 6- Modellazione Geotecnica del Sito;
  - 6.1 - *Classificazione dei terreni;*
- 7- Modellazione Geotecnica dei Terreni;
  - 7.1 - Risultati delle indagini di laboratorio;
- 8- Prospezioni Geofisiche;
  - 8.1 - *Sismica Passiva (Re.Mi);*
  - 8.2 - *Rumore sismico ambientale (Noise)*
  - 8.3 - *Tromografia elettrica 2D (Underwater Resistivity Surveys - URS);*
- 9- Conclusioni.

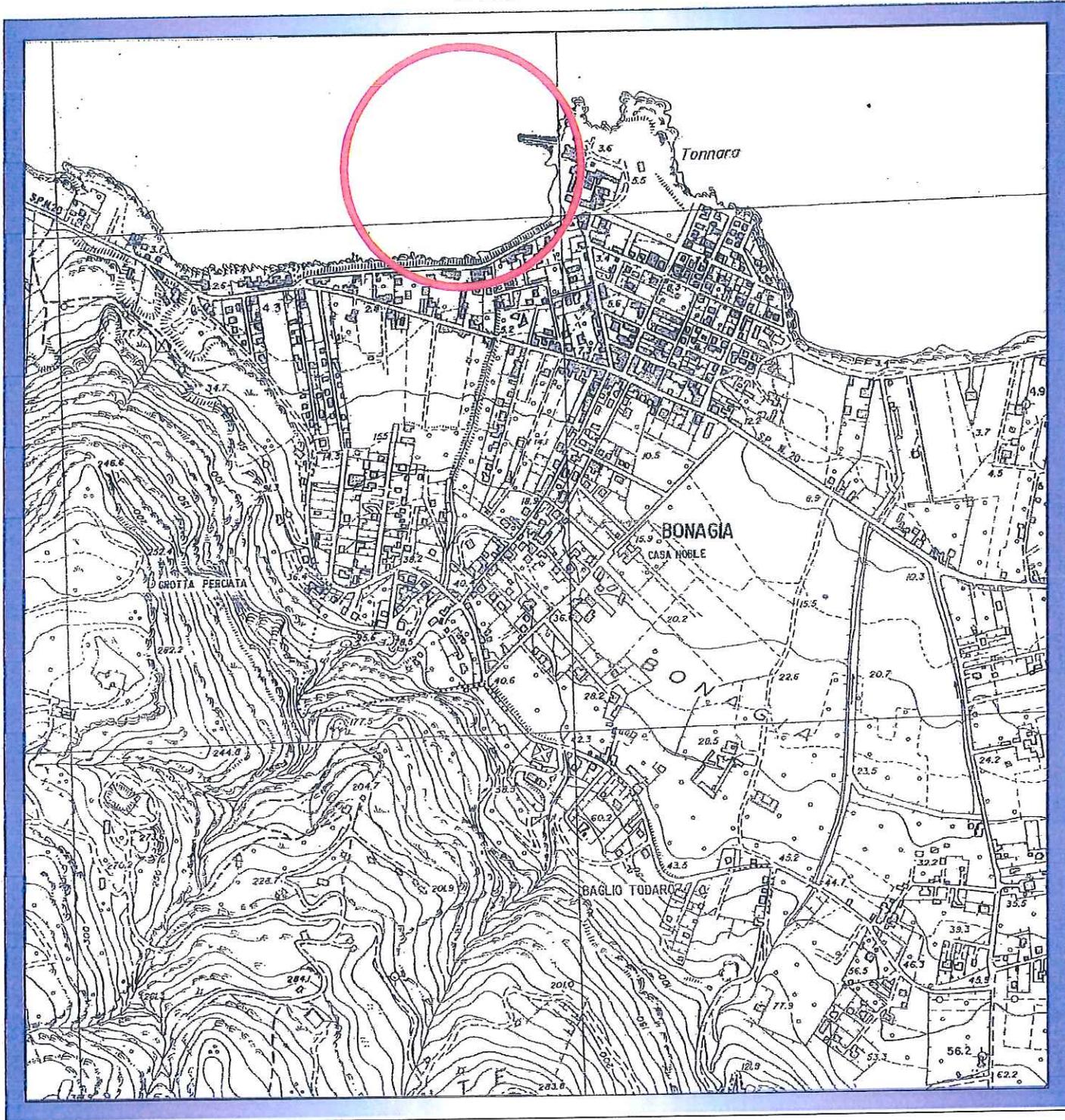
**Appendice**

- Prove Geotecniche di Laboratorio;
- Documentazione fotografica;

**Allegati**

- a) Relazione sulle Prospezioni Geofisiche.

STRALCIO AEROFOTOGRAMMETRICO  
IN SCALA 1:10.000



## 1- PREMESSA

Il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Provveditorato Interregionale Opere Pubbliche Sicilia-Calabria, Ufficio 4 Opere Marittime per la Sicilia, Sezione Tecnica, con nota prot.0022358 del 06.09.2011 ha affidato allo scrivente l'incarico di aggiornare lo studio geologico-tecnico del Porto di Bonagia redatto per conto del Comunale di Valderice, alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni contemplate dal D.M. 14.01.08, in accordo con la Circolare del 22.02.09 pubblicata nella G.U. n.47 del 26.2.09-Supp.ordinario n.47.

Si è ritenuto necessario pertanto programmare ulteriori indagini richieste dalla nuova normativa, nel paragrafo 6.2.2 "Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica".

L'intervento comprende il prolungamento dell'esistente diga foranea di sottoflutto con uno sviluppo complessivo di 310,00 m, la nuova costruzione di una diga foranea di sopraflutto della lunghezza complessiva di 400,00m oltre i servizi portuali a terra.

La realizzazione delle dighe comprende l'escavo dei fondali portuali fino al raggiungimento della quota operativa di - 3.00 m s.l.m.

Le indagini integrative a quelle eseguite precedentemente per lo studio geologico del Porto (deliberazione di G.M. n.720 del 2 Maggio 1991) sono state finalizzate alla caratterizzazione ed alla modellazione geologica dei siti interessati dalle dighe ed in particolare alla determinazione delle velocità delle onde sismiche trasversali per i "primi trenta metri" con il calcolo delle  $V_{s30}$  per l'attribuzione delle "Categorie di sottosuolo" ai sensi delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni approvate con D.M. del 14.01.08.

Alla presente relazione vengono allegati:

- *Stralcio aerofotogrammetrico in scala 1:10.000;*
- *Planimetria in scala 1:2000;*
- *Carta geologica in scala 1:10.000;*
- *Carta geomorfologica in scala 1:10.000;*
- *Planimetria con l'ubicazione delle indagini;*
- *Stratigrafie Sondaggi Geognostici;*
- *Sezioni tipo.*

**Appendice:**

- *Prove Geotecniche di Laboratorio;*
- *Documentazione fotografica.*

## SERVIZI A TERRA

- 1 SERVIZI IGIENICI
- 2 RISERVA I MPIANTO ANTINCENDIO
- 3 IMOTOSCALO
- 4 TRAVEL LIFT
- 5 SCALO DI ALAGGIO
- 6 GRU FISSA
- 7 IMPIANTO DI ASPIRAZIONE E TRATTAMENTO ACQUE DI SENTINA ED OLII ESAUSTI
- 8 AREA RIMESSAGGIO A TERRA
- 9 IMPIANTO LAVAGGIO CARENE
- 10 ARGANO SCALO DI ALAGGIO
- 11 FARO VERDE DI SEGNALAMENTO
- 12 FARO ROSSO DI SEGNALAMENTO
- 13 COLONNINE DISTRIBUTORE CARBURANTE
- 14 OFFICINA
- 15 GUARDIA COSTIERA (uffici, mensa e alloggi)
- 16 CALA ORMEGGIATORI
- 17 PRODOTTI NAUTICI
- 18 CENTRALE IMPIANTI TECNOLOGICI
- 19 GESTIONE PORTO (direzione, reception, uffici)
- 20 CENTRO INFORMAZIONI TURISTICHE
- 21 NEGOZI
- 22 CHARTER NAUTICO
- 23 UFFICI
- 24 RISTORANTE BAR
- 25 CLUB NAUTICO
- 26 TORRE DI CONTROLLO - CHIOSCO RIFORMIMENTO CARBURANTI
- 27 PARCHEGGI (202)
- 28 CONTROLLO ACCESSI
- 29 ASSISTENZA TECNICA
- 30 SERVIZI PER LA PESCA
- 31 AREA A FRUIZIONE DEI PESCATORI



POSIDONIA

ESCAVO

mq = 63800



AREA OPERA RICADENTE SULLA POSIDONIA

mq = 730



AREA ESCAVO RICADENTE SULLA POSIDONIA

mq = 0

INTERA SUPERFICIE IMPEGNATA

mq = 104950



SUPERFICIE UTILE A MARE

mq = 65600

SUPERFICIE ORMEGGIO

mq = 19500

SUPERFICIE AVAMPORTO

mq = 4230

SPECCHIO LIQUIDO PROTETTO

mq = 60000

SUPERFICIE PONTILI

mq = 1440

SUPERFICIE UTILE A TERRA

mq = 35800

EDILIZIA

SUPERFICIE EDILIZIA

mq = 1560

VOLUME EDILIZIA

mc = 6460

## FLOTTA TIPO

### DIPORTO

Cat. A ( 7.00 x 2.50 )	= n. 19
Cat. B ( 8.50 x 3.00 )	= n. 33
Cat. C ( 10.00 x 3.50 )	= n. 158
Cat. D ( 11.50 x 4.00 )	= n. 58
Cat. E ( 13.00 x 4.50 )	= n. 56
Cat. F ( 18.00 x 5.50 )	= n. 9
Cat. G ( 21.00 x 6.00 )	= n. 5
Cat. H ( 24.00 x 6.50 )	= n. 5
Cat. I ( 28.00 x 7.00 )	= n. 5
Cat. L ( 32.00 x 7.50 )	= n. 4
Cat. M ( 36.00 x 8.00 )	= n. 2
Cat. O ( 44.00 x 9.00 )	= n. 2

**Totale = n. 356**

## FLOTTA TIPO

### PESCHERECCIO

Cat. A ( 7.00 x 2.50 )	= n. 29
Cat. B ( 8.50 x 3.00 )	= n. 12
Cat. C ( 10.00 x 3.50 )	= n. 7
Cat. D ( 11.50 x 4.00 )	= n. 7
Cat. E ( 13.00 x 4.50 )	= n. 7

**Totale = n. 62**

## FLOTTA TIPO

**Totale = 418**



## 2- PROGRAMMA DI INDAGINE ALLE N.T.C

Tenuto conto che le indagini svolte ai sensi del D.M.11.03.88 avevano compreso l'esecuzione di un sondaggio geognostico della profondità di 20m ubicato in corrispondenza della radice della diga foranea di sottoflutto e prospezioni geosismiche a rifrazione a terra, per adeguare lo studio alla nuova normativa sismica si è ritenuto opportuno programmare un ulteriore sondaggio in corrispondenza della radice della nuova diga foranea di sopraflutto con analisi e prove di laboratorio finalizzate alla determinazione delle coesioni drenate e non drenate dei materiali argillosi già individuati nel sondaggio S.1 a varie profondità e di prove S.P.T. (Standard Penetration Test) nei livelli a componente sabbiosa ed arenacea.

Per valutare nella sua interezza l'aspetto inerente la microzonazione sismica e la individuazione di eventuali fenomeni di amplificazione sismica locale legati alle caratteristiche geologiche e fisiche dell'area, sono state programmate ed eseguite:

- n.8 tomografie elettriche 2D in mare nei tratti interessati dalle dighe foranee di sopraflutto e di sottoflutto per lo studio dei fondali d'interesse;
- n.2 prospezioni sismiche passive in array a terra (Re.Mi) finalizzate alla determinazione del Vs30
- n.3 stazioni singole a terra (misure di rumore sismico ambientale) finalizzate alla valutazione delle risposte sismiche dei siti;

La misura diretta delle velocità delle onde sismiche Vs sino alla profondità di trenta metri, concorre con i risultati acquisiti con le prove di laboratorio, alla determinazione delle Vs 30 ovvero della media pesata delle velocità delle onde sismiche trasversali per i primi trenta metri di profondità.

### 3- MODELLAZIONE GEOLOGICA

I litotipi appartenenti alla fascia costiera in cui è ubicato il lotto e l'area studiata, risultano costituiti da *litofacies* chiaramente *postorogene*, stratigraficamente collocabili nell'intervallo cronologico che va dal Plio-Pleistocene all'Attuale.

Tutta la zona in esame risulta far parte di un complesso di terrazzi marini di età quaternaria, che secondo le informazioni bibliografiche, avrebbe avuto genesi nelle oscillazioni eustatiche quaternarie; gli stessi terrazzi marini si estendono anche verso l'interno a quote topografiche superiori, verosimilmente fin sopra l'abitato di S. Andrea.

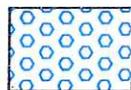
La *litofacies* che contraddistingue i terrazzi marini descritti è quella calcarenitica. Si tratta, infatti, di Biocalcareni (Packstone) variamente cementate, con abbondante presenza di macrofossili (Pectinidi e Gasteropodi), che affiorano lungo la costa in prossimità della Tonnara di Bonagia. Tali rocce ricoprono, in discordanza, le successioni stratigrafiche dell'Unità Tettonica di Monte Erice.

I litotipi appartenenti all'Unità tettonica Monte Erice sono rappresentati da Dolomie, Calcari dolomitici a ciclotemi loferitici e stromatolitici che costituiscono il complesso di piattaforma carbonatica del Trias superiore Lias medio. Intercalati alla successione si riscontrano livelli di marne ed argilliti di colore nocciola

La sequenza litostratigrafica del contorno significativo può essere così schematizzata, elencando i litotipi affioranti in ordine cronologico dal più recente verso il più antico:

- *Copertura detritica delle falde di Monte Erice (Recente);*
- *Calcareniti bioclastiche (Pliocene superiore Pleistocene);*
- *Dolomie, Calcari dolomitici a ciclotemi loferitici e stromatolitici (Trias Sup. - Lias Medio).*

### LEGENDA CARTA GEOLOGICA



Coperture detritiche

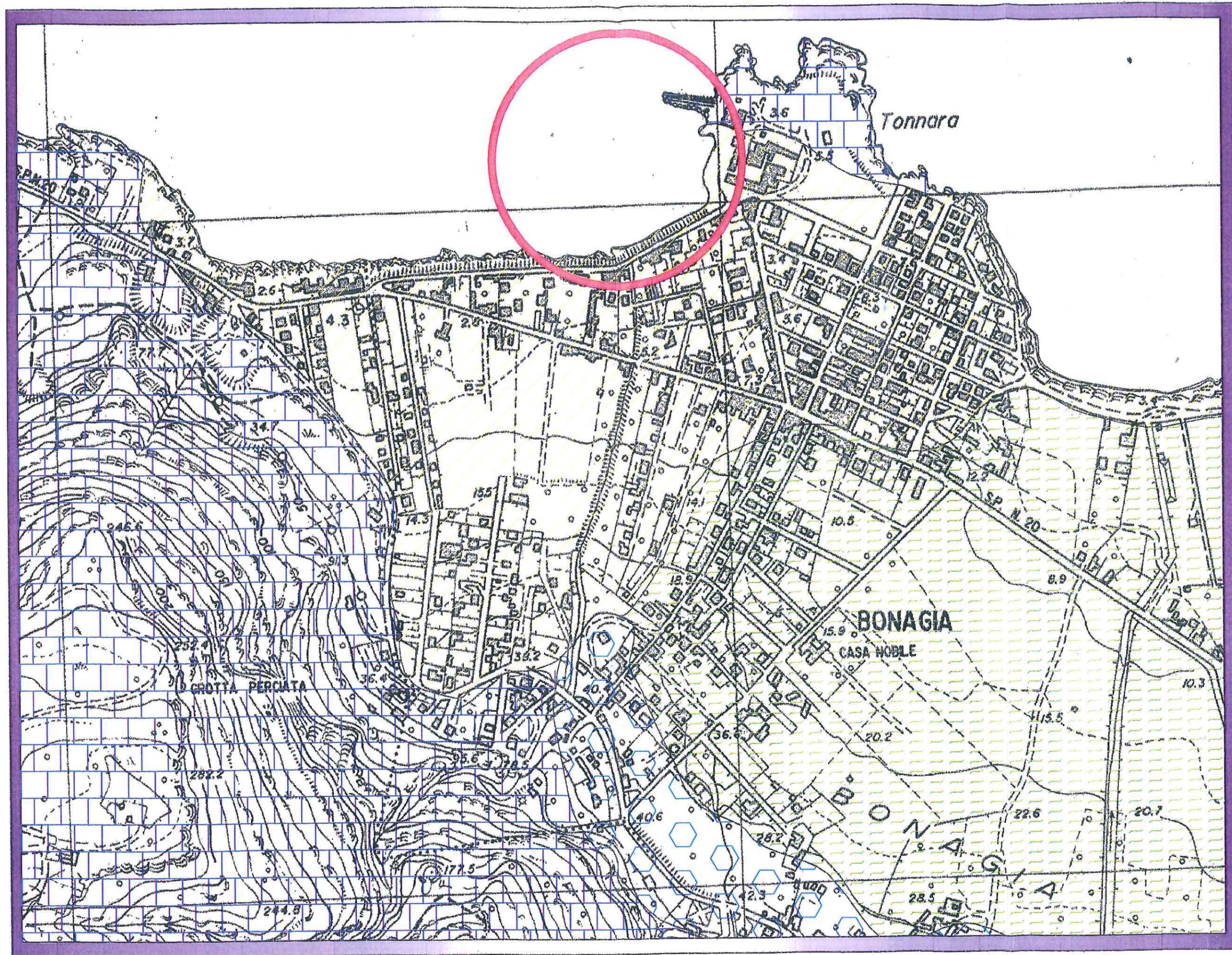


Depositi caotici costituiti in prevalenza da argille limose e sabbiose con inglobati blocchi erratici di dolomie e calcari dolomitici (Trias Sup. - Lias Medio) (a), ed arenarie. Si notano nella parte superficiale intercalazioni di placche calcarenitiche pleistoceniche (Pliocene Sup. - Pleistocene) (b)



Argille sabbiose grigio azzurre e mame brune con intercalazioni di livelli arenacei e con una ricca fauna a foraminiferi planctonici (*Orbulina saturalis*, *Orbulina universa*, etc.). Si notano spesso inglobati calcareniti e calciduriti a macroforaminiferi di età diversa del sedimento. (Langhiano - Tortoriano)

CARTA GEOLOGICA  
IN SCALA 1:10.000



#### 4- CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Il porticciolo di Bonagia è posto a ponente dell'omonimo Golfo, nel tratto costiero compreso fra Punta Pizzolungo e Punta Crocifisso (Monte Cofano). Il porticciolo allo stato attuale sfrutta una baia naturale estesa circa 4000 mq, a ridosso di un molo che si estende in direzione E-W per circa m.85 in corrispondenza della splendida Torre della Tonnara Bonagia.

