

Centrale di "Andrea Palladio" di Fusina

ALLEGATO - punto 8

Centrale di "Andrea Palladio" di Fusina

**Sostituzione delle unità a carbone esistenti con nuova unità a gas
presso la centrale termoelettrica di Fusina
"Andrea Palladio"**

Fusina - ALLEGATO - punto 8

Piano preliminare di riqualificazione del sito

Integrazioni e chiarimenti richiesti al punto 8 Nota MiTE prot.n.28559 del
18.03.2021, allegato nota CTVIA n.1203 del 09.03.2021

FUSINA - ALLEGATO 8.2
Relazione geologica e di
modellazione sismica PBCFU20021

 GLOBAL POWER GENERATION E&C		Relazione Geologica												
		Document / Documento PBFCU20021						Sheet Pagina 1 of di 81						
PROJECT Progetto		FUSINA – CAPACITY MARKET ITALIA									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 Cliente		<input type="checkbox"/> FOR APPROVAL Per Approvazione			<input type="checkbox"/> FOR INFORMATION ONLY Per Informazione				<input type="checkbox"/> NOT REQUESTED Non Richiesto					
SYSTEM Sistema		00B	DOCUMENT TYPE Tipo Documento		TH	DISCIPLINE Disciplina		C	FILE File		PBFCU2002100			
REV	DESCRIPTION OF REVISIONS / Descrizione delle revisioni													
00	Prima emissione													
00	29.09.20	ES												
			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

**FUSINA
CAPACITY MARKET ITALIA**

Document
Documento n.

PBFCU2002100

**RELAZIONE GEOLOGICA E DI
MODELLAZIONE SISMICA**

Sheet
Pagina **2** of
di **81**

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	3
2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	3
3. INQUADRAMENTO GENERALE DEL SITO	4
3.1. Inquadramento geografico.....	4
3.2. Inquadramento geologico e geomorfologico generale.....	5
3.3. Inquadramento sedimentologico e stratigrafico.....	7
4. SISMICITA'	10
4.1. Caratteri sismogenetici generali.....	10
4.2. Sismicità locale	11
5. QUADRO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE DISPONIBILI	15
6. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	17
6.1. Successione litostratigrafica dell'area di studio.....	17
6.2. Caratterizzazione meccanica dei litotipi e modello lito-tecnico di riferimento.....	17
7. RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)	19
7.1. Valutazione dell'azione sismica con approccio semplificato.....	19
7.1.1. Azione sismica locale	19
7.2. Verifica RSL con modellazione 1D	27
8. VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.....	61
8.1. Definizione dell'input sismico.....	63
8.2. Verifiche a liquefazione	64

ALLEGATO 1: RAPPORTO INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE E GEOTECNICHE – ANNO 2019 –
SOCIETÀ GEOTECNICA VENETA S.R.L.



1. INTRODUZIONE

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

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 attuali e pregresse 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 1993.

Nel corso dell'anno del 2019, nell'area oggetto di studio, sono state eseguite indagini geognostiche volte alla raccolta di dati geologici sito specifici, utili ad integrare le informazioni derivanti dalle indagini pregresse nonché quelle di carattere bibliografico ricavate dalla letteratura geologica di questo settore della Laguna di Venezia

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.

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;
- Delibera Consiglio Regionale del Veneto n. 67 del 3/12/2003;
- Geomorfologia della Provincia di Venezia (Bondesan et al. - 2004);
- Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto Conclusivo (C. Meletti, G. Valensise - INGV 2004);
- Carta geologica d'Italia 1:100000 - Foglio 51 (Venezia);
- Note illustrative del Foglio 51;
- Stralcio cartografico scala 1:25000.

3. INQUADRAMENTO GENERALE DEL SITO

3.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il sito in oggetto è ubicato a Fusina nel comune di Venezia, al confine con la frazione Moranzani del Comune di Mira (Figura 1).

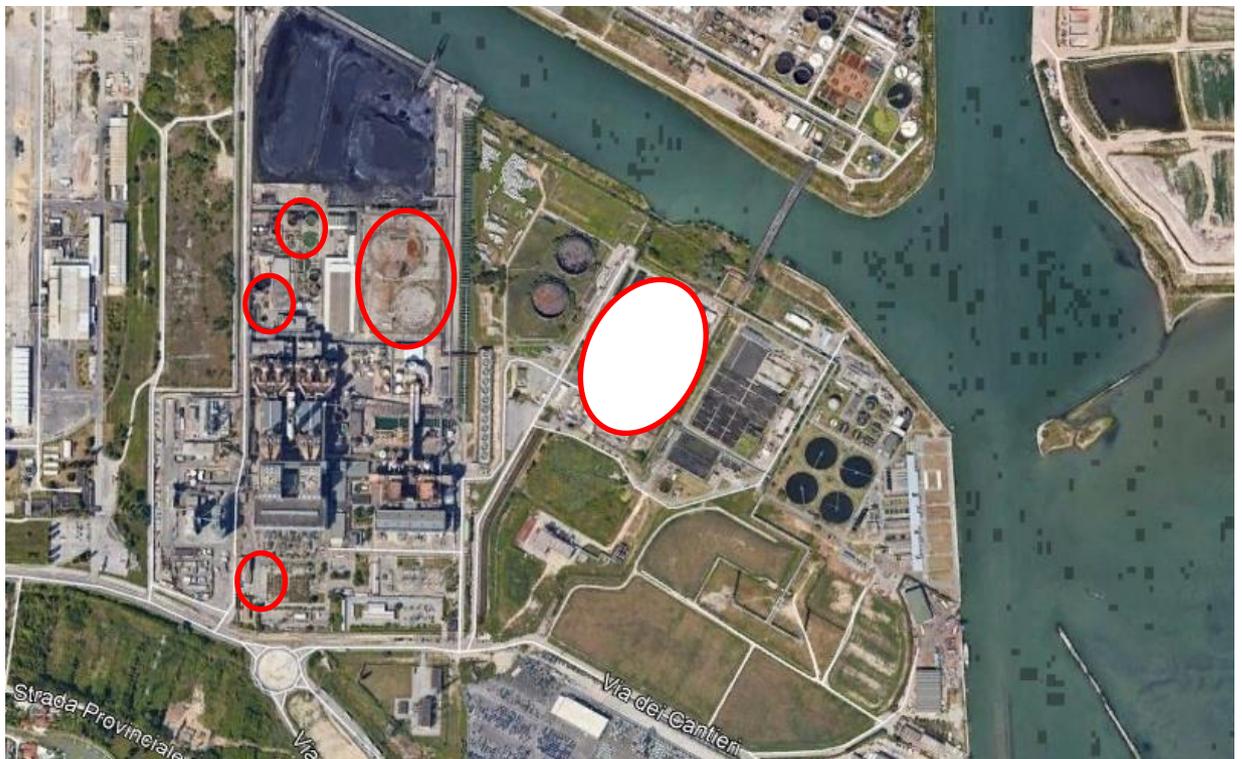


Figura 1: Planimetria con ubicazione delle aree d'intervento (Fonte Google Maps)

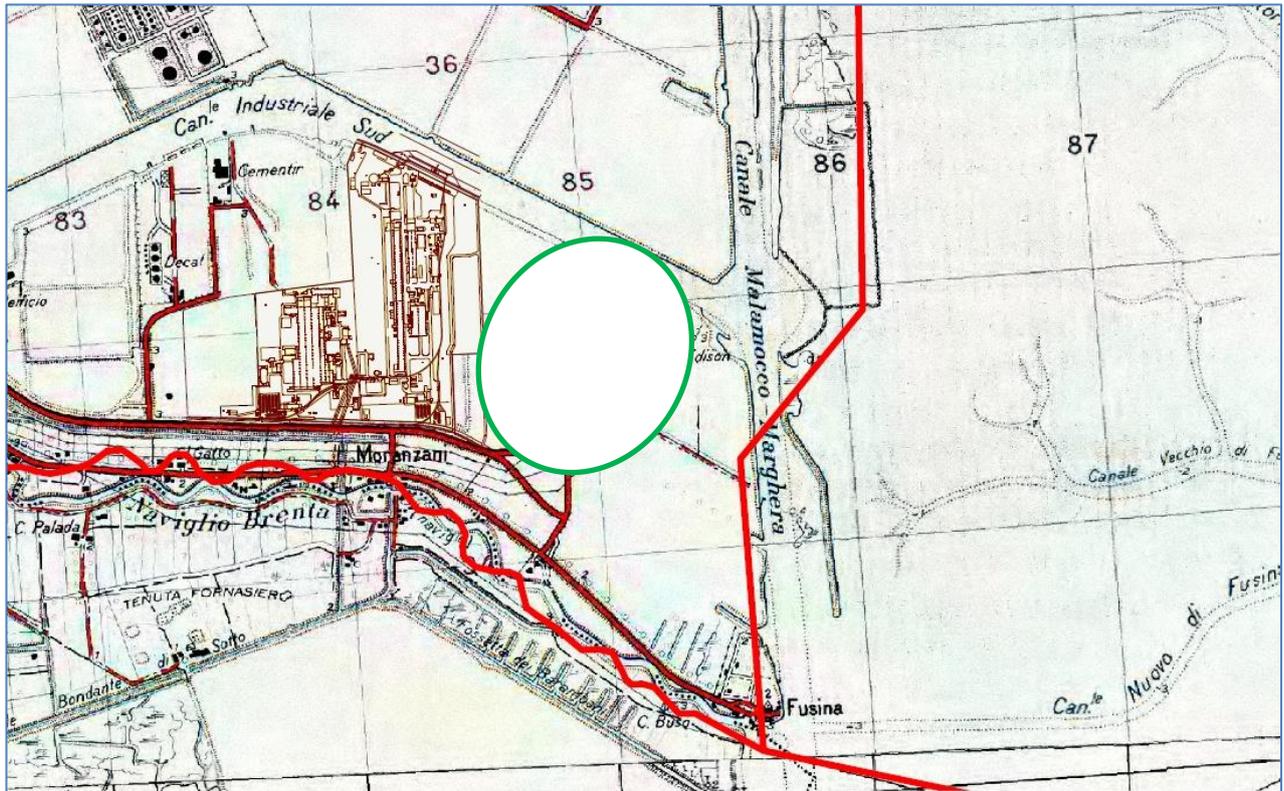


Figura 2: Stralcio cartografico 1:25.000 con ubicazione delle aree d'intervento

La quota topografica del piano campagna, in base alla C.T.R. 1:5.000, varia tra 2 e 3 metri s.l.m.m.

3.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE

L'ambiente della laguna di Venezia consiste in un bacino parzialmente separato dal mare da un cordone litoraneo. All'interno di questo bacino sono presenti numerose isole e zone di barena sommerse solo in caso di acque eccezionalmente alte. In corrispondenza delle aperture nel cordone litoraneo sono presenti dei profondi canali naturali che si diramano all'interno della laguna, scavati dal flusso e riflusso dell'acqua della laguna ad opera delle maree. L'area di Porto Marghera, prima dell'insediamento della zona industriale, era una zona lagunare. L'ambiente è stato profondamente modificato dalle attività antropiche, colmando con terreno di riporto vaste aree sommerse o semi-sommerse. Numerosi canali sono inoltre stati rettificati, approfonditi o realizzati artificialmente per permettere il passaggio delle imbarcazioni. L'altitudine media è attualmente di 2-3 m sul livello medio del mare. La recente storia geologica dell'area è scandita da numerosi episodi di ingressione e regressione marina causati sia dall'alternanza delle fasi glaciali quaternarie (le quali causavano un abbassamento del livello del mare e conseguentemente uno spostamento verso il largo della linea di costa) che dalla progradazione dei delta fluviali, che scaricando in mare il sedimento fine trasportato provocavano un graduale spostamento a lato mare della linea di costa.

Quest'ultimo processo geologico creava particolari problemi alla laguna di Venezia, favorendone il rapido interrimento, per cui si è provveduto in tempi storici a deviare il corso del Brenta spostandone la foce al di fuori della laguna stessa. Tutta la zona è quindi caratterizzata da depositi prevalentemente fini di ambienti lagunari, palustri, di spiaggia, di delta ed eolici, spesso in successioni caratterizzate da aumento della granulometria verso l'alto. L'alternanza di livelli a granulometria più grossolana con livelli più fini causa la presenza di numerosi acquiferi sovrapposti nei diversi livelli permeabili.

In **Figura 3** è riportato uno stralcio della mappa geologica della Laguna Veneta a scala 1:100.000.



Figura 3: Stralcio della carta geologica 1:100.000 (Foglio 51 – Carta Geologica d’Italia) con ubicazione delle aree d’intervento

Un esempio della sezione tipica del suolo presente nell’area perilagunare veneziana è data nella seguente figura, tratta dal Master Plan per la bonifica di Porto Marghera.

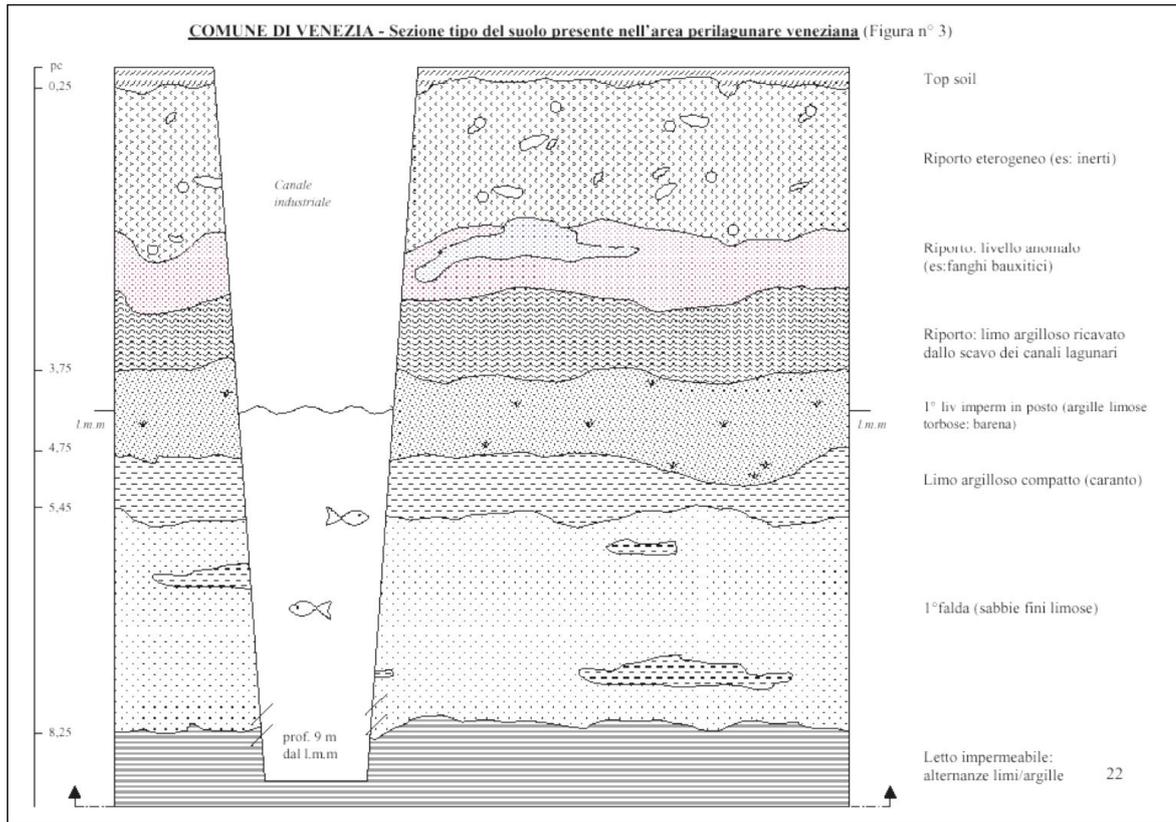


Figura 4: Schema stratigrafico tipo dell'area perilagunare veneta

Allo stato attuale, l'intensa urbanizzazione dell'area di Mestre, che include i siti di Porto Marghera e Fusina, ha compromesso le caratteristiche geomorfologiche del territorio e nel caso del sito in esame è caratterizzato dalla presenza di una coltre di materiali di riporto messa in opera per elevare aree precedentemente soggette a periodici allagamenti dovuti alle escursioni di marea.

3.3. INQUADRAMENTO SEDIMENTOLOGICO E STRATIGRAFICO

L'area in oggetto si colloca nella bassa pianura costiera situata a ridosso della Laguna di Venezia, dove affiorano sedimenti prevalentemente medi o fini (sabbie, limi ed argille), riferibili alla porzione distale del megafan pleistocenico del Brenta (Figura 5).

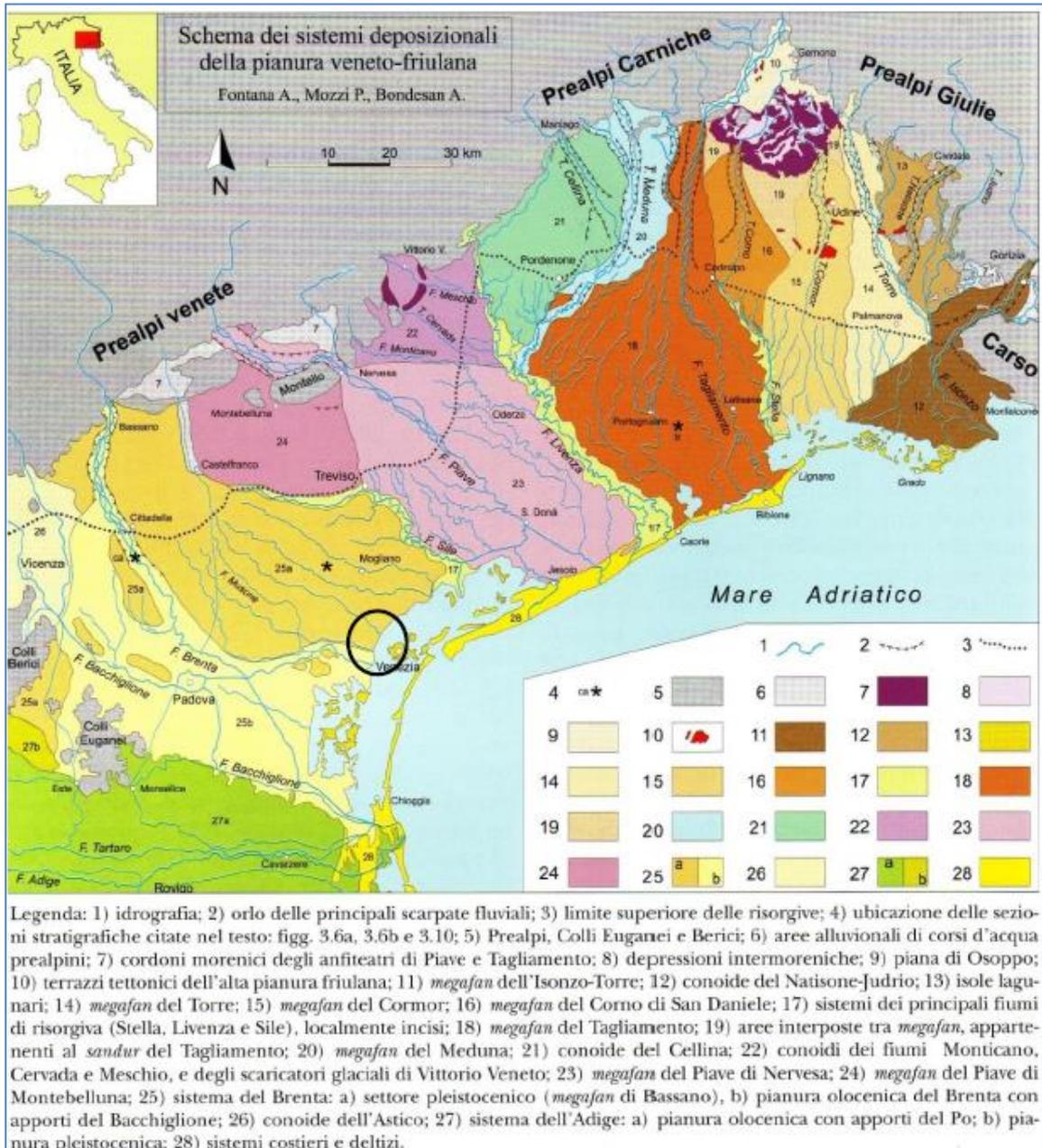


Figura 5: Schema dei sistemi deposizionali della pianura veneto-friulana (da Bondesan et al., Geomorfologia della Provincia di Venezia, 2004)

La genesi di tale ambiente deposizionale è inizialmente da riferire all'abbassamento del livello marino durante l'ultimo periodo glaciale pleistocenico (massimo glaciale 22.000 anni b.p.), che portò all'emersione di una vasta porzione dell'Adriatico settentrionale, con la linea di costa settentrionale attestata alla latitudine di Ancona.

La successiva fase climatica verificatasi nell'Olocene fu caratterizzata da un innalzamento della temperatura, con il conseguente arretramento dei ghiacciai. Durante tale fase il livello del mare raggiunse un livello prossimo a quello attuale, innalzando il livello di base dei fiumi e favorendo la deposizione della fascia di sedimenti olocenici litorali e fluvio-palustri che formano la bassa pianura costiera.

Il primo segno dell'instaurarsi di un ambiente lagunare risale a circa 6.000 anni fa, con la deposizione di sedimenti prevalentemente sabbioso-limosi. La sedimentazione olocenica è stata particolarmente attiva nella bassa pianura, nella quale i sedimenti di ambiente palustre

e lagunare oggi ricoprono, con spessori talora rilevanti, anche strati archeologici di età romana. Tuttavia in alcune zone del settore centrale del retroterra lagunare, dalla zona di Mestre fino in prossimità della Piave Vecchia, la sedimentazione durante le fasi finali del Tardoglaciale e durante l'Olocene è stata scarsa o nulla.

Dal punto di vista stratigrafico è quindi possibile suddividere il sottosuolo dell'area veneziana in due complessi deposizionali diversi:

- a) quello lagunare-litoraneo olocenico prevalentemente sabbioso-limoso con presenza di resti di conchiglie che testimoniano l'ingressione marina;
- b) quello, sottostante al primo, continentale pleistocenico, rappresentato da alternanze di orizzonti argilloso-limosi, subordinatamente sabbiosi, con frequenti intercalazioni torbose, le cui caratteristiche tessiturali e paleontologiche rivelano il carattere continentale.

I due complessi, continentale del pleistocene superiore e lagunare-costiero dell'olocene, sono ben separati tra loro da un orizzonte di argilla, che per la prolungata emersione ha subito un processo di sovraconsolidazione e ossidazione subaerea. Tale orizzonte è conosciuto con il termine locale di "caranto", litologicamente rappresentato da un'argilla grigio-giallastra, generalmente molto compatta.

Le caratteristiche litostratigrafiche dell'area di Porto Marghera sono state descritte in occasione della ricostruzione del Modello geologico e idrogeologico nel Master Plan per la bonifica dei siti inquinati di Porto Marghera (*Master Plan per la bonifica dei siti inquinati di Porto Marghera, 2004*), in seguito raffinato con l'indagine idrogeologica (*Indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera - seconda fase - 2009*) sviluppata dalla Direzione Progetto Venezia e della Provincia di Venezia.

Nell'ambito del comprensorio lagunare la giacitura e lo spessore del caranto sono molto variabili, anche fino a scomparire del tutto. Dalla Figura 6 si può notare che lo strato di caranto tende ad affiorare in terraferma e si affossa verso i litorali (verso il settore sud orientale) con un'immersione verso Est Sud-Est. Tale mappa è stata generata dall'interpolazione (kriging ordinario) dei valori puntuali presenti nella banca dati stratigrafica in cui è stata riconosciuta la sua presenza, una mappa della profondità del tetto dello strato all'interno del Sito di Interesse Nazionale.

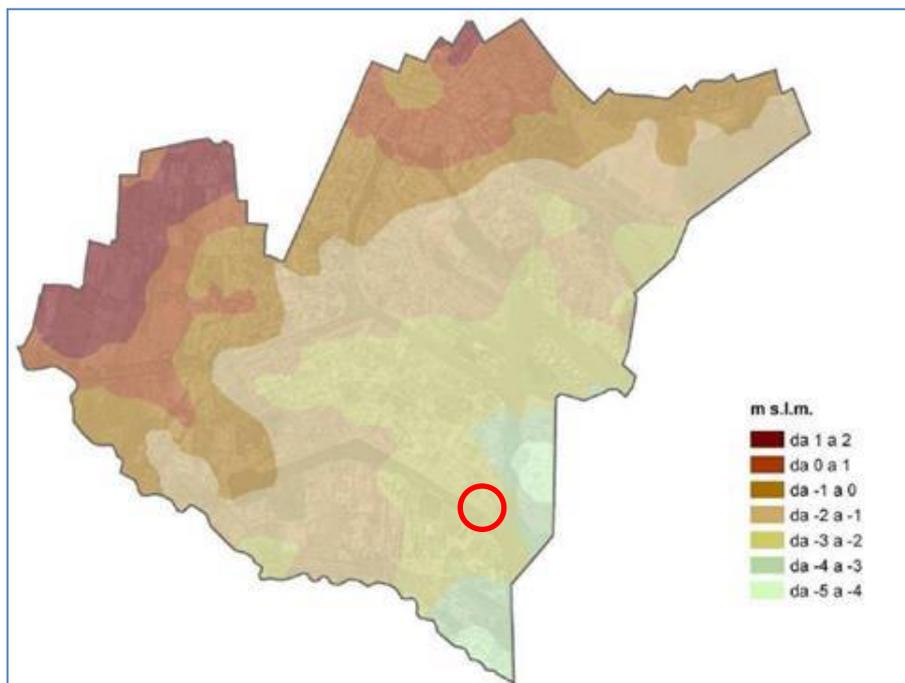


Figura 6: Quota del tetto del caranto ottenuta per interpolazione (fonte: "Indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera").

4. SISMICITA'

4.1. 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 4**), 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 tra il settore appenninico settentrionale e quello dell'arco alpino (area compresa tra le zone sismogenetiche 912 e 905-906).

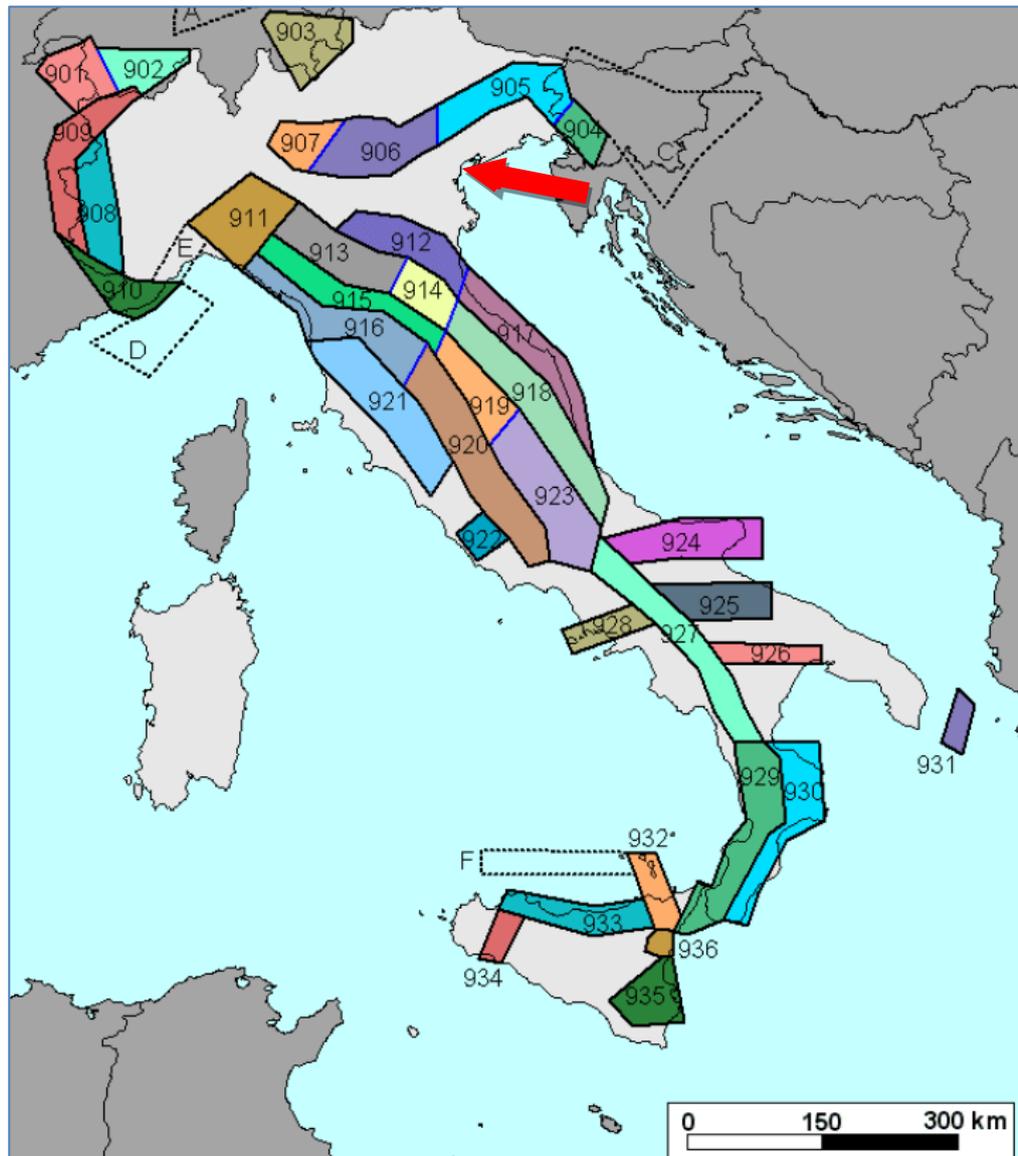


Figura 7: Zonazione sismogenetica ZS9

Le zone 905 e 906 sono legate all'interazione Adria-Europae rappresentano il settore in cui è osservata la massima convergenza tra le placche adriatica ed europea; è caratterizzato dalle strutture a pieghe sud-vergenti del Sudalpino orientale e faglie inverse associate (Zanferrari et al., 1982; Slejko et al., 1989; Valensise e Pantosti, 2001; Peruzza et al., 2002; Galadini et al., 2002) e, nelle aree ad est del confine friulano, da faglie trascorrenti destre con direzione NW-SE (trend dinarico) (es., Bernardis et al., 2000; Bajc et al., 2001; Vrabec, 2001).

La zona 905 racchiude un'area nella quale la frequenza di eventi sismici (anche per le magnitudo medio-alte) è nettamente superiore a quella delle zone adiacenti, come mostrato dal catalogo CPTI2. Si è ritenuto opportuno rimarcare queste peculiari caratteristiche del rilascio di terremoti distinguendo la zona friulana dalle adiacenti zone 904 e 906. La zona 905, infine, comprende la sorgente del Montello (potenzialmente responsabile di terremoti con $M > 6$) che, in base ai dati attualmente disponibili, è definibile come "silente" (cioè mancano, nei cataloghi disponibili, terremoti storici con magnitudo prossima a quella massima attesa).

La zona 906 interessa l'area che va da Bassano del Grappa fino a Verona. Le zone-sorgente 904 e 906 sono distinte dalla zona 905 per le differenti caratteristiche della sismicità, con un limite riportato nella mappa delle zone con un limite di colore blu.

La zona 912 appartiene all'arco appenninico settentrionale, rappresenta una delle zone-sorgente longitudinali rispetto all'asse della catena appenninica e la porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale. In questa zona la sismicità sembra evidenziare l'andamento del fronte compressivo sepolto più avanzato (a ridosso del Po).

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 alle zone sismogenetiche 905, 906 e 912

Zona	Numero di eventi $M_d > 2.0$	Numero di eventi $M_d > 2.5$	Numero di eventi $M_d > 3.0$	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
905	181	110	32	4.8	05-ago	8
906	41	34	13	4.7	05-ago	8
912	180	141	54	4.6	05-ago	7

4.2. 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).

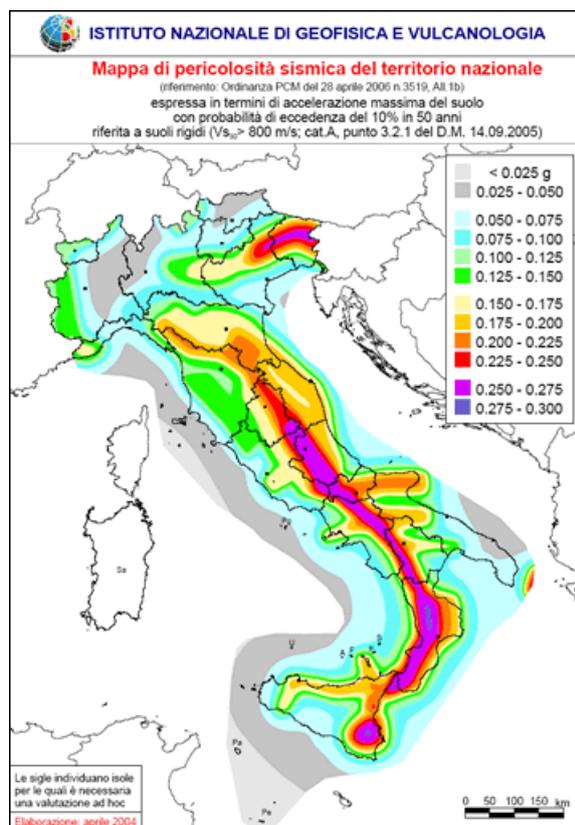


Figura 8: Mappa della pericolosità sismica in Italia (Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006)

Ai sensi della normativa nazionale (Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006) e regionale (Delibera Consiglio Regionale del Veneto n. 67 del 3/12/2003) l'area di studio, che ricade nel territorio del Comune di Venezia, rientra in **zona sismica 4**.

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 (ag)
1	E' la zona più pericolosa. La probabilità che capiti un forte terremoto è alta	$ag > 0.25$
2	In questa zona forti terremoti sono possibili	$0.15 < ag \leq 0.25$
3	In questa zona i forti terremoti sono meno probabili rispetto alla zona 1 e 2	$0.05 < ag \leq 0.15$
4	E' la zona meno pericolosa: la probabilità che capiti un terremoto è molto bassa	$ag \leq 0.05$

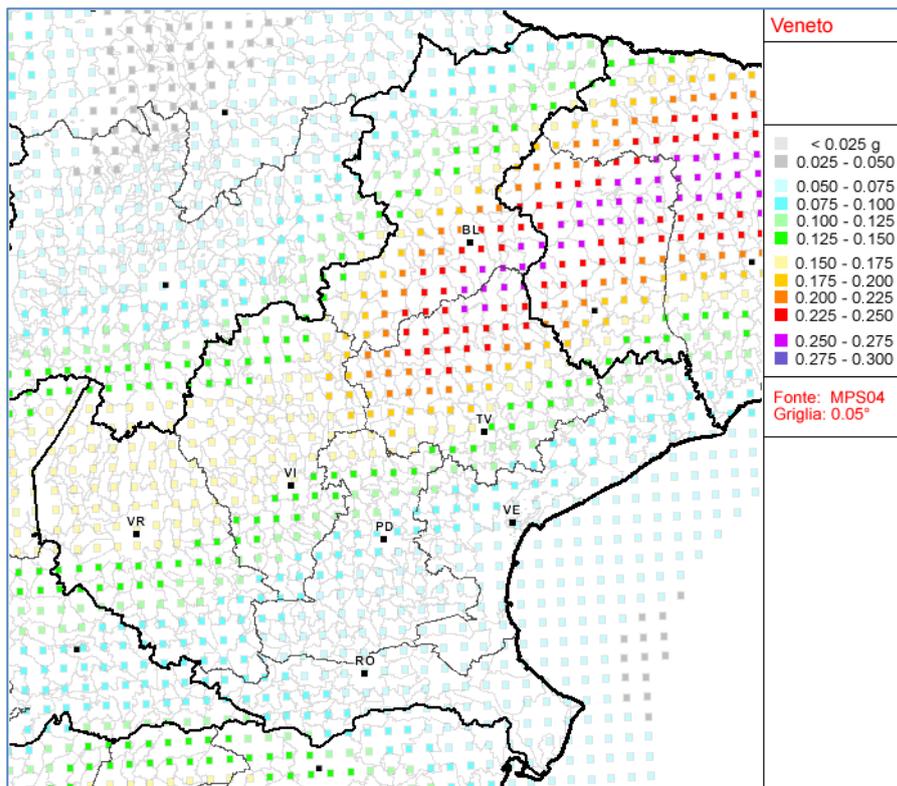


Figura 9: Mappa della pericolosità sismica Regione Veneto (Ordinanza PCM 3519/2006 – All. 1b)

Dalla Consultazione delle banche dati dell'INGV, relativamente alle osservazioni macrosismiche dei terremoti (DBMI15), sono riportati 149 eventi sismici che hanno interessato il territorio comunale.

