Technoside s.r.l.
SERVIZI DI INGEGNERIA
via Trieste 21
95030 Gravina di Catania
www.technoside.it -
info@technoside.it
tel +39.095.7500609
fax +39.095.8360370

IL GEOLOGO
Dott. Pasquale Musumeci

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DI SICILIA
Dott. Geol. MUSUMECI PASQUALE SALVATORE n. 2790 Sez. A

COMUNE DI CATANIA

Titolo progetto

INTERVENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA E L'AMPLIAMENTO DELL'APPRODO TURISTICO DENOMINATO "PORTO ROSSI" IN C.DA CAITO NEL COMUNE DI CATANIA

Procedura di Verifica di Assoggettabilità a VIA
art. 19 D. Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii.

Titolo elaborato

RELAZIONE GEOLOGICA

Tav. R.05

Pietro Rossi
10.08.2023
10:15:37
GMT+00:00

DATA	OTTOBRE/2015

Il presente documento è proprietà della Technoside s.r.l.
E' vietata ogni riproduzione non autorizzata ai sensi di legge

NOVAMBIENTE
ingegneria e geologia per l'ambiente

COMUNE DI CATANIA

RELAZIONE GEOLOGICO SISMICA

OGGETTO:

STUDIO GEOLOGICO-TECNICO A SUPPORTO DEL "PROGETTO RICHIESTA AMPLIAMENTO CDM 568/2013, ART.24 DEL REG. AL C.N.", PER AMPLIAMENTO E RIMODULAZIONE DELL'APPRODO TURISTICO DENOMINATO "PORTO ROSSI" ED AMPLIAMENTO DELL'AREA ADIBITA A CANTIERE NAVALE, IN C.DA CAITO

DITTA:
M.E.C. AUTO DI ROSSI PIETRO & C. S.N.C.

Data	Rev	Il Geologo
Ottobre 2015	**00**	**(Dott. Pasquale Musumeci)**

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DI SICILIA
Dott. Geol. MUSUMECI PASQUALE SALVATORE n. 2790 Sez. A

NOVAMBIENTE S.R.L.
95127 CATANIA – VIA LIVORNO, 1
TEL. 392 9886432 - FAX 178 6051201
E-MAIL: novambiente@itiscali.it - PEC: novambientesrl@pec.it
P. IVA: 0398 764 0871

SOMMARIO

1 PREMESSE 4
2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-morfologico 5
2.1 Caratteri geomorfologici 6
2.1.1 Area di stretto interesse 6
2.1.2 Il sito nel contesto del P.A.I. regionale 7
2.1.3 Evidenze riscontrate 12
3 GEOLOGIA DELL'AREA 15
3.1 Situazione locale 16
3.1.1 Riporto antropico 16
3.1.2 Materiali lavici 18
3.1.3 Lave del Larmisi 18
4 IDROGEOLOGIA 19
4.1 Inquadramento generale 19
4.2 Caratteri idrogeologici 19
4.3 Situazione locale 20
5 LINEAMENTI TETTONICI 21
6 ANALISI DELLA SISMICITÀ 23
6.1 Inquadramento macrosismico 23
6.2 Azione sismica (ai sensi del D.M. 14/01/2008 27
6.2.1 Stati limite e relative probabilità di superamento 31
6.2.2 Classificazione del suolo di fondazione del sito 32
6.2.3 Valutazione dell'azione sismica 32
6.2.4 Spettri di risposta elastica 33
7 RISULTANZE INDAGINI 37
7.1 Carotaggi meccanici continui 37
7.2 Masw 38
7.3 Tomografie sismiche 40
7.3.1 Calcolo moduli elastici 41
7.3.2 Risultati dell'indagine 42
8 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SEDIME FONDALE 45
8.1 Definizione dei parametri fisico-meccanici 45
9 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 47

ELENCO APPENDICI

Appendice 1 REPORT INDAGINI
Appendice 2 SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICA
Appendice 3 CARTOGRAFIA
TAV. 1 – COROGRAFIA
TAV. 2 – CARTA GEOLOGICA
TAV. 3 – PROFILO LITOLOGICO

1 PREMESSE

Su incarico della ditta M.E.C. AUTO di Rossi Pietro & C. s.n.c., con sede legale in Viale Africa n. 64 Catania, sono state redatte le seguenti note, relativamente alla *richiesta di ampliamento cdm 568/2013, art.24 del reg. al c.n.* per il "*progetto di ampliamento e rimodulazione dell'approdo turistico denominato "Porto Rossi" ed ampliamento dell'area adibita a cantiere navale, in c.da Caito nel comune di Catania*.

La concretizzazione della presente relazione, adempiendo alle disposizioni normative, *Norme Tecniche contenute nel D.M. 11 Marzo 1988 e successive modifiche ed aggiornamenti, nel rispetto del T.U. Norme Tecniche per le costruzioni D.M. - 14 Settembre 2005 – D.M. 14 Gennaio 2008*, si è avvalsa di varie fasi d'indagine complessivamente riassumibili nei seguenti punti:

a) reperimento e studio dei dati bibliografici e/o pubblicazioni di settore e contestuale disamina della cartografia tematica ufficiale disponibile (Carta Geologica dell'Area Urbana di Catania; Carta Geologica Monte Etna; Relazione e Cartografia P.A.I. etc);
b) rilievo geologico – morfologico dei luoghi d'interesse progettuale;
c) indagini geognostiche suddivise in:
    - n° 3 carotaggi continui
    - n° 3 tomografie sismiche
    - n° 1 MASW

Gli argomenti trattati sono stati i seguenti:

- ✓ Inquadramento geografico-morfologico
- ✓ Geologia dell'area ed idrogeologia
- ✓ Lineamenti tettonici
- ✓ Analisi della sismicità
- ✓ Risultanze indagini
- ✓ Caratteristiche geotecniche dei terreni interessati
- ✓ Conclusioni.

Costituiscono, infine, parte integrante della presente relazione i seguenti elaborati cartografici di utile riferimento:

TAV. 1 Carta Corografica;
TAV. 2 Carta Geologica;
TAV. 3 Profilo litologico.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-MORFOLOGICO

Il sito di in esame è individuabile nel settore centro-orientale dell'area urbana di Catania, lungo il tratto di costa rocciosa (scogliera) che decorre tra il Porto di Ognina ed il Porto di Catania. Dal punto di vista cartografico, è compreso all'interno della Tavoletta I.G.M. "Catania" FOGLIO 270 – VI° SE, e nella CTR 634060.

Le coordinate baricentriche del sito sono le seguenti:

- **37° 30' 55. 02"N; 15° 06' 29. 08"E** (gradi-minuti-secondi)

oppure

- **37,515283° Lat; 15,108078° Long** (gradi-decimali)

Figura 1 Immagini satellitari dell'area in cui ricade il sito in esame; nell'immagine bidimensionale (in alto) il sito è evidenziato da un'ellisse rossa; nell'immagine 3D (in basso) il sito oggetto dello studio è delimitato da una polilinea tratteggiata gialla.

In particolare ci si ritrova in località Caito ossia immediatamente a Sud dell'Officina Ferroviaria di Piazza Europa, e a Nord dell'area dedicata alla diportistica nautica nota come "Porto Rossi", gestita dalla medesima ditta committente del presente studio.

2.1 CARATTERI GEOMORFOLOGICI

La morfologia del territorio di Catania è costituito principalmente da formazioni laviche che rappresentano le estreme propaggini meridionali di una attività effusiva ancora attiva. La comprensione della morfologia di quest'area non può prescindere dalla conoscenza della struttura del vulcano Etna, che in questa sede ci si limita ad accennare. Basterà ricordare che l'Etna è il prodotto di attività parossistiche ed effusive che, proprio per l'eterogeneità dei prodotti emessi, acquista una struttura del tipo vulcano a strati.

Gli espandimenti lavici, di eruzioni più o meno eccentriche, hanno determinato l'attuale struttura piramidale con pendii relativamente acclivi. Le maggiori pendenze si osservano nella parte sommitale del vulcano mentre in basso si notano inclinazioni modeste.

I caratteri morfologici che si evidenziano nell'area territoriale comunale oltre a quelli eruttivi, sono essenzialmente derivati da processi tettonici e dalla maggior parte da agenti esogeni e, soprattutto, antropici.

Le aree del territorio comunale interessate dal ricoprimento lavico presentano, quindi, caratteri morfologici complessi. Infatti, agli aspetti intrinseci di una colata, si sommano gli aspetti prodotti da agenti esogeni e dalle modifiche morfologiche indotte dall'azione dell'uomo sul territorio, soprattutto in ambito urbano.

Un aspetto interessante è determinato dall'espandimento lavico quando, durante la fase eruttiva, vengono interessate dal ricoprimento strutture morfologiche preesistenti che risultano fossilizzate. È il caso delle valli fluviali preetnee e recenti dove le acque improvvisamente hanno ceduto il posto alle colate laviche favorendone il deflusso, ma sono rimaste obliterate e fossilizzate. Strutture sepolte di questo tipo sono molto frequenti nel territorio etneo e catanese (ad es. Fiume Amenano e Fiume Aci), se si considera che le colate laviche sono generalmente una associazione di lave massive e scorie e/o rifusa, si comprende come, per l'elevata permeabilità, si creino degli scorrimenti preferenziali (linee di deflusso) per le acque permeate.

2.1.1 Area di stretto interesse

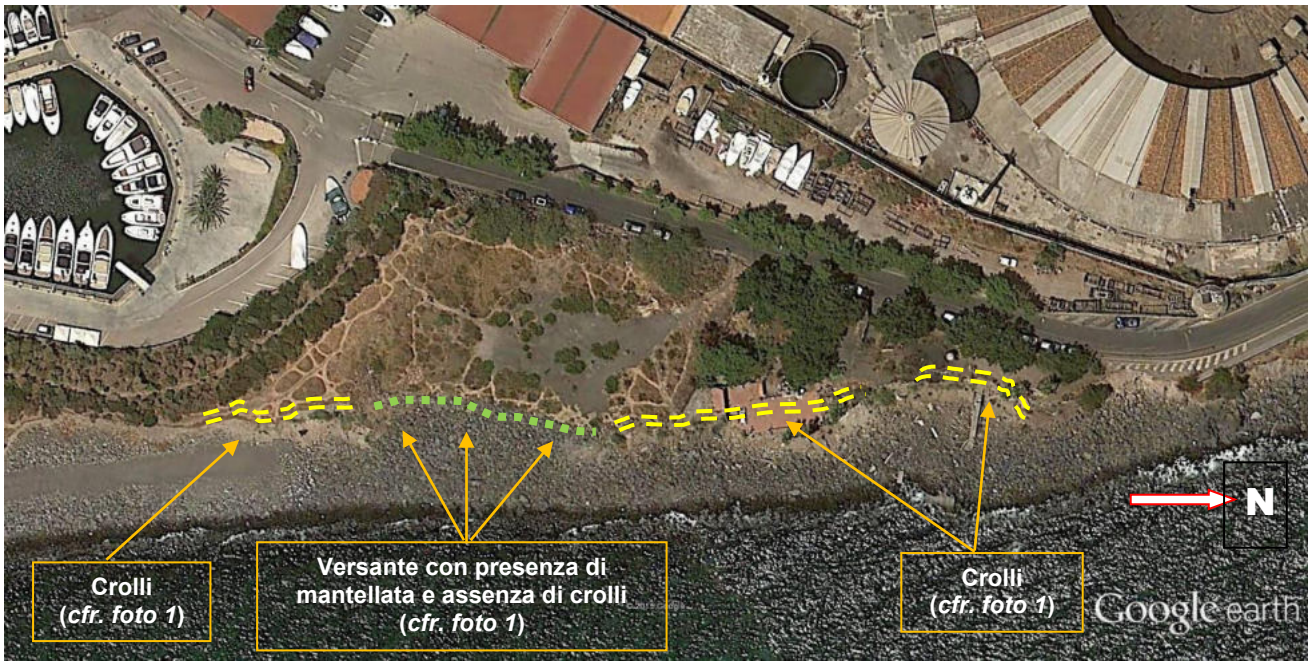


Fig. 2 Immagine satellitare dell'area in esame con evidenza (tratteggiato giallo) delle zone soggette a fenomeni di dissesto dovuti a crollo per scalzamento a le piede causato dalle mareggiate, laddove non è presente la mantellata di protezione costituita da blocchi lavici.

L'area di stretto interesse, situata al margine del centro della città di Catania, quindi fortemente urbanizzata, è caratterizzata da una morfologia che degrada dolcemente in direzione della costa ionica, ovvero verso SE. L'acclività media dell'area è inferiore al 5%, non considerando la scarpata prospiciente il mare, ed è stata influenzata dai fattori antropici e litologici.

Il sito in esame si trova su un alto morfologico che delimita ad Est l'abitato di Catania per circa 400 m, la cui quota è di circa 10÷12 m, ed è costituito da un terrapieno, realizzato attraverso la deposizione di un riporto costituito da materiali di risulta di varia origine e pezzatura.

Il bordo di tale terrapieno è costituito da un pendio avente un'inclinazione di 18° e una pendenza, verso Est, pari a circa il 33%. Tale pendio è esposto alle azione erosiva del moto ondoso che si infrange sulla costa sottostante, comportando fenomeni di dissesto che sono, ovviamente da ricondurre a fenomeni di crollo del materiale di riporto, indotti dallo scalzamento al piede, laddove non sono presenti efficaci opere di difesa dall'azione erosiva marina. Si osserva, infatti, la presenza di una mantellata di blocchi lavici eterometrici (decimetrici e metrici), che in alcuni punti (*cfr. fig. 2*) è stata scalzata dai marosi, con conseguenti cedimenti e crolli del terrapieno in corrispondenza di tali assenze di copertura. Laddove la copertura persiste il terrapieno non mostra evidenza di cedimenti e/o deformazioni, con una situazione che può essere definita "stabile".

2.1.2 Il sito nel contesto del P.A.I. regionale

Si riportano di seguito, gli stralci delle carte del "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico"(Art. 1 D.L. 180/98 convertito con modifiche con la L. 267/98 e ss.mm.ii.), adottato dalla Regione Sicilia, in cui è inserita l'area territoriale compresa tra i bacini del Fiume Alcantara e del Fiume Simeto (l'Area Territoriale n° 095), dove ricade il sito in esame.

Nello specifico le carte tematiche riportate in allegato alla Relazione del P.A.I. riguardante la suddetta area territoriale sono:

- Carta dei dissesti (N. 32 tavole)
- Carta della pericolosità e del rischio geomorfologico (N. 32 tavole)
- Carta della pericolosità idraulica (N. 22 tavole)
- Carta del rischio idraulico (N. 18 tavole)

Dalla consultazione delle tavole riguardanti la zona in esame, riportate nel seguito, ne discendono le seguenti situazioni:

Carta della pericolosità e del rischio geomorfologico n° 27

Livelli di pericolosità: *Sito con livello P4 posto immediatamente a Nord, lungo la costa (identificativo 095-3CT-030);*

Livelli di Rischio: *Sito con livello R3 identificato immediatamente a Nord, lungo la costa (identificativo 095-3CT-030);*

Carta dei Dissesti n° 27

Fenomeni Franosi: *Sito con fenomeni di crollo e/o ribaltamento posto immediatamente a Nord, lungo la costa (identificativo 095-3CT-030);*

Stato Attività: *ATTIVO;*

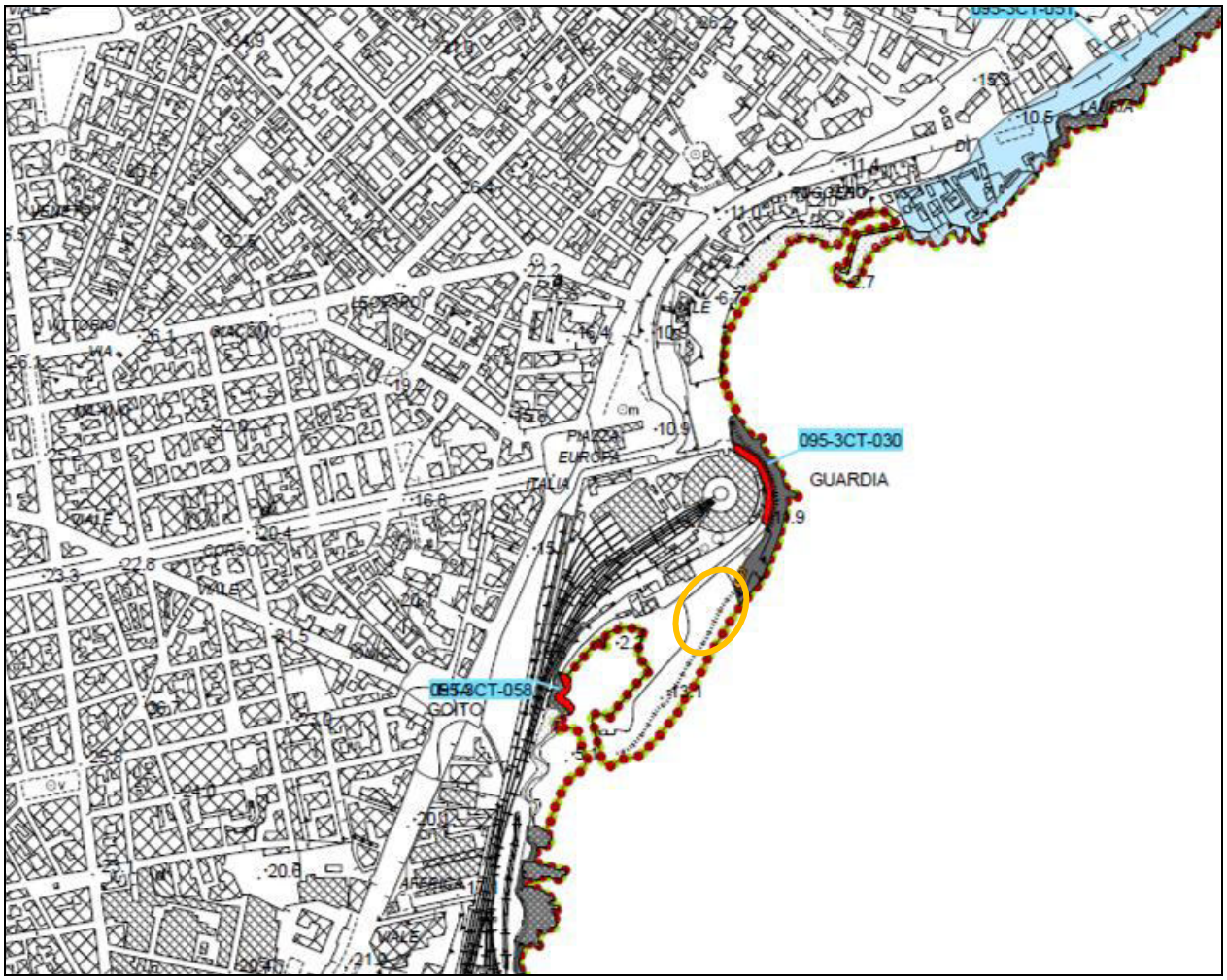
Carta del rischio idraulico per fenomeni di esondazione n° 27

Valore del rischio idraulico: *Nessuno*

Carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione n° 27

Valore della pericolosità idraulico: *Nessuno.*

Carta della Pericolosità e Rischio Geomorfologico
(rif. PAI 20141021_318_095_PR_634060)



LEGENDA

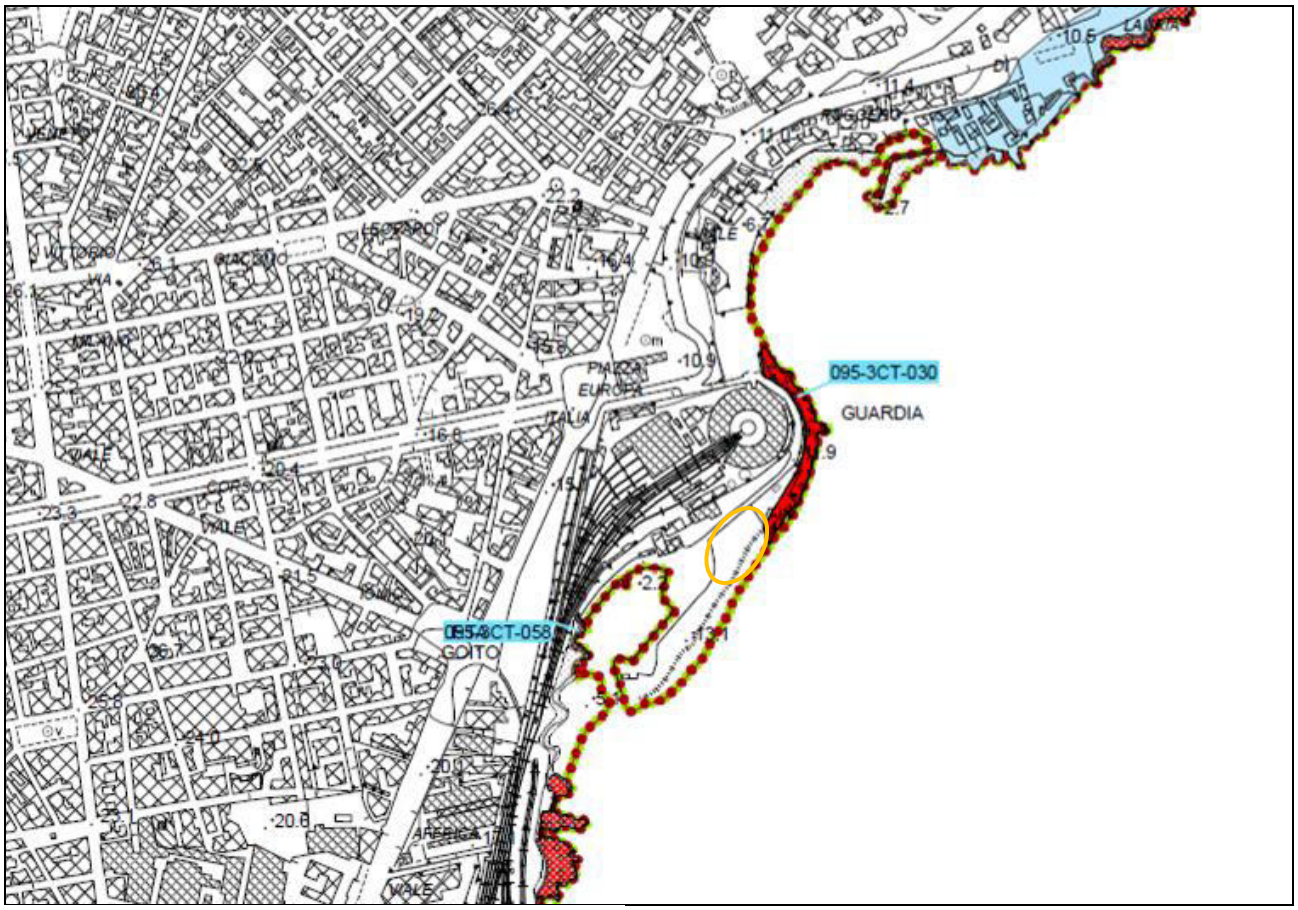
LIVELLI DI PERICOLOSITA'

- P0 basso
- P1 moderato
- P2 medio
- P3 elevato
- P4 molto elevato
- Siti di attenzione

LIVELLI DI RISCHIO

- R1 moderato
- R2 medio
- R3 elevato
- R4 molto elevato
- area in esame

Carta dei Dissesti (rif. PAI 20141021_318_095_D_634060)



LEGENDA

TIPOLOGIA

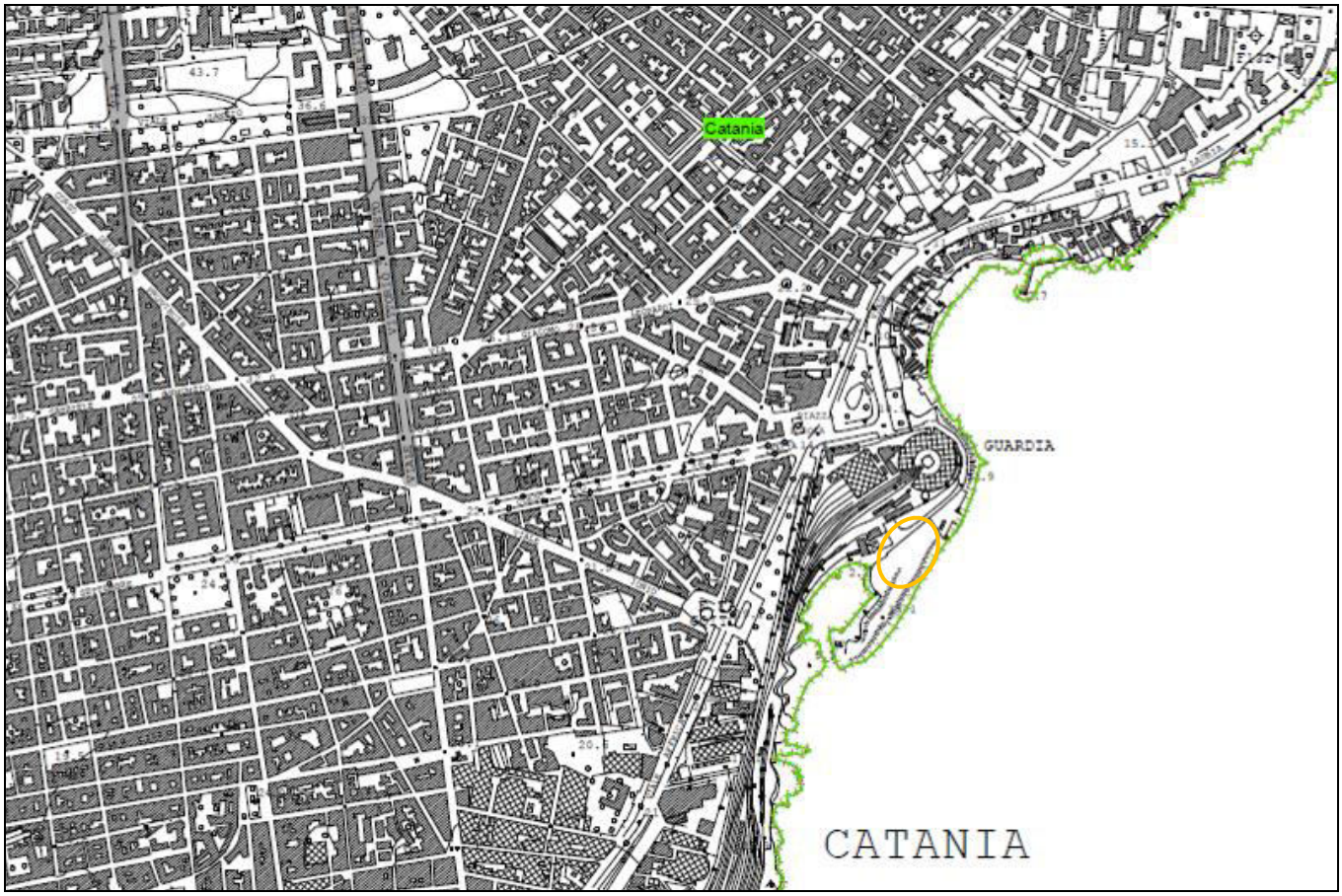
- Crollo e/o ribaltamento
- Colamento rapido
- Sprofondamento
- Scorrimento
- Frana complessa
- Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
- Colamento lento
- Area a franosità diffusa
- Deformazione superficiale lenta
- Calanco
- Dissesti dovuti ad erosione accelerata
- Sito d'attenzione

STATO DI ATTIVITÀ

- Attivo
- Inattivo
- Quiescente
- Stabilizzato artificialmente o naturalmente

area in esame

Carta della Pericolosità Idraulica (rif. PAI A095_634060_27)

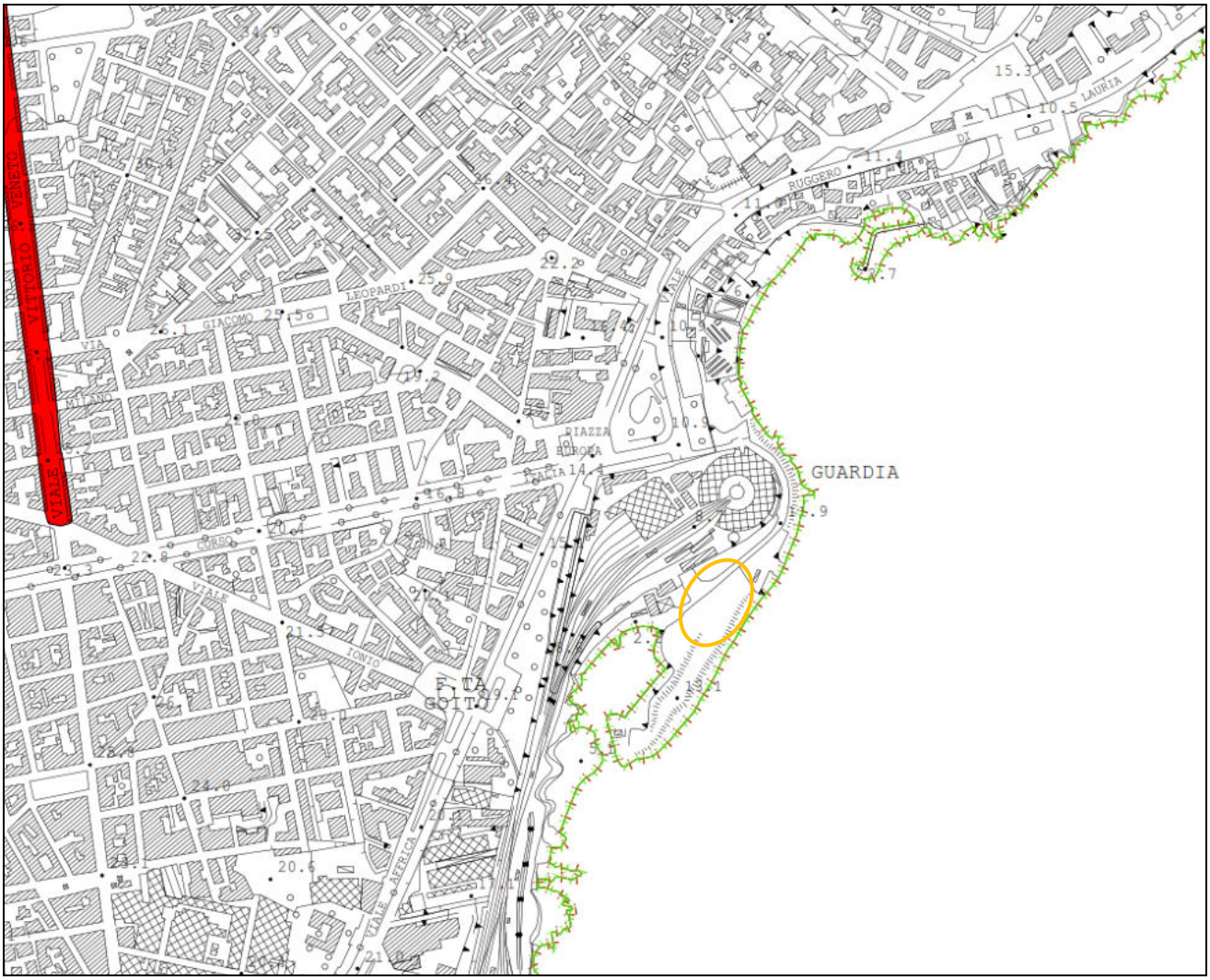


LEGENDA

VALORI DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

- P1 Pericolosità bassa
- P2 Pericolosità moderata
- P3 Pericolosità alta
- Sito d'attenzione
- area in esame

Carta del Rischio Idraulico (rif. PAI A095_Rischio_634070_27)



LEGENDA

VALORI DEL RISCHIO IDRAULICO

- R1 Rischio moderato
- R2 Rischio medio
- R3 Rischio elevato
- R4 Rischio molto elevato
- area in esame

2.1.3 Evidenze riscontrate

Dall'esame della summenzionata cartografia, congiuntamente dalle evidenze risultanti dai rilievi e dalle indagini eseguite (cfr. § 7) ne deriva che, considerate:

- ⇒ la presenza di fenomeni franosi con livelli di pericolosità geomorfologica immediatamente a Nord e a Sud del sito (*cfr. fig. 2*), laddove non sono presenti adeguate opere di protezione e, a causa delle mareggiate, si riscontrano dei crolli e cedimenti indotti dallo scalzamento al piede del terrapieno (non protetto);
- ⇒ la presenza, in corrispondenza del versante lato mare del sito, di opere di difesa dalle mareggiate e dal moto ondoso in generale, costituite da una mantellata di blocchi rocciosi lavici di dimensione metrica e decimetrica;
- ⇒ le situazioni di assenza di rischio idraulico per fenomeni di esondazione;
- ⇒ le locali condizioni morfologiche, in cui non si evidenzia la presenza di fenomeni associabili a dissesti e/o cedimenti/crolli, quali smottamenti, fessure di trazione, morfologie deformative ecc., se non in corrispondenza delle zone di terrapieno il cui pendio esposto a mare risulta non protetto da adeguate opere di difesa;

il sito in oggetto può essere ritenuto posto in condizioni non soggette a rischio idrogeologico e/o a dissesti di carattere geomorfologico, a meno delle zone prive delle opportune opere di protezione.

Di seguito si riportano delle immagini fotografiche della mantellata che ricopre il versante degradante sul mare (foto 1) e il piazzale (foto da 2 a 5) oggetto di indagini e su cui sono previsti gli interventi progettuali, in cui non si evidenzia alcun fenomeno visibile riconducibile a cedimenti, moti di scivolamento e/o traslazione, crolli.

Foto 1 Versante lato mare del terrapieno costituente il sito in esame, con evidenza della mantellata costituita da blocchi lavici arrotondati di dimensione metrica.

Foto 2 Immagine del piazzale oggetto di indagini e rilievi; vista da Nord-Est.

Foto 3 Immagine del piazzale oggetto di indagini e rilievi; vista da Sud-Ovest.

Foto 4 Immagine del piazzale oggetto di indagini e rilievi; vista da Sud.