Topograficamente ricade nella parte NNW della tavoletta "ERICE" foglio n. 248 III SE, della carta d'Italia edita dell'I.G.M in scala 1:25.000.

L'analisi geomorfica dell'intorno significativo ha individuato un esteso terrazzo marino calcarenitico la cui superficie dalle pendici di Monte Erice declina dolcemente verso la linea di costa, in prossimità della quale appare ricoperto da una spessa coltre di sedimenti recenti ed attuali.

Il morfotipo così delineato, pur considerando la notevole estensione lineare, non presenta caratteristiche geomorfologiche di particolare rilievo, trattandosi nel complesso di una zona essenzialmente sub-pianeggiante caratterizzata da quote comprese tra un massimo di 11.00 m ad un minimo di 1.00 m s.l.m..

Le condizioni planoaltimetriche appena descritte fanno sì che la relativa morfologia risulti alquanto dolce ed uniforme e nel complesso, decisamente monotona essendo la stessa interrotta da un piccolo promontorio su cui sorge la Tonnara di Bonagia, caratterizzato da un isolato affioramento roccioso senza rotture di pendenza.

L'habitus morfologico evidenzia le forme tipiche di genesi legata all'azione ciclica delle trasgressioni e delle regressioni marine che hanno caratterizzato l'era quaternaria in generale (*spianata d'erosione*).

Mancano forme di antropizzazione ed incisive; si tratta di fenomeni legati all'espansione urbana con le infrastrutture che essa comporta e con le inevitabili conseguenze negative per la spiaggia, emersa nella fascia più prossima alla linea di riva e quindi vulnerabile dal punto di vista dinamico.

Dall'analisi batimetrica si è osservato un lento e regolare interrimento dei fondali a causa della mancata evoluzione in profondità della spiaggia intertidale.

Dalla linea di costa la isobata di m.2.00 si raggiunge dopo circa m.100 dalla linea di costa. All'interno dell'attuale specchio liquido i fondali variano da m.0.20 a m.1.00.

E' importante far rilevare che le barriere rocciose (secche) hanno alterato il bilancio complessivo della costa generando cordoni litoranei (tomboli) di alghe.

La morfogenesi naturale che scaturisce dall'interazione tra l'acqua e la costa, ha prodotto una serie di forme tra le quali la ripa d'erosione su alghe, molto proliferare lungo il litorale di Bonagia, ove hanno trovato un ambiente ideale al loro ciclo biologico ed al successivo accumulo ad opera delle acque correnti.

Il tratto costiero è caratterizzato da una ripa d'erosione su alghe in decomposizione, la cui altezza media è dell'ordine di m.1.00 – 1,50.

Nella parte prossima al molo del porto si sviluppa con andamento perpendicolare una banchina di circa m.50 a Sud della quale è localizzato uno scalo di alaggio.

*Il bacino portuale e l'intorno significativo non ricadono nell'ambito di aree classificate ad "rischio o pericolosità" né tantomeno in siti di attenzione indicati nel Piano Assetto Idrogeologico del Comune di Valderice approvato con il D.P. del 04.06.2007 pubblicato sulla G.U.R.S. n. 37 del 17.08.2007.*

In riferimento al punto 3.2.4. delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, l'area in oggetto è associabile alla Categoria Topografica T1 (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ).

In allegato si riportano:

- Carta della pericolosità e del rischio coste n.12, scala 1:5.000;
- Carta della tipologia costiera e dell'evoluzione delle linee di riva n.12, scala 1:5.000;
- Carta dell'evoluzione delle coste n.12, scala 1:5.000.

Da tali carte allegate al P.A.I. delle coste, Unità Fisiografica n.14 da Capo Feto a Capo San Vito, non si evince alcun livello di pericolosità o di rischio costiero.

## LEGENDA CARTA GEOMORFOLOGICA



Coperture detritiche



Depositi caotici costituiti in prevalenza da argille limose e sabbiose con inglobati blocchi erratici di dolomie e calcari dolomitici (Trias Sup. - Lias Medio) (a), ed arenarie. Si notano nella parte superficiale intercalazioni di placche calcarenitiche pleistoceniche (Pliocene Sup. - Pleistocene) (b)



Argille sabbiose grigio azzurre e mame brune con intercalazioni di livelli arenacei e con una ricca fauna a foraminiferi planctonici (*Orbulina saturalis*, *Orbulina universa*, etc.). Si notano spesso inglobati calcareniti e calciduriti a macroforaminiferi di età diversa del sedimento. (Langhiano - Tortoriano)

### Segni convenzionali

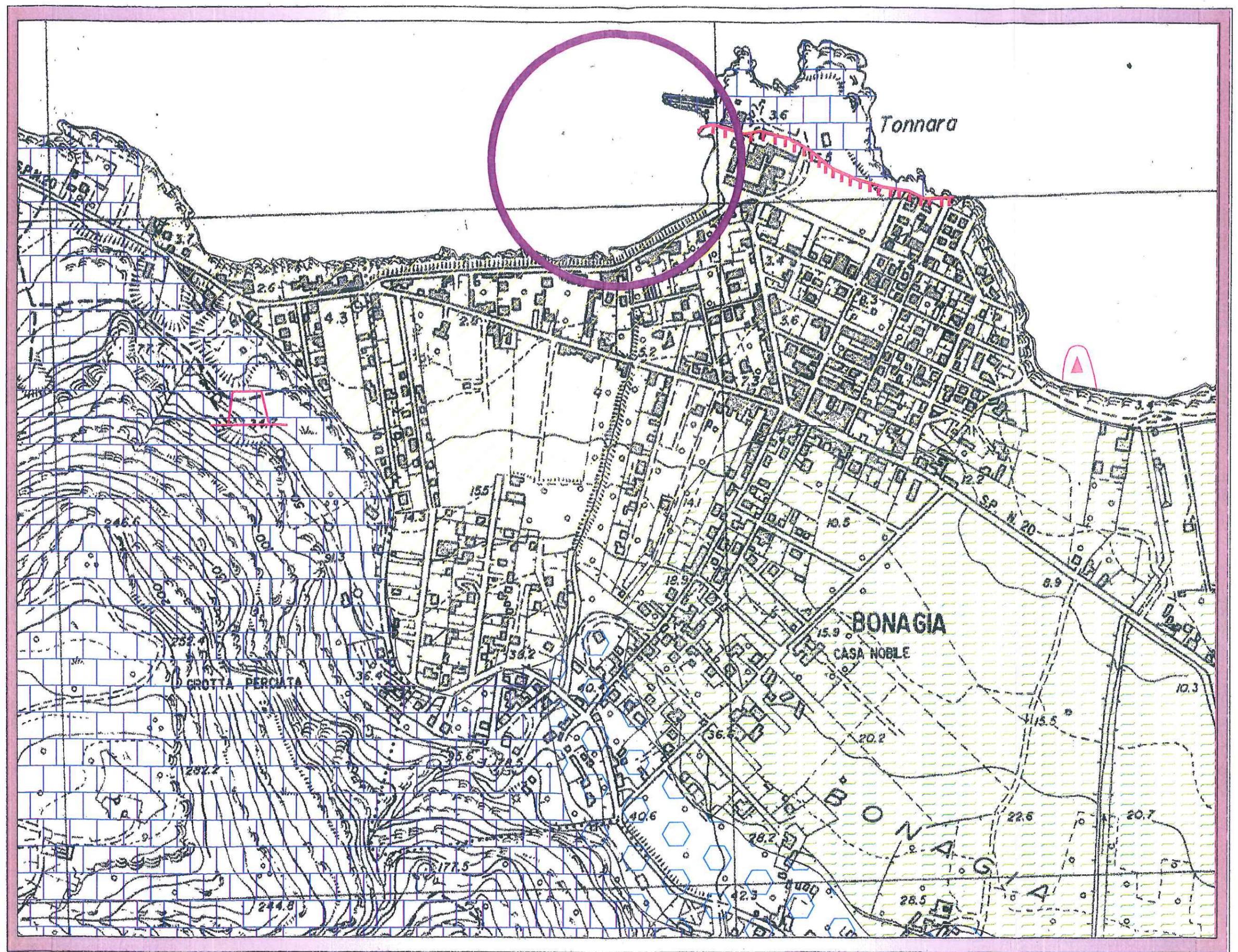
 Limite litologico

 Cava attiva e dismessa

 Tratto di litorale marino interessato da discarica incontrollata di materiali di risulta provenienti dalle lavorazioni di segherie

 Orlo di terrazzo marino

CARTA GEOMORFOLOGICA  
IN SCALA 1:10.000



## 5- MODELLAZIONE STRATIGRAFICA STRUTTURALE

I rilievi e le indagini svolte hanno evidenziato che il sito interessato dalla Tonnara di Bonagia ed il tratto costiero antistante appare costituito da litotipi appartenenti all'Unità tettonica di Monte Erice in facies di dolomie e calcari dolomitici a ciclotemi loferitici e stromatolitici che costituiscono il complesso di piattaforma carbonatica databile del Trias Sup.-Lias medio.

L'attuale assetto stratigrafico strutturale del bacino portuale è riconducibile alla crisi orogenetica miocenica che ebbe il suo acme nel Tortoniano Sup.. Lo stress tettonico ha coinvolto formazioni che appartenevano ad un'area di sedimentazione originariamente posta più a Nord generando una falda di ricoprimento a struttura anticlinale ed ha "messo in posto" il complesso di Monte Erice nella posizione attuale.

La presenza di lembi e blocchi erratici calcareo dolomitici ed arenitici individuati nell'ambito di diversi studi eseguiti nell'area portuale, peraltro affioranti lungo la scogliera occidentale, è proprio da riferirsi più che ad espressioni geologiche autoctone, ai processi olistostromici che hanno incluso le placche carbonatiche come olistoliti intercalati ad un complesso argilloso caotico affiorante a Sud della Tonnara nella distesa pianeggiante costiera che perimetra il Porto di Bonagia.

Il substrato basale (*bed rock*), sul quale sono andati successivamente a depositarsi i sedimenti quaternari e pre-quaternari sopra descritti, è costituito da *argille sabbiose di colore marrone e grigio azzurro con intercalazioni di livelli arenacei e calcirudifici* databili del Langhiano-Tortoniano

Tale situazione geologica è stata verificata con la precedente campagna di indagini geognostiche eseguita ai sensi del D.M.11.03.88 ed avvalorata con le indagini svolte nella campagna 2011 svolta ai sensi del D.M.14.01.08.

Il sondaggio S.1 ha attraversato uno strato superficiale di terreno di riporto costituito da pietrame calcareo compatto di colore bianco dello spessore di m.1.50.

Da tale quota è individuata dapprima un banco dello spessore di 5,00m di argille limose con ghiaie eterometriche e poligeniche mentre più in profondità un'alternanza di livelli calcareo dolomitici più o meno fratturati con interposti aritmicamente livelli argillitici di colore marrone.

A m.16.70 dal p.c. sono state individuati calcari dolomitici e brecce calcaree di colore rosato sino a fondo foro.

I calcari sono stati carotati in elementi della dimensione della ghiaia, mentre nei livelli più cementati come blocchi.

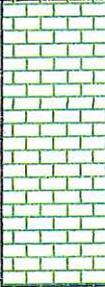
Il sondaggio S.1(b), ubicato in corrispondenza della radice della diga foranea di sopraflutto, al di sotto di una coltre di terreno detritico vegetale dello spessore pari a 1.20m, ha individuato invece litologie argillose fino a fondo foro. Da 2,30m a 4,70m sono state individuate argille limose di colore marrone chiaro con ghiaie eterometriche e poligeniche mentre più in profondità argille limose e sabbiose alquanto consistenti ( $I_c > 1$ ) sino a fondo foro.

La falda acquifera si è stabilizzata a 3.80m dal piano stradale, pressoché coincidente con il livello medio marino.

Il sondaggio geognostico S.1 è stato eseguito con un impianto di perforazione Mait T9 con carotiere da  $\phi$  101mm mentre il sondaggio S.1(b) con un impianto di perforazione CMV mod.MK 600.

PROGETTO DI POTENZIAMENTO DELLE OPERE MARITTIME ESISTENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI BONAGIA (AI SENSI DELL'ART.5 L.R. 21/98), COMPRENDENTI LA COSTRUZIONE DELLA DIGA FORANEA DI SOPRAFLUTTO, IL PROLUNGAMENTO DELLA DIGA FORANEA DI SOTTOFLUTTO, DELLE BANCHINE E DEI PIAZZALI OPERATIVI

SONDAGGIO "S.1"

SISTEMA	PROF. DAL P.C.	CAMPIONI		FALDA ACQUIF.	SCALA RIF.	SONDAGGIO	DESCRIZIONE
		INDIS.	RIMAN.				
	0.15						Massicciata Calcere di colore bianco carotato in elementi della dimensione dei blocchi e della ghiaia
	1.50						Limo di colore giallastro, con ghiaie calcaree della dimensione di cm 2-7, plastico
	5.00						Limo con sabbie di colore ocraceo, plastico fino a m.5.00, con elementi calcarei a spigoli vivi
	6.50						Calcere carotato in blocchi
	7.00						Calcere carotato in elementi della dimensione della ghiaia, con interposti livelli limosi plastici dello spessore di cm.4-6
	11.10						Limo di colore ocraceo con venature di colore grigiastro, con ghiaie fini
	11.40						Calcere compatto
	11.50						Limo argilloso di colore ocraceo cupo con venature di colore grigiastro e ghiaie, poco plastiche
	16.30						Limo di colore rossastro, plastico, con elementi calcarei a spigoli vivi
	16.70						Calcarei breccie calcaree di colore rossastro chiaro, carotati in elementi della dimensione dei blocchi e della ghiaia
	20.00						

PROGETTO DI POTENZIAMENTO DELLE OPERE MARITTIME  
 ESISTENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI  
 BONAGIA (AI SENSI DELL'ART.5 L.R. 21/98), COMPRENDENTI LA  
 COSTRUZIONE DELLA DIGA FORANEA DI SOPRAFLUTTO, IL  
 PROLUNGAMENTO DELLA DIGA FORANEA DI SOTTOFLUTTO,  
 DELLE BANCHINE E DEI PIAZZALI OPERATIVI

**SONDAGGIO "S. 1b"**  
 26.09.2011

SCALA RIF.	CAMPIONI		FALDA ACQUIF.	PROF. DAL P.C.	SONDAGGIO	DESCRIZIONE	% CAROTAGGIO	S.P.T.
	INDIS.	ROMAN.						
				1.20		Terreno detritico vegetale		SPT1 10+8+12 3.00 - 3.45 p.c.
				2.30		Argilla limosa di colore marrone debolmente sabbiosa		
			<u>3.80</u>	3.80		Argilla limosa di colore marrone chiaro con ghiaie eterometriche e poligeniche ( $W_n > W_p$ )		
	4.05 C1 4.30			4.70		Argilla limosa debolmente ghiaiosa e debolmente sabbiosa di colore marrone		
	7.60 C2 8.00			15.00		Argilla limosa sabbiosa di colore marrone ( $W_n < W_p$ )		

## 6- MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

La finalità dello studio geologico tecnico, la caratterizzazione geologica dei terreni riscontrati in sito nonché l'obbligatorietà di esecuzione di indagini geognostiche prescritte dal D.M. 14.1.2008 al paragrafo 6.2.2 "Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica", hanno indotto a programmare un'indagine riferibile ai terreni argillosi e calcarei già precedentemente individuati secondo i seguenti due approcci:

### 1) Metodologia diretta:

- esecuzione di n 2 sondaggi geognostici a rotazione a carotaggio continuo di taratura alla prospezione geofisica;
- prelievo di campioni indisturbati;
- prove penetrometriche dinamiche S.P.T (Standard Penetration Test);
- analisi e prove geotecniche di laboratorio.

### 2) Metodologia indiretta:

- indagine geofisica finalizzata alla individuazione di eventuali fenomeni di amplificazione sismica locale legati alle caratteristiche geologiche e fisiche dell'area mediante la misura diretta in sito delle velocità delle onde sismiche  $V_s$
- n.8 tomografie elettriche 2D in mare nei tratti interessati dalle dighe foranee di sopraflutto e di sottoflutto per lo studio dei fondali d'interesse;
- n.2 prospezioni sismiche passive in array a terra (Re.Mi) finalizzate alla determinazione del  $V_{s30}$
- n.3 stazioni singole a terra (misure di rumore sismico ambientale) finalizzate alla valutazione delle risposte sismiche dei siti;

## 6.1 - Classificazione dei terreni

Con l'esame delle carote estratte dai sondaggi e con semplici prove di riconoscimento, si è pervenuti alla classificazione geotecnica di seguito illustrata, basata sulla composizione granulometrica, sul contenuto d'acqua e sulla consistenza dei materiali:

### - TERRENI DI COPERTURA

#### **Terreno TV**

Terreno vegetale detritico con ghiaie e blocchi di calcare (pietrame calcareo);

#### **Terreno LAS**

Argille limose, debolmente ghiaiose e sabbiose con intercalazioni di livelli e lenti calcarei di colore biancastro ( $W_n \geq W_p$ );

### - TERRENI DELLA FORMAZIONE DI BASE

#### **Terreno FB**

Argilla con limo di colore marrone ( $W_n < W_p$ ), a consistenza marnosa.

#### **Terreno K**

Alternanza di calcari dolomitici fratturati con livelli argillosi e limosi.