Tabella 3: Elenco dei terremoti avvertiti nel territorio comunale di Venezia

Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7-8	1117 01 03 15 15	Veronese	55	9	6,52
5	1284 01 17 15 30	Venezia	1	5	4,16
F	1303 08	Adriatico centrale	4		
7-8	1348 01 25	Alpi Giulie	89	9	6,63
5	1365 03 04	Pianura Veneta	4	5	4,63
5	1373 03 01 08	Venezia	1	5	4,16
4	1410 06 10 21	Verona	5		
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:
6	1976 05 06 20 00 13.17	Friuli	770	9-10	6,45
4	1976 09 11 16 35 02.44	Friuli	40	7-8	5,6
5	1976 09 15 09 21 19.01	Friuli	54	8-9	5,95
3-4	1977 04 03 03 18 14.07	Friuli	25	5	4,51
5	1977 09 16 23 48 07.64	Friuli	94	6-7	5,26
3-4	1978 12 05 15 39 04.00	Romagna	34	4-5	4,61
4	1978 12 12 15 14 49.22	Dolomiti Friulane	56	5-6	4,35
3-4	1979 04 18 15 19 19.28	Friuli	72	6-7	4,66
3	1980 12 23 12 01 06.00	Piacentino	69	6-7	4,57
3	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
3	1996 10 15 09 55 59.95	Pianura emiliana	135	7	5,38
3-4	2003 09 14 21 42 53.18	Appennino bolognese	133	6	5,24
4-5	2004 11 24 22 59 38.55	Garda occidentale	176	7-8	4,99
F	2008 12 23 15 24 21.77	Parmense	291	6-7	5,36
3	2011 07 17 18 30 27.31	Pianura lombardo-veneta	73	5	4,79
3	2016 10 26 19 18 07.42	Valnerina	77		6,07
3-4	2016 10 30 06 40 17.32	Valnerina	379		6,61

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

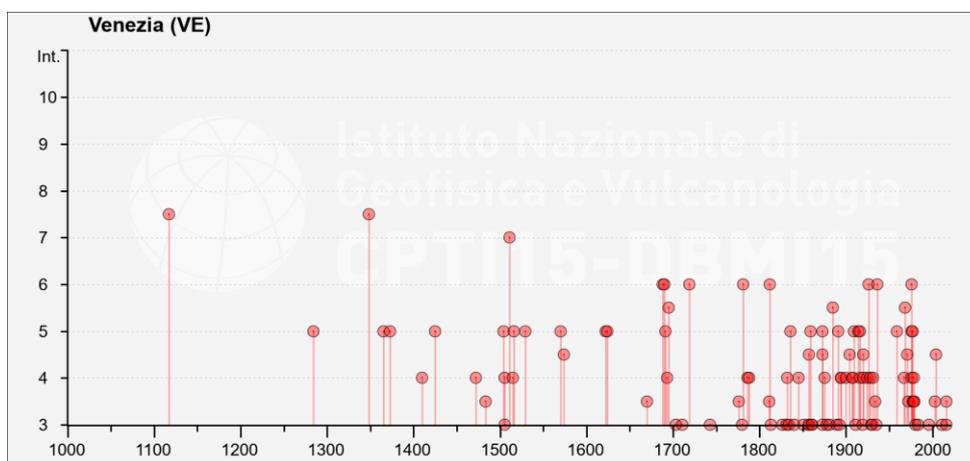


Figura 10: Andamento temporale degli eventi sismici in funzione della loro intensità – Fonte INGV

Dalla lettura di Tabella 3 e della Figura 10 appare evidente che gli eventi sismici censiti sono distribuiti a partire dal 1117 fino al 2016, con massime intensità aventi valori di intensità al sito comprese tra 4 e 6 (analisi fatta considerando gli eventi più recenti, le cui stime sono più attendibili rispetto a quelle storiche).

Dalla osservazione di questi dati e da studi presenti in letteratura si evince che la sismicità dell'area risulta influenzata maggiormente dalle strutture sismogenetiche legate all'Appennino Settentrionale ma anche a quelle legate all'Arco Alpino.

5. 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 a partire dal 1993 e riportate in dettaglio nella Tabella 4.

Tabella 4: Indagini pregresse

Campagne d'indagine	Tipologia d'indagine	Nome	Profondità [m]	Prove SPT	Campioni Indisturbati	Campioni rimaneggiati
Prove di carico su pali di fondazione - anno 1993	Prove di carico su pali	-	-	-	-	-
Campagna di indagini eseguita dalla società Vicenzetto - anno 2001	CPTU	CPTU301	37	-	-	-
		CPTU302	33	-	-	-
		CPTU303	30,2	-	-	-
	Sondaggio geognostico	S301	35	6	5	5
S303		35	8	4	8	
Indagini e Relazione nell'ambito della riqualificazione ambientale - anno 2002	Piezometro	304	6	-	-	-
		305				
		306				
		307				
		308				

Nell'anno 2019 è stata effettuata un'ultima campagna di indagini geognostiche con lo scopo di raccogliere dati geologici sito specifici, utili alla progettazione delle fondazioni a sostegno delle nuove opere previste nell'ambito dell'ampliamento della centrale elettrica. A febbraio 2020 è stata redatta una relazione contenente i risultati di tali indagini, la cui tipologia e quantità è riportata nella sottostante Tabella 5.

Tabella 5: Indagini geognostiche svolte nel 2019

Campagne d'indagine	Tipologia d'indagine	Nome	Profondità [m]	Prove SPT	Down Hole	Campioni Indisturbati	Campioni rimaneggiati
Campagna di indagini eseguita nel 2019 nell'ambito della progettazione delle opere di fondazione di un nuovo ciclo combinato, nell'area di impianto della centrale Termoelettrica Andrea Palladio	CPTU	CPTU1	15	-	-	-	-
		CPTU1bis	15				
		CPTU2	40				
		CPTU3	40				
		CPTU4	40				
	Sondaggio geognostico	S1	40	6	1	6	10
		S2	40	1	-	6	1
	MASW	MASW 1	-	-	-	-	-
		MASW 2	-	-	-	-	-
	HVS	HVS	HVSR1	-	-	-	-
HVSR2							
HVSR3							
HVSR4							
HVSR5							

Nella Figura 11 è indicata l'ubicazione delle predette indagini adottate ai fini del presente Studio.

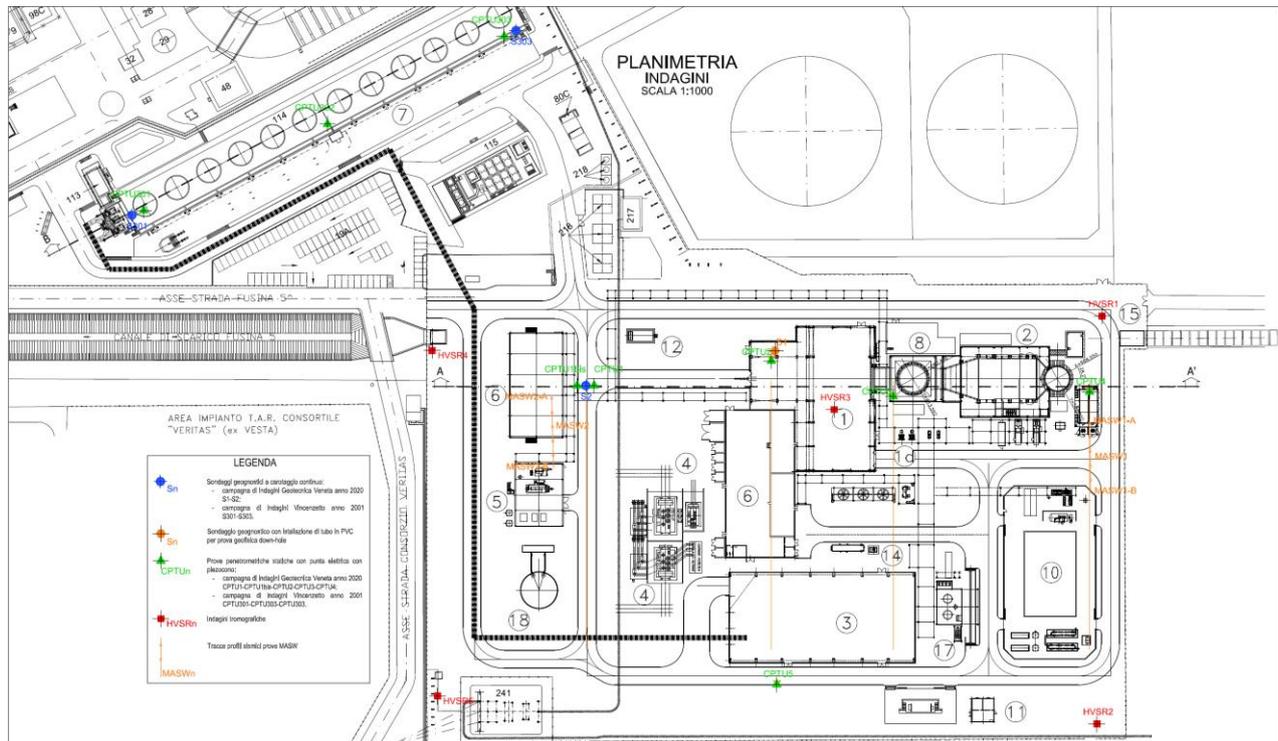


Figura 11: Ubicazione delle indagini utilizzate nello studio

Nell'allegato 1 (fuori testo) si riportano inoltre i report contenenti i risultati delle indagini utilizzate per la redazione della presente relazione geologica.



6. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

6.1. 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:

Riporto antropico;

- A. Limo argilloso e limo con argilla sabbioso grigio con livelletti di sabbia fine e rari frammenti di conchiglie, con livelli di sostanze organiche;
- B. Sabbia da fine a media, limosa color grigio chiaro e scuro con resti di conchiglie, frammenti lignei e sostanze organiche vegetali;
 - B1 Limo grigio scuro con sabbia (lente inclusa nel litotipo B);
- C. Sabbia fine limosa grigia e limo argilloso con veli e livelli di sostanze organiche vegetali;
 - C1 Litotipo coesivo (probabile limo e torba, lente inglobata nel litotipo C);
- D. Limo argilloso e argilla limosa grigia e grigio chiara con veli e punti di sostanze organiche vegetali;
- E. Sabbia fine con limo grigia e limo sabbioso con livelletti centimetrici di limo argilloso;
 - E1 Litotipo coesivo incluso nel banco sabbioso (argilla limosa grigia con lenti di torba);
- F. Argilla limosa e limo argilloso grigio e grigio chiaro con alternanze e livelli di torba granulare e bruna;
- G. Sabbia fine limosa grigia e grigio-nocciola con livelli di limo argilloso nocciola con sostanze organiche vegetali;
- H. Sabbia media e fine limosa grigia, talvolta passante a grigio-nocciola.

6.2. 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 lagunare.

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 2,0m dal piano campagna.

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 geotecnica 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
1,2 ÷ 5,0m	(R) – Materiale di riporto di origine antropica
2,0 ÷ 4,8m	Unità A – Formazioni limo argillose con rari frammenti di conchiglie e livelli di sostanze organiche
7,0 ÷ 11,0m	Unità B – Formazioni sabbiose da fini a medie, limose con resti di conchiglie, frammenti lignei e sostanze vegetali.
4,0 ÷ 5,0m	Unità C – Formazioni sabbiose fini e limoso-argillose con veli di sostanze organiche vegetali.
2,0 ÷ 3,0m	Unità D – Formazioni limose e argilloso-limose con veli di sostanze vegetali.
5,0 ÷ 10,0m	Unità E – Formazioni di sabbia fine con limi sabbiosi e livelletti di limi sabbiosi.
2,0 ÷ 6,0m	Unità F – Formazioni argilloso-limose con alternanze di livelli di torba.
2,0 ÷ 6,0m	Unità G – Formazioni di sabbia fine limosa grigio-nocciola con sostanze organiche vegetali.
-	Unità H – Formazioni di sabbia media e fine limosa grigia e nocciola.

Nella 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.

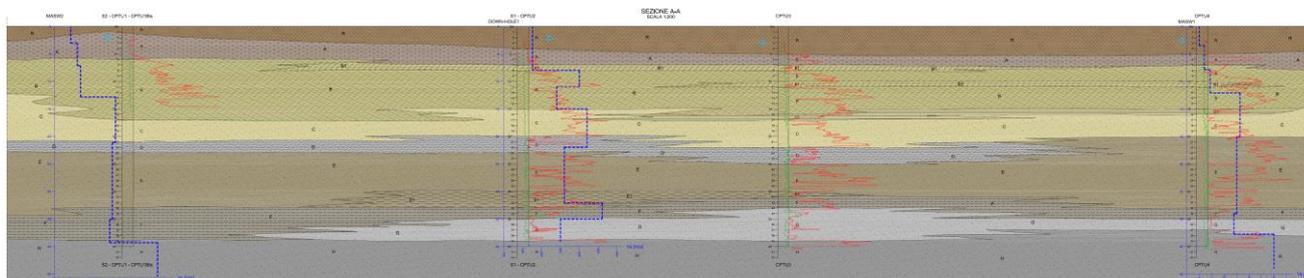


Figura 12: Profilo litostratigrafico - Sezione A-A – vedi allegato grafico

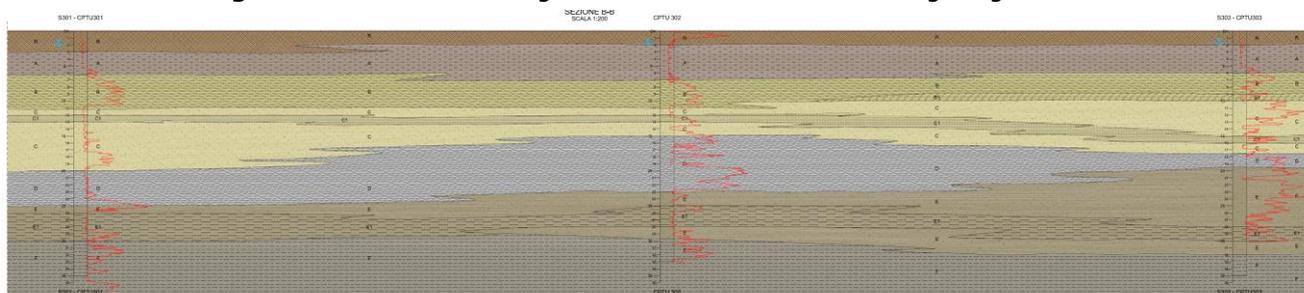


Figura 13: Profilo litostratigrafico - Sezione B-B – vedi allegato grafico



7. RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)

7.1. 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 a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superfici 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 P_vR (come definite nel § 3.2.1 del DM 17/01/2018), nel periodo di riferimento V_R (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 P_vR nel periodo di riferimento V_R , 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.

7.1.1. AZIONE SISMICA LOCALE

Facendo riferimento al dato sperimentale ottenuto attraverso le indagini MASW e l'indagine Down Hole prese come riferimento per la misura diretta della V_s nel sottosuolo ($231 < V_{seq} < 244,82 \text{ m/s}$) si è giunti a classificare il terreno di fondazione nella **categoria C**, definita come riportato nella Tabella 7.

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>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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.

Nel caso in questione è stata effettuata un'analisi dell'azione sismica locale in conformità alle NTC 2018 (DM 17/01/18) considerando i diversi stati limite.

Nella **Tabella 8** si riportano i parametri utilizzati nell'analisi dell'azione sismica locale.

Tabella 8: Parametri per l'analisi dell'azione sismica locale

Coordinate sito	VN	Classe d'uso	CU	VR	PVR	TR	Categoria topografica
LAT 45.432549 LONG 12.252340	≥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 9: 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	0.036	2.526	0.251
SLD	63	101	0.043	2.492	0.296
SLV	10	949	0.092	2.687	0.380
SLC	5	1950	0.116	2.664	0.416

Nella Figura 14 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	12747	45.4281	12.2091	3521.465
Sito 2	12748	45.4288	12.2802	2153.657
Sito 3	12526	45.4788	12.2792	5405.216
Sito 4	12525	45.4781	12.2080	6081.840

Figura 14: 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 10.

Tabella 10: 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	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{ge}}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{ge}}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{ge}}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{ge}}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$



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:

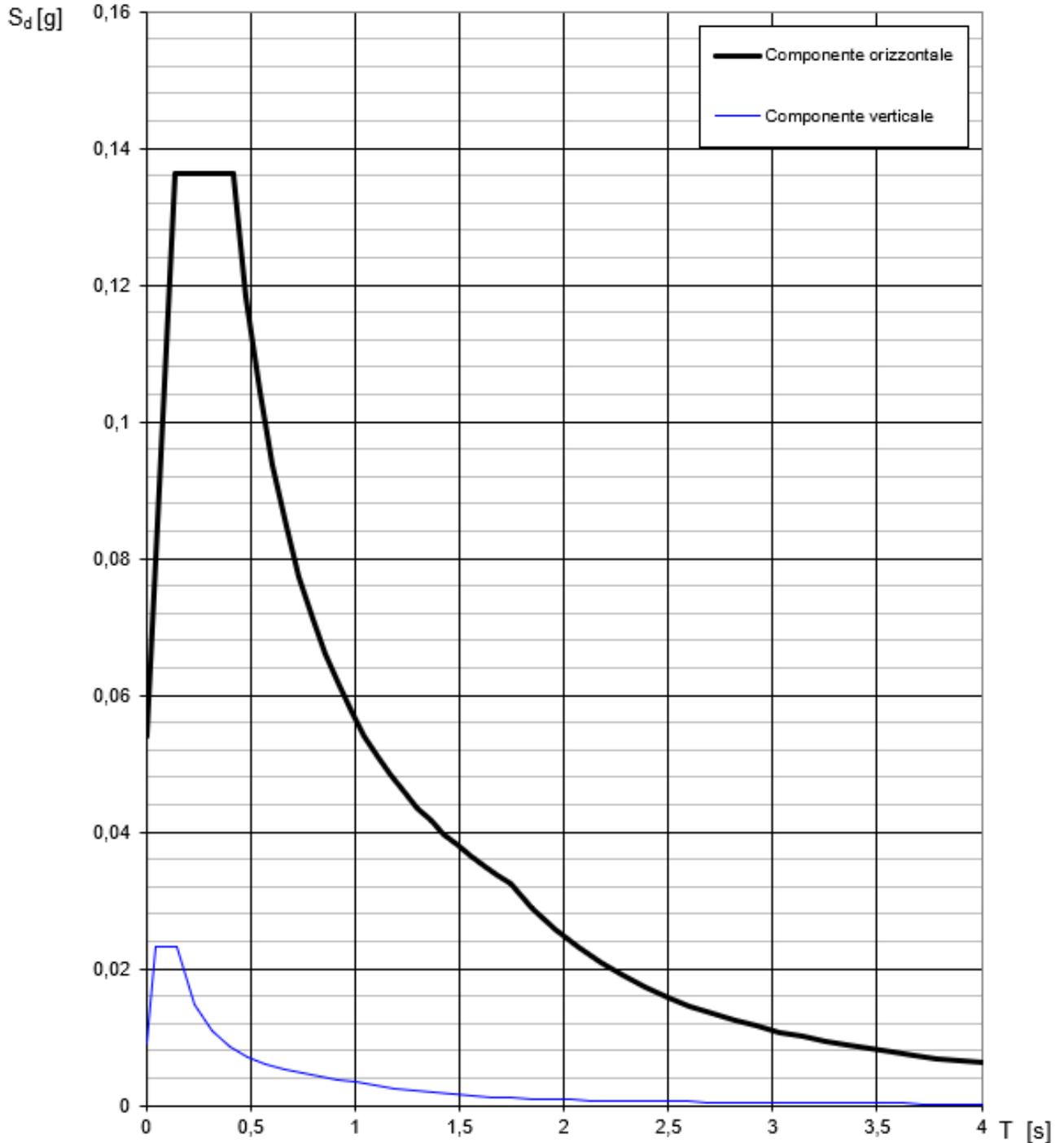
$$a_{max} = a_g \cdot S_s \cdot S_t$$

Nella Tabella 11 sono riportati tutti i valori dei coefficienti sismici ottenuti per i vari stati limite considerati.

Tabella 11: Riepilogo dei coefficienti sismici sito specifici

Stato limite	S_s	C_c	S_t	a_{max} [g]	a_{max} [m/s ²]
SLO	1,500	1,657	1,0	0,054g	0,530 m/s ²
SLD	1,500	1,570	1,0	0,064g	0,628 m/s ²
SLV	1,500	1,444	1,0	0,137g	1,344 m/s ²
SLC	1,500	1,403	1,0	0,175g	1,717 m/s ²

Nel seguito sono riportati gli spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali per i diversi stati limite.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLO**Figura 15:** Spettri di risposta elastici allo stato limite SLO

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

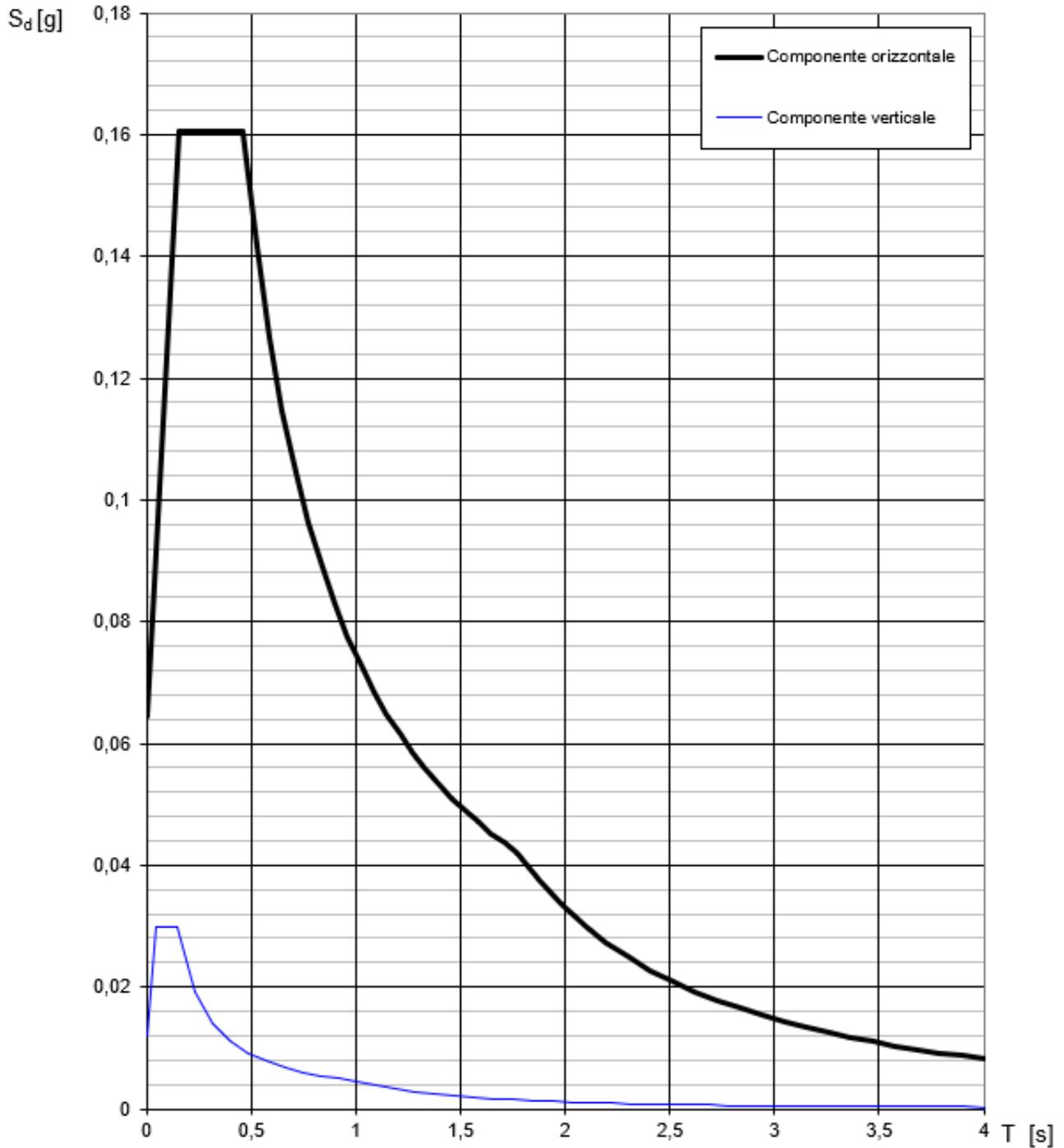
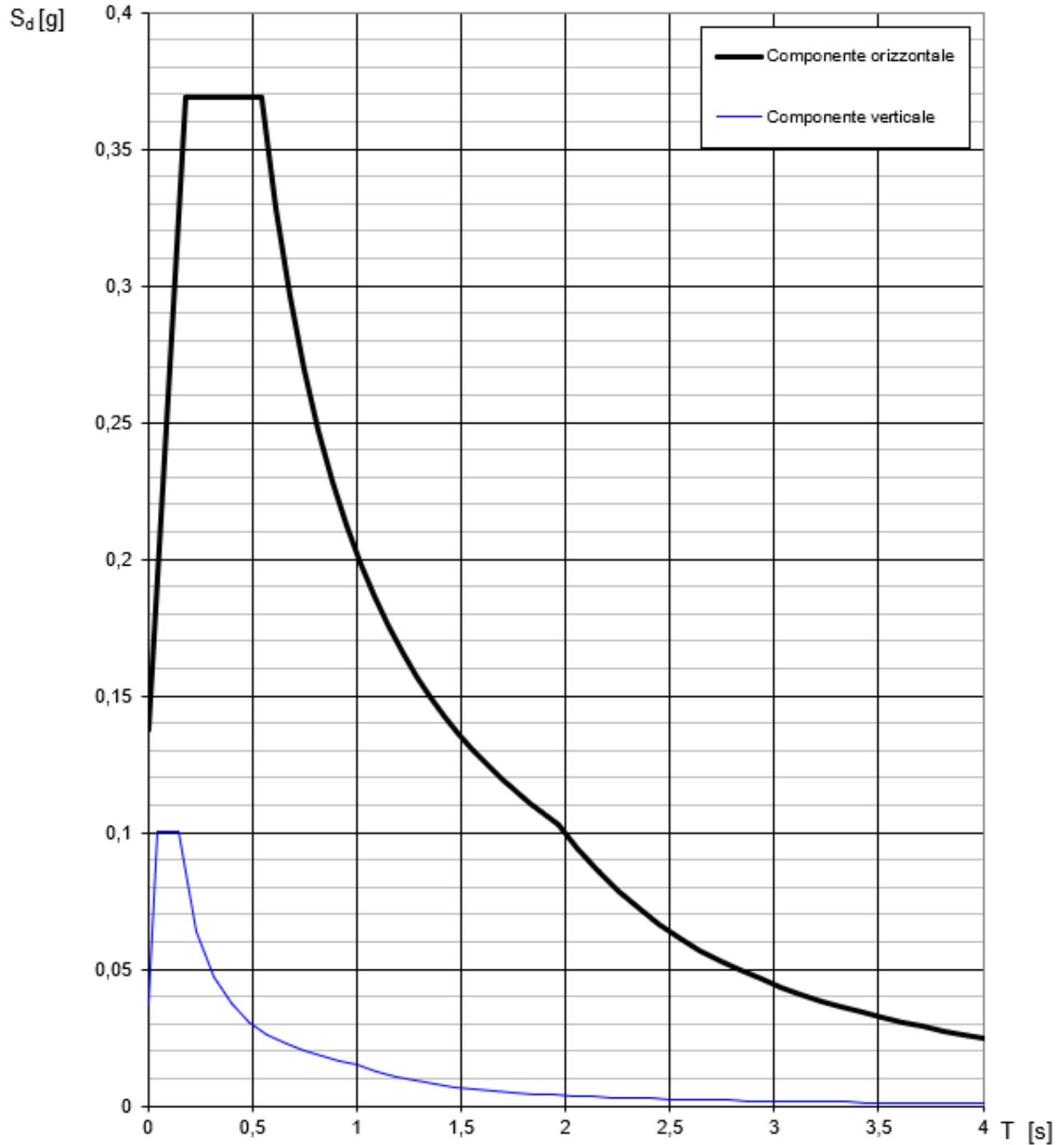


Figura 16: Spettri di risposta elastici allo stato limite SLD

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV**Figura 17:** Spettri di risposta elastici allo stato limite SLV

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

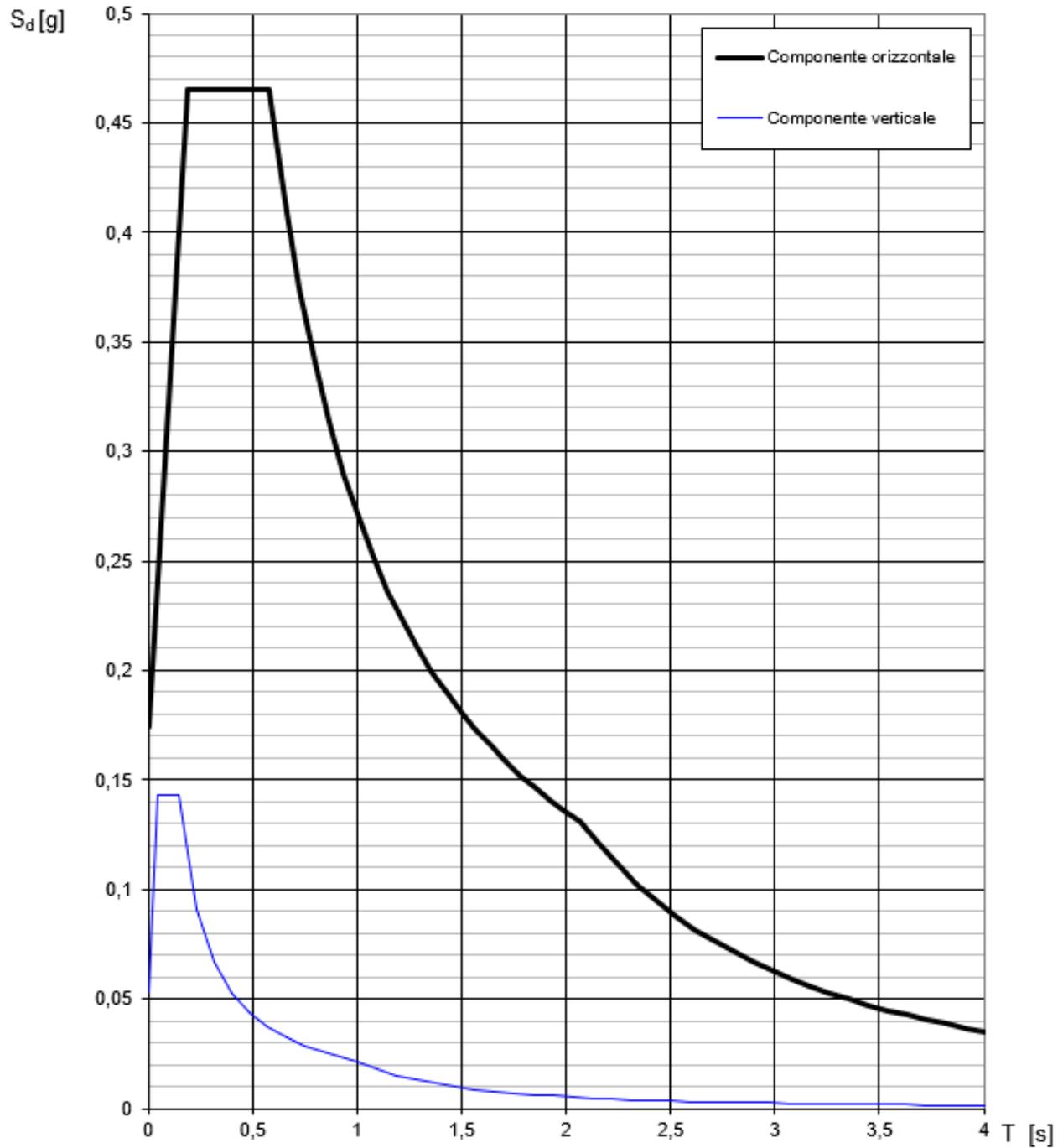


Figura 18: Spettri di risposta elastici allo stato limite SLC



Engineering & Construction

**FUSINA
CAPACITY MARKET ITALIA**

**RELAZIONE GEOLOGICA E DI
MODELLAZIONE SISMICA**

Document
Documento n.

PBFCU2002100

Sheet
Pagina **27** of
di **81**

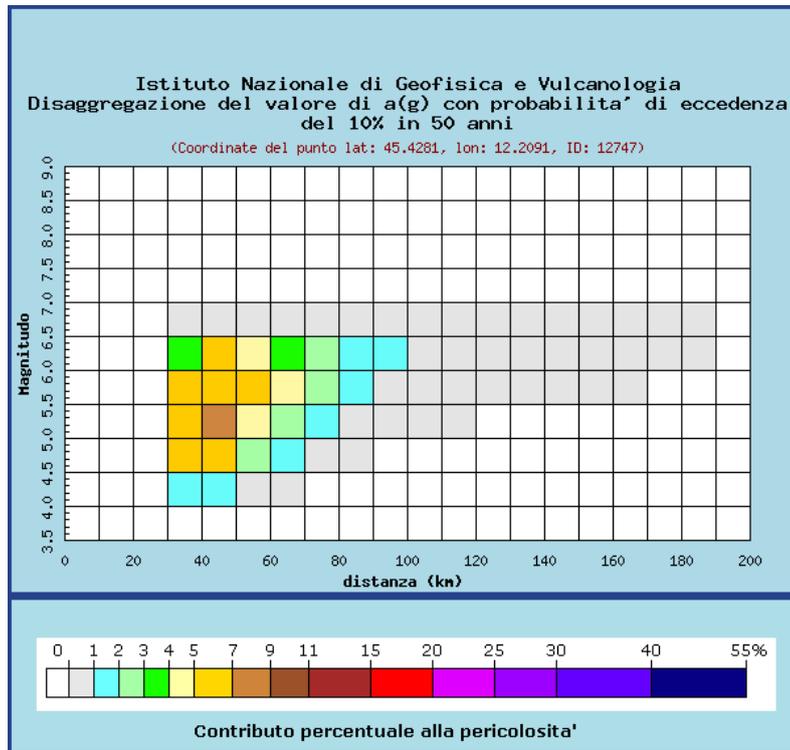
7.2. VERIFICA RSL CON MODELLAZIONE 1D

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: 45.4281, lon: 12.2091, ID: 12747)										
	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	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	1.680	5.410	5.980	5.160	3.590	0.523	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	1.340	5.450	7.110	6.950	5.410	0.842	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.289	2.790	4.810	5.480	4.850	0.812	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.001	1.010	2.970	4.000	3.990	0.715	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.194	1.490	2.490	2.710	0.515	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.008	0.668	1.520	1.630	0.318	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.250	0.955	1.090	0.221	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.070	0.593	0.748	0.158	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.011	0.465	0.793	0.183	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.229	0.554	0.137	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	0.339	0.090	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027	0.170	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.050	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	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
5.610	55.900	1.560

Figura 19 – 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	172	81	ST48	Basso Tirreno	15/04/1978	6	oblique	58
Acc2	380	176	ST274	Lazio Abruzzo (aftershock)	11/05/1984	5.5	normal	60
Acc3	1902	659	ST1324	Anchialos	30/04/1985	5.6	normal	55
Acc4	1878	192	ST1309	Kalamata	13/09/1986	5.9	normal	51
Acc5	960	424	ST296	Sicilia-Orientale	13/12/1990	5.6	strike slip	50
Acc6	7160	2313	ST3295	Firuzabad	20/06/1994	5.9	strike slip	58
Acc7	616	286	ST134	Umbria Marche	26/09/1997	6	normal	59

Tabella 12: 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.

