

# APPALTO INTEGRATO PER LA PROGETTAZIONE E LA REALIZZAZIONE

R.T.I.



R.T.P.



Legale rappresentante:  
dott. ing. Francesco Viero



Legale rappresentante:  
dott. ing. Gianfranco Marchi



Legale rappresentante  
dott. ing. Roberto Tassinari

Responsabile generale  
della progettazione:  
dott. ing. Guido Zanollo



Responsabile delle  
integrazioni specialistiche:  
dott. ing. Fabrizio Parboni Arquati



Responsabile della  
progettazione strutturale:  
dott. ing. Francesco Viero



Co-responsabile della  
progettazione strutturale:  
dott. ing. Roberto Tassinari



Responsabile della  
progettazione geotecnica:  
dott. ing. Gianfranco Marchi



Relazione studi ed attività  
inerenti la geologia:  
dott. geol. Gianluca Benedetti



## PROGETTO ESECUTIVO

3					
2	06/07/2016	CMC	CMC - M.B.	L.Z.	Revisione
1	20/04/2016	CMC	CMC - M.B.	L.Z.	Emissione Prog. Esec.
REV.	DATA (DATE)	REDATTO (DRWN)	CONTROL. (CHCK'D)	APPROVATO (APPR'D)	DESCRIZIONE (DESCRIPTION)

FUNZIONE O SERVIZIO (DEPARTMENT)

**INGEGNERIA ACQUA**

**PROGETTAZIONE IMPIANTI ACQUA**

DENOMINAZIONE IMPIANTO O LAVORO (PLANT OR PROJECT DESCRIPTION)

**PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA**

IDENTIFICATIVO IMPIANTO (PLANT IDENTIFIER)	WBS <b>R.2150.11.03.00065</b>	CODICE CUP (CUP CODE) <b>H97H14000700005</b>
	CODICE DOCUMENTO (CODE) <b>C00RN07</b>	N° COMMESSA (JOB N.) <b>11300273776</b>
	ID DOCUMENTO (DOCUMENT ID)	NOME FILE (FILE NAME) <b>C00RN07_RISP_SIS_LOC</b>



**HERA S.p.A.**  
Holding Energia Risorse Ambiente  
Viale Carlo Berti Pichat 2/4 40127 Bologna  
tel. 051.287.111 fax 051.287.525  
[www.gruppohera.it](http://www.gruppohera.it)

DENOMINAZIONE DOCUMENTO (DOCUMENT DESCRIPTION)  
**RISPOSTA SISMICA LOCALE**

SCALA  
(SCALE)


--

N° FOGLIO  
(SHEET N°)

1

DI  
(LAST)

82


	RISPOSTA SISMICA LOCALE				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	11300273776		2	2	82
	PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA				

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GENERALE.....</b>	<b>3</b>
2.1	CONSIDERAZIONI GENERALI.....	3
<b>3</b>	<b>PROVE GEOFISICHE IN SITO .....</b>	<b>8</b>
3.1	CONO SISMICO.....	8
3.2	ANTENNA SISMICA (ESAC).....	15
3.3	METODOLOGIA HVSR (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) .....	16
<b>4</b>	<b>RISULTATI PROVE GEOFISICHE.....</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE .....</b>	<b>19</b>
5.1	MODELLO DI SOTTOSUOLO.....	20
5.2	SISMICITA' DELL'AREA E PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE .....	27
5.3	ACCELEROGRAMMI – SEGNALI DI INPUT PER ANALISI NUMERICHE.....	29
5.4	RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	33
<b>6</b>	<b>POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE-APPROFONDIMENTI DI VERIFICA LOCALE.....</b>	<b>43</b>
6.1	PREMESSA.....	43
6.2	DATI DI INPUT .....	43
6.3	METODI DI CALCOLO .....	44
6.4	RISULTATI DELLE VERIFICHE.....	47

## ALLEGATI

**ALLEGATO N. 1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**  
**ALLEGATO N. 2 - SCHEMA PLANIMETRICO INDAGINE GEOGNOSTICA-GEOFISICA**  
**ALLEGATO N. 3 – PROVE GEOFISICHE – CPTS – ESAC - HVSR**  
**ALLEGATO N. 4 – PARAMETRI DI SCUOTIMENTO – SEGNALI INPUT / OUTPUT**  
**ALLEGATO N. 5 – DATI SPETTRO ELASTICO MEDIO RSL**

	RISPOSTA SISMICA LOCALE				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	11300273776		2	3	82
	PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA				

## 1 PREMESSA

Il presente studio è stato redatto nell'ambito della progettazione esecutiva delle vasche di laminazione e condotte sottomarine in Piazzale Kennedy nel Comune di Rimini (RN).

L'area di studio è compresa tra gli Elementi 112 (Rimini) e 123 (Bellariva) del Foglio 256 (RIMINI) della Carta Tecnica Regione Emilia Romagna (allegato n. 1).

Detta relazione viene eseguita in ottemperanza ai paragrafi 3.2.3. ("Valutazione dell'Azione Sismica") e 7.11.3 ("Risposta sismica e stabilità del sito") delle Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 gennaio 2008 (G.U. n. 29 del 4.02.2008 suppl. ord. n° 30) e relativa Circolare del 02 febbraio 2009, n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ("Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni") è stata articolata nelle seguenti fasi:

- definizione del modello geologico e tettonico generale rappresentativo con riferimento alla Relazione Geologica e Idrogeologica;
- utilizzo della campagna geognostica a supporto della Relazione Geologica e Idrogeologica (relazione Geologica e Idrogeologica);
- realizzazione di una specifica campagna di indagini geofisiche per la definizione del modello geofisico rappresentativo dell'area;
- definizione del modello geofisico di riferimento
- valutazioni circa la pericolosità sismica di base
- Selezione segnali sismici di input
- Analisi di Risposta Sismica Locale e azioni sismiche di output;
- Locali approfondimenti circa il potenziale di liquefacibilità dei terreni e relative manifestazioni superficiali;

La presente relazione potrà costituire un utile riferimento per il progettista nell'inquadrare i problemi sismici e di conseguenza permettere una modellazione a supporto delle scelte progettuali che dovrà essere affrontata nella sede opportuna quale la relazione geotecnica.


La presente revisione comprende un nuovo calcolo del potenziale di liquefazione alla luce della diversa configurazione delle strutture di contenimento e di fondazione della vasca.

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE

### 2.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

Per la caratterizzazione geomeccanica e geofisica del sito si fa riferimento alla campagna geognostica eseguita in sito per la Relazione Geologica e Idrogeologica ed alle indagini geofisiche specificamente realizzate ed in particolare in:

- n° 1 prove penetrometriche statiche CPTS con cono sismico, data 04/2015;
- n° 2 misure di rumore sismico (tecnologia HVSr), data 04/2015;
- n° 1 analisi di rumore sismico ambientale tramite tecnica ESAC, data 04/2015;
- n. 11 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con esecuzione di sue prove S.P.T. in foro e realizzazione di prove speditive con vane test e pocket penetrometer per valutazione in prima approssimazione delle caratteristiche geomeccaniche terreni;
- n. 8 prove penetrometriche statiche CPT di cui la prima parte con punta meccanica (CPTM) e la seconda parte con punta provvista di piezocono (CPTU) a profondità compresa tra 20.0 e 30.0 mt dal p.c.;

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>		<b>2</b>	<b>4</b>	<b>82</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					


- prelievo di oltre 50 campioni di terreno sia disturbati (ovvero prelevati tra il materiale carotato nelle cassette catalogatrici o con le SPT a punta aperta) che indisturbati e relative prove di laboratorio per la caratterizzazione geolitologica e idrogeologica dei terreni;
- monitoraggio del livello piezometrico negli acquiferi del sottosuolo interessati direttamente e indirettamente dalla realizzazione dell'opera;
- prove di permeabilità in foro sui n. 11 sondaggi a carotaggio continuo più due ulteriori a completamento della campagna di indagine idrogeologica

Il modello geologico di riferimento e l'assetto stratigrafico generale considerati pertanto sono quelli già definiti con dettaglio nella Relazione Geologica, per cui riassumendo:

<b>Litologia di riferimento</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
<b>VR</b>	<p><b>Livello superficiale</b></p> <p>Terreni fortemente antropizzati, di riporto e/o di rielaborazione antropica costituito principalmente da sabbie e limi sabbiosi di color marrone e marrone grigio con macerie e/o materiali lapidei. Presenza di frammenti di laterizi, pietrame, blocchi e resti vari.</p> <p>Il grado di addensamento e la consistenza del litotipo sono molto variabile ed in funzione anche della presenza o meno di livelli limosi nerastri compressibili e ricchi di sostanza organica frequenti soprattutto in vicinanza alla zona in cui scorre l'alveo incanalato e tombinato del Torrente Ausa.</p> <p>Tale strato si approfondisce nella fascia centrale della piazza Kennedy di tombinatura (vedi BH5) del corso d'acqua</p>
<b>SL</b>	<p><b>Sabbie e sabbie limose medio – fini da poco a mediamente addensate</b></p> <p>Di origine litorale di colore grigiastro o marrone chiaro. Sabbie medie e medio-fini, generalmente ben classate, con laminazione a basso angolo talora evidenziata da allineamenti di livelli di frustoli vegetali; presenza di bioclasti conchigliari. Soprattutto nella porzione centrale del litotipo (compresa da -6.0 a -10.0 mt dal p.c.) aumento del contenuto limo – argilloso nelle sabbie e presenza di sottili (da centimetri che a decimetriche) e discontinue intercalazioni limo - argillose.</p> <p>Le strutture sedimentarie rivelano generalmente una situazione di media-elevata energia deposizionale in ambienti di mare basso o litorale dominati dal moto ondoso e/o da correnti lungocosta. Tuttavia la presenza di matrice limo-argillosa e di frequenti livelletti limo argillosi discontinui segnala l'interazione tra i processi deposizionali litorali e quelli fluviali nella zona di sbocco in mare del Torrente Ausa.</p> <p>La presenza occasionale di ghiaie (vedi BH2) in livelli con ciottoli ben arrotondati denota sia la vicinanza di fonti di apporto grossolano sia la elaborazione da parte delle correnti costiere e del moto ondoso.</p>
<b>CLA</b>	<p><b>Limi argillosi e limi sabbiosi</b></p> <p>Limi color grigio scuro con livelletti torbosi con frustoli carboniosi e vegetali, il colore grigio – scuro nerastro e l'odore pungente tipico. Presenza altresì di livelletti a maggior contenuto in sabbia e ghiaiosi. Si tratta probabilmente di sedimenti depositi in ambiente di transizione tra il marino ed il continentale cioè in paludi o lagune costiere di retrospiaggia. Litotipo granulometricamente eterogeneo e caratterizzato da terreni in genere dotati di scadenti caratteristiche geomeccaniche ovvero scarsa consistenza ed elevata compressibilità.</p>
<b>LA</b>	<p><b>Limi con argilla e argille con limo</b></p> <p>Di origine alluvionale, colore variabile da grigio a grigio a grigio scuro con striature nerastre e e oca – giallastre in funzione della variabilità della frazione argillosa. Essi si presentano come massivi o possiedono deboli laminazioni, talora sono alternati a sottili livelli limo-sabbiosi, tali caratteri sono i tipici di ambienti di piana inondabile. Litotipo dotato di consistenza generalmente da scarsa a media. Presenza di discontinui livelli sabbiosi e limo - sabbiosi a varie altezze di spessore centimetrino che denotano locali aumenti di energia deposizionale, interpretabili come possibili episodi di rotta d'argine.</p>
<b>ALA</b>	<p><b>Sabbie limose e limo sabbioso – argillosi</b></p> <p>Alternanze litologiche a dominanza limosa e sabbiosa di origine alluvionale, da poco a mediamente consistenti ed addensati, media compressibilità. Probabili strutture arginali e/o di rotta d'argine del sistema Rio Ausa – Marecchia caratterizzate da scarso spessore e continuità laterale.</p>
<b>GA</b>	<p><b>Ghiaie in matrice limo - sabbiosa</b></p> <p>Ghiaia fine e media con ciottoli sub-arrotondati, con variabile contenuto in matrice limo sabbiosa e argillosa color grigio – marrone chiaro, di origine alluvionale, compatte, addensate e scarsamente compressibili; presenza di lenti limo argillose e sabbiose di spessore decimetrico. Si tratta di fasce di paleoalveo del Fiume Marecchia</p>

Le stratigrafie vengono di seguito riportate per singola prova in sito a partire dalla zona verso mare e spostandosi gradualmente verso monte.

**N.B.** Le quote di seguito riportate si riferiscono al piano campagna nel punto in cui ciascuna prova in sito è stata effettuata.

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>		<b>2</b>	<b>5</b>	<b>82</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

## STRATIGRAFIA PENETROMETRIE STATICHE CPT-CPTU


Litologia di riferimento	Profondità da mt a mt							
	CPTU1	CPTU2	CPTU3	CPTU4	CPTU5	CPTU6	CPTU7	CPTU8
<b>VR</b>	0.0 – 6.0	0.0 – 6.3	0.0 – 5.2	0.0 - 4.8	0.0 – 3.0	0.0 – 5.2	0.0 – 5.2	0.0 – 4.4
<b>SL</b>	6.0 - 12.8	6.3 - 12.7	5.2 - 12.8	4.8 – 13.2	6.75 – 7.5 8.2 – 12.7	5.2 – 13.0	6.2 – 12.9	6.1 -12.7
<b>CLA</b>					3.0 – 6.75 7.5 - 8.2		5.20 – 6.2	4.4 - 6.1
<b>LA</b>	12.8 - 20.9 21.6 - 27.5 t.p.	12.7 - 19.8 20.7 – 23.4 t.p.	12.8 - 20.5 21.2 - 27.2 t.p.	13.2 - 20.4 21.3 - 26.7 t.p.	12.7 - 19.0 21.1 - 23.5 t.p.	13.0 - 27.2 t.p.	12.9 – 23.2 t.p.	12.7 – 20.5 21.0 – 25.1 t.p.
<b>ALA</b>	20.9-21.6	19.8 – 20.7	20.5 – 21.2	20.4 – 21.3	19.0 – 21.1			20.5-21.0

t.p. = termine prova in sito

## STRATIGRAFIA SONDAGGI GEOGNOSTICI BH

Litologia di riferimento	Profondità da mt a mt						
	BH1	BH2	BH3	BH4	BH5	BH6	BH7
<b>VR</b>	0.0 – 6.1	0.0 – 5.05	0.0 – 4.8	0.0 – 4.8	0.0 – 10.5	0.0 – 4.3	0.0 – 1.0
<b>SL</b>	6.10 - 12.9	5.05 - 12.5	4.80 - 12.8	4.80 - 13.2	10.5 - 12.75	7.4 - 8.1 8.85 – 12.9	1.0 - 13.0
<b>CLA</b>						4.30 – 7.4 8.1 – 8.85	
<b>LA</b>	12.9 – 20.1 21.0 – 29.3	12.5 – 18.6 19.2 – 29.8 31.8 – 35.0 t.p.	12.8 – 29.3	13.2 – 29.95 32.0 – 35.0 t.p.	12.75 – 19.7 20.3 – 30.0 t.p.	12.9 – 19.0 19.5 – 29.65 31.7 – 35.0 t.p.	13.0 – 29.8
<b>ALA</b>	20.1 – 21.0	18.6 – 19.2			19.7 – 20.3	19.0 – 19.5	
<b>GA</b>	29.3 – 30.0 t.p.	29.8 – 31.8	29.3 – 30.0 t.p.	29.95 – 32.0		29.65 – 31.7	29.8 – 30.0 t.p.
	<b>BH8</b>	<b>BH9</b>	<b>BH10</b>	<b>BH11</b>	<b>BHa</b>	<b>BHb</b>	
<b>VR</b>	0.0 – 1.0	0.0 – 5.0	0.0 – 3.5	0.0 – 3.0	0.0 – 3.8	0.0 – 6.0	
<b>SL</b>	1.0 - 5.5 6.2 – 12.9	7.0 – 12.8	8.7 – 12.5	8.5 – 11.8	3.8 - 6.5 7.4 – 14.2	6.0 – 12.5	
<b>CLA</b>	5.5 – 6.2	5.0 – 7.0	3.5 – 8.7	3.0 – 8.5	6.5 – 7.4		
<b>LA</b>	12.9 – 30.1 32.0 – 35.0 t.p.	12.8 – 18.6 21.5- 29.9	12.5 – 13.5 t.p.	11.8 – 12.8 t.p.	14.2 – 18.6 21.9 – 30.5 32.6 – 37.9	12.5 - 18.6 23.3 – 29.8 32.6 – 37.9	
<b>ALA</b>		18.6- 21.5			18.5 – 21.9	18.6 – 23.3	
<b>GA</b>	30.1 – 32.0	29.9 – 30.0 t.p.			30.5 – 32.6	29.8 – 31.8	
<b>GS</b>					37.9 - 40	37.7 – 43.0	

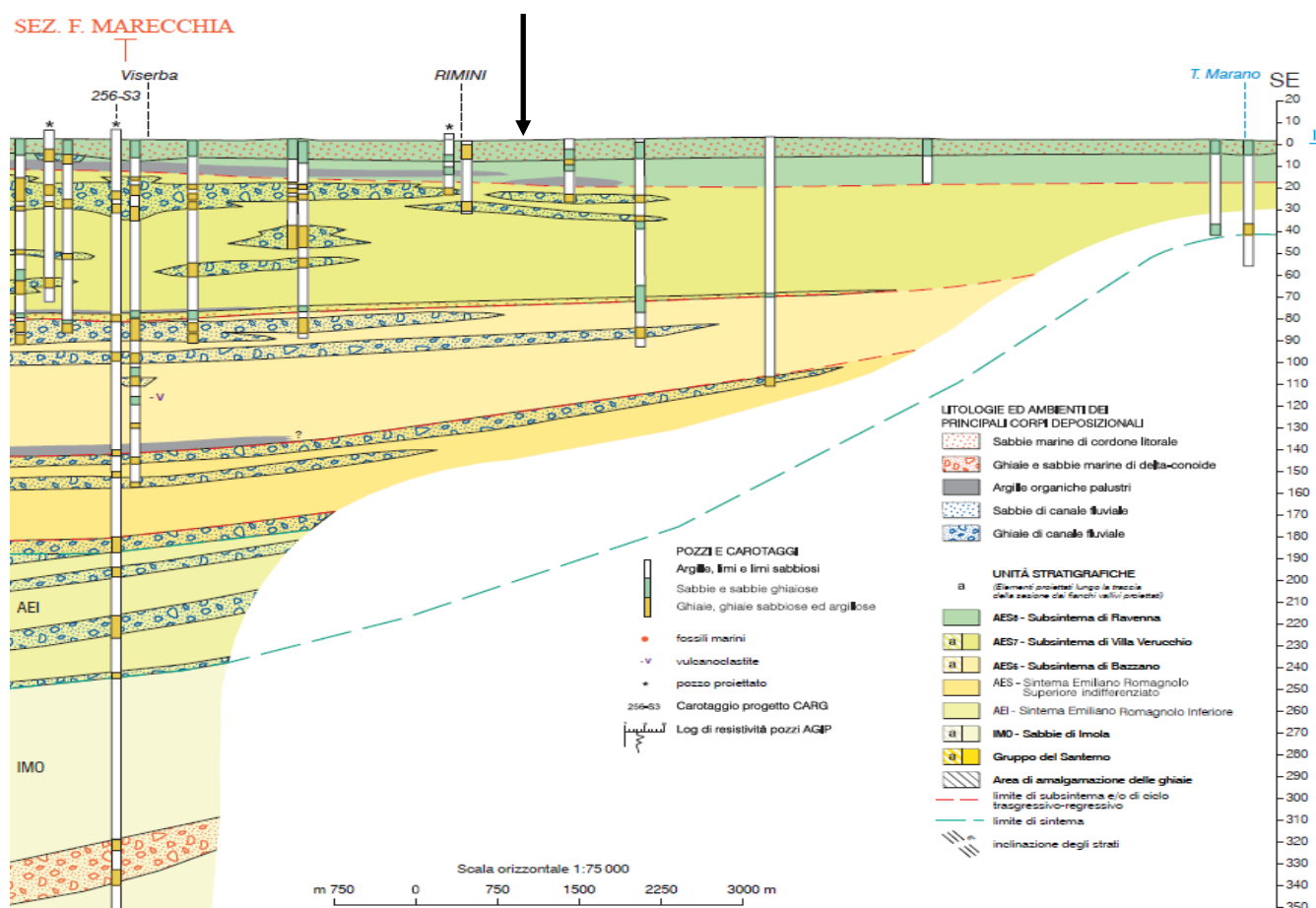
t.p. = termine prova in sito

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	6
PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA				
DI (LAST)				
82				

Invece per quanto attiene al modello geologico e stratigrafia profonda di riferimento, come già definito nella succitata relazione geologica si fa riferimento a quanto rilevato dal Servizio Geologico Regionale, nell'ambito del progetto CARG, in corrispondenza delle sezioni profonde 059 e 146 (di seguito riportate) in cui la conoide multistrato è caratterizzata da un'alternanza di livelli grossolani, in cui le ghiaie sono dominanti, e livelli in cui invece prevalgono le litologie più fini che assumono spessore via via crescente verso mare.

Dal punto di vista geologico, tali livelli ghiaiosi corrispondono alle porzioni regressive terminali dei cicli deposizionali riconosciuti nel sottosuolo, caratterizzate dallo sviluppo di estesi lobi di conoide alluvionale lateralmente molto vasti e di spessore decrescente da monte verso mare (mai inferiore ai 3-5 metri). Viceversa i livelli fini tra essi interposti, costituiti da alternanze di limi sabbiosi, sabbie limose e argille, hanno uno spessore pressoché nullo a monte (dove affiorano le ghiaie) ed uno spessore massimo (fino a circa 30 metri) nella zona costiera. Queste alternanze cicliche sono il risultato deposizionale della ciclicità climatico – eustatica del Pleistocene (note illustrative del Foglio Geologico “256 – Rimini”).

### SEZIONE LUNGO COSTA N. 59





## RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)

11300273776

ID DOC. (DOC. ID)

REV.

2

N° FG. (SH. N.)

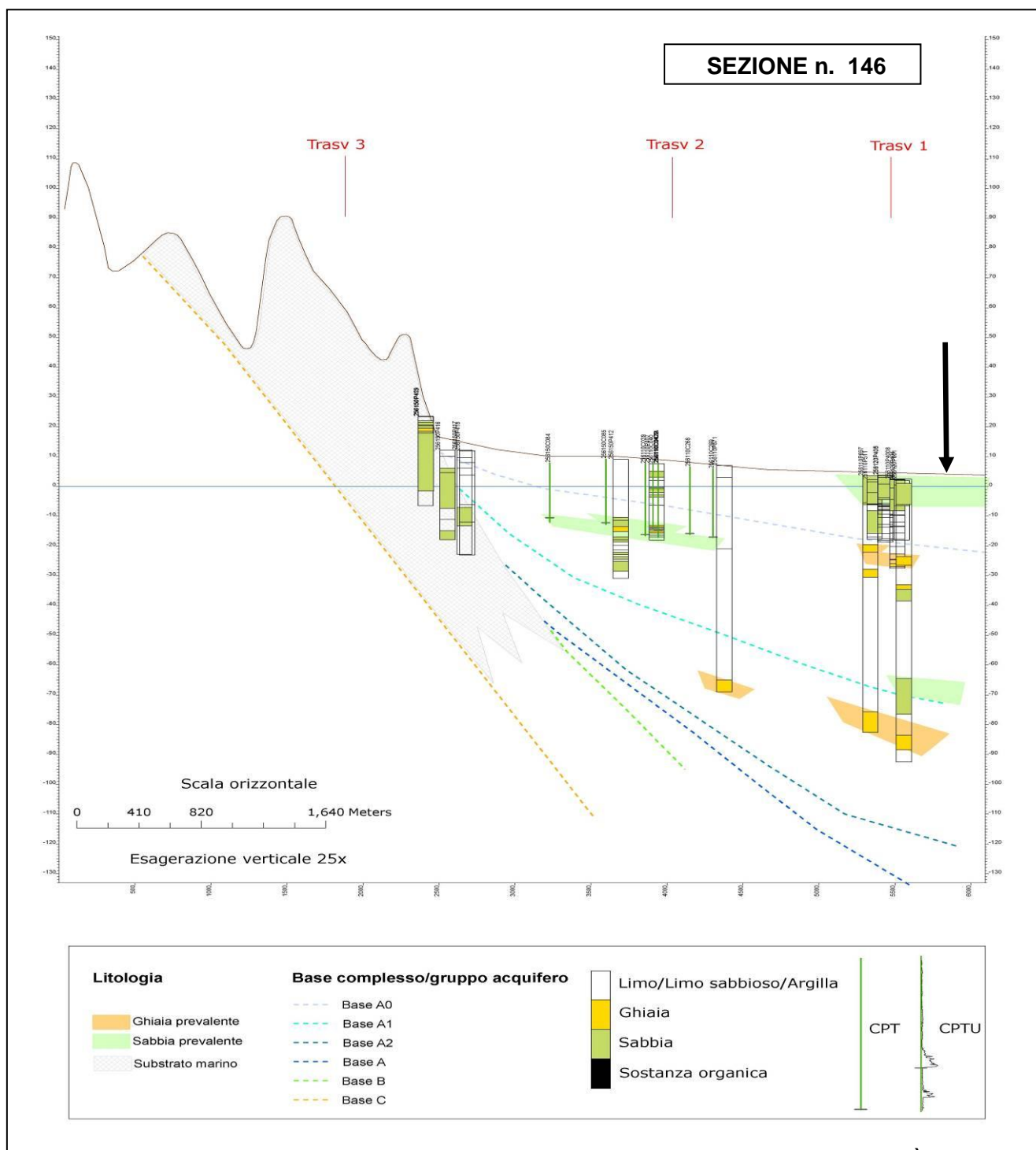
7


DI (LAST)

82

PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

Da tale sezione si può evincere uno spessore della copertura alluvionale in loco pari a circa 180 m, a contatto sulla sottostante formazione geologica marina plio-pleistocenica, rappresentata dalle Sabbie di Imola (IMO). Nell'ambito più superficiale di tale conoide i contatti stratigrafici maggiormente significativi e la posizione dei corpi sedimentari maggiormente grossolani, che possono in una qualche misura condizionare la risposta sismica locale, vengono individuati anche nella successiva sezione, trasversale alla linea di costa, prossima all'area in studio (per maggiore dettaglio vedere anche la Relazione Geologica e Idrogeologica):



	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	<b>11300273776</b>		<b>2</b>	<b>8</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

### 3 PROVE GEOFISICHE IN SITO

Al fine di caratterizzare il sottosuolo più approfonditamente ai fini dello studio di RSL, con lo scopo di individuare i profili di VS ed i contrasti di impedenza sismica, che condizionano il modo di vibrare del terreno, sono state condotte ex novo le seguenti prove geofisiche:

- n° 1 prove penetrometriche statiche CPTS con cono sismico, data 04/2015;
- n° 1 analisi di rumore sismico ambientale tramite tecnica ESAC, data 04/2015;
- n° 2 misure di rumore sismico (tecnologia HVSr), data 04/2015;

Le tecnologie geofisiche utilizzate, data l'omogeneità e semplicità stratigrafica dei siti, si ritengono sufficienti a caratterizzare adeguatamente il sottosuolo. La prova con cono sismico ha consentito di fornire valori di Vs-Vp ad alta risoluzione sino a 29 mt, mentre per una caratterizzazione areale dettagliata e rappresentativa delle Vs più in profondità si sono realizzate prove di sismica passiva di cui n. 2 HVSr e n. 1 ESAC, elaborando quest'ultima tramite inversione congiunta vincolandola ai profili ad alta risoluzione delle VS in superficie ed ai picchi di frequenza dell'HVSr più in profondità.

Ciò ha consentito di valutare l'omogeneità strutturale/geofisica dell'area, il posizionamento del bed-rock sismico nonché le frequenze di risonanza del sito. Tutti questi metodi, congiuntamente alle indagini geognostiche ed alle vicine sezioni geologiche profonde realizzate dal Servizio Geologico Regionale, permettono di definire la profondità dell'interfaccia geofisica d'impedenza di base da inserire nel calcolo dell'analisi numerica di RSL che, considerato l'omogeneo assetto litostratigrafico, è stata assunta alla medesima profondità su tutta l'area in studio.

L'ubicazione di tali prove viene illustrato in allegato n. 2


#### 3.1 CONO SISMICO

##### Modalità operative

Il sistema in oggetto permette di realizzare un'indagine di tipo sismico (tecnica "down hole") complementare alla realizzazione di una prova penetrometrica.

Come per la tecnica in foro di sondaggio di tipo down-hole si prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione (P) e di taglio (S) tra il punto di energizzazione in superficie (shot) ed il punto di ricezione mobile in profondità anche se, nel caso del "cono sismico", i singoli valori di velocità sia dell'onda di compressione (per i ricevitori verticali) sia dell'onda di taglio (per i ricevitori orizzontali) vengono determinati, con più dettaglio e solo nel tratto interessato, (ad ogni step di misura e tipologia di energizzazione) per differenza tra i tempi sismici di propagazione fra i due ricevitori posti alle estremità opposte della sonda e non dall'elaborazione (per ogni shot e posizione in foro della sonda ricevente) dell'intero tragitto dalla superficie al ricevitore.



	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	9
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

## Sorgente di energia

Nei pressi della verticale di misura, mediante l'utilizzo di un piccolo pendolo d'acciaio che sollecita un'incudine reso solidale al terreno, è stato generato ad ogni step di misura (ogni metro) un treno d'onda polarizzato sia orizzontalmente sia verticalmente.

Infatti, per effettuare le operazioni di acquisizione dati, è necessario utilizzare una sorgente di energia a polarizzazione verticale ed orizzontale: con la prima si generano onde di compressione P mentre con la seconda onde di taglio Sh.

Nel caso in esame si è scelta una sorgente di energia che potesse garantire una buona risposta sismica in alta frequenza oltre a caratteristiche dinamiche ripetitive similari; il generatore usato e denominato "Hammer Blow" è rappresentato da un maglio di 8 Kg usato da un operatore e lasciato cadere con forza da circa 2 m su una piastra di acciaio per la generazione delle onde di compressione ed orizzontalmente, colpendo un supporto solidale per attrito radente al terreno, (trave in legno con sopra un autocarro) per quelle di taglio.


## Apparato di ricezione

E' stata utilizzata una sonda originale Progeo realizzata in acciaio temprato nella quale sono inseriti, ed opportunamente isolati dal corpo della sonda stessa, due coppie di ricevitori (orizzontali e verticali) interspaziate di 1 metro l'una dall'altra (totale 4 ricevitori).

Importante notare che i ricevitori, essendo montati in appositi alloggiamenti isolati acusticamente dal resto della sonda (vedasi dettaglio nell'immagine alla pagina seguente), permettono di ricevere l'energia proveniente dal terreno sollecitato e non quella che si propaga lungo l'asta penetrometrica di infissione.

È possibile perciò, per ogni ordinata di penetrazione (step di misura), determinare per differenza tra i tempi sismici di propagazione ( $\Delta t$ ) fra i due ricevitori posti alle estremità opposte della sonda, i singoli valori di velocità sia dell'onda di compressione (per i ricevitori verticali) sia dell'onda di taglio (per i ricevitori orizzontali).



	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	10
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

## Operazioni di campagna

E' stato realizzato dapprima la prova penetrometrica CPT-D, dopodiché si è proceduto alla re-infissione della batteria di aste nella stessa verticale di indagine con la punta sismica.

Ad ogni stop di infissione (metro) è stata eseguita una misura geofisica di energizzazione e ricezione dell'energia sismica delle onde di compressione e di taglio tale operazione si è ripetuta con step di misura metrico fino alla bocca del sondaggio.

## Acquisizione dati

I tempi di arrivo dell'energia polarizzata sono stati opportunamente registrati mediante l'utilizzo di un P.C. e di un sismografo EG&G Geometrics Geode dotato di estremo dettaglio di campionatura (0.018 millisec) collegato tramite cavo sismico con la punta di infissione.

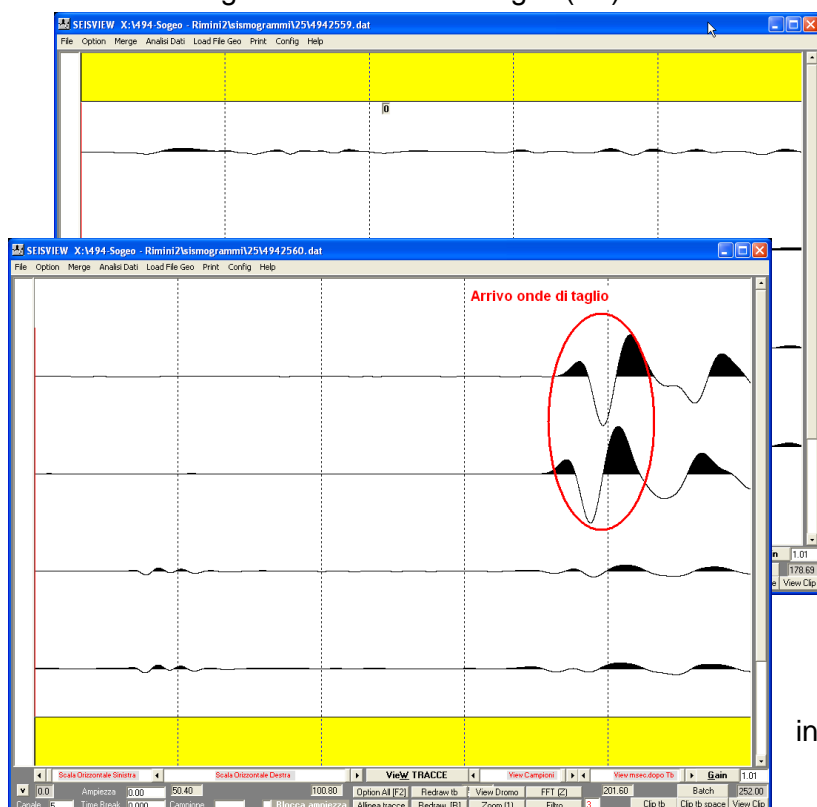
Gli impulsi sismici ricevuti dalla sonda in profondità nel foro sono stati acquisiti ad ogni metro di profondità e, dopo amplificazione, conversione analogico/digitale e filtraggio, trasferiti e registrati su P.C.

I files dei dati sono così realizzati:

canale 1	-	segnale del geofono orizzontale inferiore	(H2)
canale 2	-	segnale del geofono orizzontale superiore	(H1)
canale 3	-	segnale del geofono verticale inferiore	(V2)
canale 4	-	segnale del geofono verticale superiore	(V1)

Ad ogni step di misura si sono effettuate due energizzazioni: una ortogonale rispetto alla superficie del piano campagna che ha generato un treno di onde di compressione (P) ed una parallela al piano campagna che ha generato un treno di onde di taglio polarizzate sul piano orizzontale (Sh).


Per ogni energizzazione si è registrato un sismogramma; quindi ci saranno sismogrammi sui quali sarà possibile determinare gli arrivi dell'onda di compressione (P) ed altri sui quali sarà possibile determinare gli arrivi dell'onda di taglio (Sh).



Un sismogramma tipico è rappresentato nell'immagine a lato nella quale si sono evidenziati gli arrivi dell'onda di compressione sui due geofoni verticali.

In tal modo, per ogni step di misura di un metro in profondità, si possono analizzare i first break imputabili all'arrivo dell'onda di compressione (P) sia sul geofono del canale 3 sia sul geofono del canale 4 e per differenza si ottiene il valore della differenza di tempo di percorrenza relativa all'intervallo in oggetto.

Nell'immagine a lato è rappresentato invece un sismogramma tipico in cui si sono

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	11
PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA				

evidenziati gli arrivi delle onde di taglio sui geofoni orizzontali.

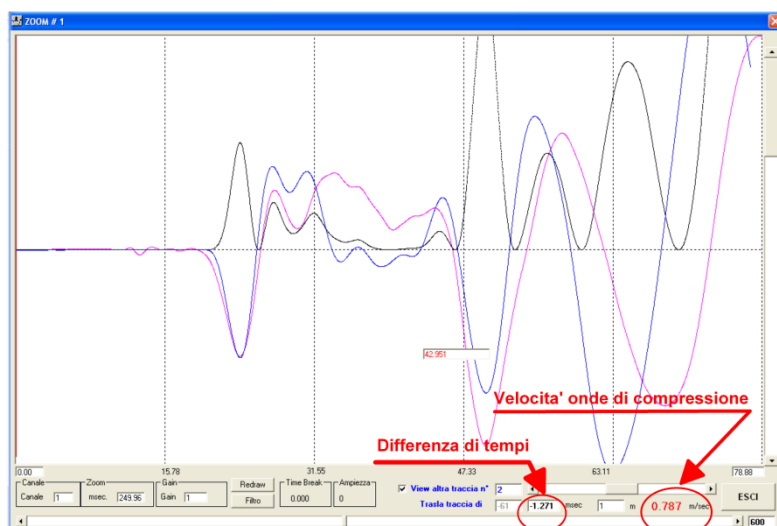
Analogamente a quanto esposto sopra, per ogni step di misura di un metro di profondità, si possono analizzare i first break imputabili all'arrivo dell'onda di taglio (S) sia sul geofono del canale 1 sia sul geofono del canale 2 e per differenza si ottiene il valore della differenza di tempo di percorrenza relativa all'intervallo in oggetto.

## Elaborazione dati

Il procedimento elaborativo dei dati viene sviluppato secondo la tecnica differenziale (cross correlazione).

Infatti, avendo a disposizione una sonda ricevente ("cono sismico") con spaziatura intergeofonica di 1 metro e un ridotto intervallo di campionamento (0.018 millisecondi) consentito dal sismografo EG&G GEOMETRICS GEODE è possibile determinare per partizioni discrete direttamente nel tratto interessato i valori cinematici differenziali.

La valutazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio è stata effettuata



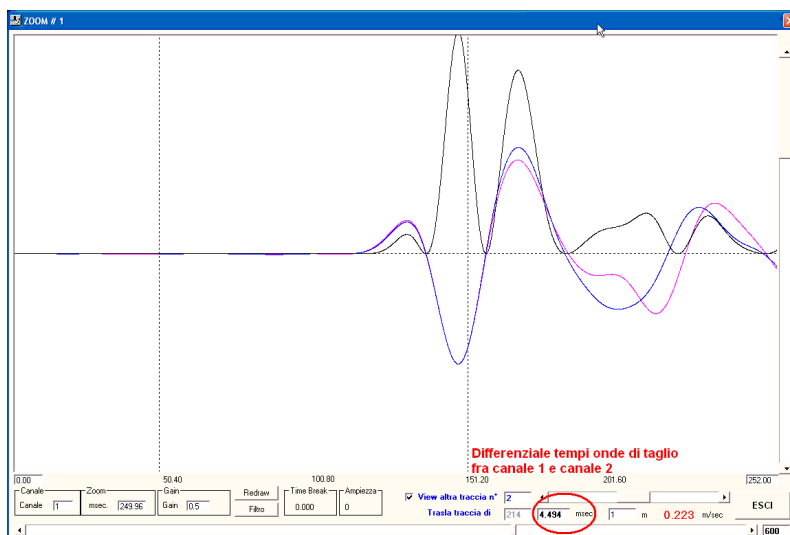
mediante Cross Correlazione di cui si riporta un esempio nell'immagine qui di lato.

