



**AUTORITÀ
PORTUALE
DI PALERMO**

Porti di Palermo
e Termini Imerese

RELAZIONE GEOLOGICO TECNICA

Progetto Definitivo
(Art. 25 D.P.R. 554/99)

“Lavori di completamento del molo foraneo di sopraflutto del porto di Termini Imerese”

Committente: Autorità Portuale Palermo
Data: Luglio 2013



Dott. Geol. Ignazio Giuffrè

Via Mazzini, 9 - 90018 Termini Imerese (PA) Tel. 338.4373063
P. IVA: 04698200823 E Mail – ignazio.giuffre@tin.it



SOMMARIO

PREMESSA.....	2
1. INQUADRAMENTO DELL' AREA E CENNI STORICI SUL PORTO.....	7
2. OPERE PREVISTE IN PROGETTO.....	14
3. LINEAMENTI GEOLOGICI	15
4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI.....	19
5. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI	25
6. CONSIDERAZIONI LITOSTRATIGRAFICHE	27
7. INTERPRETAZIONE DATI SISMICI ESEGUITI	32
7.1. INTERPRETAZIONE TOMOGRAFIA SISMICA	32
7.2. INTERPRETAZIONE GEORADAR	34
8. ANALISI E TEST DI LABORATORIO.	36
9. PROVE IN SITU: STANDARD PENETRATION TEST (S.T.P.).....	38
10. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	40
11. CATALOGO EVENTI SISMICI DAL 1693 AL 2012.....	44
12. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE SISMICA	50
12.1. PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA.....	50
7.2. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CATEGORIA TOPOGRAFICA	54
13. CONCLUSIONI.	58



RELAZIONE GEOLOGICO - TECNICA

Progetto Definitivo
(Art. 25 D.P.R. 554/99)

“Lavori di completamento del molo foraneo di sopraflutto del porto di Termini Imerese”

Premessa

L’Autorità Portuale di Palermo, nell’ambito dell’accordo di programma quadro per il rilancio produttivo dell’area industriale di Termini Imerese, ha promosso la riqualificazione ed il prolungamento del molo di sopraflutto del Porto di Termini Imerese, in conformità a quanto previsto nel vigente Piano Regolatore Portuale (approvato dalla Regione con Decreto Dirigenziale dell’A.R.T.A., n. 367 del 5 aprile 2004).

Detto intervento rientra in un più vasto progetto di riqualificazione del porto commerciale di Termini Imerese che prevede interventi mirati anche su altri moli.



Il presente lavoro costituisce parte integrante del progetto definitivo, ai sensi dell'art. 25 del D.P.R. 554/99, per i lavori di completamento del molo foraneo di sopraflutto del porto di Termini Imerese.

Il lavoro è stato commissionato allo scrivente dall'Autorità Portuale di Palermo, giusto Decreto del Presidente n° 170 del 19/03/2013.

La progettazione è stata affidata alla società *Progetti e Opere S.r.l.*

Il tale ottica e per fornire ai progettisti gli elementi di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico, in ottemperanza alle norme riportate nel *D.M. LL. PP. 11.03.1988 (G.U. del 01.06.1988)* ed *N.T.C. 2008 - Norme tecniche per le costruzioni* (D. M. 14 Gennaio 2008) sono stati eseguiti diversi sopralluoghi in modo da acquisire quanti più elementi possibili per una esatta ricostruzione del sottosuolo che compone l'area in studio.

Detti sopralluoghi sono stati integrati con quanto riportato nella letteratura tecnica specializzata (*“Geologia dei Monti di Termini Imerese e delle Madonie Occidentali”*, redatta a cura del Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo ed elaborata da B. Abate ed altri, in scala 1:50.000) e *“Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 609 - 596 Termini Imerese - Capo Plaia”* A cura di: R. Catalano, G. Avellone, L. Basilone, A. Contino, M. Agate), e dagli elementi stratigrafici in possesso dello scrivente ed acquisiti nel corso di studi similari a quello in oggetto.

In tale ottica l'Autorità Portuale ha nei mesi scorsi (Novembre 2012), ha incaricato la *GLOBALGEO S.r.l.*, di eseguire indagini geognostiche, prove geofisiche, prove di laboratorio ed indagini ambientali, propedeutiche alla progettazione definitiva del progetto in oggetto.

In dettaglio relativamente all'area del completamento del molo di sopraflutto sono state condotte le seguenti indagini:

- n° 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo per un totale complessivo di 132 metri;
- n° 12 prove S. P. T. in foro;



- prelievo di n° 11 campioni indisturbati analizzati successivamente in laboratorio;
- prove D.P.S.H., per un totale di ml 80;
- prelievo di n° 3 campioni per caratterizzazione sedimentologica con l'ausilio di un sommozzatore.

Successivamente, a seguito di una analisi dettagliata dei due progetti (*Lavori di completamento del molo sopraflutto* e *Lavori di completamento del molo sottoflutto*), delle indagini eseguite dalla *GLOBALGEO S.r.l.*, e da quanto emerso dalla riunione del giorno 8 aprile, effettuata presso l'Autorità Portuale di Palermo, congiuntamente con i due gruppi di progettazione (*Progetti e Opere S.r.l.* e *Studio Mallandrino S.r.l.*) dei due differenti progetti, il sottoscritto, l'Ing. Petralia e l'Ing. La Barbera, è emersa la necessità di indagare la parte esistente del molo di sottoflutto, e di investigare la possibile presenza di cavità della banchina della diga foranea di sopraflutto, oltre a definire il VS₃₀ ai sensi delle N.T.C. 2008.

In virtù di ciò, lo scrivente ha redatto un nuovo programma di indagini da eseguire sull'area della banchina esistente sul molo di sopraflutto consistente in:

- n° 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino alla profondità massima di 15 m;
- prelievo di n° 3 campioni indisturbati;
- analisi e prove di laboratorio fisico meccaniche sui campioni prelevati.
- n° 13 profili sismici acquisiti con 24 geofoni con interdistanza di 2 m ed elaborazione tomografica (onde P);
- n° 1 allineamenti di profili georadar acquisiti in una direzione con antenna a bassa frequenza (100 - 200 MHz);
- n° 2 prove sismiche attive MASW;
- n° 2 prove sismiche passive REMI.

Lo scopo delle indagini proposte è quello di effettuare, con un elevato livello di dettaglio, una ricostruzione tridimensionale del sottosuolo evidenziando la stratigrafia, le variazioni laterali delle strutture, la presenza possibili vuoti nei materiali di riempimento nonché di valutare alcune caratteristiche meccaniche dei



materiali costituenti e fornire alla progettazione i parametri richiesti dalla normativa tecnica vigente (V_{s30} , etc.).

Tali indagini sono state eseguite dalla *GLOBALGEO S.r.l.* nel mese di giugno 2013.

Le risultanze delle due differenti campagne geognostiche, propedeutiche allo studio geologico in oggetto, sono riportate nelle due relazioni prodotte dalla ditta *Globalgeo s.r.l.*, incaricata dell'esecuzione delle indagini in sito, che di seguito si allegano.

Sarà compito del progettista, sulla scorta dei dati di seguito riportati e da quelli emersi dalle indagini eseguite, effettuare le verifiche e le scelte progettuali così come previsto dalle norme vigenti (*parere del Consiglio di Stato n°154 del 02.06.1994*).

Il lavoro è stato , quindi, articolato sviluppando il seguente schema:

1. inquadramento dell'area e cenni storici sul porto;
2. opere previste in progetto;
3. lineamenti geologici;
4. lineamenti geomorfologici;
5. lineamenti idrogeologici;
6. considerazioni litostratigrafiche;
7. interpretazione dati sismici eseguiti;
 - 7.1. interpretazione tomografia sismica;
 - 7.2. interpretazione georadar;
8. analisi e test di laboratorio;
9. prove in situ: Standard Penetration Test (S.T.P.);
10. pericolosità sismica locale;
11. catalogo degli eventi sismici che hanno interessato l'area dal 1693 al 2012;
12. caratterizzazione e modellazione sismica;
 - 12.1. parametri di pericolosità sismica;
 - 12.2. categoria di sottosuolo e categoria topografica;
13. conclusioni..

Risultano allegati alla presente relazione i seguenti elaborati:



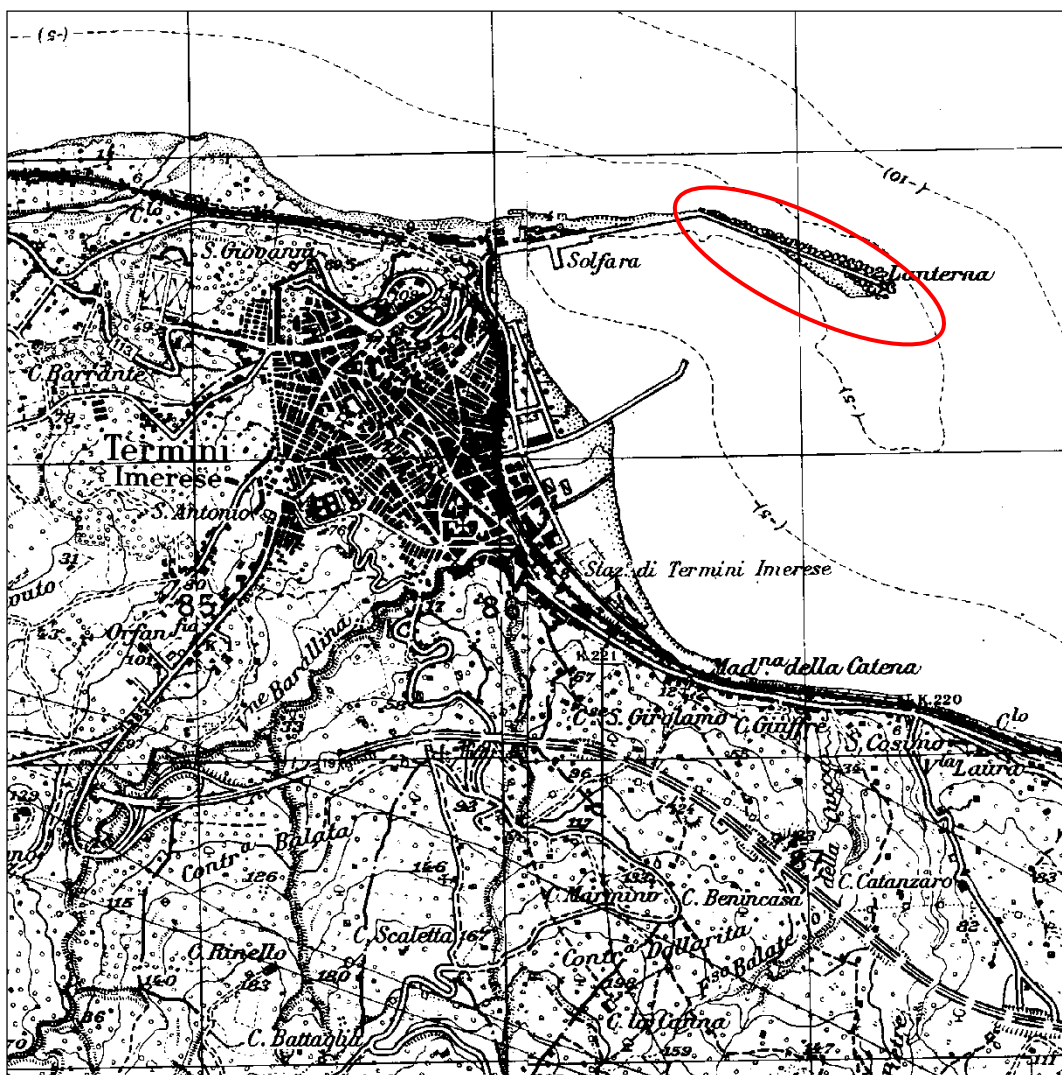
- stralcio topografico in scala 1:25.000;
- aerofotogrammetria in scala 1:10.000;
- carta geologica in scala 1:6.000;
- planimetria con ubicazione delle indagini eseguite;
- documentazione fotografica.



1. Inquadramento dell'area e cenni storici sul porto

L'area oggetto del presente studio ricade nel territorio comunale di Termini Imerese.

Topograficamente, rientra nella Tavoleta "Termini Imerese", Foglio n° 259, quadrante IV, orientamento N.E., redatta dall'I.G.M.I. in scala 1:25.000

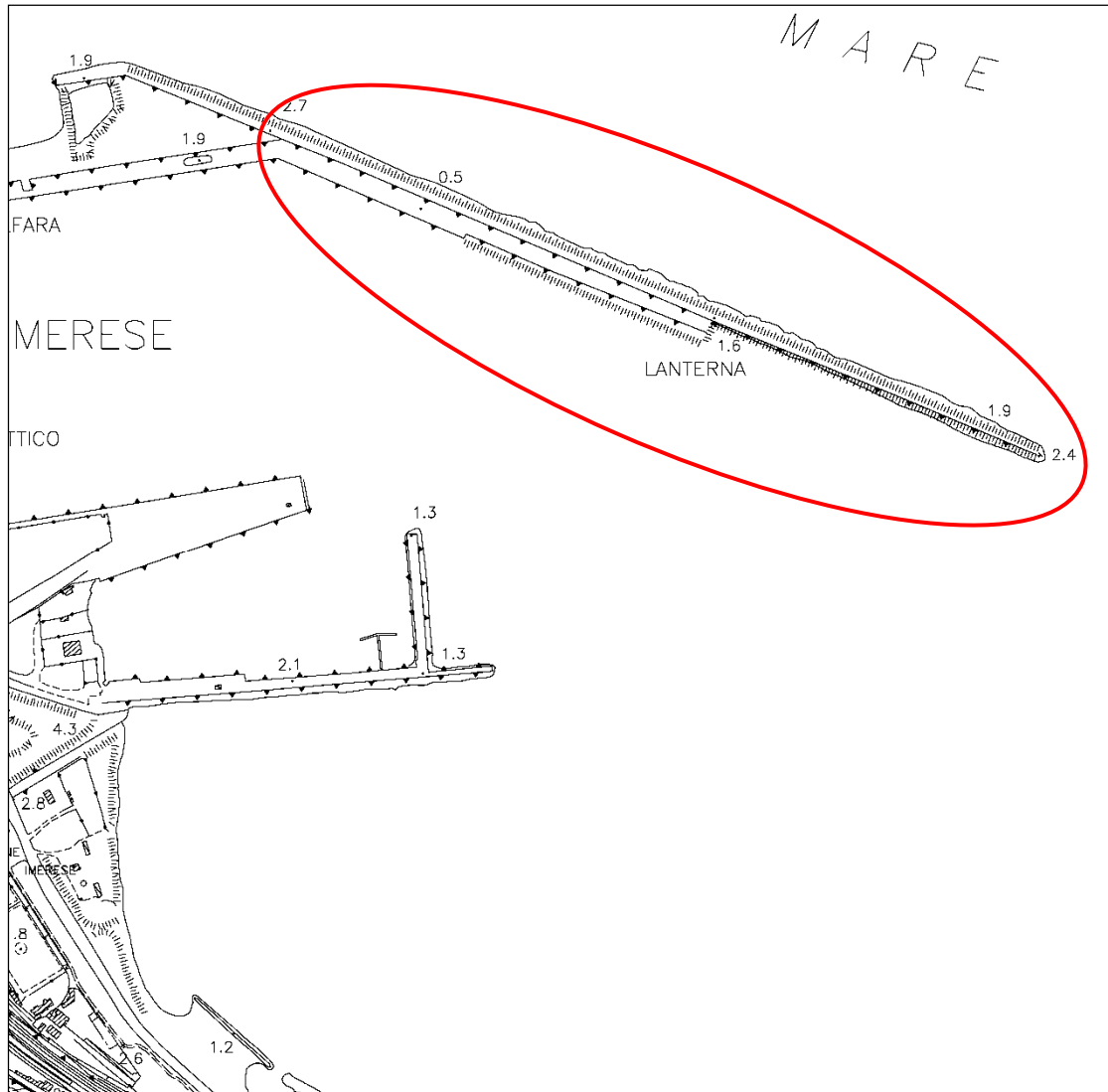


Stralcio topografico in scala 1:25.000

Nello stralcio della Carta Tecnica Regionale (sezione 609010 "Termini Imerese") il riquadro delimita l'area investigata.



I terreni che compongono l'area in studio, risultano prevalentemente sub-pianeggianti e non sono evidenti salti di quota di un certo interesse.