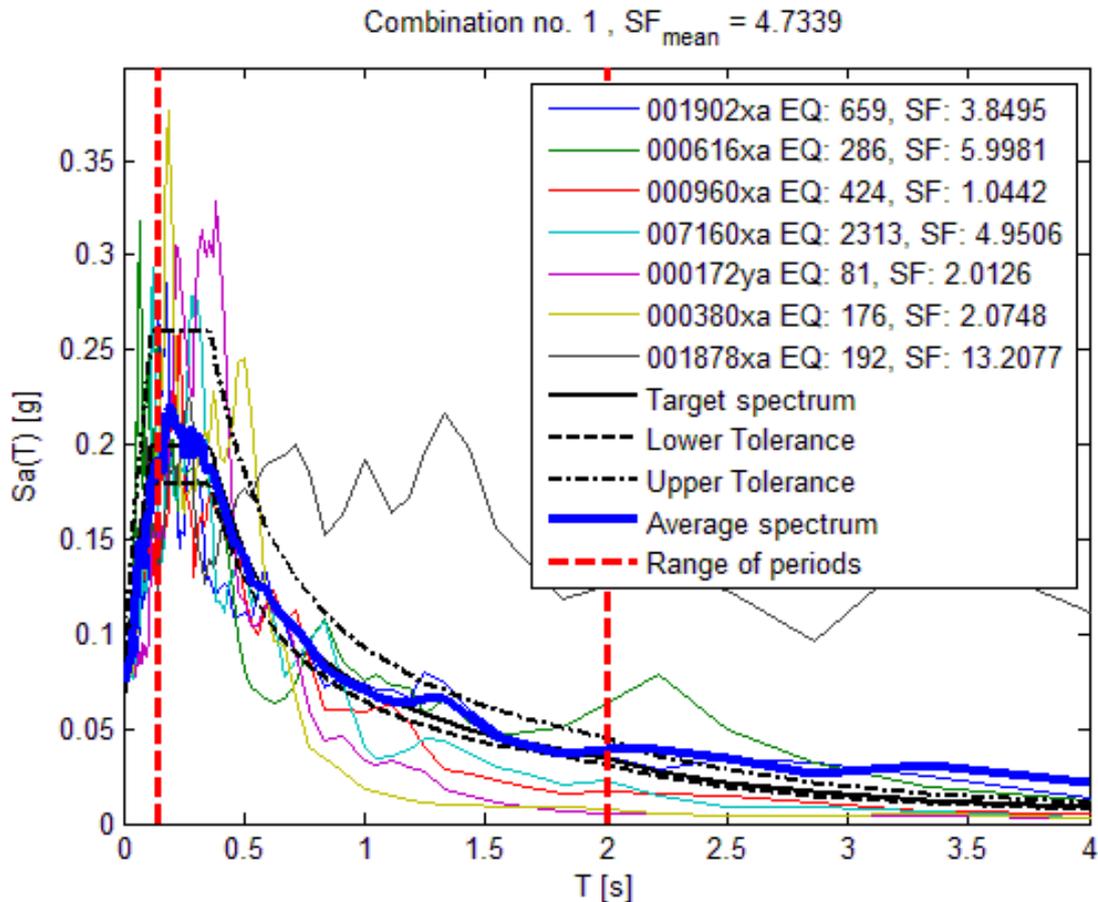


Figura 20: Spettri unitari degli accelerogrammi considerati.

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 .

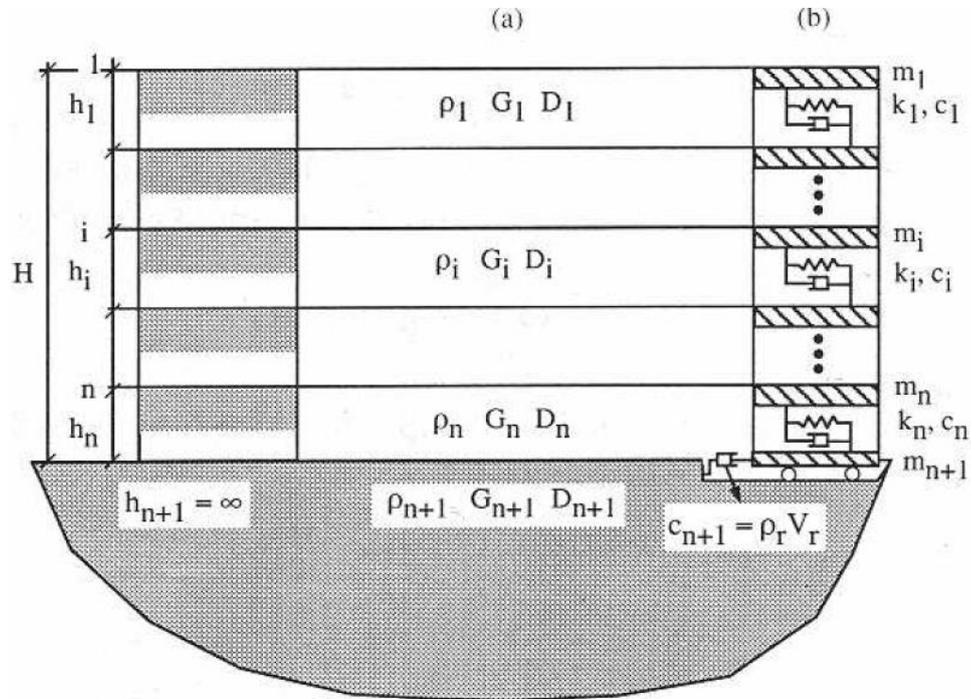


Figura 21: Modello di calcolo implementato in EERA

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.

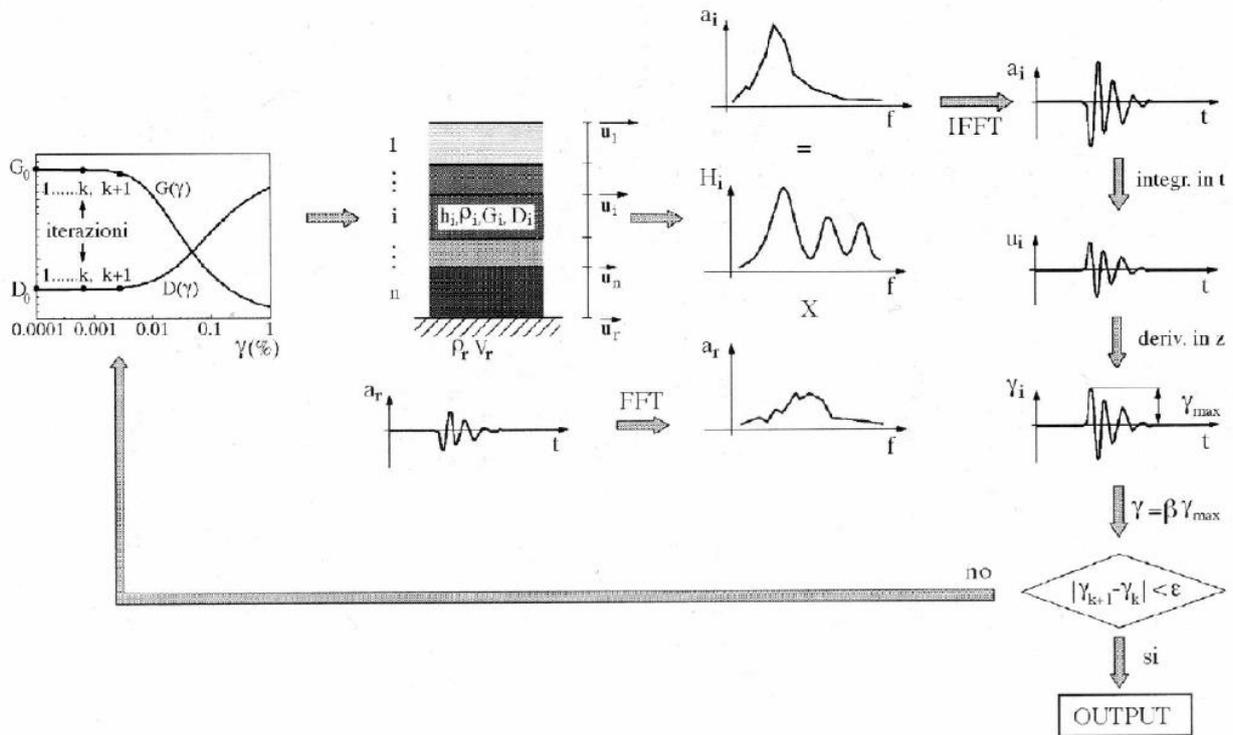


Figura 22: Procedura di calcolo implementata in EERA

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 (da 300m/s a 450m/s, ovvero un incremento del 50%), risulta appropriata la scelta di assimilare l'unità litotecnica H al substrato rigido.

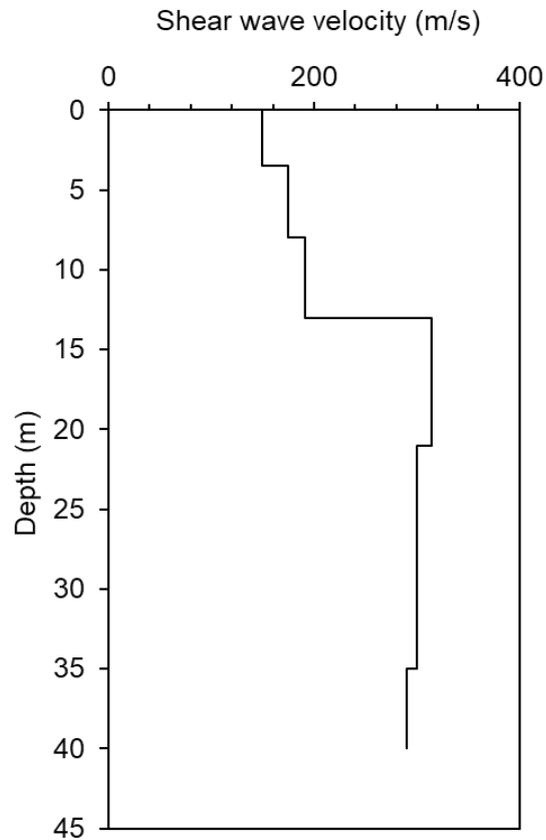


Figura 23: Profilo Vs mediato importato in EERA

Per le curve di decadimento del modulo di rigidità dinamica e fattore di smorzamento D , in assenza di specifiche prove di caratterizzazione dinamica sono state mutuate da studi di letteratura (Seed & Idriss 1970 - Idriss 1990), mentre per i litotipi nei quali erano state svolte prove specifiche, sono stati assunti i risultati di tali prove:

Pratica N°: 19/111
 Committente: Enel Produzione S.p.A.
 Cantiere: Fusina (VE)
 Sondaggio: 1
 Campione: E

Documento N°: 19/111-RC-1-E
 Data emissione: 11/02/20
 Data ricevimento campione: 14/01/20
 Data esecuzione prova: 24/02/20
 Profondità(m): 4.50 - 5.10

**PROVA DI COLONNA RISONANTE
ASTM D4015-15**

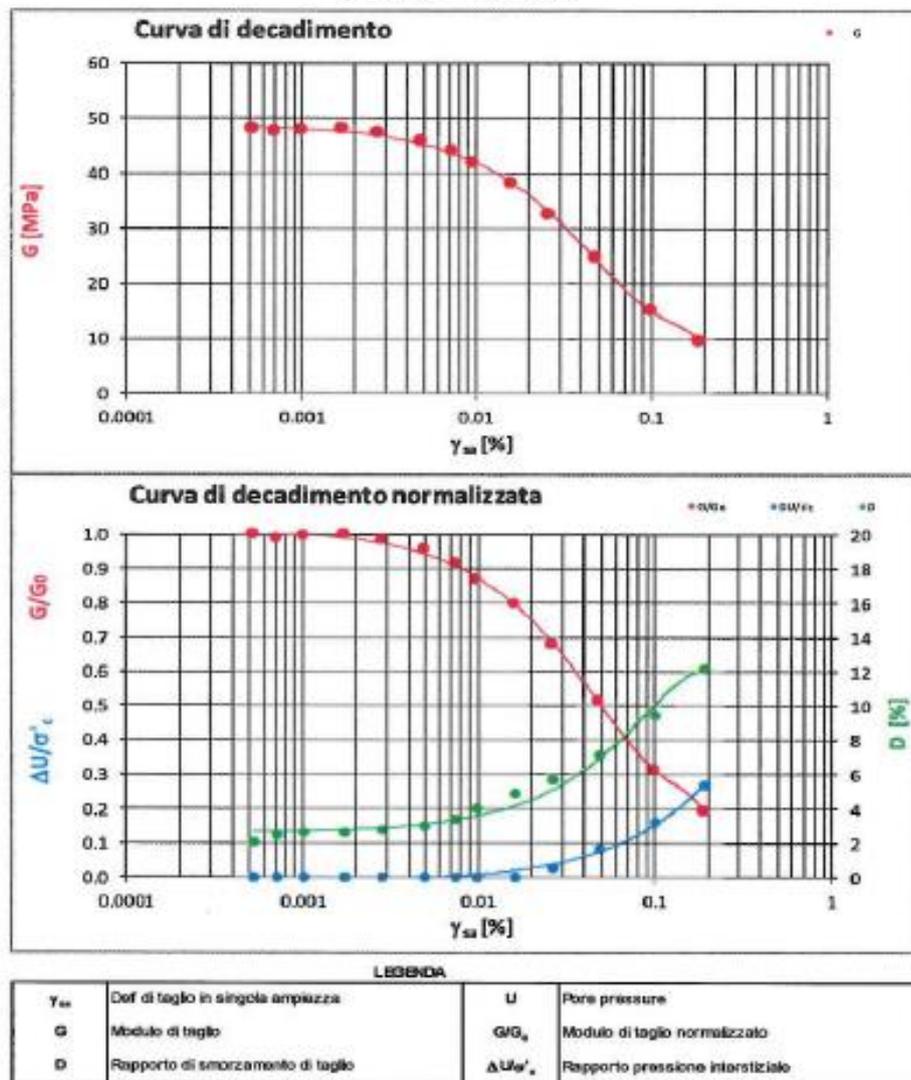


Figura 24: Prova di Colonna risonante – Unità A

Pratica N°:	19/111	Documento N°:	19/111-RC-1-B
Committente:	Enel Produzione S.p.A.	Data emissione:	11/02/20
Cantiere:	Fusina (VE)	Data ricevimento campione:	14/01/20
Sondaggio:	1	Data esecuzione prova:	03/02/20
Campione:	B	Profondità(m):	21.80 - 22.40

**PROVA DI COLONNA RISONANTE
ASTM D4015-15**

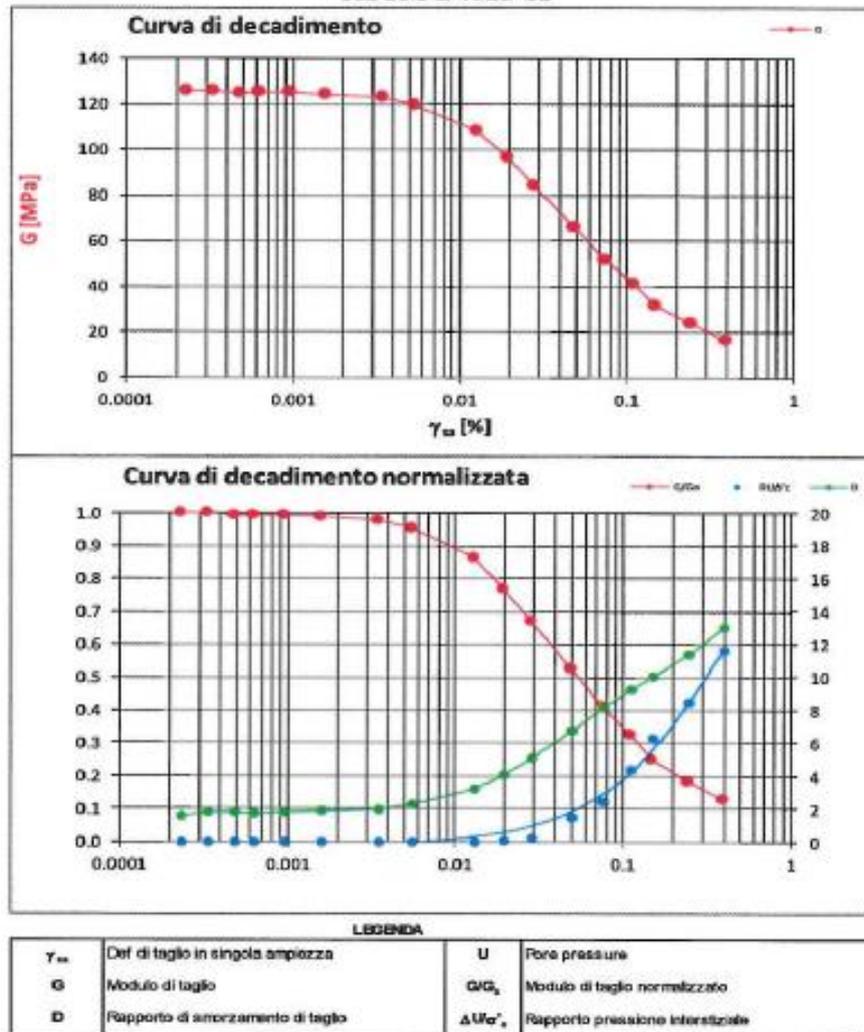


Figura 25: Prova di Colonna risonante – Unità D

Pratica N°:	19/111	Documento N°:	19/111-RC-1-D
Committente:	Enel Produzione S.p.A.	Data emissione:	11/02/20
Cantiere:	Fusina (VE)	Data ricevimento campione:	14/01/20
Sondaggio:	I	Data esecuzione prova:	05/02/20
Campione:	D	Profondità(m):	34.50 - 35.10

**PROVA DI COLONNA RISONANTE
ASTM D4015-15**

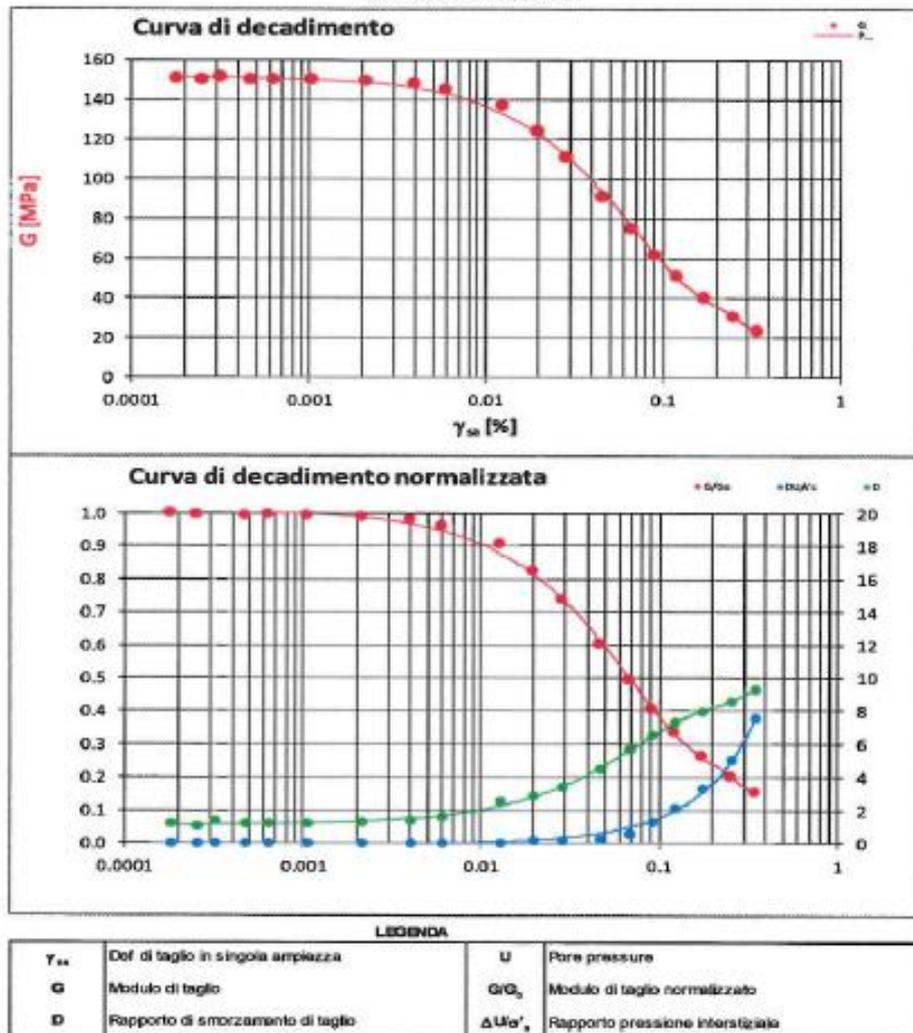


Figura 26: Prova di Colonna risonante – Unità F

Viene di seguito riportato il profilo stratigrafico utilizzato nei calcoli e le caratteristiche dei substrati, così come inseriti nel software di calcolo. Le curve dei substrati, che vengono riportate di seguito, derivano sia da prove su colonna risonante (per gli strati Mat3, Mat4 e Mat5) che da curve di letteratura, per le quali si riportano gli specifici riferimenti bibliografici.



egp4_fus

Fundamental period (s) = 0.61
Average shear wave velocity (m/sec) = 260.94
Total number of sublayers = 7

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	3.5	43.58		19.00	150		W	1.8	16.08
	2	3	4.5	59.31		19.00	175			5.8	52.84
	3	2	5.0	70.66		19.00	191			10.5	96.49
	4	4	8.0	202.29		20.00	315			17.0	160.23
	5	2	14.0	174.31		19.00	300			28.0	265.32
	6	5	5.0	162.88		19.00	290			37.5	352.62
Bedrock	7	0		412.84	1	20.00	450	Outcrop		40.0	375.60

Figura 27: Profilo input EERA

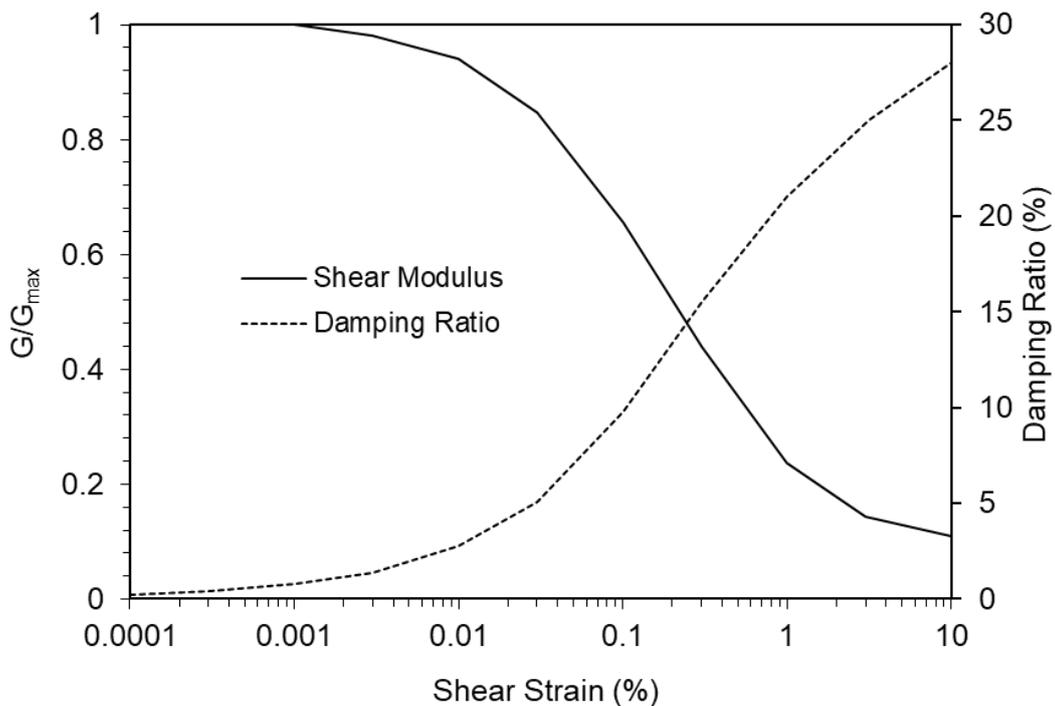


Figura 28: Proprietà dinamiche Mat 1: "Modulus for clay (Seed and Sun, 1989) upper range and damping for clay (Idriss 1990)"

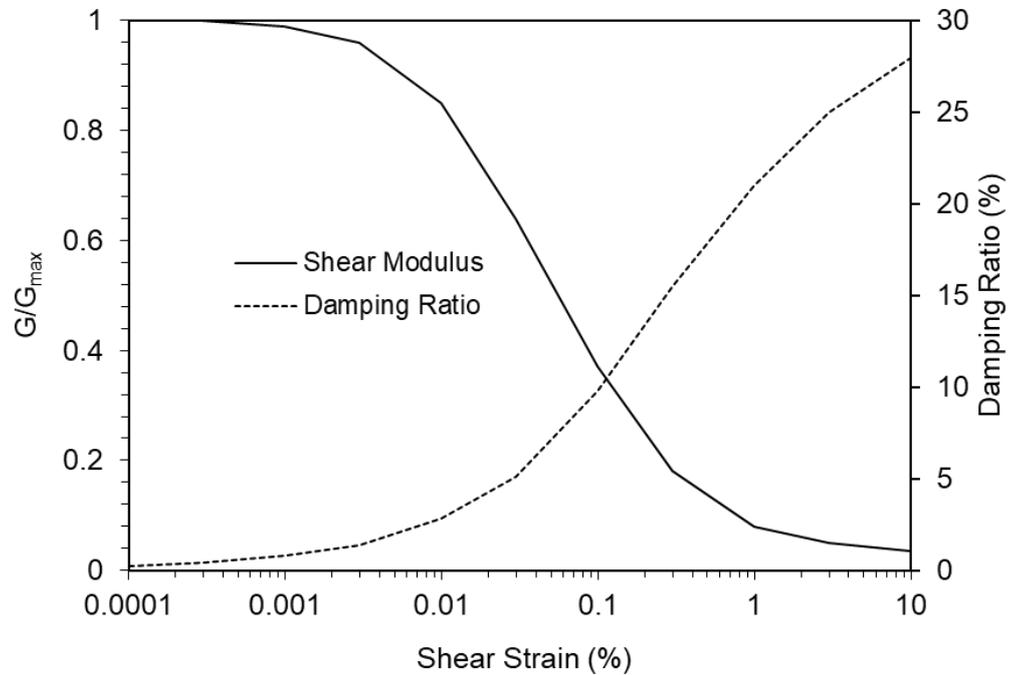


Figura 29: Proprietà dinamiche Mat 2: "Modulus for sand (Seed & Idriss 1970) - Upper Range and damping for sand (Idriss 1990) - (about LRng from SI 1970)"

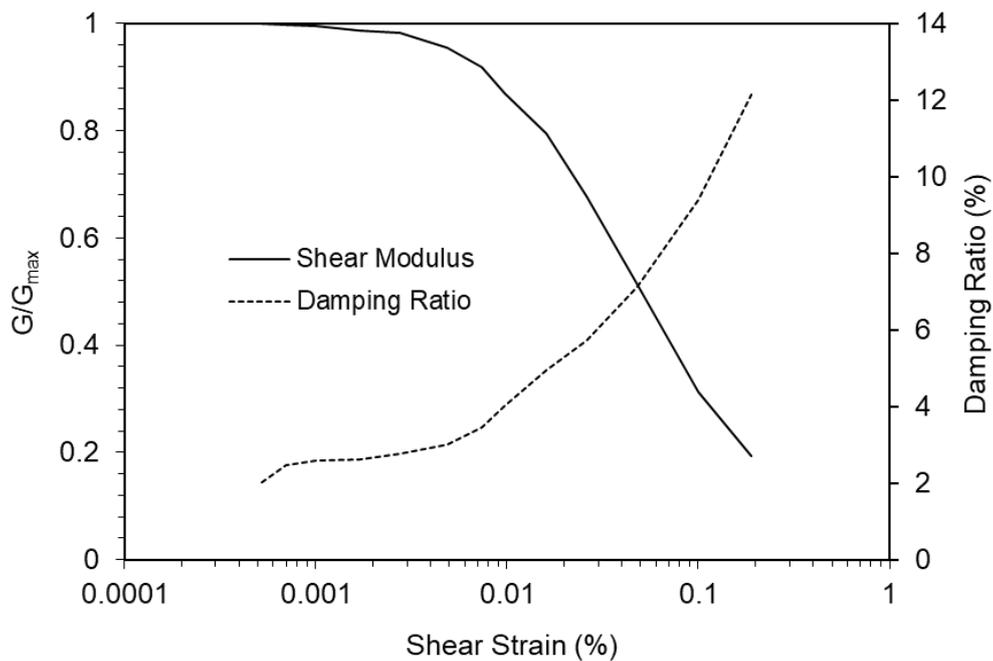


Figura 30: Proprietà dinamiche Mat 3: Campione E, profondità 4,5m

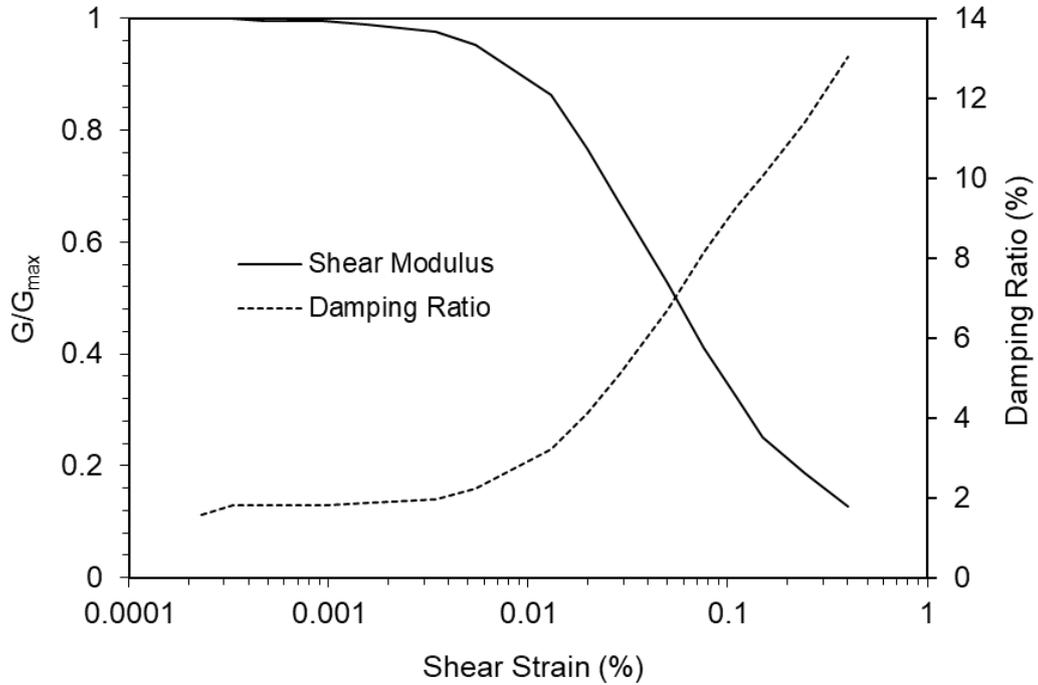


Figura 31: Proprietà dinamiche Mat 4: Campione B, profondità 21,8m

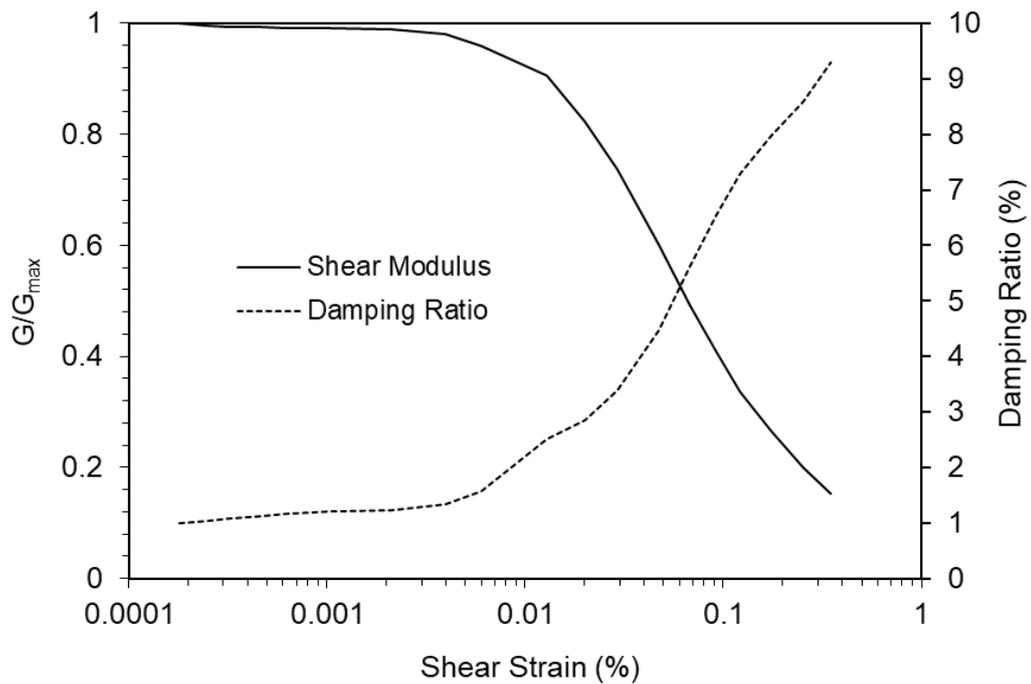


Figura 32: Proprietà dinamiche Mat 5: Campione D, profondità 34,5



Engineering & Construction

**FUSINA
CAPACITY MARKET ITALIA**

**RELAZIONE GEOLOGICA E DI
MODELLAZIONE SISMICA**

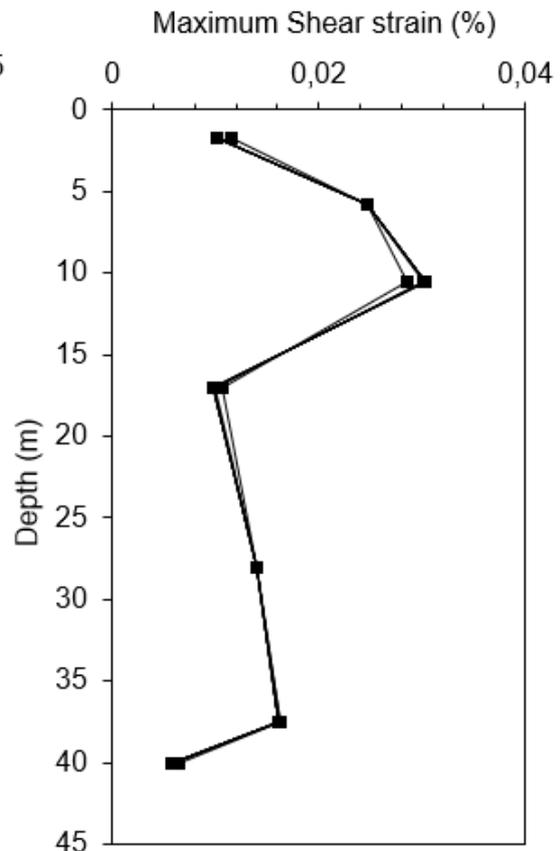
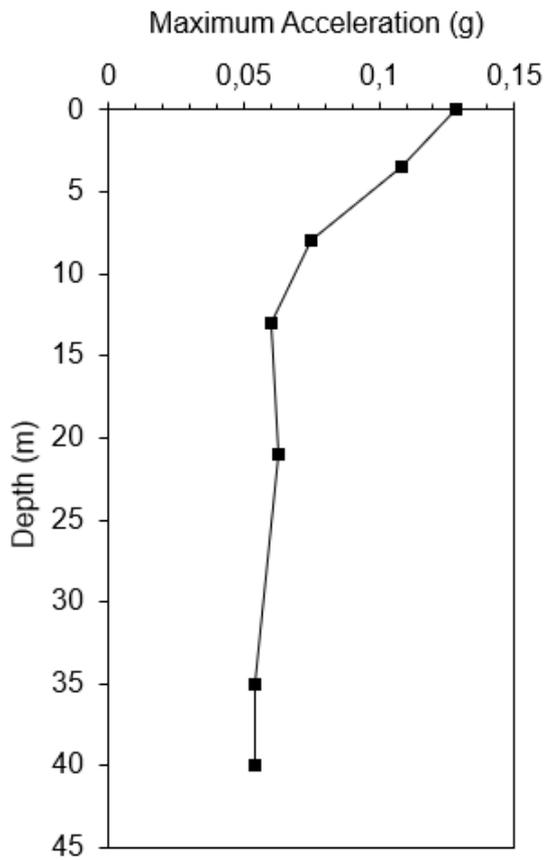
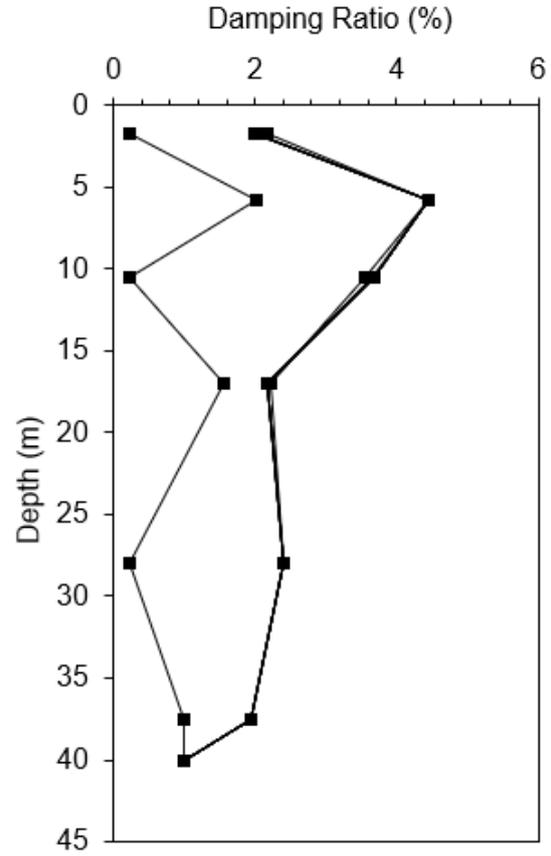
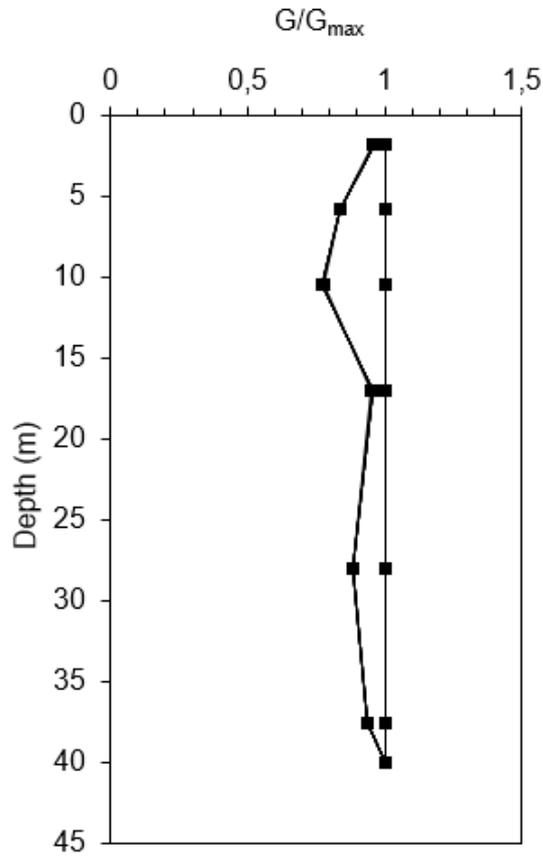
Document
Documento n.