Foto 5 Immagine del piazzale oggetto di indagini e rilievi; vista centrale.

3 GEOLOGIA DELL'AREA

L'area urbana di Catania è caratterizzato da diverse unità vulcano stratigrafiche, spesso sovrapposte, ma generalmente distinte tra di loro, che ricoprono con una certa continuità un substrato sedimentario argilloso-sabbioso-conglomeratico caratterizzato, in origine, da una morfologia basso-collinare. Nelle aree a maggiore antropizzazione, tuttavia, i *layer* superficiali sono spesso caratterizzati da volumi detritici e di riporto, frammisti alle originarie coperture, aventi talvolta spessori notevoli.

In particolare le lave storiche e protostoriche presenti, distinte in unità vulcanostratigrafiche dalla datazione piuttosto precisa, hanno contribuito a mettere in relazione eventi storici anche in materia archeologica.

Le formazioni affioranti presenti nella zona in esame sono le seguenti:

Depositi Antropici

- Materiali di scarto e riporti;

Depositi di Spiaggia

- Spiagge del Golfo di Guardia

Lave Storiche

- Lave del Rotolo (1381 d.C.);
- Lave dell'Ognina (425 a.C.)
- Lave dei Larmisi (4 - 5.000 a.C.);

Depositi Antropici

I depositi in questione occupano un'area grosso modo pianeggiante, coincidente con il centro storico della città e con le aree portuali. Tali volumi sono, per lo più, costituiti da materiale di riporto e scarto edilizio, oltre a resti archeologici e materiale derivante dai crolli degli edifici; tali elementi possono essere frammisti a limi, sabbie e prodotti derivanti dall'alterazione delle coperture vulcaniche. Nelle aree portuali, di più recente realizzazione, si tratta di scogliere artificiali e materiali di riempimento delle banchine.

Depositi di Spiaggia

Ciottoli etrometrici, ghiaie grossolane e sabbie nere a composizione basaltica derivante dall'erosione marina delle falesie vulcaniche costituite dai fronti a mare delle colate laviche.

Lave Storiche

In generale, con tale denominazione sono state raggruppate tutte le unità di flusso, associabili ai diversi episodi eruttivi, che hanno raggiunto Catania, distruggendone, spesso, parti considerevoli. I termini più recenti di tale successione sono rappresentati dalle colate del **1669**, che hanno invaso da NNW verso SSE la città, ricoprendone buona parte con spessori compresi tra 8 ÷ 12 m.

Le **Lave dell'Ognina**, ascrivibili al 425 a.C., costituiscono il basamento della parte settentrionale della città, in affioramento sono chiaramente individuabili dalla presenza di fenocristalli di plagioclasio traslucidi. Su di esse si sono sovrapposte in epoca più recente (1285) le colate basaltiche denominate **Lave del Rotolo**.

Le **Lave del Larmisi** (4÷5.000 a.c.) rappresentano la più antica e la più grande delle colate che insistono sull'area metropolitana e si estende dalla zona della Barriera alla linea di costa, dove si presenta con una scogliera lunga circa 2.0 Km ed altezze talvolta superiori ai 15 m. Tale colata è caratterizzata inoltre da una certa abbondanza di tunnel di scorrimento.

3.1 SITUAZIONE LOCALE

Nello stralcio riportato sulla carta geologica, il sito insiste su terreni di riporto sovrastanti i materiali lavici associabili a blocchi di dimensione metrica posizionati come base del riporto e a probabili depositi di spiaggia (derivanti dall'erosione delle scogliere) che ricoprono gli ammassi rocciosi della Lave del Larmisi, di cui nel seguito se ne riporta la descrizione.

3.1.1 Riporto antropico

Il sito è caratterizzato da riporto antropico, costituito da misto da demolizione di resti archeologici e sbancamenti di alcune zone della città (ove affioravano lave storiche). Il riporto ricopre varie lingue di colate laviche che si riversarono a mare durante le diverse manifestazioni vulcaniche.

Il salto morfologico della linea di costa non mostra segni sfavorevoli alla sua stabilità. Solo in corrispondenza delle zone non protette dalla mantellata di blocchi lavici, le acque dilavanti e lo scalzamento al piede indotto dalle mareggiate hanno generato evidenti fenomeni erosivi, identificabili in crolli e distacchi.

La formazione in questione rappresenta il substrato di riferimento per il sito in esame. In essa si distingue un settore più interno a prevalente componente lavica, mentre procedendo verso la linea di costa i materiali costituenti sono rappresentati anche da terreni sedimentari a matrice prevalentemente argilloso-sabbiosa.

Lo spessore varia aumentando da Sud verso Nord, ed è compreso tra i 15 ed i 10 m.

Nel seguito sono riportate alcune immagine fotografiche delle zone (*cfr. fig. 2*) in cui l'assenza di opere di protezione del versante esposto ai moti ondosi ed al conseguente scalzamento al piede, ha permesso, tramite crolli e cedimenti, l'affioramento di pareti sub-verticali di materiali di riporto, con evidenza della loro composizione.

Foto 6 Immagine della zona soggetta a crolli, posta immediatamente a Nord del piazzale; vista da Sud (*cfr. Fig. 2*).

Foto 7 Immagine della zona soggetta a crolli, posta immediatamente a Nord del piazzale; vista da Nord (*cfr. Fig. 2*).

Foto 8 Immagine della zona soggetta a crolli, posta immediatamente a Sud del piazzale; vista dal mare (*cfr. Fig. 2*).

3.1.2 Materiali lavici

Sottostante il riporto antropico è stato riscontrato un orizzonte di materiale di natura vulcanica costituito da blocchi eterometrici talora immersi in matrice sabbioso-ghiaiosa. Lo spessore di tale orizzonte varia aumentando da Sud verso Nord, ed è compreso tra i 10 ed i 4 m.

Tali materiali sono attribuibili in parte a blocchi posizionati alla base del riporto ed in parte, soprattutto laddove è presente una frazione più fine esclusivamente di origine lavica, a depositi di spiaggia derivante dai detriti dello smantellamento delle falesie un tempo sovrastanti.

3.1.3 Lave del Larmisi

Per queste lave al momento non si dispone di una datazione certa. Sciuto Patti aveva ritenuto che questa appartenesse ad una corrente di lava, posteriore a quella di S. Sofia, ma precedente ai primi insediamenti abitativi della città di Catania e che su di essa, poiché occupò la porzione orientale del territorio, si fosse sviluppato il più antico tessuto urbano. Questo, in buona sostanza, oltre alla porzione più alta di Monte Vergine, si estendeva da Piazza Stesicoro verso il mare dove aveva disegnato l'attuale linea di costa compresa tra il Caito ed il porto.

Altra datazione è, invece, attribuita da Romano (R.ROMANO et alii; 1982) che considera un'unica colata, proveniente dalla nuova bocca di M. Peloso originatasi tra il 252 ed il 253 a.C., responsabile della messa in posto sia delle lave Larmisi che di quelle della Carvana.

Tenuto conto di queste diverse attribuzioni, certamente dovute alla mancanza di riscontri di carattere petrografico, è stato ritenuto di ricercare la più probabile datazione nei riscontri storici che certamente permettono, per la presenza di siti archeologici datati, di costruire una mappatura, se pur estremamente puntuale, molto verosimile.

Gli studiosi hanno ritenuto di attribuire una datazione certamente antecedente alla colonizzazione greco-romana non solo perché su di essa furono edificati, il Teatro romano, le numerose Terme, su preesistenze greche, ma soprattutto, perché "contiene" alcune interessanti testimonianze di età eneolitica (nei pressi dell'Istituto Agrario di Barriera vennero rinvenuti, all'interno di una grotta di scorrimento lavico, tracce di focolari e cocciame che sono stati attribuiti, nel 1898 da P. Orsi, al I e II periodo siculo; cultura di Castelluccio)

Sulla scorta di queste inconfutabili testimonianze non si può non riconoscere, per queste lave, un'età certamente non inferiore al 4.000 a.C.. Resta da comprendere il rapporto cronologico con le altre lave antiche che soggiacciono sotto le strutture greco-romane nella porzione più occidentale della città antica.

Macroscopicamente la lava appare di colore grigio chiaro con fenocristalli di plagioclasio, di augite ed olivina. Su tali colate spesso si riscontra uno spessore variabile di riporto antropico con spessore variabile di alcuni metri, è ed costituito in parte da blocchi lavici e clasti di varia dimensioni con sabbia.

4 IDROGEOLOGIA

4.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Le caratteristiche morfologiche e strutturali della lava etnea, presentando una eteropia per l'alternanza di lave massive fessurate e livelli scoriacei, permettono un assorbimento molto prossimo al valore di 0,95.

Per tale motivo sui fianchi del Monte Etna non si è mai potuto instaurare un vero sistema idrografico superficiale. Infatti, solo raramente ed in alcuni punti, le acque meteoriche riescono ad incanalarsi in incisioni di erosione per piccoli tratti e per poche ore dopo le precipitazioni più violente.

La concentrazione delle totalità delle aste fluviali nella porzione più meridionale del territorio, che si contrappone alla totale assenza di un pur minimo bacino idrografico settentrionale, non è evidentemente casuale.

Un'annotazione particolare va rivolta agli effetti dovuti all'intensa urbanizzazione dell'area pedemontana etnea che ha determinato, di fatto, una drastica riduzione delle aree libere su cui l'acqua è libera di infiltrarsi nel terreno grazie all'elevata permeabilità dello stesso.

Ciò determina un incremento notevole delle acque di ruscellamento che si vanno a riversare nelle sedi stradali che, in occasione di piogge già di media entità, si trasformano in veri e propri alvei fluviali, le cui aste maggiori sono appunto le strade di collegamento principale tra Catania ed i paesi dell'hinterland e gli assi viari maggiori della città.

4.2 CARATTERI IDROGEOLOGICI

Vengono qui analizzate le caratteristiche idrogeologiche delle formazioni presenti nell'area d'interesse, principalmente sulla base di una valutazione qualitativa delle permeabilità, ma considerando anche tutti quei fattori di natura stratigrafica e strutturale che condizionano l'esistenza delle acque nel sottosuolo.

Le lave, con le loro componenti massive e scoriacee, possono presentare permeabilità diverse. Si distinguono fondamentalmente due circolazioni, una superficiale, ed una profonda. La falda superficiale, per quanto concerne il basso versante etneo, insiste nelle vulcaniti ed è confinata dalle sottostanti formazioni sedimentarie impermeabili (argille, limi). La falda profonda, nelle alluvioni della piana di Catania, è localizzata nei depositi ghiaioso-sabbiosi che caratterizzano la porzione settentrionale della piana medesima.

Le numerose testimonianze scientifiche, nonché storiche, hanno inconfutabilmente dimostrato che il bacino idrografico preetneo è solo sepolto dalle numerose colate laviche che, grazie al marcato carattere permeabile della formazione, garantisce un deflusso normale e costante verso mare di notevoli quantità d'acqua. Ciò è dimostrato dal pullulare di sorgenti lungo il tratto di costa compreso tra il Porto e Cannizzaro, che localmente comportano a mare notevoli variazioni di salinità e di temperatura.

È notevole la funzione che riveste l'Etna in tema di precipitazioni. Infatti, essa costituisce una barriera di arresto fra le nubi ed i centri di condensazione e precipitazione dell'umidità atmosferica che, per effetto della mitigazione operata dal vicino mare ionico, determina le massime precipitazioni a metà costa sul versante est.

La precipitazione media annua che interessa l'intero apparato eruttivo è stata stimata in 800 mm. Ma, per un corretto bilancio idrogeologico, bisogna considerare l'assorbimento di competenza cioè quello che le linee di spartiacque sotterranee convogliano in direzione S-SE.

Abbiamo precedentemente accennato alla caratteristica saliente delle vulcaniti etnee che oltre all'altissima porosità della porzione scoriacea presentano una permeabilità "in grande" per fessurazione.

Altro fattore positivo per la permeabilità, è la presenza di cavità relitte talora estese per chilometri, dovute a scorrimenti lavici fluidi al di sotto di copertura di lava consolidata.

In generale si può considerare come piano di scorrimento di base la formazione plio-pleistocenica delle argille azzurre che costituiscono, con andamento vallivo più o meno marcato, il sub-strato impermeabile, ma non è raro il caso di falde sospese, "trattenute" da suoli argillificati di ceneri vulcaniche o coltri tufacee.

Si può in generale considerare che la circolazione idrica avvenga per percolazione verticale fino al sub-strato argilloso dove diventa dominio delle direttrici di massimo deflusso di valli sepolte o "paleovallate".

Ogniben (1966) aveva stimato, per l'intero apparato eruttivo dell'Etna che è di circa 1.150 Kmq e per una altezza di precipitazioni di 800 mm annui, un afflusso medio annuo di 874 milioni di m^3, stima senz'altro in difetto poiché non teneva conto dell'apporto delle nevi ad alta quota, ma era controbilanciata da una detrazione per evapotraspirazione.

4.3 SITUAZIONE LOCALE

L'assetto idrografico del sito presenta un ruscellamento superficiale diffuso ma non caratterizzato da incisioni importanti. Ciò è dovuto principalmente sia all'alto grado di urbanizzazione che impedisce una gerarchizzazione delle aste fluviali, sia per la litologia che non favorisce l'erosione superficiale.

L'acquifero è rappresentato da una potente copertura lavica le cui caratteristiche di elevata fratturazione hanno determinato una circolazione idrica sotterranea profonda. Come è noto, nei terreni vulcanici il grado di permeabilità è tale da favorire un rapido smaltimento delle acque di precipitazione che, penetrando velocemente nel sottosuolo, attivano una rapida circolazione sotterranea.

La potenzialità di questa falda dipende essenzialmente dalla quantità di acqua di precipitazione, ed in parte dalla presenza a monte di punti di emungimento.

La profondità del livello idrico si attesta ad una profondità pari alla quota altimetrica assoluta, ovvero a 12,0 dal p.c. (il sito si trova ad una quota di 12,0 m s.l.m.).

L'area studiata, caratterizzata da affioramenti di terreni vulcanici e depositi antropici, presenta, per quanto riguarda le lave, una permeabilità da elevata a media, in funzione dei livelli meno fratturati meno permeabili.

In generale possiamo avere:

- terreni permeabili per fessurazione (Lave); le frequenti discontinuità presenti nelle lave, implicano una permeabilità elevati e variabile in relazione alla distribuzione delle fratture, con valori compresi tra $10^{-3} \leq K \leq 10^{-2}$ m/sec;
- terreni permeabili per porosità (riporti con depositi antropici); sovrapposti ai banconi lavici hanno granulometria medio-fine, e presentano una matrice argilloso-sabbiosa, con una permeabilità medio-bassa e valori compresi tra $10^{-5} \leq K \leq 10^{-4}$ m/sec.

5 LINEAMENTI TETTONICI

Dal punto di vista strutturale considerando una scala regionale, è da osservare che l'area fa parte del margine orientale della Sicilia, zona caratterizzata da un contesto di deformazioni neotettoniche significative.

La sua espressione più evidente è costituita dal sistema a gradinata di faglie dirette, degradante verso il mare Jonio. La successione delle dislocazioni ha condizionato fortemente sia la morfologia che la idrogeologia dell'area. In particolare si vuole evidenziare la giacitura dei piani di faglia, che presentano un'immersione verso la linea di costa.

Tale sistema è stato tradizionalmente interpretato come espressione di un campo regionale di stress puramente distensivo, ma studi più recenti hanno messo in evidenza una maggiore complessità del sistema strutturale.

La distribuzione dei lineamenti tettonici osservabili nell'area mostra dei massimi ben marcati ed evidenti, orientati da N a NE, che denotano la presenza di sistemi coniugati di faglie attive.

Il quadro strutturale di cui trattasi, è sede di ricorrenti ed accentuate deformazioni neotettoniche, come testimoniato non solo dalle dislocazioni che interessano unità stratigrafiche estremamente recenti (colate laviche etnee di età storica), ma anche e soprattutto dalla diffusa sismicità locale che si manifesta nell'area con estrema frequenza.

L'analisi dettagliata del territorio permette di valutare alcuni salti morfologici come disturbi tettonici.

Infatti, la ricostruzione paleogeografica di alcune aree come quelle di Fasano, Leucatia, e S. Sofia ha permesso di individuare la preesistenza di una morfologia collinare instauratasi su terreni sedimentari che, interessata successivamente da espandimenti lavici, fu obliterata nelle parti depresse. Processi successivi di erosione selettiva ad opera di acque superficiali hanno determinato l'inversione del rilievo.

Tuttavia non si può escludere che i primi ricoprimenti lavici e le relative formazioni sottostanti siano stati localmente interessati da fenomeni di lineazione, ma considerata l'obliterazione per l'elevato grado di antropizzazione raggiunto nell'area urbana e per ulteriori ricoprimenti lavici che in più epoche si sono succeduti, non è stato possibile rilevare con certezza elementi certi di disturbi tettonici.

Nell'area esaminata non si rinvengono dislocazioni tettoniche.

In riferimento alla tettonica sismogenetica, coerentemente al quadro tettonico-strutturale della Sicilia è stata definita (COSENTINO, 1987) una zonizzazione sismica regionale individuando le aree con caratteristiche sismologiche omogenee.

L'area in esame ricade nela zona della "Sicilia sud-orientale", in cui la sismicità è distribuita principalmente in due settori:

- ⇒ lungo la costa ionica, dove gli eventi raggiungono magnitudo circa 7.0;
- ⇒ nell'area interna, con terremoti di MS ≤ 5.5.

Rispetto alla zonazione esistente, è stato proposto un possibile modello sismogenetico dell'area (AZZARO e BARBANO, 2000 – *cfr. Fig. 3*).

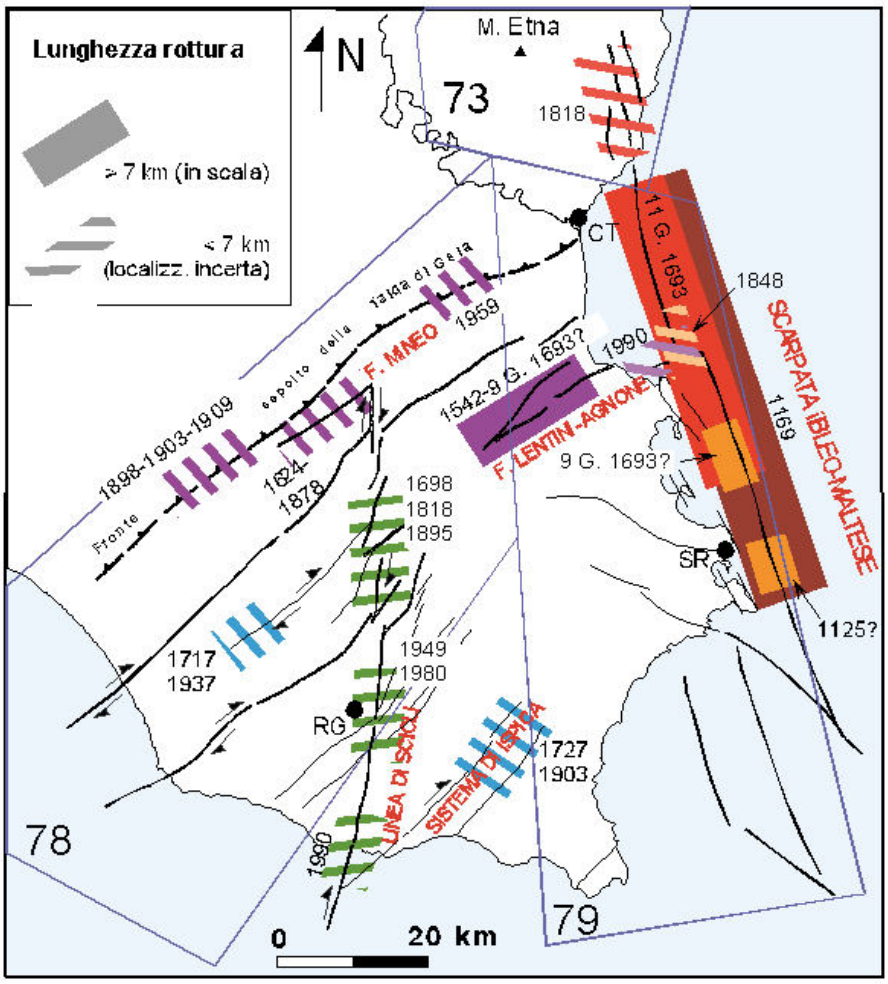


Fig. 3 Principali strutture tettoniche sismogenetiche della Sicilia Sud-orientale (da AZZARO et alii, 2003).

6 ANALISI DELLA SISMICITÀ

6.1 INQUADRAMENTO MACROSISMICO

Il territorio comunale di Catania, il DM 14-09-2005 e il DM NTC 14/01/2008, è stato classificato come Zona Sismica 2 (0.200 ≤ ag ≤ 0.225 – si tiene conto di suoli rigidi di tipo A).

Allo scopo di disporre di idonei elementi di giudizio per valutare il livello di sismicità che caratterizza il territorio in esame, è stata eseguita un'indagine rivolta ad accertare gli effetti macrosismici registrati in passato nell'area di interesse.

A tale fine è stato preso in esame il Catalogo delle Mappe Isosismiche per i terremoti verificatisi in Sicilia e Calabria negli anni compresi tra il 1783 ed il 1978 (Barbano et al., 1980).

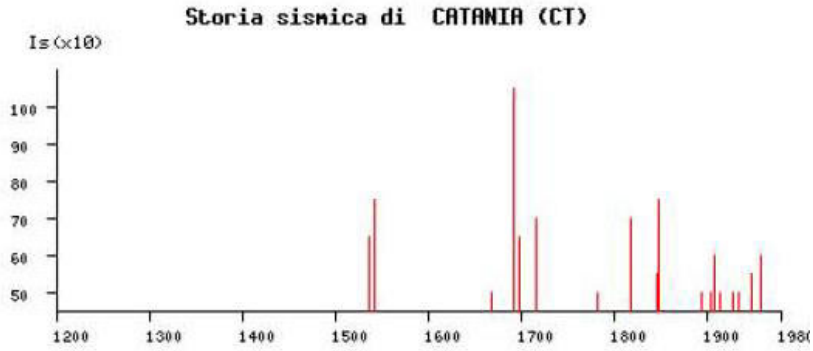
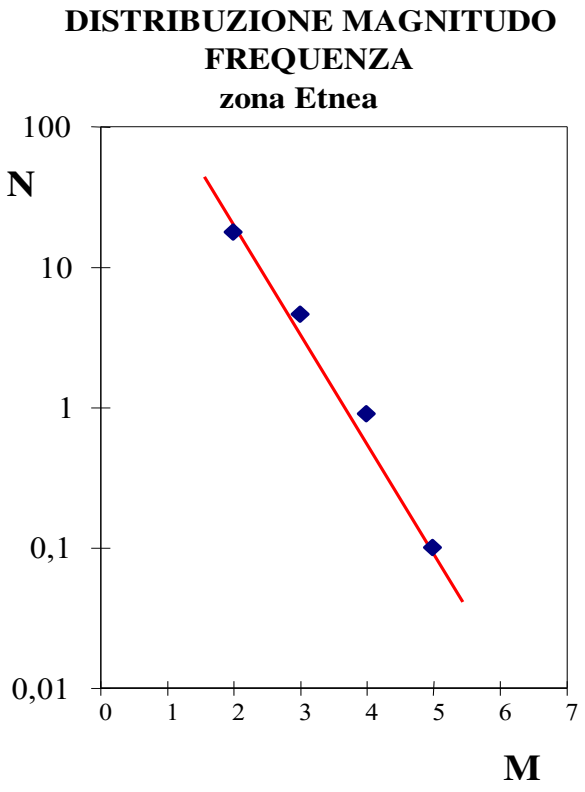


Fig. 4 Storia sismica Catania

I terremoti considerati ai fini della valutazione di cui trattasi, sono quelli che hanno fatto registrare nell'area di interesse, effetti di intensità (I M.S.K.) pari o superiore a 3 nella scala proposta da Medvedev, Sponhauer e Karnik, raggruppati in funzione delle relative aree sismogenetiche.



I terremoti che hanno origine nell'ambito della Catena Costiera Peri-Tirrenica producono sempre, nell'area di interesse, effetti di scarsa rilevanza, come può dedursi dai campi macrosismici esaminati, che riportano valori di intensità perlopiù 3, con l'eccezione di un solo evento (11/9/1934) con valori di intensità pari al I.M.M. = 5.

Per quanto concerne le aree sismogenetiche della Calabria e dello Stretto di Messina é invece da osservare che i terremoti che si originano in tali regioni possono avere, nell'ambito del territorio esaminato, effetti mediamente più elevati, con valori di intensità macrosismica (I.M.M.) compresi tra 3 e 5.

Unici eventi che hanno superato il tetto di questo intervallo, presentando effetti di intensità pari a 6-7 sono quelli riferibili al ben noto terremoto di Messina del 28 Dicembre 1908 ed al terremoto di Amendolara del 5.2.1783.

È peraltro da osservare che eventi di tal genere devono, ad ogni buon conto, essere considerati come eventi a carattere eccezionale.

Effetti paragonabili a quelli menzionati per le aree sismogenetiche calabrese e dello Stretto di Messina, sono da attribuirsi ai terremoti che si originano nella Sicilia Sud-orientale, in corrispondenza dell'Altopiano Ibleo.

Anche in questo caso gli effetti macrosismici che si registrano nell'area di interesse, sono mediamente contenuti tra valori di intensità 3-5.

Un solo evento ha superato la soglia superiore di questo intervallo (23 Dicembre 1959), facendo registrare effetti di intensità pari a circa 6.

Considerazioni del tutto diverse valgono per i terremoti che si originano lungo la fascia orientale etnea, sia per la prossimità delle strutture sismogenetiche di questa regione rispetto al territorio di interesse, che per le peculiari caratteristiche della meccanica focale tipica degli eventi sismici in questione.

La sismicità della regione orientale etnea é quella che indubbiamente può rappresentare la più concreta minaccia, anche se non esistono evidenze di eventi sismici storici con epicentro nell'ambito del territorio esaminato.

Il terremoto che, in epoca storica, si é fatto risentire con maggiore intensità (I.M.M. = 6-7) nell'ambito dell'area di interesse, é quello del 20 Febbraio 1818.

Vista pertanto la rilevanza della sismicità che compete alla regione Etnea, ai fini della valutazione del rischio sismico nell'ambito del territorio di interesse, si riportano le risultanze dello studio di zonazione sismica svolto da M.S. BARBANO et alii (*Seismic zoning of Calabria and Sicily - South Italy - 1983*).

Lo studio ha preso in esame tutti i terremoti con intensità (I M.S.K.) pari o superiore a 3, avvenuti nella regione Etnea nel periodo 1783-1978 (Carrozzo et al., 1975).

La relazione tra intensità M.S.K. e magnitudo, usata in questo studio, è stata ricavata da Gutenberg e Richter (1954):

$$\log N = a + b\,M$$

dove N rappresenta il numero di terremoti per unità di tempo, con magnitudo M o maggiore ed a e b sono dei coefficienti che caratterizzano la sismicità di una data regione.

In particolare il coefficiente angolare (b) della retta di correlazione, esprime le modalità di rilascio dell'energia accumulata nella crosta (o con molti terremoti di bassa magnitudo, o con pochi eventi di alta magnitudo).

Sugli eventi considerati gli Autori hanno ottenuto la relazione:

$$\log N = 2{,}71 - 0{,}74\,M$$

La pendenza ottenuta per questa retta indica come la sismicità della zona sia prevalentemente dovuta a numerosi terremoti di bassa magnitudo.

Il valore di b (0,74) mostra inoltre il carattere poco profondo della sismicità, in base al confronto con i valori riportati da Karnik (1969) per l'Europa e l'area mediterranea.

Di contro è da sottolineare che, malgrado la prossimità degli epicentri sismici di eventi verificatisi lungo la fascia costiera orientale dell'Etna, la modesta profondità focale che li caratterizza, contribuisce a contenere gli effetti entro aree sempre molto limitate.

Va pertanto rimarcato che, malgrado la bassa probabilità statistica di epicentri nella zona di interesse, i terremoti che si originano in aree sismogenetiche contigue possono produrre nell'area rilevanti effetti di scuotibilità. Un terremoto può essere considerato pericoloso ai fini della stabilità delle strutture se la sua intensità (I M.M.) sia maggiore o uguale a 5.

Una tale intensità equivale ad una accelerazione massima pari o superiore a 0.01 gal. A titolo esemplificativo é opportuno menzionare che il famoso terremoto di Messina del Dicembre 1908, la cui area epicentrale é posta a circa 80 Km dalla zona di interesse, ha prodotto in quest'ultima una accelerazione valutabile a circa 0,19 gal.

I dati di cui sopra si riferiscono alle accelerazioni calcolate al livello del substrato relativo (bed-rock). Le accelerazioni che possono attendersi in superficie sono certamente maggiori, vista la funzione di amplificazione dipendente dallo spessore del materiale posto tra il basamento e la superficie topografica, nonché dal suo modulo di elasticità.

Una ulteriore considerazione riguarda le frequenze dominanti nella sollecitazione elastica trasmessa alla struttura. Il mezzo attraversato infatti, tende a modificare lo spettro di frequenza proprio della sorgente sismica, trasferendolo verso le frequenze più basse, in funzione inversa della rigidità.

Le onde sismiche emergenti avranno quindi lunghi periodi di oscillazione, che potranno entrare facilmente in risonanza con i periodi propri di oscillazione delle strutture.

Si riporta un estratto della *mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale* (riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b) espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Vs > 800 m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005.

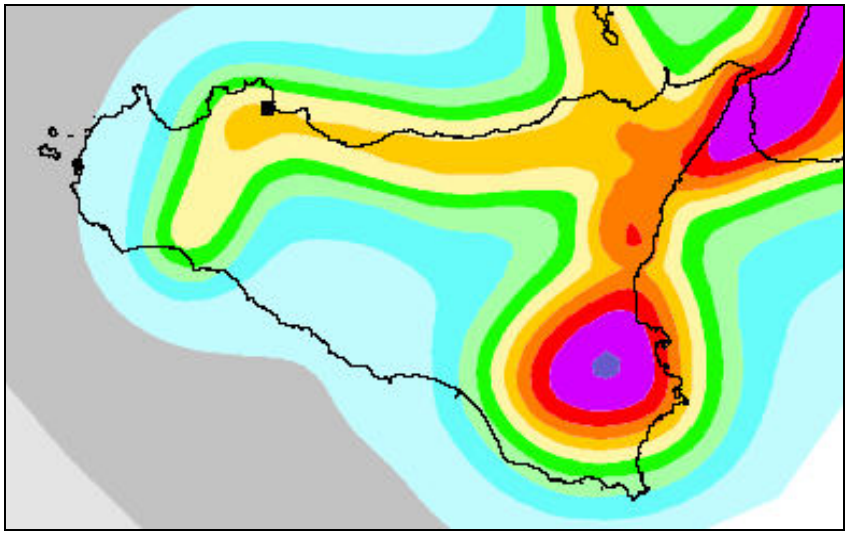


Fig. 5 Stralcio mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (INGV)

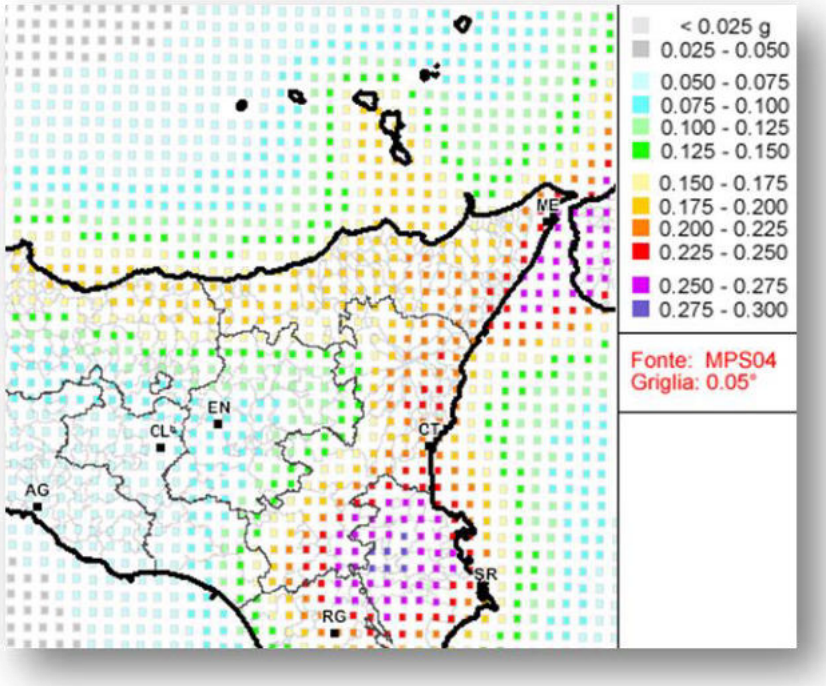


Fig. 6 Valori di pericolosità sismica della Sicilia Orientale (stralcio All. 1B OPCM n°3519 del 28/04/2006).

Il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone caratterizzate da una diversa accelerazione orizzontale massima al suolo su suolo di categoria A. Questo valore di accelerazione è frutto di rilevazioni ed indagini previsionali svolte dall' INGV.