Stralcio C.T.R in scala 1:10.000

La parte bassa della cittadina di Termini Imerese, si è sviluppata su di un'area progressivamente interrata nel corso degli ultimi seimila anni, che è stata progressivamente urbanizzata. L'evoluzione costiera è strettamente legata alle variazioni climatiche (ALLOCCA et al. 2000), poiché nelle fasi caldo - aride si sono avuti accumuli di origine eolica, mentre le fasi freddo - umide hanno prodotto un



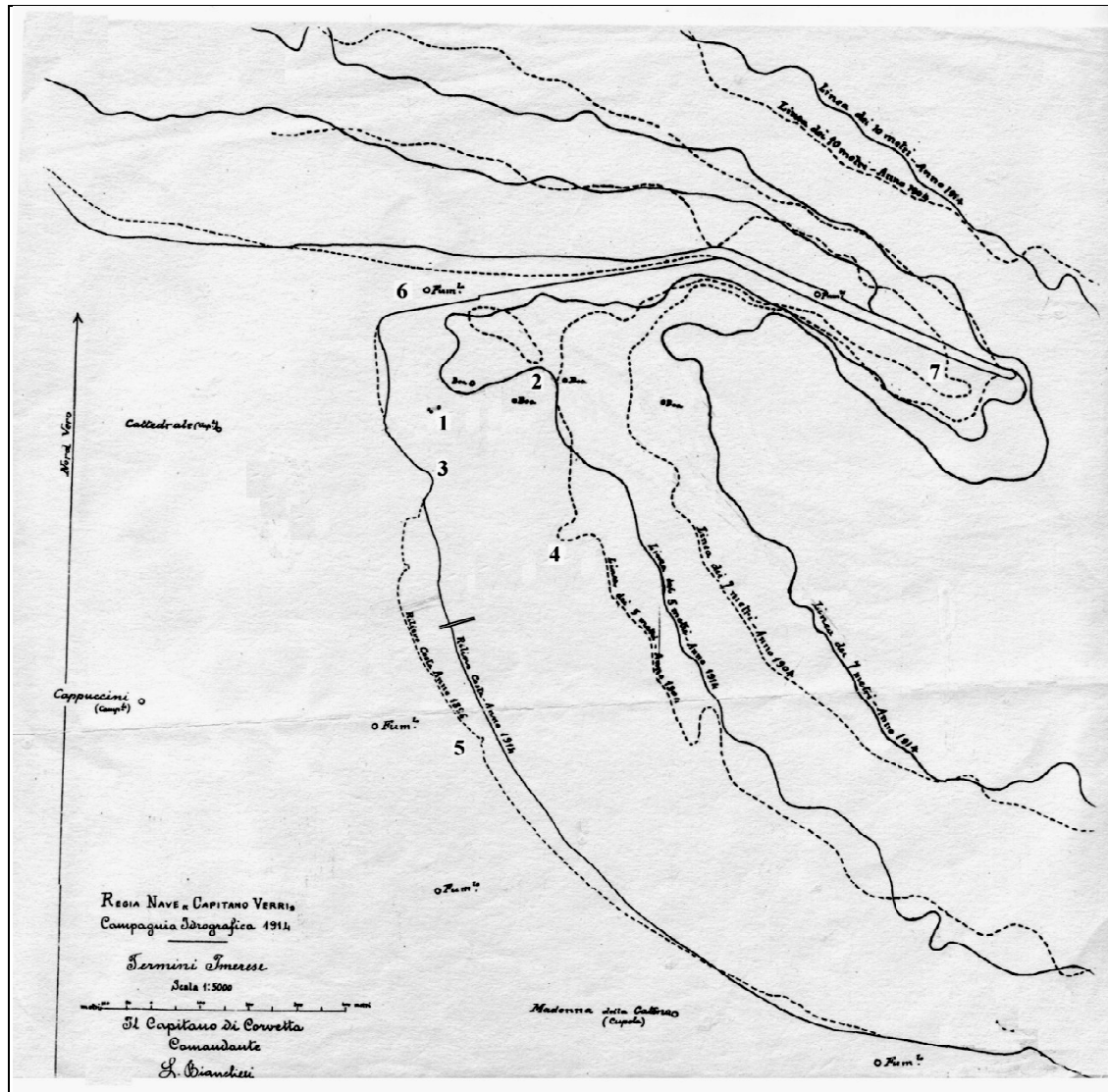
aumento degli apporti provenienti dai corsi d'acqua e conseguentemente un'accelerazione dell'interrimento costiero.

La rada di Termini Imerese è limitata ad Ovest dalla Rocca del Castello di Termini o Monte Garofalo, ad Est dal Capo di Cala Secca o Punta Petrarella.

La massiccia mole della Rocca del Castello di Termini, si protendeva originariamente verso mare, con il promontorio del Muso di Lupa, che riparava in parte la rada dai venti settentrionali. La prosecuzione sottomarina della Rocca costituisce ancor oggi una vasta secca con orientamento circa E - O che si estende per più di 2 km di lunghezza (Secca di S. Giovanni). Sulla secca era collocata sin dal XIV secolo (BRESCH, 1986) la tonnara di Termini (CONTINO & MANTIA in ROMANO, 1997), e nella seconda metà del XIX secolo sul fondale poco profondo furono fatte poggiare le strutture di fondazione del molo di sopraflutto. La secca, a seguito della costruzione del porto, è andata ancor più progressivamente interrandosi con la formazione, tra gli anni 50' e gli 80' del XX secolo, di una spiaggia prevalentemente sabbiosa emersa aderente alla parte terminale del molo di sopraflutto. Alla secca di S. Giovanni, sono associate manifestazioni sorgentizie, di cui alcune idrotermali.

Già in epoca romana, si ha la prova indiretta dell'esistenza del porto nella rada di Termini Imerese; infatti in quel periodo, nacque l'esigenza di un porto capace di sostenere i traffici del già fiorente Caricatore del Grano. Come molti altri porti romani (CASTAGNOLI, 1963), anche quello di Thermae occupava una felice posizione dal punto di vista orografico e marittimo. Nel periodo romano il porto era essenzialmente un luogo sulla costa, più o meno naturalmente protetto dalle mareggiate, dal quale si importavano ed esportavano mercanzie (cfr. FORCELLINI 1940; CUNTZ & SCHNETZ, 1990). Il molo occidentale era posto alla radice della Rocca, di fronte all'attuale Via Tinta, non lungi dalle Terme ed era orientato con un azimut N70°E, dopo un primo tratto rettilineo lungo almeno 400 m, piegava con un angolo di circa 120° verso E e proseguiva con un secondo braccio lungo approssimativamente 425 m.

L'andamento del primo tratto è testimoniato chiaramente dall'analisi delle isobate del rilievo batimetrico del 1914.



Rilievo batimetrico della rada di Termini Imerese eseguito dal personale della corvetta "Capitano Verri" (1914, china su lucido, Termini Imerese, Biblioteca Comunale Liciniana).

1 - I tre scogli della Gisira (resti emergenti del molo romano occidentale); 2 - Secca della Gisira (resti del molo romano occidentale); 3 - Punta del Torracchio; 4 - Secca (resti del molo occidentale); 5 - foce del torrente Barratina; 6 - Molo di sopraflutto; 7 - Secca di S. Giovanni.

In questo rilievo, in corrispondenza dell'isobata -5 (1914), si ravvisa l'esistenza di una dorsale sottomarina orientata con un azimuth N70°E. Questi dati trovano conferma sia nelle testimonianze storiche (SOLITO, 1669) sia verbali raccolte negli anni 80' dallo scrivente presso i pescatori di veneranda età, e che attestano l'esistenza di tale secca allungata, sulla quale era collocato il pontile ligneo dei "Bagni Gisira" o "Bagni Militello".



La secca doveva avere sino agli anni 60' del XIX secolo una lunghezza maggiore, ma è noto che durante i lavori di realizzazione del molo di sopraflutto, fu fatta brillare una parte della dorsale sottomarina perché rendeva difficoltose le manovre nella zona (BATTAGLIA, 1887 e 1906). La parte fatta brillare corrisponde proprio ai resti del “gomito” del molo romano che costituivano la parte più avanzata della detta secca. L’andamento del secondo braccio è comunque desumibile dalla presenza di una secca posta ad una maggior profondità, segnalata da una boa, come si evince chiaramente dal rilievo batimetrico del 1914.

La costruzione della linea ferrata nel tratto Palermo - Termini, completata nel febbraio 1866, comportò la scomparsa della rada della Fossola e l’apertura di una galleria sotto la Rocca, oggi non più utilizzata, ed il materiale cavato fu scaricato lungo la costa a costituire una scogliera artificiale (ANONIMO, s.d., ma 1866-67 c.).

Ultimata la linea ferrata si rese non più procrastinabile la realizzazione del porto di Termini, quale sbocco ed imbarcadero tirrenico della produzione solfifera siciliana. Infatti, nel 1867 si iniziò la costruzione del primo tratto rettilineo, consegnato solo nel 1888 (lunghezza di 691,6 m), che venne esteso poi sino a 730 m nel decennio successivo con la costruzione del “gomito” del molo. La realizzazione del “gomito” determinò l’innescò di fenomeni erosivi nella zona esterna all’area portuale (erosione della spiaggia della Fossola) ed un aumento dell’interrimento nelle specchio d’acqua interno al porto.

Nell’immediato dopoguerra, nel convegno sui problemi marittimi (Palermo, 26-28 febbraio 1947), emerse anche l’urgenza della costruzione di un molo di sottoflutto, esteso almeno 100 m, perpendicolare alla banchina già esistente, a protezione del porto dallo scirocco, e di dragaggi per ripulire lo specchio d’acqua dalle sabbie e dai relitti. Alcuni dragaggi per rimuovere parte della secca furono poi effettuati nel 1947-48 (SCIORTINO, 1950).

La seconda scogliera (Molo Aldisio), lunga circa 400 m ed orientata N 30° E, fu ufficialmente completata nell’aprile del 1953, anche se i lavori proseguirono sino al 1955, ma produsse ulteriori modifiche della costa determinando l’intercettazione dei

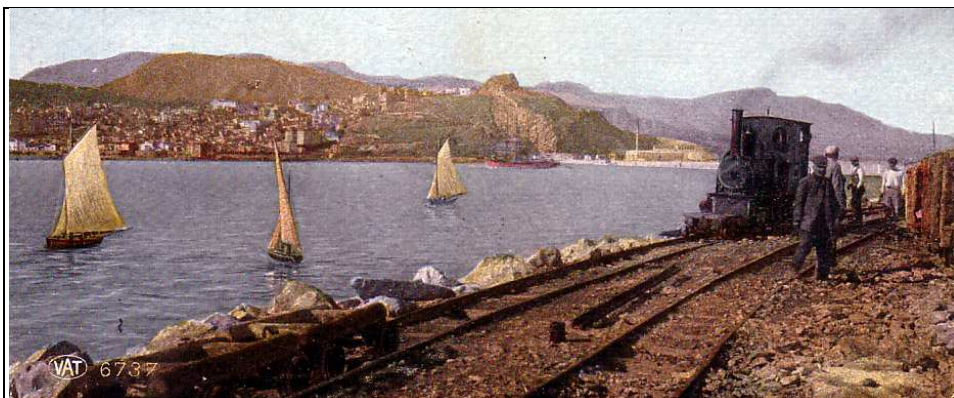


sedimenti dentro l'area portuale (ARCURI DI MARCO, 1961) ed innestando fenomeni erosivi.

Negli anni successivi, si tentò di porre un freno al problema dell'interrimento eseguendo numerose opere d'escavazione del fondale. Furono dragati 32482 m³ nel 1955 mentre venti anni dopo si giunse a 42739,79 m³, con punte di 80000 m³ nel 1956 e di 84100 m³ nel 1960. Al problema dell'interrimento, divenuto sempre più urgente, si aggiunsero anche gli effetti distruttivi di una serie di mareggiate invernali che finirono per scalzare alla base e fare crollare gran parte dell'edificio della Colonia Marina, minacciare la raffineria degli zolfi di Mormino. Il molo di sopraflutto fu progressivamente scalzato alla base e smembrato in più punti, soprattutto nella parte terminale dove era collocato il faro che finì per crollare.

Gli interventi di contrasto dell'erosione si limitarono alla realizzazione di barriere costituite da blocchi cementizi disposti specialmente lungo il fronte esterno della diga foranea. Ben presto è sorta quindi l'esigenza di ristrutturare il porto con la costruzione di una nuova diga foranea che oggi supera i 2400 m.

Il molo di sottoflutto del 1953 è stato sostituito con un molo trapezoidale, mentre ancora più ad E è stato realizzato un nuovo molo di sottoflutto (lungo circa 970 m). Nel contempo sono state attuate nuove opere di dragaggio.





Alcune fasi dei lavori di prolungamento del molo di sopraflutto nelle immagini fotografiche di M. Salvo (1906-8; 1909-10 c. e 1911 c.). Per il trasporto del materiale lapideo cavato dalla Rocca del Castello si impiegarono vagoni su linea ferrata trainati da una coppia di tori, successivamente sostituita da una piccola locomotiva a vapore. La foto in basso mostra il molo completato.



2. Opere previste in progetto

Il progetto prevede la riqualificazione ed il completamento dell'opera di sopraflutto del Porto di Termini Imerese in conformità a quanto previsto nel vigente Piano Regolatore del Porto.

Tutti gli interventi previsti tendono inoltre alla riqualificazione della infrastruttura, ai fini di un miglior e completo utilizzo di tutte le aree portuali.

In particolare il progetto prevede quattro differenti interventi:

1. il prolungamento della diga foranea di sopraflutto (dalla progr. 1205,00 m alla progr. 1455,00 m);
2. il rifiorimento della mantellata della diga foranea (dalla prog. 0,00 m alla prog. 1205,00 m);
3. il ripristino della banchina della diga foranea;
4. la realizzazione del martello terminale della banchina della diga foranea.

Per quanto non espressamente riportato si rimanda agli elaborati di progetto.



3. Lineamenti geologici

L'edificio strutturale dei Monti di Trabia-Termini Imerese è costituito da una serie di unità tettoniche sovrapposte, derivanti dalla deformazione miocenica di terreni meso - cenozoici appartenenti prevalentemente al Dominio Imerese *Auct.*

La successione di bacino e di margine di tale dominio, è costituita, dal basso verso l'alto, dai seguenti terreni:

- terrigeni e calcareo - marnosi (Formazione Mufara *Auct.*),
- calcareo - marnosi (Formazione Scillato *Auct.*);
- calcareo - dolomitici (Formazione Fanusi *Auct.*);
- calcareo - marnosi e carbonatico-silicoclastici (Formazione Crisanti *Auct.*);
- calcareo-marnosi (Formazione Caltavuturo *Auct.*)
- terrigeni (Flysch Numidico *Auct.*).

La tettonica compressiva miocenica ha prodotto il raccorciamento delle unità bacinali che si sono suddivise in una serie di scaglie tettoniche accavallate. Le deformazioni successive, nel Miocene medio-superiore sono attestate dalle discordanze angolari presenti nei bacini intra-montani, caratterizzati da depositi terrigeni ed evaporitici nell'area di Baucina e di Ciminna. Nel Pliocene medio-superiore, le deformazioni ulteriori sono associate a sistemi di faglie trascorrenti, con andamento NO-SE, che hanno determinato l'estrusione dei corpi tettonici geometricamente più bassi nell'edificio strutturale, agendo attraverso la riattivazione di discontinuità tettoniche preesistenti. Questo sistema è stato poi ritagliato da un altro, anch'esso trascorrente (generalmente trastensivo), con andamento NE-SO, ruotante sino a N-S e NNE-SSO, responsabile delle venute idrotermali.

Da un punto di vista strutturale, la Rocca del Castello di Termini costituisce la propaggine più settentrionale della "Unità Pizzo di Cane-Monte S. Calogero". Nel complesso trattasi di una grande struttura anticlinalica estesa dalla dorsale di Pizzo di Cane (Monti di Trabia) sino al rilievo del Monte S. Calogero, ripetutamente smembrata dalla tettonica distensiva quaternaria. Una serie di faglie dirette immergenti verso mare, con rigetti sovente superiori ai mille metri, responsabili delle



venute sorgentizie (es. le sorgenti di Brucato), ritaglia la struttura producendo sistemi costituiti da settori rialzati (“pilastri tettonici” od horst) e di settori ribassati (“fosse tettoniche” o graben).

Come già sostenuto pertanto, la Rocca del Castello è una struttura monoclinale immergente a N e bordata da faglie dirette, alcune responsabili delle emergenze idrotermali.

Le rocce che affiorano nella Rocca del Castello di Termini Imerese, appartengono alla cosiddetta Successione Imerese o Dominio Imerese, un antico margine marino, profondo alcune centinaia di metri, come testimonia la presenza di una fauna fossile tipica di mari profondi, abbastanza lontani dalla costa. Tali condizioni, francamente marine, si mantennero per circa 150 milioni di anni.

Le rocce più antiche della Successione Imerese sono costituite da argille policrome, passanti in alto ad una fitta alternanza di calcari marnosi e di sottili marne calcaree (Formazione *Mufara*, Carnico medio).

Seguono calcari marnosi selciferi con alternanze e/o intercalazioni di marne calcaree verdastre o rossastre (Formazione *Scillato*, Carnico superiore-Retico) non affiorano nella Rocca del Castello, ma sono ben esposte in altri siti del territorio di Termini Imerese. Queste rocce, che hanno una età compresa tra circa 219 e 227 milioni di anni fa (Carnico medio- Norico), si sono deposte nella parte inferiore o alla base di una scarpata marina non molto ripida e relativa piana sottomarina. La scarpata, fungeva da raccordo tra l’area di mare basso e l’attiguo bacino. Quest’ultimo riceveva apporti detritici, sia da una piattaforma retrostante, sia dalla stessa scarpata.