## 7- MODELLAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Nel corso del sondaggio S1(b) sono stati prelevati con l'ausilio di un campionatore Deninson n.2 campioni indisturbati che immediatamente paraffinati dopo il prelievo, sono stati inviati presso il Laboratorio Geo 3 di Gibellina che ha provveduto, dietro richiesta formale dello scrivente, ad eseguire le seguenti analisi e prove:

- Prove di identificazione su tutti i campioni per la classificazione geotecnica dei terreni:
  - granulometrie per sedimentazione e setacciatura – ASTM D 422
  - determinazione del peso per unità di volume – BS 1377;
  - determinazione del peso specifico – ASTM D 854;
  - determinazione del contenuto naturale d'acqua – ASTM 2216-80;
  - determinazione dei limiti di Atterberg – ASTM D 4318;
- Prove di resistenza meccanica:
  - Prove di taglio diretto – ASTM 3080;
  - Prove di compressione ad espansione laterale libera (E.L.L.) – ASTM D 2166.

### 7.1 - Risultati delle indagini di laboratorio

L'analisi e l'interpretazione dei risultati sperimentali di laboratorio ha consentito di pervenire alla caratterizzazione geotecnica dei terreni che ricadono nel volume significativo ai fini della realizzazione delle opere in progetto.

**TAB.2 - CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE E FISICHE  
DEI CAMPIONI INDISTURBATI**

<b>SONDAGGIO S.1(b)</b>		<b>C 1 da 4.05 a 4.30</b>	<b>C 2 da 7.60 a 8.00</b>
<b>Contenuto naturale d'acqua (%)</b>		<b>35,40</b>	<b>23,04</b>
<b>Peso di volume <math>\gamma</math> (KN/m<sup>3</sup>)</b>		<b>18,36</b>	<b>19,80</b>
<b>Peso di volume secco <math>\gamma_d</math> (KN/m<sup>3</sup>)</b>		<b>13,56</b>	<b>16,09</b>
<b>Peso di volume medio <math>\gamma_s</math> (KN/m<sup>3</sup>)</b>		<b>26,13</b>	<b>25,52</b>
<b>Granulometri a</b>	<b>Argilla %</b>	<b>68</b>	<b>62</b>
	<b>Limo %</b>	<b>17</b>	<b>24</b>
	<b>Ghiaia %</b>	<b>8</b>	<b>-</b>
	<b>Sabbia %</b>	<b>7</b>	<b>14</b>
<b>Limite liquido Wl (%)</b>		<b>79,40</b>	<b>71,30</b>
<b>Limite Plastico Wp (%)</b>		<b>28,70</b>	<b>25,48</b>
<b>Indice Plastico Ip (%)</b>		<b>50,71</b>	<b>45,83</b>
<b>Indice di Consistenza Ic (%)</b>		<b>0,87</b>	<b>1,05</b>

**- Terreni tipo LAS ( argille limose, debolmente ghiaiose e sabbiose )**

Il contenuto naturale d'acqua,  $W_n$ , è risultato pari al 35.40% maggiore del limite di plasticità,  $W_p$ , che ha assunto valori pari al 28.70%.

Essendo il limite di liquidità,  $W_L$ , pari al 79.40% ed al 59.39% l'indice di consistenza è risultato inferiore all'unità:  $I_c = 0.87$

Il peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) ha assunto valori compresi fra  $18.36 \text{ kN/m}^3$  mentre il peso secco dell'unità di volume ( $\gamma_d$ ) ed il peso specifico dei grani ( $\gamma_s$ ) assumono rispettivamente i valori di  $13.56 \text{ kN/m}^3$  e di  $26,13 \text{ kN/m}^3$

Ne deriva un valore della porosità ( $n$ ) pari a 48,09%.

Per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza da una prova di compressione a dilatazione trasversale libera si è ottenuto un valore di rottura pari a  $\sigma_f = 118 \text{ kPa}$ . Ne deriva un valore della coesione non drenata  $C_u = 59 \text{ kPa}$

Durante l'esecuzione del sondaggio S1(b) è stata eseguita una prova penetrometrica discontinue tipo S.P.T. (*Standard Penetration Test*) che hanno consentito di ricavare alcuni parametri fisico meccanici delle argille detritiche utilizzando alcune correlazioni proposte da diversi Autori nella letteratura geotecnica.

I parametri ottenuti con tale metodo sono peraltro contemplati nella Tabella 3.2.II – Categoria di sottosuolo della N.C.T.

$D_r$  = densità relativa secondo Terzaghi-Peck (1948);

- $M_o$  = modulo di compressibilità edometrica secondo Trofimenkov (1974);
- $\phi'$  = angolo di resistenza a taglio secondo Peck-Hanson-Thorburn (1953);
- $E'$  = modulo di Young per sabbie sature secondo Pasqualini (1983).

Sondaggi $\sigma$	Prova	Profondità $z$	$N_{SPT}$	$D_r$ (%)	$M_o$ (MPa)	$\phi'$ (gradi)	$E'$ (MPa)
S.1(b)	1	3.00-3.45	20	50	45.5	33	31.9

Confrontando i risultati ottenuti con l'interpretazione della prova S.P.T. con le prove di taglio diretto di tipo CD di cui si è in possesso, per i calcoli e le verifiche può assumersi un valore cautelativo pari a  $\varphi' = 28^\circ$ .

#### - Terreno FB

Da un punto di vista granulometrico i terreni della formazione argillosa intatta si sono classificati "argilla limosa sabbiosa" essendo la percentuale di argilla pari al 62.00%, quella del limo pari al 24.00% mentre quella della sabbia pari al 14.00%.

Il contenuto naturale d'acqua,  $W_n$ , è risultato pari al 23.04% inferiore del limite di plasticità,  $W_p$ , che ha assunto un valore pari al 25.48%.

Essendo il limite di liquidità,  $W_L$ , pari al 71.30% l'indice di consistenza è risultato maggiore dell'unità:  $I_c = 1.05$

Il peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) ha assunto un valore pari a  $19.80 \text{ kN/m}^3$  mentre il peso secco dell'unità di volume  $\gamma_d = 16.09 \text{ kN/m}^3$ .

Per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza al taglio in condizioni non drenate, il risultato di una prove di compressione a dilatazione trasversale libera ha fornito valori di  $\sigma_f = 264 \text{ kPa}$  da cui deriva un valore della coesione non drenata  $C_u = 132 \text{ kPa}$  che aumentano progressivamente con la profondità.

Per la resistenza al taglio, in condizioni drenate, interpolando linearmente i punti di rottura sul piano di Mohr-Coulomb, ottenuti con una prova di taglio consolidata drenata si è ottenuto un valore della coesione ( $c'$ ) pari a  $16.82 \text{ kPa}$  ed un angolo di attrito  $\varphi' = 17^\circ$ .

#### VALORI SPERIMENTALI DELLA COESIONE E DELL'ANGOLO DI ATTRITO

SONDAGGIO	PROF. PRELIEVO		Cu kPa	C' kPa	$\varphi'$
	da m.	a m.			
S.1 - C.1	4.05	4.30	59	-	-
S.1 - C.2	7.60	8.00	132	16.82	17°

**- Terreno K:**

Si tratta di un'alternanza di calcari più o meno intensamente fratturati. Il tipo di fratturazione appare costituito da giunti di stratificazione o da famiglie di discontinuità sia primarie che secondarie a causa delle fasi tettoniche subite. La resistenza alla compressione uniassiale varia nell'intervallo compreso fra 80.0 e 100.0 N/mm<sup>2</sup> nei campioni di roccia intatta.

<b>N = S ni</b>	<b>0 ÷ 20</b>	<b>21 ÷ 40</b>	<b>41 ÷ 60</b>	<b>61 ÷ 80</b>	<b>81 ÷ 100</b>
Classe	<i>V</i>	<i>IV</i>	<i>III</i>	<i>II</i>	<i>I</i>
<b>Qualità dell'ammasso</b>	<i>Molto scadente</i>	<i>Scadente</i>	<i>Discreta</i>	<i>Buona</i>	<i>Ottima</i>
<b>C Kg/cmq</b>	<i>&lt; 1</i>	<i>1 ÷ 1.5</i>	<i>1.5 ÷ 20</i>	<i>2.0 ÷ 3.0</i>	<i>&gt; 3</i>
<b>φ</b>	<i>&lt; 30°</i>	<i>30° ÷ 35°</i>	<i>35° ÷ 40</i>	<i>40° ÷ 45°</i>	<i>&gt; 45°</i>
<b>Difficoltà di scavo della roccia</b>	<i>Nessuna difficoltà</i>	<i>Può essere cavato facilmente. Frammentazione notevole</i>	<i>Discreta difficoltà</i>	<i>Si cava con difficoltà. Frammenti di notevole dimensione</i>	<i>Notevoli difficoltà di scavo</i>

Considerando la classificazione di *Bieniowsky*, l'influenza dei parametri geotecnici viene tradotta in un indice numerico generale RMR (Rock mass rating system) che viene attribuito all'ammasso. L'indice tiene conto delle caratteristiche meccaniche della roccia intatta, dell'RQD (Rock Quality Designation), della spaziatura, apertura e scabrezza dei giunti e del materiale di riempimento, della falda e della permeabilità della roccia, e della posizione delle discontinuità principali. Secondo il valore di RMR, gli ammassi rocciosi vengono raggruppati in 5 classi dalle quali si ottengono informazioni sul comportamento meccanico in termini di coesione ed angolo di attrito interno.

Diagrammando la classe di resistenza alla compressione uniassiale eseguita su roccia intatta, con il grado di fratturazione, si ricade nel campo degli ammassi di Classe III ai quali sono associabili i seguenti parametri geotecnici:

Coesione equivalente.....	$c' = 1.5 - 2 \text{ Kg/cm}^2$
Angolo di attrito .....	$\phi' = 40^\circ$

## 8- PROSPEZIONI GEOFISICHE

La campagna di prospezioni ha compreso l'esecuzione di n.2 profili di sismica passiva *Re.Mi*, e n. 3 misure di microtremore (*noise*) a terra.

Lungo le tracce delle dighe foranee sono state eseguite n.8 tomografie elettriche URS (*Underwater Resistivity Survey*).

Per definire la categoria di sottosuolo come contemplato nel "*Testo Unico per le Costruzioni*" (art. 3.2.1), si è fatto riferimento ai dati acquisiti con l'indagine geosismica passiva *Re.mi*. (*Refraction Microtremor*).

Lo studio della velocità delle onde di taglio,  $V_s$ , è stato effettuato mediante l'analisi dei microtremori.

Tale analisi è basata sulla registrazione delle onde di superficie (Rayleigh) mediante acquisizione digitale a 24 bit ed una serie di geofoni a frequenza di 4.5 Hz.

La misura diretta delle velocità delle onde sismiche trasversali ( $V_s$ ) fino ad una profondità di circa 30 m dal piano di campagna.

Con tale metodo è stato possibile determinare le  $V_{s30}$  ovvero la media pesata delle velocità delle onde sismiche trasversali per i primi 30 metri.

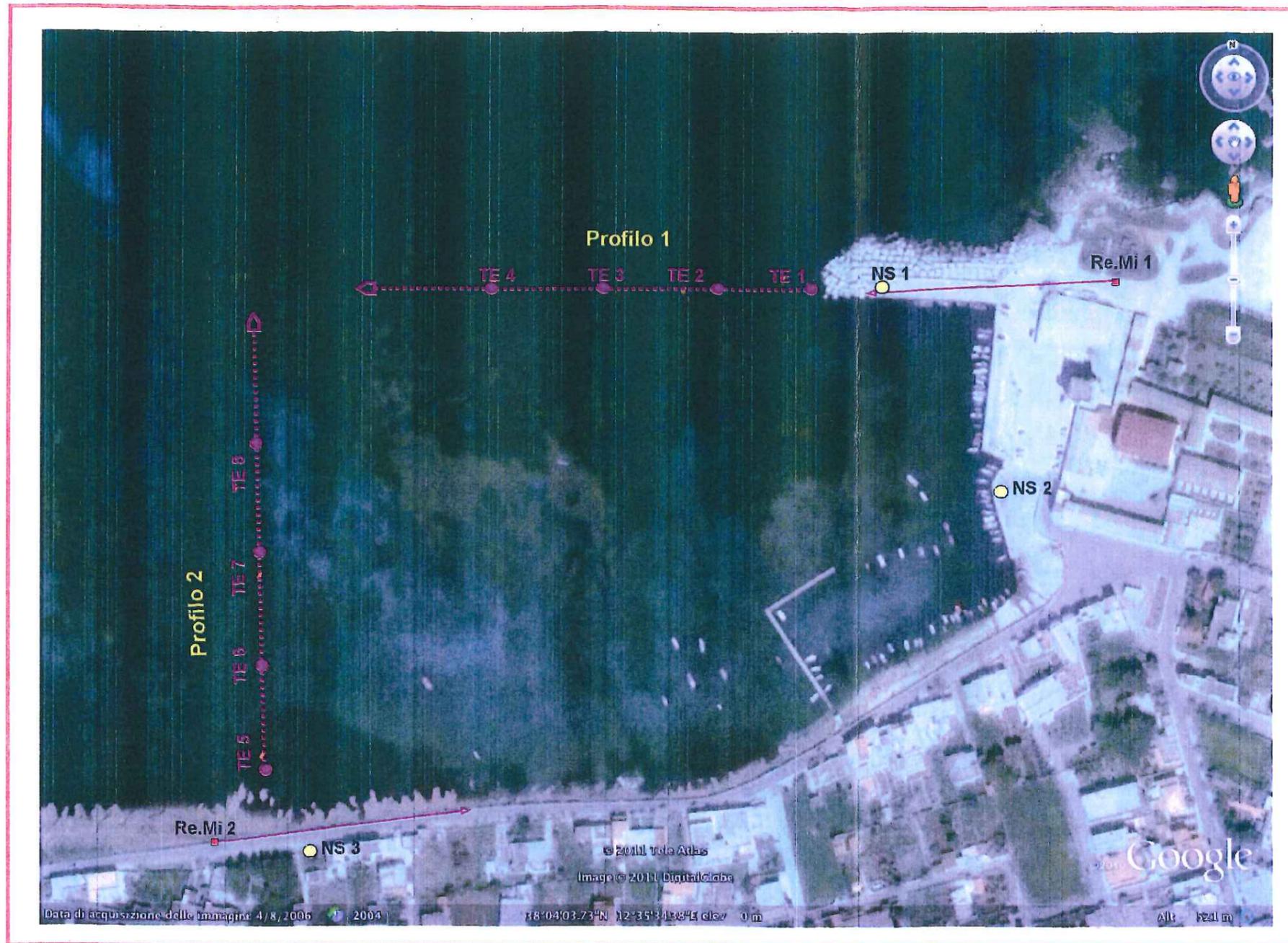


Immagine tratta da Google Earth

## LEGENDA

-  Profilo Re.Mi
-  URS (Underwater resistivity surveys)  
(i cerchi indicano la posizione dell'elettrodo 1 di ogni tratta)
-  Misura di microtremore

Scala: adatta dimensioni

### 8.1 - Sismica Passiva (Re.Mi)

Nell'ambito dell'area studiata la registrazione dei microtremori è stata attuata con array lineari di 12 geofoni, posti ad una distanza intergeofonica di 10 m.

L'elaborazione dei segnali acquisiti è stata effettuata attraverso una trasformata bidimensionale "slowness-frequency" con definizione dello spettro di potenza e successiva costruzione della curva di dispersione (rappresentata nel diagramma *periodo-velocità*); quest'ultima attraverso un processo di modellizzazione diretta mono-dimensionale conduce infine, ad un profilo di Vs con la profondità e alla definizione del valore di Vs30.

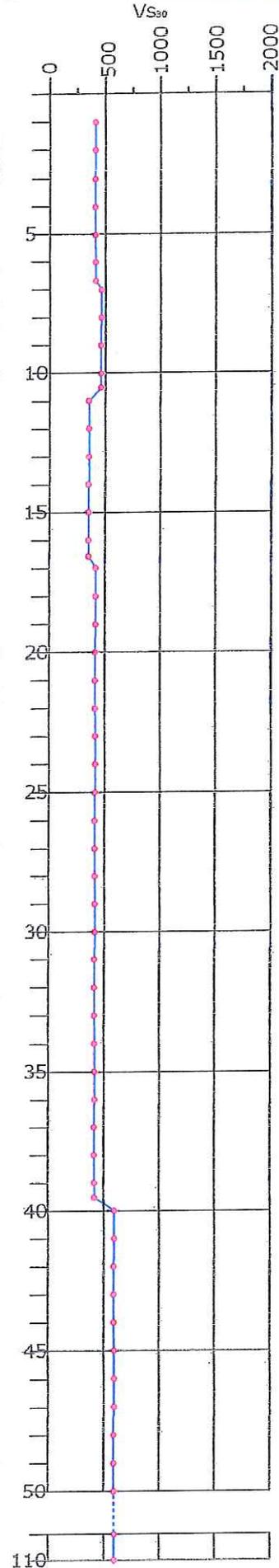
La stesa RE.MI (L1) è stata eseguita in corrispondenza della radice della diga foranea di sottoflutto. I dati acquisiti e l'elaborazione dei sismogrammi hanno fornito una sequenza sismostratigrafica a cinque orizzonti:

- ✓ **Il primo sismostrato** è caratterizzato da velocità di propagazione delle Vs pari a 404.828 m/s con spessore di circa 6.70 m riconducibile ad un orizzonte argilloso con ghiaie (terreno Las);
- ✓ **Il secondo sismostrato**, presente sino ad una profondità di circa 10.50 m dal piano di campagna e con valori di velocità delle onde S pari a 487.433 m/s è associabile ad un alternanza di livelli calcarei con livelli argillosi;
- ✓ **Il terzo sismostrato**, presente sino ad una profondità di circa 16.60 m dal piano di campagna, è caratterizzato da velocità di propagazione delle Vs pari a 389.808 m/s, e corrisponde ad un ulteriore livello argilloso con ghiaie;
- ✓ **Il quarto sismostrato**, presente sino ad una profondità di circa 39.60 m dal piano di campagna, è caratterizzato da velocità di propagazione delle Vs pari a 408.582 m/s, e corrisponde ad un'alternanza di livelli argillosi con livelli calcarei;
- ✓ **Il quinto sismostrato**, di spessore è caratterizzato da velocità di propagazione delle Vs pari a 639.502 m/s, e corrisponde al bed-rock.

