



ENGINEERING AND CONSTRUCTION

Relazione Geologica

Document / Documento

PBTIG2002000

Sheet
Pagina

1

of
di

95

PROJECT
Progetto

TERMINI IMERESE

CAPACITY MARKET ITALY

Security Index
Indice Sicurezza

Riservato Aziendale

TITLE
Titolo

RELAZIONE GEOLOGICA E DI MODELLAZIONE SISMICA

CLIENT
Cliente

ENEL PRODUZIONE S.p.A



JOB no.

Document no.

CLIENT SUBMITTAL
Inoltro al ClienteFOR APPROVAL
Per ApprovazioneFOR INFORMATION
ONLY
Per InformazioneNOT REQUESTED
Non RichiestoSYSTEM
Sistema

00B

DOCUMENT TYPE
Tipo Documento

TH

DISCIPLINE
Disciplina

C

FILE
File

PBTIG2002000

REV

DESCRIPTION OF REVISIONS / Descrizione delle revisioni

00 Prima emissione

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------------|----------------|--------------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------------|---------------------|---------|
| 00 | 21.09.20 | ES | | | | | | | | | | | | RIBOLDI |
| | | | IGES WORLD | PRO | ELE | I&C | MEC | CIV | C&E | COS | AVV | QUA | MAC | PE |
| REV | Date Data | Scope Scopo | Prepared by Preparato | Co-operations Collaborazioni | | | | | | | | Approved by Approvato | Issued by Emesso | |

Questo documento è proprietà di Enel E&C. E' severamente proibito riprodurre anche in parte il documento o divulgare ad altri le informazioni contenute senza la preventiva autorizzazione scritta.

This document is property of Enel E&C. It is strictly forbidden to reproduce this document, wholly or partially, and to provide any related information to others without previous written consent.



Engineering & Construction

CENTRALE DI TERMINI IMERESE

Document
Documento n.
PBTIG2002000

CAPACITY MARKET ITALY

Sheet
Pagina **2** of
di **95**

INDICE

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUZIONE..... | 3 |
| 2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO | 3 |
| 3. BIBLIOGRAFIA ENEL..... | 3 |
| 4. INQUADRAMENTO GENERALE DEL SITO | 4 |
| 4.1. Inquadramento geografico..... | 4 |
| 4.2. Inquadramento geologico e geomorfologico generale..... | 5 |
| 4.2.1. Inquadramento geomorfologico | 5 |
| 4.2.2. Inquadramento geologico strutturale..... | 6 |
| 4.3. Inquadramento sedimentologico e stratigrafico..... | 9 |
| 4.4. Inquadramento vincolistico e PAI..... | 13 |
| 5. SISMICITA' | 15 |
| 5.1. Caratteri sismogenetici generali..... | 15 |
| 5.2. Sismicità locale | 18 |
| 6. QUADRO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE DISPONIBILI | 21 |
| 7. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO | 24 |
| 7.1. Successione litostratigrafica dell'area di studio..... | 24 |
| 7.2. Caratterizzazione meccanica dei litotipi e modello lito-tecnico di riferimento..... | 24 |
| 8. RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL) | 26 |
| 8.1. Valutazione dell'azione sismica con approccio semplificato..... | 26 |
| 8.1.1. Azione sismica locale | 26 |
| 8.2. Verifica RSL con modellazione 1D | 29 |
| 9. VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE..... | 68 |
| 9.1. Definizione dell'input sismico..... | 69 |
| 9.2. Verifiche a liquefazione | 71 |

ALLEGATO 1: Rapporto indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche – Anno 2020 – Società SIDERCEM S.r.L.



1. INTRODUZIONE

La presente Relazione Geologica si riferisce al Progetto per la realizzazione di nuove installazioni OCGT/CCGT nell'ambito della centrale termoelettrica Enel di Termini Imerese (PA).

Scopo del presente elaborato tecnico di sintesi è quello di:

- descrivere i caratteri geologici generali dell'area;
- descrivere le condizioni di sismicità del sito;
- esaminare e interpretare le indagini geognostiche e geotecniche condotte in sito;
- fornire una descrizione litologica delle formazioni presenti;
- fornire una caratterizzazione geomeccanica di massima dei litotipi presenti, necessaria per la descrizione di un modello geologico di riferimento.

Il sito in questione è stato oggetto di varie campagne d'indagine, che si sono susseguite a partire dal 1989.

Tutte le indagini eseguite nell'area oggetto di studio, sono state utili ad integrare le informazioni esistenti nonché quelle di carattere bibliografico ricavate dalla letteratura geologica di questo settore della Sicilia nord-occidentale.

L'analisi dei dati provenienti dalle varie campagne d'indagine, unitamente a quelli di carattere generale, consente la formulazione di un modello geologico-tecnico indicativo del sottosuolo che sarà strumento utile in fase di progettazione delle nuove opere previste da ENEL.

Rispetto al presente specifico ambito d'intervento si è scelto di svolgere comunque una campagna di indagini geognostiche e geofisiche specificamente orientata al fine di poter validare la rilevante messe di dati disponibile dalle indagini storiche.

2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Circolare 21 gennaio 2019 n. 7" - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"
- Decreto Ministeriale 17/01/2018 - Aggiornamento delle "Norme tecniche per le Costruzioni - NTC18";
- Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006;
- Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto Conclusivo (C. Meletti, G. Valensise - INGV 2004);
- Autorità portuale di Palermo - RELAZIONE GEOLOGICO TECNICA - "Lavori di completamento del molo foraneo di sopraflutto del porto di Termini Imerese" - luglio 2013;
- Regione Sicilia - Bacino idrogeologico Monti di Trabia e Termini Imerese - anno 2006;
- Carta geologica d'Italia 1:50000 - Foglio 609 (Termini Imerese);
- Note illustrative del Foglio 609-596 (Termini Imerese - Capo Plaia);
- Stralcio cartografico CTR Sez. ATA0708_609010 e ATA0708_609020 - scala 1:10000;

3. BIBLIOGRAFIA ENEL

- 1993 - ISMES - Relazione Geotecnica Finale - CARTELLE 899-907-908-909-910-911;
- 1996 - Campagna di indagini ISMES - CARTELLA 830
- 2001 - Campagna di indagini GEOMERID - CARTELLA 875
- 2002 - LIS Campagna pre-post trattamento vibroflottazione - CARTELLA 817;
- 2005 - GEOMERID - Indagini per raddoppio ciclo combinato - CARTELLE 927-992;
- 2005 - GEOSONDEDILE - Indagini in situ - CARTELLA 993.

4. INQUADRAMENTO GENERALE DEL SITO

4.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il sito in oggetto è ubicato nella zona costiera ad est dell'abitato di Termini Imerese, più in particolare nella contrada Tonnarella localizzata nell'agglomerato industriale di Termini Imerese (**Figura 1**).

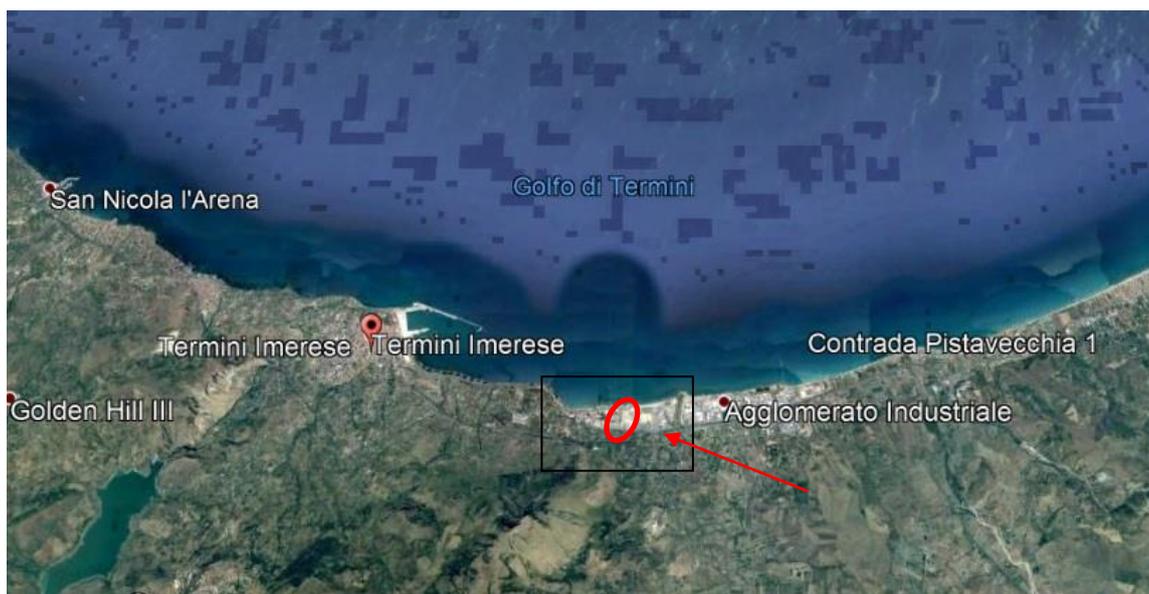


Figura 1: Planimetria con ubicazione delle aree d'intervento (Fonte Google Maps)

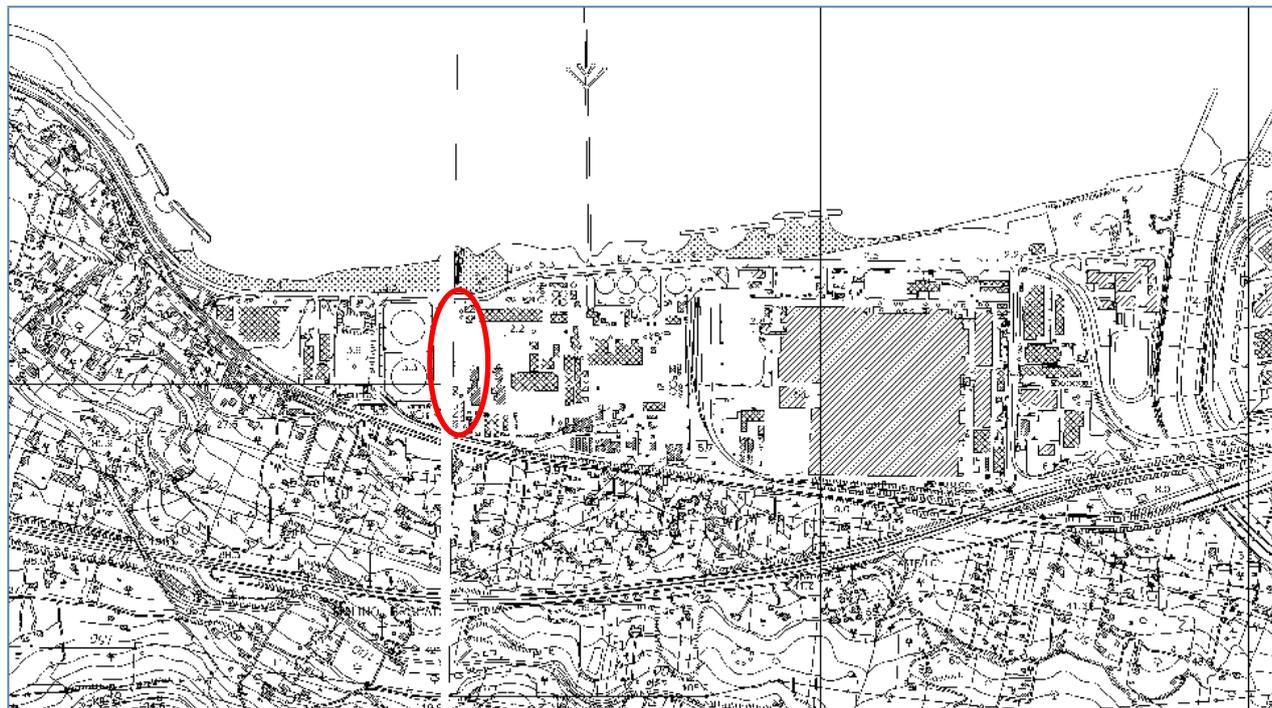


Figura 2: Stralcio cartografico 1:10.000 con ubicazione delle aree d'intervento

La quota topografica del piano campagna, in base alla C.T.R. 1:10.000, varia tra 2 e 4 metri s.l.m.m.

4.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE

4.2.1. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

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

Il sito oggetto di studio ricade nell'area di Trabia-Termini Imerese che è caratterizzata dalla presenza di rilievi prevalentemente calcareo-dolomitici tra i quali spiccano le due dorsali di Monte Cane e Monte S. Onofrio tra Trabia e Ventimiglia di Sicilia, il Monte S. Calogero (1325 m s.l.m.) tra Termini Imerese, Caccamo e Sciara. La fascia costiera è caratterizzata dalla presenza di spianate terrazzate pleistoceniche che dal livello del mare si estendono sino alla quota di circa 250 m. L'area più interna è caratterizzata dalla presenza di zone di media montagna dove affiorano estesamente rilievi gessosi e calcareo-marnosi (bacini evaporitici intramontani di Ciminna) brachisinclinali con balze ripide e scoscese. I rilievi maggiori sono attornati da vaste plaghe di argille ed arenarie che danno vita a rilievi collinari rotondeggianti o a piccole creste allungate.

L'area ove ricade l'area di studio, è rappresentata da una spianata allungata, limitata superiormente da un pendio acclive, mentre inferiormente è bordata dal mare. Il bordo superiore della spianata, è caratterizzato da un pendio acclive, rappresentato da una scarpata e/o versante di linea di faglia. Questo lineamento tettonico ("lineamento delle Terme"), fa parte di un sistema di faglie a gradinata che ribassano progressivamente la successione imerese della Rocca del Castello di Termini Imerese sino a metterla a contatto con le coperture terrigene, prevalentemente argillose del Flysch Numidico. La scarpata di faglia del "lineamento delle Terme" è stata dapprima esaltata e messa in luce a causa dell'erosione selettiva (morfoselezione), tra i vari termini litologici della successione imerese (ed in particolare tra la litofacies calcareo - dolomitica delle Formazione Fanusi, e la sovrastante silicoclastica della Formazione Crisanti). La scarpata è poi arretrata

progressivamente al piede della faglia a causa degli agenti esogeni che hanno intaccato e disseccato i termini calcareo-dolomitici, dando vita ad un versante, ed è stata in parte mascherata da accumuli detritici, colluviali e da depositi alluvionali fanglomeratici prodotti dai vari torrenti che solcano la Rocca del Castello.

Per quanto riguarda i fattori naturali, si riconoscono due fasi: nella prima, in concomitanza della fase di risalita e di stazionamento alto del livello marino durante il Versiliano, l'azione del mare ha determinato la formazione di una vasta spianata di abrasione marina, ritagliata nelle dolomie Fanusi, sul blocco ribassato sito immediatamente a valle del "lineamento delle Terme"; sulla quale si sono accumulati depositi costieri sabbioso-ciottolosi, nella seconda si è avuta una progressiva progradazione verso il largo della costa, a causa degli apporti torrentizi, e nel contempo una vistosa aggradazione topografica. L'attività antropica, si è sommata ai fattori naturali, producendo, grazie alla realizzazione di strutture murarie e di ripetuti livelli di frequentazione, un ulteriore contributo all'aggradazione topografica.

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

A livello idrografico il settore in esame ricade all'interno dei bacini idrografici dei fiumi Torto (che scorre accanto al sito), S. Leonardo, S. Michele e Milicia. Negli alvei dei corsi d'acqua maggiori, quali il Torto ed il S. Leonardo si rinvengono acquiferi multifalda ospitati nei depositi alluvionali e che hanno una certa rilevanza.

4.2.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE

I Monti di Trabia e di Termini Imerese, area a cui appartiene il sito di studio, ricadono nel settore settentrionale della catena nord siciliana e sono il risultato della sovrapposizione tettonica di vari corpi geologici carbonatici, carbonatico-silicoclastici e terrigeni, d'età Trias sup.-Miocene inf., con vergenza generalmente meridionale. Tali corpi derivano dalla deformazione miocenica, di una successione bacinale (**Figura 3** e **Figura 5**) pelagica e di scarpata (Dominio Imerese Auct.), formatasi durante le fasi distensive mesozoiche, coronata da depositi terrigeni silicoclastici (Fysch Numidico Auct.). La **Figura 4** mostra l'assetto geometrico dei corpi rocciosi affioranti nei Monti di Trabia. Subordinati sono gli affioramenti, ridotti a placche isolate, dei depositi pelitici e calcareo marnosi del Dominio Sicilide Auct.

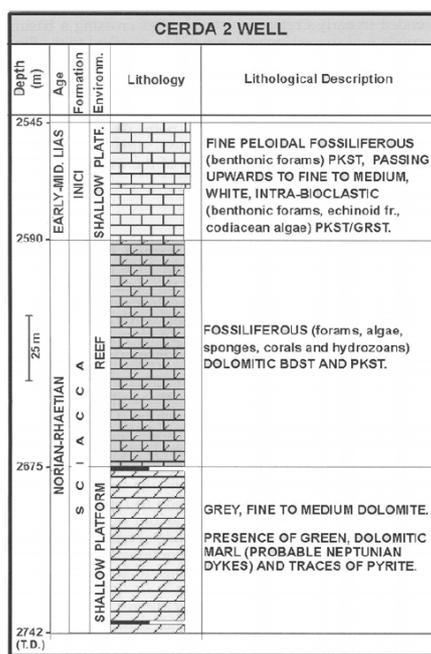


Figura 3: Stratigrafia da perforazione rappresentativa del settore orientale dei Monti di Termini (da MIUCCIO et al., 2000)

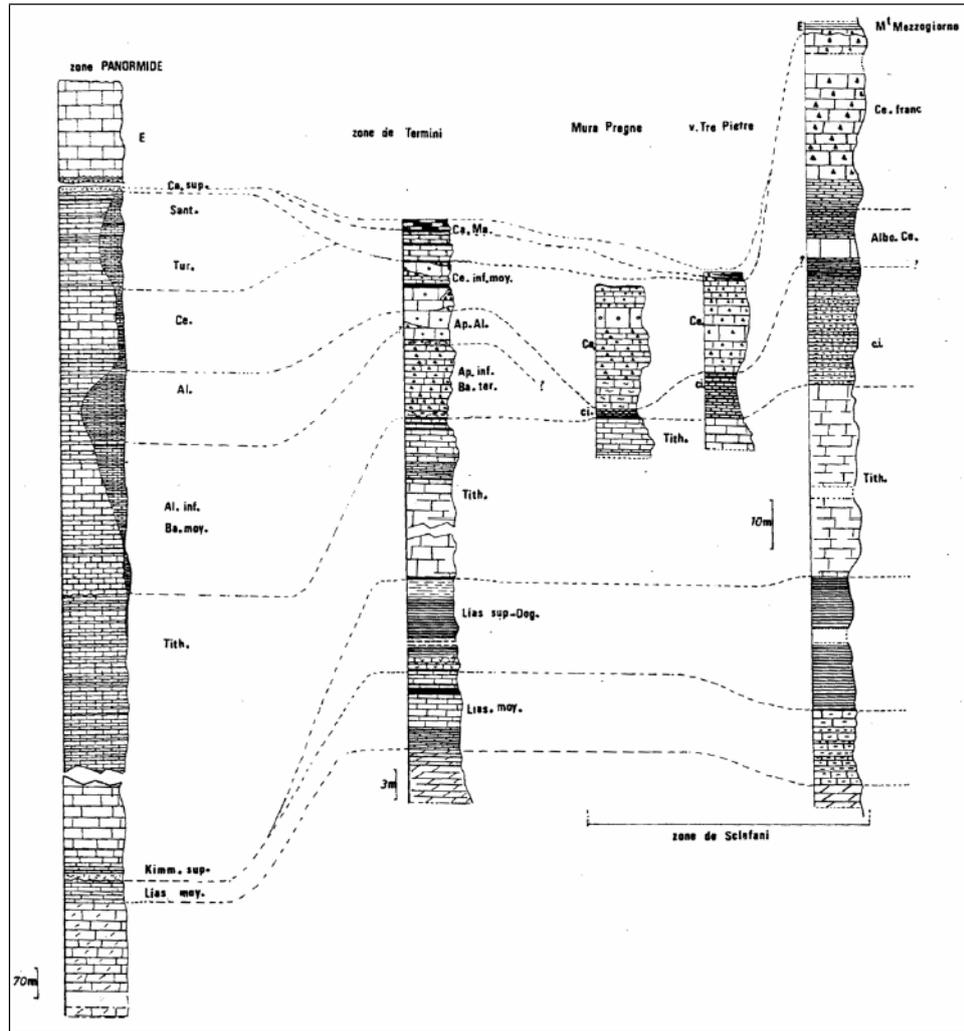


Figura 4: Stratigrafia dei Monti di Termini e loro correlazione con le successioni dei Monti di Palermo e della zona di Sclafani (RANGIN, 1975)

Nel Pliocene medio-sup., le ulteriori deformazioni dell'edificio tettonico sono associate a sistemi di faglie trascorrenti NW-SE, che hanno determinato l'estrusione dei corpi tettonici geometricamente più bassi nell'edificio strutturale, producendo, inoltre, sistemi fuori sequenza retrovergenti (**Figura 6**). Un secondo sistema NE-SW, con componente trascorrente, ritaglia il precedente ed è responsabile di alcune venute idrotermali.

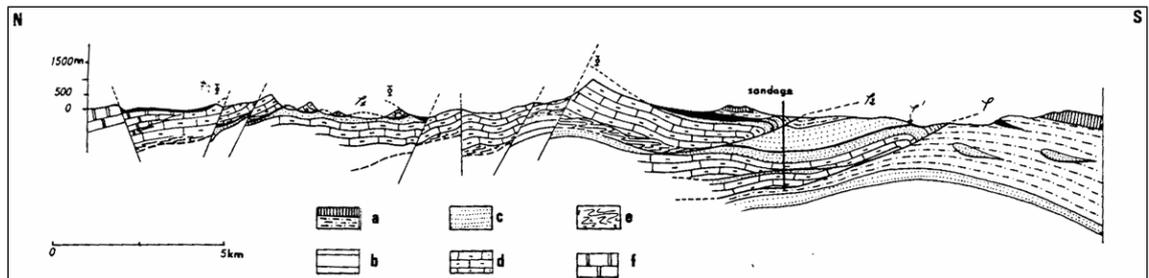


Figura 5: Sezione geologica attraverso i Monti di Termini Imerese (RANGIN, 1975)

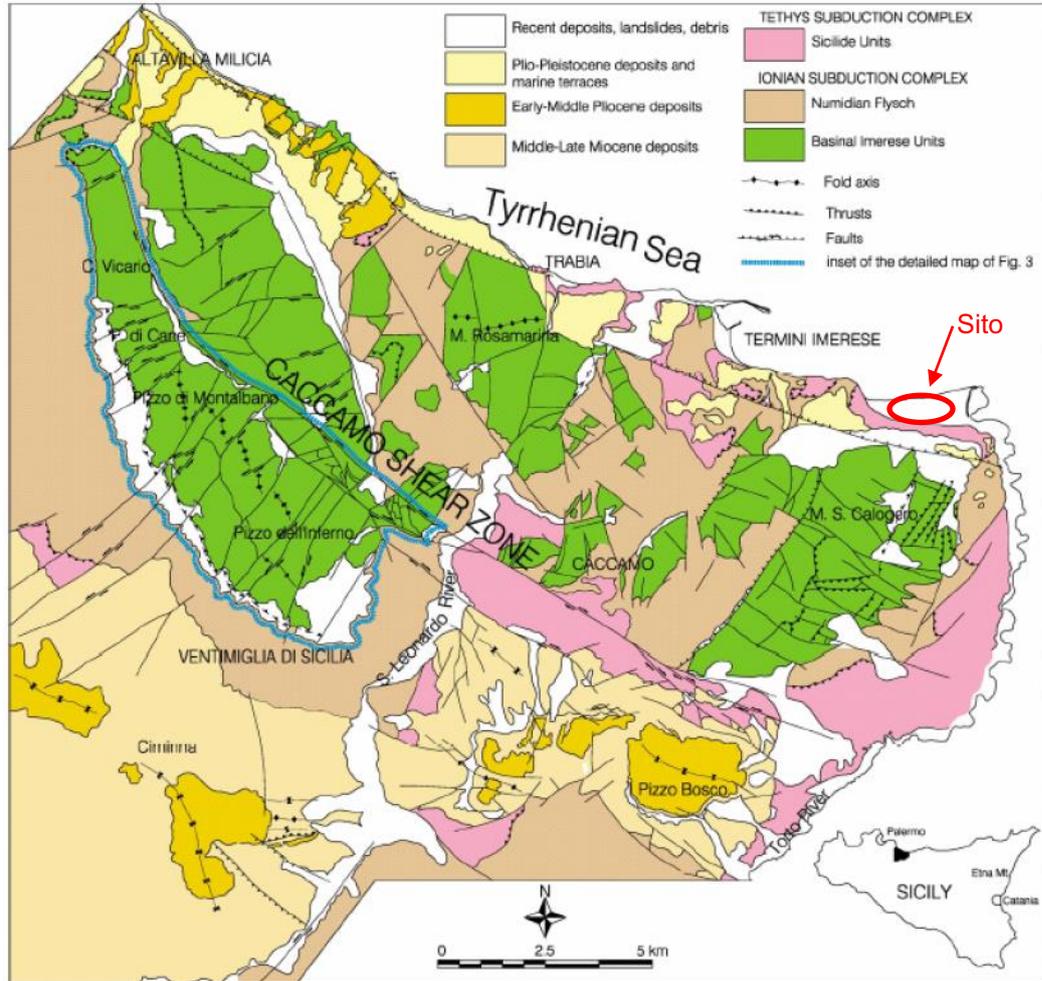


Figura 6: Schema geologico dei Monti di Trabia. da Guarnieri (2004)

L'analisi strutturale dell'intero edificio tettonico del Trabiense e del Termitano ha permesso di riconoscere una pila di unità tettoniche sovrapposte, così disposte, dal basso verso l'alto:

1) UNITÀ IMERESI

a) Unità Pizzo Chiarastella

E' l'unità più bassa nell'edificio strutturale e poggia direttamente sulle unità di piattaforma carbonatica Trapanese affioranti nei dintorni di Bolognetta. E' dissezionata da faglie trascorrenti NW-SE che hanno determinato l'estrusione del rilievo.

b) Unità Pizzo di Cane-Monte S. Calogero

Si tratta di una dorsale anticlinale, ripetutamente dissezionata dalla tettonica distensiva e/o trascorrente. Nel suo complesso, l'unità è costituita da un'anticlinale di rampa vergente da SW a SE. Presso il fronte della rampa sono presenti placche calcaree o calcareo-silicoclastiche, interpretabili come il prodotto di crolli e/o scivolamenti di blocchi o megablocchi (Cozzo del Leone, Cozzo Ciauli, presso Ventimiglia, Cozzo S. Giovanni di Caccamo e con tutta probabilità anche il Monte Castellaccio presso Sciara). Ad alcuni di tali blocchi sono legati delle modeste manifestazioni sorgentizie. In corrispondenza del Monte S. Calogero, la struttura anticlinale è squarciata da faglie dirette immergenti verso mare con rigetti sovente superiori ai mille metri e responsabili delle venute sorgentizie.

c) Unità Monte S. Onofrio-Monte Rotondo

Tale unità è anch'essa costituita da un'anticlinale di rampa, ancor più dissezionata dalla tettonica distensiva e trascorrente, rispetto alla precedente. Il fianco meridionale della struttura tende nettamente a verticalizzarsi verso N e localmente a ribaltarsi (Cozzo Cannemasche). Al Monte Rotondo, presso Caccamo, la struttura anticlinale tende alla chiusura periclinale e si scaglia su se stessa. Nelle sue propaggini nord-occidentali l'anticlinale tende nettamente alla chiusura periclinale ed è ritagliata da faglie dirette, con rigetti attorno al migliaio di metri.

d) Unità Monte Rosamarina-Monte Pileri

Questa unità è caratterizzata dalla presenza di faglie inverse vergenti a S-SE. Nel settore di Monte Pileri - Cozzo Pileri sono riconoscibili diverse scaglie tettoniche sovrapposte e che talvolta coinvolgono anche il Flysch Numidico, incuneatosi lungo i fronti d'accavallamento.

e) Unità Capo Grosso -Torre Colonna

E' l'unità più alta tra quelle imeresi che costituiscono la stragrande maggioranza dell'edificio tettonico dei monti di Trabia-Termini Imerese ed è data da alcune scaglie sigmoidali sovrapposte con vergenza da SE a SO. A S. Nicola l'Arena, l'unità è ricoperta, in discordanza, dai depositi calcareo-marnosi del Pliocene inf. ("Trubi" Auct.) che inglobano corpi più o meno voluminosi di megaruditi (La Roccazza, Serra dello Scirocco, etc.) o da calcareniti ciottolose e/o sabbie del Pliocene medio-superiore.

2) UNITÀ SICILIDI

Costituiscono placche più o meno estese, per lo più brachisinclinali, di Argille Varicolori Auct. e dei sovrastanti calcari marnosi e marne calcaree con intercalazione biocalcarenitiche o biocalcirudite (Fm. di Polizzi Generosa Auct.) riposanti tettonicamente sul Flysch Numidico.

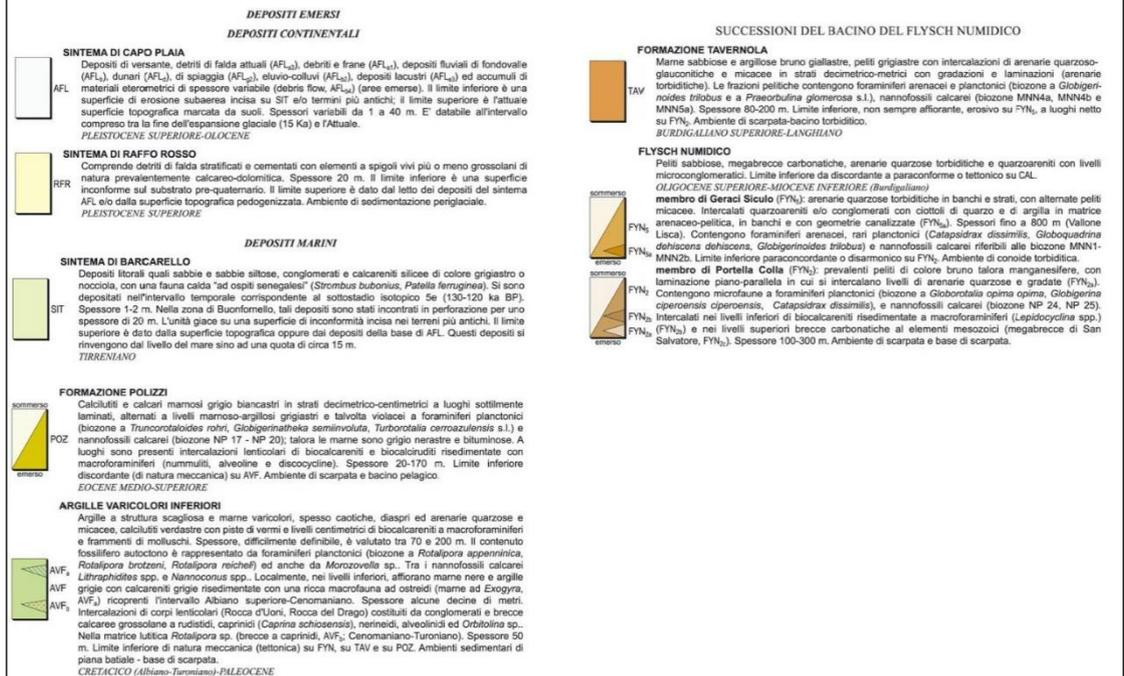
3) DEPOSITI TARDOROGENI E POSTOROGENI

A Sud dell'edificio tettonico dei Monti di Trabia-Termini Imerese ed in parte sulle coperture numidiche dell'unità di Pizzo di Cane-Monte S. Calogero o sulle Sicilidi, sono visibili alcune brachisinclinali nella quali affiorano i terreni tardorogeni, costituiti da depositi terrigeni pelitico-arenaceo-conglomeratici del Serravalliano-Tortoniano, calcari biocostruiti a Porites, evaporiti messiniane e depositi marnoso-sabbioso-calcarenitici pliocenici. Per lo più lungo la costa e sulle unità predette, poggiano, in discordanza, i depositi pliocenici ("Trubi" Auct., sabbie e calcareniti più o meno ciottolose). La fascia costiera è, inoltre, caratterizzata dalla presenza di spianate terrazzate pleistoceniche in più ordini, comprese tra il livello del mare ed i 200-250 m).

4.3. INQUADRAMENTO SEDIMENTOLOGICO E STRATIGRAFICO

Nell'area immediatamente circostante il sito di studio affiorano una serie di formazioni appartenenti a vari domini deposizionali (**Figura 7**). Nello specifico si osservano le litologie elencate nel seguito:

- Depositi quaternari
 - SIT – depositi quaternari emersi appartenenti al sintema di Barcarello
 - RFR - depositi quaternari emersi appartenenti al sintema Raffa Rosso
 - AFL – depositi quaternari emersi appartenenti al sintema di Capo Plaia
- Successioni sedimentarie meso-cenozoiche
 - FYN – depositi del bacino del Flysch Numidico
 - FUN – depositi del bacino Imerese
 - POZ e AVF – depositi del dominio Sicilide



in perforazione (Contino, 2005). Questi depositi marini, affioravano sino ad alcuni anni fa, sul litorale a nord del rilievo del Monte S. Calogero (località Alca Secca), mentre oggi risultano in gran parte coperti da opere di difesa del litorale. Vennero segnalati come depositi di beach-rock da Contino (2002, 2005) che, nei livelli di silicoareniti, passanti superiormente a calcareniti e/o calciruditi, ha rinvenuto una fauna ad affinità senegalese (*Strombus bubonius* Lamarck, *Patella ferruginea* Gmelin) del substage isotopico 5e (130-120 Ka BP).

Il limite inferiore del sintema è dato da una superficie di erosione ritagliata nei terreni pre-quaternari, mentre il limite superiore è dato dalla superficie topografica o dai depositi del sintema di Capo Plaia. Nelle zone di foce dei corsi d'acqua questi depositi sono stati incisi da profondi canali erosivi originatisi nella fase würmiana di stazionamento basso del livello marino.

Nel settore di Buonfornello, questi depositi conglomeratici o siltoso-sabbiosi, potenti in perforazione sino ad oltre 20 m, hanno restituito una fauna banale a *Tellina* sp., *Cerastoderma* sp. ed *Hydrobia* sp. (Contino, 2005). Nel settore di Capo Plaia questi depositi si estendono dal livello del mare sino ad una quota di circa 15 m. affiorando localmente lungo la costa in località Gorgo Lungo, con litofacies simili a quelle riconoscibili nel Foglio "Palermo".

(RFR) Sintema Raffo Rosso

In affioramento comprende depositi, noti nella letteratura geologica con il nome di *éboulis ordonnées* (sensu Hugonie, 1979), costituiti da materiali clastici generalmente a spigoli vivi, sino a sub-arrotondati, più o meno grossolani, di composizione prevalentemente calcareo-dolomitica.

La matrice siltoso-argillosa, in genere arrossata, può essere talora molto abbondante e spesso i clasti sono rilegati da cemento calcareo. La stratificazione è evidenziata da ripetute, e talora nettamente cicliche, variazioni granulometriche dovute ai cambiamenti d'intensità e/o di frequenza del crioclastismo in ambiente assimilabile con quello periglaciale. Sono presenti superfici interne di discordanza, talvolta marcate da suoli. I depositi, marcatamente discontinui, si sono accumulati per gravità alla base di pareti e/o di versanti carbonatici, od allo sbocco di canyons fluvio-carsici e/o di valli relitte. Si rinvencono a monte di Villa Maria (settore di Monte Pileri), del Monte S. Calogero (potenza massima 20 m). Il sintema è correlabile con depositi litorali regressivi rappresentati da successioni di clinoforni lateralmente continue lungo il margine della piattaforma continentale (spesse fino ad una ventina di metri). I depositi poggiano su una superficie di erosione al tetto dei terreni tirreni ani del sintema di Barcarello (o più antichi) o su una superficie di abrasione marina pre-glaciale.

(AFL) Sistema di Capo Plaia

L'unità raggruppa depositi olocenici colluviali, di frana, fluviali di fondovalle, detriti di falda, detriti, accumuli di materiale eterometrico di spessore variabile nonché i depositi palustri e quelli litoranei del cordone costiero e delle spiagge attuali e i sedimenti marini della piattaforma interna. Il limite inferiore è dato da una superficie inconforme ritagliata nei terreni pre-olocenici mentre il limite superiore è una superficie topografica. Età desunta: Pleistocene superiore-Olocene. E' costituito dai seguenti litosomi:

- Depositi di frana (a₁)
- Detriti di falda (a₃)
- Depositi alluvionali (b)
- Coltre eluvio-colluviale (b₂)
- Depositi eolici (d)
- Depositi palustri (e₃)
- Depositi di spiaggia (g₂).

SUCCESSIONI SEDIMENTARIE MESO-CENOZOICHE

(FYN) Flysch Numidico

La formazione del flysch numidico è costituita dall'associazione di litofacies pelitiche con

intervalli caotici (argilliti e subordinate arenarie quarzose con intercalazione di breccie e megabreccie carbonatiche), arenacei e conglomeratico arenacei (quarzoareniti stratificate in bancate metriche gradate e alternate a peliti grigiastre con livelli di conglomerati lentiformi a granuli arrotondati di quarzo). Gli spessori del flysch numidico superano, nel loro complesso, i 1500 m e raggiungono, con le facies più grossolane (Johansson et alii, 1998), i 2000 metri.

(FUN) Formazione Fanusi

La formazione appartenente al Bacino Imerese, molto nota nella letteratura siciliana, consiste di dolomie e breccie dolomitiche con spessori compresi tra 100 e 300 m, spesso organizzate in alternanze cicliche di breccie dolomitiche grossolane e doloruditi-doloareniti gradate e laminate. Al suo interno mostra geometrie progredienti con clinostratificazioni interne e andamenti regressivi delle facies (Basilone, 2000). I depositi poggiano sui sottostanti calcari della formazione Scillato, con rapporti di discordanza di tipo downlap e di erosione (Basilone, 2009). L'età viene riferita, per posizione stratigrafica al Liassico inferiore, essendo compresa tra i calcari con selce del Retico della formazione Scillato e i calcari a crinoidi datati al Liassico medio.

(POZ) Formazione Polizzi

Calcilutiti marnose grigio biancastre a foraminiferi planctonici, biocalcareni e biocalciruditi con livelli marnosi grigiastri, talvolta violacei, cui si intercalano tipiche brecciole a macroforaminiferi bentonici (nummulitidi, alveolinidi e discociclinidi). Dal punto di vista litostratigrafico questa unità appartiene al Dominio Scilide e poggia, spesso con un contatto meccanico, sulle argille varicolori inferiori. Il limite superiore della formazione è una superficie di discontinuità (scollamento?) con le sovrastanti Tufiti di Tusa.

I calcari marnosi hanno una frattura generalmente scheggiata e coincide nei livelli calcilutitici, in cui sono diffusi gli aggregati fibroraggiati, discoidali o globulari di marcasite spesso limonitizzati. I livelli calcarenitici (packstone-wackestone), gradati e sottilmente laminati, sono costituiti quasi interamente da macroforaminiferi bentonici mal conservati, decorticati, abrasati e smussati e subordinatamente da frammenti di bivalvi pettinidi, articoli di crinoidi e radioli d'echinidi. I calcari marnosi hanno laminazione da pian parallela ad incrociata e sono gradati (torbiditi carbonatiche).

(AVF) Argille Varicolori inferiori

Sono costituite da argilliti e marne varicolori sui toni grigio verdastro, rosso vinato, rosso mattone, giallo ocra o grigio biancastro in alterazione e verde scuro sino a nerastro in profondità, macro e micro-scagliettate in relazione alle scaglie o prismetti romboidali in cui sono suddivise. Le argilliti si presentano intensamente tettonizzate, con superfici di distacco translucide, a luoghi caotiche, tanto da giustificare il termine di "Argille Scagliose" (Bianconi - 1840). Lo stato di deformazione è spesso all'origine degli affioramenti caotici eterogenei.

Nelle regioni di Collesano, Caltavuturo, Cerda, Polizzi Generosa, Termini Imerese ed Isnello (Montaspro), le argille varicolori inferiori sono rappresentate da un'alternanza di marne grigio-verdastre o rosso-mattone e di calcilutiti verdognole, ricche di clorite e di aggregati di pirite con, a luoghi, intercalazioni di diaspri variegati prevalentemente rosso mattone, o rosso-violacei, con vene di quarzo biancastro. Le calcilutiti verdognole, in sezione, risultano costituite da una fitta alternanza di lamine millimetriche chiare e scure e presentano abbondanti letti di radiolari, spesso calcitizzati. Gli spessori variano dalle decine di metri nell'area di Termini Imerese ad alcune centinaia di metri nella regione delle Madonie.

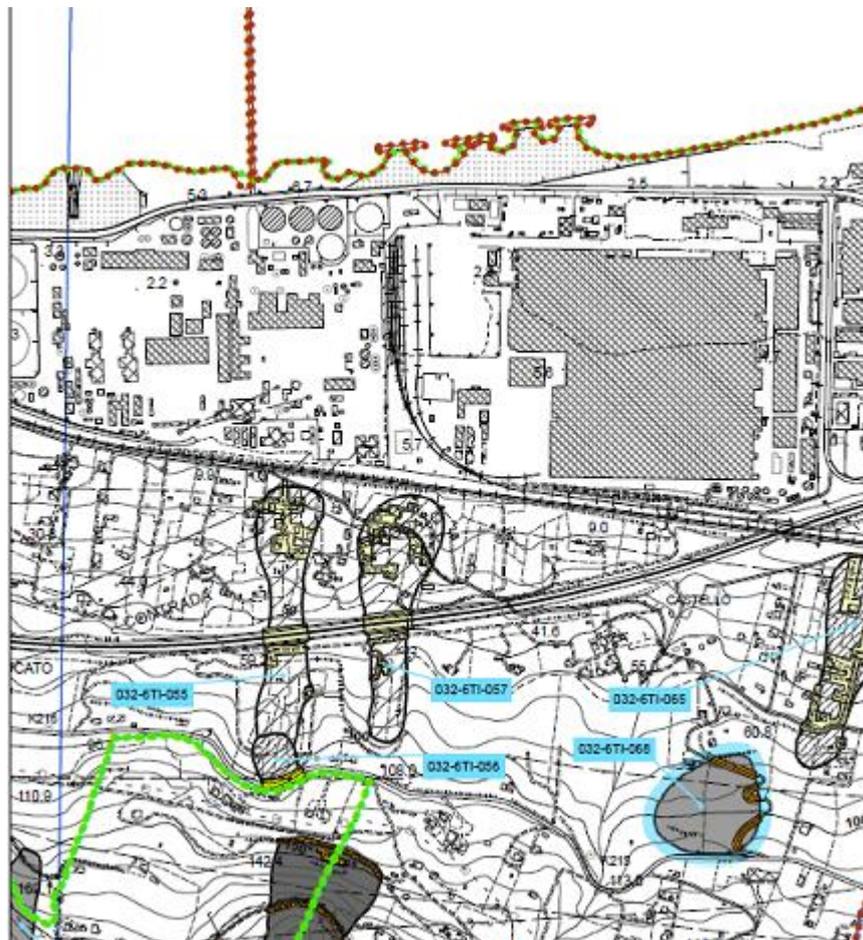
4.4. INQUADRAMENTO VINCOLISTICO E PAI

Relativamente alla verifica della vincolistica territoriale, rispetto al PAI vigente, relativamente al bacino di competenza, il sito ricade al di fuori di aree a rischio esondazione da parte del vicino Fiume Torto.

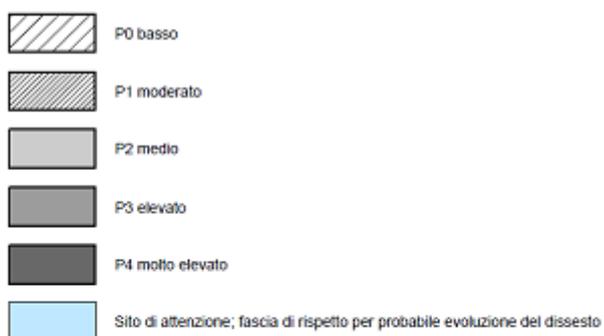
Lo stesso vale per il rischio geomorfologico dovuto a fenomeni di versante. Si riportano di seguito i due stralci cartografici del PAI.



Figura 8: PAI – Carta della pericolosità idraulica per fenomeni di inondazione



LIVELLI DI PERICOLOSITA'



LIVELLI DI RISCHIO



Figura 9: PAI – Carta della pericolosità e rischio frana

5. SISMICITA'

5.1. CARATTERI SISMOGENETICI GENERALI

Dal punto di vista sismogenetico, si è fatto riferimento ai risultati di un progetto dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia denominato ZS9 (**Figura 10**), che ha parzialmente modificato quanto definito in precedenza dal progetto ZS4 in relazione alle accresciute conoscenze sui meccanismi sismogenetici, che gli eventi avvenuti successivamente alla metà degli anni '90 hanno comportato. Il progetto divide il territorio nazionale in 42 zone e l'area considerata nel presente studio ricade nel settore siciliano (area appartenente alla zona sismogenetica 933).

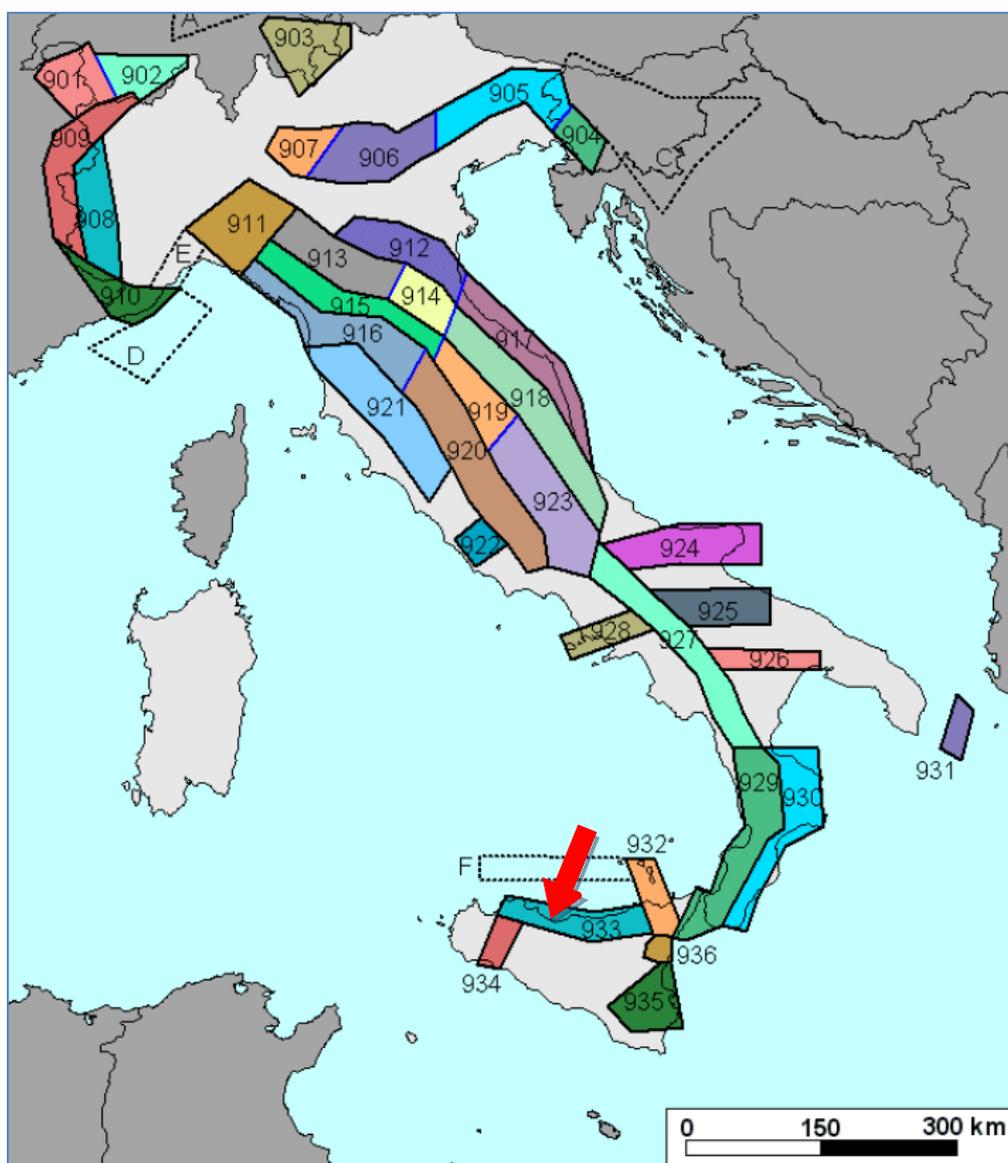


Figura 10: Zonazione sismogenetica ZS9

La zona 933 è considerata "zona di svincolo", nota in letteratura come linea Monte Kumeta - Alcantara (Ghissetti e Vezzani, 1984), caratterizza l'area compresa tra l'Etna e i Monti di Palermo. Tale zona è comunemente ritenuta avere carattere prevalentemente trascorrente. La geometria di quest'ultima è di difficile definizione anche perché le tecniche automatiche

di determinazione epicentrale utilizzate per il catalogo CPTI2 tendono a localizzare sulla costa tutti i terremoti storici che l'hanno interessata.