Le quattro zone sono caratterizzate dalle seguenti accelerazioni massime:

$$\text{Classe 1} \Rightarrow \begin{cases} \text{zona 1} \rightarrow a_g = 0.35g \\ \text{zona 2} \rightarrow a_g = 0.25g \\ \text{zona 3} \rightarrow a_g = 0.15g \\ \text{zona 4} \rightarrow a_g = 0.05g \end{cases} \longrightarrow \text{Probabilità di superamento del 10\% in 50 anni}$$

ZONA	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g)
1	0.25 < a_g ≤ 0.35 **g**	0.35 **g**
2	0.15 < a_g ≤ 0.25 **g**	0.25 **g**
3	0.05 < a_g ≤ 0.15 **g**	0.15 **g**
4	≤ 0.05 **g**	0.05 **g**

Tab. 6.1 Zona sismica

In seguito alla OPCM 3274, la regione Sicilia ha emesso su delibera n. 408 del 19 dicembre 2003, la Mappa della classificazione sismica del territorio riportata nella figura sottostante:

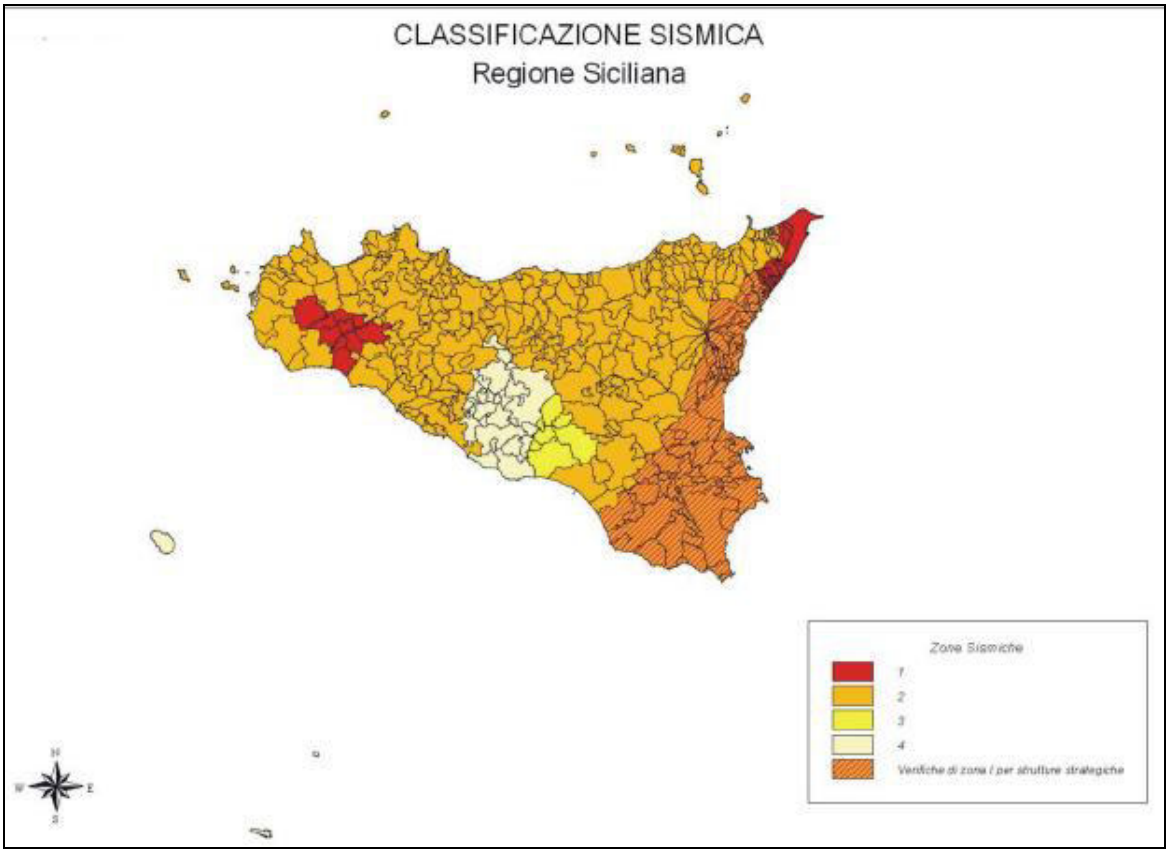


Fig. 7 Mappa della Classificazione Sismica delle Regione Siciliana (Delibera di G.R. n. 408 del 19 dicembre 2003).

6.2 AZIONE SISMICA (AI SENSI DEL D.M. 14/01/2008 " TESTO UNITARIO: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI ")

L'azione sismica sulle costruzioni è generata dal moto non uniforme del terreno di sedime per effetto della

propagazione delle onde sismiche. Il moto sismico eccita la struttura, provocandone la risposta dinamica, che va verificata e controllata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Pertanto, l'azione sismica di progetto, in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione, viene definita partendo dalla "pericolosità sismica di base" del sito di progetto, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero, su sito di riferimento rigido (di categoria **A**), con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR}, nel periodo di riferimento V_R.

In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Nel seguito si definirà l'azione sismica per il sito di progetto, mediante l'uso di spettri di risposta elastici, che rappresentano il modello di riferimento per la descrizione del moto sismico in un punto specifico della superficie del suolo.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR}, a partire dai valori dei seguenti parametri, su sito di riferimento rigido orizzontale:

1) a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
2) F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
3) T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il valore dell'accelerazione a_g è desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento prodotta e messa in rete dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia (*cfr. fig. 6.1*): non è altro che la probabilità che, in un fissato lasso di tempo, nel sito in studio si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato.

Nelle **NTC 2008**, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato "periodo di riferimento" V_R e la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" P_{VR}. Mentre F_0 e T_C^* sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento forniti dall'allegato B del D.M. 14.01.2008 approssimino al meglio i corrispondenti derivanti dalla pericolosità di riferimento.

La scelta dell'azione sismica di progetto è relazionata alla zona sismica ed alla categoria di suolo di fondazione; attribuendo alle diverse località del territorio un valore di scuotimento sismico di riferimento espresso in termini dell'accelerazione al suolo è necessario tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su di un sito rigido con superficie orizzontale; tali modifiche in ampiezza, durata e frequenza sono quindi il risultato della risposta sismica locale.

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA	S_T
T1	*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°*	*1,00*
T2	*Pendii con inclinazione media i > 15°*	*1,20*
T3	*Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclin. media 15° ≤ i ≤ 30°*	*1,20*
T4	*Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media i > 30°*	*1,40*

Tab. 6.1 Categorie topografiche con relativo valore massimo del coefficiente di amplificazione topografica ST (come da Tabella 3.2.IV e 3.2.VI del D.M. 14/01/2008).

Gli effetti della risposta sismica locale possono essere valutati con metodi semplificati valutando attentamente gli effetti stratigrafici e quelli topografici: i primi legati alla successione lito-stratigrafica del volume significativo gli altri in relazione alla configurazione topografica del piano campagna (*cfr. Tab. 6.1*). Quindi si propone l'adozione di un sistema caratterizzato da parametri geofisici e geotecnici del profilo stratigrafico del terreno tramite cinque tipologie di suoli A – B – C – D – E (*cfr. Tab 6.2*) più due speciali S1 e S2 (*cfr. Tab. 6.3*). Tali categorie vengono individuate in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio, mediate sui primi trenta metri di suolo (***V_{S30}***) oppure mediante ***N_{SPT30}*** nei terreni prevalentemente a grana grossa o ancora mediante la ***C_{U30}*** nei terreni prevalentemente a grana fina, in quei casi dove le ***V_{S30}*** non siano disponibili.

CATEGORIA	***LITOLOGIA***
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di V_{S30} >800 m\s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
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 360 m\s < V_{S30} < 800 m\s (ovvero N_{SPT} > 50 nei terreni a grana grossa e c_u > 250 kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di 180 m\s < V_{S30} < 360 m\s (ovvero 15 < N_{SPT} < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < c_u <250 kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} < 180 m\s (ovvero N_{SPT} < 15 nei terreni a grana grossa e c_u < 70 kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m,* posti sul substrato di riferimento (con V_{S30} > 800 m\s).

Tab. 6.2 Categorie di sottosuolo come da Tabella 3.2.II del D.M. 14/01/2008.

Per queste cinque categorie le azioni sismiche sono definite al § 3.2.3 delle NTC 2008, mentre per le successive due (*cfr. Tab 6.3*) è necessario eseguire specifiche analisi di risposta sismica locale meglio descritte al § C.7.11.3.1 della Circolare n° 617 C.S.L.P. del 02/02/09.

CATEGORIA	***LITOLOGIA***
S1	*Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (PI > 40) e contenuto d'acqua, caratterizzati da valori di V_{S30} < 100 m\s (10 < c_u < 20 kPa)*
S2	*Depositi di terreno soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti*

Tab. 6.3 Categorie di sottosuolo come da Tabella 3.2.III del D.M. 14/01/2008.

L'azione sismica sulle costruzioni è condizionata dalla risposta del terreno di sedime, essa è generata dal moto non uniforme del litotipo attraversato durante la propagazione delle onde sismiche: la propagazione sismica eccita la struttura dell'edificio provocandone la risposta dinamica, oggetto di verifica e controllo in termini di sicurezza e prestazioni attese.

Sulla base del documento "*Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale*", elaborato dal Gruppo di Lavoro costituito sulla base della risoluzione della Commissione Nazionale di Previsione e

Prevenzione dei Grandi Rischi (1998), la mappa di pericolosità sismica MPS04 aggiornata alla classificazione sismica regionale del 15/01/2004 ed utilizzata ancora dalla OPCM 3519/2006 fino alla recente NTC 2008, il territorio di cui si relaziona rientra nella "Zona 2" in funzione dell'accelerazione sismica di progetto (a = 0.25 g).

Riassumendo, nel caso specifico, le norme precisano che la sicurezza e le prestazioni della struttura in oggetto dovranno essere valutate in relazione all'insieme degli stati limite che verosimilmente si potrebbero verificare durante la vita normale presa come riferimento in sede progettuale; la rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5% con periodo di oscillazione T ≤ 4 sec: espressione del prodotto della forma spettrale per l'accelerazione. Poiché progettualmente si prevede che non saranno necessari interventi di manutenzione straordinaria per ripristinare la capacità di durata della costruzione prima di 50 anni, si pone $\mathbf{V_N \geq 50}$ con riferimento alla Tab. 6.4.

	TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva[1]	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Tab. 6.4 Valore della Vita nominale, come da Tabella 2.4.I del D.M. 14/01/2008.

Inoltre, ai sensi e per gli effetti del D.C.D.P.C. n° 3685/03, il carattere strategico di un'opera per le conseguenze di un eventuale collasso sono definiti dalla classe d'uso ***CU*** (*cfr. Fig. 8*) all'interno delle quali sono suddivise le costruzioni.

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Fig. 8 Classi d'Uso indicate al § 2.4.2 del D.M. 14/01/2008

Le opere in progetto rientrano nella **Classe d'Uso III**: "*Costruzioni il cui uso prevede affollamenti*

significativi..." ed il relativo Coefficiente d'uso, definito al variare della classe, pari a **1,5**, come da tabella 6.5.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0.7	1.0	1.5	2.0

Tab. 6.5 Coefficienti d'uso in funzione della classe d'uso, come da Tabella 2.4.II del D.M. 14/01/2008.

Il prodotto di questi due ultimi dati specifici della struttura ($V_R = V_N$ x CU) restituisce il valore del periodo di riferimento $\boldsymbol{V_R}$, di notevole importanza perché, fissata la probabilità di superamento $\boldsymbol{P_{VR}}$ corrispondente allo stato limite considerato (vedi Tabella 3.2.I NTC 2008), si utilizza per valutare il periodo di ritorno $\boldsymbol{T_R}$ dell'azione sismica cui far riferimento per la verifica. Nel § 6.2.3 si procede all'esposizione dei risultati delle elaborazioni specifiche per il calcolo dei parametri sismici derivanti dall'applicazione del software "*Spettri-NTC – Versione 1.0.3*" disponibile *on line* sul sito *web* del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (www.cslp.it).

6.2.1 Stati limite e relative probabilità di superamento

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli **Stati limite di esercizio** sono:

- Stato Limite di Operatività (**SLO**): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni e interruzioni d'uso significative;
- Stato Limite di Danno (**SLD**): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli **Stati limite ultimi** sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (**SLV**): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (**SLC**): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento $\boldsymbol{P_{VR}}$, cui si è fatto riferimento per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella tabella seguente:

Stati Limite		P_{VR}: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tab. 6.6 Probabilità di superamento PVR al variare dello stato limite considerato

6.2.2 Classificazione del suolo di fondazione del sito

Ai fini della definizione delle azioni sismiche di progetto, alla luce della prova sismica effettuata (*cfr. § 7.2*), considerati i risultati ottenuti, che hanno dato un valore di V_{S30} pari a:

V_{S30} = 344 m/s

si è appurato, ai sensi della normativa vigente, che i terreni affioranti nel sito in oggetto appartengono alla categoria lito-stratigrafica di tipo **C** ossia "**Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità"**, per i quali si ha:

1) **V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s**, dove V_{s30} rappresenta la velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i 30 metri di profondità;
2) una resistenza penetrometrica dinamica **N_{SPT} compresa tra 15 e 50**, negli orizzonti prevalentemente granulari;
3) una coesione non drenata **c_{u30} compresa tra 70 kPa e 250kPa**, nei terreni a grana fina.

6.2.3 Valutazione dell'azione sismica

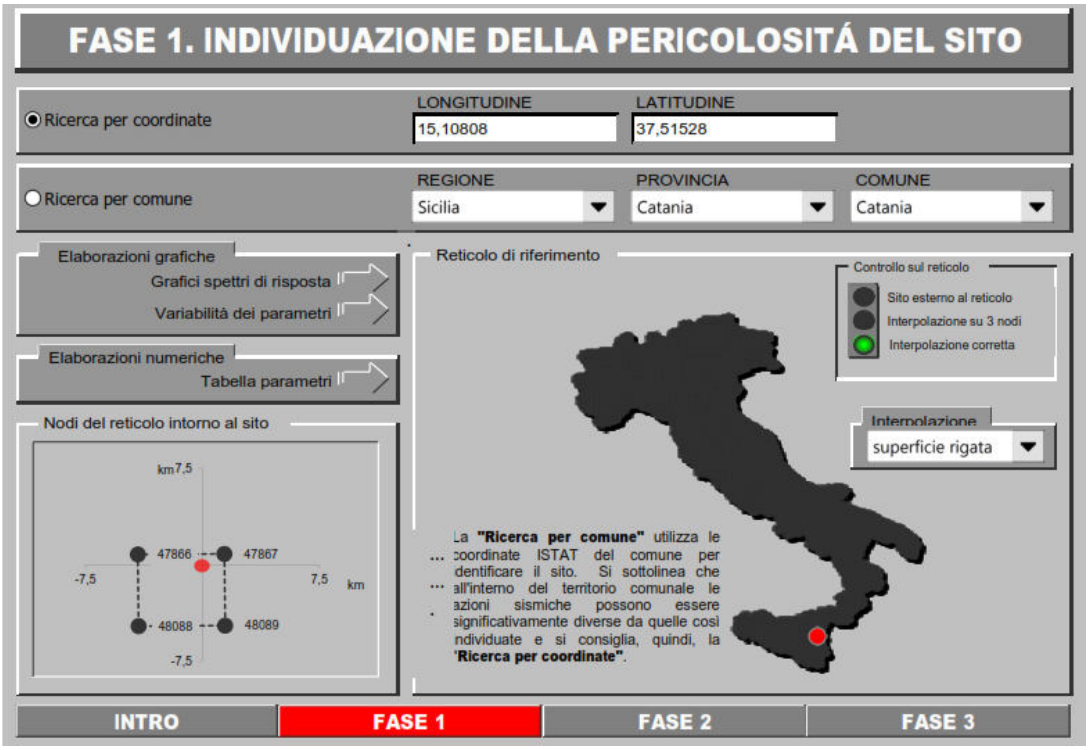


Fig. 9 Localizzazione del sito di progetto (indicato con punto rosso) all'interno del reticolo di riferimento nella finestra di fase 1 del software "Spettri-NTC – Versione 1.0.3"

Nel seguito sono riportati i relativi parametri sismici ricavati utilizzando il software "*Spettri-NTC – Versione 1.0.3*" (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – www.cslp.it) implementato con i parametri esposti in tab. 6.7 e tab. 6.8:

	TIPI DI COSTRUZIONE	VITA NOMINALE
	Opere provvisorie	**≤ 10**
	Opere ordinarie	**≥ 50**
	Grandi opere e Opere Strategiche	**≤ 100**

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente C_U	0.7	1.0	**1.5**	2.0

Tab. 6.7 Tipologia di costruzione

Coordinate WGS84 (gradi decimali)	Classe	Vita nominale (V_N)	Categoria sottosuolo	Categoria topografica	Periodo di riferimento (V_R)	Coefficiente Cu
Latitudine 37.626916° N Longitudine 15,515283° E	III	50	C	T2	75	1,5

Tab. 6.8 Dati generali sul sito di progetto

Stati limite		T_R [anni]	a_g [g]	F_o	T_C^* [sec]
Stati limite di esercizio (SLE)	Operatività (SLO)	45	0,076	2,550	0,258
	Danno (SLD)	75	0,093	2,528	0,276
Stati limite ultimi (SLU)	Salvaguardia vita (SLV)	712	0,241	2,463	0,398
	Prevenzione collasso (SLC)	1462	0,333	2,427	0,474

Tab. 6.9 Valori dei parametri sismici del sito di progetto per i periodi di ritorno T_r associati.

6.2.4 Spettri di risposta elastica

Nel D.M. 14/01/2008 viene introdotto lo spettro di risposta elastico, che costituisce un modello di riferimento per la descrizione del moto sismico sul piano di fondazione. Il moto può decomporsi in tre componenti ortogonali di cui una verticale; in via semplificata gli spettri delle due componenti orizzontali possono considerarsi eguali ed indipendenti.

Lo spettro di risposta elastico, quindi, è costituito da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5% e considerata indipendente dal livello di sismicità, moltiplicata per il valore dell'accelerazione massima convenzionale del terreno fondale a_g che caratterizza il sito; sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR}.

Gli spettri di seguito definiti potranno essere applicati per strutture con periodo fondamentale inferiore a 4,0 s. Per strutture con periodi fondamentali superiori lo spettro dovrà essere definito da appositi studi (accelerogrammi).

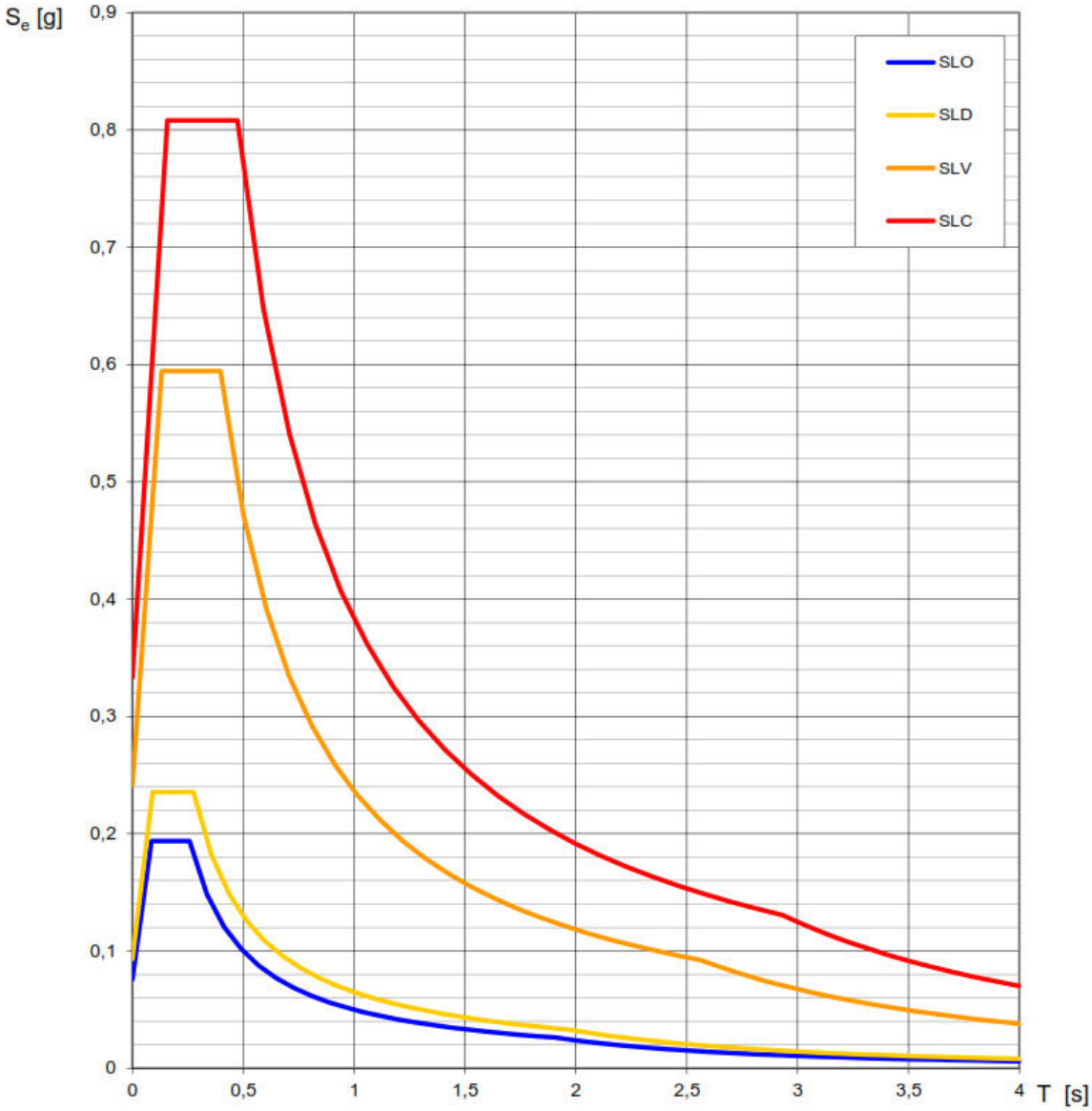


Fig. 10 Spettri di risposta elastica di riferimento per i diversi Stati Limite

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Quale che sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerato, lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

T periodo di vibrazione - S_e accelerazione spettrale orizzontale

$0 \le T < T_B$ $\quad S_e(T) = a_g S \eta F_o \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta F_O}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$

$T_B \le T < T_c$ $\quad S_e(T) = a_g S \eta F_o$

$T_c \le T < T_D$ $\quad S_e(T) = a_g S \eta F_o \left(\frac{Tc}{T}\right)$

$T_D \le T$ $\quad S_e(T) = a_g S \eta F_o \frac{(Tc\,Td)}{T^2}$

S *Coefficiente Stratigrafico e Topografico **S** = S_S S_T

ή Fattore di alterazione dello spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali **ξ** diversi dal **5%**

F_O Fattore di accelerazione spettrale massima su sito di riferimento rigido orizzontale **≥ 2.2**

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da

$T_C = C_C \times T^*_C$ dove

T^*_C (in allegato) e C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante,

$T_B = T_C/3$

T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$T_D = 4.0 \frac{a_g}{g} + 1.6$

Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale

Lo **spettro di risposta elastico** della componente verticale è definito dalle seguenti espressioni:

T periodo di vibrazione - S_e accelerazione spettrale verticale

F_v fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima:

$$F_v = 1.35\, F_O \left(\frac{a_g}{g} - 0.5\right)$$

$0 \le T < T_B$ $$S_{ve}(T) = a_g\, S\, \eta\, F_v \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\acute{\eta}\, F_v}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$$

$T_B \le T < T_c$ $$S_{ve}(T) = a_g\, S\, \acute{\eta}\, F_v$$

$T_c \le T < T_D$ $$S_{ve}(T) = a_g\, S\, \acute{\eta}\, F_v \left(\frac{Tc}{T}\right)$$

$T_D \le T$ $$S_{ve}(T) = a_g\, S\, \acute{\eta}\, F_v \frac{(Tc\, Td)}{T^2}$$

S* Coefficiente Stratigrafico e Topografico **S** = S_S S_T

ή Fattore di alterazione dello spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali **ξ** diversi dal **5%**

F_O Fattore di accelerazione spettrale massima su sito di riferimento rigido orizzontale **≥ 2.2**

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da

$T_C = C_C \times T^*_C$ dove

T^*_C e C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante,

$T_B = T_C/3$

Categoria sottosuolo	S_S	T_B	T_c	T_D
A B C D E	1.0	0.05 sec	0.15 sec	1.0 sec

Tab. 6.10 – Categorie sottosuolo

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1.00	1.00
B	$1.00 \le 1.40 - 0.40\ F_0 \frac{a_g}{g} \le 1.20$	$1.10\ (T^*_C)^{-0.20}$
C	$1.00 \le 1.70 - 0.60\ F_0 \frac{a_g}{g} \le 1.50$	$1.05\ (T^*_C)^{-0.33}$
D	$0.90 \le 2.40 - 1.50\ F_0 \frac{a_g}{g} \le 1.80$	$1.25\ (T^*_C)^{-0.50}$
E	$1.00 \le 2.00 - 1.10\ F_0 \frac{a_g}{g} \le 1.60$	$1.15\ (T^*_C)^{-0.40}$

Tab. 6.11 - Amplificazione stratigrafica

Categoria	Ubicazione dell'intervento	ST
T1	-	1.0
T2	Sommità del pendio	1.2
T3	Cresta del rilievo	1.2
T4	Cresta del rilievo	1.4

Tab. 6.12 - Amplificazione topografica

Parametri sismici associati al sito

Ai fini della definizione delle azioni sismiche dei siti di progetto, è stato utilizzato il software del C.L.S.P. "Spettri -NTC – Versione 1.0.3", implementato con i parametri riportati nelle tabelle seguenti:

Vita nominale V_N (anni)	Coefficiente d'uso (C_U)	Categoria di sottosuolo	Categoria topografica	Smorzamento ξ
50	1,5	C	T2	5 %

Tabella 6.13 Dati di input per il sito di progetto

Stati limite		S_S*	C_C*	St*
SLE	SLO	1,500	1,643	1,000
	SLD	1,500	1,606	1,000
SLU	SLV	1,343	1,423	1,000
	SLC	1,215	1,344	1,000

Ss*= Amplificazione stratigrafica
Cc* = Coefficiente funzione della categoria
St* = Amplificazione topografica

Tabella 6.14 Coefficienti sismici del sito di progetto

In Appendice 2 sono riportati i grafici e i relativi tabulati di calcolo degli spettri elastici ottenuti per i quattro stati limite sia nelle componenti orizzontali sia in quelle verticali.

7 RISULTANZE INDAGINI

Sul sito sono state eseguite delle indagini geognostiche, al fine di valutare la sequenza stratigrafica e gli spessori delle formazioni riscontrabili, la loro definizione spaziale in corrispondenza del sito indagato e l'assetto di tali volumi. Si è proceduto, pertanto, ad effettuare n. 3 sondaggi a carotaggio, n. 3 tomografie sismiche e n. 1 prova sismica attiva (MASW). In appendice alla presente relazione sono riportati i rapporti di prova delle tre tipologie di indagini svolte, in cui sono dettagliate le modalità di esecuzione e le risultanze ottenute.

Si riporta, per comodità di lettura, l'ortofoto con l'ubicazione delle indagini eseguite nell'area in esame.

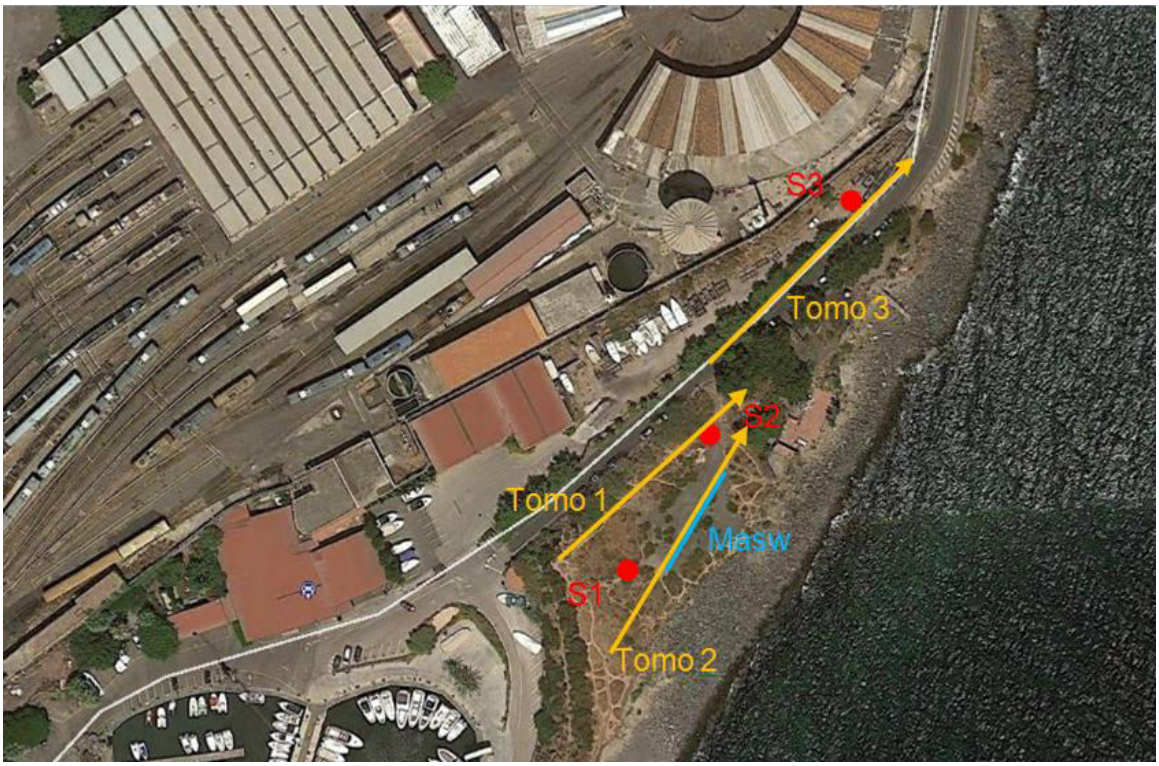


Fig. 11 Immagine satellitare dell'area con ubicazione delle indagini geognostiche condotte.

7.1 CAROTAGGI MECCANICI CONTINUI

I sondaggi meccanici S1, S2, e S3 eseguiti lungo la linea di costa da Sud a Nord, hanno raggiunto rispettivamente le profondità di 27,0, 20,0 e 18,5 m da p.c., mettendo in evidenza la presenza di riporto antropico costituito da misto da demolizione e costruzione rimaneggiato a vulcanoclastiti e blocchi vulcanici. In particolare, lo spessore del riporto si riduce lungo la congiungente andando da S1 a S3.

In sintesi le stratigrafie ricostruite sono le seguenti:

Sondaggio S1

0,00÷14,20	Materiale di riporto di natura prevalentemente lavica, costituito da blocchi lavici in matrice sabbioso-ciottolosa rossastra con elementi di laterizi

14,20÷24,00	Materiale di natura vulcanica con blocchi lavici in matrice a granulometria sabbioso-ciottolosa di colore grigio
24,00÷27,00	Lave basaltiche intensamente fratturate

Sondaggio S2

0,00÷10,50	Materiale di riporto di natura prevalentemente lavica, costituito da blocchi lavici in matrice sabbioso-ciottolosa rossastra con elementi di laterizi
10,50÷14,00	Materiale di natura vulcanica costituito da blocchi lavici da compatti a vacuolari di colore grigio; presenza di un trovante di natura sedimentaria da mt 12,40 a mt 12,70.
14,00÷17,50	Lave compatte di colore grigio poco fratturate
17,50÷18,30	Lave compatte di colore grigio molto fratturate
18,30÷20,00	Lave debolmente vacuolari di colore grigio poco fratturate

Sondaggio S3

0,00÷9,00	Materiale di riporto di natura prevalentemente lavica, costituito da blocchi lavici in matrice sabbioso-ciottolosa rossastra con elementi di laterizi
9,00÷10,50	Materiale di natura vulcanica con blocchi di lave vacuolari di colore grigio
10,50÷18,50	Lave compatte di colore grigio poco fratturate a tratti intensamente fratturate

Dall'esame di quanto esposto nelle stratigrafie dei sondaggi eseguiti, si evince che procedendo da Sud verso Nord lo spessore del riporto, in corrispondenza dell'area di stretto interesse, decresce da oltre 14 m in S1, sino a circa 10 m in S2, posto al limite Nord del piazzale.

I materiali di riporto assumono, pertanto, un ruolo preponderante nel settore meridionale, dove costituiscono in toto il rilevato che sovrasta la linea di costa. Sotto di esso si incontrano blocchi lavici, che costituivano i depositi di spiaggia, ovviamente di natura lavica, per uno spessore di qualche metro. Tali blocchi ricoprono le originarie colate laviche e, procedendo verso Sud, assumono spessori più rilevanti con valori che vanno oltre i 10 m.

7.2 MASW

La MASW è una prospezione sismica condotta con la finalità di accertare le caratteristiche sismiche dei terreni ottemperando a quanto prescritto dal D.M 18/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni" ove si richiede il calcolo della velocità media delle onde S (V_{S30}) nei primi trenta metri di sottosuolo.

In particolare è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla registrazione delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo.

La prova eseguita, su una lunghezza di 36 m, tramite l'utilizzo di n. 12 geofoni interdistanziati 3 m, ha permesso di ricostruire un profilo bidimensionale delle V_{S30} dove si osservano fondamentalmente, due strati: un primo strato superficiale a bassa velocità con V_S < 250 m/sec, e quello sottostante con V_S prossimo a 500 m/sec. Nella figura sottostante si riporta il profilo verticale di velocità, che rispecchia, relativamente alla

parametrizzazione condotta, l'andamento sismostratigrafico del sottosuolo.