Su una superficie di erosione, seguono delle dolomie più o meno calcaree (Formazione *Fanusi*, Lias inferiore), per lo più mal stratificate, ben stratificate verso la sommità dove vi sono intercalazioni di marne verdastre ricche di aggregati di pirite. Queste rocce risultano costituite, da frammenti di organismi tipici di acque basse, i quali vennero risedimentati nel bacino attraverso canyons sottomarini o al piede delle scarpate. Talvolta gli elementi detritici sono talmente grossolani da costituire delle vere e proprie breccie a grossi elementi (megabreccie), legate sia ad abbassamenti del



livello marino e conseguente erosione della piattaforma, che ad eventi tettonici catastrofici.

Sulle dolomie, seguono in discordanza, dei calcari grigi (Formazione *Crisanti*, Lias medio - Cretaceo superiore), costituiti prevalentemente da articoli e piastrine di crinoidi (encriniti), alternate a marne verdi e rosse. A questo orizzonte seguono delle argille sottilmente laminate (fissili), più o meno silicee e livelli silicei ricchissimi di radiolari (radiolariti), con colori che vanno dal grigio verde al nerastro fino al rosso mattone. In origine tali livelli non erano altro che fanghi silicei, con tassi di sedimentazione molto lenta, attorno ad un millimetro ogni milione di anni. Vi erano pure dei fanghi carbonatici che venivano risedimentati nel bacino e che sono stati successivamente sostituiti dalla silice. Tra questi livelli, a più altezze, si inseriscono banchi più o meno estesi e potenti di rocce calcaree (da calcareniti a breccie calcaree), costituiti da frammenti di organismi di mare basso, quali coralli, idrozoi (Ellipsactinie), alghe e spugne calcaree, molluschi bivalvi etc. e verso l'alto da rudiste ed orbitoline.

I terreni precedentemente descritti sono accostati tramite una gradinata di faglie dirette alle argille del *Flysch Numidico* (Oligocene superiore - Miocene inferiore). Il Flysch Numidico non affiora nell'area in oggetto, essendo ricoperto dai depositi olocenici, ma costituisce il substrato di gran parte di Termini Bassa. Trattasi di argilliti sottilmente stratificate (lamine) bruno nerastre in profondità, giallastre se alterate, con intercalazioni lenticolari di arenarie quarzose (membro di Portella Colla del Flysch Numidico).

Le pendici SE della Rocca del Castello di Termini Imerese sono orlate da una fascia di *detriti di falda*, prevalentemente calcareo-dolomitici e subordinatamente carbonatico-silicoclastici, eterometrici, associati a *colluvi* (suoli bruno-rossastri rimaneggiati) con orizzonti di *stone line*.

La piana costiera sulla quale è edificata la parte bassa della città di Termini Imerese è, quindi, il prodotto del progressivo interrimento della rada. I *depositi di aggradazione - progradazione* (Olocene medio superiore) sono dati da sabbie e ghiaie



siltose francamente marine. di ambiente litoraneo, e da alluvioni sabbioso-siltose, con locali intercalazioni di lenti ciottolose.

Il cuneo di depositi di aggradazione - progradazione, poggia, in discordanza, direttamente sul Flysch Numidico pelitico oppure sul substrato mesozoico.

Nell'area oggetto di studio, infine, sono presenti estesi e potenti terreni di riporto costituito da materiali eterogenei: sono presenti generalmente frammenti di calcarei, variamente frammisti a limo, argilla, sabbia limosa o debolmente limosa e ghiaia grossolana. Si tratta infatti di un'area creata artificialmente mediante il progressivo interramento di questo tratto costiero della città; questo spiega l'elevato spessore di riporti riscontrati in perforazione.

Quanto esposto evidenzia la presenza di una copertura costituita da materiali di riporto con disomogenee proprietà litologiche e meccaniche per l'esistenza di litotipi con differenti caratteristiche di resistenza e permeabilità.

I risultati del rilievo geologico di dettaglio del sito in esame e delle aree circostanti, sono condensati nella carta geologica redatta in scala 1:6.000 di seguito allegata.



4. Lineamenti geomorfologici

La morfologia dell'area in oggetto è in stretta relazione con la natura dei terreni affioranti e con le vicissitudini tettoniche che, nel tempo, hanno interessato l'intera zona.

L'area ove ricade il porto di Termini Imerese, è rappresentata da una spianata allungata, limitata superiormente da un pendio acclive, mentre inferiormente è bordata dal mare.

Il bordo superiore della spianata, è caratterizzato da un pendio acclive, rappresentato da una scarpata e/o versante di linea di faglia. Questo lineamento tettonico ("*lineamento delle Terme*"), fa parte di un sistema di faglie a gradinata che ribassano progressivamente la successione imerese della Rocca del Castello di Termini Imerese sino a metterla a contatto con le coperture terrigene, prevalentemente argillose del Flysch Numidico. La scarpata di faglia del "*lineamento delle Terme*" è stata dapprima esaltata e messa in luce a causa dell'erosione selettiva (morfoselezione), tra i vari termini litologici della successione imerese (ed in particolare tra la litofacies calcareo - dolomitica delle Formazione Fanusi, e la sovrastante silicoclastica della Formazione Crisanti). La scarpata è poi arretrata progressivamente al piede della faglia a causa degli agenti esogeni che hanno intaccato e disseccato i termini calcareo-dolomitici, dando vita ad un versante, ed è stata in parte mascherata da accumuli detritici, colluviali e da depositi alluvionali fanglomeratici prodotti dai vari torrenti che solcano la Rocca del Castello.

La parte di valle, dove è alloggiato l'edificio delle Terme e dove si prevede di realizzare l'opera è invece il risultato dell'interazione tra fattori naturali ed antropici. Per quanto riguarda i fattori naturali, si riconoscono due fasi: nella prima, in concomitanza della fase di risalita e di stazionamento alto del livello marino durante il Versiliano, l'azione del mare ha determinato la formazione di una vasta spianata di abrasione marina, ritagliata nelle dolomie Fanusi, sul blocco ribassato sito immediatamente a valle del "*lineamento delle Terme*"; sulla quale si sono accumulati depositi costieri sabbioso-ciottolosi, nella seconda si è avuta una progressiva



progradazione verso il largo della costa, a causa degli apporti torrentizi, e nel contempo una vistosa aggradazione topografica. L'attività antropica, si è sommata ai fattori naturali, producendo, grazie alla realizzazione di strutture murarie e di ripetuti livelli di frequentazione, un ulteriore contributo all'aggradazione topografica.

L'area oggetto dello studio si sviluppa, come detto all'interno del Porto di Termini Imerese.

Nell'arco degli anni, l'assetto geomorfologico originario dell'area ha subito cambiamenti, i quali sono consistiti per lo più in sbancamenti e riporti che hanno consentito la costruzione delle strutture oggi esistenti e delle relative opere primarie e secondarie (strade, muri di contenimento, etc).

L'attuale configurazione geomorfologica di questo tratto di costa è stato completamente modificato dagli interventi antropici che si sono succeduti nel corso dei secoli, talora in maniera rilevante, soprattutto negli ultimi decenni a partire dal dopoguerra.

Nel complesso, si rileva una situazione abbastanza tranquilla ed un'attività morfogenetica molto ridotta dovuta al fatto che l'area risulta, come detto, fortemente urbanizzata.

L'andamento plano-altimetrico dell'area, congiuntamente ai litotipi che compongono il sottosuolo del sito garantiscono una buona stabilità.

Tali considerazioni, inoltre, risultano del tutto avvalorate dal fatto che sugli edifici prossimi all'area in esame risultano privi di lesioni e/o sconnessioni.

In ultimo, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativo all'*area territoriale tra il bacino del fiume Torto e quello del fiume San Leonardo (032)*, redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 05.03.2007, sulla G.U.R.S. n° 20 del 27.04.2007 e la zona di stretto interesse, non ricade in area a rischio ai sensi del predetto P.A.I.

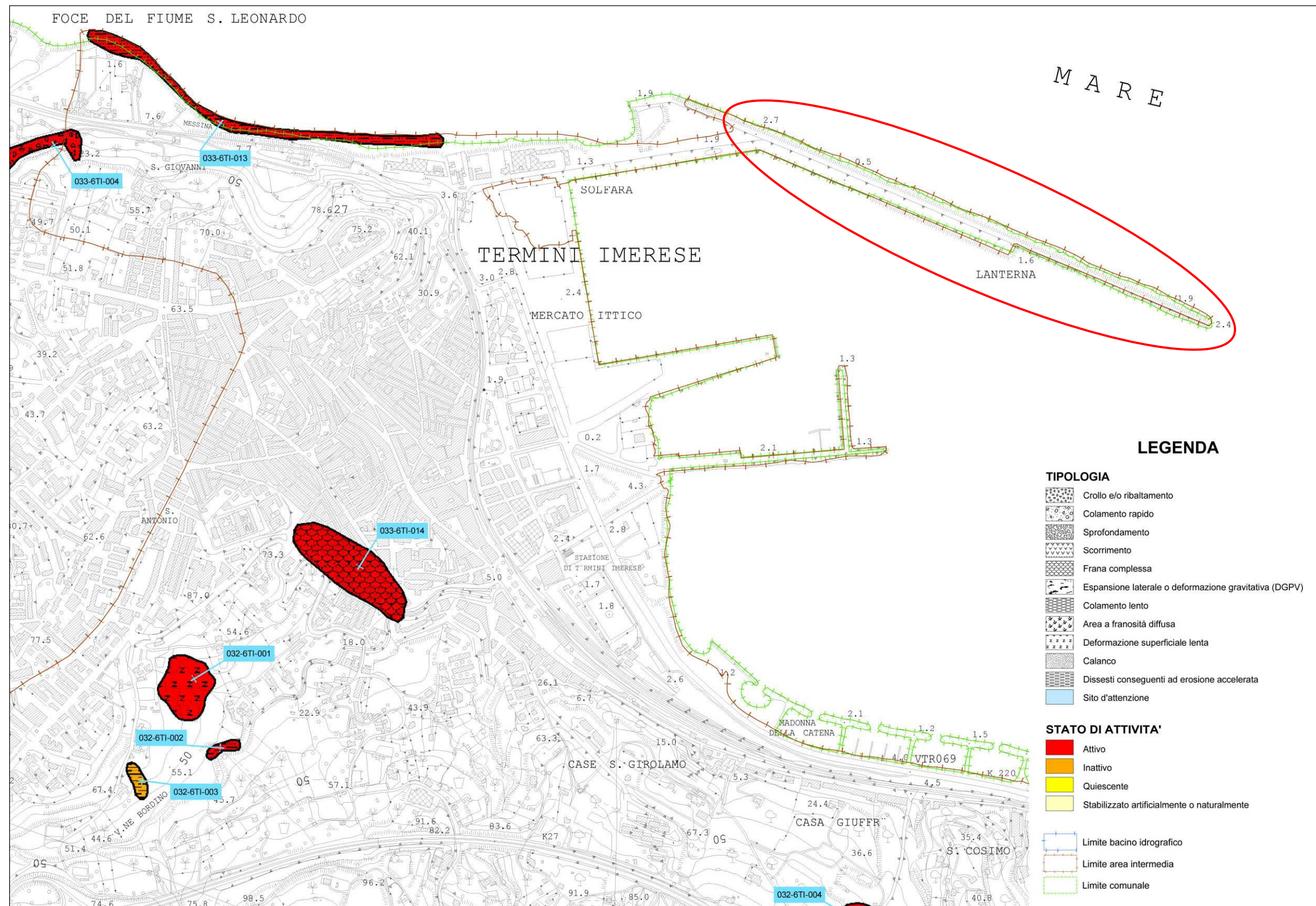
Pertanto, da quanto osservato, si desume che l'area è stabile e che le opere da realizzare non comporteranno l'innescarsi di fenomeni di instabilità anche localizzati.

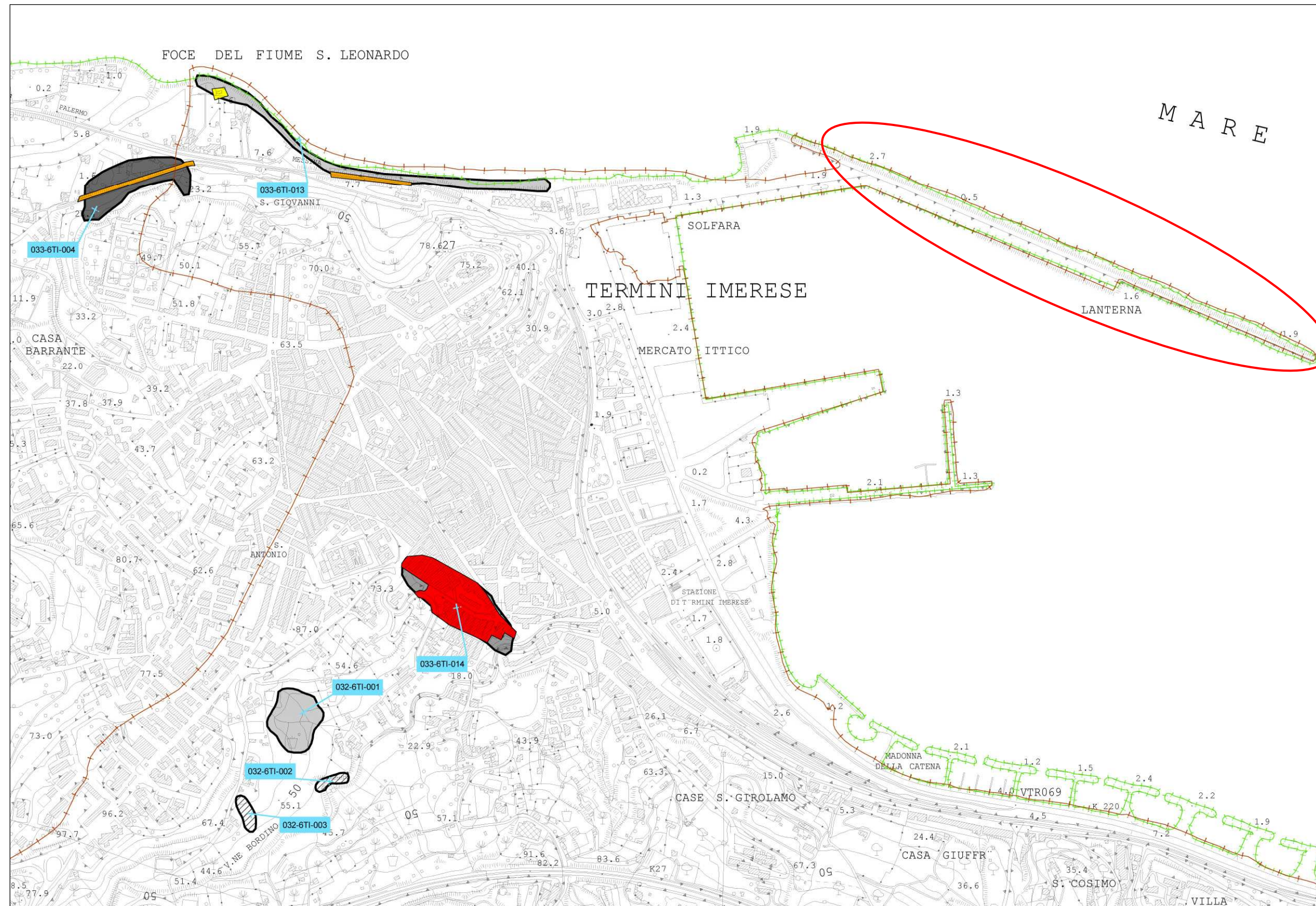


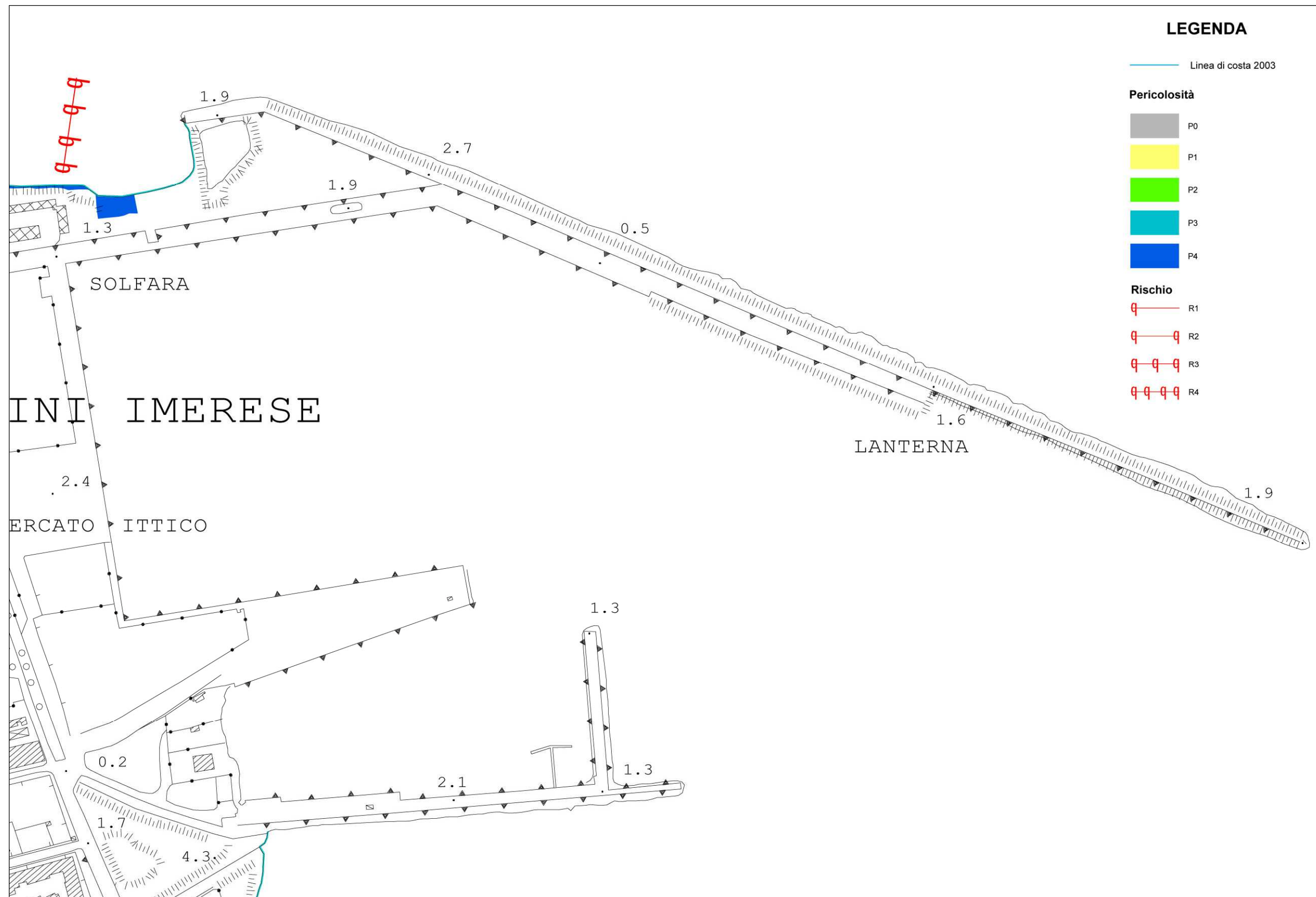
Di seguito si allegano inoltre uno stralcio della *Carta dei dissesti n° 1*, e uno stralcio della *Carta della pericolosità e del rischio geomorfologico n° 1*, relativa al PAI delle aree sopra indicate, con l'ubicazione delle aree di intervento.