CLASSIFICAZIONE DEI SUOLI DI FONDEZIONE SECONDO LE NORME  
 "3.2.1. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE"  
 (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni)

Profilo Re.Mi  
 L1

PROFONDITA' (m)	n° STRATI	V <sub>s</sub> (m/s)
1	1	404.828
2	1	404.828
3	1	404.828
4	1	404.828
5	1	404.828
6	1	404.828
7	2	487.433
8	2	487.433
9	2	487.433
10	2	487.433
11	3	389.808
12	3	389.808
13	3	389.808
14	3	389.808
15	3	389.808
16	3	389.808
17	4	408.582
18	4	408.582
19	4	408.582
20	4	408.582
21	4	408.582
22	4	408.582
23	4	408.582
24	4	408.582
25	4	408.582
26	4	408.582
27	4	408.582
28	4	408.582
29	4	408.582
30	4	408.582
31	4	408.582
32	4	408.582
33	4	408.582
34	4	408.582
35	4	408.582
36	4	408.582
37	4	408.582
38	4	408.582
39	4	408.582
40	5	639.502
41	5	639.502
42	5	639.502
43	5	639.502
44	5	639.502
45	5	639.502
46	5	639.502
47	5	639.502
48	5	639.502
49	5	639.502
50	5	639.502
110	5	639.502
	V <sub>30</sub>	412



La stesa RE.MI (L2) è stata eseguita *in corrispondenza della radice della diga foranea di sopraffutto*. I dati acquisiti e l'elaborazione dei sismogrammi hanno fornito sequenze sismostratigrafiche a cinque orizzonti:

- ✓ Il primo sismostrato è caratterizzato da velocità di propagazione delle Vs pari a 187 m/s con spessore di circa 2.50 m è associabile al terreno superficiale argilloso aerato;
- ✓ Il secondo sismostrato, presente sino ad una profondità di circa 10.50 m dal piano di campagna e con valori di velocità delle onde S pari a 273.41 m/s è associabile a litotipi argillosi plastici;
- ✓ Il terzo sismostrato, presente sino ad una profondità di circa 33.00 m dal piano di campagna, è caratterizzato da velocità di propagazione delle Vs pari a 310.958 m/s, e corrisponde ad argille più consolidate ;
- ✓ Il quarto sismostrato, presente sino ad una profondità di circa 66.00 m dal piano di campagna, è caratterizzato da velocità di propagazione delle Vs pari a 613.218 m/s;
- ✓ Il quinto sismostrato, di spessore è caratterizzato da velocità di propagazione delle Vs pari a 924.866 m/s, e corrisponde al bed-rock.

Nei due profili si sono riscontrate delle sostanziali differenze di risposta elastica per i sismostrati compresi nel range di profondità compreso da 0 a 33 m dal p.c., differenze che, per le due aree investigate, hanno portato ad una diversità di categoria litostratigrafica.

In corrispondenza del profilo Re.Mi L1 i terreni rientrano nella categoria "B", mentre per il profilo Re.Mi L2 la risposta elastica constatata è riferibile a terreni di categoria "C";

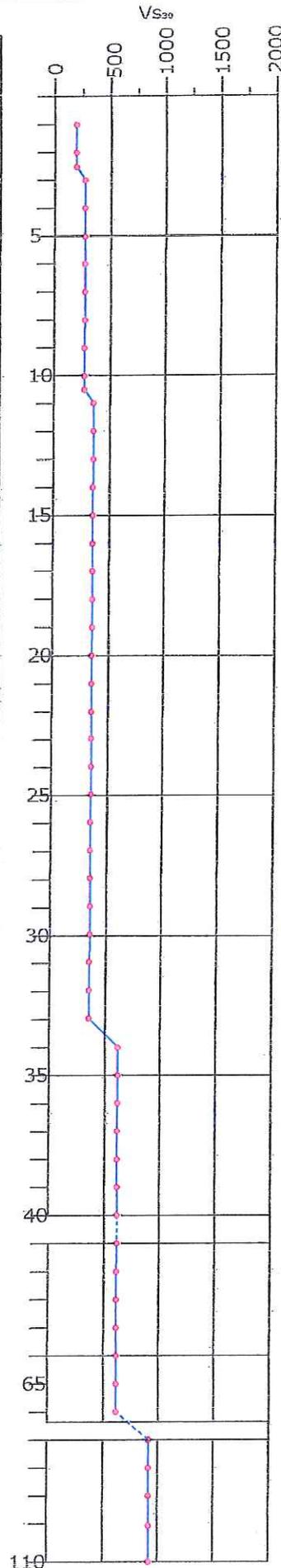
In entrambi i profili, sino a quasi 70 m dal p.c., si è accertata un'analogia di comportamento elastico con velocità delle onde di taglio di poco superiori ai 600 m/s.

Nel profilo L2, a profondità maggiore, si è rilevato un ulteriore incremento di velocità con valori anche superiori a 900 m/s;

CLASSIFICAZIONE DEI SUOLI DI FONDAZIONE SECONDO IL PUNTO  
 "3.2.1. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE"  
 (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni)

Profilo Re.Mi  
 L2

PROFONDITA' (m)	n° STRATI	Vs (m/s)
1	1	187
2	1	187
3	2	273.41
4	2	273.41
5	2	273.41
6	2	273.41
7	2	273.41
8	2	273.41
9	2	273.41
10	2	273.41
11	3	310.958
12	3	310.958
13	3	310.958
14	3	310.958
15	3	310.958
16	3	310.958
17	3	310.958
18	3	310.958
19	3	310.958
20	3	310.958
21	3	310.958
22	3	310.958
23	3	310.958
24	3	310.958
25	3	310.958
26	3	310.958
27	3	310.958
28	3	310.958
29	3	310.958
30	3	310.958
31	3	310.958
32	3	310.958
33	3	310.958
34	4	613.218
35	4	613.218
36	4	613.218
37	4	613.218
38	4	613.218
39	4	613.218
40	4	613.218
61	4	613.218
62	4	613.218
63	4	613.218
64	4	613.218
65	4	613.218
66	4	613.218
107	5	924.866
108	5	924.866
109	5	924.866
110	5	924.866



V<sub>30</sub> 283

I valori più bassi di velocità delle onde di taglio sono stati riscontrati nei i sismostrati argillosi più superficiali che caratterizzano l'area indagata con il profilo Re.Mi L2, profilo che sostanzialmente evidenzia un trend di  $V_s$  in progressivo aumento con la profondità riconducibile alla presenza di litotipi argillosi sempre più consolidati.

Il profilo Re.Mi L1 ha evidenziato intorno ai 10 m dal p.c., una inversione di velocità riconducibile all'alternanza di sismostrati di differente risposta elastica calcari argille.

Dall'analisi delle indagini geofisiche, nonché dal calcolo delle  $V_{s30}$  è stato possibile attribuire, in riferimento al punto 3.2.2. delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, le seguenti categorie di sottosuolo:

*Al sito interessato dalla stesa RE.Mi. L1 (diga di sottoflutto) è associabile alla categoria di sottosuolo "B" ( Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica media  $N_{spt,30} > 50$  nei terreni a grana grossa, e coesione non drenata media  $c_{u30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).*

*Al sito interessato dalla stesa RE.Mi. L2 (diga di sprafflutto) è associabile alla categoria di sottosuolo "C" (Depositati di terreni a grana fina mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s - ovvero  $15 < N_{spt,30} < 50$  nei terreni a grana grossa, e  $70 < c_{u30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).*

## 8.2 - Rumore sismico ambientale (Noise)

I microtremori sono stati misurati con un tromografo digitale dotato di tre velocimetri disposti secondo le tre direzioni del moto ed in grado di registrare, con una digitalizzazione del segnale pari a 24 bit, i microtremori in un intervallo di frequenze variabile da 0.1 a 512 Hz.

Per le tre misure effettuate si è utilizzato un "sampling" di 128 Hz ed una durata di registrazione di 20 min. Anche per le misure di sismica passiva a stazione singola si riportano di seguito le considerazioni più salienti.

Le misure eseguite mostrano un andamento simile al di sotto dei 2 Hz; differenze sostanziali invece si osservano per le frequenze superiori. Ciò è associabile alla omogeneità di risposta elastica per gli orizzonti geologici più profondi e forti variabilità di risposta per quelli più superficiali;

Nelle tre misure eseguite si osservano numerosi picchi dovuti ad attività antropica e dalle curve H/V si evince che i contrasti d'impedenza più alti, riferibili a condizioni naturali, si registrano alle frequenze più elevate;

Le misure eseguite nelle stazioni NS1 ed NS2, in posizione alquanto ravvicinata, la variabilità di risposta dei sismostrati più superficiali (range di profondità da 0 a circa 35 m dal p.c.) sono in armonia con l'andamento delle Vs rilevate nel profilo Re.Mi L1. Tanto viene causato dall'alternanza di livelli calcarei con livelli argillosi. Altrettanto dicasi per i picchi individuati nei grafici H/V riconducibili alle risonanze degli orizzonti superficiali;

In corrispondenza delle misure NS3, meno evidenti rispetto NS2, si è riscontrata una frequenza di risonanza "nascosta" con un picco a 4.5 Hz. Quanto accertato è in accordo con il "salto" di Vs che si è rilevato nel profilo Re.Mi L2 alla profondità di quasi 11 m dal p.c.;

### 8.3 - Tomografia elettrica 2D (Underwater Resistivity Surveys - URS)

Le misure multi-elettrodo sono state effettuate con uno strumento in grado di correggere automaticamente le misure di potenziale spontaneo, di regolare la corrente erogata, di permettere lo staking digitale e di acquisire in maniera completamente automatica fino a 72 elettrodi.

Nella particolare specificità del lavoro le misure sono state effettuate in ambiente marino, utilizzando array lineari di elettrodi disposti consecutivamente sul fondo a realizzare nell'insieme due profili (*profilo 1 e profilo 2*) il cui sviluppo è stato pianificato e correlato con le previste opere a mare.

Ciascun profilo è risultato composto da quattro "tratte" e per ogni tratta, con posizione d'inizio (elettrodo 1 a progressiva 0 m) determinata con GPS, si sono impiegati 24 elettrodi equispaziati di 2 m; nell'insieme si è riusciti ad investigare sulla risposta elettrica del fondo marino per una estensione lineare di 192 m per ognuno dei due profili realizzati.

Nell'elaborazione 2D delle diverse tratte il primo step è stato quello di ricostruire delle "pseudosezioni" di resistività apparente; successivamente, si è quindi pervenuto ai valori di resistività vera tramite inversione bidimensionale e sviluppo di un adeguato modello di distribuzione della resistività.

Nelle sezioni elettrostratigrafiche le tonalità di colori più scure sono state utilizzate per indicare i valori di resistività più bassi mentre con le tonalità del rosso si sono indicati i valori più alti. L'elettrostato di colore blu scuro (resistività pari ad 0.1 Ohm \* m) rappresenta l'acqua salata. La quota 0.0 m è riferita, invece, al livello medio marino.

Le considerazioni più significative emerse dall'inversione dei dati possono così riassumersi:

#### **Profilo 1 (diga foranea di sottoflutto)**

I valori di resistività più elevati non superano i 6 Ohm x m, valori che sono stati individuati in corrispondenza della tratta 96-192 m;

La risposta elettrica del fondo marino è pressochè omogenea e lateralmente continua per quasi tutto lo sviluppo del profilo. Una leggera variazione dei valori di resistività, si è registrata nel tratto finale (tratta 96-192).

L'andamento geometrico degli elettrostrati mostra un andamento alquanto regolare riferibile all'andamento degli orizzonti geologici che si alternano al disotto del fondo marino. Solo in corrispondenza del tratto finale del profilo la risposta elettrica si mostra leggermente più articolata a causa di varrazioni litologiche.

#### **Profilo 2 (diga foranea di sopraflutto)**

In questo profilo i valori di resistività più elevati sono stati riscontrati in corrispondenza del tratto iniziale (tratta 0-48 m), valori che superano i 14 Ohm\*m;

L'elettostato di più alta resistività, rispetto al profilo 1, mostra una minore continuità laterale e soprattutto in corrispondenza della tratta 48-96 si evidenziano decise variazioni laterali nella risposta elettrica degli elettrostrati. Ciò è associabile alla presenza di "corpi" litologici rigidi, molto probabilmente calcarei e più resistivi. L'andamento geometrico degli elettrostrati è decisamente più articolato che nel profilo precedente.

I valori di resistività più elevati riscontrati in superficie (nelle sezioni colore blu) ed evidenti soprattutto in corrispondenza della tratta 96-192 sono da attribuirsi a variazioni nel contenuto salino delle acque marine per dispersione di acque dolci.

## 9- CONCLUSIONI

Il bacino portuale di Bonagia, non presenta elementi di esclusione o controindicazione in quanto *non ricade nell'ambito di aree classificate ad "rischio o pericolosità" né tantomeno in siti di attenzione indicati nel Piano Assetto Idrogeologico del Comune di Valderice approvato con il D.P. del 04.06.2007 pubblicato sulla G.U.R.S. n. 37 del 17.08.2007.*

*Nessun livello di pericolosità o di rischio emerge dalle cartografie allegare al P.A.I. delle coste, Unità Fisiografica n.14 da Capo Feto a Capo San Vito.*

Con l'analisi dei profili delle onde di taglio elaborati è stato possibile attribuire, in riferimento alla tab.3.2.II del paragrafo 3.2.2 delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni approvate con D.M. del 14.01.08, ed ai fini della definizione delle azioni sismiche di progetto, due distinte categorie litostratigrafiche.

Il sito interessato dalla diga foranea di sottoflutto, sulla base del profilo delle onde di taglio elaborato con la stesa Re.Mi L1 con  $V_{s30}$  pari a 412 m/s, ricade *nella categoria di sottosuolo "B" ( Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica media  $N_{spt,30} > 50$  nei terreni a grana grossa, e coesione non drenata media  $c_{u30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).*

Al sito interessato dalla diga foranea di sopraflutto (stesa RE.MI. L2 -  $V_{s,30}$  pari a 283 m/s) viene attribuita *la categoria di sottosuolo "C" (Depositati di terreni a grana fina mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s - ovvero  $15 < N_{spt,30} < 50$  nei terreni a grana grossa, e  $70 < c_{u30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).*

La modellazione geotecnica dei terreni che ricadono nel volume significativo ai fini delle fondazioni delle opere in progetto è in accordo con le elaborazioni geofisiche, in quanto dalle prove di laboratorio si è ottenuto un valore della coesione non drenata pari a 132 kPa ed un valore di  $N_{s.p.t.}$  pari a 20 nel livello argilloso a maggiore componente detritica.

I tre metodi geofisici adoperati confrontati con le stratigrafie dei sondaggi geognostici ritenuti di taratura, hanno consentito di trarre le seguenti considerazioni conclusive:

I contrasti di impedenza emersi dalle misure di "noise" ed i profili multielettrodi hanno evidenziato una certa eterogeneità negli orizzonti litologici più superficiali, mentre più in profondità si prefigura una sostanziale omogeneità e continuità laterale.

L'ipotesi interpretativa più plausibile è quella di una sequenza argillosa che include superficialmente corpi geologici calcarei o arenitici che si alternano sia verticalmente che lateralmente entro i primi 30 o 40 m dal piano di campagna.

I dati acquisiti con il sondaggio geognostico S.1 confermano quanto ottenuto con la prospezione geofisica.

La sua posizione molto prossima alla Tonnara di Bonagia ed alla placca calcareo dolomitica affiorante anche lungo il tratto costiero Nord, ha individuato un'alternanza di calcari ed argille molto più fitta di quanto poi riscontrato con le indagini a mare.

La presenza di lembi e blocchi calcareo dolomitici ed arenitici individuati nell'ambito di diversi studi eseguiti nell'area portuale, è proprio da riferirsi più che ad espressioni geologiche autoctone ai processi olistostromici che hanno incluso le placche carbonatiche come olistoliti intercalati al complesso argilloso caotico.

Il profilo tomografico n.1, eseguito lungo la traccia della diga foranea di sottoflutto, ha individuato risposte elettriche omogenee e lateralmente continue entro la profondità indagata di circa 10,00 m.

Alcune variazioni si riscontrano nel tratto finale (tratta 96-192m) che lasciano presupporre l'alternanza di litotipi di diversa conducibilità come calcari ed argille.

Nel profilo tomografico n.2 i valori più elevati di resistività sono stati riscontrati in corrispondenza della parte iniziale del profilo prossimo alla radice (tratta 0-48m) che prefigurano l'esistenza di corpi litologici più resistivi sub affioranti di natura arenitica o calcarea.

I valori di resistività più elevati riscontrati in superficie inglobati nell'acqua marina sono da attribuirsi a diminuzioni della salinità, pertanto a dispersione di acqua dolce.