Tale tecnica viene normalmente impiegata allo scopo di aumentare il grado di affidabilità dei tempi.


Questa metodologia è indicata e sufficientemente precisa per la valutazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione P.

Per le onde di taglio S si procede all'analisi dell'inversione delle tracce sismografiche individuando quale sia il primo arrivo dell'onda di taglio (inversione di polarità), poi si affina la ricerca mediante Cross Correlazione (applicando la metodologia proposta da Willis e Toksoz -1983-) e si determina così il valore del tempo differenziale fra le due tracce omologhe.

Una volta individuato il primo arrivo dell'onda di taglio (con procedura analoga per le onde di compressione) si procede con una serie di passaggi di Cross Correlazione a finestre variabili tra le varie tracce allo scopo di individuare la massima rassomiglianza tra gli arrivi omologhi e determinare la massima verosimiglianza tra le tracce.



Tale tecnica in pratica consiste

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	11300273776		2	12	82
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

nel valutare il “ritardo” di arrivo dell’onda di compressione e/o di taglio fra il geofono inferiore e quello superiore valutando unicamente su base sismografica il valore di tempo che intercorre fra i due arrivi; nell’immagine qui sopra è riportato un esempio di tale tecnica elaborativa.

## Elaborazione dei log di Vp, Vs e dei Moduli Elastici Dinamici

Dopo aver inserito nel programma elaborativo le geometrie di ricerca (distanza punto di energizzazione in superficie, coordinate della sonda in profondità) ed elaborato per ciascun canale di ricezione i tempi di arrivo dell’energia sismica prodotta dalla superficie topografica e registrata sulla verticale del punto di indagine secondo la tecnica differenziale (cross correlazione), sono state realizzate tabelle e diagrafie (per step di misura di metro) relative ai parametri sismici cinematici Vp e Vs ed ai corrispondenti moduli elastici dinamici che si possono ottenere dalle interrelazioni che collegano le velocità delle onde di compressione e quelle di taglio.

Infatti, per la caratterizzazione del sito e del terreno in esame, specialmente in termini di deformabilità dei materiali in associazione ai dati geotecnici e/o di prove di laboratorio su campioni prelevati nei sondaggi geognostici, può essere opportuno fornire al Committente altri parametri (oltre ai singoli valori di velocità sismica) che la prova penetrometrica con “Cono sismico” è in grado di fornire contemporaneamente alla rilevazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche (Vp e Vs) nel sottosuolo.

Si tratta dei Moduli elastici dinamici del terreno i quali possono contribuire ad una migliore definizione dei carichi e delle spinte da parte del manufatto sul terreno di fondazione.

Attraverso la determinazione sia delle velocità delle onde di compressione sia delle velocità delle onde di taglio è possibile ricavare i seguenti parametri (per ulteriori dettagli si veda, tra i più recenti, “The rock physics handbook – tools for seismic analysis in porous media” di G. Mavko, T. Mukerji e J. Dvorkin, Cambridge University Press, UK, pp. 1-329, 1998):


- |                                      |                    |                       |
|--------------------------------------|--------------------|-----------------------|
| - Coefficiente di Poisson            | ( $\nu$ )          |                       |
| - Peso di volume                     | ( $\gamma_{din}$ ) | in t/m <sup>3</sup>   |
| - Modulo di Elasticità dinamico      | ( $E_{din}$ )      | in Kg/cm <sup>2</sup> |
| - Modulo di Taglio dinamico          | ( $G_{din}$ )      | in Kgcm <sup>2</sup>  |
| - Modulo di Compressibilità dinamico | ( $K_{din}$ )      | in Kgcm <sup>2</sup>  |

Il *Coefficiente di Poisson* ( $\nu$ ), noto come la costante che lega le deformazioni in un corpo, può essere collegato, da un punto di vista bidimensionale, ad uno sforzo di trazione, che causa nel corpo stesso un allungamento in una direzione e un raccorciamento nell’altra, o ad uno sforzo di compressione che, analogamente, determina una contrazione in una direzione e una dilatazione nella direzione opposta.

Tale parametro può presentare un range di variazione compreso tra un massimo di 0.5 ed un minimo di 0; il valore di 0.5 è caratteristico di materiali che si deformano senza cambiamenti di volume (es. acqua), valori leggermente inferiori (0.47 - 0.49) sono tipici di argille o materiali molto saturi; valori inferiori sono indicativi di materiali da poco consolidati a sovraconsolidati.

Per le rocce si presentano range di variazioni molto ampi collegati in particolare sia al grado di fratturazione sia alla presenza di cavità, stratificazioni e litologie e comunque tra (0.46 e 0.20).

In funzione di Vp e di Vs il parametro è definito dalla seguente relazione:

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	13
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

$$\nu = \frac{V_p^2 - 2 \cdot V_s^2}{2 \cdot (V_p^2 - V_s^2)}$$

Coefficiente di Poisson

Il *Peso di volume* ( $\gamma_{din}$ ) del terreno può essere indicativamente ricavato, in via empirica, anche dalla velocità delle onde di compressione sulla base della seguente relazione:

$$\gamma_{din} = 0.51 \cdot V_p^{0.19} \quad (\gamma_{din} \text{ in T/m}^3)$$

Peso di volume

Da tale relazione si può ottenere anche la densità geofisica, intesa come:

$$\delta_{din} = \frac{\gamma}{g} \quad (g = 9.8 - \text{accelerazione di gravità m/sec}^2)$$

Densità geofisica

la quale viene utilizzata come parametro nelle formule per ricavare i moduli di elasticità e di taglio.

Il *Modulo di Young* o di *Elasticità normale*  $E_{din}$  definisce la *deformazione longitudinale* di un corpo, intesa come il rapporto tra l'allungamento (o l'accorciamento) e la lunghezza originale del corpo stesso; in funzione dei valori della velocità delle onde di compressione  $V_p$ , della densità geofisica e del coefficiente di Poisson il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$E_{din} = V_p^2 \cdot \delta_{din} \cdot \frac{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}{(1-\nu)} \quad (E_{din} \text{ in Kg/cm}^2)$$

Modulo di Elasticità

Il *Modulo di Taglio* o di *Rigidità*  $G_{din}$  definisce invece la *deformazione tangenziale* di un corpo, intesa come l'angolo di cui ruota il corpo stesso in seguito ad uno sforzo di taglio; in funzione dei valori della velocità delle onde di taglio  $V_s$  e della densità geofisica il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$G_{din} = \delta_{din} \cdot V_s^2 \quad (G_{din} \text{ in Kg/cm}^2)$$


Modulo di Taglio

Infine, il *Modulo di Compressibilità* o *Modulo di Volume* è quel parametro ottenibile se lo sforzo viene applicato tridimensionalmente (lungo tutti i tre assi cartesiani) generando una pressione idrostatica uniforme con la quale si avranno componenti dello sforzo uguali e con deformazione rappresentata da una variazione di volume la quale può essere indicata numericamente dall'inverso del coefficiente di compressibilità; utilizzando i valori del modulo di elasticità e del coefficiente di Poisson il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$K_{din} = \frac{E_{din}}{3 \cdot (1-2 \cdot \nu)} \quad (K_{din} \text{ in Kg/cm}^2)$$

Modulo di Compressibilità

I moduli dinamici così calcolati risultano comunque sempre più elevati di quelli statici forniti da prove di carico in situ in quanto gli impulsi sismici sono di breve durata e le sollecitazioni ad essi associate sono relativamente modeste e rientrano nel campo delle deformazioni istantanee.

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	14
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

Il modulo di taglio  $G_{din}$ , oltre ad essere utilizzato nel campo geotecnico per lo studio delle resistenze al taglio dei materiali detritici e lapidei, viene impiegato nello studio di microzonazioni sismiche in particolare nel calcolo delle seguenti relazioni relative alla valutazione dei parametri caratteristici sia di spessori (H) sia di interfacce stratigrafiche (nel qual caso vengono utilizzati i parametri elastici di  $G_{din}$  dei due strati):

Rigidità sismica	$R = \delta_{din} \sqrt{\frac{G_{din}}{\delta_{din}}}$	(R in t/(m <sup>2</sup> *sec))
Periodo proprio	$T = \frac{4H}{\sqrt{\frac{G_{din}}{\delta_{din}}}}$	(T in sec)
Rapporto di Impedenza	$\lambda = \frac{\delta_{din1} \cdot G_{din1}}{\delta_{din2} \cdot G_{din2}}$	( $\lambda$ adimensionale)

Il modulo di compressibilità  $K_{din}$  o di deformabilità volumetrica è confrontabile con quello ottenuto da prove di compressione idrostatica realizzabili mediante prove triassiali non drenate nella fase iniziale del carico (fase elastica) e quindi è comparabile al modulo idrostatico di compressibilità geotecnico  $B$  o, inversamente, al coefficiente o indice di compressibilità  $C_c$ .

Tutti questi parametri elastici infine possono essere utilizzati per l'applicazione del metodo degli elementi finiti a problemi geotecnici.

Tali metodi offrono notevoli vantaggi rispetto ai metodi di calcolo tradizionali come ad esempio:

- \* l'opera geotecnica può avere una forma qualsiasi;
- \* nel calcolo si può tener conto del comportamento non lineare sia del terreno sia della struttura;
- \* è possibile effettuare simulazioni per ottimizzare la costruzione dell'opera d'arte anche in condizioni sismiche.

Mediante la prova geofisica con "Cono sismico" potrà altresì essere caratterizzato il sito d'indagine secondo le classi di terreno previste dal D.M. del 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni" fino alle profondità raggiunte dalla prova stessa ( $V_{s30}$ )


### **Elaborati prova geofisica con "cono sismico".**

Nella documentazione cartografica riportata al termine della presente relazione sono presentate in 2 tavole distinte le tabelle numeriche e i grafici (log) relativi ai parametri geosismici e moduli elastici dinamici analizzati.

Nell'ordine e in dettaglio sono riportati nelle 2 tavole:

### **Tabelle**





</

Nella prima tavola è rappresentata la tabella numerica dei parametri geofisici intergeofonici rilevati ogni metro di profondità mediante tecnica differenziale (cross correlazione).

Più in dettaglio, sono riportati in tabella numerica i seguenti dati distinti per colonna:

1. Profondità (m);
2.  $V_p$  velocità onde di compressione (m/sec);
3.  $V_s$  velocità onde di taglio (m/sec);
4.  $\mu$  coefficiente di Poisson;
5.  $\gamma$  peso di volume (t/m<sup>3</sup>);
6.  $E_{din}$  modulo di elasticità dinamico -Young- (kg/cm<sup>2</sup>);
7.  $G_{din}$  modulo di taglio dinamico (kg/cm<sup>2</sup>);
8.  $K_{din}$  modulo di compressibilità dinamico (kg/cm<sup>2</sup>)

Alla base della tabella è riportata la legenda dei parametri rilevati.

A lato della tabella numerica sono riportati i log di velocità delle onde di taglio (in rosso) e delle onde di compressione (in verde); le scale delle diagrafie sono in m/sec.

Alla base dei log è altresì riportato in un riquadro a parte il valore di  $V_{s30}$ , e la categoria di suolo in funzione della classificazione sismica dei suoli secondo il D.M del 14/01/2008.

## Grafici


Nella seconda tavola sono rappresentati i grafici dei parametri elastici dinamici relativi ai valori di velocità delle onde di compressione (P) e di taglio (S) nonché ai valori dei moduli elastici dinamici (elasticità o di Young, taglio, compressibilità) e del coefficiente di Poisson; i log dei valori rilevati ogni metro di profondità lungo la verticale del foro sono riportati nel seguente ordine:

- velocità onde P e onde S;
- coefficiente di Poisson;
- modulo di elasticità  $E_{din}$ ;
- modulo di taglio  $G_{din}$ ;
- modulo di compressibilità  $K_{din}$ .

## 3.2 ANTENNA SISMICA (ESAC)

### Indicazioni generali

L'antenna sismica (seismic array) è una configurazione di sensori sismici distribuiti secondo geometrie variabili sull'area di indagine (Okada, 2003). Le registrazioni di rumore effettuate dai singoli sensori vengono combinate mediante una tecnica ESAC (Okada, 2003) che mette in evidenza la coerenza di fase delle varie registrazioni. Se si utilizzano solo sensori verticali, la componente del segnale identificata da questo sistema di acquisizione risulta essenzialmente costituita dalla combinazione dei diversi modi di vibrazione delle onde di Rayleigh. In linea di principio, non esistono limitazioni alla profondità di esplorazione di questo metodo di analisi. In realtà, le condizioni sperimentali e/o le caratteristiche strumentali impongono inevitabili vincoli. Si può assumere che massima profondità di esplorazione anche in condizioni ottimali sia dell'ordine di grandezza della diametro dell'array (da D a 2D circa). Anche la frequenza propria dei sensori utilizzati limita la profondità di esplorazione. In generale, per stendimenti con diametro di 50 metri e velocità delle onde S dell'ordine di qualche centinaio di metri al secondo l'uso di geofoni con frequenza propria dell'ordine di 4,5 Hz, risulta adeguato. Infine, la struttura di velocità del sottosuolo indagato pone importanti

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	16
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

limitazioni. Infatti, in presenza di forti variazioni di impedenza sismica in corrispondenza della transizione fra i sedimenti soffici superficiali e il basamento rigido, l'energia associata alle onde superficiali tende concentrarsi nella parte più superficiale del terreno rendendo la curva di dispersione sostanzialmente insensibile alle caratteristiche del basamento.

### Strumentazione e modalità operative

La metodologia di indagine prevede che i sensori non registrino le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche "microtremore") prodotto da sorgenti naturali e antropiche. Per l'acquisizione del rumore ambientale con l'Antenna Sismica sono stati utilizzati 24 geofoni da 4.5 hz posti con una configurazione a croce con 12 ricevitori per braccio interspaziati di 5 metri. Per l'analisi ed interpretazione dei dati sismici acquisiti è stato utilizzato il codice di calcolo ESAC del software Geopsy.

Le informazioni relative alle caratteristiche del sottosuolo vengono ottenute a partire da una analisi di correlazione fra i segnali registrati dai diversi sensori alle diverse frequenze (funzione di coerenza). La componente del segnale identificata da questo sistema di acquisizione risulta essenzialmente costituita dalla combinazione dei diversi modi di vibrazione delle onde di Rayleigh.

Utilizzando opportune procedure di analisi è possibile ricavare da queste misure più curve di dispersione delle onde di Rayleigh presenti nel rumore sismico ambientale.


Dato che queste fasi sismiche campionano porzioni di sottosuolo via via maggiori al crescere del periodo dell'onda e che la loro velocità di fase è fortemente condizionata dalle velocità delle onde S nello strato campionato, la forma delle curve di dispersione dipende dalle variazioni delle velocità delle onde S con la profondità. Risulta quindi possibile stabilire una relazione fra la forma delle curve di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo.

Questa relazione è individuata da un processo di inversione, mediante opportuni codici di calcolo, delle curve di dispersione ottenute con l'obiettivo di ricostruire un profilo sismico delle onde di taglio utile al calcolo degli indici Vs30. Tale operazione è stata svolta in maniera iterativa fino a raggiungere il fitting migliore fra curve sperimentali e curva calcolate. L'inversione delle curve di dispersione è stata inoltre effettuata in maniera congiunta ai rapporti spettrali H/V realizzati nella medesima area in modo da avere un maggiore controllo sul fitting e quindi un dato sperimentale più efficiente.

## 3.3 METODOLOGIA HVSR (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO)

### Indicazioni generali

La metodologia, chiamata anche tecnica di Nakamura (1989), è stata introdotta da Nogoshi e Igarashi (1971) sulla base degli studi di Kanai e Tanaka (1961). Questa tecnica si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare gli effetti locali di sito. La tecnica proposta da Nakamura assume che i microtremori (il cosiddetto rumore di fondo registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principalmente di un tipo di onde superficiali, le onde di Rayleigh, che si propagano in un singolo strato sofficie su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito. Per l'applicazione e l'interpretazione di questa tecnica è fondamentale una buona conoscenza dell'ingegneria sismologica combinata con un background di informazioni relative alle caratteristiche geologiche, geofisiche e geotecniche del sito. Questa tecnica presenta il vantaggio di poter essere adoperata pressoché ovunque, purché siano garantite l'assenza di forti vibrazioni indotte da attività umane nelle vicinanze del punto di misura. Il metodo è generalmente applicato per studi di microzonazione e per valutare la risposta sismica locale.

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	17
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

### Basi teoriche

Le basi teoriche dell'HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D) è abbastanza semplice. Si consideri un sistema in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e le diverse velocità delle onde sismiche ( $V_1$  e  $V_2$ ). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene parzialmente riflessa dall'orizzonte che separa i due strati, e questa una volta riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $h$  del primo strato. In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{p1}/(4h)$$

mentre quella relativa alle onde S è:

$$f_r = V_{s1}/(4h)$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima della velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore  $h$  degli strati. Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto, ma la prassi di usare il rapporto degli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto. La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo. Si rileva inoltre come i microtremori siano solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994).

Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

L'applicabilità pratica della semplice formula sopra riportata relativa alle onde S è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica sia nell'ambito ingegneristico.

Poiché la situazione illustrata è tipica delle coltri sedimentarie sovrastanti basamenti rocciosi, il metodo HVSR è parso immediatamente applicabile alla determinazione dello spessore delle coltri sedimentarie (Ibs-Von Seht e Wohleberg, 1999).

### Attrezzature e modalità esecutive


La misura prevede la registrazione, senza utilizzo di alcun strumento di energizzazione del terreno, del microtremore sismico ambientale nel dominio del tempo, sulle tre componenti dello spazio attraverso il posizionamento di adeguati strumenti sismometrici costituiti da sensori tridimensionali.

Per queste misure è sconsigliato l'impiego di accelerometri, non sufficientemente sensibili a frequenze inferiori a 1 Hz, né di accelerometri sismologici.

Essendo la stabilità una caratteristica fondamentale non sono impiegabili sismometri broadband con periodo naturale  $> 20$  sec. in quanto richiedono lunghi tempi di stabilizzazione, come non sono raccomandabili sensori con frequenza naturale inferiore alla più bassa frequenza di interesse.

Indicativamente, la frequenza di sito è funzione diretta della vicinanza del bedrock dalla superficie topografica e della rigidità dei materiali.

Per l'installazione lo strumento di misura dovrà essere orientato secondo le direzioni geografiche (E e W) e dovrà essere dotato di bolla sferica per il posizionamento mentre l'accoppiamento con la superficie dovrà essere diretto o assicurato con piedini o puntazze in terreni morbidi.

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>		<b>2</b>	<b>18</b>	<b>82</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

Bisognerà altresì fare attenzione alla presenza di radici, sottoservizi, vicinanza edifici, vento ecc., in quanto creano disturbo nel segnale H/V inducendo una forte perturbazione a bassa frequenza.

Per uno studio di risposta di sito è consigliabile effettuare almeno tre misure per punto, possibilmente in tempi diversi durante la giornata, da cui derivare il valore di frequenza di risonanza.

La strumentazione di acquisizione presenta le seguenti specifiche:

1. trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza (< 1-2 Hz);
2. amplificatori;
3. digitalizzatore;
4. frequenza di campionamento: > 50 Hz;
5. convertitore A/D (analogico digitale) a 24 bit;
6. durata registrazione: >10 minuti;
7. collegamento al tempo GPS per la referenziazione temporale

Utilizzando questo metodo, sulla base di mappature areali in frequenza di sito è stato possibile valutare la variabilità degli spessori nelle varie aree indagate, in funzione della tipologia di deposito e con l'ausilio di una calibrazione effettuata attraverso le stratigrafie provenienti dalle prove preesistenti e stato possibile inoltre ricavarne profili di propagazione delle onde di taglio per il calcolo del Vs 30.

## **4 RISULTATI PROVE GEOFISICHE**

In allegato n. 3-4-5 sono riportati rispettivamente i risultati delle prove CPTS, HVSR ed ESAC eseguite come sopra descritto, unitamente alle frequenze di risonanza caratteristiche dei terreni in sito ed al grafico delle Vs.

L'indagine sismica basata sulla misura del microtremore, nel massimo valore H/V del rapporto spettrale, individua le frequenze caratteristiche del sottosuolo.


Per fenomeno di "risonanza" si intende la coincidenza tra le frequenze dominanti del segnale sismico in ingresso e quelle naturali del sottosuolo. Con il termine "doppia risonanza" si intende la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle caratteristiche dei manufatti ivi edificati (da Risposta Sismica Locale di Lanzo e Silvestri, Hevelius Edizioni).

Sarà compito del progettista geotecnico/strutturale verificare la frequenza fondamentale delle strutture in progetto e confrontarla con la frequenza fondamentale o le frequenze caratteristiche del sottosuolo onde evitare pericolosi fenomeni di doppia risonanza in caso di sisma.

La lettura degli spettri HVSR si basa sull'analisi dei picchi di frequenza ritenuti significativi distinguendo i seguenti range primari:

- 1) con risposta molto superficiale prodotta da interfacce con picco  $\geq 5$ -6 Hz
- 2) con risposta determinata dai sedimenti superficiali entro i primi 30-40 m quindi mediamente intorno a 1.7-2.7 Hz;
- 3) con risposta prodotta da interfacce a media profondità tra 1.2-1.4 Hz.
- 4) con risposta prodotta da interfacce profonde tra 0.4-0.6 Hz.
- 5) con risposta prodotta da interfacce molto profonde tra 0.2-0.25 Hz

Si evidenzia che zone di debole inversione di velocità vengono riscontrate nel log di Vs elaborato da cono sismico. Questo viene evidenziato anche nelle prove di sismica passiva dai diagrammi H/V, ove i contrasti di impedenza risultano deboli ( $H/V < 1.5$ ), nonché attraverso i grafici delle singole

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	19
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

componenti del moto (orizzontali e verticale), in cui l'andamento della componente verticale a tratti si presenta al di sopra delle orizzontali.

Poiché l'andamento degli spettri ed i picchi significativi ivi indicati, in considerazione della deviazione standard, risultano presentare una significativa coerenza ed omogeneità areale, non si ritiene necessario sviluppare mappe di distribuzione delle isofrequenze, questo è anche suffragato dalla significativa correlabilità dei log di Vs della che presenta una generale uniformità di crescita vs con la profondità.

La  $V_{S30}$  è stata ricavata indirettamente mediante l'utilizzo della formula  $V_{S30} = 30 / \sum_{i=1, N} h_i / V_i$  dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori ottenendo mediamente (stima congiunta fra i vari tipi di prova):

$$VS30 = 208 \text{ m/s}$$

Per quanto riguarda la definizione del bedrock geofisico, ovvero la zona di interfaccia in cui si raggiunge una velocità delle onde VS significativamente superiore (circa pari ad 700 - 800 m/s), contraddistinta da un significativo grado di rigidità sismica ed omogeneità per un considerevole tratto in profondità, al di sotto del quale è ragionevole attendersi assenza di fenomeni amplificativi nel segnale sismico, questo viene individuato circa alla profondità di 180 mt dal p.c., circa in corrispondenza del passaggio dai terreni limo-argillosi alluvionali alla formazione marina basale pleistocenica (IMO), stimabile nella zona di massimo H/V riscontrato nell'ambito di frequenze 0.4-0.6 Hz.

## 5 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE


E' noto che le caratteristiche del moto sismico in corrispondenza di un substrato roccioso o "geofisico base" come per la pianura padana possono essere assunte generalmente con  $V_s > 700-800$  m/sec e, talora, anche  $V_s > 600$  m/sec e possono essere differenti da quelle in corrispondenza dell'interfaccia substrato-copertura, proprio a causa della presenza e spessore della copertura che modifica il moto sismico esercitato dal terreno.

Questa variazione è rappresentata dalla "Funzione di Amplificazione la quale fornisce una chiara ed efficace rappresentazione dell'effetto filtrante del terreno sulle onde sismiche, ma la sua conoscenza non è comunque sufficiente per determinare le caratteristiche del moto sismico alla superficie del terreno.

E' possibile caratterizzare la risposta sismica locale (RSL) di un sito tramite l'utilizzo di uno spettro di risposta in accelerazione, che è il tipo di rappresentazione più utile per le applicazioni di ingegneria, associabile ad un dato scuotimento e ad un dato fattore di smorzamento superficiale/stratigrafico che determina l'effetto di amplificazione del terreno.

Il moto sismico alla superficie del terreno è inoltre fortemente condizionato dai parametri del moto atteso al substrato roccioso o bedrock geofisico, cioè del terremoto di riferimento che viene determinato considerando la sismicità storica di un sito.

Inoltre una corretta valutazione del RSL non può prescindere da una modellazione realistica del sottosuolo in quanto le caratteristiche locali del sito condizionano, a parità di evento e di caratteristiche di propagazione, il moto sismico in output alla superficie.

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	20
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

Le analisi numeriche sono state effettuate in condizioni monodimensionali tramite il codice STRATA (Kottke e Rathje, 2008), che modella una colonna di terreno come un continuo stratificato a comportamento visco-elastico lineare. Le equazioni del moto sono risolte nel dominio della frequenza attraverso il calcolo e la successiva convoluzione delle funzioni di trasferimento di ogni strato, analogamente a quanto fatto dal codice di calcolo SHAKE91 (Idriss e Sun, 1992).

La non linearità delle proprietà dinamiche, assunte indipendenti dalla frequenza, è portata in conto tramite l'approccio lineare equivalente. Secondo tale modello, il modulo di taglio  $G$  e il fattore di smorzamento  $D$ , che descrivono il comportamento meccanico di un materiale sotto sollecitazioni cicliche, vengono fatti dipendere dal livello della deformazione tangenziale  $\gamma_c$  indotta dalle sollecitazioni sismiche. A partire dai valori iniziali dei parametri di rigidità e smorzamento con una prima analisi si determina un primo valore caratteristico (o effettivo) della deformazione tangenziale  $\gamma_{eff}$ . Dalle curve  $G/G_0$ -  $\gamma_c$  e  $D$ - $\gamma_c$ , che esprimono il comportamento non lineare, si determinano quindi nuovi valori di  $G$  e  $D$  e si esegue una nuova analisi determinando un nuovo valore caratteristico. Il procedimento viene ripetuto fino a quando lo scarto percentuale tra i valori di  $G$ ,  $D$  e  $\gamma_{eff}$  viene ritenuto accettabile.

Per le analisi sui segnali/spettri in fase di input/output sono stati utilizzati i software SeismoSignal 5.1 e SeismoMatch vers. 2.1, sviluppati dalla soc. SeismoSoft, di cui si dispone della relativa licenza d'uso.

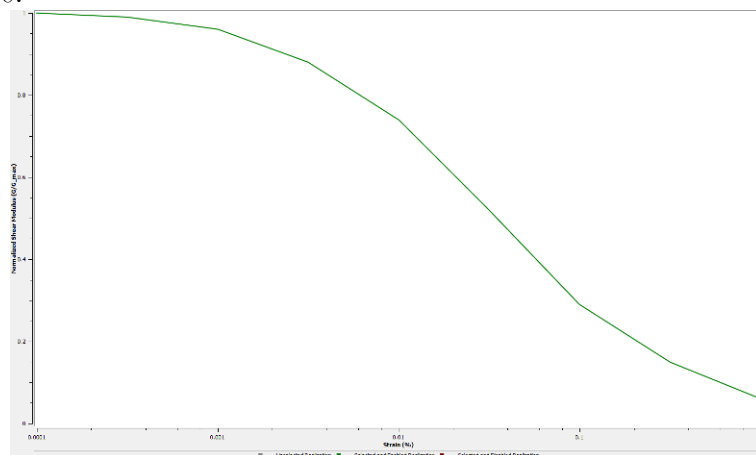
## 5.1 MODELLO DI SOTTOSUOLO

Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica dei terreni, non essendo stati analizzati direttamente e sperimentalmente tramite laboratorio ciclico, sulla scorta delle esperienze condotte da vari autori in bibliografia (EPRI 93, Seed et Al. 86, Idriss 90, Seed & Idriss) nonché dallo scrivente tramite prove dinamiche e cicliche effettuate su terreni simili appartenenti al medesimo contesto litostratigrafico e deposizionale, si sono valutate le curve presenti nel database del software Strata relative alle curve di decadimento del Modulo di taglio normalizzato ( $G/G_0$ ) e dello smorzamento ( $D\%$ ) per i materiali di sito, implementando altresì il modello con altre curve degli autori ritenute appropriate al caso in esame.

Pertanto in funzione della natura litologica e delle caratteristiche geotecniche e di deformabilità dei materiali sono state estratte le seguenti curve:


### Livello superficiale + SABBIE – Seed et Al. 1986 “Sand Mean”:

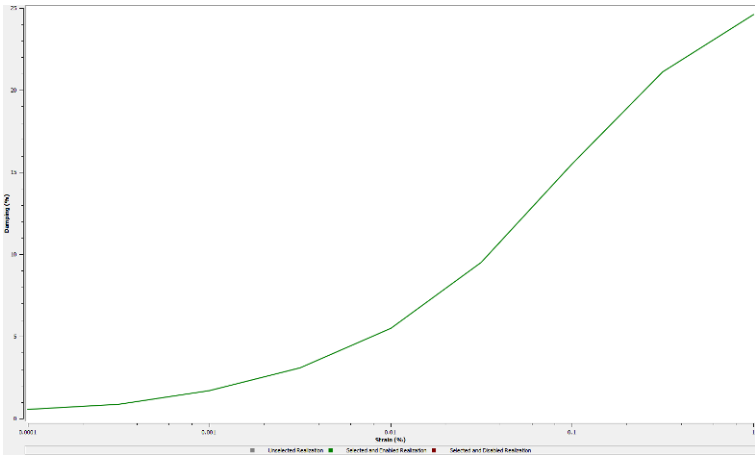
$G/G_0$ :



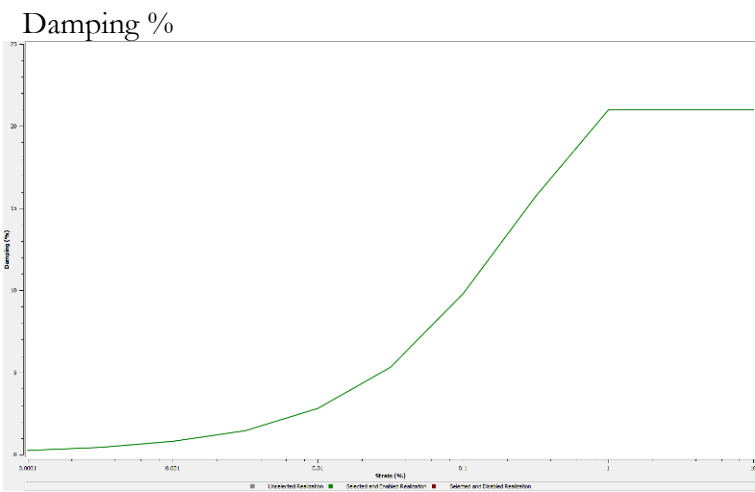
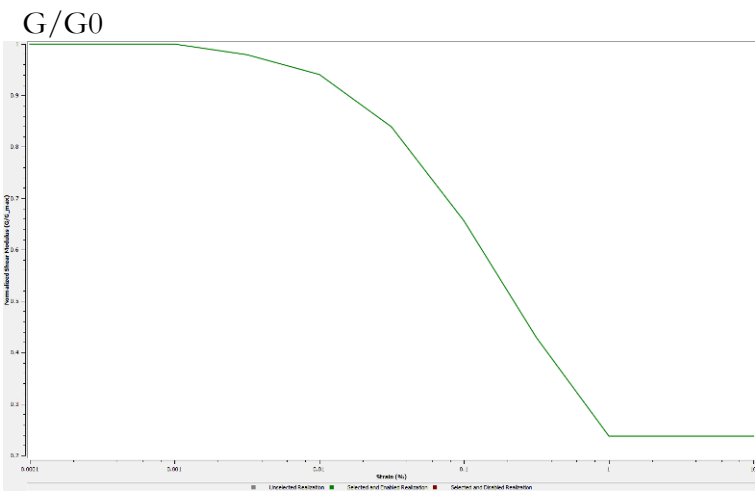
Damping %



	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	21
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				




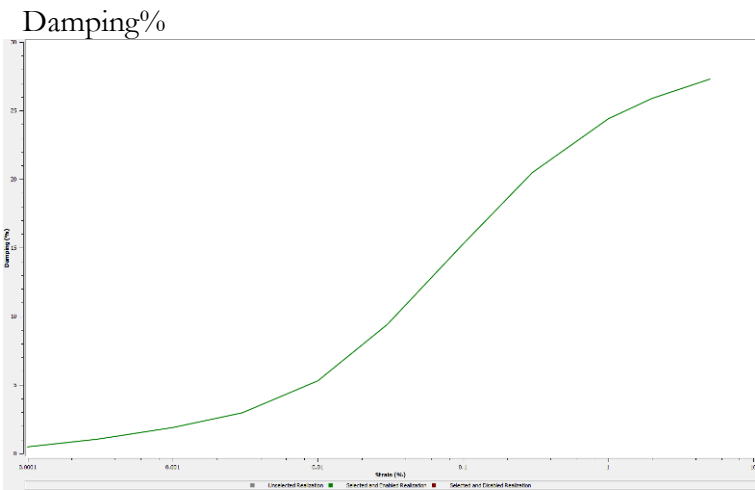
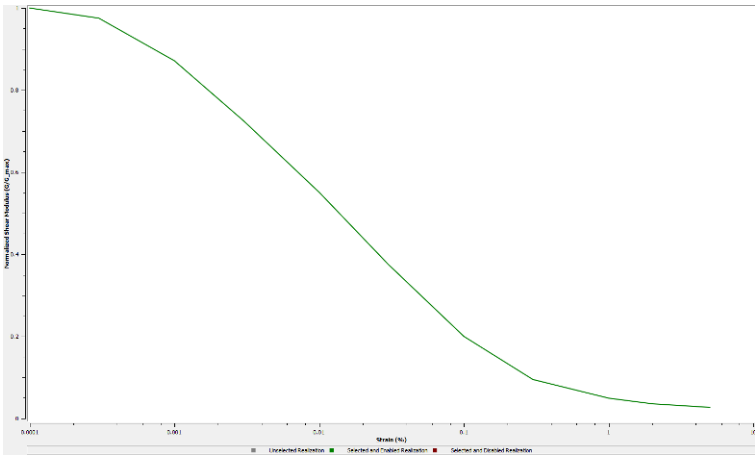
Arg 1 – Limi Argillosi – Idriss 1990 (Clay):



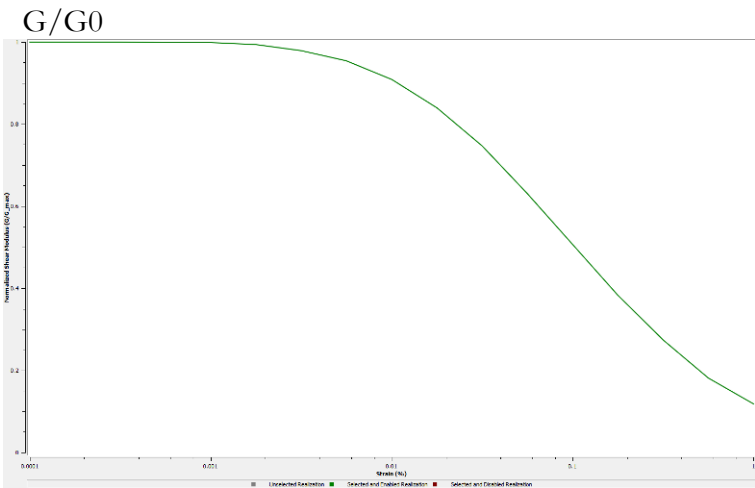
Ghiaia – Seed et Al. Gravel (1986):

G/G0


	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA ( <i>JOB N°</i> )	ID DOC. ( <i>DOC. ID</i> )	REV.	N° FG. ( <i>SH. N.</i> )
	<b>11300273776</b>		<b>2</b>	<b>22</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

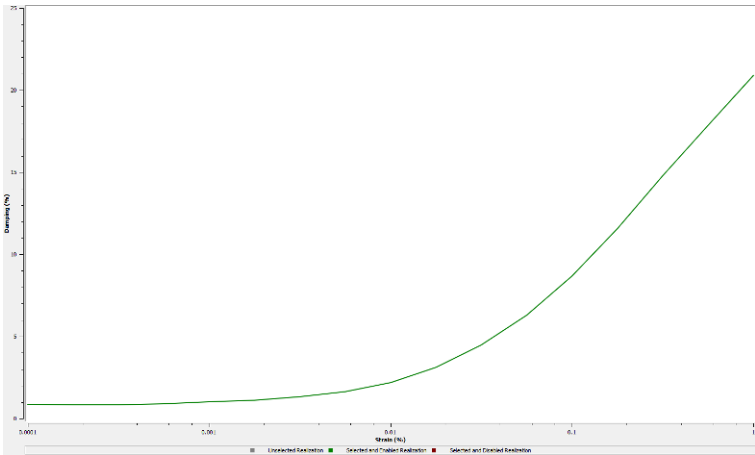


EPRI 120-250 ft :



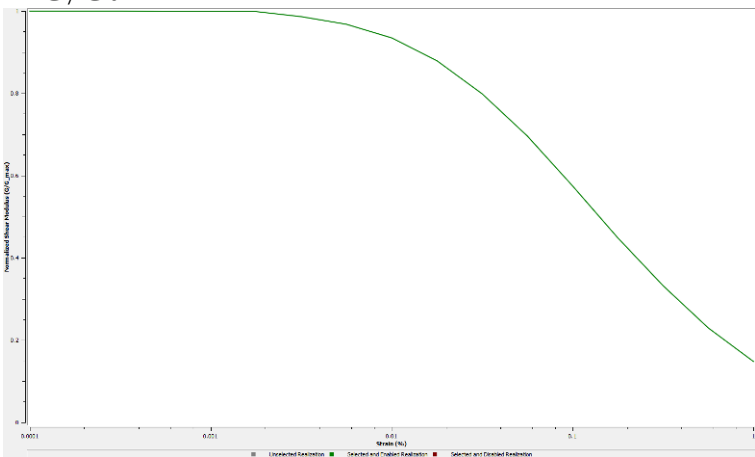
Damping%

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	23
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