Inoltre è stato preso in considerazione il piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico dell'*Unità Fisiografica n. 18 Capo Mongerbino - Porto di Cefalù*, approvata con Decreto Presidenziale del 2.11.2007 e pubblicato sulla G.U.R.S. n° 60 del 28.12.2007.

Di seguito si allega inoltre uno stralcio della *Carta della pericolosità e del rischio N°6-a*, relativa al PAI delle aree sopra indicate, con l'ubicazione dell'area di intervento.









5. Lineamenti idrogeologici

Dal punto di vista della “*permeabilità*”, cioè dell’attitudine che hanno le rocce nel lasciarsi attraversare dalle acque di infiltrazione efficace, si possono distinguere vari tipi di rocce:

- *rocce impermeabili*, nelle quali non hanno luogo percettibili movimenti d’acqua per mancanza di meati sufficientemente ampi attraverso i quali possono passare, in condizioni naturali di pressione, le acque di infiltrazione;
- *rocce permeabili*, nelle quali l’acqua di infiltrazione può muoversi o attraverso i meati esistenti fra i granuli che compongono la struttura della roccia (*permeabilità per porosità e/o primaria*), o attraverso le fessure e fratture che interrompono la compagine della roccia (*permeabilità per fessurazione e fratturazione e/o secondaria*).

Inoltre, in alcuni litotipi si manifesta una permeabilità “*mista*”, dovuta al fatto che rocce aventi una permeabilità primaria, sottoposte a particolari genesi, acquistano anche quella secondaria.

Di seguito, si evidenziano le caratteristiche idrogeologiche ed il ruolo che i litotipi presenti nell’area in studio, svolgono in funzione della varia permeabilità e dei reciproci rapporti spaziali.

- ***Complesso dei depositi di aggradazione-progradazione costiera (Olocene)***

Questo complesso è costituito dai depositi marini costieri ed alluvionali che hanno prodotto il progressivo interrimento della rada di Termini Imerese. Trattasi di depositi sabbioso-siltosi con, a luoghi, intercalazioni ciottolose, in matrice sabbioso-siltosa, in corpi lenticolari o tabulari. La presenza di tali corpi siltoso argillosi può determinare nel complesso la separazione di livelli a diversa permeabilità e potenza. La presenza di livelli a diverso grado di permeabilità permette, quindi, di definire tale complesso multifalda, poiché la falda ospitata in tali materiali è irregolarmente suddivisa in una serie di corpi idrici sovrapposti la cui quota piezometrica è alquanto variabile. La falda è alimentata anche dalle manifestazioni idrotermali e, a causa della relativa vicinanza con il mare, avviene un certo miscelamento con acque salmastre di



origine marina. La permeabilità può variare da 10^{-2} a 10^{-5} cm/s.

Il substrato è costituito da argille e marne con rare intercalazioni arenacee (Flysch Numidico).

I terreni che saranno oggetto dei lavori, sono sede di una falda idrica salmastra che è stata riscontrata nei sondaggi eseguiti a profondità di circa 2,5 m dal p.c.



6. Considerazioni litostratigrafiche

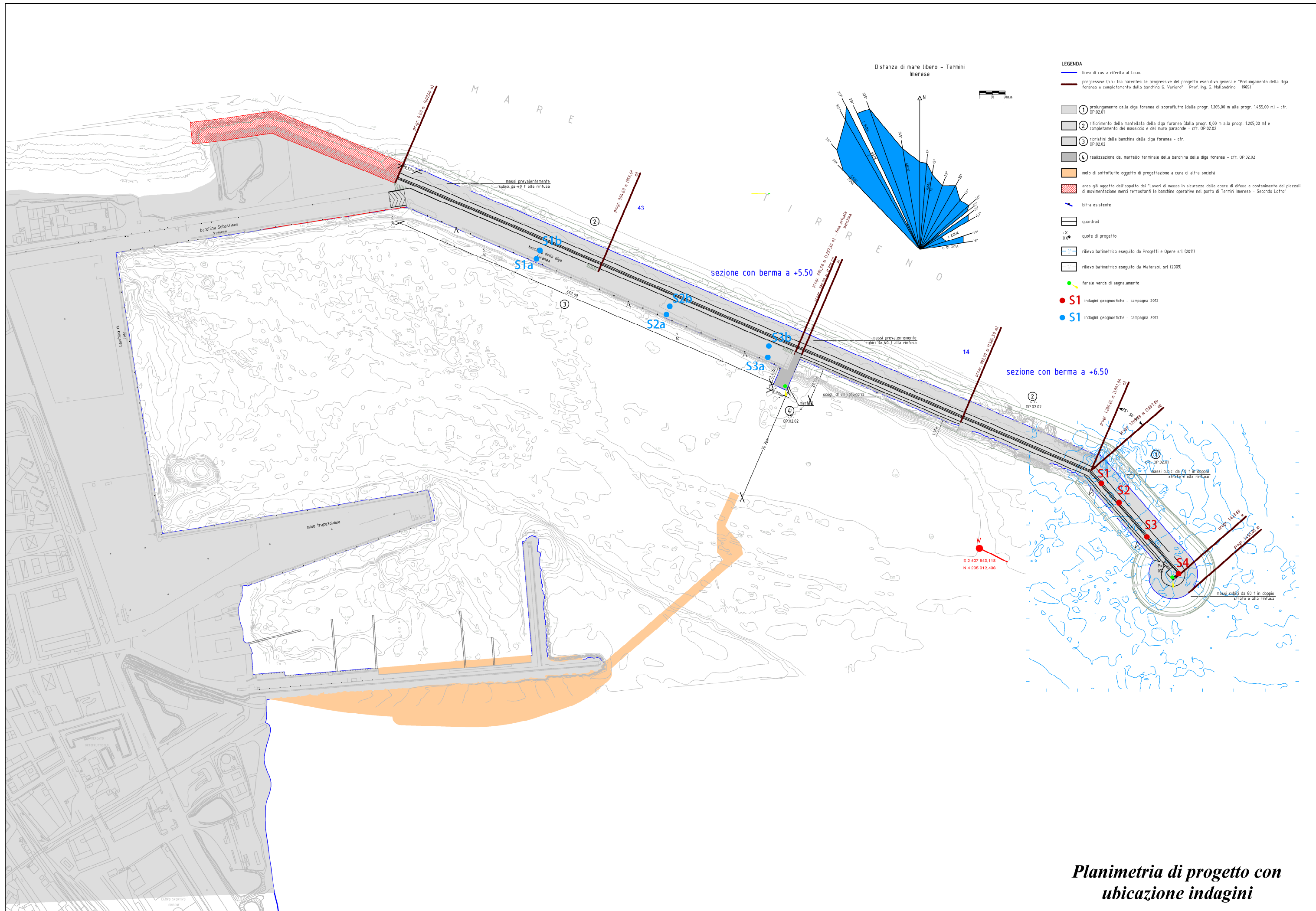
Al fine di poter meglio caratterizzare dal punto di vista litostratigrafico e geotecnico i terreni che compongono il sottosuolo dell'area in studio, come detto precedentemente sono, stati presi in considerazione le risultanze di due differenti campagne geognostiche eseguite dalla *GLOBALGEO S.r.l.*, rispettivamente nel novembre 2012 e nel giugno 2013.

La profondità raggiunta in ciascun sondaggio, il numero di cassette catalogatrici utilizzate e l'ubicazione degli stessi, sono riportate nelle seguenti tabelle. I sondaggi sono stati eseguiti, alcuni su moto pontone galleggiate, per le aree relative al prolungamento della diga foranea e altri sulla banchina del molo di sopralutto.

Sondaggio (n°)	Anno	Profondità (m)	Cassette (n°)	Ubicazione
1	2012	30.0	3	Prolungamento diga
2	2012	30.0	2	Prolungamento diga
3	2012	45.0	5	Prolungamento diga
4	2012	27.0	3	Prolungamento diga
1a	2013	16.0	2	Banchina
1b	2013	16.0	2	Banchina
2a	2013	15.0	2	Banchina
2b	2013	15.5	2	Banchina
3a	2013	9.0	1	Banchina
3b	2013	17.5	2	Banchina

Profondità raggiunte in ciascun sondaggio e numero di cassette catalogatrici utilizzate

Di seguito, verranno descritte le colonne litostratigrafiche ottenute dalla ricostruzione del materiale estratto.





Sondaggio S 1 (anno 2012)		
Profondità (m)	Litotipo	Simbolo
0.0 – 8.0	Mare	MR
0.0 – 1.0	Sabbie debolmente limose di colore grigio-nerastro, a grana grossolana, poco addensate	TR
1.0 – 2.5	Calcestruzzo e frammenti litoidi di natura calcilutitica di colore grigiastro a spigoli vivi e di dimensioni centimetriche	
2.5 – 6.0	Sabbie debolmente ghiaiose di colore marrone, poco addensate. La porzione ghiaiosa è costituita da frammenti litoidi di natura calcilutitica di colore grigiastro a spigoli vivi e dimensioni centimetriche	SL
6.0 – 30.0	Sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio-verdastro, a grana fine, poco addensati, compressibili, a luoghi dilavati dal carotaggio. Da metri 7,00 a metri 11,50 e da metri 17,00 a metri 20,00, si riscontra un livello limo-argilloso molto plastico e poco consistente	

Sondaggio S 2 (anno 2012)		
Profondità (m)	Litotipo	Simbolo
0.0 – 8.0	Mare	MR
0.0 – 3.5	Sabbie sciolte di colore marrone - verdastro, a grana grossolana	SL
3.5 – 30.0	Sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio-verdastro, a grana fine, poco addensati, compressibili, a luoghi dilavati dal carotaggio. Si riscontrano inclusioni millimetriche di gusci di fossili di molluschi.	

Sondaggio S 3 (anno 2012)		
Profondità (m)	Litotipo	Simbolo
0.0 – 10.0	Mare	MR
0.0 – 45.0	Sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio-verdastro, a grana fine, poco addensati, compressibili, a luoghi dilavati dal carotaggio. Da metri 12,00 a metri 14,00 si riscontra un livello limoso debolmente argilloso, molto plastico e poco consistente. Inoltre si riscontrano inclusioni millimetriche di gusci di fossili di molluschi.	SL

Sondaggio S 4 (anno 2012)		
Profondità (m)	Litotipo	Simbolo
0.0 – 11.0	Mare	MR
0.0 – 27.0	Sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio-verdastro, a grana fine, poco addensati, compressibili, a luoghi dilavati dal carotaggio. Da metri 5,00 a metri 8,00 si riscontra la presenza di ciottoli di natura eterogenea, aventi dimensioni centimetriche e forma sub-arrotondata. Inoltre si riscontrano inclusioni millimetriche di gusci di fossili di molluschi. La componente limosa aumenta con la profondità.	SL



Sondaggio S 1a (anno 2013)		
Profondità (m)	Litotipo	Simbolo
0.0 – 1.5	<i>Conglomerato cementizio con inclusi clasti di dimensioni centimetrici, a spigoli vivi, di natura prevalentemente calcarea</i>	TR
1.5 – 2.3	<i>Sabbie con inclusi frammenti litici a spigoli vivi di dimensioni centimetrici</i>	
2.3 – 2.5	<i>Argille sabbiose di colore dal giallo ocra al giallo scuro con inclusi frammenti litici a spigoli vivi di dimensioni centimetrici</i>	
2.5 – 12.0	<i>Sabbie con inclusi frammenti litici a spigoli vivi di dimensioni centimetrici</i>	
12.0 - 12.5	<i>Conglomerato cementizio con inclusi clasti di dimensioni da centimetrici a decimetrici, di origine calcarea</i>	
12.5 – 14.0	<i>Limi sabbiosi di colore nerastro con incluse sostanze organiche.</i>	SL
14.0 – 14.2	<i>Ghiaie poligeniche ed eterometriche</i>	
14.2 – 16.0	<i>Sabbie limose con inclusi rari frammenti litici di dimensioni millimetrici</i>	

Sondaggio S 1b (anno 2013)		
Profondità (m)	Litotipo	Simbolo
0.0 – 0.4	<i>Asfalto e sottofondo stradale</i>	TR
0.4 – 5.5	<i>Argille sabbiose di colore marrone chiaro con inclusi frammenti litici a spigoli vivi di natura calcarea di dimensioni da centimetrici a decimetrici. A luoghi i frammenti litici sono stati disgregati e dilavati dal carotaggio (da metri 2.50 a metri 5.30)</i>	
5.5 – 9.0	<i>Sabbie di colore da nerastro a giallastro con inclusi frammenti litici a spigoli vivi di dimensioni da centimetrici a decimetrici</i>	
9.0 – 10.0	<i>Blocchi calcarei di dimensioni eterometrici</i>	
10.0 – 10.3	<i>Sabbie con inclusi clasti sia a spigoli vivi che arrotondati di dimensioni da millimetriche a centimetriche</i>	SL
10.3 – 16.0	<i>Sabbie e sabbie limose di colore giallo ocra con inclusi rari frammenti litici di dimensioni millimetrici</i>	

Sondaggio S 2a (anno 2013)		
Profondità (m)	Litotipo	Simbolo
0.0 – 2.1	<i>Conglomerato cementizio con inclusi clasti di dimensioni centimetrici, a spigoli vivi, di natura prevalentemente calcarea. Da 0.20 metri a 1,00 metro disgregato e dilavato dal carotaggio</i>	TR
2.1 – 2.3	<i>Vuoto</i>	
2.3 – 2.8	<i>Argille di colore giallastro con inclusi clasti a spigoli vivi</i>	
2.8 – 5.5	<i>Blocchi calcarei</i>	
5.5 – 11.5	<i>Sabbie di colore brunastro con inclusi clasti a spigoli vivi di dimensione decimetrici</i>	
11.5 – 12.5	<i>Conglomerato cementizio (fondo cassone). Da metri 11,50 a metri 12,00 il conglomerato risulta disgregato e dilavato dal carotaggio.</i>	
12.5 – 15.0	<i>Sabbie limose giallo ocra con inclusi rari frammenti litici di dimensioni millimetrici</i>	SL



Sondaggio S 2b (anno 2013)		
Profondità (m)	Litotipo	Simbolo
0.0 – 0.4	Asfalto e sottofondo stradale	TR
0.4 – 2.5	Argille sabbiose di colore marrone chiaro con inclusi frammenti litici a spigoli vivi di natura calcarea di dimensioni centimetrici	
2.5 – 3.9	Clasti di origine calcarea di dimensioni decimetriche	
3.9 – 4.1	Argille sabbiose con inclusi frammenti litici	
4.1 – 8.5	Blocchi calcarei di dimensioni variabili da decimetriche a centimetriche a luoghi disgregati e dilavati dal carotaggio	
8.5 – 9.0	Ghiaie poligeniche con clasti sia a spigoli vivi che arrotondati di dimensioni da millimetriche a centimetriche	SL
9.0 – 15.5	Sabbie limose di colore giallo ocra con inclusi rari frammenti litici di dimensioni millimetrici	

Sondaggio S 3a (anno 2013)		
Profondità (m)	Litotipo	Simbolo
0.0 – 9.0	Conglomerato cementizio a luoghi disgregati dal carotaggio (si riscontrato armature in ferro a varie quote).	TR

Sondaggio S 3b (anno 2013)		
Profondità (m)	Litotipo	Simbolo
0.0 – 0.4	Asfalto e sottofondo stradale	TR
0.4 - 7.0	Argille sabbiose di colore marrone chiaro con inclusi frammenti litici a spigoli vivi di natura calcarea di dimensioni centimetrici	
7.0 – 10.0	Blocchi calcarei di dimensioni centimetriche a luoghi disgregati e dilavati dal carotaggio	
10.0 – 10.3	Ghiaie con clasti da millimetriche a centimetriche	SL
10.3 – 17.5	Sabbie limose di colore giallo ocra con inclusi rari frammenti litici di dimensioni millimetrici	

Per trarre alcune conclusioni si devono distinguere, le indagini eseguite nel 2012 nella zona relativa al prolungamento della diga foranea (S1, S2, S3 ed S4), le indagini eseguite sui cassoni nel 2013 (S1a, S2a ed S3a) e le indagini eseguite sull'area della banchina retrostante ai cassoni (S1b, S2b ed S3b).