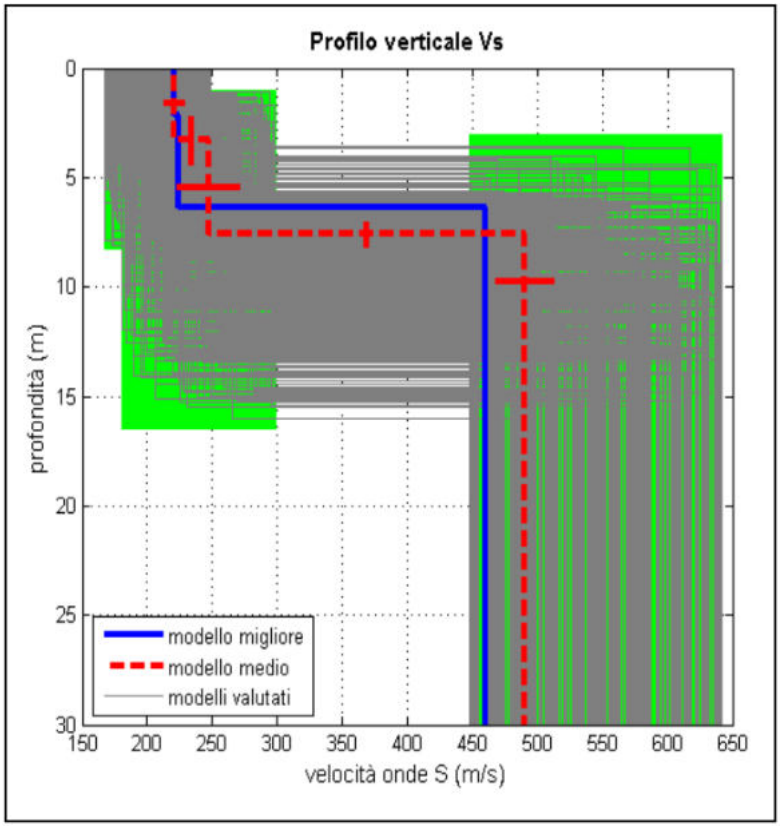


Fig. 12 Profilo verticale delle velocità delle onde S registrate tramite la prova MASW condotta.

Nella tabella che segue vengono riassunti i valori Vs, gli spessori dei singoli sismostrati ed i parametri sismoelastici, quali la stima dalla densità, i moduli elastici ed i valori Vp, ottenuti mediante l'analisi delle onde di Rayleight con il software "winMASW" (Eliosoft), derivanti dall'indagine MASW condotta.

Modello medio			**Tipo di analisi: onde di Rayleigh:** stima approssimativa di Vp, densità e moduli elastici						
Strati	Vs (m/s)	Spessori (m)	Vp (m/s)	Densità (gr/cm)	Mod. di Poisson	Mod. di taglio (MPa)	Mod. di compress. (MPa)	Mod. di Young (MPa)	Mod. di Lamé (MPa)
1	221	3,3	469	1,87	0,36	91	290	248	229
2	247	4,3	481	1,88	0,32	115	282	303	205
3	490	seminfinito	998	2,05	0,34	493	1388	1322	1059

In relazione ai parametri sismoelastici ricavati si definiscono:

- **Densità** (geofisica): parametro che indica lo stato di addensamento dei terreni ed è paragonabile al peso di volume geotecnico
- **Rapporto o coefficiente di Poisson (σ)**: dà la misura della deformazione geometrica subita da un corpo elastico e varia da, 0.2 a 0.3 per le rocce compatte; da 0.3 a 0.35 per le sabbie e da 0.4 a 0.5 per le argille;
- **Modulo di taglio (μ)**: detto anche modulo di scorrimento, di rigidità o di elasticità tangenziale, esprime il rapporto sforzo-deformazione tangenziali; è utilizzato in geofisica come parametro che lega tra loro coefficienti attribuiti alle rocce quali il modulo di elasticità e il coefficiente di Poisson; tale

parametro è fortemente dipendente dalla porosità e dalla pressione litostatica. Assume valori più bassi in litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione e saturi d'acqua.

- **Modulo di compressibilità (K)**: è l'aumento della densità provocato da una compressione ed è definito come l'incremento di pressione necessario a causare un relativo incremento di densità in maniera direttamente proporzionale alla pressione e inversamente alla densità;
- **Modulo d'elasticità o di Young (E)**: fornisce una misura del rapporto sforzo-deformazione nel caso di una semplice torsione o compressione. Il modulo di Young dipende dalla porosità e dalla pressione litostatica. I valori minimi del modulo si registrano in litotipi ad alta porosità saturi in gas, mentre i valori massimi si hanno per litotipi a bassa porosità, sotto pressione e saturi d'acqua;
- **Modulo di Lamè (λ)**: indica una tensione fisica ed è il rapporto tra una delle tre tensioni normali e la dilatazione cubica, quando le altre due tensioni normali sono tali da annullare la dilatazione lungo la retta d'azione della prima tensione.

Per quanto riguarda la correlazione con la situazione stratigrafica riscontrata tramite i sondaggi geognostici effettuati, i rilievi svolti ed i parametri ottenuti (esposti nella tabella) si può definire quanto segue:

- **Strato 1 – prof. da p.c. 0,0÷3,3 m**: *Riporto superficiale maggiormente aerato frammisto ad elementi antropici*
- **Strato 2 – prof. da p.c. 3,3÷7,6 m**: *Riporto maggiormente addensato frammisto ad elementi antropici*
- **Strato 3 – prof. da p.c. >** 7,6 m: *Materiali lavici*

Ai fini della definizione delle azioni sismiche di progetto, alla luce della prova sismica effettuata, considerati i risultati ottenuti, che hanno dato un valore di V_{S30} pari a:

V_{S30} = 344 m/s

7.3 TOMOGRAFIE SISMICHE

Lo studio condotto con l'esecuzione delle tomografie sismiche con tecnica a rifrazione, è stato finalizzato alla definizione dell'andamento in profondità, delle velocità delle onde P, nonché all'identificazione dei sismostrati e quindi alla valutazione degli spessori medi delle coperture lungo il profilo stesso. Il sottosuolo, è stato esplorato per profondità variabili tra 5 e 10 m, con il principale obiettivo di individuare eventuali superfici di scorrimento, lungo il pendio posto a Est, in corrispondenza della linea di costa.

La prospezione sismica ha permesso la misurazione dei tempi delle onde generate alle varie stazioni (geofoni) che unitamente allo spessore dei rifrattori ha permesso la determinazione della velocità di propagazione delle onde nel sottosuolo, Vp (m/sec).

I dati sismici ottenuti (tempi d'arrivo delle onde P), sono stati trattati con risoluzione tomografica, al fine di ricostruire un profilo 2D lungo la sezione sismica investigata.

Le indagini sono state condotte con le seguenti configurazioni:

Nome	Lunghezza (m)	N°Geofoni	Dist. Geofoni (m)	Offset (m)	N° shot
TOMO 1	72	24	3,0	1,5	9
TOMO 2	72	24	3,0	1,5	9
TOMO 3	72	24	3,0	1,5	9

In sintesi le 3 tomografie eseguite hanno permesso di evidenziare un sismostrato con velocità Vp molto bassa, circa 300 m/sec, che rappresenterebbe il riporto aerato discontinuo, sovrastante il materiale costituito da blocchi lavici (vedi Tomo 2) ed alle digitazioni dei corpi delle colate laviche sottostanti. Lo spessore del riporto è variabile, da alcuni metri fino a alcune decine (vedi sondaggio S1), ed aumenta perpendicolarmente alla congiungente S1-S3 dall'interno verso la linea di costa. Al di sotto di questo sismostrato, la velocità aumenta fino a circa 500 m/sec (riporto costituito principalmente da blocchi lavici), raggiungendo profondità di 12,0-14,0m da p.c.. Al di sotto si imposta il substrato lavico che caratterizza l'area.

7.3.1 Calcolo moduli elastici

Il calcolo dei moduli elastici si basa sulla teoria dell'elasticità, la quale prevede che, per sforzi impulsivi e di piccola energia, i corpi subiscono deformazioni linearmente proporzionali alle forze che le originano.

In presenza di tali condizioni anche ai terreni ed alle rocce si possono attribuire le proprietà dei corpi elastici, vale a dire: omogeneità, isotropia e continuità.

Pertanto, per sollecitazioni impulsive e di bassa energia, terreni e rocce rispondono nel campo della legge di Hooke:

$$\sigma = \varepsilon K$$

dove:

σ = sforzo applicato

ε = deformazione prodotta

K = coefficiente di proporzionalità.

K, è un generico coefficiente di proporzionalità che assume significato fisico diverso in relazione al tipo di forze applicate e deformazioni conseguenti (costanti elastiche dei mezzi). Le deformazioni e le tensioni generate da un transiente sismico rispondono al requisito di: sollecitazioni impulsive di bassa energia; quindi, come già detto, i terreni e le rocce attraversate da onde sismiche subiscono deformazioni di tipo elastico.

Tali deformazioni trovano un'intrinseca corrispondenza biunivoca con la velocità delle onde P.

Infatti, le velocità di propagazione delle onde sismiche variano al variare delle caratteristiche geomeccaniche e fisiche dei litotipi coinvolti e, pertanto, consentono di ottenere informazioni sulle proprietà elastiche dei mezzi attraversati.

Tali parametri, di seguito riportati, esprimono le caratteristiche elastiche di un corpo quando è sottoposto ad uno sforzo e sono:

- **modulo d'elasticità o di Young (E)** che fornisce una misura del rapporto sforzo-deformazione nel caso di una semplice torsione o compressione. Il modulo di Young dipende dalla porosità e dalla pressione litostatica. I valori minimi del modulo si registrano in litotipi ad alta porosità saturi in gas, mentre i valori massimi si hanno per litotipi a bassa porosità, sotto pressione e saturi d'acqua;
- **densità geofisica (γdin)** è un parametro che indica lo stato di addensamento dei terreni ed è paragonabile al peso di volume geotecnico;
- **rapporto di Poisson (σ)** che dà la misura della deformazione geometrica subita da un corpo elastico e varia da, 0.2 a 0.3 per le rocce compatte; da 0.3 a 0.35 per le sabbie e da 0.4 a 0.5 per le argille;
- **modulo di rigidità (G)** che esprime la misura del rapporto sforzo-deformazione nel caso di uno

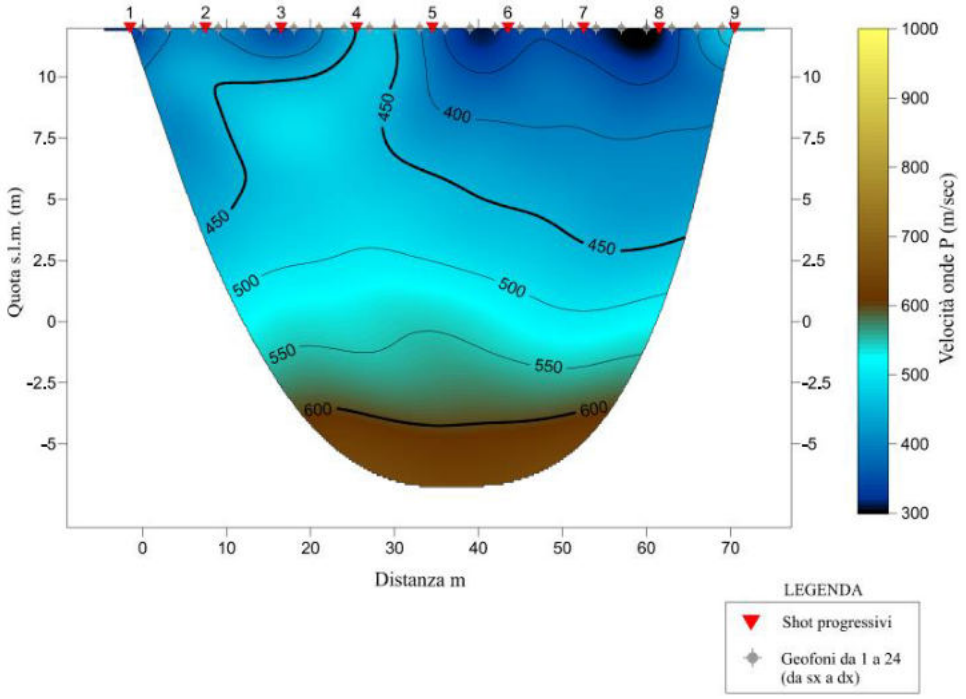
sforzo di taglio, stabilendo pertanto la resistenza del corpo alle variazioni di forma. Tale parametro è fortemente dipendente dalla porosità e dalla pressione litostatica. Assume valori più bassi in litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione e saturi d'acqua.

- **modulo di volume o coefficiente d'incompressibilità (K)** da una misura del rapporto sforzo-deformazione nel caso di una pressione idrostatica che produce cambiamento di volume.

7.3.2 Risultati dell'indagine

Nel seguito sono riportate le principali risultanze per ogni tomografia eseguita.

TOMO 1



Dal modello di velocità risulta che la Vp è compresa tra 200 m/sec e 650 m/sec e che tale variazione è latero-verticale. I valori di velocità calcolati sono da attribuire alla variazione dello stato di addensamento del riporto costituito da terreno vulcanico misto a sfabbricidi, al di sotto del quale si trovano blocchi lavici su colate laviche storiche. La sezione evidenzia la presenza di tre orizzonti che segnano il passaggio del riporto poco addensato ai blocchi lavici e al substrato vulcanico.

Dal punto di vista litotecnico l'area investigata può essere ricondotta ad un modello di sottosuolo costituito da un terreno relativamente soffice, che poggia su un substrato moderatamente addensato, al di sotto del quale si trova un basamento lavico disarticolato. Non si riscontrano particolari situazioni riconducibili a dissesti dell'ammasso.

In funzione del modello di velocità ottenuto, si propone la seguente sismostratigrafia:

- **Vp = 450 m/sec ⇒ 1° sismostrato**: è attribuibile al riporto prevalentemente sabbioso avente caratteristiche di scarso addensamento;
- **450 < Vp < 600 m/sec ⇒ 2° sismostrato**: terreni di natura vulcanica costituiti da vulcanoclastiti moderatamente addensati. L'addensamento migliora con la profondità;
- **Vp = 600 m/sec ⇒ 3° sismostrato: l**ava fratturata.

La tabella seguente riporta i dati direttamente registrati ed i parametri calcolati:

Base sismica	sismostrato considerato	Vp (media) m/sec	Vs (media) m/sec	Density Kg/cm³	Poisson	Shear M. Mpa	Young M. Mpa	BulK M. Mpa
TOMO 1	1°	325	152	1,85	0,36	42,75	116,27	140,23
	2°	525	270	1,90	0,32	138,62	365,97	343,42
	3°	600	321	2,00	0,30	205,71	534,86	451,79

ms=millisecondi

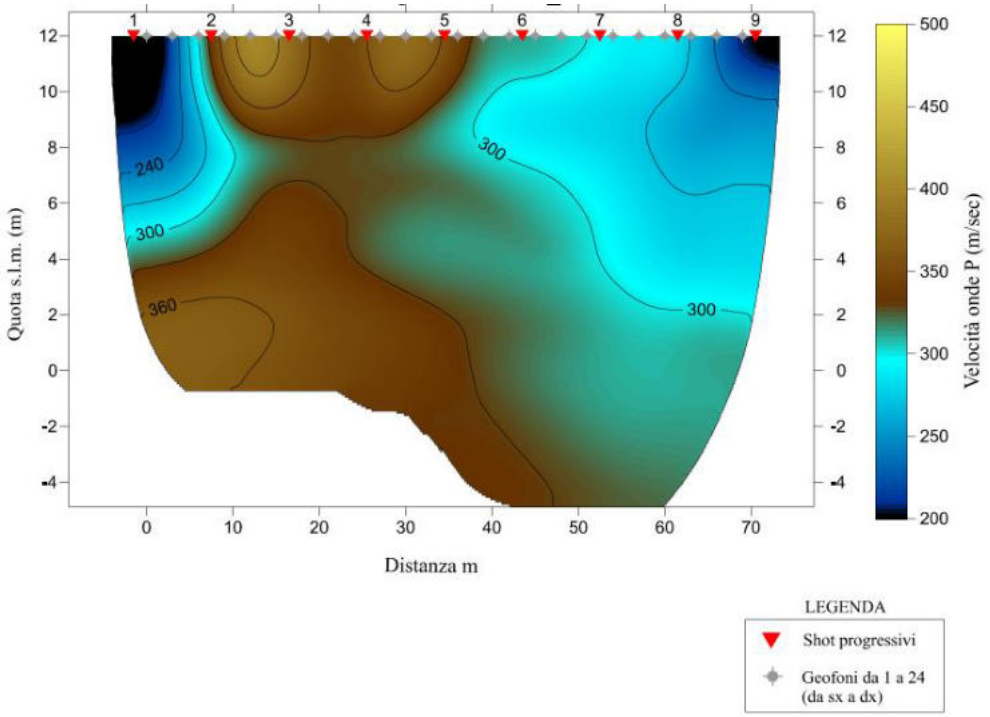
0,98 Mpa (Megapascal) = 10Kg/cmq

Shear M.= Modulo di rigidità

Young M.= Modulo di elasticità

BulK M.= Modulo di incompressibilità

TOMO 2



Dal modello di velocità, risulta che la Vp è compresa tra 200 m/sec e 360 m/sec, con variazioni latero-verticali. In questa sezione tomografica, si nota come la velocità resti piuttosto bassa soprattutto (minimi si hanno in prossimità degli estremi). Questo, probabilmente legato allo scarso stato di addensamento del riporto. La sezione mostra fondamentalmente un passaggio da un materiale poco addensato ai blocchi lavici disarticolati. La porzione maggiormente allentata, riscontrata nel settore meridionale (in corrispondenza dello shot n° 1) con velocità di circa 200 m/s, si approfondisce dal p.c. sino a 2 m di prof. ed è identificabile nella zona posta immediatamente a monte del versante non protetto dalla mantellata ed oggetto di crolli (*cfr. § 2.1.1*).

Dal punto di vista litotecnico, l'area investigata può essere ricondotta ad un modello di sottosuolo costituito da un terreno relativamente soffice (che poggia su un substrato vulcanico disarticolato non individuato nella sezione).

In funzione del modello di velocità ottenuto, si propone la seguente sismostratigrafia:

- **Vp = 360 m/sec⇒ 1° sismostrato**: è attribuibile al riporto prevalentemente sabbioso avente caratteristiche di scarso addensamento.

La tabella seguente riporta i dati direttamente registrati ed i parametri calcolati:

Base sismica	sismostrato considerato	Vp (media) m/sec	Vs (media) m/sec	Density Kg/cm³	Poisson	Shear M. Mpa	Young M. Mpa	BulK M. Mpa
TOMO 2	1°	280	131	1,85	0,36	31,73	86,30	104,09

ms=millisecondi

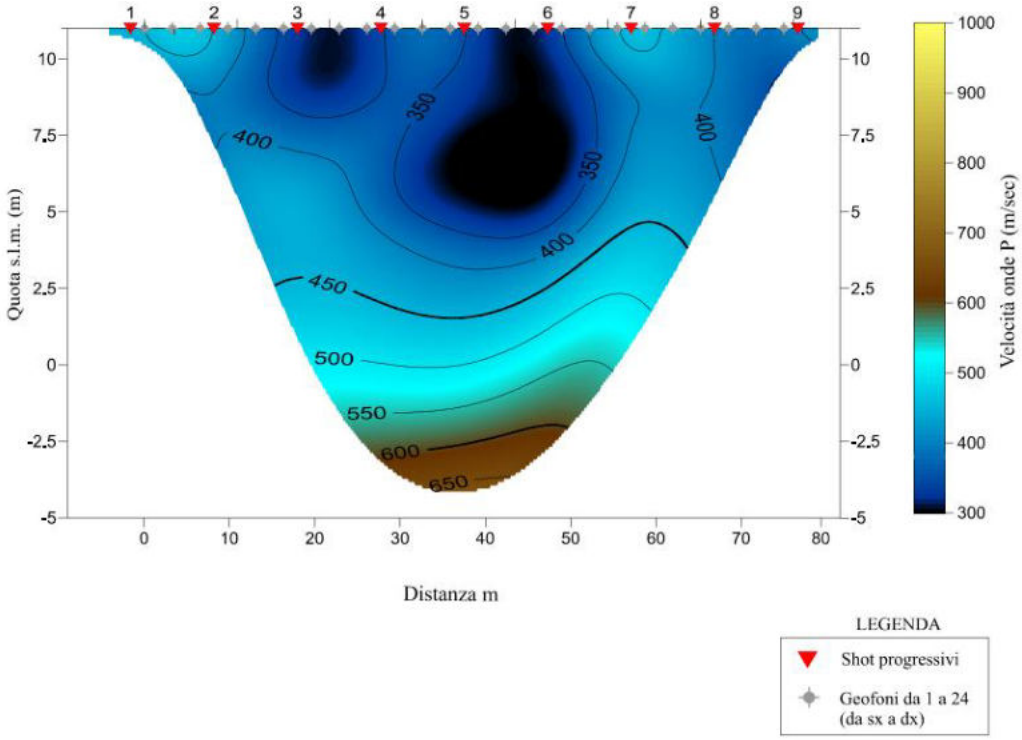
0,98 Mpa (Megapascal) = 10Kg/cmq

Shear M.= Modulo di rigidità

Young M.= Modulo di elasticità

BulK M.= Modulo di incompressibilità

TOMO 3



Dal modello di velocità risulta che la Vp è compresa tra 300 m/sec e 650 m/sec e che tale variazione è latero-verticale. I valori di velocità calcolati sono da attribuire alla variazione dello stato di addensamento del riporto costituito prevalentemente terreno vulcanico. Anche in questa sezione, si evidenzia la presenza di tre orizzonti che segnano il passaggio del riporto poco addensato ai blocchi lavici e al substrato vulcanico. In particolare, nella parte centrale della sezione si evidenzia una morfologia concava dovuta allo scarso addensamento del riporto e/o presenza di vuoti. Non si riscontrano particolari situazioni riconducibili a dissesti dell'ammasso.

Dal punto di vista litotecnico l'area investigata può essere ricondotta al modello descritto nella Tomo 1.

In funzione del modello di velocità ottenuto, si propone la seguente sismostratigrafia:

- **Vp = 450 m/sec⇒ 1° sismostrato**: è attribuibile al riporto prevalentemente sabbioso avente caratteristiche di scarso addensamento;
- **450 < Vp < 600 m/sec ⇒ 2° sismostrato:** terreni di natura vulcanoclastiti moderatamente addensati. L'addensamento migliora con la profondità;
- **Vp = 600 m/sec ⇒ 3° sismostrato: l**ava fratturata.

La tabella seguente riporta i dati direttamente registrati ed i parametri calcolati:

Base sismica	sismostrato considerato	Vp (media) m/sec	Vs (media) m/sec	Density Kg/cm³	Poisson	Shear M. Mpa	Young M. Mpa	BulK M. Mpa
TOMO 3	1°	325	152	1,85	0,36	42,75	116,27	140,23
	2°	525	270	1,90	0,32	138,62	365,97	343,42
	3°	625	334	2,00	0,30	223,21	580,36	490,23

ms=millisecondi

0,98 Mpa (Megapascal) = 10Kg/cmq

Shear M.= Modulo di rigidità

Young M.= Modulo di elasticità

BulK M.= Modulo di incompressibilità

8 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SEDIME FONDALE

La diretta osservazione dei terreni affioranti, eseguita durante il rilevamento geologico dell'area d'intervento, e le ricostruzioni litostratigrafiche derivate dalle indagini geognostiche eseguite, hanno consentito il raggiungimento di una sufficiente definizione del quadro litologico e stratigrafico del sottosuolo in esame.

In sintesi, nell'area in esame, la litologia è costituita da terreni di riporto frammisti a laterizi e blocchi vulcanici ad una profondità variabile tra i 14,0 m (sondaggio S1) e i 9,0 m circa (sondaggio S3). Il terreno in esame sembra aver delle buone caratteristiche geotecniche e, nonostante l'azione di scalzamento al piede indotta dalle mareggiate, mantiene notevoli angoli di pendio (come si può osservare nelle foto 6, 7 e 8 riportate in § 3.1).

Al di sotto del riporto si mette in evidenza la presenza di orizzonti di origine vulcanica, costituiti da elementi lavici eterometrici, associabili a depositi di spiaggia e/o blocchi deposti dall'uomo alla base del riporto. Seguono le gli orizzonti lapidei delle colate laviche, che risultano costituiti da varie unità di flusso sovrapposte, costituite da lave molto fratturate, caratterizzate da un reticolo di fratturazione più o meno sviluppato, che determina l'individuazione di unità solide geometricamente variabili (con volumi rocciosi unitari similmente variabili), associate a scorie laviche, costituite da clasti poco vacuolari e a struttura porfirica; la massa mostra frequenti fratture, in genere subverticali, dovute a contrazioni da raffreddamento.

8.1 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI FISICO-MECCANICI

I terreni di riporto prima descritti non si prestano ad una diretta determinazione dei parametri geotecnici rappresentativi, infatti, per le specifiche caratteristiche litologiche e per le peculiari dimensioni degli elementi litoidi, non si adattano alle principali prove di laboratorio. Per quanto riguarda i materiali litoidi, le notevoli resistenze meccaniche degli intervalli litoidi e l'estrema interconnessione tra frazione scoriacea e frazione litoide limitano la possibilità di eseguire prove in situ significative e realmente applicabili.

In conclusione, per il terreno di sedime degli interventi, si possono distinguere due unità litotecniche:

- ⇒ la prima, compresa tra la quota 0 e 12 m di prof. da p.c,, costituita dal materiale di riporto (**R**);
- ⇒ la seconda, oltre i 12 m di prof. da p.c.; costituita dai materiali lavici (**ML**).

Riguardo ai materiali lavici, in considerazione di quanto sopra esposto, è preferibile, per ragioni prudenziali, far riferimento, ai fini del calcolo, ai parametri geotecnici relativi ad una possibile parte litologicamente più fragile e disarticolata, rappresentata da litotipi fratturati.

Pertanto, i parametri geotecnici rappresentativi dei terreni su cui insisteranno le fondazioni sono stati ricavati tramite le correlazioni con i parametri geofisici ottenuti sperimentalmente (*cfr. § 7.2*), esposte nel seguito:

- *Numero di colpi del penetrometro dinamico* (N_{SPT}) il valore di questo parametro è stato ricavato attraverso la relazione di Schmertmann (1978) che per le sabbie medio è la seguente:

$$N_{SPT} = E/12$$

- *Angolo di attrito interno (°):* il valore di questo parametro è calcolato attraverso la relazione di Shioi-Fukuni (1982), Japanese National Railway.

$$\varphi = 0{,}3\ N_{SPT} + 27$$

- *Modulo edometrico (M_{ed}):* il valore di questo parametro è calcolato attraverso la relazione di Buismann-Sanglerat per le sabbie.

$$M_{ed} = 6 \times N_{SPT}$$

Ne conseguono, per le unita litotecniche considerate, i seguenti valori:

Unità Litotecniche	Intervallo prof. *m*	N_{SPT}	γ *KN/m³*	c' *KPa*	φ'	M_{ed} *Kg/cm²*
Riporto - R	0,0÷12,0	20	18,00	0,00	32°	120
Materiali Lavici – ML	>12,0	110	20,00	0,00	60°	660

Per quanto riguarda invece il coefficiente di sottofondo di Winkler **k_w**, esso definisce il rapporto di proporzionalità fra la pressione **p** applicata in un determinato punto del terreno ed il corrispondente cedimento **w**.

Il coefficiente k_w può essere dedotto, sulla base di prove di carico su piastra, mediante la seguente relazione, valida per terreni incoerenti:

$$kw = k1\left(\frac{B+b}{2 \cdot B}\right)^2$$

in cui:

k1 = coefficiente di reazione dedotto da prove di carico su piastra

b = diametro della piastra per la prova di carico

B = larghezza della fondazione

Non essendo disponibili prove di carico su piastra, i valori di k_w, per il sito di progetto, possono essere dedotti da dati riportati in letteratura, provenienti da dati sperimentali del coefficiente di sottofondo, ricavati a partire da prove di carico su piastra standard.

Tipo litologico	k_w (Kg/cm³)
Terreni coerenti normal consolidati	1 ÷ 5
Terreni coerenti sovra consolidati	15 ÷ 25
Sabbie molto compatte	> 15
Sabbie mediamente compatte	15 ÷ 7,5
Sabbie mediamente sciolte	3 ÷ 1,25
Sabbie sciolte	1,25 ÷ 0,4
Sabbie molto sciolte	< 0,4
Sabbie e ghiaie compatte	10 ÷ 30

Valori sperimentali del coefficiente di sottofondo k_w in funzione del tipo litologico di riferimento (tratto da: Cestelli Guidi - "Geotecnica e tecnica delle fondazioni")

Nel caso in esame, in cui il tipo litologico di riferimento può essere assimilato a "Terreni coerenti normal consolidati", si può assumere:

$$\mathbf{k_w} = 2{,}00 \div 4{,}00 \text{ Kg/cm}^3$$

9 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Alla luce della situazione riscontrata e dei parametri geotecnici attribuiti ai terreni di fondazione delle opere di progetto, ne derivano le conclusioni nel seguito riportate:

- *Il rilievo geomorfologico condotto ha evidenziato:*
  - *la presenza di fenomeni franosi con livelli di pericolosità geomorfologica immediatamente a Nord e a Sud del sito (cfr. fig. 2), laddove non sono presenti adeguate opere di protezione e, a causa dell'erosione marina (mareggiate), si riscontrano dei crolli e cedimenti indotti dallo scalzamento al piede del terrapieno (non protetto);*
  - *la presenza, in corrispondenza del versante lato mare del sito, di opere di difesa dalle mareggiate e dal moto ondoso in generale, costituite da una mantellata di blocchi rocciosi lavici di dimensione metrica;*
  - *le situazioni di assenza di rischio idraulico per fenomeni di esondazione, così come evidenziato nel Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.);*
  - *le locali condizioni morfologiche del sito in esame, in cui non si evidenzia la presenza di fenomeni associabili a dissesti e/o cedimenti/crolli, quali smottamenti, fessure di trazione, morfologie deformative ecc., se non in corrispondenza delle zone di terrapieno il cui pendio esposto a mare non protetto da adeguate opere di difesa.*

  Il sito in oggetto può essere ritenuto, pertanto, posto in condizioni non soggette a rischio idrogeologico e/o a dissesti di carattere geomorfologico, a meno delle zone prive delle opportune opere di protezione. Si raccomanda, quindi, di porre in atto le dovute misure di protezione del pendio sottoposto all'azione erosiva marina, tramite la posa di scogliere, mantellate od altra tipologia di opera statica, che garantiscano di evitare lo scalzamento al piede del pendio e la protezione del terrapieno dall'impatto delle onde in occasione di mareggiate.

- *Dal punto di vista della stabilità globale dell'area è da segnalare (sulla base della consultazione della cartografia tematica disponibile) l'assenza di strutture tettoniche (faglie), che potrebbero creare pregiudizio per le strutture.*

- *La diretta osservazione dei terreni affioranti, eseguita durante il rilevamento geologico dell'area d'intervento, e le ricostruzioni litostratigrafiche derivate dalle indagini geognostiche eseguite, hanno consentito il raggiungimento di una sufficiente definizione del quadro litologico e stratigrafico del sottosuolo in esame: si riscontra un primo strato di terreni di riporto frammisto a laterizi e blocchi vulcanici, sino ad una profondità variabile tra i 14,0 m (sondaggio S1) e i 9,0 m circa (sondaggio S3); al di sotto del riporto si mette in evidenza la presenza di orizzonti di origine vulcanica, costituiti da elementi lavici eterometrici, associabili a depositi di spiaggia e/o blocchi deposti dall'uomo alla base del riporto, con spessore di 4÷10 m; seguono le gli orizzonti lapidei delle colate laviche, che risultano costituiti da varie unità di flusso sovrapposte, costituite da lave molto fratturate.*

- *Per quanto riguarda lo smaltimento delle acque superficiali, essendo le caratteristiche di permeabilità dei terreni di riporto tali da non consentire un buon assorbimento, si ritengono necessarie particolari opere di presidio o drenaggio, magari con la messa in posa di uno strato drenante che permetta, oltre alla regolarizzazione della superficie, anche la permeazione delle acque di precipitazione meteorica.*

- *Dall'interpretazione dei risultati delle indagini geofisiche effettuate, si evince che la velocità media di propagazione delle onde Vs, nell'intervallo di 30 m al di sotto del piano di fondazione, è pari a* ***V_{S30} = 344 m/sec****. Tale valore consente di attribuire ai terreni la* ***categoria C*** *essendo il valore di V_{S30} compreso nell'intervallo fra 180 m/sec e 360 m/sec.*
- *I profili sismici con risoluzione tomografica eseguiti hanno permesso di evidenziare un sismostrato con velocità Vp molto bassa, circa 300 m/sec, che rappresenterebbe il riporto aerato discontinuo, sovrastante il materiale costituito da blocchi lavici (vedi Tomo 2) ed alle digitazioni dei corpi delle colate laviche sottostanti. Lo spessore del riporto è variabile, da alcuni metri fino a alcune decine (vedi sondaggio S1), ed aumenta perpendicolarmente alla congiungente S1-S3 dall'interno verso la linea di costa. Al di sotto di questo sismostrato, la velocità aumenta fino a circa 500 m/sec (riporto costituito principalmente da blocchi lavici), raggiungendo profondità di 12,0-14,0m da p.c.. Al di sotto si imposta il substrato lavico che caratterizza l'area; in generale le tomografie eseguite non hanno evidenziato situazioni riconducibili a dissesti in atto, a meno della Tomo 2, in cui una porzione maggiormente allentata, riscontrata nel settore meridionale (in corrispondenza dello shot n° 1) e con velocità di circa 200 m/s, si approfondisce dal p.c. sino a 2 m di prof. ed è identificabile nella zona posta immediatamente a monte del versante non protetto dalla mantellata ed oggetto di crolli;*
- *Per il terreno di sedime degli interventi, si possono distinguere due unità litotecniche:*
  - *la prima, compresa tra la quota 0 e 12 m di prof. da p,c,, costituita dal materiale di riporto (R);*
  - *la seconda, oltre i 12 m di prof. da p.c.; costituita dai materiali lavici (L).*

  Riguardo ai materiali lavici, in considerazione di quanto sopra esposto, è preferibile, per ragioni prudenziali, far riferimento, ai fini del calcolo, ai parametri geotecnici relativi ad una possibile parte litologicamente più fragile e disarticolata, rappresentata da litotipi fratturati.
- *I parametri geotecnici rappresentativi delle unità litotecniche considerate hanno i seguenti valori:*

Unità Litotecniche	Intervallo prof. *m*	N_{SPT}	γ *KN/m³*	c' *KPa*	φ'	M_{ed} *Kg/cm²*
Riporto - R	0,0÷12,0	20	18,00	0,00	32°	120
Materiali Lavici – ML	>12,0	110	20,00	0,00	60°	660

In conclusione la situazione litostratigrafica generale del sito in esame è caratterizzata da materiale di riporto, servito per la realizzazione del molo del Porto Rossi, che ad oggi non mostra segni di instabilità litotecnica, in quanto nell'area sottoposta a indagini non si riscontrano segni di dissesti gravitativi (né rotativi, né traslazionali) o tagli di trazione. A questo quadro, ai aggiungono i risultati delle indagini che mostrano una situazione sismo-stratigrafica chiara. Pertanto, si ritiene che il sito in esame è stabile dal punto di vista morfodinamico, sebbene sia soggetto ai fenomeni erosivi a carattere regressivo, indotti dal moto ondoso che per sua natura insiste sul versante esposto, provocando lo scalzamento al piede ed i conseguenti crolli dell'ammasso costituente il terrapieno in esame.

