



# COMUNE DI CERVIA

Provincia di Ravenna

Settore Programmazione e Gestione del Territorio



Il Sindaco

**Dott. Luca Coffari**

L'Assessore all'Urbanistica

**Arch. Natalino Giambi**

Il Dirigente del Settore

**Ing. Daniele Capitani**

Il Servizio Urbanistica

Geom. Gianluca Magnani

Ing. Annalena Arfelli

Geom. Elena Taffagi

Arch. M. Laura Callegati

Nadia Nicolini



Quadro Conoscitivo



Oggetto

Analisi di risposta sismica locale Fascia costiera

Scala

Elaborato

**H3**



## **DIRIGENTE DEL SETTORE PROGRAMMAZIONE E GESTIONE DEL TERRITORIO**

Ing. Daniele Capitani

## **SERVIZIO URBANISTICA**

Geom. Gianluca Magnani

Ing. Annalena Arfelli

Arch. M. Laura Callegati

Geom. Elena Taffagli

Ing. Caterina Girelli

Nadia Nicolini

## **GRUPPO DI LAVORO:**

ATI composta da: Tecnicoop soc. coop.va; Arch. Carla Ferrari; Arch. Giuseppe Campos Venuti (QUADRO CONOSCITIVO ANNO 2013)

Arch. Carlo Lazzari (INDAGINE STORICA)

TEM - Territorio e Mercati - Arch. Sandra Vecchietti (SQUEA)

Ing. Simona Savini (SQUEA)

Dott. Geol. Fabbri Fabio (RISCHIO IDRAULICO)

Dott. Geol. Carlo Copioli (ZONAZIONE SISMICA ARENILE)

Dott. Geol. Samuel Sangiorgi (ZONAZIONE SISMICA)

Dott. Loris Venturini (CLASSIFICAZIONE ACUSTICA)

Ing. Chiara Semprini (VALSAT ARENILE)

Arch. Margherita Bastoni

## **APPORTI SPECIALISTICI SERVIZI COMUNALI**

Edilizia Privata, Progettazione Infrastrutture e Mobilità Sostenibile, Viabilità e Manutenzione Infrastrutture, Progettazione e Manutenzione Fabbricati, Sviluppo Economico - Parco della Salina, Ambiente, SUAP, Protezione civile, Verde, Demografici, Demanio e Porto, Patrimonio, Turismo, Servizi alla persona, Servizi alla comunità, Progettazione culturale, Politiche educative, Tributi, Polizia municipale

## **ENTI E SOCIETA' DI SERVIZI**

ANAS, Agenzia delle entrate - Ufficio territorio di Ravenna, ARPAE, ATERSIR, Autorità di Bacino del fiume Po, AUSL, CER, Consorzio di Bonifica della Romagna, ENEL, FF.SS., HERA Ravenna, Provincia di Ravenna, Regione Emilia Romagna, Romagna Acque, SNAM, TERNA, Soprintendenza archeologia, belle arti e paesaggio, Parco del Delta del Po



# COMUNE DI CERVIA

## PROVINCIA DI RAVENNA

STUDIO GEOLOGICO E DI MICROZONIZZAZIONE SISMICA DI III LIVELLO  
DI APPROFONDIMENTO PER L'ADEGUAMENTO DEL PIANO  
DELL'ARENILE DEL COMUNE DI CERVIA ALLA L.R. 9/2002 E ALLE  
DISPOSIZIONI DELLA DELIBERA DELLA REGIONE  
EMILIA-ROMAGNA N. 468/2003



### RELAZIONE GEOLOGICA

#### ELABORATO 3 - ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Dott. Geol. Carlo Copioli

Collaboratori: Dott. Geol. Fabio Vannoni e Dott. Geol. Alessandro Merli



GEOPROGET

Studio di Geologia  
via Ceccarini, 171 – Palazzo La Viola  
Riccione – 47838 – (RN) Tel/Fax 0541/606464  
E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copiolicarlo@libero.it](mailto:copiolicarlo@libero.it)

Rif.2198 - Maggio 2016

## I N D I C E

1	INTRODUZIONE .....	2
2	MICROZONAZIONE SISMICA .....	2
2.1	INDICAZIONI SUI LIVELLI DI ANALISI.....	3
2.2	RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	3
3	ANALISI GEOLITOLOGICA E MORFOLOGICA LOCALE.....	4
4	INDAGINI IN SITO.....	7
4.1	INDAGINI MECCANICHE E GEOFISICHE .....	7
4.1.1	Prova penetrometrica CPTS con cono sismico .....	7
4.1.2	Valutazione dei Moduli Elastici Dinamici .....	8
4.1.3	Indagini di sismica passiva - metodologia HVSR .....	10
4.1.3.1	Basi teoriche .....	11
4.1.3.2	Attrezzature e modalità esecutive .....	11
4.1.3.3	Elaborazione dati .....	12
4.1.4	Indagini di sismica attiva FTAN - Frequency-Time Analysis.....	13
4.1.5	Indagini di sismica passiva - ANTENNA SISMICA (ESAC) .....	13
5	RISULTANZE INDAGINI SISMICHE .....	14
6	RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	16
6.1	MODELLO DI SOTTOSUOLO .....	16
6.2	III LIVELLO DI APPROFONDIMENTO – D.A.L. N° 112 / 2007 - DGR 2193/2015 R.E.R. ....	22
7	CONCLUSIONI.....	42

## ALLEGATI NEL TESTO

ALLEGATO N. 1 - Inquadramento geografico

ALLEGATO N. 2 - Planimetria con ubicazione indagini geofisiche

ALLEGATO N. 3 - Indagini geofisiche campagna febbraio - aprile 2016

ALLEGATO N. 4 - Indagini geofisiche da archivio Comune di Cervia

ALLEGATO N. 5 - Parametri di scuotimento segnali – INPUT/OUTPUT

ALLEGATO N. 6 - Dati Spettro Medio OUTPUT

ALLEGATO N. 7 - Zonazione sismica

## **1 INTRODUZIONE**

Su incarico dell'Amministrazione comunale di Cervia è stato condotto uno studio di Risposta Sismica Locale di approfondimento per lo "STUDIO GEOLOGICO E DI MICROZONAZIONE SISMICA DI III° LIVELLO PER L'ADEGUAMENTO DEL PIANO DELL'ARENILE DEL COMUNE DI CERVIA".

L'area di studio è compresa nelle Tavole 240 NE e 240 SE della Carta Tecnica Regione Emilia Romagna alla scala 1:25.000 (allegato 1).

Per tale studio, si sono applicate le procedure definite nella delibera dell'Assemblea legislativa progr. N° 112 – oggetto n° 3121 del 2 maggio 2007 – "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", come aggiornata con DGR 2193/2015.

Al fine di ottemperare alla normativa regionale di cui sopra sono stati utilizzati i dati geologici, geognostici, geofisici e di laboratorio elaborati ed acquisiti in occasione dello Studio Geologico redatto dallo scrivente che provenienti da ulteriori approfondimenti d'indagine.

In particolare l'approfondimento d'indagine geognostica / geofisica in sito consiste in:

- n. 1 prova CPTS (cono sismico) fino alla profondità di 36.0 mt
- n. 5 prospezioni geofisiche tramite misura di microtremori a stazione singola e tecnica HVSR;
- n. 2 prospezioni di sismica attiva tecnica FTAN
- n. 2 prospezioni geofisiche in array tramite antenna sismica ESAC;

Mentre ulteriori dati geognostici/geofisici, specificamente utilizzati lungo la linea di costa per le correlazioni e calibrazione dei modelli di calcolo, sono stati messi a disposizione dall'Amministrazione e consistono in:

- n. 1 Sondaggio con prova geofisica Down Hole;
- n. 3 prove HVSR;
- n. 2 prove MASW;

Dalle indagini geognostiche realizzate in concomitanza dello studio geologico nonché attraverso il materiale bibliografico (sezioni geologiche e prove geognostiche della pianura emiliano romagnola a cura del Servizio geologico e sismico dei suoli della Regione Emilia Romagna) è stato possibile ottenere una caratterizzazione sismica del sito consistente in una valutazione areale degli spessori degli orizzonti litologico/geofisico presenti, della loro parametrizzazione dinamica oltre alla determinazione delle frequenze naturali del sottosuolo.

Sulla base di tali dati è stato poi possibile applicare le metodiche relative agli studi di microzonazione sismica di 2° e 3° livello pertinenti alla realizzazione dell'opera in oggetto sviluppando una analisi numerica puntuale per l'ottenimento dello spettro di risposta del sito e dei Fattori di Amplificazione.

## **2 MICROZONAZIONE SISMICA**

Sinteticamente la metodica qui espressa prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente. Come indicato nell'atto di indirizzo il terzo livello è obbligatorio in fase di progettazione sia quando con il 2° livello si dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale sia per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da elevati effetti di amplificazione sia per scenari di pericolosità sismica locale determinati da instabilità, cedimenti, liquefazione o contatti stratigrafici e/o tettonici tra litotipo con caratteristiche fisico-meccaniche particolarmente differenziate.

Nel caso in esame, poiché l'arenile ricade fra scenari di pericolosità sismica per liquefazione, la RSL diventa opportuna al fine di una adeguata definizione delle azioni sismiche attese.

La procedura messa a punto dalla normativa fa riferimento ad una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) e può essere implementata considerando altri periodi di ritorno.

## 2.1 Indicazioni sui livelli di analisi

Il 1° e 2° livello consistono rispettivamente in un approccio di tipo qualitativo ed una caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione, di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici.

Tali analisi una caratterizzazione geologico-tecnica e geomorfologica dell'area oggetto di studio; è necessario inoltre caratterizzare il sottosuolo attraverso prove geotecniche (perforazioni, trincee esplorative e prelievo di campionamenti rappresentativi e indisturbati) e indagini geofisiche.

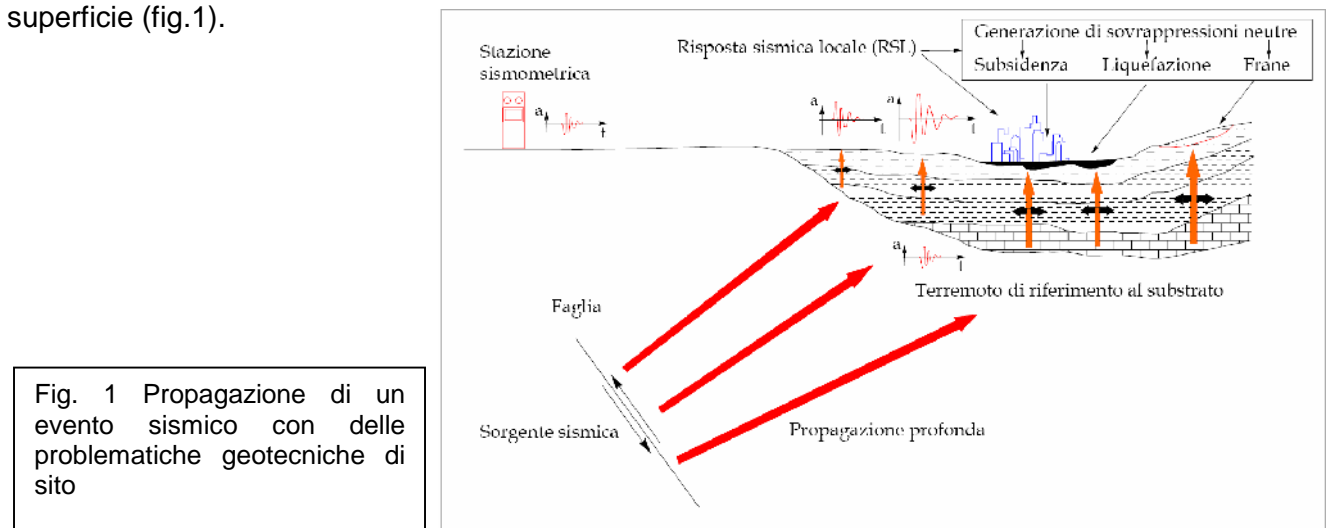
Per le analisi di 2° livello si distinguono 3 tipi di approccio geofisico:

- metodi basati sulla distinzione delle velocità delle onde di taglio (relazioni empiriche che permettono di quantificare l'amplificazione generata da un deposito in funzione delle sue proprietà geofisiche), in cui vengono proposte diverse relazioni tra le quali quella di Shima (1978), quella di Midorikawa (1987), quella di Joyner and Fumal (1984) e quella di Borcherdt et alii (1991);
- metodi basati sulla classificazione dei depositi (determinazione degli spessori, della successione degli strati e del relativo stato di addensamento o di consistenza);
- metodi basati sulla misura dei microtremori (utilizzo dei metodi di Konai and Tanaka, 1961 e di Nakamura, 1989).

Il 3° livello permette una caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi. Tali analisi richiedono, rispetto alle precedenti, una caratterizzazione più approfondita ed accurata dell'area in esame, ottenuta per mezzo di specifiche indagini geologiche e geotecniche in sito ed in laboratorio. La differenza sostanziale con i precedenti livelli di approfondimento consiste nella diretta definizione dei parametri meccanici e dinamici dei terreni consentendo di valutare gli effetti di sito per una determinata area.

## 2.2 Risposta sismica locale

Con il termine di risposta sismica locale si intende quell'insieme di modifiche che un moto sismico generato ad una determinata profondità subisce attraversando gli strati sovrastanti fino alla superficie (fig.1).





Per giungere alla determinazione della risposta sismica locale (2° - 3° livello) un sito deve essere sottoposto a specifiche indagini di dettaglio finalizzate alla definizione di tutte le proprietà puntuali che la caratterizzano.

Queste indagini riguardano in particolare la definizione dei seguenti aspetti:

1. Stratigrafia delle formazioni superficiali con dettagliata definizione dei contatti tra di esse;
2. Profili di velocità delle onde sismiche;
3. Caratteristiche dei terreni, con particolare riferimento al loro comportamento sotto l'azione di cariche ciclici e dinamici a vario grado di deformazione.

### **3 ANALISI GEOLITOLOGICA E MORFOLOGICA LOCALE**

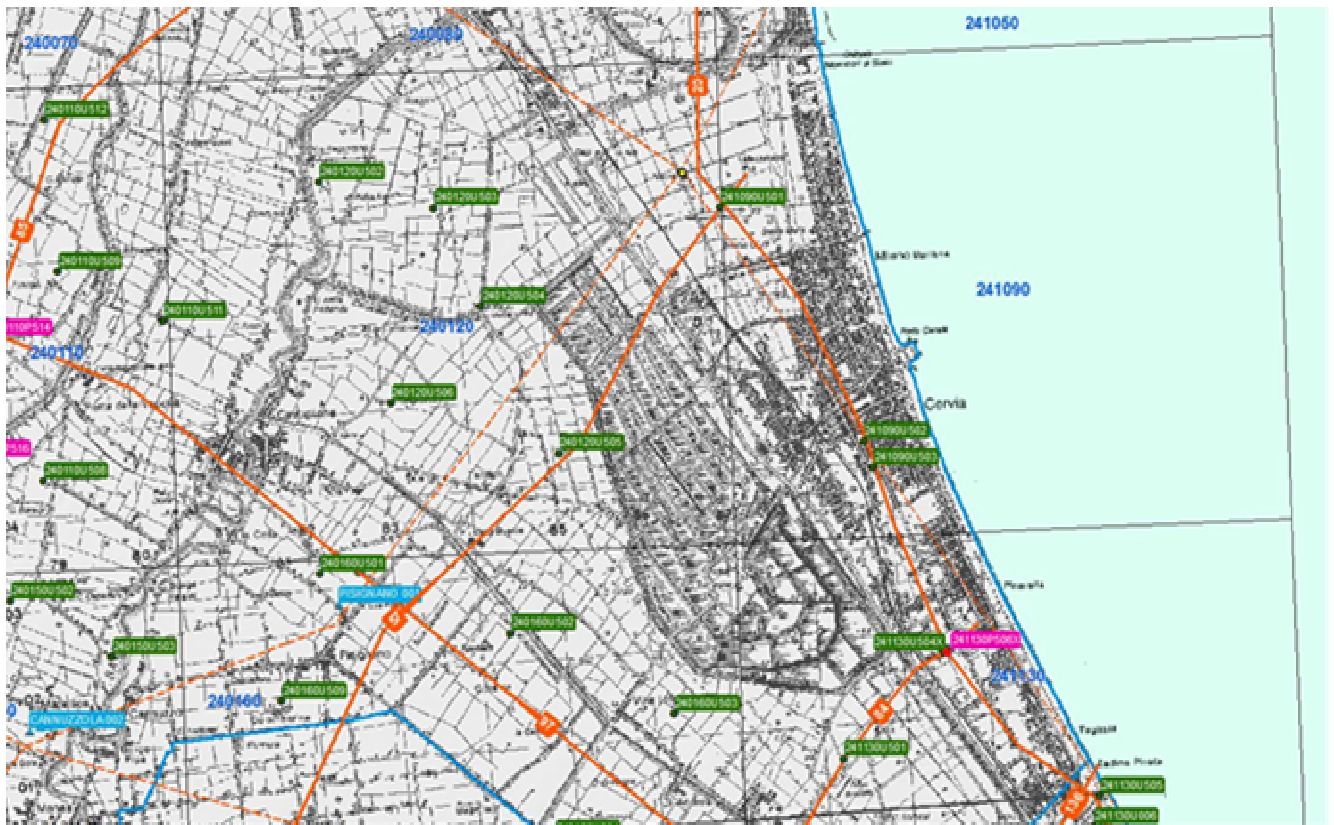
Il modello geologico di riferimento e l'assetto stratigrafico generale considerati sono quelli già illustrati e definiti con dettaglio nello Studio Geologico al Capitolo n. 2 e 4.

Per cui gli orizzonti superficiali rappresentativi risultano:

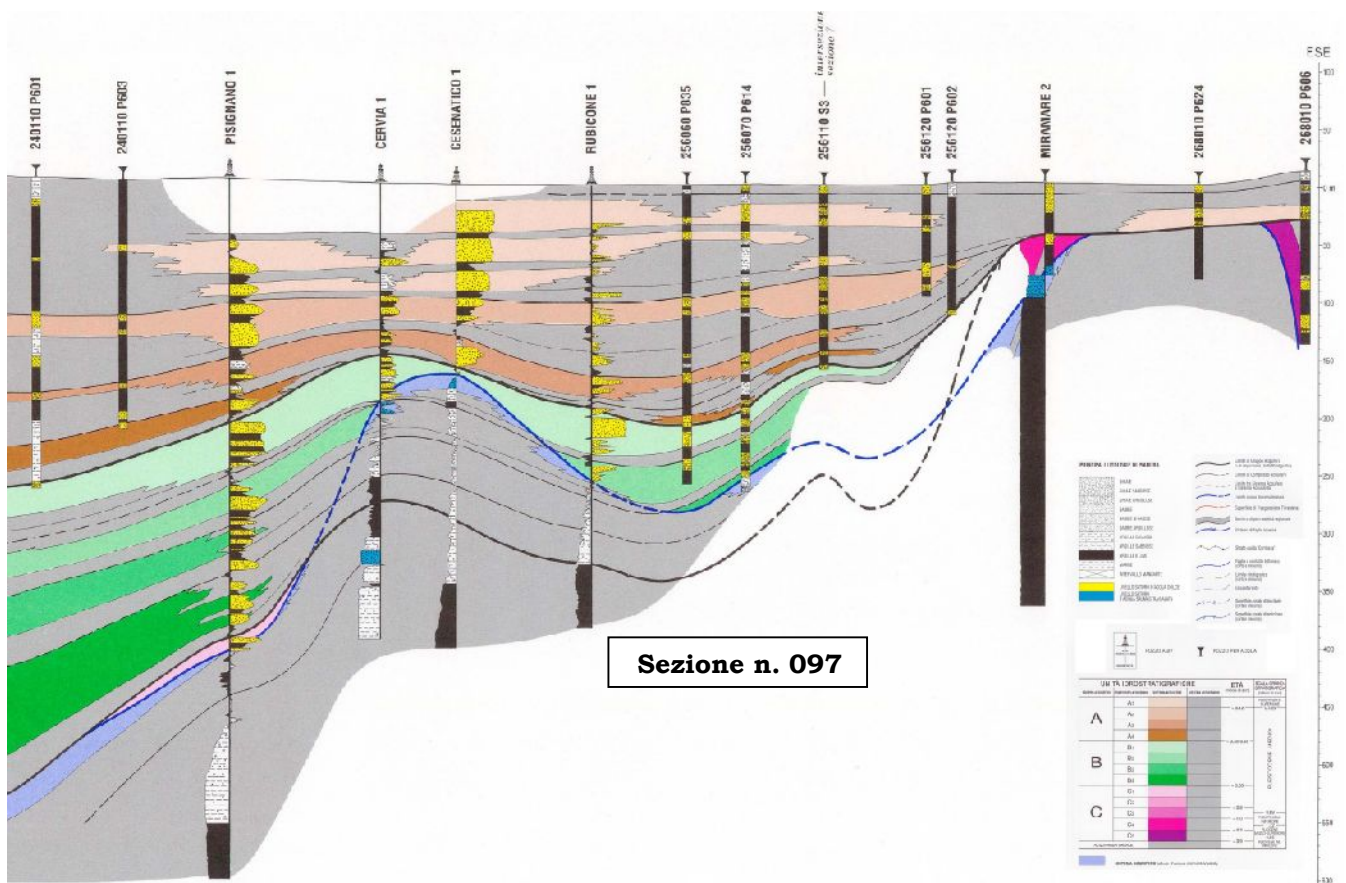
<b>LIT.</b>	<b>Descrizione</b>
<b>V</b>	<b>Livello superficiale</b> Sabbia di colore nocciola con sparso detrito fine. Trattasi della parte emersa della spiaggia, areata, povero di sostanze organiche ed a permeabilità alta.
<b>S</b>	<b>Sabbie mediamente addensate</b> Sabbia medio - fine / fine talora debolmente limosa con rari passaggi millimetrici torbosi nerastri, sparsi bioclasti. Presentano una permeabilità elevata.
<b>H</b>	<b>Sabbie poco addensate</b> Sabbia medio - fine / fine talora debolmente limosa con rari passaggi millimetrici torbosi nerastri, sparsi bioclasti. Presentano una permeabilità orizzontale buona molto superiore a quella verticale per via dell'assetto deposizionale e dell'interstratificazione con occasionali livelli limo-argillosi
<b>AI</b>	<b>Alternanze</b> Alternanze di sabbia da fine a finissima con limo sabbioso di colore nocciola. Presentano una permeabilità orizzontale da buona ad elevata molto superiore a quella verticale limitata dalla intercalazione con livelli limo-argillosi
<b>C</b>	<b>Limi ed argille compressibili</b> Limi con argilla di colore grigio, presenza di striature di ossidazione, livelli organici nerastri, di locali orizzonti centimetrici di limo e sabbia fine. .
<b>L</b>	<b>Limi-argillosi ed argille da mediamente compatti a compatti</b> Limi con argilla di colore grigio, presenza di striature di ossidazione ocracee, di rari livelli torbosi nerastri, di locali orizzonti centimetrici di sabbia fine.
<b>SH</b>	<b>Sabbie limose e limi sabbioso – argillosi</b> In matrice limo-argillosa. Rappresentano strutture arginali e/o di paleoalveo dei corsi d'acqua principali.

Dalla "Sezione Geolitologica Litoranea" (Allegato n. 7 alla relazione geologica) è possibile evincere come il cuneo sabbioso superficiale (AES8a e parte di AES8), soprastante i depositi alluvionali continentali (AES8), presenti uno spessore crescente spostandosi da S verso N passando rispettivamente circa da 11 a 21 mt.

Per quanto attiene alla geologia profonda, come è possibile evincere dal paragrafo 2.2 dello Studio Geologico ed in particolare dalle sezioni geologiche profonde n. 136 – 097 del Servizio Geologico R.E.R.- Progetto CARG, si evidenzia come anche i depositi continentali, sebbene omogenei da un punto di vista litostratigrafico, presentino uno spessore variabile al di sopra del substrato marino Plio-Pleistocenico procedendo da S verso N. Tale differenza di spessore sarebbe imputabile ad una zona di alto strutturale presente circa all'altezza del confine con Cesenatico (vedi figura sottostante).



Stralcio Ubicazione sezioni profonde RER



Sezione n. 097

Stralcio Sez. 097 RER

In particolare, anche dai pozzi profondi AGIP denominati Cesenatico\_1 e Pisignano\_1, gli spessori della copertura continentale risultano passare da circa 250/300 mt nel settore meridionale ad oltre 400 mt nei pressi del confine settentrionale dell'area. Si evidenzia altresì la scarsa presenza di livelli grossolani nelle litofacies di transizione AES-AEI a contatto col substrato marino.

A tal proposito, per le finalità del presente studio di RSL e della necessità di definire un assetto geologico/geofisico caratteristico per specifiche porzioni di territorio, l'area in studio è stata suddivisa secondo 2 tipologie "medie", denominate "Arenile Sud" e "Arenile Nord", ritenute rispettivamente rappresentative per il settore centro meridionale e centro-settentrionale:

### ARENILE SETTORE MERIDIONALE

LIT.	Profondità Da mt a mt	Descrizione
<b>CS</b>	da 0.0 a 12.8	<b>Cuneo Sabbioso Marino</b> Prevalenti sabbie e limi sabbiosi di deposizione costiera. Andamento di velocità Vs crescente con modesto gradiente e occasionali modeste inversioni di velocità al contatto con le alluvioni sottostanti per presenza di orizzonti metrici di argille organiche compressibili
<b>AC</b>	da 12.8 a 250	<b>Alluvioni continentali</b> Prevalenti Alternanze di limi argillosi e sabbiosi con occasionali livelli grossolani Andamento di velocità Vs crescente con modesto gradiente
<b>BDR</b>	da 250.0 in poi	BEDROCK SISMICO - Substrato formazionale marino rigido

### ARENILE SETTORE CENTRO-SETTENTRIONALE

LIT.	Profondità Da mt a mt	Descrizione
<b>CS</b>	da 0.0 a 17.0	<b>Cuneo Sabbioso Marino</b> Prevalenti sabbie e limi sabbiosi di deposizione costiera Andamento di velocità Vs crescente con modesto gradiente e occasionali modeste inversioni di velocità al contatto con le alluvioni sottostanti per presenza di orizzonti metrici di argille organiche compressibili
<b>AC</b>	da 17.0 a 310	<b>Alluvioni continentali</b> Prevalenti Alternanze di limi argillosi e sabbiosi con occasionali livelli grossolani Andamento di velocità Vs crescente con modesto gradiente
<b>BDR</b>	da 310.0 in poi	BEDROCK SISMICO - Substrato formazionale marino rigido

Dal punto di vista tettonico e da un confronto con i database cartografici ed informativi esistenti (DISS 3, Ithaca-ISPRA, Carta Geologico Strutturale dell'Appennino Emiliano Romagnolo, Carta Geologica RER), nell'area di indagine non sono accertate strutture appenniniche affioranti certe, tali da poterle ritenere rilevanti ai fini della pericolosità sismica.

## **4 INDAGINI IN SITO**

### **4.1 Indagini meccaniche e geofisiche**

Per la caratterizzazione geomeccanica dell'arenile sono state utilizzate le informazioni/indagini già a corredo dello studio geologico ed in particolare (vedi allegati n. 2, 3, 4):

- Campagna geognostica e geofisica nel mese di febbraio 2016 comprendente:
  - esecuzione di n. 12 prove penetrometriche statiche con punta elettrica CPTe distribuite lungo il litorale cervese.
- Campagna geofisica Aprile 2016 comprendente:
  - n. 2 indagini congiunte di tipo ESAC-H/V-FTAN in aree campione della costa cervese;
  - n. 1 prova SCPT con cono sismico spinta alla profondità di – 36 mt da p.c.;
  - n. 3 prove HVSR.
- Dati geognostici e geofisici esistenti da archivio Comune di Cervia e realizzati da terzi per interventi edilizi nonché presenti nella Banca dati Regione Emilia Romagna comprendenti:
  - n. 2 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU, n. 1 prova con tomografo HVSR e n. 1 prova di sismica attiva indiretta MASW allegata al P.P. Ambito ex Colonia Montecatini - Pentagonama Romagna S.p.a. in località Milano Marittima nei pressi del confine settentrionale del territorio comunale di Cervia;
  - n. 2 profili stratigrafici di sondaggi a carotaggio continuo, n. 5 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU, n. 1 prova con tomografo HVSR e n. 1 prova di sismica attiva diretta DOWN HOLE allegata al P.P. Ambito Prima Traversa - Pentagonama Romagna S.p.a. in località Milano Marittima nei pressi del confine settentrionale del territorio comunale di Cervia;
  - n. 1 profilo stratigrafico di sondaggio a carotaggio continuo, n. 2 prove penetrometriche statiche CPT in via Cristoforo Colombo riportate nella Banca Dati Regione Emilia Romagna;
  - n. 1 prova penetrometrica statica CPT in via Italia riportata nella Banca Dati Regione Emilia Romagna;
  - n. 1 profilo stratigrafico di sondaggio a carotaggio continuo in località Pinarella riportato nella Banca Dati Regione Emilia Romagna.

In particolare per la caratterizzazione geofisica puntuale, dei materiali e la misura delle Vs in profondità, per i siti oggetto di analisi di RSL, sono state utilizzate le seguenti prove geofisiche:

- n° 1 prova di sismica attiva SCPT, prof. 36 mt;
- n° 5 misure di rumore ambientale (Sismica passiva HVSR) di cui n. 3 tramite acquirente a frequenza 4.5 Hz e n. 2 a 2.0 Hz;
- n° 2 misure tramite antenna sismica ESAC;
- n. 2 prove di sismica attiva tramite tecnica FTAN.

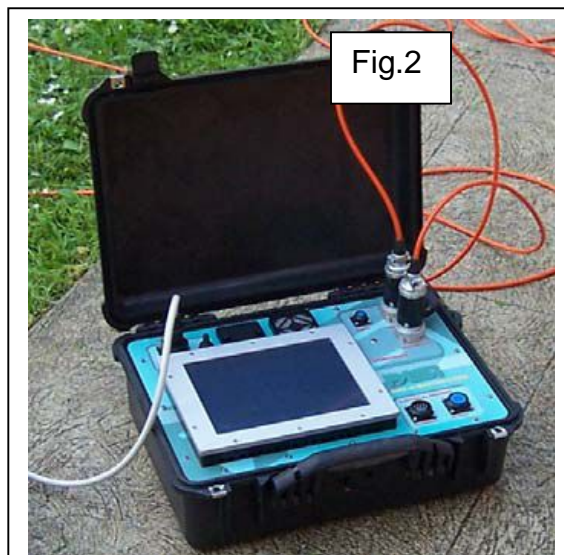
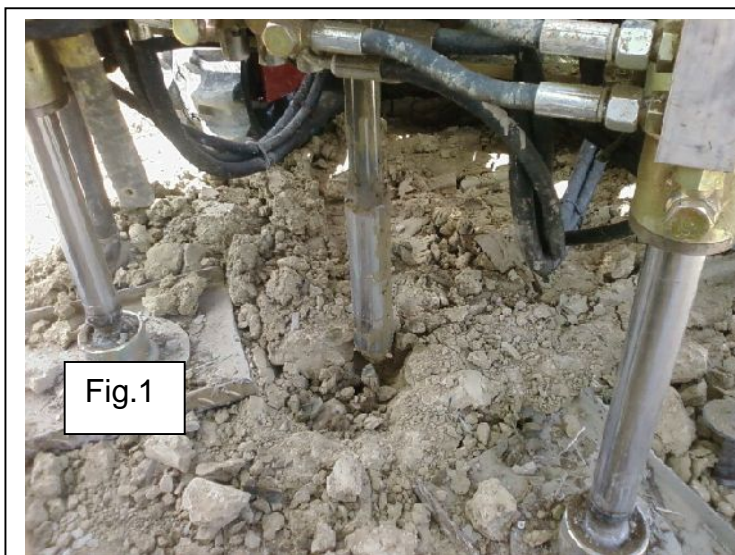
Le prove ESAC sono poi state elaborate tramite tecnica di inversione congiunta con fit vincolato ESAC-H/V-FTAN

Lo schema planimetrico allegato in coda alla relazione (all. 2) mostra la posizione delle prove geofisiche di riferimento.

Le tecnologie geofisiche utilizzate, data l'omogeneità e semplicità stratigrafica dei siti, si ritengono sufficienti a caratterizzare adeguatamente il sottosuolo. Le prove ad alta risoluzione con cono sismico (SCPT) e Down Hole (utilizzato a titolo di calibrazione), unitamente alle misure di sismica attiva FTAN, passiva HVSR, alle prove ESAC ed alle prove geognostiche di correlazione, hanno consentito di valutare l'omogeneità strutturale/geofisica dell'area, il posizionamento del bed-rock sismico nonché le frequenze di risonanza del sito.

#### **4.1.1 Prova penetrometrica CPTS con cono sismico**

L'esecuzione dell'indagine geofisica è avvenuta all'interno del foro in cui è stata precedentemente effettuata la prova penetrometrica statica SCPT1, la cui ubicazione è stata indicata in allegato n. 2. La punta sismica viene calata all'interno del foro e ad ogni metro viene effettuata una misurazione. La punta sismica (fig.1) è realizzata in acciaio cementato.



Al suo interno sono posizionati tre geofoni orientati secondo gli assi  $x - y - z$  al fine di ricevere le onde di tipo S e onde di tipo P. La sonda sismica attraverso un cavo, è collegata con l'unità di acquisizione (fig.2) in superficie avente le seguenti caratteristiche: un sismografo PASI 16S24P; Processore Intel Celeron; Trattamento dati Floating Point 32 bit; - Ambiente Operativo Windows Xp; Numero canali 24; Display VGA a colori LCD touch screen; Supporto memorizzazione Hard - Disk 80Gb; Temperatura di funzionamento  $0^{\circ} - 55^{\circ}$ ; Umidità 5%- 90%.

In adiacenza al foro è posizionata la sorgente di energizzazione. Essa è costituita da un maglio di 8kg che colpendo un blocco di legno verticalmente e trasversalmente genera onde di compressione (P) e onde di taglio (S). I dati di campagna acquisiti dal sismografo sono stati interpretati con il software Intersism.