PBFCU2002100

Sheet **40** of
Pagina *di* **81**

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 rigidità 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.



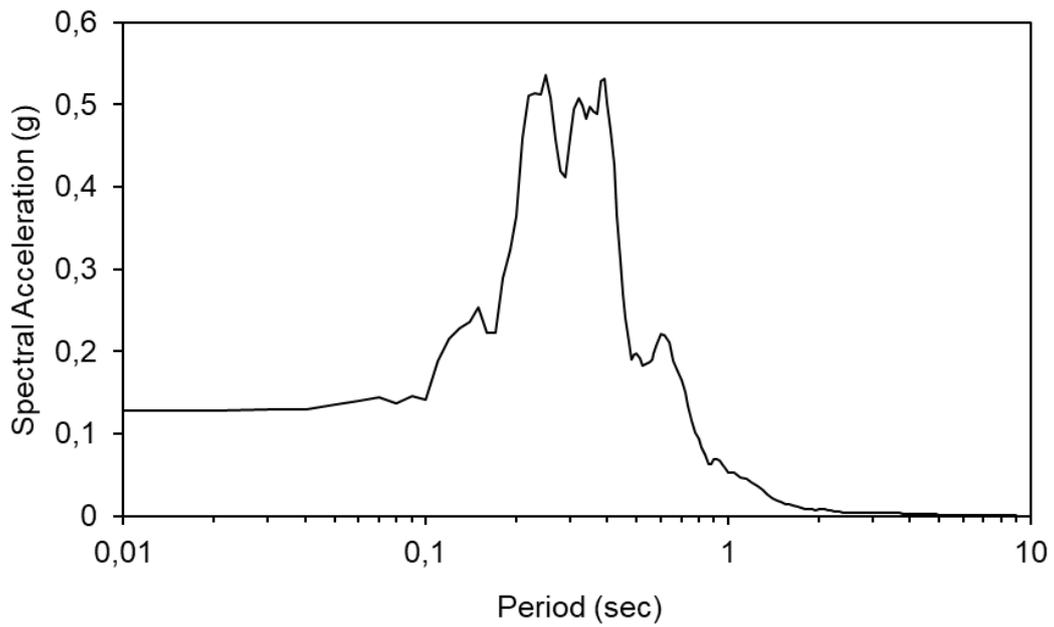
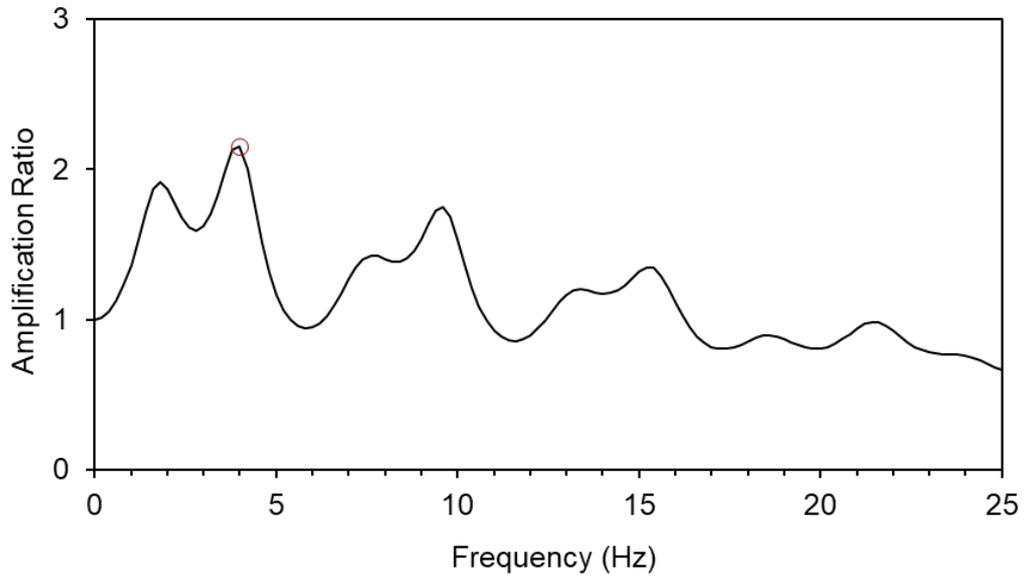


Figura 33: Risultati accelerogramma acc1



Engineering & Construction

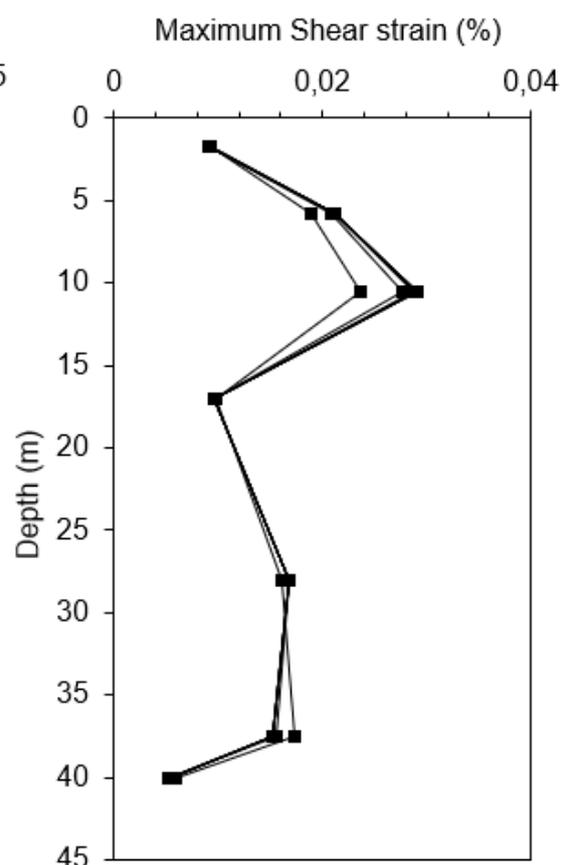
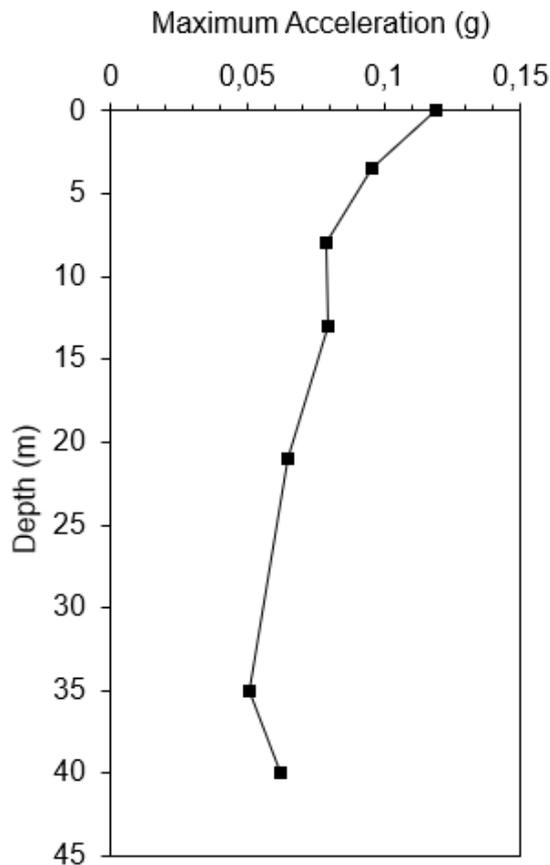
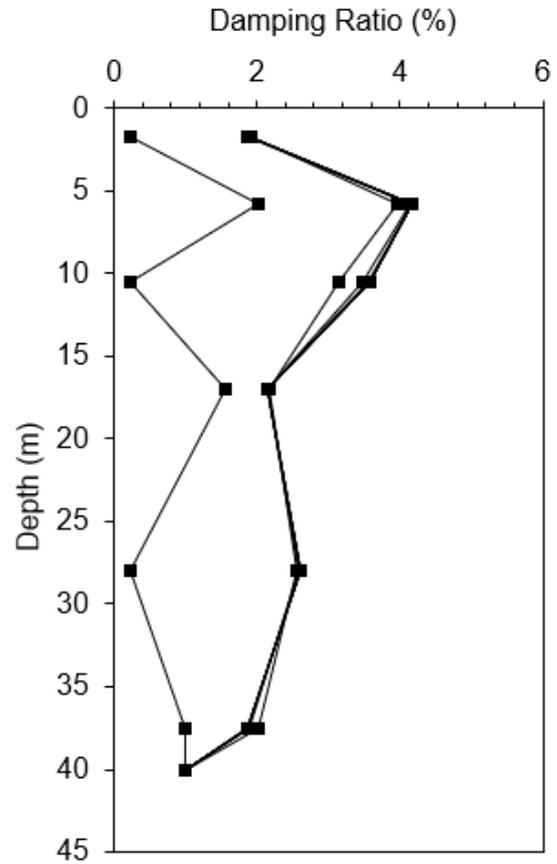
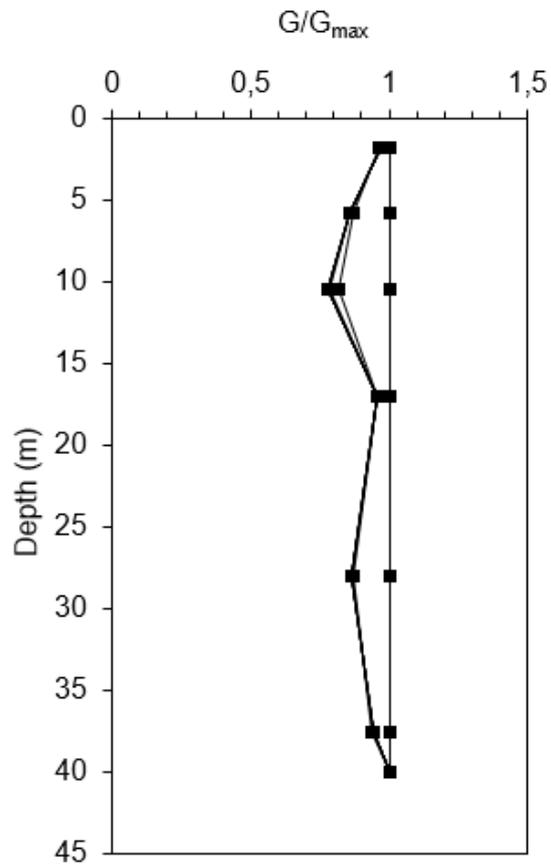
**FUSINA
CAPACITY MARKET ITALIA**

**RELAZIONE GEOLOGICA E DI
MODELLAZIONE SISMICA**

Document
Documento n.

PBFCU2002100

Sheet **43** of **81**
Pagina **43** di **81**



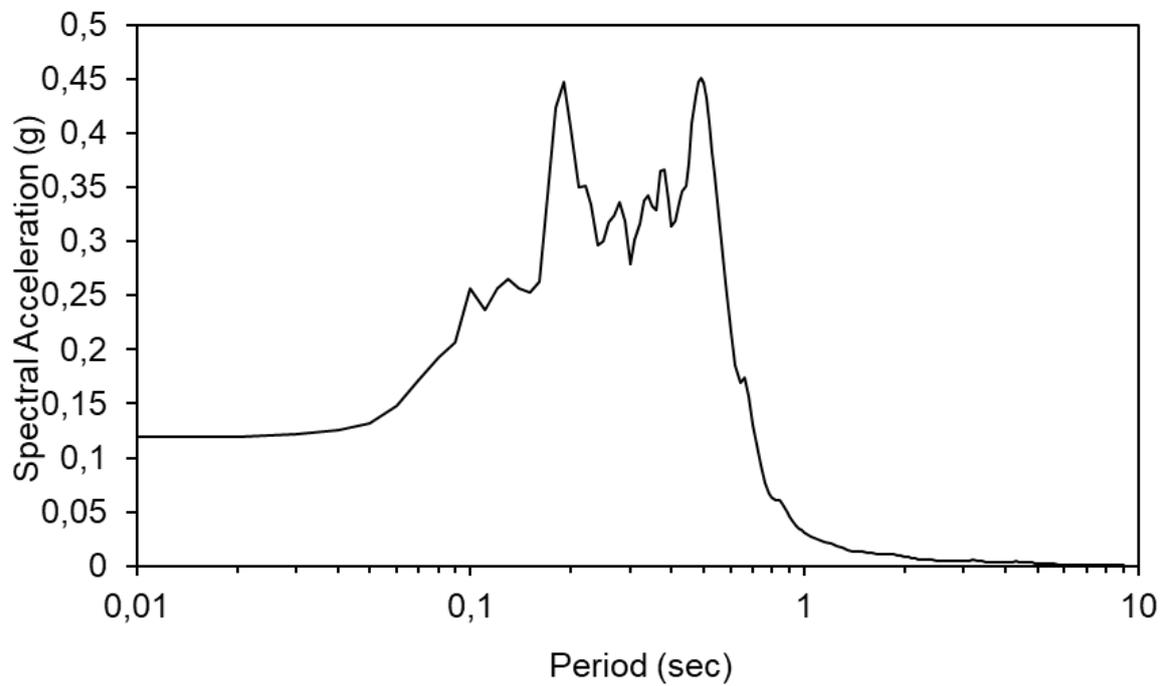
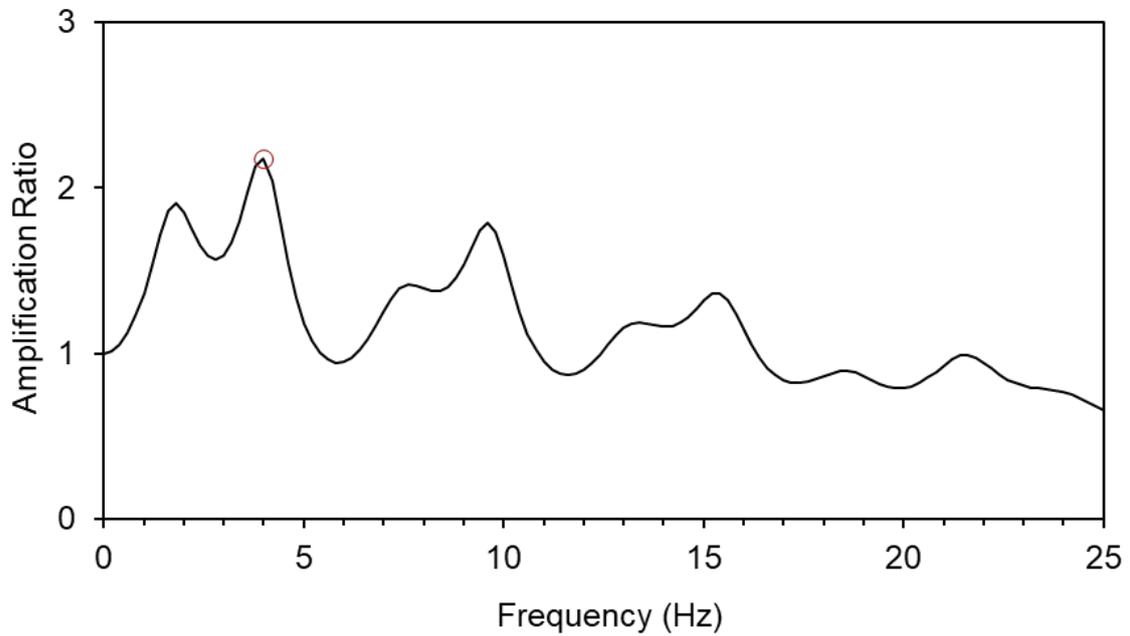
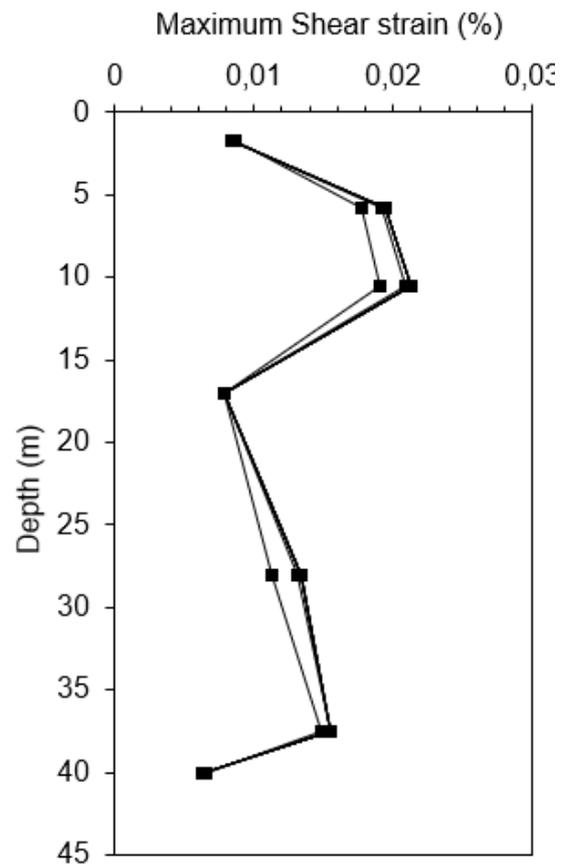
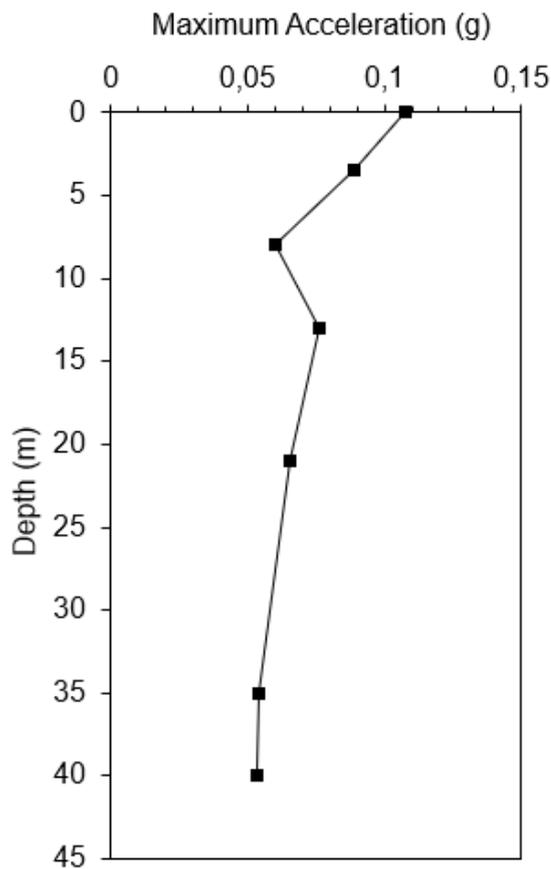
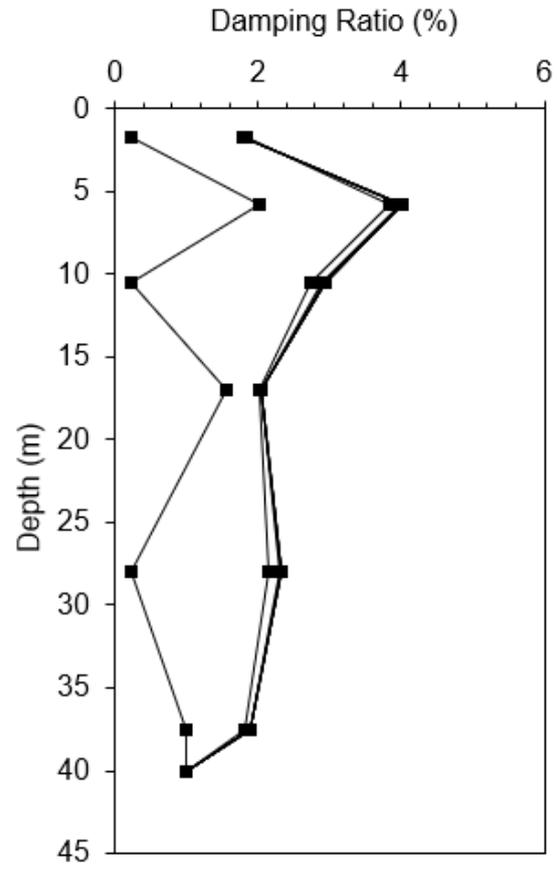
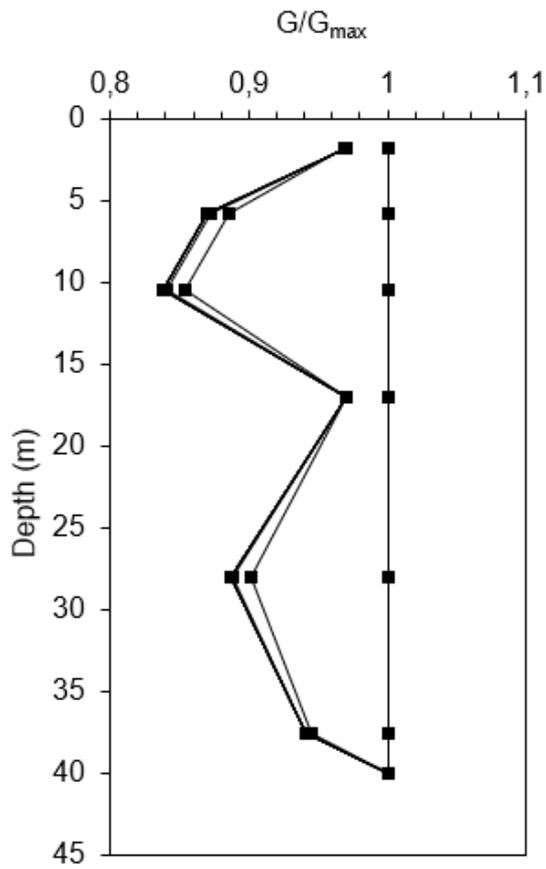


Figura 34: Risultati accelerogramma acc2



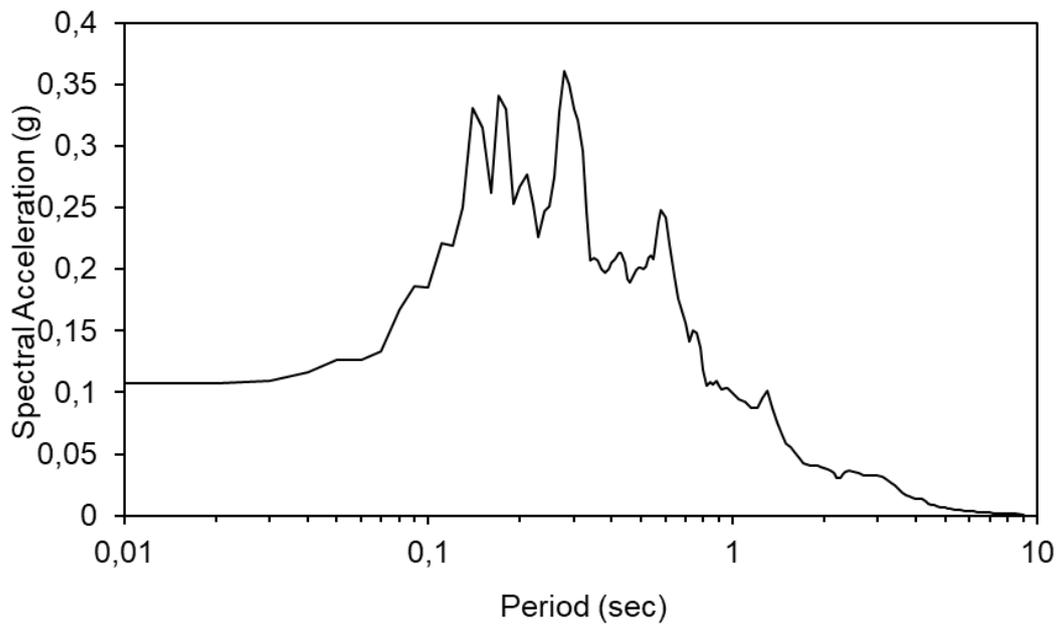
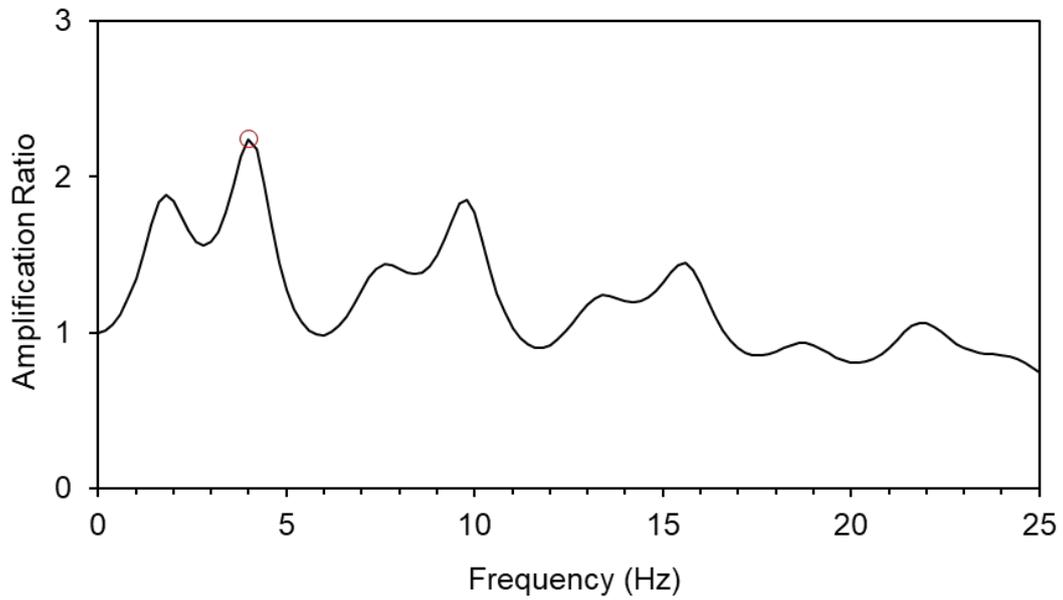
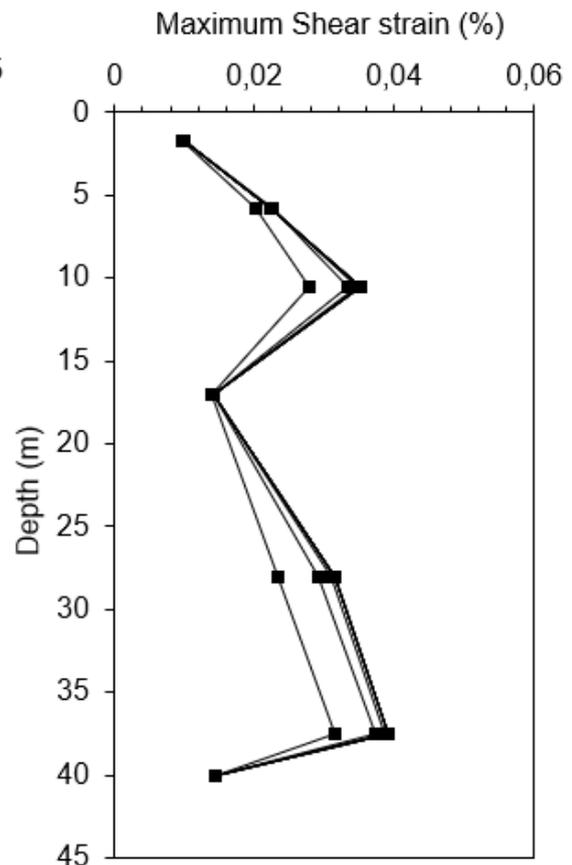
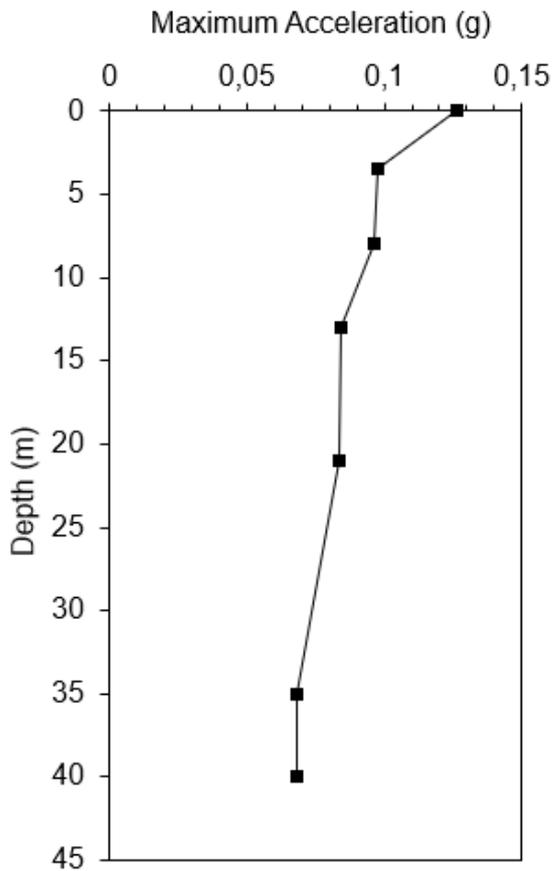
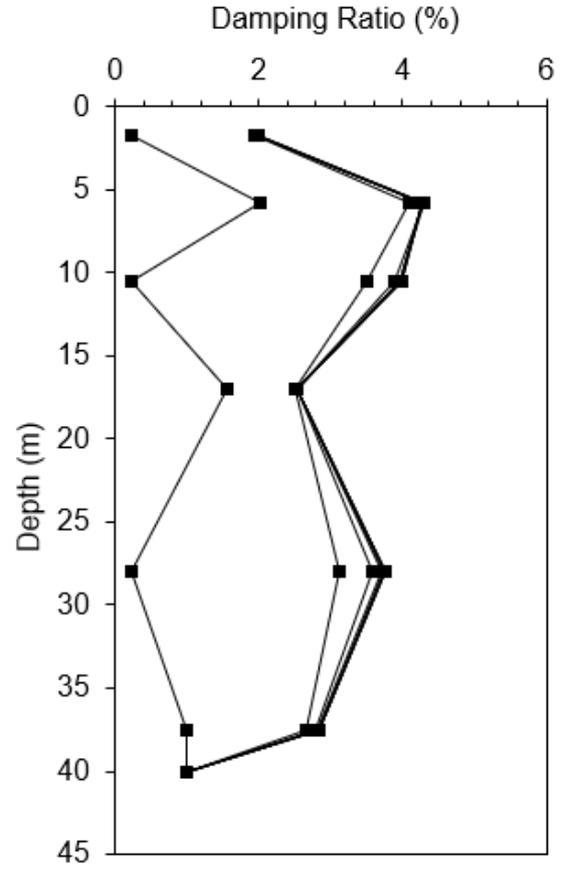
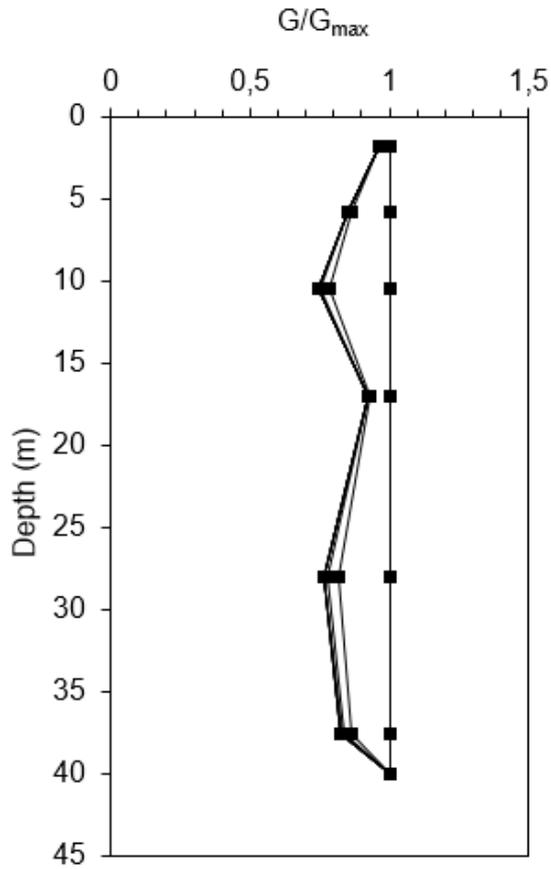