Si ritiene imprescindibile, pertanto, ai fini della fruizione del sito, l'adozione delle seguenti misure propedeutiche:

1) realizzazione di opere di protezione del pendio sottoposto all'azione erosiva marina, tramite la posa di scogliere, mantellate od altra tipologia di opera statica, che garantiscano di evitare lo scalzamento al piede del pendio e la protezione del terrapieno dall'impatto delle onde in occasione

di mareggiate;

2) non sovraccaricare il pendio con strutture che aumentino il carico statico su di esso, mantenendosi ad una distanza di almeno 5 m dal ciglio;

3) realizzare particolari opere di presidio o drenaggio delle acque meteoriche, magari con la messa in posto di uno strato drenante che permetta, oltre alla regolarizzazione della superficie, anche la permeazione delle acque di precipitazione meteorica ed il loro allontanamento in maniera regolarizzata, tramite opportune condotte, evitando il deflusso diretto sul pendio.

Catania lì, 22 ottobre 2015

IL GEOLOGO
Dott. Lino Musumeci

APPENDICE 1

Rapporti di Prova delle Indagini

LAVORI DI:

INDAGINI GEOGNOSTICHE A CAROTAGGIO CONTINUO A SUPPORTO DELLO STUDIO GEOLOGICO-TECNICO RELATIVAMENTE AL PROGETTO RICHIESTA AMPLIAMENTO CDM 568/2013, ART.24 DEL REG. AL C.N., PER AMPLIAMENTO E RIMODULAZIONE DELL'APPRODO TURISTICO DENOMINATO "PORTO ROSSI" ED AMPLIAMENTO DELL'AREA ADIBITA A CANTIERE NAVALE, IN C.DA CAITO NEL COMUNE DI CATANIA

LOCALITÀ:

C.DA CAITO NEL COMUNE DI CATANIA

COMMITTENTE:

TECHNOSIDE SRL

RAPPORTO DI PROVA

INDAGINI GEOGNOSTICHE

ALLEGATI:

REPORT CAROTAGGI MECCANICI

REPORT INDAGINI SISMICHE

REV.	Data e località	Committente	Redatto	Controllato	Approvato
0	Sett. 2015 –Porto Rossi (CT)	Technoside s.r.l. SERVIZI DI INGEGNERIA	Dott. Geol. Pasquale S. Musumeci	Dott. Geol. Pasquale S. Musumeci	Dott. Geol. M. D'Angelo

NovAmbiente S.r.l. - 95127 CATANIA - Via Livorno, I Tel 3929886432 - Fax 1786051201
e-mail: novambiente@tiscali.it; novambientesrl@pec.it, P. IVA: 03987640871

PREMESSA

Nel presente documento vengono esposti i risultati delle indagini eseguite relativamente al progetto richiesta ampliamento cdm 568/2013, art.24 del reg. al c.n., per ampliamento e rimodulazione dell'approdo turistico denominato "Porto Rossi" ed ampliamento dell'area adibita a cantiere navale, in c.da Caito nel comune di Catania

Le indagini vengono riassunte nelle tabelle seguenti:

Sondaggi meccanici

Sondaggio	Prof.	Diam.	Metodo perforazione	Sistema Coordinate WGS84	
n.	m	mm		N(m)	E(m)
S1	27,00	101	Carotaggio Continuo	4152003.55 m	509529.50 m E
S2	20,00	101	Carotaggio Continuo	4152042.50 m N	509551.05 m E
S3	18,50	101	Carotaggio Continuo	4152042.50 m N	509551.05 m E

Indagini sismiche

Nome	Lunghezza (m)	N°Geofoni	Dist. Geofoni (m)	Offset (m)	N° shot
TOMO 1	72	24	3,0	1,5	9
TOMO 2	72	24	3,0	1,5	9
TOMO 3	72	24	3,0	1,5	9
MASW 1	36	12	3,0	3,0	1

Le risultanze sono state suddivise in n° 2 rapporti di prova:

- **CAROTAGGI MECCANICI**
- **INDAGINI SISMICHE**

REPORT SONDAGGI MECCANICI A CAROTAGGIO CONTINUO

NovAmbiente S.r.l. - 95127 CATANIA - Via Livorno, 1 Tel 3929886432 - Fax 1786051201
e-mail: novambiente@tiscali.it; novambientesrl@pec.it, P. IVA: 03987640871

LAVORI DI: INDAGINI GEOGNOSTICHE A CAROTAGGIO CONTINUO A SUPPORTO DELLO STUDIO GEOLOGICO-TECNICO RELATIVAMENTE AL PROGETTO RICHIESTA AMPLIAMENTO CDM 568/2013, ART.24 DEL REG. AL C.N., PER AMPLIAMENTO E RIMODULAZIONE DELL'APPRODO TURISTICO DENOMINATO "PORTO ROSSI" ED AMPLIAMENTO DELL'AREA ADIBITA A CANTIERE NAVALE, IN C.DA CAITO NEL COMUNE DI CATANIA

LOCALITÀ: C.DA CAITO NEL COMUNE DI CATANIA

COMMITTENTE: TECHNOSIDE SRL

RAPPORTO DI PROVA CAROTAGGI MECCANICI

Elaborati:

- Rapporto di Prova
- Planimetria Ubicazione Sondaggi
- Stratigrafie
- Documentazione Fotografica

00	13/09/2015	Emissione	Dott. Geol. Pasquale S. Musumeci	Dott. Geol. Maurizio D'Angelo
REV.	**data**	**Descrizione**	**Redatto/Verificato**	**Approvato**

Metodologie Esecutive delle Indagini Geognostiche

1. Premesse

Nel presente elaborato si presentano le risultanze delle indagini geognostiche sondaggi meccanici a carotaggio continuo.

Sondaggi geognostici a carotaggio continuo.

Sondaggio	Prof.	Diam.	Metodo perforazione	Sistema Coordinate WGS84	
n.	m	mm		N(m)	E(m)
S1	27,00	101	Carotaggio Continuo	4152003.55 m	509529.50 m E
S2	20,00	101	Carotaggio Continuo	4152042.50 m N	509551.05 m E
S3	18,50	101	Carotaggio Continuo	4152105.71 m N	509591.30 m E

2. Riferimenti normativi

Nelle more delle "Norme Tecniche Costruzioni 2008 Cap. 6 – Progettazione Geotecnica" e della "Circolare 2 Feb 09 n. 617 Capitolo C6.2.2 Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica", Le indagini e le prove devono essere eseguite e certificate dai laboratori di cui all'art.59 del DPR 6.6.2001, n.380. I Laboratori su indicati fanno parte dell'elenco depositato presso il Servizio Tecnico Centrale del Ministero delle Infrastrutture, essi devono avere i requisiti specifici illustrati nella Circolare 08 settembre 2010, n. 7619 / STC, Criteri per il rilascio dell'autorizzazione ai Laboratori per l'esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prelievo di campioni e prove in sito di cui all'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001, emanata dal Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti. I risultati delle indagini e prove geotecniche in sito devono essere documentati con almeno: la planimetria della zona con indicate le posizioni delle verticali di indagine, indicazioni sui tipi e le caratteristiche delle attrezzature impiegate; i profili stratigrafici ottenuti dalle perforazioni di sondaggio; le notizie di eventuali eventi particolari verificatisi durante l'esecuzione dei lavori e ogni altro dato utile per la caratterizzazione del sottosuolo.

3. Sondaggio

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici e stratigrafici.

Il sondaggio geotecnico consiste nella perforazione a carotaggio continuo in terreno o roccia e nella descrizione della stratigrafia con modalità e osservazioni tali da consentire una caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati. Si definisce sondaggio geotecnico una perforazione caratterizzata dalle seguenti modalità esecutive:

carotaggio continuo integrale e rappresentativo del terreno attraversato eseguito con carotiere semplice a secco, in assenza di fluido di perforazione. A circolazione di Fluido con i carotieri doppi e tripli

descrizione stratigrafica a carattere geotecnico dei terreni attraversati;

prelievo di campioni Rimaneggiati raccolti tra il carotaggio ed inseriti in doppio sacchetto di plastica, Campioni Indisturbati tipo Shelby, infissi a pressione nel terreno, è introdotti in fustelle metalliche; Campioni Indisturbati tipo Denison, prelevati con campionatore a scarpa sporgente; la scarpa è infissa a pressione nel terreno e ruotato per l'avanzamento, è contenuto in tubo di plastica, altri tipi di campionamento;

esecuzione di prove geotecniche o geomeccaniche in foro;

determinazione del livello piezometrico della falda, se presente;

annotazione di osservazioni atte alla caratterizzazione geotecnica del terreno.

4. Specifiche attrezzatura e prove

Attrezzatura e Utensili di Perforazione:

Sonda utilizzata	I sondaggi meccanici sono stati eseguiti mediante attrezzatura oleodinamica tipo CMV 420
Utensili per la perforazione	Semplici C.S. con valvola in testa a sfera e calice:diametro nominale Øest = 101mm; lunghezza utile l = 1.500-3.000 mm; Carotiere, Corone di perforazione in widia; Aste di perforazione con filettatura tronco-conica: diametro esterno Øest = 76-; Campionatori: tipo Shelby, Øint = 85 mm; spess. 2 mm
Altri utensili e	Strumentazione di Controllo: scandaglio a filo graduato;sondina piezometrica elettrica; Cassette catalogatrici:

attrezzatura	Cassette in PVC a cinque scomparti della lunghezza di metri 1,00.; Macchina fotografica digitale ad alta risoluzione, per documentare le varie fasi lavorative, le cassette catalogatrici, le postazioni.

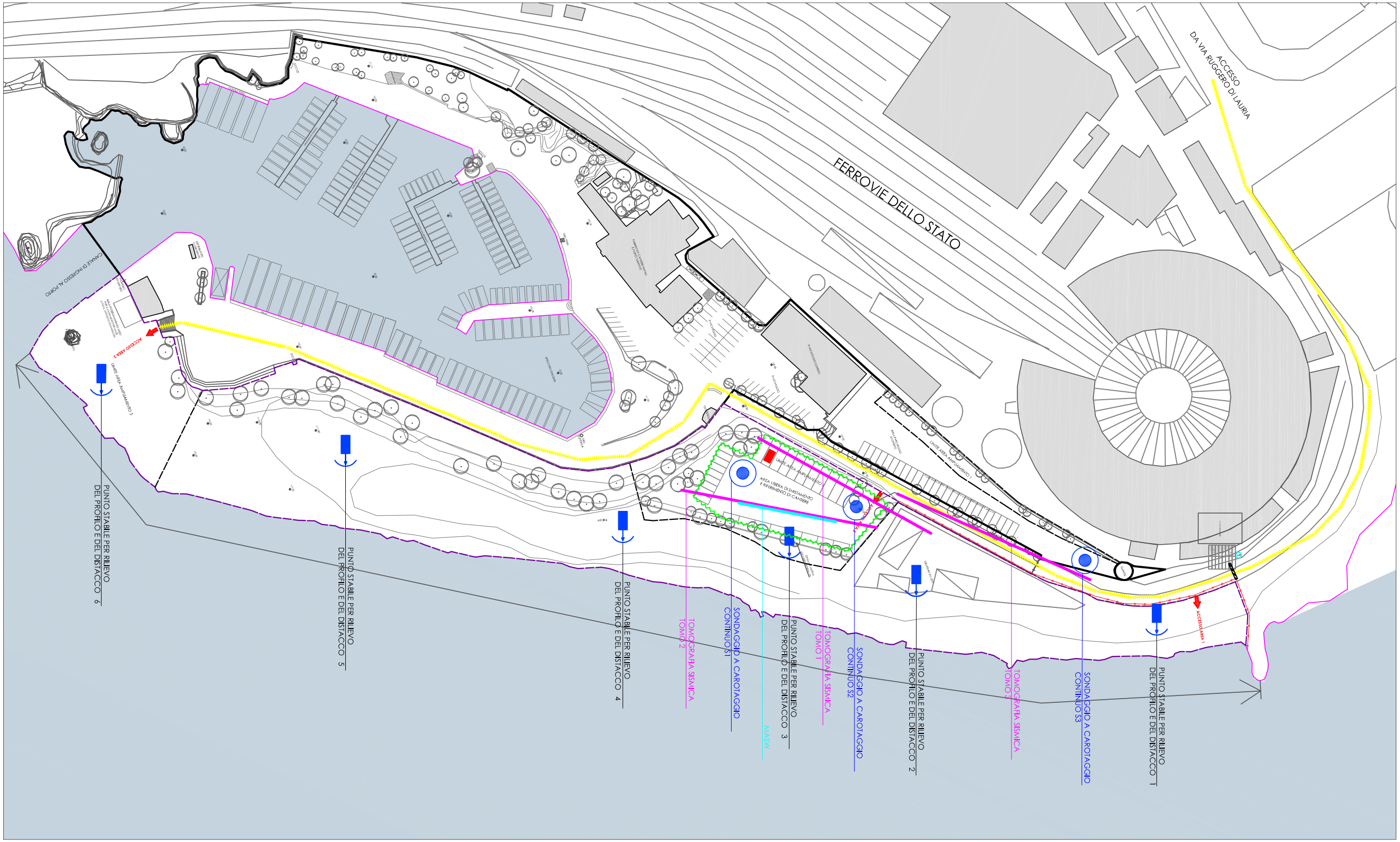
5. Stratigrafie

Sono compilate durante l'esecuzione delle operazione di carotaggio dal Responsabile di Sito o dal Direttore del Laboratorio e seguono le raccomandazioni A.G.I. 1977, in esse vi sono riportate le informazioni riguardanti:

Dati generali:	L'identificazione del richiedente il Certificato di prova, l'indicazione del cantiere ovvero dell'opera alla realizzazione della quale le indagini e le prove sono finalizzate, l'identificazione del richiedente il Certificato di prova.
Ubicazione topografica:	Ogni perforazione di sondaggio deve essere ubicata topograficamente riportando la sua posizione a un sistema di riferimento noto, anche attraverso il Rilievo GPS e/o DGPS in dotazione alla Geo Gav il sistema di riferimento, tranne diversa indicazione è il WGS84, la quota è riferita all'ellissoide di riferimento.
Dati registrati	Durante la perforazione, Il Responsabile del Sito annota nel (PQ75-01PSTR) le profondità, rispetto al piano campagna, alle quali si hanno cambiamenti di natura del terreno; se i limiti di passaggio da un livello all'altro non sono netti, indicata la zona di transizione. Le quote di venuta d'acqua e di livello stabilizzato della falda sono registrate indicando anche l'ora del rilevamento e le operazioni in corso al momento del rilevamento stesso. Verranno inoltre registrate le perdite d'acqua che si verificheranno nel corso della perforazione, gli eventuali rifluimenti al fondo o franamenti delle pareti, la presenza di cavità o fratture aperte. Il Tipo di fluido di perforazione che durante l'esecuzione del carotaggio può essere richiesto. Tale fluido può essere costituito da acqua pulita o acqua con additivi quali bentonite, polimeri o additivi chimici.
Profondità	E' la distanza dal piano di campagna al tetto dello strato, o dal campione o della prova in foro, ecc..; Nelle Perforazioni a mare e la distanza dal fondale a tetto dello strato, o dal campione o della prova in foro, ecc.., nelle note viene comunque indicato, l'altezza dal pelo l.m.m. della perforatrice, e la profondità del fondale. E' individuato dalla lunghezza degli utensili di perforazione in foro e controllata attraverso lo scandaglio manuale;
Spessore	Indica la potenza apparente dello strato;
Colonna Stratigrafica	Simbolo grafico rappresentativo del litotipo attraversato
Descrizione Litologica Di Campagna	E' effettuata durante l'esecuzione delle operazione di carotaggio, la descrizione segue le raccomandazioni A.G.I. 1977;
Recupero Carota R.Q.D.	Rappresenta il rapporto percentuale tra la lunghezza del tratto perforato e la lunghezza della carota estratta; Rock Quality Designation, rappresenta un indice di qualità per gli ammassi rocciosi ed è dato dal rapporto percentuale tra la lunghezza complessiva dei singoli pezzi di carota maggiori di 10 cm e la lunghezza totale del tratto perforato;
Metododi Perforazione Corona	**CC:** Carotaggio Continuo; **DN**: Distruzione di Nucleo con l'utilizzo di **DTH**, Trilame o Triconi. Le perforazioni a carotaggio continuo è eseguita con: **W:** Corone in lega dure con inserti in Carburo di Tungsteno o Corone in Widia: **D:** Corone Diamantate a concrezione o a pietre incastonate.
Tipo di Carotiere	**A:** Carotiere Semplice generalmente di Tipo C.S.; **B:** Doppio, può essere del tipo T2, T6 o T6S; **C:** Altri generalmente il triplo carotiere a Scarpa avanzata o Denison; **E:** Carotiere semplice divisibile per indagini ambientali;
Diametro Foro Carota	Diametro foro, indica il diametro esterno del carotiere utilizzato; Diametro carota, indica il diametro interno del tubo porta carota
Rivestimento	Individua il tratto di perforazione in cui si è utilizzato il rivestimento metallico e il diametro utilizzato.
Numero Cassette	Le cassette sono utili per catalogare le carote estratte durante la esecuzione del sondaggio, nella stratigrafia è riportato il tratto di carotaggio catalogato in ogni cassetta;

PLANIMETRIA UBICAZIONE SONDAGGI

NovAmbiente S.r.l. - 95127 CATANIA - Via Livorno, 1 Tel 3929886432 - Fax 1786051201
e-mail: novambiente@tiscali.it; novambientesrl@pec.it, P. IVA: 03987640871



PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI

NOVAMBIENTE
ingegneria e geologia per l'ambiente

STRATIGRAFIE

NovAmbiente S.r.l. - 95127 CATANIA - Via Livorno, I Tel 3929886432 - Fax 1786051201
e-mail: novambiente@tiscali.it; novambientesrl@pec.it, P. IVA: 03987640871

STRATIGRAFIA

Committente: M.E.C. AUTO di Rossi Pietro & C. S.n.c.

Oggetto: *Ampliamento e rimodulazione dell'approdo turistico denominato "Porto Rossi" ed ampliamento dell'area adibita a cantiere navale, in c.da Caito nel comune di Catania*

Sondaggio n	S 1	Lat	37°30'53.76"N
		Long	15° 6'28.20"E

Data inizio	Settembre 2015
Data fine	

Foro attrezzato con	Piez.tro a T. Aperto		Inclinometro		Camp. Rim. n°		Camp. Ind. n°		Cassette Catalogatrici	4
	Piez.tro Casagrande		Assestimetro		Camp. Lap. n°		SPT n°			

Prof. m	Spessore strato m	Sezione Stratigrafica	Descrizione litologica del terreno	Carotaggio %	" foro	Carotiere	Corona	Rivestimento	Qupta falda	Campion.re	Quota prelievo m	Poket Pen.tro test MPa	Poket Vane test MPa	SPT Prof. m	SPT N° colpi	SPT Tipo di punta C	SPT Tipo di punta A
0,00			Scala 1 : 100	0 50 100													
	14,20		Materiale di riporto di natura prevalentemente lavica, costituito da blocchi lavici in matrice sabbioso-ciottolosa rossastra con elementi di laterizi		101	CS	W										
14,20			Materiale di natura vulcanica con blocchi lavici in matrice a granulometria sabbioso-ciottolosa di colore grigio														

Segue

Note

Legenda

S-Shelby C-Craps
O-Osterberg D-Denison

Carotiere: CS (Carotiere Semplice) CD (Carotiere Doppio)

Campione: Ind. Rim. Lap.

Corona: W(widia) D(Diamantata)

Redattore

Geol. Pasquale S. Musumeci

STRATIGRAFIA

Committente: M.E.C. AUTO di Rossi Pietro & C. S.n.c.

Oggetto: *Ampliamento e rimodulazione dell'approdo turistico denominato "Porto Rossi" ed ampliamento dell'area adibita a cantiere navale, in c.da Caito nel comune di Catania*

Sondaggio n	S 1	Lat	37°30'53.76"N
		Long	15° 6'28.20"E

Data inizio	Settembre 2015
Data fine	

Foro attrezzato con	Piez.tro a T. Aperto		Inclinometro		Camp. Rim. n°		Camp. Ind. n°		Cassette Catalogatrici	4
	Piez.tro Casagrande		Assestimetro		Camp. Lap. n°		SPT n°			

Prof. m	Spessore strato m	Sezione Stratigrafica	Descrizione litologica del terreno	Carotaggio %	" foro	Carotiere	Corona	Rivestimento	Qupta falda	Campion.re	Quota prelievo m	Poket Pen.tro test MPa	Poket Vane test MPa	SPT Prof. m	SPT N° colpi	SPT Tipo di punta C	SPT Tipo di punta A
0,00			Scala 1 : 100	0 50 100													
	9,80		Materiale di natura vulcanica con blocchi lavici in matrice a granulometria sabbioso-ciottolosa di colore grigio		101	CS	W										
24,00																	
	3,00		Lave basaltiche intensamente fratturate														
27,00																	

Note

Legenda

Campionatore: S-Shelby, O-Osterberg, C-Craps, D-Denison

Campione: Ind. Rim. Lap.

Carotiere: CS (Carotiere Semplice), CD (Carotiere Doppio)

Corona: W(widia) D(Diamantata)

Redattore

Geol. Pasquale S. Musumeci

STRATIGRAFIA

Committente: M.E.C. AUTO di Rossi Pietro & C. S.n.c.

Oggetto: *Ampliamento e rimodulazione dell'approdo turistico denominato "Porto Rossi" ed ampliamento dell'area adibita a cantiere navale, in c.da Caito nel comune di Catania*

Sondaggio n	S 2	Lat	37°30'55.02"N
		Long	15° 6'29.08"E

Data inizio	Settembre 2015
Data fine	

Foro attrezzato con	Piez.tro a T. Aperto		Inclinometro		Camp. Rim. n°		Camp. Ind. n°		Cassette Catalogatrici	3
	Piez.tro Casagrande		Assestimetro		Camp. Lap. n°		SPT n°			

Prof. m	Spessore strato m	Sezione Stratigrafica	Descrizione litologica del terreno	Carotaggio %	" foro	Carotiere	Corona	Rivestimento	Qupta falda	Campion.re	Quota prelievo m	Poket Pen.tro	Poket Vane test MPa	SPT Prof. m	SPT N° colpi	SPT Tipo di punta C	SPT Tipo di punta A
0,00			Scala 1 : 100	0 50 100													
	10,50		Materiale di riporto di natura prevalentemente lavica, costituito da blocchi lavici in matrice sabbioso-ciottolosa rossastra con elementi di laterizi		101		W										
10,50																	
	3,50		Materiale di natura vulcanica costituito da blocchi lavici da compatti a vacuolari di colore grigio; presenza di un trovante di natura sedimentaria da mt 12,40 a mt 12,70.														
14,00																	

Segue

Note

Legenda

S-Shelby O-Osterberg C-Craps D-Denison

Carotiere: CS (Carotiere Semplice) CD (Carotiere Doppio)

Campione: Ind. Rim. Lap.

Corona: W(widia) D(Diamantata)

Redattore

Geol. Pasquale S. Musumeci

STRATIGRAFIA

Committente: M.E.C. AUTO di Rossi Pietro & C. S.n.c.

Oggetto: *Ampliamento e rimodulazione dell'approdo turistico denominato "Porto Rossi" ed ampliamento dell'area adibita a cantiere navale, in c.da Caito nel comune di Catania*

Sondaggio n	S 2	Lat	37°30'55.02"N
		Long	15° 6'29.08"E

Data inizio	Settembre 2015
Data fine	

Foro attrezzato con	Piez. tro a T. Aperto		Inclinometro		Camp. Rim. n°		Camp. Ind. n°		Cassette Catalogatrici	3
	Piez. tro Casagrande		Assestimetro		Camp. Lap. n°		SPT n°			

Prof. m	Spessore strato m	Sezione Stratigrafica	Descrizione litologica del terreno	Carotaggio %	" foro	Carotiere	Corona	Rivestimento	Qupta falda	Campion. re	Quota prelievo m	Poket Pen. tro	Poket Vane test MPa	SPT Prof. m / N° colpi	Tipo di punta C	Tipo di punta A
0,00			Scala 1 : 100	0 50 100												
17,50	3,50		Lave compatte di colore grigio poco fratturate.		101	CS	W									
18,30	0,80		Lave compatte di colore grigio molto fratturate.													
20,00	1,70		Lave debolmente vacuolari di colore grigio poco fratturate.													

Note	Legenda		Redattore
	S-Shelby O-Osterberg C-Craps D-Denison	Campione Ind. Rim. Lap.	Geol. Pasquale S. Musumeci
	Carotiere CS (Carotiere Semplice) CD (Carotiere Doppio)	Corona W(widia) D(Diamantata)	

Novambiente S.R.L. - 95127 CATANIA - Via LIVORNO 1 TEL 3929886432 - FAX 1786051201
novambiente@tiscali.it; novambientesrl@pec.it,

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

NovAmbiente S.r.l. - 95127 CATANIA - Via Livorno, 1 Tel 3929886432 - Fax 1786051201
e-mail: novambiente@tiscali.it; novambientesrl@pec.it, P. IVA: 03987640871

SONDAGGIO S1

S1_Postazione

S1_C1 (0,0 - 7,0 m)

S1_C2 (7,0 - 14,5 m)

S1_C3 (14,5 - 22,0 m)

S1_C2 (22,0 - 27,0 m)

SONDAGGIO S2

S2_Postazione

S2_C1 (0,0 - 6,0 m)

S2_C2 (6,0 - 13,5 m)

S2_C3 (13,5 - 20,0 m)

SONDAGGIO S3

S3_Postazione

S3_C1 (0,0 - 5,5 m)

S3_C2 (6,0 - 13,0 m)

S3_C3 (13,0 - 18,5 m)

NOVAMBIENTE
ingegneria e geologia per l'ambiente

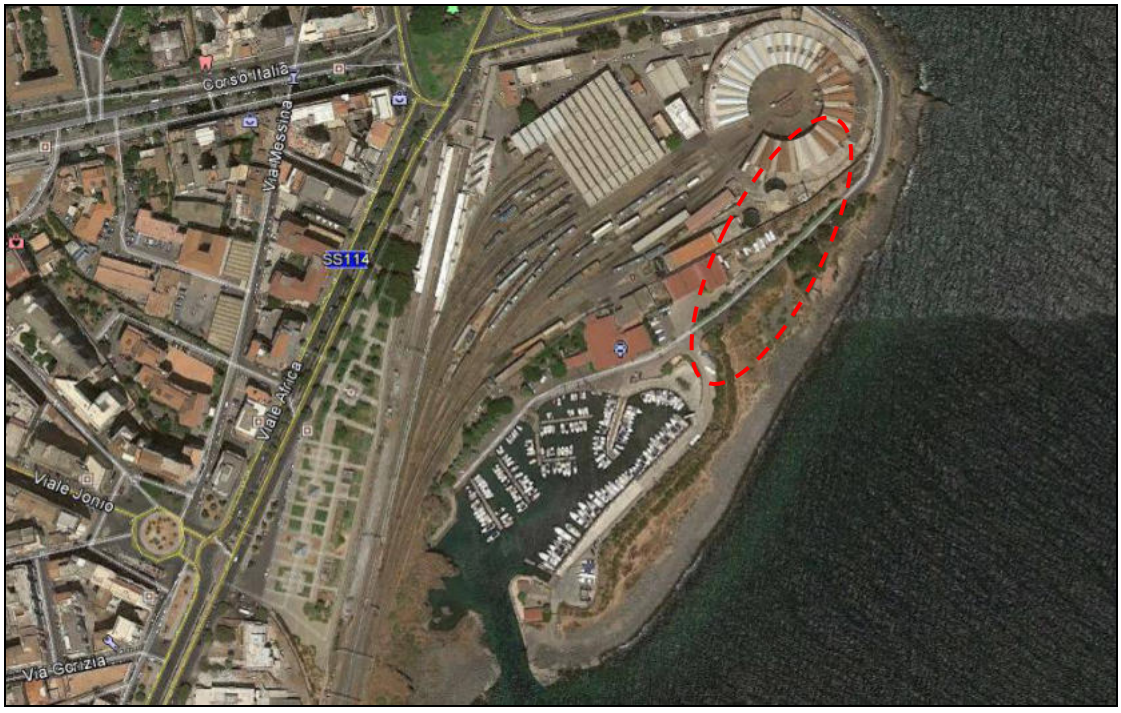
REPORT PROVE SISMICHE

NovAmbiente S.r.l. - 95127 CATANIA - Via Livorno, 1 Tel 3929886432 - Fax 1786051201
e-mail: novambiente@tiscali.it; novambientesrl@pec.it, P. IVA: 03987640871

NOVAMBIENTE
ingegneria e geologia per l'ambiente

INDAGINI A SUPPORTO DELLO STUDIO GEOLOGICO-TECNICO RELATIVAMENTE AL PROGETTO RICHIESTA AMPLIAMENTO CDM 568/2013, ART.24 DEL REG. AL C.N., PER AMPLIAMENTO E RIMODULAZIONE DELL'APPRODO TURISTICO DENOMINATO "PORTO ROSSI" ED AMPLIAMENTO DELL'AREA ADIBITA A CANTIERE NAVALE, IN C.DA CAITO NEL COMUNE DI CATANIA

Rapporto tecnico di prova
indagini sismiche
TOMOGRAFIE e MASW



REV.	Data e località	Committente	Redatto	Controllato	Approvato
0	Sett. 2015 – Porto Rossi (CT)	M.E.C. AUTO di Rossi Pietro & C. s.n.c.	Dott. Geol. Pasquale S. Musumeci	Dott. Geol. Pasquale S. Musumeci	Dott. Ing. Paolo Battiato

SOMMARIO

PREMESSE ***3***

SISMICA A RIFRAZIONE CON ELABORAZIONE TOMOGRAFICA ***4***

GENERALITA' 4
STRUMENTAZIONE UTILIZZATA 4
METODO D'INDAGINE ED ELABORAZIONE DATI 4
RIFERIMENTI TEORICI SISMICA DI RIFRAZIONE E METODOLOGIA DI CALCOLO 5
CALCOLO MODULI ELASTICI 9
RISULTATI DELL'INDAGINE 10
TOMO 1 11
TOMO 2 13
TOMO 3 16

SISMICA DI TIPO MASW ***19***

GENERALITA' 20
STRUMENTAZIONE UTILIZZATA 20
METODO DI INDAGINE ED ELABORAZIONE DEI DATI 21
RISULTATI DELL'INDAGINE 22
MASW 22

ORTOFOTO CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI ***30***

Novambiente S.R.L. - 95127 CATANIA - Via LIVORNO 1 TEL 3929886432 - FAX 1786051201
novambiente@tiscali.it; novambientesrl@pec.it,

PREMESSE

Nel presente documento, vengono illustrati i risultati della campagna geofisica, a supporto dello studio geologico-tecnico, *relativamente al progetto richiesta ampliamento cdm 568/2013, art.24 del reg. al c.n., per ampliamento e rimodulazione dell'approdo turistico denominato "Porto Rossi" ed ampliamento dell'area adibita a cantiere navale, in c.da Caito nel comune di Catania*

Nello specifico sono state eseguite n° 3 tomografie sismiche e n° 1 masw

Si riporta di seguito lo schema riepilogativo e la configurazione geometrica delle indagini condotte:

INDAGINI SISMICHE

Nome	Lunghezza (m)	N°Geofoni	Dist. Geofoni (m)	Offset (m)	N° shot
TOMO 1	72	24	3,0	1,5	9
TOMO 2	72	24	3,0	1,5	9
TOMO 3	72	24	3,0	1,5	9
MASW 1	36	12	3,0	3,0	1

SISMICA A RIFRAZIONE CON ELABORAZIONE TOMOGRAFICA

GENERALITA'

Lo studio, è finalizzato alla definizione dell'andamento in profondità, delle velocità delle onde P, nonché all'identificazione dei sismostrati e quindi alla valutazione degli spessori medi delle coperture lungo il profilo stesso. Il sottosuolo, è stato esplorato per profondità variabili tra 5 e 10 m l'obiettivo di individuare eventuali superfici di scorrimento, lungo il pendio posto a Est.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per la realizzazione dell'indagine sismica in oggetto è stato utilizzato un sismografo PASI **Mod.16S24-U** con PC portatile.

Le caratteristiche tecniche del sistema utilizzato sono:

- Acquisire in seguito a Trigger;
- Analisi rumore ambientale;
- Autotrace size;
- Filtraggi;
- Enhancement;
- Inversione della polarità;
- Amplificazione manuale e automatica per ciascun canale;
- Visualizzare acquisizioni memorizzate e prima analisi con marker;
- Conversione acquisizioni nel formato SEG2

I geofoni utilizzati sono del tipo verticale a 10 Hz "MARK". L'energizzazione è stata ottenuta tramite mazza di 9 kg dotata di starter piezoelettrico.

Per l'elaborazione dei dati, effettuata a posteriori in studio, ci si è avvalsi dell'ausilio dell'elaboratore elettronico e del programma interpretativo " RAYFRACT ".