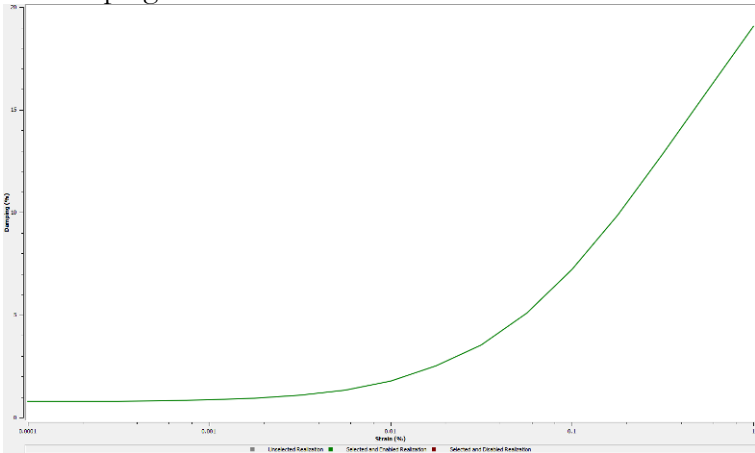



EPRI 250-500 ft :

G/G0

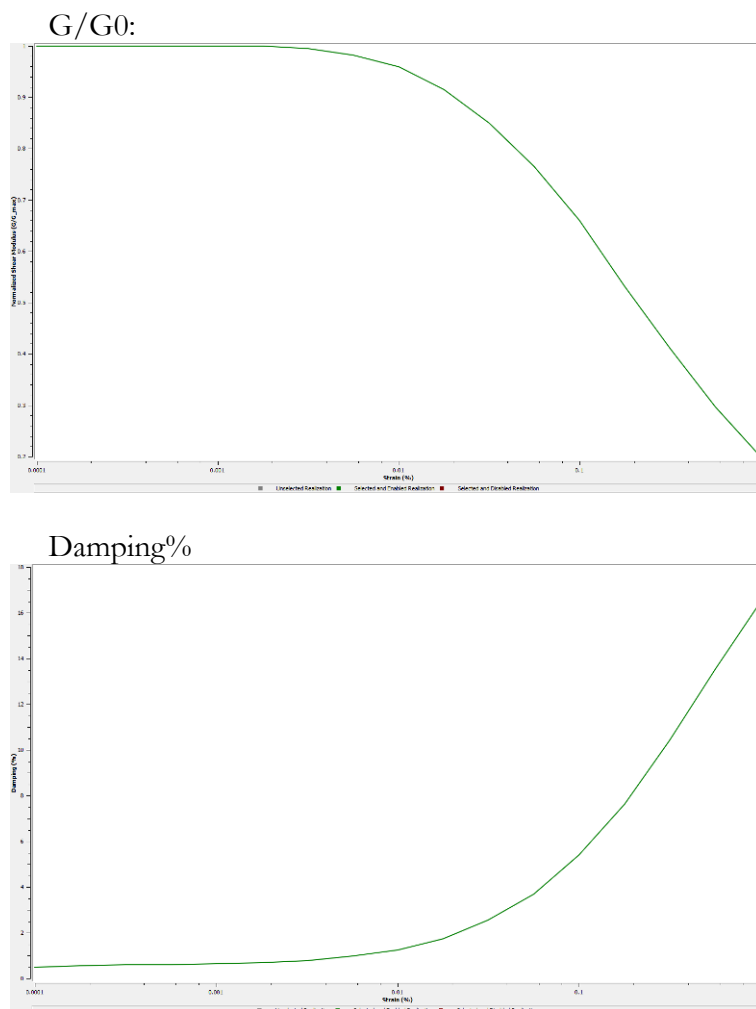


Damping%



	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	24
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

EPRI 500-1000 ft :



La falda è stata assunta ad un livello costante a -1.0 m


Per il Bedrock si è assunto un damping=1.0% ed un peso di volume pari a 23.00 KN/m<sup>3</sup>

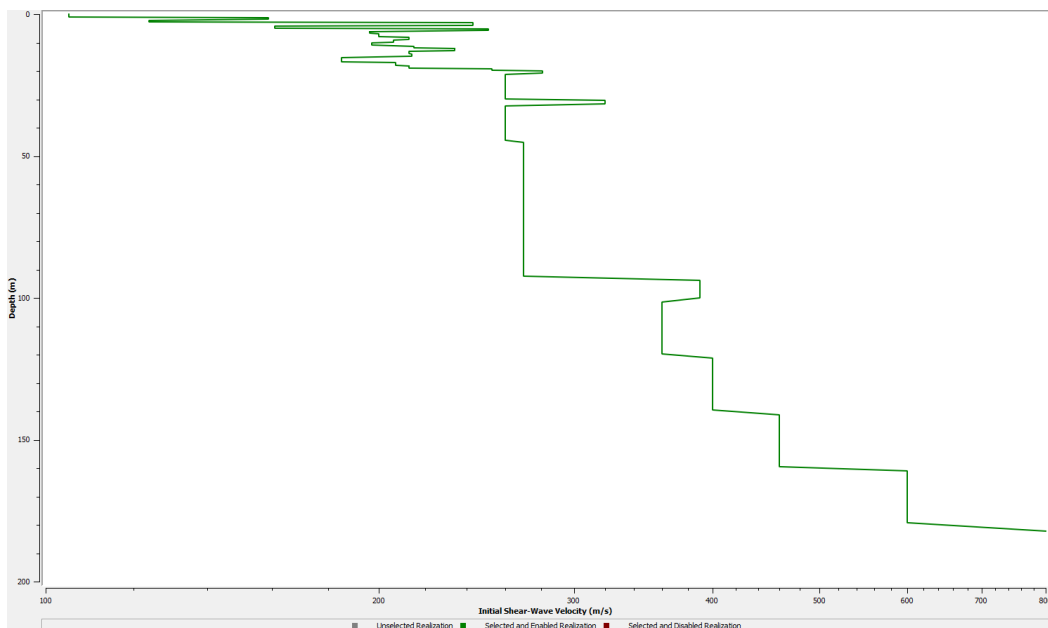
Data l'omogeneità litologica e stratigrafica delle aree indagate la curva del Log Vs rappresentativo di sito è stata principalmente derivata nel seguente modo:

- Fino ai 30 mt utilizzando i valori di Vs misurati con passo 1 mt nell'ambito della prova CPTS
- dai 30 a circa 100 mt di profondità utilizzando l'andamento del profilo di VS ottenuto dalla prova ESAC tramite inversione congiunta, vincolandola in superficie al profilo di VS (ad alta risoluzione) ed in profondità ai picchi H/V;
- da 100 mt fino al bedrock mantenendo, nei soli terreni alluvionali fini, il gradiente di velocità medio riscontrato con la prova ESAC dai 20 ai 93 mt, escludendo i salti di velocità imputabili ai banchi di ghiaia; in tal modo si è stimato un gradiente di crescita medio della velocità pari a circa 1 m/s/m;

Tale gradiente consente di modellare l'andamento di Vs sino all'interfaccia stimata a circa -180 mt da p.c., in prossimità della quale si ipotizza un incremento maggiormente significativo e progressivo della velocità in onde Vs e, quindi, nel comportamento geofisico e di rigidezza dei materiali costituenti il bed-rock.

La curva è stata poi sottoposta a partizione, sulla scorta anche delle informazioni relative alle altre prove geofisiche, per ottenere gli strati per l'input del modello 1D in Strata:

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA ( <i>JOB N°</i> )	ID DOC. ( <i>DOC. ID</i> )	REV.	N° FG. ( <i>SH. N.</i> )
	<b>11300273776</b>		<b>2</b>	<b>25</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				



Di seguito si riporta sinteticamente il modello geofisico di sottosuolo come discretizzato nell’input del software:


# RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
11300273776		2	26	82

PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Average Vs (m/s)
0	1	Sabbia	105
1	1	Sabbia	159
2	1	Sabbia	124
3	1	Sabbia	243
4	1	Sabbia	161
5	1	Sabbia	251
6	1	Sabbia	196
7	1	Sabbia	200
8	1	Sabbia	213
9	1	Sabbia	206
10	1	Sabbia	197
11	1	Sabbia	215
12	1	Sabbia	234
13	1	Argl	213
14	1	Argl	214
15	1	Argl	185
16	1	Argl	185
17	1	Argl	207
18	1	Argl	213
19	1	Sabbia	253
20	1	Sabbia	281
21	1	Argl	260
22	1	Argl	260
23	1	Argl	260
24	1	Argl	260
25	1	Argl	260
26	1	Argl	260
27	1	Argl	260
28	1	Argl	260
29	1	Argl	260
30	1	Ghlaia	320
31	1	Ghlaia	320
32	1	Argl	260
33	1	Argl	260
34	1	Argl	260
35	1	Argl	260
36	1	Argl	260
37	1	Argl	260
38	1	Argl	260
39	1	Argl	260
40	5	Argl	260
45	48	EPRI 120-250	270
93	7	Ghlaia	390
100	20	EPRI 250-500	360
120	20	EPRI 250-500	400
140	20	EPRI 500-1000	460
160	20	EPRI 500-1000	600
180	—	Bedrock	800



	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	27
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

## 5.2 SISMICITA' DELL'AREA E PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Per quanto riguarda le caratteristiche sismogenetiche e di pericolosità sismica di base dell'area ci si rapporta a quanto già esplicitato nella Relazione Geologica e Idrogeologica (Elab. 1/6), con particolare riferimento alle zone sismogenetiche illustrate nel database DISS3, alle considerazioni sulla sismicità storica ed al valore di MW appropriato per il caso in esame che, come previsto dalla Zonazione ZS9 (Rapporto Conclusivo GdL INGV, 2004) per la zona n. 917, risulta  $M_w=6.14$ .

Nel caso specifico, **su indicazione della progettazione, si definiscono i parametri relativi ad un fabbricato in classe d'uso III, vita nominale delle opere  $V_n \geq 50$  anni, vita di riferimento di 75 anni e per un tempo di ritorno di 712 anni relativo allo "Stato Limite di Salvaguardia della Vita" (utilizzabile anche per le verifiche a liquefazione).**

L'azione sismica sul modello geotecnico è valutabile a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria "A" nelle NTC). Le valutazioni della "pericolosità sismica di base" derivano da studi condotti a livello nazionale, su dati aggiornati, con procedure trasparenti e metodologie validate.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita sia dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/> che definibile dal foglio excel scaricabile sul sito LL.PP denominato "Spettri-NTCver.1.0.3".

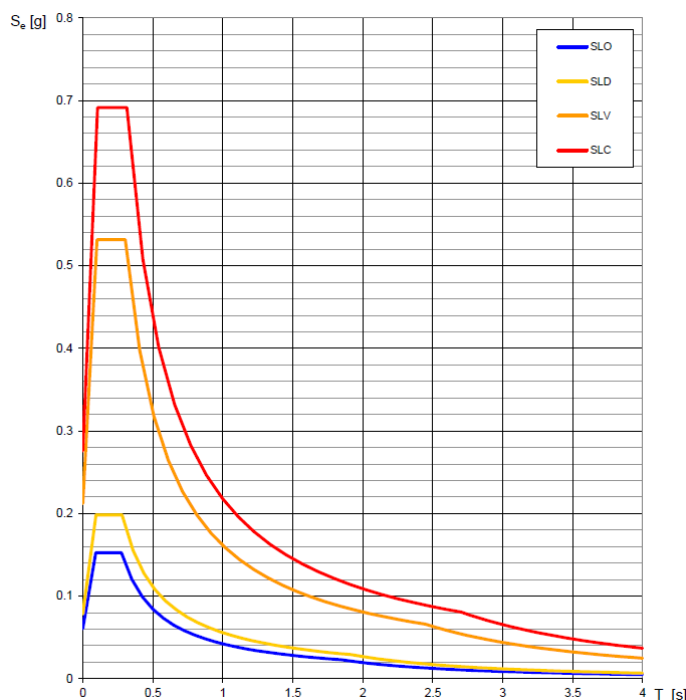
Le forme spettrali previste dalle **NTC**, sulla base di analisi disaggregazione, sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri  $a_g$ - $F_o$ - $T_c$ .


Tali forme spettrali sono contraddistinte da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento della costruzione (insieme definiscono il "periodo di ritorno dell'azione sismica"), per individuare a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili le seguenti azioni sismiche:

Coordinate di sito (ED50): Longitudine: 12.58280 – Latitudine: 44.06908

Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno SL

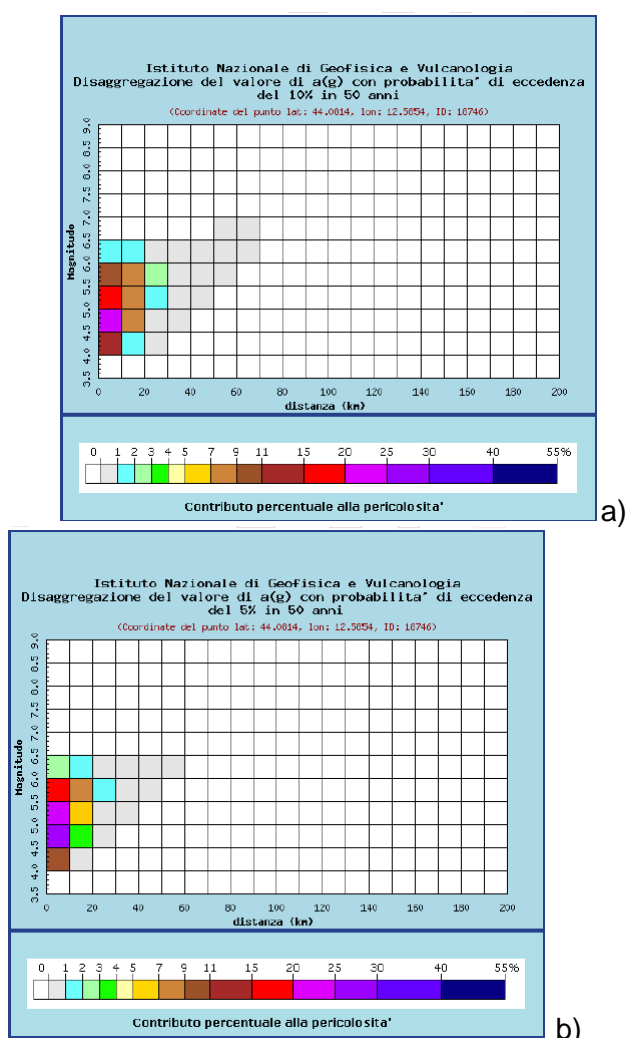
SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c$ [s]
SLO	45	0.061	2.510	0.276
SLD	75	0.079	2.522	0.281
SLV	712	0.212	2.505	0.304
SLC	1462	0.276	2.505	0.315



	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	28
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				
DI (LAST)				
82				


Pertanto per quanto riguarda l'area in oggetto, anche le carte del progetto INGV S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) prevedono per un periodo di ritorno di 475 anni (10% di probabilità di eccedenza in 50 anni) un valore del picco di accelerazione orizzontale atteso (PGA) compreso nell'intervallo 0.175-0.200 g e nell'intervallo 0.225-0.250 g per un tempo di ritorno pari a 975 anni. Interpolando linearmente i valori tabellati si ottiene un valore di 0.212g per un tempo di ritorno di 712 anni.

Diversamente l'analisi di disaggregazione fornita (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) suggerisce per un periodo di ritorno di 975 anni la terna di valori medi  $M_w=5.170$ , distanza=7.48 Km ed  $\epsilon=0.947$ . Per il periodo di ritorno di 475 anni gli stessi valori medi diventano  $M_w=5.130$ , distanza=9.12 Km ed  $\epsilon=0.766$ . Secondo tale analisi i valori di magnitudo sembrano sottostimare quelli desumibili dalla storia sismica locale degli eventi più significativi e dalle previsioni della zonazione ZS9, mentre le distanza epicentrali sono compatibili con questi ultimi e con le zone sismogenetiche del catalogo DISS3 (Fig.1).



**Figura 1.** Risultati dell'analisi di disaggregazione per l'area in studio secondo le stime di pericolosità sismica del territorio nazionale e relative ad un periodo di ritorno di 475 (a) e 975 (b) anni. (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Quindi l'azione sismica individuata tramite spettri di risposta elastici diviene di riferimento per caratterizzare la pericolosità sismica locale in funzione degli stati limite e per la scelta dei segnali utili alla risposta sismica locale; inoltre per la scelta delle distanze epicentrali utili alla ricerca degli accelerogrammi, di riferimento e/o che possono dare maggior contributo alla pericolosità sismica

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	29
PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA				

dell'area, diviene un importante riferimento l'analisi di disaggregazione (INGV S1) nonché specifiche valutazioni derivabili dal progetto DISS3.

### 5.3 ACCELEROGRAMMI – SEGNALI DI INPUT PER ANALISI NUMERICHE

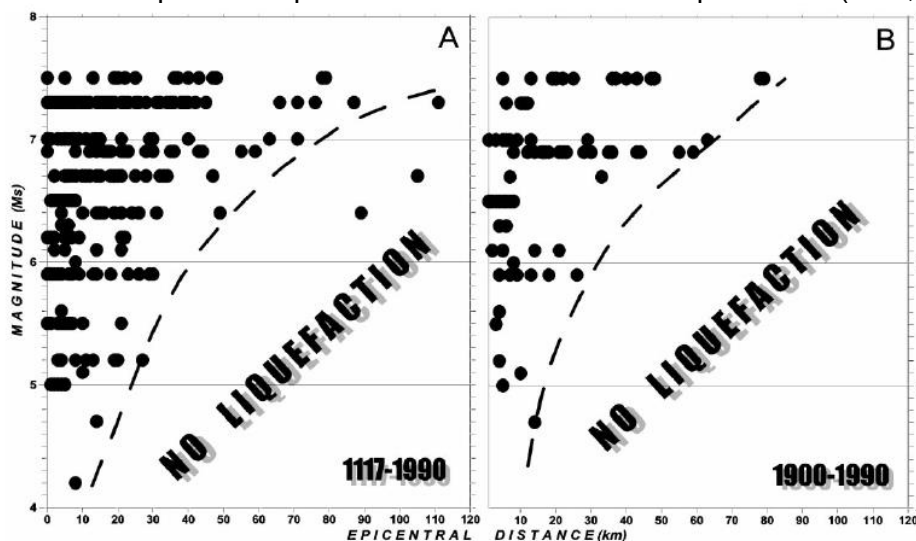
La scelta dei segnali di input (accelerogrammi) necessari allo sviluppo del modello di calcolo monodimensionale Equivalente-Lineare (EQL) viene condotta, sulla scorta dei parametri generali precedentemente definiti, da un lato secondo il criterio di spettro-compatibilità e dall'altro di coerenza e similitudine con le caratteristiche sismogenetiche dell'area in studio e di magnitudo del terremoto atteso.

Le valutazioni generali sulla base di magnitudo, distanze epicentrali, meccanismi focali e spettro-compatibilità, hanno fatto convergere sulla scelta di n. 7 accelerogrammi di riferimento, attraverso una procedura di spettrocompatibilità con lo spettro normativo di riferimento allo SLV e ritenuti utili ad investigare il comportamento del modello di sottosuolo con i metodi adottati.

Gli accelerogrammi sono stati selezionati tramite REXEL<sup>1</sup> vers. 3.5, uno strumento software reso disponibile presso il sito web della Reluis (Università degli Studi di Napoli "Federico II") e sviluppato al fine di addivenire ad una ricerca di segnali spettrocompatibili su una base di parametri di ricerca e di un'analisi preliminare di disaggregazione sulla quale definire lo spettro elastico di riferimento.

Anche in questo caso le combinazioni di segnali sono stati ricercati e selezionati sia sulla banca dati europea IESD<sup>2</sup> che sul SIMBAD<sup>3</sup> *Selected Input Motions for displacement-Based Assessment and Design* sviluppato in seno al Politecnico di Milano.


La coppia Mw e distanza epicentrale di riferimento è stata valutata, oltre che nei confronti delle caratteristiche di pericolosità sismica generale richiamate al precedente paragrafo (Mw= 6.14) e della vicinanza alle sorgenti sismogenetiche (distanza epicentrale disaggregazione = 7.48 - 9.12 Km ed evento max magnitudo - anno 1875- 1916 ≈ 14 e 16 km), anche in relazione alle distanze epicentrali massime ipotizzabili per l'innesco dei fenomeni di liquefazione (Galli, 2000):



Di seguito si riportano i criteri di ricerca adottati tramite REXEL ed una tabella riepilogativa dei segnali selezionati e catalogati secondo lo schema ESD, adattati poi tramite opportuni fattori di scala:

#### CRITERI di RICERCA:

6.0<Mw<6.5 - R (dist. epicentr., in Km): 0<R<30 - Lower tolerance: 10% - Upper tolerance: 20%  
T1(s): 0.1 – T2(s): 1.5 - Epsilon maximum = ± 1.0

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>		<b>2</b>	<b>30</b>	<b>82</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s^2]	PGA_Y [m/s^2]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	ID_X	ID_Y	Np_X	Np_Y	EC8 Site class
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip	14	5.0514	2.9178	0.336	0.2097	7.3341	8.4263	0.646	0.852	A
6332	2142	ST2483	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	6	5.1881	5.5698	0.218	0.8303	6.6884	2.0632	0.708	0.695	A
55	34	ST20	Friuli	06/05/1976	6.5	thrust	23	3.4985	3.0968	0.2061	0.3262	6.9175	7.2301	0.57	0.686	A
4675	1635	ST2487	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	13	1.2916	1.5325	0.1611	0.101	4.8619	7.669	0.795	0.706	A
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip	14	5.0514	2.9178	0.336	0.2097	7.3341	8.4263	0.646	0.852	A
149	65	ST26	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	12	1.3385	1.103	0.0681	0.0432	13.8832	15.783	1.131	0.667	A
4674	1635	ST2486	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	5	3.1176	3.3109	0.6122	0.2377	4.0709	9.8457	0.795	0.586	A
<b>mean:</b>					<b>6.36</b>		<b>12.43</b>	<b>3.51</b>	<b>2.92</b>	<b>0.28</b>	<b>0.28</b>	<b>7.30</b>	<b>8.49</b>	<b>0.76</b>	<b>0.72</b>	

Quale criterio di scelta, fra tutte le combinazioni (settuple) proposte dall'algoritmo di ricerca, si è ritenuto di utilizzare tutti segnali registrati su suolo A, di magnitudo media comparabile con la Mw max ipotizzabile per il sito (e a limitato fattore di scala), considerando l'adeguatezza e varietà dei meccanismi focali e del contesto sismogenetico; nella scelta si è altresì cercato di accostare segnali con forme differenti, sia a componente impulsiva che vibratoria (più ricca nelle basse frequenze) e con altrettanto differenti caratteristiche di durata (aspetto fortemente dipendente dalla distanza nonché da fattori geologici e sismogenetici) nonché di frequenza fondamentale.

Inoltre la distanza media epicentrale pari a 12.43 km, derivabile dalla settupla prescelta, risulta adeguata e compatibile con quelle derivabili sia da disaggregazione (7.48 - 9.12 Km) che rispetto agli eventi maggiormente significativi per la storia riminese (14 e 16 km) nonché coerente con i diagrammi di Galli et Al. per gli aspetti legati alla liquefazione.

1)

Iervolino, I., Galasso, C., Cosenza, E.

**REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis.**

*Bulletin of Earthquake Engineering*, 8:339-362, 2010 - DOI 10.1007/s10518-009-9146-1

2)

Ambraseys, N., Smit, P., Sigbjornsson, R., Suhadolc, P. and Margaris, B.

**Internet-Site for European Strong-Motion Data,**

*European Commission, Research-Directorate General, Environment and Climate Programme (2002)*

<http://www.isesd.cv.ic.ac.uk/ESD/>

3)

**SIMBAD: a database with Selected Input Motions for displacement-**

*Chiara Smerzini & Roberto Paolucci*

Department of Structural Engineering Politecnico di Milano, ITALY - 2011

Quindi gli accelerogrammi al bedrock sono stati opportunamente scalati (SF = Scale Factor) al fine di garantire la migliore spettro-compatibilità ed essere utilizzati come input in Strata, ottenendo un fattore di scala medio pari a **FS= 0.84914** e con segnali dalle seguenti caratteristiche:

# RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)

11300273776

ID DOC. (DOC. ID)

REV.

2

N° FG. (SH. N.)

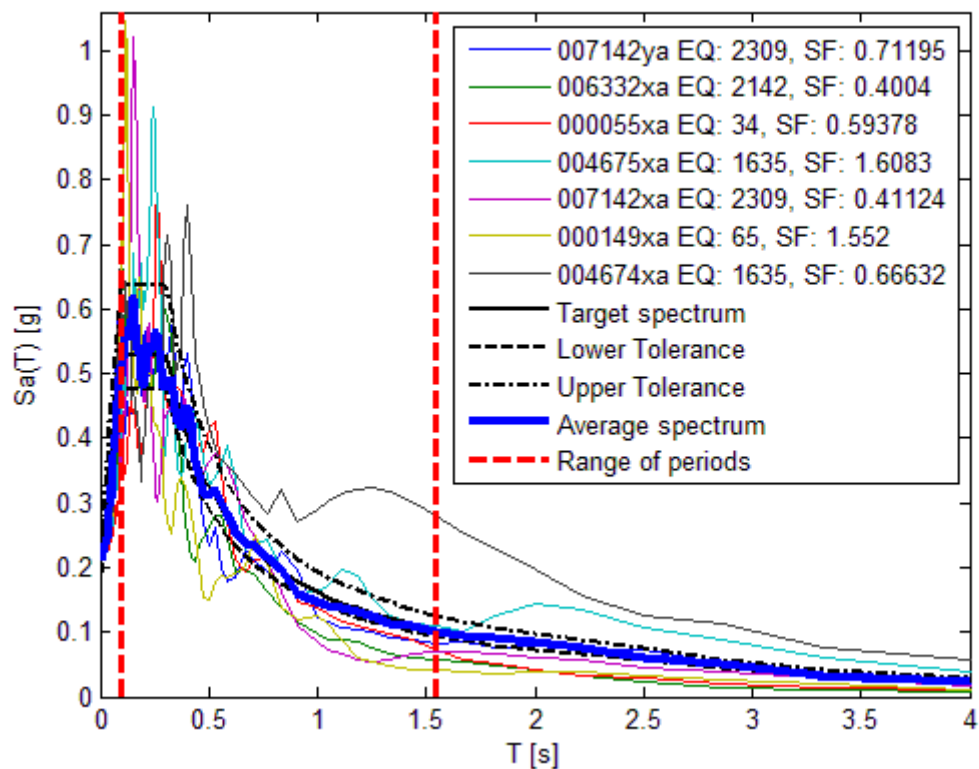
31

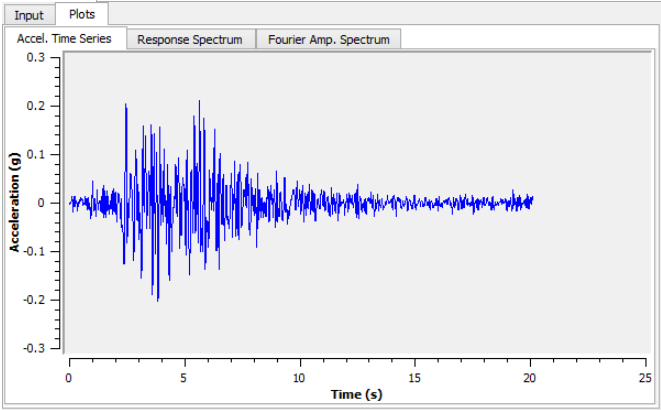
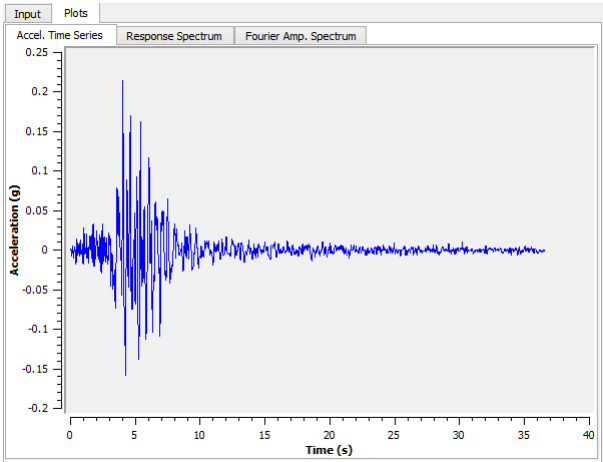
DI (LAST)

82

PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

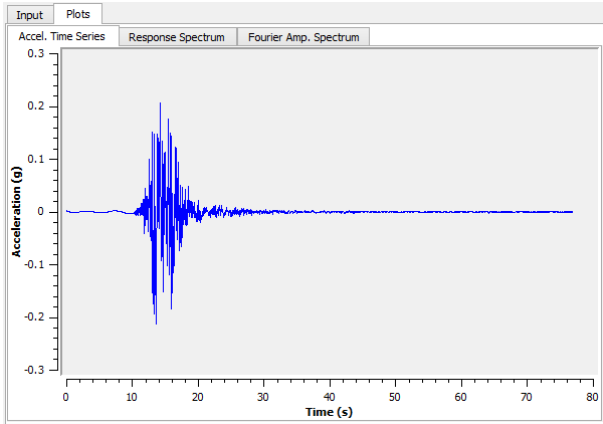
Combination no. 1 ,  $SF_{mean} = 0.84914$



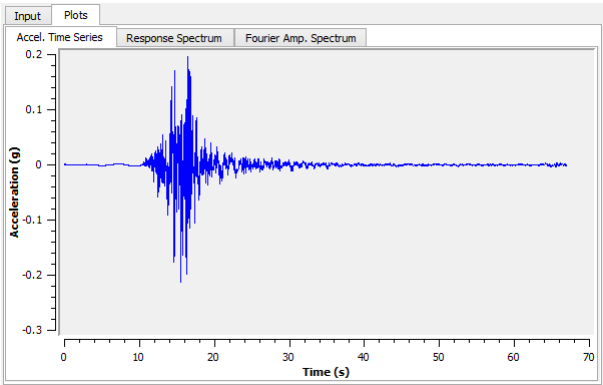


000055xa

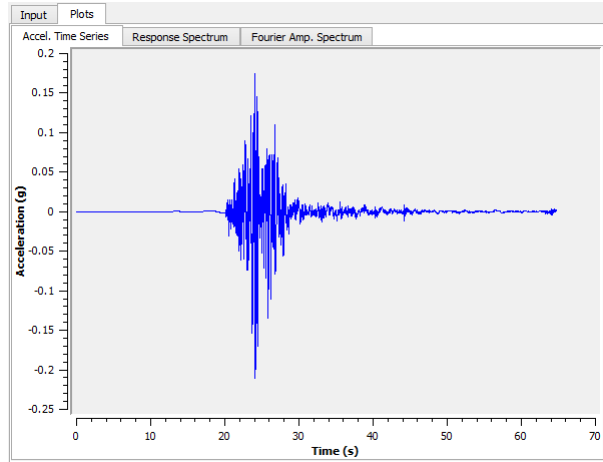
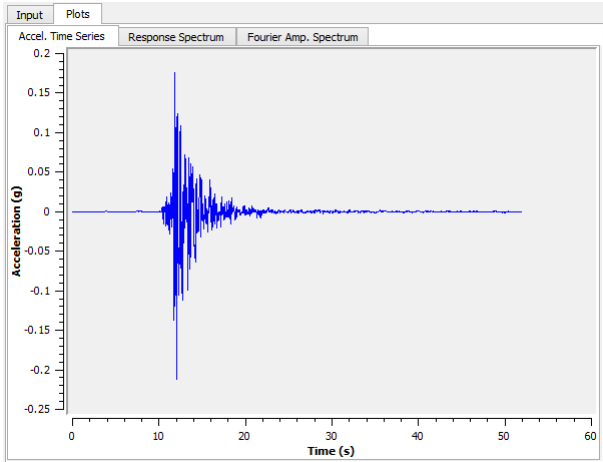
000149xa




004674xa

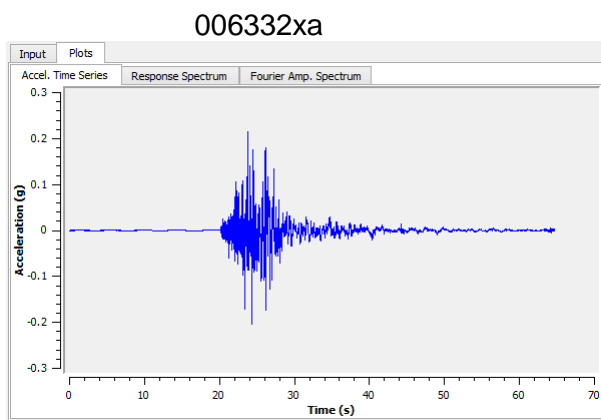


004675xa





	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	33
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				



007142xa

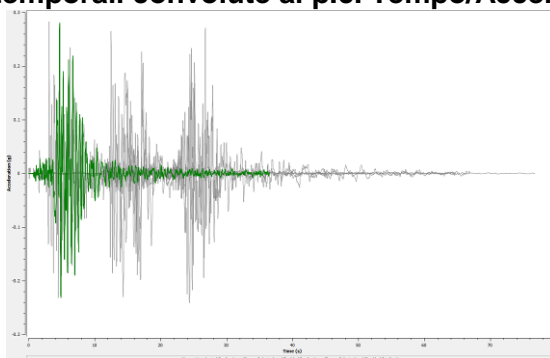
007142ya

## 5.4 RISPOSTA SISMICA LOCALE

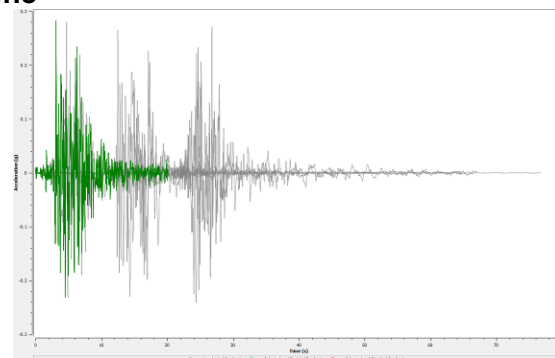
L’analisi puntuale mediante Strata è stata condotta per ottenere una risposta riferita al piano campagna in condizioni di free field.

Quindi dal modello di calcolo monodimensionale EQL mediante Strata si sono ottenuti gli accelerogrammi convoluti al piano campagna:

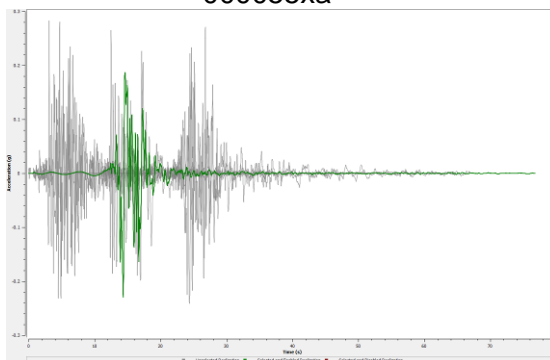
### Serie temporali convolute al p.c. Tempo/Accelerazione



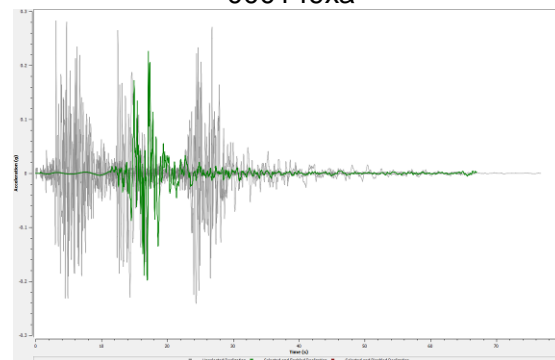
000055xa




000149xa

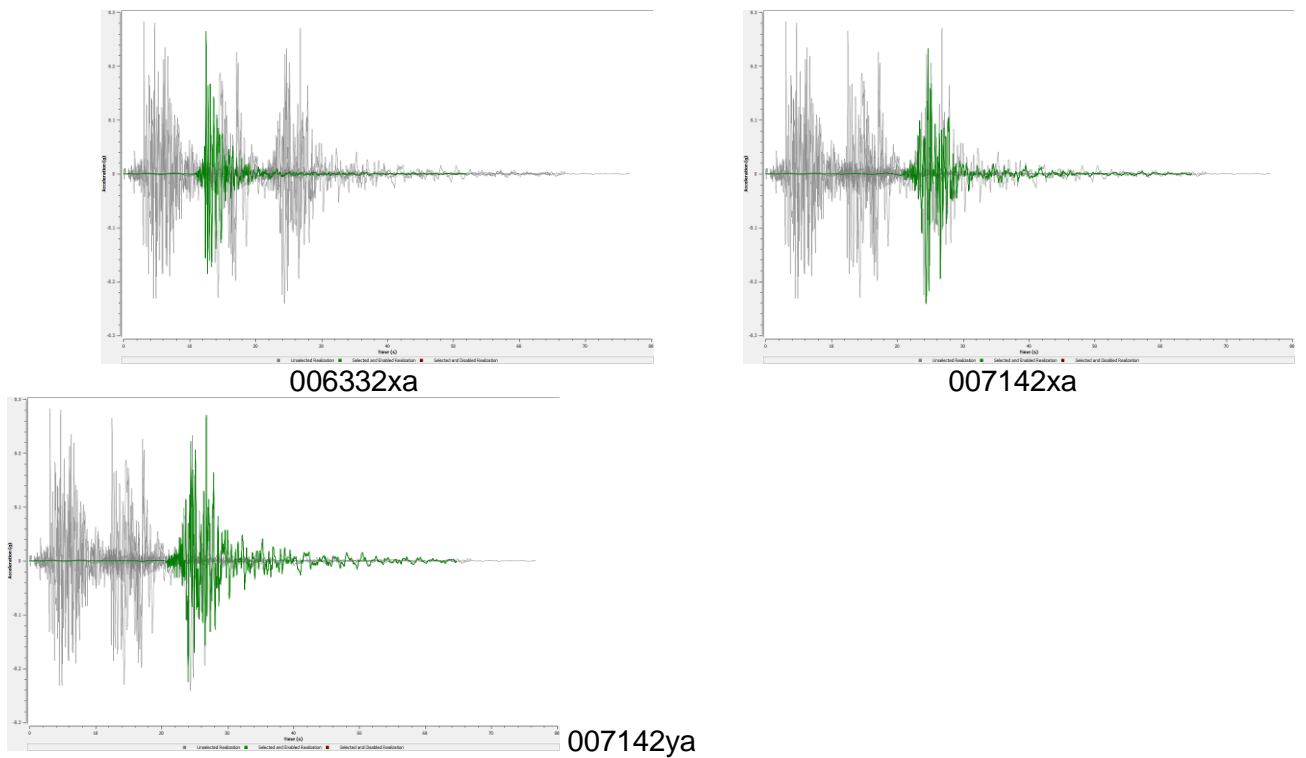


004674xa



004675xa

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	34
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				



Attraverso successive procedure di integrazione dei segnali convoluti in accelerazione è possibile generare le corrispondenti serie temporali in termini di Tempo/Velocità e Tempo/Spostamento.