Figura 35: Risultati accelerogramma acc3



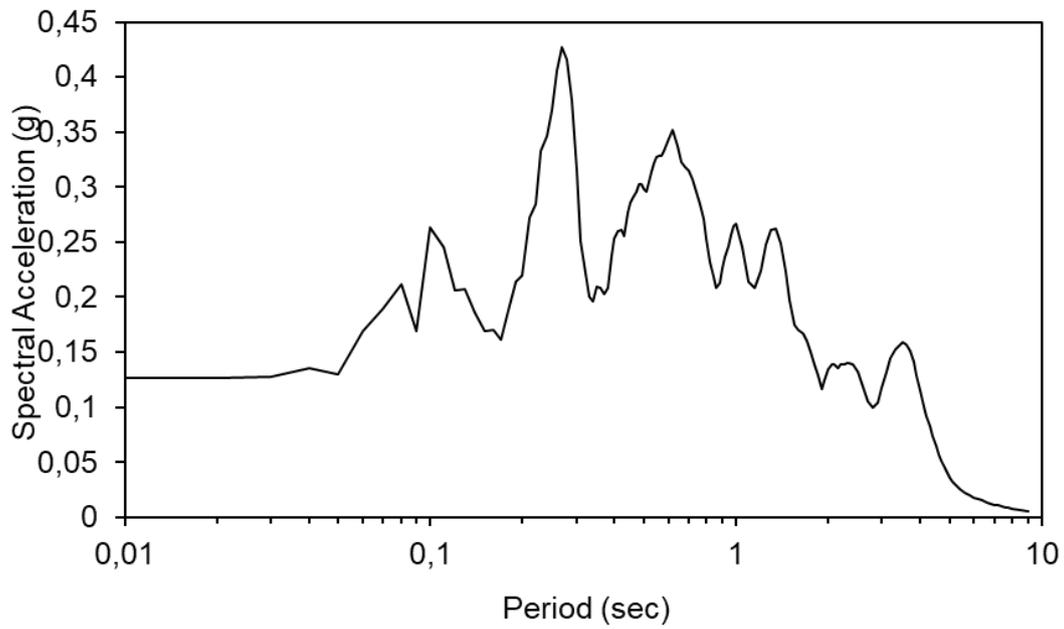
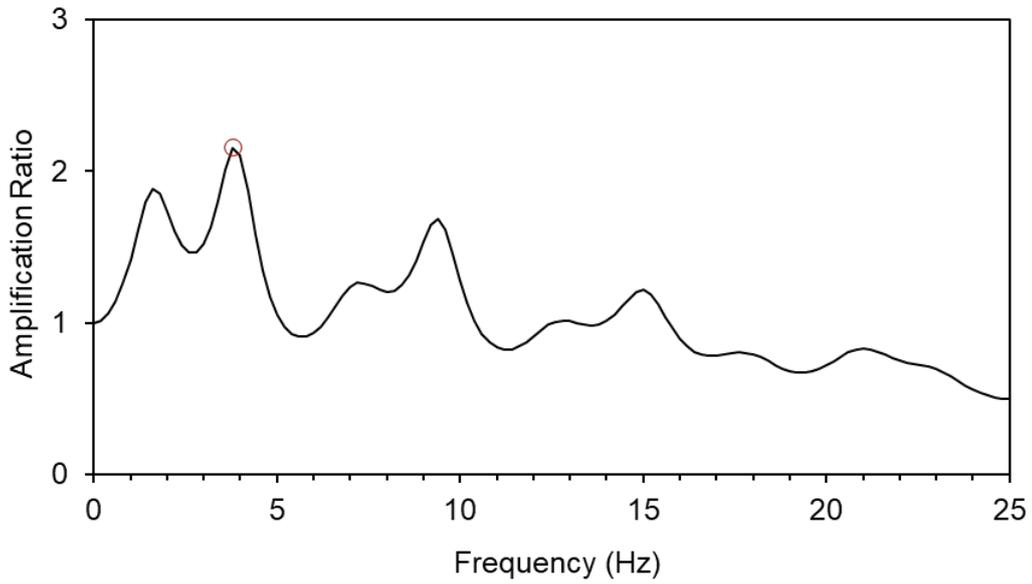


Figura 36: Risultati accelerogramma acc4



Engineering & Construction

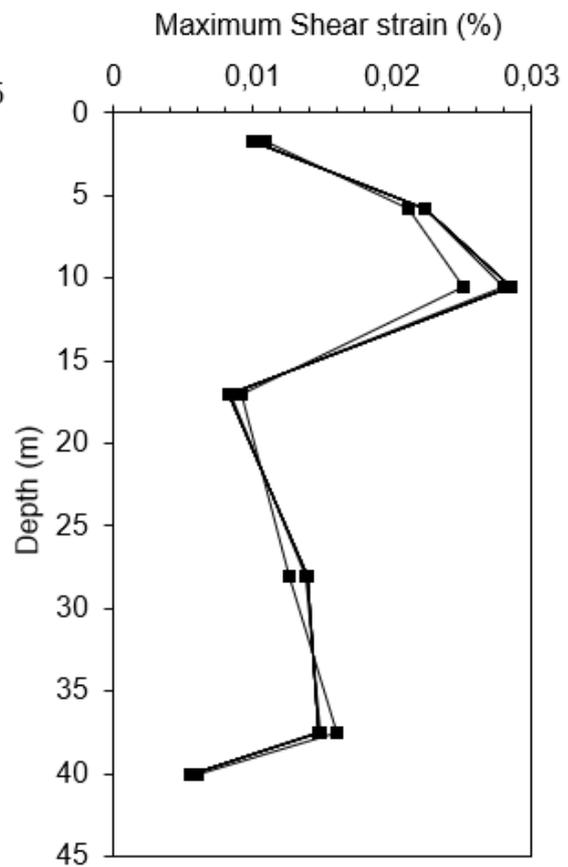
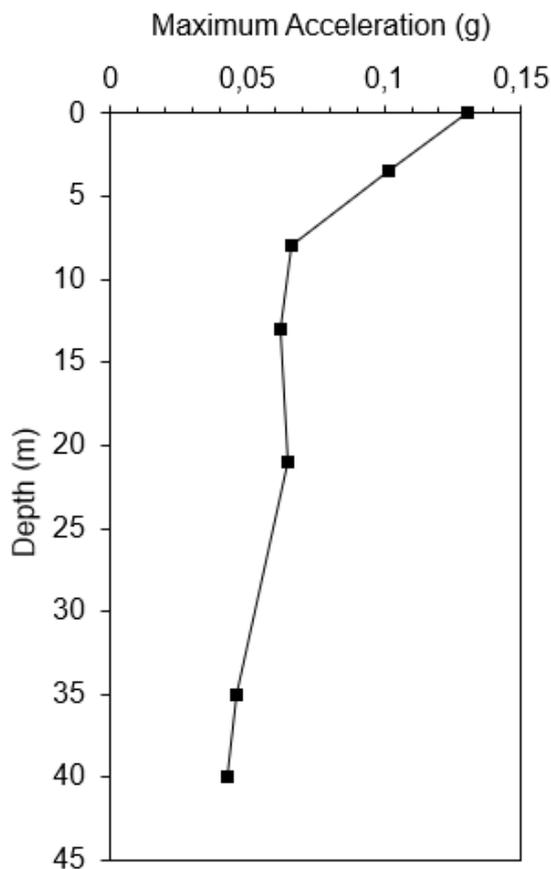
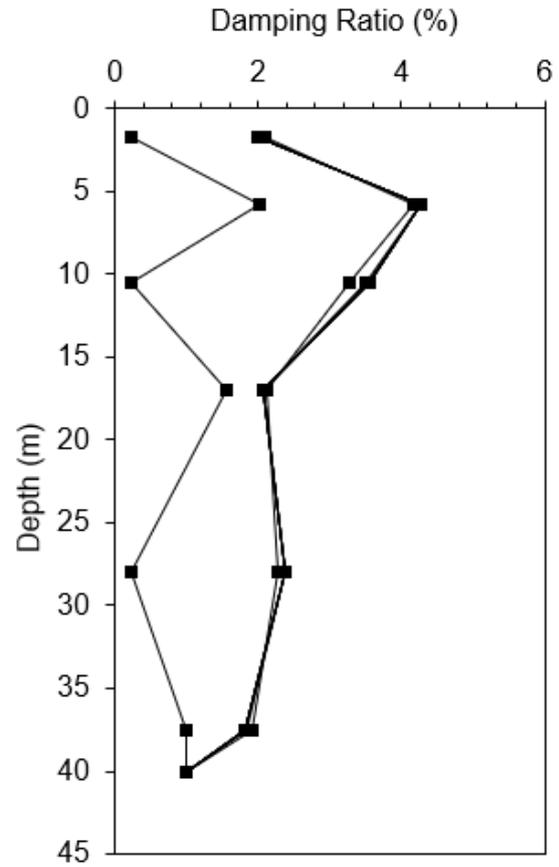
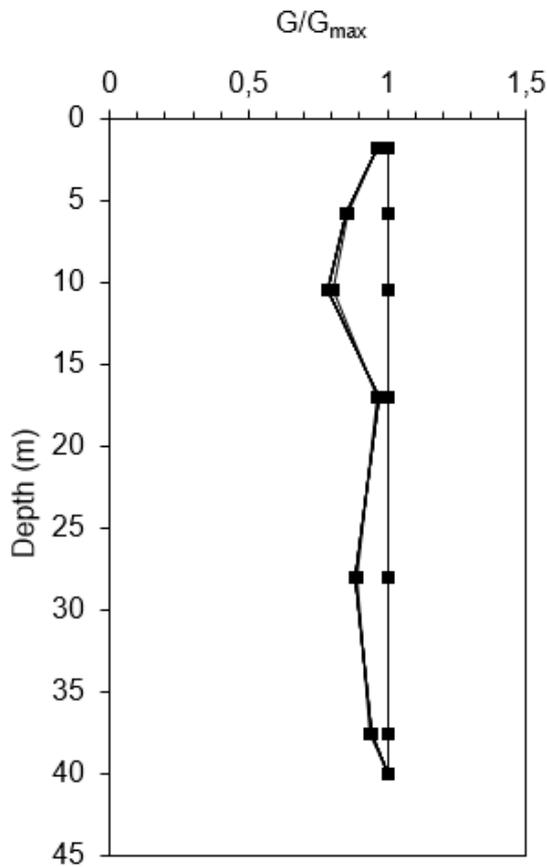
**FUSINA
CAPACITY MARKET ITALIA**

**RELAZIONE GEOLOGICA E DI
MODELLAZIONE SISMICA**

Document
Documento n.

PBFCU2002100

Sheet **49** of **81**
Pagina **49** di **81**



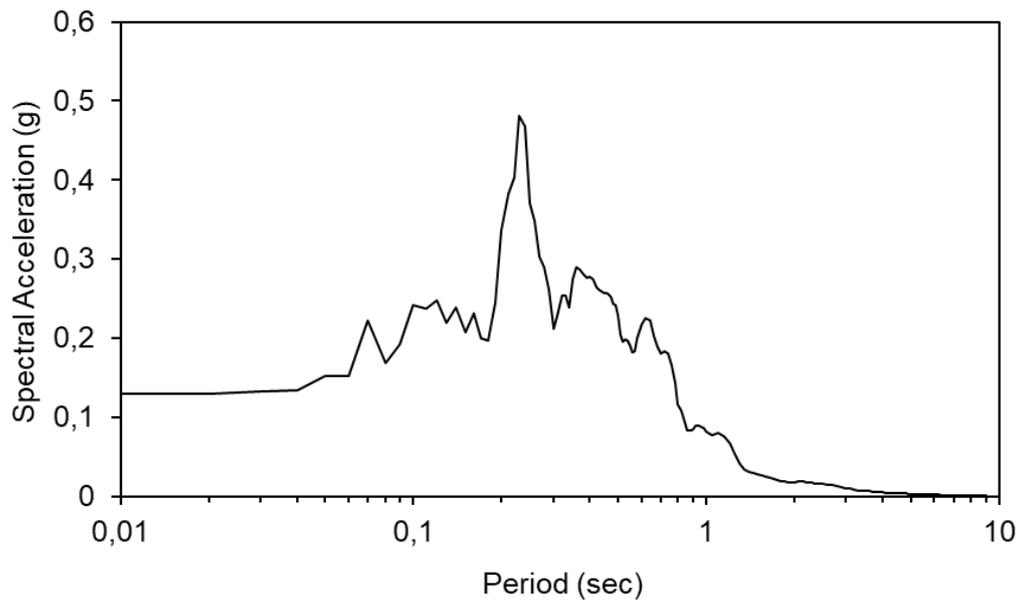
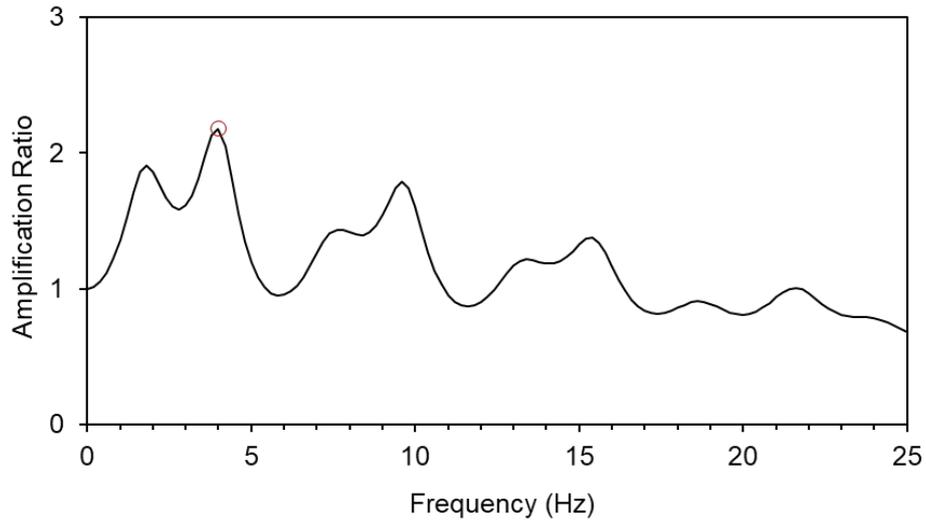
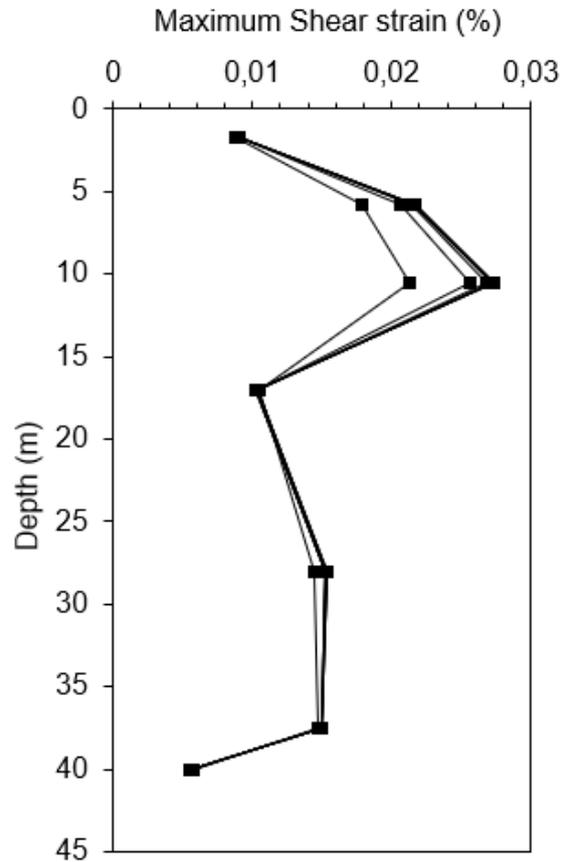
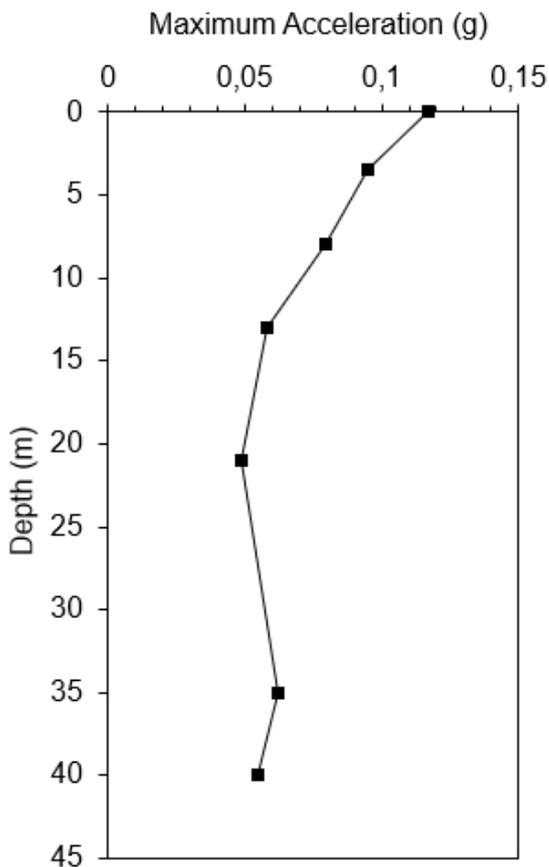
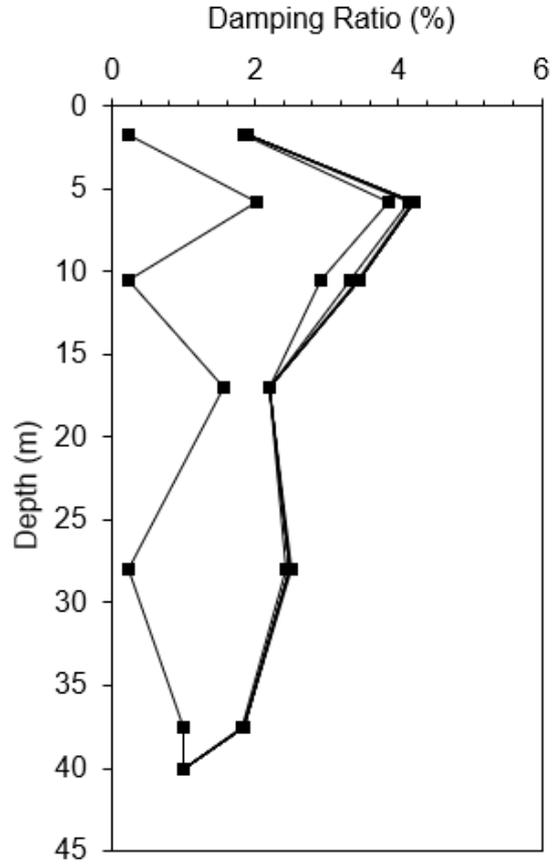
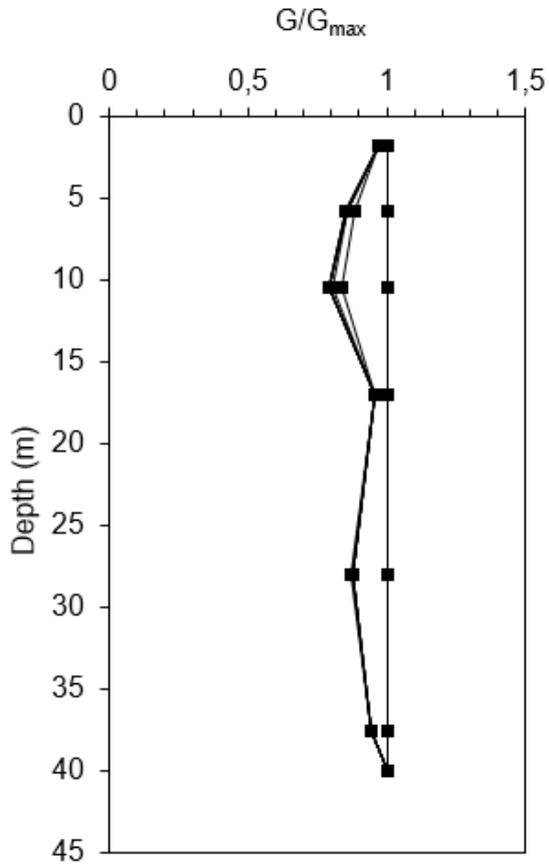


Figura 37: Risultati accelerogramma acc5



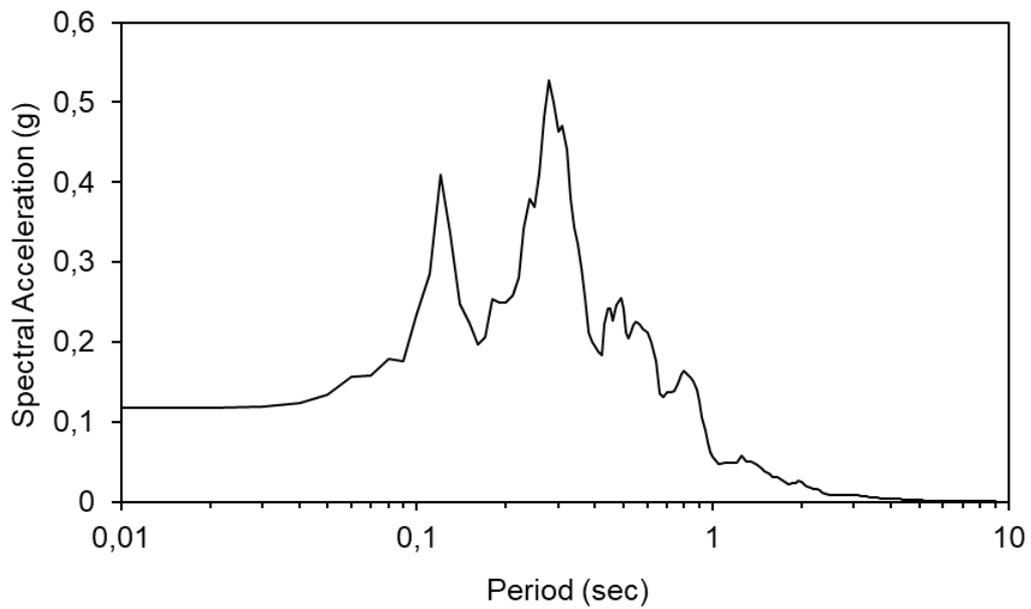
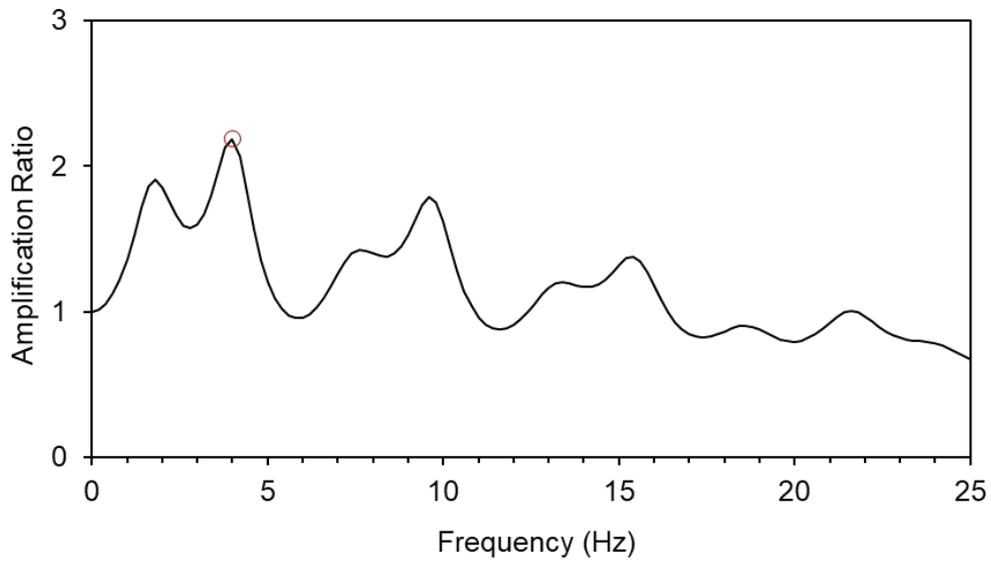
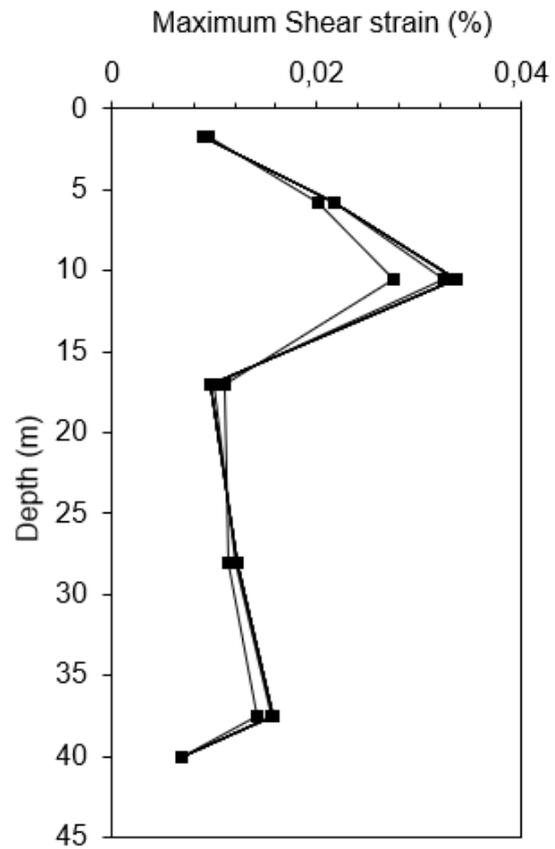
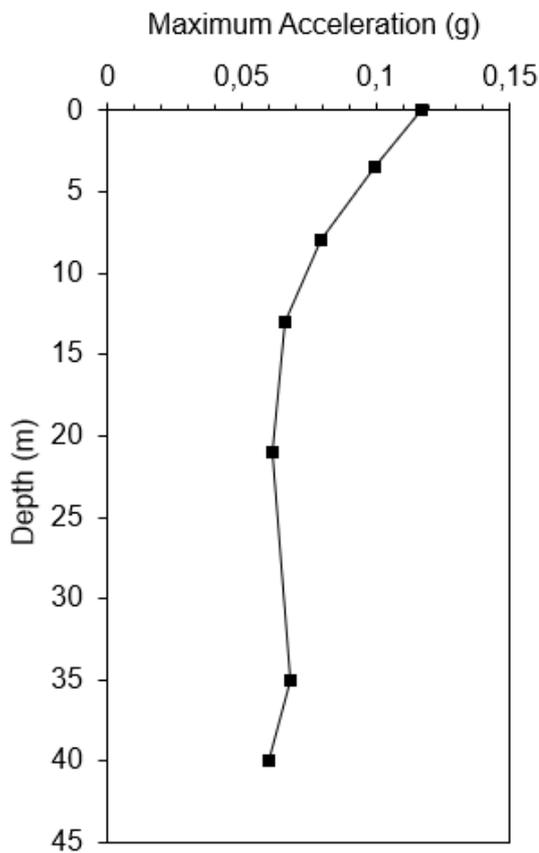
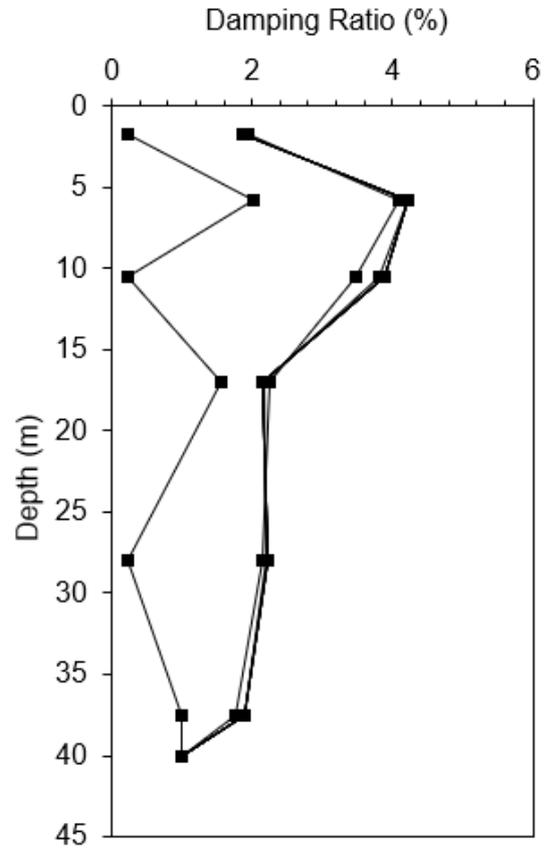
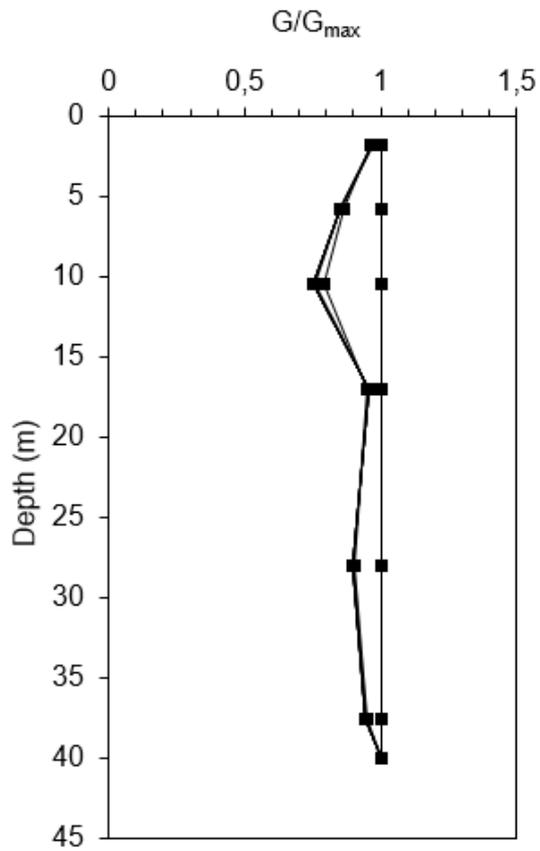


Figura 38: Risultati accelerogramma acc6



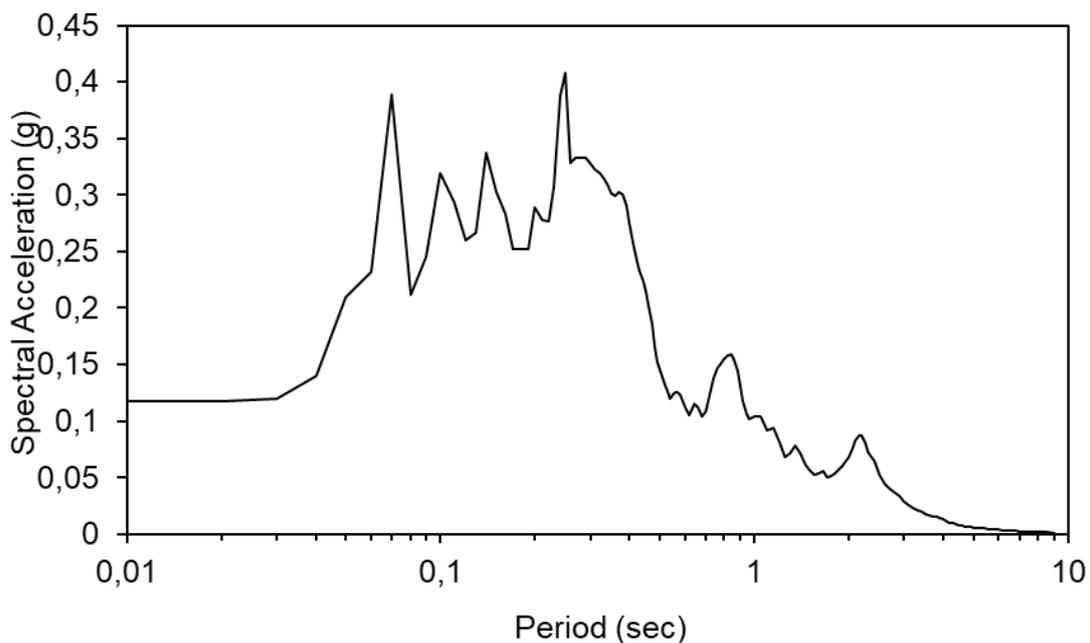
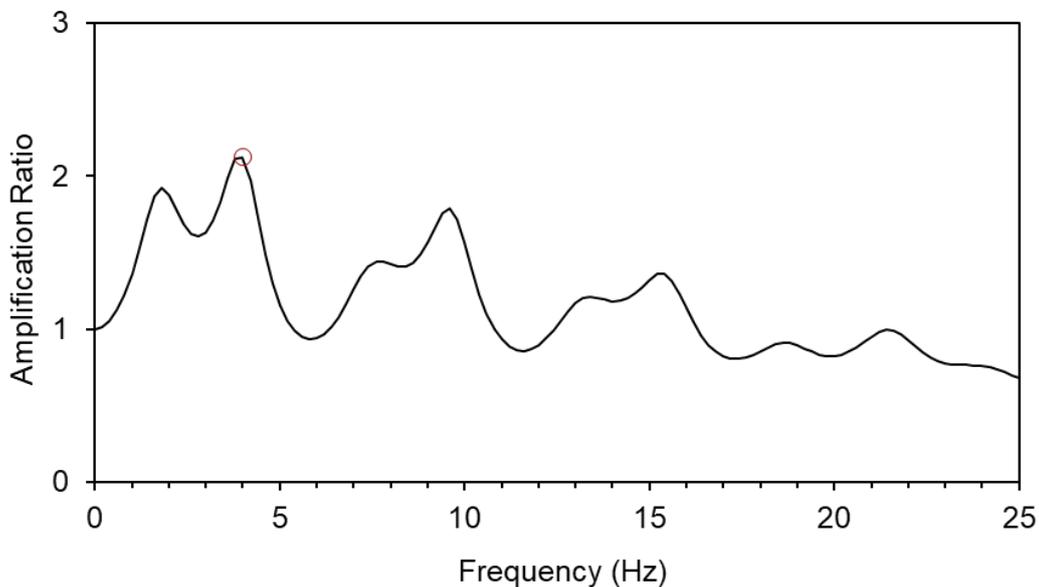
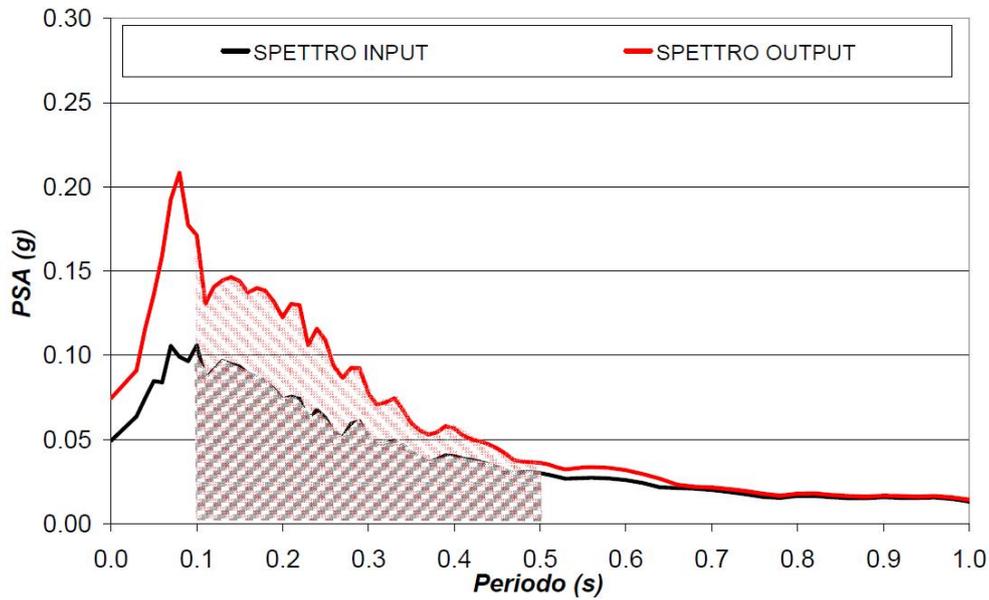


Figura 39: Risultati accelerogramma acc7

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 (FH), 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 40: 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 .