METODO D'INDAGINE ED ELABORAZIONE DATI

La prospezione sismica ha permesso la misurazione dei tempi delle onde generate alle varie stazioni (geofoni) che unitamente allo spessore dei rifrattori ha permesso la determinazione della velocità di propagazione delle onde nel sottosuolo, Vp (m/sec).

Il trigger utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un apparecchio starter (geofono starter, starter a lamelle, piezoelettrico od altro) nell'istante in cui il sistema energizzante (maglio, mazza etc.) colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso della durata di qualche secondo che viene inviato al sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

L'elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

- determinazione dei tempi di primo arrivo (picking) attraverso il software RAYFRACT, operata prima in automatico e successivamente con aggiustamenti manuali, con particolare attenzione alle fasi d'onda ed alla loro evoluzione.
- Inversione Delta t-V che permette di ottenere profili monodimensionali (1D) di tipo profondità/velocità.
- Ottimizzazione del profilo, per iterazioni successive, mediante inversione tomografica WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.
- Controllo del "fitting" tra tempi misurati e tempi calcolati ed eventuale reiterazione del processo di inversione.
- Output grafico della sezione tomografica in formato Sfr.

RIFERIMENTI TEORICI SISMICA DI RIFRAZIONE E METODOLOGIA DI CALCOLO

Come è noto, le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo. Nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione"), che sono le più veloci fra le diverse onde elastiche, o trasversali (onde SH o "di taglio"), per determinare spessori e andamento dei livelli presenti.

La prospezione consiste nel generare un'onda sismica di compressione o di taglio nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino agli apparecchi di ricezione (geofoni) seguendo le leggi di rifrazione dell'ottica (Legge di Snell), cioè rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente.

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di ricevitori (geofoni) che vengono spaziati lungo un determinato allineamento (base sismica) e da un cronografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (dromocrona) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali (Vp) o trasversali (Vs) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti; per lo stesso tipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione; aumenta per contro con la profondità e l'età geologica. Sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione.

Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali (ad esempio roccia fortemente fratturata e materiale detritico saturo con velocità Vp dell'ordine di 1400÷1700 m/sec), per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);

- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;

- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");

- aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma può ovviamente ridursi la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati. In presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza sino anche ad 1/3 del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare "attraverso" un terzo intermedio non evidenziabile;

- analogamente, incrementi graduali di velocità con la profondità danno origine a dromocrone che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere piùcontenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e "cercando" sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

Per contro i moderni metodi di elaborazione del dato sismico, come il Generalized Reciprocal Method (GRM: Palmer - 1980), consentono di ricostruire la morfologia sepolta di più rifrattori sovrapposti, variamente "accidentati" e con velocità variabili lungo il profilo, anche in presenza di morfologie di superficie non piane: la buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

Il metodo della tomografia sismica, è una tecnica di indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse.

Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione delle onde sismiche sotto la superficie, basate sui tempi di primo arrivo (come nella normale sismica a rifrazione) e sulla geometria di acquisizione. Si ricostruisce in tal modo un modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive iterazioni: la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

Il processing dei dati, qui eseguito con il programma RAYFRACT (distribuito dalla Intelligent Resources Inc.), prosegue con la fase di inversione tomografica detta WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.

Per la ricostruzione geometrica e la caratterizzazione elasto-dinamica dei terreni interessati ai fini dello studio in oggetto, è stato eseguito lo studio tomografico della sismica a rifrazione, allo scopo di restituire l'immagine di velocità delle onde sismiche longitudinali Vp e delle onde sismiche trasversali Vs.

La tomografia sismica, mediante lo studio di algoritmi che tengono conto degli infiniti raggi sismici che si generano durante le energizzazioni, permette di definire le proprietà dinamiche dei terreni investigati, rilevando eventuali cavità e lo spessore degli strati attraversati.

La velocità di propagazione delle onde è legata essenzialmente alle proprietà elastiche ed alla densità, e dipende dalla porosità, dal grado di fratturazione, dal contenuto in acqua e dalla litologia. La variazione di questi fattori influenza la densità provocando, quindi, una corrispondente variazione della velocità di propagazione delle onde sismiche.

I dati sismici ottenuti (tempi d'arrivo delle onde P), sono stati trattati tomograficamente, al fine di ricostruire un profilo 2D lungo la sezione sismica investigata.

Il vantaggio di tale tecnica è nell'assoluta indipendenza dal modello iniziale di velocità.

Le fasi di calcolo che vengono eseguite nel processo d'elaborazione dei dati, possono essere così sintetizzate:

- Calcolo dei travel-time attraverso un modello iniziale di velocità e determinazione dell'errore minimo quadrato (E0= least-square error), tra il travel–time calcolato e quello osservato.

Per ogni iterazione i è possibile definire il "least–square error" secondo la formula:

$$E_i = \frac{1}{N}\left[\sum_{j=1}^{N}(t_j^{obs} - t_j^{cal})^2\right] \qquad \textbf{(1)}$$

dove N è il numero di campioni, j denota ogni osservazione, e tobs e tcal sono rispettivamente il tempo osservato e calcolato.

- Perturbazione del modello di velocità mediante l'inserimento di una costante di velocità casuale, mantenendo la non linearità del sistema, e calcolo del nuovo "least–square error" E1.
- Determinazione della probabilità P di ammettere il nuovo modello (cioè che il modello sia accettabile):

$$\text{P= 1;} \quad E_1 \le E_0 \qquad \textbf{(2)}$$

$$P = P_c = \exp\left[\frac{(E_{\min} - E_1)^q \Delta E}{T}\right] \qquad E_1 > E_0 \qquad \Delta E = E_0 - E_1, q \qquad \textbf{(3)}$$

dove Pc è la probabilità di accettare la condizione, è una costante d'integrazione (che si determina empiricamente), ed Emin è il valore oggettivo della funzione dei minimi totali.

Teoricamente si ha Emin= 0.

L'equazione (2), media tutti i valori accettati dal nuovo modello, laddove l'errore minimo quadrato (least–square error) è minore nell'iterazione prevista.

Ciò consente, durante l'inversione dei dati, di sfuggire dall'intorno dei minimi, andando alla ricerca del minimo globale.

- Ripetizione delle inversioni fino al raggiungimento della convergenza richiesta tra la differenza dell'errore minimo quadrato ed il successivo modello e la probabilità di accettare nuovi modelli di velocità a minimo errore.

La fase di imaging, è stata ottenuta mediante software dedicato (SURFER 10)

CALCOLO MODULI ELASTICI

Il calcolo dei moduli elastici si basa sulla teoria dell'elasticità, la quale prevede che, per sforzi impulsivi e di piccola energia, i corpi subiscono deformazioni linearmente proporzionali alle forze che le originano.

In presenza di tali condizioni anche ai terreni ed alle rocce si possono attribuire le proprietà dei corpi elastici, vale a dire: omogeneità, isotropia e continuità.

Pertanto, per sollecitazioni impulsive e di bassa energia, terreni e rocce rispondono nel campo della legge di Hooke:

$$\boldsymbol{\sigma = \varepsilon K}$$

dove:

σ = sforzo applicato

ε = deformazione prodotta

K = coefficiente di proporzionalità.

K, è un generico coefficiente di proporzionalità che assume significato fisico diverso in relazione al tipo di forze applicate e deformazioni conseguenti (costanti elastiche dei mezzi). Le deformazioni e le tensioni generate da un transiente sismico rispondono al requisito di: sollecitazioni impulsive di bassa energia; quindi, come già detto, i terreni e le rocce attraversate da onde sismiche subiscono deformazioni di tipo elastico.

Tali deformazioni trovano un'intrinseca corrispondenza biunivoca con la velocità delle onde P. Infatti, le velocità di propagazione delle onde sismiche variano al variare delle caratteristiche geomeccaniche e fisiche dei litotipi coinvolti e, pertanto, consentono di ottenere informazioni sulle proprietà elastiche dei mezzi attraversati.

Tali parametri, di seguito riportati, esprimono le caratteristiche elastiche di un corpo quando è sottoposto ad uno sforzo e sono:

- modulo d'elasticità o di Young (E) che fornisce una misura del rapporto sforzo-deformazione nel caso di una semplice torsione o compressione. Il modulo di Young dipende dalla porosità e dalla pressione litostatica. I valori minimi del modulo si registrano in litotipi ad alta porosità saturi in gas, mentre i valori massimi si hanno per litotipi a bassa porosità, sotto pressione e saturi d'acqua.

- densità geofisica (γdin) è un parametro che indica lo stato di addensamento dei terreni ed è paragonabile al peso di volume geotecnico;

- rapporto di Poisson (σ) che dà la misura della deformazione geometrica subita da un corpo elastico e varia da, 0.2 a 0.3 per le rocce compatte; da 0.3 a 0.35 per le sabbie e da 0.4 a 0.5 per le argille;

- modulo di rigidità (G) che esprime la misura del rapporto sforzo-deformazione nel caso di uno sforzo di taglio, stabilendo pertanto la resistenza del corpo alle variazioni di forma. Tale parametro è fortemente dipendente dalla porosità e dalla pressione litostatica. Assume valori più bassi in litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione e saturi d'acqua.

- -modulo di volume o coefficiente d'incompressibilità (K) da una misura del rapporto sforzo-deformazione nel caso di una pressione idrostatica che produce cambiamento di volume.

RISULTATI DELL'INDAGINE

Si riportano di seguito le risultanze delle tomografie eseguite, dove i risultati consistono nella restituzione dell'immagine sismica del sottosuolo espressa in termini di velocità di propagazione delle onde sismiche P (modello di velocità) e di densità di raggi sismici (modello della densità dei raggi sismici). Quest'ultimo indica il numero di volte che la cella viene attraversata dai raggi sismici, in altri termini, seguendo il principio di Fermat, corrisponde al percorso più breve che il raggio sismico compie nel percorso sorgente ricevitore.

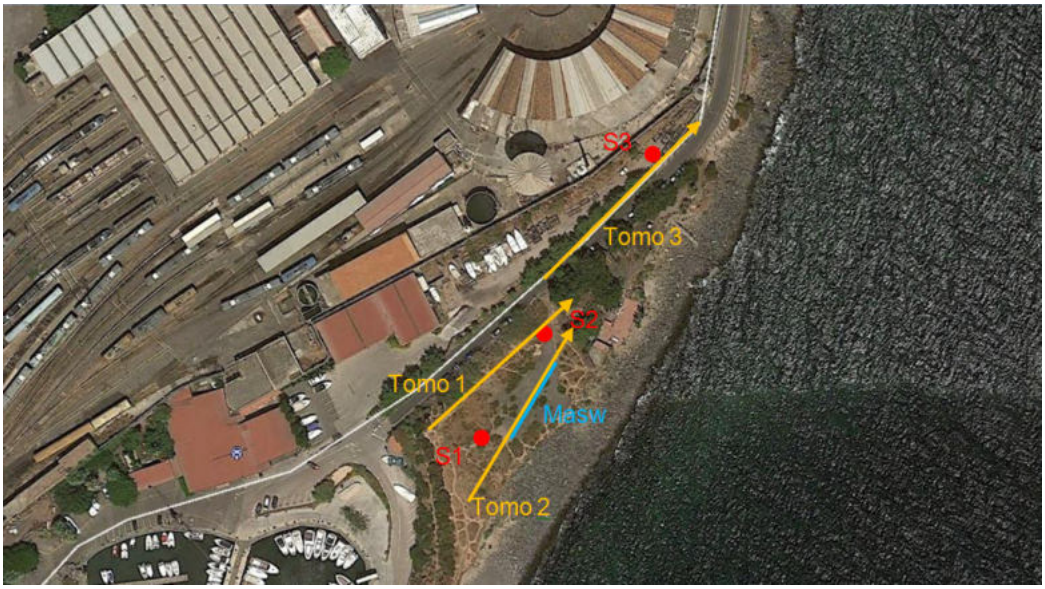
Di seguito si riportano:

- foto durante le acquisizioni;
- planimetria/ortofoto degli stendimenti
- elaborati grafici (sezioni tomografiche onde P)
- descrizione sismostrati
- tabella parametri sismoelastici

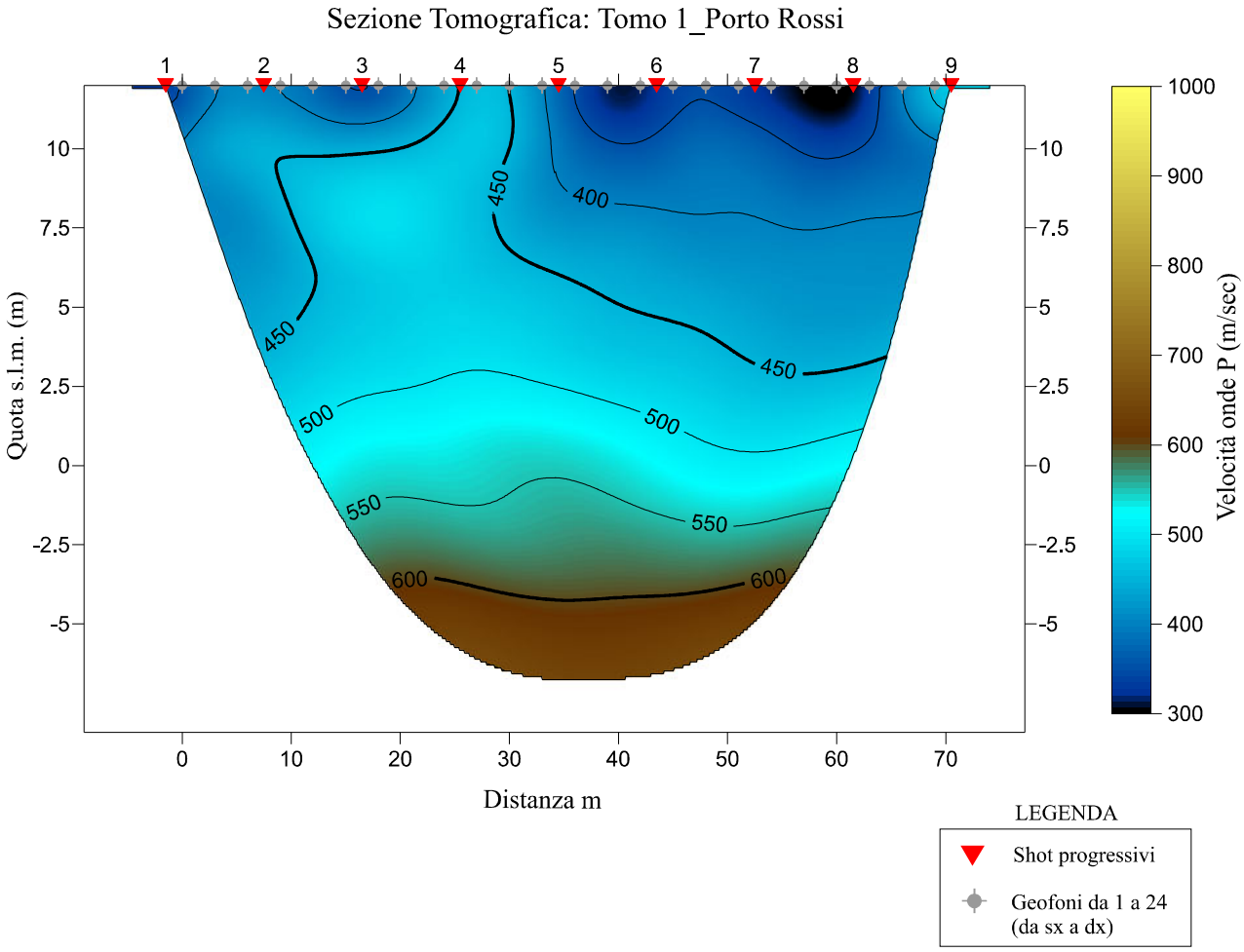
TOMO 1

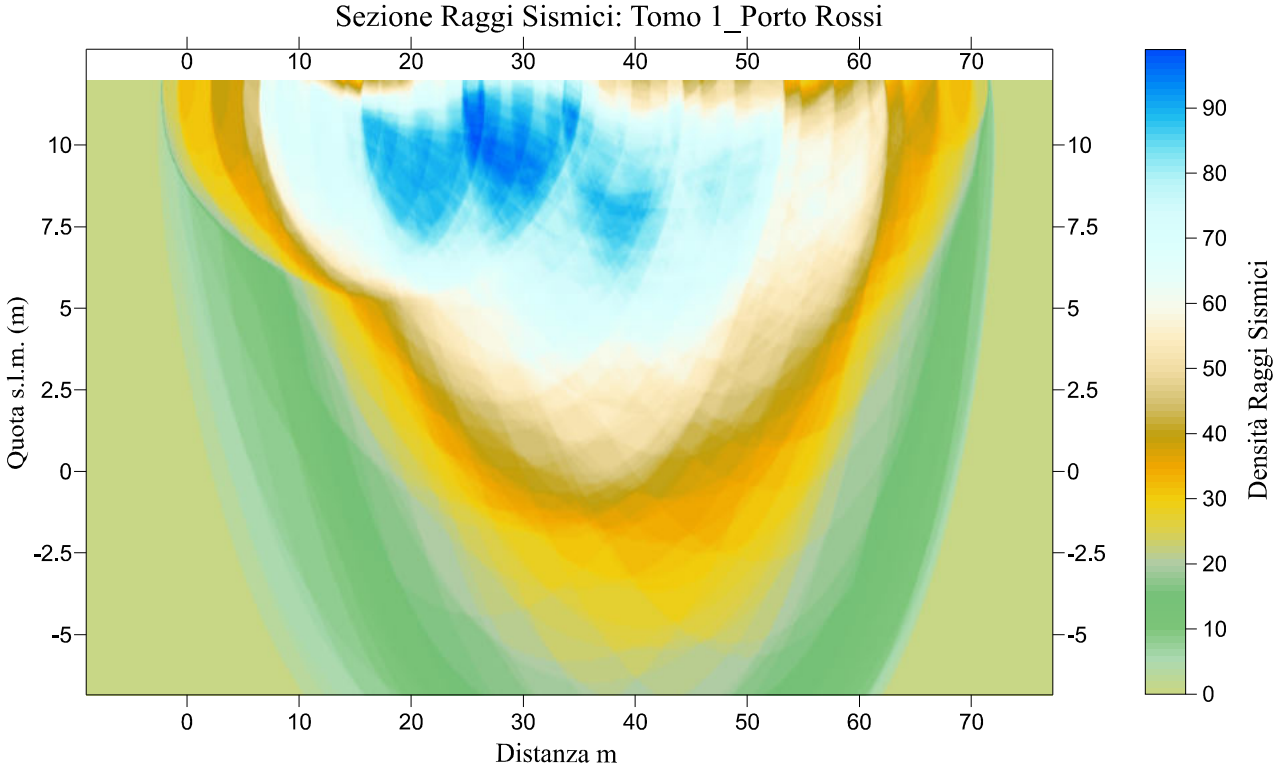
DENOMINAZIONE: Area Porto Rossi C.da Caito, CT					
N. GEOFONI:	STEP GEOFONICO	N. SHOTS	LUNGHEZZA STENDIMENTO	DISTANZA OFFSETS	PROFONDITÀ INVESTIGATA
24	3,0 m	9	72,0 m	1,5 m	15 m

LA FRECCIA INDICA IL VERSO EGLI SCOPPI



LA FRECCIA INDICA IL VERSO EGLI SCOPPI (DA SHOT 1 A SHOT 9)


Sezione Tomografica: Tomo 1_Porto Rossi
Quota s.l.m. (m)
Distanza m
Velocità onde P (m/sec)
450
400
500
550
600
LEGENDA
Shot progressivi
Geofoni da 1 a 24 (da sx a dx)


Sezione Raggi Sismici: Tomo 1_Porto Rossi
Quota s.l.m. (m)
Distanza m
Densità Raggi Sismici

Dal modello di velocità risulta che la Vp è compresa tra 200 m/sec e 650 m/sec e che tale variazione è latero-verticale. I valori di velocità calcolati sono da attribuire alla variazione dello stato di addensamento del riporto costituito da terreno vulcanico misto a sfabbricidi, al di sotto del quale si trovano blocchi lavici su colate laviche storiche.

La sezione evidenzia la presenza di tre orizzonti che segnano il passaggio del riporto poco addensato ai blocchi lavici e al substrato vulcanico.

Dal punto di vista litotecnico l'area investigata può essere ricondotta ad un modello di sottosuolo costituito da un terreno relativamente soffice, che poggia su un substrato moderatamente addensato, al di sotto del quale si trova un basamento lavico disarticolato.

In funzione del modello di velocità ottenuto, si propone la seguente sismostratigrafia:

- **Vp ≤ 450 m/sec**⇒ 1° sismostrato. E' attribuibile al riporto prevalentemente sabbioso avente caratteristiche di scarso addensamento;
- **450 < Vp < 600 m/sec** ⇒ 2° sismostrato. Terreni di natura vulcanica costituiti da vulcanoclastiti moderatamente addensati. L'addensamento migliora con la profondità;
- **Vp ≥ 600 m/sec** ⇒ 3° sismostrato. Lava fratturata.

Base sismica	sismostrato considerato	Vp (media) m/sec	Vs (media) m/sec	Density Kg/cm³	Poisson	Shear M. Mpa	Young M. Mpa	BulK M. Mpa
TOMO 1	1°	325	152	1,85	0,36	42,75	116,27	140,23
	2°	525	270	1,90	0,32	138,62	365,97	343,42
	3°	600	321	2,00	0,30	205,71	534,86	451,79

ms=millisecondi

0,98 Mpa (Megapascal) = 10Kg/cmq

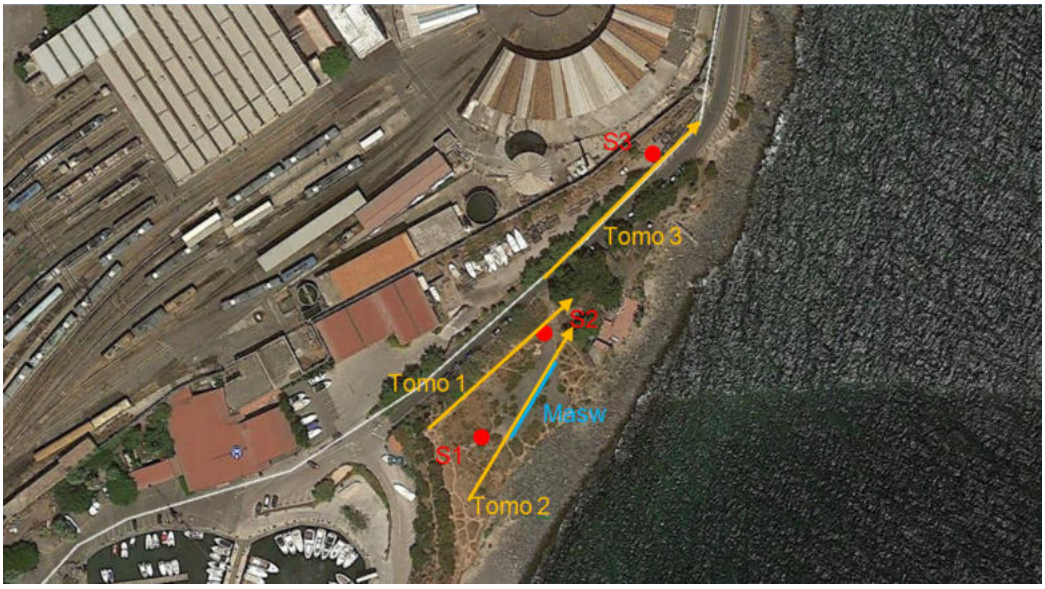
Shear M.= Modulo di rigidità

Young M.= Modulo di elasticità

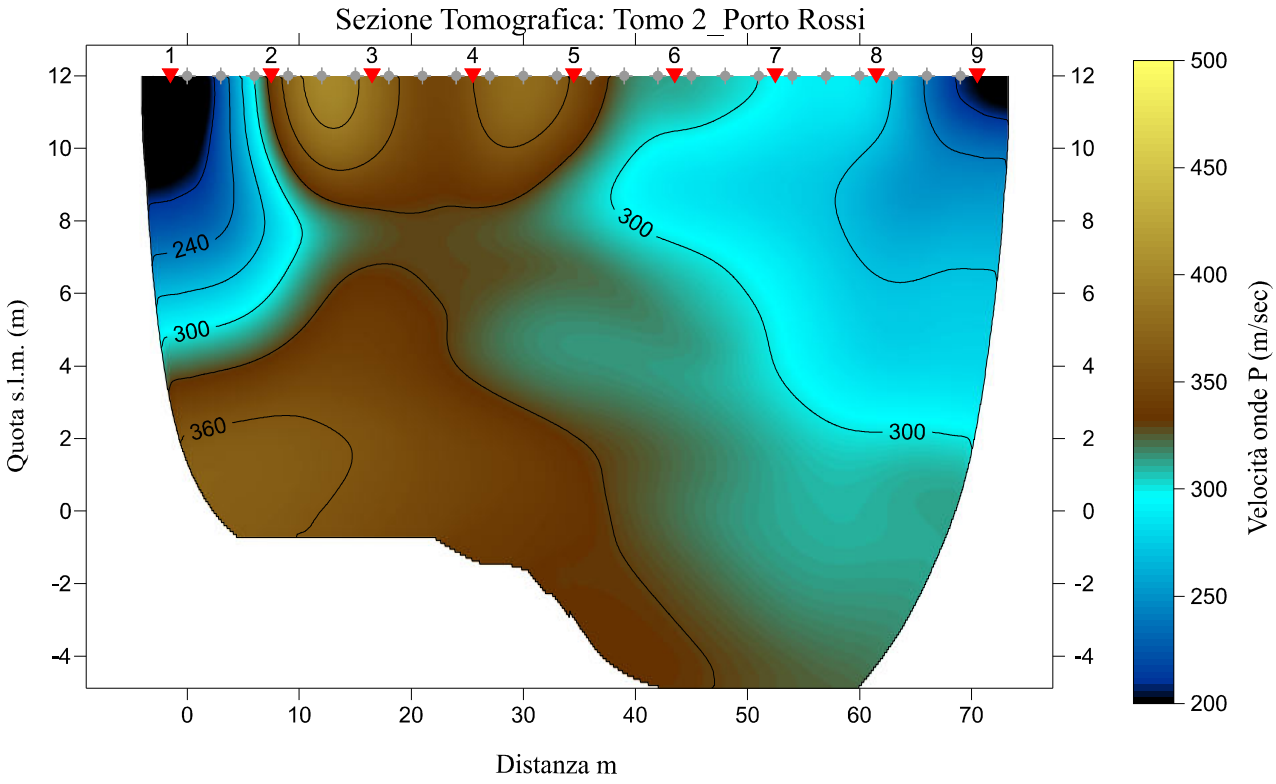
BulK M.= Modulo di incompressibilità

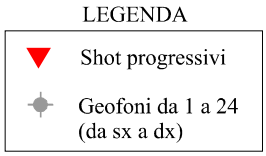
TOMO 2

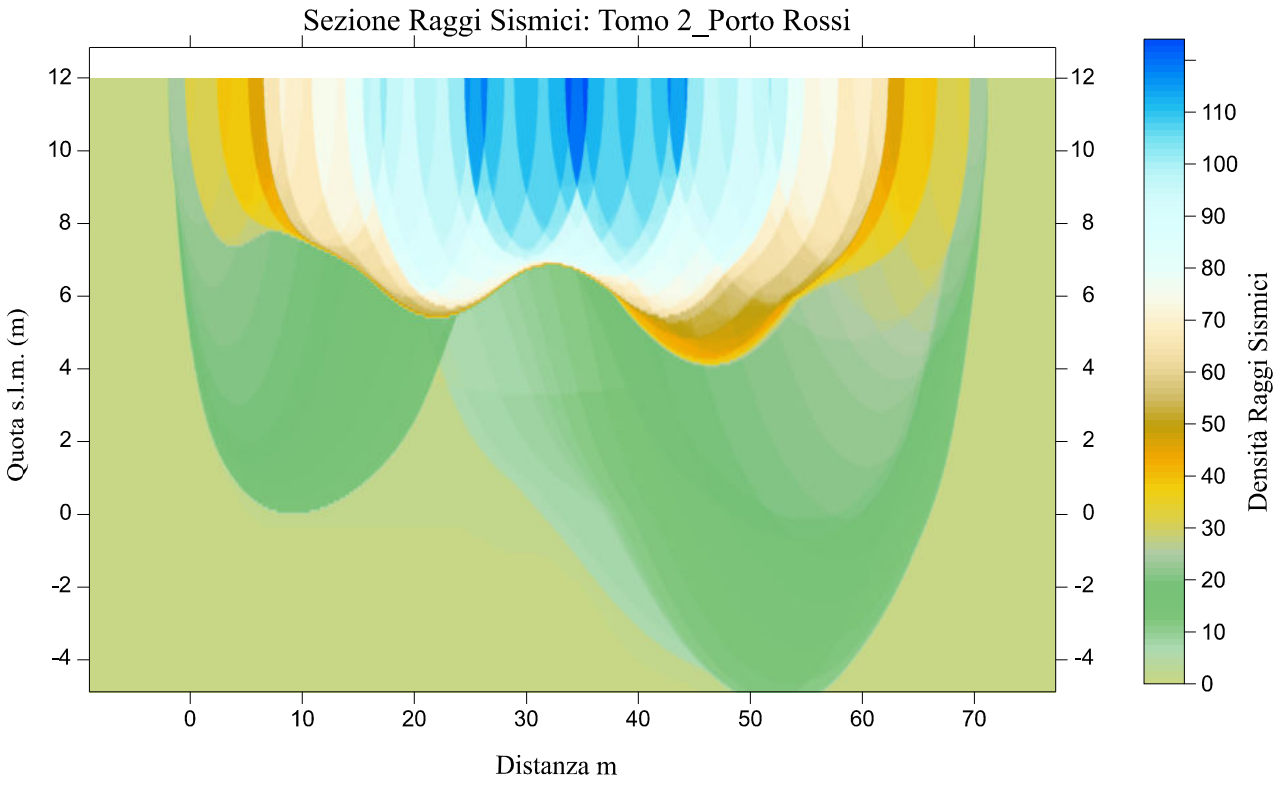
DENOMINAZIONE:					
Area Porto Rossi C.da Caito, CT					
N. GEOFONI:	STEP GEOFONICO	N. SHOTS	LUNGHEZZA STENDIMENTO	DISTANZA OFFSETS	PROFONDITÀ INVESTIGATA
24	3,0 m	9	72,0 m	3,0 m	15 m



LA FRECCIA INDICA IL VERSO EGLI SCOPPI (DA SHOT 1 A SHOT 9)


Sezione Tomografica: Tomo 2_Porto Rossi
1
2
3
4
5
6
7
8
9
240
300
300
360
300
Quota s.l.m. (m)
Distanza m
Velocità onde P (m/sec)
500
450
400
350
300
250
200


LEGENDA
Shot progressivi
Geofoni da 1 a 24
(da sx a dx)


Sezione Raggi Sismici: Tomo 2_Porto Rossi
Quota s.l.m. (m)
Distanza m
Densità Raggi Sismici
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

Dal modello di velocità, risulta che la Vp è compresa tra 200 m/sec e 360 m/sec, con variazioni latero-verticali. In questa sezione tomografica, si nota come la velocità resti piuttosto bassa soprattutto (minimi si hanno in prossimità degli estremi). Questo, probabilmente legato allo scarso stato di addensamento del riporto.

La sezione mostra fondamentalmente un passaggio da un materiale poco addensato ai blocchi lavici disarticolati.