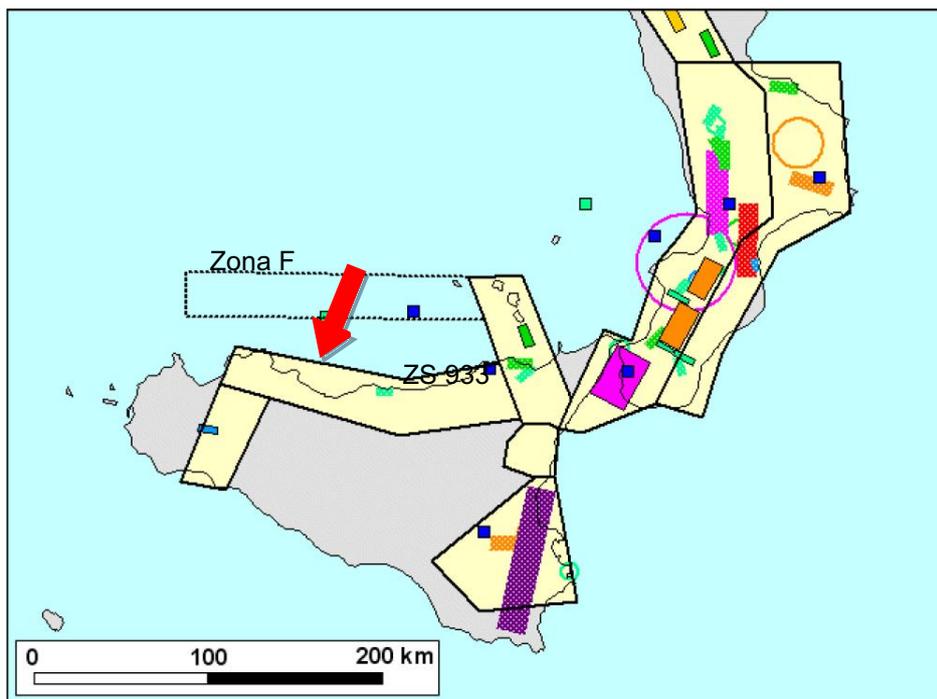


Figura 11: Zonazione sismogenetica ZS9 per l'Arco calabro e la Sicilia (bordi in nero)

Va ricordato anche che i terremoti registrati strumentalmente negli ultimi 20 anni (**Figura 11**), i più forti dei quali sono contenuti in CPTI2, sembrano indicare che l'attività sismica della zona F (zona con orientamento E-W che racchiude un sistema di faglie che dalla parte più occidentale delle isole Eolie si protende fino a Ustica) è molto superiore a quella delle costa siciliana settentrionale e del suo immediato offshore. Il principale tra questi eventi è il già citato terremoto del settembre 2002 con le sue repliche (**Figura 12**). Inoltre, studi di deformazione (ad esempio Hollenstein et al., 2003) suggeriscono per il settore prospiciente la costa settentrionale della Sicilia un raccorciamento attivo con tassi di deformazione dell'ordine di 1 cm/anno, un valore tra i più alti osservati o ipotizzati per tutta l'area italiana. È pertanto verosimile che alcuni terremoti storici medio-forti, quali ad esempio quelli del 1726, 1823 e 1940, le cui distribuzioni di intensità sono difficilmente riconducibili a eventi localizzati sulla terraferma (**Figura 12**), siano riferibili al già citato sistema di faglie della zona F. Accettare questa ipotesi implica anche che la magnitudo dei predetti terremoti, determinata per epicentri localizzati in terra, andrebbe rivalutata secondo il rapporto suggerito appunto dal terremoto del 2002 (Mw5.9 contro una Mw determinata dai dati macrosismici pari a 5.1).

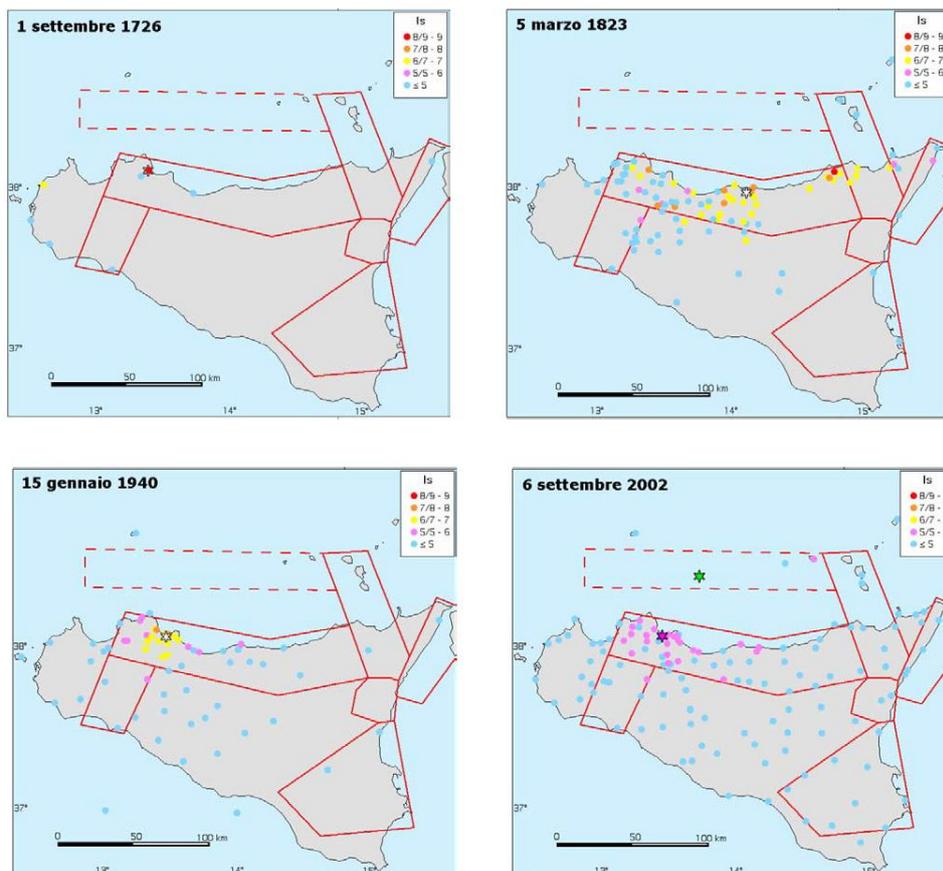


Figura 12: Distribuzione dei punti di intensità dei terremoti registrati a partire dal 1726

È tuttavia lecito ritenere che eventi di tale magnitudo o ancora più grandi (con lo stesso ragionamento l'evento del 1823 potrebbe essere rivalutato fino a Mw6.7) avrebbero dovuto produrre effetti distruttivi nelle isole di Ustica o Alicudi/Filicudi qualora si fossero verificati nei pressi delle medesime, danni di cui tuttavia non si ha traccia nelle fonti storiche. Un indizio di segno contrario è fornito dal terremoto di Alicudi/Filicudi del 1894 (Mw5.2), che ha determinato notevoli danni ad Alicudi ma è stato avvertito con intensità modesta sulla terraferma.

In conclusione, la consapevolezza dei limiti delle tecniche oggettive di localizzazione e l'analisi delle distribuzioni di danno fanno risultare oggi difficile scorporare dalla ZS 933 la sismicità che andrebbe attribuita alla ZS F. Si ritiene pertanto che la soluzione più conservativa per il territorio della Sicilia settentrionale (senza che questo comporti il sostegno ad una ipotesi sismotettonica piuttosto che ad un'altra) sia quella di mantenere una geometria della zona 933 compatibile con le informazioni attualmente disponibili in catalogo, associandole anche i forti terremoti originatisi probabilmente in mare senza alcuna rideterminazione della magnitudo.

Per ogni zona in relazione ai dati a disposizione è stato individuato lo strato sismogenetico, definito come l'intervallo di profondità che ha generato il 90% degli eventi che ricadono all'interno di ogni zona. I limiti superiore ed inferiore dello strato sismogenetico sono stati individuati alle profondità che includono un numero di eventi cumulato pari rispettivamente al 5% e al 95% del totale.

Tabella 1: Valori e profondità efficaci relativi alla zona sismogenetica 933

| Zona | Numero di eventi Md>2.0 | Numero di eventi Md>2.5 | Numero di eventi Md>3.0 | Magnitudo massima (Md) | Classe di profondità (km) | Profondità efficace (km) |
|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 933 | 413 | 162 | 44 | 4.4 | 8-12 | 10 |

5.2. SISMICITÀ LOCALE

La recente classificazione della sismicità del territorio (a partire dall'Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003) ha individuato quattro valori di accelerazione orizzontale (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico e le norme progettuali e costruttive da applicare; il territorio nazionale è di conseguenza, stato suddiviso in quattro zone. Ogni zona è stata individuata in base ai valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Per l'area in esame sono indicati valori dell'accelerazione massima al suolo (a_{max}) compresi tra 0,200 e 0,250 volte l'accelerazione di gravità g (riferita a suolo rigido: $V_{seq} > 800$ m/s; cat. A del DM 17/01/2018).

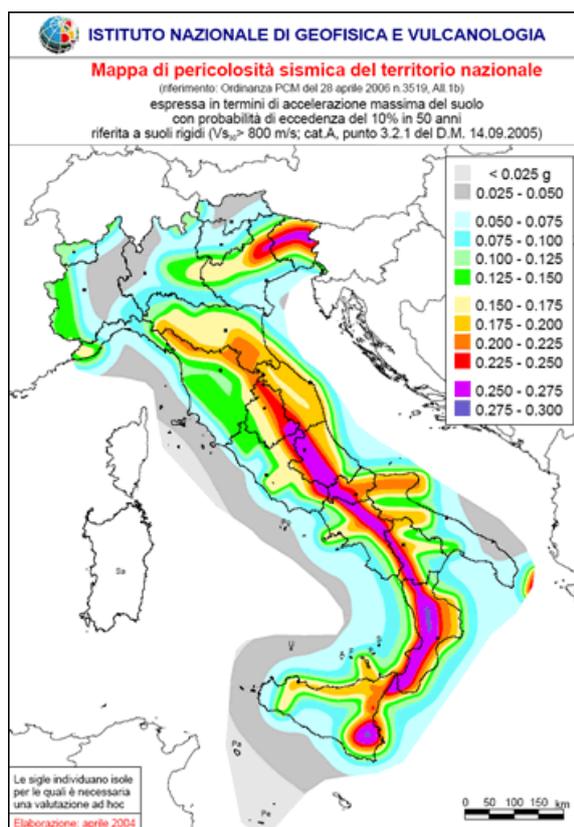


Figura 13: Mappa della pericolosità sismica in Italia (OPCM 3519 del 28 aprile 2006)

Ai sensi della normativa nazionale (Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006) l'area di studio, rientra in **zona sismica 2** ($0.168 < a_g < 0.180$).

Tabella 2: Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06)

| Zona Sismica | | Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g) |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | E' la zona più pericolosa. La probabilità che capiti un forte terremoto è alta | $a_g > 0.25$ |
| 2 | In questa zona forti terremoti sono possibili | $0.15 < a_g \leq 0.25$ |
| 3 | In questa zona i forti terremoti sono meno probabili rispetto alla zona 1 e 2 | $0.05 < a_g \leq 0.15$ |
| 4 | E' la zona meno pericolosa: la probabilità che capiti un terremoto è molto bassa | $a_g \leq 0.05$ |

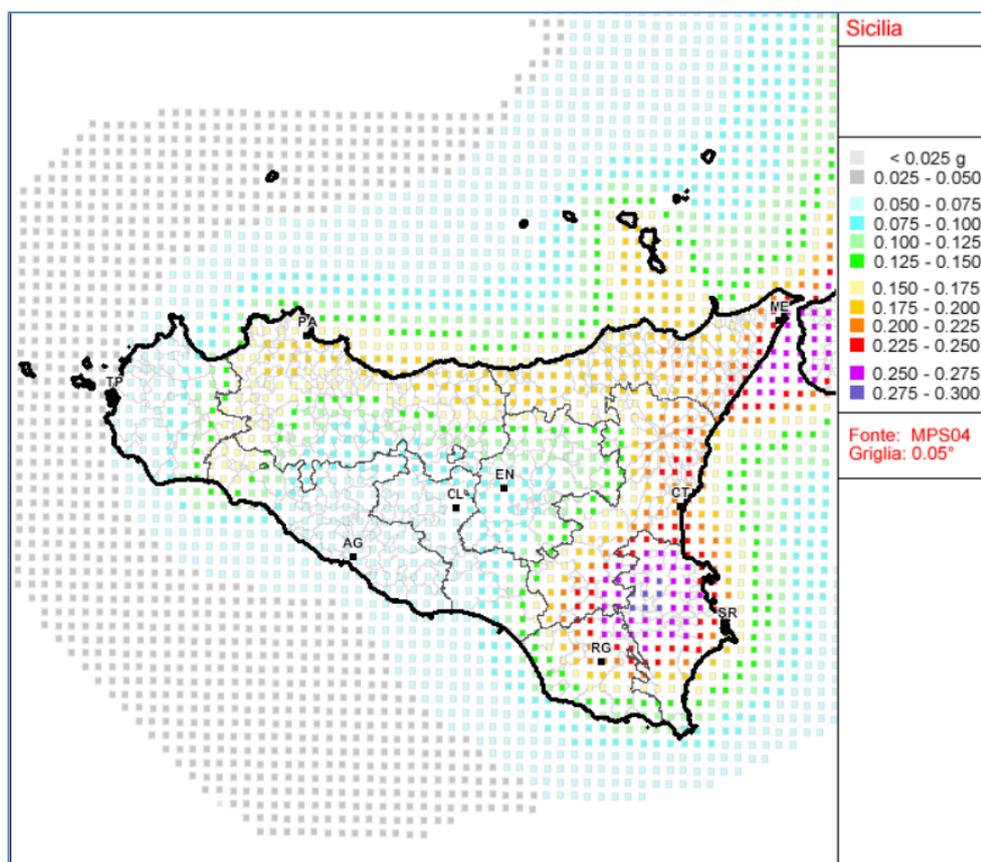


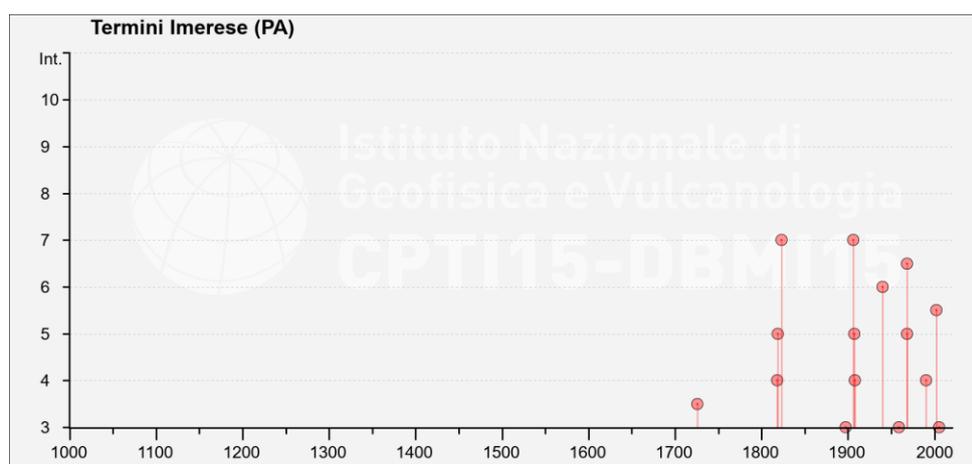
Figura 14: Mappa della pericolosità sismica Regione Sicilia (OPCM 3519/2006 – All. 1b)

Dalla Consultazione delle banche dati dell'INGV, relativamente alle osservazioni macrosismiche dei terremoti (DBMI15), sono riportati 23 eventi sismici che hanno interessato il territorio comunale di Termini Imerese.

Tabella 3: Elenco dei terremoti avvertiti nel territorio comunale di Termini Imerese

| Int. | Year Mo Da Ho Mi Se | Epicentral area | NMDP | Io | Mw |
|------|------------------------|--------------------------------|------|-----|------|
| 3-4 | 1726 09 01 21 55 | Tirreno meridionale | 8 | 7-8 | 5,48 |
| 4 | 1818 09 08 09 50 | Monti Madonie | 24 | 7-8 | 5,34 |
| 5 | 1819 02 24 23 20 | Monti Madonie | 24 | 7-8 | 5,37 |
| 7 | 1823 03 05 16 37 | Sicilia settentrionale | 107 | 8 | 5,81 |
| F | 1893 05 11 14 10 34.00 | Isola di Ustica | 15 | 5 | 4,59 |
| 3 | 1897 05 15 13 42 30.00 | Tirreno meridionale | 85 | 5 | 4,52 |
| 7 | 1906 09 11 19 03 | Tirreno meridionale | 9 | 7 | 5,02 |
| 5 | 1907 01 21 03 41 | Tirreno meridionale | 32 | 5 | 4,14 |
| 4 | 1908 12 28 04 20 27.00 | Stretto di Messina | 772 | 11 | 7,1 |
| 2 | 1910 01 25 08 27 | Tirreno meridionale | 34 | 5 | 4,48 |
| 2 | 1934 09 11 01 19 | Sicilia centro-settentrionale | 28 | 5-6 | 4,84 |
| 6 | 1940 01 15 13 19 24.00 | Tirreno meridionale | 60 | 7-8 | 5,29 |
| 3 | 1959 12 23 09 29 | Piana di Catania | 108 | 6-7 | 5,11 |
| 5 | 1968 01 15 01 33 02.00 | Valle del Belice | 15 | 8 | 5,37 |
| 6-7 | 1968 01 15 02 01 09.00 | Valle del Belice | 162 | 10 | 6,41 |
| F | 1971 02 03 04 53 33.18 | Tirreno meridionale | 12 | | 4,57 |
| 2 | 1977 06 05 13 59 | Monti Nebrodi | 108 | 6-7 | 4,61 |
| 4 | 1990 12 13 00 24 25.68 | Sicilia sud-orientale | 304 | | 5,61 |
| NF | 1993 06 26 17 47 52.88 | Monti Madonie ? | 47 | 6-7 | 4,92 |
| 2-3 | 1996 12 14 00 18 42.79 | Monti Madonie | 45 | 5 | 4,27 |
| 5-6 | 2002 09 06 01 21 27.25 | Tirreno meridionale | 132 | 6 | 5,92 |
| NF | 2005 11 03 09 19 04.45 | Costa siciliana settentrionale | 61 | 4-5 | 3,3 |
| 3 | 2005 11 21 10 57 40.23 | Sicilia centrale | 255 | | 4,56 |

Abbreviazioni: Is= intensità al sito; Io=Intensità massima (MCS); Mw magnitudo.


Figura 15: Andamento temporale degli eventi sismici in funzione della loro intensità – Fonte INGV

Dalla lettura di **Tabella 3** e della **Figura 15** appare evidente che gli eventi sismici censiti sono distribuiti a partire dall'anno 1726 fino al 2005, con massime intensità aventi valori di intensità al sito comprese tra 6 e 7 (i.e. Zona epicentrale Valle del Belice).

Dall'osservazione di questi dati e da studi presenti in letteratura si evince che la sismicità dell'area risulta influenzata maggiormente dalle strutture sismogenetiche legate alla zona settentrionale della Sicilia.

6. QUADRO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE DISPONIBILI

In questa sede si utilizzeranno i dati raccolti nelle varie campagne d'indagine fornite da ENEL, svolte nel sito dal 1989 al 2006 e riportate in dettaglio nella **Tabella 4** e **Tabella 5**.

Tabella 4: Indagini pregresse

| Campagne d'indagine | Tipologia d'indagine | Nome | Profondità [m] | Indagini in foro |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------|----------------|-----------------------|
| Indagini 1989 ISMES - Relazione geotecnica finale | Sondaggi Geognostici | S101 | 50 | n. 3 SPT |
| | | S102 | 50 | n. 4 SPT |
| | | S103 | 47,5 | n. 3 SPT |
| | | S104 | 50 | n. 4 SPT |
| | | S105 | 40 | n. 3 SPT |
| | | S106 | 54 | n. 4 SPT |
| | Cone Penetration Test (CPT) | CPT101 | 26 | - |
| | | CPT102 | 12 | - |
| | | CPT103 | 26 | - |
| | | CPT104 | 12 | - |
| | | CPT105 | 26 | - |
| | | CPT106 | 18 | - |
| | | CPT107 | 16 | - |
| | | CPT108 | 20 | - |
| | Spectral Analysis of Surface Waves (SASW) | SASW1 | - | - |
| SASW2 | | - | - | |
| SASW3 | | - | - | |
| SASW4 | | - | - | |
| Indagini 1992 ISMES - Relazione geotecnica finale | Cone Penetration Test (CPT) | CPT1 | 23 | DOWN HOLE |
| | | CPT2 | 20 | DOWN HOLE |
| | | CPT3 | 20 | |
| | | CPT4 | 15 | |
| | | CPT5 | 15 | |
| | | CPT6 | 18 | |
| | | CPT7 | 23 | |
| | | CPT8 | 26 | |
| | | CPT9 | 30 | |
| | | CPT10 | 28 | |
| | Sondaggi geognostici | SV1 | 60 | CROSS HOLE + n. 7 SPT |
| | | SV2 | 30 | CROSS HOLE + n. 4 SPT |
| | SV5 | 31 | n. 4 SPT | |
| | SV10 | 40 | n. 4 SPT | |
| | SV11 | 34 | n. 7 SPT | |
| | | | n. 6 SPT | |
| Indagini 1996 Campagna di indagini ISMES | Sondaggio geognostico | S103 | 40 | n. 3 SPT |
| | Cone Penetration Test (CPT) | CPT303 | 15 | - |
| | | CPT304 | 14 | - |
| | | CPT101 | 22 | - |
| | | CPT107 | 27 | - |
| | | CPT103 | 32 | - |
| | | CPT1 | 12 | - |
| | | CPT2 | 12 | - |
| | | CPT3 | 12 | - |
| | | CPT5 | 14 | - |
| | | CPT6 | 14 | - |
| | | CPT7 | 15 | - |
| | | CPT8 | 15 | - |
| | | CPTUA | 11 | - |
| CPTUB | 14 | - | | |

Tabella 5: Indagini pregresse

| Campagne d'indagine | Tipologia d'indagine | Nome | Profondità [m] | Indagini in foro |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------|----------------|------------------|
| Indagini 2001 Campagna di indagini GEOMERID | Sondaggio geognostico | S301 | 15,5 | n. 10 SPT |
| | | S302 | 17 | n. 10 SPT |
| | Cone Penetration Test (CPT) | CPT303 | 15 | - |
| CPT304 | | 15 | - | |
| Indagini 2005 Campagna di indagini GEOSONDEDILE | Dynamic Probe Super Heavy (DPSH) | 1 | 5 | - |
| | | 2 | 5 | |
| | | 3 | 5 | |
| | | 3BIS | 5 | |
| | | 4 | 5 | |
| | | 5 | 5 | |
| | | 6 | 5 | |
| | | 7 | 5 | |
| | | 7BIS | 2 | |
| | | 8 | 5 | |
| Indagini 2005 Campagna di indagini GEOSONDEDILE | Cone Penetration Test (CPT) | 1 | 12 | - |
| | | 2 | 12 | |
| | | 3 | 12 | |
| | | 4 | 12 | |
| | | 5 | 12 | |
| | | 6 | 12 | |
| | | 7 | 12 | |
| | | 8 | 12 | |
| Indagini 2005 Campagna di indagini GEOMERID per raddoppio ciclo combinato | Sondaggi Geognostici | S401 | 20 | n. 7 SPT |
| | | S402 | 20 | n. 7 SPT |
| | | S403 | 20 | n. 7 SPT |
| Indagini 2006 Campagna di indagini GEOMERID per raddoppio ciclo combinato | Sondaggi Geognostici | SA1 | 12,5 | n. 8 SPT |
| | | SA2 | 13 | n. 5 SPT |
| | | SA3 | 12,5 | n. 7 SPT |

Lo stato di conoscenze relativo all'ampio set bibliografico delle indagini storiche è stato verificato rispetto ad una specifica campagna di indagini geognostiche e geofisiche effettuata nell'ambito dell'intervento in oggetto.

Sono state svolte nello specifico nella campagna 2020:

- N.2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino a -40m da p.c. con esecuzione contestuale di prove SPT e prelievo di campioni per prove geotecniche di laboratorio;
- N.2 prove geofisiche dirette in foro Down-hole realizzate all'interno dei predetti fori di sondaggio opportunamente condizioni all'uopo;
- N.2 stendimenti geofisici indiretti tipo MASW, associati a misure passive HVSR;

Nella **Figura 16** è indicata l'ubicazione delle predette indagini adottate ai fini del presente Studio.

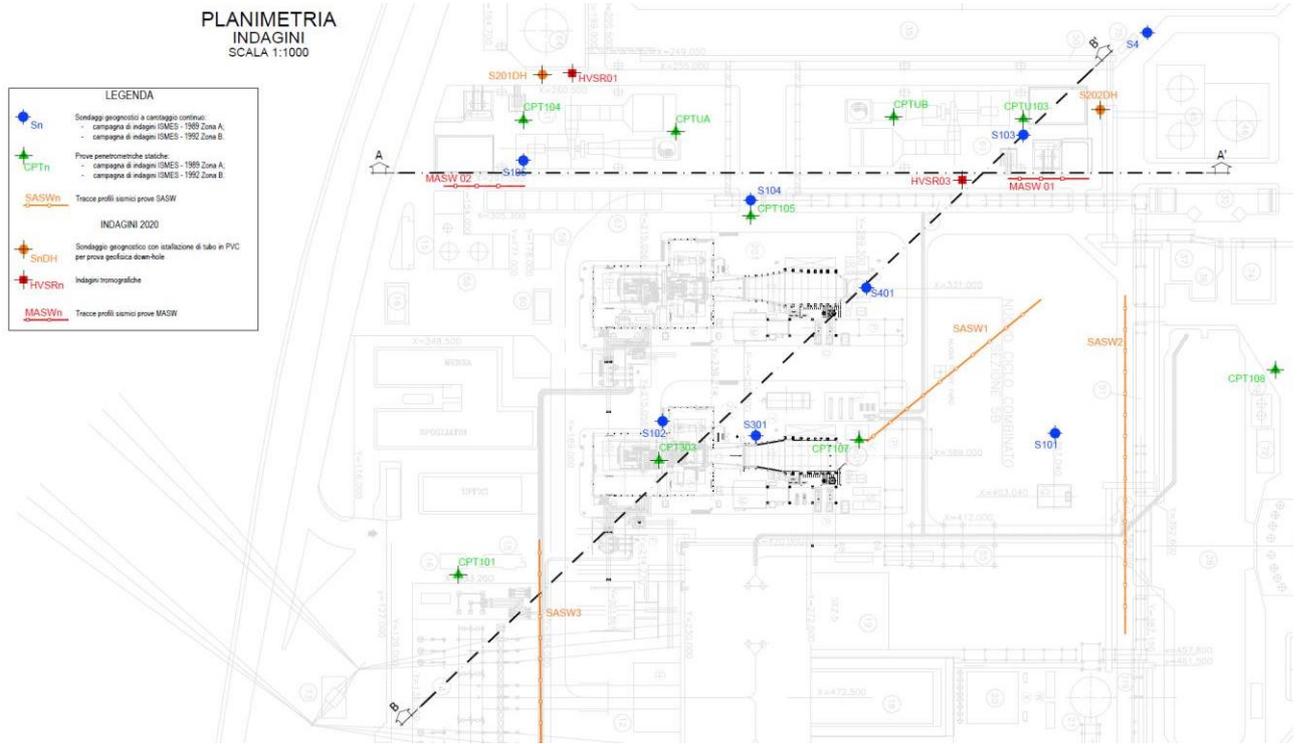


Figura 16: Ubicazione delle indagini utilizzate nello studio

Nell'allegato 1 (fuori testo) si riportano inoltre i report integrali contenenti i risultati delle indagini specificamente svolte per la redazione della presente relazione geologica. Si rimanda alla bibliografia citata al §.3 per quanto attiene tutte le altre fonti consultate.

7. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

7.1. SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA DELL'AREA DI STUDIO

Sulla base dell'interpretazione delle prove eseguite con particolare riferimento al volume significativo interagente con le opere di Progetto, è possibile delineare una successione stratigrafica costituita essenzialmente dai litotipi di seguito descritti:

(R) Riporto costituito da ghiaia poligenica ed elementi litoidi spigolosi in matrice sabbiosa, debolmente limosa;

- A. Limo argilloso con torba e rara ghiaia arrotondata;
- B. Ghiaia arrotondata medio-grossolana in matrice sabbiosa e limo-sabbiosa;
- C. Sabbia da media a fine debolmente limosa con rare lenti di torba e resti conchigliari;
 - C1 Sabbia fine limosa con frammenti litoidi (calcari) e ghiaia fine (lente inglobata nel litotipo C);
- D. Argilla marnosa inglobante elementi e livelli litoidi (calcarei) di colore grigio. Argille marnose finemente scagliettate color rosso vinaccia e argilliti scagliose in alternanza;
 - D1 Livelli litoidi calcarei inglobati nelle argille e nelle argilliti.

7.2. CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI LITOTIPI E MODELLO LITO-TECNICO DI RIFERIMENTO

Il sottosuolo dell'area di studio, fino alla massima profondità investigata, è costituito da una successione che vede la presenza di riporti di origine antropica seguiti dalla successione di depositi marini poggianti sulle argilliti appartenenti alla formazione delle argille varicolori.

Dallo studio delle informazioni disponibili si evince la presenza di una falda freatica il cui livello di soggiacenza medio è localizzato alla profondità di circa -2,5m dal piano campagna. Tale livello, così come caratterizzato nell'ambito delle ampie campagne di monitoraggio piezometrico del sito, risulta direttamente influenzato dal mare, oltre che stagionalmente rispetto ai tipici fenomeni di filtrazione monte-valle delle zone costiere.

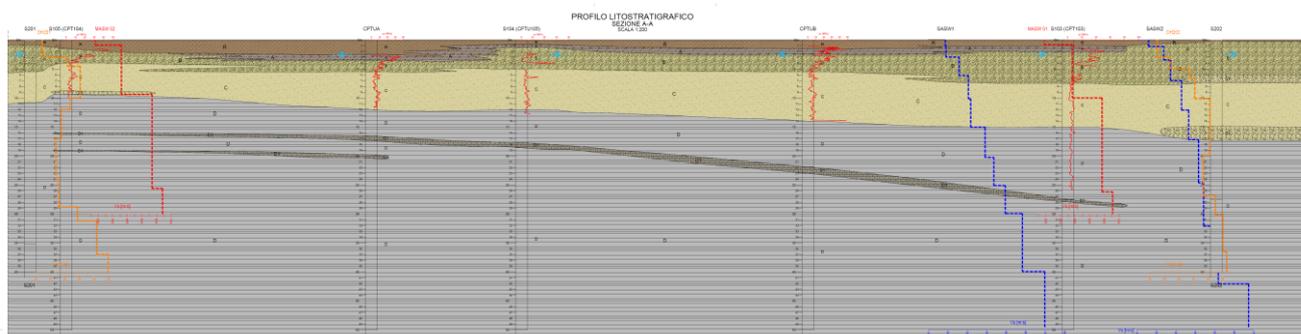
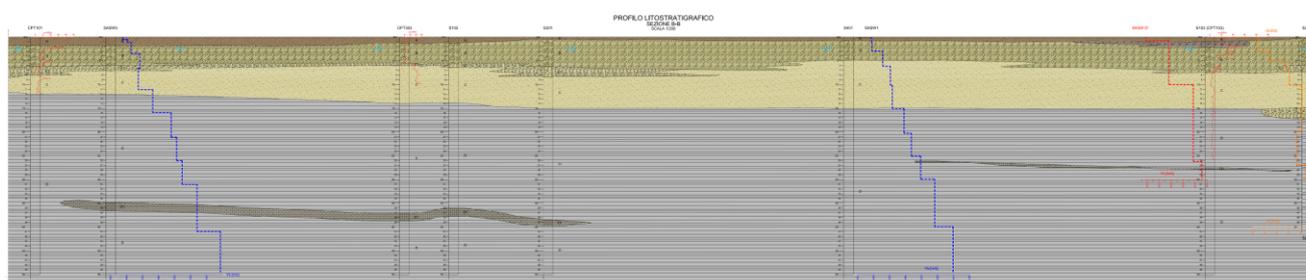
Le indagini effettuate in sito e la successiva analisi dei valori ottenuti, hanno consentito la stima dei valori caratteristici dei parametri più rappresentativi del terreno investigato. Di seguito viene fornita una caratterizzazione litotecnica di massima delle litologie presenti nell'area e interessate dalle opere di progetto, accorpando i singoli strati di terreno in "Unità litotecniche" composte da litotipi caratterizzati da caratteristiche fisiche e da un comportamento reologico assimilabile.

Rispetto a quanto sopra descritto, la definizione preliminare delle unità litotecniche ai fini della verifica di stabilità delle aree può essere sintetizzata come segue.

Tabella 6: Unità litotecniche riconosciute

| SPESSORE [m] | UNITÀ LITOTECNICA |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,5 ÷ 2,5m | (R) – Materiale di riporto di origine antropica |
| 0,5 ÷ 1,1m | Unità A – Formazioni limo argillose con torba e rara ghiaia arrotondata |
| 2,0 ÷ 5,4m | Unità B – Formazioni ghiaiose medio-grossolane con clasti arrotondati in matrice sabbiosa e sabbio-limosa |
| 5,4 ÷ 10,1m | Unità C – Formazioni sabbiose da medie a fini, debolmente limose con rare lenti di torba e resti conchigliari |
| - | Unità D – Formazioni argilloso-marnose grigie inglobanti elementi e livelli litoidi di tipo calcareo, argille finemente scagliettate color rosso vinaccia alternate ad argilliti scagliose |

Nelle Tavole grafiche allegate al presente documento sono riportate le sezioni geologiche interpretative del sottosuolo-Profilo litostratigrafico A-A e B-B, realizzate considerando le indagini poste alla base del presente studio.


Figura 17: Profilo litostratigrafico - Sezione A-A – vedi allegato grafico

Figura 18: Profilo litostratigrafico - Sezione B-B – vedi allegato grafico

8. RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)

8.1. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA CON APPROCCIO SEMPLIFICATO

Le norme tecniche sulle costruzioni (NTC 2018) distinguono nettamente il concetto di pericolosità sismica di base da quello di azione sismica sulle costruzioni.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2 del DM 17/01/2018), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PvR (come definite nel § 3.2.1 del DM 17/01/2018), nel periodo di riferimento VR (come definito nel § 2.4 del DM 17/01/2018). In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Ai fini delle NTC 2018 le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento PvR nel periodo di riferimento VR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_c valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per i valori di a_g , F_0 e T^*_c , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

Per sfruttare al meglio la puntuale definizione dell'azione sismica, sono stati definiti quattro Stati Limite in ordine crescente di severità, due di esercizio (SLO = stato limite di operatività, SLD = stato limite di danno) e due ultimi (SLV = stato limite di salvaguardia della vita, SLC = stato limite di collasso). Ai quattro stati limite vengono attribuite rispettivamente le probabilità di superamento 81%, 63%, 10% e 5%, che restano immutate per qualsiasi tipo di costruzione. Tali probabilità, valutate nella *vita di riferimento* (V_r) propria della costruzione considerata, consentono di individuare, per ciascuno stato limite, quella che può definirsi un'azione sismica "su misura" specifica per ogni sito.

8.1.1. AZIONE SISMICA LOCALE

Facendo riferimento al dato sperimentale ottenuto dalle indagini storiche (**da Relazione geotecnica ISMES, 1993**), con particolare riferimento alle indagini SASW e l'indagine Down Hole, prese come riferimento per la misura diretta della V_s nel sottosuolo ($305 < V_{s_{eq}} < 330 \text{ m/s}$) si giungerebbe a classificare il terreno di fondazione nella **categoria C**, definita secondo l'approccio semplificato riportato nella Tabella 7.

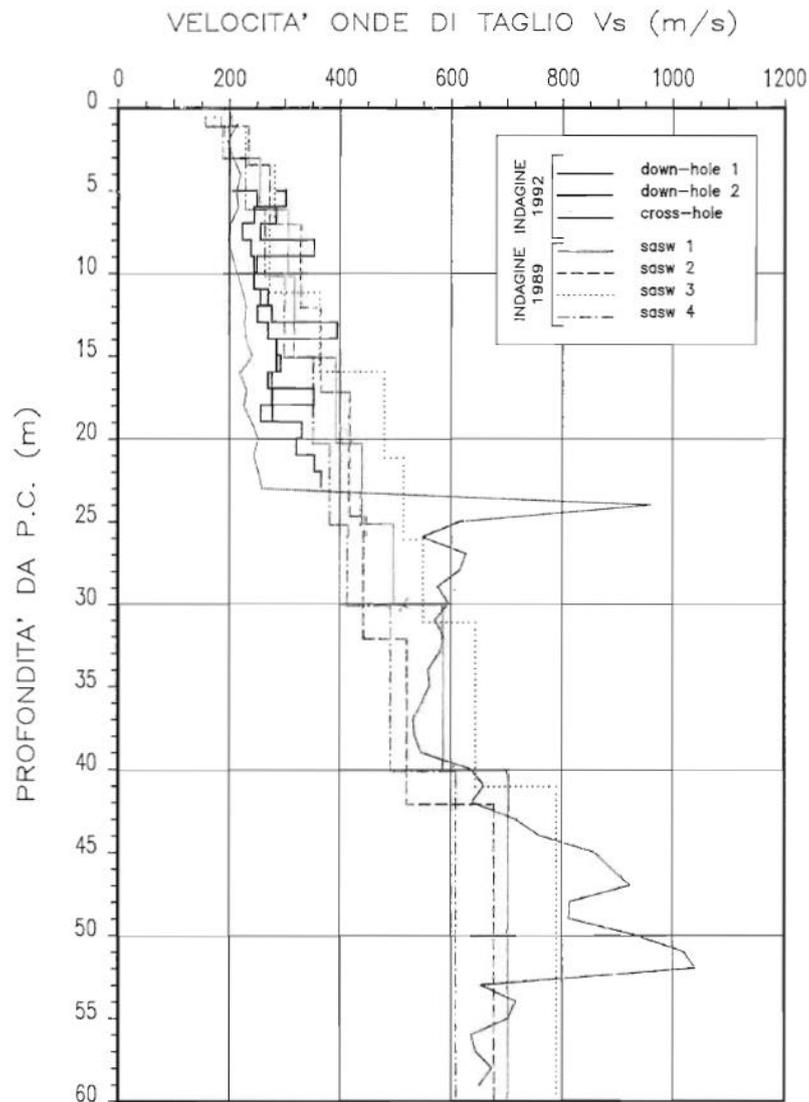


Figura 19: Velocità delle onde di taglio Vs da Relazione geotecnica ISMES, 1993

Considerando le nuove indagini, con particolare riferimento alle indagini MASW e l'indagine Down Hole prese come riferimento per la misura diretta della Vs nel sottosuolo, si ottiene un valore di $V_{s,eq}$ pari a **377 m/s**, si giungerebbe a classificare il terreno di fondazione nella **categoria B**, definita secondo l'approccio semplificato riportato nella Tabella 7.

Tale discrasia in termini di valori di Vs, potrebbe essere legate agli effetti di antropizzazione del sito, rispetto alle due distinte campagne di misura, oltre che ai potenziali effetti indiretti delle differenti campagne di soil improvement con vibroflottazione eseguite tra la fine degli 90 ed anni 2000.

Secondo le NTC 2018, la classificazione del sottosuolo viene effettuata, tenuto conto di un approccio semplificato, in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

in cui:

$V_{s,i}$ = Velocità media di propagazione delle onde di taglio nello strato i -esimo

h_i = spessore dello strato i -esimo

N = numero di strati

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s

Tabella 7: NTC 2018 - Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo

| Categoria | Descrizione |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A | <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m. |
| B | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s. |
| C | <i>Deposit</i> i di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s. |
| D | <i>Deposit</i> i di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s. |
| E | <i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m. |

Tenuto conto dei risultati discordanti ottenuti dall'interpretazione delle misure geofisiche disponibili, oltre che al fine di valutare più approfonditamente gli effetti dinamici locali, la valutazione degli effetti di amplificazione stratigrafica dell'azione sismica è stata quindi approfondita su una specifica modellazione degli effetti di amplificazione locale effettuata attraverso una modellazione 1D, opportunamente tarata sui dati geotecnici e dinamici ricavati dalle predette campagne di indagini.

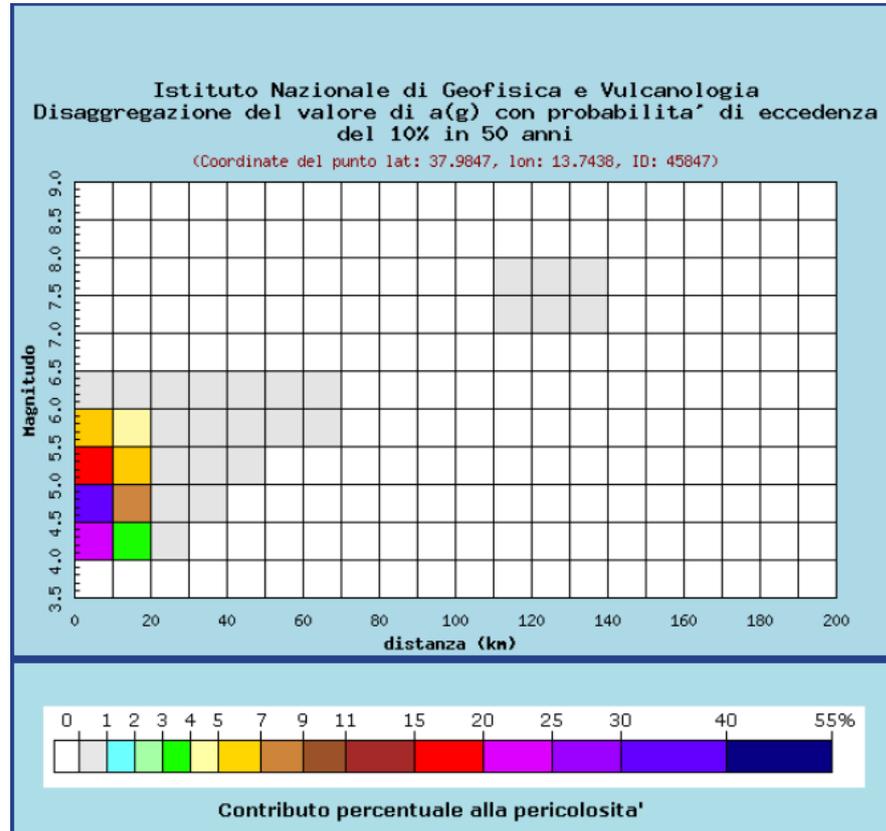
8.2. VERIFICA RSL CON MODELLAZIONE 1D

In relazione alle evidenze emerse dalla campagna di indagini geognostiche ed alle relative specificità delle opere previste, è stato predisposto uno studio di risposta sismica locale basato su modelli mono-dimensionali di propagazione dell'input sismico con l'obiettivo di poter cautelativamente validare l'approccio semplificato esposto al paragrafo precedente.

Tale studio si prefigge l'obiettivo di valutare in modo specifico i fenomeni di amplificazione attesi per la successione stratigrafica individuata e confrontarne i risultati in termini di a_{max} , accelerazione massima attesa al sito, o PGA (Peak Ground Acceleration), rispetto ai valori determinati attraverso i parametri spettrali forniti dalle NTC18 e i relativi coefficienti amplificativi ottenuti dalle metodologie semplificate riportati nelle suddette Norme. Tale studio è stato basato, oltre che sulla caratterizzazione geologico stratigrafica adottata per la modellazione geotecnica di progetto e sulle proprietà sismiche specifiche dei litotipi individuati, su specifici accelerogrammi di sito. Per le suddette analisi le Norme raccomandano l'utilizzo di non meno di 7 accelerogrammi naturali per i quali, secondo le NTC18, *"L'ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10% ed uno scarto in eccesso superiore al 30%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico in alcun punto dell'intervallo dei periodi propri di vibrazione di interesse per l'opera in esame per i diversi stati limite"*.

In linea con *"Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica"*, redatto dalla *Conferenza delle Regioni e delle Province autonome* e dal *Dipartimento di Protezione Civile Nazionale*, si eseguirà una microzonazione di livello 3 poiché quella in oggetto è un'opera strategica di nuova costruzione. Per tale studio si considera, nei riguardi della pericolosità sismica, un periodo di ritorno di 475 anni. Per ricavare gli spettri di risposta elastici nel rispetto del suddetto periodo di ritorno, si tiene conto di una vita nominale dell'opera pari a 50 anni, di un coefficiente d'uso pari a 1 e dello stato limite SLV (10%). La scelta di questi parametri garantirà la possibilità di confrontare gli spettri di risposta di normativa con gli spettri di risposta che verranno calcolati con la RSL in oggetto.