Dall'elaborazione dei dati si ricavano i valori delle velocità di propagazione delle onde sismiche ( $V_p$  e  $V_s$ ) del sottosuolo indagato. Successivamente da tali valori vengono determinati i seguenti parametri del terreno (vedi allegato n. 4) come descritti anche al par. 4.2.1.1.:

- Coefficiente di Poisson
- Peso di Volume  $\gamma$  in ton/mc
- Modulo di Elasticità dinamico  $E_{din}$  in kg/cmq
- Modulo di taglio dinamico  $G_{din}$  in kg/cmq
- Modulo di Compressibilità dinamico  $K_{din}$  in Kg/cmq

#### 4.1.2 Valutazione dei Moduli Elastici Dinamici

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, al fine di modellare la risposta sismica locale, è opportuno definire alcuni parametri dinamici del terreno (vedi all. n. 3).

Generalmente 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  $t/m^3$
- Modulo di Elasticità dinamico  $(E_{din})$  in  $Kg/cm^2$
- Modulo di Taglio dinamico  $(G_{din})$  in  $Kgcm^2$
- Modulo di Compressibilità dinamico  $(K_{din})$  in  $Kgcm^2$

Tuttavia, avendo condotto analisi geofisiche basate solo sulla verifica delle onde di taglio e microtremori, alcuni parametri e la loro variabilità possono essere definiti direttamente ( $E_{din}$  -  $G_{din}$ ), mentre altri vengono dedotti da esperienze condotte su aree vicine e terreni simili (appartenenti alla stessa tipologia litologica e formazionale) e con metodi di indagine delle onde Vs e Vp ad alta risoluzione (penetrometro sismico e tomografia in onde Vp e Vs).

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:

$$\text{Coefficiente di Poisson} \quad \nu = \frac{V_p^2 - 2 \cdot V_s^2}{2 \cdot (V_p^2 - V_s^2)}$$

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:

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

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

$$\text{Densità geofisica} \quad \delta_{din} = \frac{\gamma}{g} \quad (g = 9.8 - \text{acc. di gravità m/sec})$$

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 Vp, della densità geofisica e del coefficiente di Poisson il parametro è definito dalla seguente relazione:

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

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 Vs e della densità geofisica il parametro è definito dalla seguente relazione:

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

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:

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

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 elastiche istantanee.

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  $C_c$ .

#### 4.1.3 Indagini di sismica passiva - metodologia HVSR

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.

Si 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 sovrastante 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 metodologia 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.

Questa tecnologia è stata oggetto del progetto di ricerca SESAME (Site EffectS assessment using AMBient Excitations) ed a questo si rimanda per le linee guida della tecnica H/V spectral ratio (<http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>).

La sismica passiva a stazione singola fornisce quindi importanti informazioni sui terreni di indagine relativamente alle frequenze naturali e di risonanza.

Nel caso specifico si è ritenuto adeguato l'utilizzo di tale metodologia in quanto **è possibile anche un'adeguata taratura "stratigrafica" e "geofisica" tramite le prove geognostiche in sito ed un'elaborazione congiunta con altre tecniche investigative del sottosuolo (FTAN ed ESAC) al fine di ottenere una stima del profilo di VS con la maggior attendibilità e coerenza possibile.**

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un registratore sismico "Tromino" con frequenza propria a 4.5 Hz, prodotto dalla ditta Micromed S.p.a., e di un registratore Gemini 2, con freq. propria 2 Hz, prodotto dalla ditta PASI s.r.l.

Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore. Lo strumento è stato posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno; inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale. Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, vengono archiviati, analizzati ed elaborati come mostrato in seguito.

#### 4.1.3.1 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:

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

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 media, 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.

#### 4.1.3.2 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.



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 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.

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.

La strumentazione di acquisizione presenta le seguenti specifiche:

1. trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza (< 2-4.5 Hz);
2. amplificatori;
3. digitalizzatore;
4. frequenza di campionamento: > 50 Hz;
5. convertitore A/D (analogico digitale) a 24 bit;
6. durata registrazione: >20-30 minuti;

#### 4.1.3.3 Elaborazione dati

L'elaborazione dei dati raccolti impiega un software (Grilla-WinMasw-Geopsy) in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations, 2005).

Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V e delle SINGLE COMPONENT SPECTRA, ovvero l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S\_E-O\_Verticale) secondo la procedura descritta in Castellaro et altri (2005), con parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20-30 s,
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale;
- rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V;

consentendo di definire il massimo del rapporto HVSR nel valore di  $f_0$  – Frequenza/e di risonanza e la sua deviazione standard.

Il certificato finale della prova presenta:

1. i criteri di attendibilità della misura;
2. i criteri di validità del picco di  $f_0$ ;
3. i valori di soglia delle condizioni di stabilità;
4. l'analisi dei criteri in particolare con verifica rispetto alla frequenza del sensore ed alla presenza di rumore di origine industriale;
5. l'interpretazione di  $f_0$  e dello spettro H/V nei termini di caratteristiche del sito.

Per gli scopi e finalità dell'indagine le misure HVSR offrono la possibilità di determinare:

1. valutazione dell'omogeneità del sito rispetto alle frequenze di risonanza;
2. stima spessori della coltre di copertura e dell'andamento dei profili di Vs.

Inoltre è possibile invertire le curve HVSR creando una serie di modelli sintetici da confrontare con quello sperimentale fino a considerare ottimale il modello teorico più prossimo alle curve sperimentali, basato sulla propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato.

Onde verificare la qualità della registrazione e, quindi, la corretta utilizzazione del dato acquisito ed elaborato, sono state valutate le caratteristiche di persistenza e direzionalità del segnale, necessarie a garantire il carattere stocastico della grandezza da misurare e, quindi, l'affidabilità del risultato.

#### 4.1.4 Indagini di sismica attiva FTAN - Frequency-Time Analysis

Al fine di una corretta valutazione della risposta sismica locale, la definizione dei profili delle velocità delle onde di taglio Vs rappresenta una delle fasi più importanti. Anche in spazi ridotti si può applicare la metodologia FTAN, Frequency-Time ANalysis, (usata fino a poco tempo fa solo in campo sismologico), che richiede un solo ricevitore in superficie e, grazie alla quale, si possono ottenere profili dettagliati di velocità delle onde trasversali con la profondità, attraverso lo studio e l'inversione della curva di dispersione delle onde superficiali di Rayleigh, generate artificialmente con un'ideale massa battente.

La metodologia FTAN (Levshin et al., 1992) si basa sull'analisi bidimensionale frequenza-tempo del segnale e permette la separazione dei singoli modi di propagazione partendo dal segnale completo. Si tratta di un metodo multifiltro, in quanto al segnale si applica, nel dominio delle frequenze, una serie di filtri gaussiani variandone la frequenza centrale. L'uso del filtro aggiuntivo nel dominio dei tempi di arrivo e dell'equalizzazione della fase permette di separare il modo fondamentale da quelli superiori (Ratnikova, 1990). L'energia di questi segnali è, istante per istante, proporzionale al quadrato dell'ampiezza e ciò significa avere informazioni sull'energia portata dalla componente di una data frequenza del segnale originale in funzione del tempo. Siccome il percorso dell'onda è costante e noto a priori, il tempo d'arrivo di ciascuna ampiezza è inversamente proporzionale alla sua velocità di gruppo: dunque, la conoscenza dell'ampiezza permette di determinare, per una data frequenza, il contenuto energetico del segnale in funzione della velocità di gruppo. Questo procedimento viene ripetuto per tutte le frequenze centrali, i valori così ottenuti vengono rappresentati mediante una matrice avente come colonne i valori in dB dell'energia a periodo T fissato e come righe i valori con velocità di gruppo U costante, scelti campionando la U in un intervallo stabilito dall'operatore. La matrice è trasformata in immagine associando a diversi valori numerici una scala di colori, ottenendo così la mappa FTAN (e.g. Nunziata et al., 1999).

Nel caso in esame è stato utilizzato un offset (distanza sorgente-ricevitore) pari a 40 mt, ritenuta idonea per la situazione in sito e la tipologia di energizzazione adottata (massa battente). La frequenza di campionamento è pari ad 1KHz.

La validità della metodologia FTAN è stata testata da diversi autori tramite confronto con altre tecniche di sismica attiva ordinarie, presentando risultati altrettanto validi e rigorosi.

#### 4.1.5 Indagini di sismica passiva - ANTENNA SISMICA (ESAC)

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 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.

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 L con 18 ricevitori per braccio lungo interspaziati di 5 metri e 6 ricevitori per il braccio corto a interspaziatura varia da 1 a 10 mt. Per l'analisi ed interpretazione dei dati sismici acquisiti è stato utilizzato il codice di calcolo ESAC del software Winmasw.

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 ed all'analisi FTAN (per gli orizzonti più superficiali) in modo da avere un maggiore controllo sul fitting e quindi un dato sperimentale più efficiente.

## **5 RISULTANZE INDAGINI SISMICHE**

In allegato n. 3-4 sono riportati i risultati delle prove SCPT, Down Hole, HVSR, FTAN ed ESAC di riferimento, come sopra descritte, unitamente alle frequenze di risonanza caratteristiche dei terreni in sito ed ai profili di Vs misurati.

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).

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

### **ARENILE SETTORE CENTROSETTENTRIONALE**

- 1) con risposta superficiale - interfacce con picco tra 3-4.5 Hz (intorno a 12-20 mt);
- 2) con risposta a media profondità - interfacce a ~ 0.9 Hz (intorno a 130-150 mt).
- 3) con risposta profonda - interfacce tra 0.3-0.35 Hz (> 300 mt).

### **ARENILE SETTORE MERIDIONALE**

- 1) con risposta superficiale - interfacce con picco tra 3.0-5.5 Hz (intorno a 11-16 mt);
- 2) con risposta a media profondità - interfacce a ~ 1.2-1.3 Hz (intorno a 90-110 mt).
- 3) con risposta profonda - interfacce tra 0.44-0.55 Hz (> 200 mt).

Nei log di Vs elaborati sia da sismica attiva che passiva (DH, SCPT, FTAN, ESAC) viene rilevata una lieve inversione di velocità presente al passaggio tra cuneo sabbioso ed alluvioni sottostanti per via della presenza di orizzonti metrici di argille compressibili.

Diversamente la Vs risulta sempre gradualmente crescente con modesti gradienti, in funzione del grado di compattezza e rigidità dei materiali attraversati. La crescita graduale di velocità e l'assenza di importanti contrasti di impedenza sismica viene evidenziato anche nelle prove di sismica passiva dai diagrammi H/V, ove i contrasti di impedenza risultano sempre deboli ( $H/V < 2.0$ ) e nei grafici delle singole componenti la componente verticale si presenta con persistenza a cavallo delle orizzontali

Poiché l'andamento degli spettri ed i picchi significativi ivi indicati, in considerazione della deviazione standard, risultano presentare una significativa coerenza areale con trend di variazione costanti e regolari, non si ritiene necessario sviluppare mappe di distribuzione delle isofrequenze. Anche in questo caso si ritiene sufficiente adottare una suddivisione dell'arenile secondo due tratti rappresentativi, contraddistinti da frequenze medie.

La Vs30 a partire dal piano campagna è ritenuta rappresentativa degli orizzonti superficiali, mediante l'utilizzo della formula  $VS30 = 30 / \sum_{i=1}^N h_i / V_i$  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 dalle prove geofisiche congiunte:

#### **ARENILE SETTORE CENTROSETTENTRIONALE**

VS30 (0-30 mt da p.c.) = 184 m/s

#### **ARENILE SETTORE MERIDIONALE**

VS30 (0-30 mt da p.c.) = 181 m/s

Per quanto attiene alla caratterizzazione degli orizzonti più profondi, si è fatto riferimento alle risultanze dell'analisi HVSR ed ESAC, in grado di stimare meglio, tramite inversione congiunta, l'andamento delle VS, caratterizzando così i sismostrati maggiormente significativi nel sottosuolo sino a profondità apprezzabili. Queste ultime, oltre a confermare la sostanziale omogeneità di comportamento geofisico delle aree in studio, consentono di stimare i gradienti medi di crescita delle velocità nel sottosuolo fino alle profondità indagate.

In termini di incremento di velocità nell'analisi congiunta di ESAC1 (ARENILE NORD), da 1.5 Hz (limite dello spettro analizzato) sino alla frequenza fondamentale di sito (rilevata con tecnica H/V), corrispondente alla posizione del bedrock geofisico, si evince un gradiente pari a 1.35 m/sec/m. Invece nell'analisi congiunta di ESAC2 (ARENILE SUD), da 1.5 Hz sino alla freq fondamentale, risulta pari a 1.37 m/sec/m.

Per quanto riguarda la definizione del bedrock geofisico, ovvero la zona di interfaccia in cui si raggiunge una velocità delle onde VS significativamente superiore, considerate le esperienze condotte su terreni simili dell'Emilia, è stato assunto un valore di riferimento  $V_s=800$  m/s.

Il bedrock geofisico è contraddistinto 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.

Pertanto, in base all'andamento superficiale di Vs, alle informazioni di tipo geologico/stratigrafico (evidenza geologica) ed all'analisi congiunta con tecnica ESAC/H/V, il bedrock sismico viene stimato nei due punti di analisi RSL come di seguito:

#### **ARENILE SETTORE CENTROSETTENTRIONALE**

Bed Rock sismico = - 310 mt da p.c. –  $V_s= 800$  m

#### **ARENILE SETTORE MERIDIONALE**

Bed Rock sismico = - 250 mt da p.c. –  $V_s= 800$  m

Si rammenta che, in virtù delle metodologie adottate e della relativa precisione, alla stime di Vs, in via cautelativa, è possibile associare un'incertezza con COV (coefficiente di variazione) mediamente al 15% (da Mulargia e Castellaro 2009, riferito alla somma di errore di misura e

procedurale + variabilità della VS nel sito), riducendone/incrementandone quindi commisuratamente il valore sulla base della potenziale variabilità del dato.

## **6 RISPOSTA SISMICA LOCALE**

E' noto che le caratteristiche del moto sismico in corrispondenza di un substrato roccioso o "geofisico base" possono essere differenti da quelle in sommità della 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.

Considerate le condizioni topografiche, geometriche, morfologiche e litostratigrafiche, si ritiene opportuno effettuare una modellazione in condizioni monodimensionali.

Le analisi numeriche sono state effettuate 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 ben noto 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  $\gamma$  indotta dalle sollecitazioni sismiche. A partire dai valori iniziali dei parametri di rigidezza e smorzamento con una prima analisi si determina un primo valore caratteristico (o effettivo) della deformazione tangenziale  $\gamma_{eff}$ . Dalle curve  $G/G_0 - \gamma$  e  $D - \gamma$ , 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.

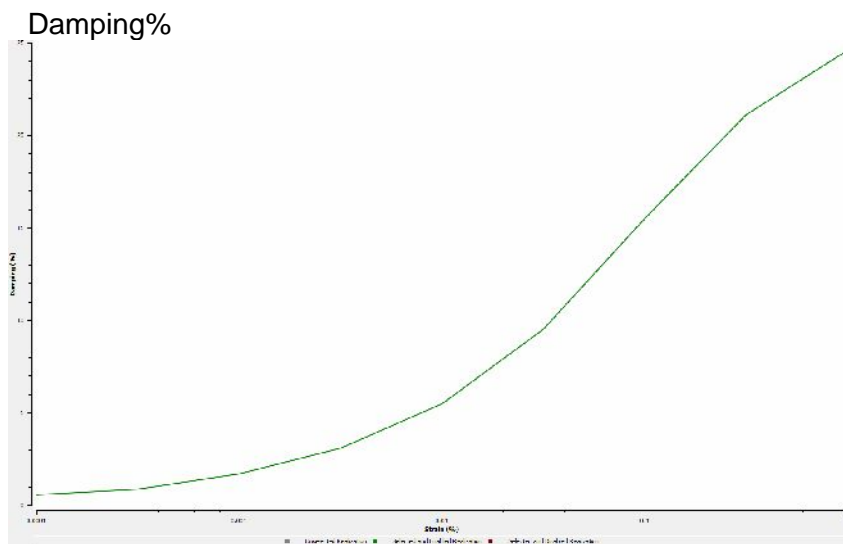
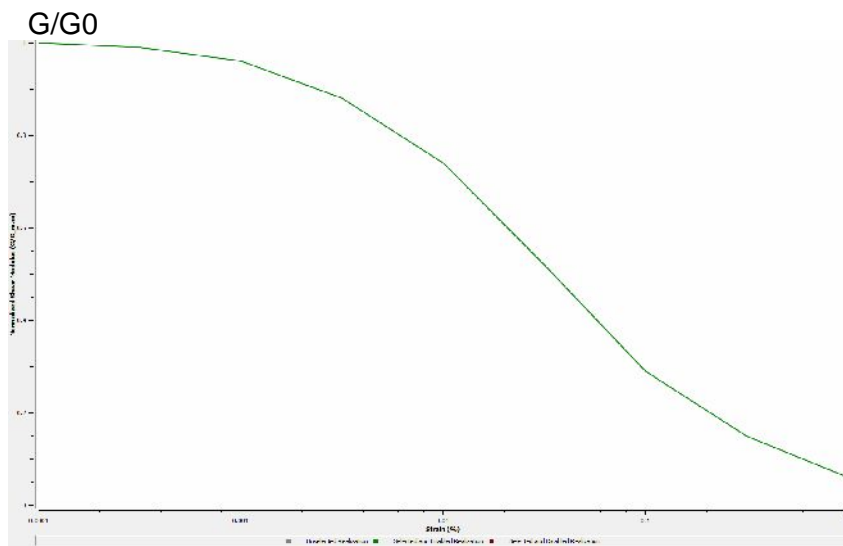
Per le analisi sui segnali/spettri in fase di input/output sono stati utilizzati i software SeismoSignal 5.1.2 e SeismoMatch vers. 2.1.2, sviluppati dalla soc. SeismoSoft, di cui si dispone della relativa licenza d'uso.

### **6.1 Modello di sottosuolo**

Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica dei terreni, non essendo stati analizzati direttamente e sperimentalmente tramite laboratorio dinamico/ciclico, sulla scorta delle esperienze condotte da vari autori in bibliografia (Idriss 90, Seed & Idriss, Darendeli & Stokoe 2001, EPRI 93, Crespellani et Al. 2007) nonché dallo scrivente tramite prove dinamiche e cicliche effettuate su terreni simili, si sono valutate le curve di decadimento del Modulo di taglio normalizzato ( $G/G_0$ ) e dello smorzamento ( $D\%$ ) presenti nel database del software Strata, implementando il modello con le curve degli autori ritenute appropriate al caso in esame ed i materiali in sito.

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

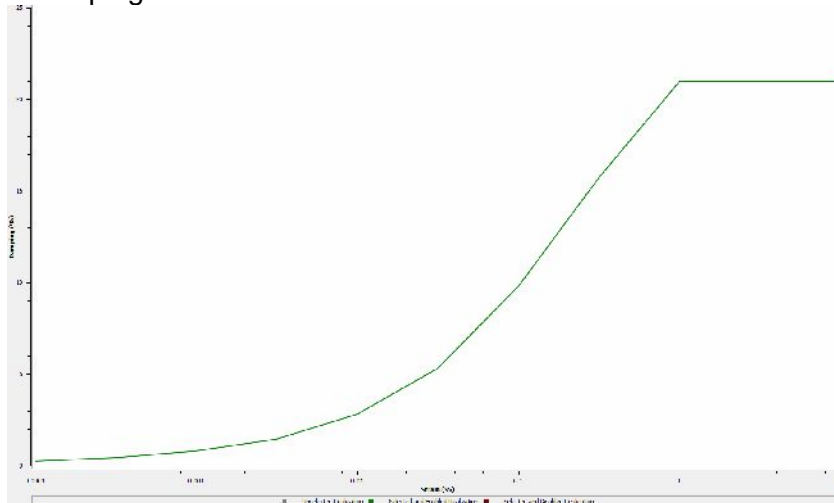
**Sabbie Sup – Seed et Al. 1986 “Sand Mean”:**



**Argille Sup – Idriss 1990 (Clay):**

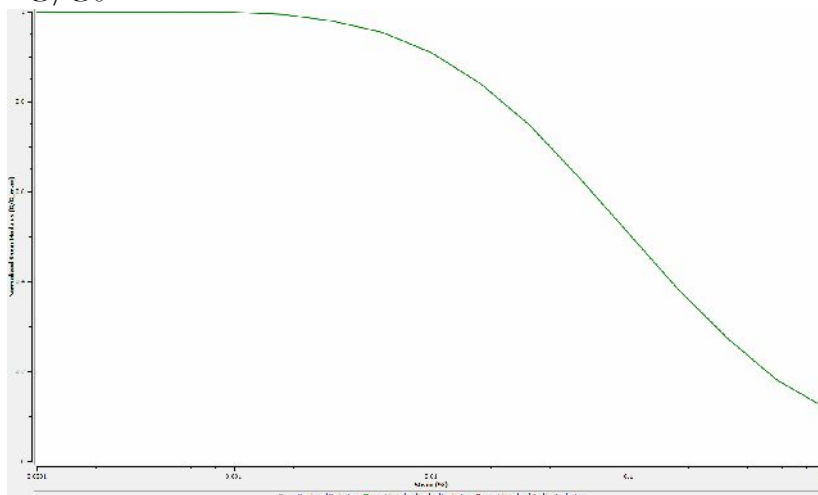


Damping %

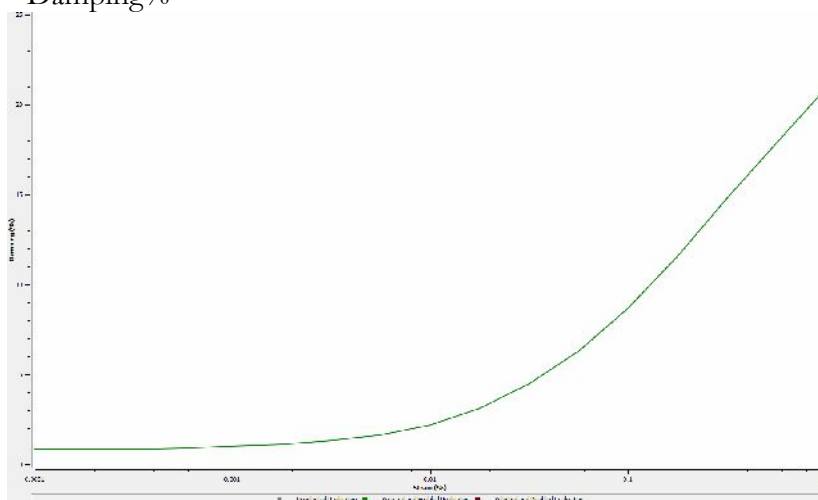


EPRI 120-250 ft :

G/G0

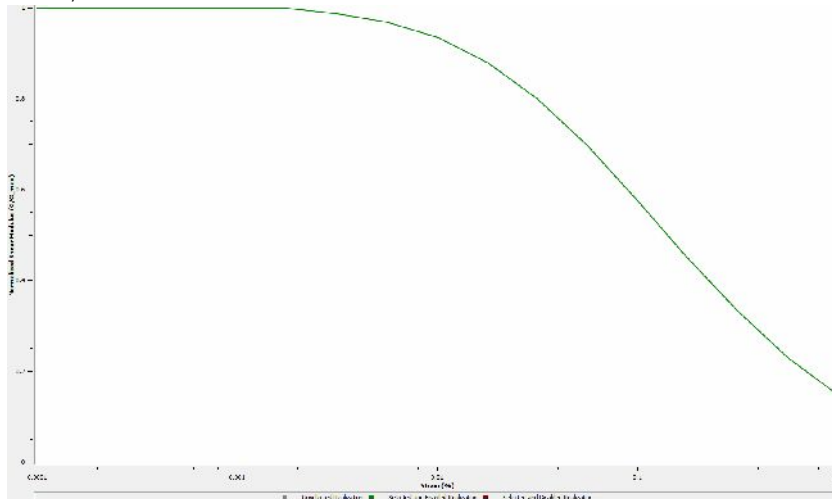


Damping%

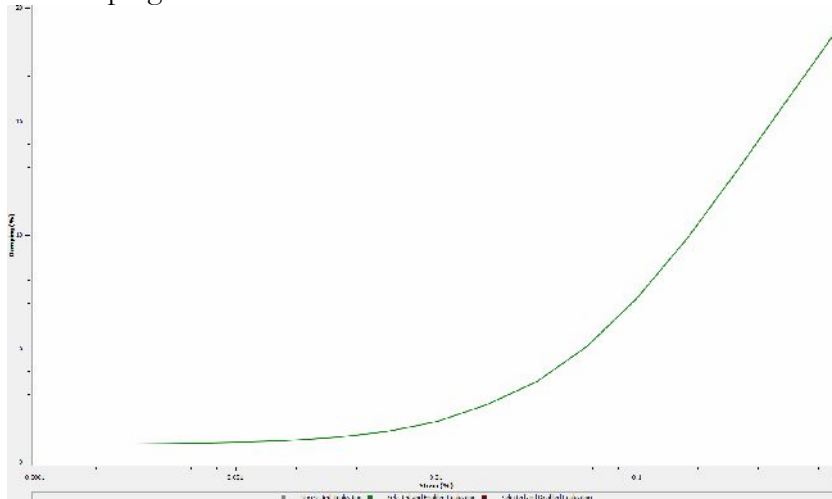


**EPRI 250-500 ft :**

G/G0

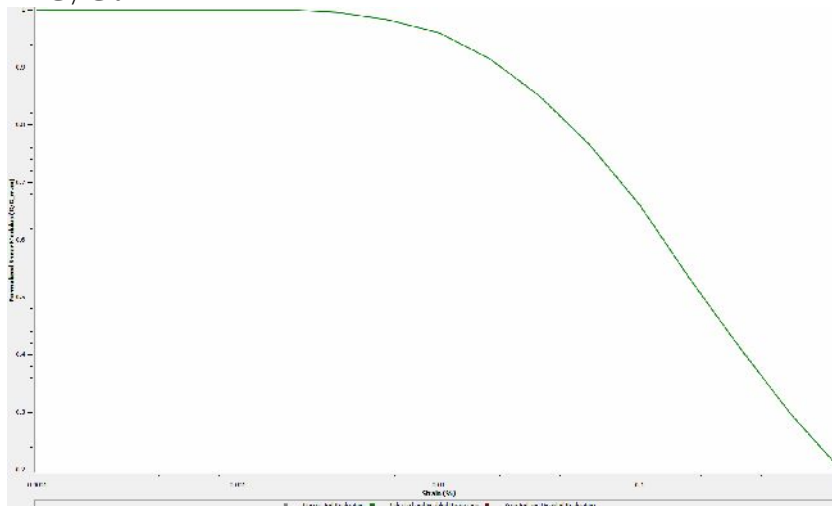


Damping<sup>0</sup>%

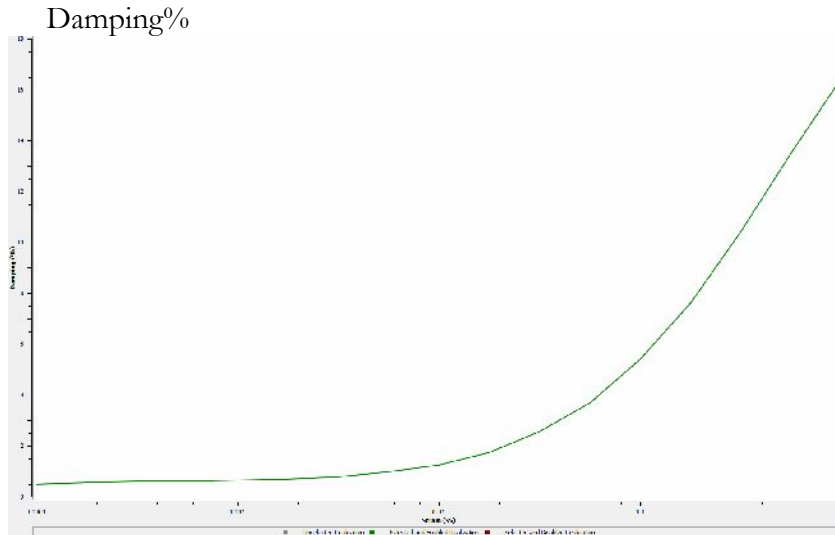


**EPRI 500-1000 ft :**

G/G0:







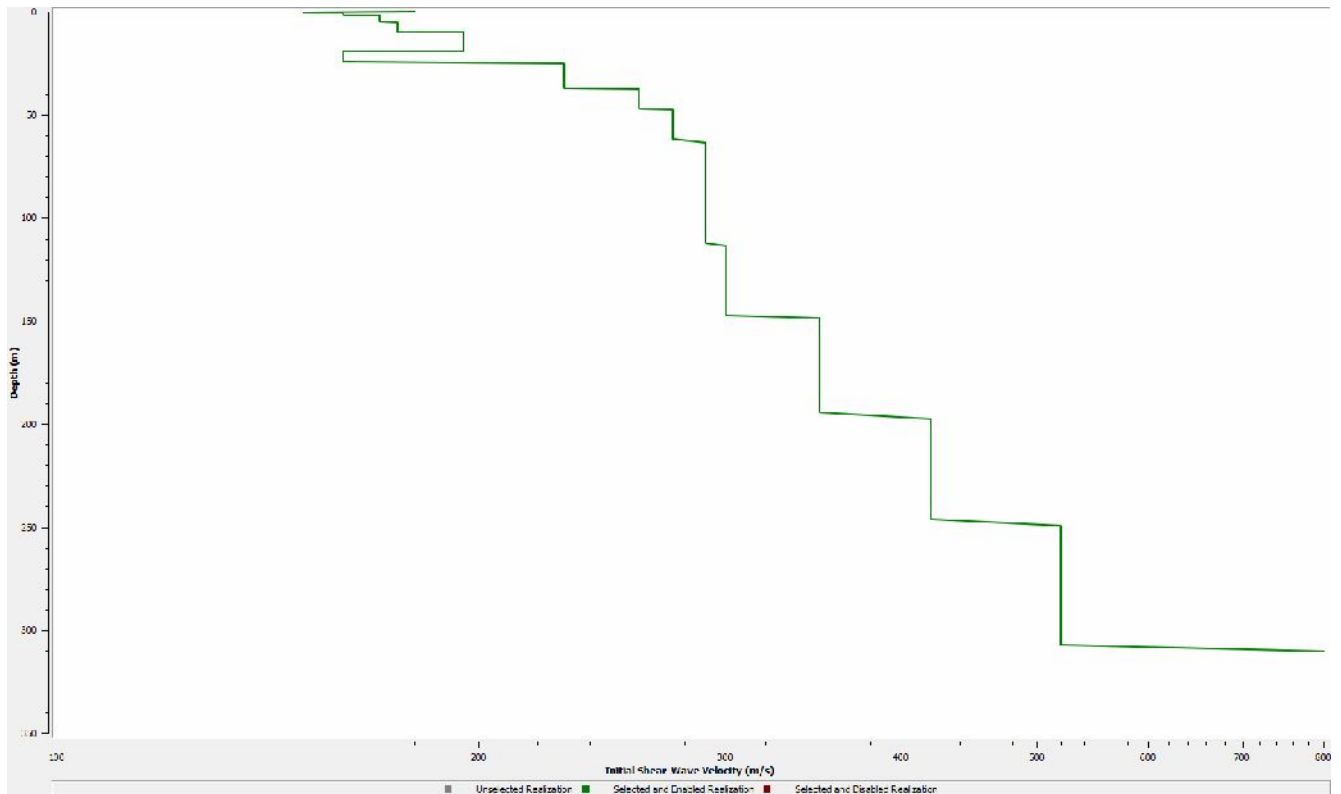
La falda è stata assunta ad un livello costante a -1.0 m

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, le curve dei Log Vs rappresentativi di sito sono state principalmente derivate dall'analisi congiunta di ESAC – H/V (superficialmente vincolata ai log Down-hole ed SCPT), stimando un gradiente utile a definire la posizione del tetto del bedrock, coerentemente alle evidenze/informazioni geologiche (vedi Par. 5); al di sotto del bedrock si ipotizza un modesto incremento della velocità in onde Vs e, quindi, nel comportamento geofisico e di rigidità dei materiali, con sostanziale assenza di significativi fenomeni amplificativi.