Dal punto di vista litotecnico, l'area investigata può essere ricondotta ad un modello di sottosuolo costituito da un terreno relativamente soffice (che poggia su un substrato vulcanico disarticolato non individuato nella sezione)

In funzione del modello di velocità ottenuto, si propone la seguente sismostratigrafia:

- **Vp ≤ 360 m/sec**⇒ 1° sismostrato. E' attribuibile al riporto prevalentemente sabbioso avente caratteristiche di scarso addensamento;

Base sismica	sismostrato considerato	Vp (media) m/sec	Vs (media) m/sec	Density Kg/cm³	Poisson	Shear M. Mpa	Young M. Mpa	BulK M. Mpa
TOMO 2	1°	280	131	1,85	0,36	31,73	86,30	104,09

ms=millisecondi

0,98 Mpa (Megapascal) = 10Kg/cmq

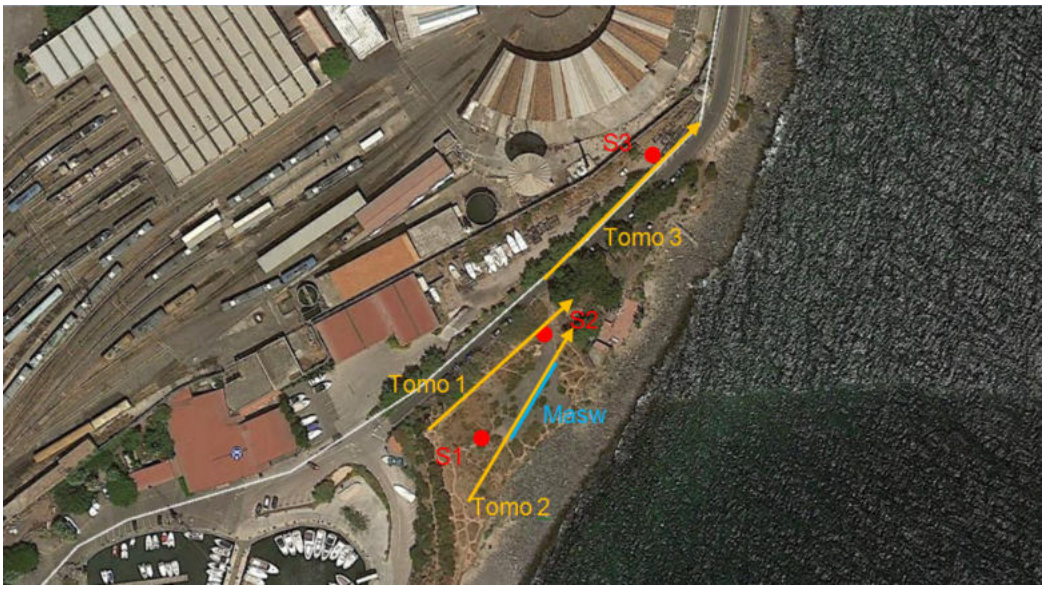
Shear M.= Modulo di rigidità

Young M.= Modulo di elasticità

BulK M.= Modulo di incompressibilità

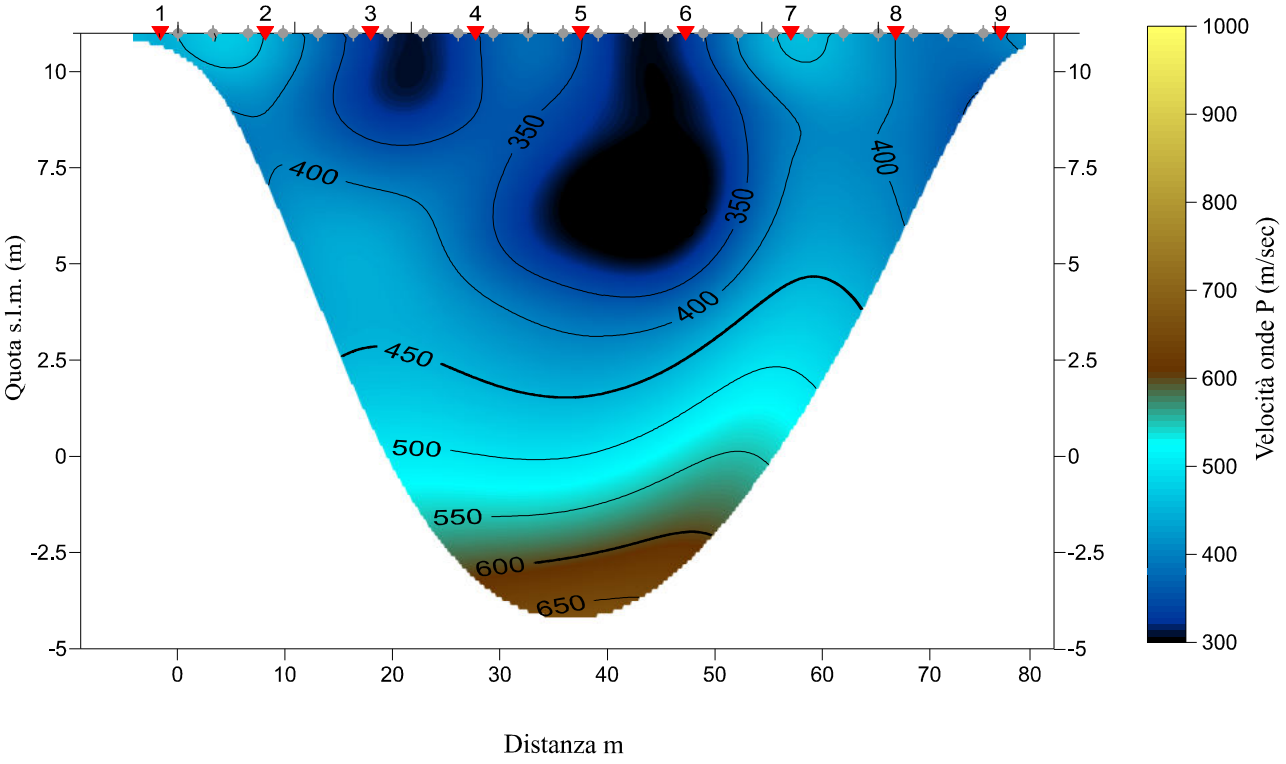
TOMO 3

DENOMINAZIONE: Area Porto Rossi C.da Caito, CT					
N. GEOFONI:	STEP GEOFONICO	N. SHOTS	LUNGHEZZA STENDIMENTO	DISTANZA OFFSETS	PROFONDITÀ INVESTIGATA
24	3,0 m	9	72,0 m	3,0 m	15 m



LA FRECCIA INDICA IL VERSO EGLI SCOPPI (DA SHOT 1 A SHOT 9)

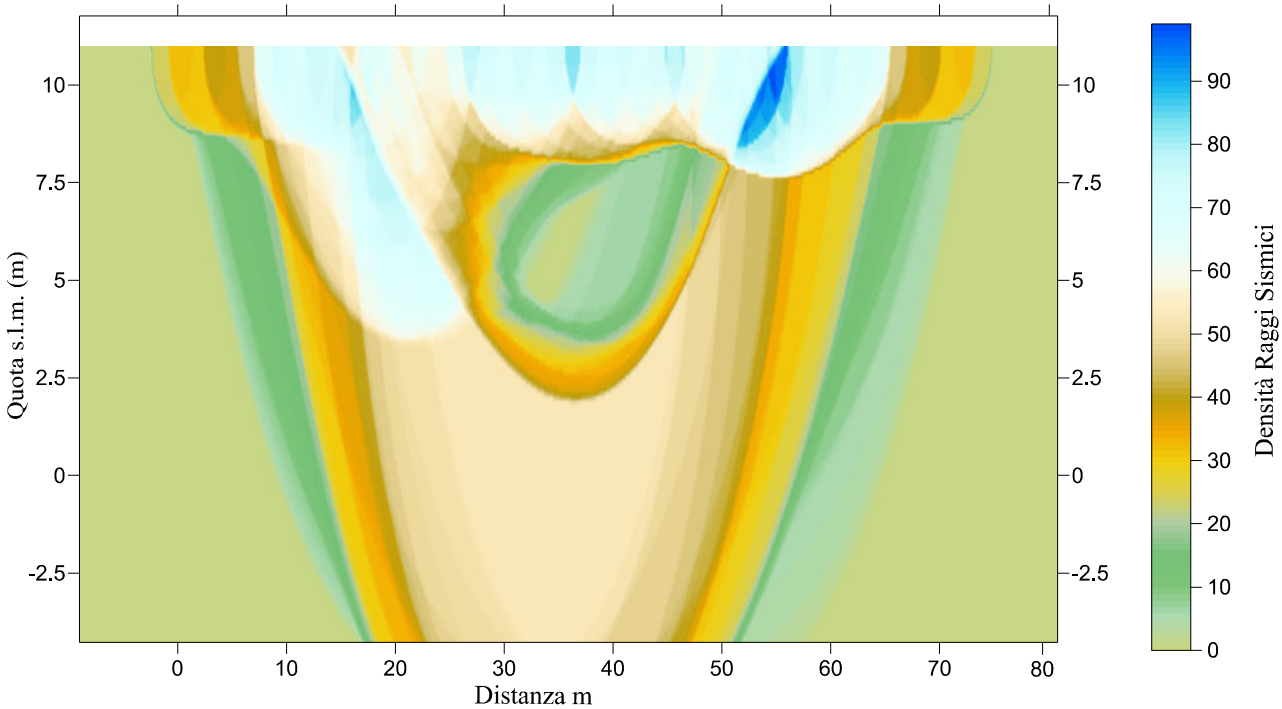
Sezione Tomografica: Tomo 3_Porto Rossi



LEGENDA

- Shot progressivi
- Geofoni da 1 a 24 (da sx a dx)

Sezione Raggi Sismici: Tomo 3_Porto Rossi



Dal modello di velocità risulta che la Vp è compresa tra 300 m/sec e 650 m/sec e che tale variazione è latero-verticale. I valori di velocità calcolati sono da attribuire alla variazione dello stato di addensamento del riporto costituito prevalentemente terreno vulcanico.

Anche in questa sezione, si evidenzia la presenza di tre orizzonti che segnano il passaggio del riporto poco addensato ai blocchi lavici e al substrato vulcanico. In particolare, nella parte centrale della sezione si evidenzia una morfologia concava dovuta allo scarso addensamento del riporto e/o presenza di vuoti.

Dal punto di vista litotecnico l'area investigata può essere ricondotta al modello descritto nella Tomo 1

In funzione del modello di velocità ottenuto, si propone la seguente sismostratigrafia:

- **Vp ≤ 450 m/sec**⇒ 1° sismostrato. E' attribuibile al riporto prevalentemente sabbioso avente caratteristiche di scarso addensamento;
- **450 < Vp < 600 m/sec** ⇒ 2° sismostrato. Terreni di natura vulcanoclastiti moderatamente addensati. L'addensamento migliora con la profondità;
- **Vp ≥ 600 m/sec** ⇒ 3° sismostrato. Lava fratturata.

Base sismica	sismostrato considerato	Vp (media) m/sec	Vs (media) m/sec	Density Kg/cm³	Poisson	Shear M. Mpa	Young M. Mpa	BulK M. Mpa
TOMO 3	1°	325	152	1,85	0,36	42,75	116,27	140,23
	2°	525	270	1,90	0,32	138,62	365,97	343,42
	3°	625	334	2,00	0,30	223,21	580,36	490,23

ms=millisecondi

0,98 Mpa (Megapascal) = 10Kg/cmq

Shear M.= Modulo di rigidità

Young M.= Modulo di elasticità

BulK M.= Modulo di incompressibilità

SISMICA DI TIPO MASW

GENERALITA'

Tale prospezione sismica è stata condotta con la finalità di accertare le caratteristiche sismiche dei terreni ottemperando a quanto prescritto dal D.M 18/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni" ove si richiede il calcolo della velocità media delle onde S (Vs30) nei primi trenta metri di sottosuolo.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

E' stato impiegato un sismografo multicanale PASI Mod.16S24-U, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- capacità di campionamento dei segnali tra 0.002 e 0.00005 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break)
- filtri High Pass e Band Reject
- "Automatic Gain Control"
- convertitore A/D a 24 bit
- geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;
- massa battente pesante di 9 Kg.

La configurazione spaziale in sito è equivalente ad un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "base distante in linea" con il seguente set-up:

- 12 geofoni con interspazio (Gx) – 3,0 metri
- n. 1 energizzazioni ad offset (Sx) – 3,0 metri;
- campionamento 0,5 ms;
- lunghezza delle tracce sismiche pari a 1.048 sec.

Tale configurazione ha consentito di mitigare gli effetti near-field dovuti alle onde di volume ed ha altresì consentito di avere le adeguate risoluzioni spazio-temporale.

METODO DI INDAGINE ED ELABORAZIONE DEI DATI

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla registrazione delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda che si propagano con diverse velocità di fase (o di gruppo).

I risultati della prova permettono di stimare la velocità, la densità e gli spessori degli strati individuati.

Dal modello di velocità finale, mediante comparazione della curva teorica con la curva sperimentale, è possibile definire la caratterizzazione del suolo tipo.

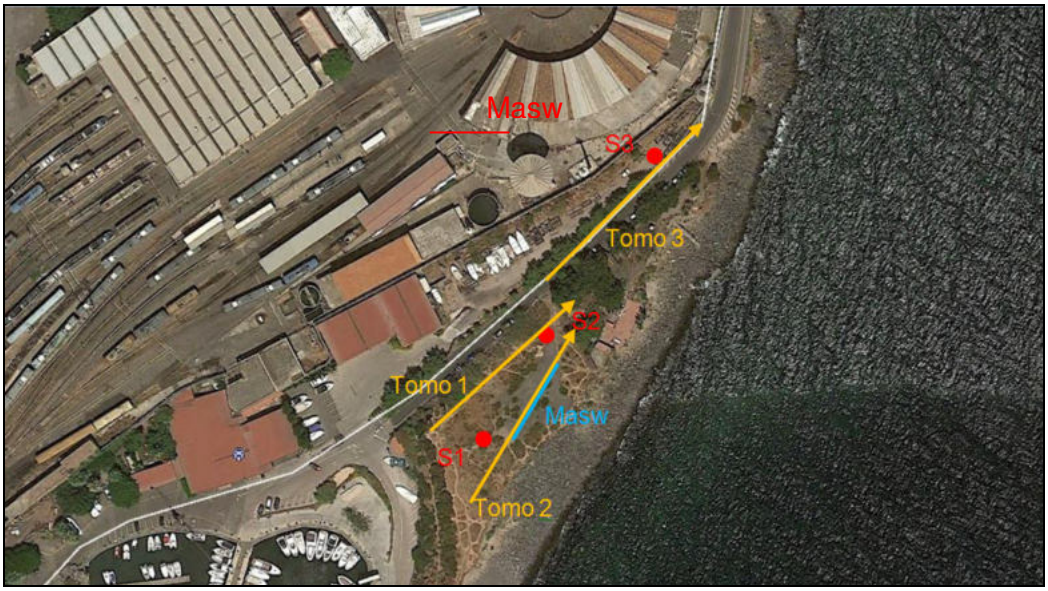
RISULTATI DELL'INDAGINE

Si riportano di seguito:

- foto indagini;
- elaborati grafici (sismogrammi, curva di dispersione, profilo Vs).

MASW

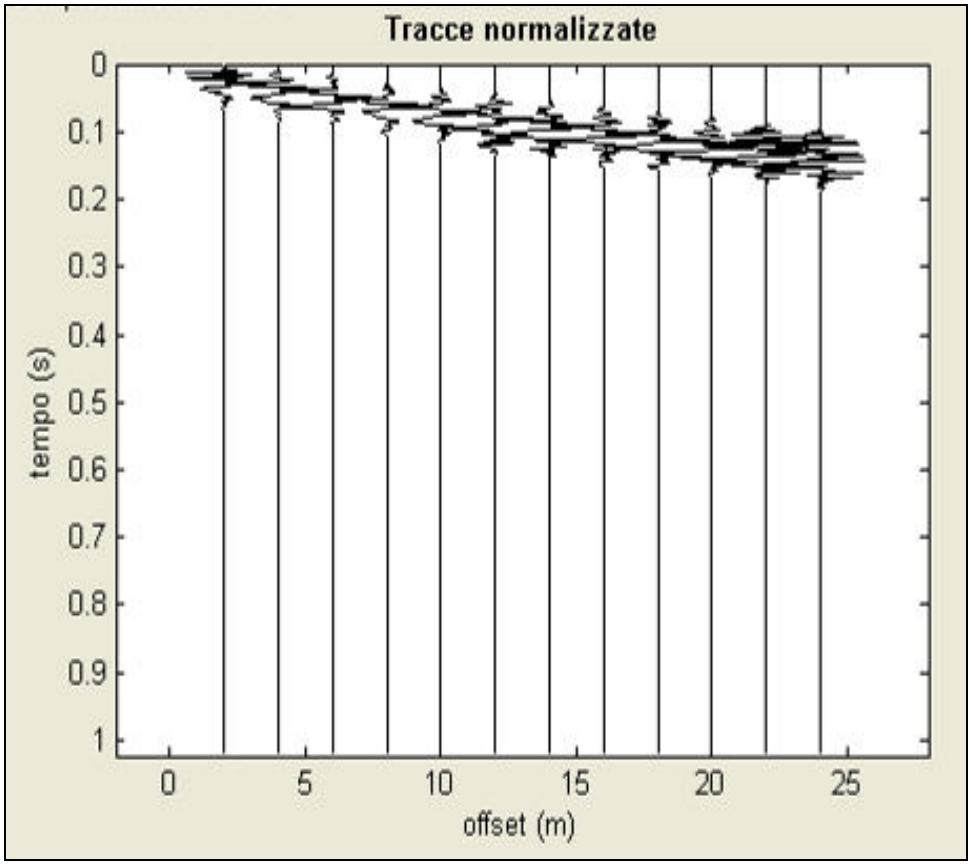
DENOMINAZIONE: **Area Porto Rossi C.da Caito, CT**			
N. GEOFONI: 12	STEP INTERGEOFONICO 3,0 m	OFF SET SHOT 3,0	LUNGHEZZA STENDIMENTO 36,0 m



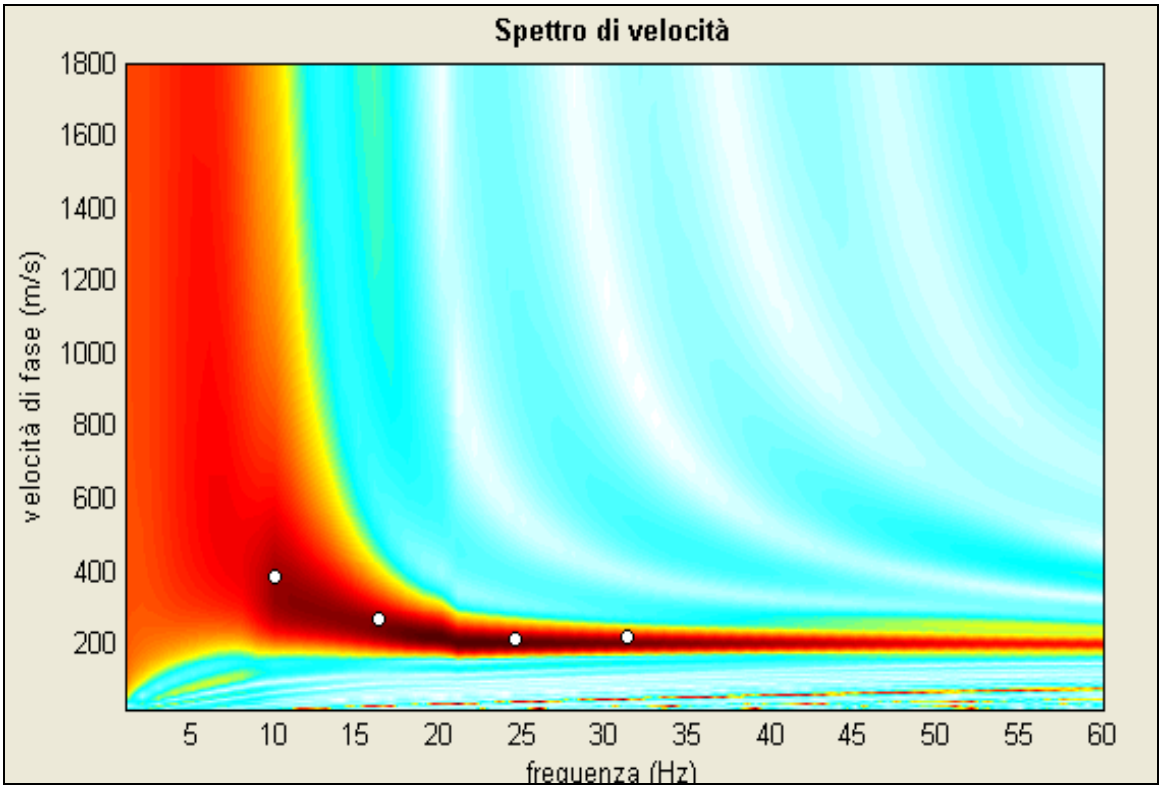
Elaborazione dati

L'analisi MASW può essere ricondotta in quattro fasi:

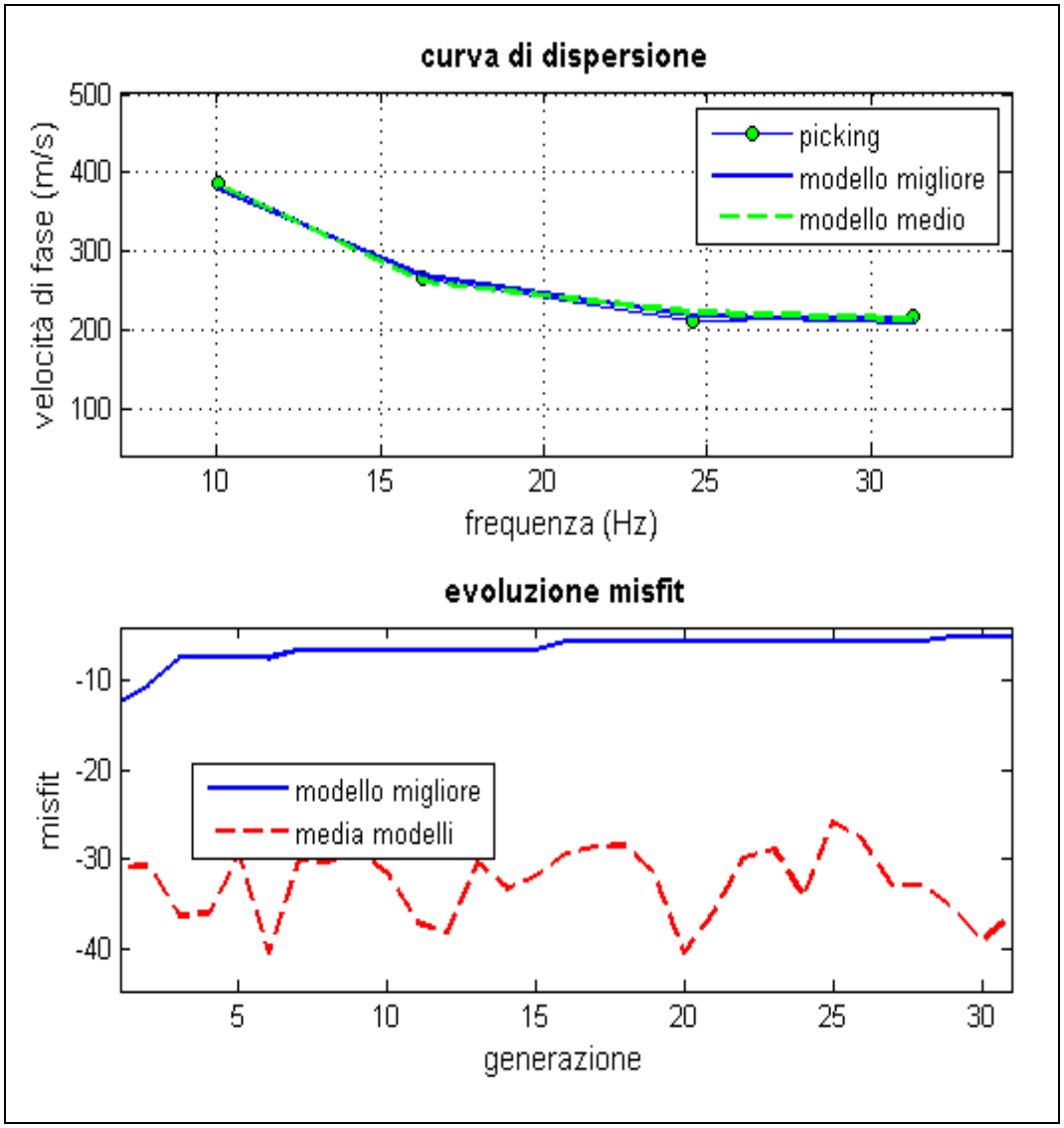
• la **prima fase** prevede la trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza f – numero d'onda K ;



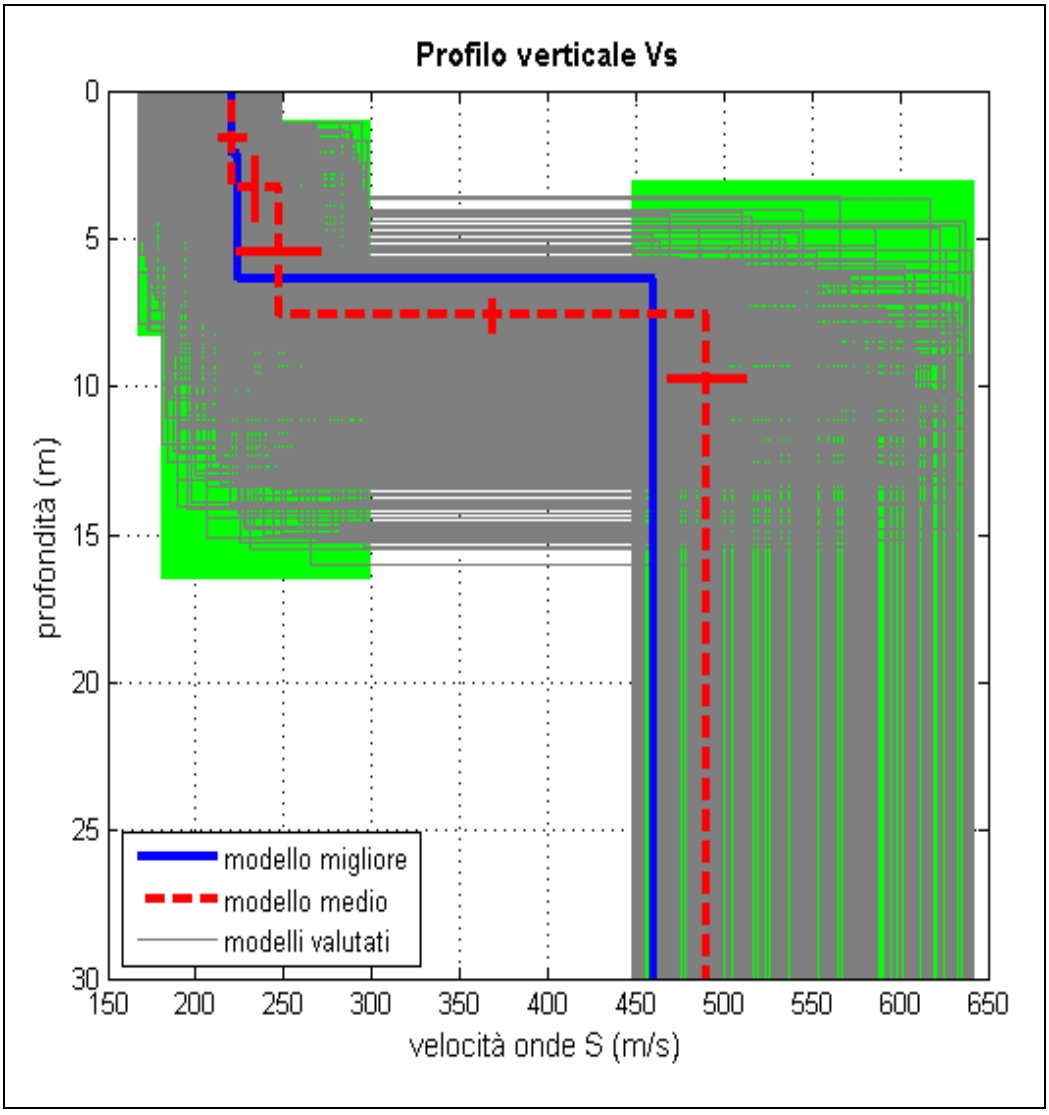
• la **seconda fase** consiste nella individuazione delle coppie f-k cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) che consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano Vfase (m/sec) – frequenza (Hz);



• la **terza fase** consiste nel calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs;



• la **quarta ed ultima fase** consiste nella modifica della curva teorica: cioè si variano opportunamente lo spessore H, la velocità delle onde di taglio Vs e la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino al raggiungimento di una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo.



I risultati della prova esposti mediante i grafici suddetti, permettono di stimare la velocità, la densità e gli spessori degli strati individuati. Dal modello di velocità finale, mediante comparazione della curva teorica con la curva sperimentale, è possibile definire la caratterizzazione del suolo tipo.

Nella tabella che segue vengono riassunti i risultati ottenuti dall'analisi dei risultati dell'indagine MASW condotta quindi, i valori Vs, gli spessori, la stima dalla densità, i moduli elastici ed i Vp ottenuti mediante l'analisi delle onde di Rayleight con il software "winMASW" (Eliosoft).

Modello medio			**Tipo di analisi: onde di Rayleigh:** stima approssimativa di Vp, densità e moduli elastici						
Strati	Vs (m/s)	Spessori (m)	Vp (m/s)	Densità (gr/cm)	Mod. di Poisson	Mod. di taglio (MPa)	Mod. di compress. (MPa)	Mod. di Young (MPa)	Mod. di Lamé (MPa)
1	221	3,3	469	1,87	0,36	91	290	248	229
2	247	4,3	481	1,88	0,32	115	282	303	205
3	490	seminfinito	998	2,05	0,34	493	1388	1322	1059

Vs30 medio: 344 (m/s)

Definizione Suolo Tipo Suolo Tipo

La normativa sismica italiana OPCM, così come il DM 14/01/2008 "Testo Unico sulle Costruzioni", definiscono l'azione sismica di progetto, in assenza di analisi specifiche, sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera. La norma suddivide il territorio nazionale fino in 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore ag dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità. I valori convenzionali di ag assegnati nelle 4 zone sismiche fanno riferimento all'accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A, cioè roccia affiorante o suolo omogeneo molto rigido, per il quale il moto sismico al bedrock non subisce variazioni sostanziali.

Tabella 5: "Range" V_{s30} da normativa DM 14/01/2008.

Suolo	Descrizione geotecnica	Vs_{30} (m/s)
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30>800m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5m	>800
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360m/s e 800m/s	360÷800 (Nspt > 50) (Cu >250 kPa)
C	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180m/s e 360m/s	180÷360 (15 < Nspt < 50) (70 < Cu < 250 kPa)
D	Depositi di granulari da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di Vs30 < 180m/s	< 180 (Nspt < 15) (Cu < 70 kPa)
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di Vs simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5m e 20m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con Vs > 800m/s	
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (IP>40) e contenuto d'acqua, caratterizzati da valori di Vs30 < 100m/s	< 100 (10 < Cu < 20 kPa)
S2	Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti	

In presenza di suoli di tipo B, C, D E, S1, S2 il moto sismico in superficie risulta in genere modificato rispetto al moto sismico al bedrock, in funzione dell'intensità e della frequenza dell'input sismico e delle caratteristiche geotecniche sismiche, oltre allo spessore del suolo attraversato dalle onde sismiche per giungere in superficie.