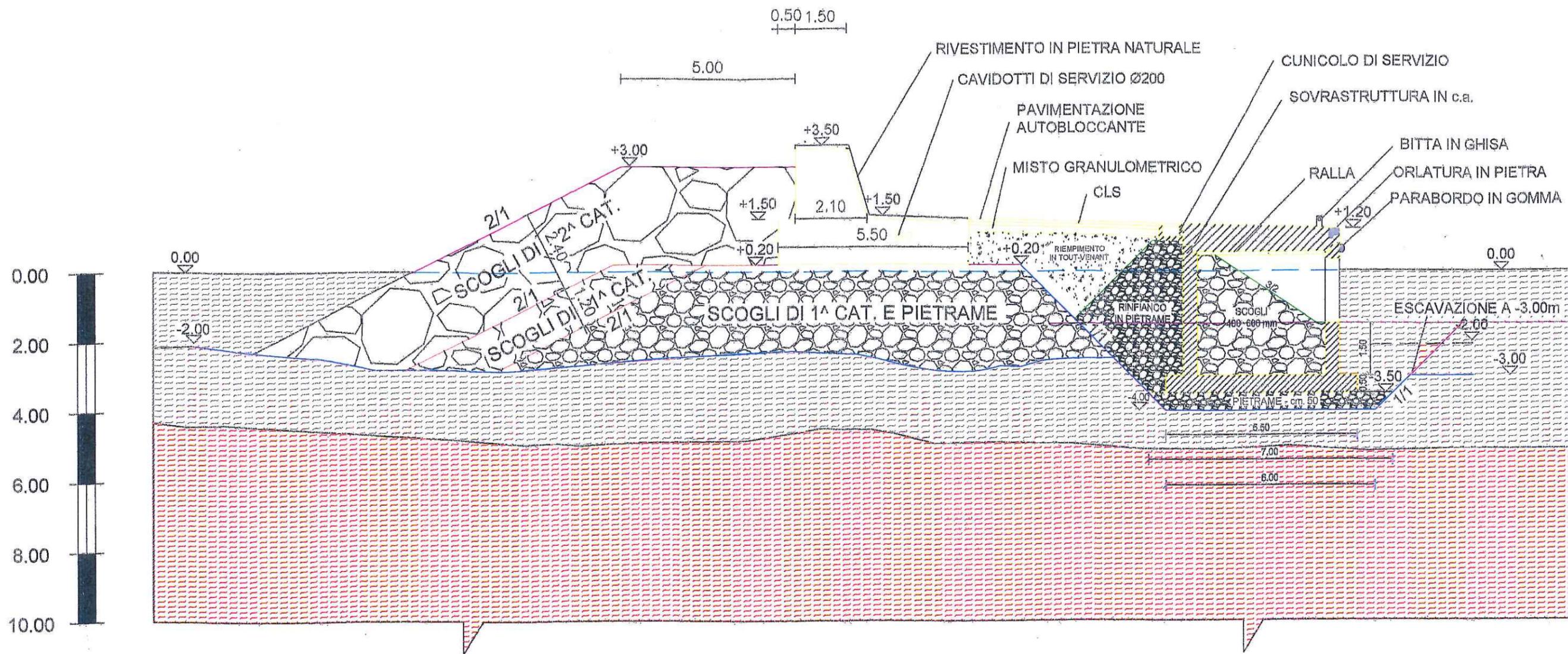
Trapani li, 10.10.2011



Il Geologo

(Dott. Giuseppe Baiata)

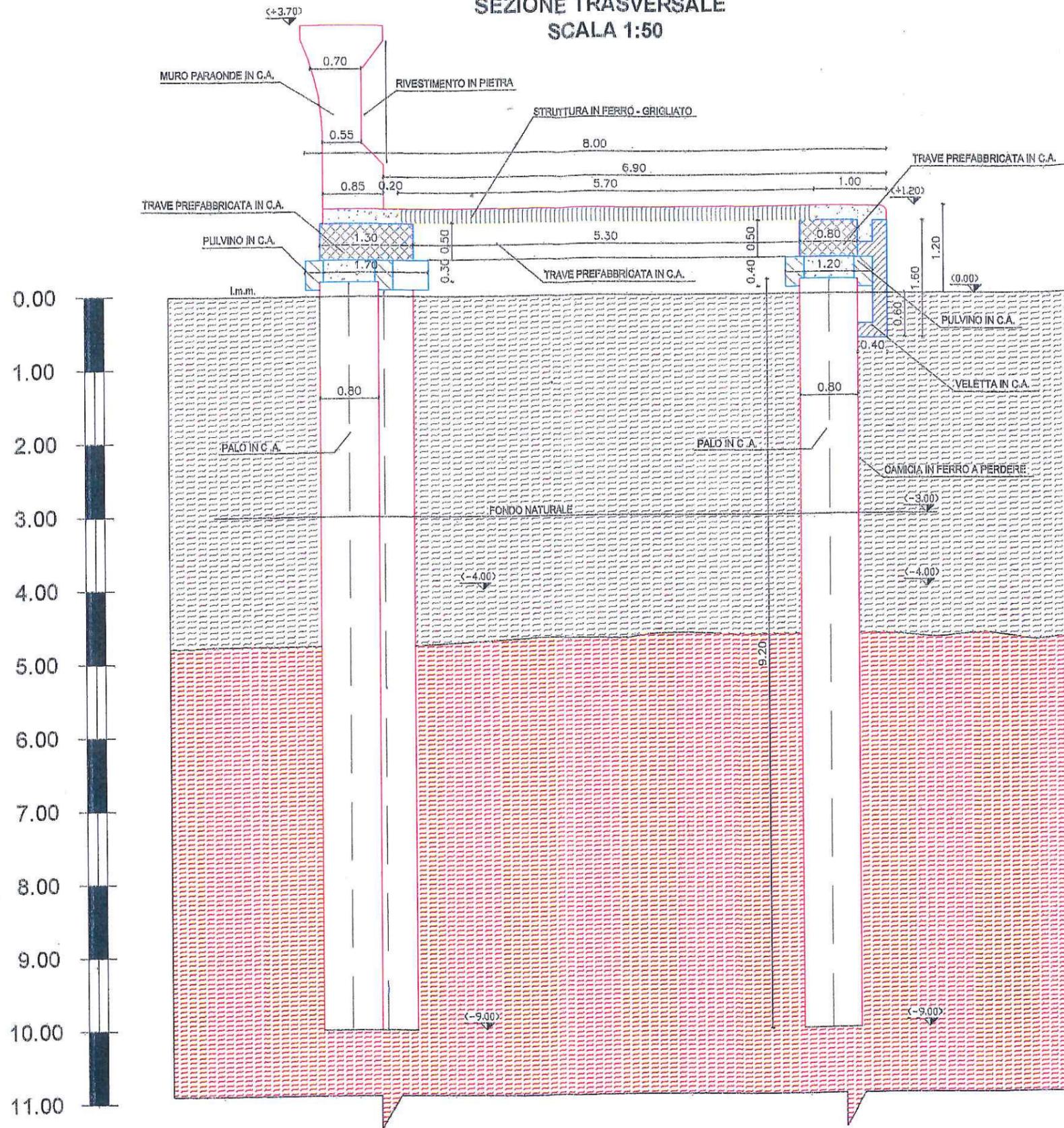
**SEZIONE TIPO BANCHINA DIGA FORANEA DI SOPRAFLUTTO**



 LAS: Argille limose, debolmente ghiaiose e sabbiose con alternanze, sia laterali che verticali, di livelli e lenti calcarei

 FB: Argille limose e sabbiose alquanto consistenti

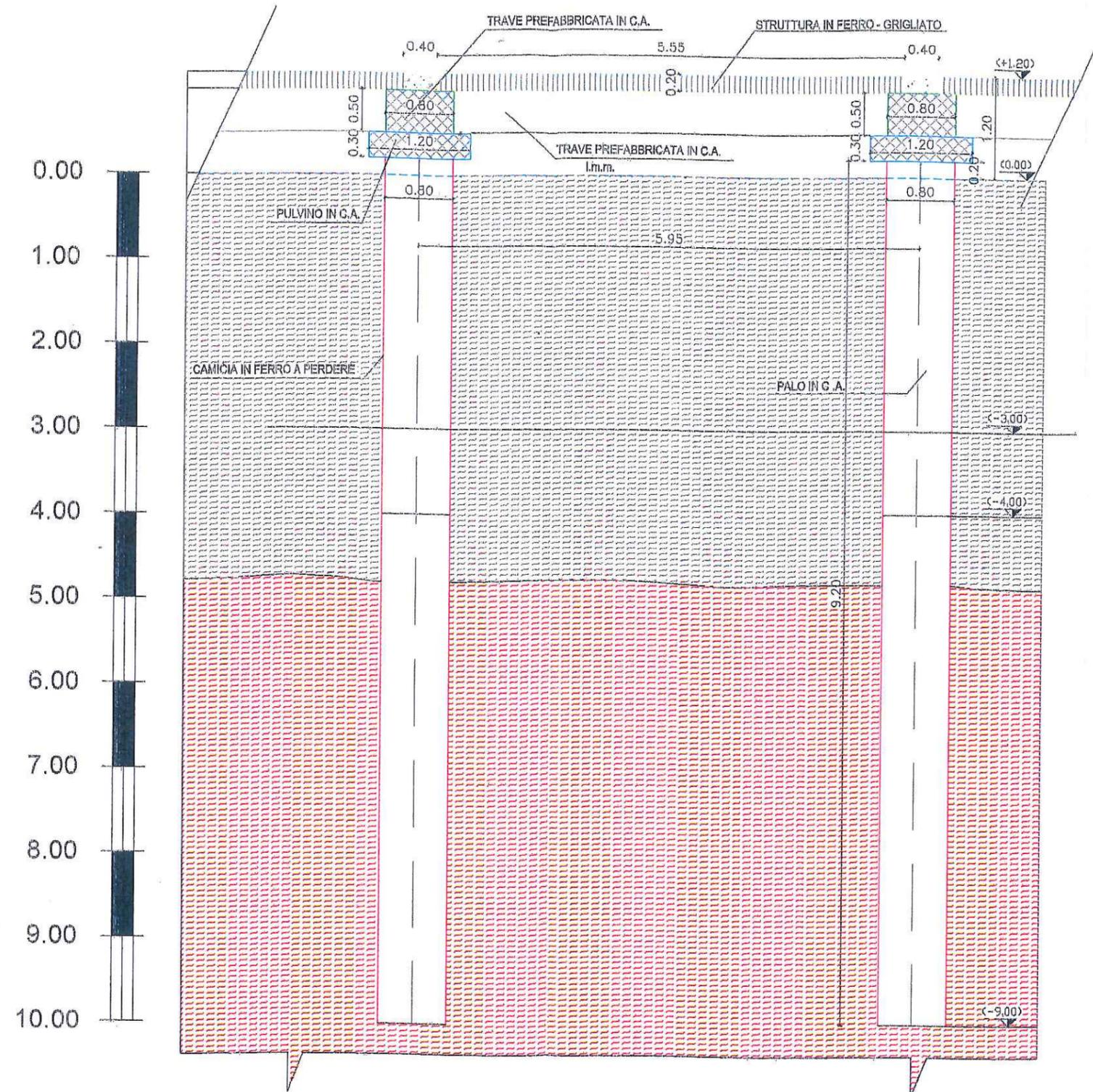
## SEZIONE TRASVERSALE SCALA 1:50



 LAS: Argille limose, debolmente ghiaiose e sabbiose con alternanze, sia laterali che verticali, di livelli e lenti calcarei

 FB: Argille limose e sabbiose alquanto consistenti

SEZIONE LONGITUDINALE  
SCALA 1:50



 LAS: Argille limose, debolmente ghiaiose e sabbiose con alternanze, sia laterali che verticali, di livelli e lenti calcarei

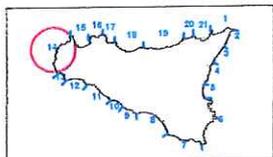
 FB: Argille limose e sabbiose alquanto consistenti



# Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

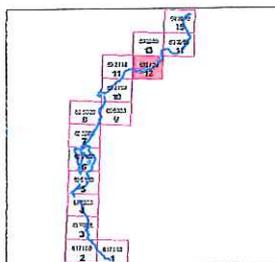
(ART 1 D.L. 15/9/98 CONVERTITO CON MODIFICHE CON L. L. 28/7/99 E SS.MM.II.)

## UNITA' FISIOGRAFICA N° 14 da Capo Feto a Capo S. Vito



Carta della pericolosità e del rischio N°12

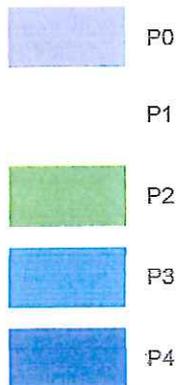
Scala 1:5.000



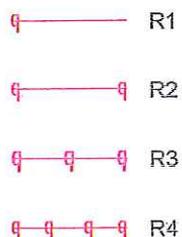
### LEGENDA

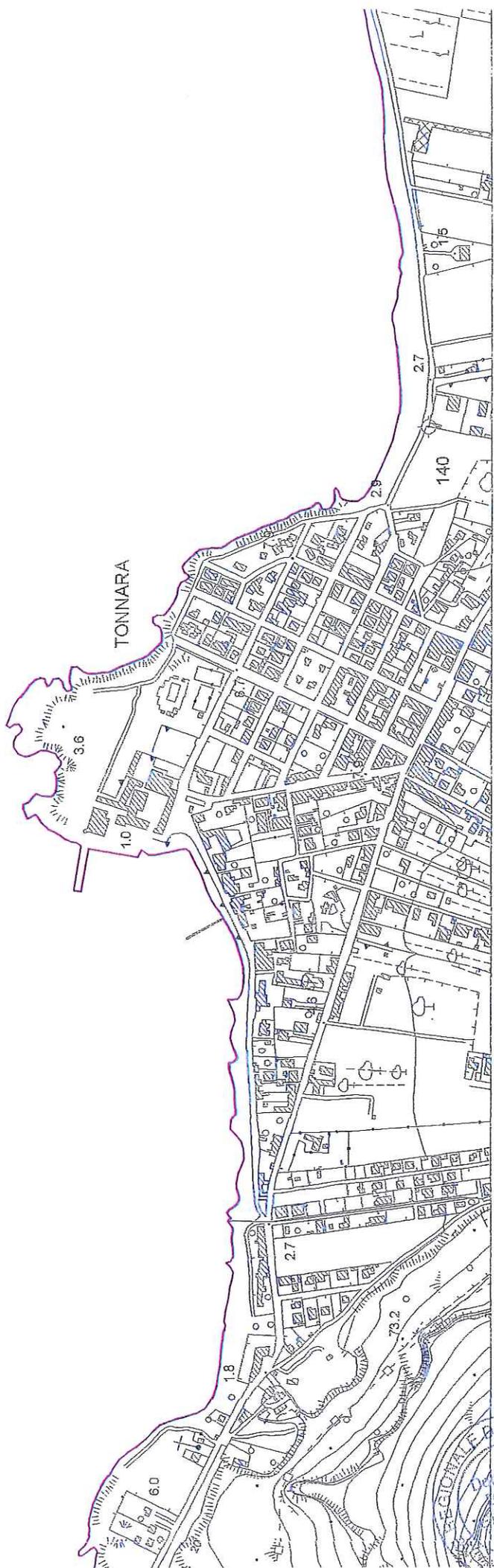
— linea di costa 2003

#### Pericolosità



#### Rischio







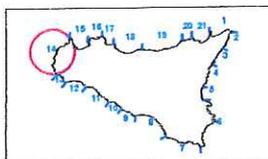
Regione Siciliana  
Assessorato Territorio e Ambiente

DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE  
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

## Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

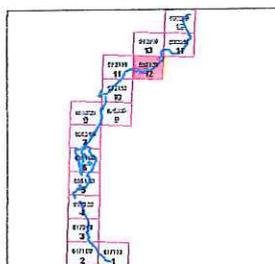
(ART.1 D.L. 160/98 CONVERTITO CON MODIFICHE CON LA L.267/98 E SS.MM.II.)

### UNITA' FISIOGRAFICA N° 14 da Capo Feto a Capo S. Vito



Carta delle opere marittime  
esistenti e in progetto N°12

Scala 1:5.000



## LEGENDA

— linea di costa 2003

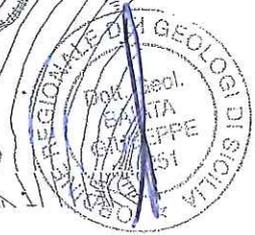
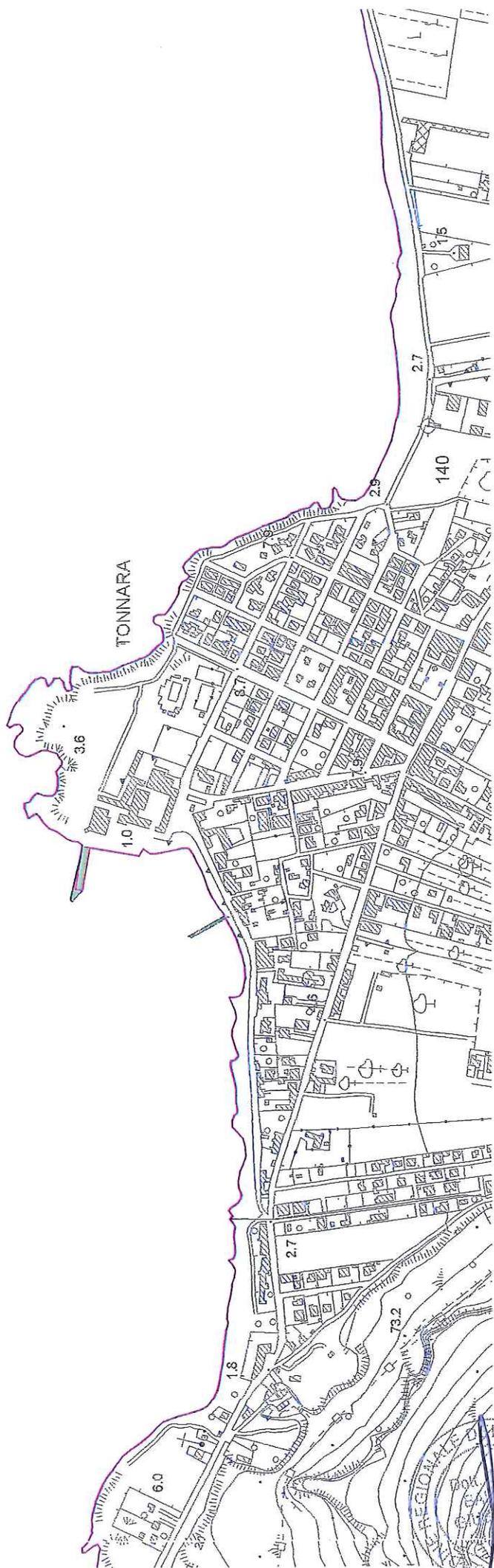
### Opere marittime esistenti e in progetto

#### Opere esistenti

-  Scogliere insabbiata
-  Scogliere radenti
-  Barriere soffolte
-  Barriere emerse
-  Pennelli
-  Frangiflutti isolati
-  Muri
-  Pontili
-  Moli
-  Porti

#### Opere in progetto

-  Progetto POR
-  Barriere soffolte
-  Pennelli soffolti
-  Pennelli rifornitori
-  Ripascimento con versamenti
-  Muro paraonda
-  Consolidamento scarpata



REPUBBLICA ITALIANA



Regione Siciliana  
Assessorato Territorio e Ambiente

DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE  
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

## Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

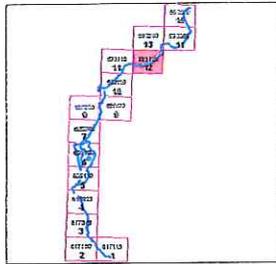
(ART. 1 D.L. 180/99 CONVERTITO CON MODIFICHE CON LA L. 267/99 E SS.MM.II.)