Lo spettro di Fourier, unitamente ai logs della PGA/profondità, PGV/profondità e Spostamento/Profondità dei sismi selezionati sono quindi rappresentati nei grafici seguenti, dove in ordinata c'è la profondità (m) ed in ascissa rispettivamente l'accelerazione (g), la velocità (cm/sec) e lo spostamento (cm):

# **RISPOSTA SISMICA LOCALE**

N° COMMESSA (JOB N°)

**11300273776**

ID DOC. (DOC. ID)

REV.

**2**

N° FG. (SH. N.)

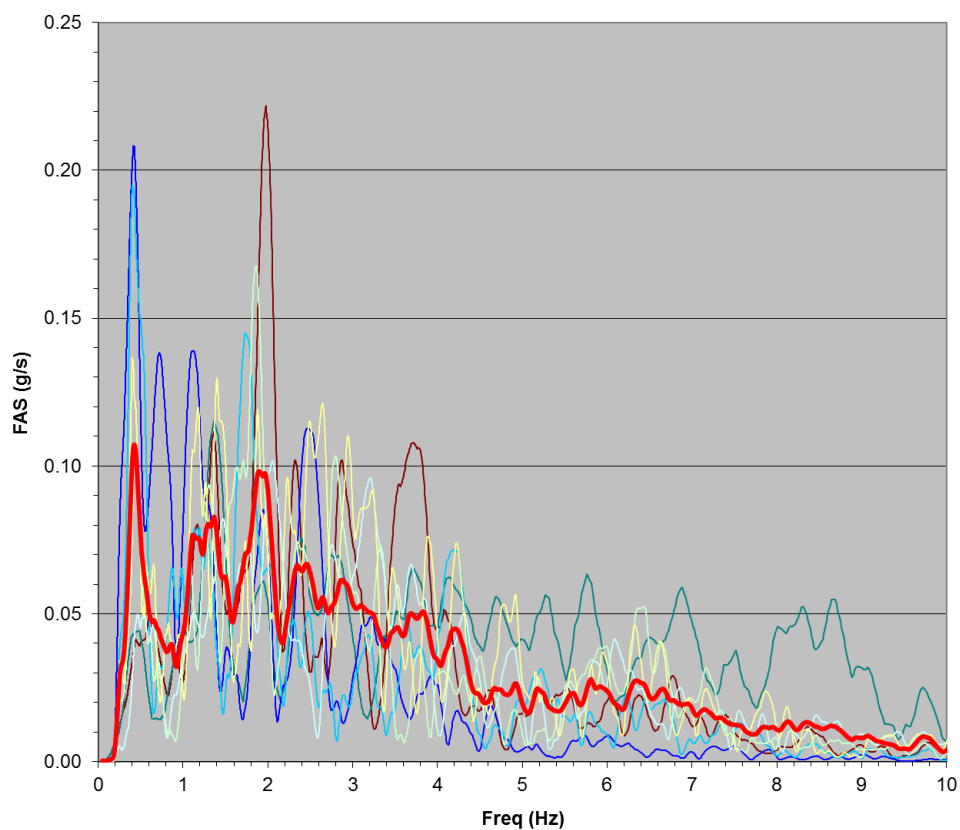
**35**

DI (LAST)

**82**

**PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA**

## **Fourier Amplitude Spectrum**



## RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)

11300273776

ID DOC. (DOC. ID)

REV.

2

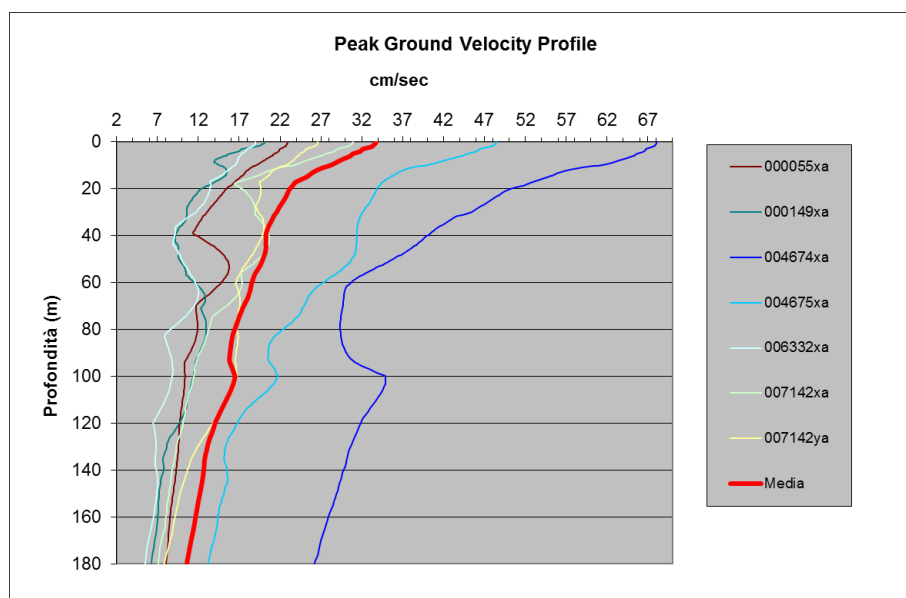
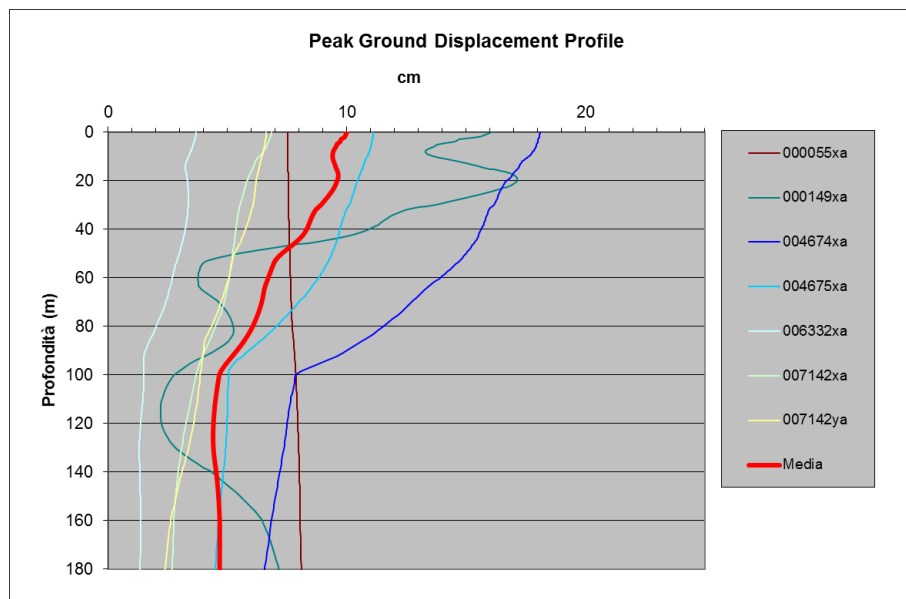
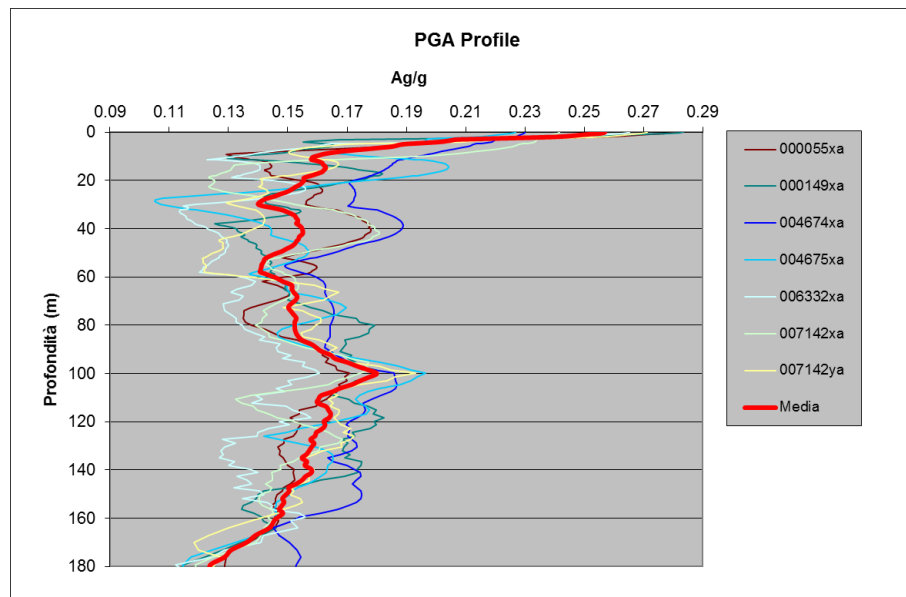
N° FG. (SH. N.)


36

DI (LAST)

82

## PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA



	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	37
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

Considerato  $PGA_0$  = acc. media al bedrock, si ottiene il fattore di amplificazione FA sulla base della risposta in accelerazione media alla superficie di riferimento (p.c.) con:

$$FA (PGA/PGA_0) = 0.257g / 0.212g = 1.212$$

Un ultimo elemento di caratterizzazione del moto del suolo è **l'accelerazione RMS (root mean square acceleration)** detta anche accelerazione media efficace, parametro che può risultare utile in applicazioni ingegneristiche ed in condizioni di verifica pseudostatica, in quanto contiene in sé informazioni sull'ampiezza, durata e contenuto in frequenza delle azioni sismiche di riferimento.

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} [a(t)]^2 dt}$$

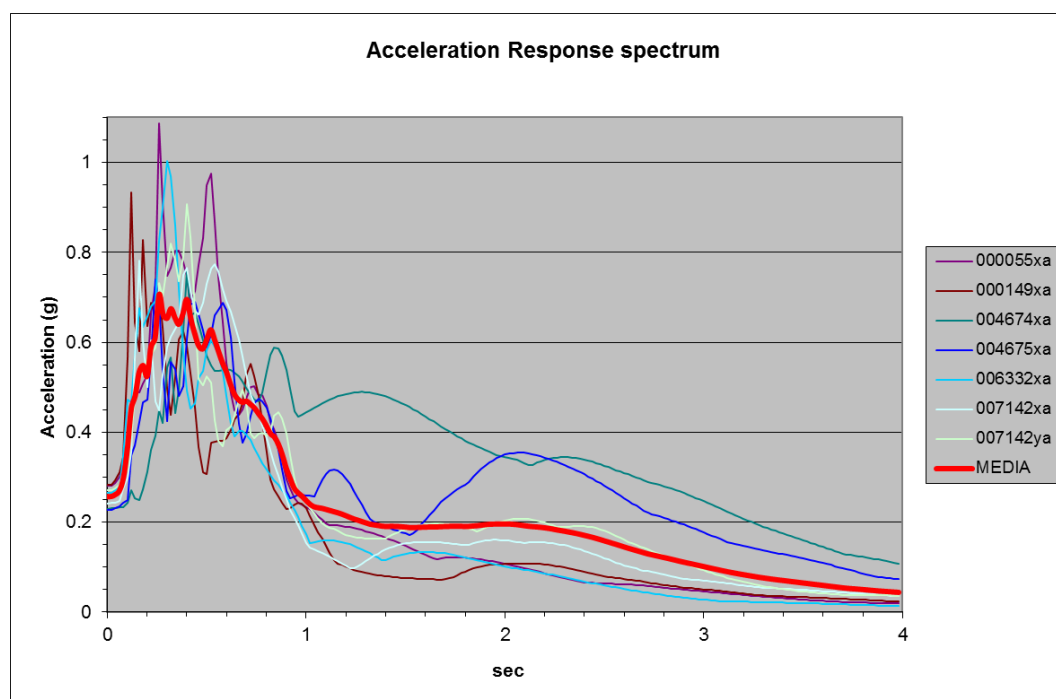
Ove  $T_d$  è la durata dello scuotimento forte (Trifunac duration = intervallo di tempo tra il 5% e 95% dell'energia rilasciata dal terremoto in termini di Intensità di Arias).

Lo spettro di risposta superficiale di sito viene sintetizzato nei seguenti grafici per i tutti sismi unitamente a quello medio relativamente alla accelerazione spettrale, all'accelerazione PSA, alla velocità spettrale PSV ed allo spostamento PSD per uno smorzamento  $\xi = 5.0 \%$ , in rosso è riportata la curva media di sintesi.

Nel primo viene mostrato il comportamento dell'accelerazione spettrale attraverso i diversi strati che compongono la colonna litologica tipo, utilizzata nella modellazione per diversi valori di periodo; in tale grafico viene altresì illustrata la variabilità del segnale medio in funzione della deviazione standard rilevata.

Il secondo e terzo grafico riguardano la PSA e PSV, ossia la pseudo-accelerazione e pseudo-velocità spettrale, dove ne viene mostrata la variabilità in funzione del periodo.

Il quarto illustra la PSD, ovvero lo spostamento in funzione del periodo in sec.



## RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)

11300273776

ID DOC. (DOC. ID)

REV.

2

N° FG. (SH. N.)

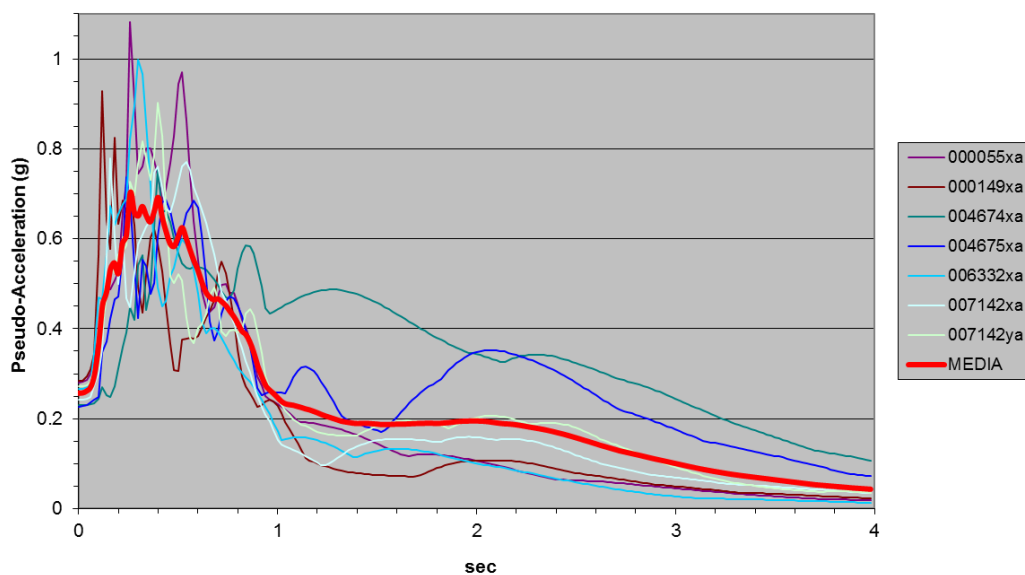
38

DI (LAST)

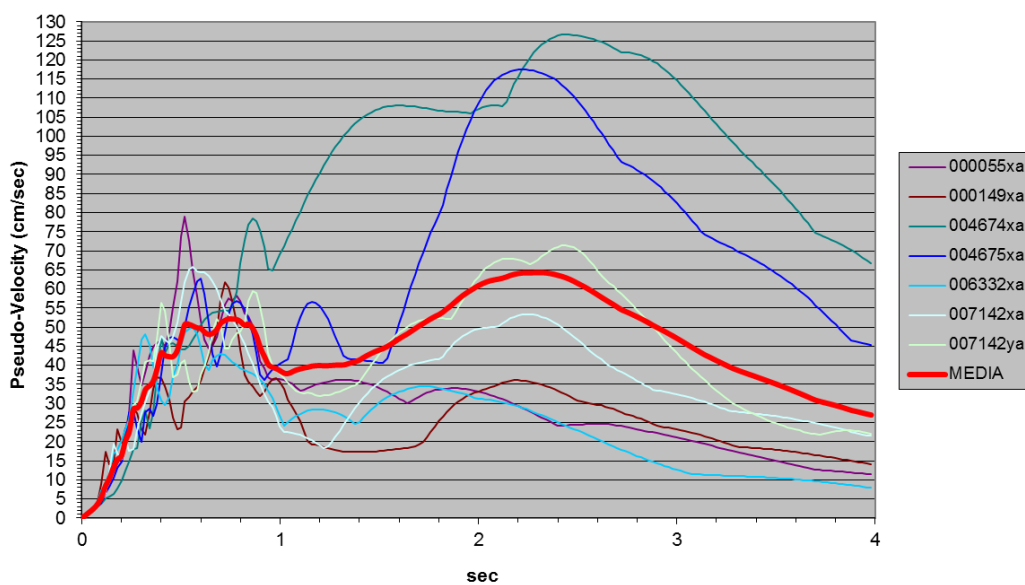
82


PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

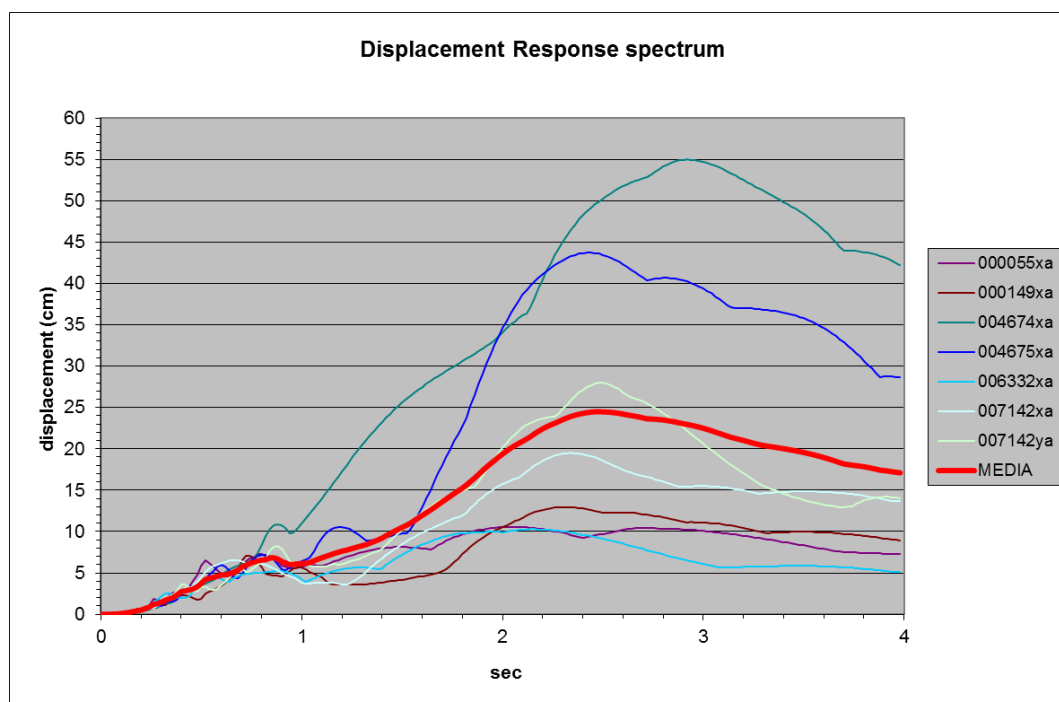
Pseudo-Acceleration Response spectrum



Pseudo-Velocity Response spectrum



	RISPOSTA SISMICA LOCALE				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	11300273776		2	39	82
	PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA				



I risultati di questa analisi sono utilizzabili per il calcolo del fattore SI, Intensità di Housner, e definito dalla relazione:

$$SI = \int_{T1}^{T2} PSV_{(\xi=5\%)} dt$$

dove PSV è lo spettro di risposta in pseudovelocità

L'Intensità di Housner (SI) è un indicatore della pericolosità sismica ed è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudo-velocità in un intervallo prefissato di frequenze ed è direttamente correlabile all'energia che viene dissipata nelle strutture durante un terremoto, e quindi espressione del possibile grado di danneggiamento degli edifici e/o opere.

Tramite SeismoSignal e SeismoMatch sono stati elaborati i segnali di output ottenendo gli spettri medi in Pseudo-velocità PSV sia al bedrock che in superficie, integrando i quali si ricava il valore dell'Intensità di Housner al bedrock ( $SI_0$ ) ed in superficie (SI) nel range di primaria importanza per le strutture ovvero negli intervalli tra 0.1-0.5 sec, 0.5-1.0 sec e 0.1-2.5 sec (tra 0.4 Hz e 10 Hz) con smorzamento  $\xi$  del 5%.



## RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)

11300273776

ID DOC. (DOC. ID)

REV.

2

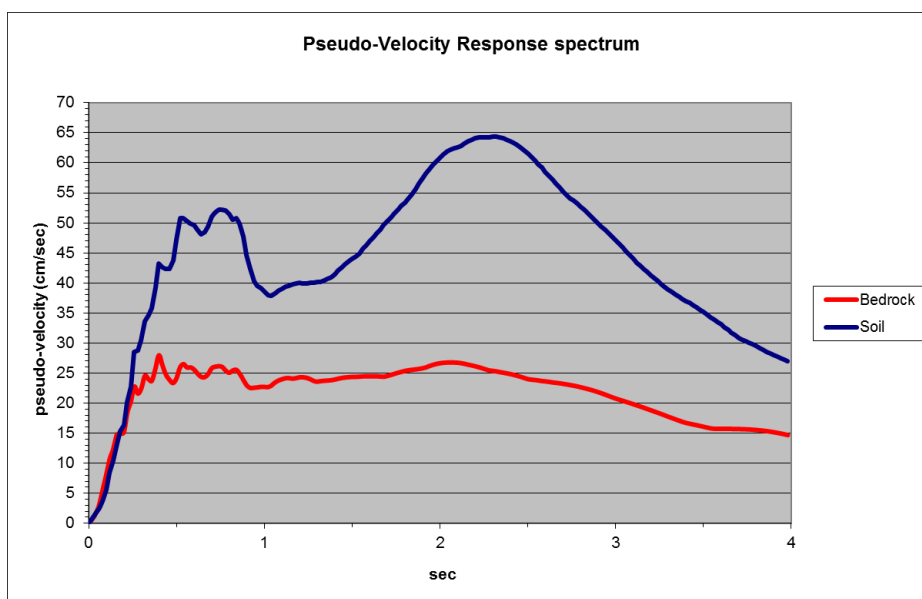
N° FG. (SH. N.)

40

DI (LAST)

82

PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

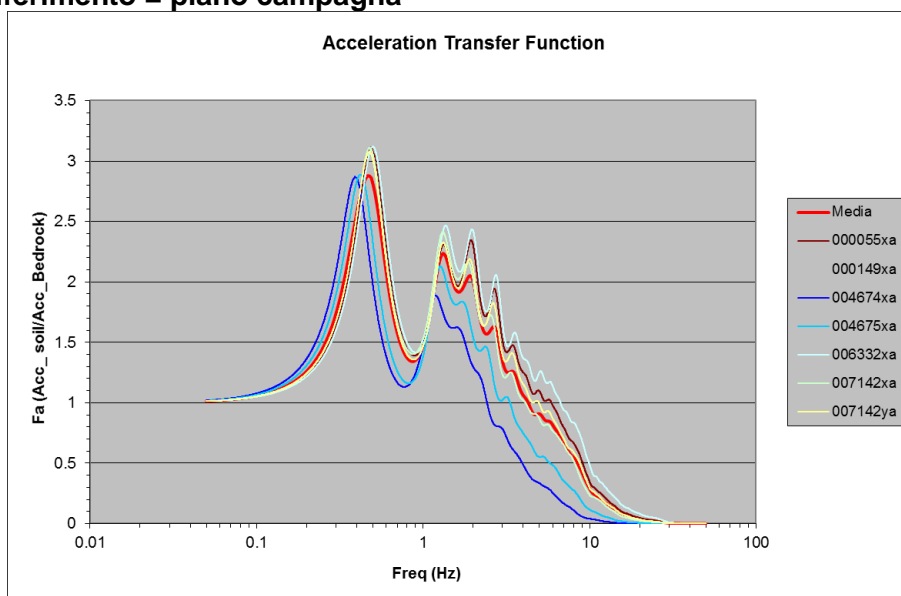



Quindi tramite il rapporto  $SI/SI_0$  è possibile desumere anche il relativo fattore di amplificazione (FA):

	Periodo	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	0.1-0.5	8.409328	11.662444	1.387
INT SPETT.	0.5-1.0	12.860852	24.992908	1.943
INT SPETT.	0.1-2.5	58.138219	113.544776	1.953

Nei grafici seguenti viene presentata la funzione di trasferimento con relativo Fattore di Amplificazione considerando gli accelerogrammi applicati in posizione di "Outcrop" sul bedrock geofisico in profondità e determinandone quindi la risposta su superficie libera al piano campagna.

**Superficie di riferimento = piano campagna**



	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	41
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

Quindi dall'analisi monodimensionale in onde Vs si possono rilevare picchi significativi di amplificazione per le seguenti frequenze (Fa=fattore di amplificazione):

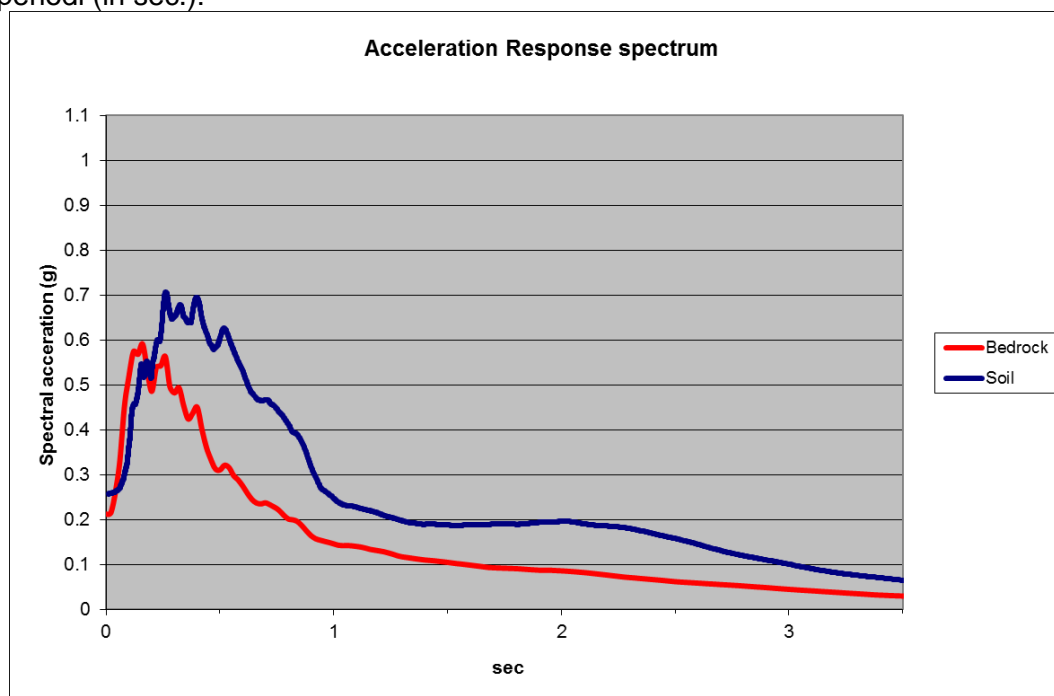
**$f = 0.48 \text{ hz}$   $Fa = 2.87$**

**$f = 1.32 \text{ hz}$   $Fa = 2.23$**

**$f = 1.93 \text{ hz}$   $Fa = 2.05$**

**$f = 2.70 \text{ hz}$   $Fa = 1.62$**


mentre sulla base del rapporto fra gli spettri di risposta elastici in accelerazione al bedrock ed in superficie (alla stregua dell'intensità di Housner), nei segmenti generalmente previsti dalle norme tecniche, possono altresì essere definiti i valori del Fattore di Amplificazione spettrale (FA) per i seguenti periodi (in sec.):



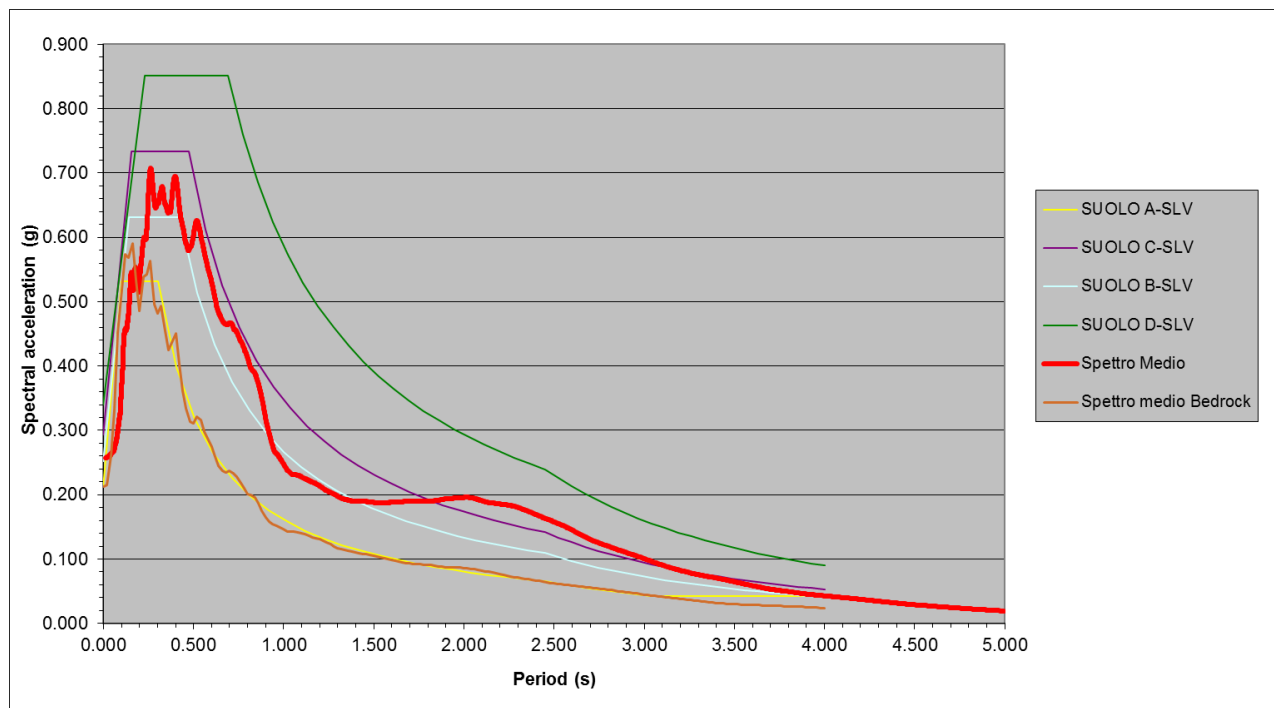
	Periodo	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	0.1-0.5	0.198938	0.240721	<b>1.210</b>
INT SPETT.	0.5-1.0	0.117575	0.216706	<b>1.843</b>
INT SPETT.	0.1-2.5	0.456242	0.747746	<b>1.639</b>

Tali valori possono essere ritenuti indicativamente comparabili al fattore di amplificazione stratigrafica S<sub>s</sub> delle norme tecniche vigenti e che determina la forma degli spettri elastici semplificati.

A titolo puramente indicativo si ritiene opportuno comparare gli spettri elastici ritenuti caratteristici per il sito in esame a seguito delle analisi di RSL effettuate (spettro medio) con quelli semplificati di normativa, al fine di poterne valutare eventualmente la congruità e/o compatibilità progettuale allo stato limite SLV.

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	42
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

## SPETTRI ELASTICI CARATTERISTICI\_SLV alla superficie di riferimento = piano campagna




Da quanto sopra risulta evidente che per opere di classe III e  $V_n$  50 anni ( $T_r=712$  anni) lo spettro semplificato per categorie di suolo C, nei periodi di interesse, possa essere ritenuto sostanzialmente coerente con le condizioni di pericolosità sismica rilevate e rappresentate dallo spettro elastico medio calcolato. Tuttavia qualora le opere in progetto presentassero periodi propri di vibrazione e/o comunque di interesse rispettivamente  $>1.85$  sec, lo spettro di suolo C per Classe III e  $V_n=50$ anni potrebbe risultare non sufficientemente cautelativo e meno rappresentativo delle azioni sismiche attese; ciò porterebbe a consigliare l'adozione di forme spettrali maggiormente cautelative (es. riferibili a  $V_n$  maggiori) e/o categorie di suolo più severe.

Il Progettista in funzione delle esigenze progettuali e delle relative metodologie di analisi/calcolo potrà utilizzare, per quanto attiene il solo SLV oggetto di calcolo, lo spettro elastico rappresentativo "medio" sopra riportato (vedi tabelle numeriche in allegato n. 5), oppure determinare sullo stesso adeguate forme spettrali semplificate e coerenti con le metodologie normative adottate per la "normalizzazione" (formulazione 3.2.4 – 3.2.9 delle NTC 2008). In alternativa potrà altresì scegliere lo spettro rappresentativo, fra quelli selezionati, secondo un adeguato percentile di riferimento della distribuzione di dati (in relazione al grado di confidenza ricercato) o, addirittura, selezionare quello maggiormente penalizzante per i fini progettuali.

Allo stesso modo gli "spettri di progetto" dovranno essere elaborati e/o scalati (se di tipo semplificato) secondo opportuni valori di Damping (fattore di smorzamento), differente da 5% adottato per la definizione dello spettro elastico, e dipendente dal fattore di struttura di progetto (in base alle caratteristiche strutturali dell'opera e/o dell'interazione opera/terreno).

Qualora risultasse necessario valutare selettivamente i singoli accelerogrammi (e/o relativi spettri elastici), sia al bedrock che convoluti al piano campagna, sarà possibile farlo anche in funzione dei rispettivi parametri di scuotimento (ground motion parameter) riepilogati in allegato n. 4.

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	43
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

## 6 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE-APPROFONDIMENTI DI VERIFICA LOCALE

### 6.1 PREMESSA

Come già verificato nella Relazione Geologica e Idrogeologica (Elab. 1/6), i litotipi costituenti la successione stratigrafica del primo sottosuolo ed in particolare il cuneo deposizionale di origine marina/litorale con spessore massimo in loco sino a circa 13 mt, risultano ricadere in larga misura fra i depositi a “*possibilità di liquefazione*” (4-10 in Elab. 4/6 della Relazione Geologica e Idrogeologica) e ad “*elevata possibilità di liquefazione*”. Inoltre, per tali depositi, non sono verificate le condizioni di esclusione delle verifiche di liquefazione, sulla base del paragrafo 7.11.3.4.2 del DM 14/01/2008.

I litotipi sostanzialmente interessati dal fenomeno sono i Lit VR ed SL, ritenendo che all'interno dei depositi alluvionali sottostanti, prevalentemente limo-argillosi, eventuali orizzonti limo-sabbiosi abbiano modesto spessore e scarsa continuità laterale, risultando pertanto di rilevanza secondaria.

Nel caso specifico le penetrometrie eseguite, di tipo CPTu (vedi Relazione Geologica- Elab. 1/05), permettono di valutare adeguatamente la stratigrafia a partire da piano campagna e dai piani di posa ipotizzati per le fondazioni delle vasche in progetto (-13.95m e -10.05 m circa) e fino a 20 mt dal piano di campagna, quota oltre la quale la pressione litostatica tende ragionevolmente ad inibire il fenomeno della liquefazione.

La possibilità del verificarsi del fenomeno consiglia una verifica di calcolo, che può essere effettuata con metodologie di tipo deterministico in cui il coefficiente di sicurezza è scelto con adeguato margine a discrezione del progettista. Sotto l'azione di un sisma i sistemi geotecnici (vedi paragrafo 7.11.3. delle NTC: “Risposta sismica e stabilità del sito”) devono rispettare gli stati limite ultimi con i requisiti di sicurezza indicati al paragrafo 7.1. NTC (“siano soddisfatte le verifiche relative al solo Stato Limite di salvaguardia della Vita”). Pertanto i parametri di pericolosità sismica ricavati con la procedura descritta ai paragrafi 5.2-5.3-5.4 della presente relazione, da assumere nel calcolo, sono quelli del SLV relativo all'opera in progetto.


### 6.2 DATI DI INPUT

In riferimento all'ubicazione del tratto tombinato dell'Ausa ed alle opere in progetto, sono state analizzate le verticali penetrometriche CPTU1, CPTU3, CPTU4, CPTU5, CPTU7, CPTUA, CPTUB e CPTUC. In particolare, le prova CPTU1 e CPTU4 sono rappresentative della zona in cui le opere hanno il piano di posa delle fondazioni a -13.95 m da p.c., mentre tutte le altre prove sono rappresentative della zona in cui le opere hanno il piano di posa delle fondazioni a -10,05 m da p.c.

L'adozione dei metodi semplificati di verifica a liquefazione, in relazione alle condizioni di pericolosità sismica generale ed alla stima dei carichi ciclici ipotizzabili, richiede l'adozione di una  $M_w$  (magnitudo momento) di riferimento; in tal caso, anche alla luce dei recenti sismi verificatisi in Emilia (Maggio 2012), caratterizzati da una magnitudo pressoché analoga a quella stimata per il sito in oggetto nell'ambito della zonazione ZS9, si ritiene di utilizzare il valore  $M_{wmax} = 6.14$  proposto dagli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” dell'INGV (Gruppo di lavoro MS, 2008).

In relazione alle analisi di RSL condotte allo stato limite SLV, l'accelerazione massima al suolo libero, utilizzabile nei metodi semplificati CPT, può essere assimilata a quella media derivata dall'analisi congiunta di tutti i 7 accelerogrammi utilizzati; per cui arrotondando opportunamente risulta  $a_g=0.26$  g.

Per quanto riguarda le analisi svolte, per ogni verticale è stata eseguita una prima analisi a partire dal piano di campagna con falda posta a -2.5 m da p.c. (condizione di massimo innalzamento stagionale), per verificare la suscettibilità alla liquefazione nelle aree esterne alle opere in progetto; successivamente è stata effettuata una seconda analisi a partire dal piano di posa delle fondazioni e considerando una falda pari a -6.2 m da p.c., livello garantito dalle opere di dissipazione delle pressioni interstiziali al di sotto della platea di fondazione come previsto dal presente progetto.

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	44
PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA				

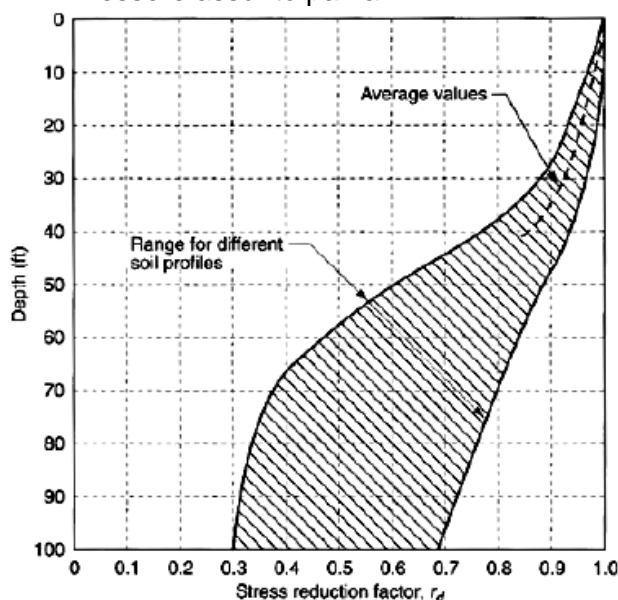
### 6.3 METODI DI CALCOLO

Le analisi di liquefazione sono state sviluppate con il programma di calcolo LiquefyPro della CivilTech Software, Washington State USA.