I sondaggi ubicati nella zona del prolungamento, eseguiti nel 2012 su moto pontone galleggiante, sono stati effettuati tutti con una profondità del fondale marino compresa tra 8m (S1) e 11 (S4) metri.



Il sondaggio *S1* è caratterizzato da uno spessore di circa 2.50 metri di terreni (**TR**) costituiti da sabbie debolmente limose che sovrastano un battuto cementizio, interpretabile come il piede della parte terminale del molo di sopraflutto. Seguono i terreni in posto (**SL**), rappresentati da sabbie, sabbie limose e sabbie debolmente ghiaiose quaternarie.

I restanti tre sondaggi *S2*, *S3* e *S4*, invece intercettano per tutto il loro spessore terreni in posto del tipo (**SL**), costituiti da sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio-verdastro, a grana fine, poco addensati.

Per i sondaggi eseguiti sui cassoni (*S1a*, *S2a* ed *S3a*) si osserva, una certa uniformità sui primi due sondaggi (*S1a* e *S2a*), riscontrando la presenza del cassone fino alla profondità di 12.50 metri. I cassoni sono stati riempiti con terreni assolutamente eterogenei e classificabili come terreni **TR**. Il terzo cassone investigato con il sondaggio *S3a*, spinto fino alla profondità di 9 metri dal p.c., è stato completamente riempito di calcestruzzo, probabilmente per il fatto che è l'ultimo e si trova in posizione più esposta rispetto agli altri.

I cassoni poggiano poi sui litotipi in posto (**SL**) rappresentati da limi sabbiosi sabbie limose ghiaie sabbie.

Relativamente all'area della banchina retrostante ai cassoni (*S1b*, *S2b* ed *S3b*), questa risulta abbastanza omogenea e caratterizzata da una zona compresa tra 8.50 m (*S2b*) e 10 m (*S1b* e *S3b*) di terreni **TR**, seguiti dalla formazione in posto **SL**.



7. Interpretazione dati sismici eseguiti

Come detto in premessa, al fine di affinare le conoscenze stratigrafiche dell'area della banchina del molo di sopraflutto, sono stati eseguiti dalla *GLOBALGEO S.r.l.*, nel giugno 2013:

- n° 13 profili sismici acquisiti con 24 geofoni con interdistanza di 2 m ed elaborazione tomografica (onde P);
- n° 1 allineamenti di profili georadar acquisiti in una direzione con antenna a bassa frequenza (100 - 200 MHz);
- n° 3 prove sismiche attive MASW;
- n° 3 prove sismiche passive REMI.

Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato *Relazione sismica* della *GLOBALGEO S.r.l.*, con riportate le risultanze delle indagini.

Di seguito si farà un'analisi ed una interpretazione delle indagini eseguite.

7.1 Interpretazione Tomografia sismica

Di seguito sono rappresentati i risultati delle 13 tomografie sismiche (P1÷P13) eseguite lungo l'allineamento prescelto. La profondità di indagine massima raggiunta è risultata variabile da un minimo di 9 m ad un massimo di 18 m in funzione delle caratteristiche dei terreni, della loro successione e della qualità dei dati sperimentali acquisiti.

Il picking dei tempi di primo arrivo delle tracce sismiche provenienti dai punti di scoppio ha consentito di stimare i valori di velocità apparente del primo strato superficiale (onde dirette) e dei successivi strati rifrattori (onde rifratte). L'elaborazione dei dati ha consentito di ottenere le dromocrone, ricavate dalla regressione lineare dei tempi di primo arrivo ai 24 geofoni, derivanti dai 9 punti sorgente posizionati su ciascun allineamento.

Tutte le sezioni mostrano velocità sismiche delle onde longitudinali (V_p) comprese in un range di valori compreso tra un minimo di 300 m/s ed un massimo di 2200 m/s.



I sondaggi diretti di taratura (S1b, S2b ed S3b) indicati nelle sezioni sismiche P1, P5 e P10, hanno consentito di correlare le variazioni di velocità con la natura delle successioni stratigrafiche e quindi di interpretare tutte le sezioni utilizzando lo stesso riferimento. Ciò nonostante, l'evidenza dell'eterogeneità nella natura dei terreni di riempimento utilizzati per la realizzazione della struttura del molo, si riflette in modo chiaro nell'assenza di continuità spaziale degli stessi e nella mancanza di passaggi netti tra le velocità che caratterizzano i diversi materiali; tuttavia, il buon numero di dati disponibili e il confronto tra i risultati provenienti dall'integrazione delle diverse metodologie di indagine utilizzate, ha consentito di distinguere e di accorpare, con un buon grado di accuratezza, gruppi litologici riconoscibili e chiaramente identificabili entro un determinato range di velocità delle onde sismiche.

Come si evince dal confronto tra la tomografia P1 ed il sondaggio S3b, i primi 6 m di sottosuolo, costituiti da argille sabbiose con inclusi frammenti litici centimetrici di natura calcarea, sono caratterizzati da velocità delle onde P comprese tra 300 m/s e 650 m/s. Lo spessore di circa 3 m di blocchi calcarei centimetrici è caratterizzato da velocità comprese tra 1000 m/s e 1500 m/s, un'interfaccia, posta alla base del suddetto orizzonte, segna il passaggio con la successione delle sabbie limose caratterizzate da velocità comprese tra 1500 m/s e 2200 m/s.

La sezione tomografica P5 e il sondaggio S2b confermano il modello interpretativo sopra esposto, la coltre di terreno costituita dalle argille sabbiose risulta di spessore inferiore (circa 3 m) ed è compresa nel medesimo range di velocità (300-600 m/s), i blocchi calcarei centimetrici sono caratterizzati da velocità comprese tra 600 m/s e 1500 m/s e risultano presenti fino ad una profondità di circa 9 m, il passaggio graduale a velocità massime di 2200 m/s indica la transizione verso il "substrato" costituito dalle sabbie limose.

La tomografia P10, eseguita in corrispondenza del sondaggio S1b, evidenzia lo spessore di terreno di riporto costituito da argille sabbiose fino ad una profondità di circa 5 m con velocità comprese tra 300 m/s e 600 m/s. Un graduale aumento di velocità fino a valori prossimi a 1600 m/s contrassegna il passaggio con le sabbie limose.



Un'attenta analisi di tutte le sezioni tomografiche, effettuata con il medesimo strumento interpretativo utilizzato per le sezioni "tarate", non ha evidenziato anomalie significative quali inversioni di velocità che potrebbero essere correlate con presenza di vuoti o di zone particolarmente alterate, talune particolari geometrie nella distribuzione della velocità delle onde elastiche sono da imputare alla eterogeneità nella natura dei sedimenti, alla presenza di blocchi rocciosi di dimensioni maggiori e alla presenza dell'acqua, le onde P, infatti, risultano particolarmente sensibili alla saturazione del sedimento che attraversano, a differenza delle onde S (onde di taglio) la cui velocità di propagazione è sostanzialmente indipendente dal contenuto d'acqua dei sedimenti.

7.2 Interpretazione georadar

L'elaborazione dei dati, relativi a tutti i profili, ha consentito di ricavare un'interpretazione 2D di tutte le sezioni radar.

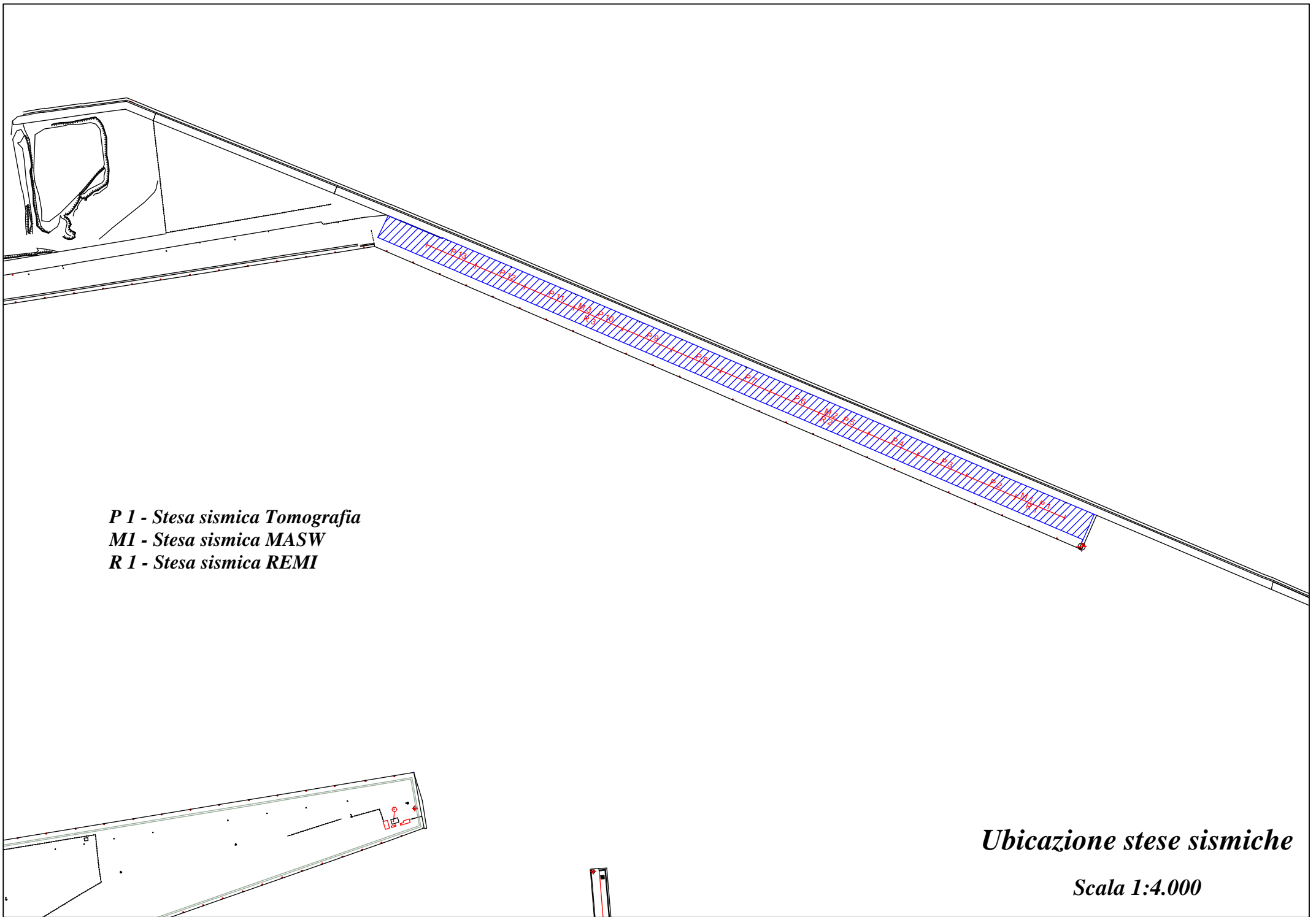
La presenza di acqua marina a 3 m di profondità ha richiesto operazioni di filtraggio molto spinte e ha reso difficoltosa l'interpretazione dei dati oltre tale interfaccia, pertanto, gran parte delle informazioni ottenute dall'analisi dei profili sono imputabili al primo spessore di terreno identificato e descritto dai sondaggi geognostici S1b, S2b ed S3b.

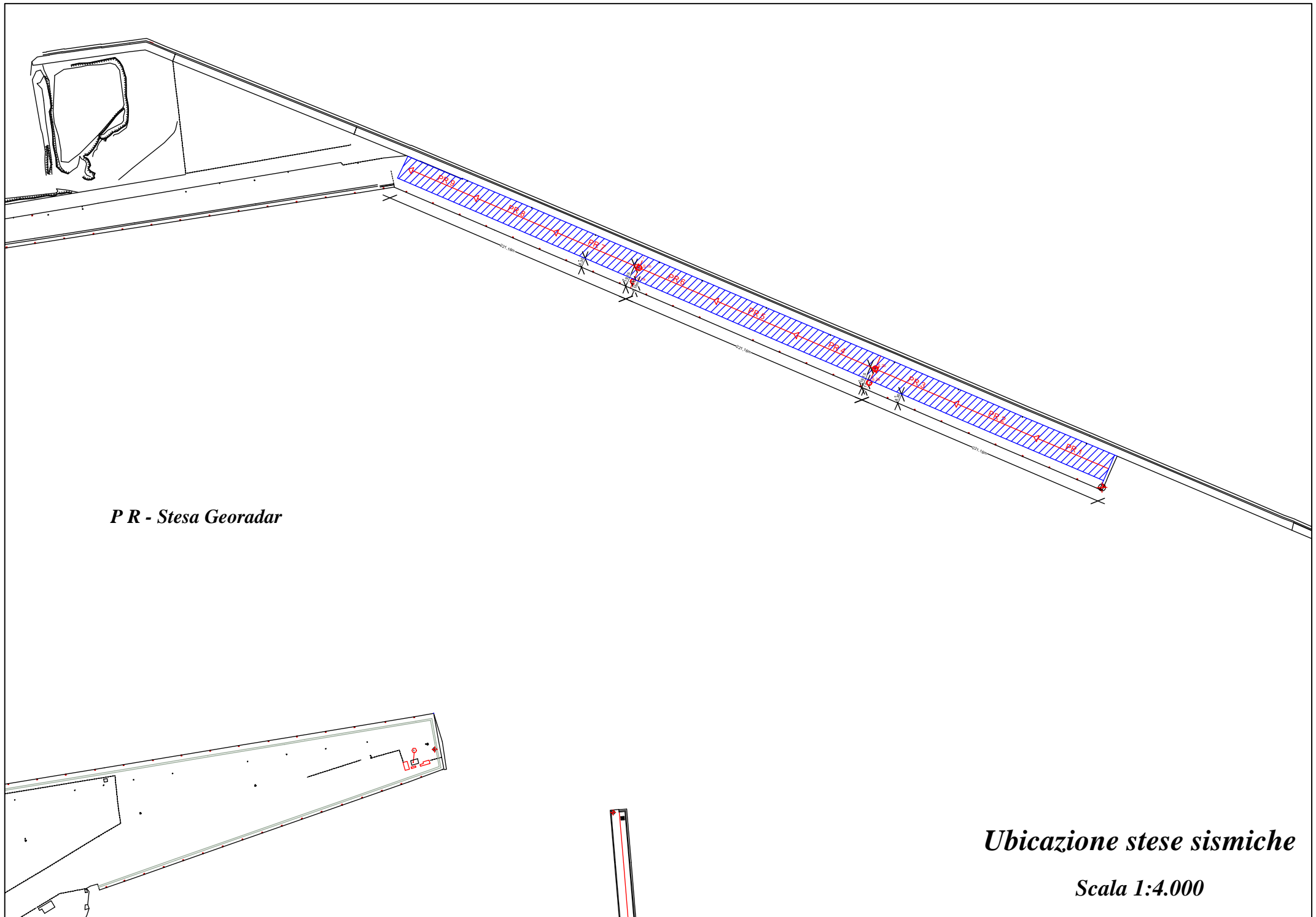
In tutti i profili, entro i primi 3 metri di profondità, sono state evidenziate con iperboli in giallo, numerose riflessioni interpretabili come discontinuità fisiche presenti nella coltre di riporto superficiale; l'indubbia natura eterogenea dei terreni caratterizzata da forti variazioni di alcuni parametri quali il grado di cementazione, la presenza di livelli sabbiosi, le variazioni di porosità, l'inclusione di frammenti e blocchi litici di varie dimensioni, etc., incide in maniera sostanziale sulla risposta alla propagazione delle onde elettromagnetiche nei mezzi attraversati come conseguenza di variazioni nelle caratteristiche dielettriche.