A tal proposito si propongono i Log di Vs e relativa partizione in sismostrati (input del modello 1D in Strata) adottati per ciascuna delle aree di riferimento:

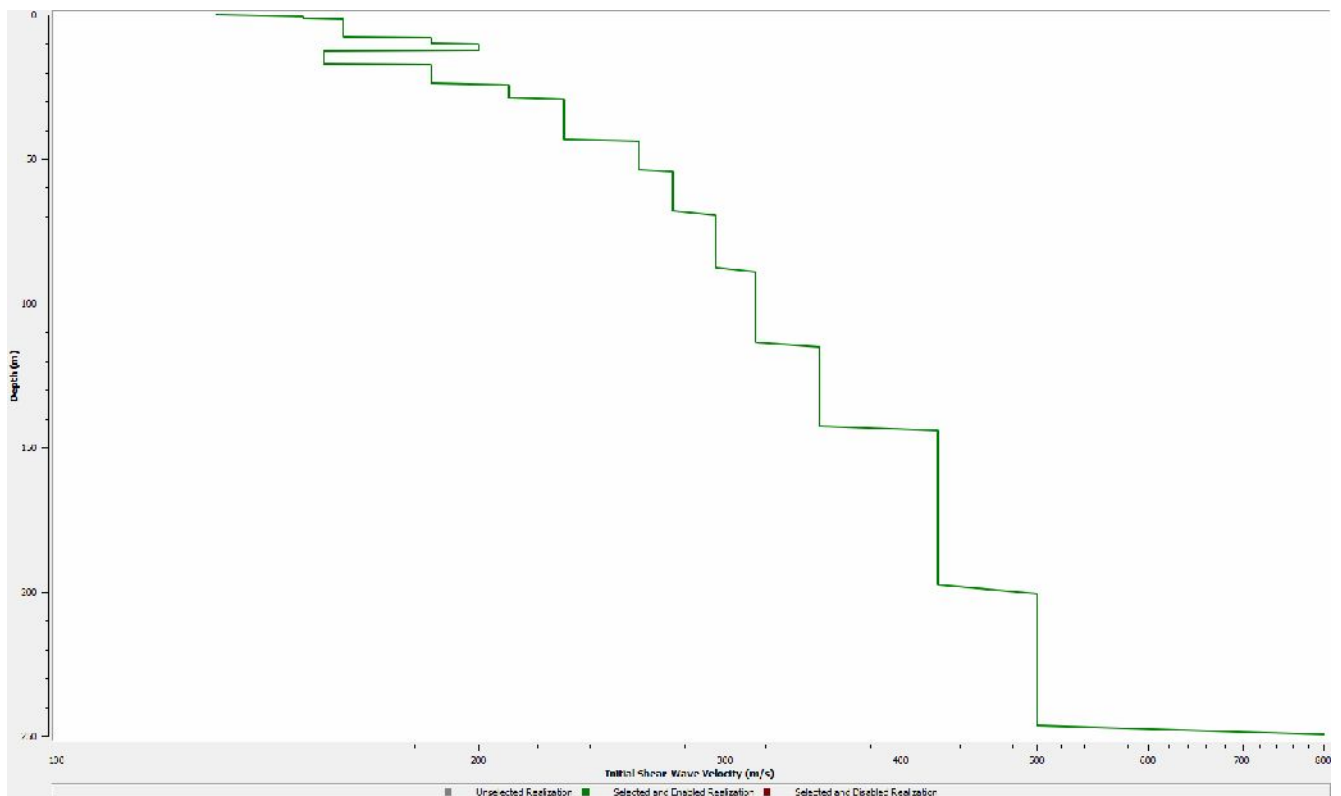
### ARENILE SETTORE CENTRO-SETENTRIONALE



**III. Soil Layers**

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Average Vs (m/s)
0	0.3	<a href="#">Sabbie sup</a>	180
0.3	0.3	<a href="#">Sabbie sup</a>	150
0.6	1	<a href="#">Sabbie sup</a>	160
1.6	3.4	<a href="#">Sabbie sup</a>	170
5	5	<a href="#">Sabbie sup</a>	175
10	7	<a href="#">Sabbie sup</a>	195
17	2	<a href="#">Argille sup</a>	195
19	5.5	<a href="#">Argille sup</a>	160
24.5	13	<a href="#">Argille sup</a>	230
37.5	10	<a href="#">Argille sup</a>	260
47.5	15	<a href="#">EPRI 120-250ft</a>	275
62.5	50	<a href="#">EPRI 250-500ft</a>	290
112.5	35	<a href="#">EPRI 250-500ft</a>	300
147.5	50	<a href="#">EPRI 500-1000ft</a>	350
197.5	50	<a href="#">EPRI 500-1000ft</a>	420
247.5	62.5	<a href="#">EPRI 500-1000ft</a>	520
310	---	<a href="#">Bedrock</a>	800

**ARENILE SETTORE MERIDIONALE**



**III. Soil Layers**

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Average Vs (m/s)
0	0.2	<a href="#">Sabbie sup</a>	130
0.2	0.2	<a href="#">Sabbie sup</a>	140
0.4	1	<a href="#">Sabbie sup</a>	150
1.4	6.4	<a href="#">Sabbie sup</a>	160
7.8	2	<a href="#">Sabbie sup</a>	185
9.8	3	<a href="#">Sabbie sup</a>	200
12.8	4.5	<a href="#">Argille sup</a>	155
17.3	7	<a href="#">Argille sup</a>	185
24.3	4.5	<a href="#">Argille sup</a>	210
28.8	15	<a href="#">Argille sup</a>	230
43.8	10	<a href="#">Argille sup</a>	260
53.8	15	<a href="#">EPRI 120-250ft</a>	275
68.8	20	<a href="#">EPRI 250-500ft</a>	295
88.8	25	<a href="#">EPRI 250-500ft</a>	315
113.8	30	<a href="#">EPRI 500-1000ft</a>	350
143.8	55	<a href="#">EPRI 500-1000ft</a>	425
198.8	50	<a href="#">EPRI 500-1000ft</a>	500
248.8	—	<a href="#">Bedrock</a>	800

**6.2 III Livello di approfondimento – D.A.L. N° 112 / 2007 - DGR 2193/2015 R.E.R.**

Sulla base delle indicazioni contenute nella Del. Ass. Lgs. N° 112 / 2007 R.E.R. e successiva DGR 2193/2015 sono state effettuate analisi di RSL per via analitica utilizzando sia le informazioni dedotte dalle indagini sismiche di caratterizzazione del sottosuolo sia i moto sismici indicati dalla Regione Emilia Romagna per il Comune di Cervia scaricabili dal link "[segnali di riferimento](#)".

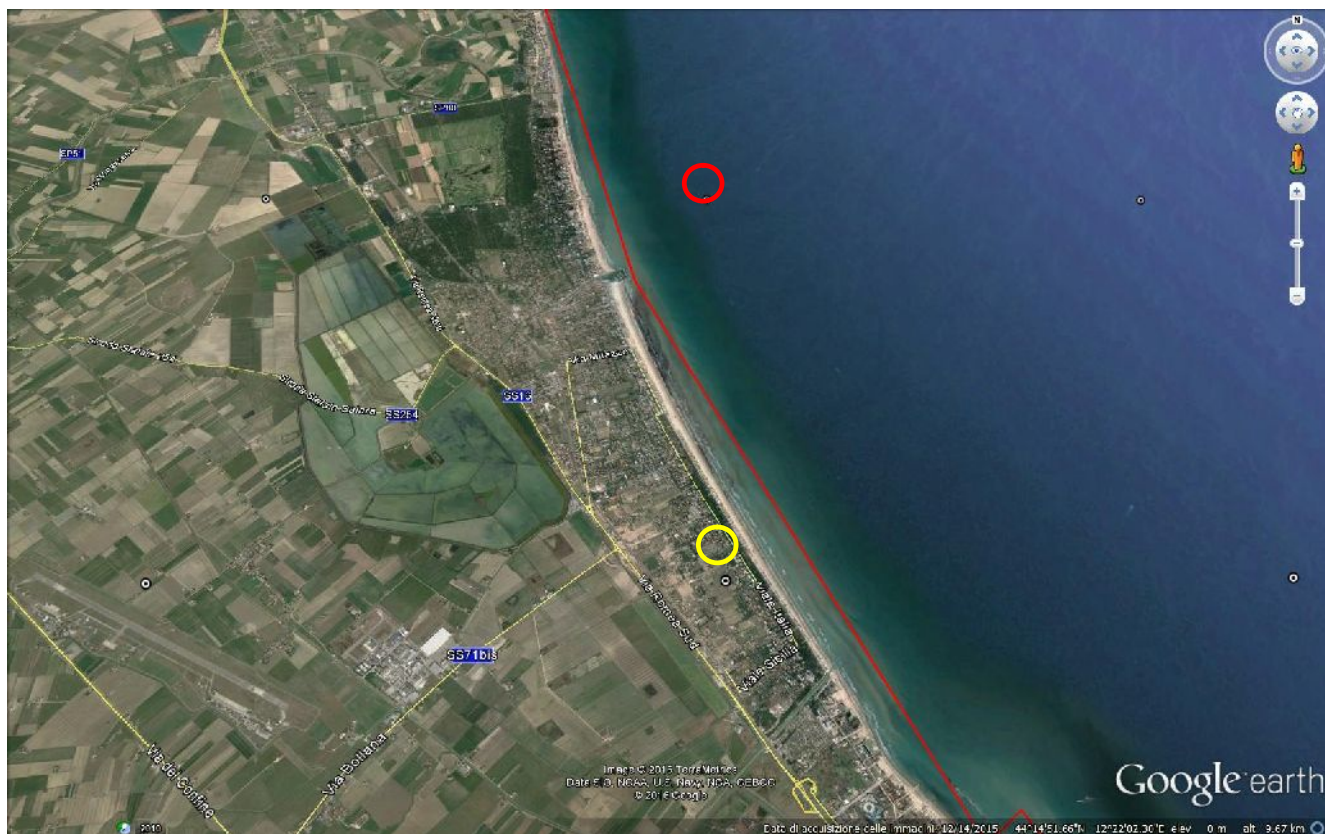
Come previsto da Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, le analisi di Risposta Sismica Locale (RLS) sono state condotte considerando, in ciascuna simulazione, 3 differenti moti sismici al bedrock.

I segnali sismici sono rappresentativi dello scuotimento atteso, per un periodo di ritorno di 475 anni (10% di probabilità di superamento in 50 anni), sul suolo di riferimento relativo alla categoria di sottosuolo A definita nella tabella 3.2.II delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, ovvero con Vs30 superiore a 800 m/s.

La selezione e scalatura dei segnali di riferimento si basa sui valori di pericolosità sismica elaborati da INGV per il territorio nazionale resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0.05 gradi nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, tema "Sismica Microzonazione Sismica".

Il valore di arefg relativo a ciascun sito analizzato si ottiene interpolando i valori di arefg definiti nei punti della griglia più prossimi al sito oppure utilizzando il valore del punto della griglia più vicino.

Quindi il moto sismico (periodo di ritorno 475 anni) in termini di accelerogrammi relativi al sito analizzato è ottenuto moltiplicando le accelerazioni normalizzate dei segnali di riferimento per il valore di arefg ottenuto utilizzando il valore del punto della griglia più vicino.



○ *Nodo arenile nord*      ○ *Nodo arenile sud*

Si tratta di Accelerogrammi Naturali estratti dalla banca dati accelerometrica “European Strong Motion database”, con caratteristiche energetiche e di scuotimento (durata, contenuto in frequenza, ecc.) diverse tra loro, in modo da poter investigare, quanto più possibile, il comportamento del sottosuolo e la sua suscettibilità ai fenomeni amplificativi/dissipativi quando sottoposto ad azioni sismiche differenti.

I 3 segnali di riferimento all'interno della banca dati accelerometrica vengono identificati attraverso i seguenti codici:

- 000046xa
- 000126xa
- 000354xa

Tali segnali, ciascuno scalato all'accelerazione di ancoraggio prevista al bedrock per il nodo di riferimento (Nodi Arenile Nord-Sud), risultano spettro-compatibili con lo spettro elastico di riferimento per ciascun tratto e per cui:

- la forma dello spettro di risposta normalizzato è rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%);
- i valori di arefg di ogni comune sono riferiti al 10% di probabilità di superamento in 50 anni.

Pertanto per ciascun tratto di arenile verranno di seguito riepilogati i dati e parametri di analisi maggiormente significativi:

## **ARENILE SETTORE CENTRO-SETTENTRIONALE**

lo spettro di risposta di riferimento a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso (periodo di ritorno di 475 anni e smorzamento pari al 5%) a partire dai valori di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo ( $T = 0$ ) sul nodo della griglia più vicino risulta:

T(s)	Sa/aref	PGA bedrock	Spettro scalato
0	1	<b>0.17</b>	0.17
0.1	2.21	0.17	0.3757
0.15	2.608	0.17	0.44336
0.2	2.6562	0.17	0.451554
0.3	2.4033	0.17	0.408561
0.4	1.9394	0.17	0.329698
0.5	1.505	0.17	0.25585
0.75	0.9172	0.17	0.155924
1	0.6359	0.17	0.108103
1.5	0.3608	0.17	0.061336
2	0.2462	0.17	0.041854

**Input Location:** Bedrock

Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
ARENILE_NORD\46_NORD.txt		Oucrop	0.17	7.70	1.00
ARENILE_NORD\126_NORD.txt		Oucrop	0.17	9.70	1.00
ARENILE_NORD\354_NORD.txt		Oucrop	0.17	8.39	1.00

L'analisi puntuale mediante Strata è stata prodotta per ottenere una risposta riferita al piano campagna in condizioni di free field (nell'ipotesi di una fondazione superficiale con fodazioni dirette).

I parametri di calcolo generali adottati per la modellazione sono i seguenti:

**Layer Discretization**

**Maximum frequency:** 25 Hz

**Wavelength fraction:** 0.1

**Equivalent Linear Parameters**

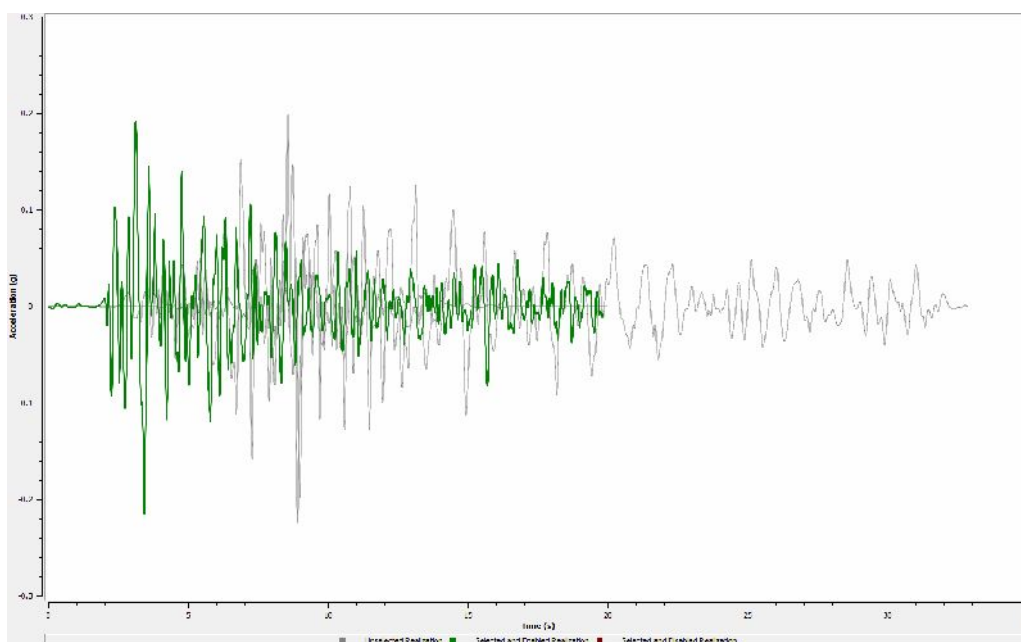
**Effective strain ratio:** 0.51 Hz

**Error tolerance:** 2

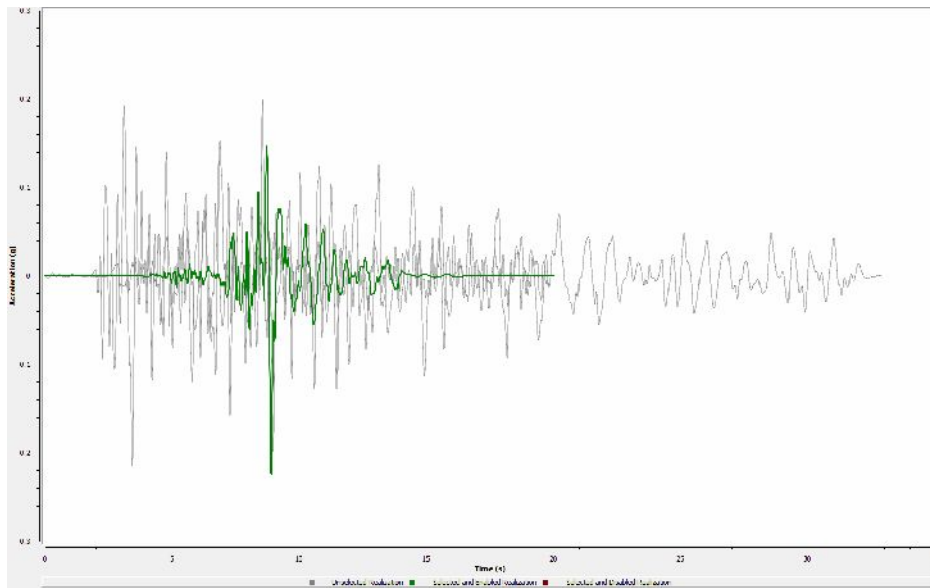
**Maximum number of iterations:** 10

Quindi dalla modellazione geofisica del sottosuolo ed il modello di calcolo soprariportati si sono determinati gli accelerogrammi convoluti al piano campagna, i quali vengono definiti in funzione dell'accelerazione (g):

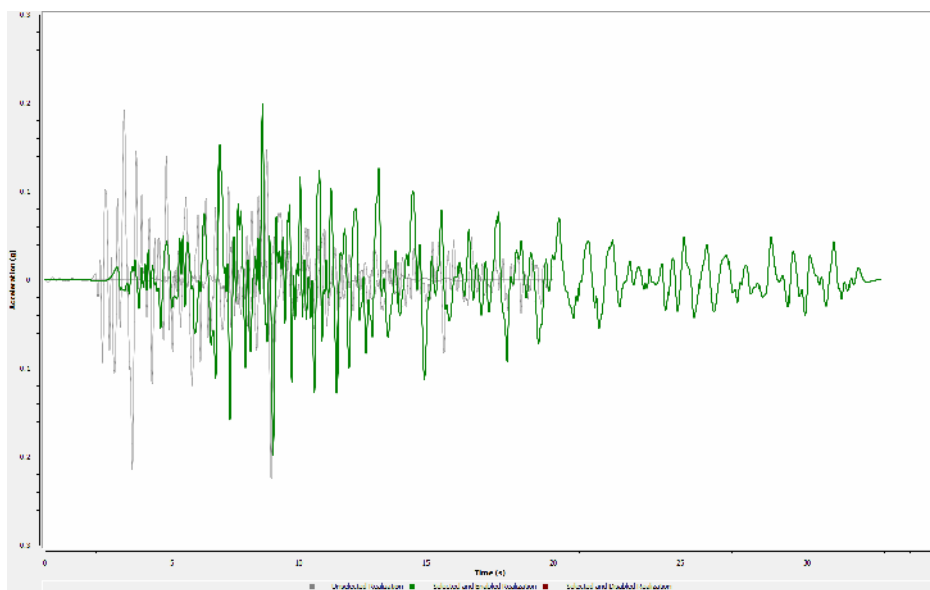
**Serie temporali convolute Tempo/Accelerazione**



000046xa

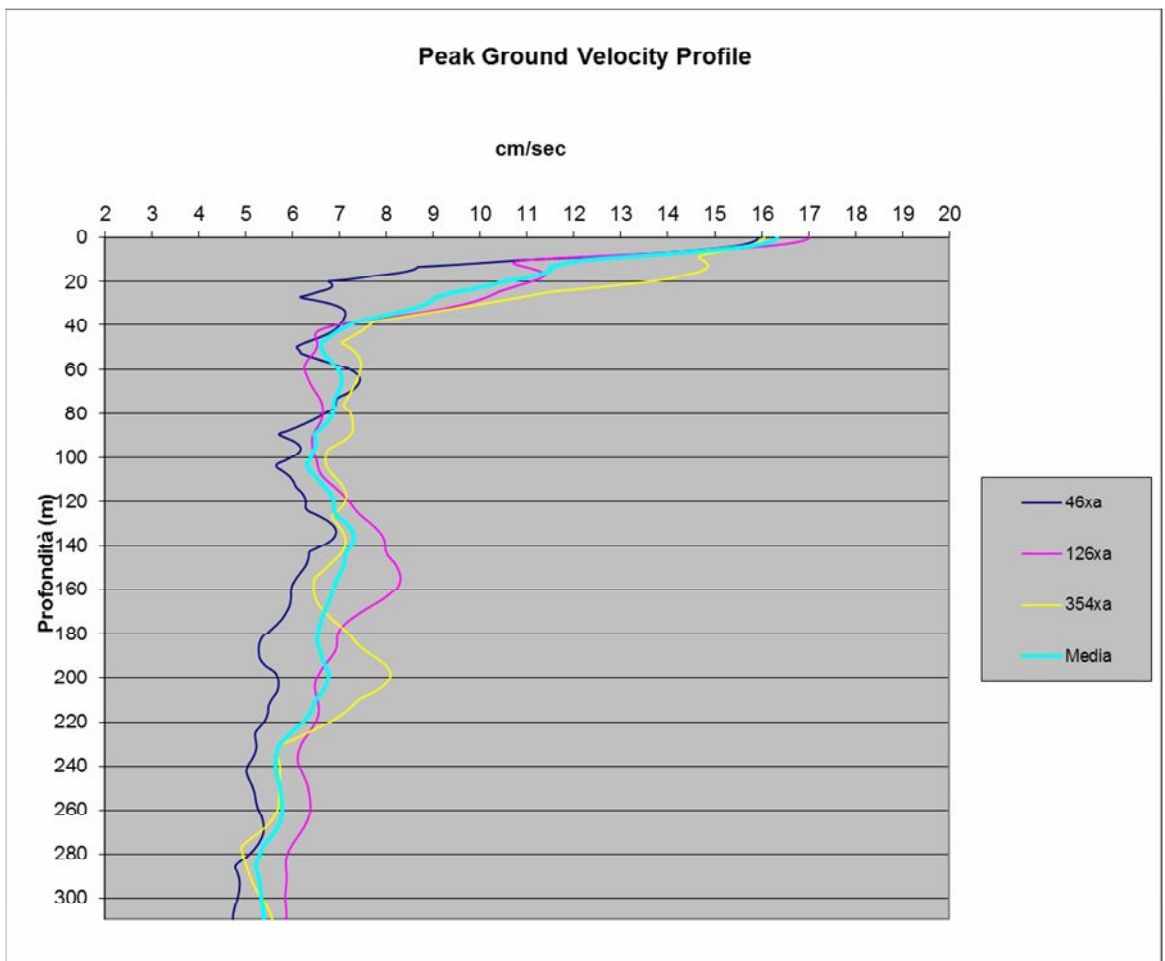
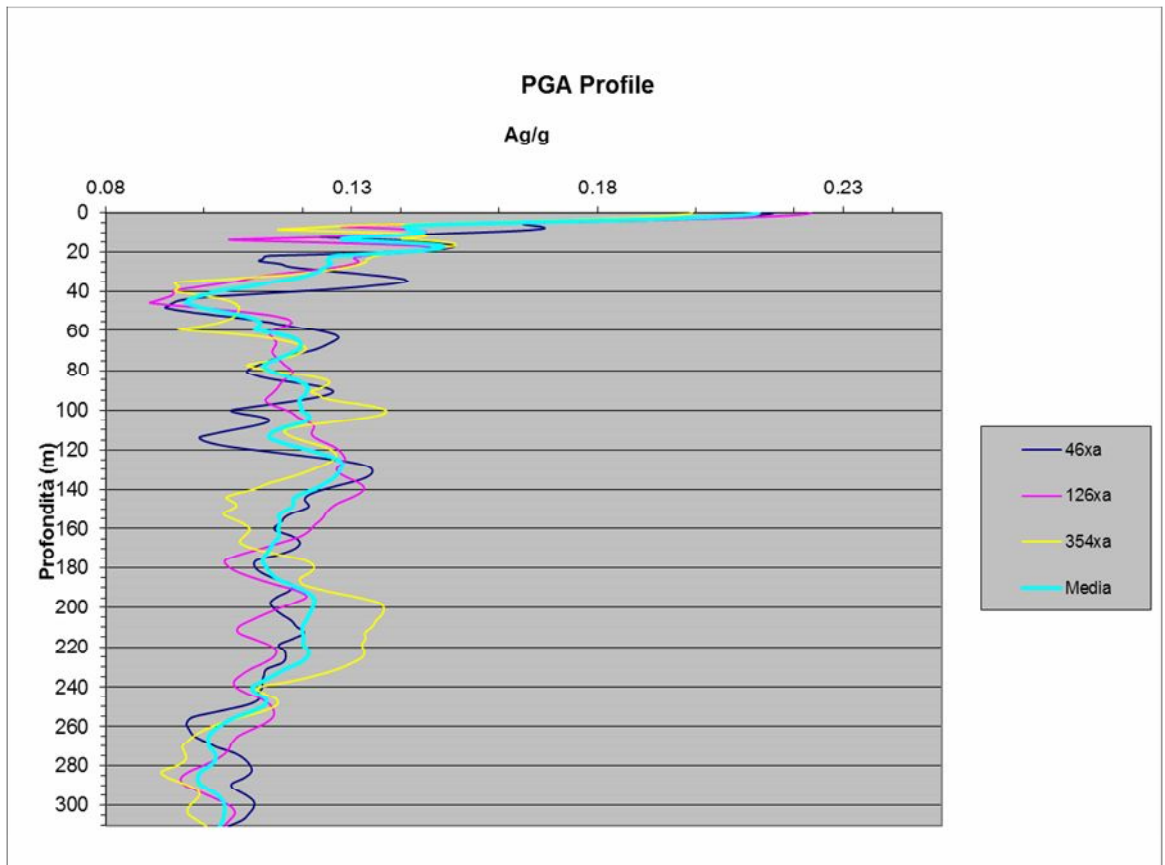


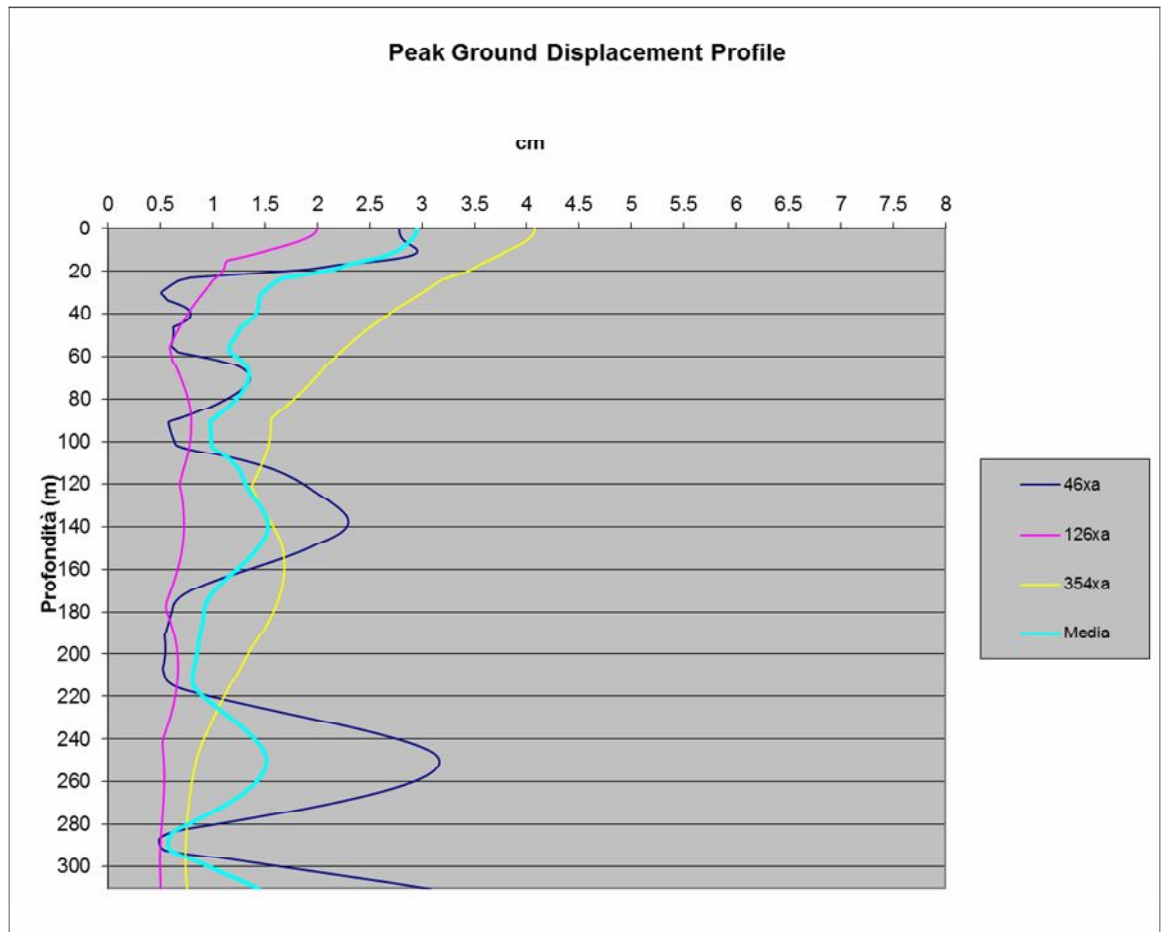
**000126xa**



**000354xa**

I logs della PGA/profondità, PGV/profondità e Spostamento/Profondità dei tre sismi sono 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):





I valori di accelerazione massima (PGA), di velocità massima (PGV) e di spostamento (PGD) relativi agli accelerogrammi convoluti con Strata alle quote di riferimento assunte indicativamente al piano campagna mt sono i seguenti:

**Superficie di riferimento: piano campagna**

Accelerogramma	PGA	PGV	PGD
000046xa	0.215 g	15.92 cm/sec	2.78 cm
000126xa	0.223 g	17.01 cm/sec	1.99 cm
000354xa	0.199 g	16.04 cm/sec	4.07 cm
Media	0.213 g	16.32 cm/sec	2.95 cm

I valori della  $PGA_0$  di ciascun segnale di input nel punto della griglia più vicino sono i seguenti.