Il rapporto di tensione ciclica, ad una determinata profondità, è stato valutato attraverso la seguente espressione (Seed e Idriss, 1971):

$$CSR = 0.65 \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot r_d, \text{ dove:}$$

- $a_{max}$  è l'accelerazione massima del terremoto di progetto;
- $\sigma_v$  e  $\sigma'_v$  sono rispettivamente la tensione totale verticale e la tensione efficace verticale;
- $r_d$  è un coefficiente correttivo che tiene conto della deformabilità del sottosuolo che può essere assunto pari a:



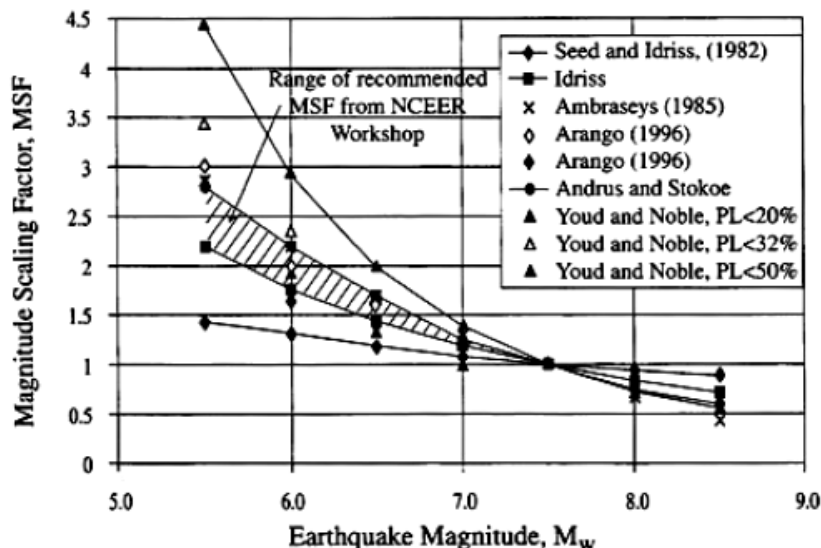
$$r_d = 1.0 - 0.00765 \cdot z \quad \text{for } z \leq 9.15 \text{ m}$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 \cdot z \quad \text{for } 9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m}$$

$$r_d = 0.744 - 0.008 \cdot z \quad \text{for } 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m}$$

$$r_d = 0.5 \quad \text{for } z > 30 \text{ m}$$


Il rapporto di resistenza ciclica può essere stimato sulla base di prove SPT, CPT e da misura della velocità delle onde di taglio. Poiché le procedure semplificate sono state elaborate sulla base di osservazioni sul comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo  $M=7.5$ , per eventi di magnitudo diversa si introduce un coefficiente correttivo MSF così definito:



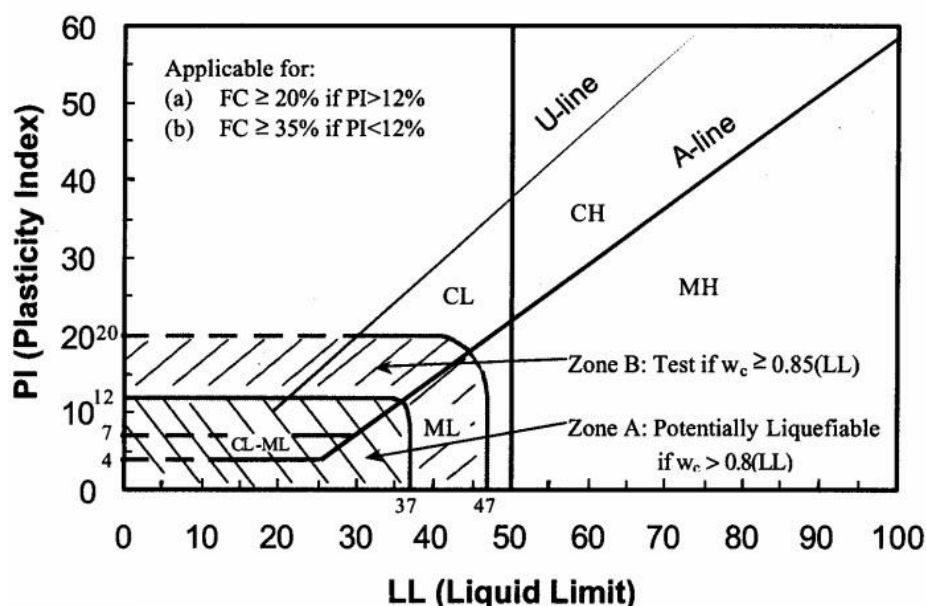
$$CRR_M = CRR_{7.5} \cdot MSF,$$

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}}$$

La procedura di calcolo del rapporto di resistenza ciclica CRR, a partire dai valori desunti dalle prove CPT, è stata realizzata in accordo con il metodo di Robertson e Wride modificato (1977).

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	45
PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA				

Nelle verifiche di liquefazione è stata considerata la correzione proposta da Seed et al. (NCEER, 2003) per la definizione dei terreni potenzialmente liquefacibili; tale raccomandazione, indicata nella figura successiva, individua tre zone: le zone A e B sono caratterizzate da terreni potenzialmente liquefacibili, mentre la zona C è caratterizzata da terreni che non sono considerati suscettibili di liquefazione.



Infine, per le sole verifiche effettuate nella configurazione di progetto, è stato considerato il miglioramento del terreno di fondazione (irrigidimento) dovuto alla realizzazione delle barrettes al di sotto delle platee di fondazione. La realizzazione delle barrettes, che presentano una rigidezza al taglio maggiore rispetto al terreno naturale in sito, permette una riduzione dell'azione sollecitante del sisma agente sul terreno naturale. Infatti l'azione sollecitante si ripartirà tra il sistema barrettes in c.a. e il terreno naturale in maniera proporzionale alla rigidezza stessa dei due sistemi. Pertanto, in accordo con gli studi condotti da Baez e Martin (1993), il valore di CSR pre-intervento ( $CSR^{pre}$ ) deve essere così ridotto:

$$CSR^{post} = k_G \cdot CSR^{pre}$$

dove:

$$k_G \text{ è il fattore di riduzione pari a: } k_G = \frac{1}{G_r} \cdot \frac{1}{A_r + \frac{(1-A_r)}{G_r}};$$


$$G_r \text{ è il rapporto tra i moduli di taglio della colonne e del terreno: } G_r = \frac{G_{colonne}}{G_{terreno}};$$

$$A_r \text{ è il rapporto tra l'area della colonna e l'area totale dell'intervento: } A_r = \frac{A_{colonne}}{A_{colonne} + A_{terreno}}.$$

Per quanto riguarda il valore dei cedimenti dovuti al sisma di progetto, essi sono stati stimati attraverso la formulazione di Ishihara e Yoshimine (1990). Gli stessi autori (Ishihara e Yoshimine, 1992) in relazione ai cedimenti stimati ed al grado di danneggiamento/effetti sul suolo attesi identificano tre ambiti di riferimento di pericolosità secondo cui:

- $\Delta H < 10$  cm "Light to no damage";
- $10 < \Delta H < 30$  cm "Medium damage";
- $\Delta H > 30$  cm "Extensive damage".



	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	46
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

Ai fini progettuali di un'opera pubblica infrastrutturale di rilevante interesse (Classe d'uso III), dato il grado di conoscenza della stratigrafia, di affidabilità delle prove e dei dati utilizzati, nonché del grado di conoscenza delle caratteristiche dei terreni in esame, si è fatto riferimento ad una soglia limite per la sicurezza pari a  $F_{SL}=1.25$ , come prescritto per progetti realizzati riferendosi all'Eurocodice EC8 - Parte 5 all'art. 4.1.4(11), recepito nell'annex nazionale con Decreto Ministeriale 31/07/2012 (per "progettazione delle strutture per la resistenza sismica"). Tale soglia di riferimento viene altresì raccomandata nelle linee guida per la protezione Civile ICMS, Parte I-II, al par. 2.7.1.2 e richiamata nelle Linee Guida AGI-2005.

In ogni caso come puntualizzato al Capitolo n. 1 del D.M. 14-01-2008 *"per quanto non espressamente specificato nel presente documento, ci si può riferire a normative"....."fornite dagli Eurocodici con le relative Appendici Nazionali che costituiscono indicazioni di comprovata validità e forniscono il sistematico supporto applicativo delle presenti norme"*.

Pertanto, sulla base di quanto sopra esposto, appare pienamente giustificata la scelta del fattore di sicurezza  $F_{SL}=1.25$ .

Come indicatore di rischio complessivo, oltre al valore di  $F_{SL}$  per ciascun singolo strato, è stato stimato il potenziale di liquefazione LPI lungo la colonna stratigrafica fino alla profondità di 20 metri da piano campagna, secondo la seguente relazione:


$$LPI = \int_0^{20} F(z) \cdot w(z) \cdot dz, \text{ dove:}$$

- $z$  è la profondità dal piano campagna in metri variabile da 0 a 20 m. L'analisi di liquefazione considera i terreni presenti nei primi 20 m di profondità in accordo alle indicazioni di letteratura tecnica secondo cui oltre questa profondità sono poco probabili fenomeni di liquefazione significativi;
- $w(z) = 10 - 0.5 \cdot z$ ;
- $F(z) = 0$  se  $F_L > 1.2$
- $F(z) = 2 \times 10^6 e^{-18.427 FSL}$  se  $0.95 < F_L \leq 1.2$
- $F(z) = 1 - FSL$  se  $FSL \leq 0.95$

In funzione del potenziale di liquefazione LPI, vengono definite le seguenti classi di pericolosità (Sonmez et al., 2003):

- $LPI = 0$  non liquefacibile;
- $0 < LPI \leq 2$  potenziale basso;
- $2 < LPI \leq 5$  potenziale moderato;
- $5 < LPI \leq 15$  potenziale alto;
- $LPI > 15$  potenziale molto alto.



	RISPOSTA SISMICA LOCALE				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	11300273776		2	47	82
	PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA				

## 6.4 RISULTATI DELLE VERIFICHE

Nella seguente tabella sono riportati, per le verticali penetrometriche analizzate, i valori di potenziale di liquefazione PLI e cedimenti attesi in relazione allo scenario di scuotimento di riferimento ( $M_W=6.14$ ) per le analisi effettuate a partire dal piano di campagna, quindi simulando le condizioni presenti all'esterno delle opere in progetto. Nelle figure riportate in calce al presente paragrafo sono indicati graficamente i dati di input ed i risultati delle verifiche.

Prova	LPI	Cedimento atteso (cm)
CPTU1	14,839	29,17
CPTU3	6,218	12,09
CPTU4	6,640	13,01
CPTU5	5,196	10,52
CPTU7	13,957	26,51
CPTUA	5,661	11,84
CPTUB	5,528	11,20
CPTUC	6,176	12,74

Nella seguente tabella sono riportati, per le verticali penetrometriche analizzate, i valori di potenziale di liquefazione PLI in relazione allo scenario di scuotimento di riferimento ( $M_W=6.14$ ) per le analisi effettuate a partire dalle diverse quote di approfondimento delle opere in progetto e considerando l'irrigidimento dovuto alla realizzazione delle barrettes in c.a. I cedimenti non sono stati riportati in quanto nulli o trascurabili.

Prova	Approfondimento delle fondazioni (m da p.c.)	LPI
CPTU1	-13,95	0,035
CPTU3	-10,05	0,007
CPTU4	-13,95	0,000
CPTU5	-10,05	0,000
CPTU7	-10,05	0,546
CPTUA	-10,05	0,052
CPTUB	-10,05	0,025
CPTUC	-10,05	0,005

In conclusione, in riferimento al potenziale di liquefazione LPI, nella configurazione di progetto i terreni di fondazione risultano non liquefacibili o con una pericolosità di liquefazione bassa (PLI medio= 0,084). In riferimento alle condizioni al contorno delle opere in progetto, invece, la pericolosità di liquefazione risulta alta (PLI medio = 8,027).

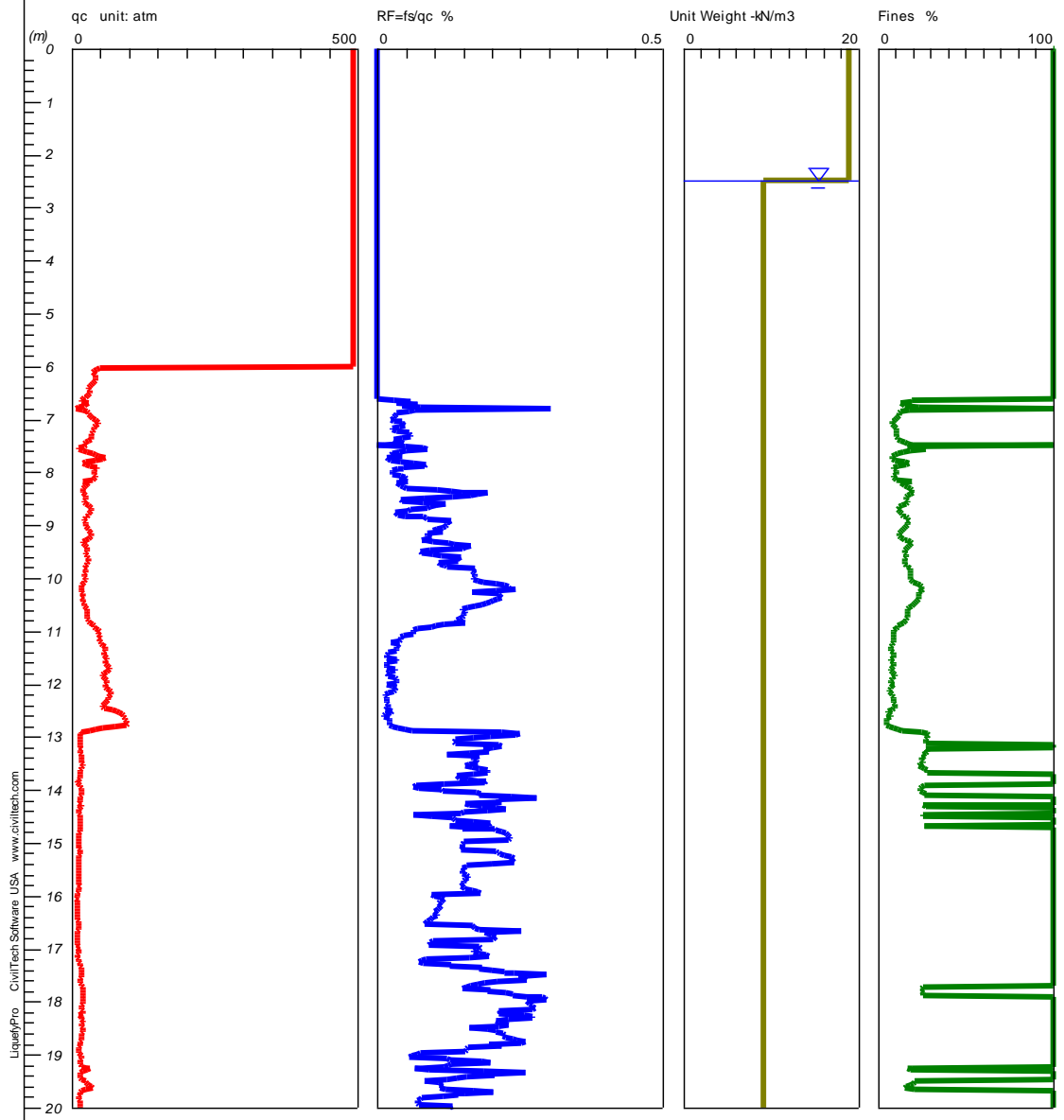
Pertanto, nel calcolo delle strutture di contenimento del terreno (diaframmi) è stata considerata la possibilità di liquefazione dei terreni in sito, come da "Relazione di calcolo delle fondazioni" (id documento C00RC06).

# LIQUEFACTION ANALYSIS

## VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

Hole No.=CPTU1 Water Depth=2.5 m

Magnitude=6.14  
Acceleration=0.26g



CPT test

CPT test

Fines are based on

Robertson

CivilTech Corporation

Plate A-1

## RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)

11300273776

ID DOC. (DOC. ID)

REV.

2

N° FG. (SH. N.)

49

DI (LAST)

82

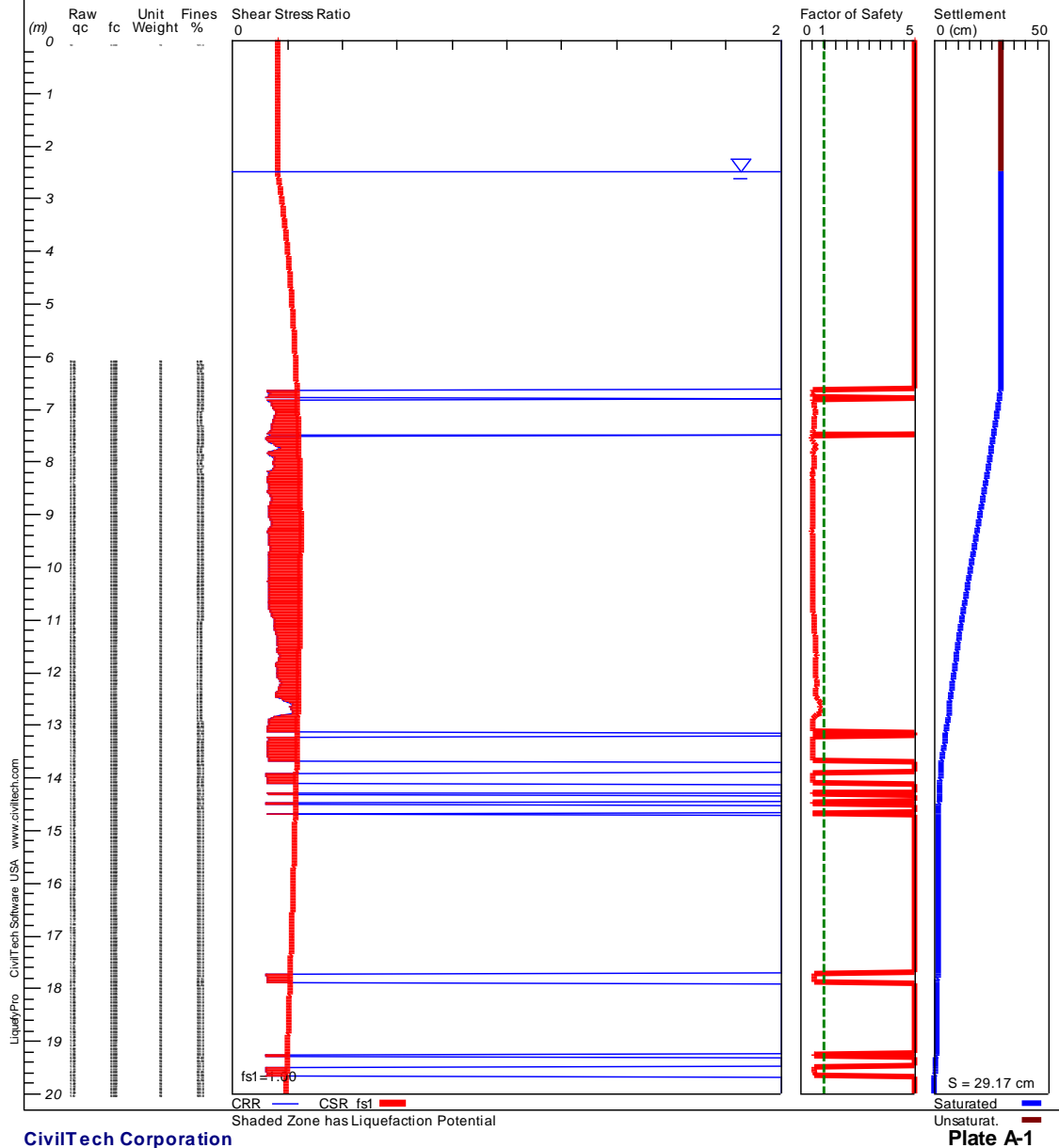
PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

# LIQUEFACTION ANALYSIS

## VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

Hole No.=CPTU1 Water Depth=2.5 m

Magnitude=6.14  
Acceleration=0.26g



CivilTech Corporation

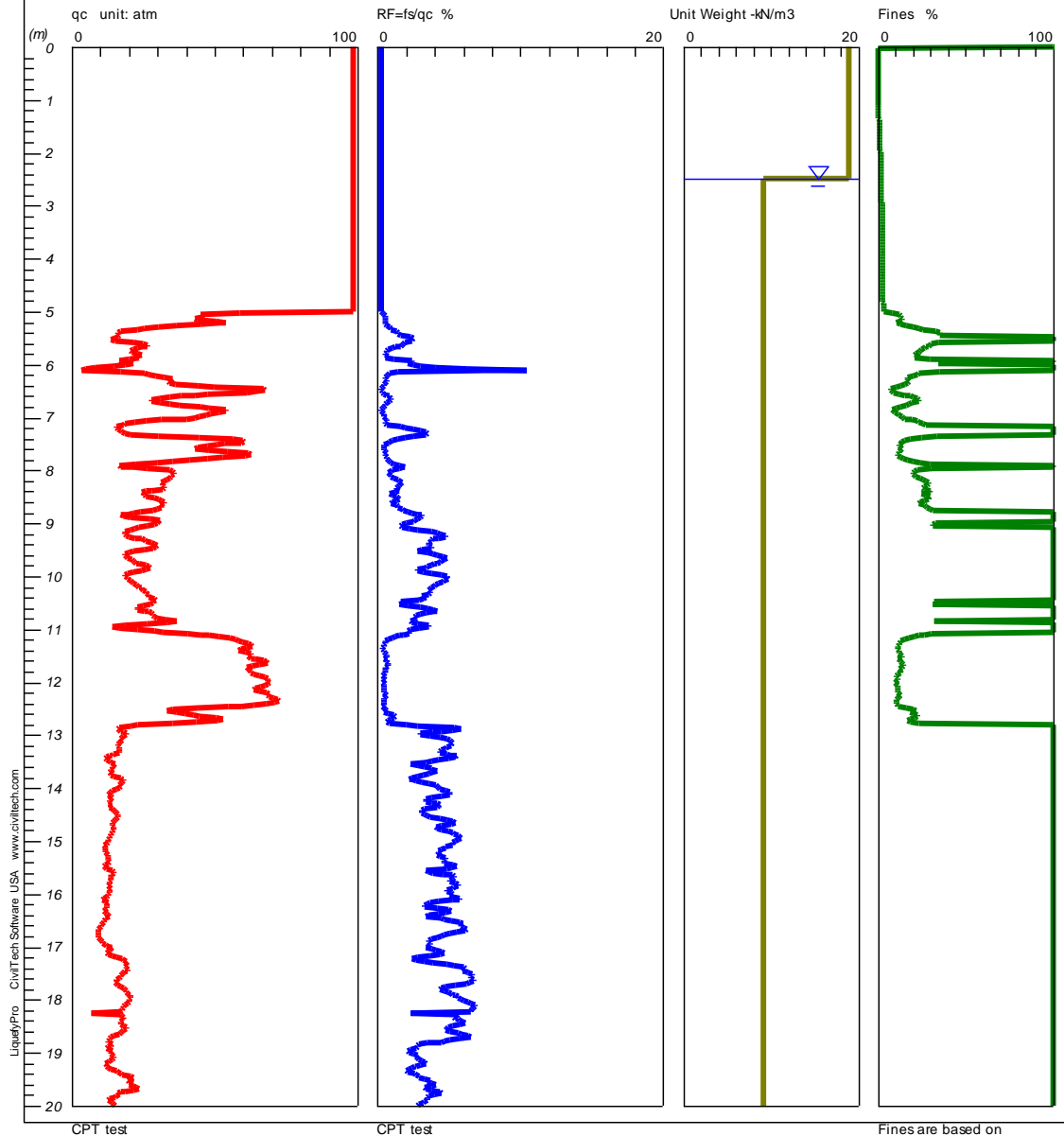
Plate A-1

# LIQUEFACTION ANALYSIS

## VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

Hole No.=CPTU3 Water Depth=2.5 m

Magnitude=6.14  
Acceleration=0.26g



## RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)

11300273776

ID DOC. (DOC. ID)

REV.

2

N° FG. (SH. N.)

51

DI (LAST)

82

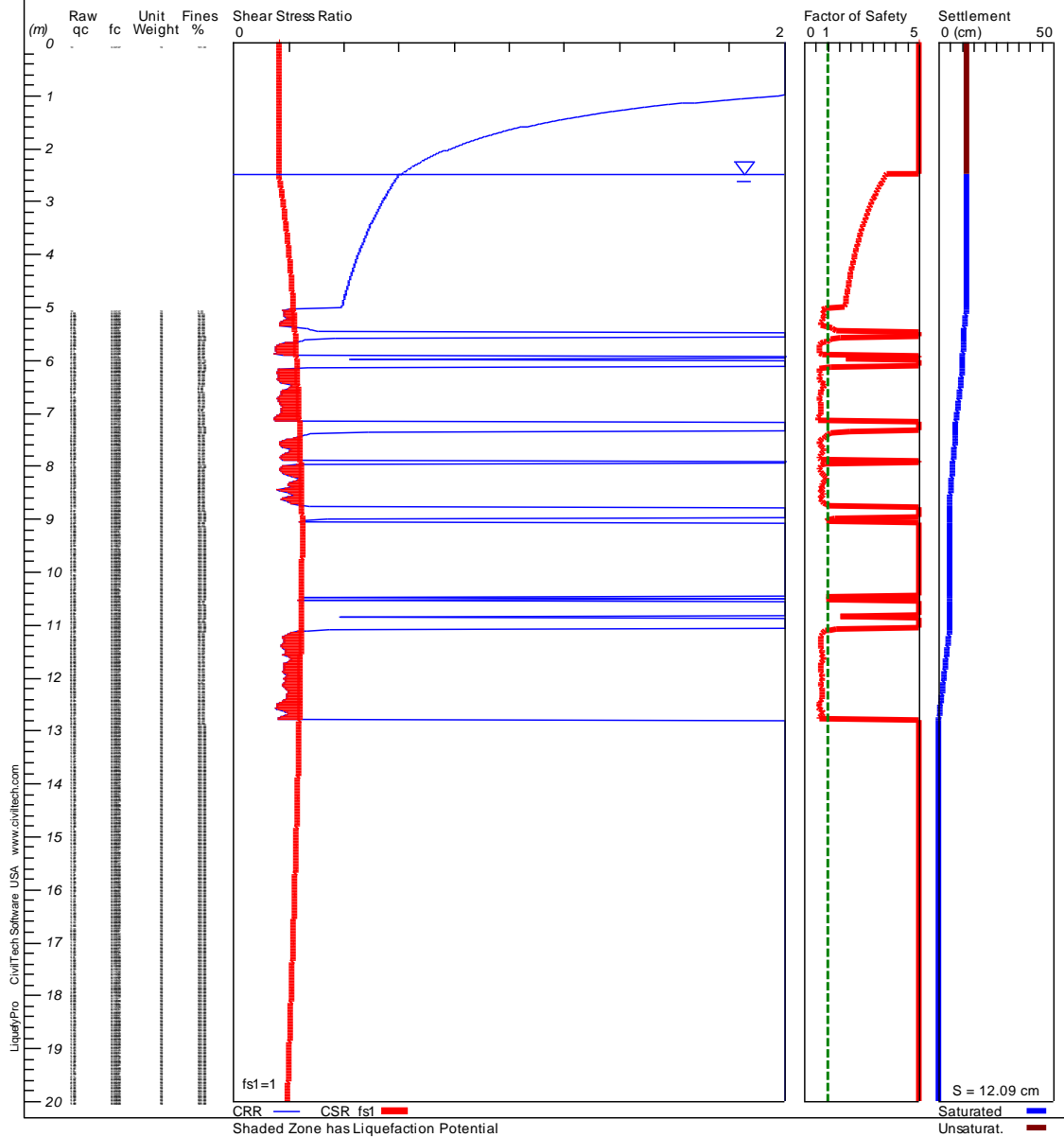
PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

# LIQUEFACTION ANALYSIS

## VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

Hole No.=CPTU3 Water Depth=2.5 m

Magnitude=6.14  
Acceleration=0.26g



CivilTech Corporation

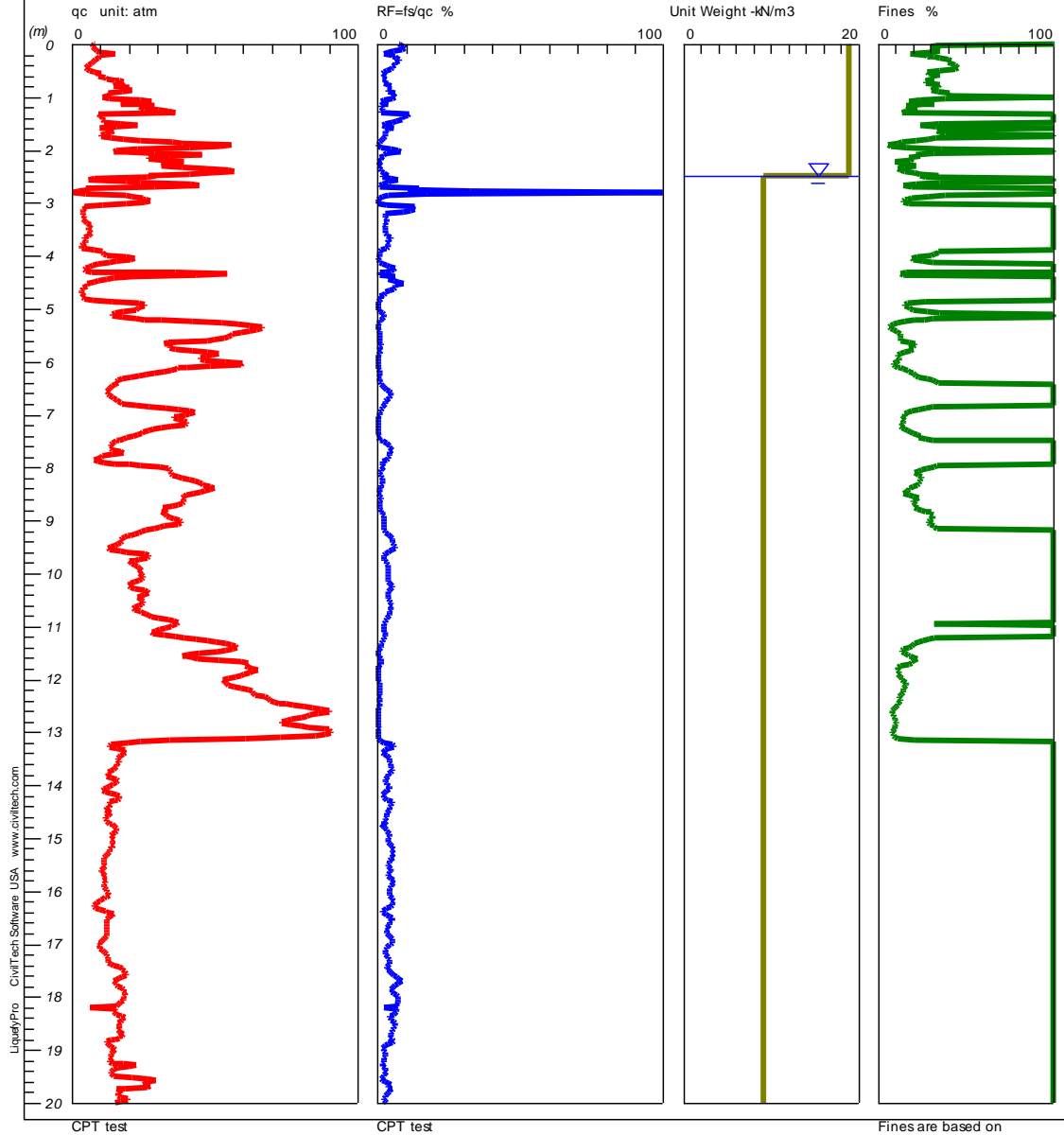
Plate A-1

# LIQUEFACTION ANALYSIS

## VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

Hole No.=CPTU4 Water Depth=2.5 m

Magnitude=6.14  
Acceleration=0.26g



## RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)

11300273776

ID DOC. (DOC. ID)

REV.

2

N° FG. (SH. N.)

53

DI (LAST)

82

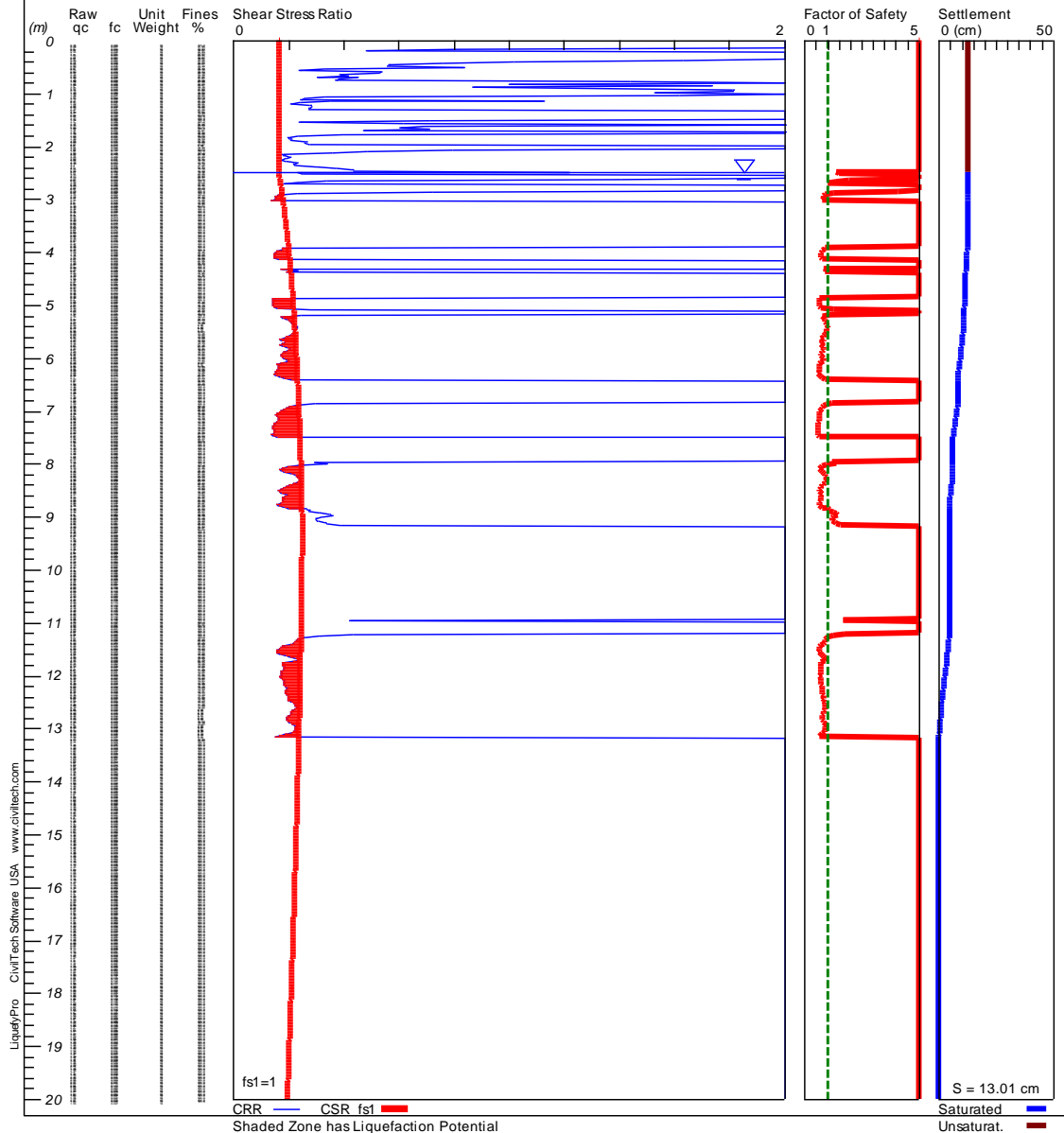
PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

# LIQUEFACTION ANALYSIS

## VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

Hole No.=CPTU4 Water Depth=2.5 m

Magnitude=6.14  
Acceleration=0.26g



CivilTech Corporation

Plate A-1

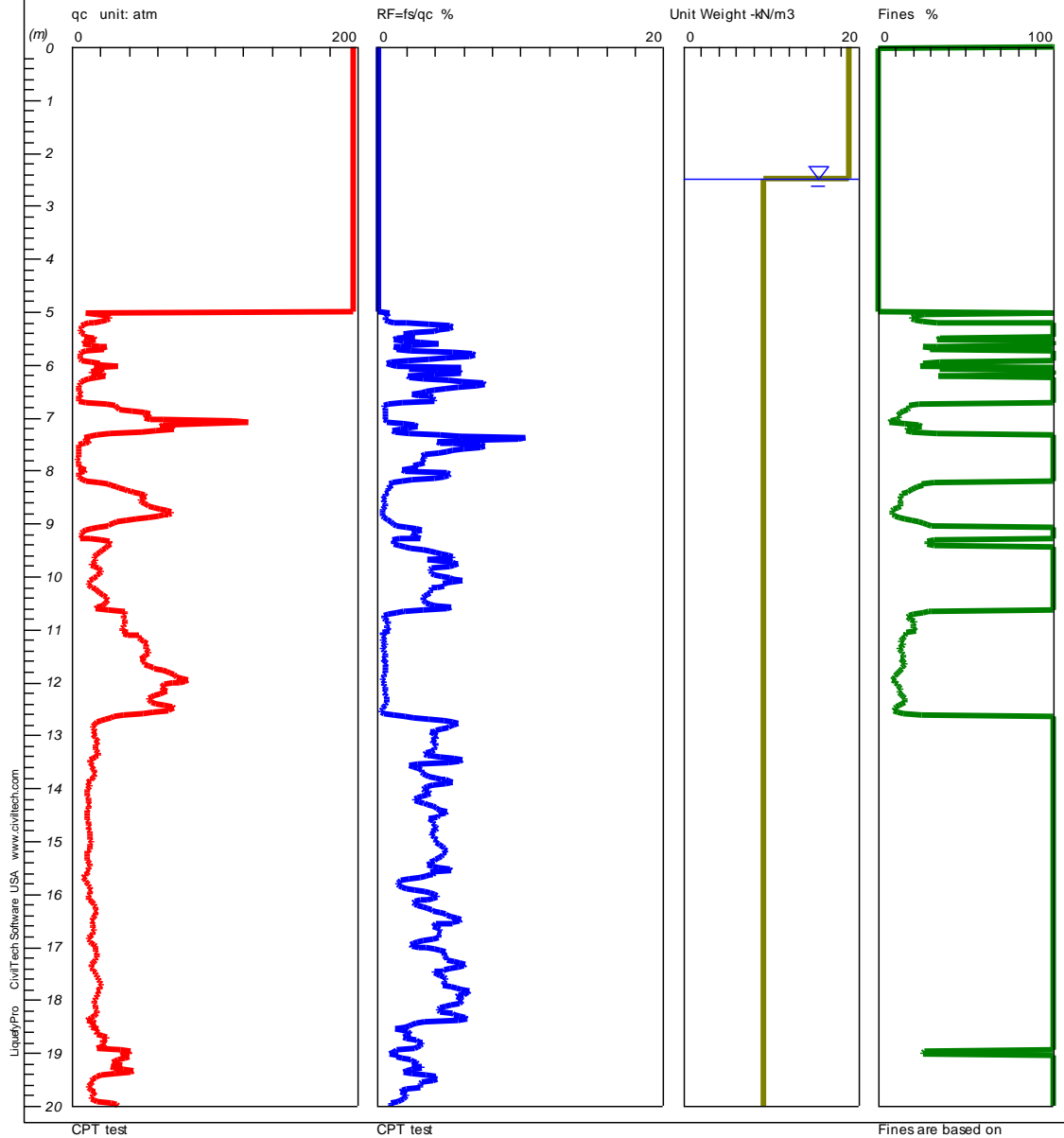


# LIQUEFACTION ANALYSIS

## VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

Hole No.=CPTU5 Water Depth=2.5 m

Magnitude=6.14  
Acceleration=0.26g



## RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)

11300273776

ID DOC. (DOC. ID)

REV.