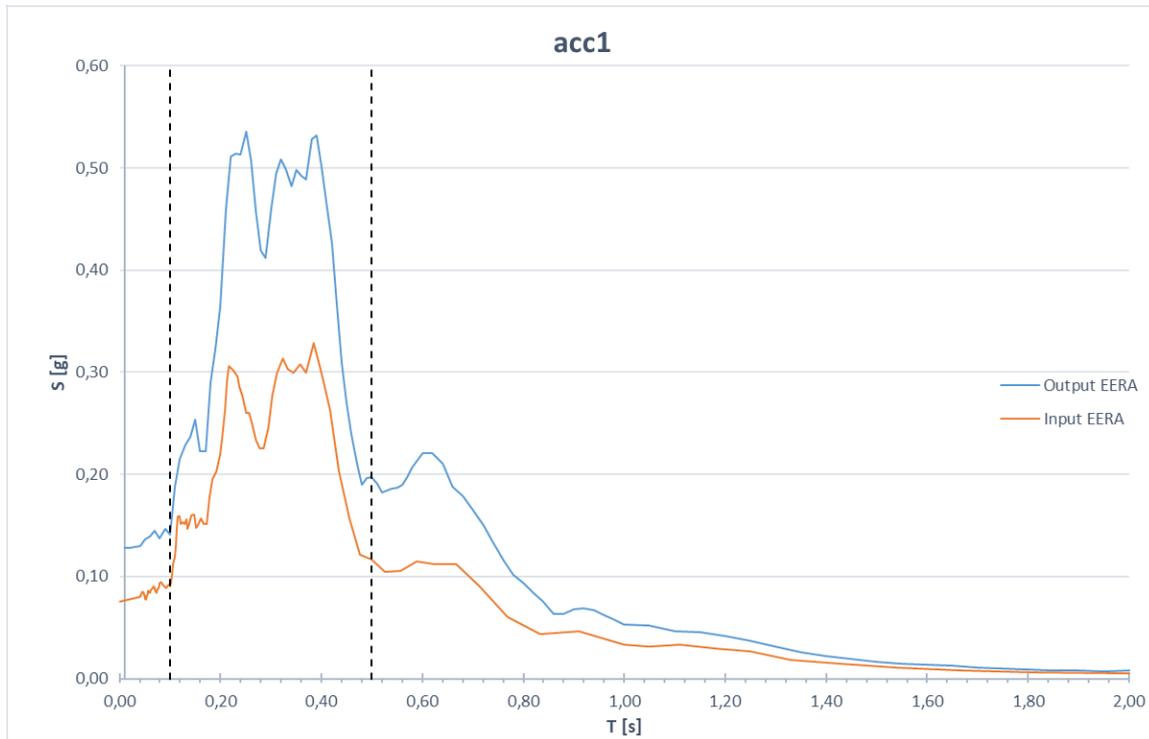


Figura 41: Spettro in accelerazione al bedrock e in free-field - $F_h=1.67$

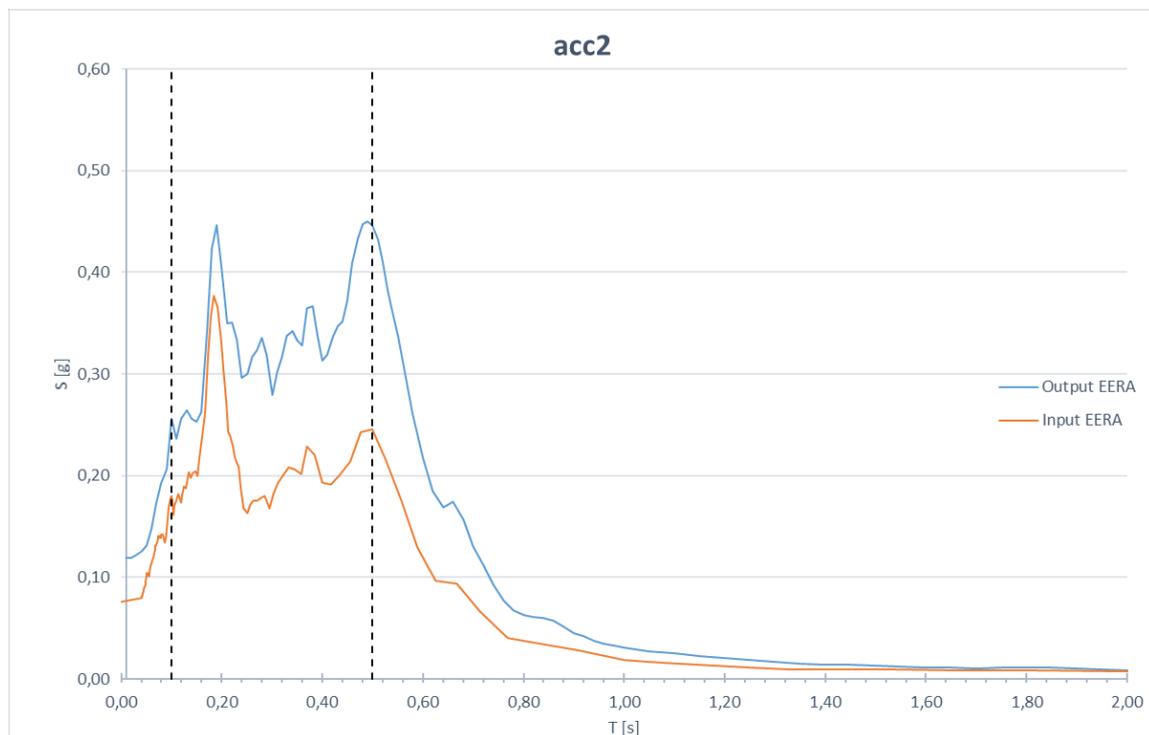


Figura 42: Spettro in accelerazione al bedrock e in free-field - $F_h=1.55$

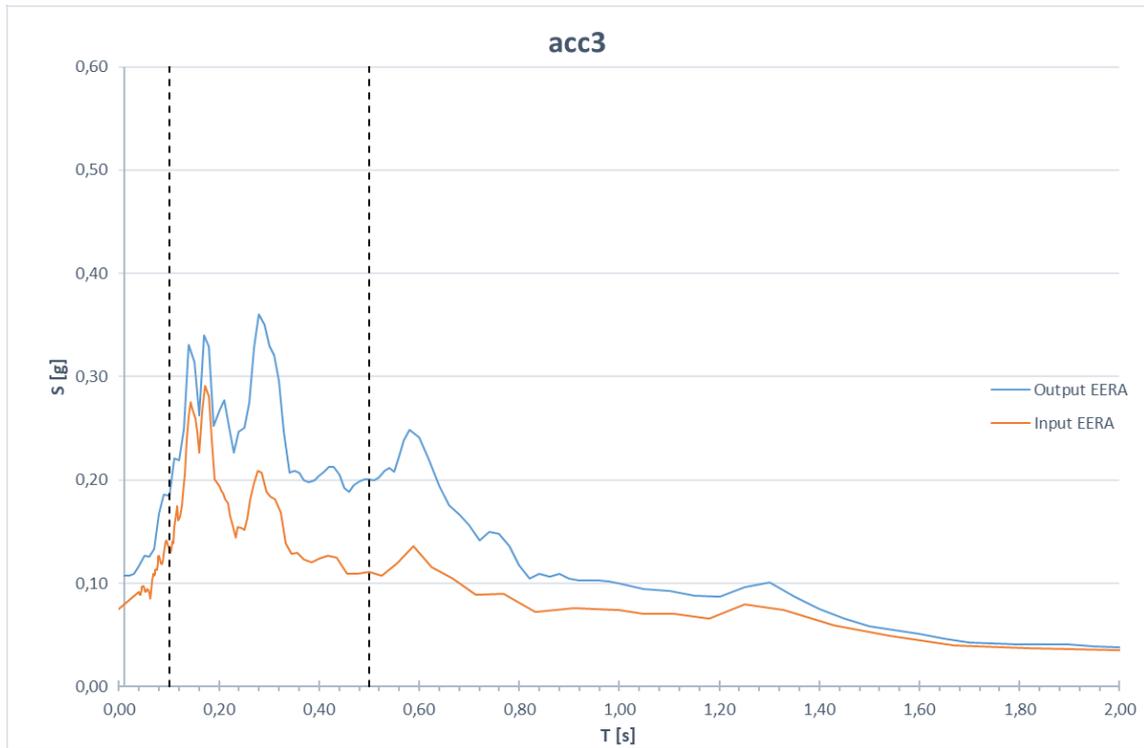


Figura 43: Spettro in accelerazione al bedrock e in free-field - Fh=1.52

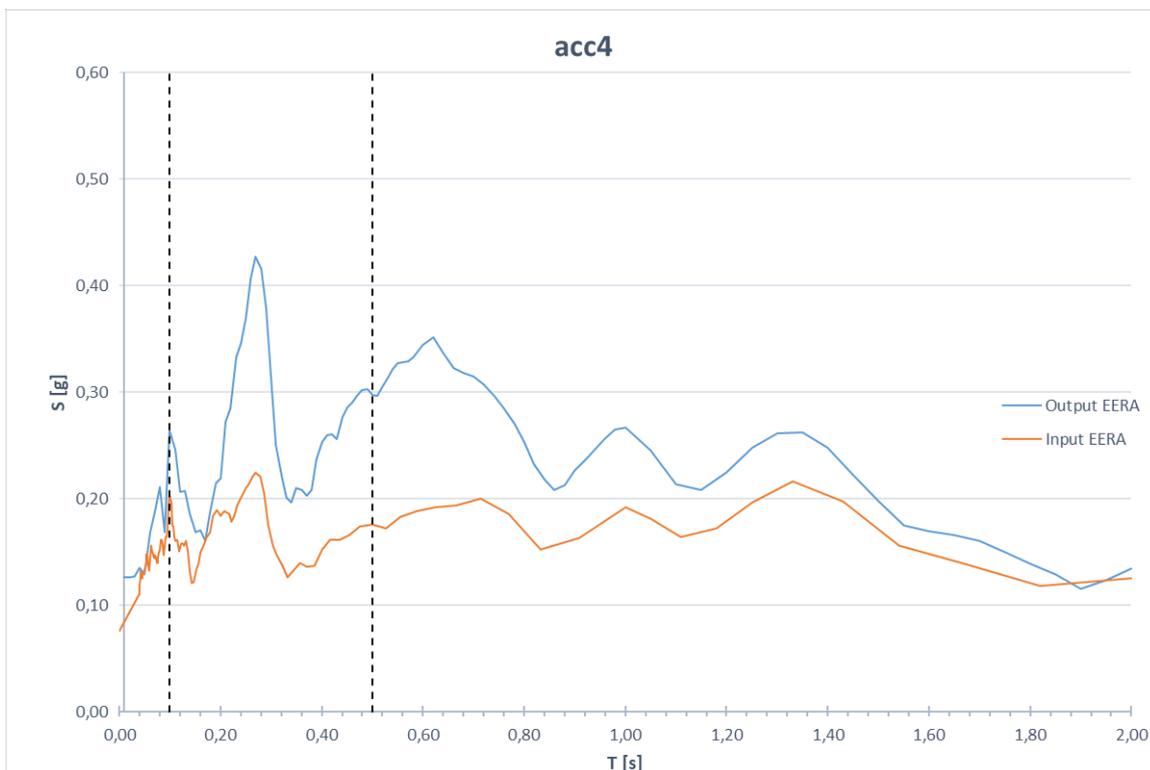


Figura 44: Spettro in accelerazione al bedrock e in free-field - Fh=1.58

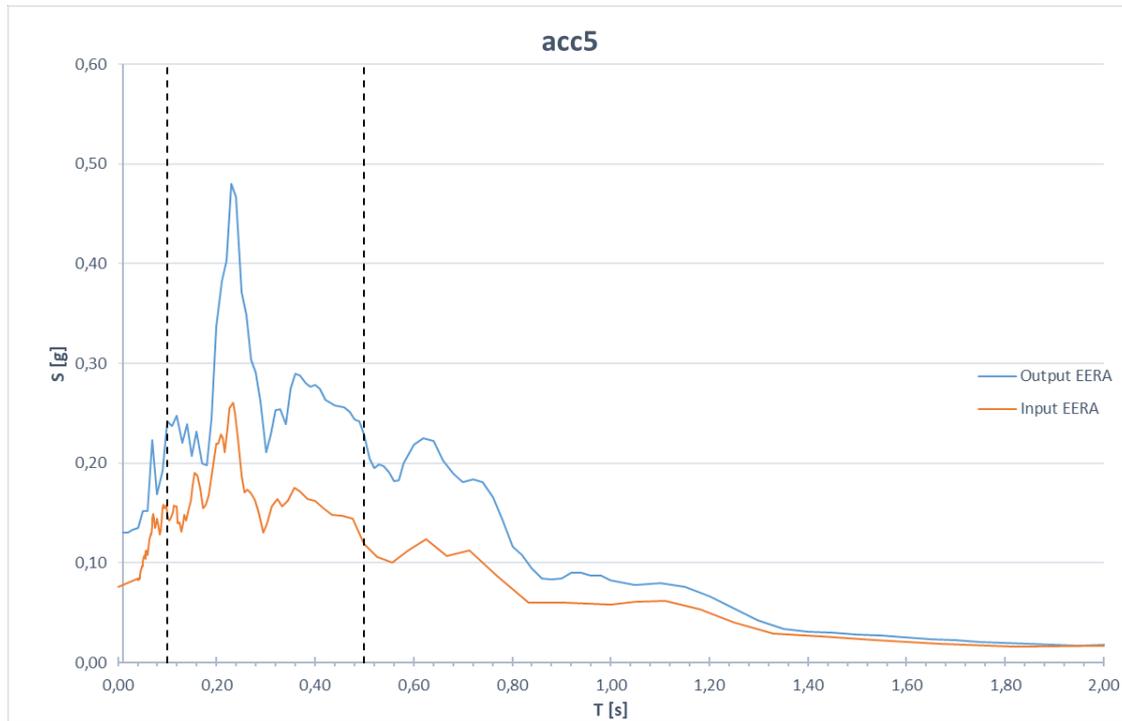


Figura 45: Spettro in accelerazione al bedrock e in free-field - Fh=1.66

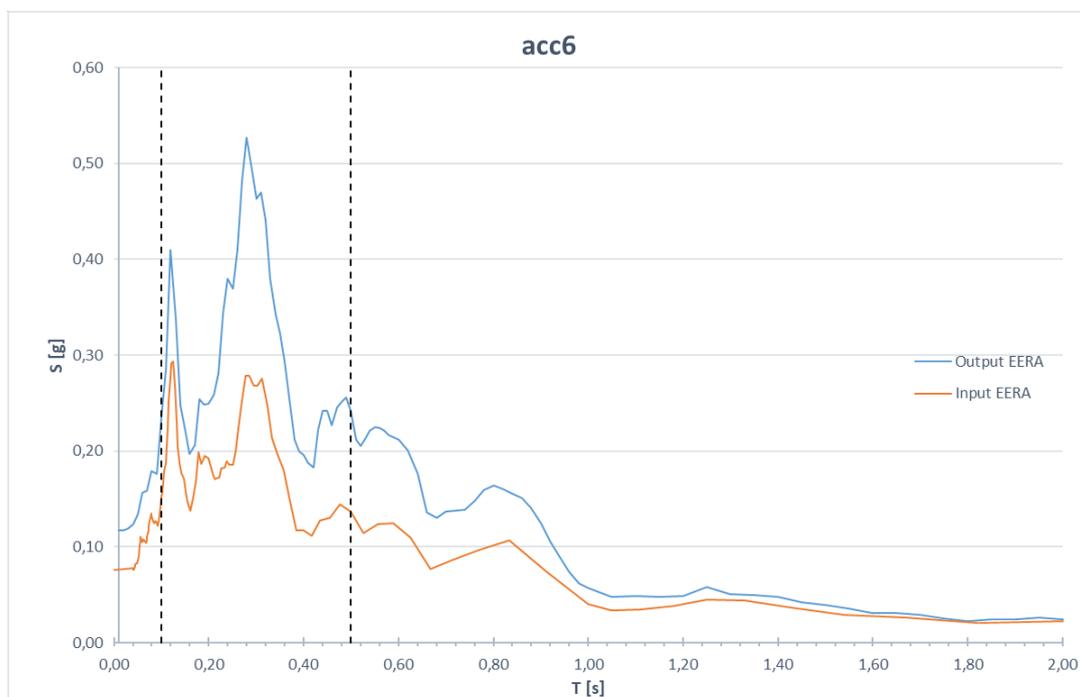
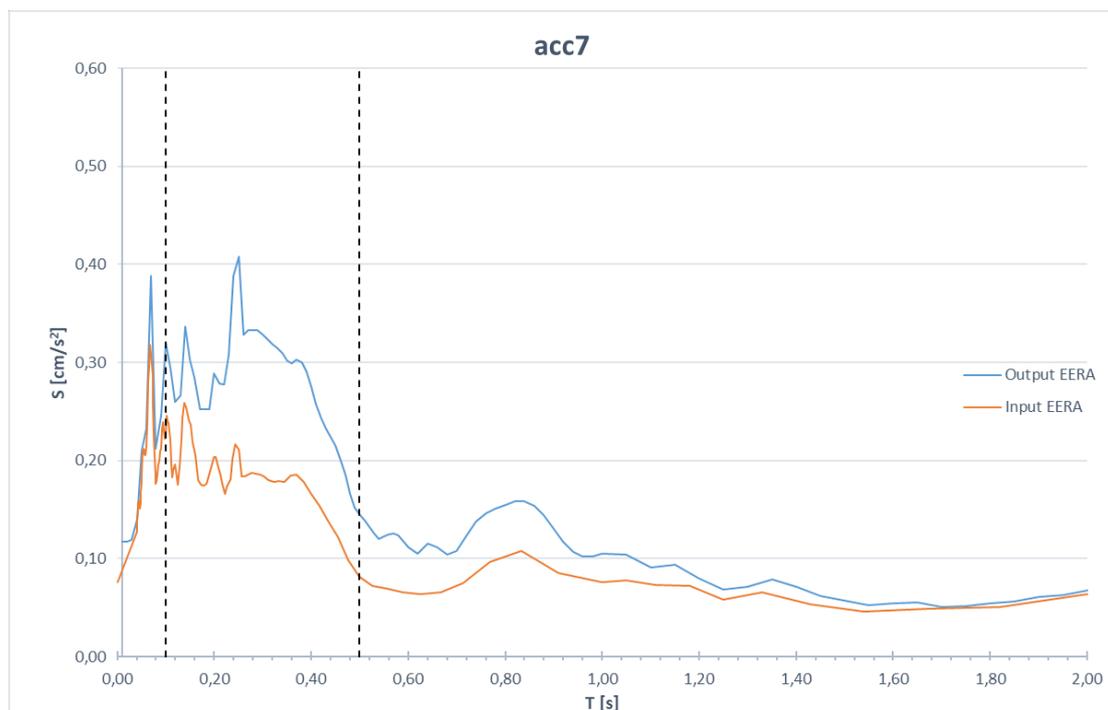


Figura 46: Spettro in accelerazione al bedrock e in free-field - Fh=1.66


Figura 47: Spettro in accelerazione al bedrock e in free-field - $F_h=1.61$

Come mostrato in **Tabella 13**, i fattori F_H ricavati dalle analisi condotte sui sette accelerogrammi variano tra il valore minimo pari a 1,52 e un massimo pari a 1,67. Il valore medio, che sarà preso in questa fase come valore di riferimento rappresentativo delle analisi, è pari a 1,61.

Accelerogramma	rexelacc1	rexelacc2	rexelacc3	rexelacc4	rexelacc5	rexelacc6	rexelacc7
Tipologia acc.	Naturale	Naturale	Naturale	Naturale	Naturale	Naturale	Naturale
$F_{H_{0,1-0,5s}}$	1,67	1,55	1,52	1,58	1,66	1,66	1,61
Valore medio	1,61						

Tabella 13: 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 $V_{s,eq}$, chiaramente 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 alla stima delle $V_{s,eq}$, la categoria di sottosuolo di riferimento è la C e, considerando i parametri F_0 e a_g relativi all'azione sismica, si ottiene un valore S_s pari a 1,5, come esposto al paragrafo precedente relativo alla valutazione con approccio semplificato.

Figura C3.2.3 – Andamento del coefficiente S_s per le componenti orizzontali dell'azione sismica

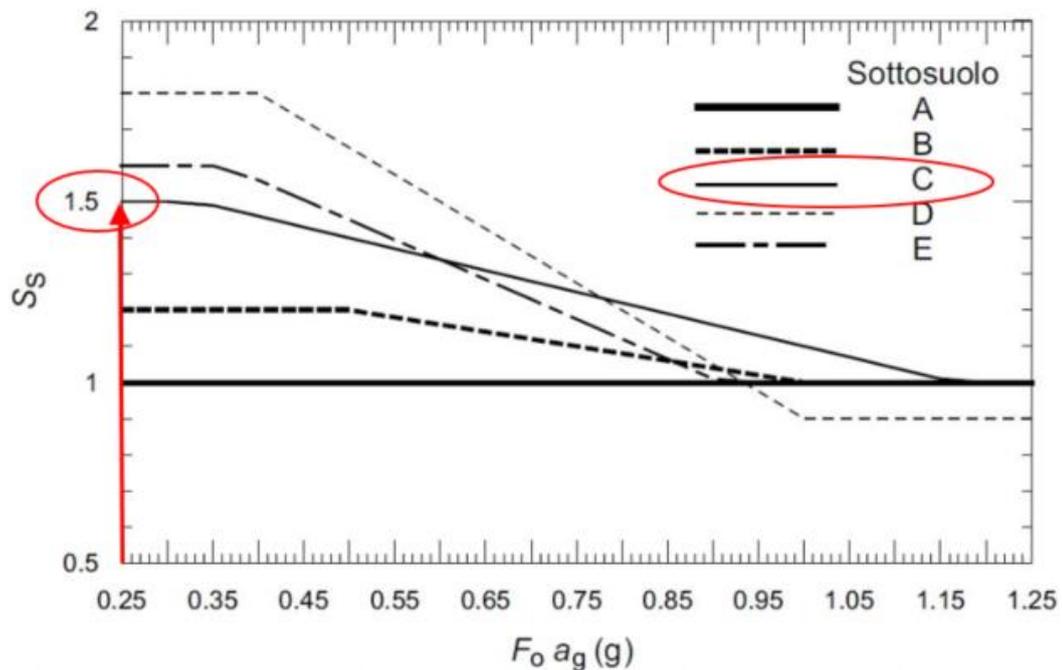


Figura 48: Valutazione S_s

Confrontando questo risultato con quello ottenuto dalle analisi di risposta sismica locale in termini di fattore di amplificazione locale F_H , è stato possibile confermare, in generale, la sostanziale coerenza tra il valore di amplificazione F_H 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 C, rappresentativa del substrato in oggetto, con i sette spettri di risposta ottenuti dall'analisi RSL si evidenzia una certa coerenza e sovrapposibilità tra gli spettri sia in termini grafici che numerici, tale confronto rappresenta un valido indicatore della bontà dello studio condotto.

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 F_H 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 49** si riportano i vari spettri di risposta al variare dei coefficienti C_u e S_s (Cat. A, $S_s=1$; Cat. C, $S_s=1,5$; Cat. D, $S_s=1,8$). In più, si riporta lo spettro di risposta free-field ottenuto da EERA per l'accelerogramma acc3.

A parità di coefficiente C_u , si può notare come lo spettro di risposta dell'accelerogramma 3, ricavato come output da EERA, sia più prossimo allo spettro di risposta di normativa calcolato per una categoria di sottosuolo C, rispetto a quello calcolato per la categoria D. Quest'ultimo sovrastimerebbe notevolmente l'ordinata spettrale. Invece, considerando la categoria di sottosuolo C, lo spettro risultante dall'accelerogramma 3 ha dei picchi che superano il plateau dello spettro della normativa ma ha in generale ordinate spettrali più basse. Queste valutazioni ci permettono di affermare che, nelle future fasi progettuali, si può ragionevolmente considerare la categoria di sottosuolo C al fine della valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico necessario al calcolo degli spettri di risposta di progetto.

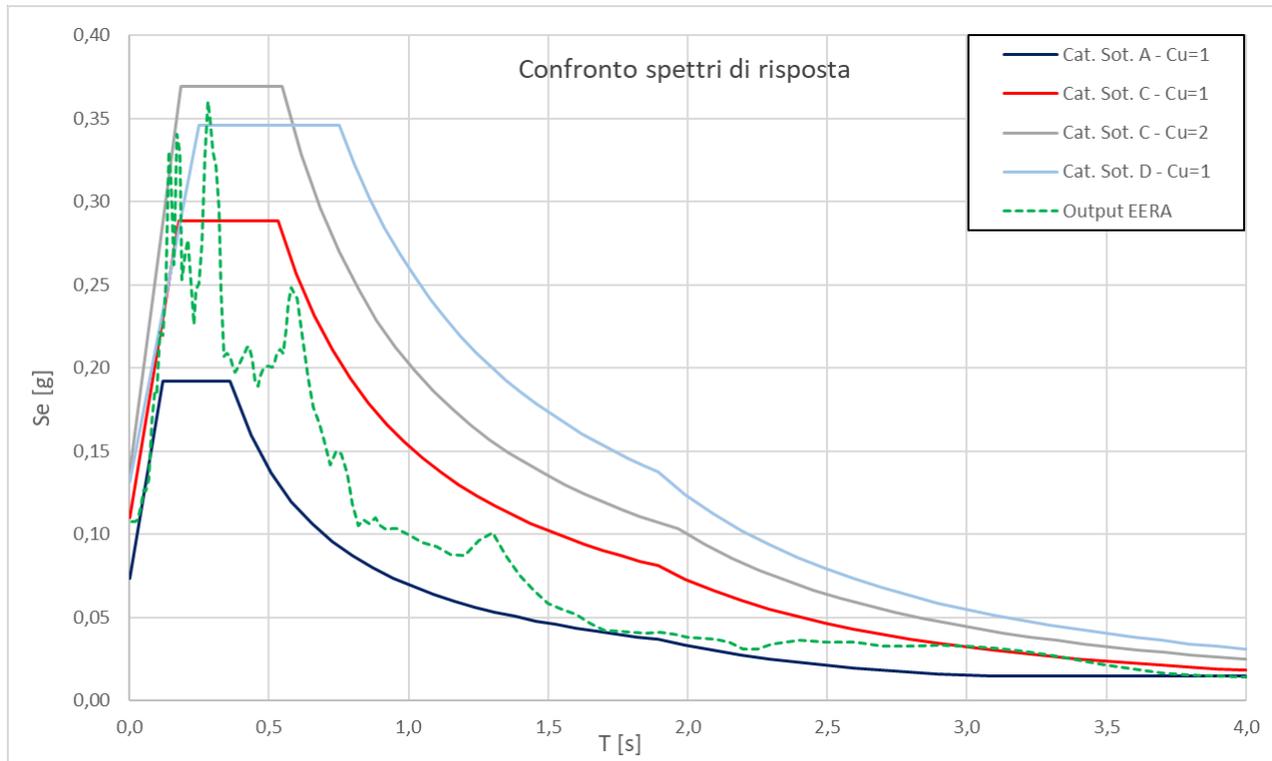


Figura 49: Spettri di risposta in accelerazione da RSL e spettri di risposta NTC

8. 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 50 successive nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 51 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

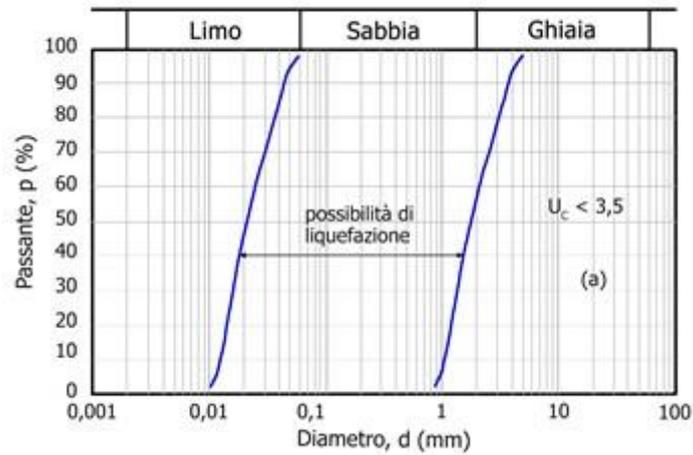


Figura 50: Fuso granulometrico per potenziale liquefazione per $U_c < 3,5$

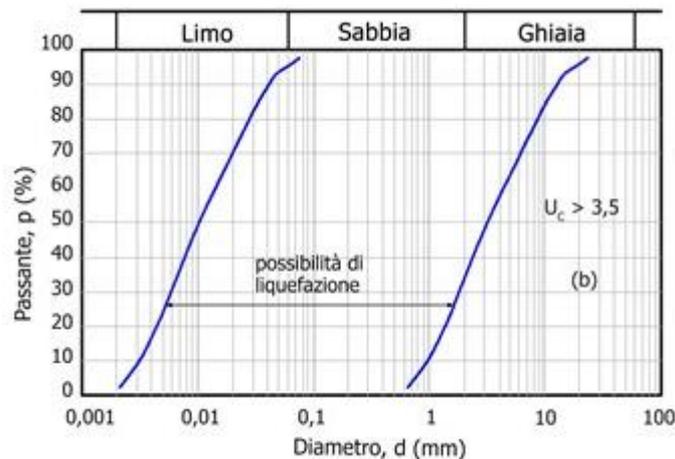


Figura 51: Fuso granulometrico per potenziale liquefazione per $U_c > 3,5$

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.

8.1. DEFINIZIONE DELL'INPUT SISMICO

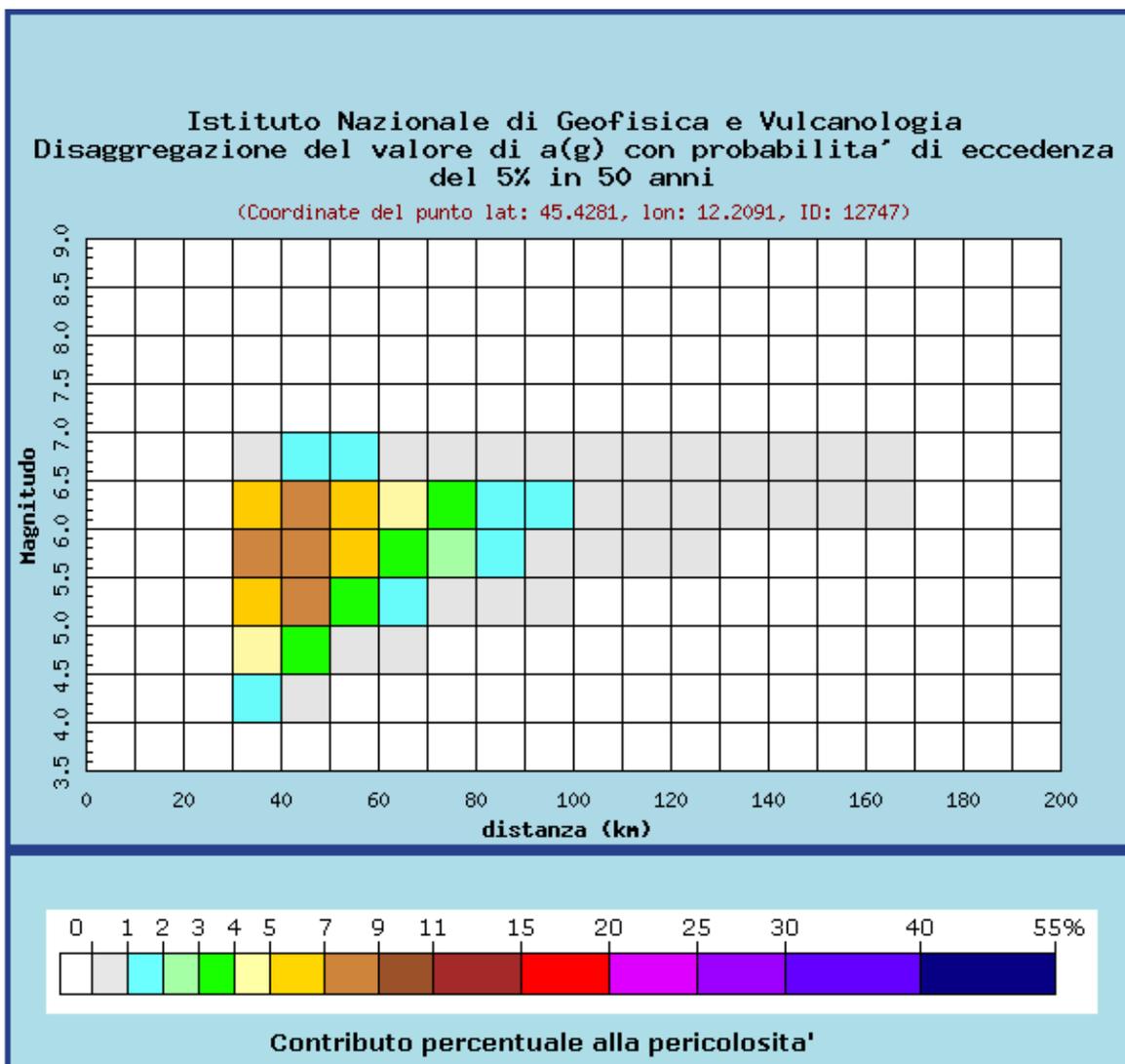
La definizione dell'input sismico in termini di magnitudo del momento sismico M_w è stata ricavata dagli studi di pericolosità sismica effettuati dall'INGV e, per una probabilità di superamento in 50 anni del 5% (equivalente allo stato limite SLV per un'opera con un coefficiente d'uso uguale a 2), risulta pari a 5,77.

Per quanto concerne la PGA, si considera il valore di 0,137g, ricavato rispetto alla categoria di sottosuolo C, considerando una V_N di 50 anni, Classe d'uso IV - $C_U=2.0$ 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.]
5,77	0,137	2,0 m

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



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 5% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.4281, lon: 12.2091, ID: 12747)										
	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	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	1.040	4.850	6.930	7.240	5.960	0.956	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.221	3.580	7.130	8.680	8.090	1.400	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.824	3.970	6.050	6.520	1.220	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.044	1.780	3.890	4.870	0.982	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.494	2.110	3.030	0.653	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.074	1.060	1.660	0.374	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.001	0.485	1.010	0.241	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.184	0.621	0.160	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.070	0.577	0.172	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.336	0.119	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.155	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.055	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.009	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
5.770	52.400	1.720

Figura 52 - Analisi disaggregazione SLV, probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni

8.2. 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 Clig 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.



Engineering & Construction

**FUSINA
CAPACITY MARKET ITALIA**

**RELAZIONE GEOLOGICA E DI
MODELLAZIONE SISMICA**

Document
Documento n.

PBFCU2002100

Sheet **65** of
Pagina *di* **81**

Le verifiche sono state eseguite sulla base dei risultati delle indagini svolte nel 2020 dalla società Geotecnica Veneta S.r.l.. Sono state prese in considerazione la totalità delle prove CPTU eseguite, le SPT svolte nel sondaggio S1 e il profilo Vs ricavato dagli stendimenti MASW.

I risultati ottenuti in termini di indice di potenziale liquefazione sono in generale inferiori ai valori critici di attivazione dei fenomeni. Va sottolineato che tra i 4 e i 12 metri di profondità alcune CPTU forniscono localmente dei valori del fattore di sicurezza FS di poco inferiori all'unità. Considerando la totalità delle analisi effettuate, il numero di punti aventi un FS minore di 1 risulta ragionevolmente trascurabile e quindi, tenendo conto della globalità delle analisi, per lo stato limite considerato, si ritiene di poter escludere il rischio della liquefazione per il sito in esame.

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



Engineering & Construction

FUSINA CAPACITY MARKET ITALIA

Document
Documento n.