I parametri di sismicità utilizzati per la ricerca dei sette accelerogrammi provengono dall'analisi di disaggregazione relativa alle mappe interattive di pericolosità sismica del progetto DPC-INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, per quanto riguarda magnitudo e distanza epicentrale, mentre per la pericolosità sismica si considerano i parametri appena esposti.



| Distanza in km | Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 37.9847, lon: 13.7438, ID: 45847) | | | | | | | | | | |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Magnitudo | | | | | | | | | | |
| | 3.5-4.0 | 4.0-4.5 | 4.5-5.0 | 5.0-5.5 | 5.5-6.0 | 6.0-6.5 | 6.5-7.0 | 7.0-7.5 | 7.5-8.0 | 8.0-8.5 | 8.5-9.0 |
| 0-10 | 0.000 | 20.200 | 32.900 | 15.300 | 6.130 | 0.635 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 10-20 | 0.000 | 3.150 | 8.060 | 6.460 | 4.060 | 0.548 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 20-30 | 0.000 | 0.021 | 0.411 | 0.797 | 0.797 | 0.138 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 30-40 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.086 | 0.198 | 0.044 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 40-50 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.064 | 0.022 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 50-60 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.010 | 0.009 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 60-70 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 70-80 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 80-90 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 90-100 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 100-110 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 110-120 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| 120-130 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| 130-140 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| 140-150 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 150-160 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 160-170 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 170-180 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 180-190 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 190-200 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| Valori medi | | |
|-------------|----------|---------|
| Magnitudo | Distanza | Epsilon |
| 4.890 | 7.510 | 0.761 |

Figura 20 – Analisi disaggregazione SLV, probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni

Con l'ausilio del software REXEL v3.5 del consorzio interuniversitario ReLUIIS, sono stati individuati i sette accelerogrammi naturali richiesti dalle NTC18 e i relativi fattori di scala da applicare al fine di garantire le condizioni sullo spettro medio previste dalla norma. Il software REXEL v 3.5 permette la ricerca di combinazioni di accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri delle Norme Tecniche per le Costruzioni), dell'Eurocodice 8 (EC8 – CEN, 2003), dell'ASCE/SEI 7-05 (ASCE, 2006) o completamente definiti dall'utente; le combinazioni trovate possono anche rispecchiare caratteristiche di sorgente di interesse. Le combinazioni sono anche quelle che minimizzano la dispersione degli spettri singoli rispetto allo spettro obiettivo. I database inclusi nel software sono lo European Strong-motion Database (ESD), l'Italian Accelerometric Archive (ITACA) (dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e il database contenente Selected Input Motions for displacement-Based Assessment and Design (SIMBAD v 3.0) di Smerzini e Paolucci (2011) sviluppato nell'ambito della Linea 1.2 (Sviluppo di approcci agli spostamenti per la valutazione della vulnerabilità), Task 1.2.1 (Principi, Aspetti Generali, Azioni) del progetto ReLUIIS 2010-2013.

La ricerca eseguita ricava la seguente combinazione di accelerogrammi:

| Folder name | Waveform ID | Earthquake ID | Station ID | Earthquake Name | Date | Mw | Fault Mechanis | Epicentral Distance |
|-------------|-------------|---------------|------------|-----------------------|------------|-----|----------------|---------------------|
| Acc1 | 1975 | 669 | ST1344 | Trilofon | 20/10/1988 | 4.8 | ? | 11 |
| Acc2 | 2007 | 701 | ST1300 | Almiros (aftershock) | 26/09/1980 | 4.8 | normal | 10 |
| Acc3 | 1923 | 668 | ST1330 | Patras | 15/05/1989 | 4.8 | normal | 6 |
| Acc4 | 446 | 217 | ST178 | Patras | 22/12/1988 | 4.9 | normal | 5 |
| Acc5 | 6131 | 202 | ST126 | Ionian | 24/04/1988 | 4.8 | thrust | 12 |
| Acc6 | 446 | 217 | ST178 | Patras | 22/12/1988 | 4.9 | normal | 5 |
| Acc7 | 2024 | 197 | ST1358 | Kalamata (aftershock) | 15/09/1986 | 4.9 | normal | 12 |

Tabella 8: Accelerogrammi considerati.

Nell'immagine seguente, che sintetizza la ricerca svolta con l'ausilio di REXEL, sono presenti:

- Lo spettro elastico di risposta di riferimento per la ricerca dei 7 accelerogrammi naturali, il quale considera lo stato limite SLV, $C_u=1$ ed una categoria di sottosuolo A;
- I due spettri estremi, all'interno del quale deve essere contenuto lo spettro medio nei periodi di riferimento;
- I 7 accelerogrammi naturali scalati individuati tramite REXEL.

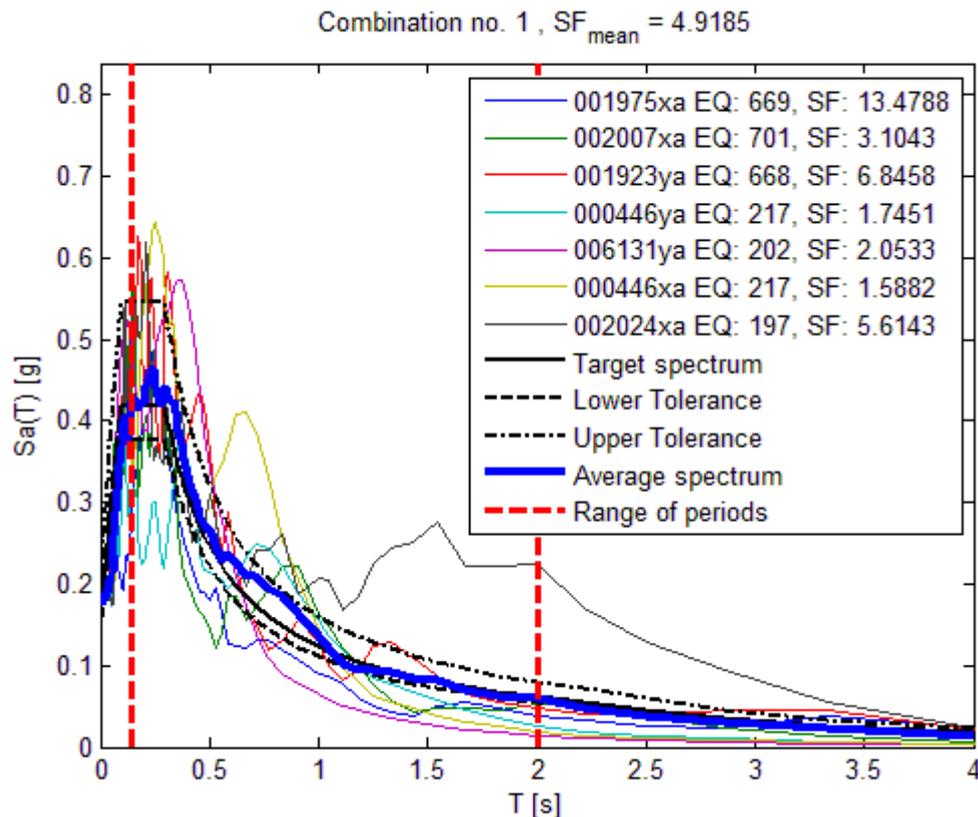


Figura 21: Spettri unitari degli accelerogrammi considerati.

Tali accelerogrammi, riferiti ad un affioramento rigido di superficie (Outcrop - Suolo di Categoria A - NTC18), sono stati utilizzati nelle analisi dinamiche con modelli numerici del suolo in termini di input sismico applicato al substrato rigido. Tale approccio ha consentito di analizzare la propagazione del segnale attraverso la successione stratigrafica individuata per il sito e quindi di ricavare i fattori specifici di amplificazione attesi per tali input sismici e quindi le massime accelerazioni attese in superficie.

Tale procedimento è stato sviluppato tramite specifiche tecniche di deconvoluzione implementate nel codice di calcolo EERA (Equivalent-linear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits, Bardet et al., 2000).

Tale codice di calcolo consente di sviluppare analisi di propagazione dell'input sismico in termini di tensioni totali, e permette una valutazione del profilo di accelerazione e deformazione tangenziale massime lungo una verticale rappresentativa del modello geologico-stratigrafico elaborato, interfacciato con i dati sismici ricavati dalle misure effettuate in sito.

Il codice EERA tiene in considerazione il comportamento ciclico del terreno mediante l'implementazione di un modello lineare-equivalente schematizzandolo come un sistema di N strati orizzontali omogenei, isotropi e visco-elastici, sovrastanti un semispazio uniforme,

attraversati da un treno di onde di taglio che incidono verticalmente le superfici.

Ogni strato è descritto per mezzo dello spessore H , del modulo di taglio massimo G_{max} o dalla corrispondente velocità massima V_s , dal valore dello smorzamento D , dal peso dell'unità di volume (o alla densità di massa $\rho = \gamma/g$) e dalle curve di decadimento del modulo di rigidezza a taglio normalizzato ($G/G_0 - \gamma$) e le corrispondenti curve dello smorzamento ($D - \gamma$) con la deformazione di taglio γ .

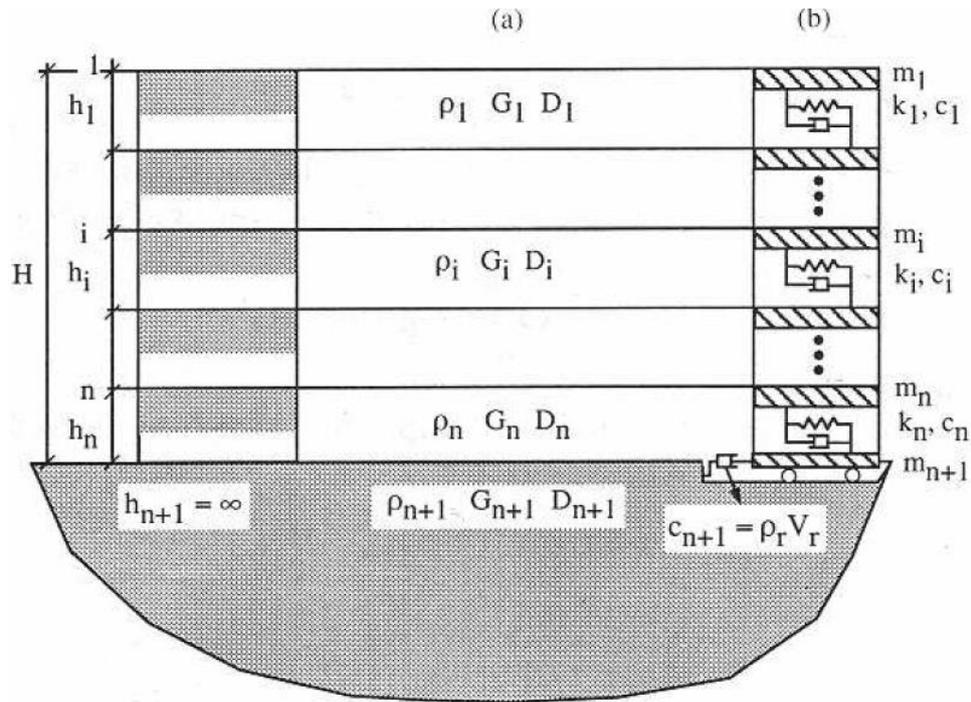


Figura 22: Modello di calcolo implementato in EERA

La risposta sismica del deposito di terreni viene quindi valutata attraverso un'analisi viscoelastica lineare equivalente che consiste in una serie di analisi lineari, con aggiornamento successivo dei valori della rigidezza a taglio $G(\gamma)$ e dello smorzamento $D(\gamma)$ fino al soddisfacimento di un criterio di convergenza sulle deformazioni.

La procedura lineare equivalente include le seguenti fasi: assunto l'accelerogramma associato al terremoto di riferimento e ottenuto da esso, mediante le trasformate dirette (FFT), il corrispondente spettro di Fourier, la funzione di trasferimento consente di ottenere lo spettro lungo la superficie di separazione tra due generici strati contigui. Da esso, con un'operazione inversa (IFFT), si ottiene il corrispondente l'accelerogramma nel dominio del tempo e mediante doppia integrazione nel tempo, si ricavano gli spostamenti orizzontali alla profondità considerata e, derivandoli rispetto a z , si valuta la variazione temporale della deformazione di taglio insieme al suo valore massimo.

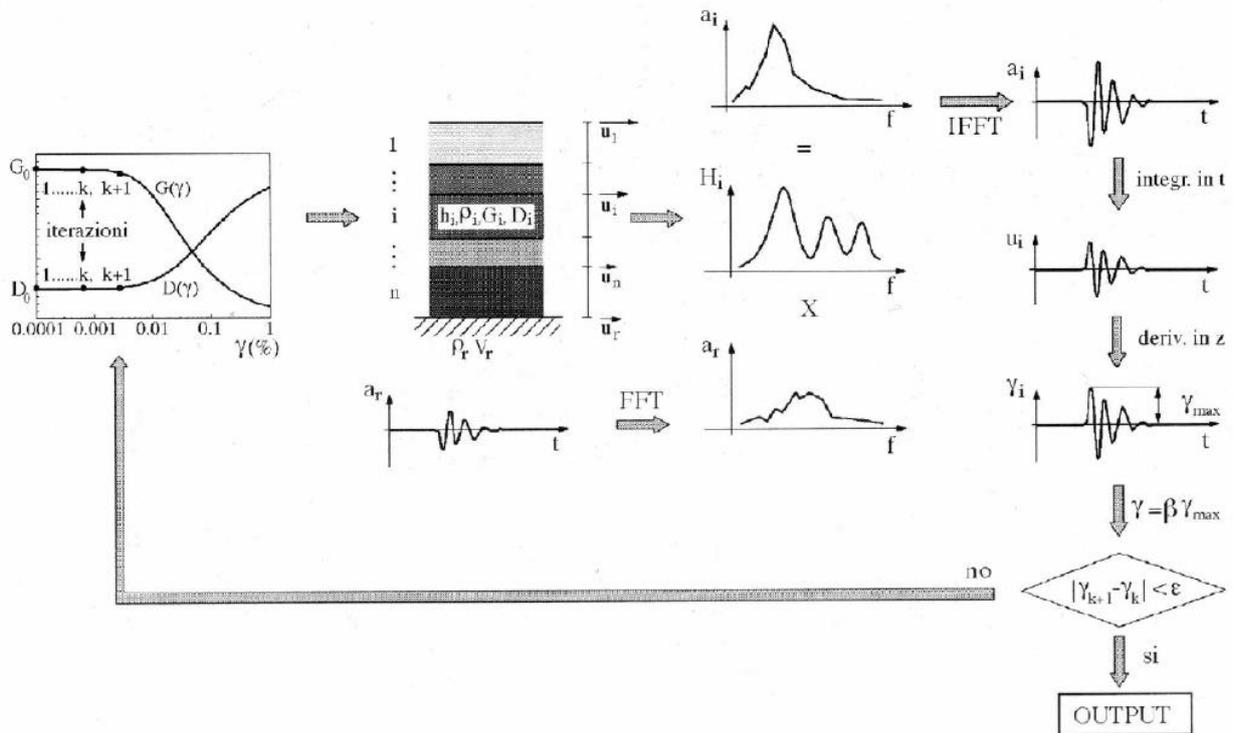


Figura 23: Procedura di calcolo implementata in EERA

La deformazione di taglio effettiva, da utilizzare per il passo successivo, attraverso il confronto progressivo della differenza tra la deformazione assunta e quella calcolata fino a convergenza rispetto agli scarti di tolleranza imposti al calcolo (in genere < 0.1%).

Al termine dell'elaborazione è possibile valutare i parametri tensio-deformativi del semispazio in termini di profili di massima deformazione distorsionale (maximum shear strain %) e massimo sforzo tangenziale (maximum shear stress %), profilo del modulo di rigidità dinamica (G/G_{max}) e del fattore di smorzamento (D-Damping Ratio %), e profilo di variabilità dell'accelerazione nel banco di terreni.

In termini di caratteristiche dinamiche è possibile ricavare quindi l'andamento in frequenza del rapporto di amplificazione (A) e del relativo spettro in frequenza di Fourier e spettro di risposta attesi per il semispazio analizzato sotto l'input sismico applicato.

Il profilo delle velocità delle onde di taglio implementate nel software sono state ricavate dalle indagini Down-Hole e MASW, si riporta di seguito il profilo delle V_s mediato assunto per i calcoli considerando il substrato rigido alla profondità di 40m, ovvero il tetto dell'unità litotecnica H. Va sottolineato che il substrato rigido assunto non presenta delle V_s maggiori di 800 m/sec, come è invece previsto dalle NTC 2018. Tuttavia, considerando il volume significativo dell'opera in oggetto e alla luce del forte incremento delle V_s che si ha a tale profondità (maggiori di 600m/s), risulta appropriata la scelta di assimilare l'unità litotecnica D al substrato rigido.

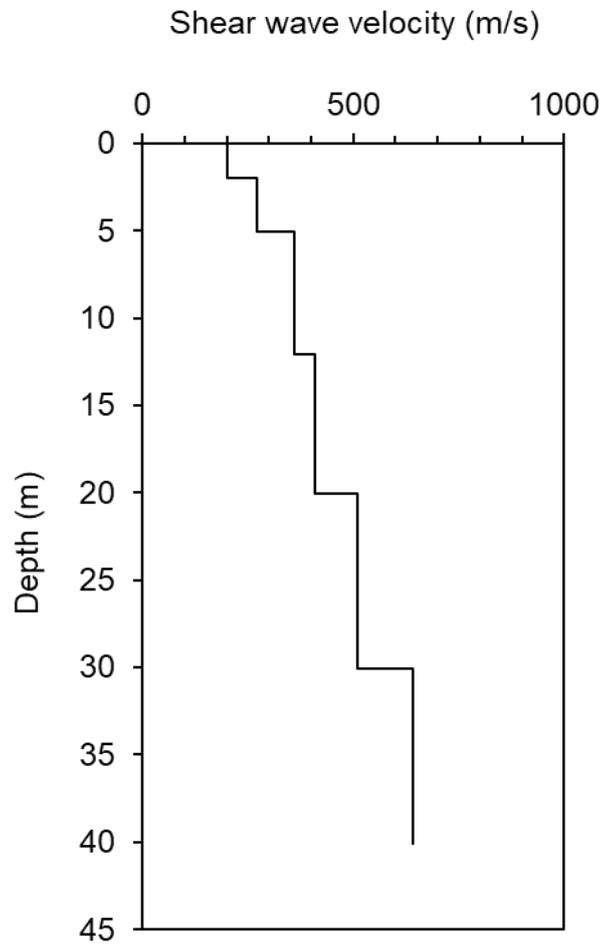


Figura 24: Profilo Vs mediato importato in EERA

Le curve di decadimento del modulo di rigidità dinamica e fattore di smorzamento D , sono state assunte rispetto ai risultati delle specifiche prove di colonna risonante specificamente eseguite nell'ambito della campagna di indagini 2020, riportate nelle figure seguenti. Solo per quanto attiene ai materiali più superficiali, di difficile campionamento, sono state assunte delle proprietà desunte dalla bibliografia (Seed & Idriss 1970) - Upper Range and damping for sand (Idriss 1990).

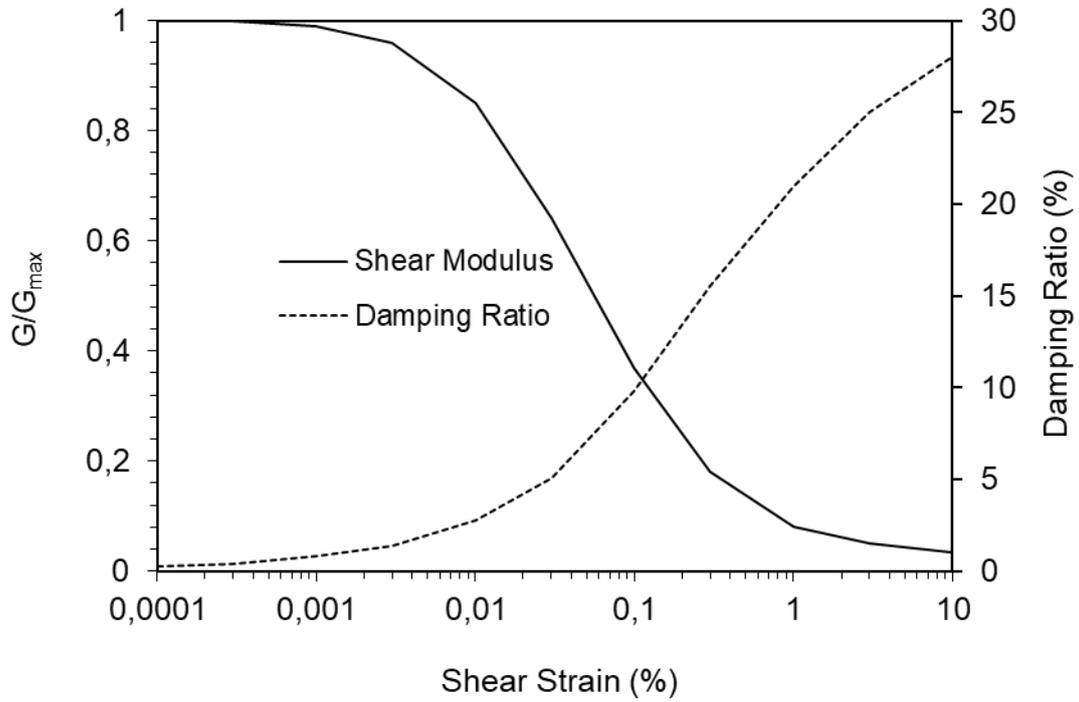


Figura 25: Proprietà dinamiche Mat 1: "Modulus for sand (Seed & Idriss 1970) - Upper Range and damping for sand (Idriss 1990) - (about LRng from SI 1970)"

COMMITTENTE: ENEL S.P.A.
LOCALITÀ: Termini Imerese
CANTIERE: Centrale E. Majorana
DATA PROVA: 10/07/2020

SONDAGGIO: S201
IDENTIFICATIVO CAMPIONE: S201 C2
PROFONDITÀ: 5,50-6,00
TIPO CAMPIONE: Indisturbato

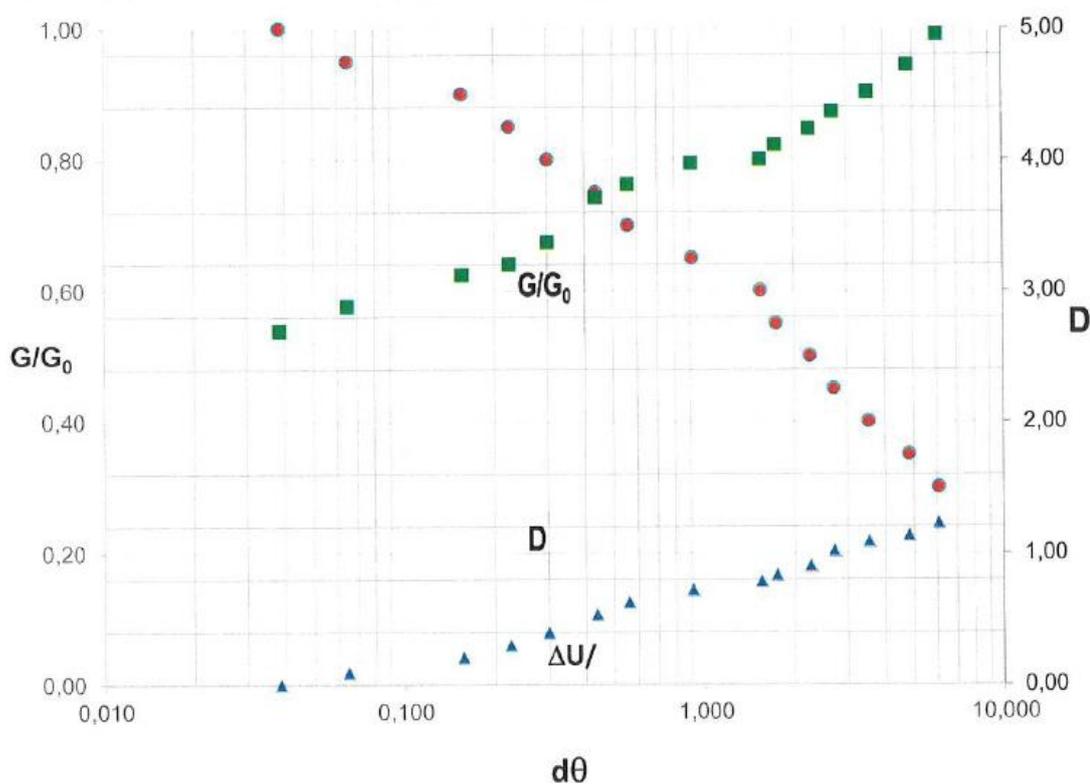


Figura 26: Prova di Colonna risonante – S201 C2

COMMITTENTE: ENEL S.P.A.
LOCALITÀ: Termini Imerese
CANTIERE: Centrale E. Majorana
DATA PROVA: 06/07/1930

SONDAGGIO: S202
IDENTIFICATIVO CAMPIONE: S202 C1
PROFONDITÀ: 8,00-8,30
TIPO CAMPIONE: Indisturbato

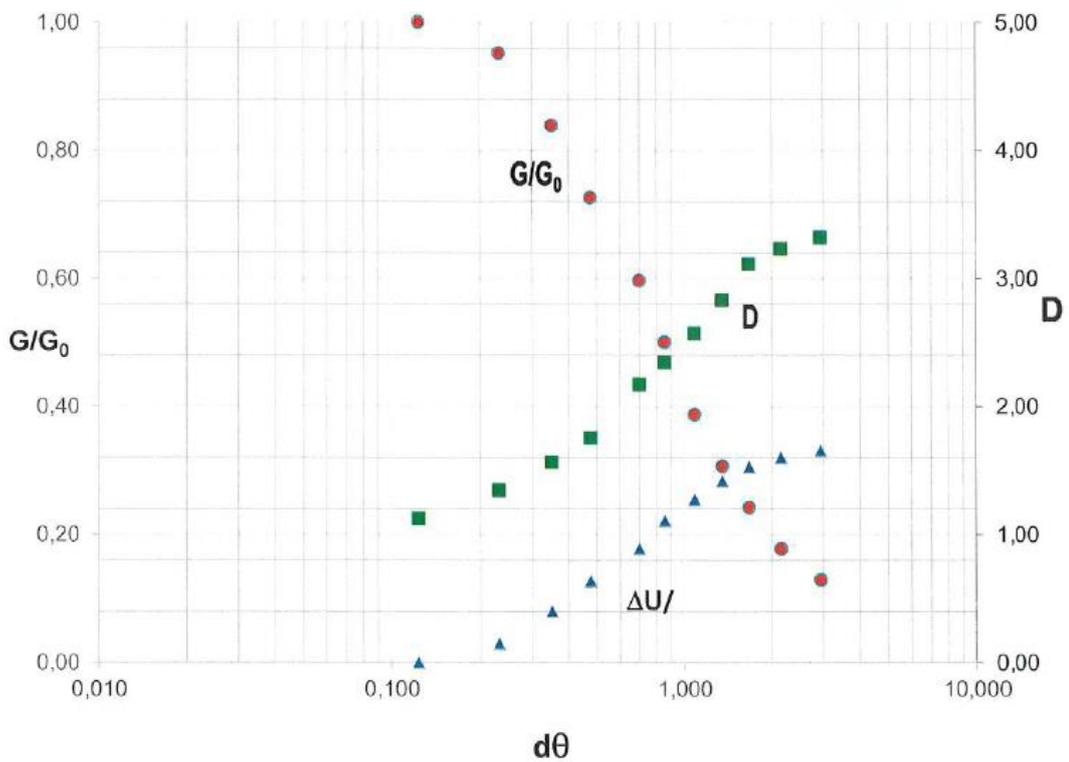


Figura 27: Prova di Colonna risonante – S202 C1

COMMITTENTE: ENEL S.P.A.
LOCALITÀ: Termini Imerese
CANTIERE: Centrale E. Majorana
DATA PROVA: 08/07/2020

SONDAGGIO: S202
IDENTIFICATIVO CAMPIONE: S202 C3
PROFONDITÀ: 13,00-13,50
TIPO CAMPIONE: Indisturbato

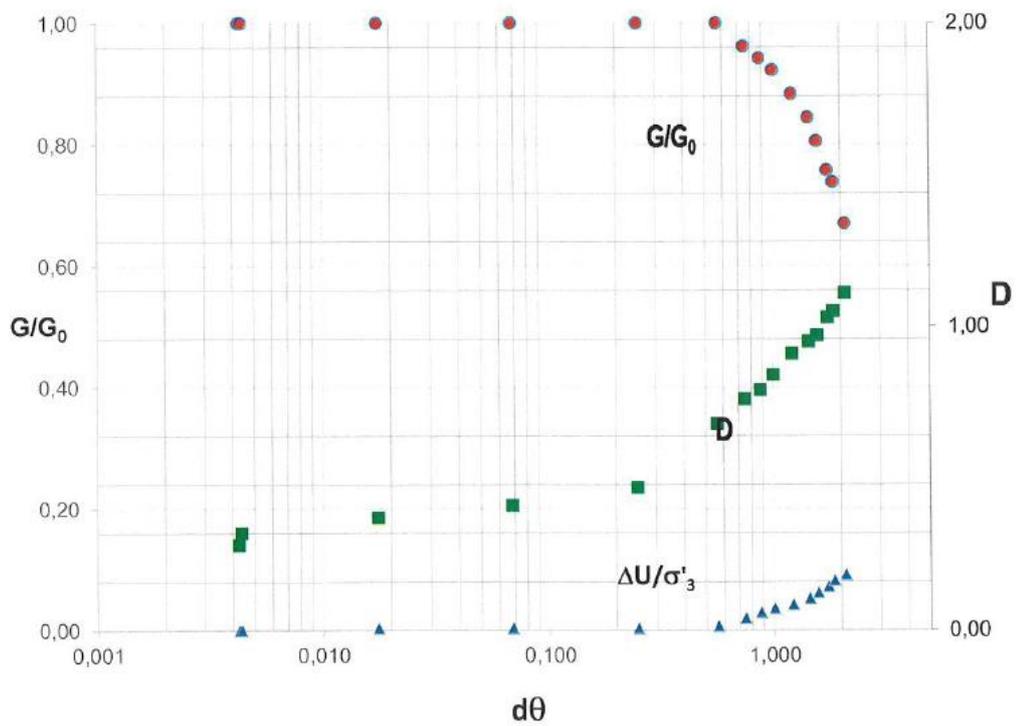


Figura 28: Prova di Colonna risonante – S202 C3

Viene di seguito riportato il profilo stratigrafico utilizzato nei calcoli e le caratteristiche dei substrati, così come inseriti nel software di calcolo.

egp4-termini

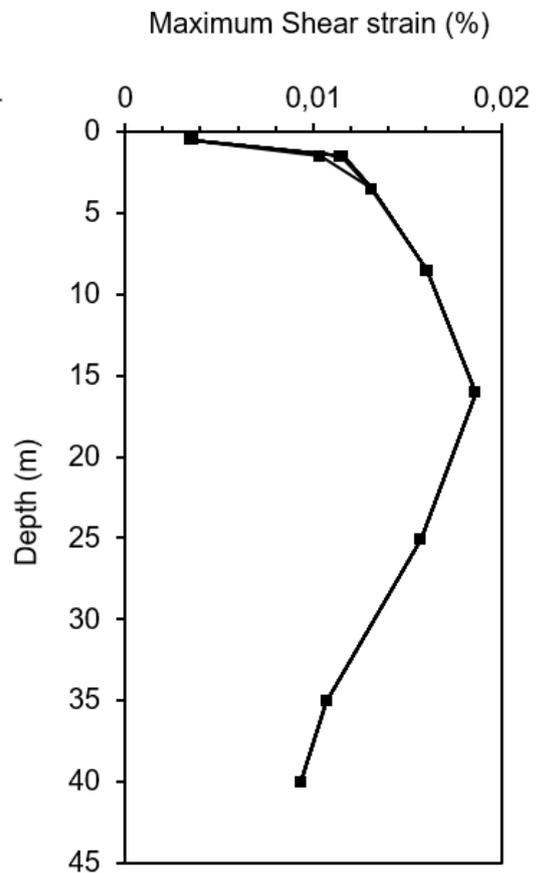
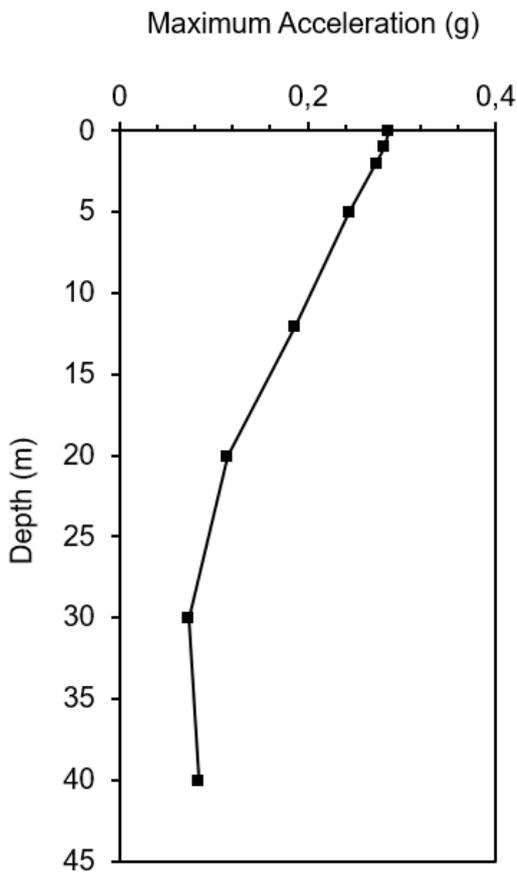
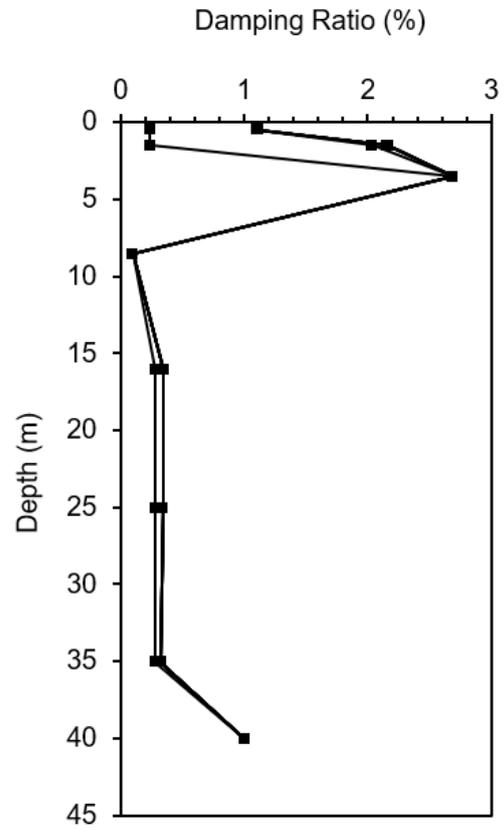
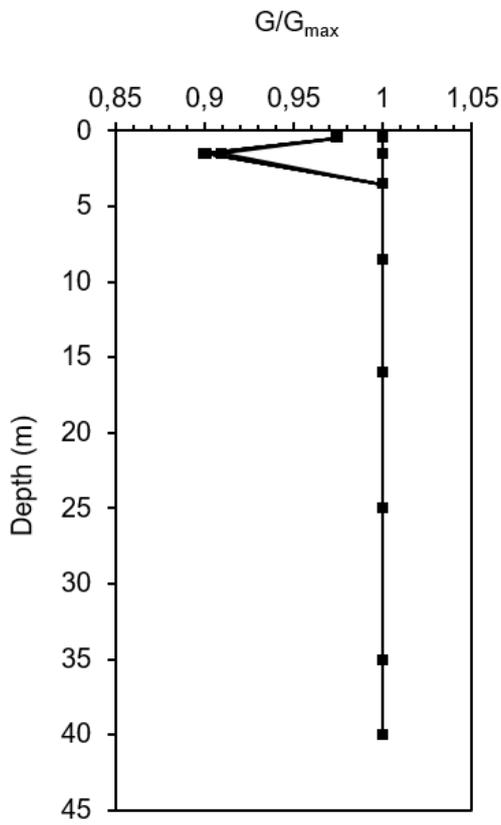
Fundamental period (s) = 0,35
 Average shear wave velocity (m/sec) = 462,52
 Total number of sublayers = 8

| Layer Number | Soil Material Type | Number of sublayers in layer | Thickness of layer (m) | Maximum shear modulus G_{max} (MPa) | Initial critical damping ratio (%) | Total unit weight (kN/m^3) | Shear wave velocity (m/sec) | Location and type of earthquake input motion | Location of water table | Depth at middle of layer (m) | Vertical effective stress (kPa) |
|--------------|--------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Surface | 1 | 1 | 1,0 | 77,47 | | 19,00 | 200 | | | 0,5 | 9,50 |
| | 2 | 1 | 1,0 | 77,47 | | 19,00 | 200 | | | 1,5 | 28,50 |
| | 3 | 2 | 3,0 | 141,19 | | 19,00 | 270 | | | 3,5 | 66,96 |
| | 4 | 3 | 7,0 | 257,61 | | 19,50 | 360 | | W | 8,5 | 129,83 |
| | 5 | 4 | 8,0 | 368,41 | | 21,50 | 410 | | | 16,0 | 210,50 |
| | 6 | 4 | 10,0 | 570,05 | | 21,50 | 510 | | | 25,0 | 315,71 |
| | 7 | 4 | 10,0 | 897,70 | | 21,50 | 640 | | | 35,0 | 432,61 |
| Bedrock | 8 | 0 | | 918,57 | 1 | 22,00 | 640 | Outcrop | | 40,0 | 491,06 |

Figura 29: Profilo input EERA

Una volta inseriti nel software EERA gli accelerogrammi, la stratigrafia e le caratteristiche dei terreni è possibile svolgere le analisi. Di seguito se ne riportano i risultati ottenuti.

Per ognuno dei 7 input sismici analizzati si riportano in funzione della profondità l'andamento del modulo di rigidezza a taglio G , lo smorzamento, l'accelerazione massima e le deformazioni tangenziali, inoltre, si riporta l'andamento del rapporto di amplificazione (A) in funzione della frequenza e lo spettro di risposta atteso in superficie.



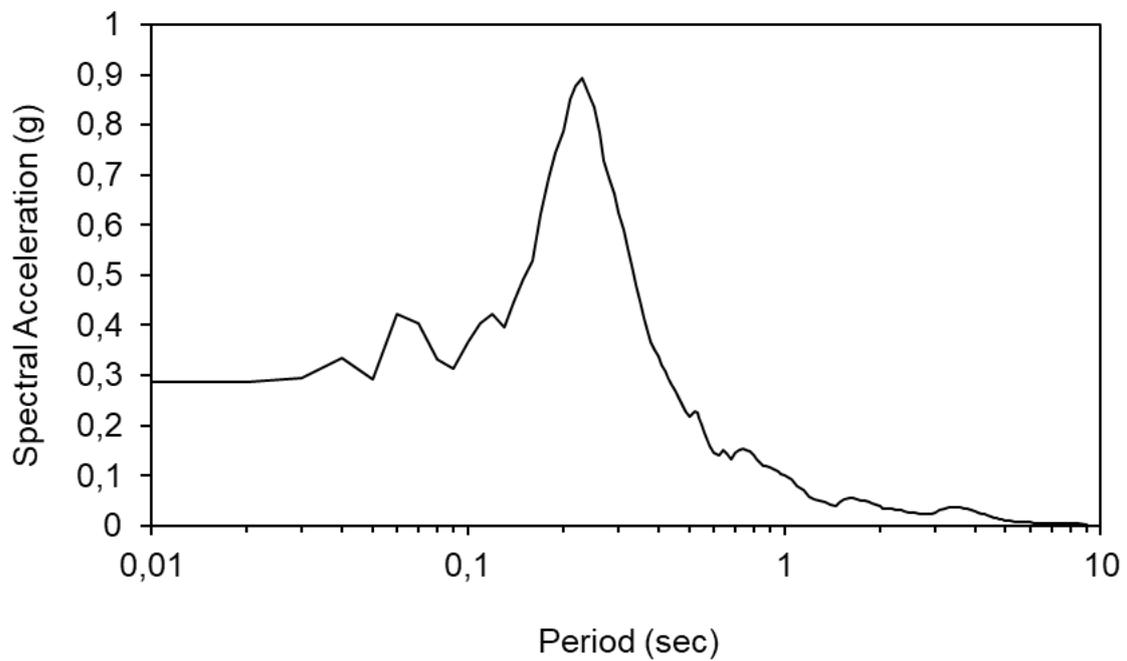
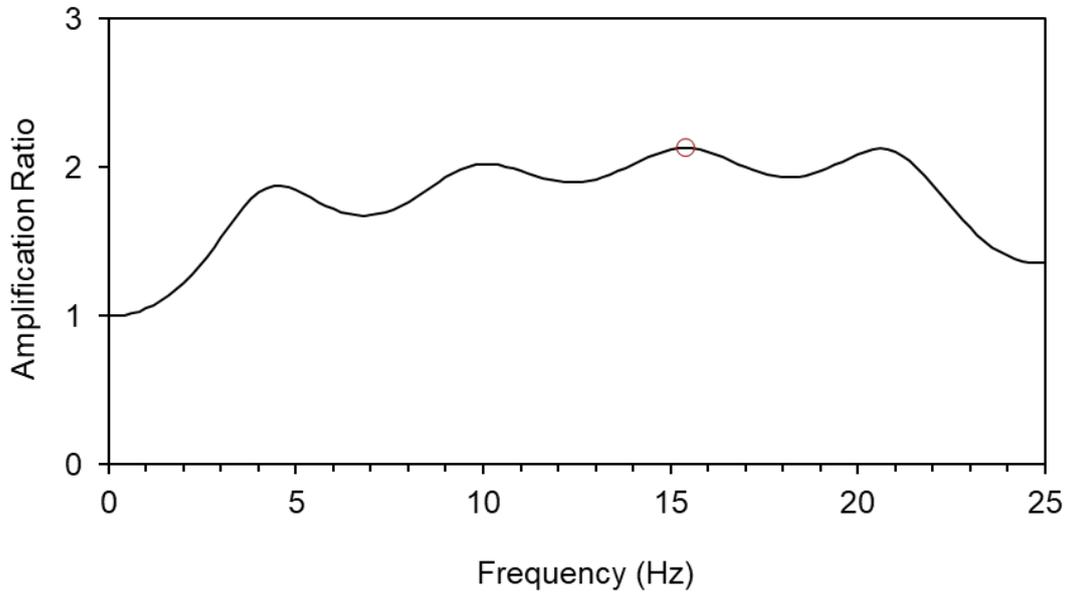
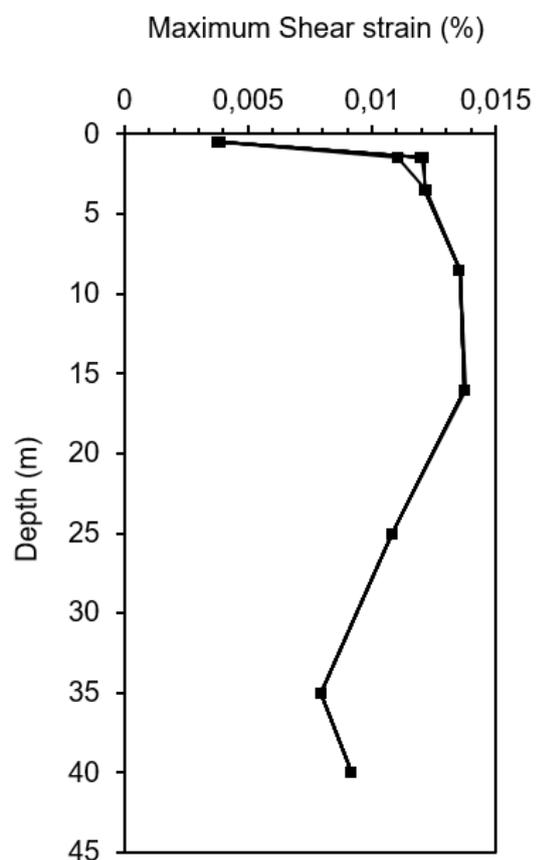
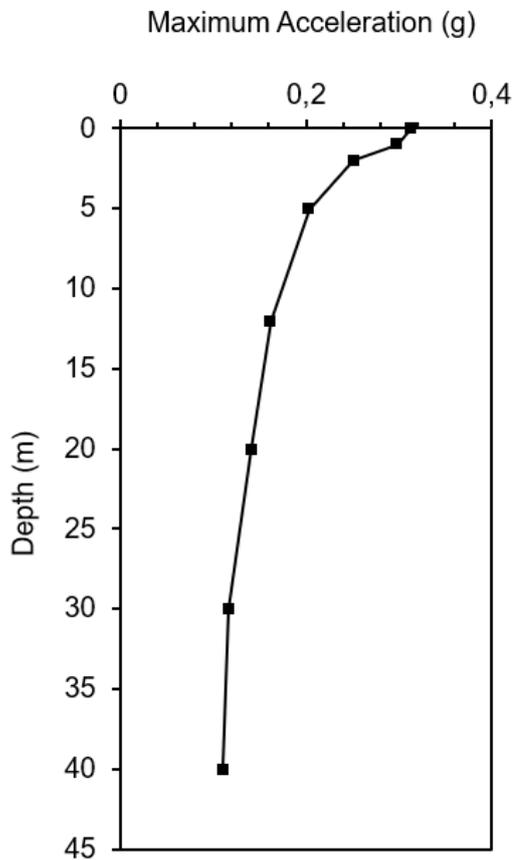
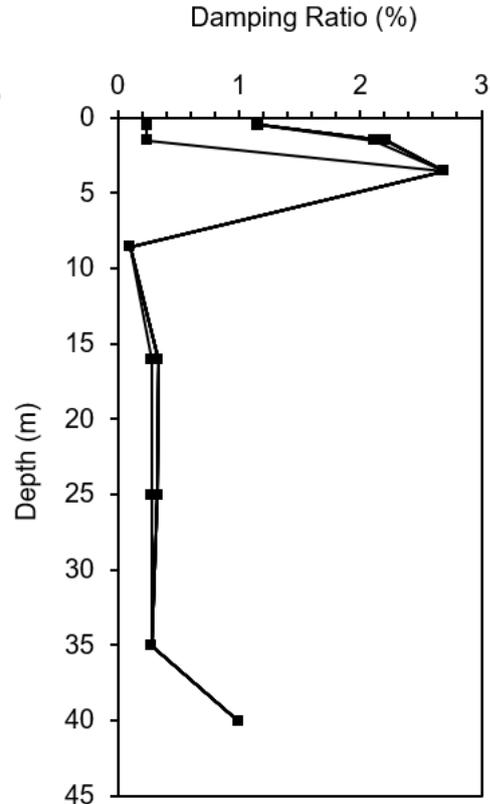
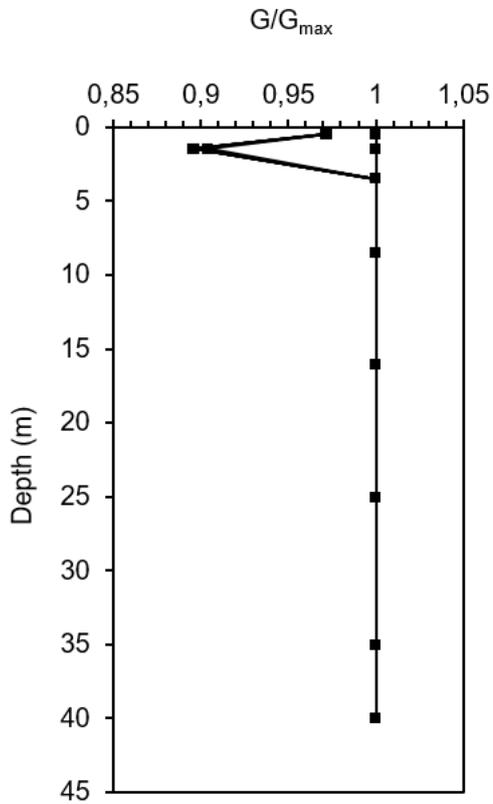