2

N° FG. (SH. N.)

55

DI (LAST)

82

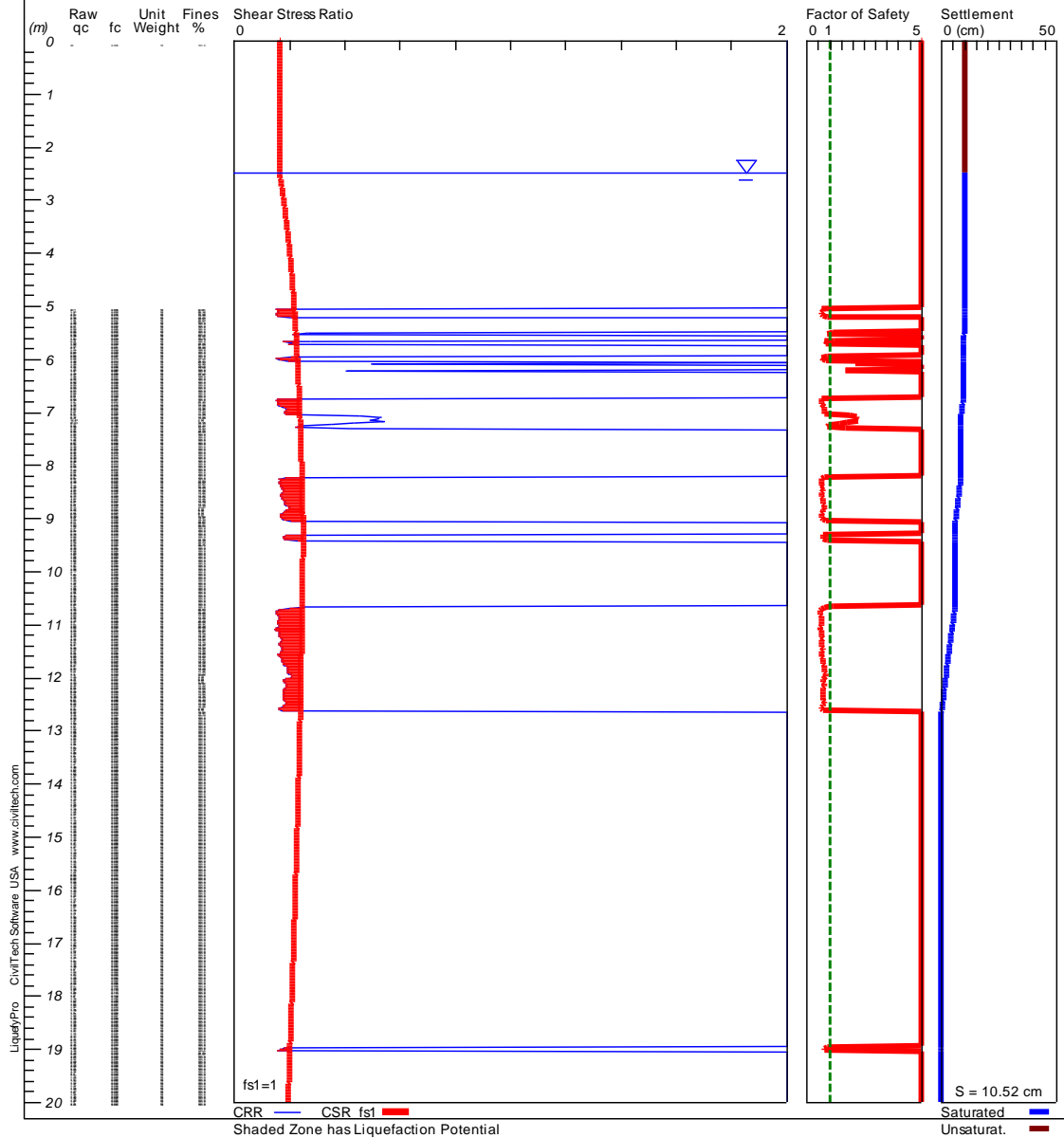
PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

# LIQUEFACTION ANALYSIS

## VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

Hole No.=CPTU5 Water Depth=2.5 m

Magnitude=6.14  
Acceleration=0.26g



CivilTech Corporation

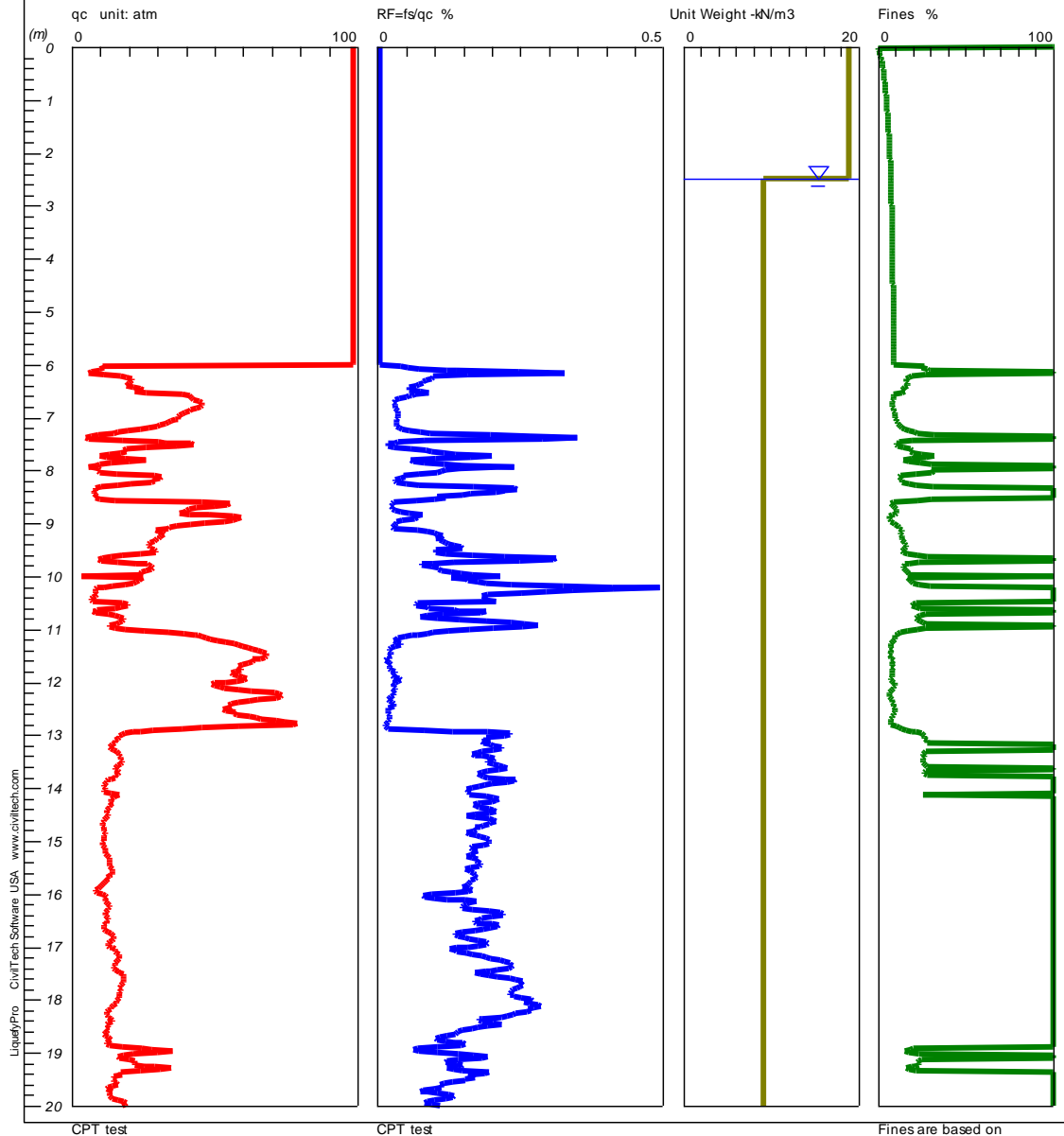
Plate A-1

# LIQUEFACTION ANALYSIS

## VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

Hole No.=CPTU7 Water Depth=2.5 m

Magnitude=6.14  
Acceleration=0.26g



## RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)

11300273776

ID DOC. (DOC. ID)

REV.

2

N° FG. (SH. N.)

57

DI (LAST)

82

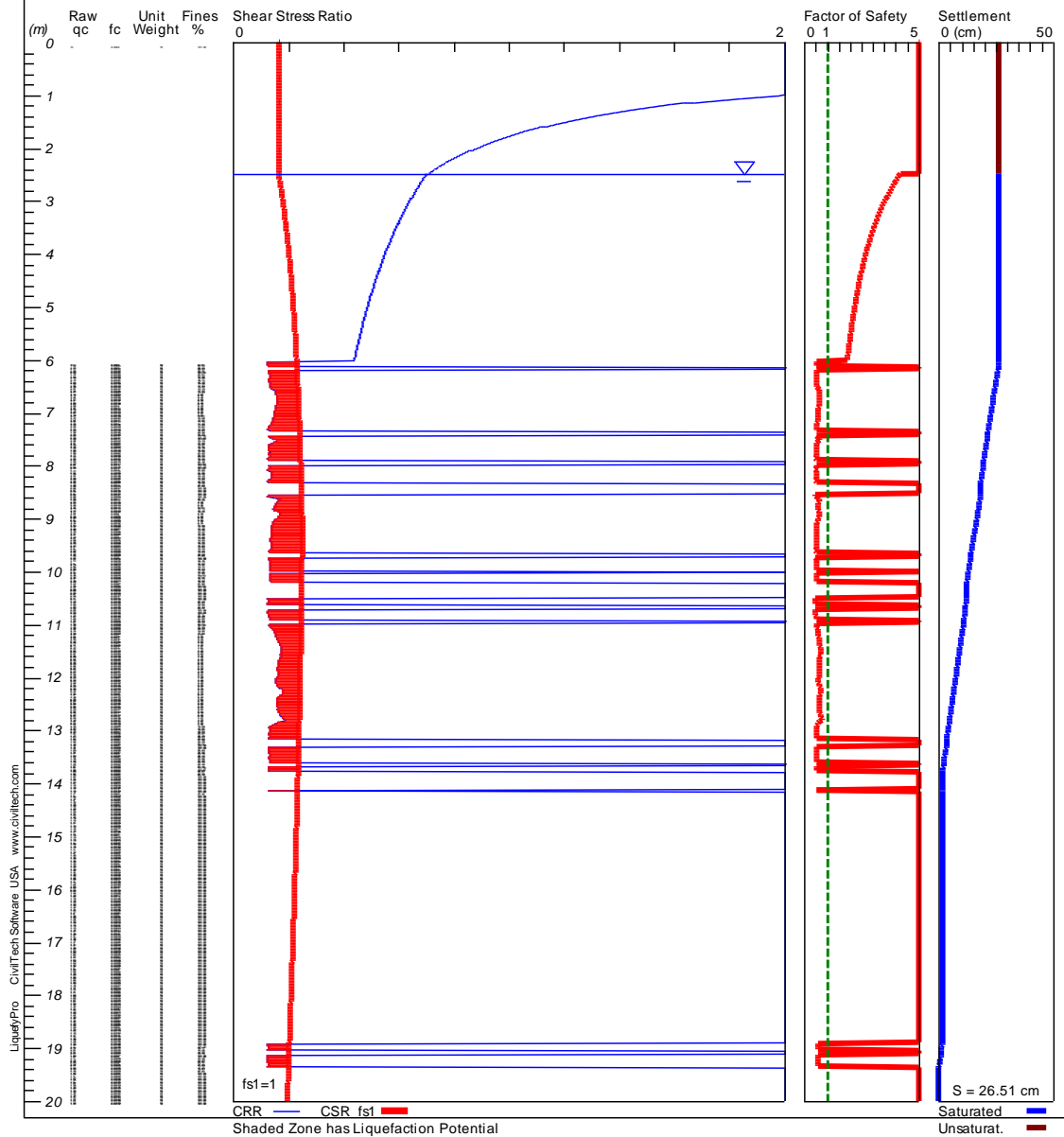
PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

# LIQUEFACTION ANALYSIS

## VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

Hole No.=CPTU7 Water Depth=2.5 m

Magnitude=6.14  
Acceleration=0.26g



CivilTech Corporation

Plate A-1

**RISPOSTA SISMICA LOCALE**

N° COMMESSA (JOB N°)

**11300273776**

ID DOC. (DOC. ID)

REV.

**2**

N° FG. (SH. N.)

**58**

DI (LAST)

**82**

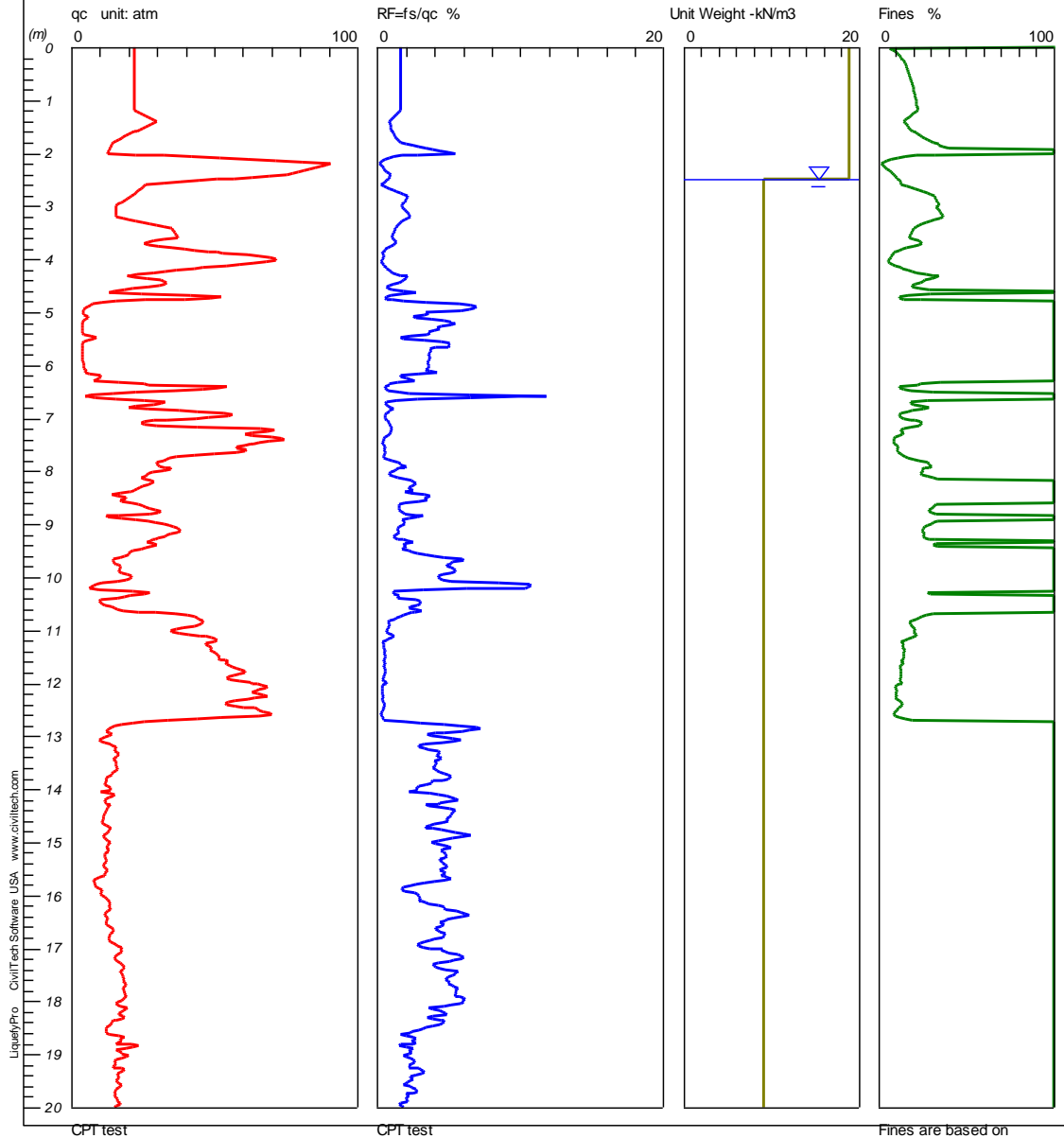
**PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA**

**LIQUEFACTION ANALYSIS**

**VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA**

**Hole No.=CPTUA Water Depth=2.5 m**

**Magnitude=6.14  
Acceleration=0.26g**



**CivilTech Corporation**

**Page A-1**

## RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)

11300273776

ID DOC. (DOC. ID)

REV.

2

N° FG. (SH. N.)

59

DI (LAST)

82

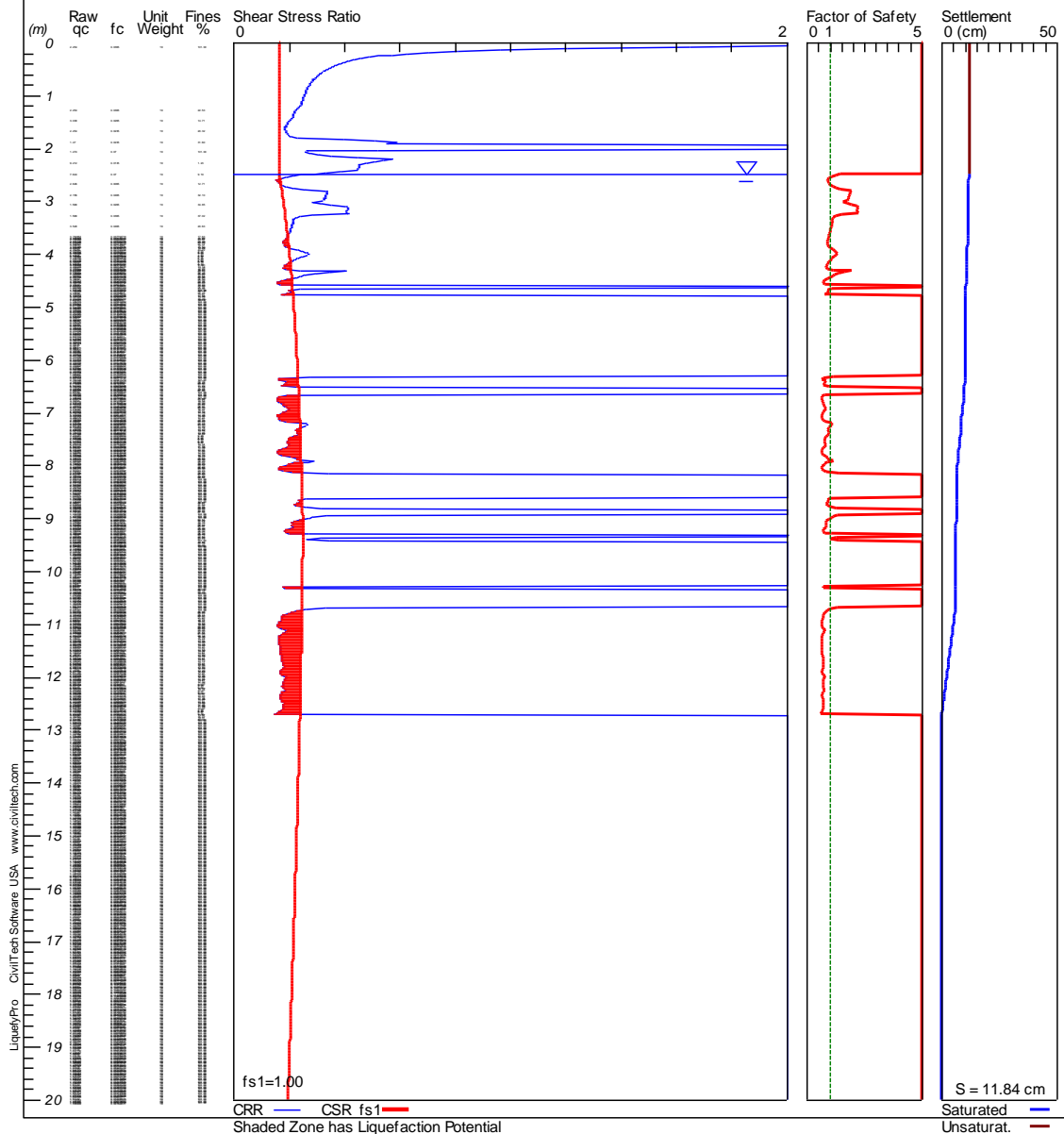
PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

# LIQUEFACTION ANALYSIS

## VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

Hole No.=CPTUA Water Depth=2.5 m

Magnitude=6.14  
Acceleration=0.26g



CivilTech Corporation

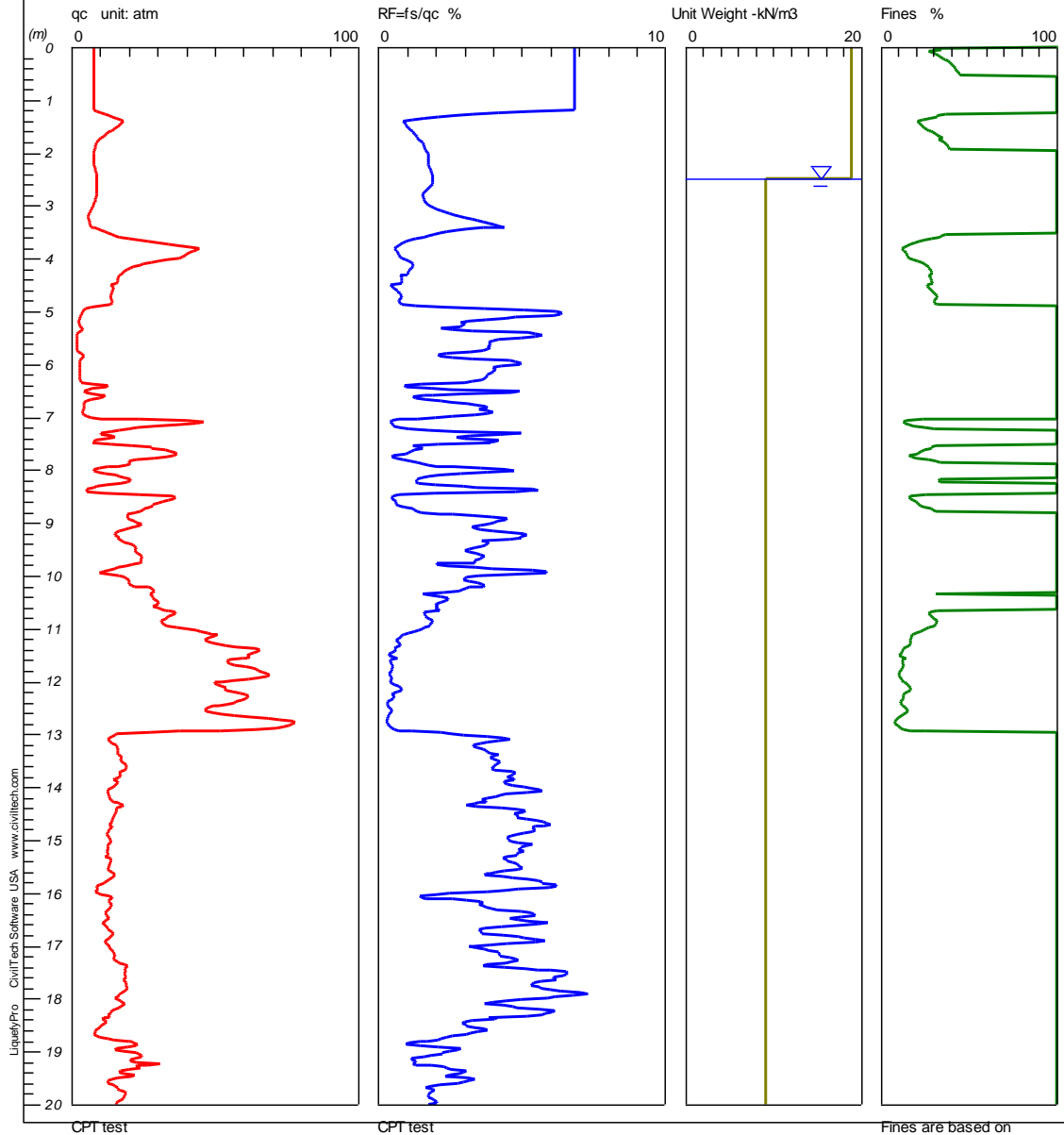
Plate A-1

# **LIQUEFACTION ANALYSIS**

## **VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA**

**Hole No.=CPTUB Water Depth=2.5 m**

**Magnitude=6.14  
Acceleration=0.26g**



CivilTech Corporation

Fines are based on  
Robertson **Figure A-1**



**RISPOSTA SISMICA LOCALE**

N° COMMESSA (JOB N°)

**11300273776**

ID DOC. (DOC. ID)

REV.

**2**

N° FG. (SH. N.)

**61**

DI (LAST)

**82**

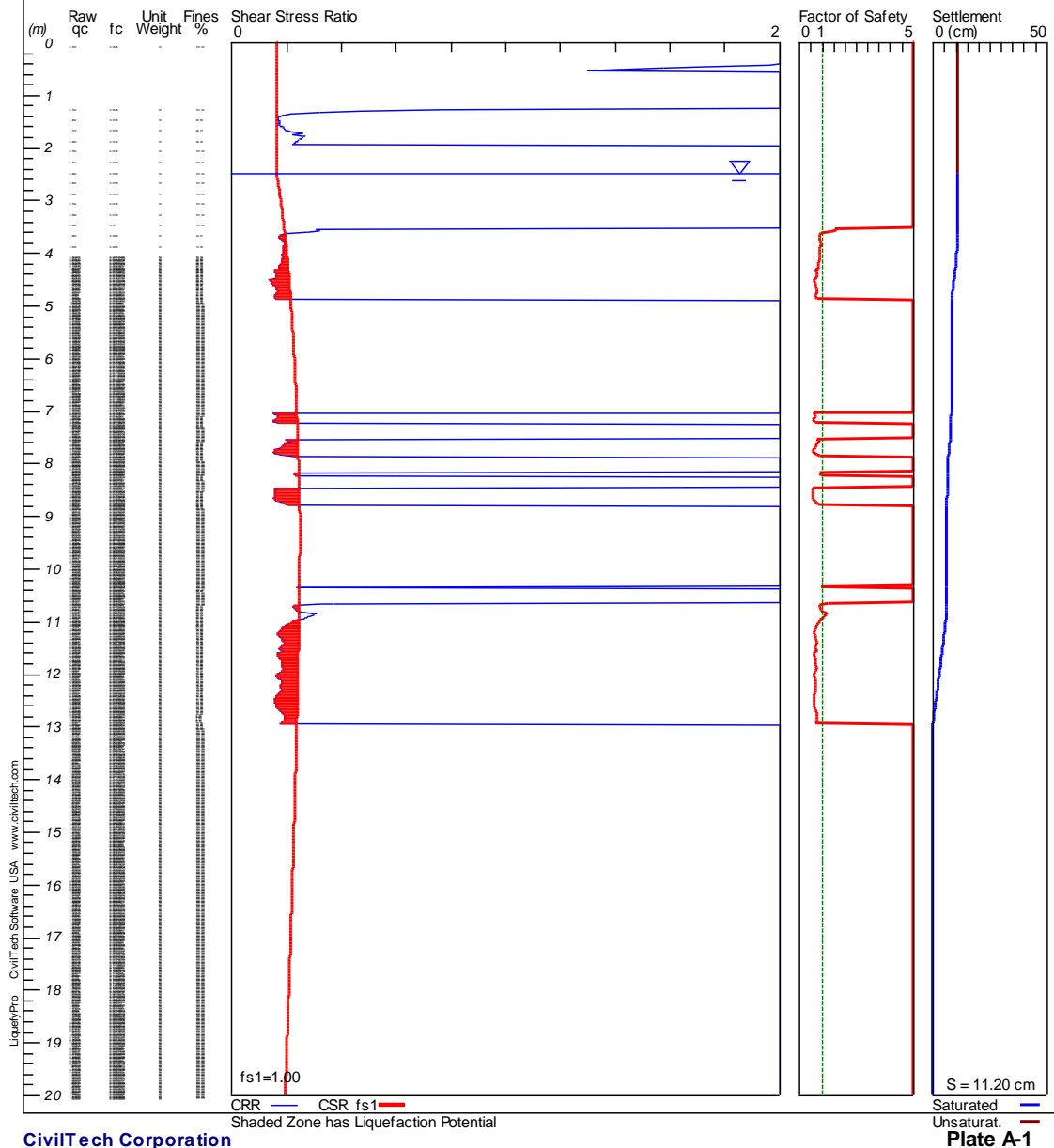
**PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA**

**LIQUEFACTION ANALYSIS**

**VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA**

Hole No.=CPTUB Water Depth=2.5 m

Magnitude=6.14  
Acceleration=0.26g



CivilTech Corporation

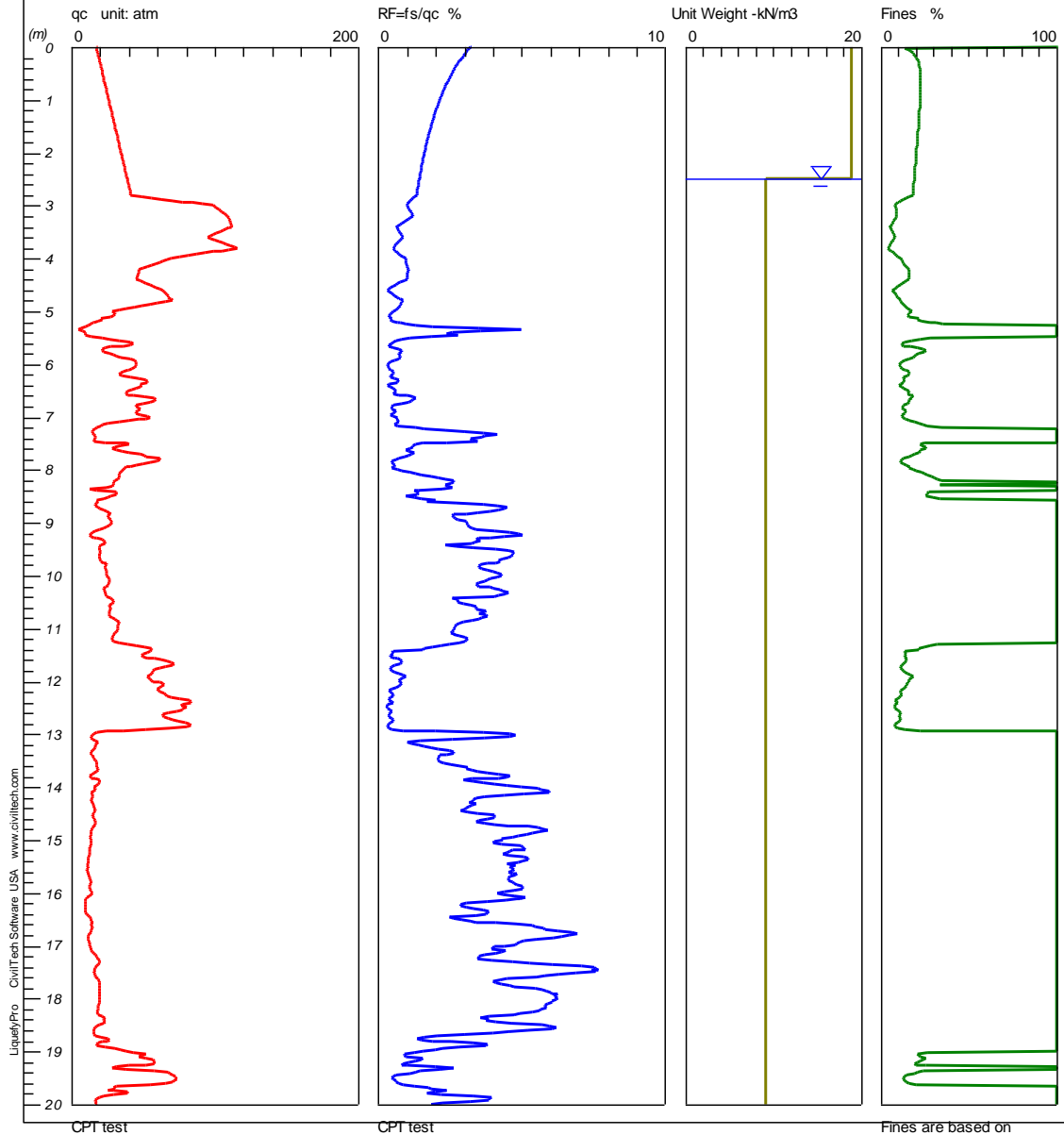
Plate A-1

# LIQUEFACTION ANALYSIS

## VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

Hole No.=CPTUC Water Depth=2.5 m

Magnitude=6.14  
Acceleration=0.26g



## RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)

11300273776

ID DOC. (DOC. ID)

REV.

2

N° FG. (SH. N.)