### UNITA' FISIOGRAFICA N° 14 da Capo Feto a Capo S. Vito



Carta dell'evoluzione delle coste N°12

Scala 1:5.000

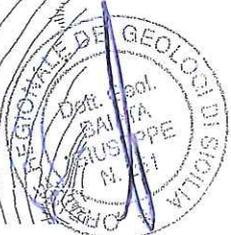
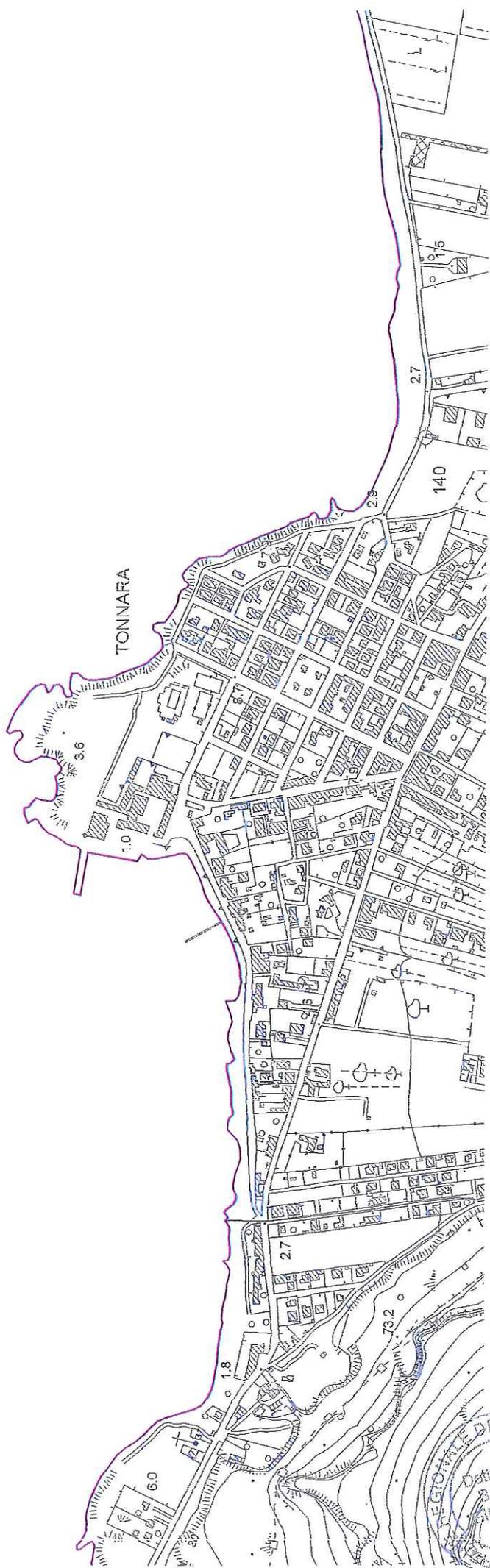


## LEGENDA

— linea di costa 2003

### Evoluzione delle coste

-  Arretramento 76-92
-  Arretramento 92-03
-  Avanzamento 76-92
-  Avanzamento 92-03
-  Falesie soggette a crolli



REPUBBLICA ITALIANA



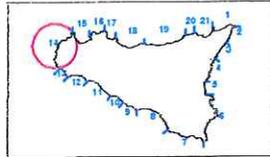
Regione Siciliana  
Assessorato Territorio e Ambiente

DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE  
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

## Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

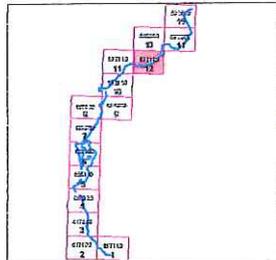
(ART.1 D.L. 180/98 CONVERTITO CON MODIFICHE CON L. L. 25/99 E SSMM.II.)

### UNITA' FISIOGRAFICA N° 14 da Capo Feto a Capo S. Vito



Carta della tipologia costiera e  
dell'evoluzione delle linee di riva N° 12

Scala 1:5.000



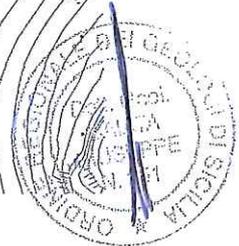
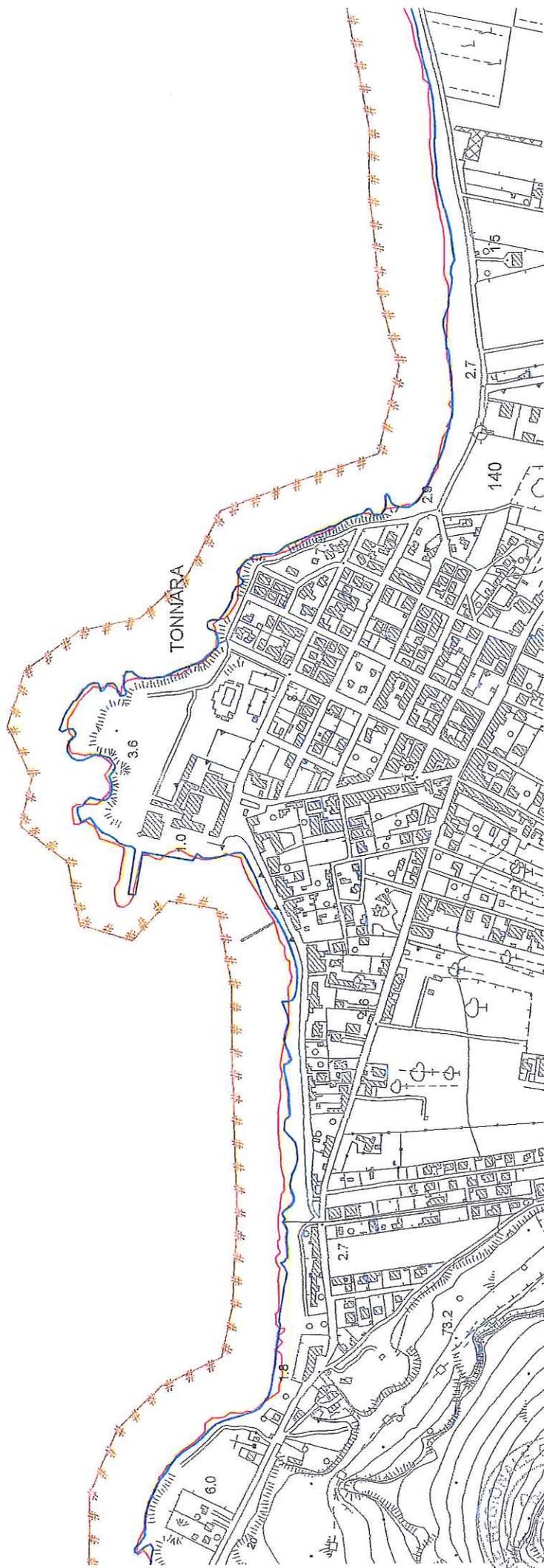
## LEGENDA

### Tipologia costiera

-  Costa rocciosa
-  Costa bassa ciottolosa
-  Costa bassa sabbiosa
-  Costa bassa sabbiosa-ciottolosa
-  Costa calcarenitica bassa e sabbiosa

### Anni di rilievo

-  1992
-  1897
-  1998
-  2003



▣ *PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO;*



Autorizzato ai sensi del DPR 06/06/01 n. 380 art. 59 - n. prot. 5594 del 25/06/2010

## OGGETTO DEI LAVORI

Potenziamento delle opere marittime esistenti per la messa in sicurezza del porto (ai sensi dell'art. 5 L.R. 21/98), comprendenti costruzione diga foranea di sopraflutto, prolungamento diga foranea di sottoflutto, banchine e piazzali operativi

## COMMITTENTE

Dott. Geol. Baiata Giuseppe c/o Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, Provveditorato Interregionale Opere Pubbliche Sicilia - Calabria. Ufficio 4 Opere Marittime Sicilia - Palermo

Rif. Verb. di accettazione n° 181

Rif. Interno n° 98/11

## RISULTATI DELLE PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO



Oggetto dei lavori:

**Potenziamento delle opere marittime esistenti per la messa in sicurezza del porto (ai sensi dell'art. 5 L.R. 21/98), comprendenti costruzione diga foranea di sopraflutto, prolungamento diga foranea di sottoflutto, banchine e piazzali operativi**

Nell'ambito dei lavori inerenti la campagna di indagini geognostiche in oggetto, il committente, **Dott. Geol. Baiata Giuseppe c/o Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, Provveditorato Interregionale Opere Pubbliche Sicilia - Calabria, Ufficio 4 Opere Marittime Sicilia - Palermo**

ha incaricato formalmente la Società **GEO 3 s.a.s. di Antonino Ardagna & C.** per l'esecuzione di prove geotecniche su campioni di terreno opportunamente prelevati. Sono, infatti, pervenuti presso codesto laboratorio i seguenti campioni:

N°	<input type="text" value="2"/>	fustelle metalliche denominate S1C1 e S1C2
N°	<input type="text" value="0"/>	sacchetto plastico

Il campione risulta essere opportunamente sigillato onde evitarne l'essiccazione e marcati da etichetta identificatrice.

Dopo l'apertura del campione, è stato possibile identificare lo stesso e classificarlo dal punto di vista macroscopico; in seguito a tale identificazione si è proceduto al selezionamento delle porzioni necessarie per la caratterizzazione fisica e meccanica.

Nello specifico sono state eseguite le seguenti prove:

- determinazione del contenuto di acqua del campione – ASTM D 2216-80;
- determinazione del peso per unità di volume – BS 1377;
- determinazione del peso specifico – ASTM D 854;
- granulometrica mediante sedimentazione (aerometria) e/o setacciatura - ASTM D 422;
- determinazione dei limiti di Atterberg – ASTM D 4318
- prova di taglio diretto – ASTM D 3080;
- prova ad espansione laterale libera E.L.L. – ASTM D 2166.

Di seguito vengono riportati i certificati da **417/11 a** a **418/11 e** con riferimento ai campioni pervenuti in questo laboratorio, unitamente ad un quadro di sintesi dei dati ottenuti mediante le analisi sopraccitate.

Gibellina, ottobre-11

*Il direttore di Laboratorio*

*Dott. Geol. Antonino Ardagna*



 Laboratorio di Indagini Geotecniche sui terreni	<b>SCHEDA CAMPIONE</b>		Rif. interno n° <b>98/11</b>
	<b>S1 C1</b>		Certificato n° <b>417/11 a</b>
			Data emissione <b>03/10/2011</b>
			n° pagine <b>1 / 5</b>

Rif. Verbale di accettazione n° **181**

Committente Dott. Geol. Eustachio Giuseppe c/o Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, Provveditorato Interregionale Opere Pubbliche Sicilia - Calabria, Ufficio 4 Opere Marittime Sicilia - Palermo

Direttore Lavori - Località Porto Bonagia - Trapani

Oggetto Potenziamento delle opere marittime esistenti per la messa in sicurezza del porto (ai sensi dell'art. 5 L.R. 21/98), comprendenti costruzione diga foranea di soprallutto, prolungamento diga foranea di sottofutto, banchine e piazzali operativi

Sondaggio S1 Campione C1

Profondità 4,05 - 4,30 metri p.c. Contenitore Fustella metallica

Data prelievo campione	26-set-11	Data accettazione	27-set-11	Data inizio prove	27-set-11
------------------------	-----------	-------------------	-----------	-------------------	-----------

Descrizione del campione

Argilla sabbiosa di colore giallo marrone con lenti ghiaiose di natura carbonatica. Umida e coesiva.

Classe di qualità	Q5	Indisturbato	<input checked="" type="checkbox"/>	Rimaneggiato	<input type="checkbox"/>
-------------------	----	--------------	-------------------------------------	--------------	--------------------------

Inflazione pocket penetrometer	<100 kPa	-	100<kPa<400	-	> 400 kPa	-
--------------------------------	----------	---	-------------	---	-----------	---

Prove effettuate

	data prove			data prove	
Contenuto d'acqua	27/09/2011	x	Edometria		
Peso di volume	28/09/2011	x	Taglio diretto		
Peso specifico dei grani	28/09/2011	x	Taglio residuo		
Limiti di Atterberg	28/09/2011	x	ELL	28/09/2011	x
Limite di ritiro			Triassiale UU		
Analisi granulometrica (setacci)	28/09/2011	x	Triassiale CU		
Analisi granulometrica (sedimentaz.)	30/09/2011	x	Triassiale CD		
Calciometria			Rigonfiamento		
Compattazione Proctor modificato			Perm a car cost.		
Penetrazione CBR			Perm. a car var		
			Perm in cella tx		

Grandezze Indice

Contenuto d'acqua I $W_0$ (%)	35,53	Peso specifico I $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	26,12
Contenuto d'acqua II $W_0$ (%)	35,26	Peso specifico II $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	26,13
Contenuto d'acqua medio $W_0$ (%) (media 2 determinaz.)	35,40	Peso specifico medio $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> ) (media 2 determinaz.)	26,13
Peso di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18,36	Grado di saturazione ( $S_n$ ) (%)	100
Peso di volume secco $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	13,56	Indice dei vuoti (e)	0,93
		Porosità %	48,09

Il Direttore di Laboratorio

Lo Sperimentatore



	<b>LIMITI DI ATTERBERG</b> (ASTM D 4318)	<b>Riferimento n°</b> 98/11
		<b>Certificato n°</b> 417/11 c
		<b>Data</b> 03/10/2011
		<b>n° pagina</b> 3 / 5

Laboratorio Autorizzato ai sensi del DPR 06/06/01 n. 380 art. 59 - n. prot. 5594 del 25/06/2010

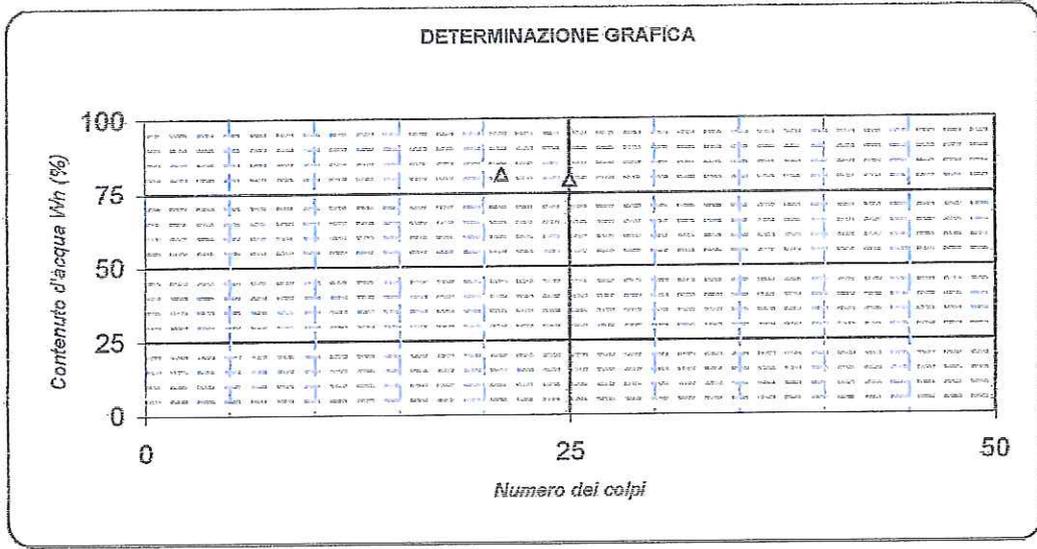
**Dati del Cliente**

<b>Cliente</b>	Dott. Geol. Baiata Giuseppe c/o Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, Provveditorato Interregionale Opere Pubbliche Sicilia - Calabria, Ufficio 4 Opere Marittime Sicilia - Palermo
<b>Cantiere</b>	Potenziamento delle opere marittime esistenti per la messa in sicurezza del porto (ai sensi dell'art. 6 L.R. 21/88), comprendenti costruzione diga foranea di sopraffutto, prolungamento diga foranea di sottoffutto, banchine e piazzali operativi
<b>Sondaggio</b>	S1 Campione C1
<b>Profondità</b>	4,05 - 4,30 m

LIMITE LIQUIDO	PROVINO 1	PROVINO 2	PROVINO 3
NUMERO COLPI	21	25	
CONTENUTO D'ACQUA %	81,36	79,40	

LIMITE PLASTICO	PROVINO 1	PROVINO 2	PROVINO 3
CONTENUTO D'ACQUA %	28,42	28,97	

CONTENUTO D'ACQUA (W <sub>n</sub> ) %	35,40
LIMITE LIQUIDO (W <sub>L</sub> ) %	79,40
LIMITE PLASTICO (W <sub>p</sub> ) %	28,70
INDICE PLASTICO (I <sub>p</sub> ) %	50,71
INDICE DI CONSISTENZA (I <sub>c</sub> )	0,87



**Il Direttore di Laboratorio**  
Dott. Geol. Antonino Ardagna

**Lo Sperimentatore**  
Dott. Geol. Vito Francesco Ingrassia



Laboratorio di Indagini  
Geotecniche sui terreni

## DIAGRAMMI DI ATTIVITA' E PLASTICITA'

Rif. n° 98/11  
Certificato n° 417/11 c  
Data 03/10/2011  
n° pagina 4 / 5

Laboratorio Autorizzato ai sensi del DPR 06/06/01 n. 380 art. 59 - n. prot. 5594 del 25/06/2010

### Dati del Cliente

#### Cliente

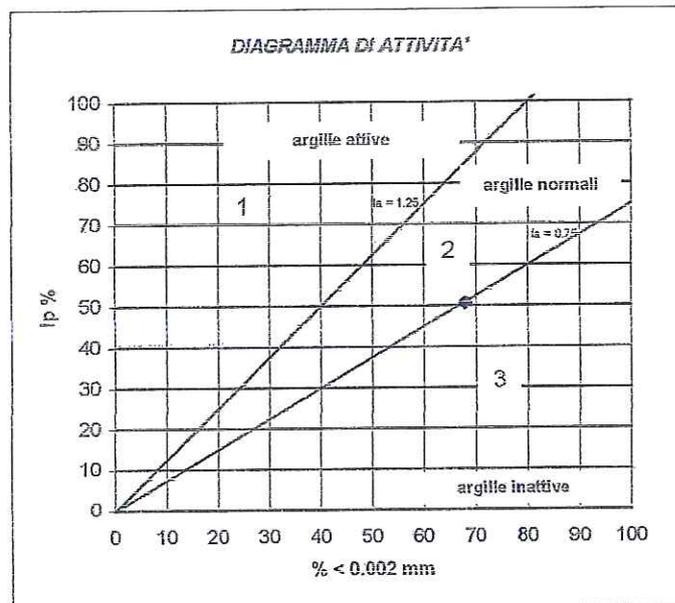
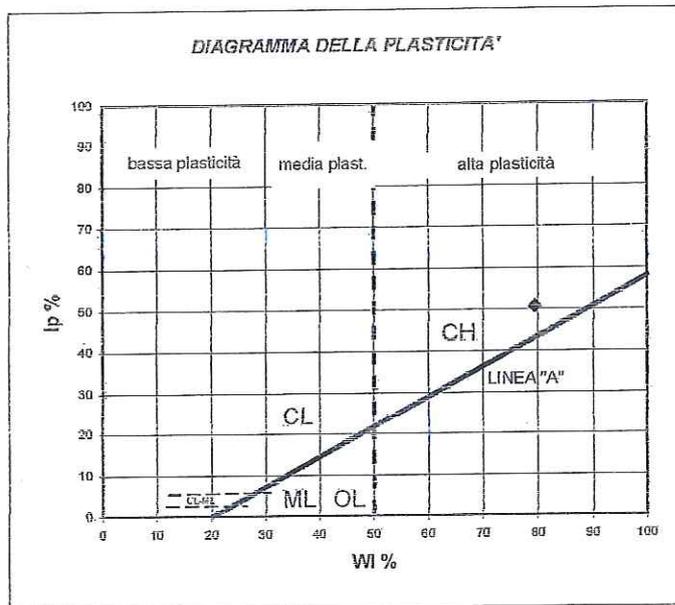
Dott. Geol. Balata Giuseppe c/o Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, Provveditorato Interregionale Opere Pubbliche Sicilia - Calabria, Ufficio 4 Opere Marittime Sicilia - Palermo.