Figura 30: Risultati accelerogramma acc1



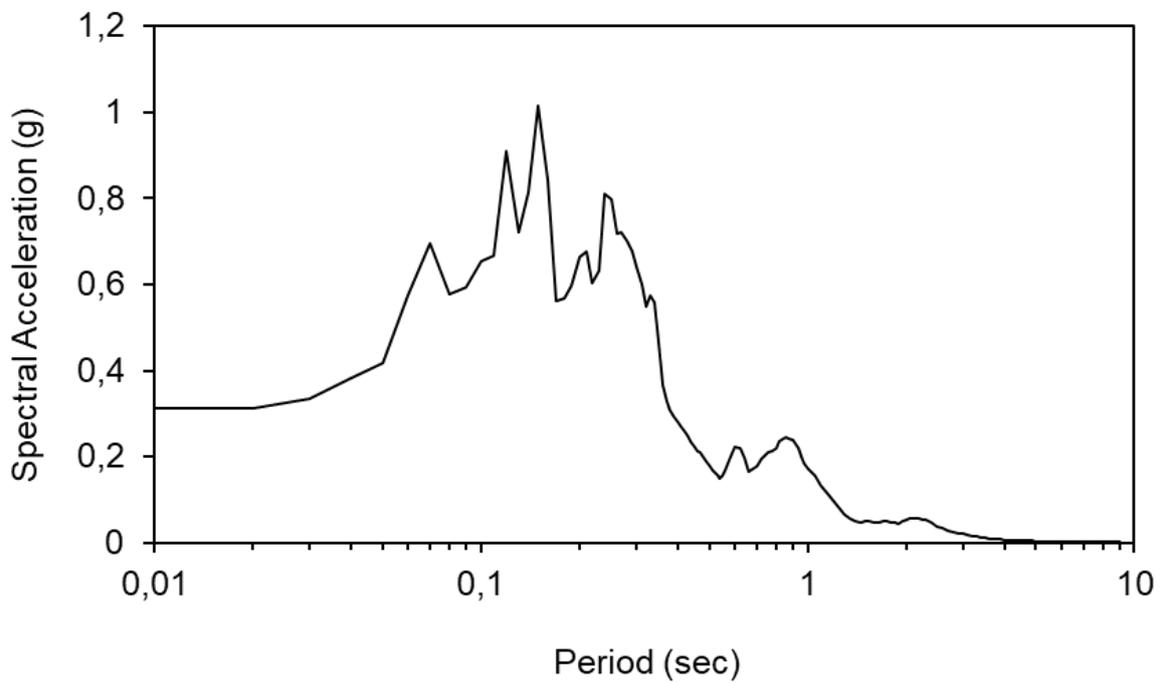
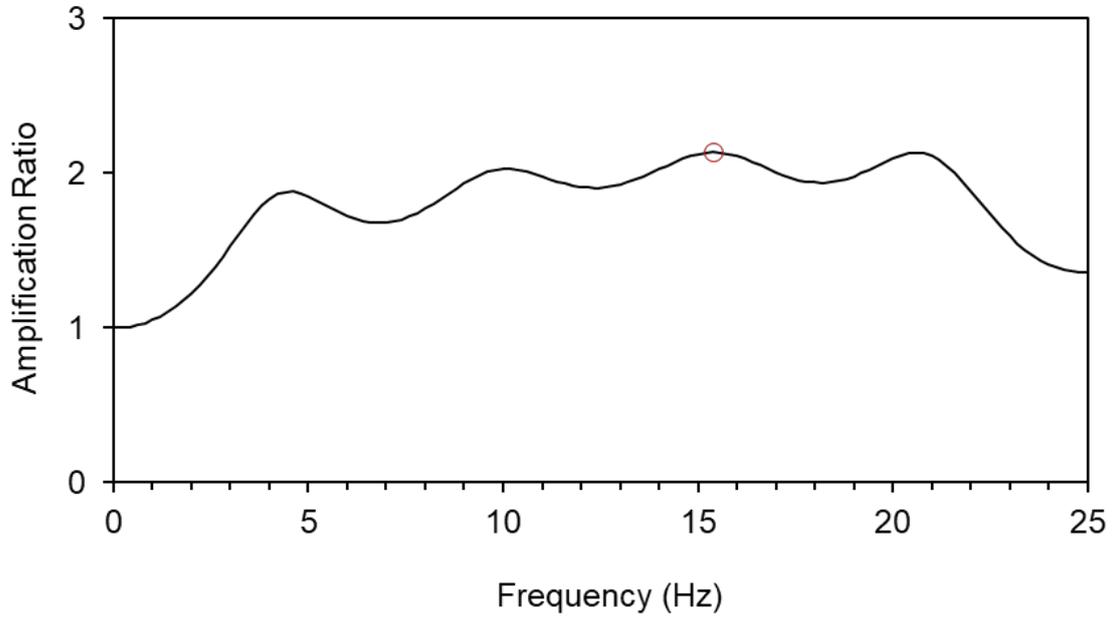
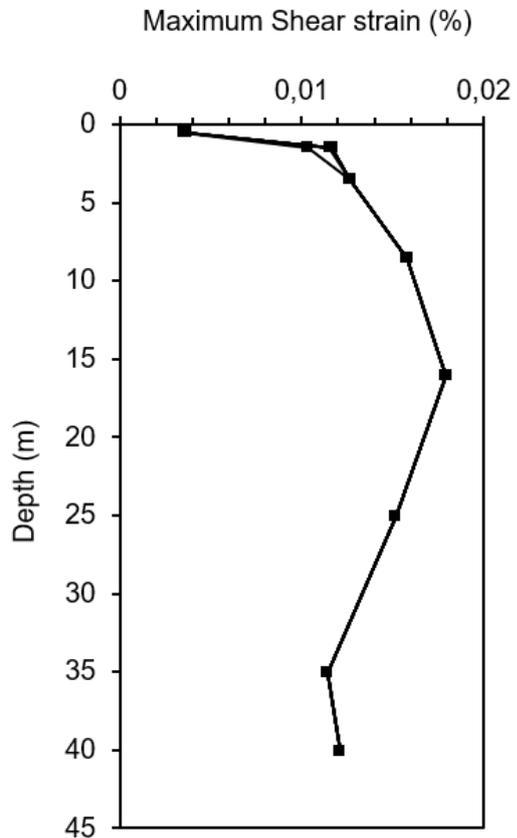
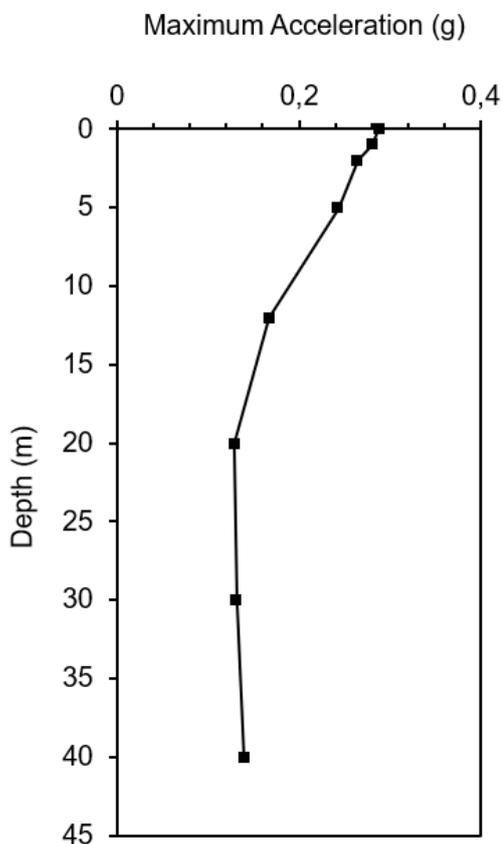
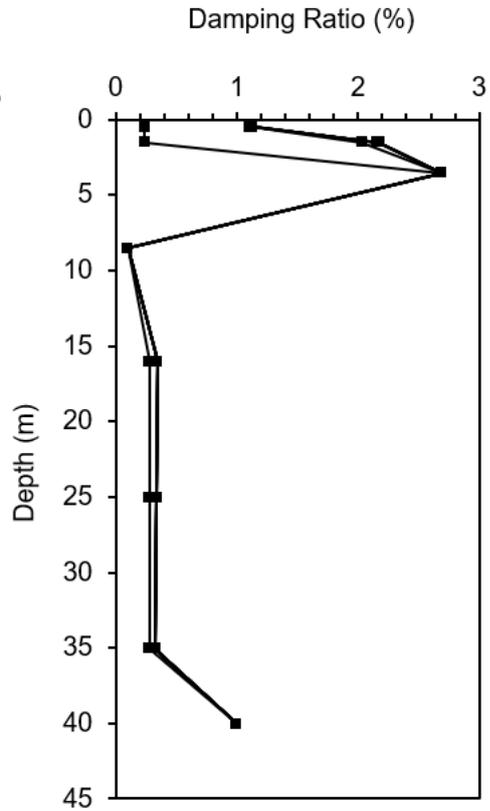
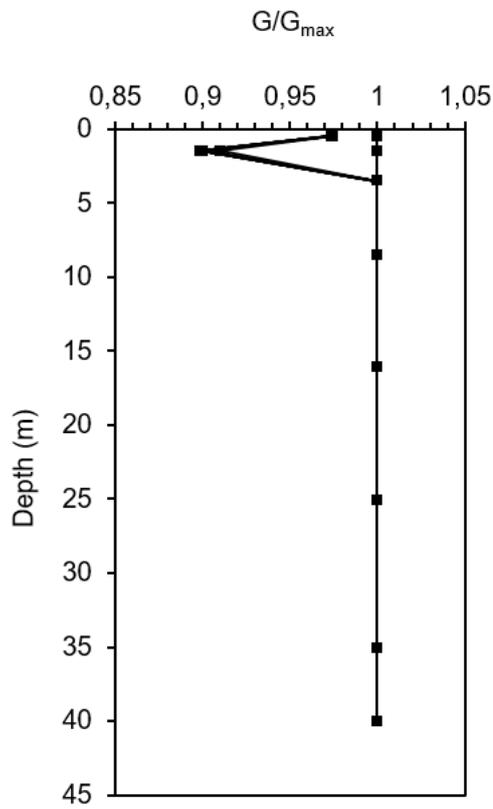


Figura 31: Risultati accelerogramma acc2



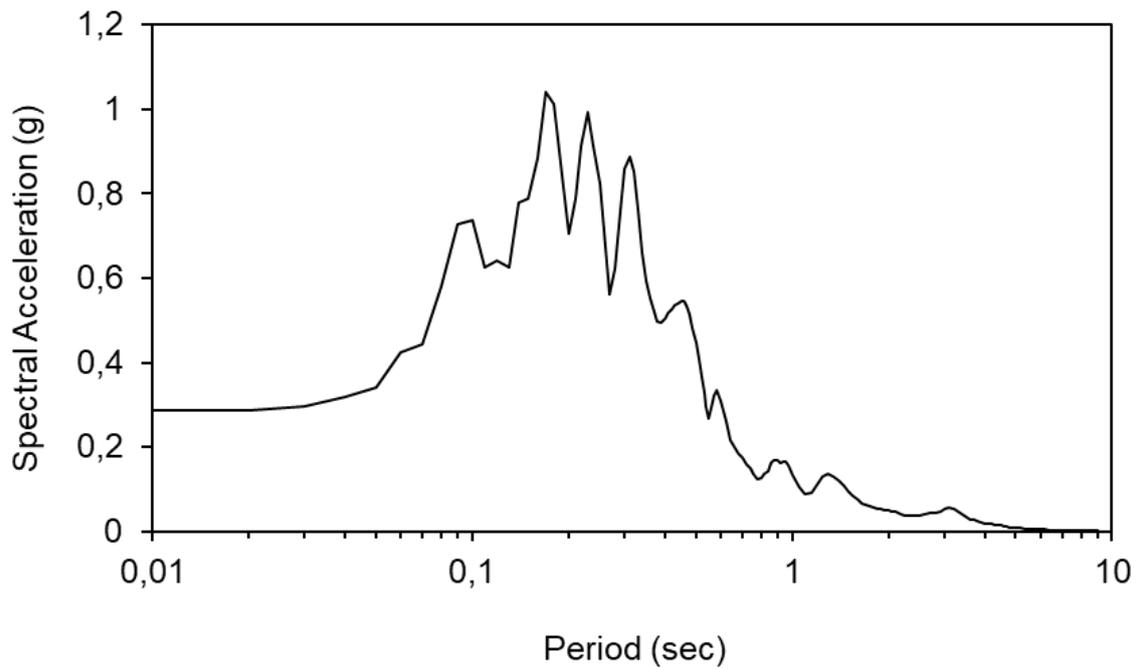
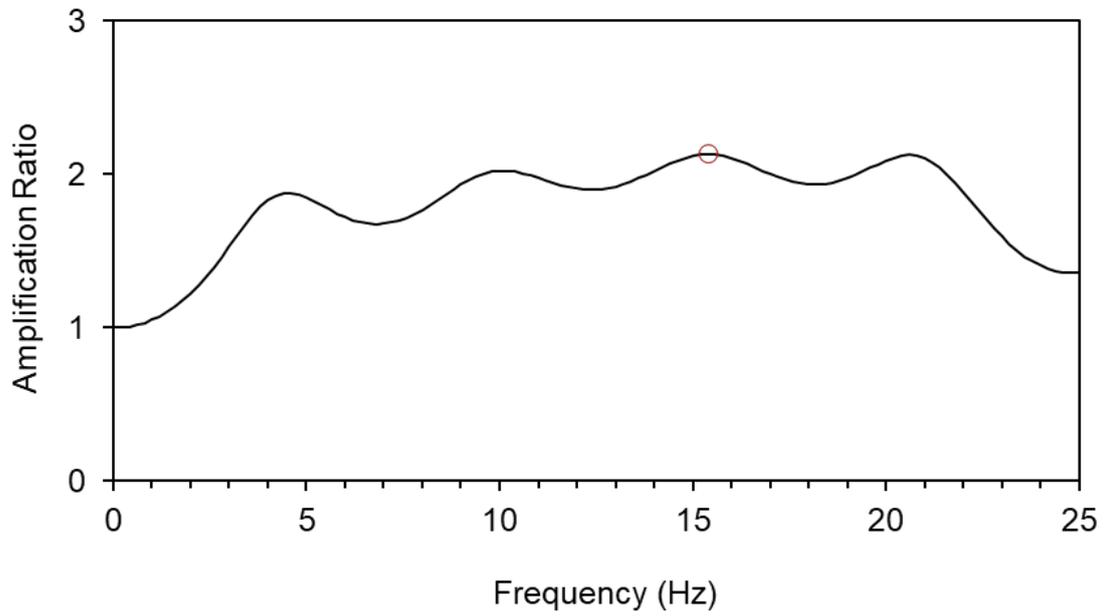
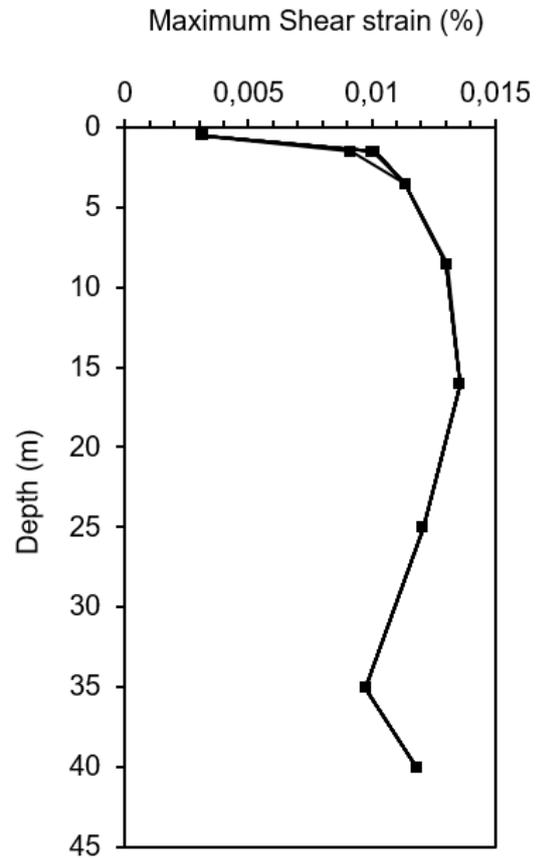
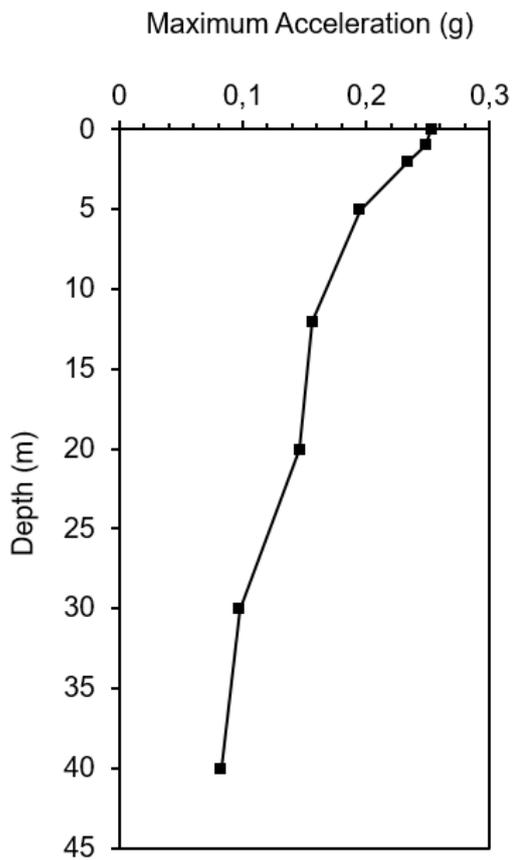
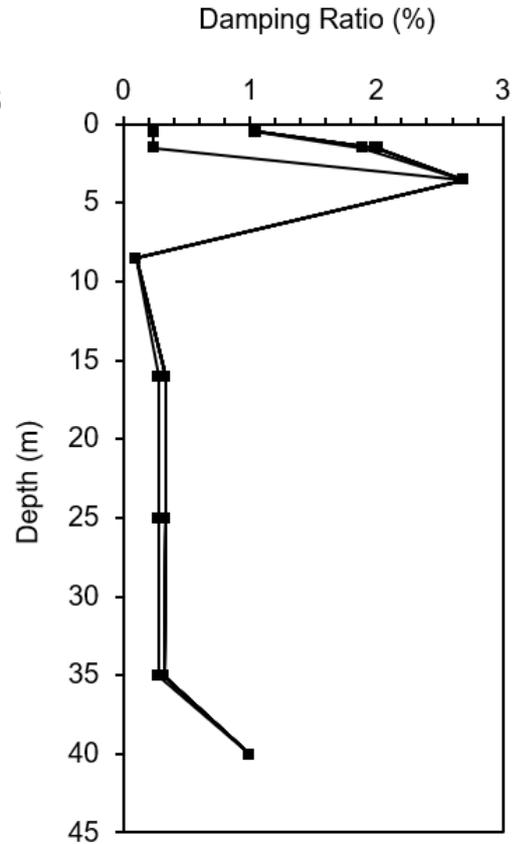
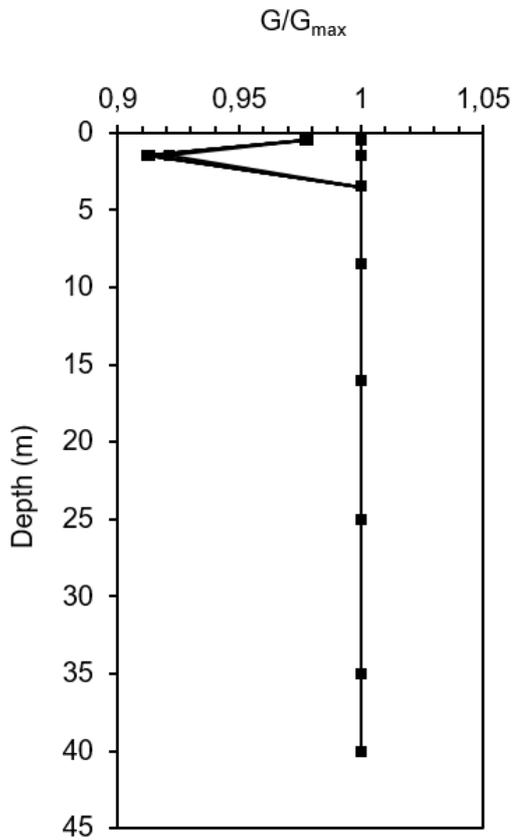


Figura 32: Risultati accelerogramma acc3



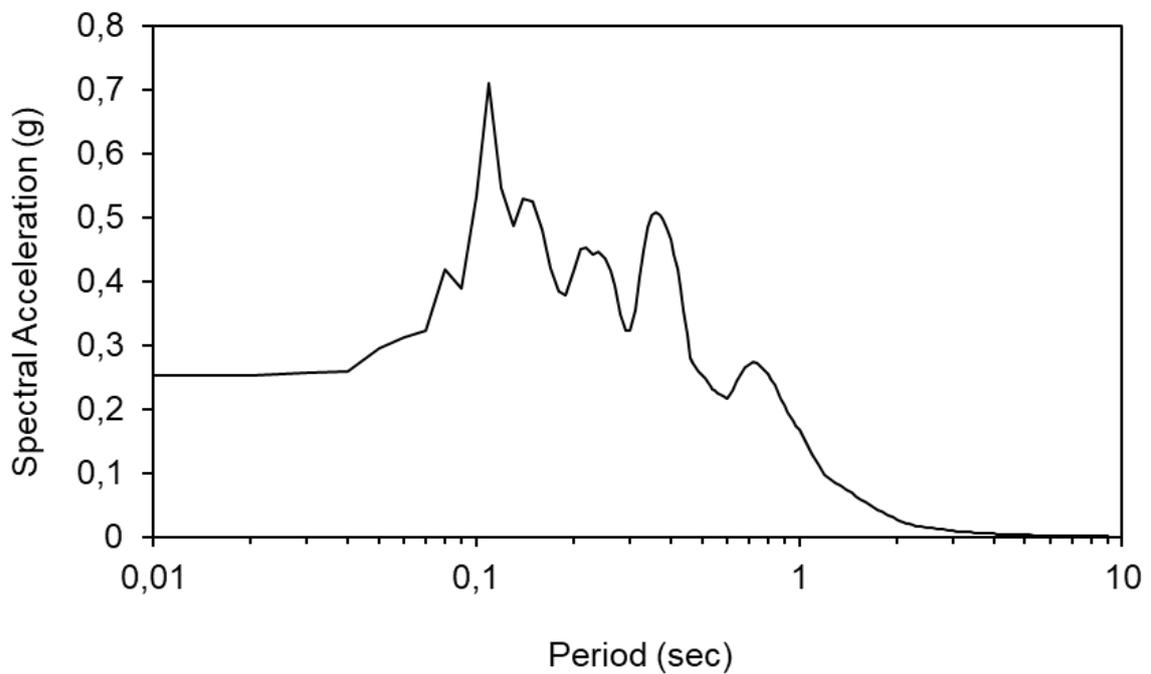
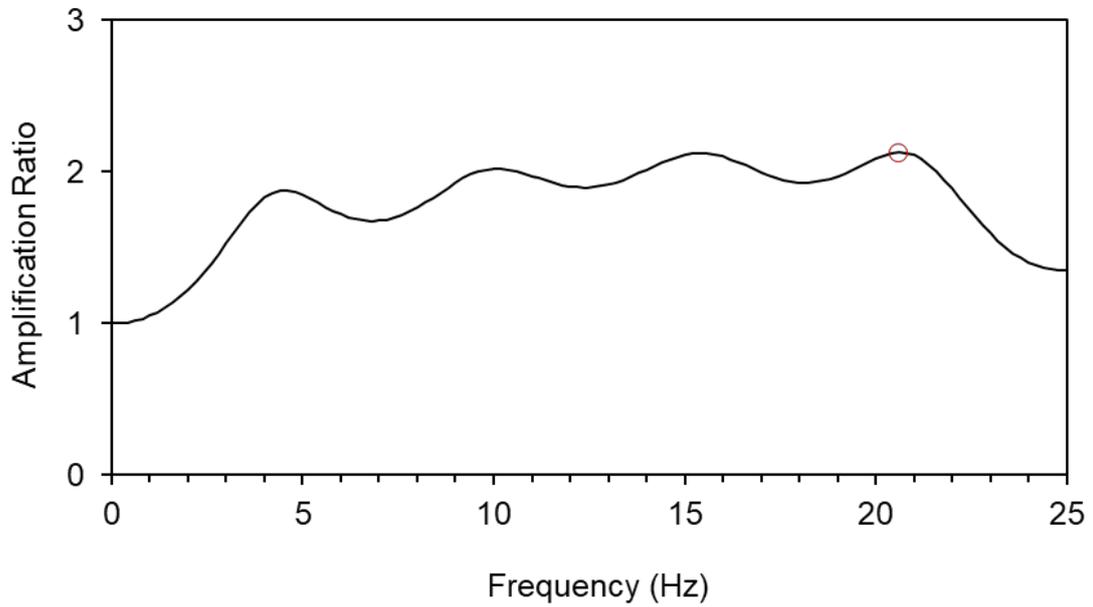
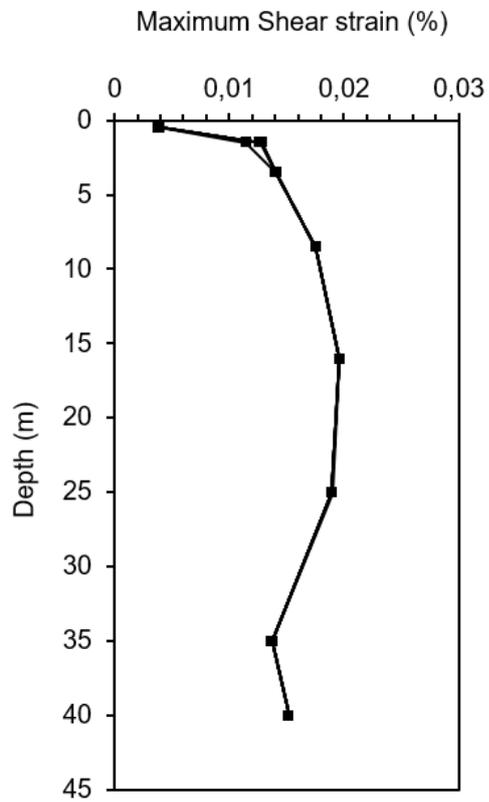
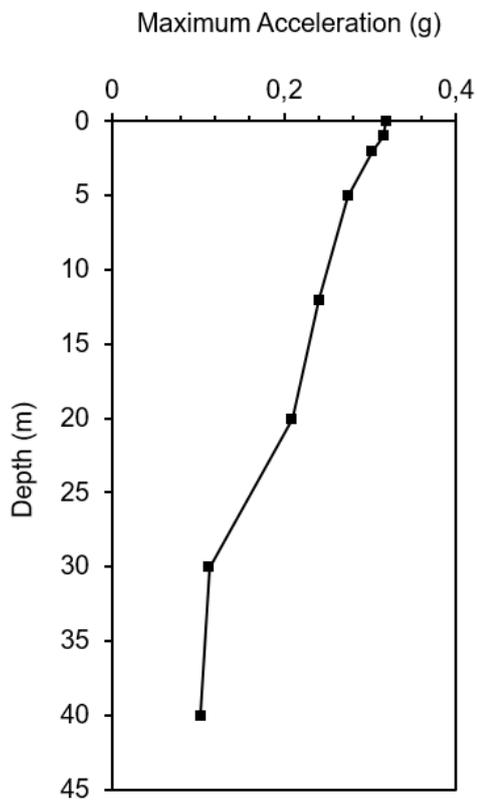
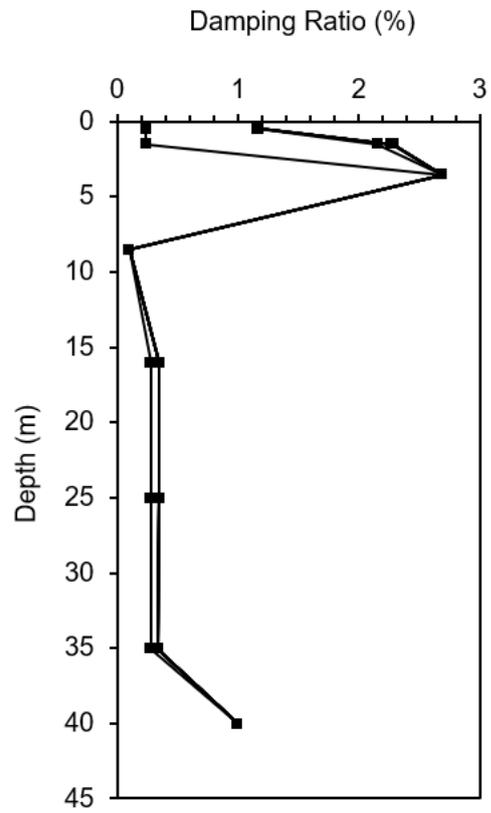
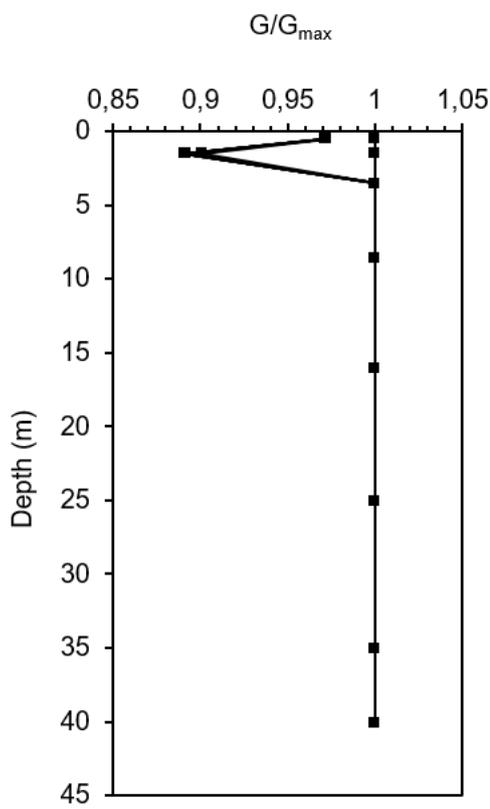


Figura 33: Risultati accelerogramma acc4



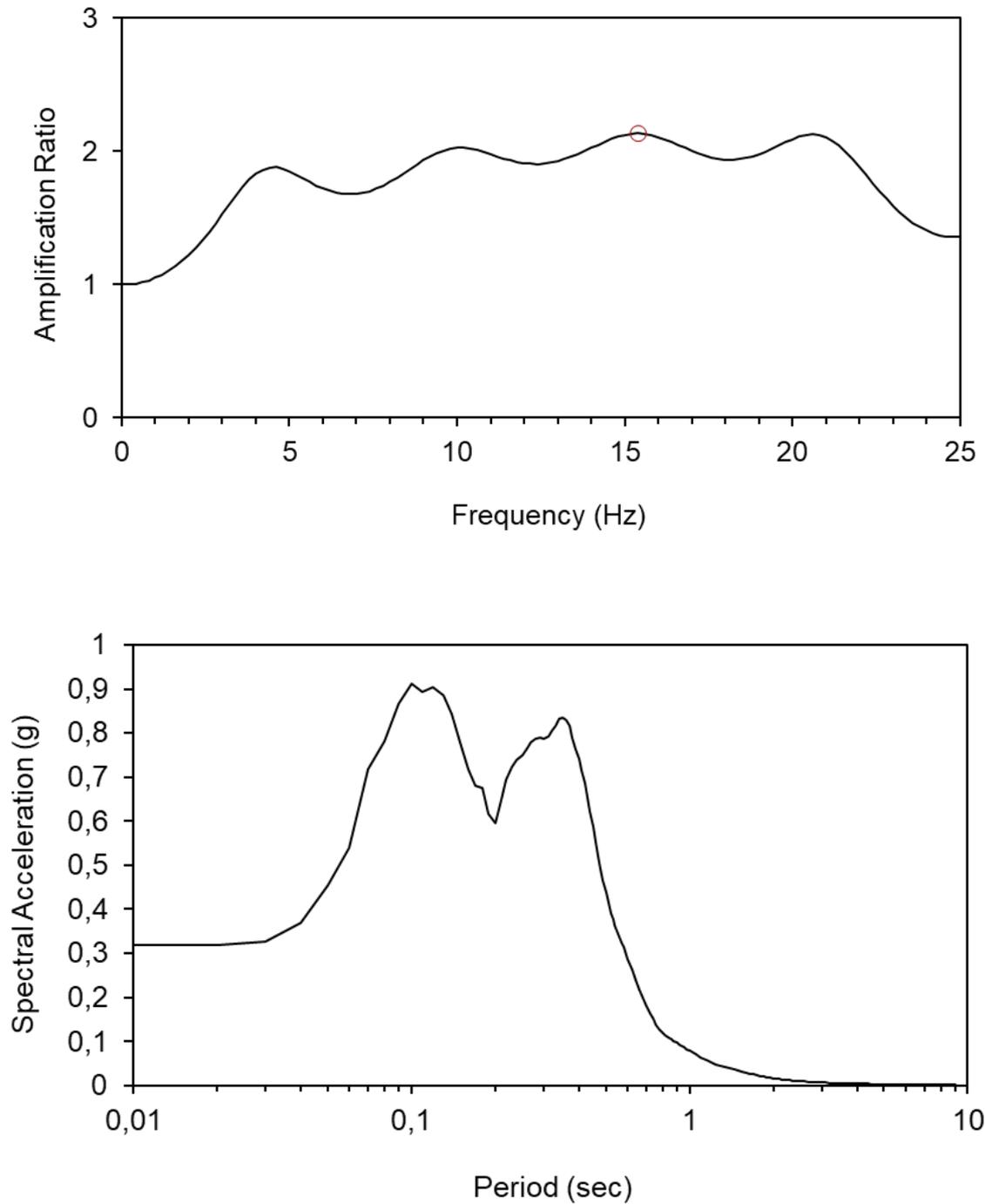
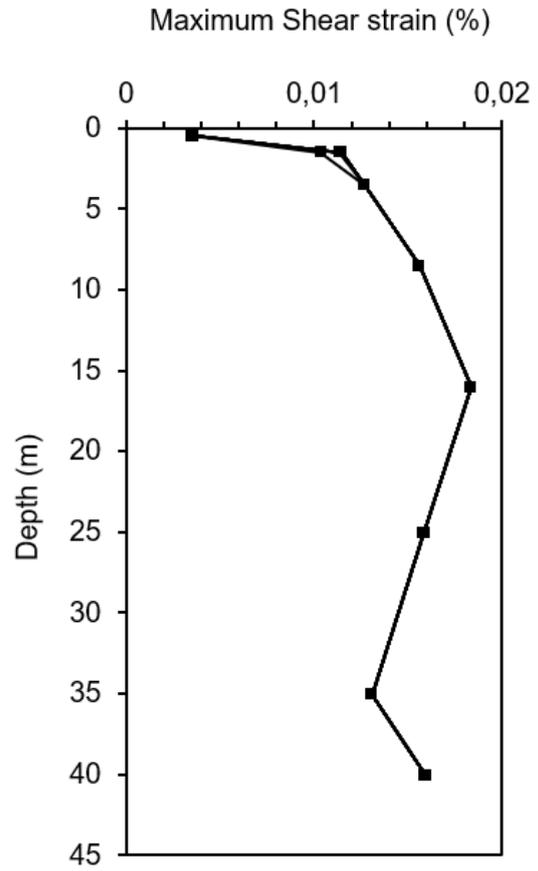
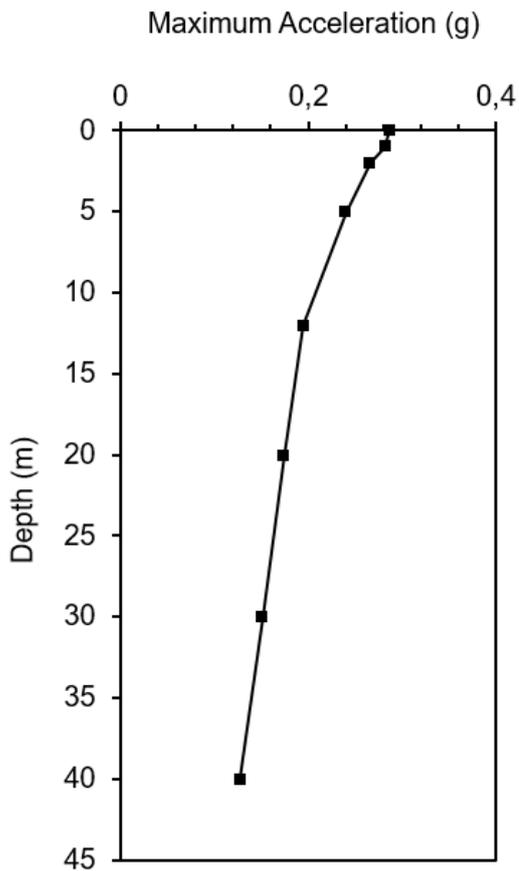
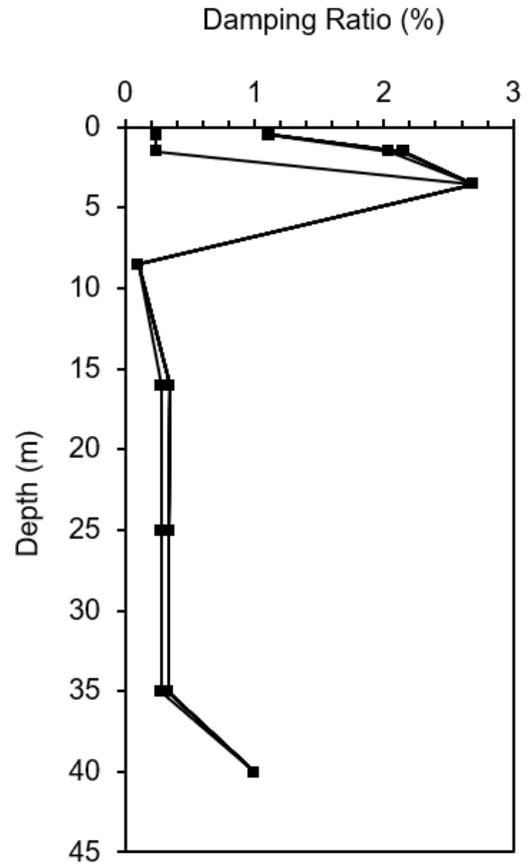
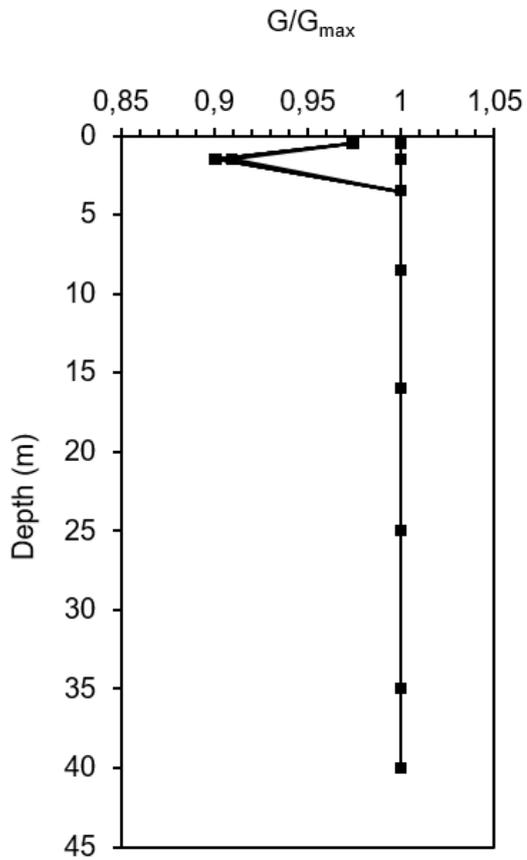


Figura 34: Risultati accelerogramma acc5



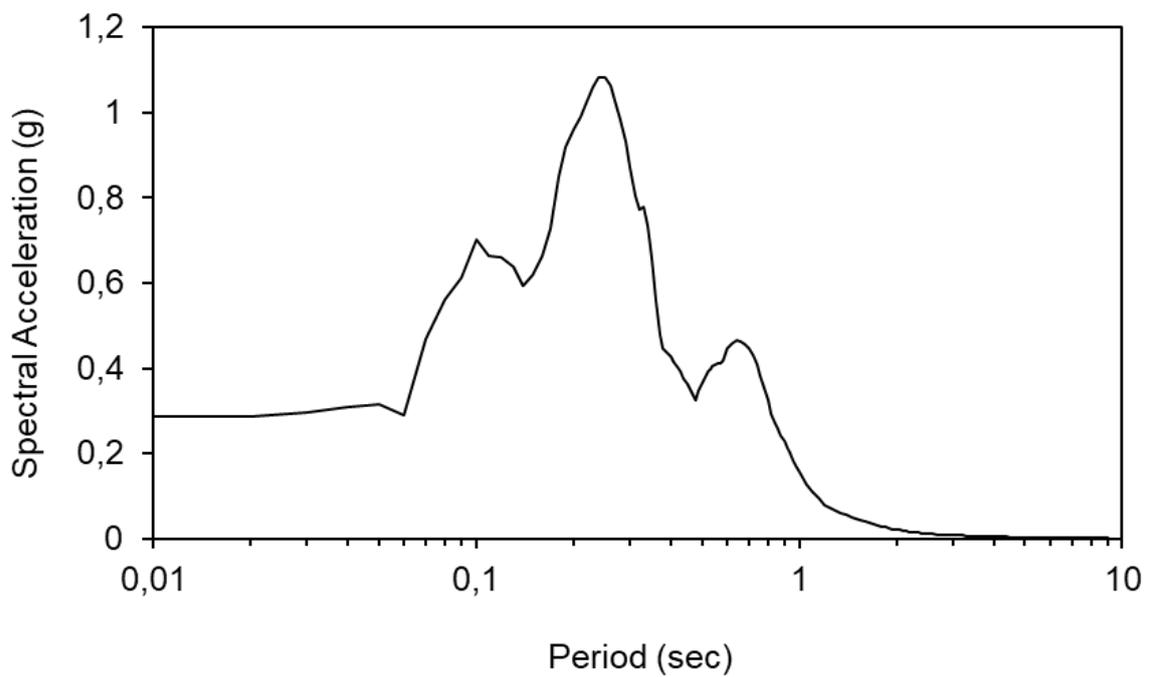
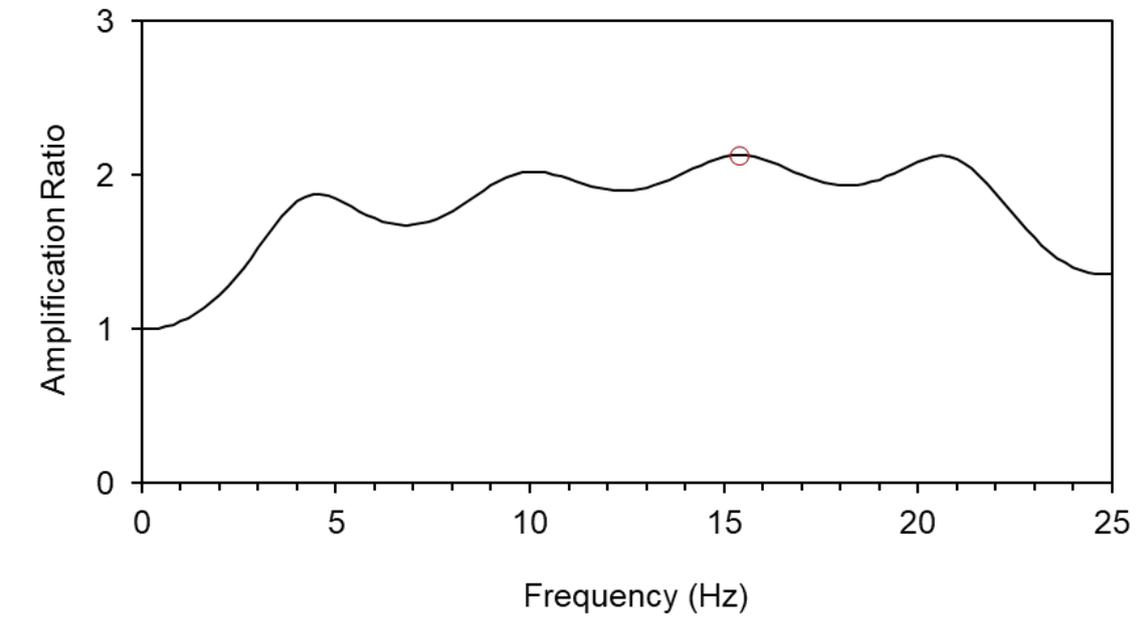
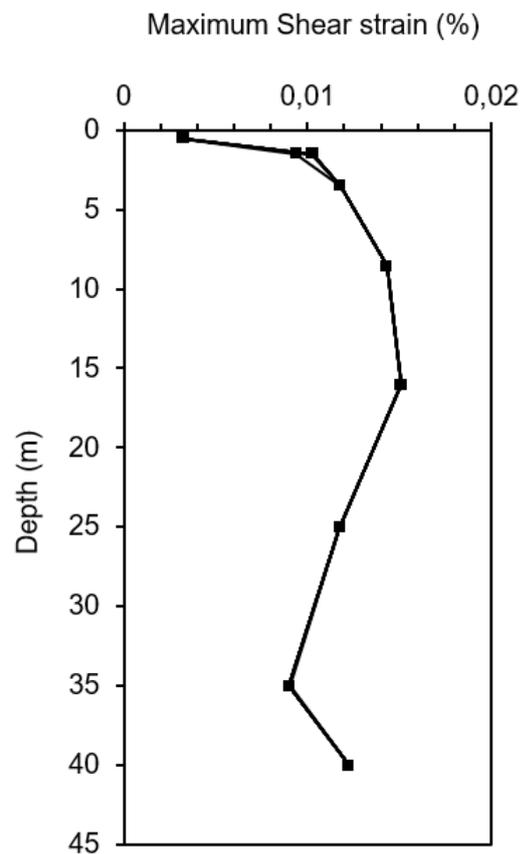
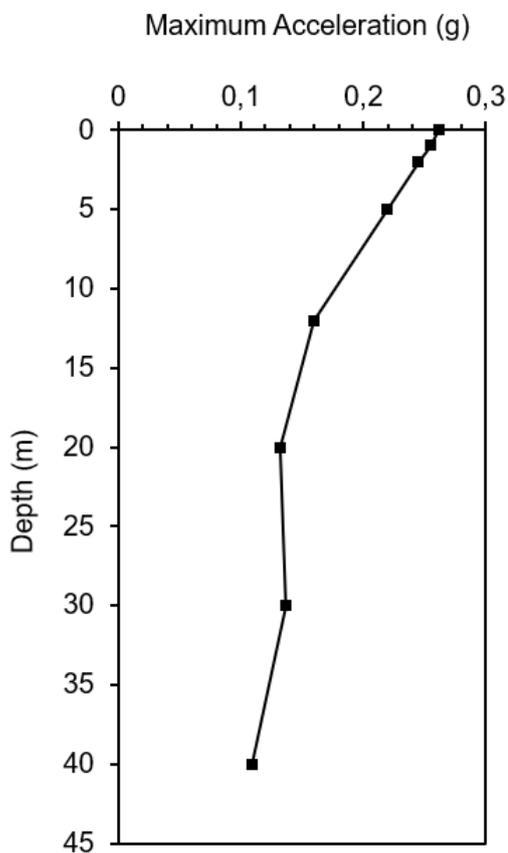
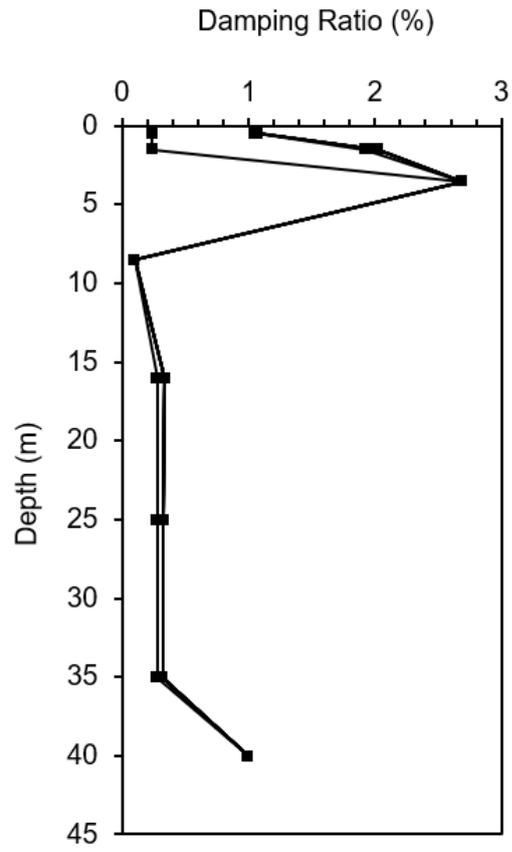
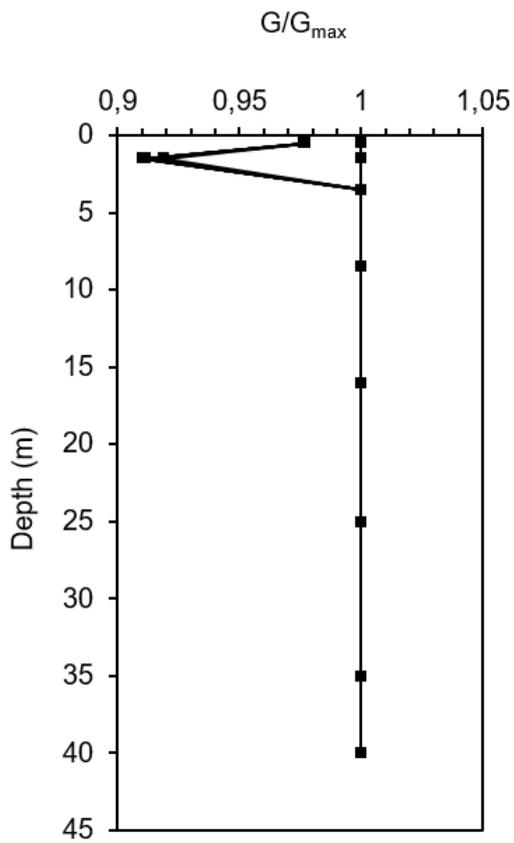