La forma e le dimensioni delle anomalie, nonché il necessario confronto con i risultati delle sezioni sismiche tomografiche, consentono di ipotizzare e circoscrivere



la presenza di porzioni maggiormente alterate all'interno della coltre superficiale che risulta costituita in prevalenza da argille sabbiose con inclusioni di elementi litoidi; in conclusione, le evidenze sperimentali rappresentate dalle basse velocità delle onde P e dalla presenza di anomalie elettromagnetiche possono essere interpretate come conseguenze di fenomeni di dilavamento e di processi erosivi subiti da alcune porzioni del terreno di riporto ma portano ad escludere la presenza di vere e proprie cavità o scavamenti di dimensioni significative.





P R - Stesa Georadar

Ubicazione stese sismiche

Scala 1:4.000



8. Analisi e test di laboratorio

Durante le due campagne geognostiche effettuate nel novembre 2012 e nel giugno 2013, sono state eseguite analisi e tests di laboratorio, dalla “Geo Cima S.a.s.” di Carlo Cibella e C.

Tali indagini sono consistite in analisi sulle caratteristiche fisiche e da prove meccaniche dei terreni che verranno interessati dalle opere di cui all’oggetto.

Di seguito vengono riportati brevemente in uno schema riepilogativo delle analisi e prove effettuate.

Sondaggio	S. 1	S. 2			S. 3					S.4	
Campione	1	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2
Profondità	3.0	3.0	17.5	23.0	4.0	14.0	20.0	24.0	30.0	10.5	26.0
Riconoscimento e descrizione	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
γ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
γ_s	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
w_n	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
w_p	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
w_L	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Analisi granulometrica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Caratteristiche fisiche (anno 2012)

Sondaggio	S. 1	S. 2			S. 3					S.4	
Campione	1	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2
Profondità	3.0	3.0	17.5	23.0	4.0	14.0	20.0	24.0	30.0	10.5	26.0
$\gamma(KN/m^3)$	19,59	19,19	19,22	19,27	20,36	19,32	19,57	19,71	19,66	19,27	19,97
$\gamma_s(KN/m^3)$	26,00	26,18	26,69	26,64	26,04	26,14	26,54	26,29	26,32	26,55	26,52
$\gamma_d(KN/m^3)$	15,74	15,51	14,89	15,01	16,94	15,24	15,50	16,08	15,72	15,11	16,54
$w_n(\%)$	24,50	23,72	29,13	28,36	20,18	26,78	26,26	22,59	25,12	27,53	20,71
$W_L(\%)$	22,68	22,39	30,78	29,39	18,11	29,15	25,02	21,03	25,15	28,62	22,11
$W_p(\%)$	-	-	13,75	14,24	-	17,64	-	-	-	14,13	-
$S(\%)$	99,56	91,95	99,92	99,43	99,71	99,69	99,68	95,32	99,86	98,40	92,78
$N(\%)$	39,47	40,77	44,23	43,64	34,94	41,71	41,60	38,84	40,29	43,08	37,62

Caratteristiche fisiche (anno 2012)



Sondaggio	S. 1	S. 2			S. 3					S.4	
Campione	1	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2
Profondità	3.0	3.5	17.5	23.0	4.0	14.0	20.0	24.0	30.0	10.5	26.5
c_u (kPa)	59,38	61,76	14,11	18,03	62,47	14,81	47,95	52,08	30,85	18,55	72,31
c' (kPa)	-	16,67	6,66	-	6,66	-	-	-	-	33,3	-
ϕ (°)	37	32	-	41	-	-	-	-	30	-	37
K_v (cm/s)	1,54E-08	1,75E-08	1,87E-09	4,82E-09	1,88E-08	1,77E-08	9,04E-09	1,57E-08	1,33E-08	1,61E-08	1,24E-08

Caratteristiche meccaniche (anno 2012)

Sondaggio	S1a		S2a			S1b			S2b			S3b		
Campione	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Profondità	13.0	16.0	13.0	14.0	15.0	12.5	14.0	16.0	13.0	14.6	15.0	13.0	15.0	17.0
Riconoscimento e descrizione	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
γ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
γ_s	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
w_n	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Analisi granulometrica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Caratteristiche fisiche (anno 2013)

Sondaggio	S1a		S2a			S1b			S2b			S3b		
Campione	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Profondità	13.0	16.0	13.0	14.0	15.0	12.5	14.0	16.0	13.0	14.6	15.0	13.0	15.0	17.0
γ (KN/m ³)	18,30	17,94	17,90	18,79	17,92	18,09	17,45	18,64	18,24	18,85	18,05	18,39	17,55	18,67
γ_s (KN/m ³)	26,49	26,41	26,54	26,35	26,43	26,42	26,37	26,32	26,56	26,36	26,30	26,51	26,47	26,45
γ_d (KN/m ³)	15,17	15,21	15,24	16,01	15,07	15,97	14,59	16,06	15,70	16,76	16,06	15,63	14,70	16,01
w_n (%)	20,60	17,92	17,43	17,36	18,95	13,23	19,60	16,02	16,14	12,43	12,43	17,60	19,35	16,63
S (%)	74,53	65,55	63,60	72,19	67,69	54,46	65,21	67,28	63,17	58,32	52,23	68,34	65,21	68,72
n (%)	42,72	42,38	42,57	39,24	42,99	39,53	44,67	38,97	40,89	36,41	38,94	41,03	44,45	39,47

Caratteristiche fisiche (anno 2013)

Relativamente alla loro completa elaborazione si rimanda alla relazione geotecnica che costituisce parte integrante del progetto.



9. Prove in situ: Standard Penetration Test (S.T.P.)

Per ottenere valori quantitativi sulla resistenza alla penetrazione dei terreni attraversati durante le fasi di avanzamento dei sondaggi sono state effettuate delle prove in situ.

Specificatamente sono state eseguite, lungo la verticale di ciascun sondaggio prove penetrometriche S.T.P.

Le caratteristiche dello strumento utilizzato sono quelle “standard” dell’attuale Normativa Italiana come proposto da: ASTM 1586/68, “Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soil” e precisamente:

- punta conica chiusa di 60° con diametro esterno di 51 mm;
- aste con diametro interno di 34.1 mm, diametro esterno di 43.7 mm e peso di 6 kg per metro; massa battente di peso 63.5 kg;
- altezza di caduta di 76.2 cm

Le prove sono state eseguite nell’ambito delle indagini geognostiche ed i risultati ottenuti vengono riportati nelle seguenti tabelle:

Sondaggio	Anno	Profondità (m)	Numero di colpi / avanzamento di 15 cm			Indice N_{30}
			N_1	N_2	N_3	
1	2012	16	2	5	7	12
2	2012	6.5	4	2	4	6
		18.5	8	12	19	31
		24.5	10	15	22	37
3	2012	3	3	3	3	6
		10	6	6	8	14
		16	7	11	15	26
		21.5	8	13	20	33
		25	10	16	29	45
		31	9	19	27	46
		35	14	24	33	57
40	19	28	37	65		
1a	2013	13	3	3	4	7
		15	4	4	6	10



1b	2013	12.5	4	8	6	14
		15	8	10	14	24

2a	2013	13	6	6	10	16
		15	10	10	13	23

2b	2013	10	10	8	2	10
		12	4	5	9	14
		15	10	11	13	24

3b	2013	13	7	8	10	18
		15	6	6	8	14
		17	10	8	10	18



10. Pericolosità sismica locale

La pericolosità sismica di un territorio va intesa come la stima dello scuotimento del suolo previsto in un certo sito durante un certo periodo di tempo a causa dei terremoti.

La progettazione di strutture in zona sismica, a parità di criteri progettuali e metodi di verifica, assume, per una stessa costruzione, una forte differenziazione a seconda del sito dove viene edificata. Appare evidente infatti che la progettazione sia influenzata in maniera determinante dalla probabilità che ha il sito, in un determinato periodo di tempo, di essere soggetto ad eventi sismici di una certa magnitudo. Per poter eseguire una corretta progettazione strutturale è allora necessario conoscere questo livello di pericolosità sismica della zona dove si andrà ad edificare la struttura. Operativamente le informazioni che quantificano le probabilità che i terremoti di una certa magnitudo, con specifico periodo di ritorno, colpiscano le varie zone di un territorio, costituiscono la classificazione sismica. Per essa si intende appunto una suddivisione del territorio nazionale in zone alle quali vengono attribuiti valori differenziali del grado di sismicità, atti a definire il livello di rischio sismico per le costruzioni che in esse sono edificate. Per questo motivo la classificazione sismica viene anche chiamata mappa della pericolosità sismica.

In Italia la normativa in merito è stata aggiornata con l'Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003 *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*.

L'aspetto di maggiore rilievo introdotto dall'Ordinanza 3274 è costituito senza dubbio dai nuovi criteri di classificazione sismica del territorio nazionale, necessari proprio per coprire questa grave lacuna lasciata irrisolta dalla normativa precedente. L'Ordinanza suddivide a tal fine l'intero territorio nazionale in quattro zone di sismicità, individuate in base a valori decrescenti di “accelerazioni massime” al suolo (*Figura 1*).

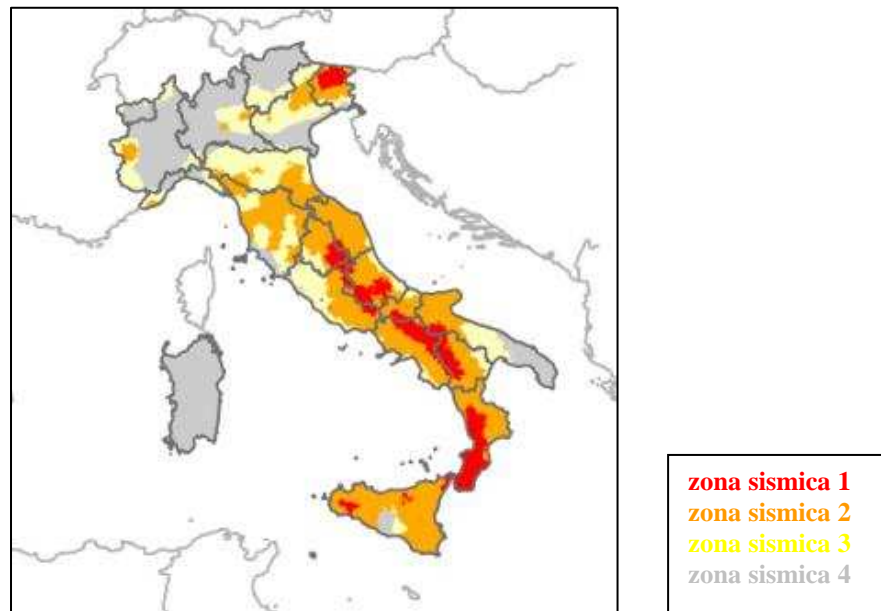
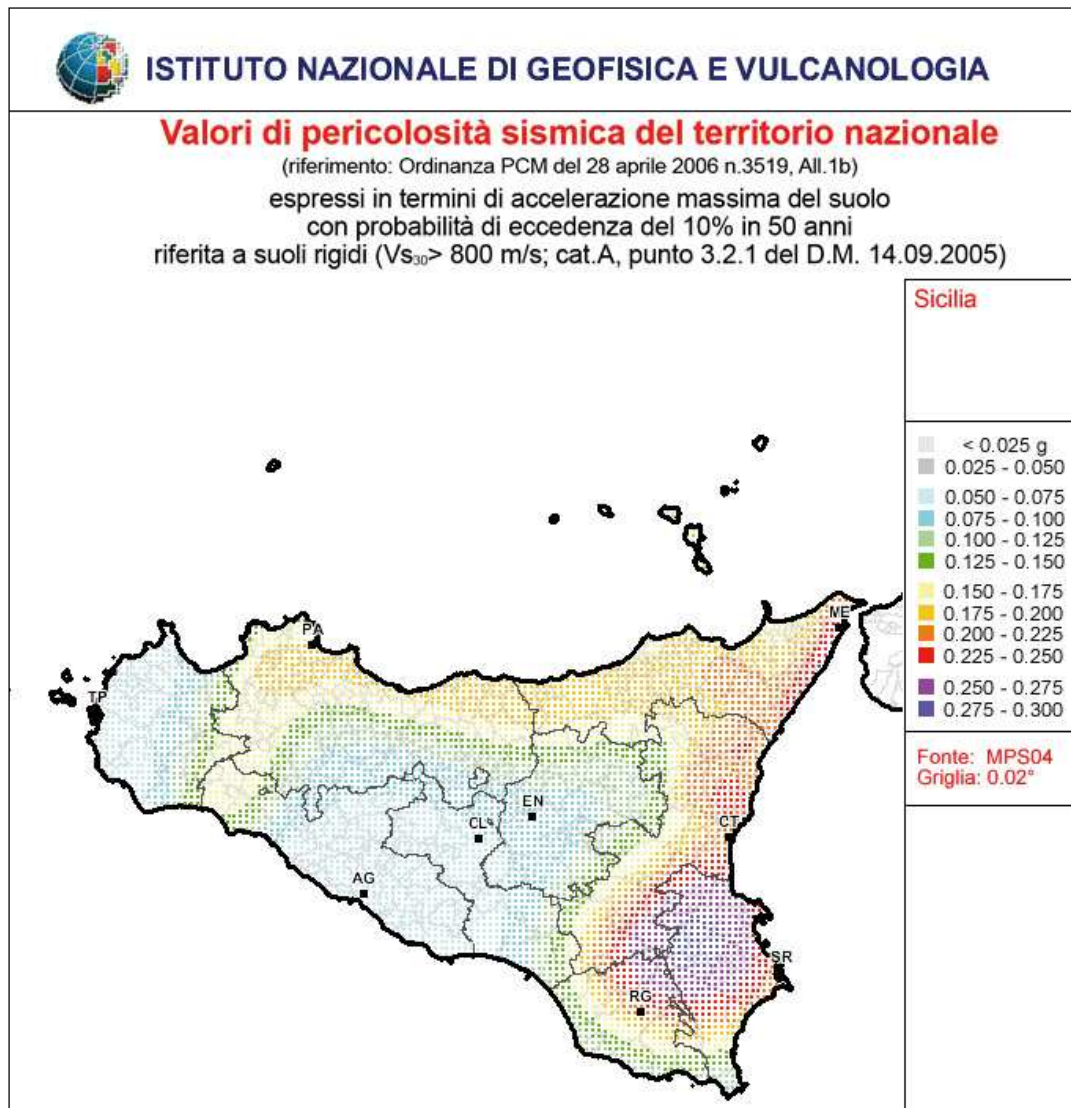


Figura 1

Per queste zone le norme indicano quattro valori di accelerazioni orizzontali (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico. In particolare ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, secondo la tabella seguente:

Zona Sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g/g]
1	$> 0,25$	0,35
2	0,15 – 0,25	0,25
3	0,05 – 0,15	0,15
4	$< 0,05$	0,05

L'assegnazione di un territorio ad una delle quattro zone suddette avviene mediante le valutazioni di a_g (con tolleranza 0,025g) rappresentate in termini di curve di livello con passo 0,025g.



L'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003 disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azione sismica, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni. L'obiettivo fondamentale della norma è di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi della Protezione Civile. Rispetto alla normativa nazionale precedente, basata su concetti di carattere convenzionale e puramente prescrittivi, l'Ordinanza 3274 punta a favore di una impostazione esplicitamente prestazionale, nella quale gli obiettivi della progettazione che la norma si prefigge



vengono dichiarati, ed i metodi utilizzati allo scopo (procedure di analisi strutturale e di dimensionamento degli elementi) vengono singolarmente giustificati. A tal fine, novità di assoluto rilievo, è l'adozione di un solo e unico metodo per le procedure di calcolo e verifica strutturale, il “metodo agli stati limite”, con il conseguente abbandono definitivo del “metodo delle tensioni ammissibili”.

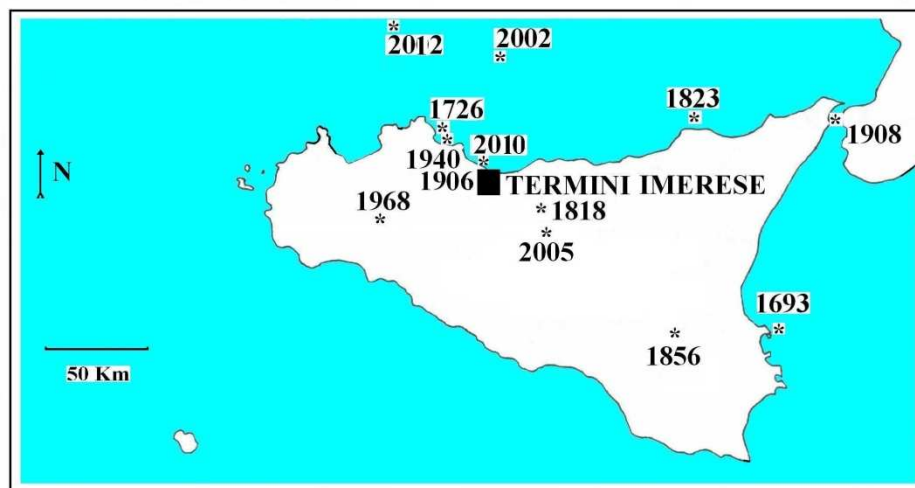
Il territorio di Termini Imerese, da quanto riportato nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica n. 105 del 08.05.2003 - supplemento ordinario n. 72, ai sensi dell'Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003, “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*” è stato definito di classe “2”.