#### Cantiere

Potenziamento delle opere marittime esistenti per la messa in sicurezza del porto (ai sensi dell'art. 5 L.R. 21/83), comprendenti costruzione diga foranea di sopraffutto, prolungamento diga foranea di sottoffutto, banchine e piazzali operativi

Sondaggio S1 Campione C1

Profondità 4,05 - 4,30 m



Il Direttore di Laboratorio  
Dott. Geol. Antonino Ardagna

Lo Sperimentatore  
Dott. Geol. Vito Francesco Ingrassia



### UNCONFINED COMPRESSION TEST (ASTM D2166)

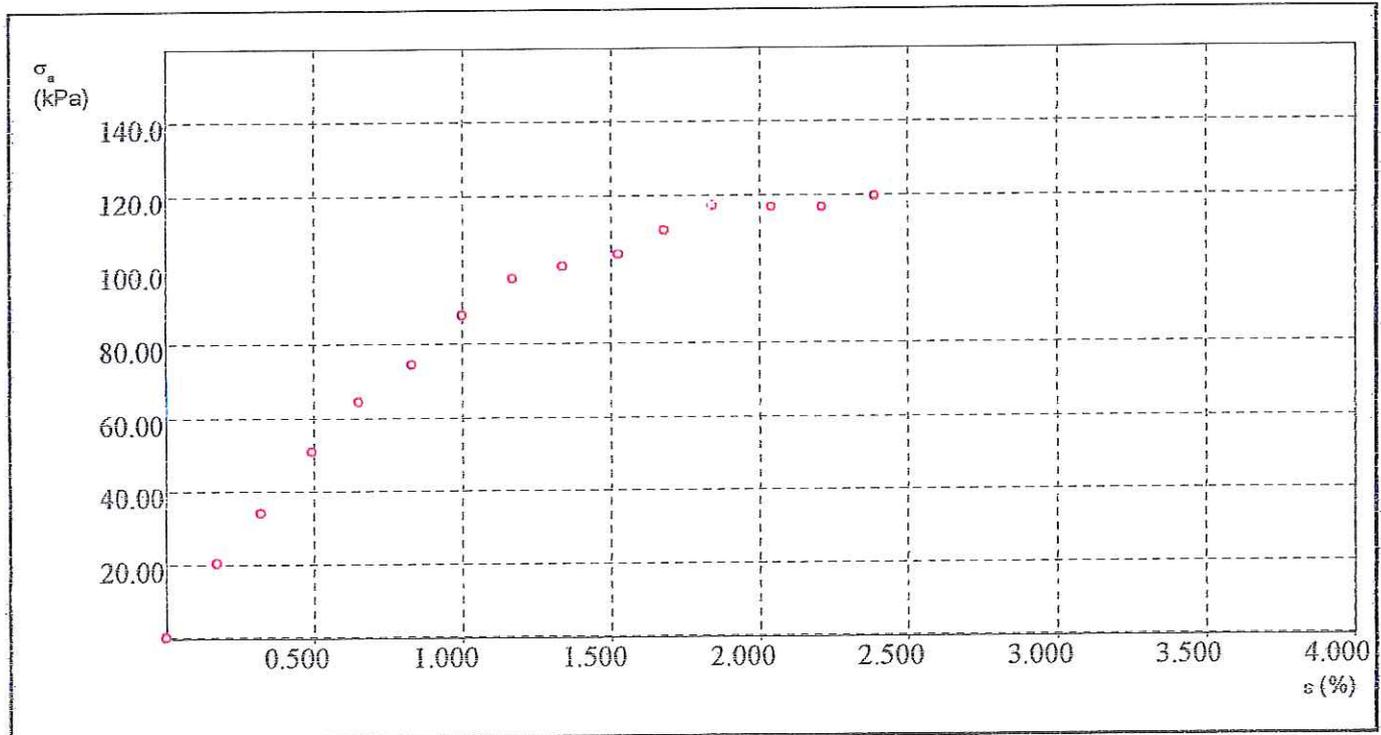
#### Customer data

Customer	Dott. Geol. Baiata Giuseppe
Address	Potenziamento opere marittime esistenti
Site	Porto Bonagia - Trapani
Boring	S1
Sample	C1
Depth	4.05-4.30 m

#### Specimen data

Date of boring	27/09/11	Initial bulk density	1,873 g/cm <sup>3</sup> $\gamma_n$
Cross section	11,400 cm <sup>2</sup>	Final bulk density	1,919 g/cm <sup>3</sup> $\gamma_t$
Initial height	76,000 mm	Dry bulk density	1,386 g/cm <sup>3</sup> $\gamma_d$
Final height	74,062 mm	Initial moisture content	35,135 % $W_0$
No. Tare 1	0	Final moisture content	34,960 % $W_t$
Weight of tare 1	0,000 g	Initial saturation	101,670 % $S_0$
Tare + wet initial weight	162,27 g	Final saturation	106,852 % $S_t$
No. Tare 2	0	Initial void ratio	0,919 $e_0$
Weight of tare 2	0,000 g	Final void ratio	0,870 $e_t$
Tare + wet final weight	162,060 g	Final dry bulk density	1,422 g/cm <sup>3</sup> $\gamma_d$
Tare + specimen dried weight	120,080 g		
Specific weight of grains	2,660 g/cm <sup>3</sup>		

Maximum strength	118 kPa
Strain	1,84 %



Laboratory Manager

Dott. Geol. Antonino Ardagna

Technician

Dott. Geol. Vito Francesco Ingrassia

 Laboratorio di Indagini Geotecniche sui terreni	<b>SCHEDA CAMPIONE</b>		Rif. interno n° <b>98/11</b>
	<b>S1</b>	<b>C2</b>	Certificato n° <b>418/11 a</b>
			Data emissione <b>03/10/2011</b>
			n° pagine <b>1 / 7</b>

Rif. Verbale di accettazione n° **181**

Committente Dott. Geol. Balista Giuseppe c/o Ministero delle Infrastrutture e Trasporti. Provveditorato Interregionale Opere Pubbliche Sicilia - Calabria, Ufficio 4 Opere Marittime Sicilia - Palermo

Direttore Lavori - Località Porto Bonagia - Trapani  
 Oggetto Potenziamento delle opere marittime esistenti per la messa in sicurezza del porto (ai sensi dell'art. 5 L.R. 21/88), comprendenti costruzione diga foranea di sopraflutto, prolungamento diga foranea di sottoflutto, banchine e piazzali operativi

Sondaggio	S1	Campione	C2
Profondità	7,60-8,00 metri p.c.	Contenitore	Fustella metallica
Data prelievo campione	26-set-11	Data accettazione	27-set-11
		Data inizio prove	27-set-11

Descrizione del campione

Argille limo - sabbiose di colore marrone con venature grigiastre, coesive, con elementi litici di dimensioni millimetriche e natura carbonatica.

Classe di qualità	Q5	Indisturbato	<input checked="" type="checkbox"/>	Rimaneggiato	<input type="checkbox"/>
Infissione pocket penetrometer	<100 kPa	-	100<kPa<400	-	> 400 kPa
					X

Prove effettuate

	data prove			data prove	
Contenuto d'acqua	27/09/2011	x	Edometria		
Peso di volume	27/09/2011	x	Taglio diretto	27/09/2011	x
Peso specifico dei grani	28/09/2011	x	Taglio residuo		
Limiti di Atterberg	28/09/2011	x	ELL	28/09/2011	x
Limite di ritiro			Triassiale UU		
Analisi granulometrica (setacci)	28/09/2011	x	Triassiale CU		
Analisi granulometrica (sedimentaz.)	30/09/2011	x	Triassiale CD		
Calciometria			Rigonfiamento		
Compattazione Proctor modificato			Perm a car cost.		
Penetrazione CBR			Perm. a car var		
			Perm in cella tx		

Grandezze Indice

Contenuto d'acqua I $W_0$ (%)	23,14	Peso specifico I $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	25,52
Contenuto d'acqua II $W_0$ (%)	22,94	Peso specifico II $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	25,52
Contenuto d'acqua medio $W_0$ (%) (media 2 determinaz.)	23,04	Peso specifico medio $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> ) (media 2 determinaz.)	25,52
Peso di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19,80	Grado di saturazione ( $S_n$ ) (%)	100
Peso di volume secco $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	16,09	Indice dei vuoti (e)	0,59
		Porosità %	36,94

Il Direttore di Laboratorio

Lo Sperimentatore



 <b>Laboratorio di Indagini Geotecniche sui terreni</b>	<b>LIMITI DI ATTERBERG (ASTM D 4318)</b>		Riferimento n° <b>98/11</b>
			Certificato n° <b>418/11 c</b>
			Data <b>03/10/2011</b>
			n° pagina <b>3 / 7</b>

Laboratorio Autorizzato ai sensi del DPR 06/06/01 n. 380 art. 59 - n. prot. 5594 del 25/06/2010

**Dati del Cliente**

<b>Cliente</b>	Dott. Geol. Baiata Giuseppe c/o Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, Provveditorato Interregionale Opere Pubbliche Sicilia - Calabria, Ufficio 4 Opere Marittime Sicilia - Palermo		
<b>Cantiere</b>	Potenziamento delle opere marittime esistenti per la messa in sicurezza del porto (ai sensi dell'art. 6 L.R. 21/88), comprendenti costruzione diga foranea di sopraffutto, prolungamento diga foranea di sottoffutto, banchine e piazzali operativi		
<b>Sondaggio</b>	<b>S1</b>	<b>Campione</b>	<b>C2</b>
<b>Profondità</b>	7,60-8,00	m	

LIMITE LIQUIDO	PROVINO 1	PROVINO 2	PROVINO 3
NUMERO COLPI	25		
CONTENUTO D'ACQUA %	71,30		

LIMITE PLASTICO	PROVINO 1	PROVINO 2	PROVINO 3
CONTENUTO D'ACQUA %	25,72	25,23	

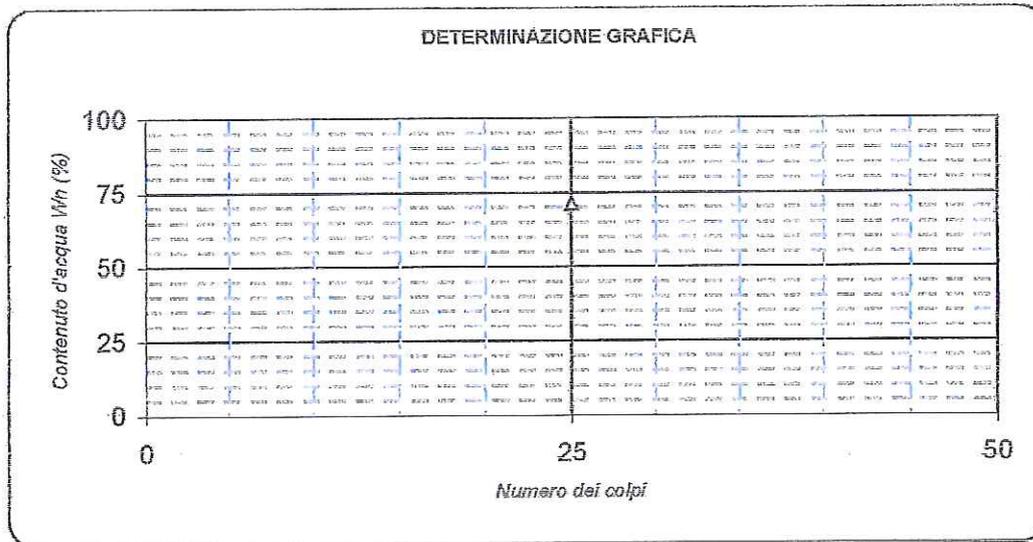
CONTENUTO D'ACQUA (W <sub>n</sub> ) %	23,04
---------------------------------------	-------

LIMITE LIQUIDO (W <sub>L</sub> ) %	71,30
------------------------------------	-------

LIMITE PLASTICO (W <sub>p</sub> ) %	25,48
-------------------------------------	-------

INDICE PLASTICO (I <sub>p</sub> ) %	45,83
-------------------------------------	-------

INDICE DI CONSISTENZA (I <sub>c</sub> )	1,05
---	------



**Il Direttore di Laboratorio**  
Dott. Geol. Antonino Ardagna

**Lo Sperimentatore**  
Dott. Geol. Vito Francesco Ingrassia



Laboratorio di Indagini  
Geotecniche sui terreni

## DIAGRAMMI DI ATTIVITA' E PLASTICITA'

Rif. n° 98/11  
Certificato n° 418/11 c  
Data 03/10/2011  
n° pagina 4 / 7

Laboratorio Autorizzato ai sensi del DPR 06/06/01 n. 380 art. 59 - n. prot. 5594 del 25/06/2010

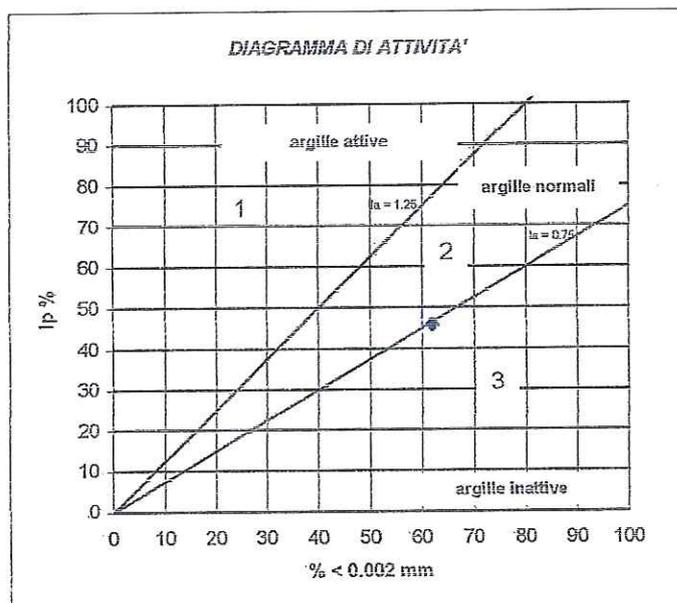
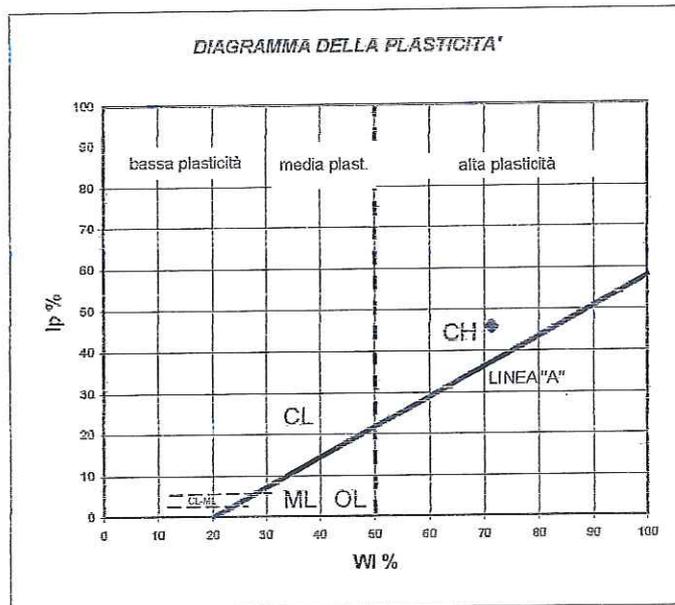
### Dati del Cliente

**Cliente** Dott. Geol. Baiata Giuseppe c/o Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, Provveditorato Interregionale Opere Pubbliche Sicilia - Calabria, Ufficio 4 Opere Marittime Sicilia - Palermo.