Figura 35: Risultati accelerogramma acc6



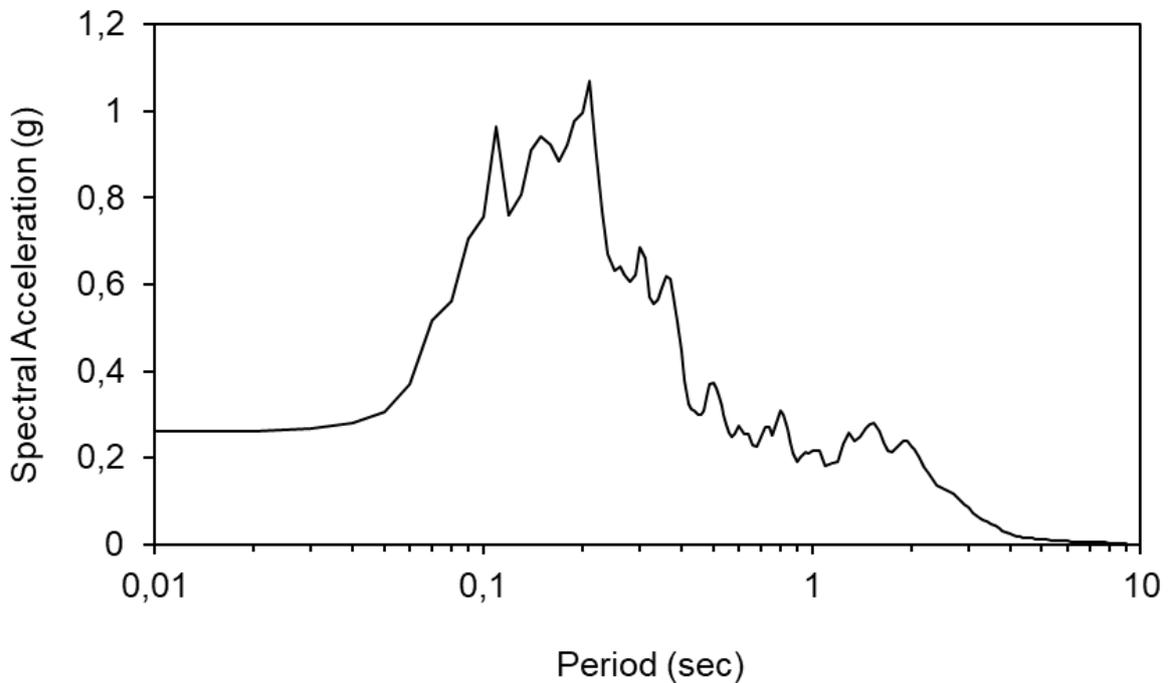
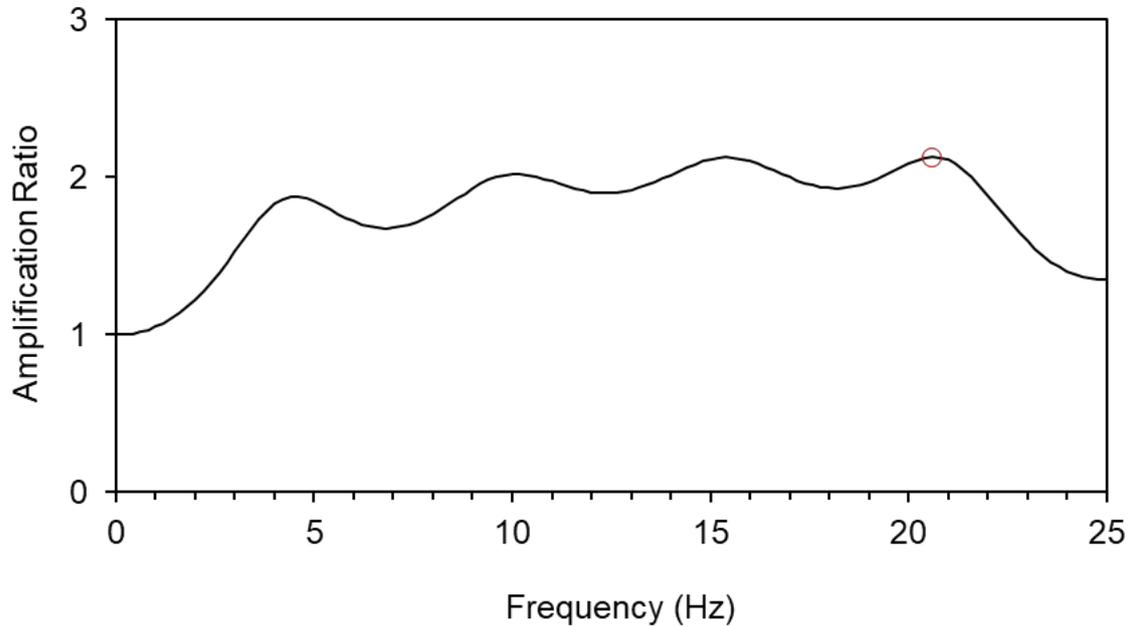
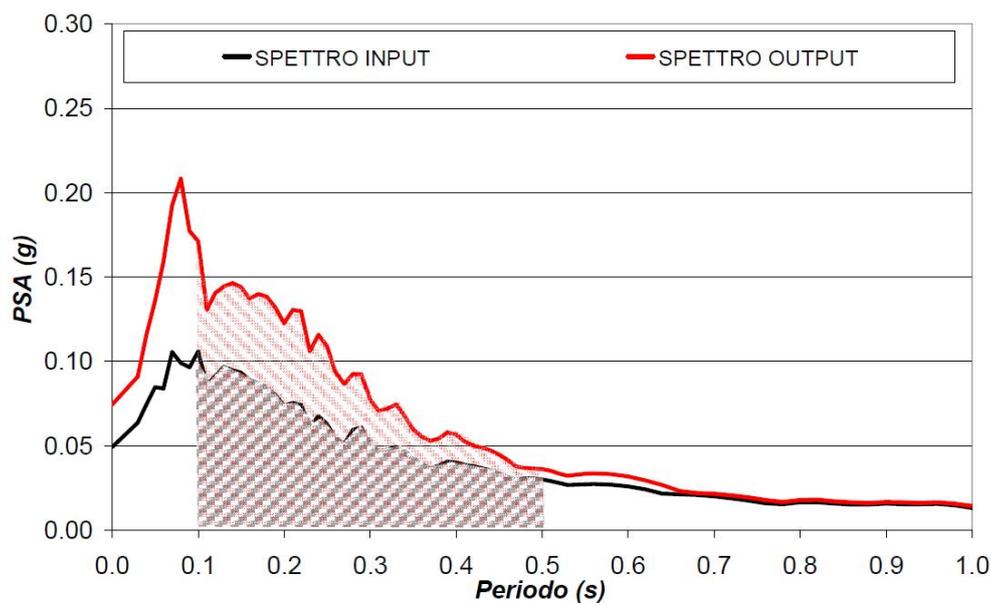


Figura 36: Risultati accelerogramma acc7

Tali risultati, ottenuti in ambito di studio di risposta sismica locale in termini di spettri di risposta elastici in accelerazione in condizioni di free-field (Output EERA), sono stati quindi confrontati con i rispettivi spettri al bedrock (Input EERA) relativi allo specifico input sismico analizzato, i quali, come detto, erano stati precedentemente individuati tramite REXEL.

Il fattore di amplificazione in accelerazione (F_H), rappresentativo della amplificazione sismica attesa, viene calcolato come rapporto tra gli integrali di Output e di Input calcolati nell'intervallo di periodo (T) compreso tra 0,1-0,5 s, considerando uno smorzamento critico (ξ) del 5%. Tale valore è stato quindi determinato secondo quanto rappresentato nella figura di seguito.



$$FH_{0.1-0.5} = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{output}(T, \xi) dT}{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{input}(T, \xi) dT}$$

Figura 37: Calcolo del fattore di amplificazione F_H

I risultati ottenuti rispetto a ciascuna area analizzata, vengono riportati nelle figure seguenti e quindi sintetizzati nella successiva tabella di calcolo del relativo valore F_H .

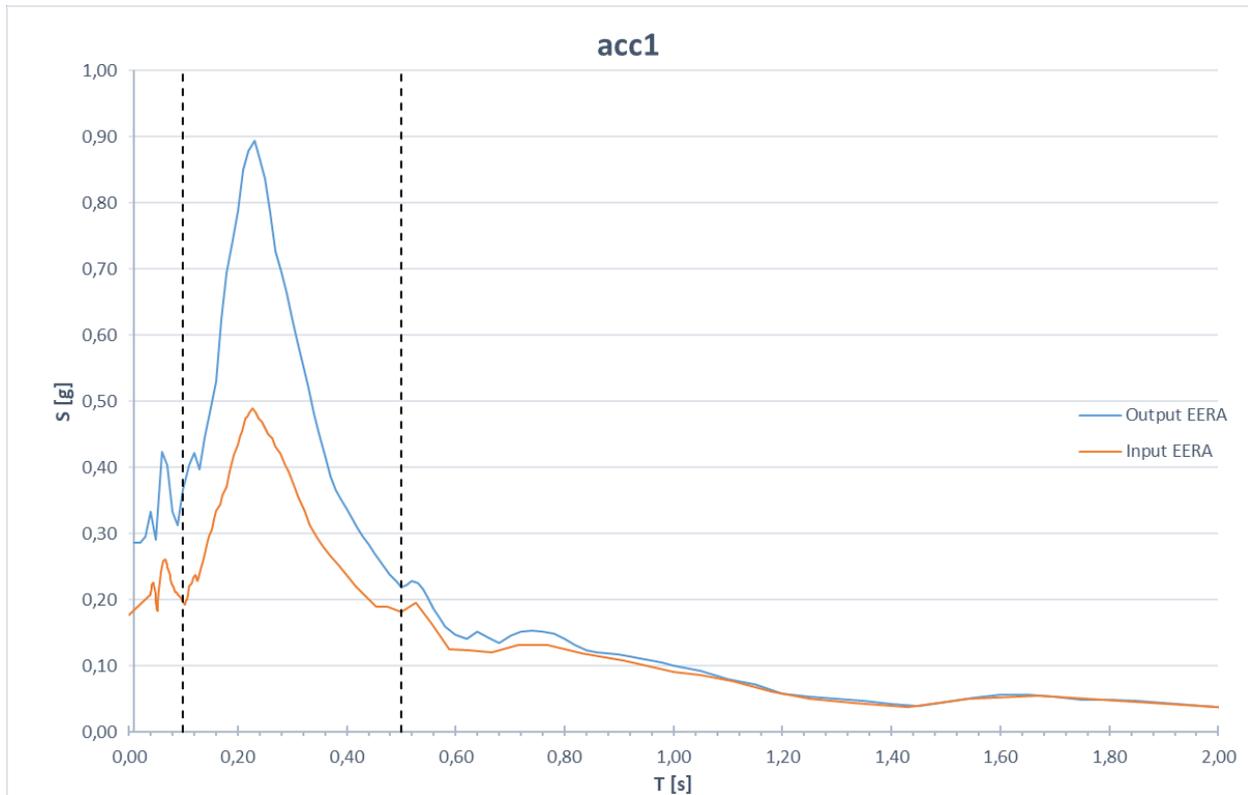


Figura 38: Spettro in accelerazione al bedrock e in free-field - $F_n=1.65$

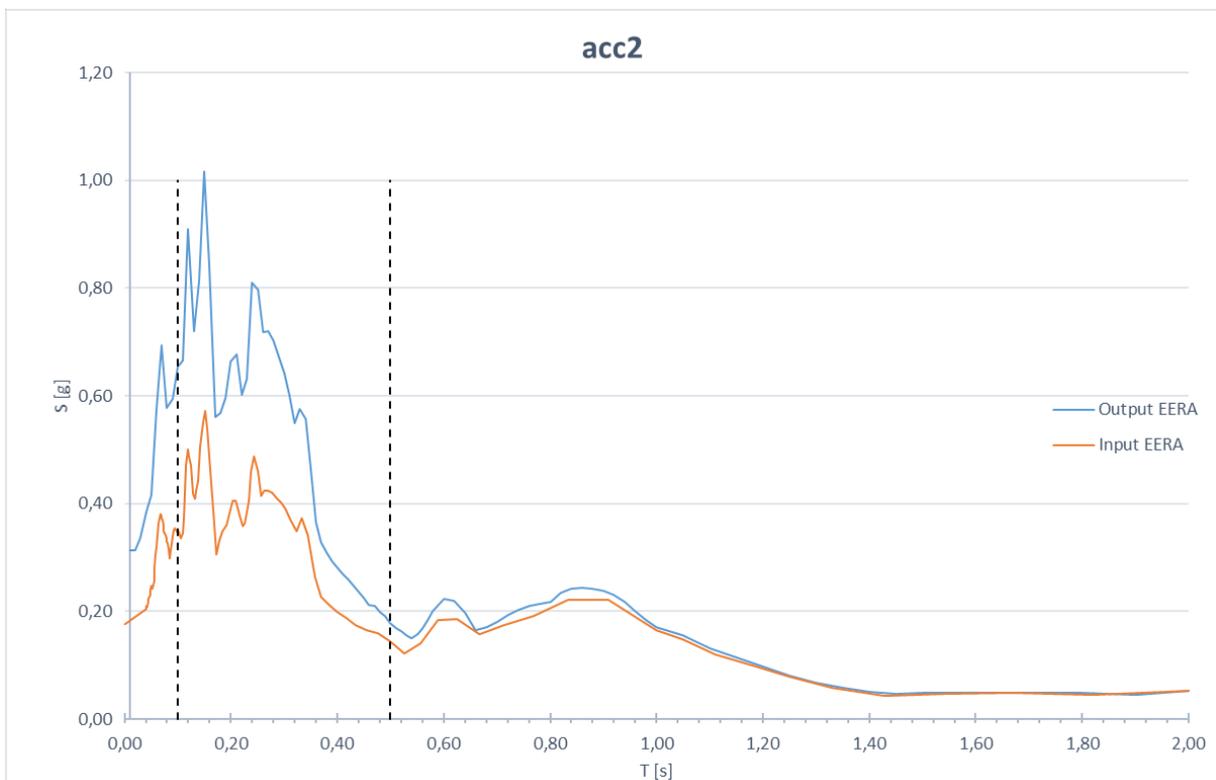


Figura 39: Spettro in accelerazione al bedrock e in free-field - $F_h=1.63$

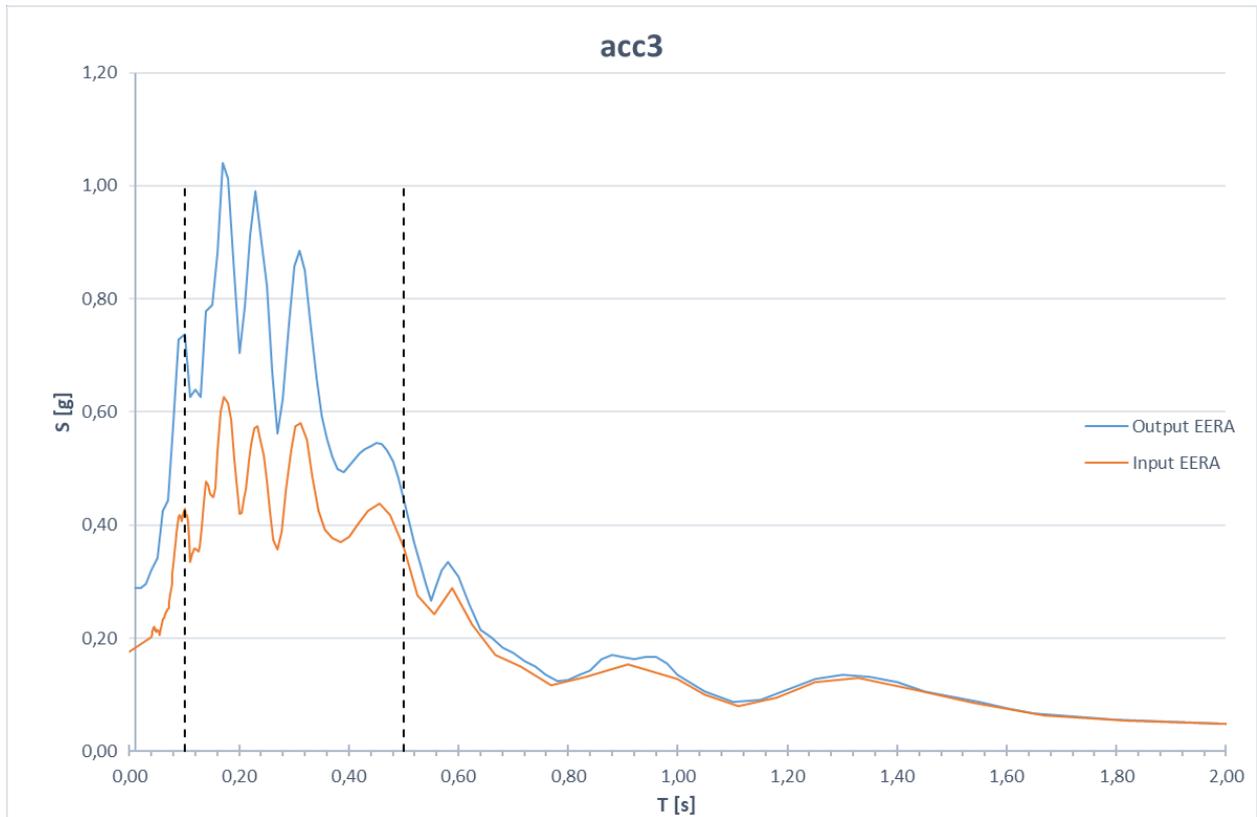


Figura 40: Spettro in accelerazione al bedrock e in free-field - Fh=1.52

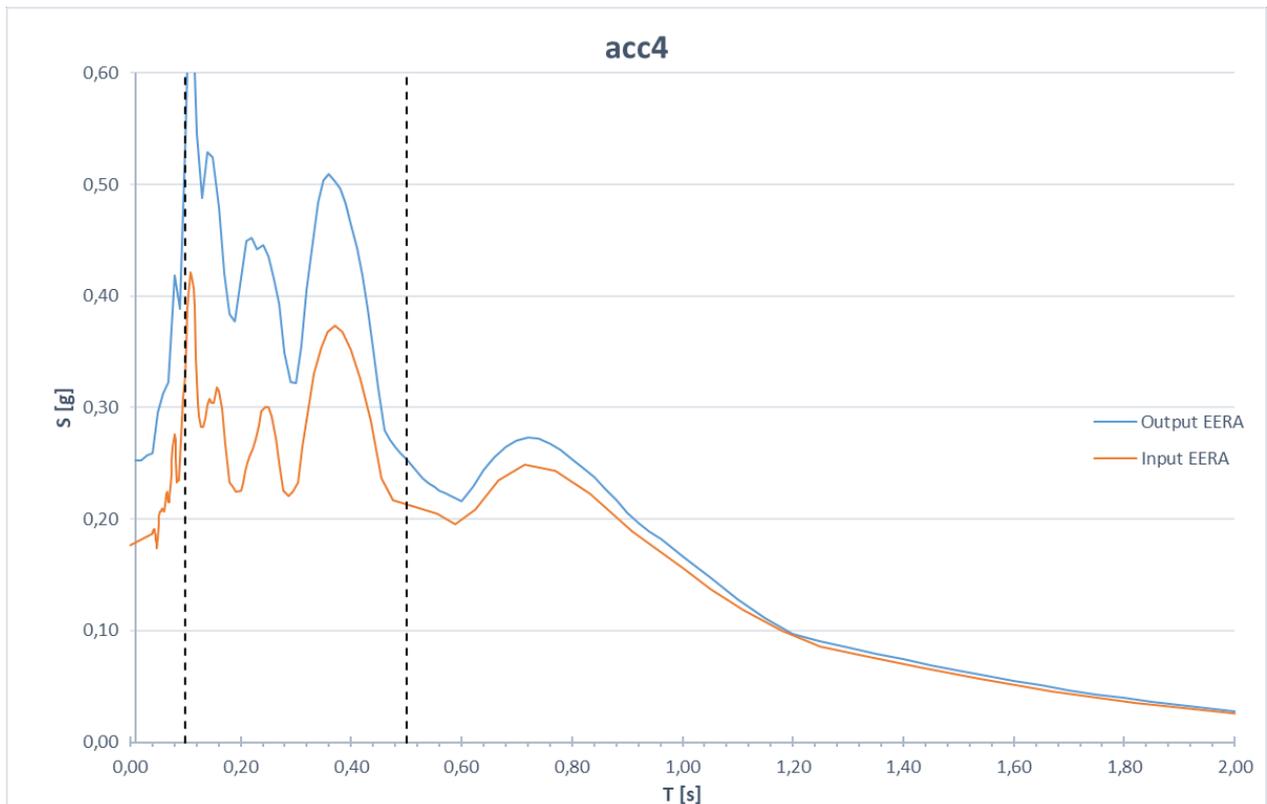


Figura 41: Spettro in accelerazione al bedrock e in free-field - Fh=1.46

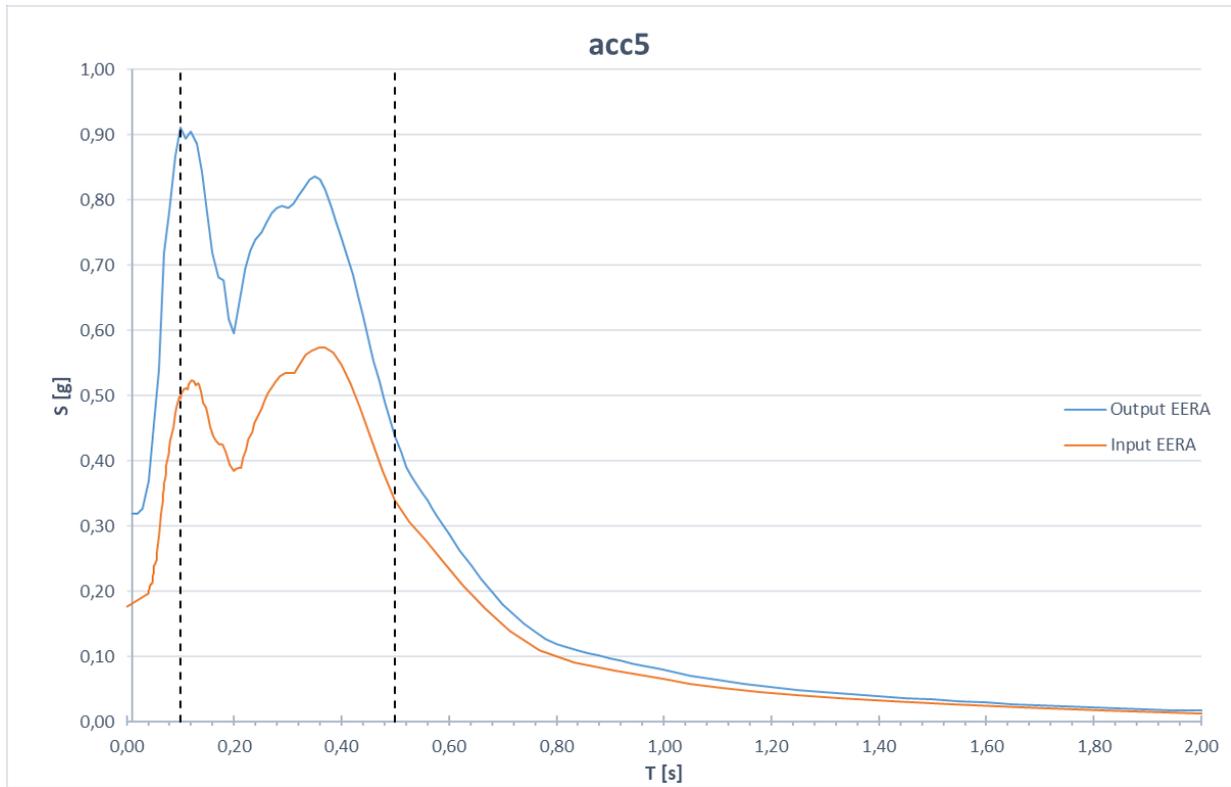


Figura 42: Spettro in accelerazione al bedrock e in free-field - Fh=1.50

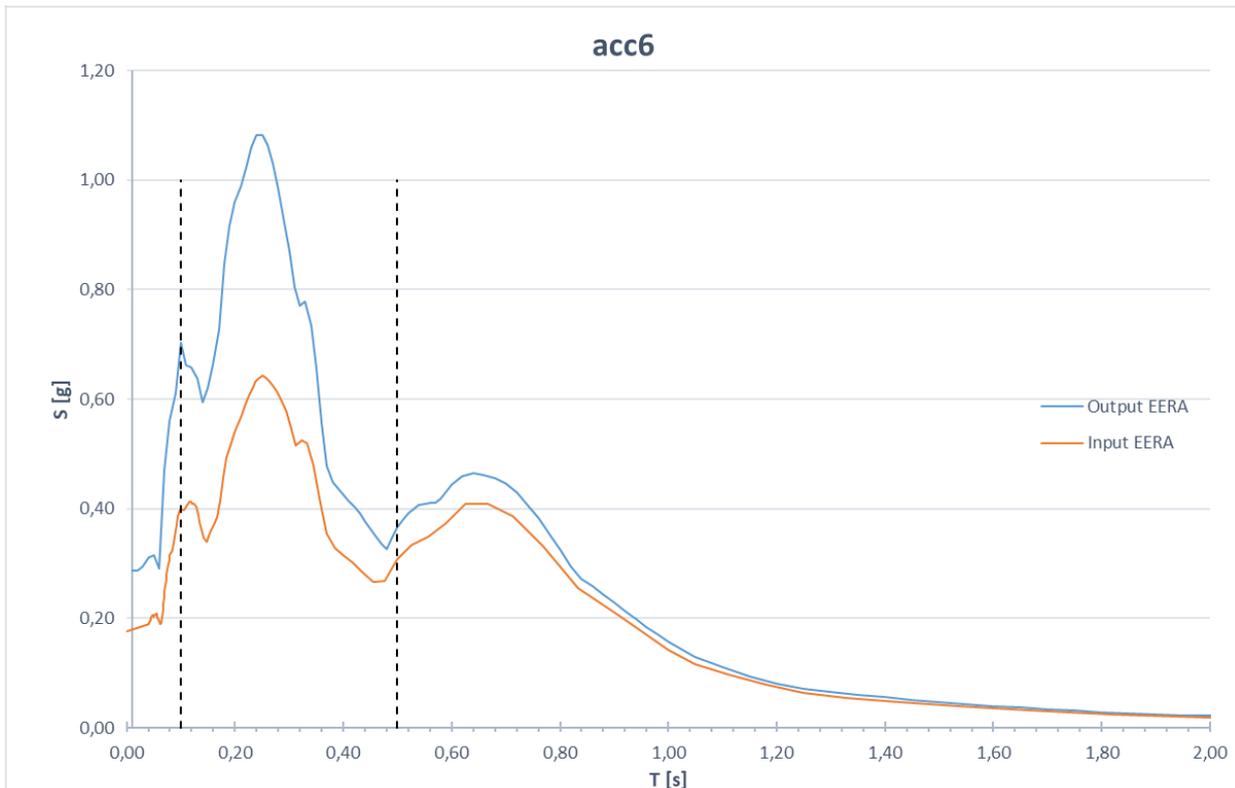


Figura 43: Spettro in accelerazione al bedrock e in free-field - Fh=1.57



Figura 44: Spettro in accelerazione al bedrock e in free-field - $F_H=1.61$

Come mostrato in **Tabella 9**, i fattori F_H ricavati dalle analisi condotte sui sette accelerogrammi variano tra il valore minimo pari a 1,46 e un massimo pari a 1,65. Il valore medio, che sarà preso in questa fase come valore di riferimento rappresentativo delle analisi, è pari a 1,56.

| Accelerogramma | rexelacc1 | rexelacc2 | rexelacc3 | rexelacc4 | rexelacc5 | rexelacc6 | rexelacc7 |
|--------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Tipologia acc. | Naturale | Naturale | Naturale | Naturale | Naturale | Naturale | Naturale |
| $F_{H_{0,1-0,5s}}$ | 1,65 | 1,63 | 1,52 | 1,46 | 1,50 | 1,57 | 1,61 |
| Valore medio | 1,56 | | | | | | |

Tabella 9: Risultati F_H

Al fine di valutare l'approccio progettuale maggiormente conservativo, i predetti risultati sono stati confrontati con il rispettivo valore del coefficiente di amplificazione ottenuto dalle NTC 18 per la categoria sottosuolo valutata in prima analisi sulla base dell'approccio semplificato delle $V_{s,eq}$, considerando spettri di risposta in forma unitaria, cioè considerando $V_N=50$ anni e $C_U=1.0$, al fine di rendere coerenti e confrontabili fra di loro i risultati ottenuti.

In base a quanto considerato al paragrafo precedente rispetto ad un approccio di tipo semplificato, riferendosi cautelativamente ai dati delle misure geofisiche relative agli studi ISMESS del 1993, rispetto ad una categoria di sottosuolo C, si ottiene un valore S_s di circa 1,45, come esposto al paragrafo precedente semplificato.

Confrontando questo risultato con quello ottenuto dalle analisi di risposta sismica locale in termini di fattore di amplificazione locale FH , è stato possibile confermare la coerenza tra il valore di amplificazione FH individuato tramite lo studio della risposta sismica locale e il coefficiente di amplificazione S_s che si ricava tramite il metodo semplificato proposto dalle NTC.

Confrontando lo spettro unitario ricavato dalle NTC per la categoria di sottosuolo B, individuata dalla $V_{s,eq}$, con i sette spettri di risposta ottenuti dall'analisi RSL si evidenzia una certa differenza tra gli spettri sia in termini grafici che numerici, tale confronto ci spinge ad affermare che il sottosuolo in esame sia più prossimo ad una **categoria C**. Oltre al confronto grafico degli spettri di risposta, anche dal punto di vista numerico il fattore di amplificazione che la normativa indica per un sottosuolo di tipo C è molto prossimo al valore medio 1,56 che deriva dalla RSL condotta.

Per concludere il confronto sugli spettri di risposta va ricordata l'importanza del coefficiente C_u che nel nostro caso è pari a 2 (Classe d'uso IV). Tale coefficiente non è mai entrato in gioco nelle analisi allo scopo di non alterare i risultati in termini di FH ma, una volta definito il coefficiente di amplificazione stratigrafica, il valore C_u , rappresentativo della Classe d'uso dell'opera in oggetto, gioca un ruolo fondamentale nell'individuazione degli spettri di risposta di progetto. In **Figura 45** si riportano i vari spettri di risposta al variare dei coefficienti C_u e S_s (Cat. A, $S_s=1$; Cat. B, $S_s=1,2$; Cat. C, $S_s=1,45$). In più, si riporta a titolo rappresentativo lo spettro di risposta free-field ottenuto da EERA per l'accelerogramma acc4.

A parità di coefficiente C_u , si può notare come lo spettro di risposta dell'accelerogramma 4, ricavato come output da EERA, superi in diversi punti lo spettro relativo alla categoria B ed approssimi in forma maggiormente cautelativa quello relativo alla categoria C, questa osservazione è valida anche per i restanti 6 accelerogrammi che non vengono riportati.

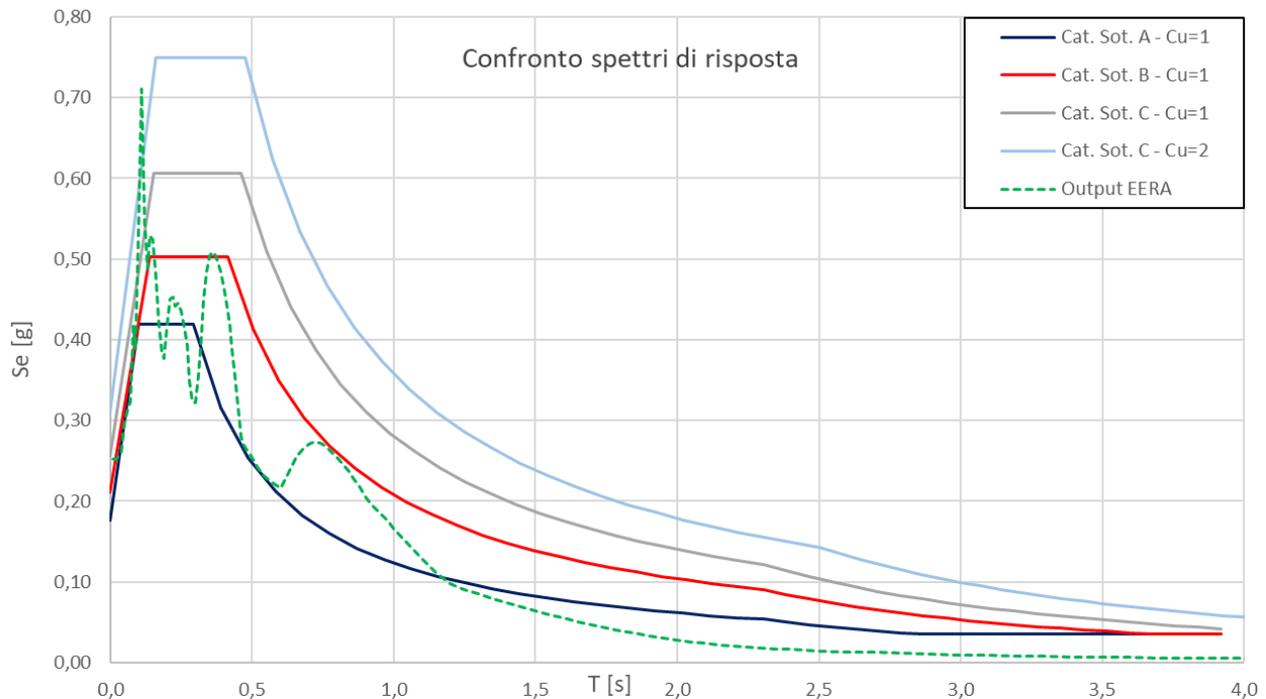


Figura 45: Spettri di risposta in accelerazione da RSL e spettri di risposta NTC

È quindi possibile concludere quindi, alla luce dei risultati dello studio di Risposta Sismica Locale, che il sottosuolo in oggetto si comporta, nei confronti dell'amplificazione dell'azione sismica, in maniera sovrapponibile alla **categoria di sottosuolo C** definita nelle NTC18. Tale analogia è riscontrabile sia qualitativamente, dalla sostanziale sovrapponibilità delle curve degli spettri di risposta, che in maniera quantitativa, alla luce dei valori dei coefficienti S_s (1,45) e F_H (1,56).

Per quanto concluso, quindi, si ritiene di dover valutare l'azione sismica di progetto cautelativamente rispetto alla **categoria di sottosuolo C**, così come definita rispetto all'approccio semplificato delle NTC 18.

Per quanto detto, si riporta di seguito l'analisi dell'azione sismica locale in conformità alle NTC 2018 (DM 17/01/18) considerando i diversi stati limite, relativi al caso specifico delle opere di Progetto.

Nella **Tabella 10** si riportano i parametri utilizzati nell'analisi dell'azione sismica locale.

Tabella 10: Parametri per l'analisi dell'azione sismica locale

| Coordinate sito | VN | Classe d'uso | CU | VR | PVR | TR | Categoria topografica |
|---------------------------------|-------------|--------------|-----|-------------|-----|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LAT 37.968147 LONG 13.749236 | ≥50 anni | IV | 2.0 | 100 anni | 5% | 1950 anni | T1 Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ |

Dove:

- VN è la vita nominale dell'opera;
- Classe d'uso e coefficiente d'uso del fabbricato;
- VR è il periodo di riferimento per l'analisi sismica ($VR = VN \cdot Cu$);
- PVR è la probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR;
- TR è il tempo di ritorno di un sisma ($TR = -VR / \ln(1 - PVR)$);

Questi dati hanno permesso di definire i siti di riferimento per la definizione della risposta sismica di base e successivamente i valori dei parametri sismici a_g , F_0 , e T_c^* , caratterizzanti le forme spettrali, elencati nella tabella seguente.

Tabella 11: Parametri di azione del sito oggetto di studio

| STATO LIMITE | Prob. Superamento [%] | T_r [anni] | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] |
|--------------|-----------------------|--------------|-----------|-----------|-------------|
| SLO | 81 | 60 | 0,070 | 2,327 | 0,266 |
| SLD | 63 | 101 | 0,092 | 2,317 | 0,274 |
| SLV | 10 | 949 | 0,226 | 2,417 | 0,308 |
| SLC | 5 | 1950 | 0,286 | 2,483 | 0,319 |

Nella **Figura 46** sono visualizzati i siti di riferimento, corrispondenti agli affioramenti reali o fittizi di sottosuolo rigido utilizzati per la risposta sismica di base.



| Sito | ID sito | LAT | LONG | Distanza [m] |
|--------|---------|---------|---------|--------------|
| Sito 1 | 45847 | 37.9847 | 13.7438 | 1805,467 |
| Sito 2 | 45848 | 37.9845 | 13.8071 | 5278,759 |
| Sito 3 | 46070 | 37.9345 | 13.8069 | 6298,187 |
| Sito 4 | 46069 | 37.9347 | 13.7437 | 3879,353 |

Figura 46: Siti di riferimento utilizzati per la risposta sismica di base

Il coefficiente di sito, calcolato considerando gli effetti dell'amplificazione stratigrafica e topografica, è il seguente:

$$S = S_s \cdot S_T$$

Per una categoria topografica T1 il coefficiente di amplificazione topografica è pari a 1,0:

$$S_T = 1,0$$

Per una categoria di sottosuolo C il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s e il coefficiente di sito C_c sono quelli espressi nella seguente **Tabella 12**.

Tabella 12: Espressioni di S_s e C_c (tab. 3.2.IV – D.M. 17 gennaio 2018)

| Categoria sottosuolo | S_s | C_c |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| A | 1,00 | 1,00 |
| B | $1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{eg}}{g} \leq 1,20$ | $1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$ |
| C | $1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{eg}}{g} \leq 1,50$ | $1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$ |
| D | $0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{eg}}{g} \leq 1,80$ | $1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$ |
| E | $1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{eg}}{g} \leq 1,60$ | $1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$ |

Di conseguenza, dopo aver determinato i fattori S_t , S_s e C_c , è stata quantificata l'accelerazione massima attesa al sito (a_{max}) attraverso la seguente espressione:

$$a_{max} = a_g \cdot S_s \cdot S_t$$

Infine, sono stati determinati i coefficienti sismici orizzontale e verticale (k_h e k_v) attraverso le seguenti espressioni:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max}$$

$$k_v = 0,5 \cdot k_h$$

Nella **Tabella 13** sono riportati tutti i valori dei coefficienti sismici ottenuti per i vari stati limiti considerati.

Tabella 13: Riepilogo dei coefficienti sismici sito specifici

| | Ss | Cc | St | Kh | Kv | a_{max} [g] | a_{max} [m/s²] | β |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------------|----------------------------------------------|----------|
| SLO | 1,500 | 1,626 | 1,0 | 0,016 | 0,008 | 0,070g | 1,030 | 0,24 |
| SLD | 1,500 | 1,609 | 1,0 | 0,021 | 0,010 | 0,091g | 1,339 | 0,24 |
| SLV | 1,372 | 1,549 | 1,0 | 0,063 | 0,031 | 0,226g | 3,041 | 0,28 |
| SLC | 1,274 | 1,532 | 1,0 | 0,080 | 0,040 | 0,286g | 3,574 | 0,28 |

Nel seguito sono riportati i parametri e gli spettri di risposta elastici per i diversi stati limite e gli spettri di progetto in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali per lo stato limite di collasso (SLC), relativo quindi alle massime sollecitazioni sismiche attingibili per il Sito.