11. Catalogo degli eventi sismici che hanno interessato l'area dal 1693 al 2012

Per l'abitato di Termini Imerese, si è ricostruita la serie degli eventi sismici che lo hanno interessato dal 1693 al 2012. La serie sismica sino al 2005 è stata ricavata da CONTINO (2005) e opportunamente integrata sino al 2012.

Gli effetti più interessanti si sono manifestati in relazione alle sorgenti termali che hanno avuto variazioni di portata, di temperatura, di chimismo, di colorazione e dei punti di recapito (sismi del 1823, 1908, 1968, 2002). Da notare che i sismi che hanno prodotto danni a Palermo (1 settembre 1726, 15 gennaio 1940), nelle Madonie (8 settembre 1818, 24 febbraio 1819) e nel Messinese (28 dicembre 1908) non ne hanno determinato di particolari in Termini Imerese. A partire dalla fine del XIX secolo e sino all'inizio del XX secolo funzionò nella cittadina una stazione sismica fondata dal prof. Saverio Ciofalo (cfr. CIOFALO, 1909).

Nello specifico, gli eventi che hanno generato danni nell'area urbana di Termini Imerese sono avvenuti nel 1823 e nel 1906.



Epicentri dei sismi che hanno avuto risentimento in Termini Imerese

11 gennaio 1693 - Questo sisma che distrusse Catania ed i paesi della Val di Noto (GUIDOBONI *et alii*, 2001), lasciò indenne la città di Termini Imerese, anche se determinò una rilevante diminuzione di portata del gruppo sorgentizio Favara -



Scamàccio ubicato a sud dell'abitato di Termini Imerese (CONTINO *et alii*, 2004a, CONTINO *et alii*, 2007). Tale gruppo sorgentizio (portata 59,7 l/s) alimentava dieci giardini nelle vicine contrade, il Vallone Concerie (affluente della Barratina) e, grazie ad un acquedotto, sei fontane pubbliche dentro la città. Il sisma produsse la riduzione ad un terzo della portata complessiva (circa 20 l/s) ed il crollo di un tratto della condotta idrica che conduceva l'acqua a Termini, per una lunghezza superiore ai 300 m, con conseguente interruzione dell'approvvigionamento idrico sino alla data dell'11 gennaio 1726, allorché fu inaugurato il nuovo allaccio (CONTINO & MANTIA, in ROMANO, 1997).

Nel 1726, dopo i lavori effettuati dall'ingegnere idraulico Francesco Kocler, la portata complessiva della sorgente era salita a poco meno di 30 l/s (CONTINO & MANTIA, in ROMANO, 1997), cioè la metà circa di quella *ante* 1693. In seguito, le portate sono state alquanto variabili e la sorgente non ha mai reintegrato quelle originarie, ed attualmente sono irrisorie (CONTINO *et alii*, 2004). Da notare che il terremoto produsse la comparsa temporanea di una sorgente lungo il litorale di Termini, presso le Terme (fuori la *Porta della Piscaria*, presso l'attuale Via Felice Cavallotti) e si dispose che l'uso fosse destinato ai forestieri che approdavano nella rada per i loro commerci (CONTINO & MANTIA, in ROMANO, 1997).

1 settembre 1726 - Questo terremoto, con intensità V, danneggiò seriamente la città di Palermo (GUIDOBONI *et alii*, 2003). CIOFALO (1909) si limita a ricordare che, per lo scampato pericolo, il clero di Termini Imerese celebrava ancora il *Te Deum* di ringraziamento con laudi ai santi patroni della città.

5 Febbraio 1783 - Anche questo sisma (intensità XI), che fu particolarmente funesto nel Reggino e nel Catanzarese (CARROZZO *et alii*, 1975), è ricordato, in maniera sommaria, da CIOFALO (1909) che attesta la celebrazione, da parte del clero locale, del *Te Deum* di ringraziamento per lo scampato pericolo.

1818-19 - Uno sciame sismico riguardò principalmente le Madonie, ma fu avvertito a Termini (8 settembre 1818 e 25 febbraio 1819, cfr. CIOFALO, 1909).

5 marzo 1823 - Il sisma, interessò inizialmente l'area di Barcellona Pozzo di Gotto e di Naso, poi fu avvertito a Cefalù (si ebbe un piccolo *tsunami* al largo) nonché a



Palermo (GUIDOBONI *et alii*, 2003). A Termini, il terremoto fu percepito mezzora prima dell'Avemaria (h. 23,30 d'Italia) e le scosse *furono ondulatorie da mezzogiorno a tramontana a reiterate riprese e sussultorie con molta veemenza, della durata di circa 20 minuti secondi* (GARGOTTA, 1823). Il sisma determinò una colorazione rossiccia delle acque termali che perdurò per due giorni (GARGOTTA, 1823), mentre la temperatura alle scaturigini salì a 47,5°C e la portata quasi quadruplicò. Sono altresì documentati gli abbassamenti ed innalzamenti del livello piezometrico della falda idrotermale in alcuni pozzi appartenenti a privati ubicati nella parte bassa della cittadina (SCINÀ, 1823; CIOFALO, 1924). Nella parte alta della città, il terremoto danneggiò diversi edifici: il convento di S. Antonio da Padova, ed il quartiere *all'entrata della Porta di Palermo* (dove le case lesionate, per contrastare le rotazioni fuori piombo dei muri portanti, furono puntellate) e nella parte bassa di Termini, il Collegio di Maria (CIOFALO, 1909). Il quadro fessurativo, inizialmente di poca entità peggiorò nel tempo a seguito delle repliche del 6 marzo e del 1 aprile (BARATTA, 1901). I danni al Convento di S. Antonio ed al Collegio di Maria sono stati spiegati da CONTINO (2005) come il risultato di *effetti di sito* legati alla locale stratigrafia dei due edifici. Il sisma danneggiò anche il piedritto meridionale della cupola (che dieci anni dopo fu opportunamente armata con piastre metalliche e chiodata), la navata centrale e quella laterale sinistra della chiesa dell'Annunziata (CONTINO & MANTIA, 2001b e CONTINO, 2005).

5-6 agosto 1854 - Il sisma interessò principalmente il Cosentino. Per *molti giorni*, secondo quanto riferisce CIOFALO (1909), *furono avvertite a Termini forti scosse che non produssero alcun danno*. Invece, CONTINO & MANTIA (2001b), hanno dimostrato che il sisma produsse danni alla chiesa dell'Annunziata aggravando il quadro fessurativo prodotto dal sisma del 1823 a cui si aggiunsero le infiltrazioni d'acqua piovana, attraverso le lesioni, che danneggiarono gli interni e l'arredo delle cappelle della navata laterale sinistra.

12 ottobre 1856 - Gli effetti di questo sisma sono stati documentati a Termini, su base archivistica e per la prima volta, da CONTINO & MANTIA (2001b). Il terremoto determinò un aggravamento del quadro fessurativo della Chiesa dell'Annunziata



sovrapponendo i suoi effetti a quelli del sisma del 1854. Il sisma (intensità VII grado) interessò soprattutto la Sicilia orientale ed in particolare l'area di Mineo (cfr. POSTPISCHL, 1985). CIOFALO (1909), basandosi su fonti orali (*dai vecchi del paese*) menziona un sisma che sarebbe avvenuto nel febbraio 1857, riferendo che delle forti scosse furono avvertite dalla popolazione e non si ebbero danni. Tuttavia, di un terremoto avvenuto in area meridionale in tale anno non si ha traccia alcuna nei repertori sismici (cfr. POSTPISCHL, 1985, BOSCHI *et alii*, 1999). La *Lettera del Signor Intendente del 18-9-1857* (CONTINO & MANTIA, 2001b) citando gli eventi sismici pregressi menziona solo quelli del 1854 e 1856; per tale ragione, la data riportata da CIOFALO (1909) è da ritenersi inattendibile.

7 aprile 1896 - Alle ore 0 e 45 minuti *due scosse a breve distanza fra loro accompagnate da rombo e nessun danno.*

15 maggio 1897 - Alle ore 14,40 *terremoto del Tirreno nel pomeriggio (...). A Termini fu sentita una scossa ondulatoria della durata di pochi secondi.*

15 febbraio 1905 - Alle ore 13 ed alle 23,45 furono registrate delle *scosse di terremoto sensibili a Termini e Trabia.*

24 febbraio 1905 - Alle ore 23,50 fu registrata una scossa che fu avvertita *a Termini e Trabia.*

8 settembre 1906 - Alle ore 22,35 si ebbe una scossa prevalentemente sussultoria *int. III dur. 2"*. Con questa data inizia un periodo sismico che, con le scosse più forti fu avvertito in quasi tutti i paesi della provincia di Palermo e si esaurì il 29 giugno 1908 (CIOFALO, 1909). La scossa più intensa (*int. VII dur. 5 sec*) avvenne il giorno 11 settembre 1906 alle ore 20,00 e cagionò le maggiori lesioni ai fabbricati, determinando anche la comparsa di una nuova polla d'acqua termale dentro l'edificio del *Grand Hotel*. I maggiori danni ai fabbricati, secondo CIOFALO (1909), si ebbero nel quartiere Macello, non lontano dalla Porta Palermo (dove si erano già avuti dei danni a seguito del sisma del 1823) *e vi si trova la ragione perché oltre ad un suolo alluvionale (...), vi è un sottosuolo argilloso ed in pendio abbastanza accentuato.* Alcune torri campanarie lesionate dai sismi dovettero essere parzialmente demolite e private della parte sommitale. Si tratta dei campanili della chiesa ed ex convento di S.



Francesco d'Assisi (nell'attuale Via Cicerone) e dell'ex convento di S. Domenico in Piazza Umberto I (NAVARRA, 2000). Una baraccopoli fu sistemata lungo il litorale alla Marina, l'altra nel Piano di S. Antonio a Termini Alta. Oltre Termini Imerese, i paesi più danneggiati furono Trabia, S. Nicola l'Arena, Altavilla Milicia, Caccamo, Ventimiglia di Sicilia e Ciminna. Il gruppo sorgentizio Acqua dell'Oro (Trabia) a seguito del sisma ebbe una notevole diminuzione di portata e nel Trabiense scomparve la sorgente Pergola. L'epicentro del sisma, localizzato al largo della foce del fiume S. Leonardo, è legato a strutture tettoniche note sulla terraferma (CONTINO *et alii*, 2004).

28 dicembre 1908 - A seguito del sisma che distrusse Messina, risulta che una delle polle termali si esaurì temporaneamente per riprendere a sgorgare in seguito (REGIO ISTITUTO IDROGRAFICO, 1909).

15 gennaio 1940 - Il sisma che danneggiò Palermo (GUIDOBONI *et alii*, 2003) fu avvertito senza produrre danni evidenti anche a Termini Imerese, dove le scosse furono prevalentemente ondulatorie (si ebbe il fenomeno del travaso dei liquidi dai recipienti) ed il terremoto fu avvertito anche dai pescatori che erano al largo e che rientrarono nel porto.

15 gennaio 1968 - Durante il sisma che afflisse la valle del Belice si ebbe la temporanea scomparsa di una delle due polle termali e la comparsa di una nuova scaturigine all'interno della galleria ferroviaria ottocentesca (la cosiddetta *Galleria Vecchia*), sotto la Rocca del Castello. Si ebbero lesioni ai fabbricati nel quartiere di Via Roma.

28-29 maggio 1980 - Secondo alcuni repertori il sisma sarebbe avvenuto il 29 maggio (POSTPISCHL, 1985), secondo altri il giorno seguente (BOSCHI *et alii*, 1999). Il sisma ondulatorio-sussultorio, con epicentro nel Tirreno meridionale, fu avvertito diffusamente alle 19.51 (BOSCHI *et alii*, 1999), soprattutto ai piani alti degli edifici della periferia. Nel centro storico di Termini Imerese fu particolarmente sentito nella parte bassa della cittadina. Le persone si riversarono nelle strade. Edifici con problemi statici subirono un peggioramento del quadro fessurativo. Repliche si ebbero il 29 ed il 31 maggio.



8 settembre 2002 - Il terremoto ha provocato danni a Palermo (AZZARA *et alii*, 2004) e dintorni. A Termini fu avvertito da gran parte della popolazione e nel territorio comunale. Danni agli edifici di recente costruzione siti nella periferia urbana si sono avuti nei nuovi quartieri “Rocca Rossa” e “Beato Agostino Novello”. Subì alcuni danni ai tetti ed alla facciata la scuola elementare in Via Roma.

21 novembre 2005 - Il terremoto (con epicentro presso Resuttano e magnitudo 4,7) ha provocato danni nell’Ennese e nel Nisseno ed è stato percepito nel Palermitano e nel Catanese. A Termini è stato avvertito da gran parte della popolazione, soprattutto nei piani alti degli edifici e nella parte bassa dell’abitato.

22 ottobre 2010 - Il terremoto, con epicentro in mare (magnitudo 3.1) a circa 1 km dal litorale, fu avvertito ad Altavilla Milicia, Trabia e Termini Imerese alle h. 16.21, senza che vi fossero danni a persone o cose. Una seconda scossa di magnitudo 2.2 è stata registrata alle 19.20 in mare, a circa tre chilometri al largo di Trabia. Anche in questo caso il sisma è stato avvertito dalla popolazione. Non sono stati segnalati danni.

25 febbraio 2012 - Il terremoto (con epicentro in mare presso Ustica, alla profondità di 43,4 km e magnitudo 4,2) è stato avvertito alle h. 21,34, a Palermo e provincia, soprattutto nelle località costiere. A Termini è stato percepito da gran parte della popolazione, soprattutto nei piani alti degli edifici.



12. Caratterizzazione e modellazione sismica

12.1 - Parametri di pericolosità sismica

Dalle Norme Tecniche per le Costruzioni contenute nel D.M. del 14.01.2008 (N.T.C.) deriva che le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione. Quest'ultima è definita convenzionalmente in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero sul sito di riferimento rigido (categoria di sottosuolo A della Tabella 3.2.II, N.T.C.) con superficie topografica orizzontale (categoria topografica T1 della Tabella 3.2.IV, N.T.C.), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$.

In particolare, i caratteri del moto sismico sul sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle grandezze a_g (accelerazione massima al sito), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T^*_C (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale), sulla base delle quali sono definite le relative forme spettrali.

I valori delle grandezze in parola sono riportati nell'Allegato B alle N.T.C. per 10751 punti del reticolo di riferimento, in termini di andamento medio ed in funzione di un periodo di ritorno T_R (di 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2.475 anni). Per un qualunque punto del territorio nazionale non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri in argomento possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame.

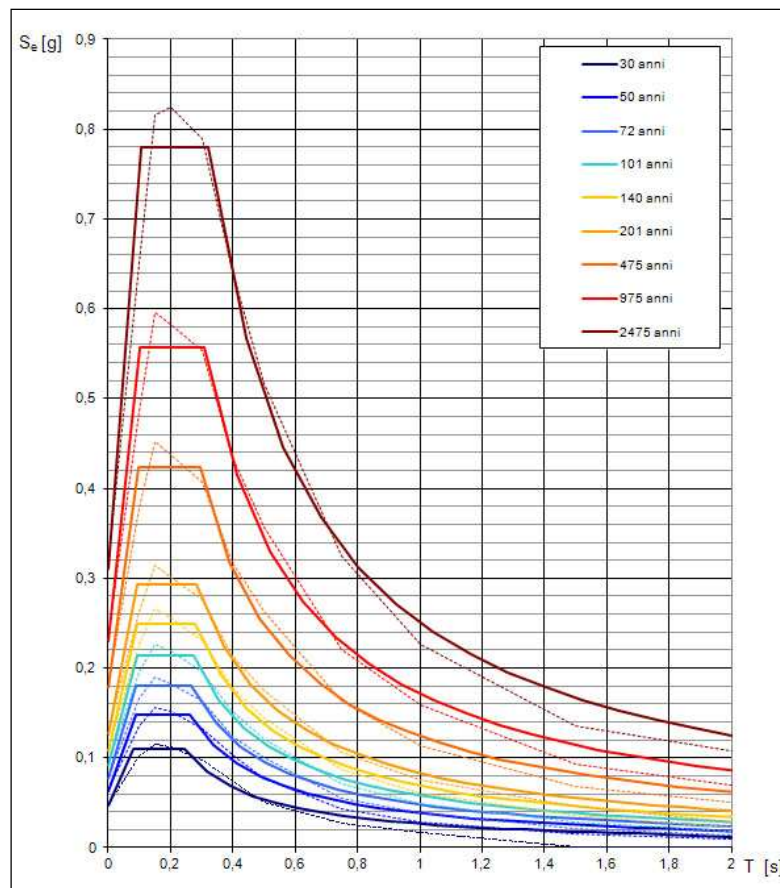
Nel caso specifico, pertanto, una volta determinate le coordinate geografiche del centro dell'area di progetto (Datum planimetrico ED50) si è provveduto ad elaborare le stesse con il programma "Geostru PS", ottenendo i parametri di pericolosità sismica di base e le relative forme spettrali illustrate di seguito.