PBFCU2002100

RELAZIONE GEOLOGICA E DI MODELLAZIONE SISMICA

Sheet **66** of **81**
Pagina **66** di **81**



GeoLogismiki

Geotechnical Engineering Software
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece

url: <http://www.geologismiki.gr> - email: info@geologismiki.gr

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

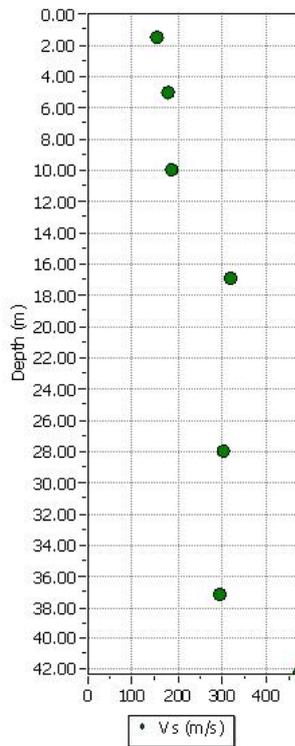
Project title : Enel Green Power

Project subtitle : Fusina

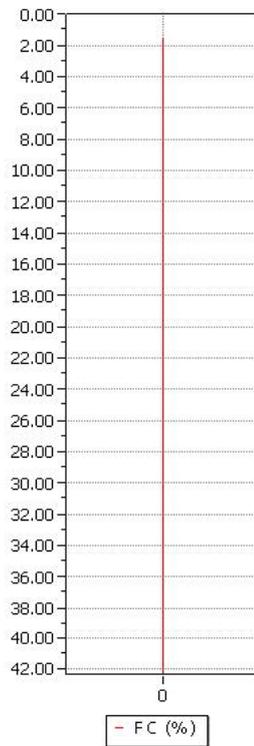
Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Shear wave velocity	Depth to water table:	2.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w :	5.77
Analysis method:	Eurocode 8	Peak ground acceleration:	0.14 g
Fines correction method:	N/A	User defined F.S.:	1.00

Vs data graph



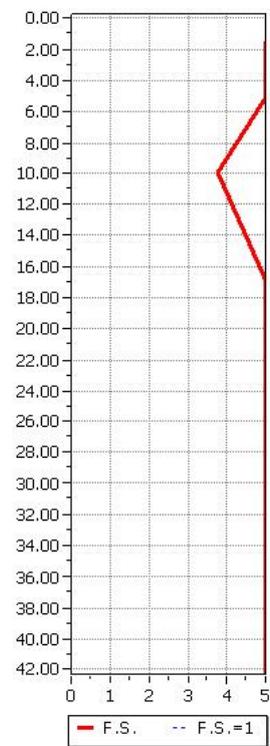
Fines content



Shear stress ratio



Factor of safety



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

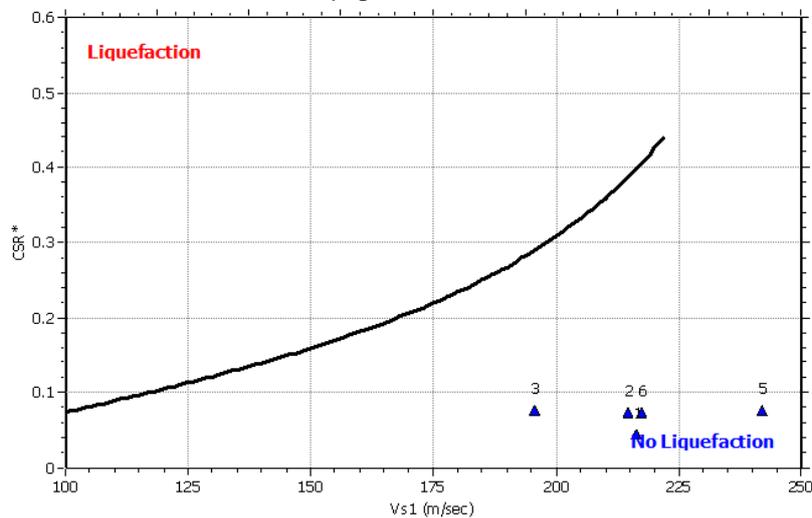


Figura 53: Verifica liquefazione tramite Vs



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

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

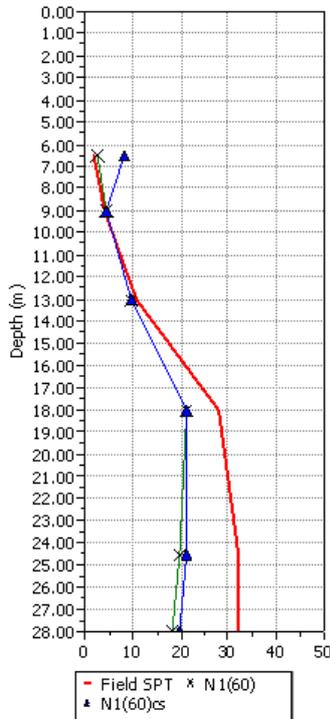
Project title : Enel Green Power

Project subtitle : Fusina

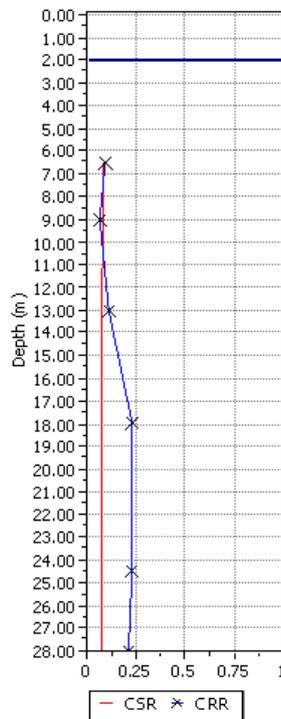
Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Standard Penetration Test	Depth to water table:	2.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w :	5.77
Analysis method:	Eurocode 8	Peak ground acceleration:	0.14 g
Fines correction method:	Idriss & Seed	User defined F.S.:	1.00

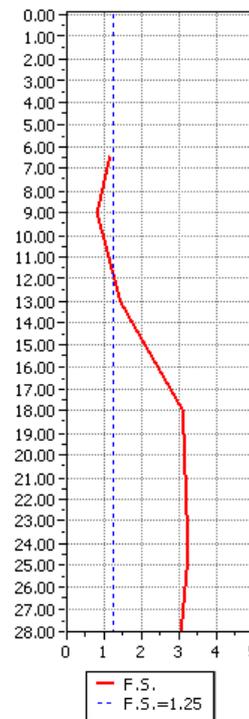
SPT data graph



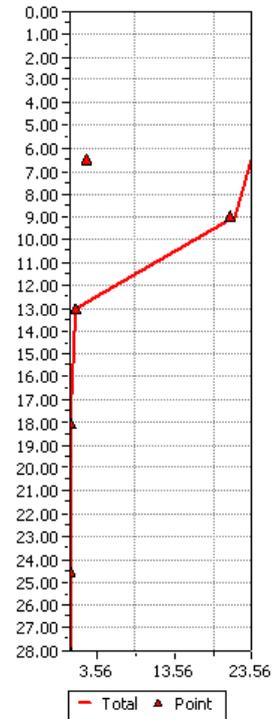
Shear stress ratio



Factor of safety



Settlements (cm)



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

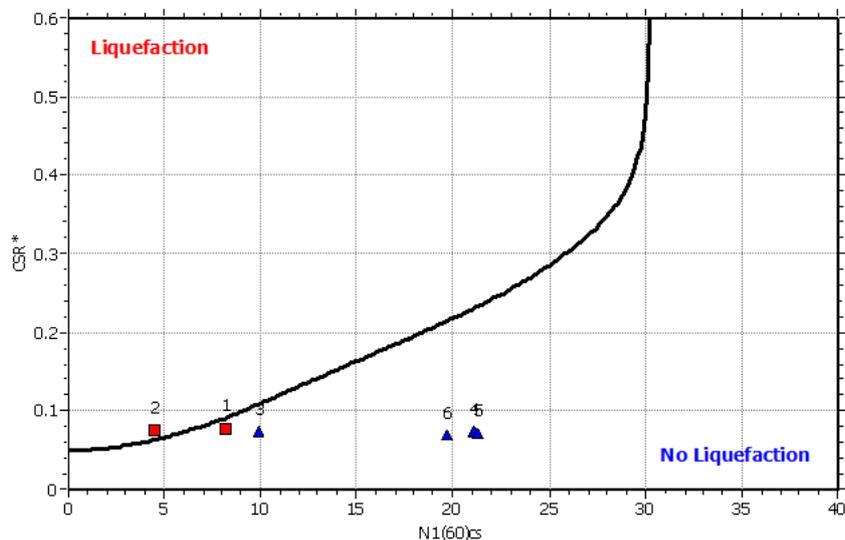


Figura 54: Verifica liquefazione tramite SPT



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

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

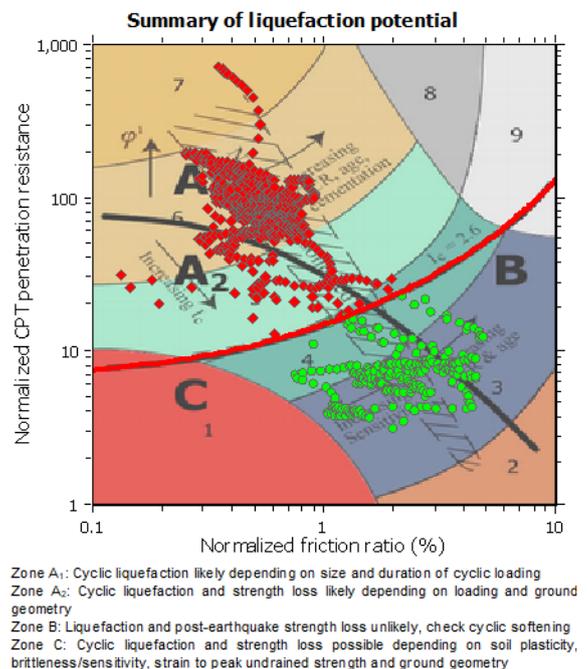
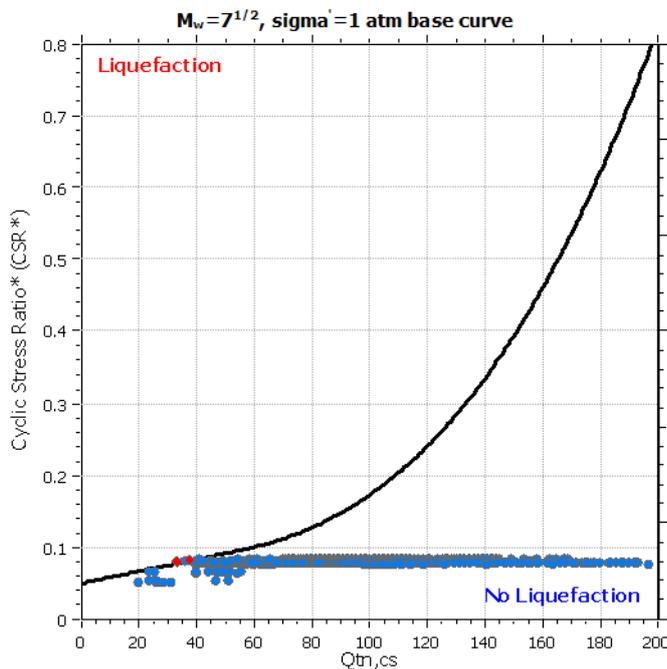
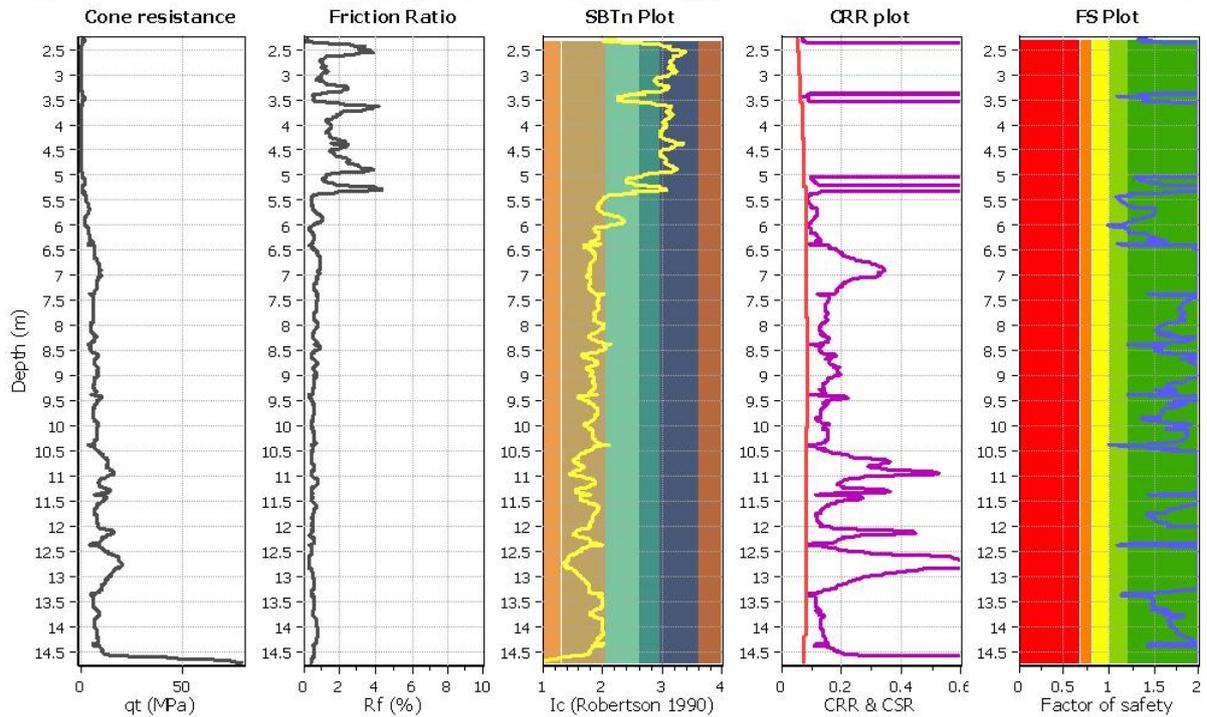
Project title : Enel Green Power

Location : Fusina

CPT file : CPTU1

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	2.00 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 :	5.77	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_s applied:	Yes		





Engineering & Construction

**FUSINA
CAPACITY MARKET ITALIA**

**RELAZIONE GEOLOGICA E DI
MODELLAZIONE SISMICA**

Document
Documento n.

PBFCU2002100

Sheet **69** of **81**
Pagina **69** di **81**

Liquefaction analysis overall plots

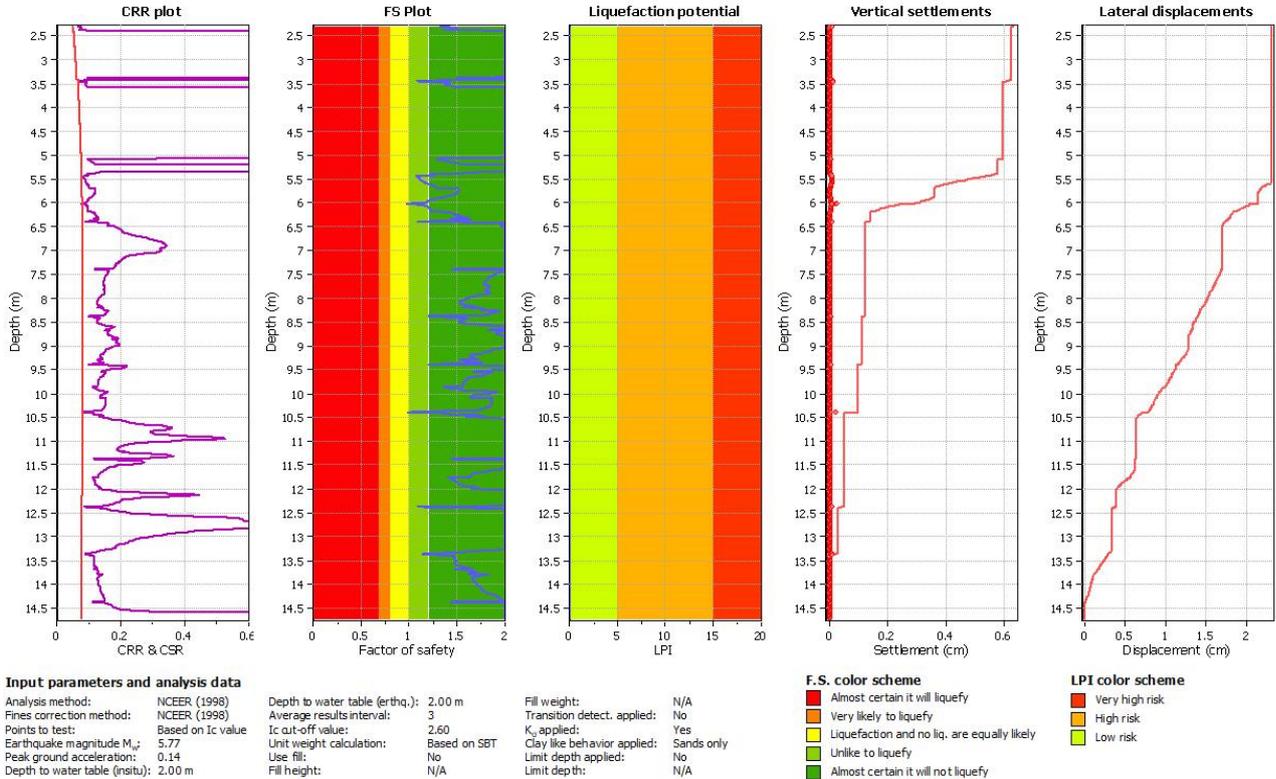


Figura 55: Verifica liquefazione, CPTU1



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

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

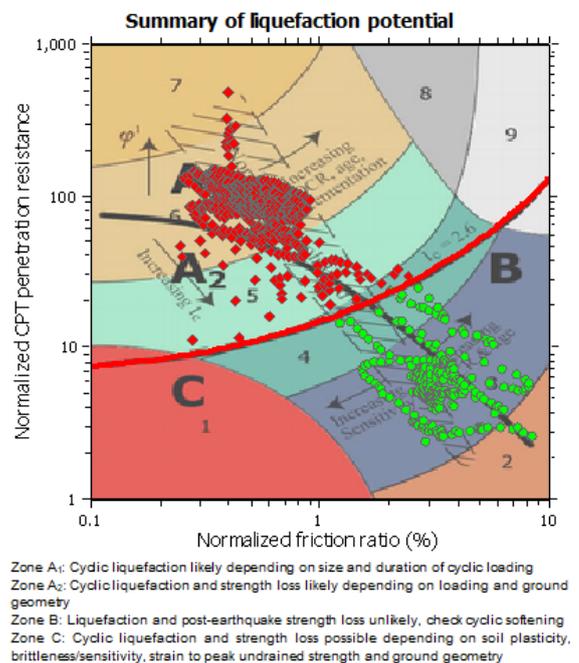
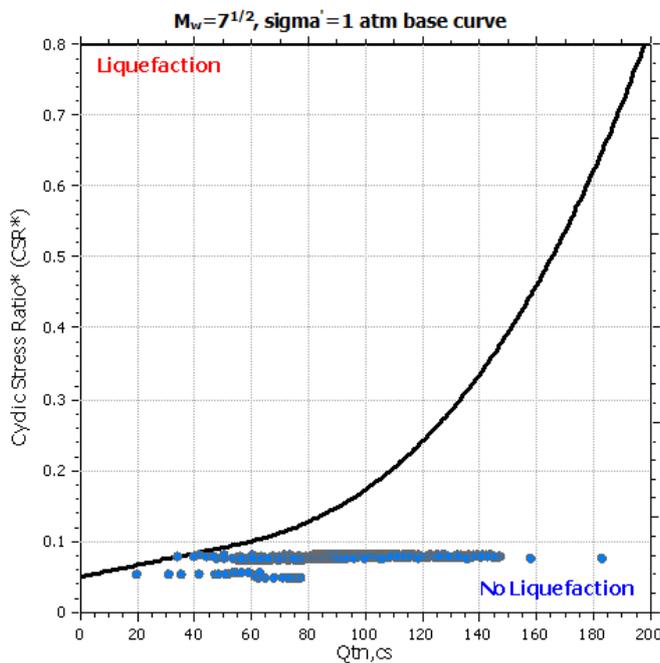
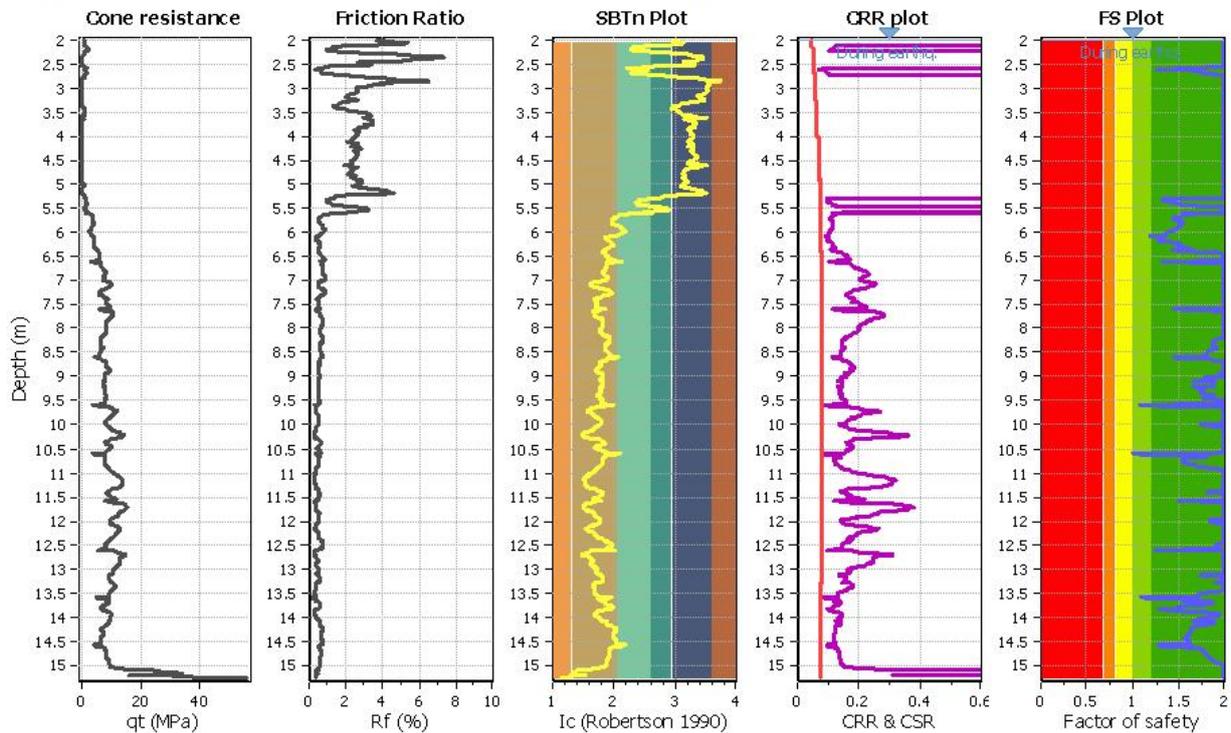
Project title : Enel Green Power

Location : Fusina

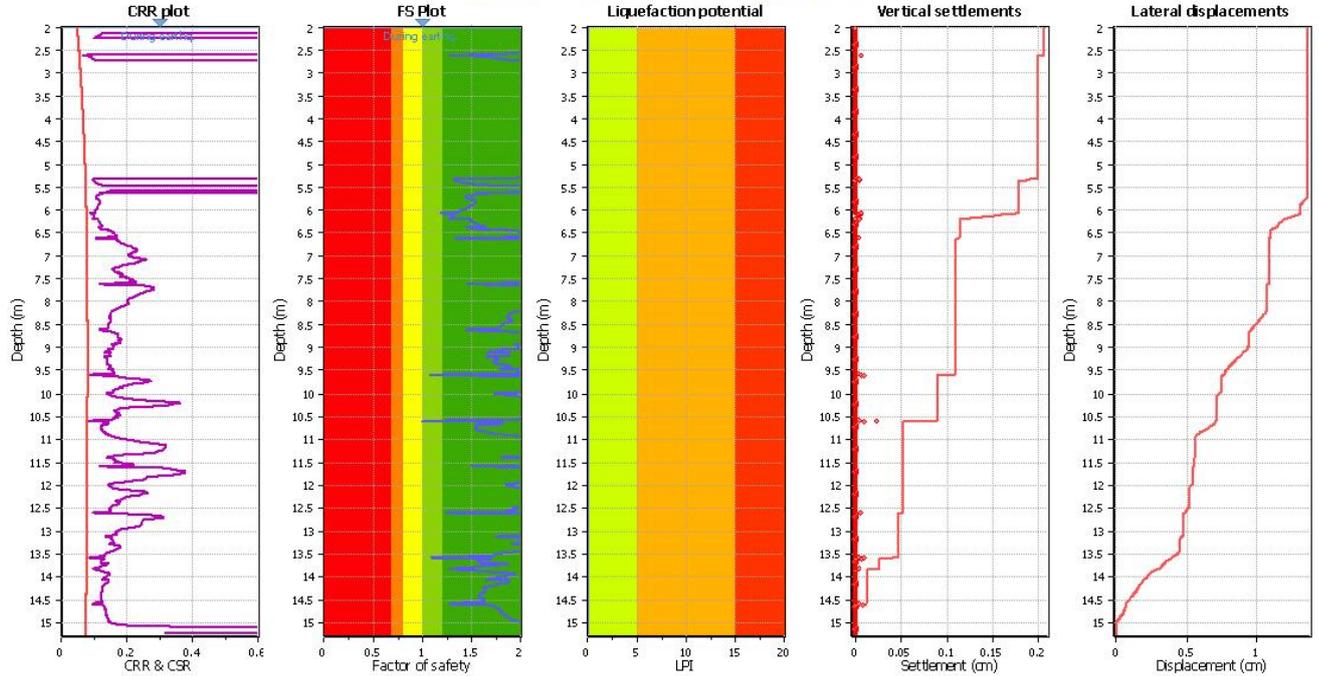
CPT file : CPTU1bis

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	2.00 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 :	5.77	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method based



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: 5.77
 Peak ground acceleration: 0.14
 Depth to water table (instu): 2.00 m

Depth to water table (earthq.): 2.00 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 deted. applied: No
 K_v applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 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
 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

Figur a 56: Verifica liquefazione, CPTU1bis



Engineering & Construction

FUSINA CAPACITY MARKET ITALIA

Document
Documento n.

PBFCU2002100

RELAZIONE GEOLOGICA E DI MODELLAZIONE SISMICA

Sheet **72** of **81**
Pagina **72** di **81**



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

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

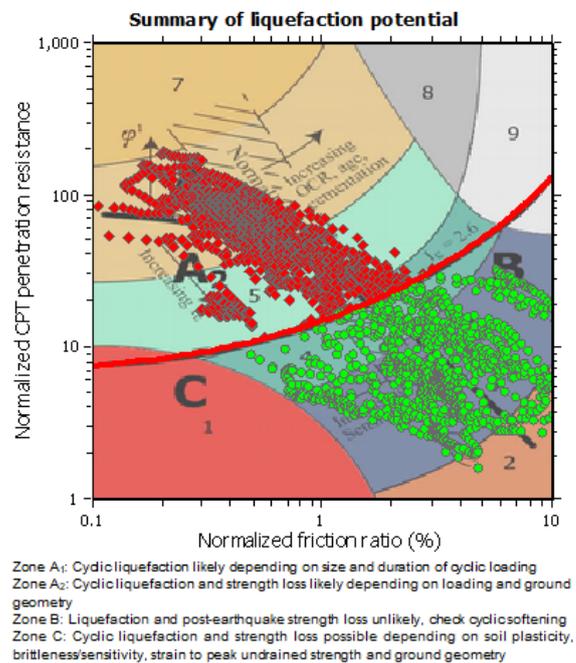
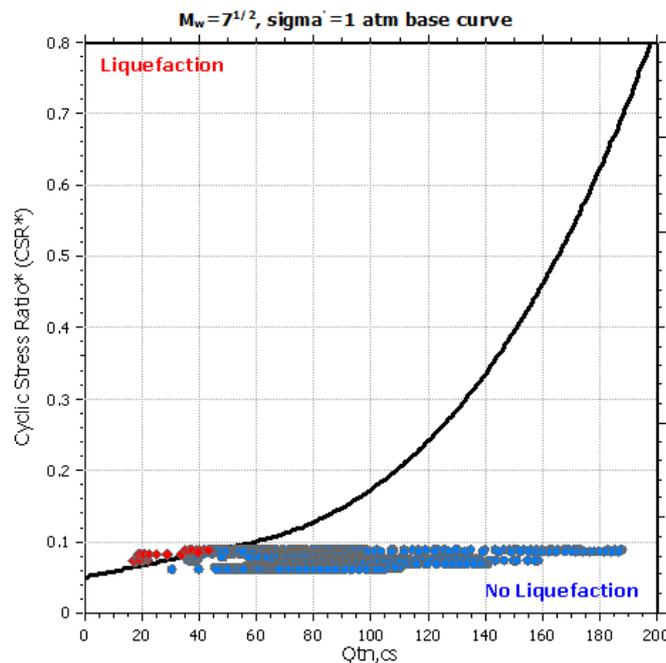
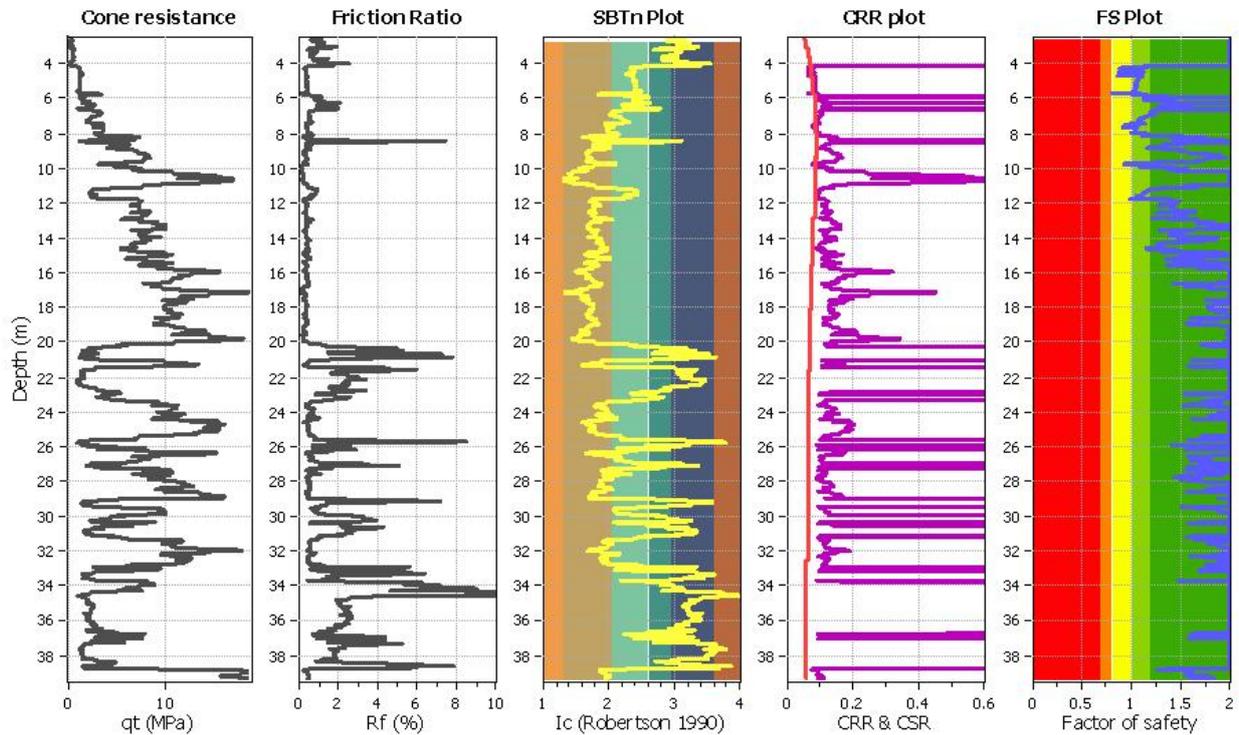
Project title : Enel Green Power

Location : Fusina

CPT file : CPTU2

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	2.00 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 :	5.77	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based





Engineering & Construction

**FUSINA
CAPACITY MARKET ITALIA**

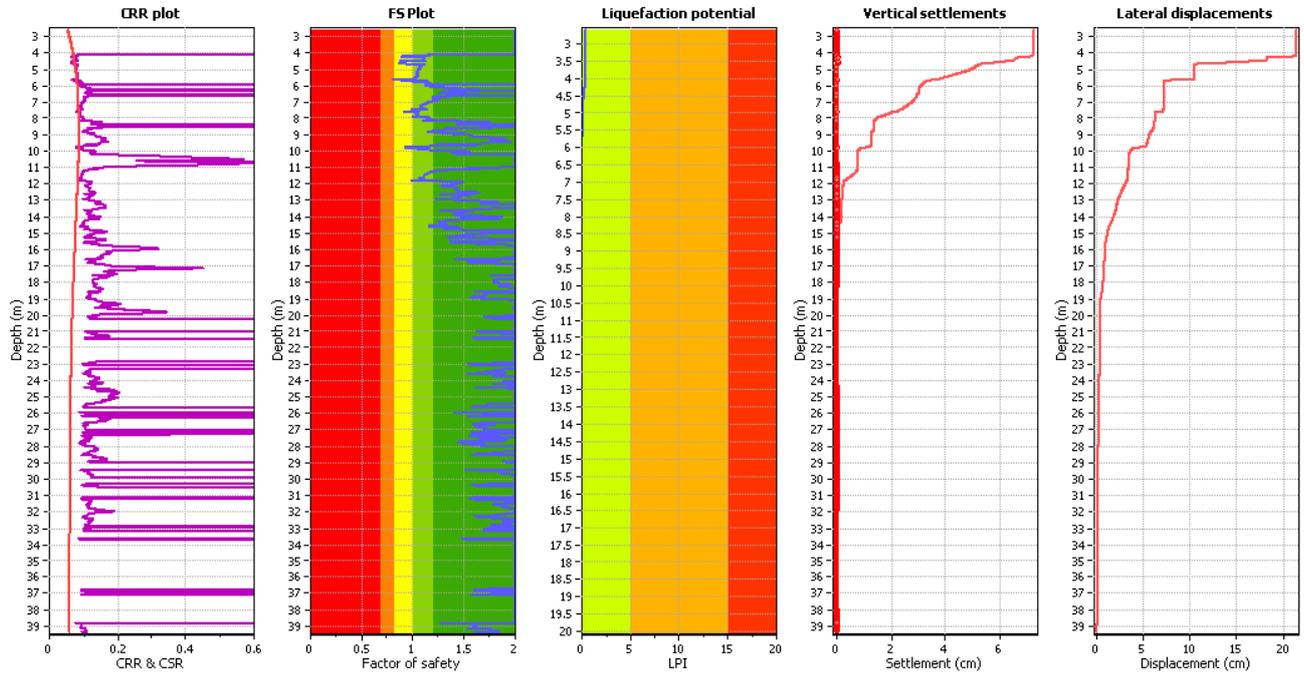
**RELAZIONE GEOLOGICA E DI
MODELLAZIONE SISMICA**

Document
Documento n.

PBFCU2002100

Sheet
Pagina **73** of di **81**

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1996)
 Fines correction method: NCEER (1996)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 5.77
 Peak ground acceleration: 0.14
 Depth to water table (insitu): 2.00 m

Depth to water table (earth): 2.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: NA

Fill weight: N/A
 Transition detect, applied: No
 K₀ applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 Limit depth: N/A

FS. color scheme
 Red: Almost certain it will liquefy
 Orange: Very likely to liquefy
 Yellow: Liquefaction and no liq. are equally likely
 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 57: Verifica liquefazione, CPTU2



Engineering & Construction

**FUSINA
CAPACITY MARKET ITALIA**

Document
Documento n.