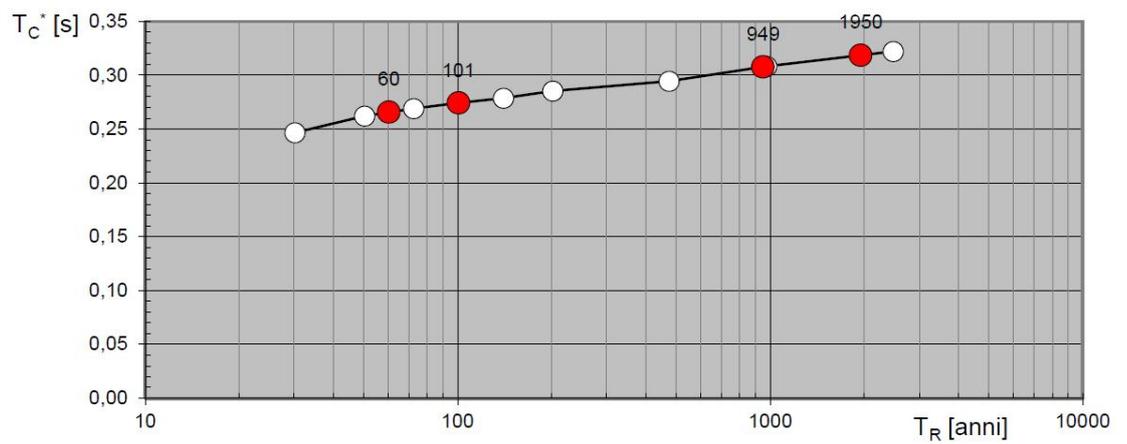
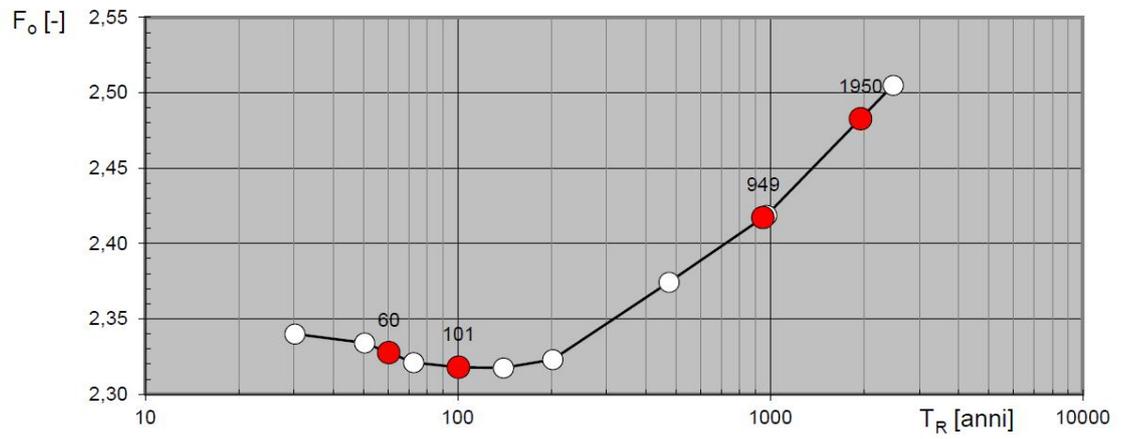
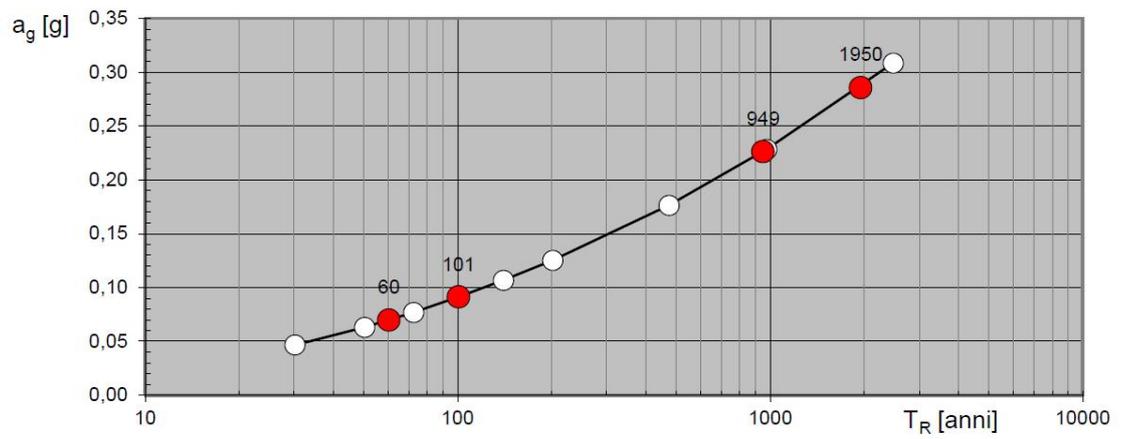


Figura 47: Parametri spettrali per i diversi stati limite

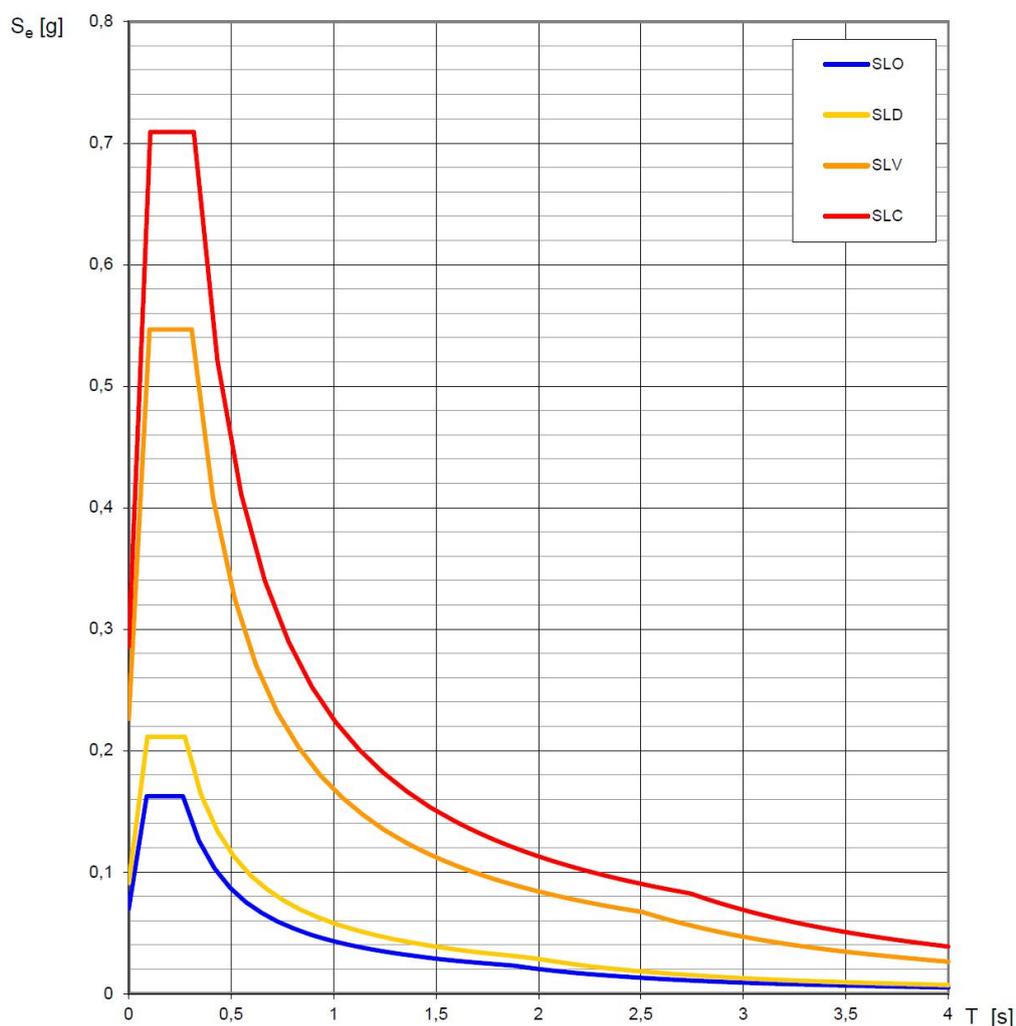


Figura 48: Spettri di risposta elastici per i diversi stati limite

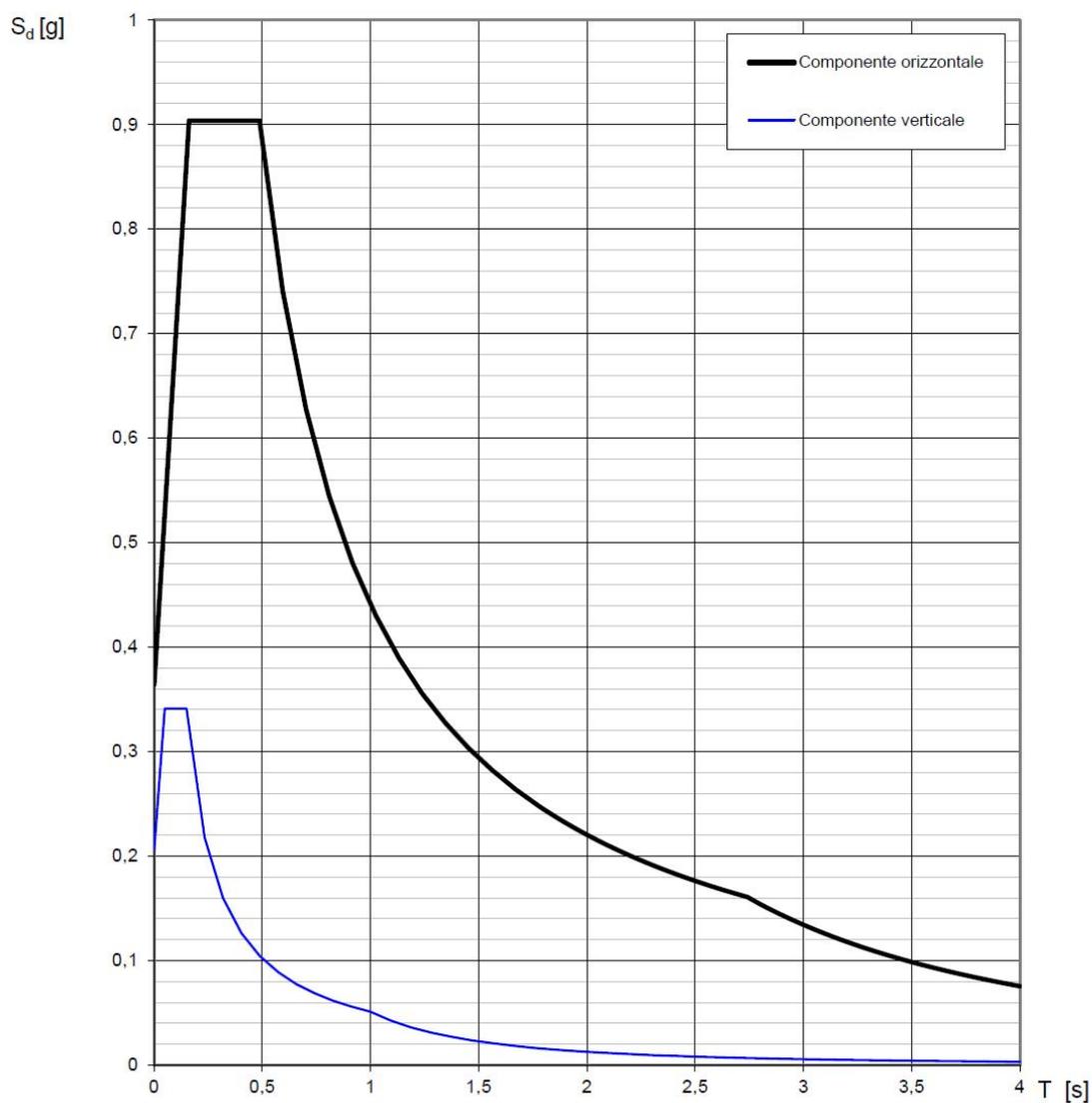


Figura 49: Spettri di risposta per lo stato limite SLC

Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLC |
|--------------|---------|
| a_g | 0,286 g |
| F_o | 2,483 |
| T_C | 0,318 s |
| S_S | 1,274 |
| C_C | 1,532 |
| S_T | 1,000 |
| q | 2,400 |

Parametri dipendenti

| | |
|--------|---------|
| S | 1,274 |
| η | 0,417 |
| T_B | 0,163 s |
| T_C | 0,488 s |
| T_D | 2,743 s |

Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

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

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

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 | 0,364 |
| T_B ← | 0,163 | 0,377 |
| T_C ← | 0,488 | 0,377 |
| | 0,595 | 0,309 |
| | 0,703 | 0,262 |
| | 0,810 | 0,227 |
| | 0,917 | 0,200 |
| | 1,025 | 0,179 |
| | 1,132 | 0,162 |
| | 1,239 | 0,148 |
| | 1,347 | 0,136 |
| | 1,454 | 0,126 |
| | 1,562 | 0,118 |
| | 1,669 | 0,110 |
| | 1,776 | 0,103 |
| | 1,884 | 0,098 |
| | 1,991 | 0,092 |
| | 2,098 | 0,088 |
| | 2,206 | 0,083 |
| | 2,313 | 0,079 |
| | 2,421 | 0,076 |
| | 2,528 | 0,073 |
| | 2,635 | 0,070 |
| T_D ← | 2,743 | 0,067 |
| | 2,803 | 0,064 |
| | 2,862 | 0,061 |
| | 2,922 | 0,059 |
| | 2,982 | 0,057 |
| | 3,042 | 0,057 |
| | 3,102 | 0,057 |
| | 3,162 | 0,057 |
| | 3,222 | 0,057 |
| | 3,282 | 0,057 |
| | 3,341 | 0,057 |
| | 3,401 | 0,057 |
| | 3,461 | 0,057 |
| | 3,521 | 0,057 |
| | 3,581 | 0,057 |
| | 3,641 | 0,057 |
| | 3,701 | 0,057 |
| | 3,761 | 0,057 |
| | 3,820 | 0,057 |
| | 3,880 | 0,057 |
| | 3,940 | 0,057 |
| | 4,000 | 0,057 |

Figura 50: Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLC

9. VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

La verifica del potenziale di liquefazione viene effettuata in conformità con quanto previsto dalla normativa (NTC 2018).

È necessario considerare che la liquefazione non può avvenire se, in linea generale, si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

- evento sismico atteso di magnitudo $M < 5$ o secondo le formule più accreditate per la relazione Magnitudo/Distanza (P. Galli, 2000 - New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction, Tectonophysics n. 324-2000);
- accelerazione massima attesa al p.c. in assenza di manufatti (free-field) minori di $0,1g$;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c., per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e dove qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 51 successive nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 52 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

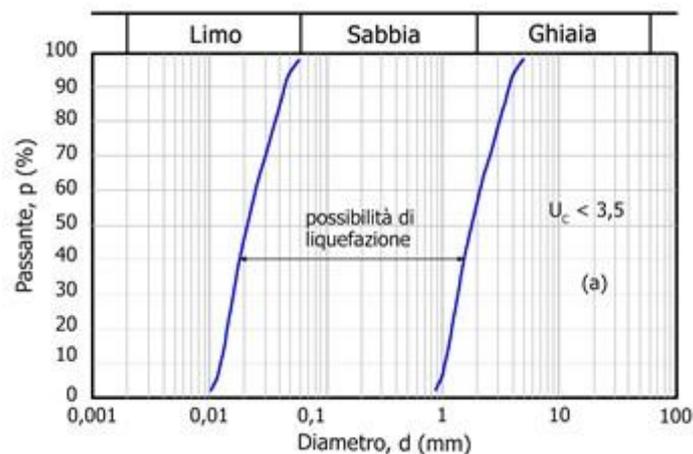


Figura 51: Fuso granulometrico per potenziale liquefazione per $U_c < 3,5$

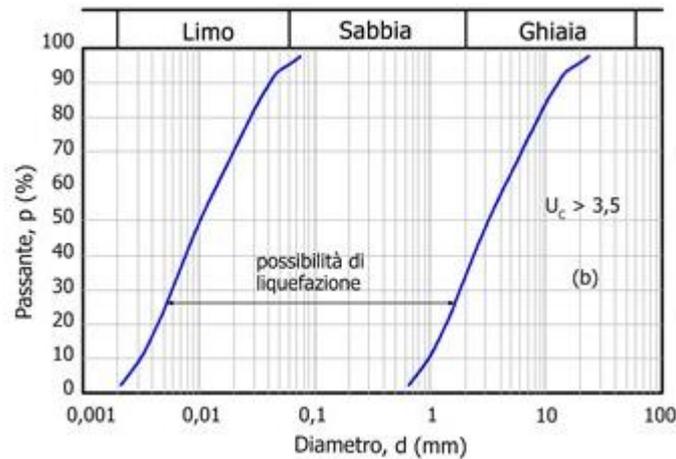


Figura 52: Fuso granulometrico per potenziale liquefazione per $U_c > 3,5$

Per le valutazioni della suscettibilità alla liquefazione sono indispensabili dati su:

- scuotimenti in superficie (in genere, in termini di accelerazione massima al suolo, PGA);
- magnitudo degli eventi attesi;
- litostratigrafia;
- granulometria;
- profondità della falda;
- resistenza dei terreni sotto carico ciclico.

Nelle verticali caratterizzate, la stima del potenziale di liquefazione può essere effettuata attraverso i classici metodi basati essenzialmente su prove CPTU e SPT, valutando il Fattore di Sicurezza di ogni strato individuato (FL). La potenziale suscettibilità a liquefazione viene valutata come segue:

- $FL < 1,25$ la liquefazione è possibile;
- $FL > 1,25$ la liquefazione è da escludere.

9.1. DEFINIZIONE DELL'INPUT SISMICO

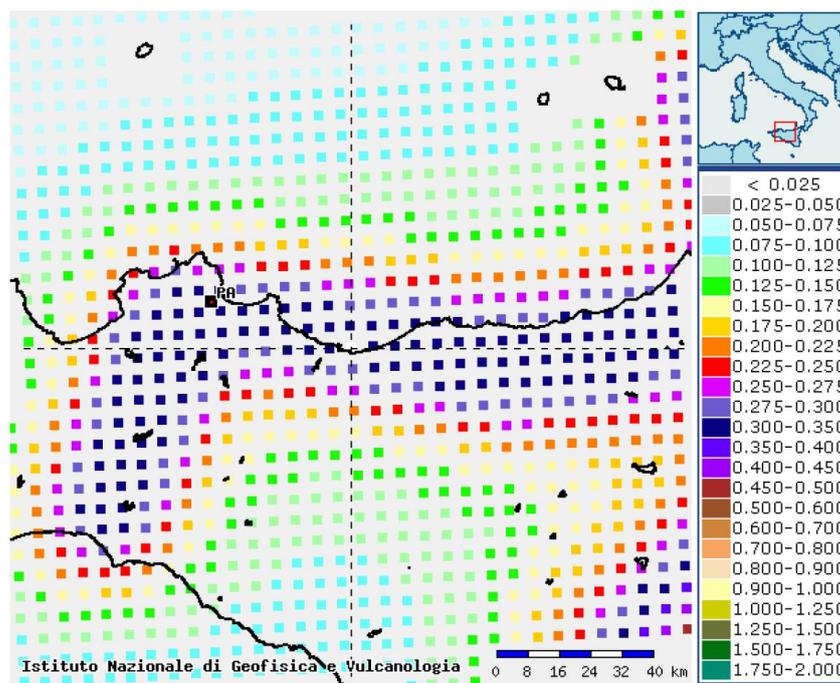
La definizione dell'input sismico in termini di magnitudo del momento sismico M_w è stata ricavata dagli studi di pericolosità sismica effettuati dall'INGV e, per una probabilità di superamento in 50 anni del 5% (equivalente allo stato limite SLV per un'opera con un coefficiente d'uso uguale a 2), risulta pari a 5,0.

Per quanto concerne la PGA, si considera il valore di 0,286g, ricavato rispetto alla categoria di sottosuolo C, considerando una VN di 50 anni, Classe d'uso IV - CU=2.0 e stato limite SLC.

Tabella 14: Tabella parametri di input per la verifica del potenziale di liquefazione

| Magnitudo sisma (M_w) | P.G.A. (a_g/g) | Profondità falda |
|---------------------------|--------------------|------------------|
| [-] | [g] | [m da p.c.] |
| 5,00 | 0,286 | 2,5 |

Si riporta di seguito l'analisi di disaggregazione del sito di Termini Imerese allo stato limite SLV secondo l'analisi delle mappe interattive di pericolosità sismica del progetto DPC-INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>.



Selezione mappa

Visualizza punti della griglia riferiti a: Parametro dello scuotimento: Probabilità in 50 anni: Percentile: Periodo spettrale (sec):

Ridisegna mappa

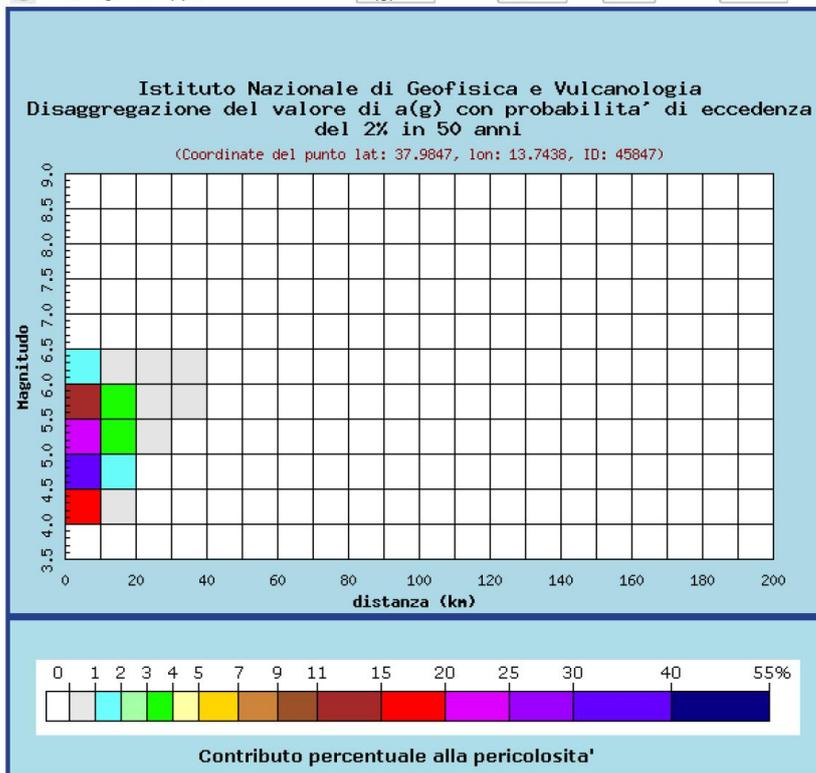


Figura 53 - Analisi disaggregazione SLC, probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni

| Distanza in km | Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 2% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 37.9847, lon: 13.7438, ID: 45847) | | | | | | | | | | |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Magnitudo | | | | | | | | | | |
| | 3.5-4.0 | 4.0-4.5 | 4.5-5.0 | 5.0-5.5 | 5.5-6.0 | 6.0-6.5 | 6.5-7.0 | 7.0-7.5 | 7.5-8.0 | 8.0-8.5 | 8.5-9.0 |
| 0-10 | 0.000 | 17.300 | 36.000 | 23.300 | 12.500 | 1.550 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 10-20 | 0.000 | 0.140 | 1.680 | 3.230 | 3.400 | 0.601 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 20-30 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.023 | 0.219 | 0.066 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 30-40 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 40-50 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 50-60 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 60-70 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 70-80 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 80-90 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 90-100 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 100-110 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 110-120 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 120-130 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 130-140 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 140-150 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 150-160 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 160-170 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 170-180 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 180-190 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 190-200 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| Valori medi | | |
|-------------|----------|---------|
| Magnitudo | Distanza | Epsilon |
| 5.000 | 5.150 | 1.240 |

Figura 54 - Analisi disaggregazione SLC, probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni

9.2. VERIFICHE A LIQUEFAZIONE

Le verifiche a liquefazione sono state condotte con metodi di tipo semplificato basati essenzialmente sui risultati di prove in sito (SPT, CPTu e Vs).

Il metodo utilizzato per la verifica a liquefazione è quello proposto dall'EC8 per le prove SPT e CPTu - (Seed e Idris, 1982). Tale metodo è basato sul concetto di rapporto tra il tensionale ciclico (CSR), che esprime il carico sismico, e di rapporto di resistenza ciclica (CRR), che esprime la capacità del terreno di resistere alla liquefazione. Il rapporto tra le due variabili, da stimare alle diverse profondità del deposito, costituisce il coefficiente di sicurezza rispetto al potenziale di liquefazione FL. I valori di CSR dipendono essenzialmente dall'entità dell'azione sismica in termini di PGA mentre il calcolo della capacità resistente in termini di CRR viene basato su dati di prove in sito tipo SPT e CPTu.

Lo studio dei dati provenienti dalle CPTU è stato svolto con l'ausilio del software Cliq v.3.0.3.4 - GeoLogismiki ed è stato utilizzato il metodo di Robertson (NCEER R&W 1998, 2009). Per quanto riguarda l'analisi dei dati delle SPT e le velocità Vs, è stato utilizzato il software LiqIT v.4.7.7.5 e sono state utilizzate le formulazioni proposte dall'Eurocodice 8.

Le verifiche sono state eseguite sulla base dei risultati delle indagini storiche, oltre che rispetto a quelle svolte nel 2020 dalla società Sidercem S.r.l., per quanto attiene



unicamente ai dati da prove SPT. Sono state prese in considerazione la totalità delle prove CPTU eseguite, le SPT svolte nel sondaggio e il profilo Vs ricavato in forma mediata rispetto alle diverse misure geofisiche disponibili.

Le verifiche sono state eseguite sulla base dei risultati della totalità delle prove SPT eseguite nell'ambito delle seguenti campagne di indagine:

- GEOMERID S.r.l., 2001;
- GEOMERID S.r.l., 2005;
- ISMES, 1989.

I risultati ottenuti in termini di indici di potenziale liquefazione sulla base delle SPT, sono in generale inferiori ai valori critici di attivazione dei fenomeni, tenuto conto complessivamente dei risultati delle analisi effettuate.

Tale scenario non viene confermato dalle analisi dei dati CPT che mostrano abbastanza univocamente a profondità comprese tra -4/-6m e -12/-14m valori di FS nei confronti della liquefazione minori dell'unità. Si ritiene pertanto di segnalare la necessità di prevedere, sulla scorta peraltro degli storici interventi di soil improvement condotti nell'ambito del sito, la valutazione di adeguati scenari di interventi finalizzati alla mitigazione dei fenomeni.

Di seguito sono riportati gli output dell'insieme delle verifiche eseguite.



Geologismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: <http://www.geologismiki.gr> - email: info@geologismiki.gr

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Enel Green Power

Project subtitle: Termini Imerese - S301

Input parameters and analysis data

| | | | |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|--------|
| In-situ data type: | Standard Penetration Test | Depth to water table: | 2.50 m |
| Analysis type: | Deterministic | Earthquake magnitude M_w : | 5.00 |
| Analysis method: | NCEER 1998 | Peak ground acceleration: | 0.29 g |
| Fines correction method: | Idriss & Seed | User defined F.S.: | 1.25 |

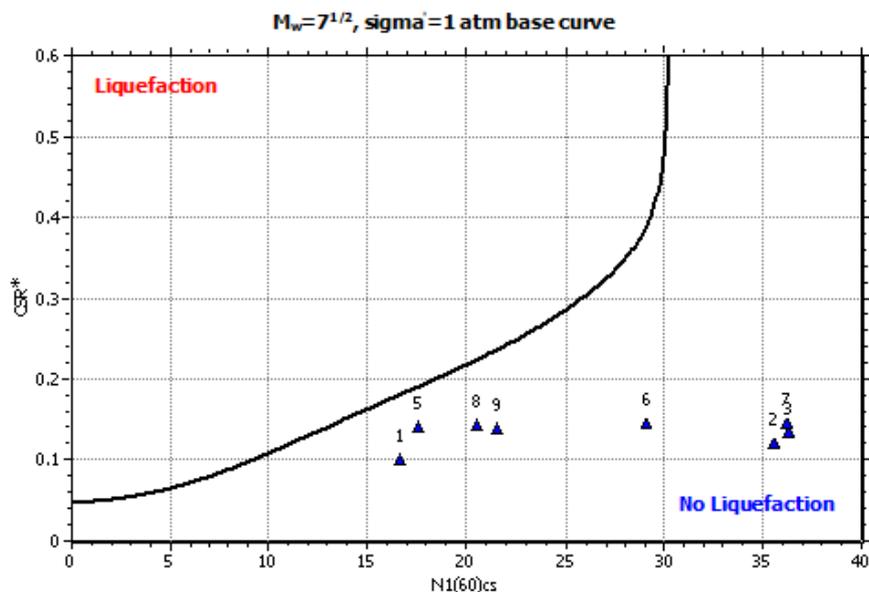
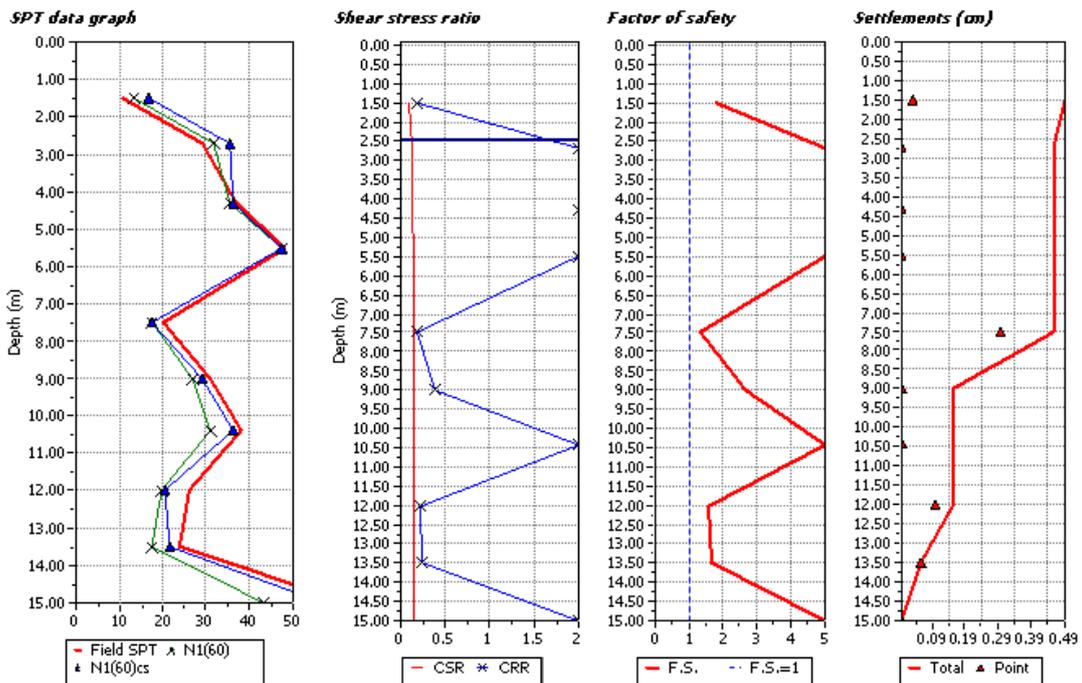


Figura 55: Verifica a liquefazione S301



GeoLogismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: <http://www.geologismiki.gr> - email: info@geologismiki.gr

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Enel Green Power

Project subtitle : Termini Imerese - S302

Input parameters and analysis data

| | | | |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|--------|
| In-situ data type: | Standard Penetration Test | Depth to water table: | 2.50 m |
| Analysis type: | Deterministic | Earthquake magnitude M_w : | 5.00 |
| Analysis method: | NCEER 1998 | Peak ground acceleration: | 0.29 g |
| Fines correction method: | Idriss & Seed | User defined F.S.: | 1.25 |

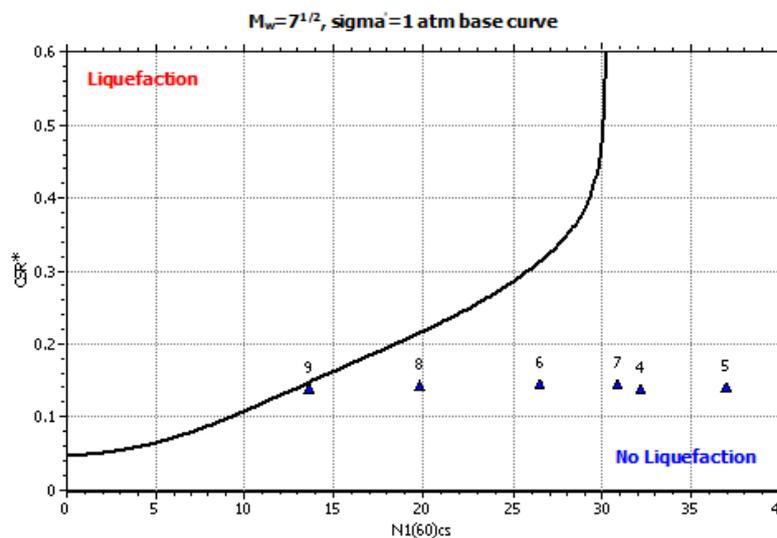
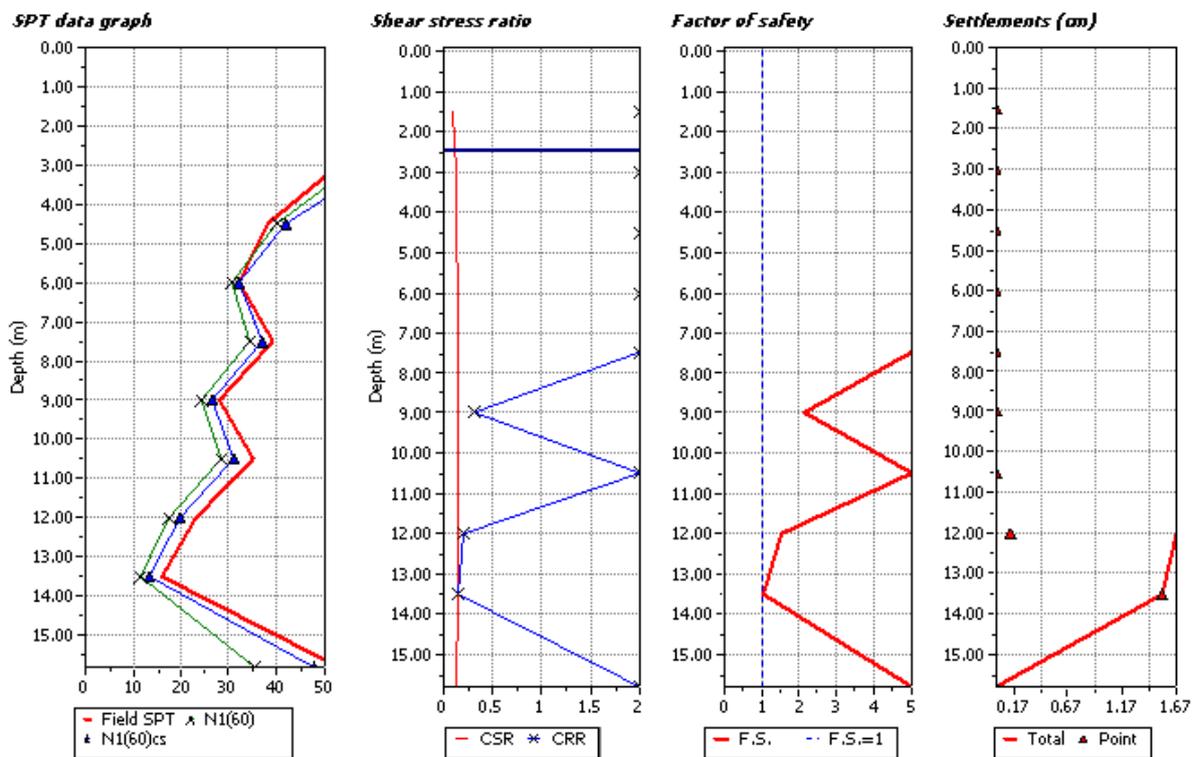


Figura 56: Verifica a liquefazione S302



GeoLogismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: <http://www.geologismiki.gr> - email: info@geologismiki.gr

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Enel Green Power

Project subtitle : Termini Imerese - S401

Input parameters and analysis data

| | | | |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|--------|
| In-situ data type: | Standard Penetration Test | Depth to water table: | 2.50 m |
| Analysis type: | Deterministic | Earthquake magnitude M_w : | 5.00 |
| Analysis method: | NCEER 1998 | Peak ground acceleration: | 0.29 g |
| Fines correction method: | Idriss & Seed | User defined F.S.: | 1.25 |

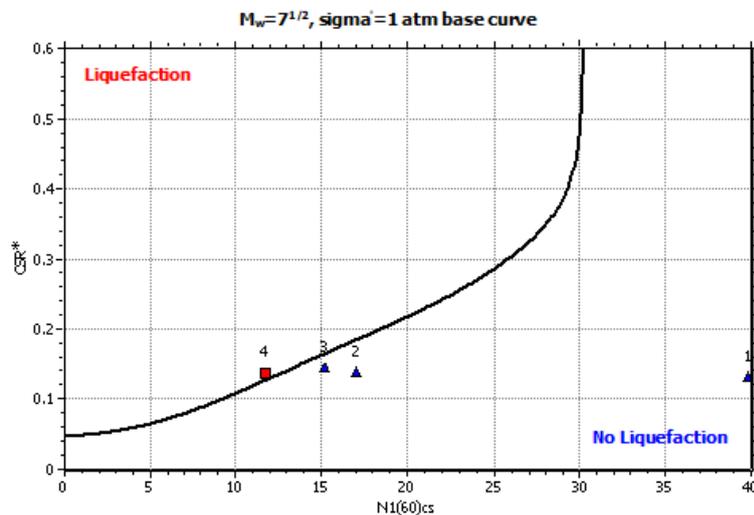
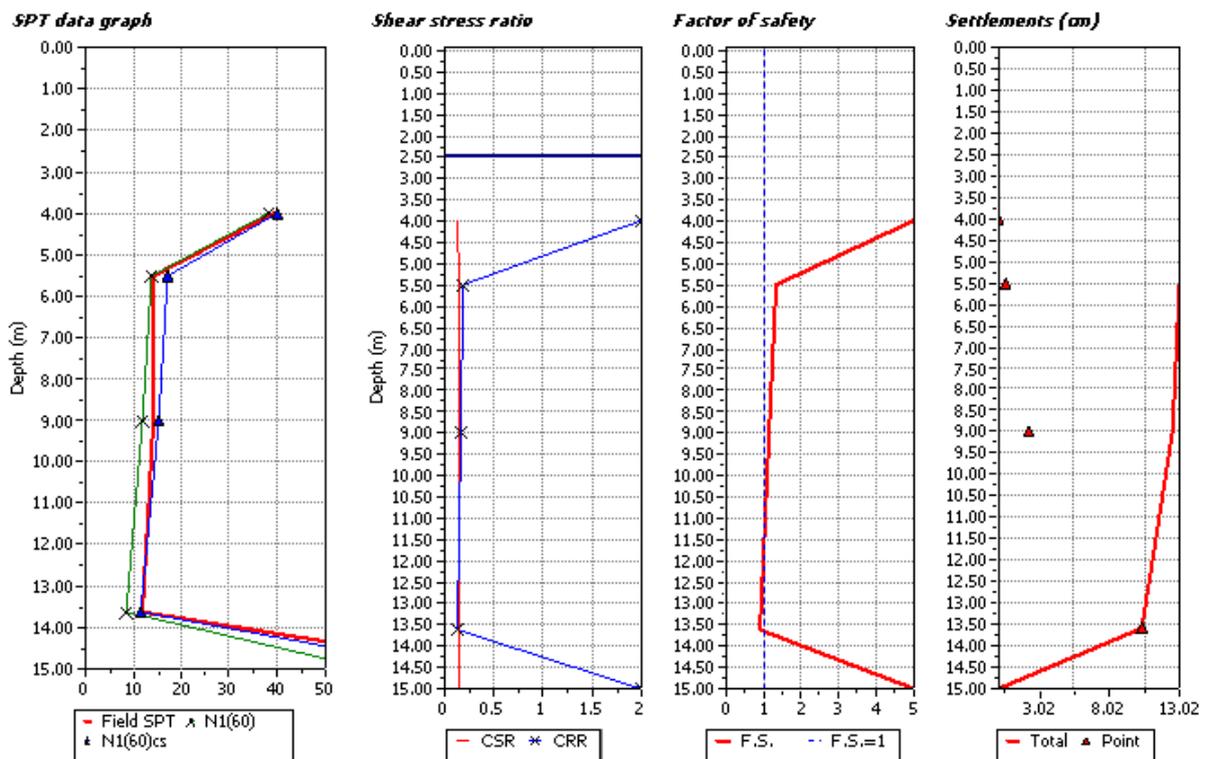


Figura 57: Verifica a liquefazione S401



Geologismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: <http://www.geologismiki.gr> - email: info@geologismiki.gr

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

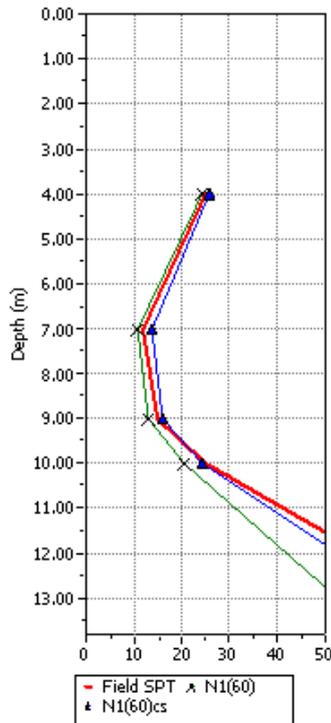
Project title : Enel Green Power

Project subtitle : Termini Imerese - S402

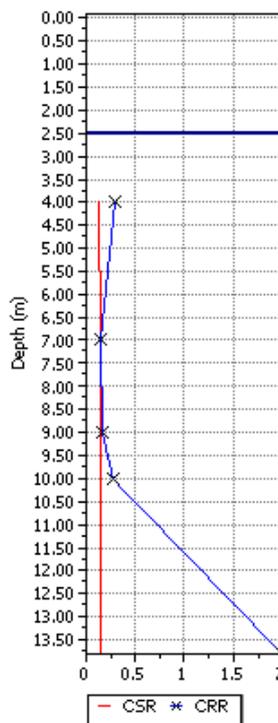
Input parameters and analysis data

| | | | |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|--------|
| In-situ data type: | Standard Penetration Test | Depth to water table: | 2.50 m |
| Analysis type: | Deterministic | Earthquake magnitude M_w : | 5.00 |
| Analysis method: | NCEER 1998 | Peak ground acceleration: | 0.29 g |
| Fines correction method: | Idriss & Seed | User defined F.S.: | 1.25 |

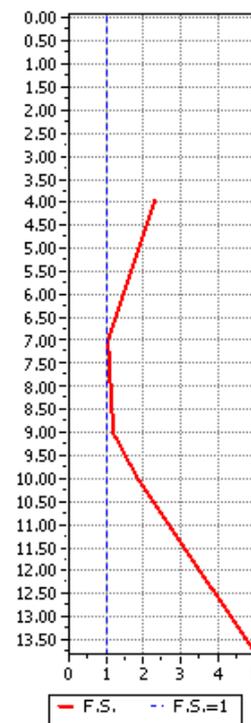
SPT data graph



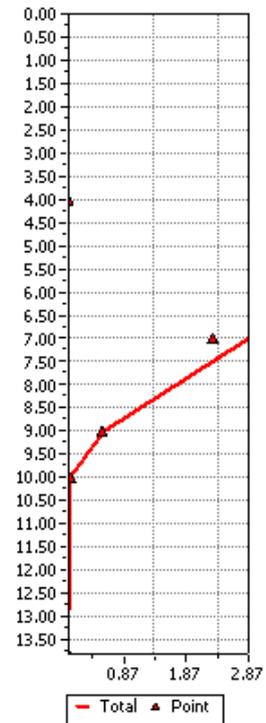
Shear stress ratio



Factor of safety



Settlements (cm)



$M_w=7^{1/2}$, $\sigma_v=1$ atm base curve

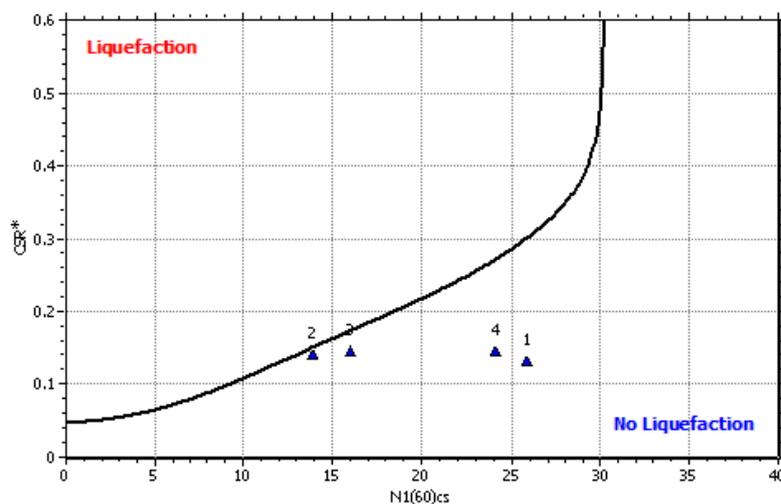


Figura 58: Verifica a liquefazione S402



Geologismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: <http://www.geologismiki.gr> - email: info@geologismiki.gr

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Enel Green Power

Project subtitle: Termini Imerese - S403

Input parameters and analysis data

| | | | |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|--------|
| In-situ data type: | Standard Penetration Test | Depth to water table: | 2.50 m |
| Analysis type: | Deterministic | Earthquake magnitude M_w : | 5.00 |
| Analysis method: | NCEER 1998 | Peak ground acceleration: | 0.29 g |
| Fines correction method: | Idriss & Seed | User defined F.S.: | 1.25 |

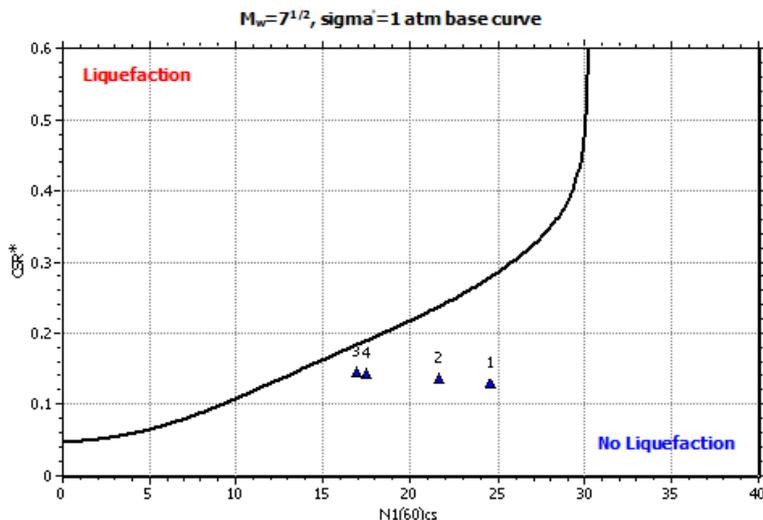
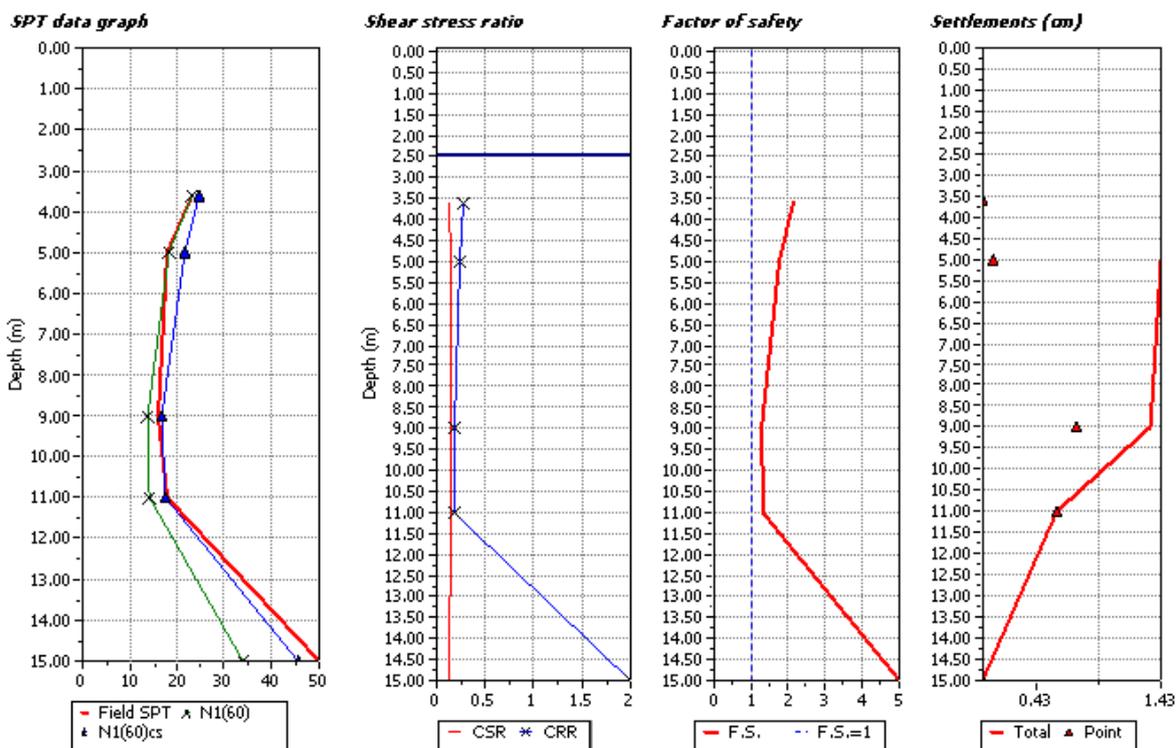


Figura 59: Verifica a liquefazione S403



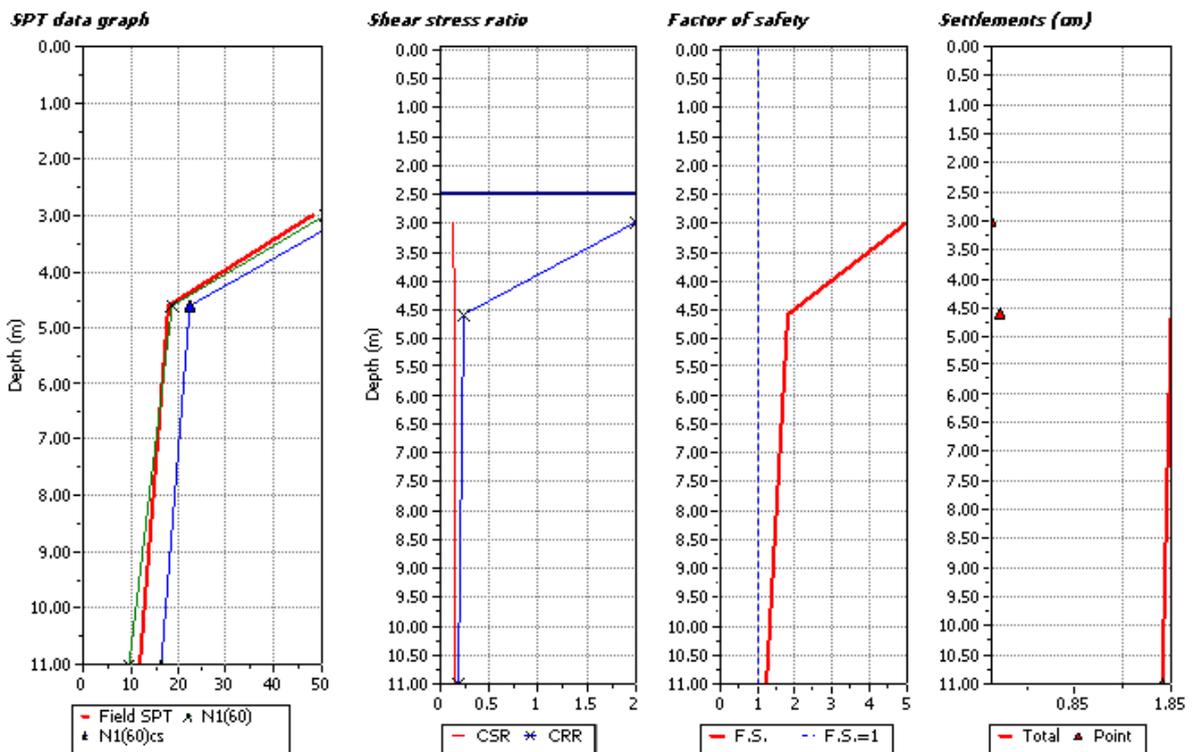
GeoLogismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: <http://www.geologismiki.gr> - email: info@geologismiki.gr

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Enel Green Power
Project subtitle : Termini Imerese - S103

Input parameters and analysis data

| | | | |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|--------|
| In-situ data type: | Standard Penetration Test | Depth to water table: | 2.50 m |
| Analysis type: | Deterministic | Earthquake magnitude M_w : | 5.00 |
| Analysis method: | NCEER 1998 | Peak ground acceleration: | 0.29 g |
| Fines correction method: | Idriss & Seed | User defined F.S.: | 1.25 |