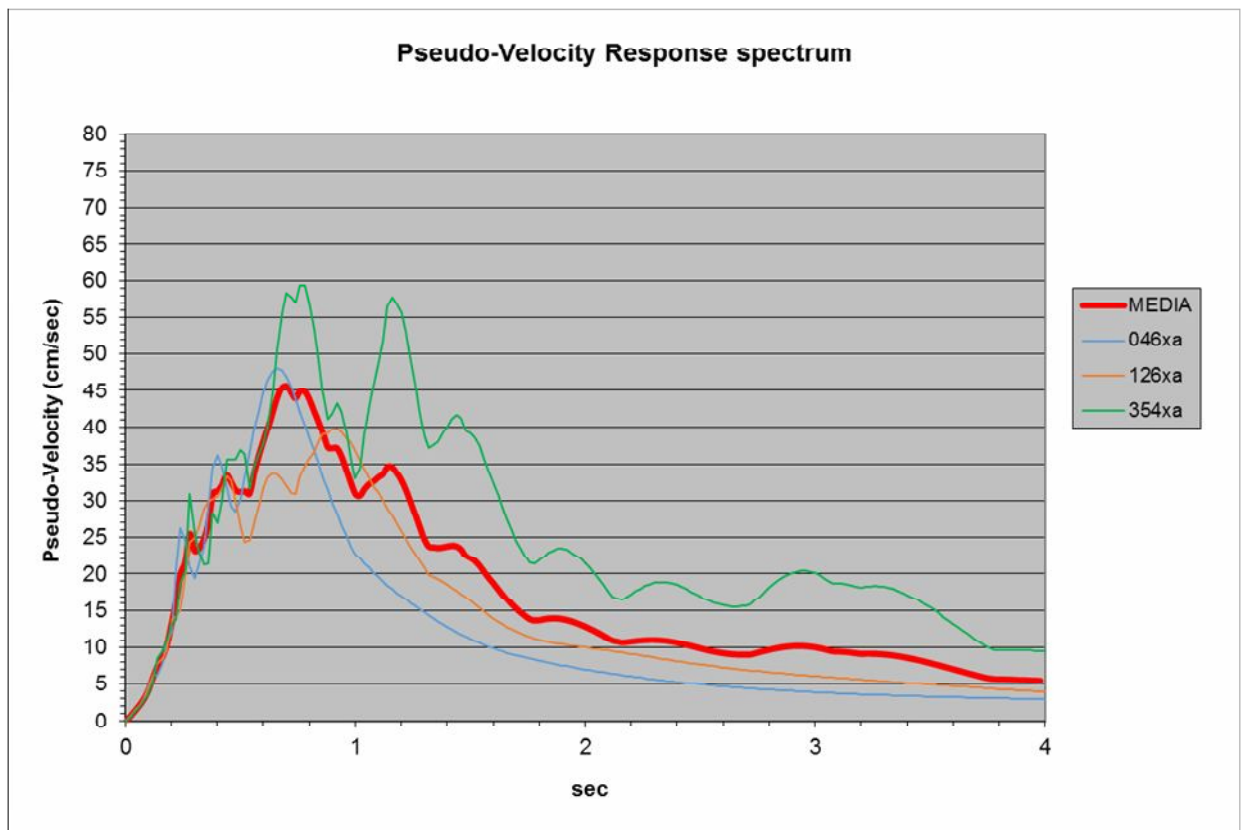
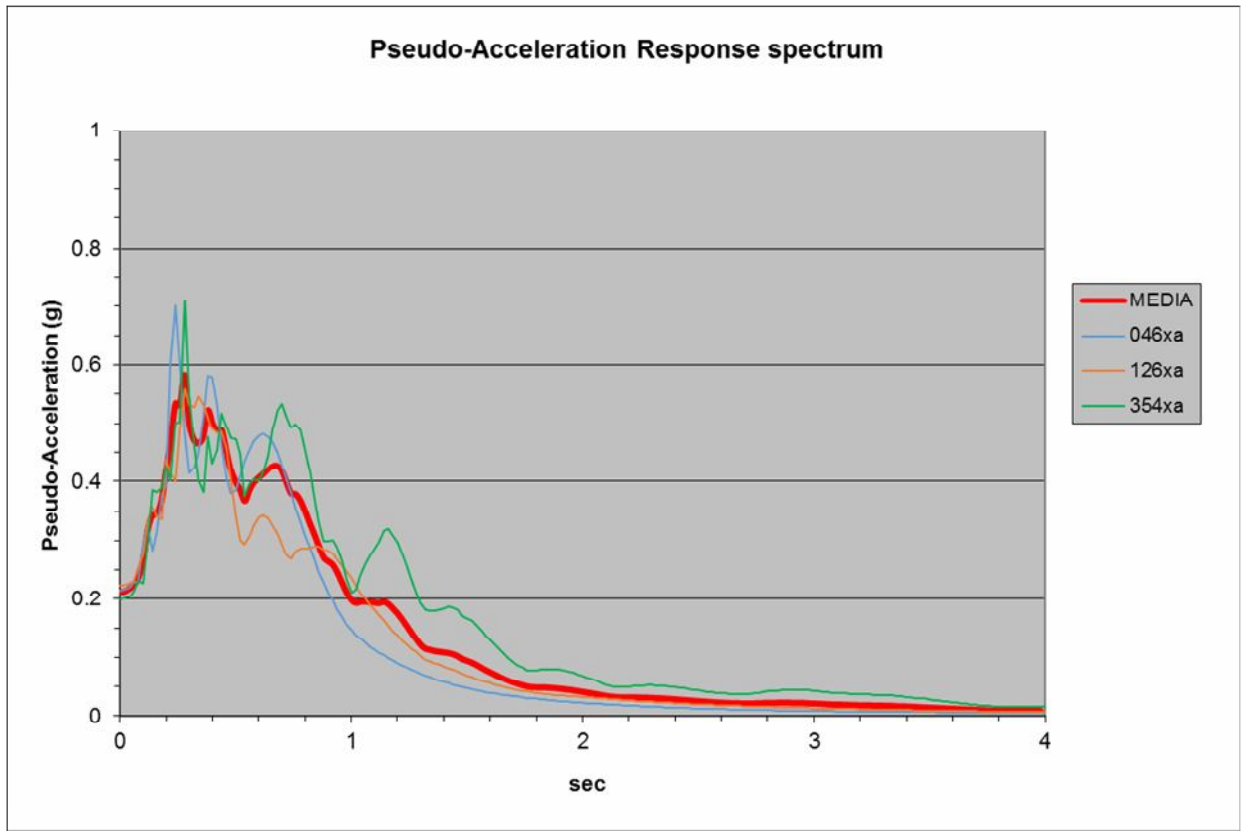
Riferimento	000046xa	000126xa	000354xa	MEDIA
Bedrock	0.17	0.17	0.17	0.17

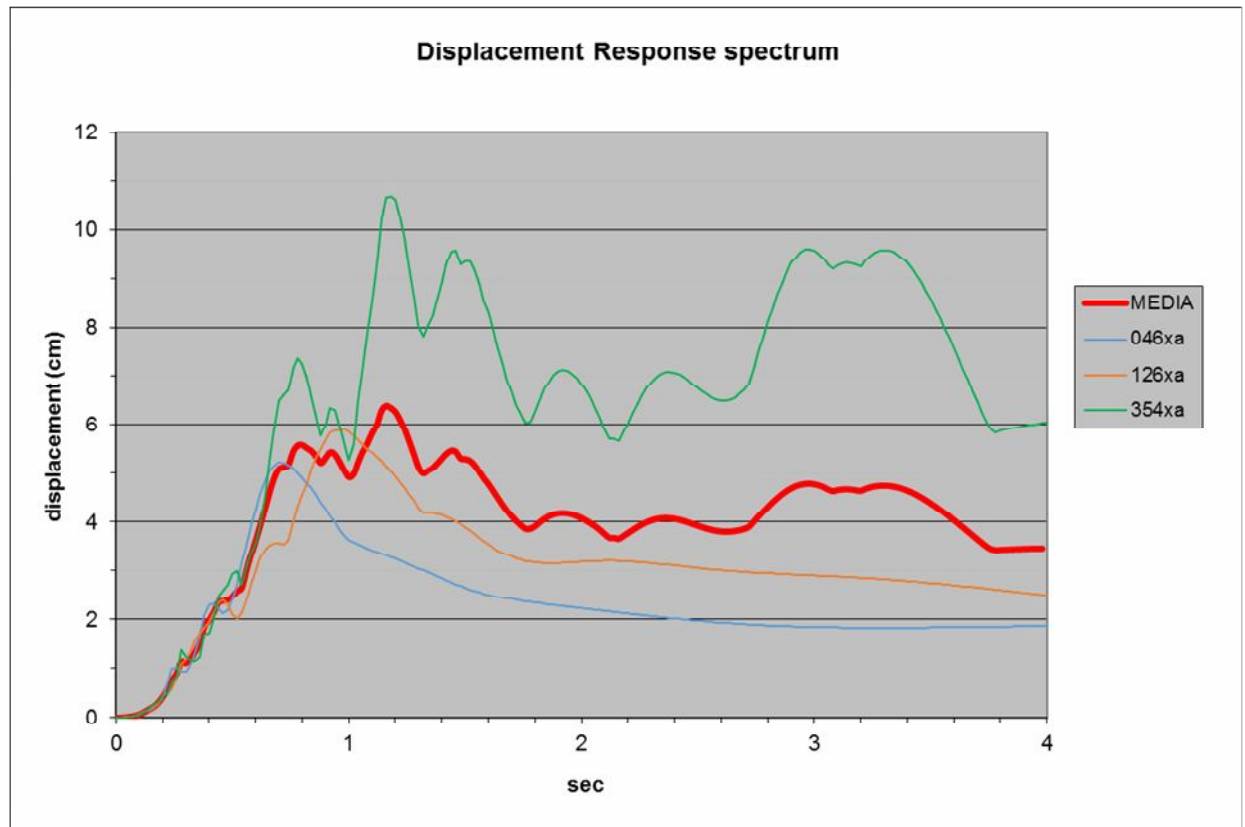
I rapporti  $PGA/PGA_0$  e, quindi, il relativo fattore di amplificazione (FA) alla superficie di riferimento sono i seguenti:

Riferimento	000046xa	000126xa	000354xa	MEDIA
Piano campagna	1.265	1.312	1.170	1.254



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



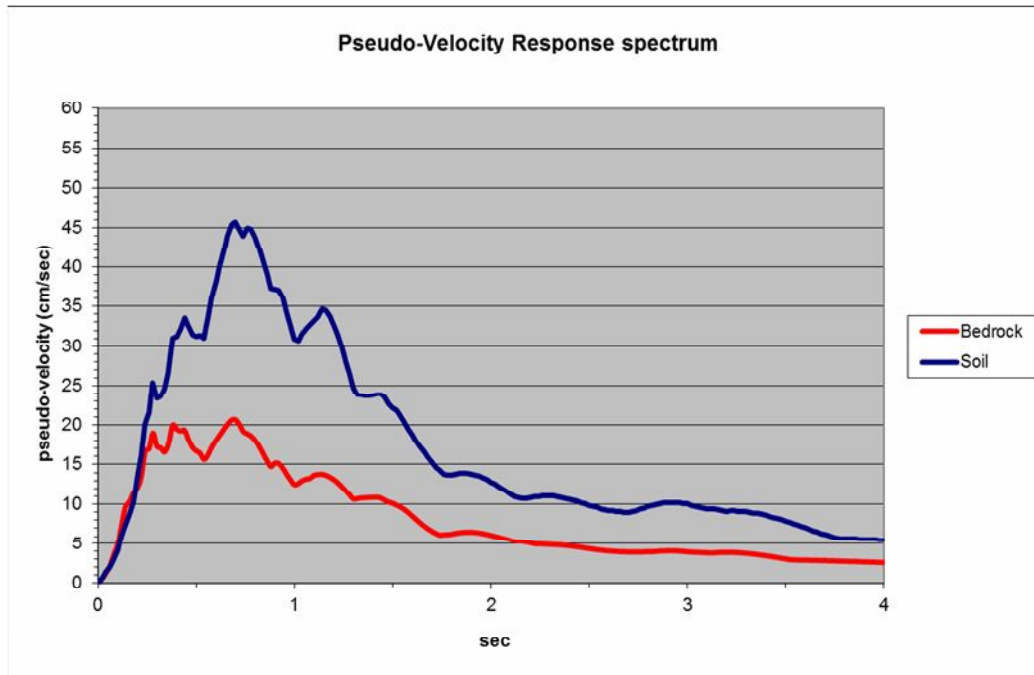


I risultati di questa analisi sono utilizzabili per il calcolo del fattore SI, Intensità di Housner, come richiesto nel terzo livello di approfondimento, definito dalla relazione:

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV_{(\xi=5\%)} dt \quad \text{dove PSV è lo spettro di risposta in velocità}$$

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, 0.5-1.5 sec e 0.1-2.5 sec (tra 0.4 Hz e 10 Hz) con smorzamento del 5%.

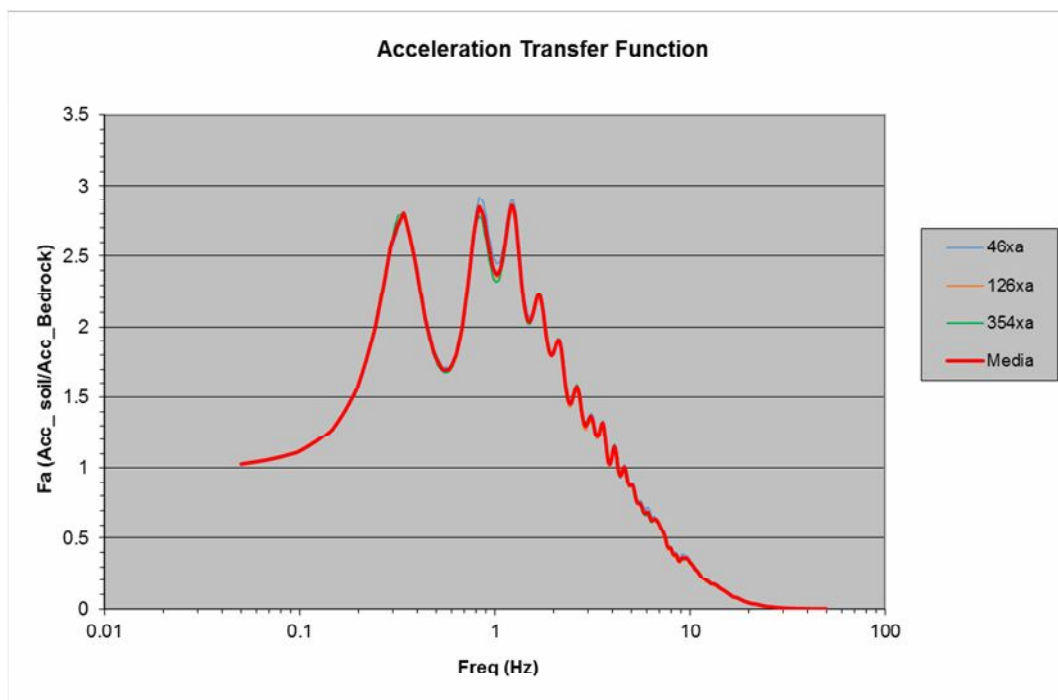


Quindi tramite il rapporto  $S_i/S_{i0}$  si può desumere anche il relativo fattore di amplificazione (FA):

	Periodo	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	0.1-0.5	6.275372	8.802763	1.403
INT SPETT.	0.5-1.0	8.894941	20.166632	2.267
INT SPETT.	0.5-1.5	14.889544	34.355859	2.307
INT SPETT.	0.1-2.5	26.943714	55.928462	2.076

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

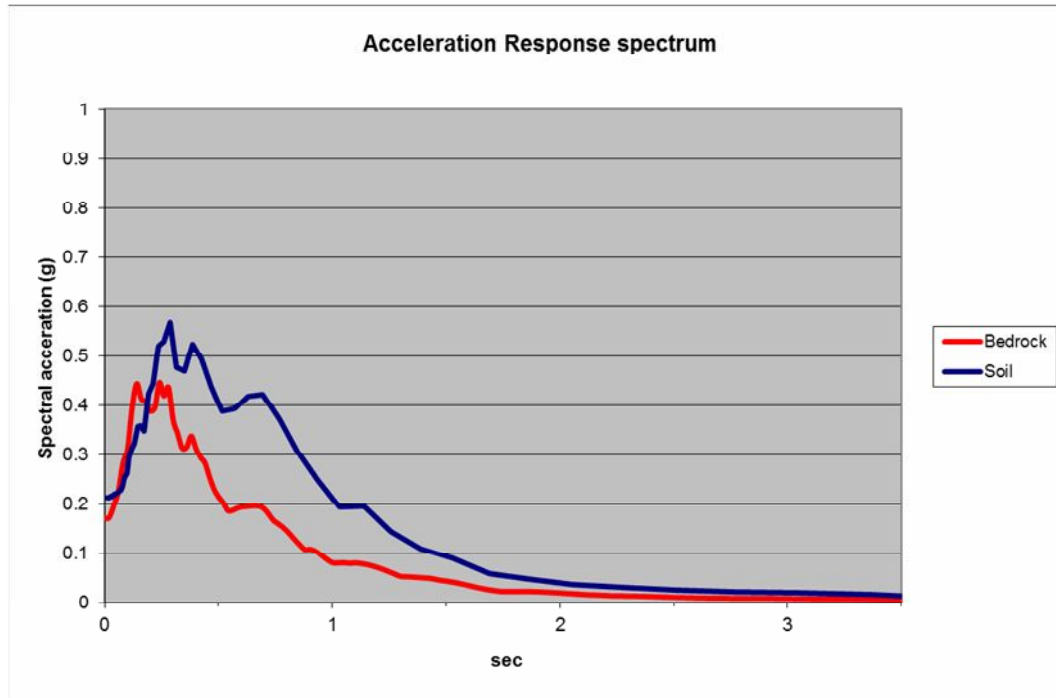
**Superficie di riferimento = piano campagna**



Dall'analisi monodimensionale si possono rilevare picchi significativi di amplificazione per le seguenti frequenze (Fa=fattore di amplificazione):

**f = 0.35 hz      Fa = 2.78**  
**f = 0.85 hz      Fa = 2.82**  
**f = 1.25 hz      Fa = 2.83**

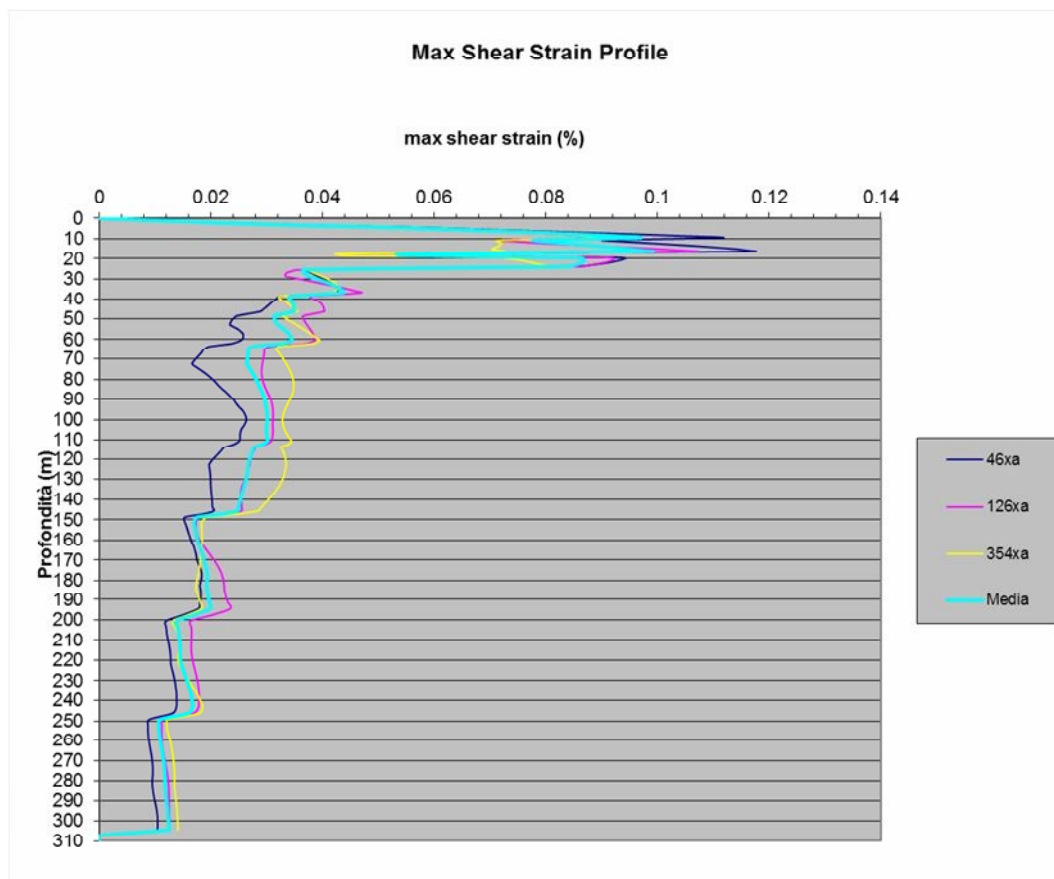
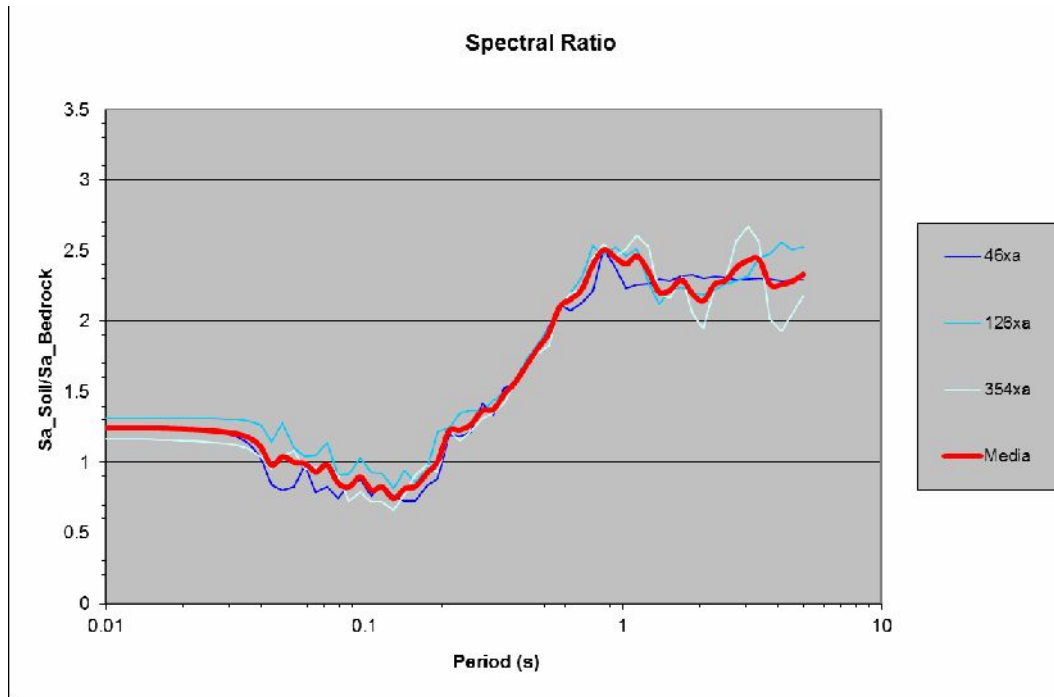
Mentre sulla base del rapporto fra gli spettri di risposta elastici al bedrock ed in superficie (alla stregua dell'intensità di Housner), nei segmenti generalmente previsti dalle norme tecniche, possono altresì essere definiti i valori del Fattore di Amplificazione spettrale (FA) per i seguenti periodi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



	Periodo	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	0.1-0.5	0.147251	0.191554	<b>1.301</b>
INT SPETT.	0.5-1.0	0.081706	0.193835	<b>2.372</b>
INT SPETT.	0.5-1.5	0.113483	0.265544	<b>2.340</b>
INT SPETT.	0.1-2.5	0.277532	0.480401	<b>1.731</b>

Tali valori indicativamente possono essere ritenuti assimilabili e comparabili ai fattori di amplificazione stratigrafica Ss presente nelle norme tecniche vigenti.

Di seguito vengono altresì illustrati i diagrammi con i rapporti spettrali ed i profili che evidenziano la massima deformazione di taglio (Shear strain %) con la profondità:



## ARENILE SETTORE MERIDIONALE

Come per il tratto ARENILE CENTRALE-SETTENTRIONALE vengono di seguito illustrati i parametri maggiormente significativi derivati dall'analisi di RSL.

Lo Spettro di risposta al bedrock (periodo di ritorno di 475 anni e smorzamento pari al 5%) a partire dai valori di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo (T = 0) sul nodo della griglia più vicino risulta:

T(s)	Sa/aref	PGA bedrock	Spettro scalato
0	1	<b>0.176</b>	0.176
0.1	2.21	0.176	0.38896
0.15	2.608	0.176	0.459008
0.2	2.6562	0.176	0.4674912
0.3	2.4033	0.176	0.4229808
0.4	1.9394	0.176	0.3413344
0.5	1.505	0.176	0.26488
0.75	0.9172	0.176	0.1614272
1	0.6359	0.176	0.1119184
1.5	0.3608	0.176	0.0635008
2	0.2462	0.176	0.0433312

**Input Location:** Bedrock

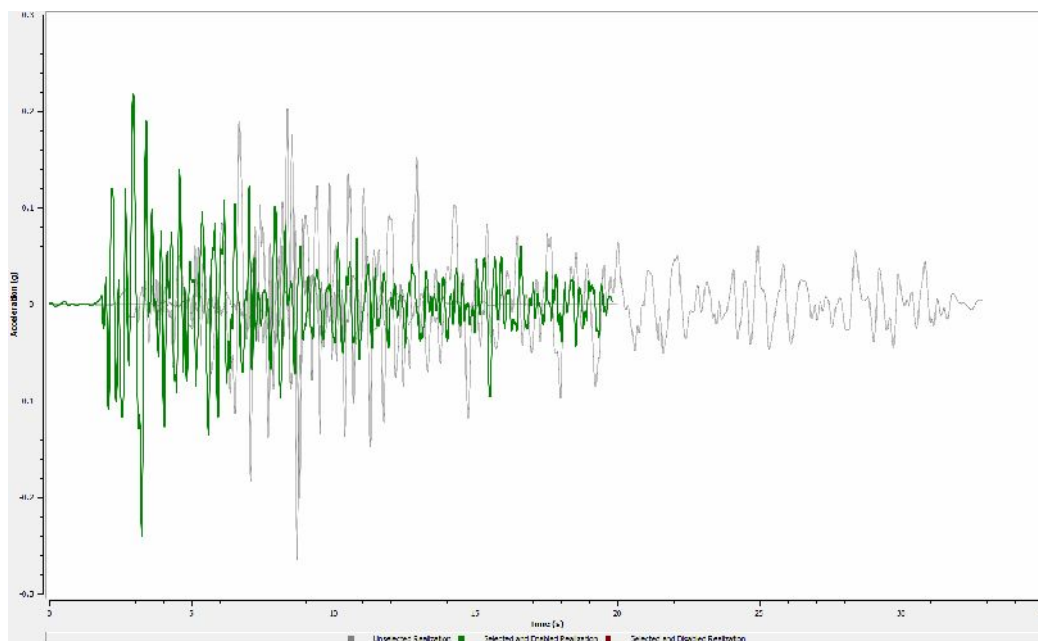
Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
ARENILE_SUD\46_SUD.txt		Outcrop	0.18	7.97	1.00
ARENILE_SUD\126_SUD.txt		Outcrop	0.18	10.05	1.00
ARENILE_SUD\354_SUD.txt		Outcrop	0.18	8.69	1.00

Parametri di calcolo generali:

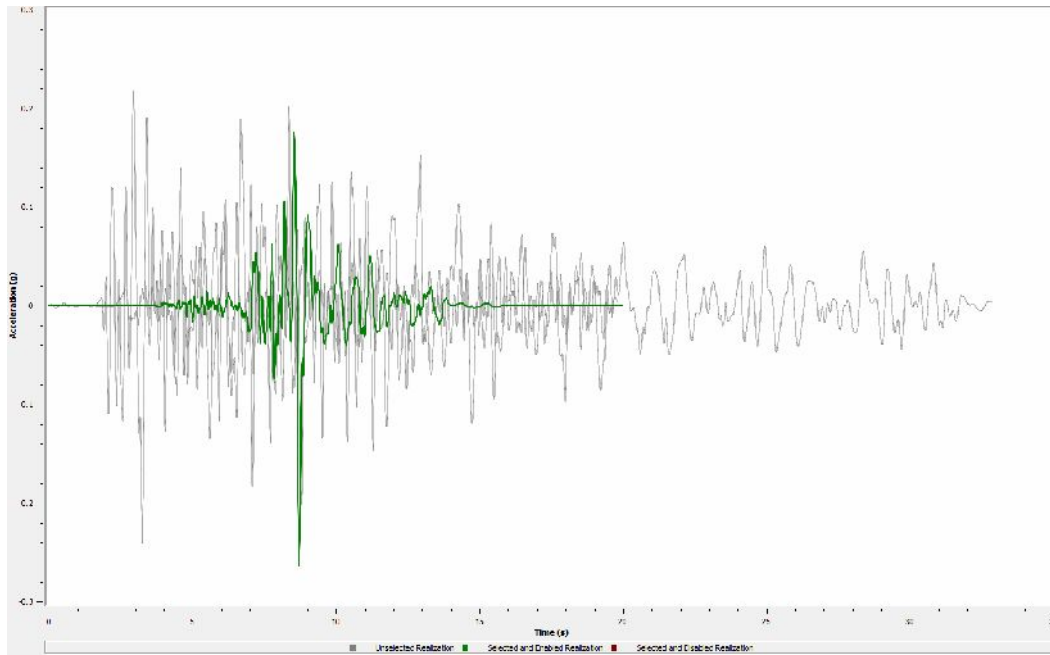
<b>Layer Discretization</b>	
Maximum frequency:	25 Hz
Wavelength fraction:	0.1
<b>Equivalent Linear Parameters</b>	
Effective strain ratio:	0.51 Hz
Error tolerance:	2
Maximum number of iterations:	10

Accelerogrammi convoluti al piano campagna (in funzione dell'accelerazione g):

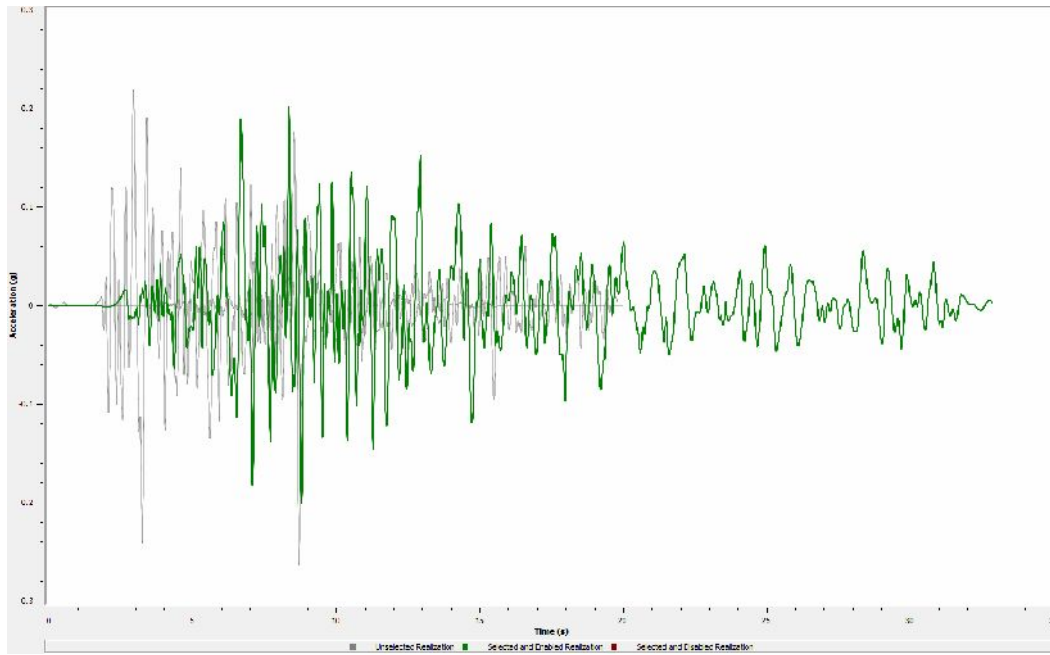
**Serie temporali convolute Tempo/Accelerazione**



000046xa

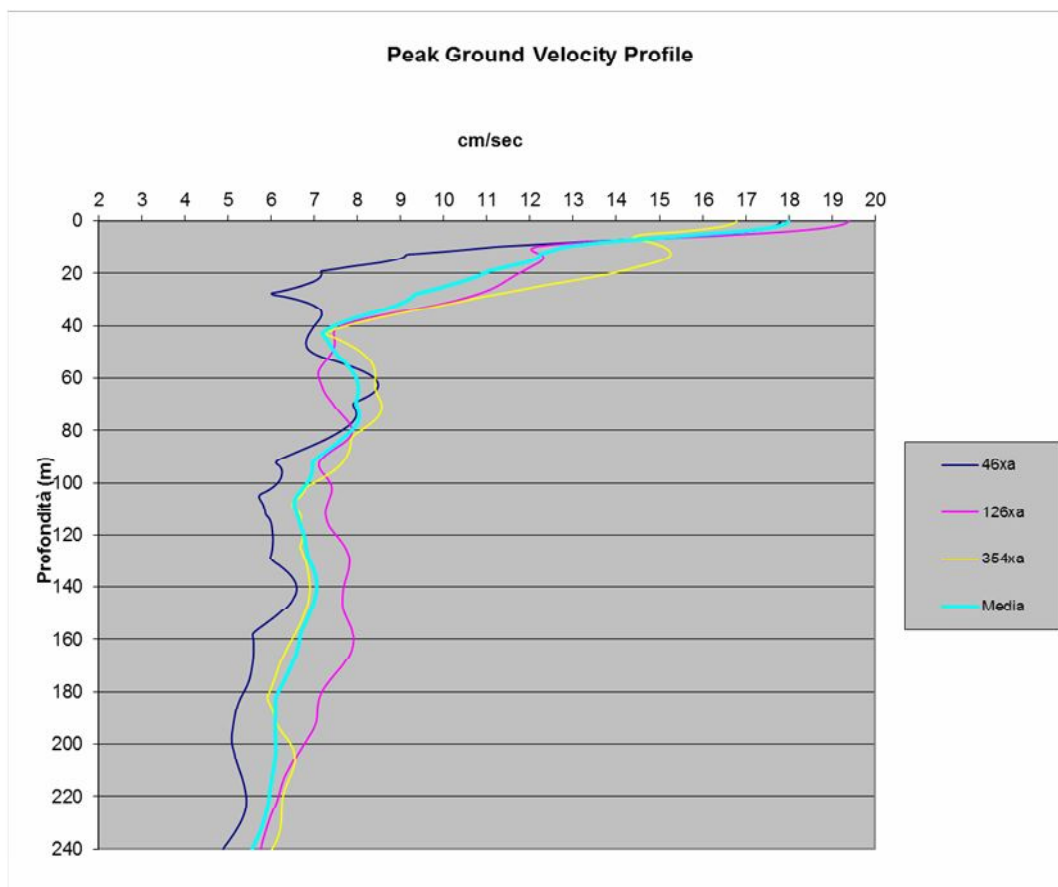
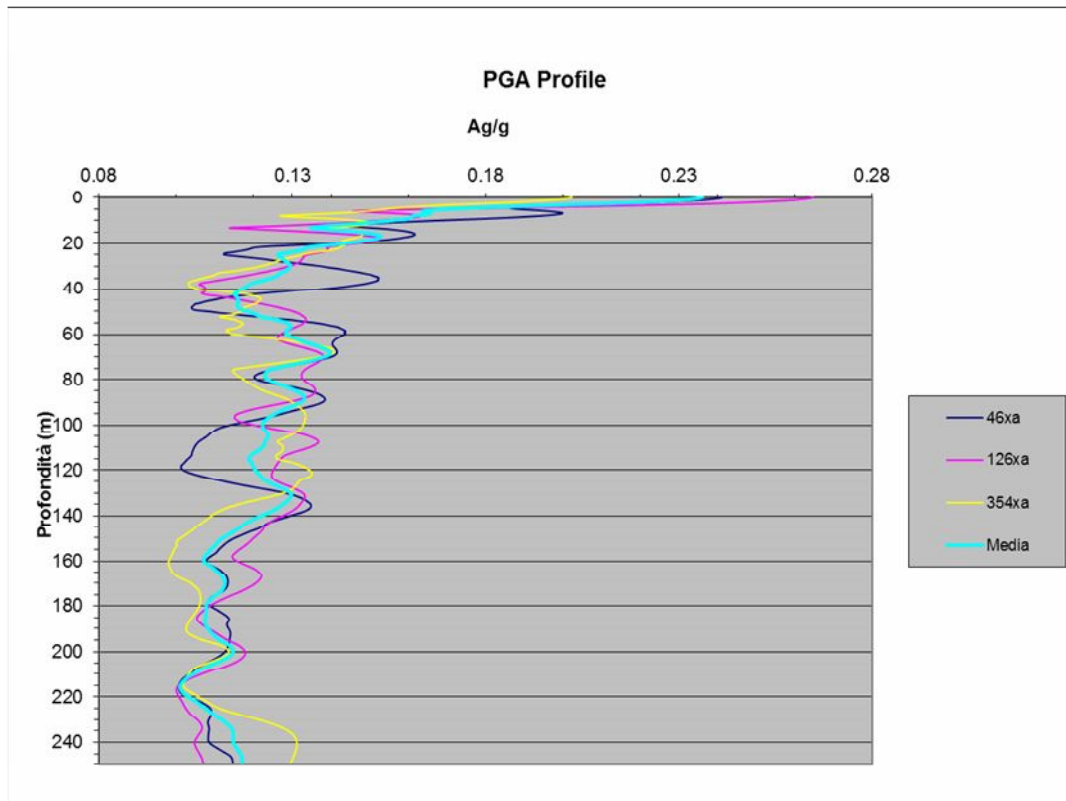