La classificazione del suolo, è determinata sulla base della velocità media, equivalente, di propagazione delle onde di taglio (onde S) nei primi 30m di profondità:

Considerando che:

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

dove

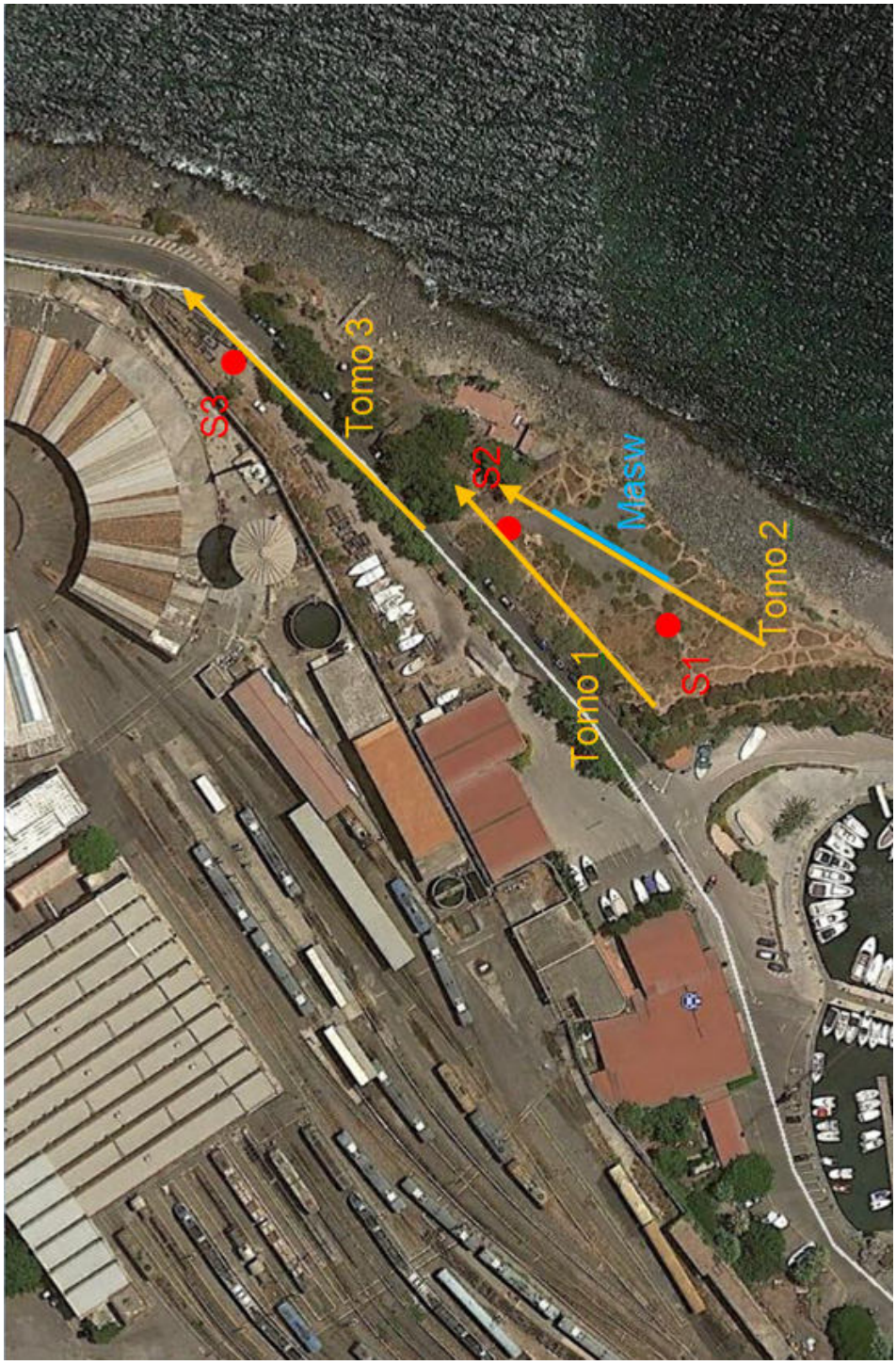
Vi e *hi* sono la velocità delle onde di taglio verticali e lo spessore dello strato i-esimo, si ha, dalla prova effettuata:

V_{S30}: 344 (m/s)

Possibile Tipo di Suolo: C

ORTOFOTO CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI

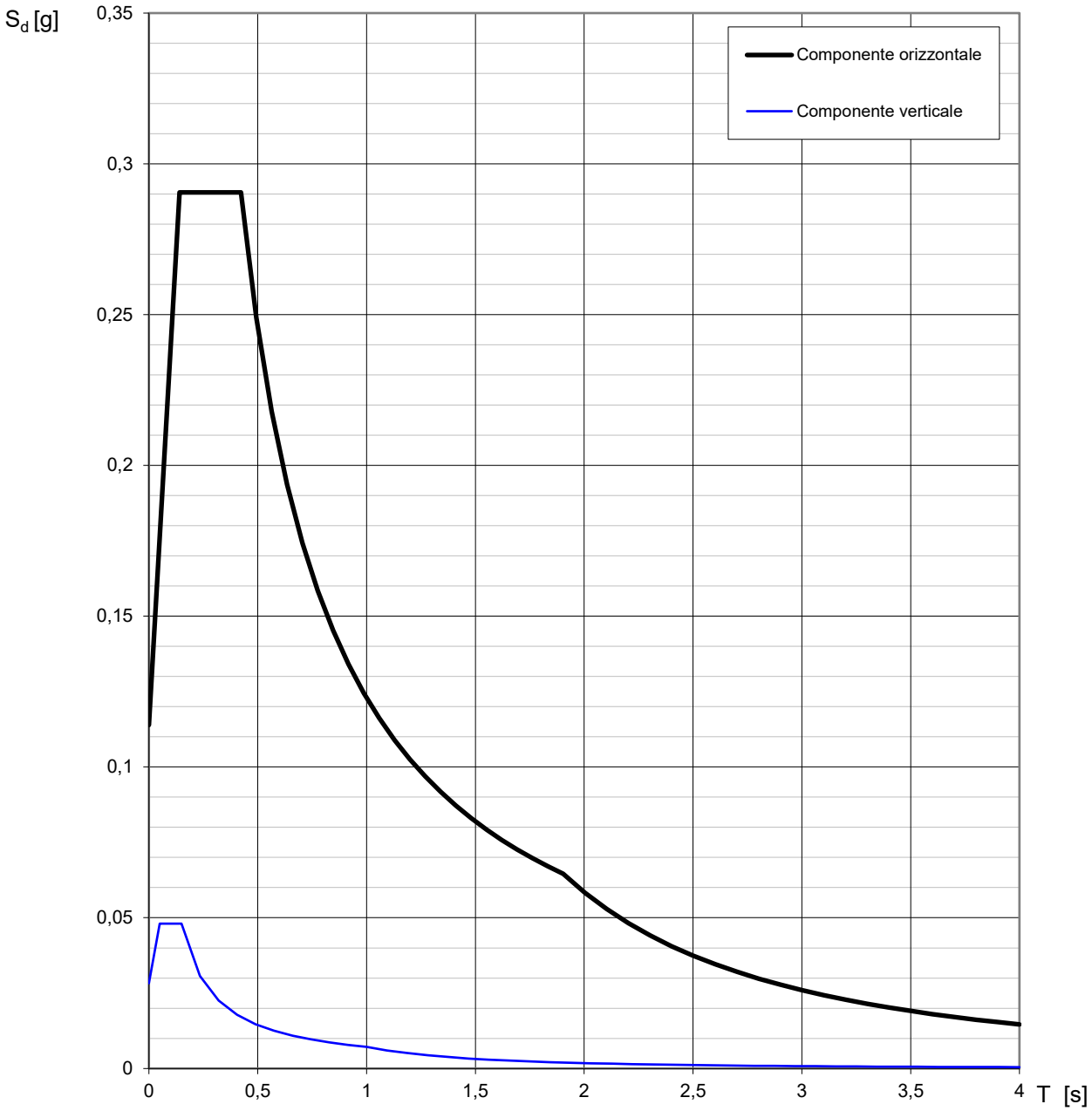
Nella figura sottostante si riportano i sondaggi meccanici (pallino rosso) e le stese sismiche delle tomografie (linee arancioni) e la masw (linea azzurra)



APPENDICE 2

Spettri di risposta elastici

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLO



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLO

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLO
a_g	0,076 g
F_o	2,550
T_C^*	0,258 s
S_S	1,500
C_C	1,643
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,500
η	1,000
T_B	0,141 s
T_C	0,423 s
T_D	1,904 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_S \cdot S_T$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55;\ \eta = 1/q$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

$T_B = T_C / 3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_C = C_C \cdot T_C^*$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$

$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$

$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$

$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con 1/q, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,114
T_B ←	0,141	0,291
T_C ←	0,423	0,291
	0,494	0,249
	0,564	0,218
	0,635	0,194
	0,705	0,174
	0,776	0,158
	0,846	0,145
	0,917	0,134
	0,987	0,125
	1,058	0,116
	1,128	0,109
	1,199	0,103
	1,269	0,097
	1,340	0,092
	1,410	0,087
	1,481	0,083
	1,551	0,079
	1,622	0,076
	1,692	0,073
	1,763	0,070
	1,833	0,067
T_D ←	1,904	0,065
	2,004	0,058
	2,103	0,053
	2,203	0,048
	2,303	0,044
	2,403	0,041
	2,503	0,037
	2,603	0,035
	2,702	0,032
	2,802	0,030
	2,902	0,028
	3,002	0,026
	3,102	0,024
	3,201	0,023
	3,301	0,021
	3,401	0,020
	3,501	0,019
	3,601	0,018
	3,701	0,017
	3,800	0,016
	3,900	0,015
	4,000	0,015

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dell

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLO

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLO
a_{gv}	0,028 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	0,949
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \qquad \text{(NTC-08 Eq. 3.2.5)}$$

$$\eta = 1/q \qquad \text{(NTC-08 §. 3.2.3.5)}$$

$$F_v = 1{,}35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0{,}5} \qquad \text{(NTC-08 Eq. 3.2.11)}$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \le T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$$

$$T_B \le T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \le T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$$

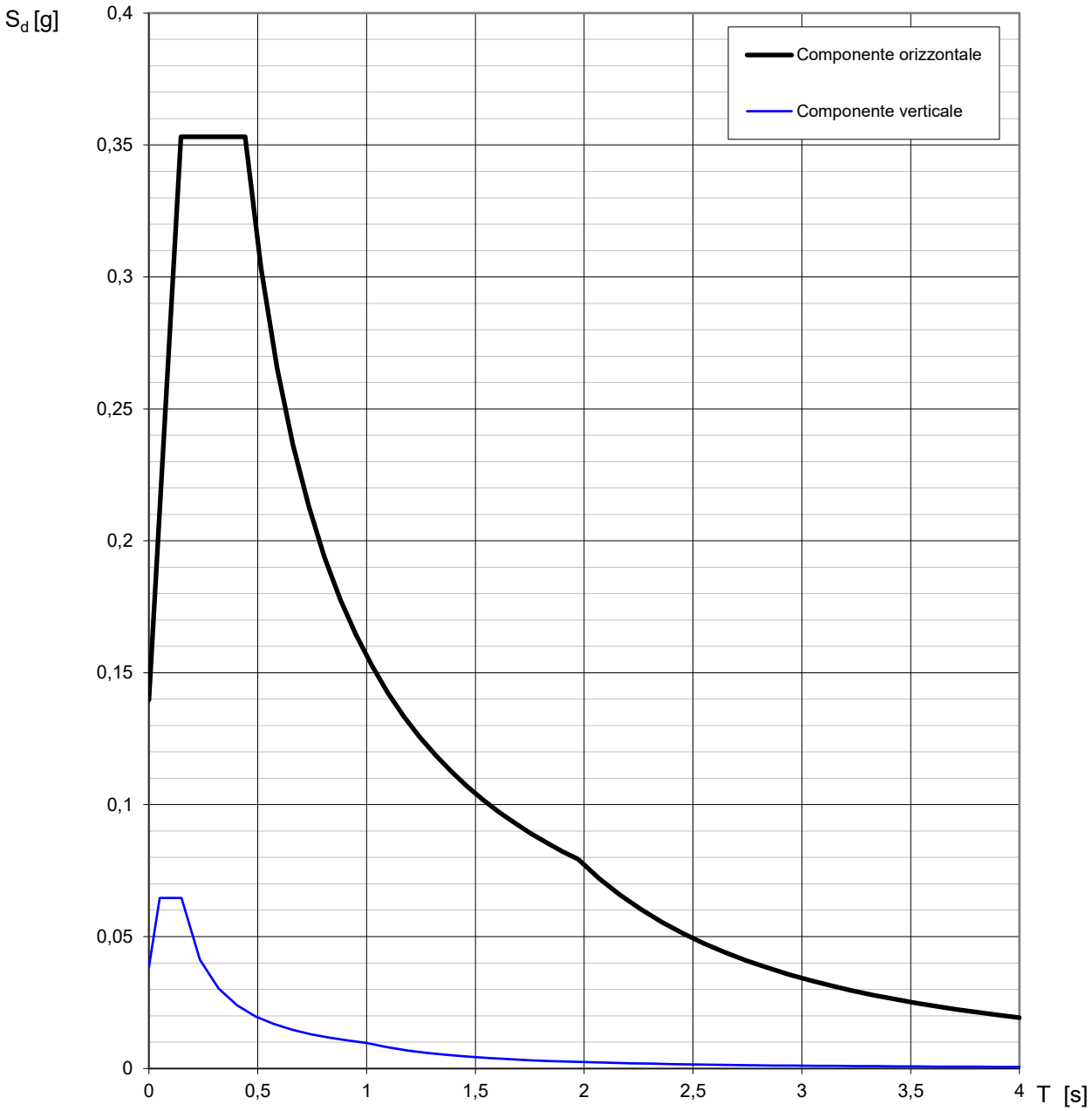
$$T_D \le T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,028
T_B ←	0,050	0,048
T_C ←	0,150	0,048
	0,235	0,031
	0,320	0,023
	0,405	0,018
	0,490	0,015
	0,575	0,013
	0,660	0,011
	0,745	0,010
	0,830	0,009
	0,915	0,008
T_D ←	1,000	0,007
	1,094	0,006
	1,188	0,005
	1,281	0,004
	1,375	0,004
	1,469	0,003
	1,563	0,003
	1,656	0,003
	1,750	0,002
	1,844	0,002
	1,938	0,002
	2,031	0,002
	2,125	0,002
	2,219	0,001
	2,313	0,001
	2,406	0,001
	2,500	0,001
	2,594	0,001
	2,688	0,001
	2,781	0,001
	2,875	0,001
	2,969	0,001
	3,063	0,001
	3,156	0,001
	3,250	0,001
	3,344	0,001
	3,438	0,001
	3,531	0,001
	3,625	0,001
	3,719	0,001
	3,813	0,000
	3,906	0,000
	4,000	0,000

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0,093 g
F_o	2,528
T_C^*	0,276 s
S_S	1,500
C_C	1,606
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,500
η	1,000
T_B	0,148 s
T_C	0,443 s
T_D	1,972 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_S \cdot S_T$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55;\ \eta = 1/q$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

$T_B = T_C / 3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_C = C_C \cdot T_C^*$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$

$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$

$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$

$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con 1/q, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,140
T_B ←	0,148	0,353
T_C ←	0,443	0,353
	0,516	0,303
	0,589	0,266
	0,661	0,236
	0,734	0,213
	0,807	0,194
	0,880	0,178
	0,953	0,164
	1,026	0,152
	1,098	0,142
	1,171	0,134
	1,244	0,126
	1,317	0,119
	1,390	0,113
	1,463	0,107
	1,535	0,102
	1,608	0,097
	1,681	0,093
	1,754	0,089
	1,827	0,086
	1,900	0,082
T_D ←	1,972	0,079
	2,069	0,072
	2,166	0,066
	2,262	0,060
	2,359	0,055
	2,455	0,051
	2,552	0,047
	2,648	0,044
	2,745	0,041
	2,841	0,038
	2,938	0,036
	3,034	0,033
	3,131	0,031
	3,228	0,030
	3,324	0,028
	3,421	0,026
	3,517	0,025
	3,614	0,024
	3,710	0,022
	3,807	0,021
	3,903	0,020
	4,000	0,019

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dell

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLD

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gv}	0,038 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,041
S	1,000
η	0,667

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,038
T_B ←	0,050	0,065
T_C ←	0,150	0,065
	0,235	0,041
	0,320	0,030
	0,405	0,024
	0,490	0,020
	0,575	0,017
	0,660	0,015
	0,745	0,013
	0,830	0,012
	0,915	0,011
T_D ←	1,000	0,010
	1,094	0,008
	1,188	0,007
	1,281	0,006
	1,375	0,005
	1,469	0,004
	1,563	0,004
	1,656	0,004
	1,750	0,003
	1,844	0,003
	1,938	0,003
	2,031	0,002
	2,125	0,002
	2,219	0,002
	2,313	0,002
	2,406	0,002
	2,500	0,002
	2,594	0,001
	2,688	0,001
	2,781	0,001
	2,875	0,001
	2,969	0,001
	3,063	0,001
	3,156	0,001
	3,250	0,001
	3,344	0,001
	3,438	0,001
	3,531	0,001
	3,625	0,001
	3,719	0,001
	3,813	0,001
	3,906	0,001
	4,000	0,001

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \qquad \text{(NTC-08 Eq. 3.2.5)}$$

$$\eta = 1/q \qquad \text{(NTC-08 §. 3.2.3.5)}$$

$$F_v = 1{,}35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0{,}5} \qquad \text{(NTC-08 Eq. 3.2.11)}$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \le T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$$

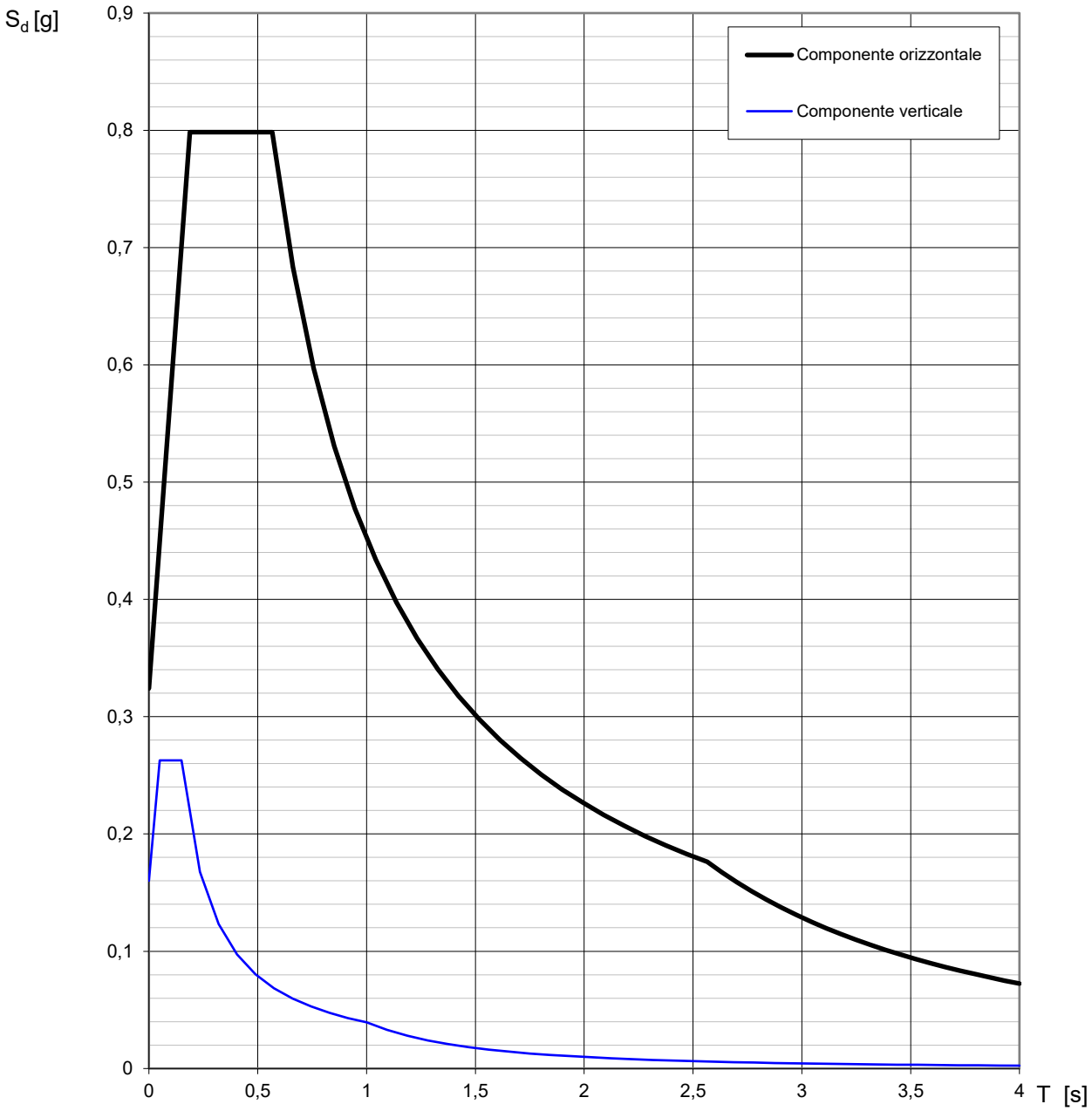
$$T_B \le T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \le T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$$

$$T_D \le T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$$

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,241 g
F_o	2,463
T_C^*	0,398 s
S_S	1,343
C_C	1,423
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,343
η	1,000
T_B	0,189 s
T_C	0,566 s
T_D	2,565 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_S \cdot S_T$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55;\ \eta = 1/q$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

$T_B = T_C / 3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_C = C_C \cdot T_C^*$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$

$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$

$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$

$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con 1/q, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,324
T_B ←	0,189	0,798
T_C ←	0,566	0,798
	0,661	0,684
	0,756	0,598
	0,852	0,531
	0,947	0,477
	1,042	0,434
	1,137	0,397
	1,232	0,367
	1,328	0,340
	1,423	0,318
	1,518	0,298
	1,613	0,280
	1,708	0,265
	1,804	0,251
	1,899	0,238
	1,994	0,227
	2,089	0,216
	2,184	0,207
	2,280	0,198
	2,375	0,190
	2,470	0,183
T_D ←	2,565	0,176
	2,633	0,167
	2,702	0,159
	2,770	0,151
	2,838	0,144
	2,907	0,137
	2,975	0,131
	3,043	0,125
	3,112	0,120
	3,180	0,115
	3,248	0,110
	3,317	0,105
	3,385	0,101
	3,453	0,097
	3,522	0,093
	3,590	0,090
	3,658	0,087
	3,727	0,083
	3,795	0,081
	3,863	0,078
	3,932	0,075
	4,000	0,072

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dell

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0,160 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,634
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T$$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$$\eta = 1/q$$ (NTC-08 §. 3.2.3.5)

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5}$$ (NTC-08 Eq. 3.2.11)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \le T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$$

$$T_B \le T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \le T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$$

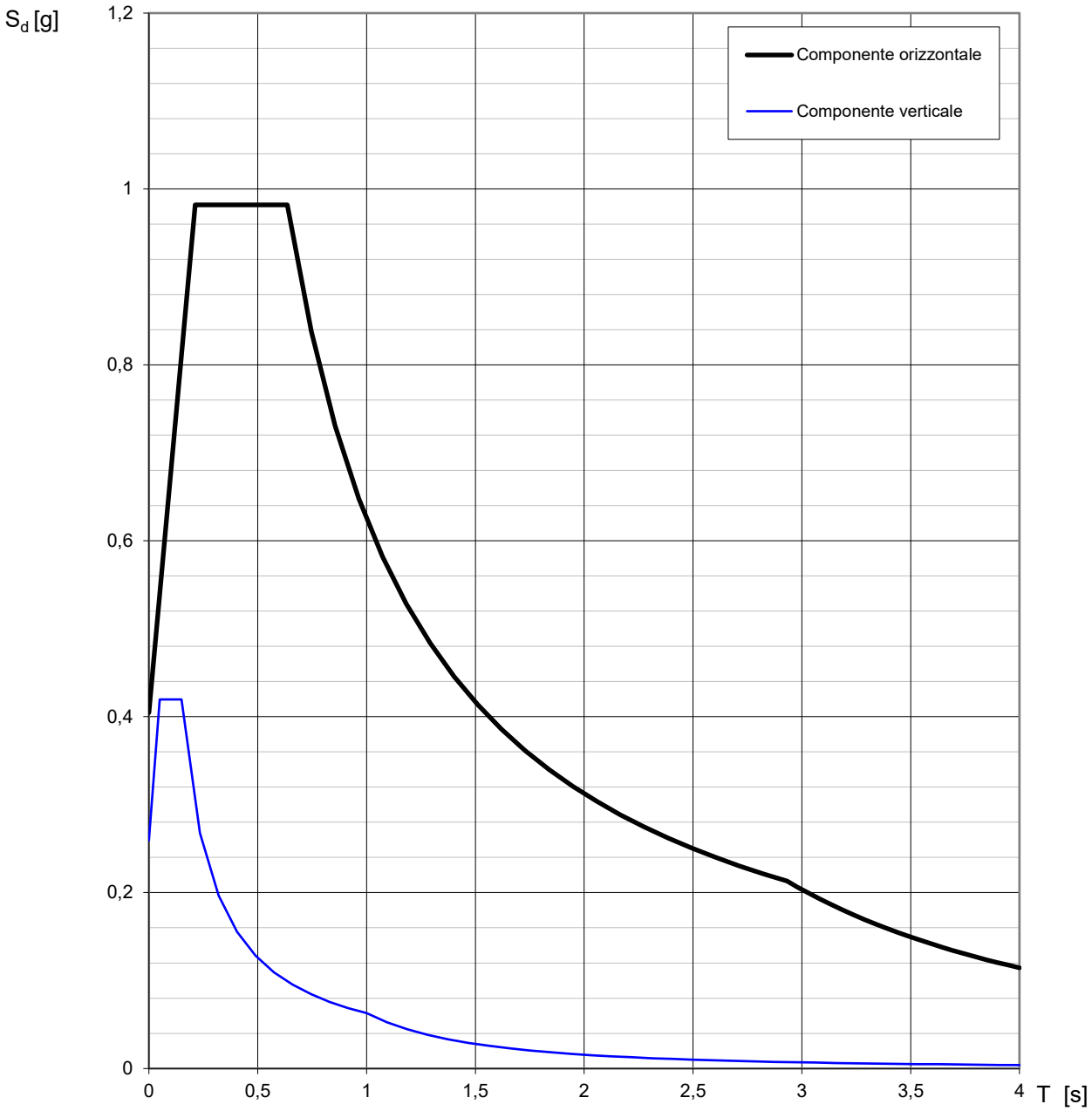
$$T_D \le T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,160
T_B ←	0,050	0,263
T_C ←	0,150	0,263
	0,235	0,168
	0,320	0,123
	0,405	0,097
	0,490	0,080
	0,575	0,069
	0,660	0,060
	0,745	0,053
	0,830	0,047
	0,915	0,043
T_D ←	1,000	0,039
	1,094	0,033
	1,188	0,028
	1,281	0,024
	1,375	0,021
	1,469	0,018
	1,563	0,016
	1,656	0,014
	1,750	0,013
	1,844	0,012
	1,938	0,010
	2,031	0,010
	2,125	0,009
	2,219	0,008
	2,313	0,007
	2,406	0,007
	2,500	0,006
	2,594	0,006
	2,688	0,005
	2,781	0,005
	2,875	0,005
	2,969	0,004
	3,063	0,004
	3,156	0,004
	3,250	0,004
	3,344	0,004
	3,438	0,003
	3,531	0,003
	3,625	0,003
	3,719	0,003
	3,813	0,003
	3,906	0,003
	4,000	0,002

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLC



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLC

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
a_g	0,333 g
F_o	2,427
T_C^*	0,474 s
S_S	1,215
C_C	1,344
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,215
η	1,000
T_B	0,212 s
T_C	0,636 s
T_D	2,932 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_S \cdot S_T$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55;\ \eta = 1/q$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

$T_B = T_C / 3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_C = C_C \cdot T_C^*$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$

$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$

$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$

$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con 1/q, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,405
T_B ←	0,212	0,982
T_C ←	0,636	0,982
	0,746	0,838
	0,855	0,731
	0,964	0,648
	1,074	0,582
	1,183	0,528
	1,292	0,484
	1,402	0,446
	1,511	0,414
	1,620	0,386
	1,729	0,361
	1,839	0,340
	1,948	0,321
	2,057	0,304
	2,167	0,288
	2,276	0,275
	2,385	0,262
	2,495	0,251
	2,604	0,240
	2,713	0,230
	2,822	0,221
T_D ←	2,932	0,213
	2,983	0,206
	3,034	0,199
	3,084	0,193
	3,135	0,186
	3,186	0,181
	3,237	0,175
	3,288	0,170
	3,339	0,164
	3,390	0,159
	3,440	0,155
	3,491	0,150
	3,542	0,146
	3,593	0,142
	3,644	0,138
	3,695	0,134
	3,746	0,131
	3,797	0,127
	3,847	0,124
	3,898	0,121
	3,949	0,117
	4,000	0,115

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dell

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLC

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
a_{gv}	0,259 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,891
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \qquad \text{(NTC-08 Eq. 3.2.5)}$$

$$\eta = 1/q \qquad \text{(NTC-08 §. 3.2.3.5)}$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5} \qquad \text{(NTC-08 Eq. 3.2.11)}$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \le T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$$

$$T_B \le T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \le T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$$

$$T_D \le T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,259
T_B ←	0,050	0,420
T_C ←	0,150	0,420
	0,235	0,268
	0,320	0,197
	0,405	0,155
	0,490	0,128
	0,575	0,109
	0,660	0,095
	0,745	0,084
	0,830	0,076
	0,915	0,069
T_D ←	1,000	0,063
	1,094	0,053
	1,188	0,045
	1,281	0,038
	1,375	0,033
	1,469	0,029
	1,563	0,026
	1,656	0,023
	1,750	0,021
	1,844	0,019
	1,938	0,017
	2,031	0,015
	2,125	0,014
	2,219	0,013
	2,313	0,012
	2,406	0,011
	2,500	0,010
	2,594	0,009
	2,688	0,009
	2,781	0,008
	2,875	0,008
	2,969	0,007
	3,063	0,007
	3,156	0,006
	3,250	0,006
	3,344	0,006
	3,438	0,005
	3,531	0,005
	3,625	0,005
	3,719	0,005
	3,813	0,004
	3,906	0,004
	4,000	0,004

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

APPENDICE 3

Cartografia

Comune di Catania

Studio geologico-tecnico A supporto del "Progetto richiesta ampliamento cdm 568/2013, art.24 del reg. al c.n.", per ampliamento e rimodulazione dell'approdo turistico denominato "Porto Rossi" ed ampliamento dell'area adibita a cantiere navale, in c.da Caito nel comune di Catania

TAVOLA 1

Corografia

scala 1:10.000

Base cartografica estratta dalla Carta Tecnica Regionale CTR 634060

LEGENDA

Sito d'interesse

Comune di Catania

Studio geologico-tecnico A supporto del "Progetto richiesta ampliamento cdm 568/2013, art.24 del reg. al c.n.", per ampliamento e rimodulazione dell'approdo turistico denominato "Porto Rossi" ed ampliamento dell'area adibita a cantiere navale, in c.da Caito nel comune di Catania

TAVOLA 2

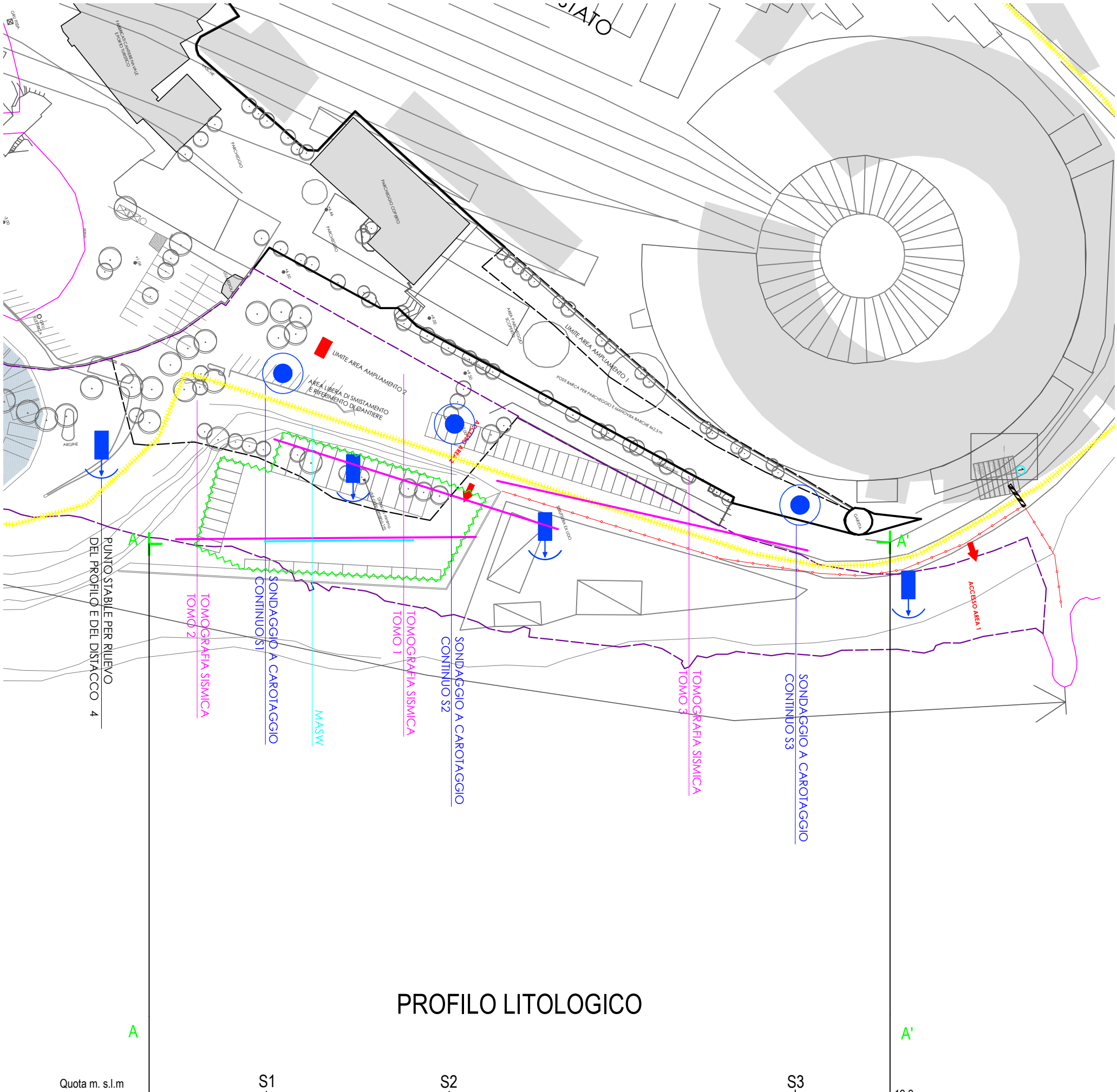
Geologia

scala 1:5.000

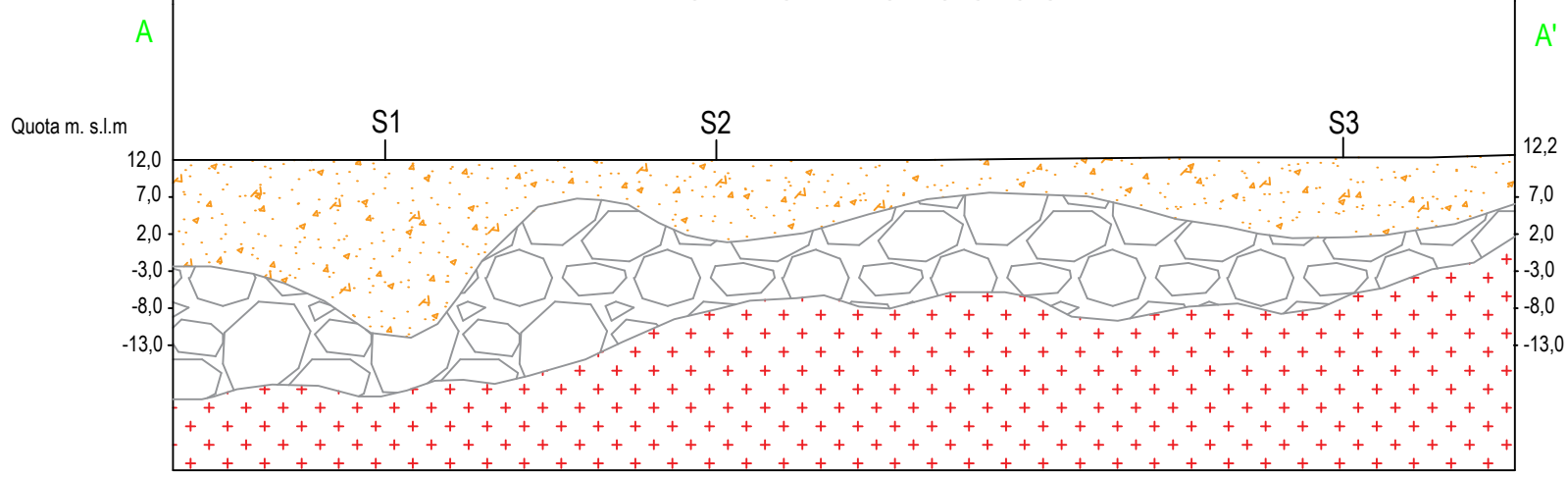
Base cartografica estratta dalle Carte Tecniche Regionali n. 612150 "Maletto

LEGENDA

- Riporto costituito da scarto edilizio frammisto a blocchi lavici di varia dimensione. Materiale di costruzione di scogliera artificiale e moli
- Depositi di Spiaggia: costituiti da sabbia nera basaltica
- Lave del Rotolo (1381)
- Lave del Larmisi (4-5000 a.C.)
- Sito d'interesse



PROFILO LITOLOGICO



scala 1:1000

Legenda

Riporto antropico costituito da materiale da demolizione e costruzione, e vulcanoclastiti

Riporto antropico costituito da blocchi lavici

Colate laviche

Oggetto:

Studio geologico-tecnico a supporto del "Progetto richiesta ampliamento cdm 568/2013, art.24 del reg. al c.n.", per ampliamento e rimodulazione dell'approdo turistico denominato "Porto Rossi" ed ampliamento dell'area adibita a cantiere navale, in c.da Caito nel comune di Catania

TAVOLA 3