$M_w=7^{1/2}$, $\sigma'_v=1$ atm base curve

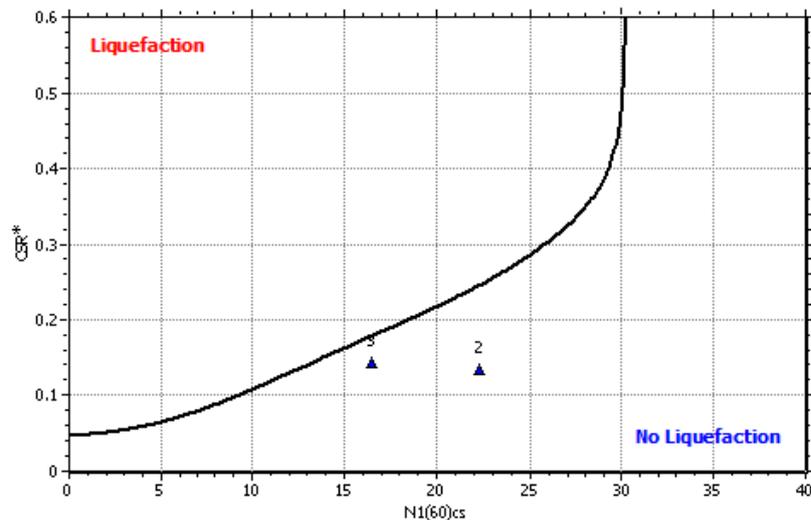


Figura 60: Verifica a liquefazione S103



GeoLogismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: <http://www.geologismiki.gr> - email: info@geologismiki.gr

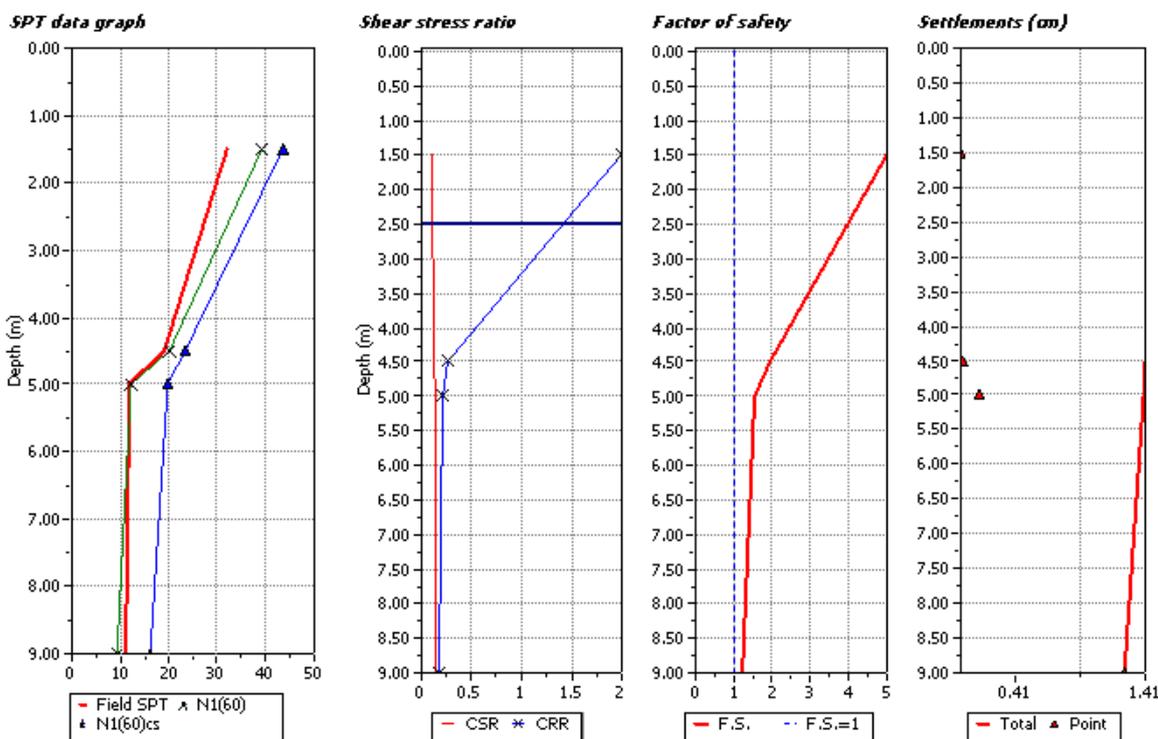
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Enel Green Power

Project subtitle : Termini Imerese - S104

Input parameters and analysis data

| | | | |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|--------|
| In-situ data type: | Standard Penetration Test | Depth to water table: | 2.50 m |
| Analysis type: | Deterministic | Earthquake magnitude M_w : | 5.00 |
| Analysis method: | NCEER 1998 | Peak ground acceleration: | 0.29 g |
| Fines correction method: | Idriss & Seed | User defined F.S.: | 1.25 |



$M_w=7^{1/2}$, $\sigma'_a=1$ atm base curve

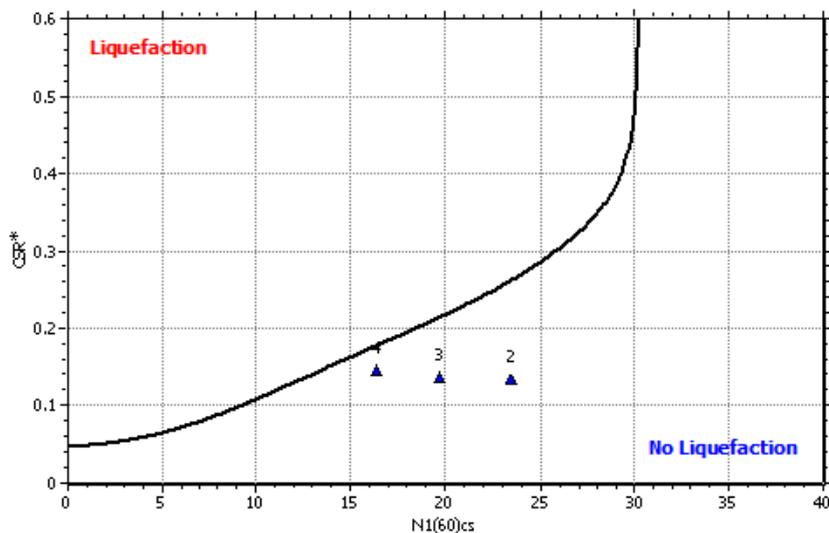


Figura 61: Verifica a liquefazione S104



GeoLogismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: <http://www.geologismiki.gr> - email: info@geologismiki.gr

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Enel Green Power

Project subtitle : Termini Imerese - S105

Input parameters and analysis data

| | | | |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|--------|
| In-situ data type: | Standard Penetration Test | Depth to water table: | 2.50 m |
| Analysis type: | Deterministic | Earthquake magnitude M_w : | 5.00 |
| Analysis method: | NCEER 1998 | Peak ground acceleration: | 0.29 g |
| Fines correction method: | Idriss & Seed | User defined F.S.: | 1.25 |

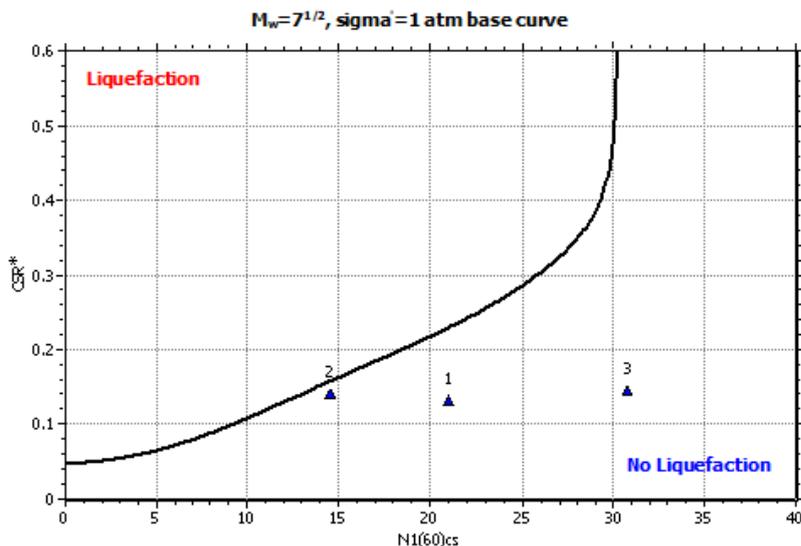
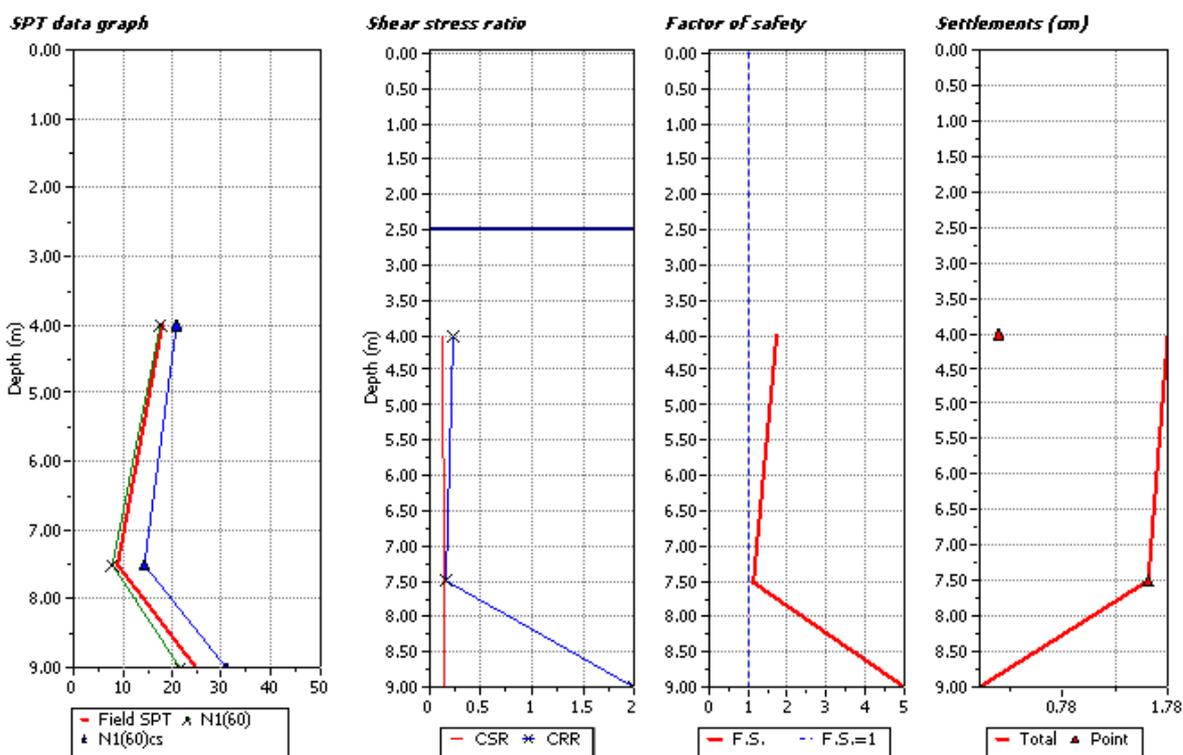


Figura 62: Verifica a liquefazione S105



Geologismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: <http://www.geologismiki.gr> - email: info@geologismiki.gr

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Enel Green Power

Project subtitle : Termini Imerese - S201

Input parameters and analysis data

| | | | |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|--------|
| In-situ data type: | Standard Penetration Test | Depth to water table: | 2.50 m |
| Analysis type: | Deterministic | Earthquake magnitude M_w : | 5.00 |
| Analysis method: | NCEER 1998 | Peak ground acceleration: | 0.29 g |
| Fines correction method: | Idriss & Seed | User defined F.S.: | 1.25 |

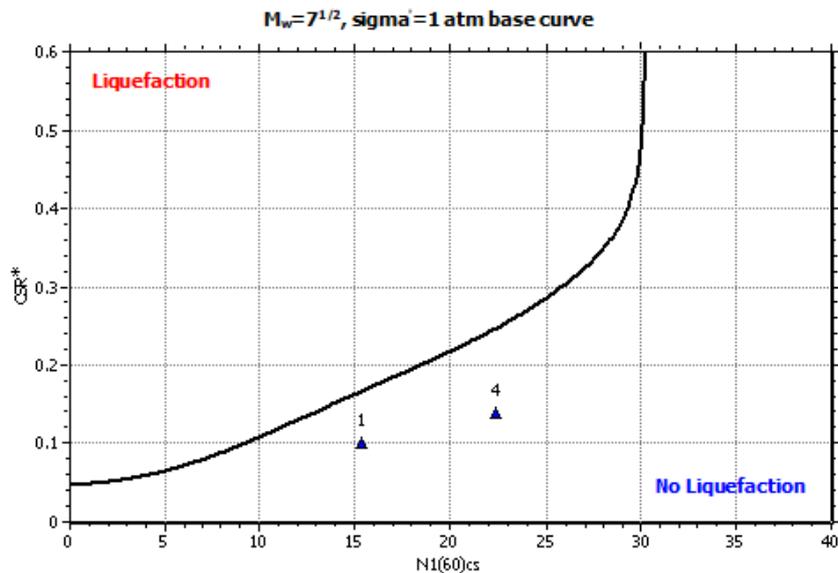
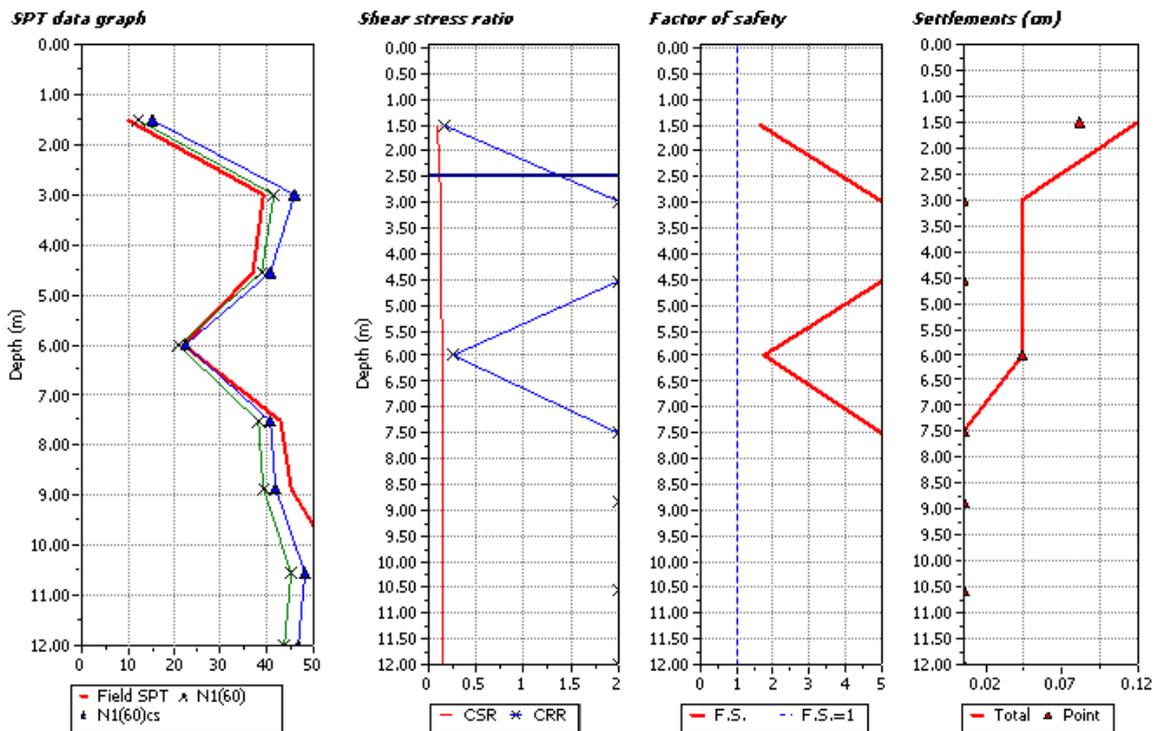


Figura 63: Verifica a liquefazione S201



Geologismiki
Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece
url: <http://www.geologismiki.gr> - email: info@geologismiki.gr

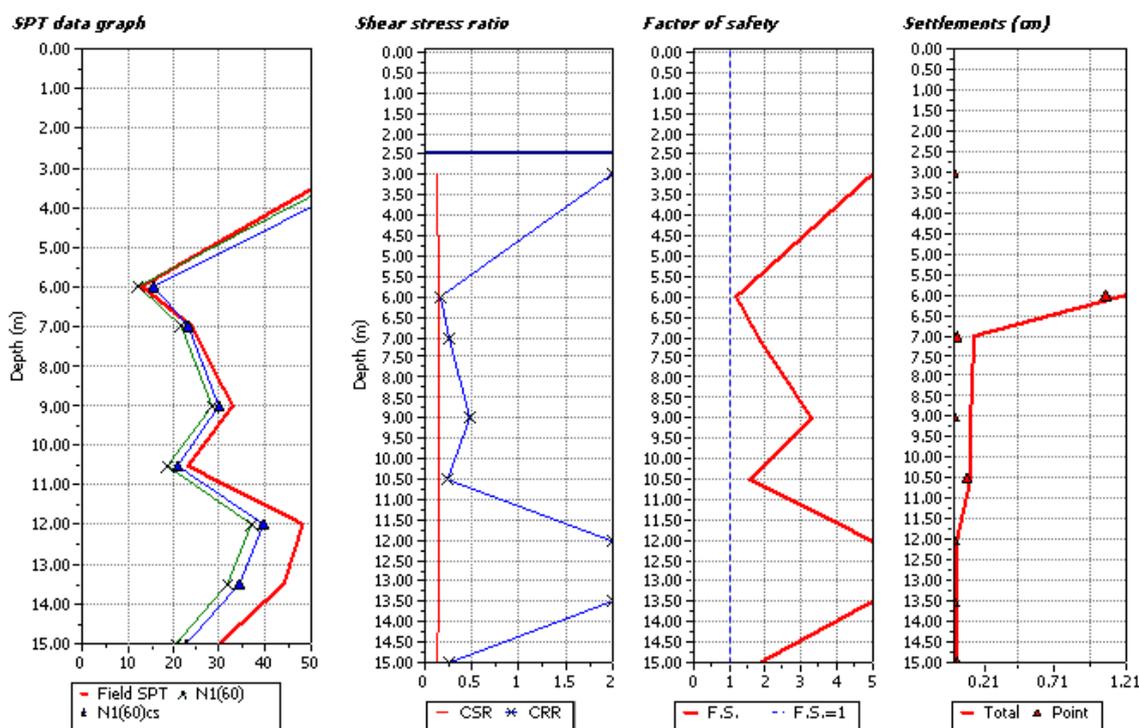
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Enel Green Power

Project subtitle : Termini Imerese - S202

Input parameters and analysis data

| | | | |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------|--------|
| In-situ data type: | Standard Penetration Test | Depth to water table: | 2.50 m |
| Analysis type: | Deterministic | Earthquake magnitude M_w : | 5.00 |
| Analysis method: | NCEER 1998 | Peak ground acceleration: | 0.29 g |
| Fines correction method: | Idriss & Seed | User defined F.S.: | 1.25 |



$M_w=7^{1/2}$, $\sigma'_v=1$ atm base curve

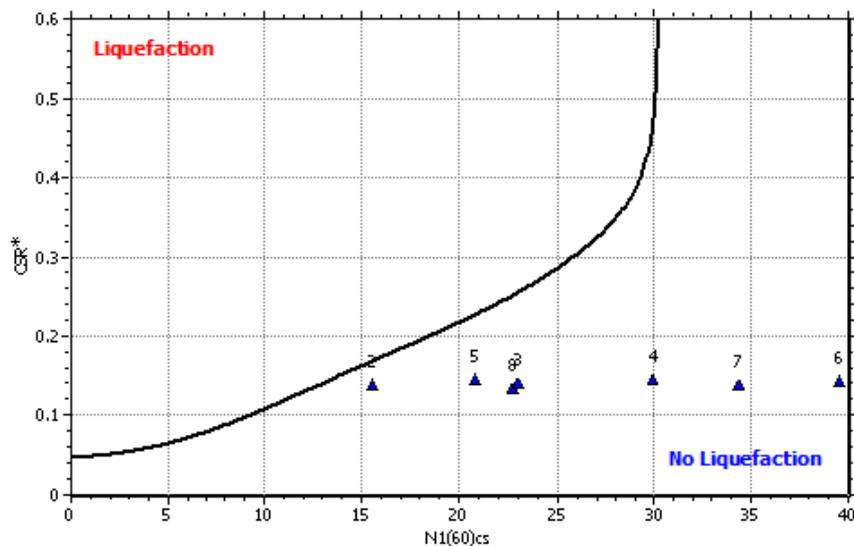


Figura 64: Verifica a liquefazione S202

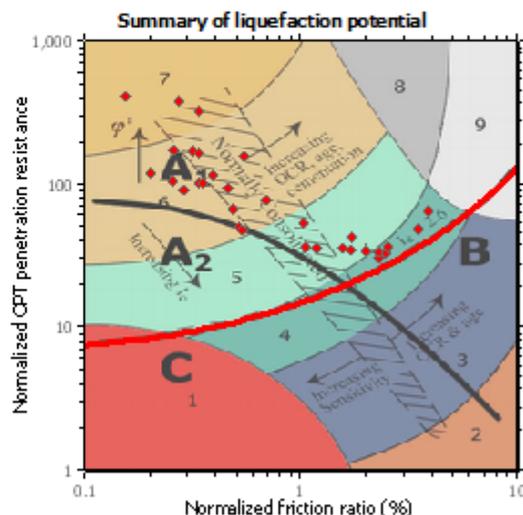
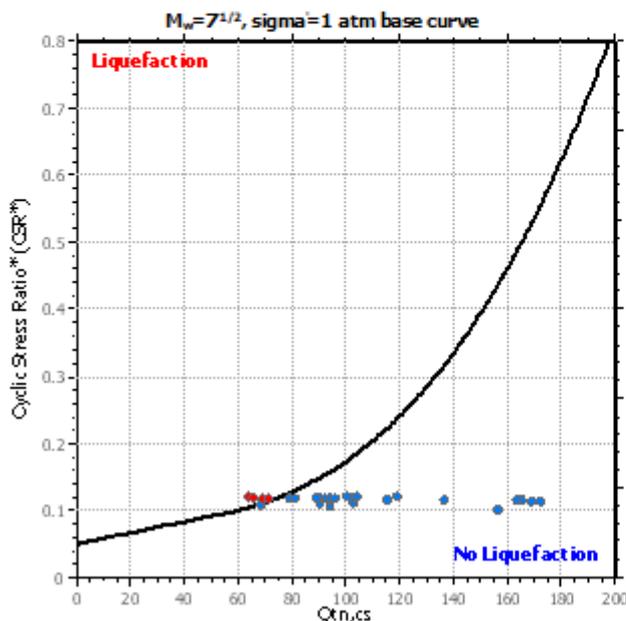
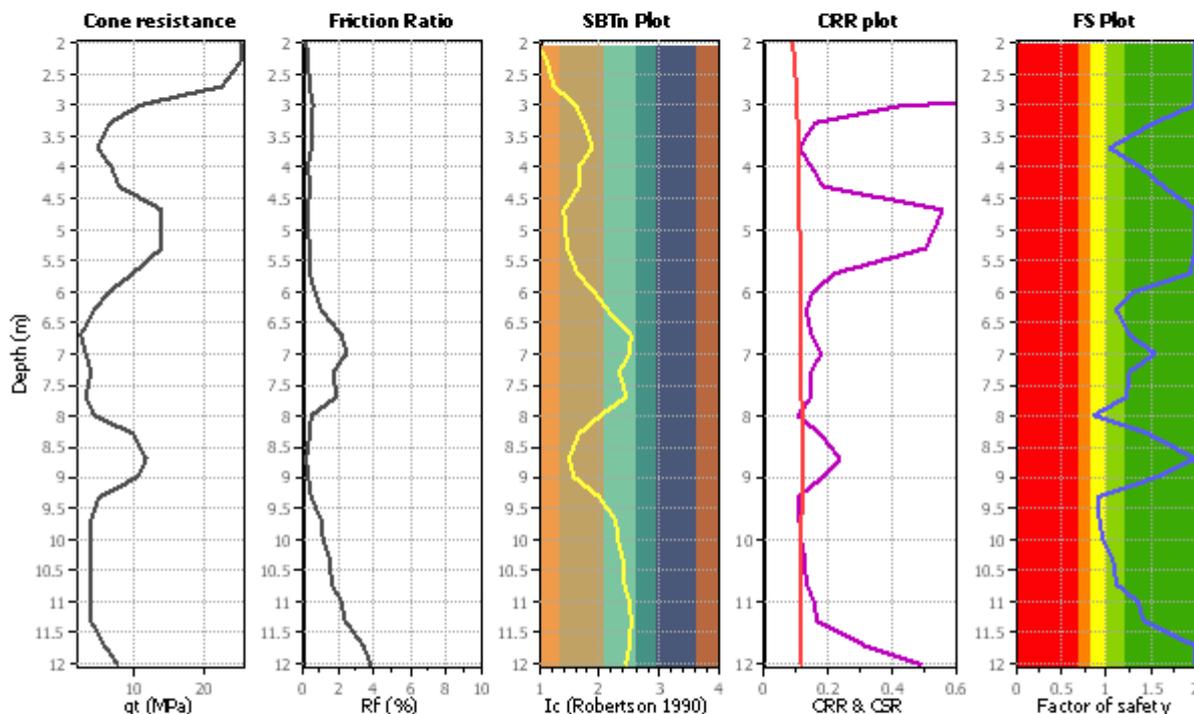
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Location :

CPT file: CPT101

Input parameters and analysis data

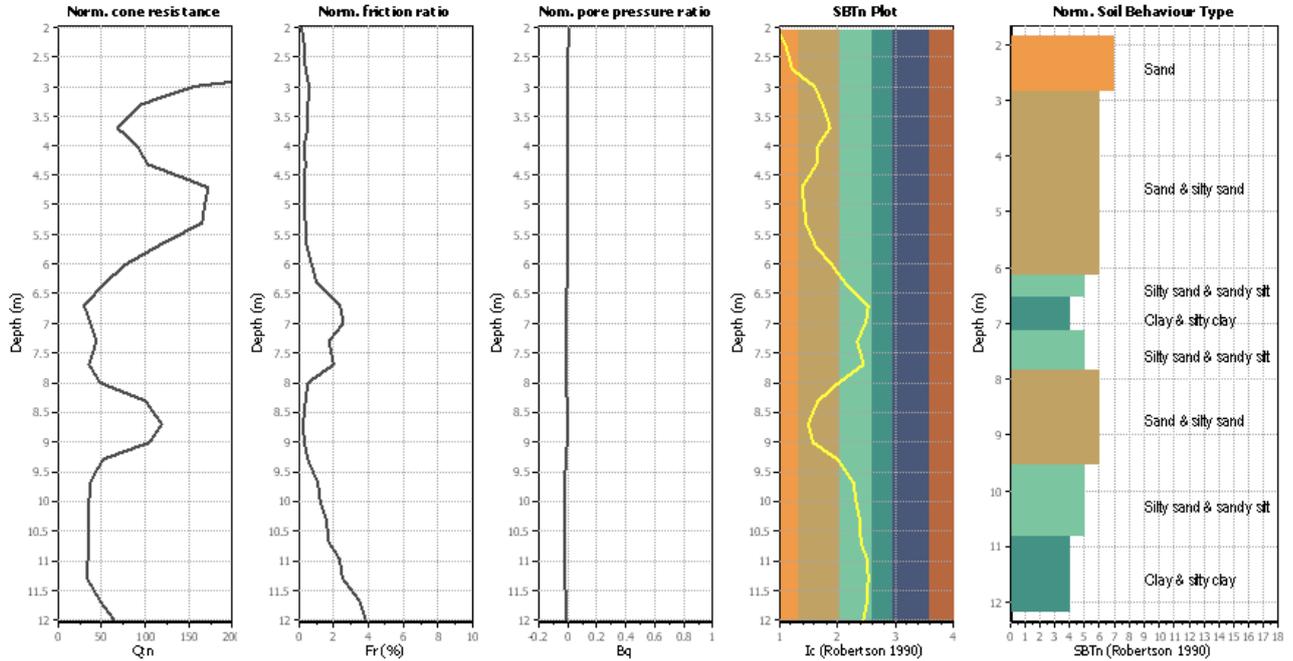
| | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-----|-----------------------------|--------------|
| Analysis method: | NCEER (1998) | G.W.T. (in-situ): | 2.50 m | Use fill: | No | Clay like behavior applied: | Sands only |
| Fines correction method: | NCEER (1998) | G.W.T. (earthq.): | 1.00 m | Fill height: | N/A | Limit depth applied: | No |
| Points to test: | Based on Ic value | Average results interval: | 3 | Fill weight: | N/A | Limit depth: | N/A |
| Earthquake magnitude M_w : | 5.00 | Ic cut-off value: | 2.60 | Trans. detect. applied: | No | MSF method: | Method based |
| Peak ground acceleration: | 0.29 | Unit weight calculation: | Based on SBT | K_u applied: | Yes | | |



Zone A: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
 Zone A₂: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

Figura 65: Verifica a liquefazione CPT101

CPT basic interpretation plots (normalized)



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
 Fines correction method: NCEER (1998)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 5.00
 Peak ground acceleration: 0.29
 Depth to water table (insitu): 2.50 m

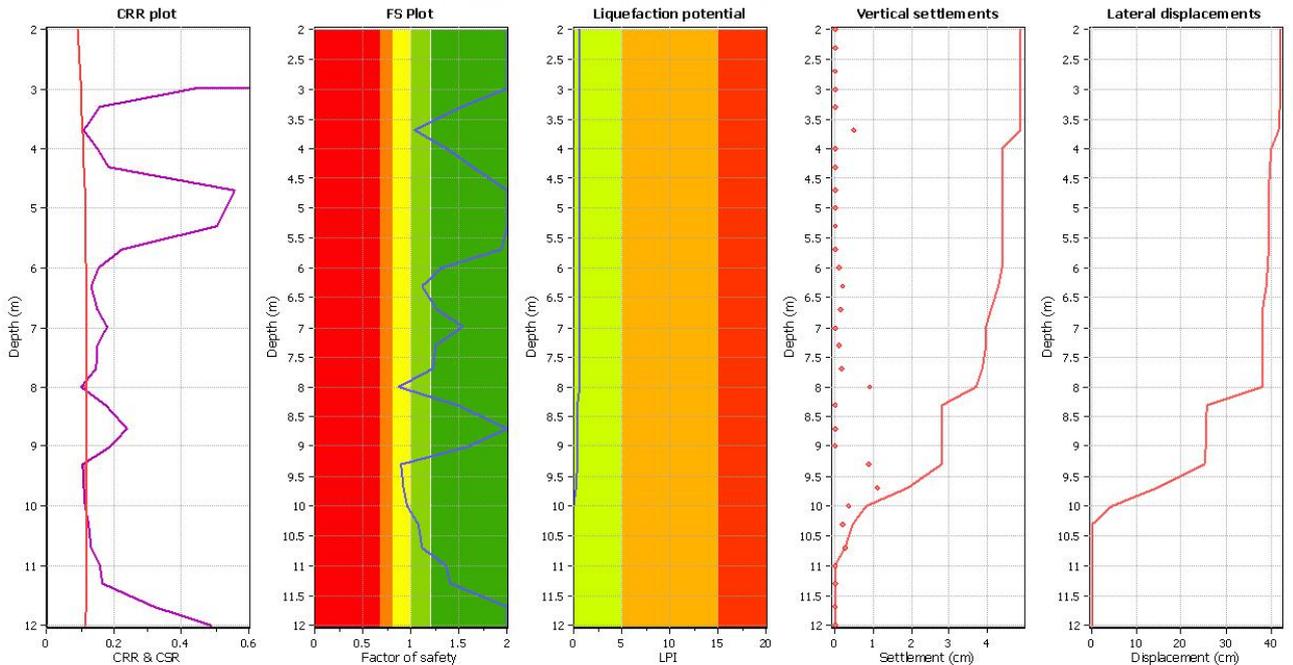
Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 Ic cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: No
 K_f applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 Limit depth: N/A

SBTn legend

- 1. Sensitive fine grained
- 2. Organic material
- 3. Clay to silty clay
- 4. Clay silt to silt
- 5. Silty sand to sandy silt
- 6. Clean sand to silty sand
- 7. Gavelly sand to sand
- 8. Very stiff sand to
- 9. Very stiff fine grains

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
 Fines correction method: NCEER (1998)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 5.00
 Peak ground acceleration: 0.29
 Depth to water table (insitu): 2.50 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 Ic cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: No
 K_f applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 Limit depth: N/A

F.S. color scheme

- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Figura 66: Verifica liquefazione CPT101

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title :

Location :

CPT file: CPT103

Input parameters and analysis data

| | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-----|----------------------|--------------|
| Analysis method: | NCEER (1998) | G.W.T. (in-situ): | 2.50 m | Use fill: | No | Clay like behavior | |
| Fines correction method: | NCEER (1998) | G.W.T. (earthq.): | 1.00 m | Fill height: | N/A | applied: | Sands only |
| Points to test: | Based on Ic value | Average results interval: | 3 | Fill weight: | N/A | Limit depth applied: | No |
| Earthquake magnitude M_w : | 5.00 | Ic cut-off value: | 2.60 | Trans. detect. applied: | No | Limit depth: | N/A |
| Peak ground acceleration: | 0.29 | Unit weight calculation: | Based on SBT | K_v applied: | Yes | MSF method: | Method based |

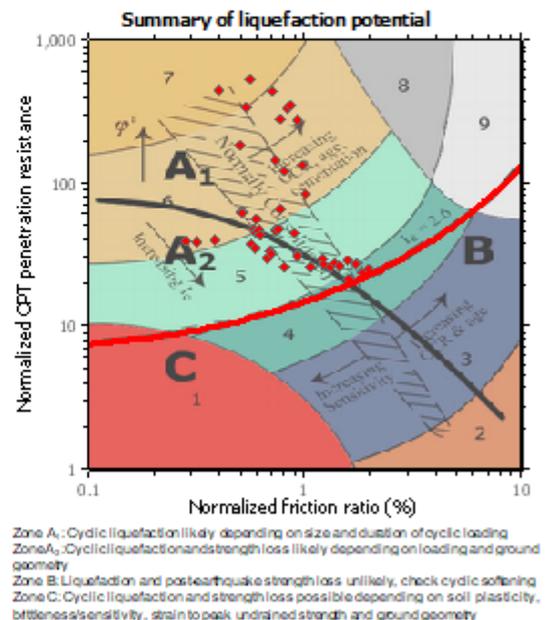
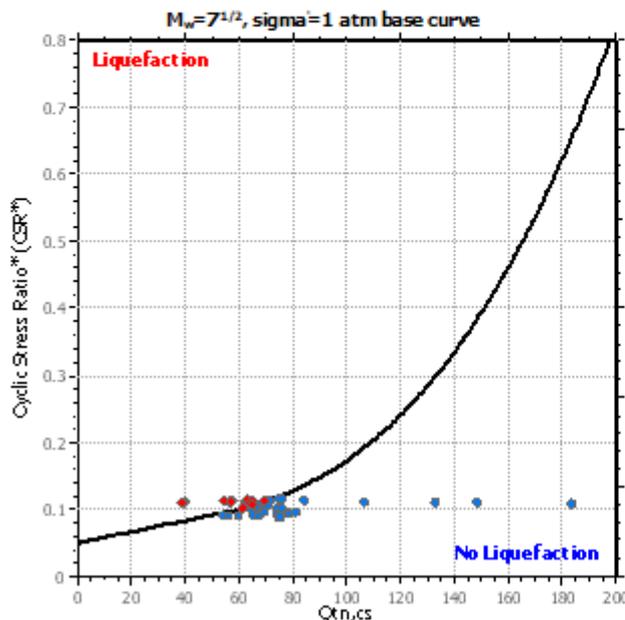
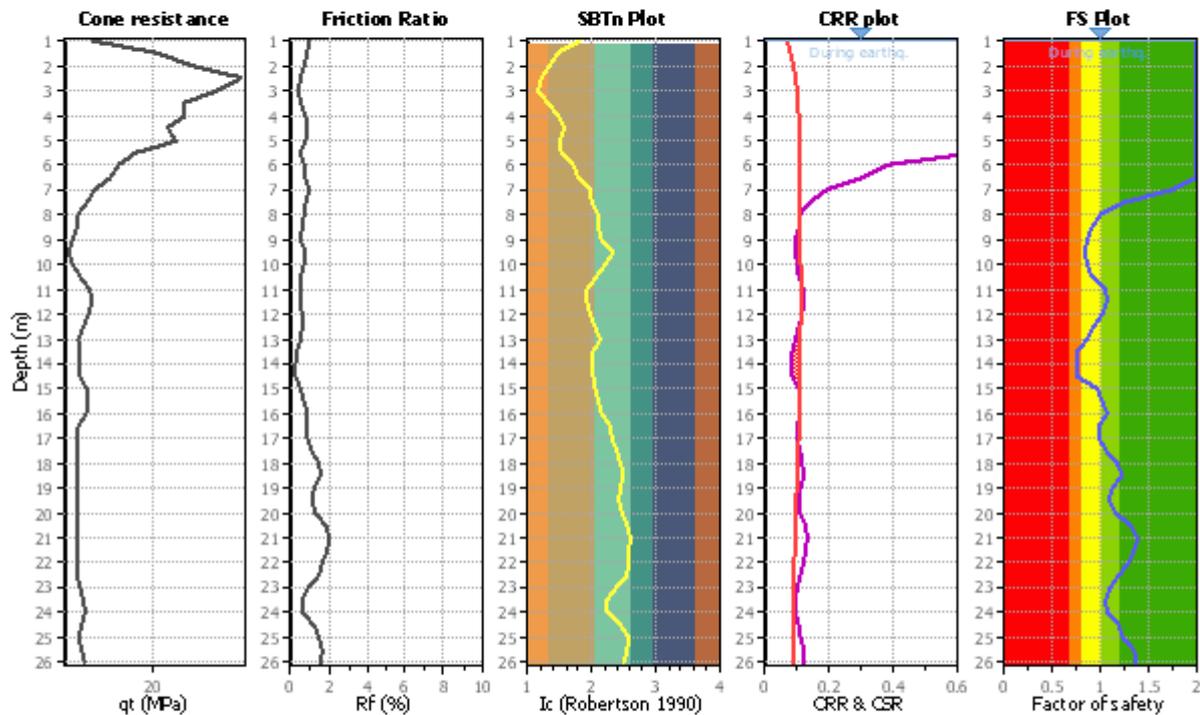
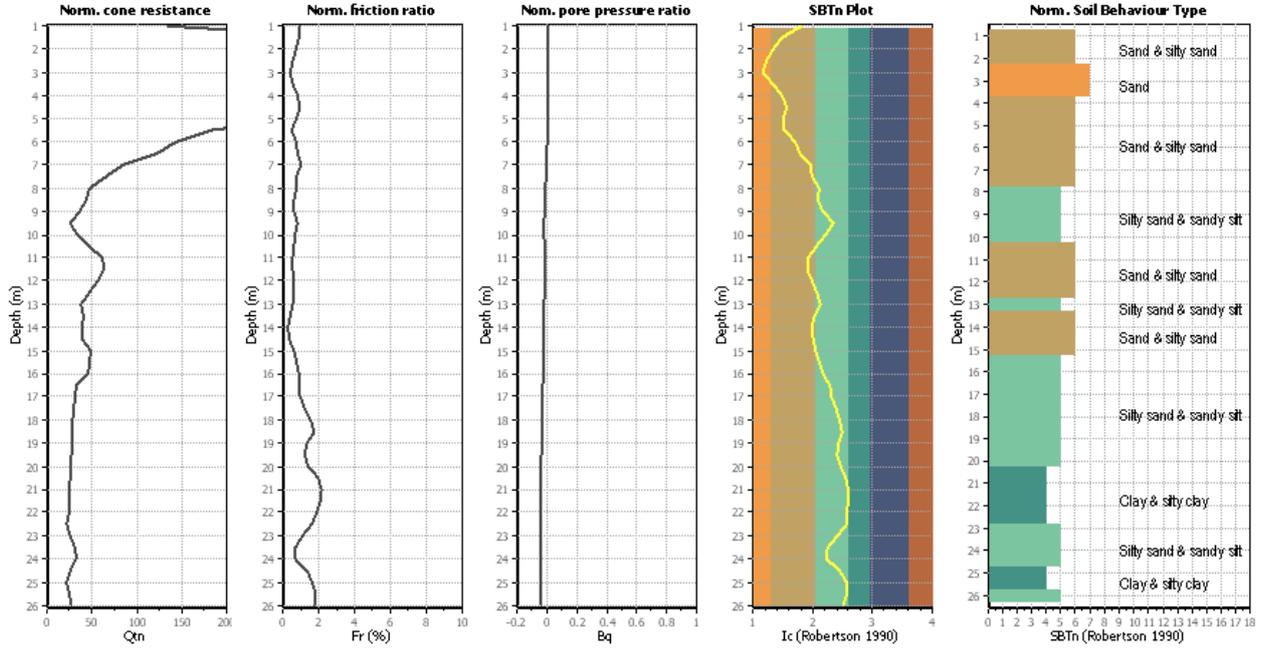


Figura 67: Verifica a liquefazione CPT103

CPT basic interpretation plots (normalized)



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
 Fines correction method: NCEER (1998)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 5.00
 Peak ground acceleration: 0.29
 Depth to water table (insitu): 2.50 m

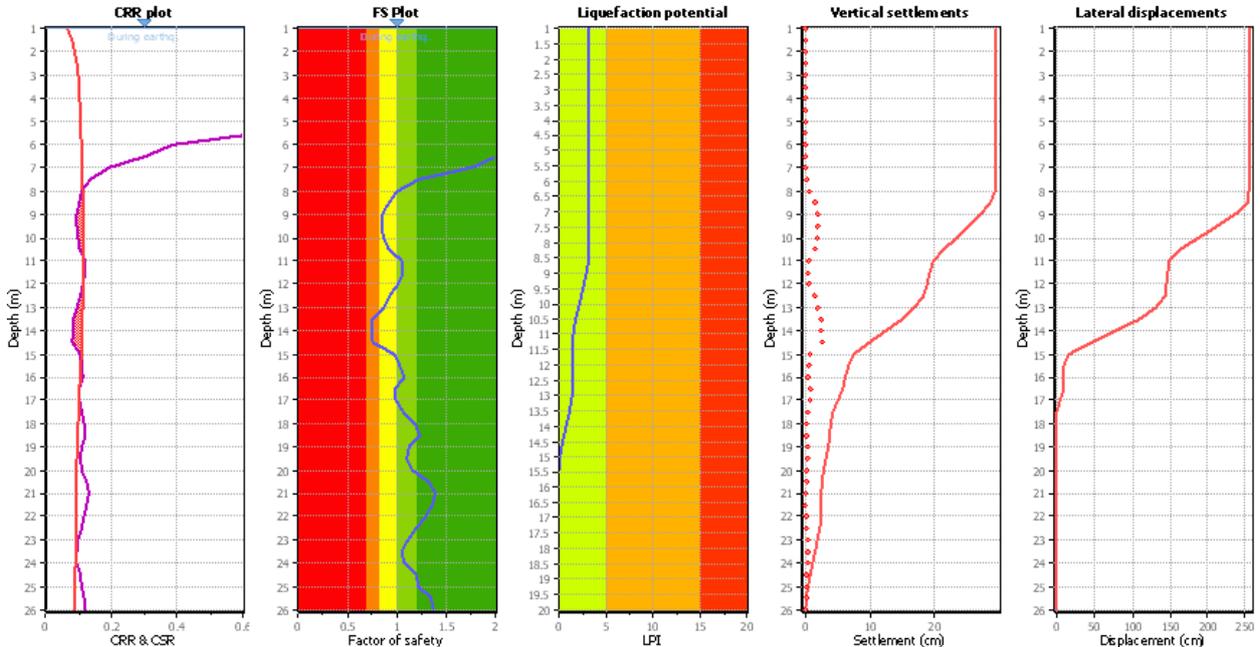
Depth to water table (earth): 1.00 m
 Average results interval: 3
 Ic cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: No
 K_f applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 Limit depth: N/A

SBTn legend

- 1. Sensitive fine grained
- 2. Organic material
- 3. Clay to silty clay
- 4. Clayey silt to silty
- 5. Silty sand to sandy silt
- 6. Clean sand to silty sand
- 7. Gravely sand to sand
- 8. Very stiff sand to
- 9. Very stiff fine grained

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
 Fines correction method: NCEER (1998)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 5.00
 Peak ground acceleration: 0.29
 Depth to water table (insitu): 2.50 m

Depth to water table (earth): 1.00 m
 Average results interval: 3
 Ic cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: No
 K_f applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 Limit depth: N/A

F.S. color scheme

- Almost certain it will liquify
- Very likely to liquify
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquify
- Almost certain it will not liquify

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Figura 68: Verifica a liquefazione CPT103



GeoLogismiki
Geotechnical Engineers
Merarhias 56
http://www.geologismiki.gr

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title: CPT file: CPT104 Location:

Input parameters and analysis data

| | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-----|-----------------------------|--------------|
| Analysis method: | NCEER (1998) | G.W.T. (in-situ): | 2.50 m | Use fill: | No | Clay like behavior applied: | Sands only |
| Fines correction method: | NCEER (1998) | G.W.T. (earthq.): | 1.00 m | Fill height: | N/A | Limit depth applied: | No |
| Points to test: | Based on Ic value | Average results interval: | 3 | Fill weight: | N/A | Limit depth: | N/A |
| Earthquake magnitude M_w : | 5.00 | Ic cut-off value: | 2.60 | Trans. detect. applied: | No | MSF method: | Method based |
| Peak ground acceleration: | 0.29 | Unit weight calculation: | Based on SBT | K_u applied: | Yes | | |