**000126xa**

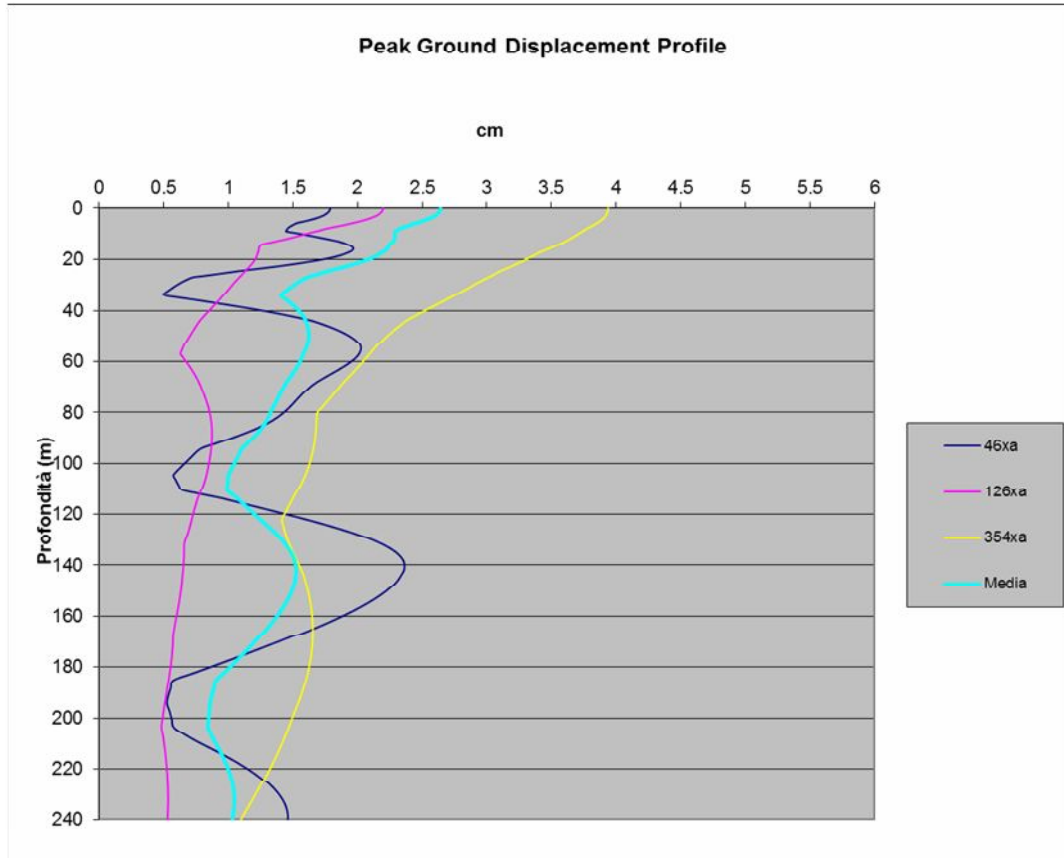
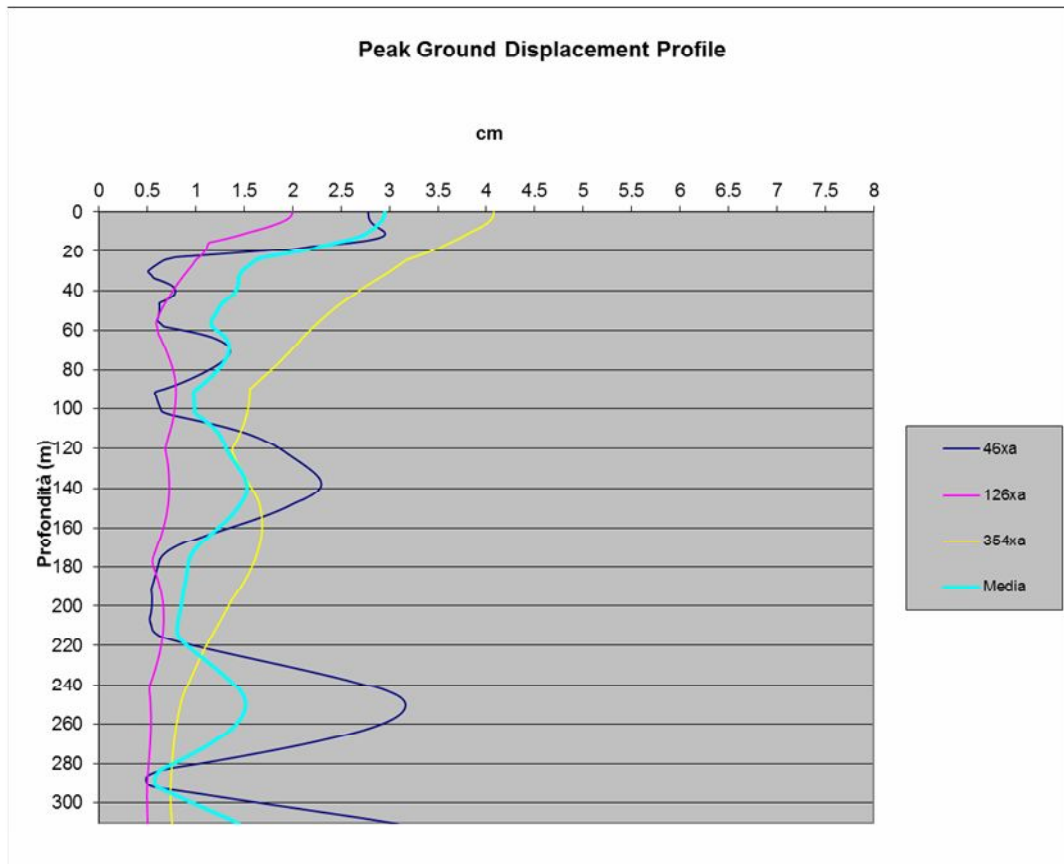


**000354xa**

Logs della PGA/profondità, PGV/profondità e Spostamento/Profondità:







I valori di accelerazione massima (PGA), di velocità massima (PGV) e di spostamento (PGD) relativi agli accelerogrammi convoluti al piano campagna sono i seguenti:

**Superficie di riferimento: piano campagna**

Accelerogramma	PGA	PGV	PGD
000046xa	0.241 g	17.81 cm/sec	1.78 cm
000126xa	0.264 g	19.38 cm/sec	2.19 cm
000354xa	0.202 g	16.79 cm/sec	3.94 cm
Media	0.236 g	17.99 cm/sec	2.64 cm

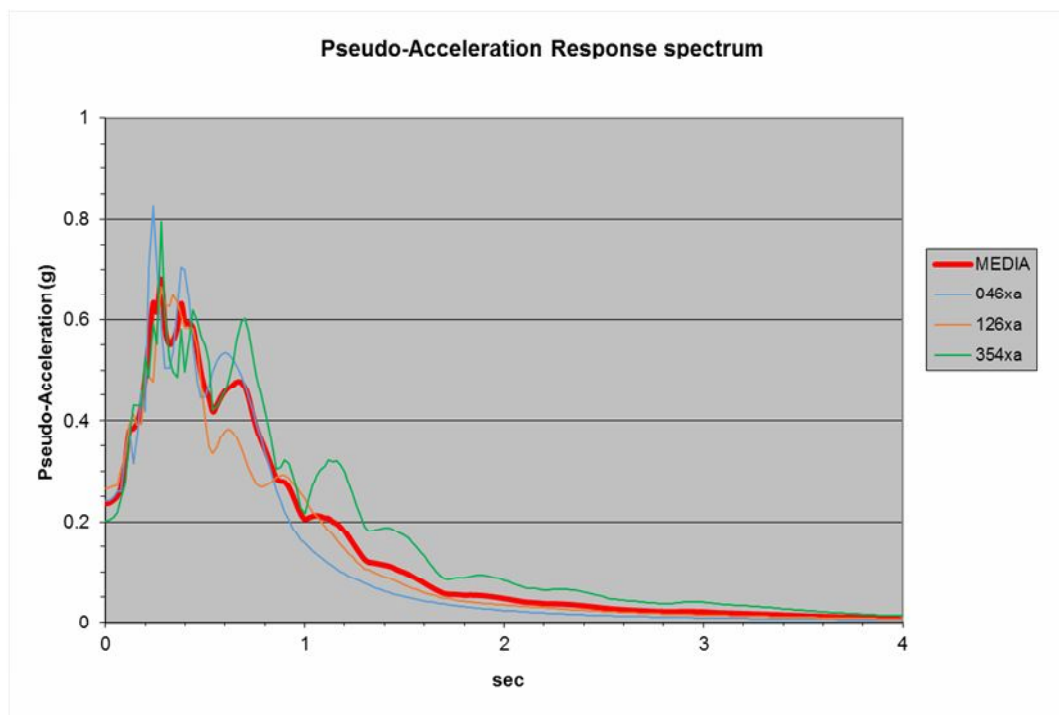
I valori della  $PGA_0$  di ciascun segnale di input nel punto della griglia più vicino sono i seguenti.

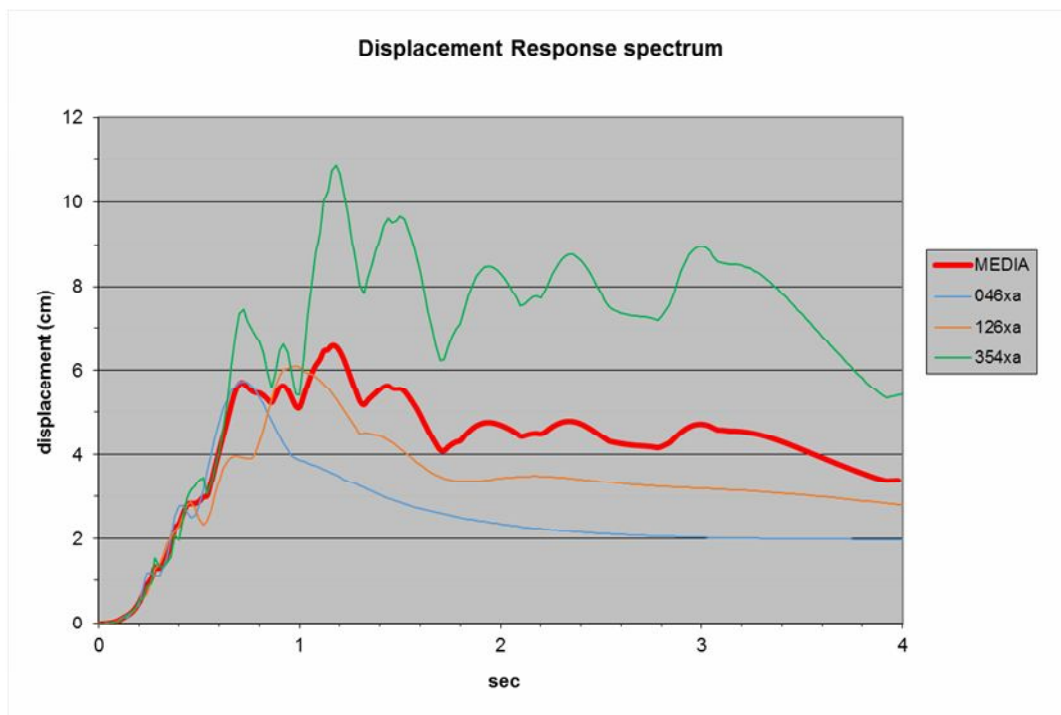
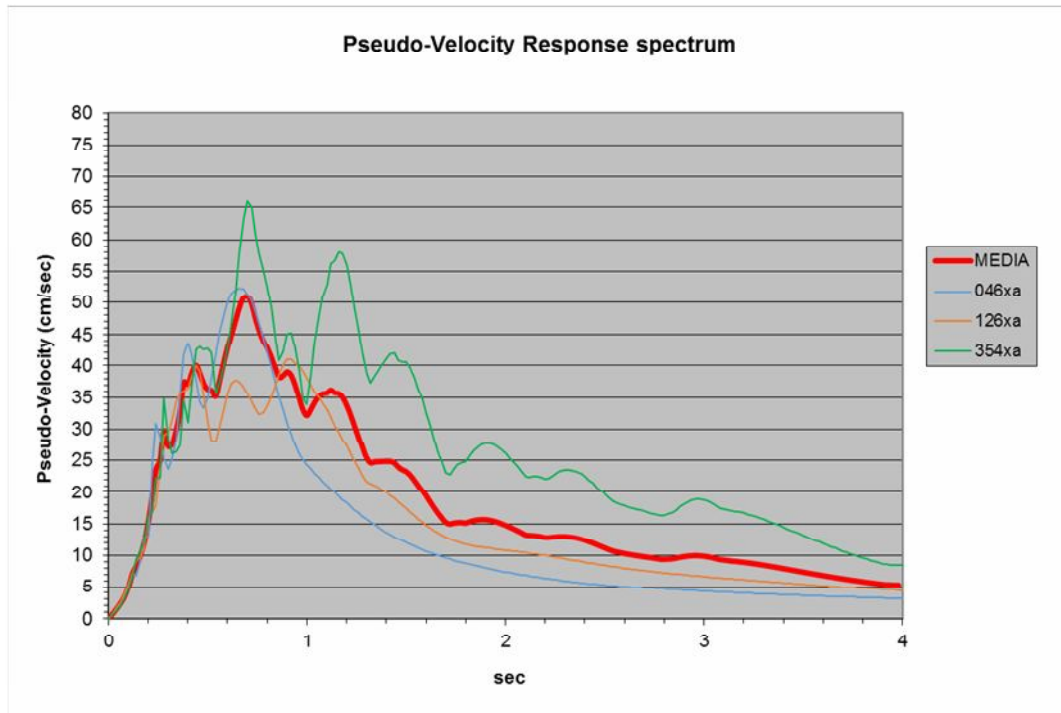
Riferimento	000046xa	000126xa	000354xa	MEDIA
Bedrock	0.176	0.176	0.176	0.176

I rapporti  $PGA/PGA_0$  e, quindi, il relativo fattore di amplificazione (FA) alla superficie di riferimento sono i seguenti:

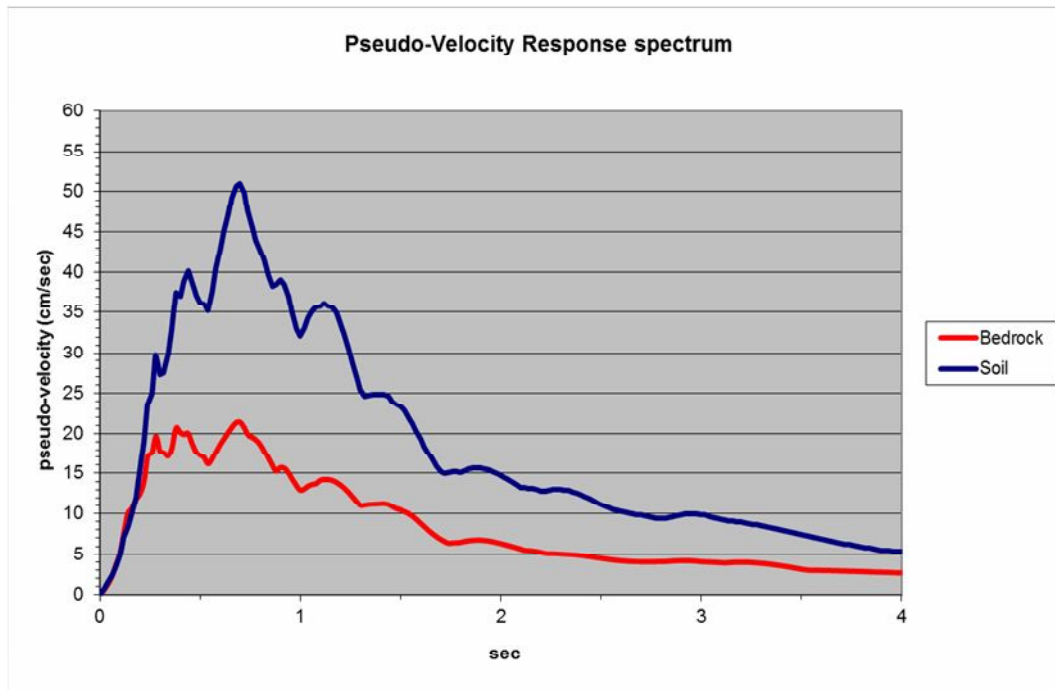
Riferimento	000046xa	000126xa	000354xa	MEDIA
Piano campagna	1.369	1.500	1.147	1.343

Di seguito si riportano gli spettri di risposta superficiale relativamente alla pseudo-accelerazione spettrale PSA, alla pseudo-velocità spettrale PSV ed allo spostamento PSD per uno smorzamento = 5.0 % :





I rapporti tra i valori di Intensità di Housner al bedrock ( $SI_0$ ) ed in superficie (SI) negli intervalli tra 0.1-0.5 sec, 0.5-1.0 sec, 0.5-1.5 sec e 0.1-2.5 sec (tra 0.4 Hz e 10 Hz), con smorzamento del 5%, risultano:

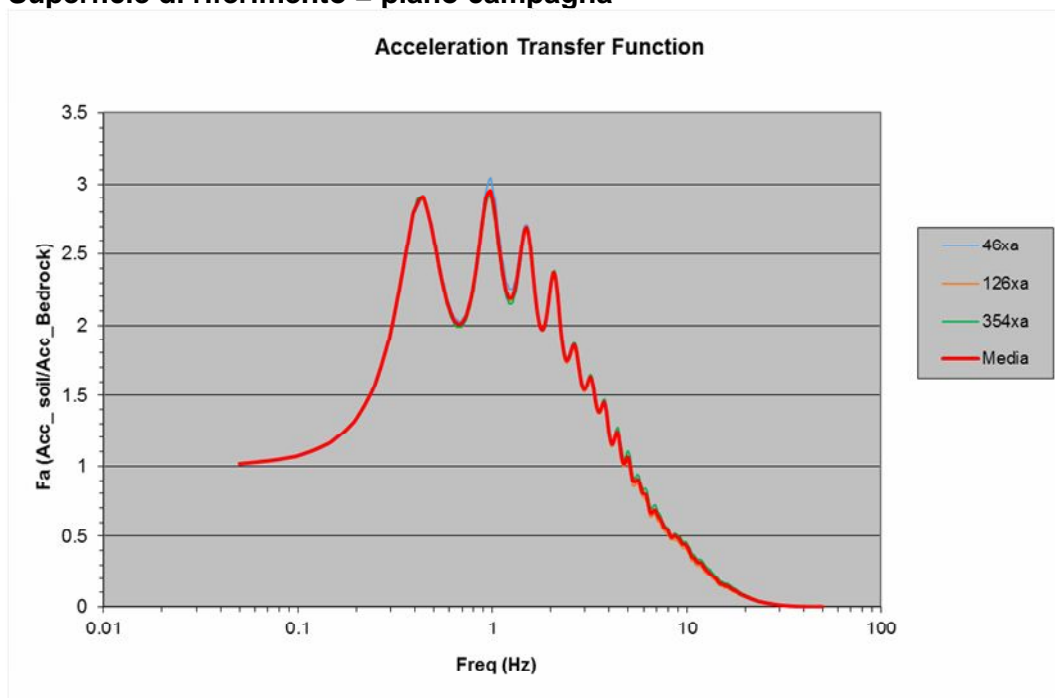


Da cui si determinano i seguenti fattori di amplificazione (FA):

	Periodo	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	0.1-0.5	6.496856	10.435884	1.606
INT SPETT.	0.5-1.0	9.208880	21.526377	2.338
INT SPETT.	0.5-1.5	15.415057	36.381698	2.360
INT SPETT.	0.1-2.5	27.894667	61.002659	2.187

La funzione di trasferimento e relativi fattori di amplificazione diviene:

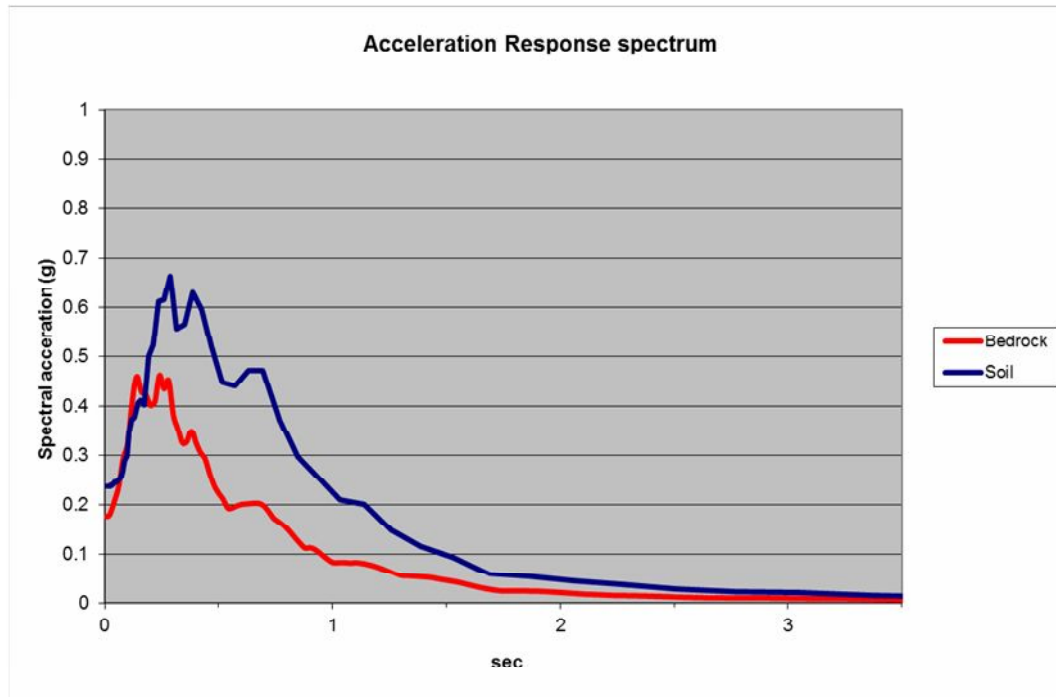
**Superficie di riferimento = piano campagna**



Da cui si rilevano picchi significativi di amplificazione per le seguenti frequenze (Fa=fattore di amplificazione):

**f = 0.45 hz      Fa = 2.88**  
**f = 0.99 hz      Fa = 2.91**  
**f = 1.52 hz      Fa = 2.66**

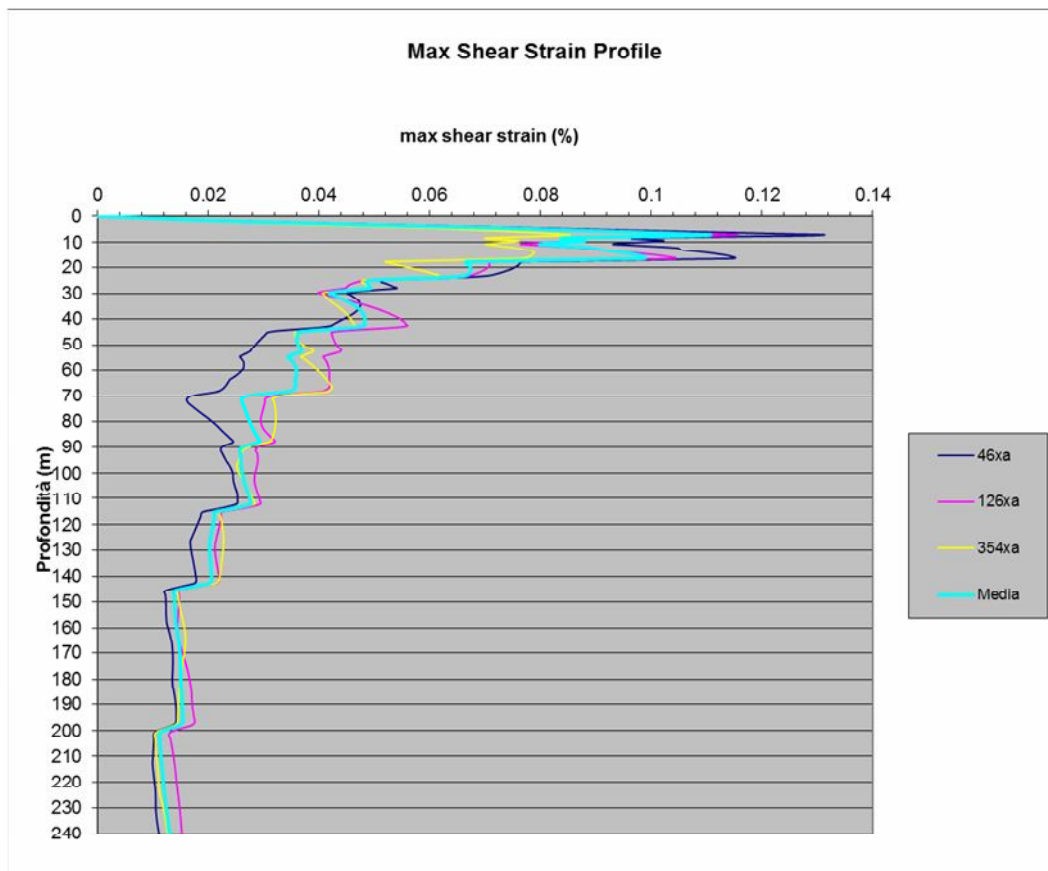
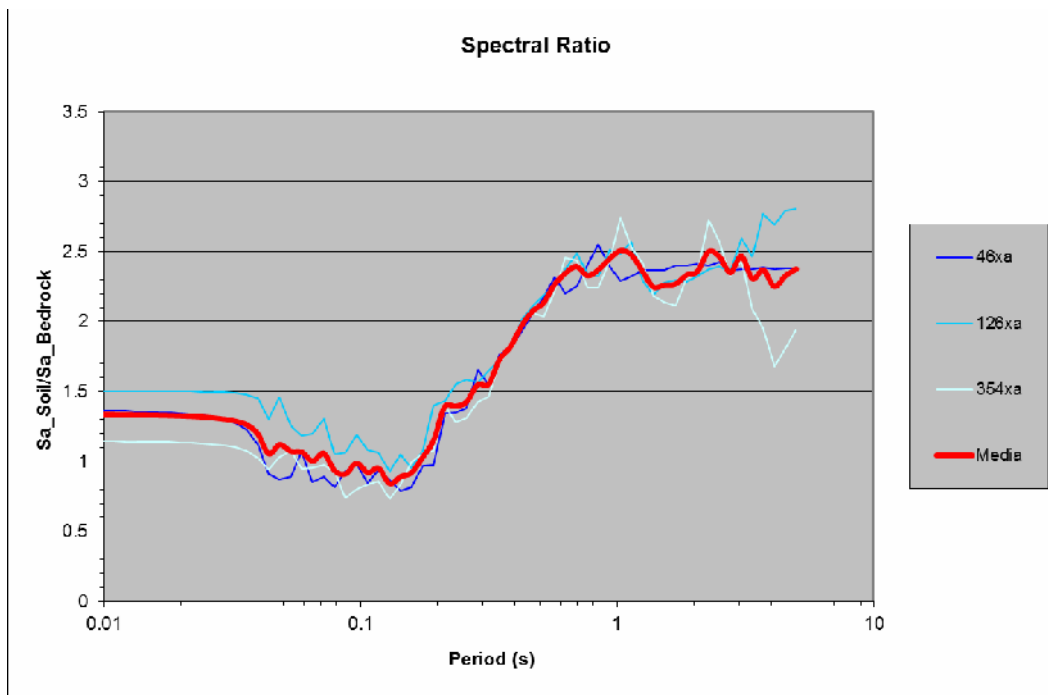
Il fattore di amplificazione spettrale determinato dal rapporto fra gli spettri di risposta elastici al bedrock ed in superficie risulta:



	Periodo	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	0.1-0.5	0.152448	0.226019	1.483
INT SPETT.	0.5-1.0	0.084589	0.208926	2.470
INT SPETT.	0.5-1.5	0.117489	0.283537	2.413
INT SPETT.	0.1-2.5	0.287327	0.533746	1.858

Tali valori indicativamente possono essere ritenuti assimilabili e comparabili ai fattori di amplificazione stratigrafica Ss presente nelle norme tecniche vigenti.

Infine i diagrammi con i rapporti spettrali ed i profili che evidenziano la massima deformazione di taglio (Shear strain %):



## **7 CONCLUSIONI**

In relazione alle condizioni geometriche, morfologiche, topografiche e litostratigrafiche è stato condotto uno studio di RSL tramite il codice STRATA (Kottke e Rathje, 2008) attuando una modellazione in condizioni monodimensionali. Sulla base delle indagini illustrate in al Capitolo 5 e delle procedure illustrate al par 6-6.1 si è giunti ai risultati ottenuti al par 6.2 di seguito sinteticamente riassunti:

### **ARENILE SETTORE CENTRO-SETTENTRIONALE**

<b>PARAMETRI DI SINTESI</b>	
<b>Ag MEDIA RSL</b>	<b>0.213</b>
FA PGA/PGAo	1.254
FA 0.1/0.5 ARS	1.301
FA 0.5/1.0 ARS	2.372
FA 0.5/1.5 ARS	2.340
FA 0.5-1.0 HOUSNER	1.403
FA 0.5-1.0 HOUSNER	2.267
FA 0.5-1.5 HOUSNER	2.307
VS30 0-30	184 m/s

### **ARENILE SETTORE MERIDIONALE**

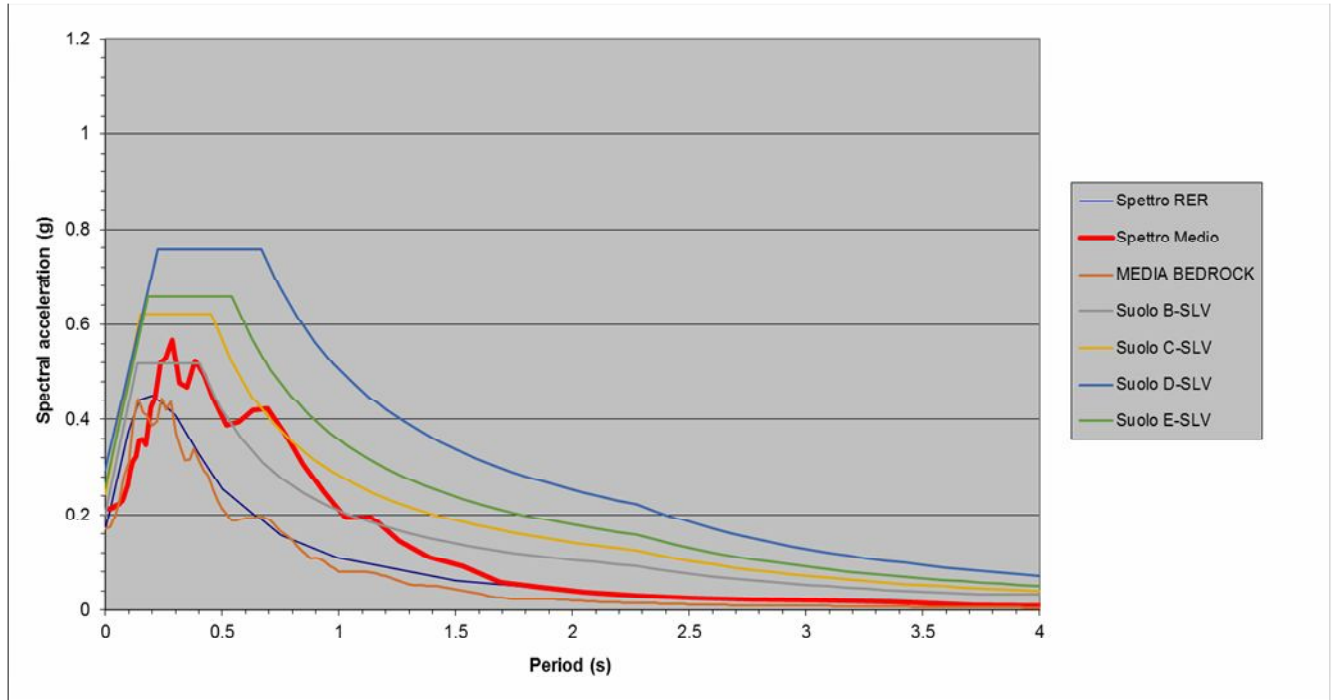
<b>PARAMETRI DI SINTESI</b>	
<b>Ag MEDIA RSL</b>	<b>0.236</b>
FA PGA/PGAo	1.343
FA 0.1/0.5 ARS	1.483
FA 0.5/1.0 ARS	2.470
FA 0.5/1.5 ARS	2.413
FA 0.5-1.0 HOUSNER	1.606
FA 0.5-1.0 HOUSNER	2.338
FA 0.5-1.5 HOUSNER	2.360
VS30 0-30	181 m/s

ARS=accel. response spectrum

A titolo puramente indicativo si ritiene opportuno comparare gli spettri elastici in accelerazione ritenuti caratteristici per il sito in esame a seguito delle analisi di RSL effettuate (spettro medio) con quelli semplificati di normativa (DM 14/01/2008 – circ. 617/2009), per opere ordinarie (Classe II - TR=475 anni - Vn = 50 anni), al fine di poterne valutare eventualmente la congruità e/o compatibilità progettuale allo stato limite SLV:

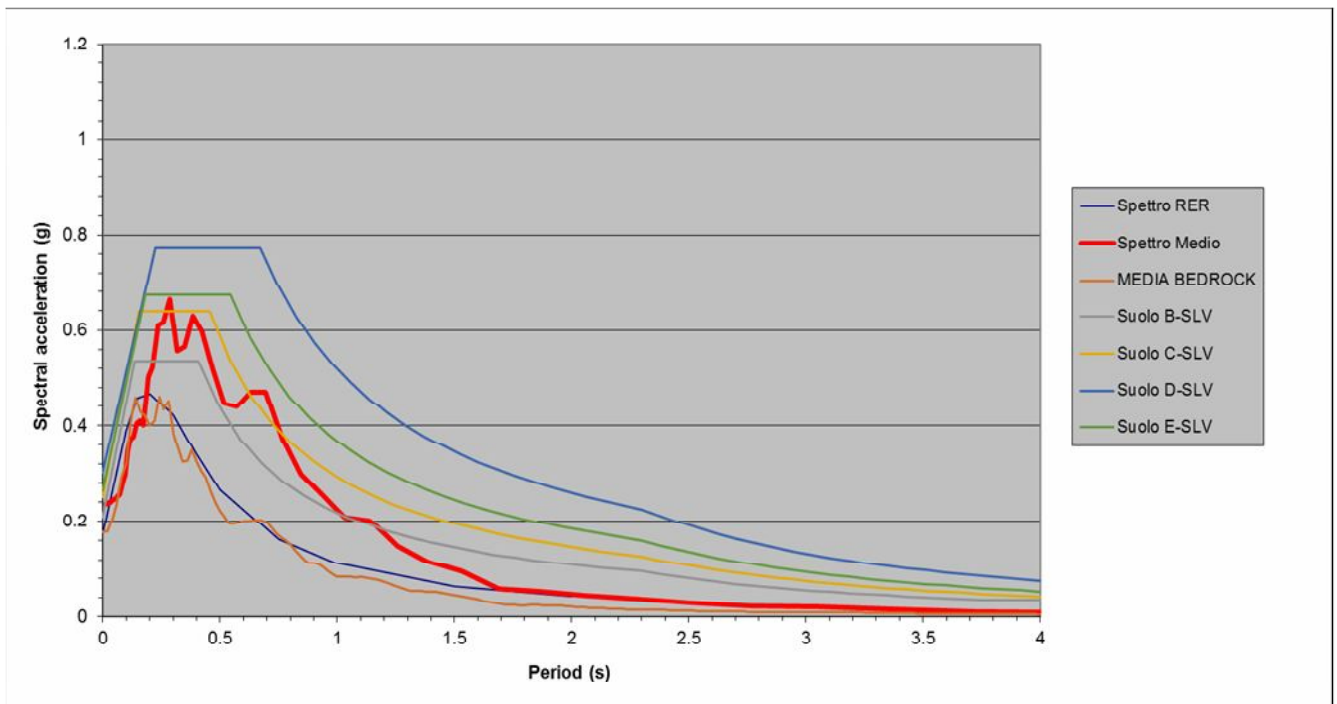
## ARENILE SETTORE CENTRO-SETTENTRIONALE

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



## ARENILE SETTORE MERIDIONALE

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





Da quanto sopra risulta evidente come generalmente lo spettro medio si dimostri generalmente pienamente compatibile con la tipologia semplificata "C" (per opere ordinarie allo SLV) e, per periodi con  $T > 1.2$ , addirittura con la tipologia "B".