Coordinate geografiche	Latitudine	37,98718
ED 50	Longitudine	13,7222567

Tr (anni)	a _g (g)	F ₀	T* _c (s)
30	0,047	2,340	0,245
50	0,064	2,328	0,261
72	0,078	2,317	0,268
101	0,092	2,314	0,273
140	0,108	2,314	0,277
201	0,126	2,319	0,284
475	0,178	2,376	0,293
975	0,230	2,417	0,308
2475	0,311	2,504	0,322

Parametri di pericolosità sismica di base



Spettri di risposta elastici per i diversi T_r di riferimento

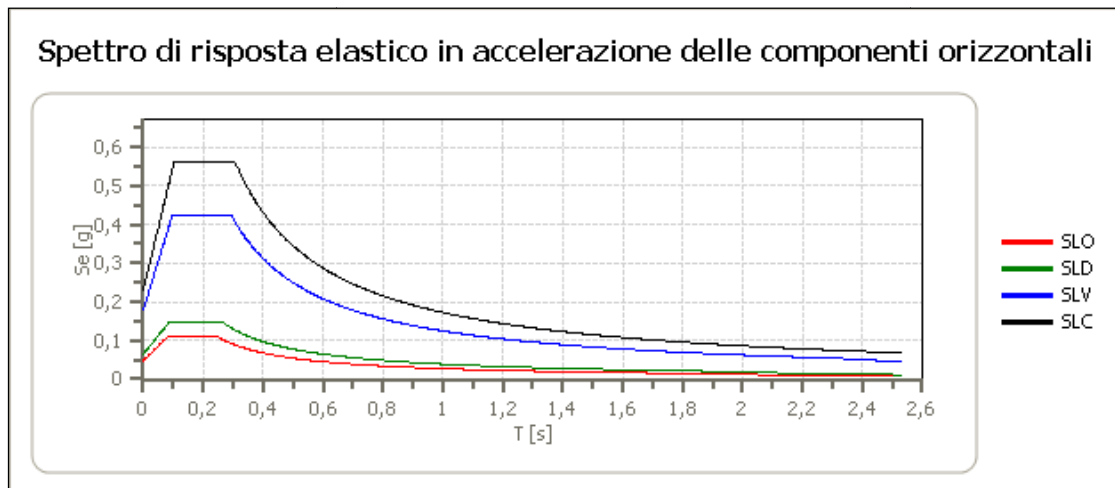


Il committente ha fissato, la Classe d'uso (Classe II), il Coefficiente d'uso ($C_u = 1,0$), la Vita nominale ($V_N = 50$ anni) ed il Periodo di riferimento per l'azione sismica ($V_R = 50$ anni). Di conseguenza utilizzando il programma suddetto è stato possibile ricavare i seguenti parametri di pericolosità sismica e le relative forme spettrali per ognuno degli Stati Limite che è possibile scegliere in base alla strategia di progettazione.

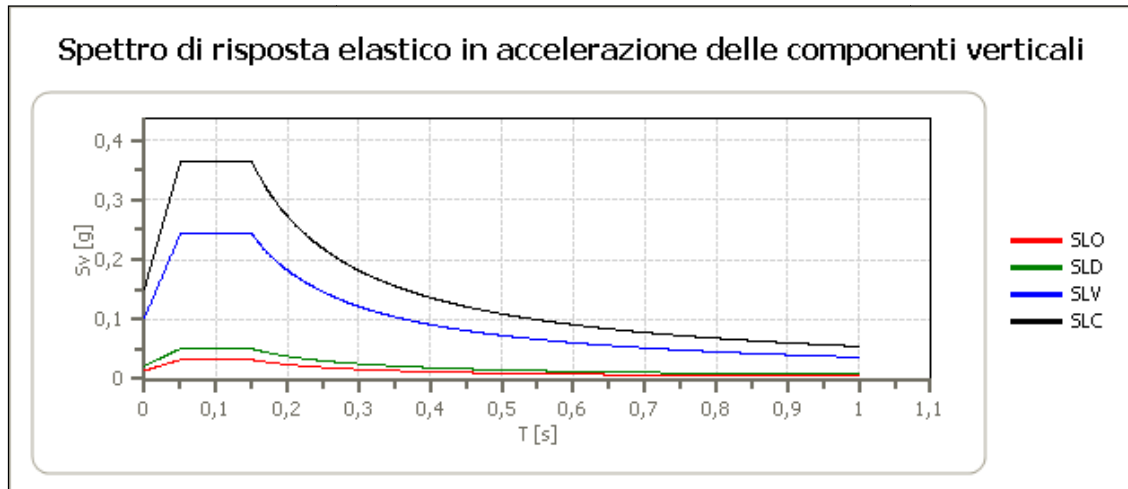
Coordinate geografiche	Latitudine	37,98718
ED 50	Longitudine	13,7222567

Stato limite	Tr (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	30	0,047	2,336	0,246
SLD	50	0,064	2,325	0,261
SLV	475	0,179	2,376	0,293
SLC	975	0,232	2,416	0,308

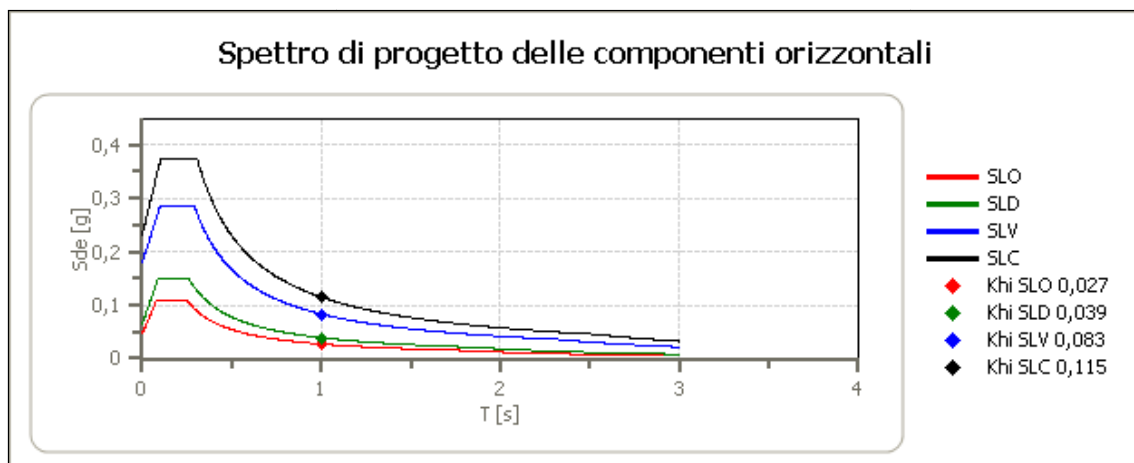
Parametri di pericolosità sismica per i diversi strati limite



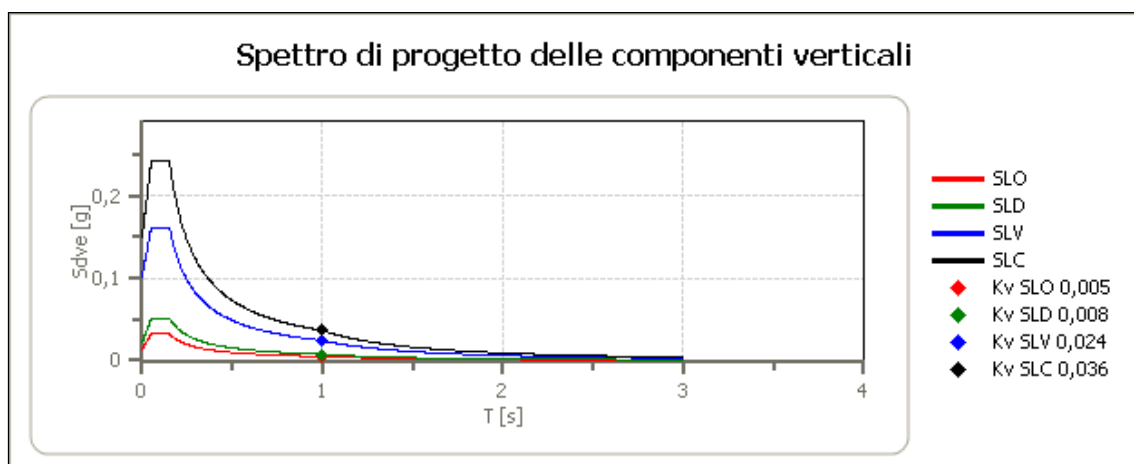
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali



12.2. Categoria di sottosuolo e categoria topografica

Le condizioni convenzionali del sito di riferimento, trattate nel precedente paragrafo, non corrispondono in genere a quelle effettive che risultano influenzate sia dalla stratigrafia del volume significativo di terreno, sia dalla configurazione della superficie topografica. Entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa, in condizioni di campo libero, sul sito di riferimento rigido, con superficie topografica orizzontale (risposta sismica locale). Quando l'azione sismica in superficie è descritta mediante forme spettrali, tale risposta può essere valutata con l'approccio semplificato di cui al § 3.2.2 delle N.T.C., che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo e topografiche di riferimento e determinate in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità; quest'ultima è definita dall'espressione

$$V_{S30} = 30 / \sum_{i=1, N} h_i / V_i$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

La Normativa Italiana (Ordinanza nn.3274 e 3519), coerentemente con quanto indicato nell'Eurocodice 8, prevede una classificazione del sito in funzione sia della velocità delle onde S nella copertura che dello spessore della stessa.

Vengono identificate 5 classi, A, B, C, D e E ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

<i>Classe</i>	<i>Descrizione</i>
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina)
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle



	proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < \text{NSPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < \text{cu30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero $\text{NSPT30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $\text{cu30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)
E	Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $\text{VS} > 800$ m/s)

Categorie di sottosuolo previste al § 3.2.2 delle NTC

Alle cinque categorie descritte se ne aggiungono altre due per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare.

Classe	Descrizione
S1	<i>Depositi di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero $10 < \text{cuS30} < 20$ kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche</i>
S2	<i>Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti</i>

Categorie aggiuntive di sottosuolo previste al § 3.2.2 delle NTC

Per sottosuoli appartenenti alle categorie S1 ed S2 è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Relativamente alla caratterizzazione sismica del suolo di fondazione ai sensi delle N.T.C. 2008, sulla banchina del molo di sopraflutto sono state eseguite tre stese sismiche a rifrazione attive interpretate con il metodo MASW e tre stese sismiche a rifrazione passive interpretate con il metodo RE.MI.

Di seguito si riportano i valori di VS30 ottenuti con entrambi i metodi.

Sondaggio MASW	V_{S30}
M1	274 m/s
M2	259 m/s
M3	293 m/s

Valori del V_{S30} calcolati con il MASW



Sondaggio REMI	V _{S30}
R1	273 m/s
R2	271 m/s
R3	246 m/s

Valori del V_{S30} calcolati con il REMI

Pertanto, alla luce delle indagini sismiche eseguite, ai sensi dell'Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri ripresa e completata con la O.P.C.M. n. 3519/2006 e successivamente con il D.M. 14.01.2008, i terreni in esame rientrano nel tipo di suolo *C* (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu30 < 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

La classificazione topografica si basa invece sulle categorie esposte nella tabella sottostante, che si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, da considerarsi nella definizione dell'azione sismica solo $h > 30$ m.

<i>Categoria</i>	<i>Caratteristiche della superficie topografica</i>
T1	<i>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$</i>
T2	<i>Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$</i>
T3	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$</i>
T4	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$</i>

Considerato che il sito progetto è ubicato in un'area pianeggiante, la categoria topografica di riferimento risulta essere **T1** - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$. A tale categoria corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,0$, così come definito nella Tabella 3.2.VI delle NTC.



Una volta noti i valori sito - specifici dell'accelerazione orizzontale massima attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale a_g , il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S ed il coefficiente di amplificazione topografica S_T , è stato possibile ricavare anche l'accelerazione orizzontale massima attesa $a_{max} = a_g \times S_S \times S_T$, che assume per SLV il valore $a_{max} = (0,179 \times 1,20 \times 1,00)g$ pertanto **$a_{max} = 0,2148 g$** .



13. Conclusioni

Nell'ambito dei "*Lavori di completamento del molo foraneo di sopraflutto del porto di Termini Imerese*" è stata redatta la presente relazione geologica.

Gli studi fin qui eseguiti evidenziano che l'area ove si prevede di realizzare le opere di cui all'oggetto è caratterizzata dalla presenza in parte di depositi fluvio-marini ed in parte da litotipi di riporto.

Morfologicamente, la stabilità d'insieme dell'area appare buona e allo stato attuale non sono stati rilevati dissesti in atto né segni di sconnessione o lesioni negli edifici esistenti nelle vicinanze.

Inoltre, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativo all'*area territoriale tra il bacino del fiume Torto e quello del fiume San Leonardo (032)*, redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 05.03.2007, sulla G.U.R.S. n° 20 del 27.04.2007 e la zona di stretto interesse, non ricade in area a rischio ai sensi del predetto P.A.I..

Ancora è stato preso in considerazione il piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico dell'*Unità Fisiografica n. 18 Capo Mongerbino - Porto di Cefalù*, approvata con Decreto Presidenziale del 2.11.2007 e pubblicato sulla G.U.R.S. n° 60 del 28.12.2007 e la zona di stretto interesse, non ricade in area a rischio.

Il progetto prevede la riqualificazione ed il completamento dell'opera di sopraflutto, ai fini di un miglior e completo utilizzo di tutte le aree portuali; in particolare il progetto prevede quattro differenti interventi:

- il prolungamento della diga foranea di sopraflutto;
- il rifiorimento della mantellata della diga foranea;
- il ripristino della banchina della diga foranea;
- la realizzazione del martello terminale della banchina della diga foranea.

In virtù delle opere previste in progetto, sono state eseguite due differenti campagne di indagini rispettivamente nel novembre 2012 e nel giugno 2013, miranti



alla definizione delle principali caratteristiche litostratigrafiche, geofisiche e geotecniche dei terreni che saranno interessati dalle opere di progetto.

Le due differenti campagne geognostiche sono stati eseguiti, la prima su moto pontone galleggiate, per le aree relative al prolungamento della diga foranea e la seconda sulla banchina del molo di soprallutto.

I sondaggi ubicati nella zona del prolungamento, hanno intercettato per tutto il loro spessore terreni in posto del tipo (**SL**), costituiti da sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio-verdastro, a grana fine, poco addensati.

Relativamente ai sondaggi eseguiti sulla banchina, questi sono stati realizzati tre sui cassoni esistenti e tre nell'area della banchina retrostante i cassoni.

Per i primi tre si è, riscontrando la presenza del cassone fino alla profondità di 12.50 metri. I cassoni sono stati riempiti con terreni assolutamente eterogenei e classificabili come terreni **TR**. Il terzo cassone investigato con il sondaggio *S3a*, spinto fino alla profondità di 9 metri dal p.c., è stato completamente riempito di calcestruzzo, probabilmente per il fatto che è l'ultimo e si trova in posizione più esposta rispetto agli altri.

I cassoni poggiano poi sui litotipi in posto (**SL**) rappresentati da costituiti da sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio-verdastro, a grana fine, poco addensati.

Relativamente all'area della banchina retrostante ai cassoni, questa risulta abbastanza omogenea e caratterizzata da una zona compresa tra 8.50 m e 10 m di terreni **TR**, seguiti dalla formazione in posto **SL**. In nessuno dei tre sondaggi sono stati riscontrati vuoti che erano stati precedentemente ipotizzati in una prima fase, causati da un possibile sifanomanto dei terreni di riporto posti a contatto tra cassoni contigui.

Tale ipotesi è ulteriormente suffragata dall'analisi e dal confronto delle indagini sismiche eseguite (tomografia sismica e georadar). Infatti la forma e le dimensioni delle anomalie riscontrate con il radar, nonché il necessario confronto con i risultati delle sezioni sismiche tomografiche, consentono di ipotizzare e circoscrivere la presenza di porzioni maggiormente alterate all'interno della coltre superficiale che risulta costituita in prevalenza da argille sabbiose con inclusioni di elementi litoidi; in



conclusione, le evidenze sperimentali rappresentate dalle basse velocità delle onde P e dalla presenza di anomalie elettromagnetiche possono essere interpretate come conseguenze di fenomeni di dilavamento e di processi erosivi subiti da alcune porzioni del terreno di riporto ma portano ad escludere la presenza di vere e proprie cavità o scavernamenti di dimensioni significative.

Relativamente alla caratterizzazione sismica del suolo di fondazione ai sensi delle N.T.C. 2008, alla luce delle indagini sismiche eseguite, ai sensi dell'Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri ripresa e completata con la O.P.C.M. n. 3519/2006 e successivamente con il D.M. 14.01.2008, i terreni in esame rientrano nel tipo di suolo *C* (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu30 < 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

Termini Imerese, Luglio 2013

Il Geologo
(Dott. Ignazio Giuffrè)