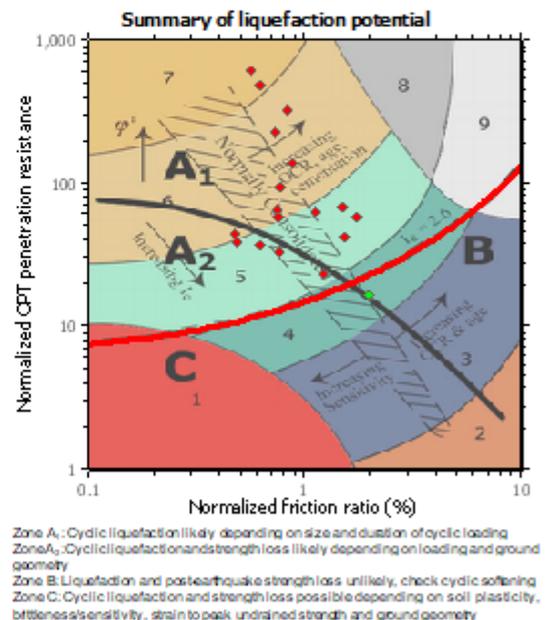
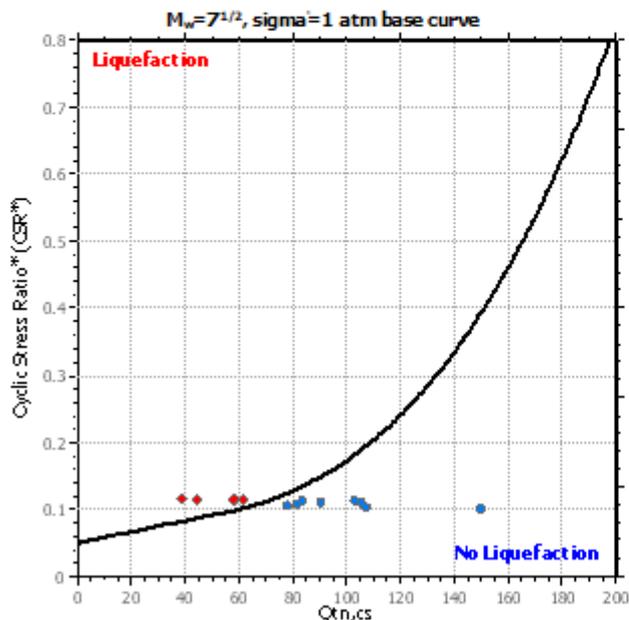
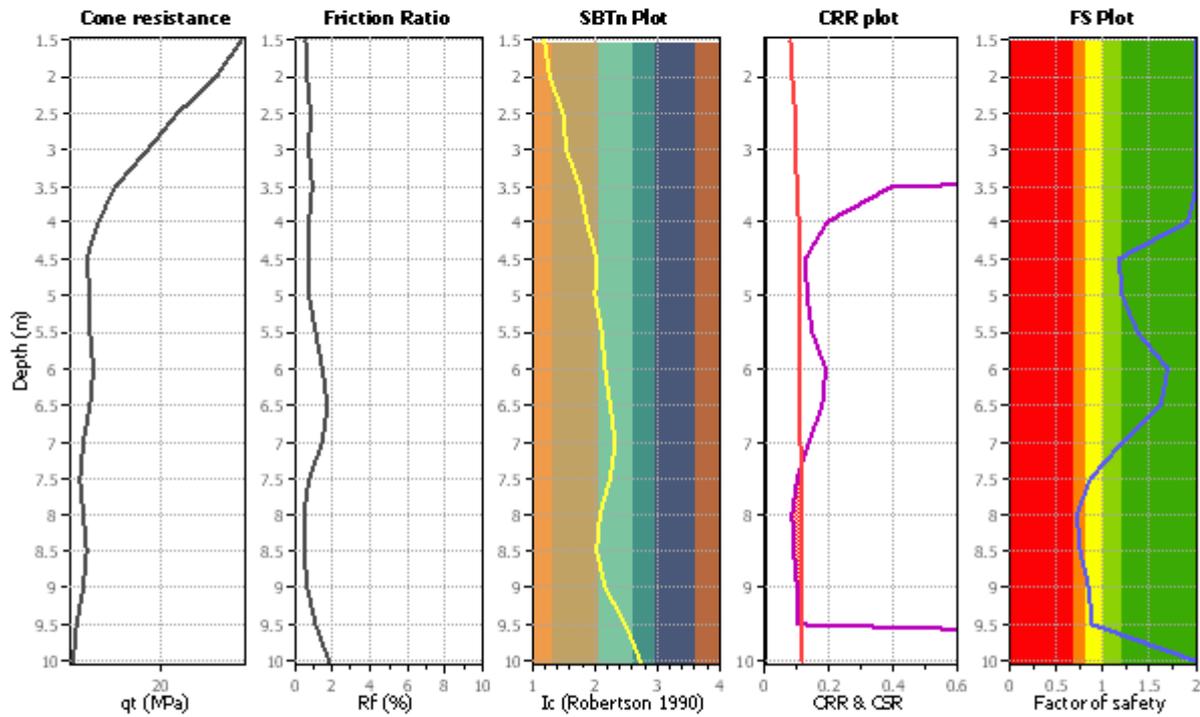
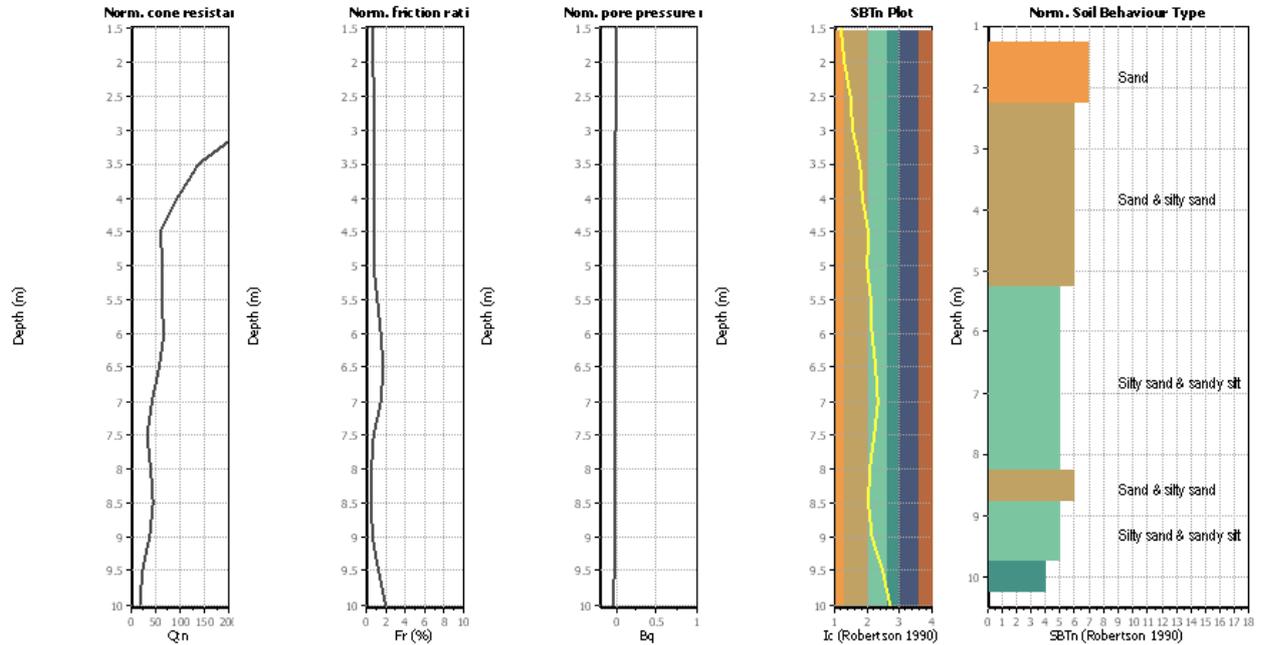


Figura 69: Verifica a liquefazione CPT104

CPT basic interpretation plots (normalized)



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
 Fines correction method: NCEER (1998)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 5.00
 Peak ground acceleration: 0.29
 Depth to water table (insitu): 2.50 m

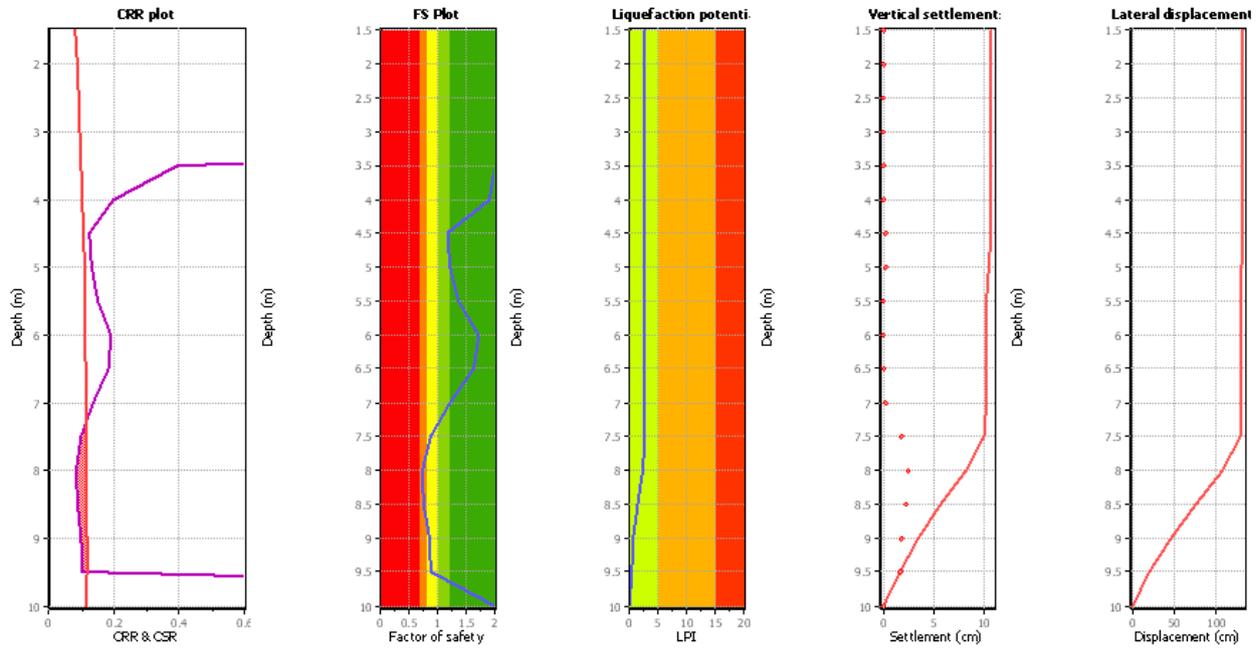
Depth to water table (ortho): 1.00 m
 Average results interval: 3
 Ic cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: No
 K_0 applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 Limit depth: N/A

SBTn legend

- 1. Sensitive fine grained
- 2. Organic material
- 3. Clay to silty clay
- 4. Clayey silt to silty
- 5. Silty sand to sandy silt
- 6. Clean sand to silty sand
- 7. Gravely sand to sand
- 8. Very stiff sand to
- 9. Very stiff fine grained

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
 Fines correction method: NCEER (1998)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 5.00
 Peak ground acceleration: 0.29
 Depth to water table (insitu): 2.50 m

Depth to water table (ortho): 1.00 m
 Average results interval: 3
 Ic cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: No
 K_0 applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 Limit depth: N/A

F.S. color scheme

- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlikely to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Figura 70: Verifica a liquefazione CPT104

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Location :
CPT file: CPT105

Input parameters and analysis data

| | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-----|----------------------|--------------|
| Analysis method: | NCEER (1998) | G.W.T. (in-situ): | 2.50 m | Use fill: | No | Clay like behavior | |
| Fines correction method: | NCEER (1998) | G.W.T. (earthq.): | 1.00 m | Fill height: | N/A | applied: | Sands only |
| Points to test: | Based on Ic value | Average results interval: | 3 | Fill weight: | N/A | Limit depth applied: | No |
| Earthquake magnitude M_w : | 5.00 | Ic cut-off value: | 2.60 | Trans. detect. applied: | No | Limit depth: | N/A |
| Peak ground acceleration: | 0.29 | Unit weight calculation: | Based on SBT | K_0 applied: | Yes | MSF method: | Method based |

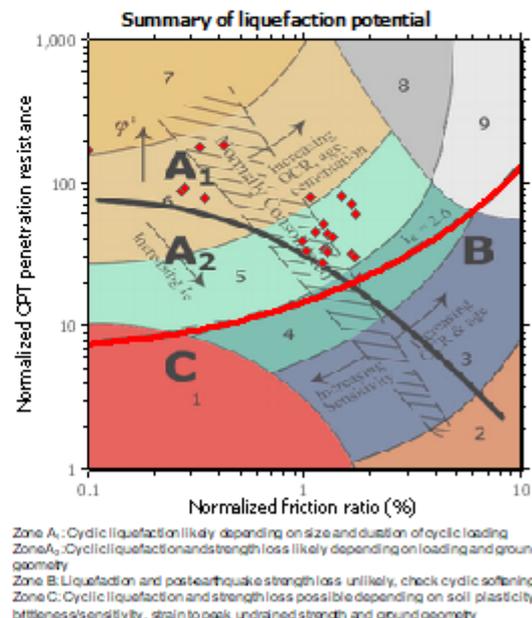
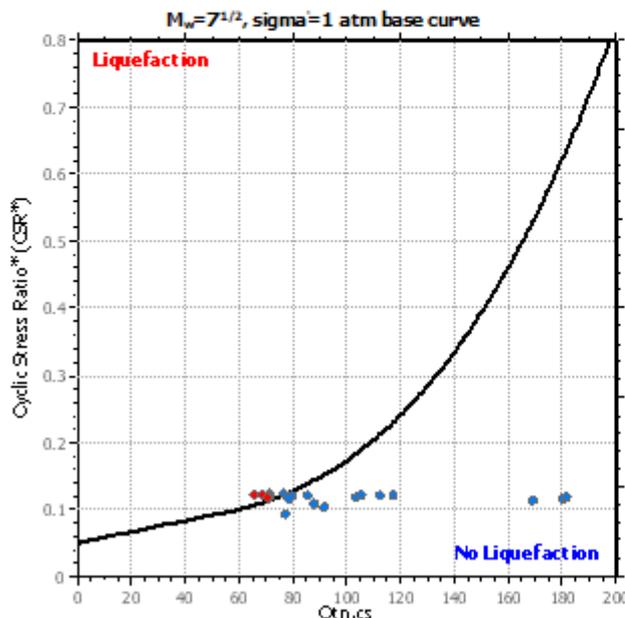
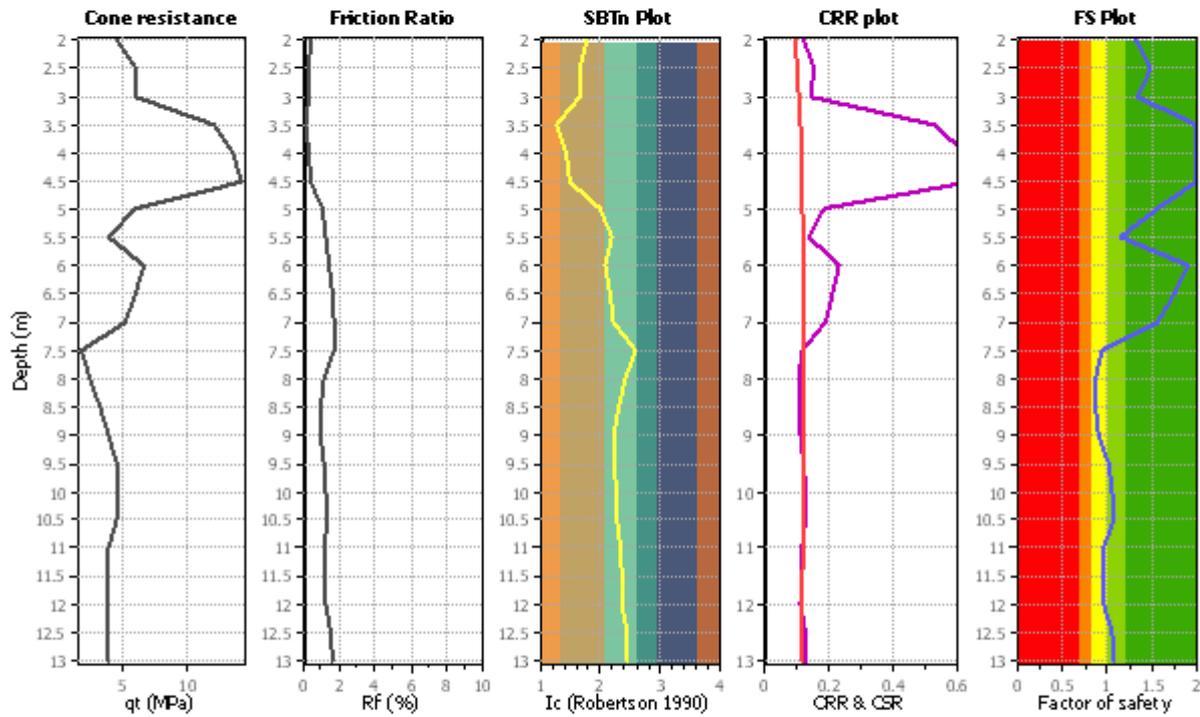
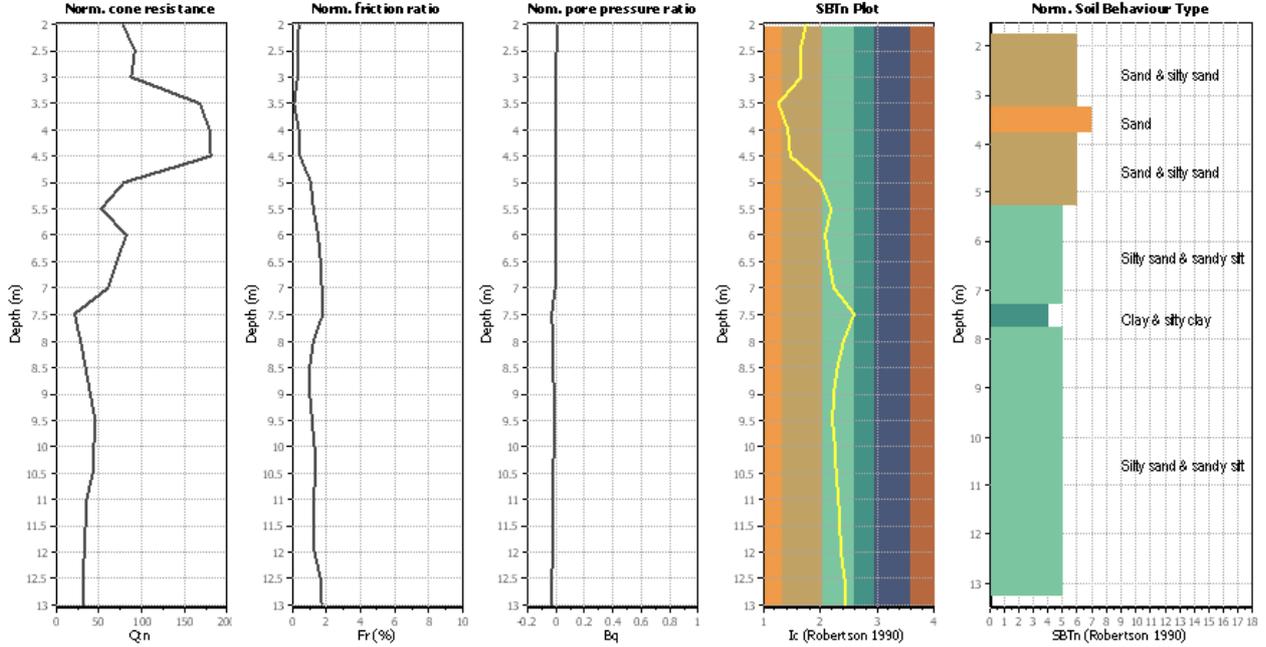


Figura 71: Verifica a liquefazione CPT105

CPT basic interpretation plots (normalized)



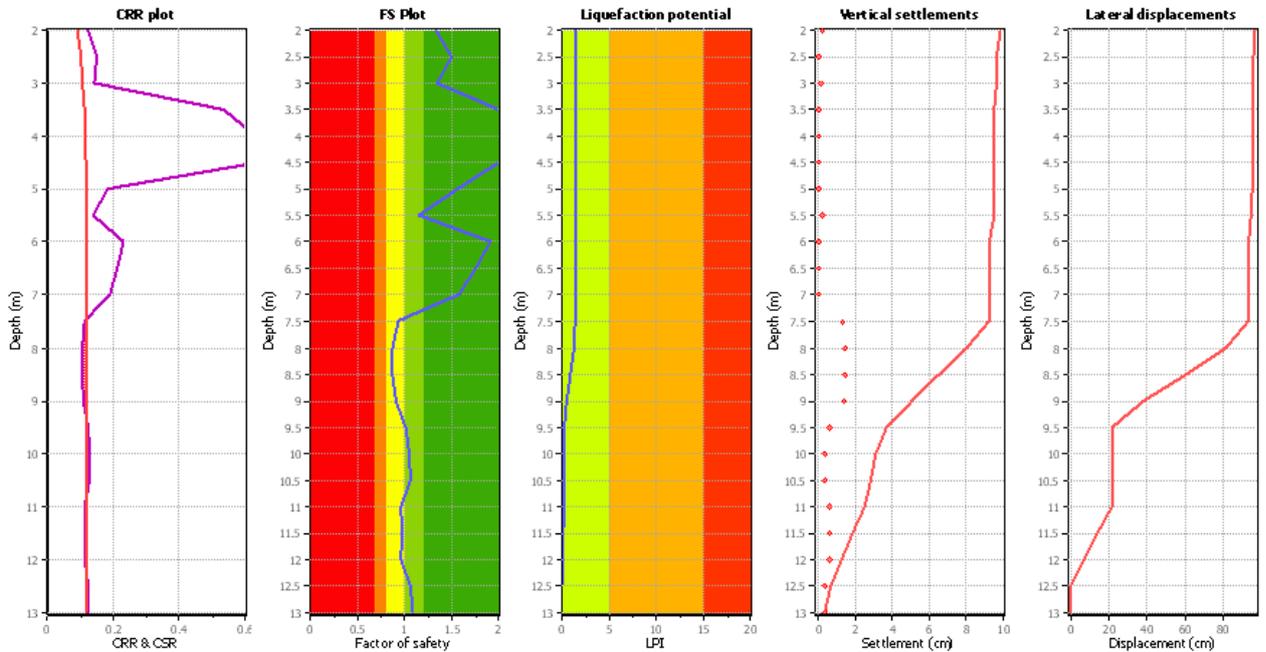
Input parameters and analysis data

| | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|
| Analysis method: NCEER (1998) | Depth to water table (ertq): 1.00 m | Fill weight: N/A |
| Fines correction method: NCEER (1998) | Average results interval: 3 | Transition detect. applied: No |
| Points to test: Based on Ic value | Ic cut-off value: 2.60 | K_u applied: Yes |
| Earthquake magnitude M_w : 5.00 | Unit weight calculation: Based on SBT | Clay like behavior applied: Sands only |
| Peak ground acceleration: 0.29 | Use fill: No | Limit depth applied: No |
| Depth to water table (insltq): 2.50 m | Fill height: N/A | Limit depth: N/A |

SBTn legend

- | | | |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to |
| 3. Clay to silty clay | 6. Clean sand to silty sand | 9. Very stiff fine grained |

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

| | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|
| Analysis method: NCEER (1998) | Depth to water table (ertq): 1.00 m | Fill weight: N/A |
| Fines correction method: NCEER (1998) | Average results interval: 3 | Transition detect. applied: No |
| Points to test: Based on Ic value | Ic cut-off value: 2.60 | K_u applied: Yes |
| Earthquake magnitude M_w : 5.00 | Unit weight calculation: Based on SBT | Clay like behavior applied: Sands only |
| Peak ground acceleration: 0.29 | Use fill: No | Limit depth applied: No |
| Depth to water table (insltq): 2.50 m | Fill height: N/A | Limit depth: N/A |

F.S. color scheme

- | |
|---------------------------------------------|
| Almost certain it will liquefy |
| Very likely to liquefy |
| Liquefaction and no liq. are equally likely |
| Unlike to liquefy |
| Almost certain it will not liquefy |

LPI color scheme

- | |
|----------------|
| Very high risk |
| High risk |
| Low risk |

Figura 72: Verifica a liquefazione CPT105



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title: **CPTUA** Location:

Input parameters and analysis data

| | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-----|-----------------------------|--------------|
| Analysis method: | NCEER (1998) | G.W.T. (in-situ): | 2.50 m | Use fill: | No | Clay like behavior applied: | Sands only |
| Fines correction method: | NCEER (1998) | G.W.T. (earthq.): | 1.00 m | Fill height: | N/A | Limit depth applied: | No |
| Points to test: | Based on Ic value | Average results interval: | 3 | Fill weight: | N/A | Limit depth: | N/A |
| Earthquake magnitude M_w : | 5.00 | Ic cut-off value: | 2.60 | Trans. detect. applied: | No | Limit depth: | N/A |
| Peak ground acceleration: | 0.29 | Unit weight calculation: | Based on SBT | K_0 applied: | Yes | MSF method: | Method based |

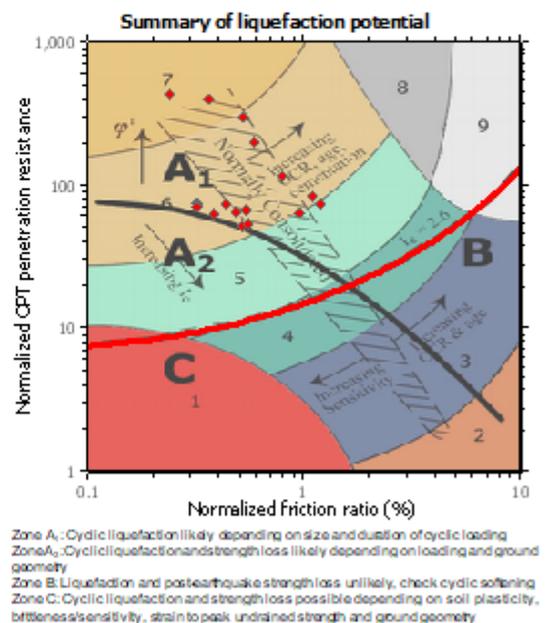
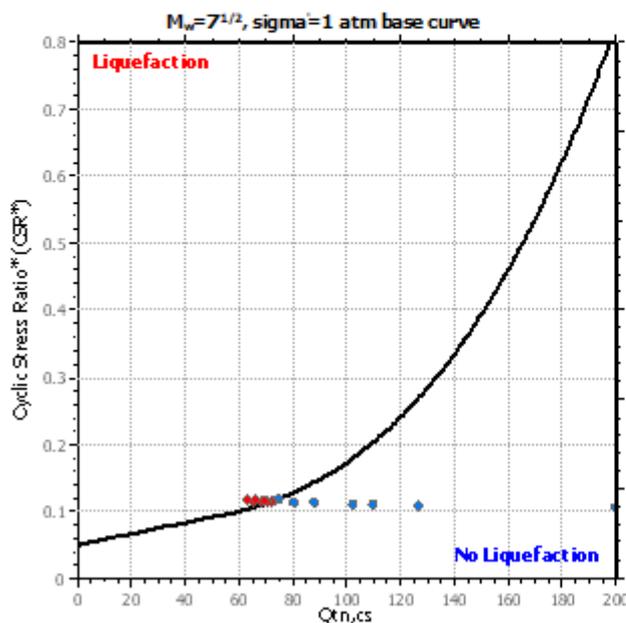
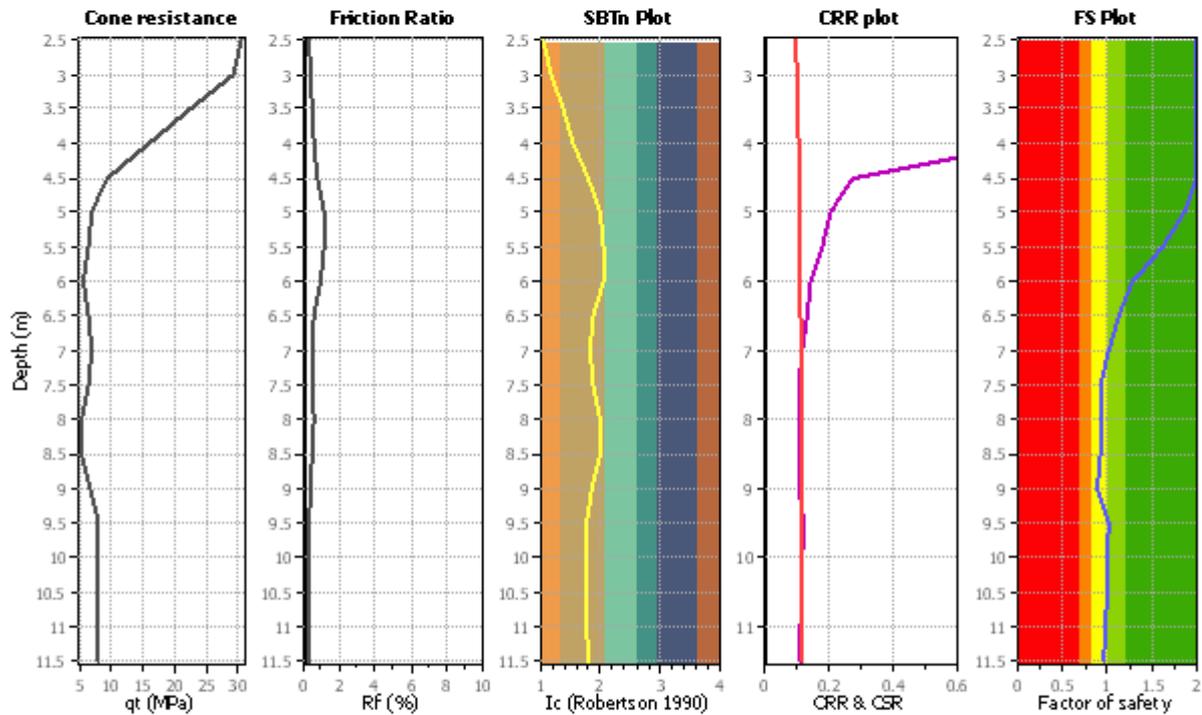
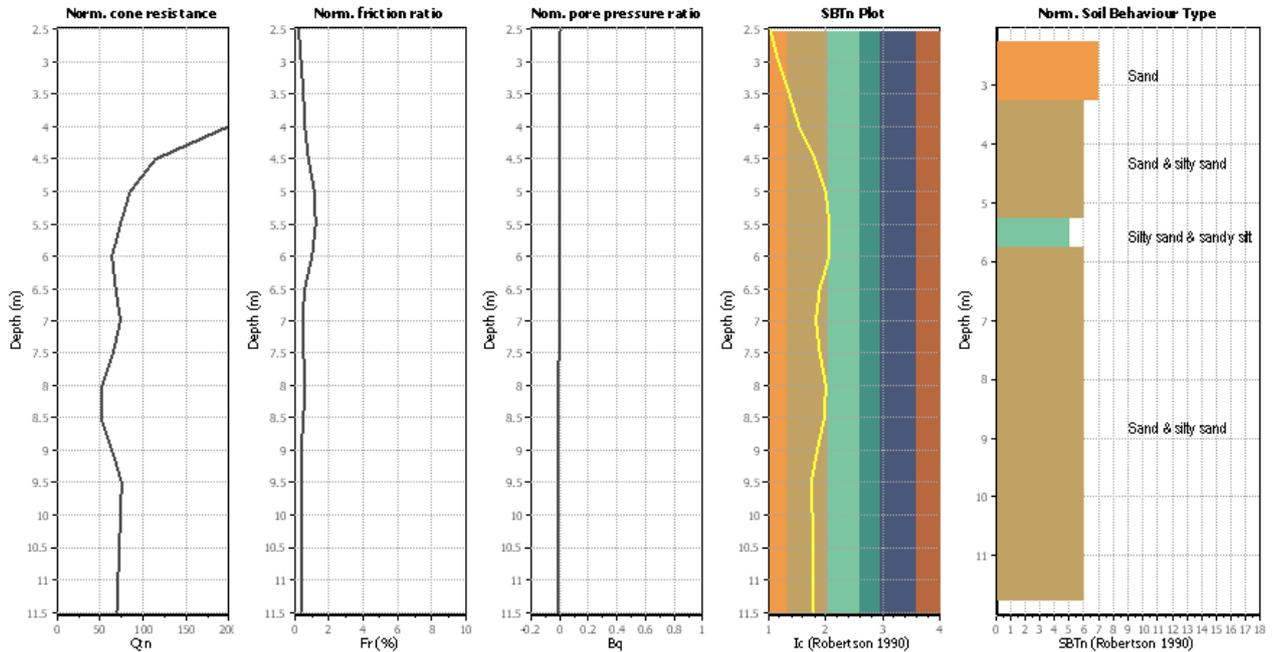


Figura 73: Verifica a liquefazione CPTUA

CPT basic interpretation plots (normalized)



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
 Fines correction method: NCEER (1998)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w : 5.00
 Peak ground acceleration: 0.29
 Depth to water table (insitu): 2.50 m

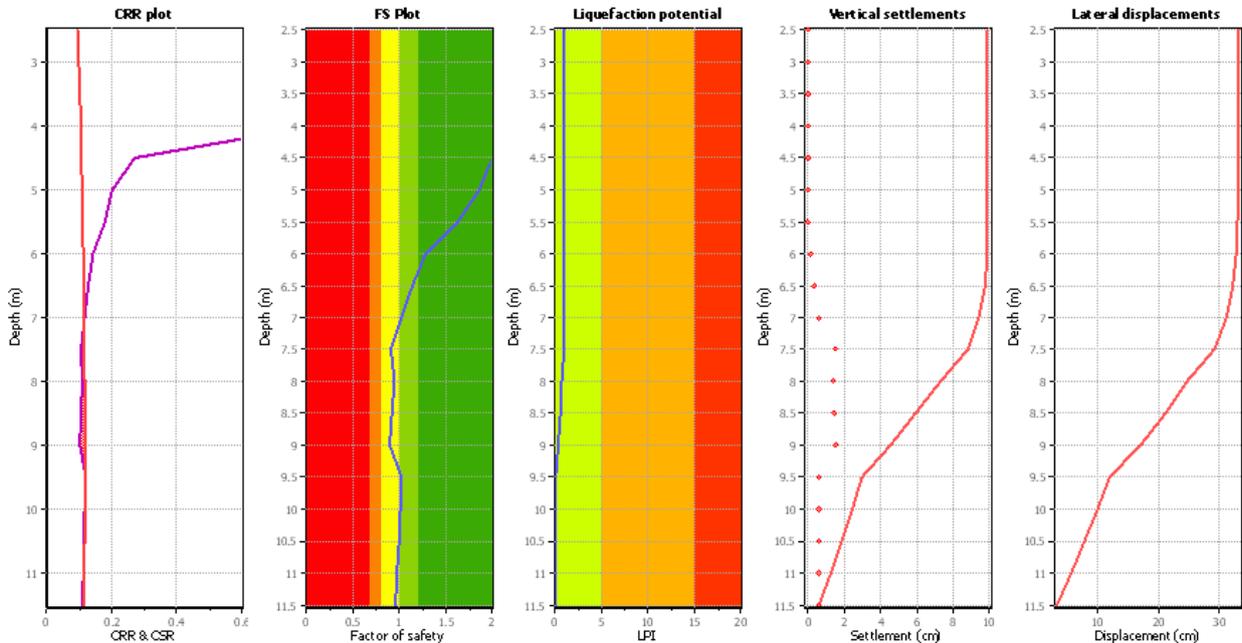
Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: No
 K_f applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 Limit depth: N/A

SBTn legend

- 1. Sensitive fine grained
- 2. Organic material
- 3. Clay to silty clay
- 4. Clayey silt to silty
- 5. Silty sand to sandy silt
- 6. Clean sand to silty sand
- 7. Glevly sand to sand
- 8. Very stiff sand to
- 9. Very stiff fine grains

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
 Fines correction method: NCEER (1998)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w : 5.00
 Peak ground acceleration: 0.29
 Depth to water table (insitu): 2.50 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: No
 K_f applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 Limit depth: N/A

F.S. color scheme

- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Figura 74: Verifica a liquefazione CPTUA



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title: CPT file: CPTUB **Location:**

Input parameters and analysis data

| | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-----|----------------------|--------------|
| Analysis method: | NCEER (1998) | G.W.T. (in-situ): | 2.50 m | Use fill: | No | Clay like behavior | |
| Fines correction method: | NCEER (1998) | G.W.T. (earthq.): | 1.00 m | Fill height: | N/A | applied: | Sands only |
| Points to test: | Based on Ic value | Average results interval: | 3 | Fill weight: | N/A | Limit depth applied: | No |
| Earthquake magnitude M_w : | 5.00 | Ic cut-off value: | 2.60 | Trans. detect. applied: | No | Limit depth: | N/A |
| Peak ground acceleration: | 0.29 | Unit weight calculation: | Based on SBT | K_f applied: | Yes | MSF method: | Method based |

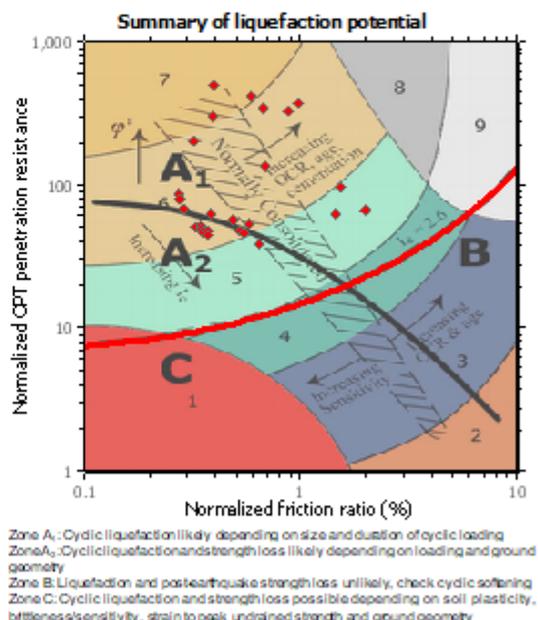
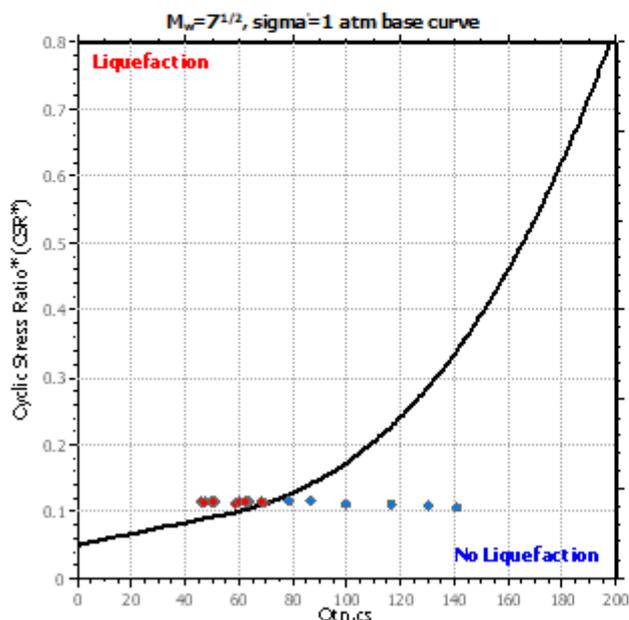
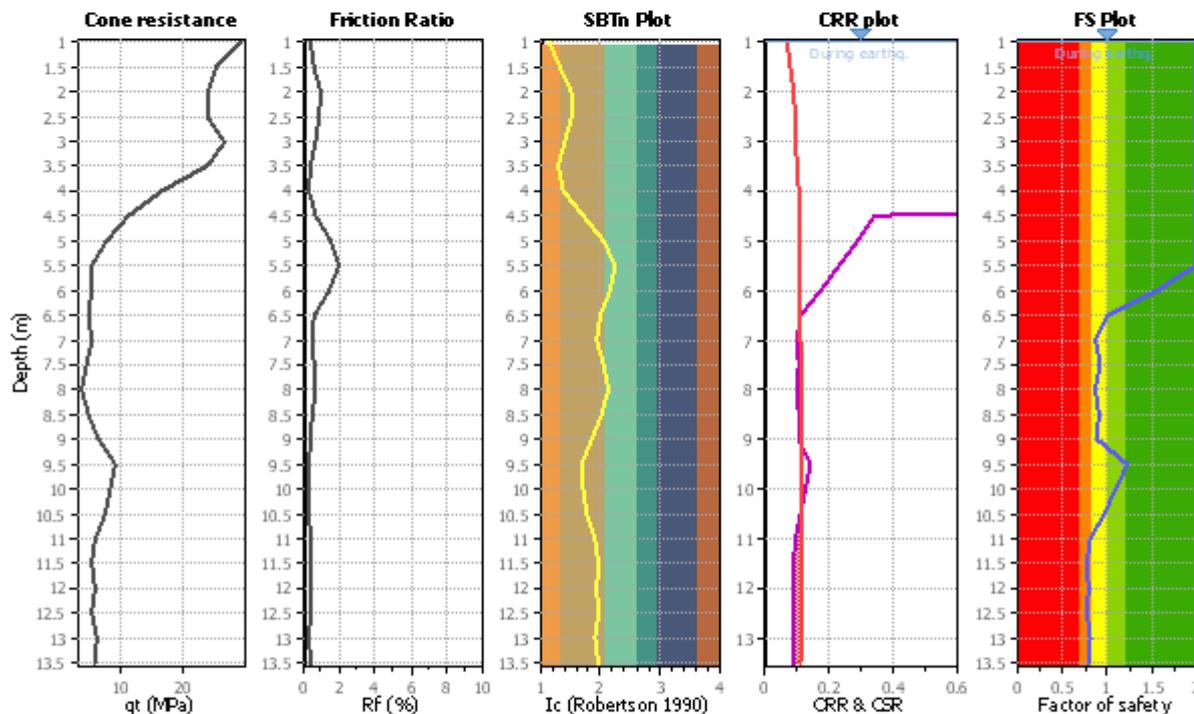
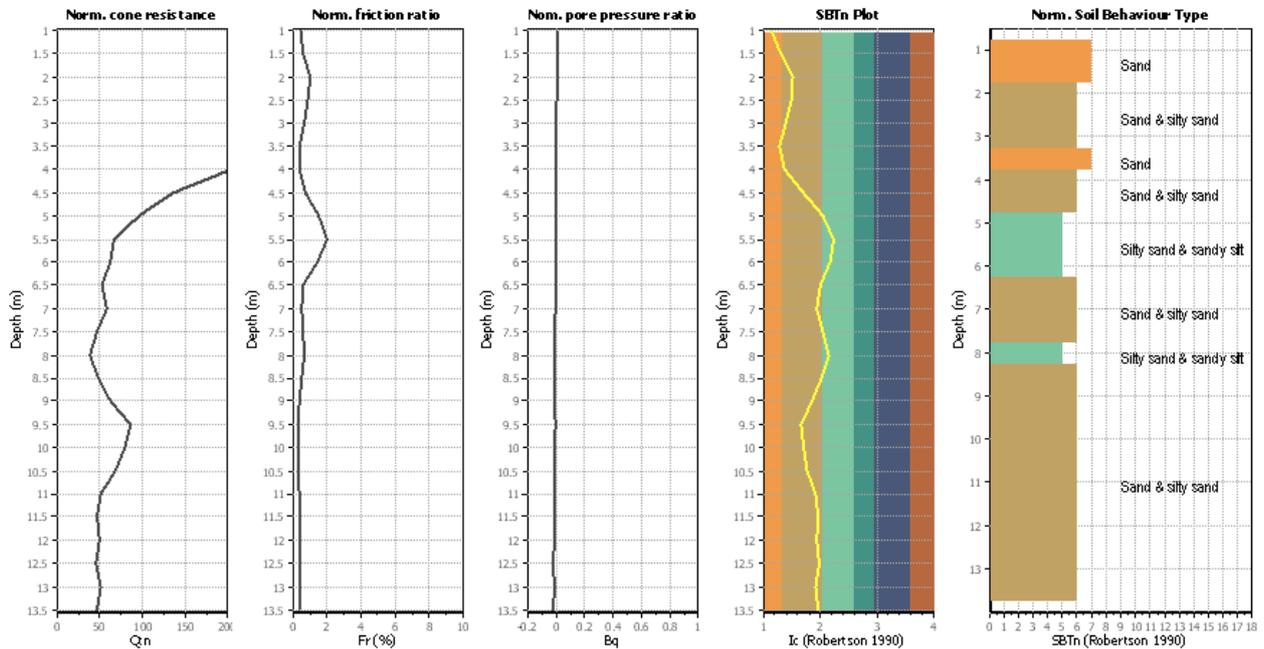


Figura 75: Verifica a liquefazione CPTUB

CPT basic interpretation plots (normalized)



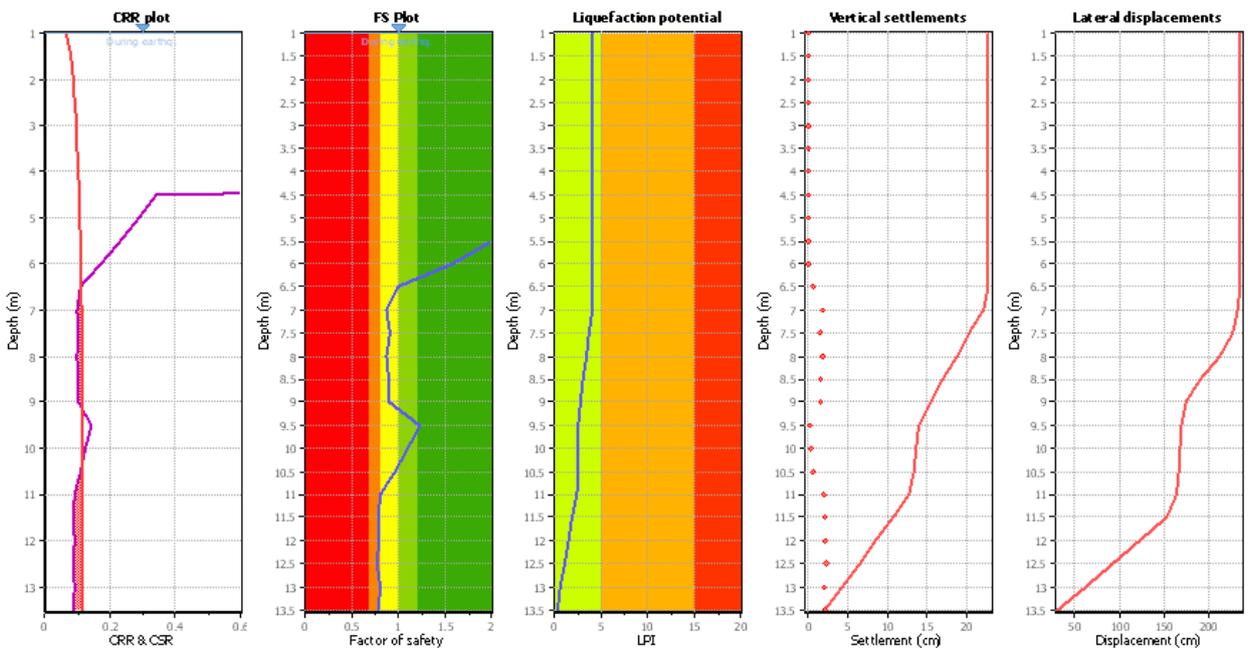
Input parameters and analysis data

| | | |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| Analysis method: NCEER (1998) | Depth to water table (earthq.): 1.00 m | Fill weight: N/A |
| Fines correction method: NCEER (1998) | Average results interval: 3 | Transition detect. applied: No |
| Points to test: Based on Ic value | Ic cut-off value: 2.60 | K _v applied: Yes |
| Earthquake magnitude M _w : 5.00 | Unit weight calculation: Based on SBT | Clay like behavior applied: Sands only |
| Peak ground acceleration: 0.29 | Use fill: No | Limit depth applied: No |
| Depth to water table (realt): 2.50 m | Fill height: N/A | Limit depth: N/A |

SBTn legend

| | | |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silt | 7. Gavelly sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to |
| 3. Clay to silty clay | 6. Clean sand to silty sand | 9. Very stiff fine grained |

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

| | | |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| Analysis method: NCEER (1998) | Depth to water table (earthq.): 1.00 m | Fill weight: N/A |
| Fines correction method: NCEER (1998) | Average results interval: 3 | Transition detect. applied: No |
| Points to test: Based on Ic value | Ic cut-off value: 2.60 | K _v applied: Yes |
| Earthquake magnitude M _w : 5.00 | Unit weight calculation: Based on SBT | Clay like behavior applied: Sands only |
| Peak ground acceleration: 0.29 | Use fill: No | Limit depth applied: No |
| Depth to water table (realt): 2.50 m | Fill height: N/A | Limit depth: N/A |

F.S. color scheme

| | |
|-------------|---------------------------------------------|
| Red | Almost certain it will liquefy |
| Orange | Very likely to liquefy |
| Yellow | Liquefaction and no liq. are equally likely |
| Light Green | Unlike to liquefy |
| Dark Green | Almost certain it will not liquefy |

LPI color scheme

| | |
|--------|----------------|
| Red | Very high risk |
| Orange | High risk |
| Yellow | Low risk |

Figura 76: Verifica a liquefazione CPTUB



Engineering & Construction

CENTRALE DI TERMINI IMERESE

Document
Documento n.

PBTIG2002000

CAPACITY MARKET ITALY

Sheet
Pagina **95** of
di **95**

ALLEGATO 1: Rapporto indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche – Anno 2020 – Società Sidercem S.r.l.