**Cantiere** Potenziamento delle opere marittime esistenti per la messa in sicurezza del porto (ai sensi dell'art. 5 L.R. 21/99), comprendenti costruzione diga foranea di sopraffutto, prolungamento diga foranea di sottoffutto, banchine e piazzali operativi

**Sondaggio** S1    **Campione** C2

**Profondità** 7,60-8,00 m



Il Direttore di Laboratorio  
Dott. Geol. Antonino Ardagna

Lo Sperimentatore  
Dott. Geol. Vito Francesco Ingrassia



Laboratorio di Indagini  
Geotecniche sui terreni

Laboratorio autorizzato ai sensi del DPR 380/01 art. 59 - n. prot. 5594 del  
25/06/2010  
Sede Via Alberto Burri n.4, Gibellina (TP)

Riferimento n. 98/11 - 03/10/11  
Certificato n. 418/11 - di pagina 5/7

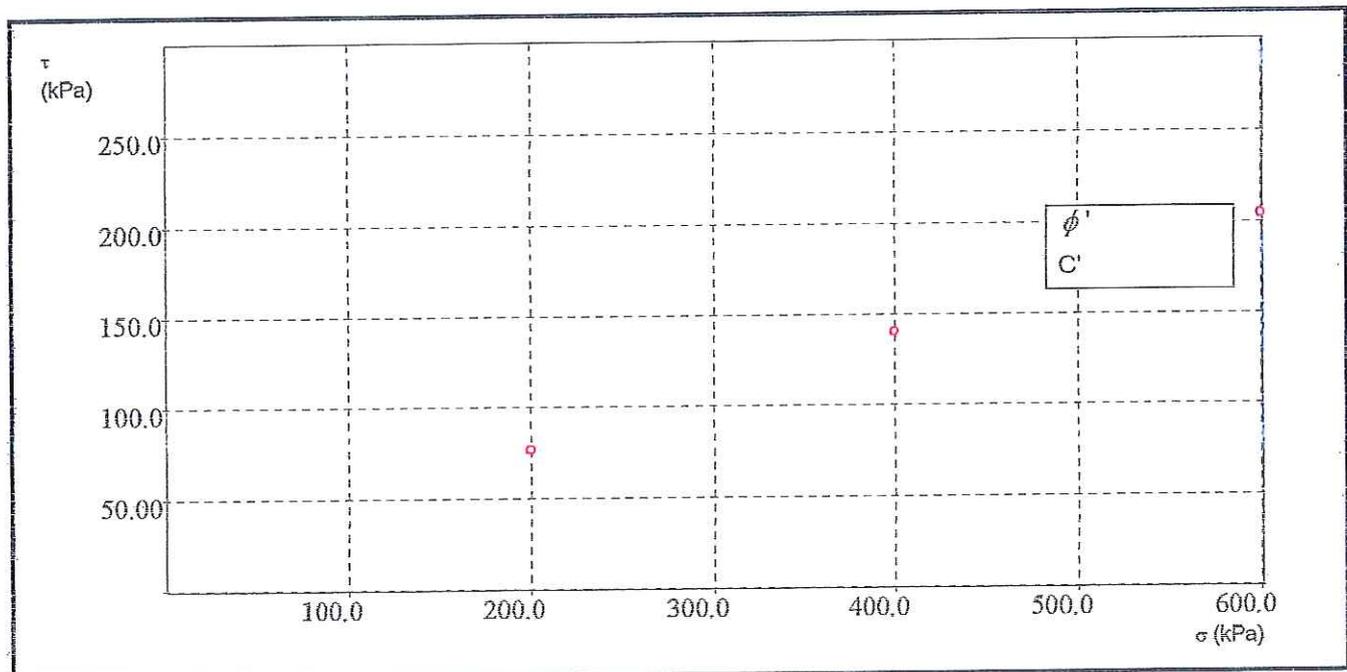
## PROVA DI TAGLIO DIRETTO (ASTM D3080)

### Dati del Cliente

Cliente	Dott. Geol. Baiata Giuseppe
Indirizzo	Potenziamento opere marittime esistenti
Cantiere	Porto Bonagia - Trapani
Sondaggio	S1
Campione	C2
Profondità	7.60-8.00 m

Provino	Ho mm	Ao cm <sup>2</sup>	$\gamma_n$ g/cm <sup>3</sup>	$\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup>	Wo %	Wf %	So %	Sf %
9811S12A	20,00	36,00	2,023	1,663	21,63	26,18	99,89	129,66
9811S12C	20,00	36,00	2,011	1,652	21,70	25,36	98,34	142,37
9811S12B	20,00	36,00	2,026	1,669	21,37	24,83	99,69	131,01

Provino	$\sigma_v$ kPa	H mm	dt h	$\tau_f$ kPa	Sh mm	V micron/min		
9811S12A	200,00	19,51	1,00	76,97	1,45	2,00		
9811S12C	600,00	18,60	1,00	204,08	0,78	2,00		
9811S12B	400,00	19,17	1,00	140,25	0,75	2,00		



Il Direttore del Laboratorio  
Dott. Geol. Antonino Ardagna

Lo Sperimentatore  
Dott. Geol. Vito Francesco Ingrassia



Laboratorio di Indagini  
Geotecniche sui terreni

Laboratorio autorizzato ai sensi del DPR 380/01 art. 59 - n. prot. 5594 del  
25/06/2010

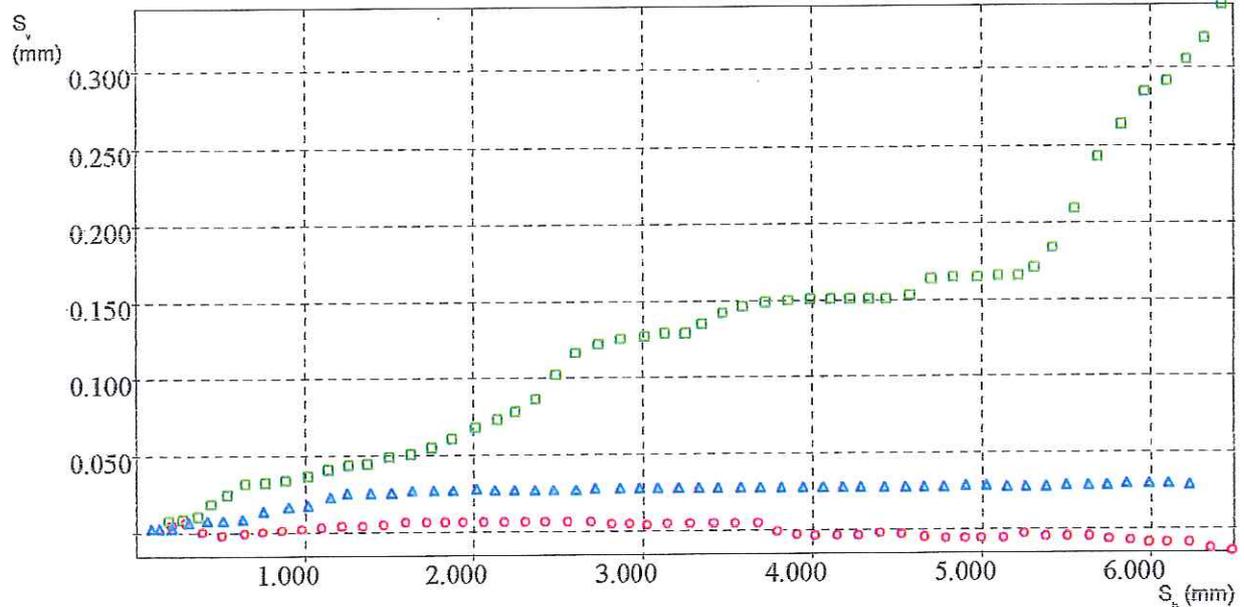
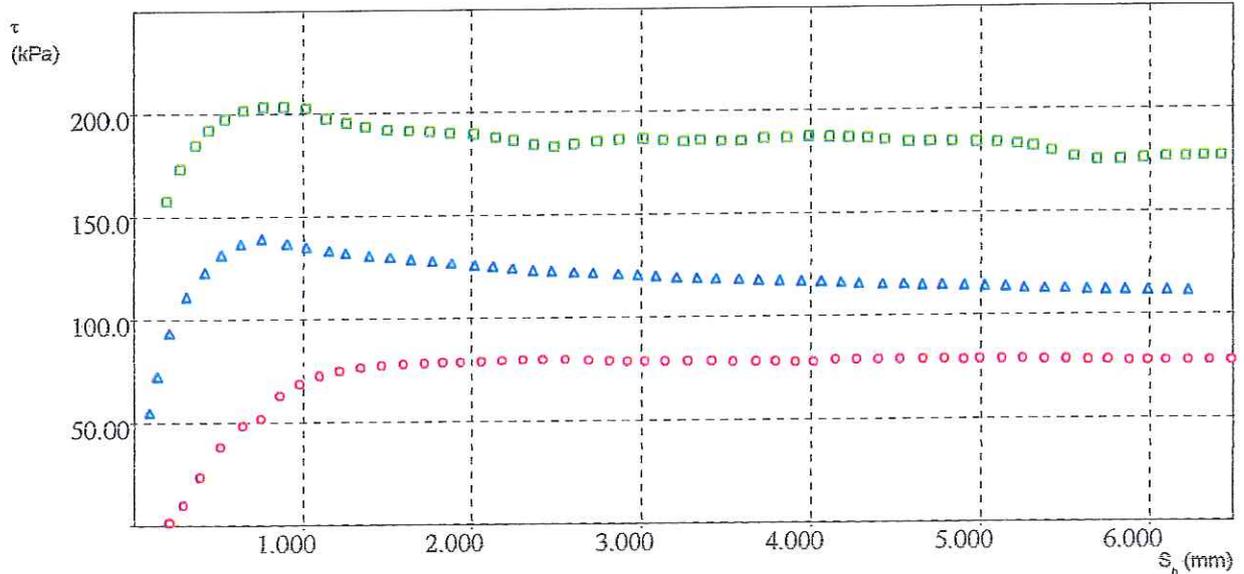
Sede Via Alberto Burri n.4, Gibellina (TP)

Riferimento n. 98/11 - 03/10/11  
Certificato n. 412/11 - d pagina 6/7

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO (ASTM D3080)

### Dati del Cliente

Cliente	Dott. Geol. Baiata Giuseppe
Indirizzo	Potenziamento opere marittime esistenti
Cantiere	Porto Bonagia - Trapani
Sondaggio	S1
Campione	C2
Profondità	7.60-8.00 m



Il Direttore del Laboratorio

Dott. Geol. Antonino Ardagna

Lo Sperimentatore

Dott. Geol. Vito Francesco Ingrassia



## UNCONFINED COMPRESSION TEST (ASTM D2166)

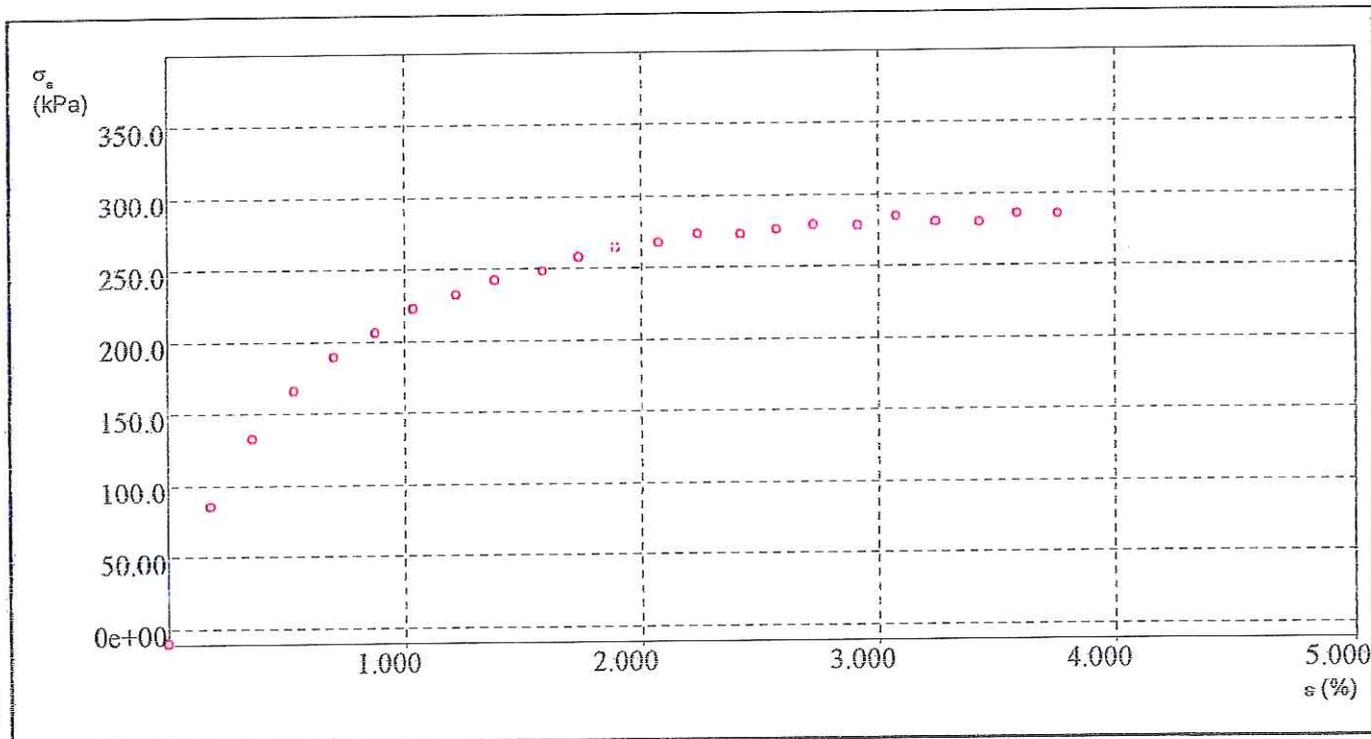
### Customer data

Customer	Dott. Geol. Baiata Giuseppe
Address	Potenziamento opere marittime esistenti
Site	Porto Bonagia - Trapani
Boring	S1
Sample	C2
Depth	7.60-8.00 m

### Specimen data

Date of boring	26/09/11	Initial bulk density	1,910 g/cm <sup>3</sup> $\gamma_p$
Cross section	11,400 cm <sup>2</sup>	Final bulk density	1,985 g/cm <sup>3</sup> $\gamma_t$
Initial height	76,000 mm	Dry bulk density	1,610 g/cm <sup>3</sup> $\gamma_d$
Final height	73,019 mm	Initial moisture content	18,645 % $W_0$
No. Tare 1	0	Final moisture content	18,501 % $W_t$
Weight of tare 1	0,000 g	Initial saturation	78,775 % $S_0$
Tare + wet initial weight	165,45 g	Final saturation	87,141 % $S_t$
No. Tare 2	0	Initial void ratio	0,615 $e_0$
Weight of tare 2	0,000 g	Final void ratio	0,552 $e_t$
Tare + wet final weight	165,250 g	Final dry bulk density	1,675 g/cm <sup>3</sup> $\gamma_d$
Tare + specimen dried weight	139,450 g		
Specific weight of grains	2,600 g/cm <sup>3</sup>		

Maximum strength	264 kPa
Strain	1,90 %



Laboratory Manager

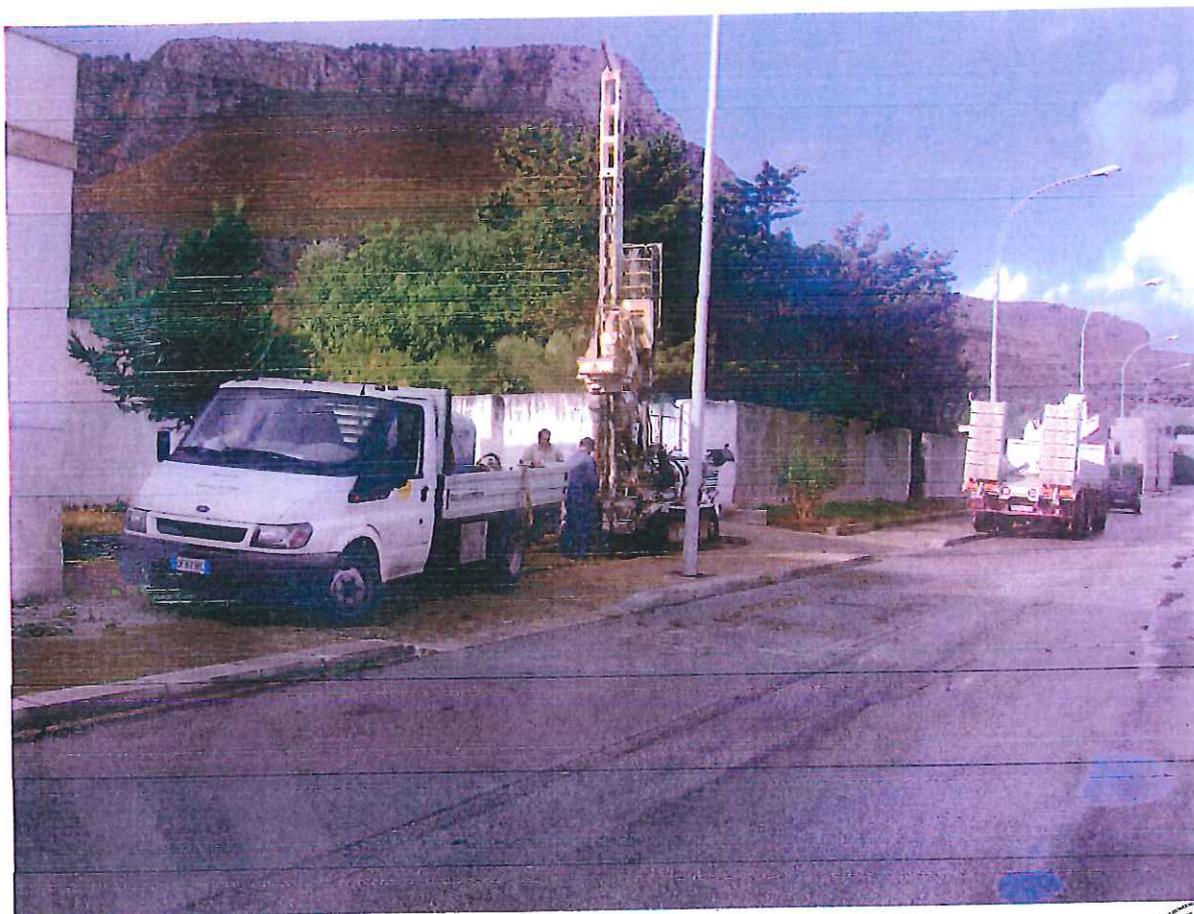
Dott. Geol. Antonino Ardagna

Technician

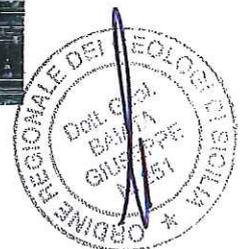
Dott. Geol. Vito Francesco Ingrassia

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**

POSIZIONE DEL SONDAGGIO GEOGNOSTICO S.1b



AVANZAMENTO DEL SONDAGGIO GEOGNOSTICO S.1b



CAMPIONI INDISTURBATI

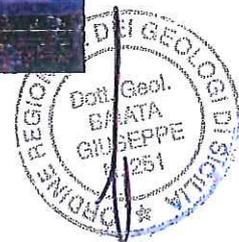


CASSETTE CATALOGATRICI DEL SONDAGGIO GEOGNOSTICO S.16

Cassetta n°1



Cassetta n°2



Cassetta n°3