63

DI (LAST)

82

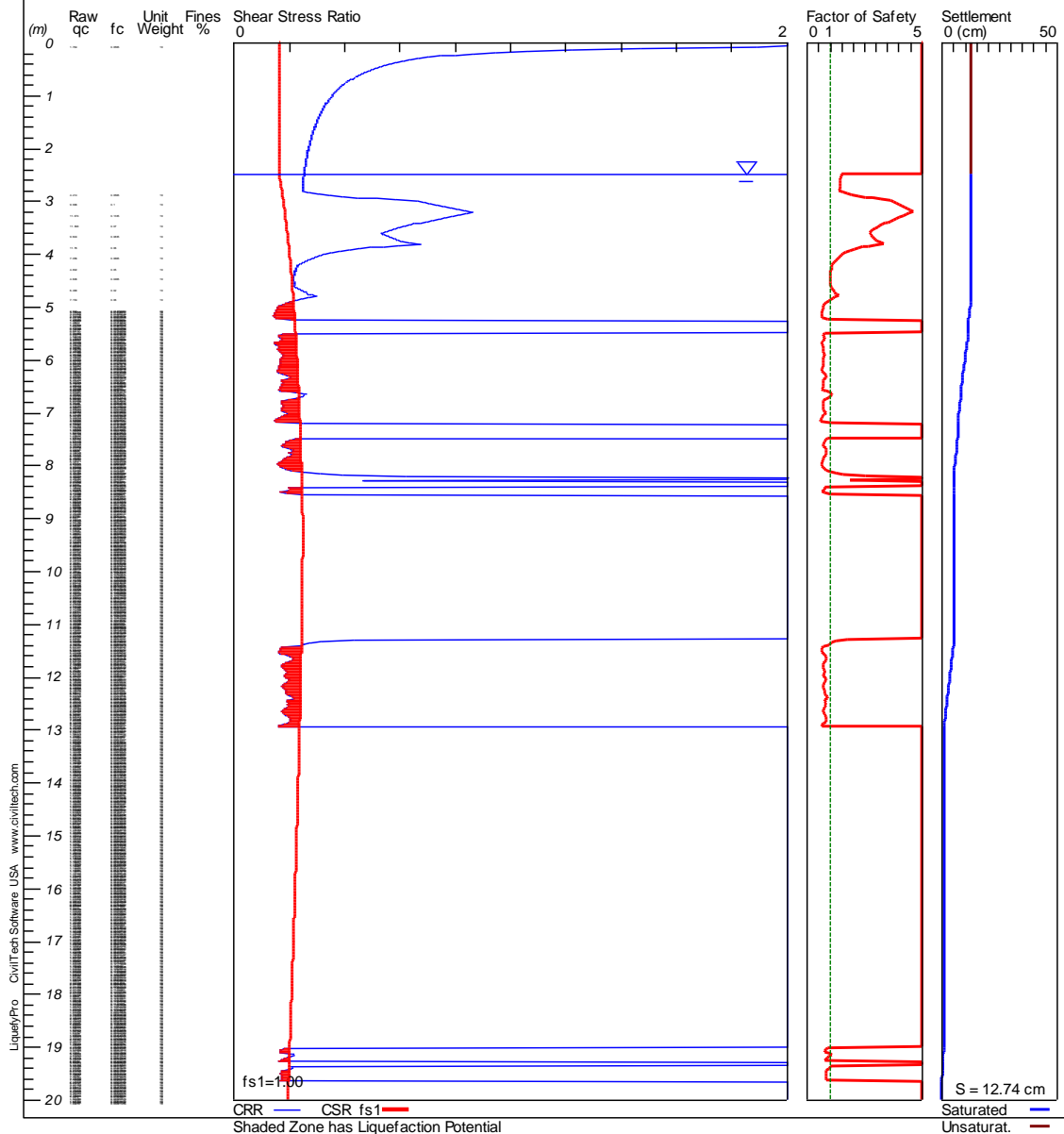
PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

# LIQUEFACTION ANALYSIS

## VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA


Hole No.=CPTUC Water Depth=2.5 m

Magnitude=6.14  
Acceleration=0.26g



CivilTech Corporation

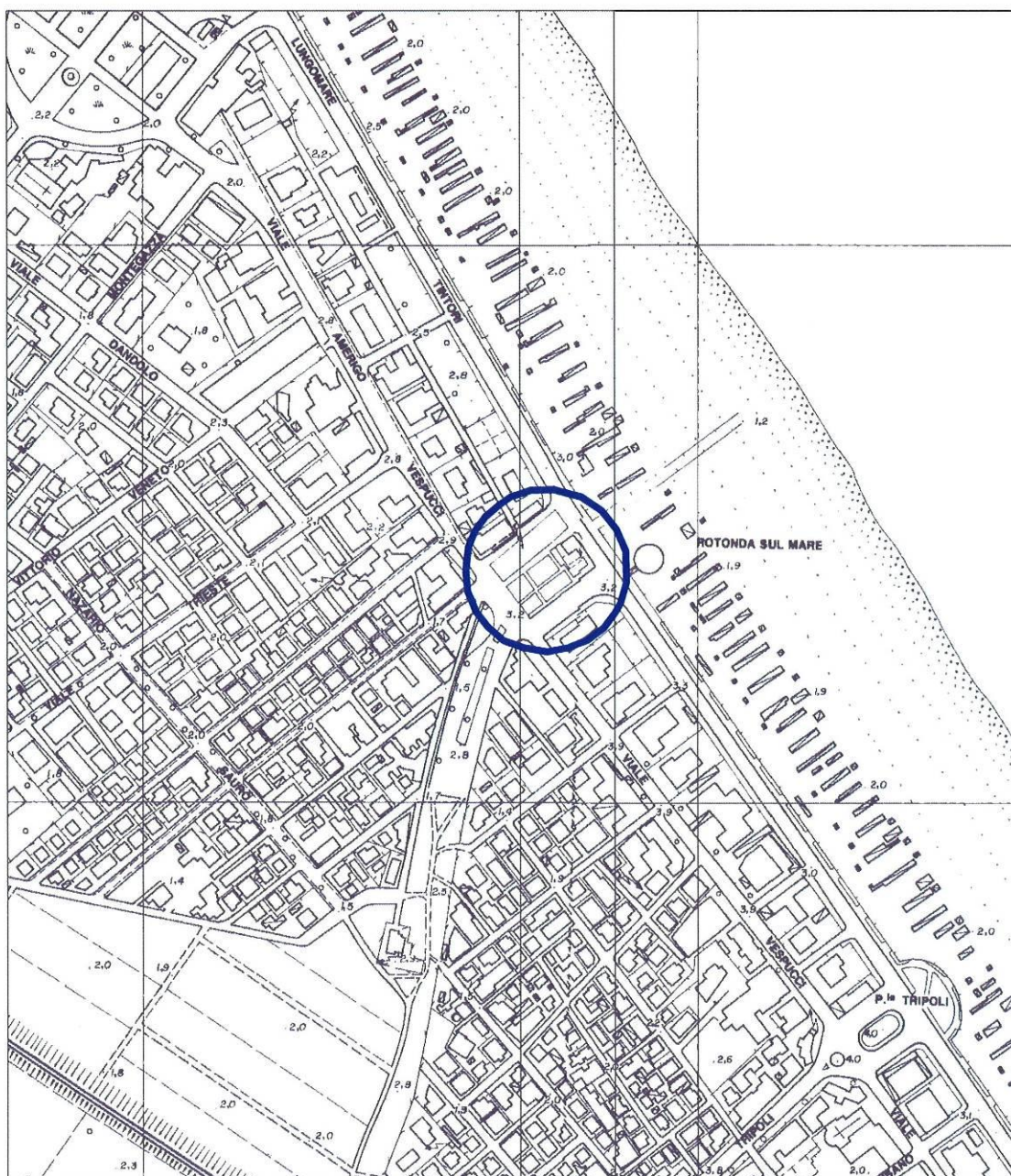
Plate A-1

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>				
	N° COMMESSA ( <i>JOB N°</i> )	ID DOC. ( <i>DOC. ID</i> )	REV.	N° FG. ( <i>SH. N.</i> )	DI ( <i>LAST</i> )
	<b>11300273776</b>		<b>2</b>	<b>64</b>	<b>82</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

**ALLEGATI**

Allegato n. 1

**C O R O G R A F I A**



C.T.R. SCALA 1: 5.000

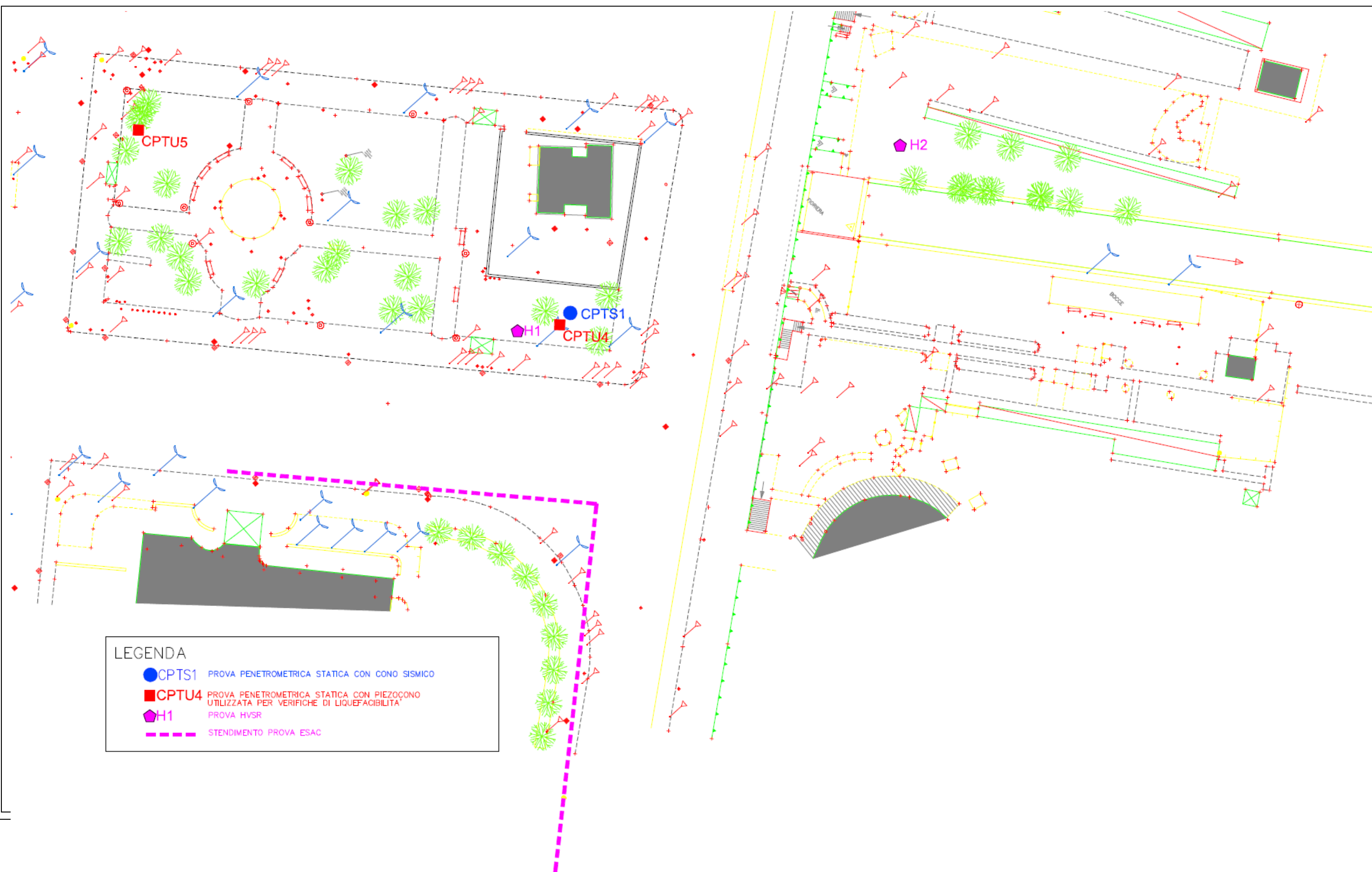
FOGLIO 256 RIMINI - ELEMENTI I12 RIMINI - I23 BELLARIVA



Area di studio



ALLEGATO N. 2 - SCHEMA PLANIMETRICO PROVE GEOGNOSTICHE - GEOFISICHE



COMMITTENTE	POLISTUDIO
CONO SISMICO	Cono Sismico 1
Località	Rimini Piazzale Kennedy
Data acquisizione	17/04/2015

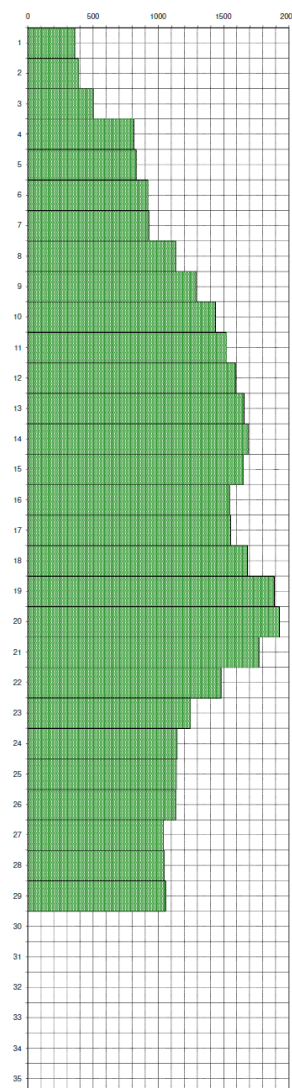
Codice lavoro 1570



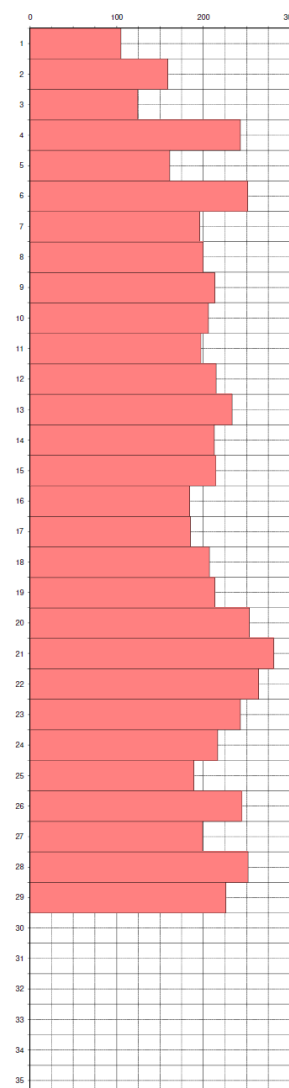
Profondità	Vp	Vs	v	γ	E <sub>din</sub>	G <sub>din</sub>	K <sub>din</sub>
	m/sec.	m/sec.		T/m³	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²

0							
1	356	105	0.45	1.56	508	175	1779
2	384	159	0.40	1.58	1135	406	1833
3	498	124	0.47	1.66	768	262	3847
4	811	243	0.45	1.82	3180	1096	10747
5	828	161	0.48	1.83	1433	484	12131
6	921	251	0.46	1.87	3498	1198	14532
7	925	196	0.48	1.87	2160	731	15300
8	1130	200	0.48	1.94	2344	790	24174
9	1291	213	0.49	1.99	2743	923	32537
10	1436	206	0.49	2.03	2617	878	41522
11	1517	197	0.49	2.05	2428	814	47058
12	1591	215	0.49	2.07	2906	975	52094
13	1656	234	0.49	2.09	3455	1159	56759
14	1690	213	0.49	2.09	2888	968	59651
15	1648	214	0.49	2.08	2908	975	56416
16	1545	185	0.49	2.06	2133	715	49158
17	1552	185	0.49	2.06	2156	722	49630
18	1683	207	0.49	2.09	2737	917	59141
19	1887	213	0.49	2.14	2955	989	76257
20	1928	253	0.49	2.15	4177	1401	79438
21	1770	281	0.49	2.11	5058	1701	65142
22	1479	264	0.48	2.04	4306	1451	43607
23	1243	243	0.48	1.97	3510	1186	29521
24	1141	216	0.48	1.94	2750	928	24558
25	1137	189	0.49	1.94	2105	708	24653
26	1131	244	0.48	1.94	3481	1179	23736
27	1038	200	0.48	1.91	2293	774	19927
28	1042	252	0.47	1.91	3633	1237	19488
29	1053	226	0.48	1.91	2939	996	20301
30							
31							
32							
33							
34							
35							

VELOCITA' ONDE DI COMPRESSIONE
m/sec



VELOCITA' ONDE DI TAGLIO
m/sec



#### Legenda parametri dinamici

Tp	Tempi onde di compressione	millisecondi	γ	Peso di volume	T/m³
Ts	Tempi onde di taglio	millisecondi	E <sub>din</sub>	Modulo di Elasticità dinamico	Kg/cm²
Vp	Velocità onde di compressione	m/sec	G <sub>din</sub>	Modulo di Taglio dinamico	Kg/cm²
Vs	Velocità onde di taglio	m/sec	K <sub>din</sub>	Modulo di Compressibilità dinamico	Kg/cm²
v	Coefficiente di Poisson	-			

#### CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI (D.M. del 14/01/2008)

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} \quad Vs_{30} = 208 \quad \text{m/sec}$$

CATEGORIA SUOLO = C



RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
11300273776		2	68	82

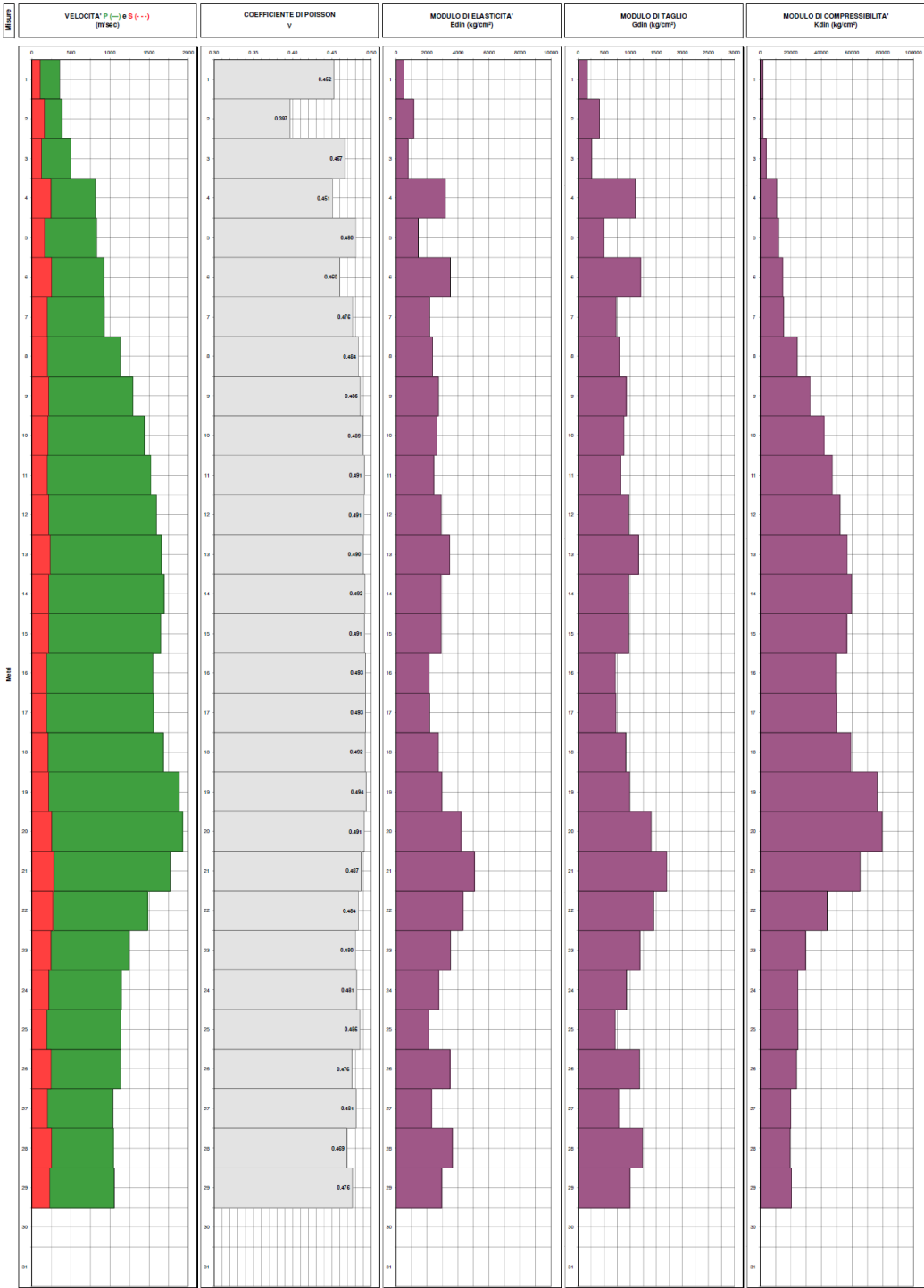
PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

COMMITTENTE
CONO SISMICO
Località
Data acquisizione

POLISTUDIO
Cono Sismico 1
Rimini Piazzale Kennedy
17/04/2015



GRAFICI DEI PARAMETRI ELASTICI DINAMICI





## RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
11300273776		2	69	82

PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

## ANTENNA SISMICA (ESAC)

**CLIENTE:** Polistudio

**CODICE LAVORO:** 1570

**CODICE PROVA:** Esac1

**LOCALITA':** Piazzale John Fitzgerald Kennedy - Rimini

**DATA PROVA:** 16/03/2015

**Coordinata est:** 12.582716°

**Coordinata nord:** 44.067163°

**QUOTA (m.s.l.m.):** 3

**TERRENO DI MISURA:** Naturale soffice

**SPACING:** 5 m.

**RECORD TIME (min):** 18

**CONDIZIONI METEO:** Sole

FOTO AEREA (Google Earth)

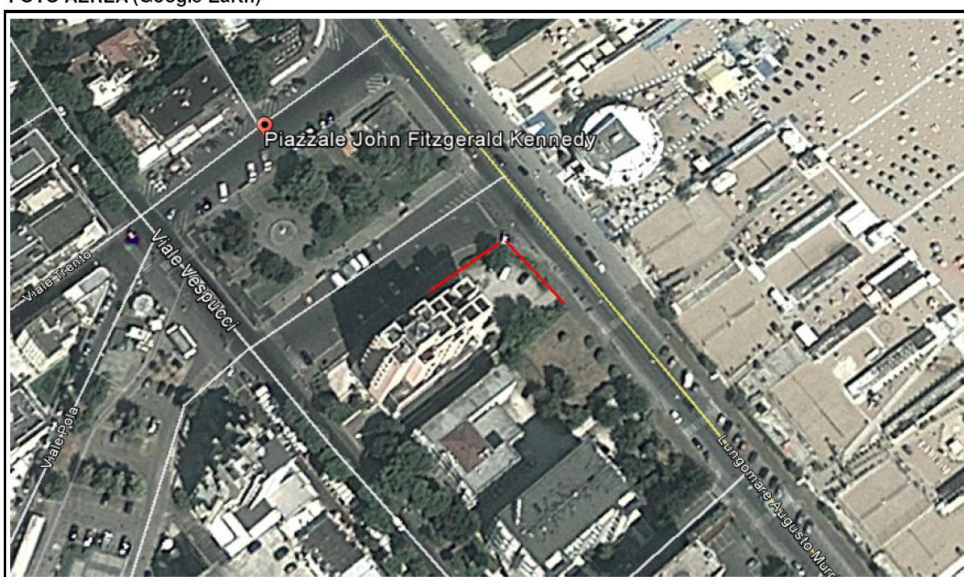
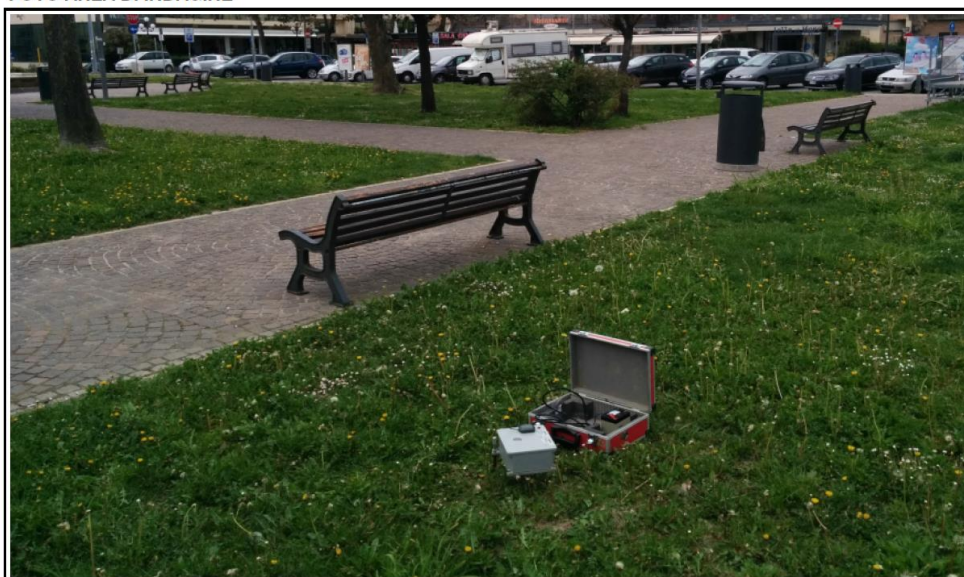


FOTO AREA DI INDAGINE





## RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)

11300273776

ID DOC. (DOC. ID)

REV.

2

N° FG. (SH. N.)

70

DI (LAST)

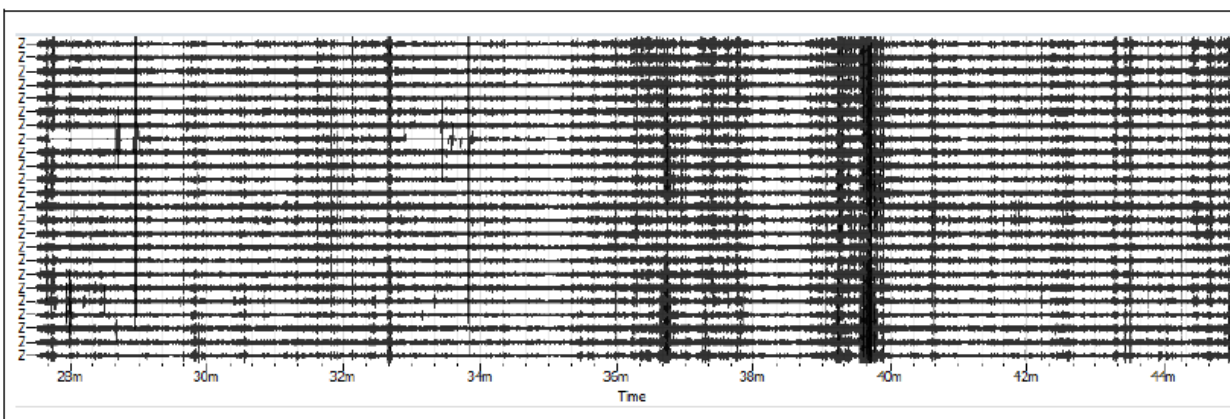
82

PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

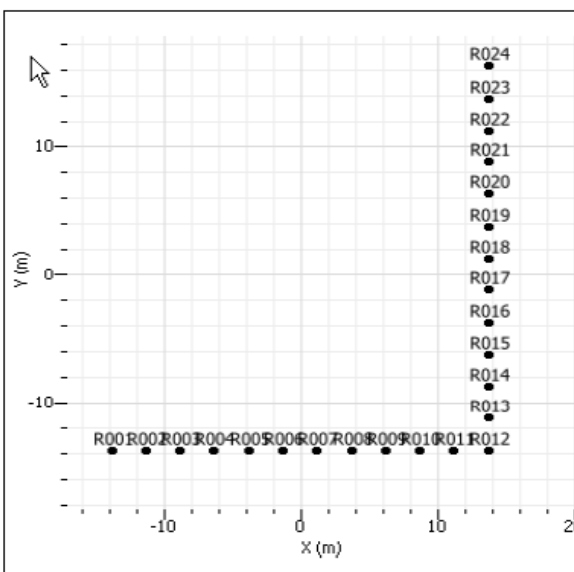
## ANTENNA SISMICA (ESAC)

**CLIENTE** Polistudio**CODICE LAVORO** 1570**CODICE PROVA** Esac1**LOCALITA':** Piazzale John Fitzgerald Kennedy - Rimini**DATA PROVA:** 16/03/2015**LONGITUDINE:** 12.582716°**LATITUDINE:** 44.067163°**QUOTA (m.s.l.m.):** 3**STRUMENTAZIONE** Geometrics GEODE**N° CANALI** 24**SPACING** 5 m.**RECORD TIME (min)** 18**SAMPLING (Sec)** 0.0

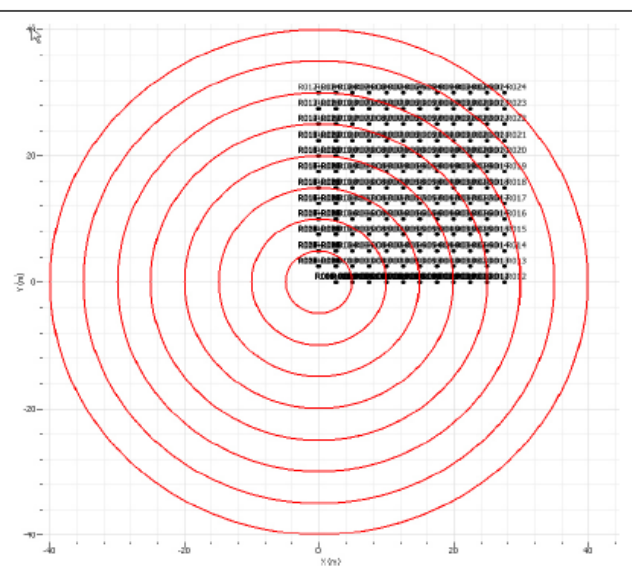
### REGISTRAZIONE



### PLANIMETRIA ARRAY



### CO-ARRAY E RINGS



# RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
11300273776		2	71	82

PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

## RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

CLIENTE: Polistudio

ALLEGATO 3 – PROVA H1

CODICE LAVORO: 1570

CODICE PROVA: Esac1

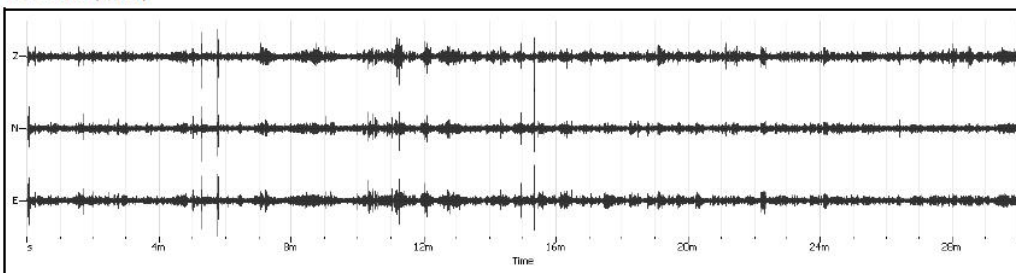
### PARAMETRI DI ACQUISIZIONE

Apparecchiatura di misura	Sara SL 07
Lunghezza registrazione	20 min
Fine registrazione	0.00.00
Frequenza di campionamento	200 Hz

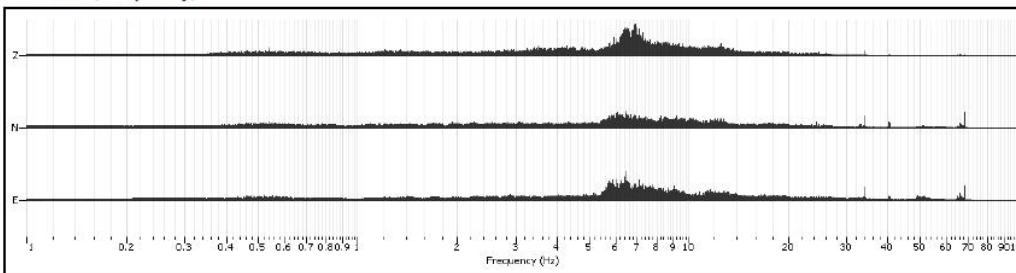
### PARAMETRI DI ELABORAZIONE

Windows lenght (sec)	20
Overlap	5%
Smoothing windows	Konno & Ohmachi
Costant	40
Taper	0.5%
Low Pass	15 Hz
N° of windows	53

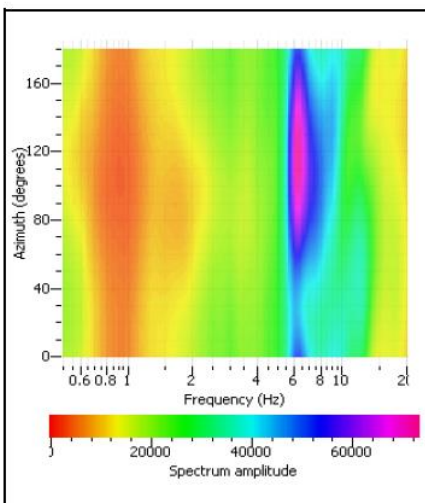
### RECORD (Time)



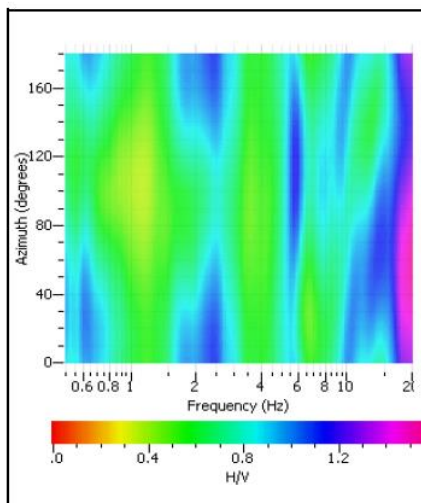
### RECORD (Frequency)



### HORIZONTAL SPECTRUM ROTATE



### HV ROTATE RESULTS





## RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)

11300273776

ID DOC. (DOC. ID)

REV.

2

N° FG. (SH. N.)

72

DI (LAST)

82

PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

## RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSr)

CLIENTE Polistudio

CODICE LAVORO

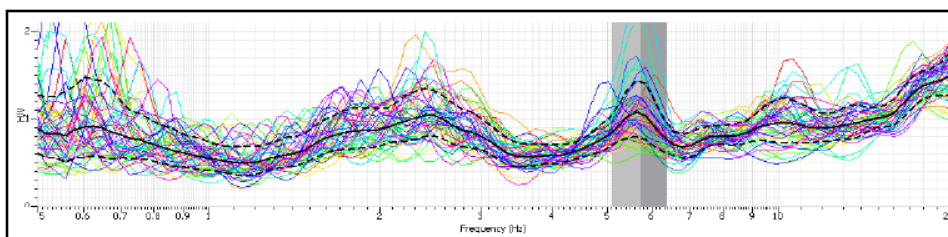
1570

CODICE PROVA

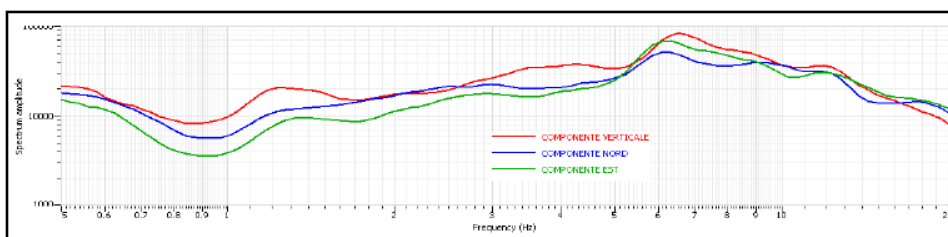
Esac1

### RAPPORTO SPETTRALE H/V

Max HVSr  $5.74 \pm 0.62$  Hz.  $A0 = 1.48$



### SPETTRO SINGOLE COMPONENTI



### Criteri per una curva H/V affidabile

[tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

f0	5.74		
Lw	20		
nw	71		
f0 > 10 / Lw	5.74 > 10/20	<input checked="" type="checkbox"/>	
nc (f0) > 200	8150.8 > 200	<input checked="" type="checkbox"/>	
$\sigma A(f) < 2$ for $0.5 f_0 < f < 2 f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz	Exceeded 0 out of 100 times	<input checked="" type="checkbox"/>	
$\sigma A(f) < 3$ for $0.5 f_0 < f < 2 f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz			

### Criteri per un picco H/V chiaro

[almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Exists f in [f0/4, f0]   AH/V(f) < A0/2	1.52 Hz	<input checked="" type="checkbox"/>	
Exists f* in [4f0, f0]   AH/V(f*) < A0/2	0 Hz		<input checked="" type="checkbox"/>
A0 > 2	1.48 > 2		<input checked="" type="checkbox"/>
fpeak [AH/V(f) ± σA(f)] = f0 ± 5%	-5.74 < 0.05	<input checked="" type="checkbox"/>	
σf < ε(f0)	0.6272 < 0.287		<input checked="" type="checkbox"/>
σA(f0) < θ(f0)	0 < 1.58	<input checked="" type="checkbox"/>	

Lw	Window lenght
nw	Number of windows used in the analysis
nc = Lw nw f0	Number of significant cycles
f	Current frequency
f0	H/V peak frequency
σf	Standard deviation of H/V peak frequency
ε(f0)	Threshold value for the stability condition of < ε(f0)
A0	H/V peak amplitude at frequency f0
AH/V(f)	H/V curve amplitude at frequency f
f -	Frequency between f0/4 and f0 for which AH/V(f-) < A0/2
f +	Frequency between f0 and 4f0 for which AH/V(f+) < A0/2
σA(f)	Standard deviation of AH/V(f), σA(f) is the factor by which the mean AH/V(f) curve should be multiplier or divided
σlogH/V(f)	Standard deviation of log AH/V(f) curve
θ(f0)	Threshold value for the stability condition σA(f) < θ(f0)

Threshold value for σf and σA(f0)

Freq. Range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
σ(f0) (Hz)	0.25 f0	0.20 f0	0.15 f0	0.10 f0	0.05 f0

## RISPOSTA SISMICA LOCALE

N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
11300273776		2	73	82

PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA

## ANALISI CONGIUNTA PROVA ESAC - HVSR

**CLIENTE** Polistudio

**CODICE LAVORO** 1570

**CODICE PROVA** Esac1

**LOCALITA':** Piazzale John Fitzgerald Kennedy - Rimini

**DATA PROVA:** 16/03/2015

**LONGITUDINE:** 12.582716°

**LATITUDINE:** 44.067163°

**QUOTA (m.s.l.m.):** 3

**AZIMUT** 45°

**APPARECCHIATURA ESAC:** Geometrics GEODE

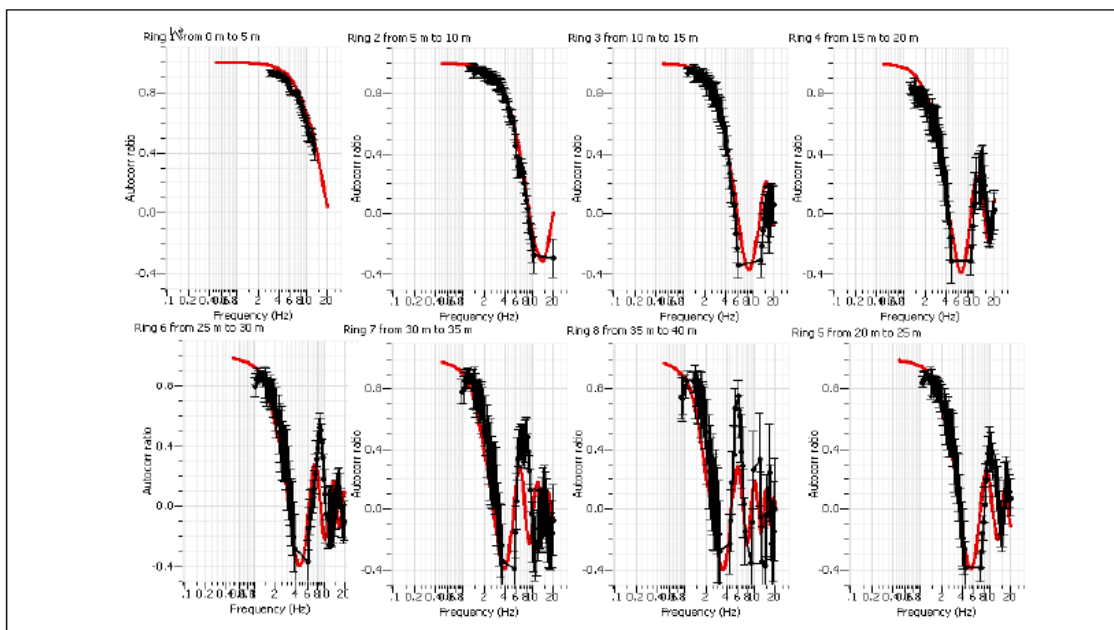
**APPARECCHIATURA HVSR:** SARA SL 07

**N°CANALI** 24

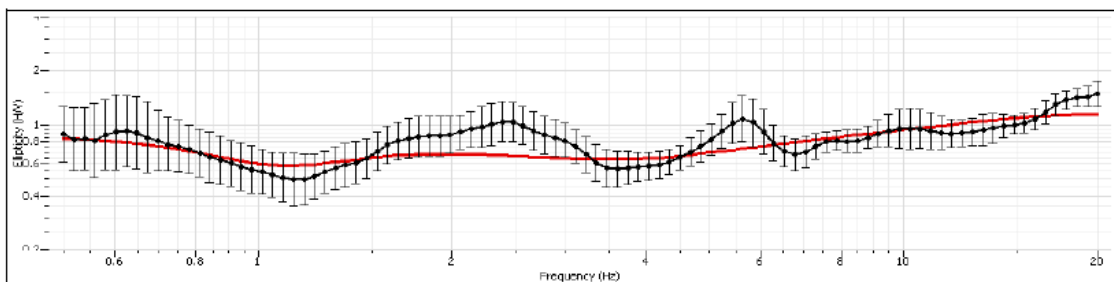
**SPACING** 5 m.