Solo entro un piccolo range con  $0.7 < T < 0.85$  lo spettro medio risulta leggermente più elevato rispetto al profilo C; in ogni caso la differenza è mediamente inferiore al 10%.

Chiaramente ciò è prettamente imputabile alle caratteristiche stratigrafiche del sito e di comportamento dinamico dei terreni.

Tale modalità di risposta risulta chiaramente condizionata da terreni a bassa/media rigidità con un assetto litostratigrafico caratterizzato da modesti contrasti di impedenza a media-elevata profondità, in grado di concentrare gli effetti di amplificazione prevalentemente su range di frequenze generalmente basse.

I dati numerici dello spettro medio ottenuto in condizioni di free field, rispettivamente per l'"ARENILE NORD" e "ARENILE SUD", vengono riportati in allegato n. 6.

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 caratteristici di scuotimento (ground motion parameter) riepilogati in allegato n. 5.

In allegato 7 vengono altresì individuate le zone a comportamento sismico omogeneo, rappresentative per i vari tratti di arenile in studio ("ARENILE SETTORE CENTROSETTENTRIONALE" e "ARENILE SETTORE MERIDIONAL").

All'occorrenza ed in relazione alle esigenze progettuali andrà valutata l'interazione delle opere di fondazione ed in elevazione con le caratteristiche geotecniche e sismiche dei siti oggetto di studio, in relazione alle modalità realizzative, alle caratteristiche strutturali ed ai parametri di pericolosità sismica e di scuotimento definiti nel presente studio.

Un eventuale approfondimento delle indagini ed analisi sin qui condotte potrà essere sviluppato allo scopo di ottenere informazioni più puntuali sulle azioni sismiche nonché di natura geotecnica e sul comportamento deformativo dei materiali in relazione alle soluzioni esecutive ed agli stati limite di riferimento, così come previsto nel DM 14/01/2008.

**Dott. Geol. Carlo Copioli**

Collaboratore: Dott. Geol. Alessandro Merli

**Rimini, maggio 2016**

**ALLEGATO N.1**  
**"INQUADRAMENTO GEOGRAFICO"**

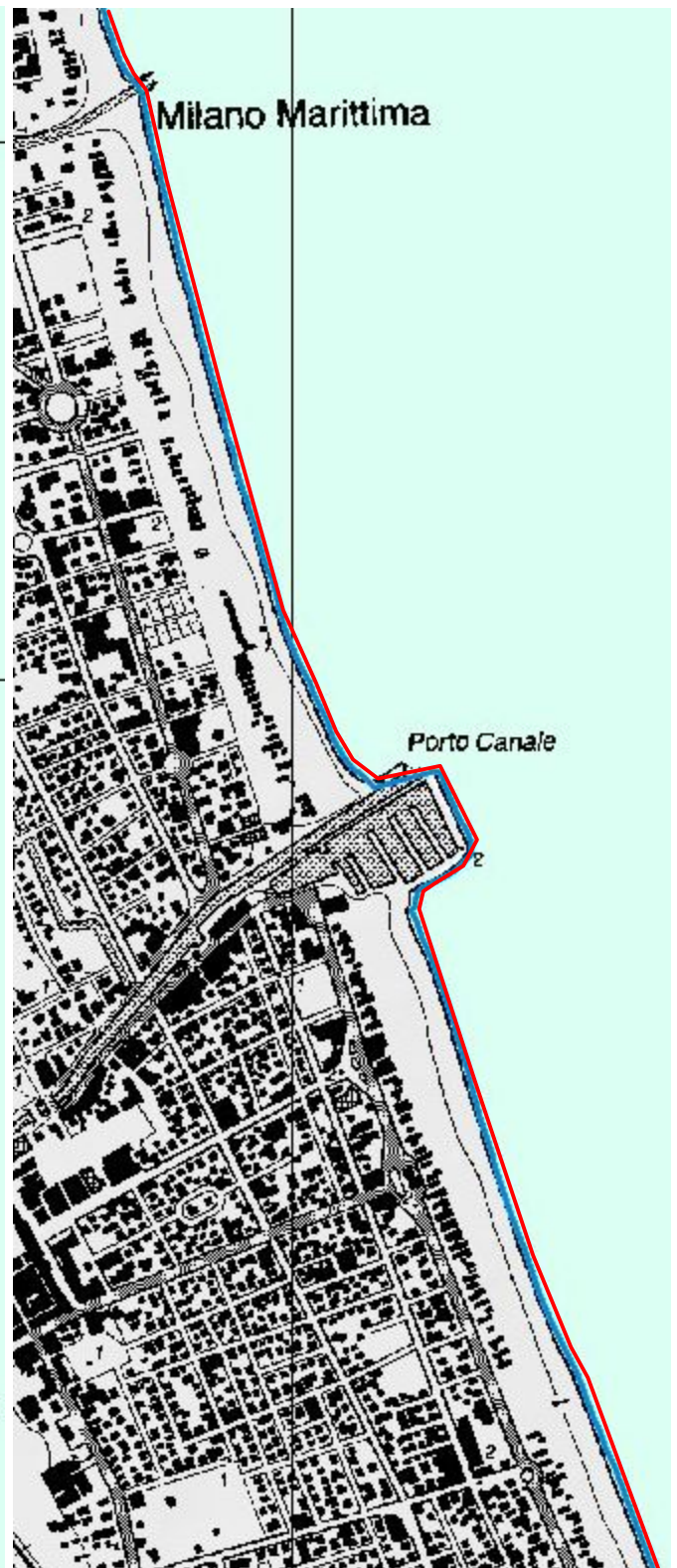


**GEOPROGET**

Studio di Geologia  
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464  
E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copiolicarlo@libero.it](mailto:copiolicarlo@libero.it)



Tratto settentrionale



Tratto centro - settentrionale



Tratto centro - meridionale



Tratto meridionale

## ALLEGATO N.2

### "PLANIMETRIA CON UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE "

## LEGENDA

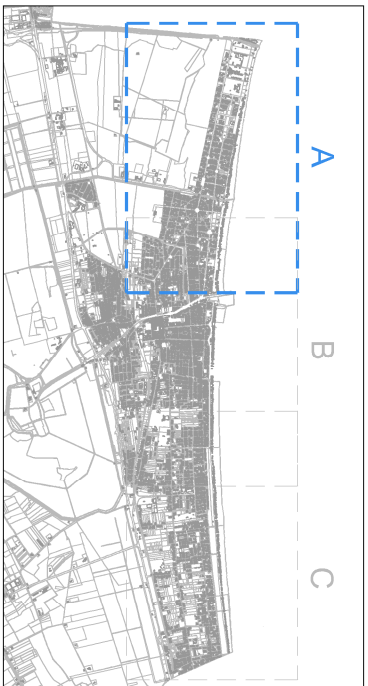
- **S1 Down hole:** Sondaggio a carotaggio continuo con prospezione geofisica tipo "Down-hole"
- **SCPT 1:** Prova penetrometrica statica con cono sismico
- ┌ **ESAC 1:** Misura di sismica passiva mediante antenna sismica  
└ **FTAN 1:** Misura sismica delle onde superficiali
- **HVSR 1:** Misura di microtremore
- **MASW 1:** Misura di sismica attiva
- A- Archivio Comune di Cervia
- Limite Piano dell'Arenile



GEOPROGET

Studio di Geologia  
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464  
E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copiolicarlo@libero.it](mailto:copiolicarlo@libero.it)

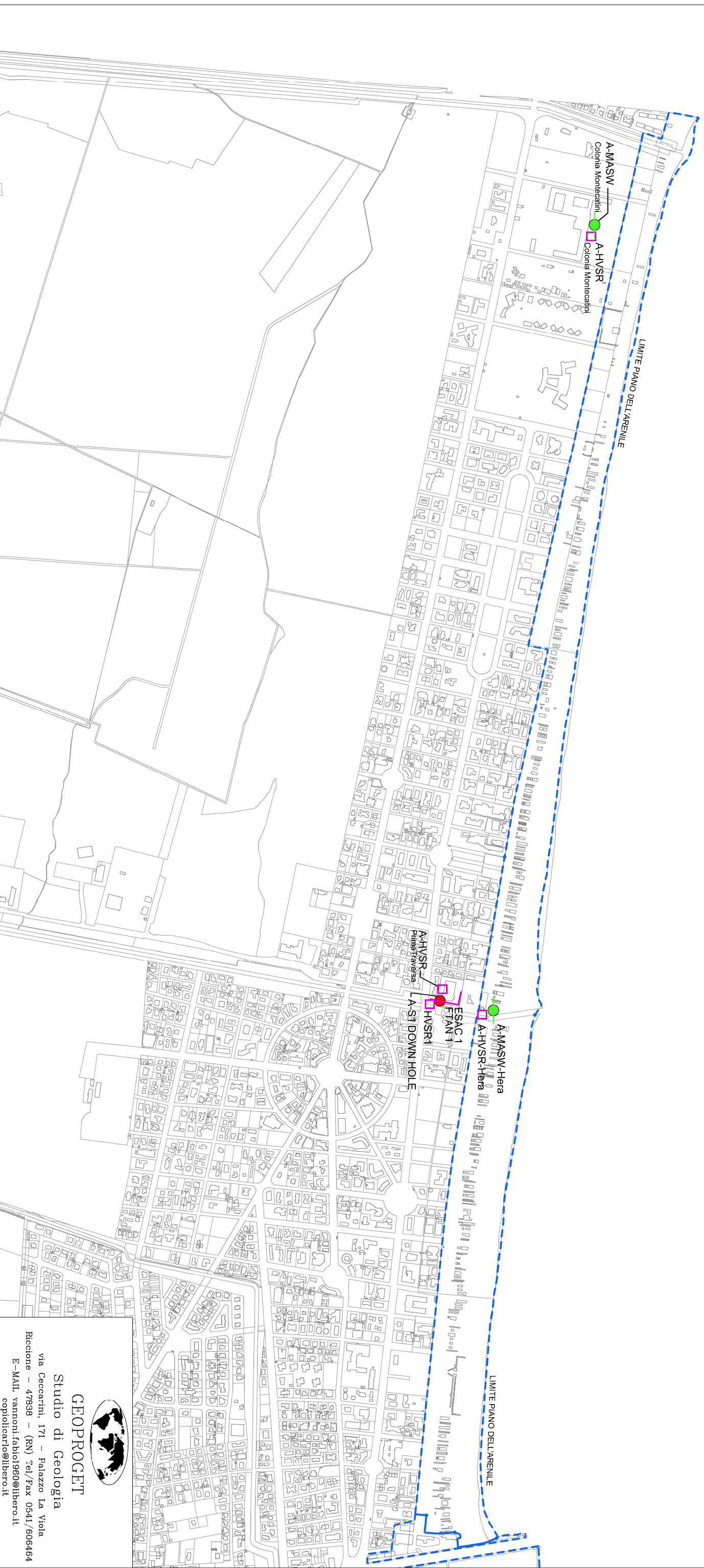
A B C



Keyplan

# Planimetria con ubicazione indagini geofisiche

Stralcio "A" - Scala 1:10.000

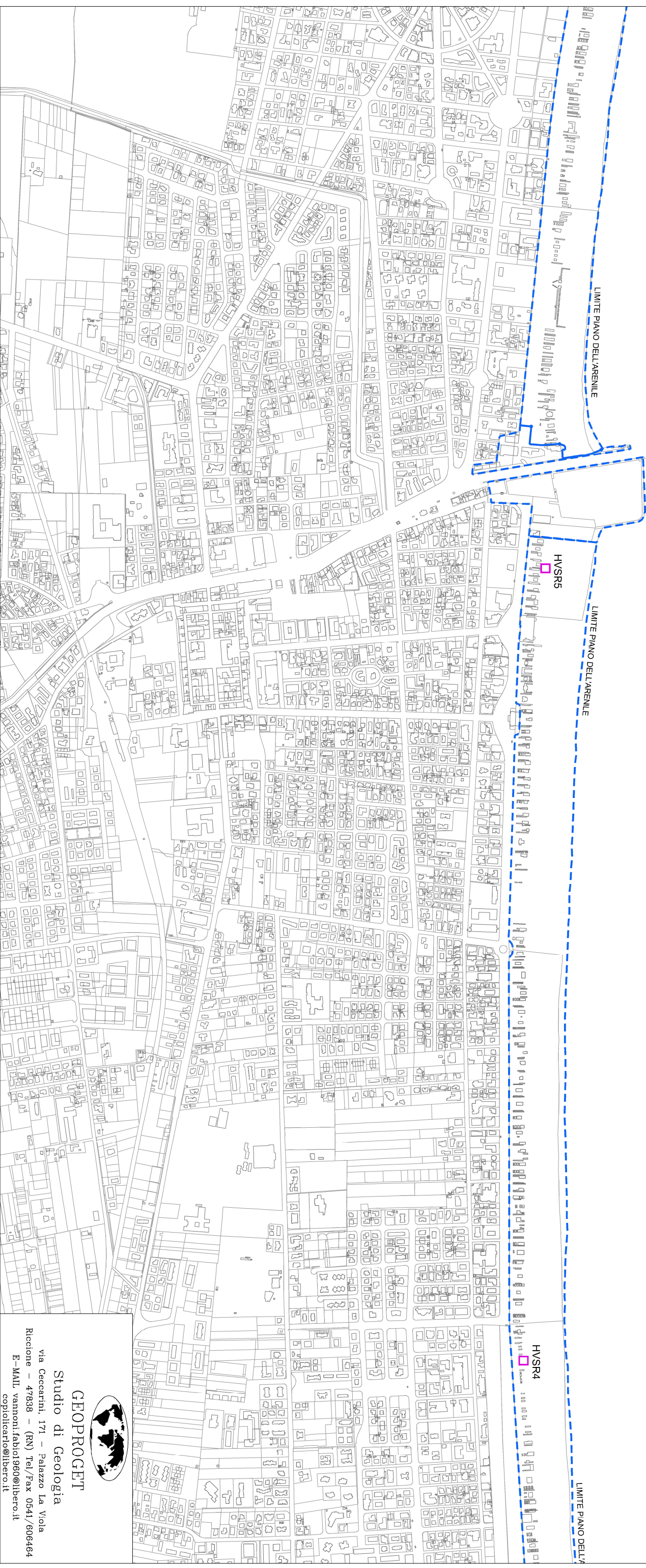


**GEOPROGETT**  
Studio di Geologia  
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Ricezione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/506464  
E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copioicarto@libero.it](mailto:copioicarto@libero.it)

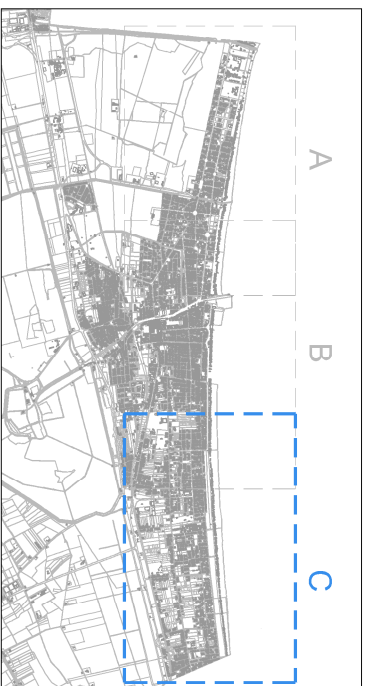
**Planimetria con ubicazione indagini geofisiche**  
Stralcio "B" - Scala 1:10.000



Keyplan

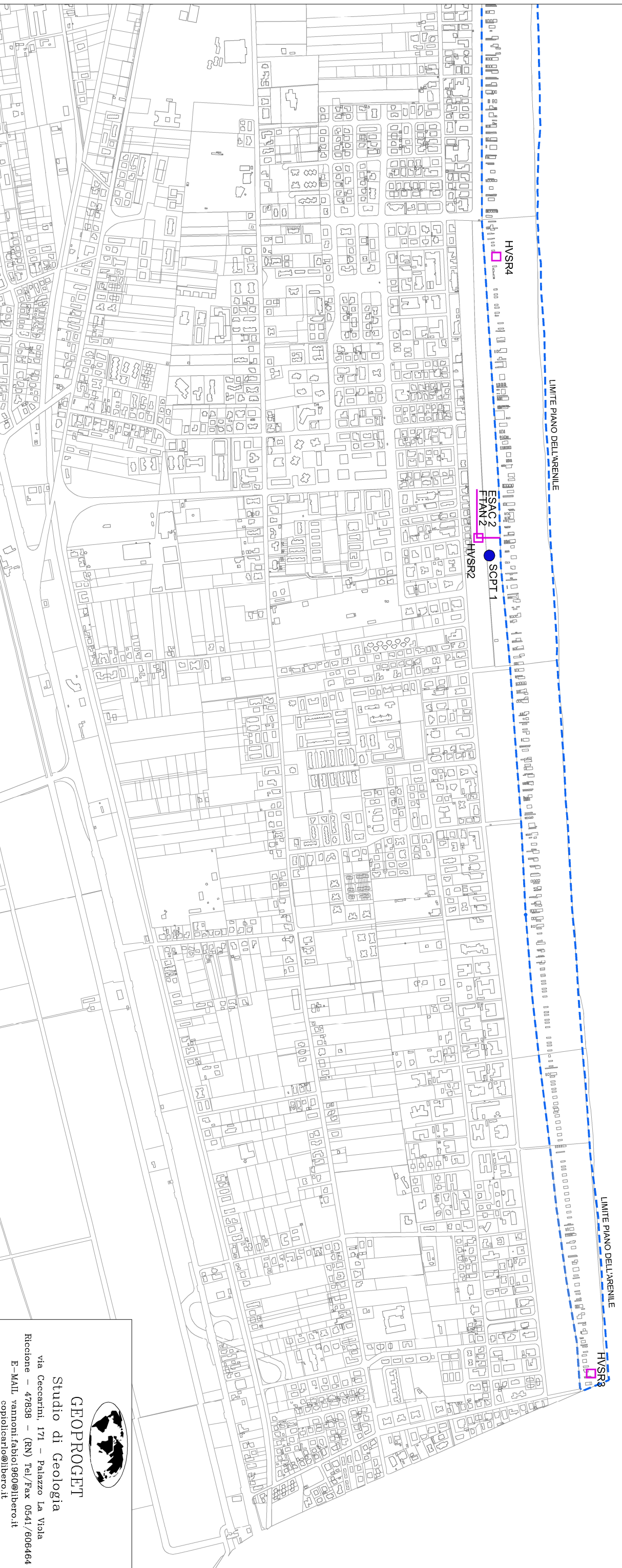


  
**GEOPROGETT**  
Studio di Geologia  
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/806464  
E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copilot@arlibero.it](mailto:copilot@arlibero.it)



Keyplan

**Planimetria con ubicazione indagini geofisiche**  
Stralcio "C" - Scala 1:10.000



**GEOPROGETT**

Studio di Geologia

Via Ceccarini 171 - Palazzo La Viola

Riccione - 47838 - (RN) Tel./Fax 0541/606464

E-MAIL: [vannoni.fabio@libero.it](mailto:vannoni.fabio@libero.it)  
[copolcario@libero.it](mailto:copolcario@libero.it)



**ALLEGATO N.3**  
"INDAGINI GEOFISICHE CAMPAGNA FEBBRAIO-APRILE 2016 "



**GEOPROGET**

Studio di Geologia

via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464  
E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copioicarlo@libero.it](mailto:copioicarlo@libero.it)

# **ESAC 1 - FTAN 1 - HVSR 1**



**GEOPROGET**

Studio di Geologia

via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464  
E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copiolicarlo@libero.it](mailto:copiolicarlo@libero.it)



## CERVIA (RA) - HV01

Strumento: Gemini2 - PASI Srl

Inizio registrazione: 20/04/16 Fine registrazione: 20/04/16

Nomi canali: NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN

Durata registrazione: 0h25'00". Analizzato 0h18'5" tracciato (selezione manuale)

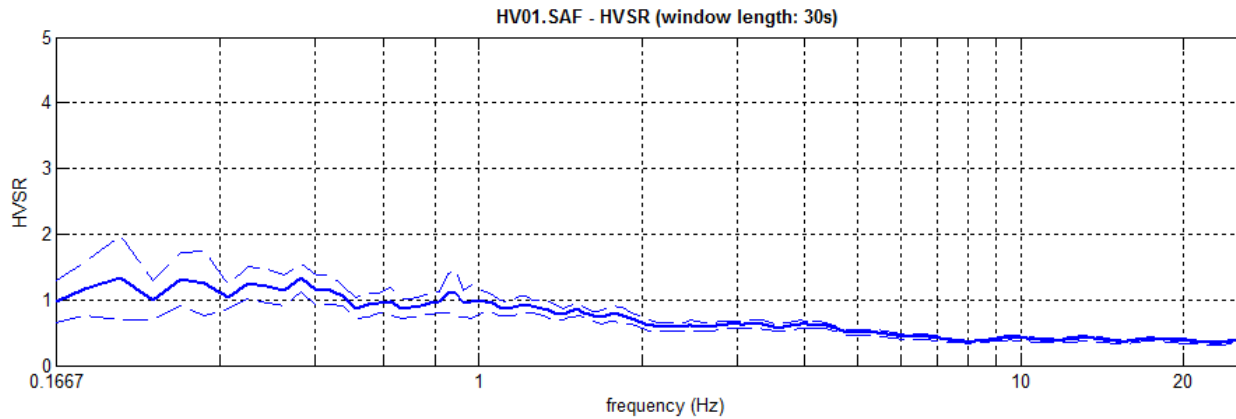
Freq. campionamento: 200 Hz

Lunghezza finestre: 30 s

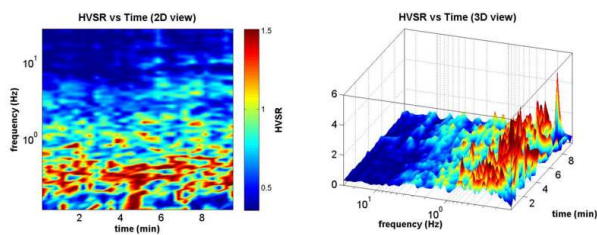
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

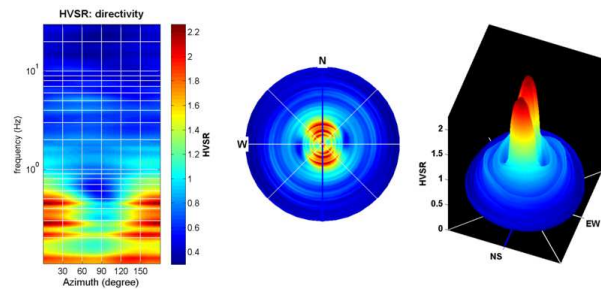
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



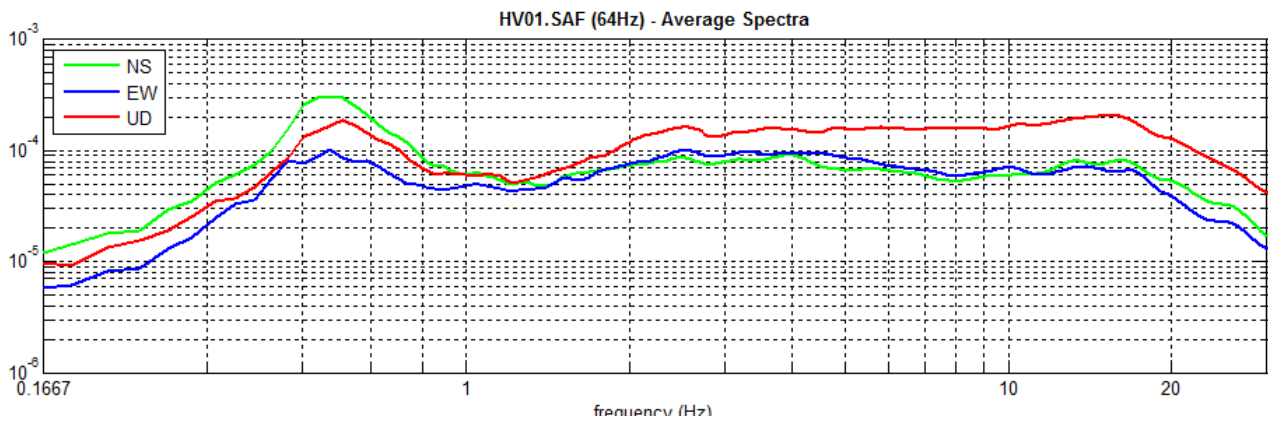
### SERIE TEMPORALE H/V



### DIREZIONALITA' H/V



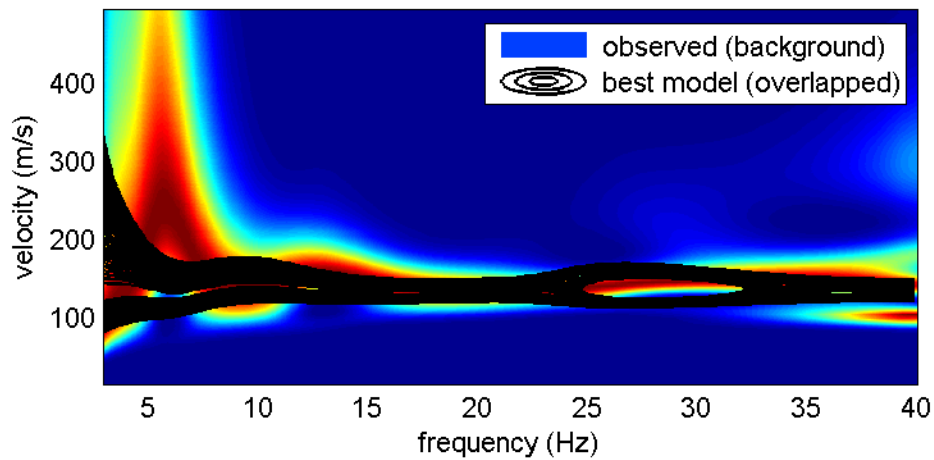
### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



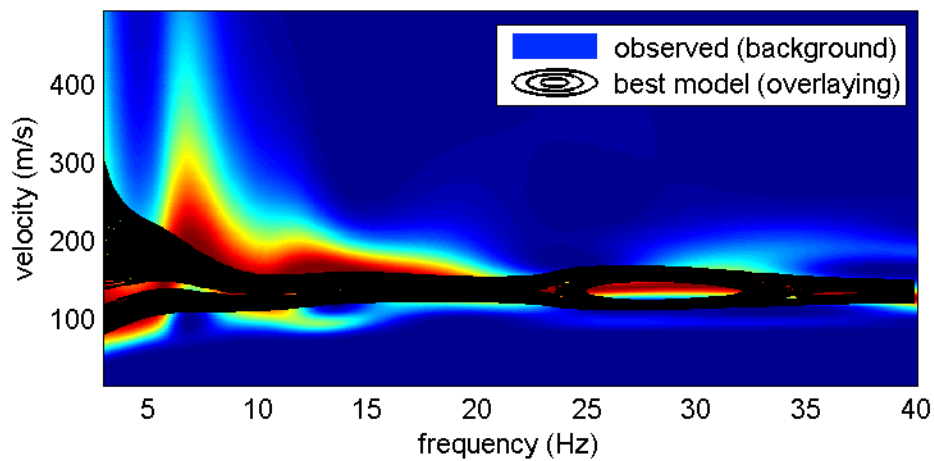
**CERVIA (RA) - FTAN**  
**(Analisi Rayleigh + HV01)**

Analisi onde Rayleigh (offset 40 m e frequenza di campionamento a 1 KHz)

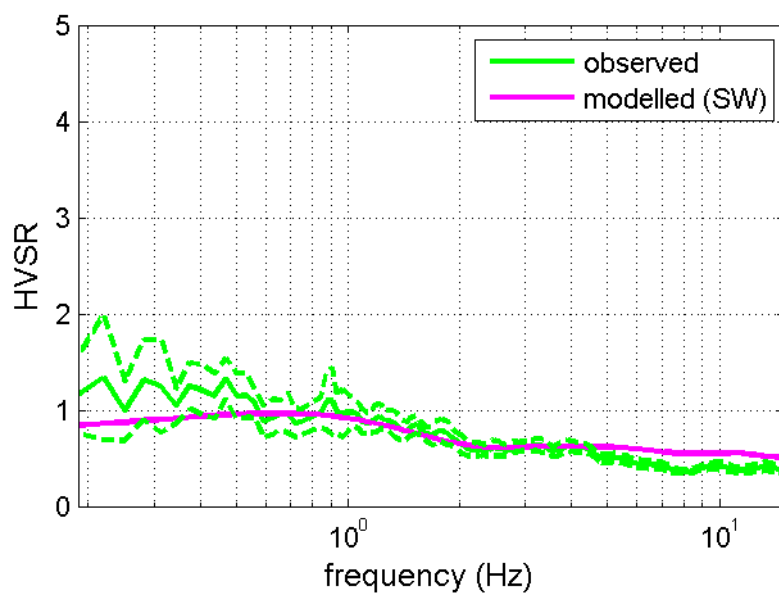
**vertical component**

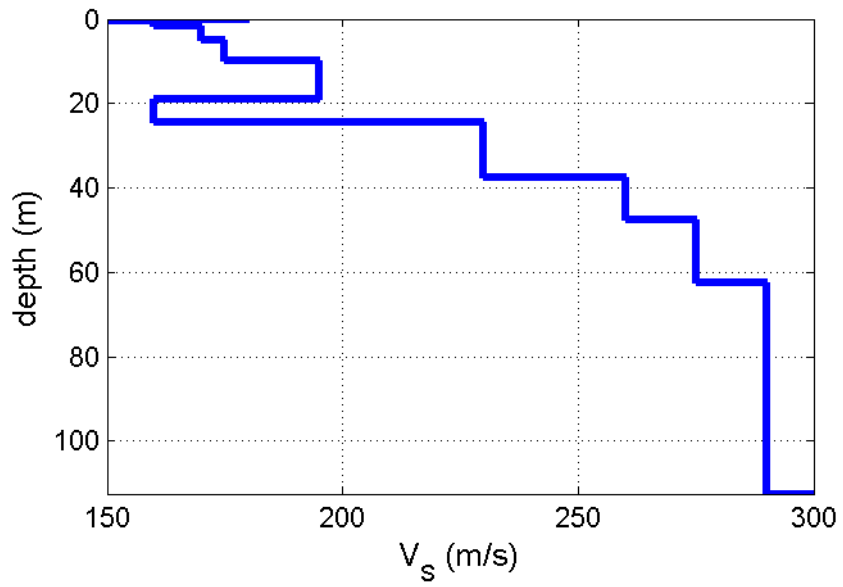


**radial component**



Analisi HVSR - Tro1





**Subsurface model**

Shear-wave velocities (m/s): 180 150 160 170 175 195 160 230 260 275 290 300

Thicknesses (m): 0.3 0.3 1.0 3.4 5.0 9.0 5.5 13.0 10.0 15.0 50.0

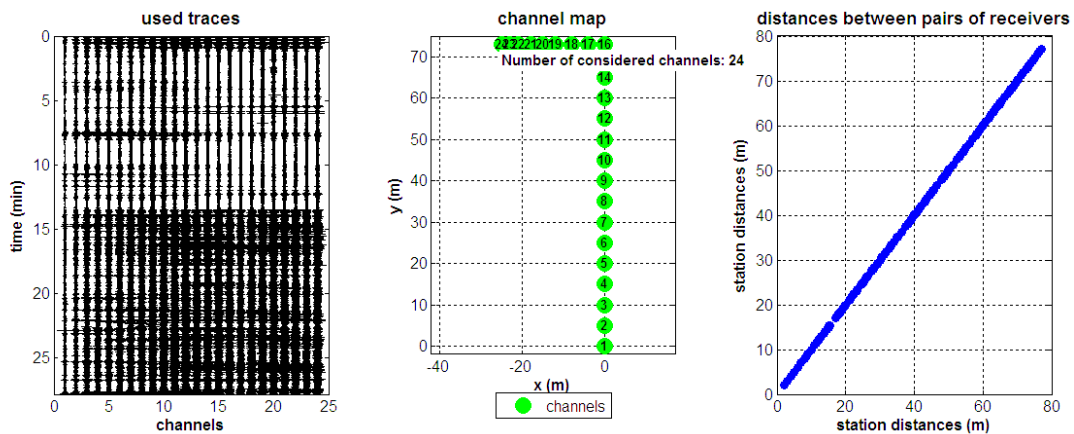
Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 59 40 46 52 55 70 45 97 126 142 158 169

Vs30 (m/s): 184

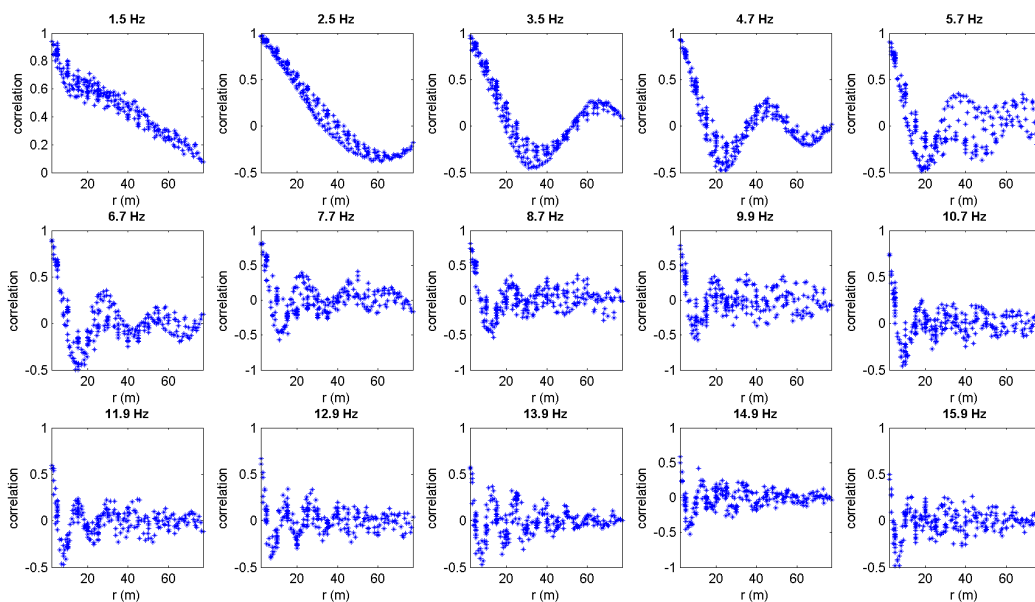
## CERVIA (RA) - ESAC (Analisi Rayleigh)

Analisi onde Rayleigh (Config. spaziale ad array bidimensionale e frequenza di campionamento a 200 Hz)

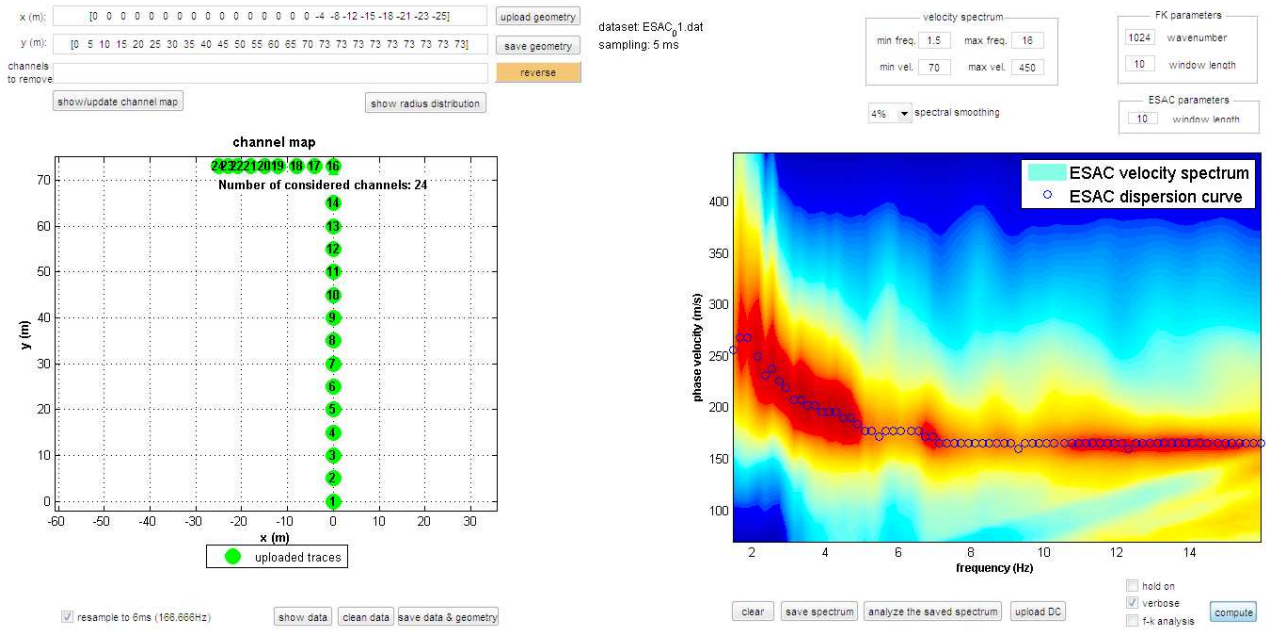
Analisi della dispersione delle onde di Rayleigh (velocità di fase) secondo la tecnica passiva ESAC, grazie alla quale è possibile delineare la curva di dispersione delle onde di Rayleigh.