PBFCU2002100

**RELAZIONE GEOLOGICA E DI
MODELLAZIONE SISMICA**

Sheet **74** of **81**
Pagina **74** di **81**



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

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

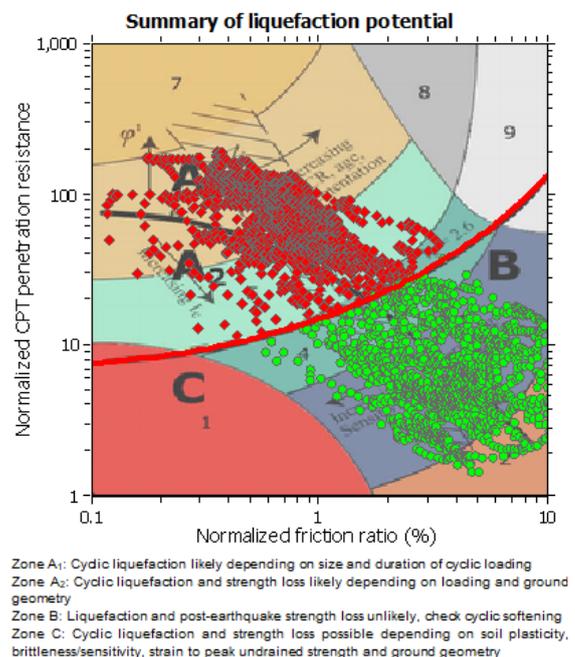
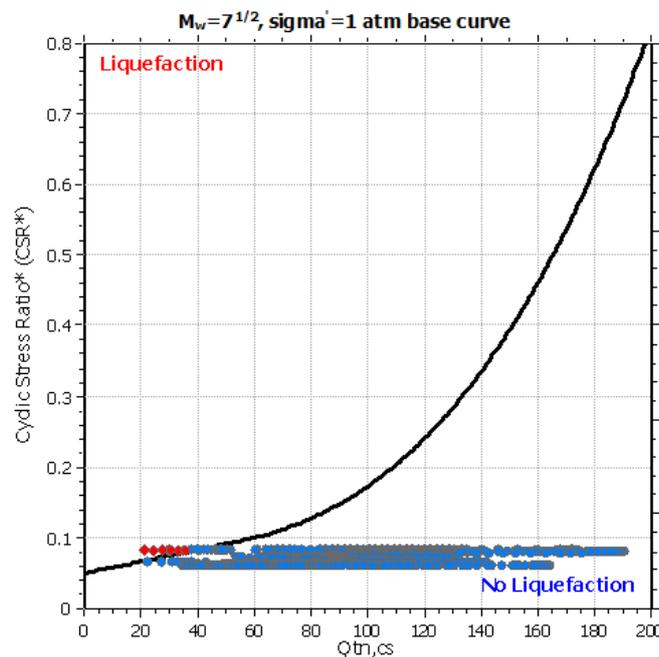
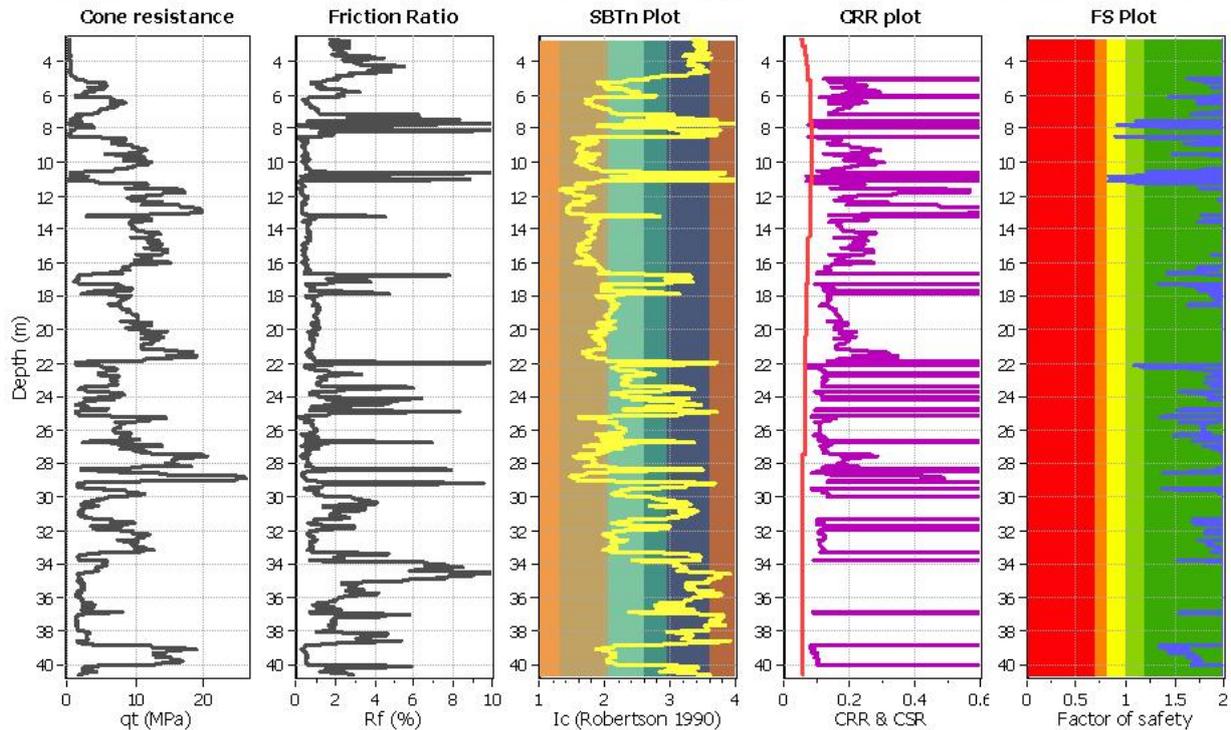
Project title : Enel Green Power

Location : Fusina

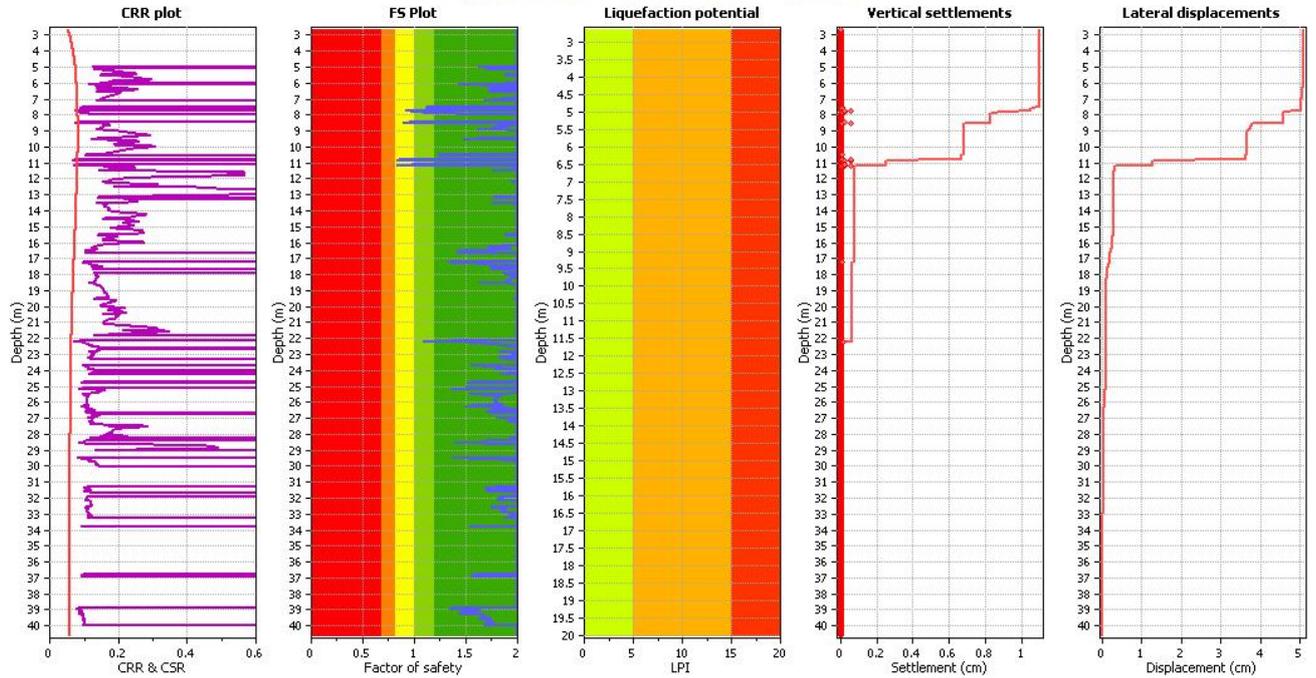
CPT file : CPTU3

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	2.00 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 :	5.77	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_f applied:	Yes	MSF method:	Method based



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: 5.77
 Peak ground acceleration: 0.14
 Depth to water table (insitu): 2.00 m

Depth to water table (earthq.): 2.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: NA

Fill weight: NA
 Transition detect. applied: No
 K₀ applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 Limit depth: NA

F.S. color scheme

Red: Almost certain it will liquefy
 Orange: Very likely to liquefy
 Yellow: Liquefaction and no liq. are equally likely
 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 58: Verifica liquefazione, CPTU3



Engineering & Construction

FUSINA CAPACITY MARKET ITALIA

Document
Documento n.

PBFCU2002100

RELAZIONE GEOLOGICA E DI MODELLAZIONE SISMICA

Sheet
Pagina **76** of
di **81**



Geologismiki
Geotechnical Engineers
Merarhias 56
<http://www.geologismiki.gr>

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

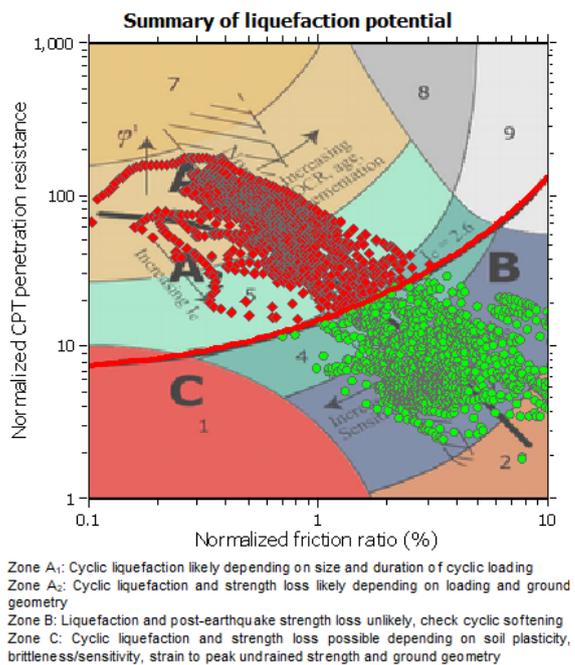
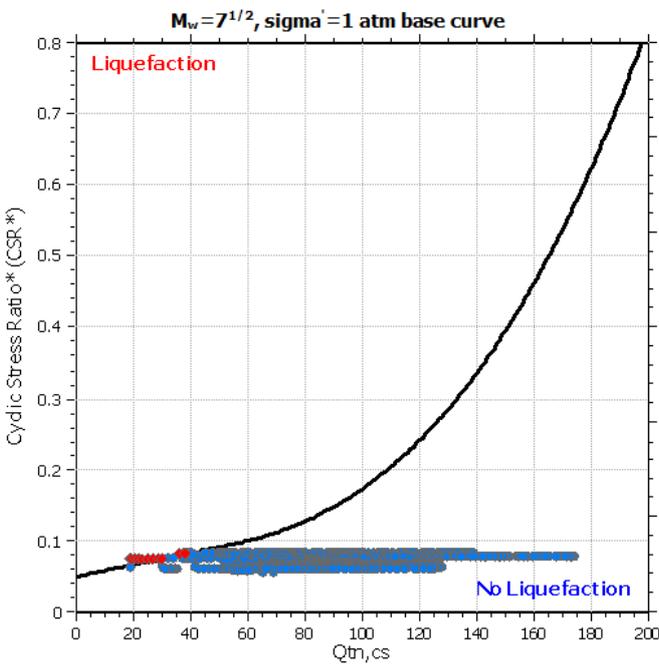
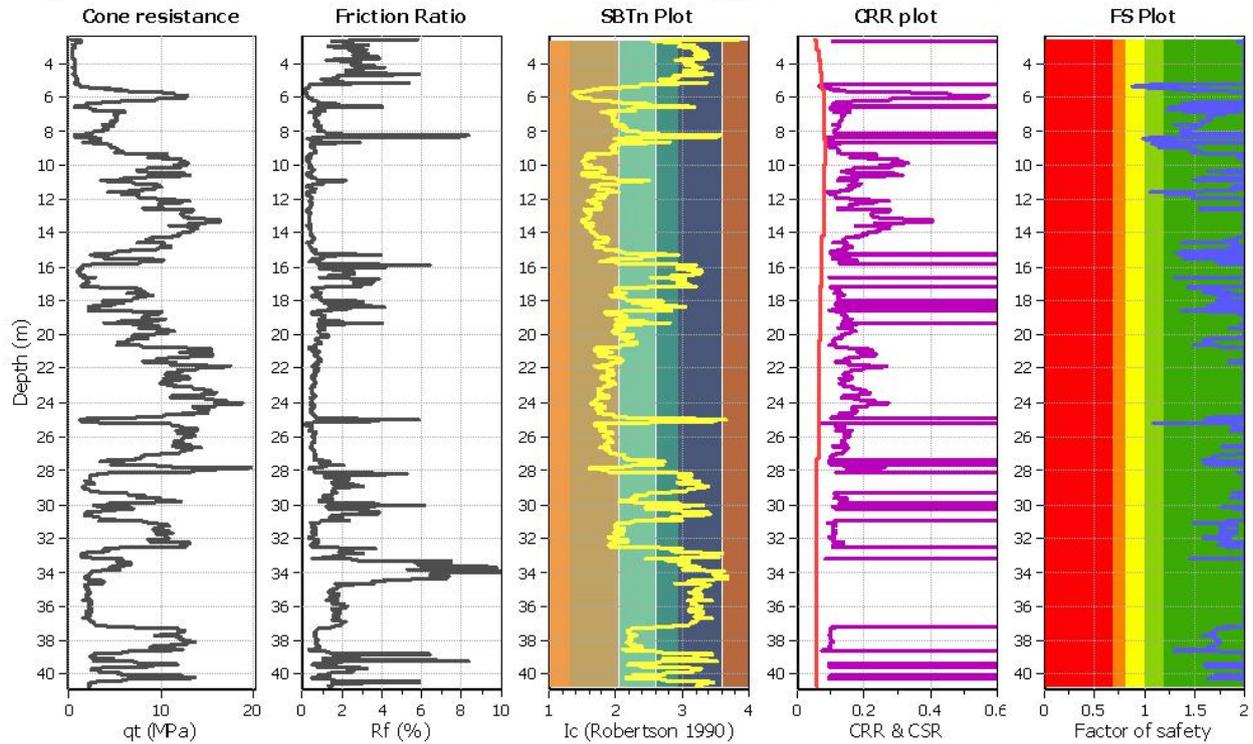
Project title : Enel Green Power

Location : Fusina

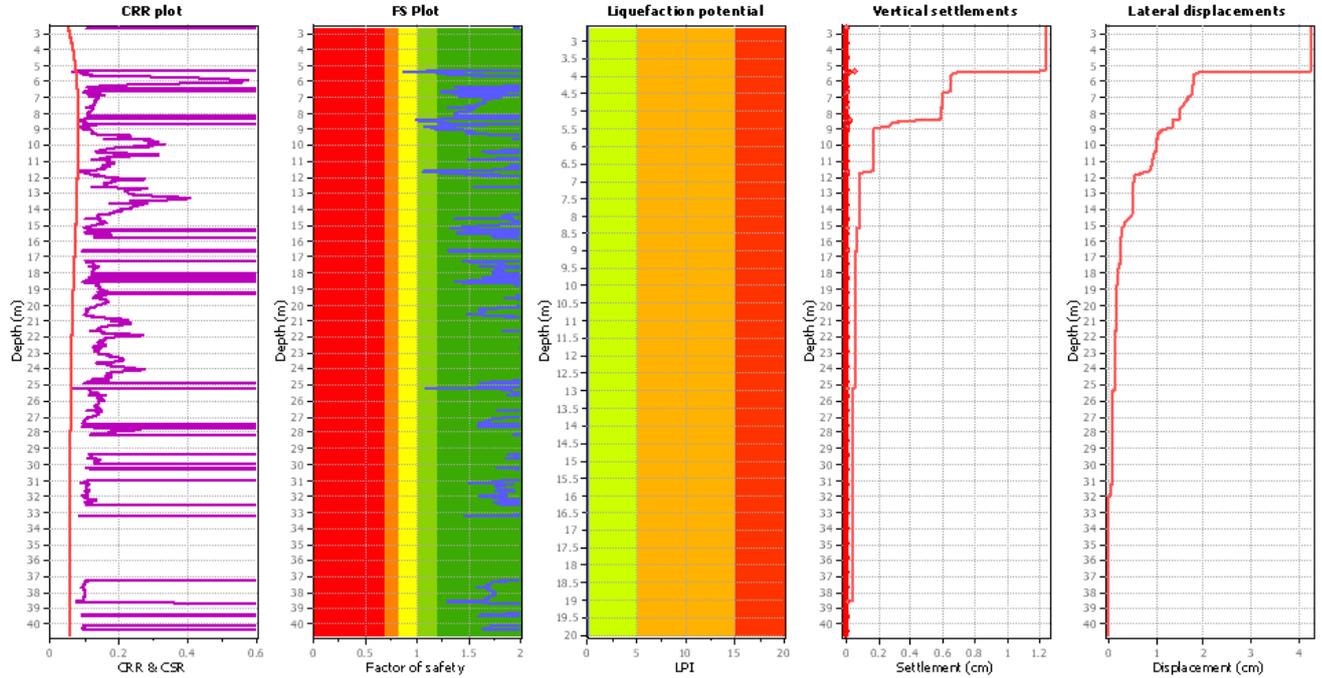
CPT file : CPTU4

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	2.00 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 :	5.77	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_p applied:	Yes		



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: 5.77
 Peak ground acceleration: 0.14
 Depth to water table (inst): 2.00 m

Depth to water table (ethq): 2.00 m
 Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculations: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect, applied: No
 K_v applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 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
 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 59: Verifica liquefazione, CPTU4



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

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

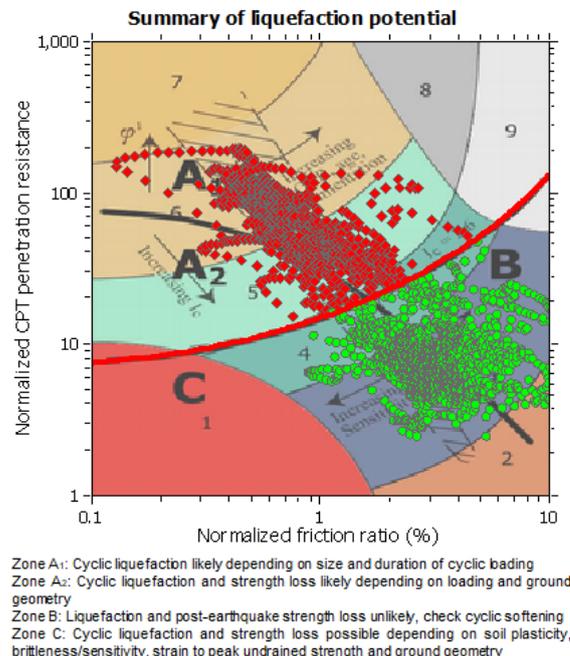
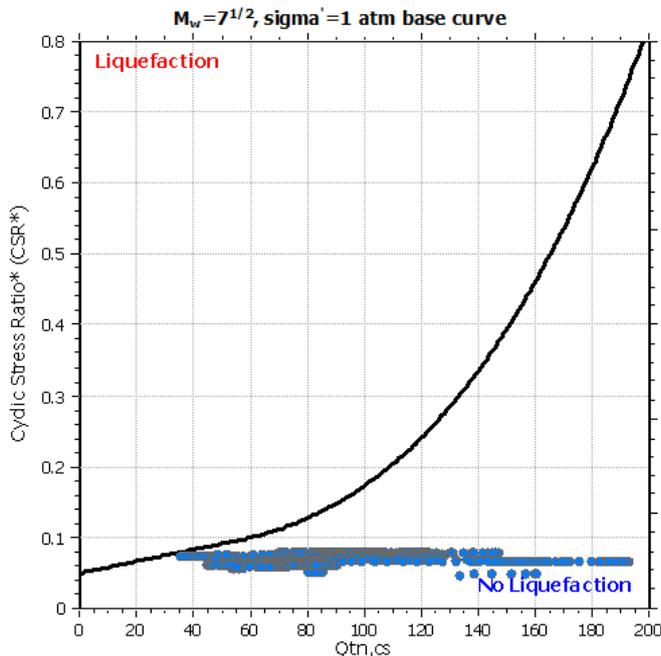
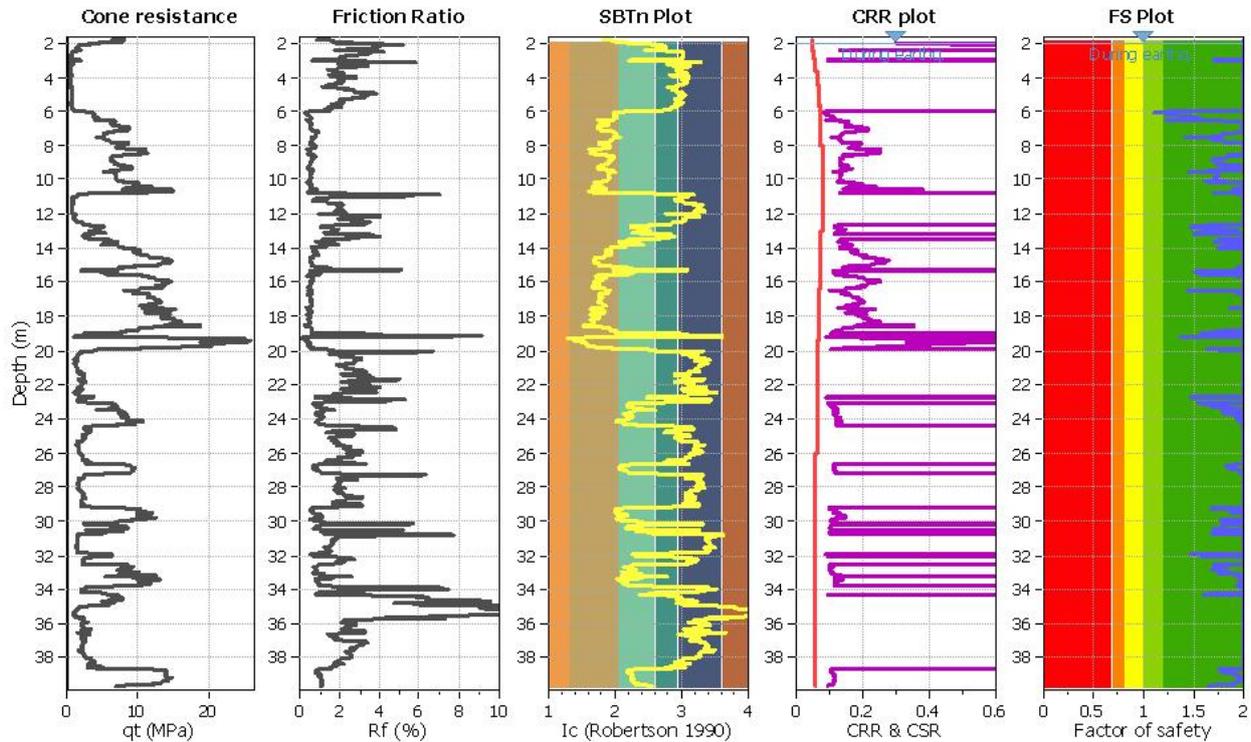
Project title : Enel Green Power

Location : Fusina

CPT file : CPTU5

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	2.00 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 :	5.77	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_f applied:	Yes	MSF method:	Method based





Engineering & Construction

**FUSINA
CAPACITY MARKET ITALIA**

**RELAZIONE GEOLOGICA E DI
MODELLAZIONE SISMICA**

Document
Documento n.

PBFCU2002100

Sheet **79** of **81**
Pagina **79** di **81**

Liquefaction analysis overall plots

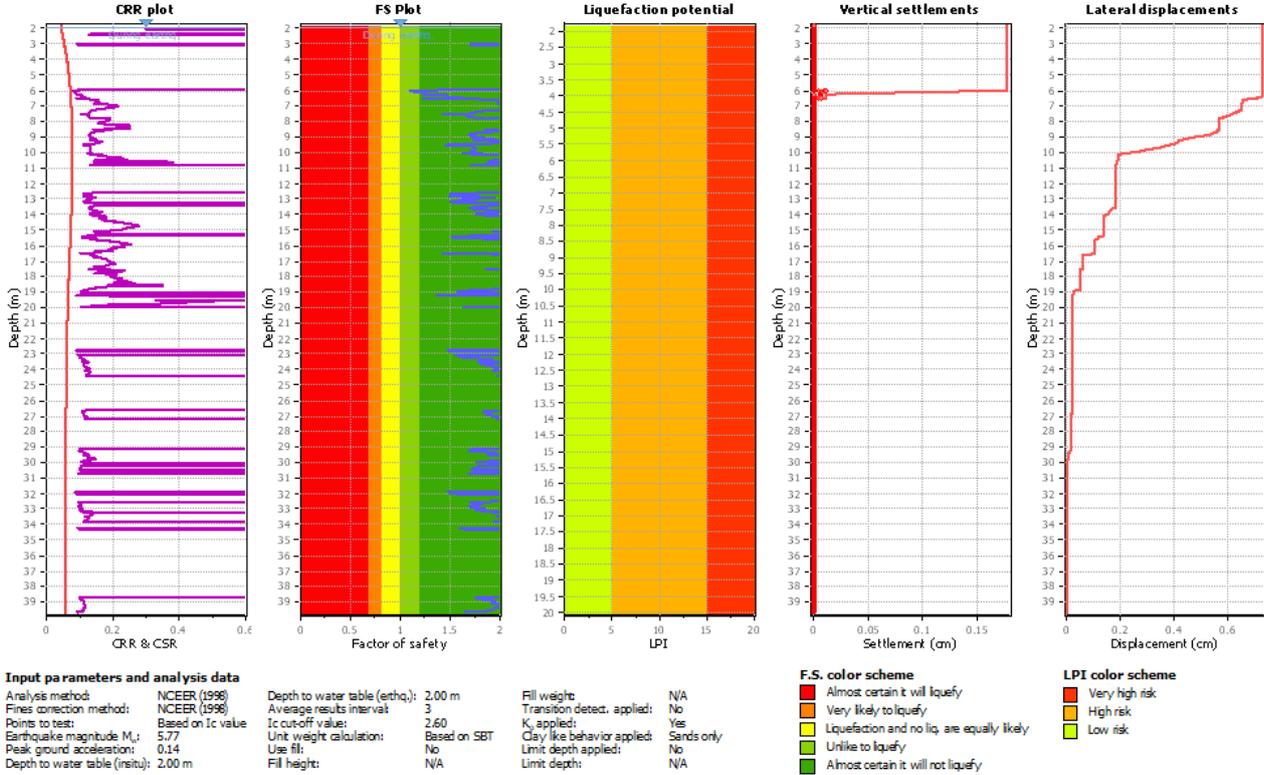
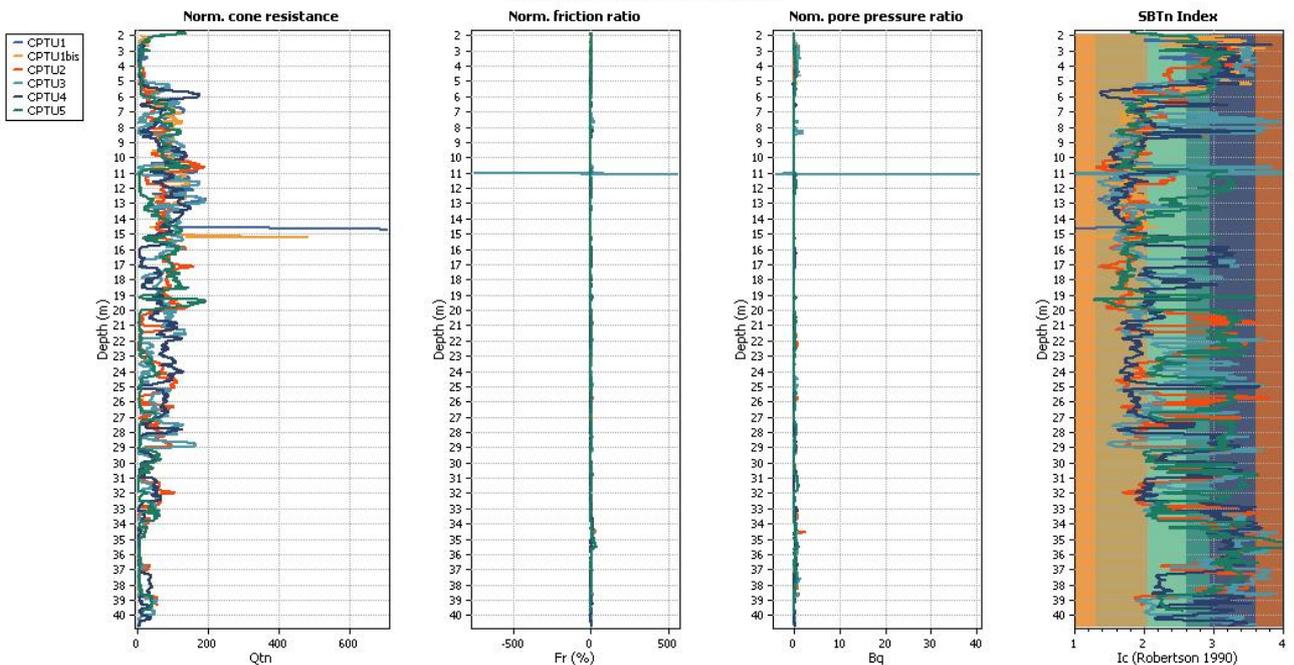


Figura 60: Verifica liquefazione, CPTU5



Project: Enel Green Power

Overlay Normalized Plots





Engineering & Construction

FUSINA CAPACITY MARKET ITALIA

RELAZIONE GEOLOGICA E DI MODELLAZIONE SISMICA

Document
Documento n.

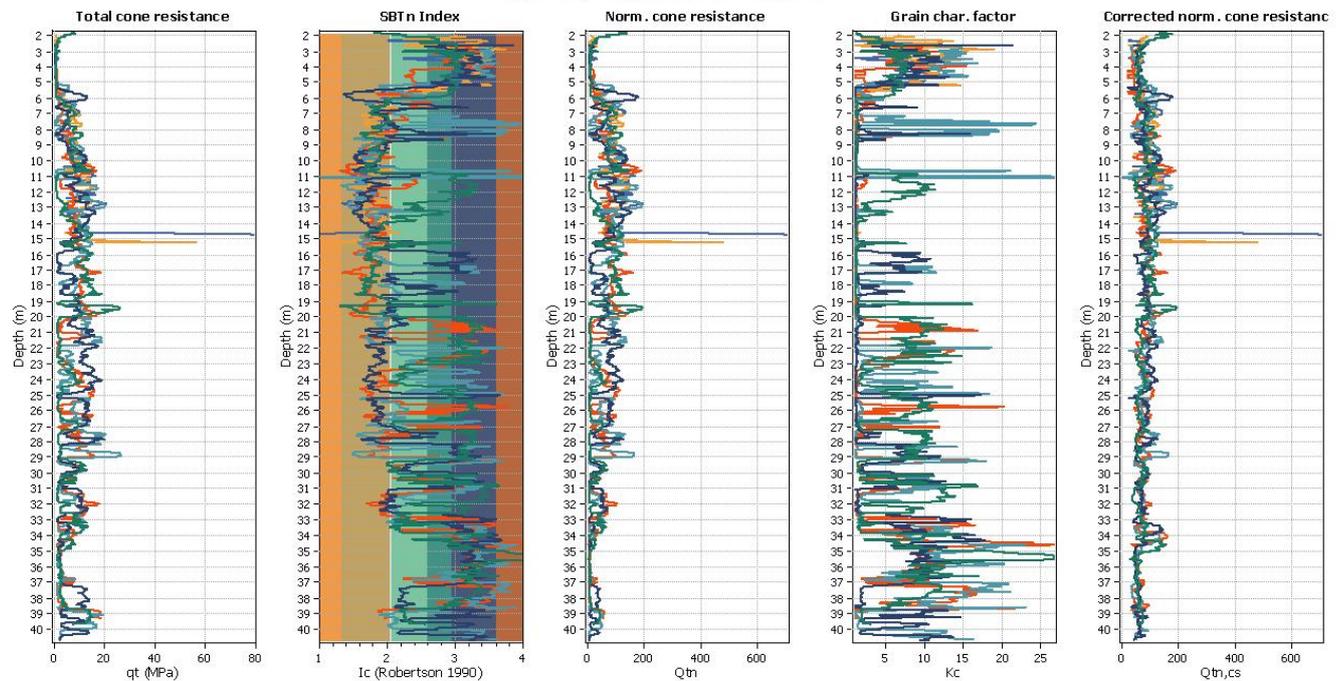
PBFCU2002100

Sheet **80** of **81**
Pagina **80** di **81**



Project: Enel Green Power

Overlay Intermediate Results



Project: Enel Green Power

Overlay Cyclic Liquefaction Plots

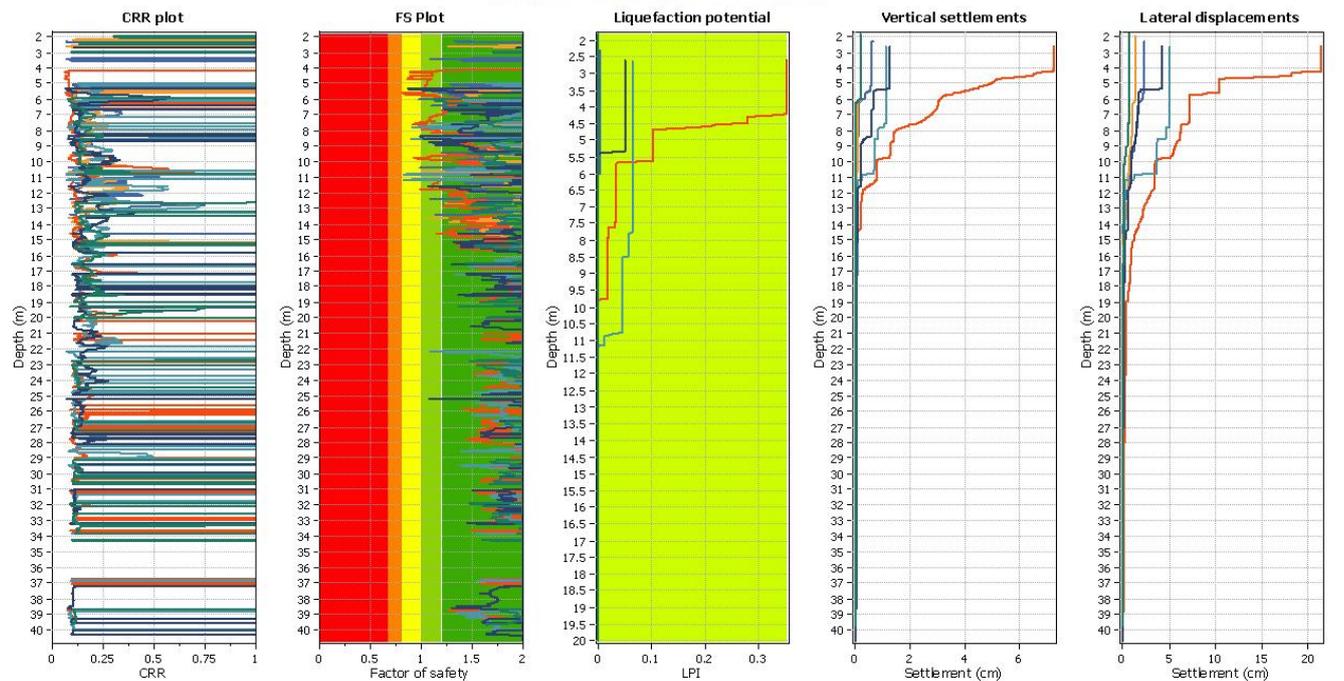


Figura 61: Risultativi complessivi della verifica a liquefazione tramite prove CPTU



Engineering & Construction

**FUSINA
CAPACITY MARKET ITALIA**

**RELAZIONE GEOLOGICA E DI
MODELLAZIONE SISMICA**

Document
Documento n.

PBFCU2002100

Sheet **81** of
Pagina *di* **81**

**ALLEGATO 1: Rapporto indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche – Anno
2019 – Società Geotecnica Veneta S.r.l.**