**RECORD TIME (min)** 18

### VERTICAL RINGS AUTOCORRELATION



### ELLIPTICITY AUTOCORRELATION CURVES



	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	74
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

## ANALISI CONGIUNTA PROVA ESAC - HVSR

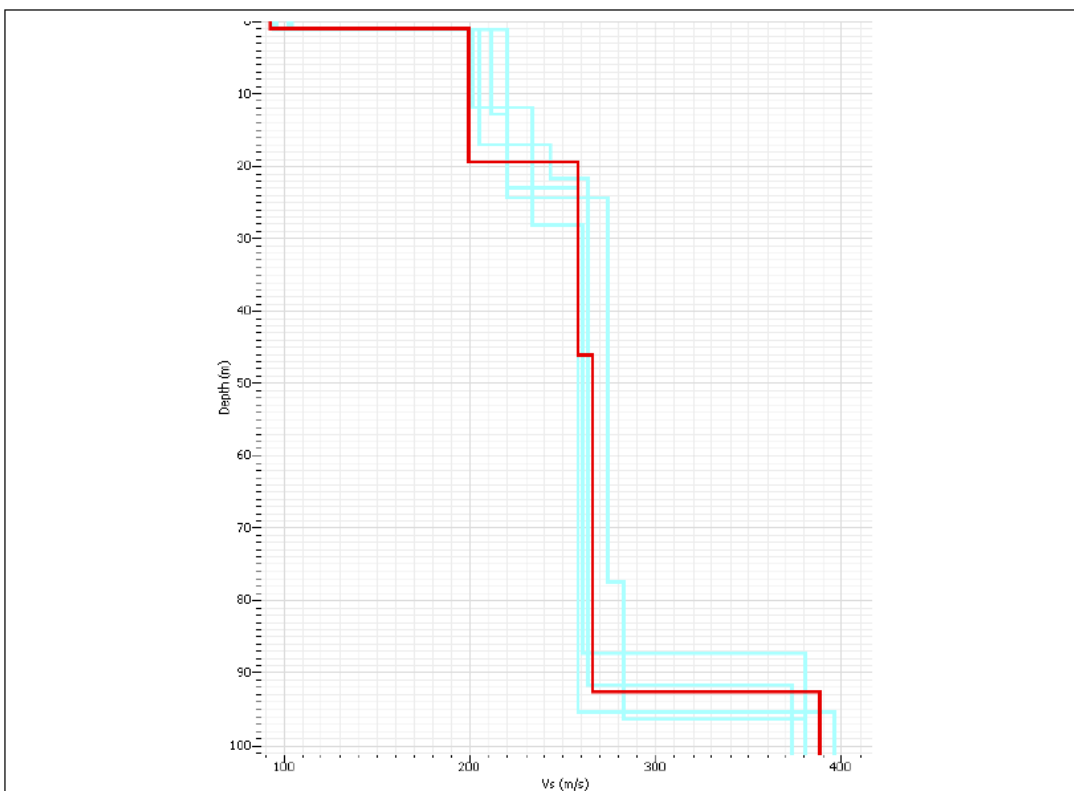
**CLIENTE** Polistudio

**CODICE LAVORO** 1570  
**CODICE PROVA** Esac1

**LOCALITA'** Piazzale John Fitzgerald Kennedy - Rimini  
**DATA PROVA:** 16/03/2015  
**LONGITUDINE:** 12.582716°  
**LATITUDINE:** 44.067163°  
**QUOTA (m.s.l.m.):** 3  
**AZIMUT** 45°

**APPARECCHIATURA ESAC:** Geometrics GEODE  
**APPARECCHIATURA HVSR:** SARA SL 07  
**N°CANALI** 24  
**SPACING** 5 m.  
**RECORD TIME (min)** 18


### PROFILO VELOCITÀ ONDE DI TAGLIO



### CALCOLO VS 30

SPESSORE	PROFONDITA'	Vs	SPESSORE/Vs
0.97	0	93	0.010430108
18.47	0.97	199	0.09261407
10.56	19.44	258	0.040930233
	30		
			0.14417441
<p><b><math>V_{s30} = 208</math></b></p> <p>Seismic classification of soils (It. D.M. 14/01/2008)</p> <p><b>C</b></p>			

### ALLEGATO 3 – PROVA H2

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	11300273776		2	75
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>				

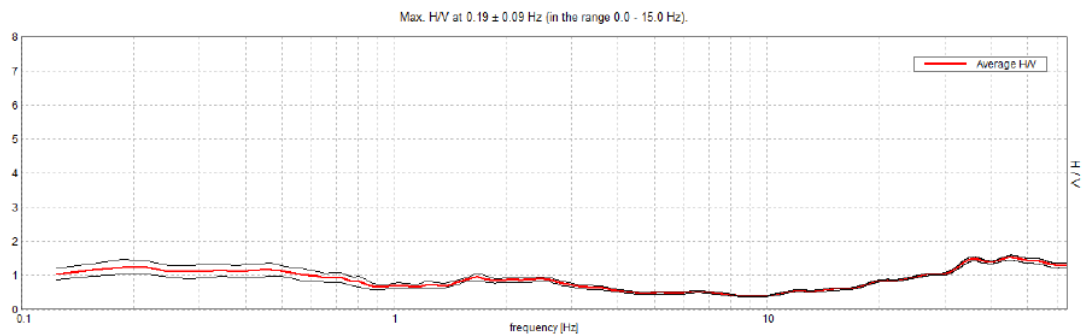
**TROMINO®** Grilla  
www.tromino.eu

## HERA\_KENNEDY2160, P.ZZLE KENNEDY – PROVA H2

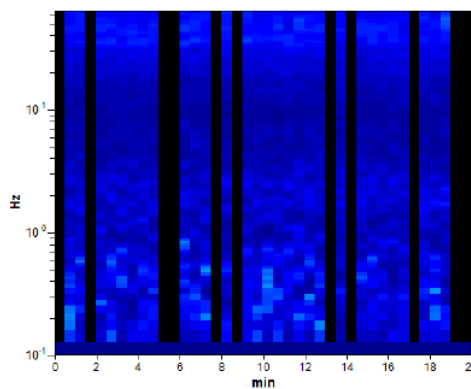
Instrument: TRZ-0144/01-11  
Data format: 16 byte  
Full scale [mV]: n.a.  
Start recording: 17/03/15 08:18:02 End recording: 17/03/15 08:38:02  
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 72% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz  
Window size: 30 s  
Smoothing type: Triangular window  
Smoothing: 10%

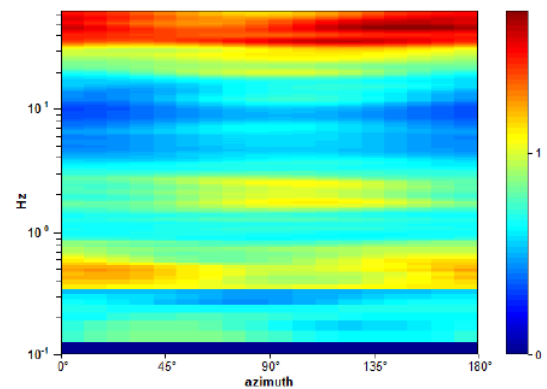
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



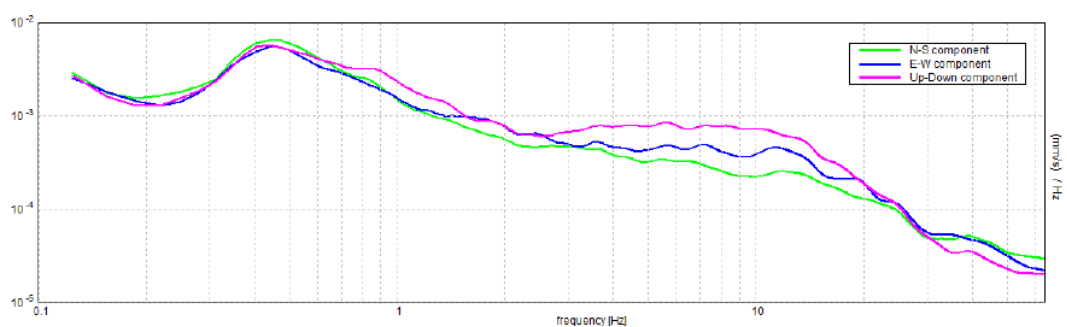
### H/V TIME HISTORY




### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	11300273776		2	76	82
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

**TROMINO®** Grilla  
www.tromino.eu

[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $0.19 \pm 0.09$  Hz (in the range 0.0 - 15.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	$0.19 > 0.33$		<b>NO</b>
$n_c(f_0) > 200$	$163.1 > 200$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 10 times	<b>OK</b>	
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	<b>OK</b>	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
$A_0 > 2$	$1.26 > 2$		<b>NO</b>
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.49615  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.09303 < 0.04688$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2224 < 3.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



## ALLEGATO N. 4

### PARAMETRI DI SCUOTIMENTO - ACCELEROGRAMMI DI INPUT

#### 000055xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.21052
Time of Max. Acceleration (sec)	4.02
Max. Velocity (cm/sec)	1.23E+01
Time of Max. Velocity (sec)	3.54
Max. Displacement (cm)	2.3652
Time of Max. Displacement (sec)	4.01
Vmax / Amax: (sec)	0.05936
Acceleration RMS: (g)	0.02223
Velocity RMS: (cm/sec)	1.70001
Displacement RMS: (cm)	0.55648
Arias Intensity: (m/sec)	0.27816
Characteristic Intensity (Ic)	0.02003
Specific Energy Density (cm2/sec)	105.57293
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	347.32706
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.18127
Velocity Spectrum Intensity (cm)	55.10484
Housner Intensity (cm)	43.33878
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.15944
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	8.99118
Effective Design Acceleration (g)	0.21266
A95 parameter (g)	0.20787
Predominant Period (sec)	0.26
Mean Period (sec)	0.39547
Significant Duration:	4.36

#### 006332xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.21162
Time of Max. Acceleration (sec)	12.05
Max. Velocity (cm/sec)	8.72202
Time of Max. Velocity (sec)	12.17
Max. Displacement (cm)	1.86097
Time of Max. Displacement (sec)	12.65
Vmax / Amax: (sec)	0.04201
Acceleration RMS: (g)	0.01556
Velocity RMS: (cm/sec)	1.05724
Displacement RMS: (cm)	0.26149
Arias Intensity: (m/sec)	0.19396
Characteristic Intensity (Ic)	0.01399
Specific Energy Density (cm2/sec)	58.11227
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	221.50224
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.17384
Velocity Spectrum Intensity (cm)	41.55587
Housner Intensity (cm)	36.3865
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.11208
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	7.78647
Effective Design Acceleration (g)	0.18429
A95 parameter (g)	0.21002
Predominant Period (sec)	0.1
Mean Period (sec)	0.33158
Significant Duration:	2.97

#### 000149xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.21153
Time of Max. Acceleration (sec)	5.63
Max. Velocity (cm/sec)	10.51887
Time of Max. Velocity (sec)	2.39
Max. Displacement (cm)	2.18665
Time of Max. Displacement (sec)	4.33
Vmax / Amax: (sec)	0.05069
Acceleration RMS: (g)	0.03968
Velocity RMS: (cm/sec)	2.0661
Displacement RMS: (cm)	0.60373
Arias Intensity: (m/sec)	0.48737
Characteristic Intensity (Ic)	0.03542
Specific Energy Density (cm2/sec)	85.75973
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	459.9538
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.1638
Velocity Spectrum Intensity (cm)	40.73414
Housner Intensity (cm)	33.73856
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.20132
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	9.48648
Effective Design Acceleration (g)	0.21154
A95 parameter (g)	0.20779
Predominant Period (sec)	0.12
Mean Period (sec)	0.22285
Significant Duration:	6.84

#### 007142xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.21119
Time of Max. Acceleration (sec)	24.12
Max. Velocity (cm/sec)	13.7847
Time of Max. Velocity (sec)	23.83
Max. Displacement (cm)	3.77767
Time of Max. Displacement (sec)	23.69
Vmax / Amax: (sec)	0.06654
Acceleration RMS: (g)	0.01834
Velocity RMS: (cm/sec)	1.41834
Displacement RMS: (cm)	0.4489
Arias Intensity: (m/sec)	0.33529
Characteristic Intensity (Ic)	0.01998
Specific Energy Density (cm2/sec)	130.1364
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	361.9486
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.18911
Velocity Spectrum Intensity (cm)	52.58136
Housner Intensity (cm)	44.69216
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.15351
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	10.84247
Effective Design Acceleration (g)	0.21353
A95 parameter (g)	0.20853
Predominant Period (sec)	0.1
Mean Period (sec)	0.33962
Significant Duration:	4.57

#### 0004674xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.213
Time of Max. Acceleration (sec)	13.57
Max. Velocity (cm/sec)	41.03605
Time of Max. Velocity (sec)	13.67
Max. Displacement (cm)	8.75269
Time of Max. Displacement (sec)	13.32
Vmax / Amax: (sec)	0.19639
Acceleration RMS: (g)	0.02276
Velocity RMS: (cm/sec)	3.44924
Displacement RMS: (cm)	1.29603
Arias Intensity: (m/sec)	0.5588
Characteristic Intensity (Ic)	0.02873
Specific Energy Density (cm2/sec)	832.687
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	446.6699
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.21855
Velocity Spectrum Intensity (cm)	126.3503
Housner Intensity (cm)	118.494
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.19288
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	18.47151
Effective Design Acceleration (g)	0.21618
A95 parameter (g)	0.21032
Predominant Period (sec)	0.4
Mean Period (sec)	0.66881
Significant Duration:	3.93


#### 007142Ya

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.21422
Time of Max. Acceleration (sec)	23.76
Max. Velocity (cm/sec)	15.11397
Time of Max. Velocity (sec)	26.05
Max. Displacement (cm)	2.7384
Time of Max. Displacement (sec)	26.51
Vmax / Amax: (sec)	0.07192
Acceleration RMS: (g)	0.02073
Velocity RMS: (cm/sec)	1.88363
Displacement RMS: (cm)	0.73191
Arias Intensity: (m/sec)	0.42829
Characteristic Intensity (Ic)	0.024
Specific Energy Density (cm2/sec)	229.5232
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	474.5951
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.19052
Velocity Spectrum Intensity (cm)	58.03919
Housner Intensity (cm)	53.67754
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.18064
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	11.75322
Effective Design Acceleration (g)	0.22622
A95 parameter (g)	0.21044
Predominant Period (sec)	0.08
Mean Period (sec)	0.37614
Significant Duration:	6.8

#### 0004675xa

Parameter	Corrected Accelerogra
Max. Acceleration (g)	0.21205
Time of Max. Acceleration (sec)	15.54
Max. Velocity (cm/sec)	25.9371
Time of Max. Velocity (sec)	16.35
Max. Displacement (cm)	5.901
Time of Max. Displacement (sec)	14.43
Vmax / Amax: (sec)	0.12469
Acceleration RMS: (g)	0.02017
Velocity RMS: (cm/sec)	2.42517
Displacement RMS: (cm)	0.91907
Arias Intensity: (m/sec)	0.42015
Characteristic Intensity (Ic)	0.02345
Specific Energy Density (cm2/sec)	393.9982
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	430.4469
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.20752
Velocity Spectrum Intensity (cm)	78.38668
Housner Intensity (cm)	75.75322
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.17561
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	13.65792
Effective Design Acceleration (g)	0.20868
A95 parameter (g)	0.2083
Predominant Period (sec)	0.24
Mean Period (sec)	0.47705
Significant Duration:	4.49

VALORI MEDI	
Max. Acceleration (g)	0.212
Time of Max. Acceleration (sec)	14.099
Max. Velocity (cm/sec)	18.196
Time of Max. Velocity (sec)	14.000
Max. Displacement (cm)	3.940
Time of Max. Displacement (sec)	14.134
Vmax / Amax: (sec)	0.087
Acceleration RMS: (g)	0.023
Velocity RMS: (cm/sec)	2.000
Displacement RMS: (cm)	0.688
Arias Intensity: (m/sec)	0.386
Characteristic Intensity (Ic)	0.024
Specific Energy Density (cm2/sec)	262.256
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	391.778
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.189
Velocity Spectrum Intensity (cm)	64.679
Housner Intensity (cm)	58.012
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.168
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	11.570
Effective Design Acceleration (g)	0.210
A95 parameter (g)	0.209
Predominant Period (sec)	0.194
Mean Period (sec)	0.402
Significant Duration (sec):	4.851

	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>		<b>2</b>	<b>78</b>	<b>82</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

## ALLEGATO N. 4

### PARAMETRI DI SCUOTIMENTO - ACCELEROGRAMMI DI OUTPUT

<b>000055xa</b>		<b>000149xa</b>		<b>0004674xa</b>		<b>0004675xa</b>	
Parameter	Corrected Accelerogram	Parameter	Corrected Accelerogram	Parameter	Corrected Accelerogram	Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.28065	Max. Acceleration (g)	0.28326	Max. Acceleration (g)	0.23002	Max. Acceleration (g)	0.2268
Time of Max. Acceleration (sec)	4.69	Time of Max. Acceleration (sec)	3.09	Time of Max. Acceleration (sec)	14.33	Time of Max. Acceleration (sec)	17.13
Max. Velocity (cm/sec)	2.28E+01	Max. Velocity (cm/sec)	19.11804	Max. Velocity (cm/sec)	68.07281	Max. Velocity (cm/sec)	48.45002
Time of Max. Velocity (sec)	4.18	Time of Max. Velocity (sec)	6.33	Time of Max. Velocity (sec)	14.45	Time of Max. Velocity (sec)	17.06
Max. Displacement (cm)	4.50076	Max. Displacement (cm)	5.65132	Max. Displacement (cm)	17.82429	Max. Displacement (cm)	10.80746
Time of Max. Displacement (sec)	4.66	Time of Max. Displacement (sec)	4.96	Time of Max. Displacement (sec)	14.92	Time of Max. Displacement (sec)	16.43
Vmax / Amax: (sec)	0.08275	Vmax / Amax: (sec)	0.0688	Vmax / Amax: (sec)	0.30167	Vmax / Amax: (sec)	0.21776
Acceleration RMS: (g)	0.03757	Acceleration RMS: (g)	0.04749	Acceleration RMS: (g)	0.02746	Acceleration RMS: (g)	0.02476
Velocity RMS: (cm/sec)	3.45133	Velocity RMS: (cm/sec)	4.19682	Velocity RMS: (cm/sec)	7.02593	Velocity RMS: (cm/sec)	5.6473
Displacement RMS: (cm)	0.84395	Displacement RMS: (cm)	1.46934	Displacement RMS: (cm)	2.87678	Displacement RMS: (cm)	2.14487
Arias Intensity: (m/sec)	0.79474	Arias Intensity: (m/sec)	0.69819	Arias Intensity: (m/sec)	0.6971	Arias Intensity: (m/sec)	0.56673
Characteristic Intensity (Ic)	0.04402	Characteristic Intensity (Ic)	0.04639	Characteristic Intensity (Ic)	0.03525	Characteristic Intensity (Ic)	0.03018
Specific Energy Density (cm2/sec)	435.13239	Specific Energy Density (cm2/sec)	353.8517	Specific Energy Density (cm2/sec)	2961.329	Specific Energy Density (cm2/sec)	1913.202
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	586.49059	Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	536.914	Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	503.5731	Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	514.7674
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.28239	Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.23371	Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.18786	Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.21627
Velocity Spectrum Intensity (cm)	101.63435	Velocity Spectrum Intensity (cm)	79.77631	Velocity Spectrum Intensity (cm)	188.5951	Velocity Spectrum Intensity (cm)	145.1492
Housner Intensity (cm)	88.01223	Housner Intensity (cm)	69.90713	Housner Intensity (cm)	198.619	Housner Intensity (cm)	152.7484
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.21091	Sustained Maximum Acceleration (g)	0.23205	Sustained Maximum Acceleration (g)	0.16434	Sustained Maximum Acceleration (g)	0.17259
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	21.18354	Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	15.8704	Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	35.34919	Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	26.70538
Effective Design Acceleration (g)	0.28074	Effective Design Acceleration (g)	0.27912	Effective Design Acceleration (g)	0.22981	Effective Design Acceleration (g)	0.22688
A95 parameter (g)	0.27569	A95 parameter (g)	0.2797	A95 parameter (g)	0.22713	A95 parameter (g)	0.22395
Predominant Period (sec)	0.26	Predominant Period (sec)	0.12	Predominant Period (sec)	0.4	Predominant Period (sec)	0.24
Mean Period (sec)	0.50005	Mean Period (sec)	0.40264	Mean Period (sec)	1.34504	Mean Period (sec)	1.15034
Significant Duration:	4.44	Significant Duration:	6.52	Significant Duration:	3.54	Significant Duration:	5.54

<b>006332xa</b>		<b>007142xa</b>		<b>007142Ya</b>	
Parameter	Corrected Accelerogram	Parameter	Corrected Accelerogram	Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.26518	Max. Acceleration (g)	0.24165	Max. Acceleration (g)	0.27121
Time of Max. Acceleration (sec)	12.48	Time of Max. Acceleration (sec)	24.36	Time of Max. Acceleration (sec)	26.78
Max. Velocity (cm/sec)	19.04532	Max. Velocity (cm/sec)	30.91655	Max. Velocity (cm/sec)	26.66009
Time of Max. Velocity (sec)	13.44	Time of Max. Velocity (sec)	24.5	Time of Max. Velocity (sec)	24.11
Max. Displacement (cm)	3.51528	Max. Displacement (cm)	6.64099	Max. Displacement (cm)	6.6824
Time of Max. Displacement (sec)	13.29	Time of Max. Displacement (sec)	24.34	Time of Max. Displacement (sec)	27.06
Vmax / Amax: (sec)	0.07321	Vmax / Amax: (sec)	0.13042	Vmax / Amax: (sec)	0.1002
Acceleration RMS: (g)	0.0237	Acceleration RMS: (g)	0.02416	Acceleration RMS: (g)	0.02782
Velocity RMS: (cm/sec)	2.21888	Velocity RMS: (cm/sec)	3.04244	Velocity RMS: (cm/sec)	3.98204
Displacement RMS: (cm)	0.56241	Displacement RMS: (cm)	0.97559	Displacement RMS: (cm)	1.39275
Arias Intensity: (m/sec)	0.44997	Arias Intensity: (m/sec)	0.58206	Arias Intensity: (m/sec)	0.77173
Characteristic Intensity (Ic)	0.02631	Characteristic Intensity (Ic)	0.03021	Characteristic Intensity (Ic)	0.03733
Specific Energy Density (cm2/sec)	255.97	Specific Energy Density (cm2/sec)	598.798	Specific Energy Density (cm2/sec)	1025.764
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	345.3684	Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	476.9599	Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	707.0433
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.26434	Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.24201	Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.25691
Velocity Spectrum Intensity (cm)	83.53513	Velocity Spectrum Intensity (cm)	102.5335	Velocity Spectrum Intensity (cm)	114.5743
Housner Intensity (cm)	76.36301	Housner Intensity (cm)	95.74246	Housner Intensity (cm)	112.9006
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.1434	Sustained Maximum Acceleration (g)	0.19518	Sustained Maximum Acceleration (g)	0.22241
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	15.26686	Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	17.51339	Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	25.74353
Effective Design Acceleration (g)	0.26639	Effective Design Acceleration (g)	0.24199	Effective Design Acceleration (g)	0.27025
A95 parameter (g)	0.26184	A95 parameter (g)	0.23983	A95 parameter (g)	0.26642
Predominant Period (sec)	0.3	Predominant Period (sec)	0.16	Predominant Period (sec)	0.4
Mean Period (sec)	0.47406	Mean Period (sec)	0.60622	Mean Period (sec)	0.66358
Significant Duration:	3	Significant Duration:	4.42	Significant Duration:	8.82


VALORI MEDI	
Max. Acceleration (g)	0.257
Time of Max. Acceleration (sec)	14.694
Max. Velocity (cm/sec)	33.578
Time of Max. Velocity (sec)	14.867
Max. Displacement (cm)	7.946
Time of Max. Displacement (sec)	15.094
Vmax / Amax: (sec)	0.139
Acceleration RMS: (g)	0.030
Velocity RMS: (cm/sec)	4.224
Displacement RMS: (cm)	1.467
Arias Intensity: (m/sec)	0.652
Characteristic Intensity (Ic)	0.036
Specific Energy Density (cm2/sec)	1077.721
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	524.445
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.240
Velocity Spectrum Intensity (cm)	116.114
Housner Intensity (cm)	113.470
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.192
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	22.519
Effective Design Acceleration (g)	0.256
A95 parameter (g)	0.254
Predominant Period (sec)	0.269
Mean Period (sec)	0.735
Significant Duration (sec):	5.183

# ALLEGATO N. 5


## DATI SPETTRO ELASTICO MEDIO

Period (s)	Acc (g)	Vel (cm/sec)	Disp (cm)	Pseudo-Acc (g)	Pseudo-Vel (cm/sec)
0	0.256967	0	0	0.256967143	0
0.02	0.257423	0.060541429	0.00256	0.257414286	0.803812857
0.04	0.261531	0.25675	0.01039857	0.261508571	1.633178571
0.06	0.269816	0.630598571	0.02413	0.269741429	2.526901429
0.08	0.297627	1.467685714	0.04729857	0.297405714	3.714757143
0.1	0.36071	3.0129	0.08946571	0.360038571	5.621322857
0.12	0.452154	5.683082857	0.16137857	0.450994286	8.449701429
0.14	0.48151	7.659597143	0.23378714	0.480011429	10.49227
0.16	0.534036	11.01016286	0.33851143	0.532141429	13.29336286
0.18	0.548544	12.29242714	0.44006143	0.546582857	15.36093571
0.2	0.524826	13.45341429	0.51999429	0.523152857	16.33605857
0.22	0.591324	17.15163286	0.70847429	0.589072857	20.23394
0.24	0.609941	20.49104143	0.86979143	0.60769	22.77106571
0.26	0.705993	24.20225714	1.18102143	0.703074286	28.54063286
0.28	0.661786	24.82974143	1.28383714	0.658998571	28.80920714
0.3	0.653627	26.86698	1.45545143	0.650795714	30.48289429
0.32	0.67501	30.36699	1.71007714	0.672054286	33.57726286
0.34	0.65468	32.61416	1.87213429	0.651731429	34.59690714
0.36	0.640359	33.94994	2.05302429	0.637497143	35.83201571
0.38	0.664106	36.19391143	2.37136714	0.660878571	39.2098
0.4	0.69575	40.28828	2.75240143	0.692278571	43.23461714
0.42	0.651713	41.03905571	2.84383429	0.648777143	42.54361857
0.44	0.618513	40.86675429	2.96233143	0.61577	42.30199571
0.46	0.591681	41.10261	3.09732571	0.58906	42.30665714
0.48	0.585584	41.19010286	3.33873429	0.583161429	43.70389286
0.5	0.606646	44.18220714	3.75075286	0.603764286	47.13329429
0.52	0.627999	48.70976429	4.19955429	0.62501	50.74340429
0.54	0.605023	49.76922429	4.36168286	0.601944286	50.75044429
0.56	0.578359	49.29098143	4.48526143	0.575575714	50.32447571
0.58	0.553121	48.06267571	4.60080857	0.550385714	49.84087
0.6	0.532726	47.18947	4.74055714	0.529925714	49.64296571
0.62	0.505586	46.58679714	4.80322571	0.502851429	48.67665429
0.64	0.483821	46.16371714	4.89925143	0.481348571	48.09824857
0.66	0.472309	47.28489714	5.08662714	0.46993	48.42453857
0.68	0.466901	48.98339	5.33798571	0.464567143	49.32282429
0.7	0.469294	51.16080714	5.68469143	0.466874286	51.02563571
0.72	0.462281	51.94284	5.92346	0.459832857	51.69190143
0.74	0.454174	54.22251	6.14665	0.451714286	52.18988714
0.76	0.441639	55.30591	6.30468286	0.439267143	52.12297714
0.78	0.429607	54.31029143	6.45867	0.42721	52.02688714
0.8	0.414471	52.28751143	6.55383286	0.412101429	51.47363857
0.82	0.397221	51.51171429	6.60145857	0.395095714	50.58312429
0.84	0.389549	51.15001	6.79412	0.387492857	50.81986143
0.86	0.373519	50.49852286	6.82509857	0.371364286	49.86433
0.88	0.349566	49.99362714	6.68812	0.34756	47.75301
0.9	0.319677	48.75169286	6.39845429	0.317892857	44.6696
0.92	0.296606	47.43839	6.20415143	0.294981429	42.37151714
0.94	0.275701	46.04552571	6.02076714	0.274211429	40.24421571
0.96	0.265073	44.64733857	6.04014714	0.263752857	39.53264
0.98	0.257396	43.40716714	6.11106286	0.256067143	39.18053286
1	0.24823	43.19813143	6.13891857	0.247048571	38.57192571
1.02	0.23961	42.93861143	6.16363	0.238411429	37.96782714
1.04	0.234384	42.42502286	6.26809	0.233215714	37.86878143
1.06	0.232384	42.20486857	6.45894571	0.231335714	38.28559
1.08	0.230957	42.12921857	6.66313857	0.229891429	38.76453
1.1	0.228581	42.16393714	6.83808429	0.227424286	39.05900714
1.12	0.226059	42.41545714	7.00981429	0.224885714	39.32493286
1.14	0.223467	42.50500286	7.17282714	0.222111429	39.53347857
1.16	0.221084	42.62589857	7.34809571	0.219758571	39.80121286




	<b>TITOLO</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>			<b>80</b>	<b>82</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

1.18	0.218027	42.93644143	7.49722286	0.216682857	39.92067429
1.2	0.214591	43.03838857	7.63384571	0.21334	39.97067571
1.22	0.210739	43.04582429	7.74900429	0.209514286	39.90851286
1.24	0.207396	42.95556286	7.87830714	0.206195714	39.92002429
1.26	0.20456	42.63106714	8.02112286	0.203321429	39.99853714
1.28	0.201606	42.23310429	8.16144143	0.200464286	40.06235429
1.3	0.198756	41.83118143	8.29772714	0.19759	40.1047
1.32	0.195853	41.52365286	8.42782286	0.194652857	40.11631429
1.34	0.194343	41.57210429	8.61325429	0.19304	40.38704
1.36	0.192987	41.60172714	8.80951143	0.191674286	40.69981429
1.38	0.191464	41.60379143	8.99882857	0.190158571	40.97192429
1.4	0.19068	41.62462857	9.22441429	0.189398571	41.39903429
1.42	0.190951	41.76149857	9.50473571	0.189692857	42.05631714
1.44	0.19092	41.80288714	9.7728	0.189664286	42.64185143
1.46	0.19061	42.15198714	10.0288414	0.189337143	43.15959714
1.48	0.19004	42.43212143	10.2770914	0.188815714	43.63028143
1.5	0.189271	42.60836857	10.51621	0.188091429	44.05016
1.52	0.18831	42.87482	10.7466371	0.187185714	44.42306143
1.54	0.188057	43.15049857	11.01398	0.186892857	44.93689429
1.56	0.188464	43.38644143	11.3255343	0.187284286	45.61563
1.58	0.188956	44.53869714	11.6463314	0.187742857	46.31392
1.6	0.1893	45.84137571	11.9646486	0.188082857	46.98502143
1.62	0.189503	47.18866286	12.2787343	0.188284286	47.62314571
1.64	0.189546	48.59440571	12.5870457	0.188332857	48.22358857
1.66	0.189781	49.88156571	12.92104	0.1887	48.90676429
1.68	0.190211	51.04320571	13.2623386	0.189098571	49.60099
1.7	0.19064	52.07805	13.6084457	0.189495714	50.29665714
1.72	0.190886	52.98095714	13.9483686	0.189738571	50.95354571
1.74	0.190951	53.75257857	14.2867371	0.189901429	51.58974
1.76	0.19108	54.37449	14.6269171	0.190027143	52.21792429
1.78	0.190961	54.87036714	14.9538386	0.189934286	52.78519286
1.8	0.190637	55.36337	15.2665571	0.18962	53.29029143
1.82	0.190847	56.34869	15.6275014	0.189861429	53.95076714
1.84	0.19178	57.24947571	16.0483929	0.19076	54.80159857
1.86	0.19244	57.99754429	16.4547457	0.191404286	55.58501143
1.88	0.193557	58.63305429	16.9088229	0.192525714	56.51126
1.9	0.194674	59.42930857	17.3650614	0.19358	57.42515714
1.92	0.195447	60.13882571	17.7998214	0.194312857	58.24972286
1.94	0.195893	60.76554571	18.21254	0.194742857	58.98590857
1.96	0.196033	61.55401857	18.6022986	0.194871429	59.63346714
1.98	0.196243	62.31490714	19.0035043	0.195071429	60.30426143
2	0.196287	62.92231143	19.3835743	0.195014286	60.89524571
2.02	0.196074	63.50239143	19.74802	0.194765714	61.42592286
2.04	0.195521	64.04215	20.0826971	0.194201429	61.85451
2.06	0.194699	64.38699	20.38874	0.193351429	62.18744143
2.08	0.193551	64.53757143	20.6611843	0.192184286	62.41247286
2.1	0.192243	64.71695857	20.9221714	0.190921429	62.59894
2.12	0.191156	64.94113	21.1995914	0.189821429	62.83058857
2.14	0.190253	65.05286714	21.5030686	0.188957143	63.13442286
2.16	0.189699	65.12936143	21.8462014	0.188434286	63.54797
2.18	0.188823	65.54976714	22.1545914	0.187604286	63.85379429
2.2	0.187691	65.92106143	22.43205	0.186514286	64.06573286
2.22	0.186387	66.11595	22.6823829	0.185212857	64.19706857
2.24	0.184886	66.25618429	22.9071329	0.183722857	64.25430571
2.26	0.183176	66.77159143	23.1024729	0.182025714	64.22876143
2.28	0.181617	67.29504429	23.3217586	0.180542857	64.26965286
2.3	0.180121	67.82343857	23.5413757	0.179088571	64.31073143
2.32	0.178487	68.23987286	23.7413343	0.177508571	64.29787714
2.34	0.176786	68.49646	23.9201414	0.175802857	64.22844571
2.36	0.174921	68.63467571	24.0720457	0.17393	64.08855571
2.38	0.172884	68.70134429	24.1962257	0.171902857	63.87783286
2.4	0.170764	68.88900714	24.2936086	0.169731429	63.60045857
2.42	0.16867	69.11863714	24.3863171	0.167572857	63.31554714

	<b>TITOLO</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>			<b>81</b>	<b>82</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

2.44	0.166401	69.23245286	24.4524571	0.165284286	62.96688143
2.46	0.163959	69.33713	24.4877571	0.162842857	62.54511571
2.48	0.161359	69.41370857	24.4923686	0.160257143	62.05240143
2.5	0.158626	69.4045	24.4704914	0.157561429	61.50100429
2.52	0.156	69.30758571	24.4518143	0.154954286	60.96633143
2.54	0.153303	69.12884429	24.4159929	0.152297143	60.39766714
2.56	0.150599	68.99869429	24.3630929	0.149602857	59.79597429
2.58	0.147836	68.79246429	24.29278	0.146868571	59.16120143
2.6	0.145046	68.50407143	24.2091086	0.14412	58.50391429
2.62	0.142276	68.14291143	24.1089257	0.14134	57.81706571
2.64	0.13972	67.71989714	24.03116	0.138757143	57.19398143
2.66	0.137137	67.24040429	23.9461371	0.136194286	56.56311571
2.68	0.134587	66.73672429	23.8531929	0.13365	55.92310143
2.7	0.132019	66.29358714	23.7451514	0.13108	55.25742857
2.72	0.129536	65.80453286	23.6368671	0.128571429	54.60099286
2.74	0.127563	65.26380143	23.6147443	0.126582857	54.15171429
2.76	0.12555	64.67311714	23.5862229	0.124605714	53.69438
2.78	0.12357	64.03700571	23.5443357	0.1226	53.21341571
2.8	0.121567	63.38516857	23.4939686	0.120595714	52.72030571
2.82	0.119553	62.70962	23.4289971	0.11856	52.20163286
2.84	0.117494	62.13212143	23.3488771	0.116498571	51.65676
2.86	0.115404	61.66163429	23.25343	0.114404286	51.08583714
2.88	0.113271	61.15890143	23.1440786	0.112292857	50.49250429
2.9	0.11119	60.62336	23.0432743	0.110264286	49.92587571
2.92	0.10929	60.06431143	22.9514157	0.108325714	49.38626
2.94	0.10738	59.48035143	22.85466	0.106405714	48.84352
2.96	0.105443	58.87845286	22.7446214	0.10447	48.27991714
2.98	0.103496	58.28792286	22.62245	0.102518571	47.69829714
3	0.101529	57.73068	22.4892186	0.10056	47.10127143
3.02	0.099556	57.17064	22.3457571	0.098597143	46.49086429
3.04	0.097583	56.67239571	22.19293	0.096641429	45.86913714
3.06	0.09561	56.16695429	22.0319943	0.09469	45.23888714
3.08	0.093654	55.65647571	21.8673771	0.092765714	44.60931
3.1	0.09177	55.13651429	21.7071529	0.0909	43.99676143
3.12	0.089904	54.75970286	21.5405986	0.08905	43.37931286
3.14	0.088137	54.50147571	21.3823729	0.087274286	42.78640286
3.16	0.086556	54.23784714	21.26213	0.085688571	42.27651286
3.18	0.08499	53.97253429	21.1392157	0.084124286	41.76776429
3.2	0.083447	53.70669143	21.0126129	0.082577143	41.25813429
3.22	0.081921	53.45954	20.88386	0.081055714	40.75063571
3.24	0.08042	53.21904143	20.75353	0.07956	40.24635286
3.26	0.078939	52.97771286	20.6208171	0.078084286	39.74365286
3.28	0.077489	52.73272429	20.5046843	0.0767	39.27884429
3.3	0.076164	52.48396714	20.4119757	0.075431429	38.86427857
3.32	0.074926	52.23394	20.3255714	0.07421	38.46663286
3.34	0.073777	51.97938	20.2538157	0.073064286	38.10130714
3.36	0.072644	51.72472143	20.1794986	0.071931429	37.73554
3.38	0.071533	51.52146429	20.1036143	0.070815714	37.37119429
3.4	0.070433	51.49044	20.0239743	0.069708571	37.00418857
3.42	0.069346	51.48031571	19.9406729	0.068607143	36.63474857
3.44	0.068267	51.46970714	19.85495	0.067522857	36.26518286
3.46	0.067191	51.45632286	19.7634314	0.066438571	35.88936143
3.48	0.066116	51.43383571	19.6669114	0.065352857	35.50883714
3.5	0.065041	51.40236143	19.5645243	0.064272857	35.12212286
3.52	0.063967	51.36551857	19.4557729	0.063191429	34.72844286
3.54	0.062889	51.31759857	19.3406186	0.06211	34.32784857
3.56	0.061806	51.26619	19.2179743	0.061022857	33.91854
3.58	0.060724	51.21922857	19.0888457	0.059937143	33.50241286
3.6	0.059636	51.15961286	18.9519686	0.058851429	33.07739714
3.62	0.058541	51.08612429	18.8081043	0.05776	32.64494714
3.64	0.057446	51.00000429	18.6558214	0.056664286	32.20271429
3.66	0.056343	50.90268857	18.4960829	0.055564286	31.75251714
3.68	0.055244	50.79027429	18.3290157	0.054468571	31.2947

	<b>TITOLO</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>			<b>82</b>	<b>82</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

3.7	0.054174	50.66255857	18.1761986	0.05343	30.86603429
3.72	0.05334	50.52183571	18.1028114	0.052644286	30.57613571
3.74	0.052576	50.37082	18.0309914	0.051875714	30.29196714
3.76	0.051869	50.20517714	17.9770486	0.051171429	30.04069857
3.78	0.051137	50.02417143	17.9130729	0.050451429	29.77541429
3.8	0.050387	49.82979	17.83885	0.049715714	29.49597286
3.82	0.049613	49.62608571	17.7534314	0.04896	29.20105143
3.84	0.048823	49.41807143	17.6565914	0.048188571	28.89050571
3.86	0.048039	49.19543857	17.5484886	0.047397143	28.56485
3.88	0.047281	48.95875857	17.4289043	0.04659	28.22395429
3.9	0.046681	48.71229714	17.3783943	0.04598	27.99784
3.92	0.046061	48.45306429	17.3152457	0.045345714	27.75377857
3.94	0.04542	48.18169714	17.2408314	0.044694286	27.49422571
3.96	0.044777	47.89899429	17.1712629	0.044068571	27.24498143
3.98	0.044177	47.60578	17.1058429	0.043455714	27.0048
4	0.043559	47.30571571	17.0301714	0.042834286	26.75090714