Da sinistra a destra: dati passivi multicanale (geofoni verticali HG da 4.5Hz), geometria dell'acquisizione e distribuzione della spaziatura dei canali utilizzati.



Coefficienti di correlazione tra le coppie di canali utilizzati per l'analisi ESAC per 15 frequenze (indicate) prese a campione.

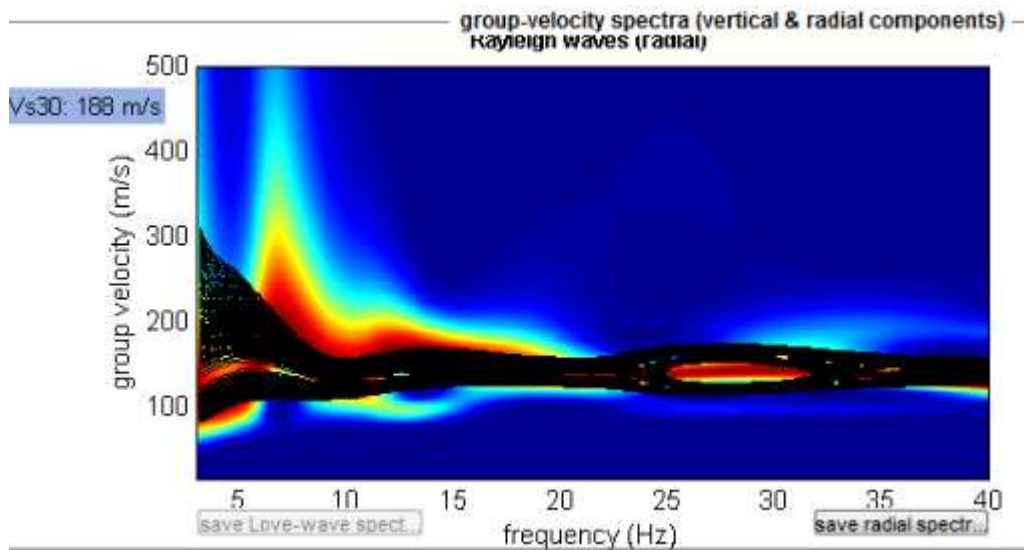
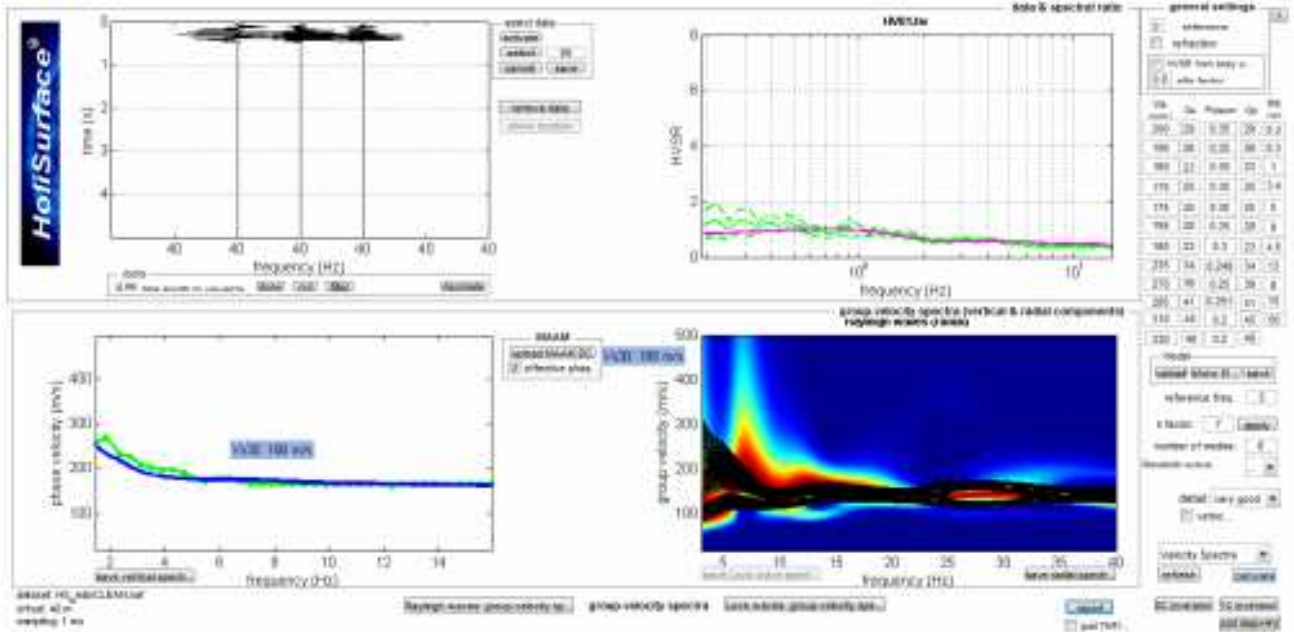


Risultato finale riassuntivo dell'analisi ESAC: i colori riportano lo spettro di velocità con evidenziata (cerchi blu o) la curva di dispersione apparente.

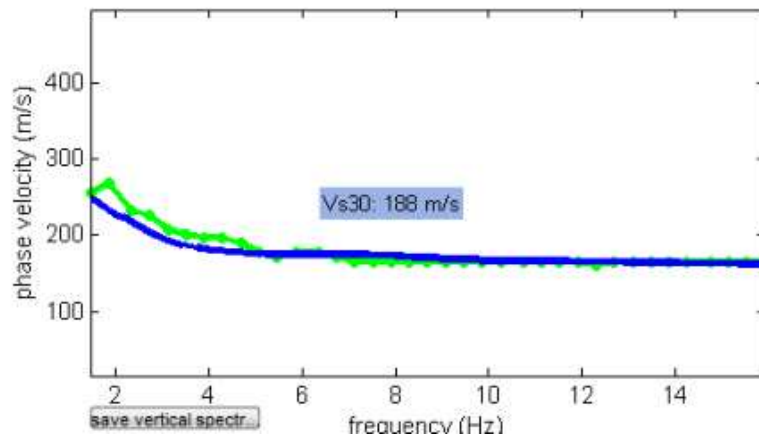


**CERVIA (RA) - FTAN**  
**(Analisi Rayleigh + ESAC + HV01)**

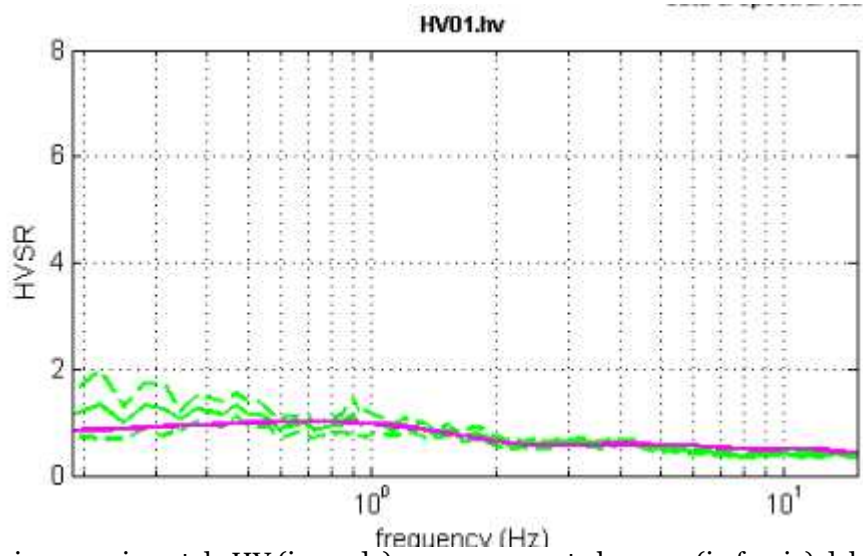
Analisi onde Rayleigh (offset 40 m e frequenza di campionamento a 1 KHz + ESAC + HV01)



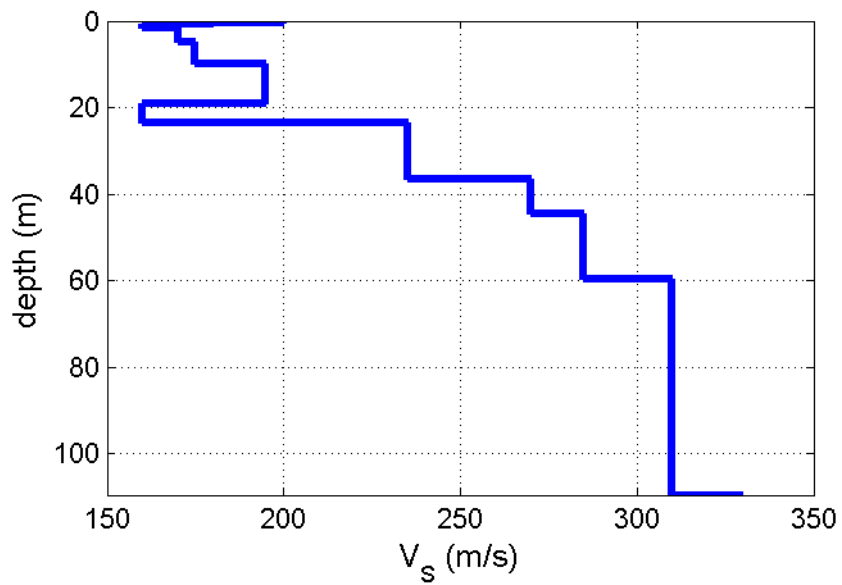
La curva di coerenza (distribuzione di probabilità in rosso) con sovrapposta la curva (in nero) del modello sintetico



La curva di dispersione sperimentale ESAC (in verde) con sovrapposta la curva (in blu) del modello sintetico



La curva di dispersione sperimentale HV (in verde) con sovrapposta la curva (in fucsia) del modello sintetico



Profilo di Vs con la profondità desunto dal modello accoppiato FTAN+ESAC+HV

## **ESAC 2 - FTAN 2 - HVSR 2**



**GEOPROGET**

Studio di Geologia

via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464  
E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copioicarlo@libero.it](mailto:copioicarlo@libero.it)



## CERVIA (RA) - HV02

Strumento: Gemini2 - PASI Srl

Inizio registrazione: 20/04/16 Fine registrazione: 20/04/16

Nomi canali: NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN

Durata registrazione: 0h25'00". Analizzato 0h24'4" tracciato (selezione manuale)

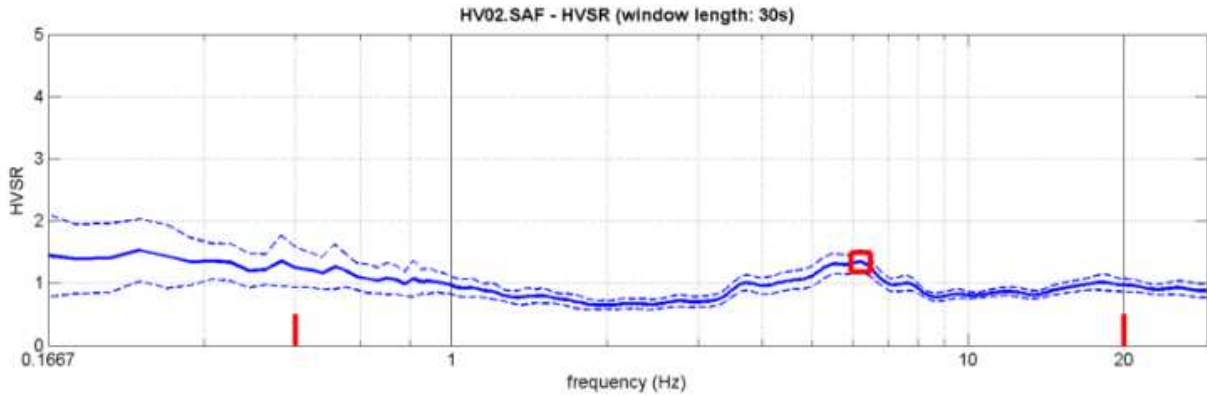
Freq. campionamento: 200 Hz

Lunghezza finestre: 30 s

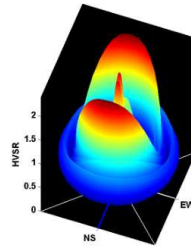
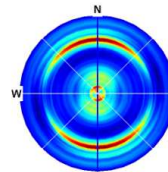
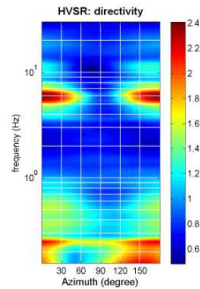
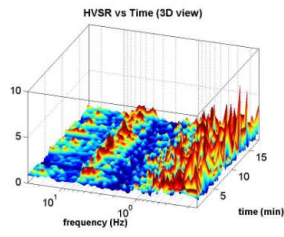
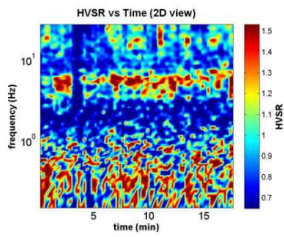
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

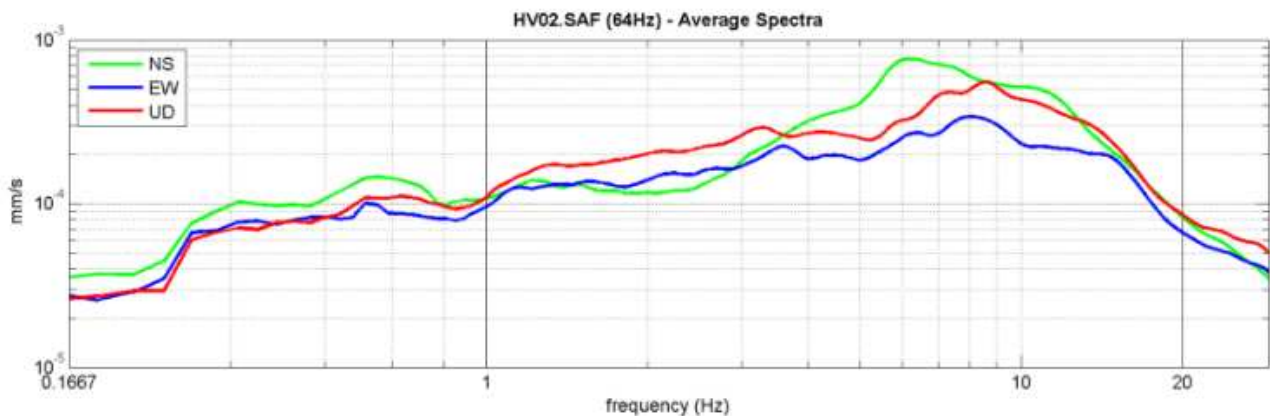
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



### SERIE TEMPORALE H/V



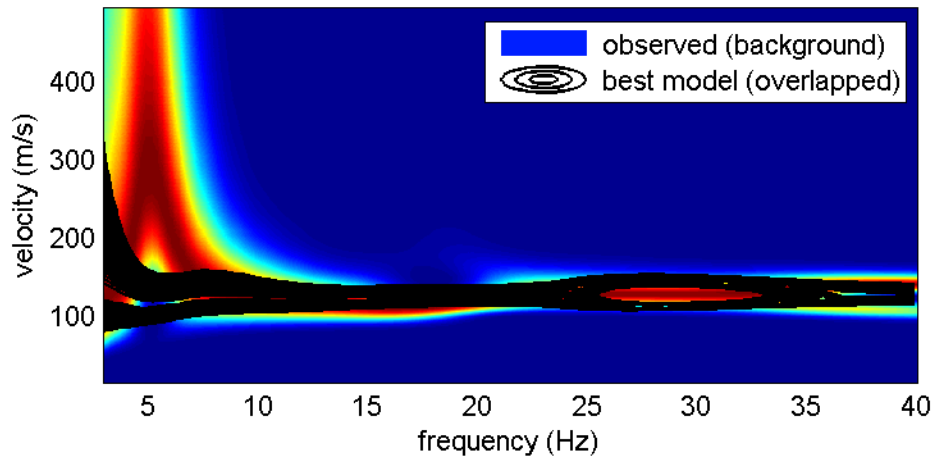
### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



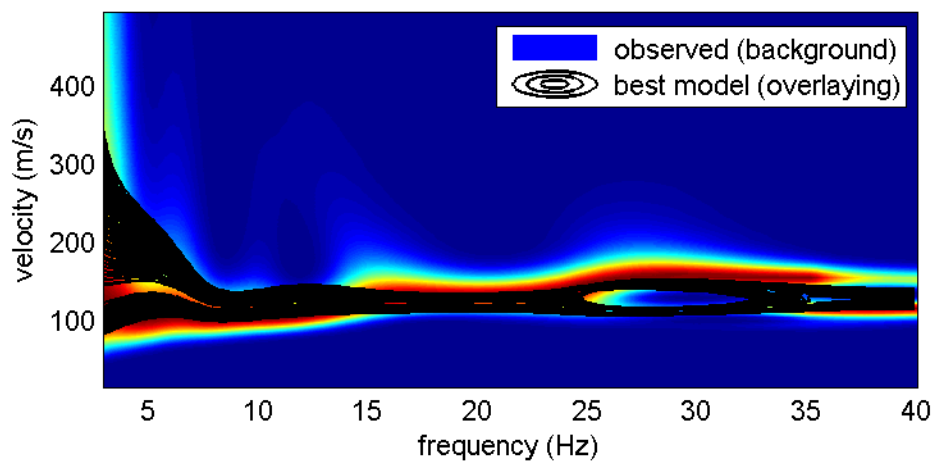
**CERVIA (RA) - FTAN**  
**(Analisi Rayleigh + HV01)**

Analisi onde Rayleigh (offset 40 m e frequenza di campionamento a 1 KHz)

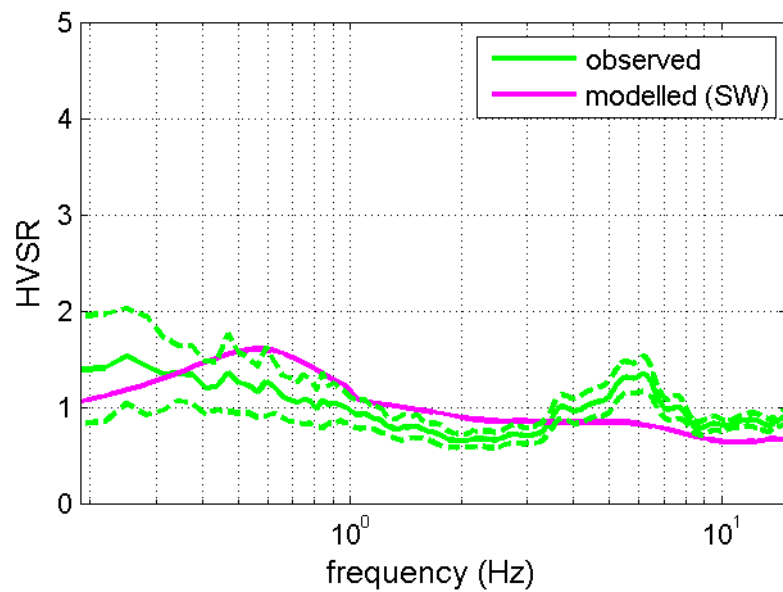
**vertical component**

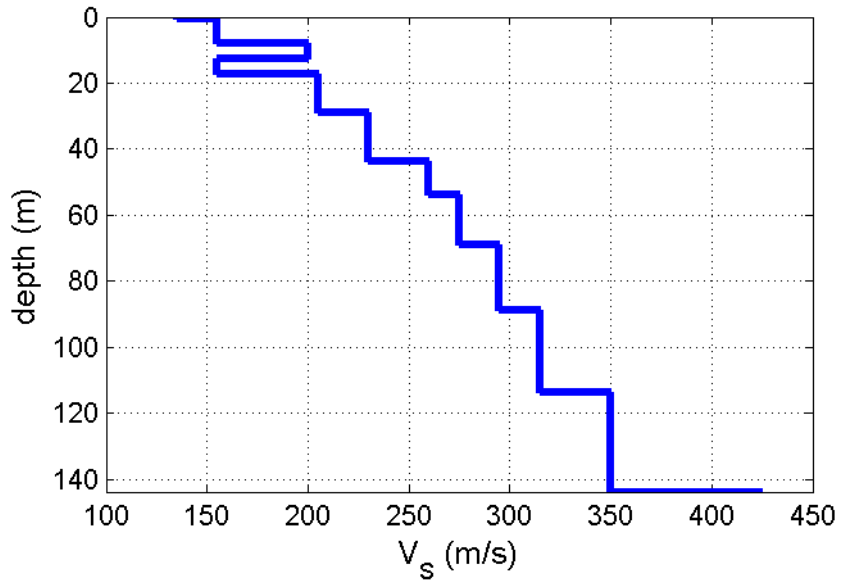


**radial component**



Analisi HVSR - Tro1





### Subsurface model

Shear-wave velocities (m/s): 135 155 200 155 205 230 260 275 295 315 350 425

Thicknesses (m): 0.4 7.4 5.0 4.5 11.5 15.0 10.0 15.0 20.0 25.0 30.0

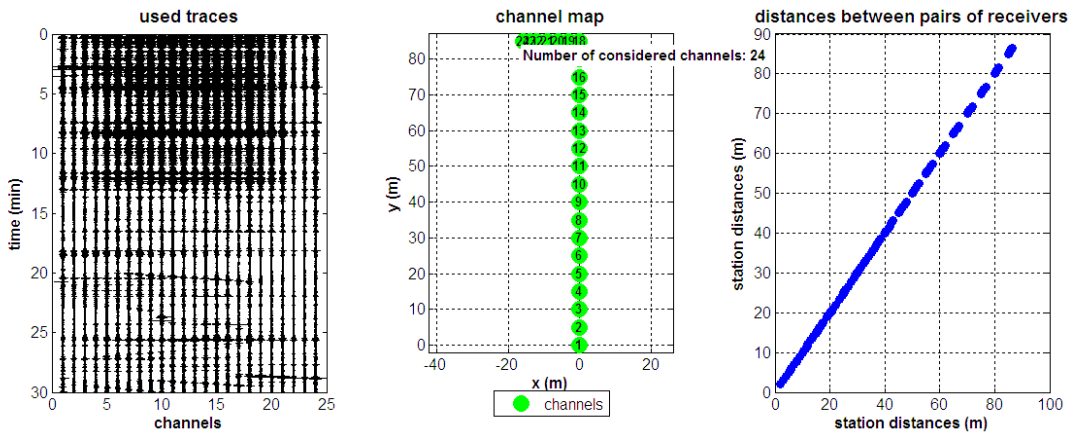
Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 32 43 74 43 78 99 127 142 165 189 235 355

V<sub>s30</sub> (m/s): 181

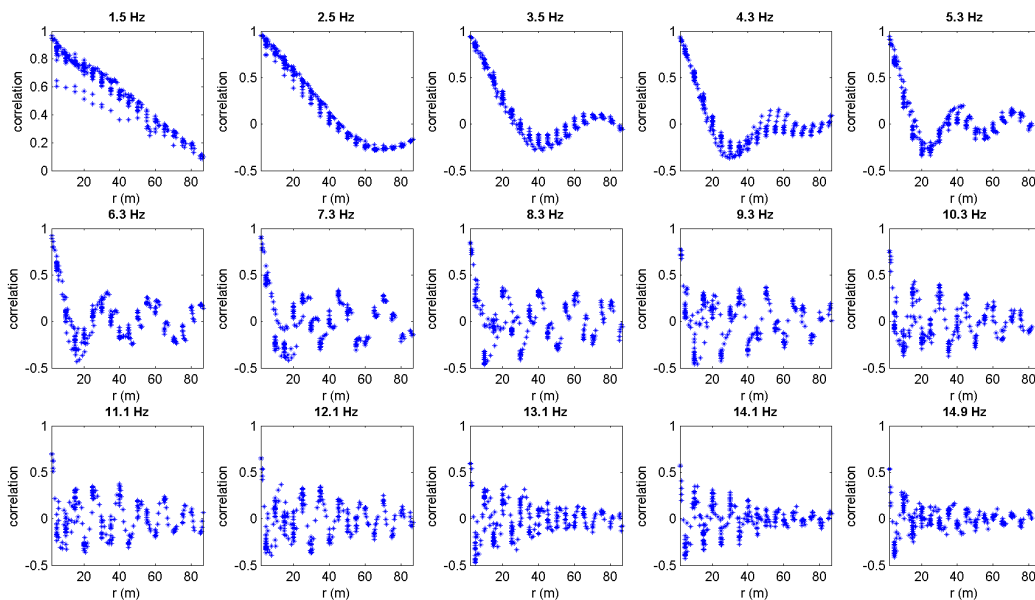
## CERVIA (RA) - ESAC (Analisi Rayleigh)

Analisi onde Rayleigh (Config. spaziale ad array bidimensionale e frequenza di campionamento a 200 Hz)

Analisi della dispersione delle onde di Rayleigh (velocità di fase) secondo la tecnica passiva ESAC, grazie alla quale è possibile delineare la curva di dispersione delle onde di Rayleigh.

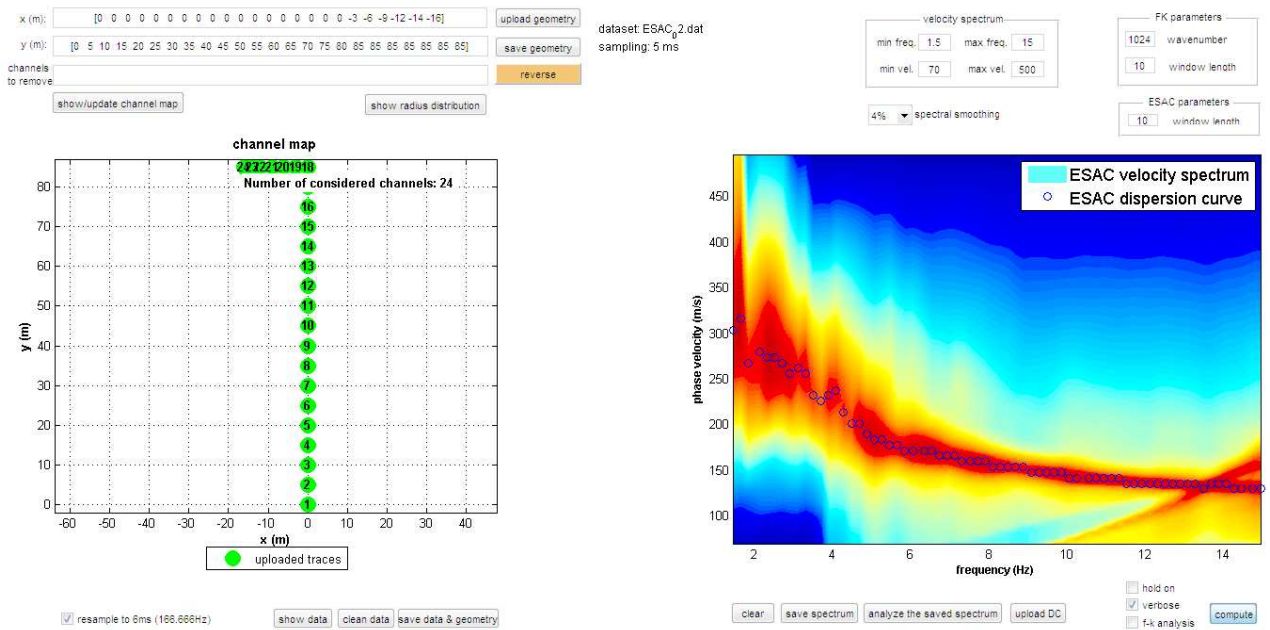


Da sinistra a destra: dati passivi multicanale (geofoni verticali HG da 4.5Hz), geometria dell'acquisizione e distribuzione della spaziatura dei canali utilizzati.



Coefficienti di correlazione tra le coppie di canali utilizzati per l'analisi ESAC per 15 frequenze (indicate) prese a campione.

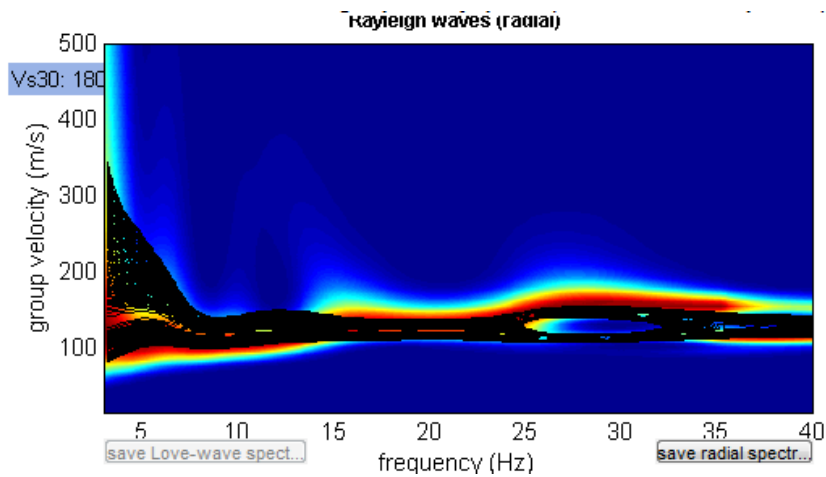
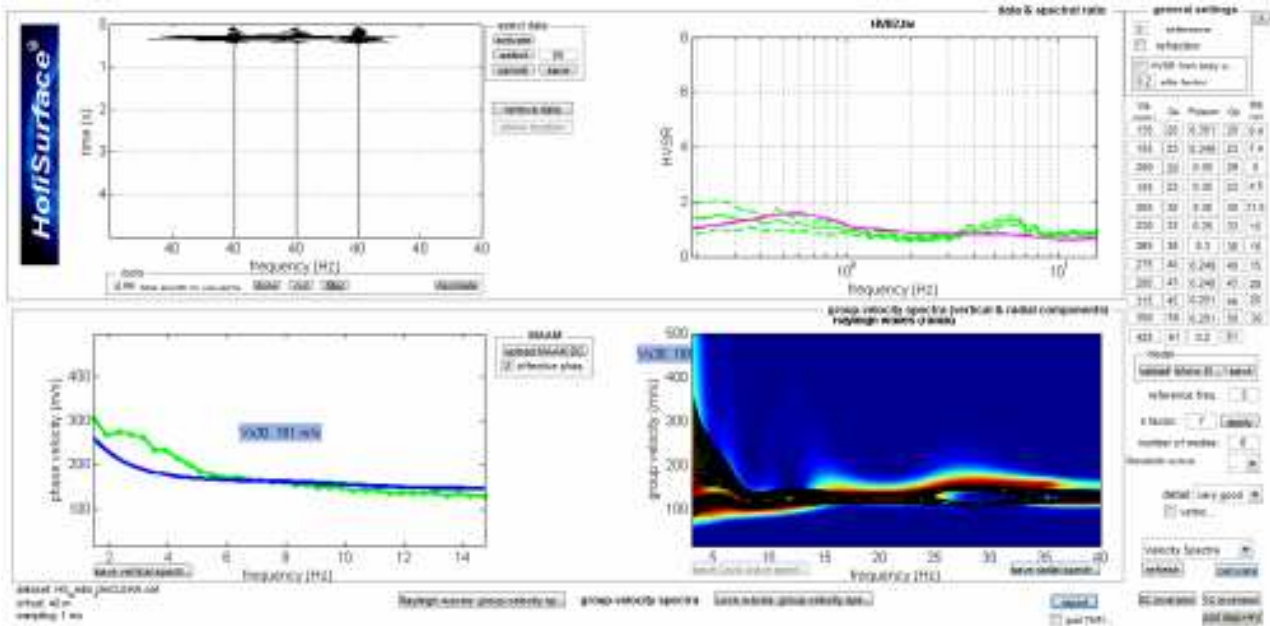




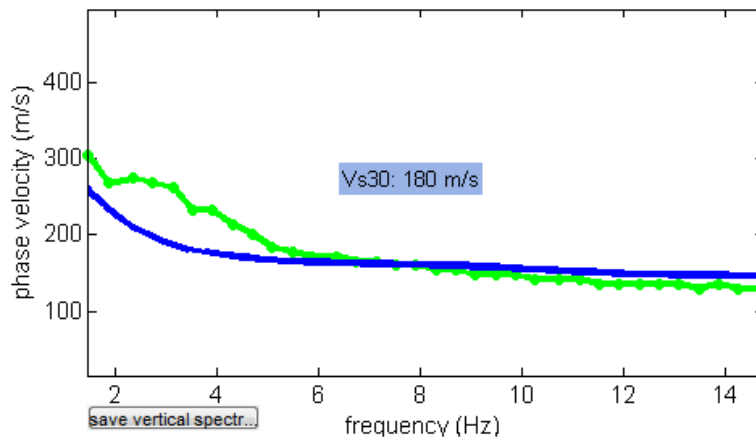
Risultato finale riassuntivo dell'analisi ESAC: i colori riportano lo spettro di velocità con evidenziata (cerchi blu o ) la curva di dispersione apparente.

**CERVIA (RA) - FTAN  
(Analisi Rayleigh + ESAC + HV01)**

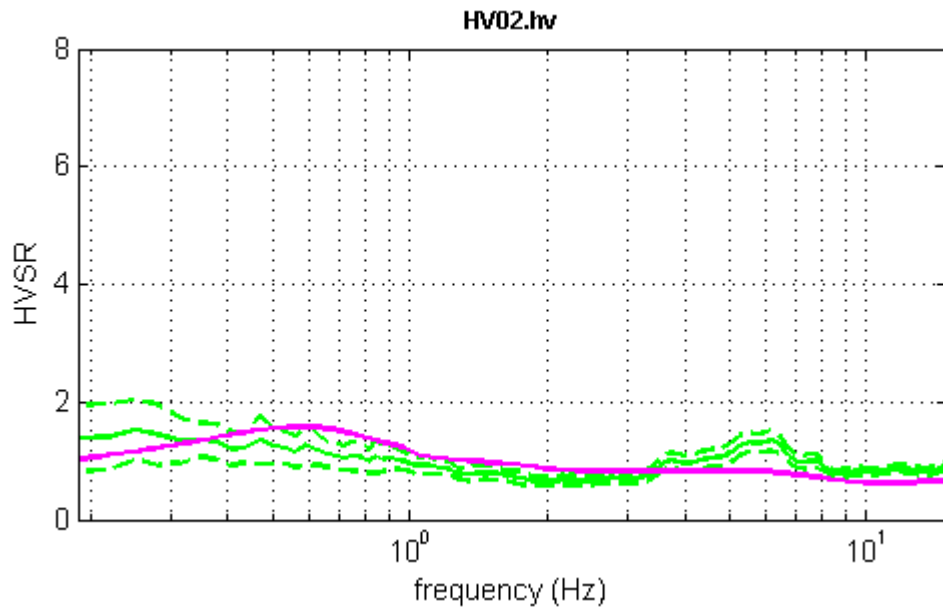
Analisi onde Rayleigh (offset 40 m e frequenza di campionamento a 1 KHz + ESAC + HV01)



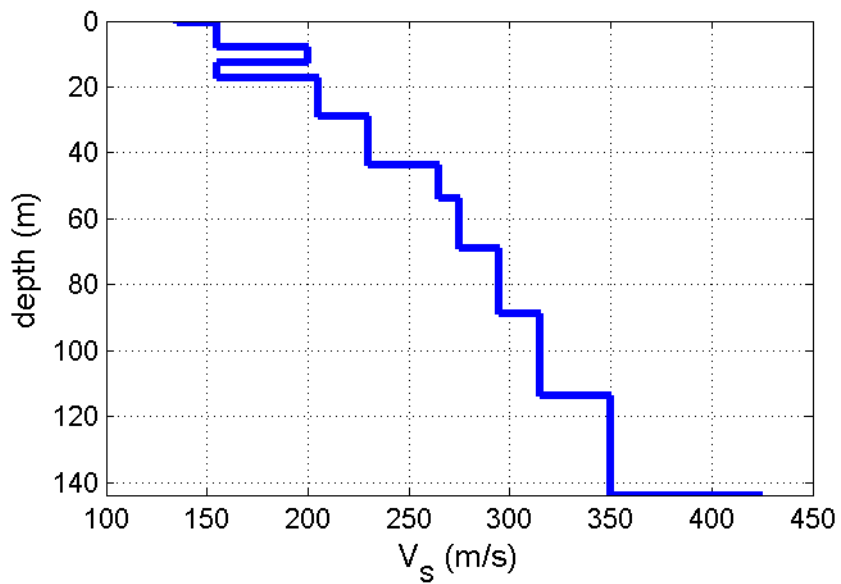
La curva di coerenza (distribuzione di probabilità in rosso) con sovrapposta la curva (in nero) del modello sintetico



La curva di dispersione sperimentale ESAC (in verde) con sovrapposta la curva (in blu) del modello sintetico. La discordanza a partire da 4hz è dovuta al fatto che la curva esac (guarda la prova) aumenta la variabilità e le velocità sono un po' più basse. Questo dato concorda anche con la curva HV...quindi se fai un fitting congiunto FTAN+ESAC+HV non si sbaglia



La curva di dispersione sperimentale HV (in verde) con sovrapposta la curva (in fucsia) del modello sintetico



Profilo di  $V_s$  con la profondità desunto dal modello accoppiato FTAN+ESAC+HV

## HVSR 3



GEOPROGET

Studio di Geologia  
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464  
E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copiolicarlo@libero.it](mailto:copiolicarlo@libero.it)

## HVSR-3

### COMCERVIA2198, LA TAGLIATA 1

Instrument: TRZ-0144/01-11

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 29/01/16 09:55:09 End recording: 29/01/16 10:15:08

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 128 Hz

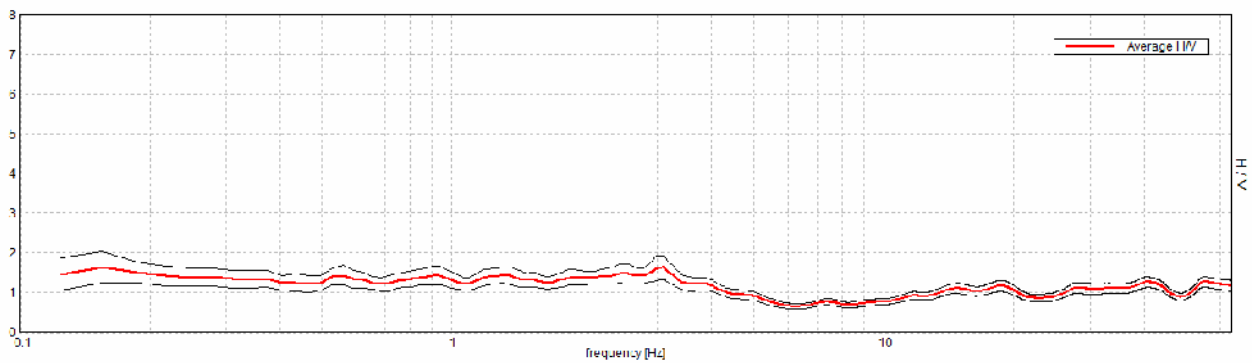
Window size: 30 s

Smoothing type: Triangular window

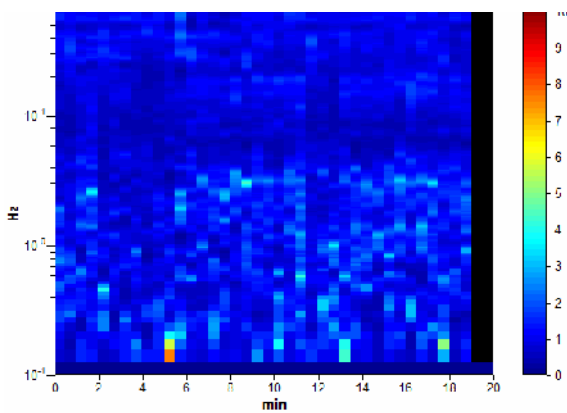
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

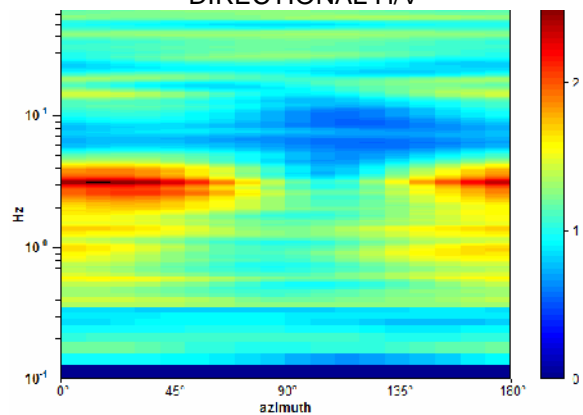
Max HV at 0.16 + 0.78 Hz (in the range 0.0 - 32.0 Hz)



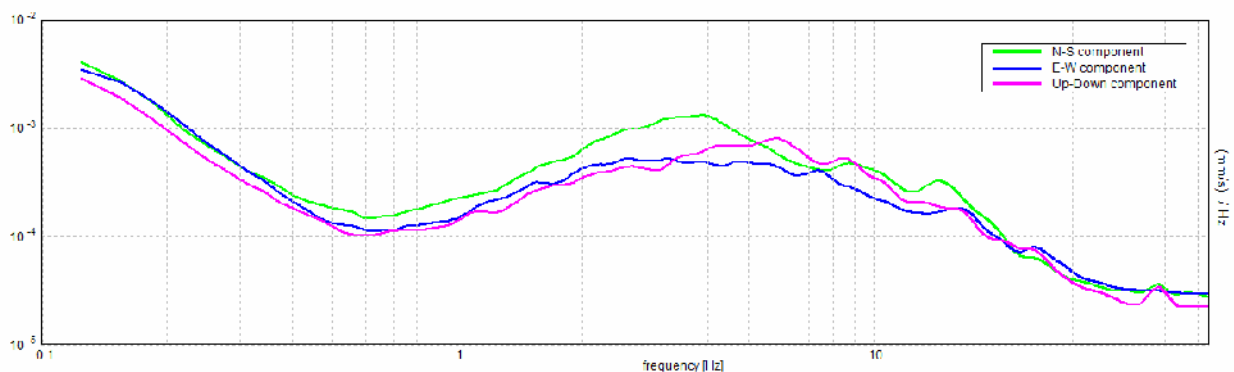
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



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

**Max. H/V at  $0.16 \pm 0.78$  Hz (in the range 0.0 - 32.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.16 > 0.33$		<b>NO</b>
$n_c(f_0) > 200$	$187.5 > 200$		<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 8 times	<b>OK</b>	

**Criteria for a clear H/V peak**

[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>
$A_0 > 2$	$1.64 > 2$		<b>NO</b>
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 4.97865  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.77791 < 0.03906$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3925 < 3.0$	<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

## **HVSR 4**



**GEOPROGET**

Studio di Geologia  
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464  
E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copiolicarlo@libero.it](mailto:copiolicarlo@libero.it)

# HVSR-4

## COMCERVIA2198, PINARELLA 1

Strumento: TRZ-0144/01-11

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 29/01/16 11:33:36 Fine registrazione: 29/01/16 11:53:36

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00"

Analizzato 52% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

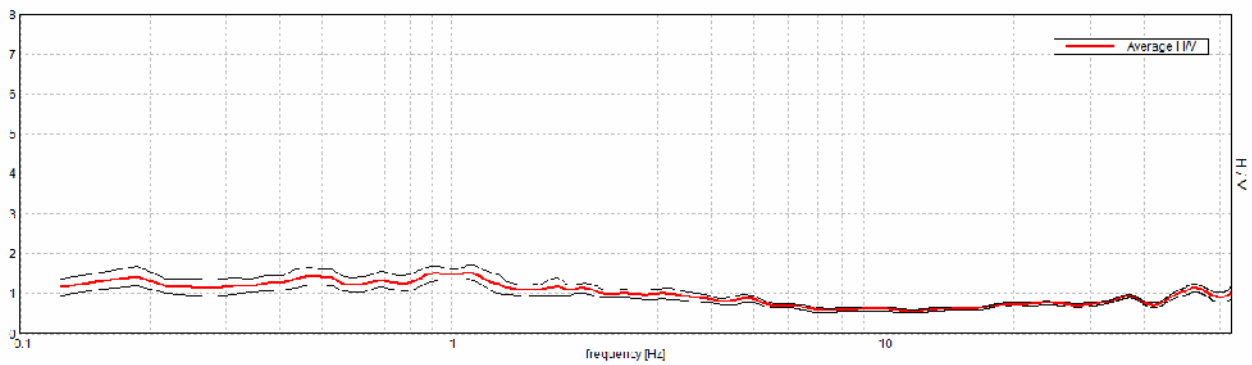
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

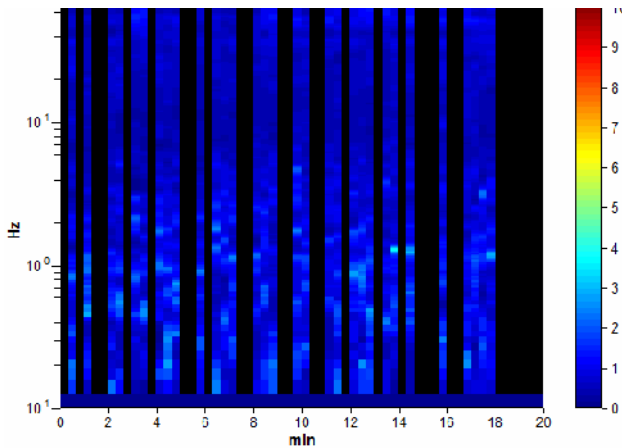
Lisciamento: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

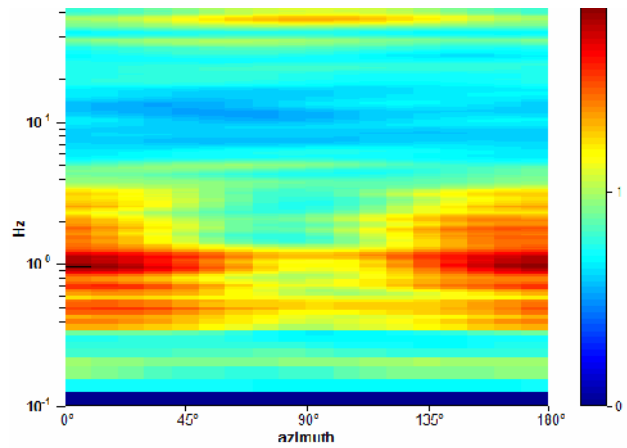
Picco H/V a 1.09 + 0.27 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz)



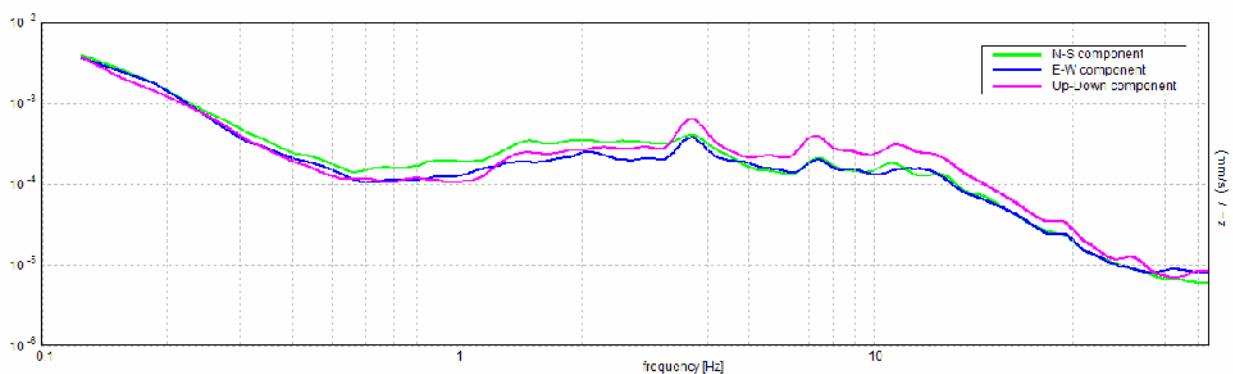
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA





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

**Picco H/V a  $1.09 \pm 0.27$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.09 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$678.1 > 200$	<b>OK</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 54 times	<b>OK</b>	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
$A_0 > 2$	$1.54 > 2$		<b>NO</b>
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.24303  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.26582 < 0.10938$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1642 < 1.78$	<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

## HVSR 5



GEOPROGET

Studio di Geologia

via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464

E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copioicarlo@libero.it](mailto:copioicarlo@libero.it)

## HVSR-5

### COMCERVIA2198, CERVIA - PORTO CANALE 1

Instrument: TRZ-0144/01-11

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 29/01/16 12:44:08 End recording: 29/01/16 13:04:08

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 70% trace (manual window selection)

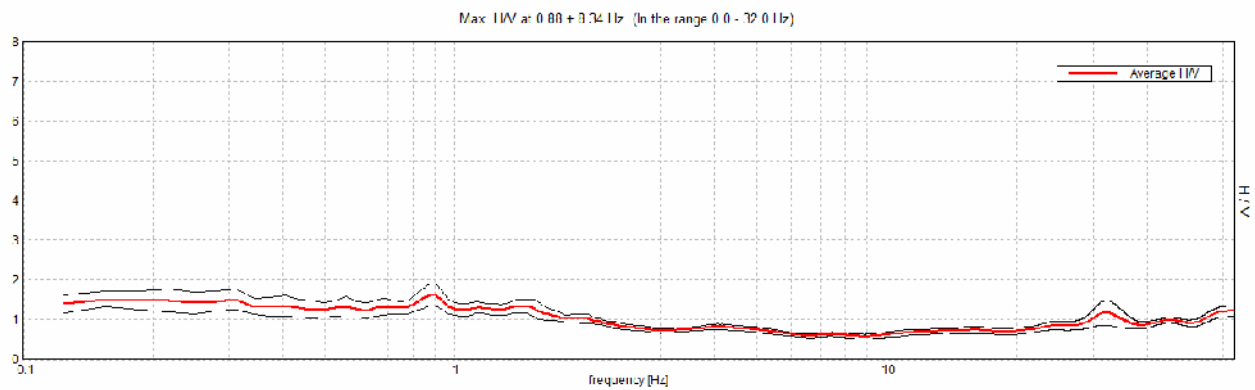
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 30 s

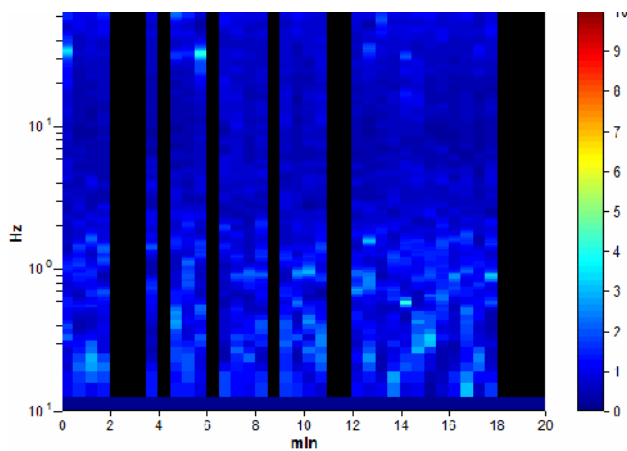
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

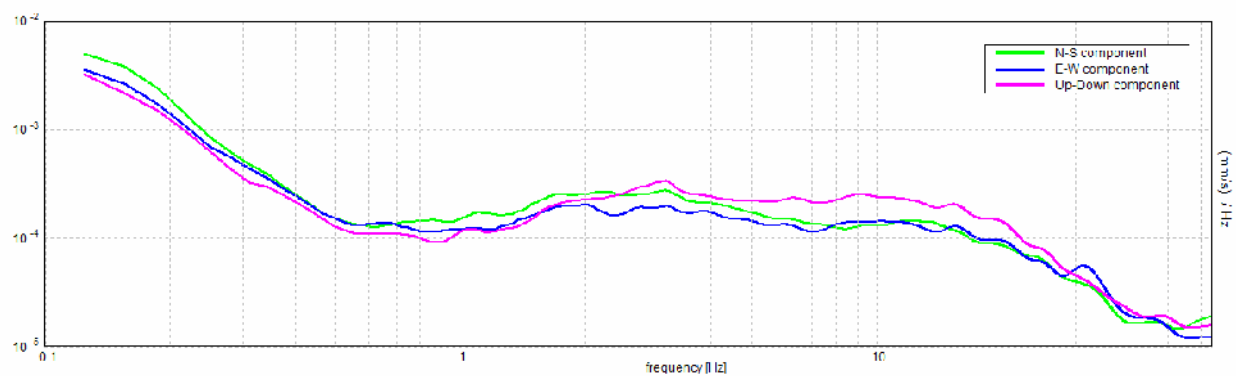
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



### H/V TIME HISTORY



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



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

**Max. H/V at 0.88 ± 8.34 Hz (in the range 0.0 - 32.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	0.88 > 0.33	OK	
$n_c(f_0) > 200$	735.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 43 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.531 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.62 > 2		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 9.52877  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$8.33767 < 0.13125$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2869 < 2.0$	OK	

$L_w$	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

# SCPT 1



GEOPROGET

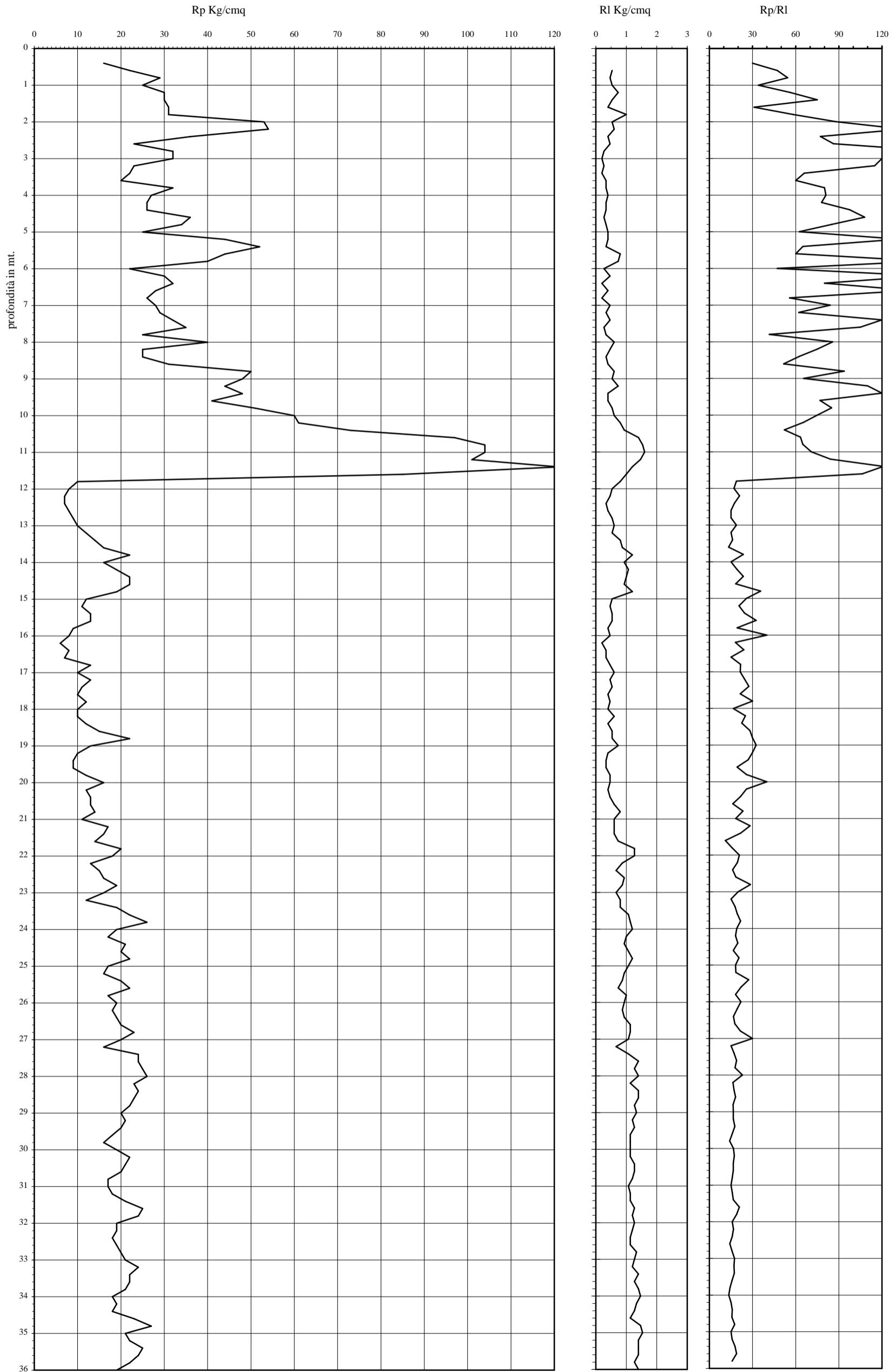
Studio di Geologia

via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464  
E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copiolicarlo@libero.it](mailto:copiolicarlo@libero.it)

# Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT1  
Cantiere: Cervia (RA) - Piano Spiaggia - Cono  
Data: Aprile 2016

Quota inizio: piano campagna  
Liv.falda: -1,10 mt.  
Note:



Caratteristiche strumento: penetrometro statico semovente, 200kN spinta

Punta meccanica tipo Begemann - manicotto laterale superficie 150 cmq

Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)

Prova n.: CPT1  
Cantiere: Cervia (RA) - Piano Spiaggia-Cono sismico  
Data: Aprile 2016

Verifica alla liquefazione  
magnitudo di 6 g  
accelerazione massima al suolo 0,25 g

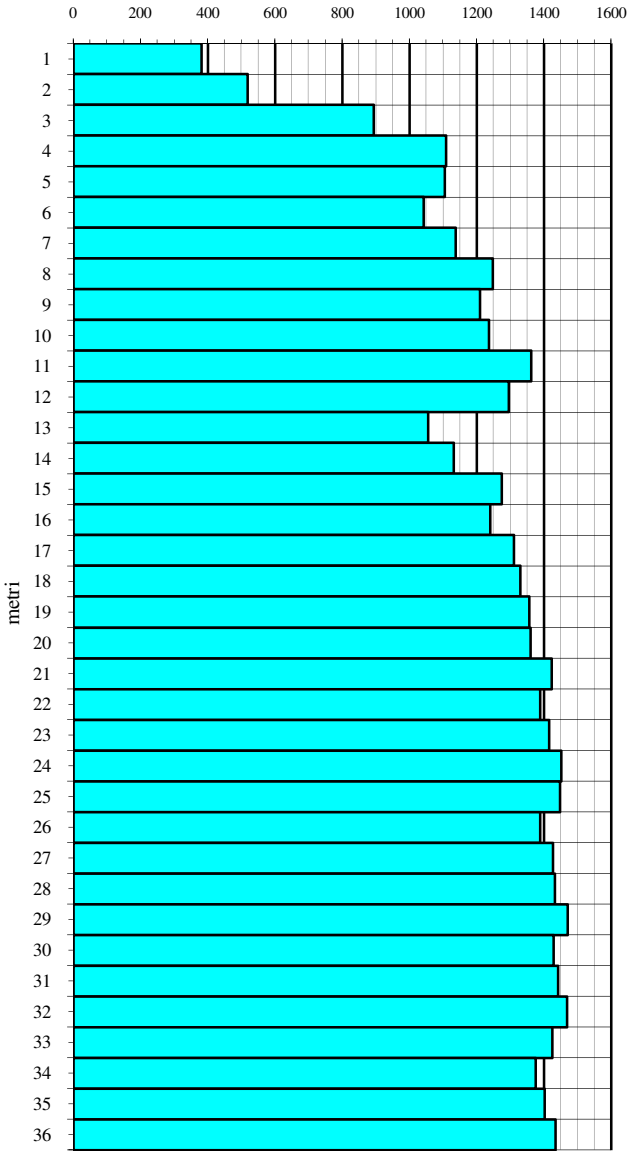
Table with columns for soil classification (A, M, T, C, L, S), depth (mt), resistance (Rp, Rl, Rp/Rl), Cu ton/mq, Nspt, and safety coefficient. Includes a soil profile diagram on the left and a legend at the bottom.

Legenda:  
argilla AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;  
sabbia limoso argillosa AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta  
sabbia AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;  
SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa  
SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

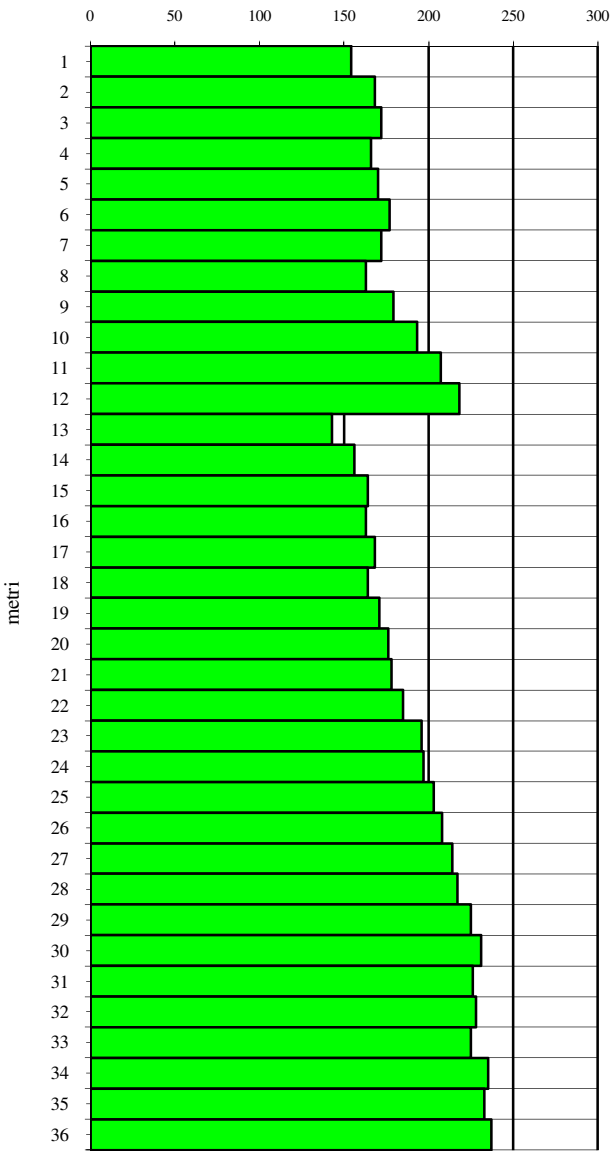
Cantiere: Cervia (RA) - Piano Spiaggia
Data: 15/04/2016
Sismocono n.: 1

**INTERGEO** s.r.l. - Servizi Geologici  
 www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

Velocità onde P (m/sec.) - onde di compressione



Velocità onde S (m/sec.) - onde di taglio



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

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 30m superiori.

**Vs 30 = 181 m/sec.**



Cantiere: Cervia (RA) - Piano Spiaggia
Data: 15/04/2016
Sismocono n.: 1

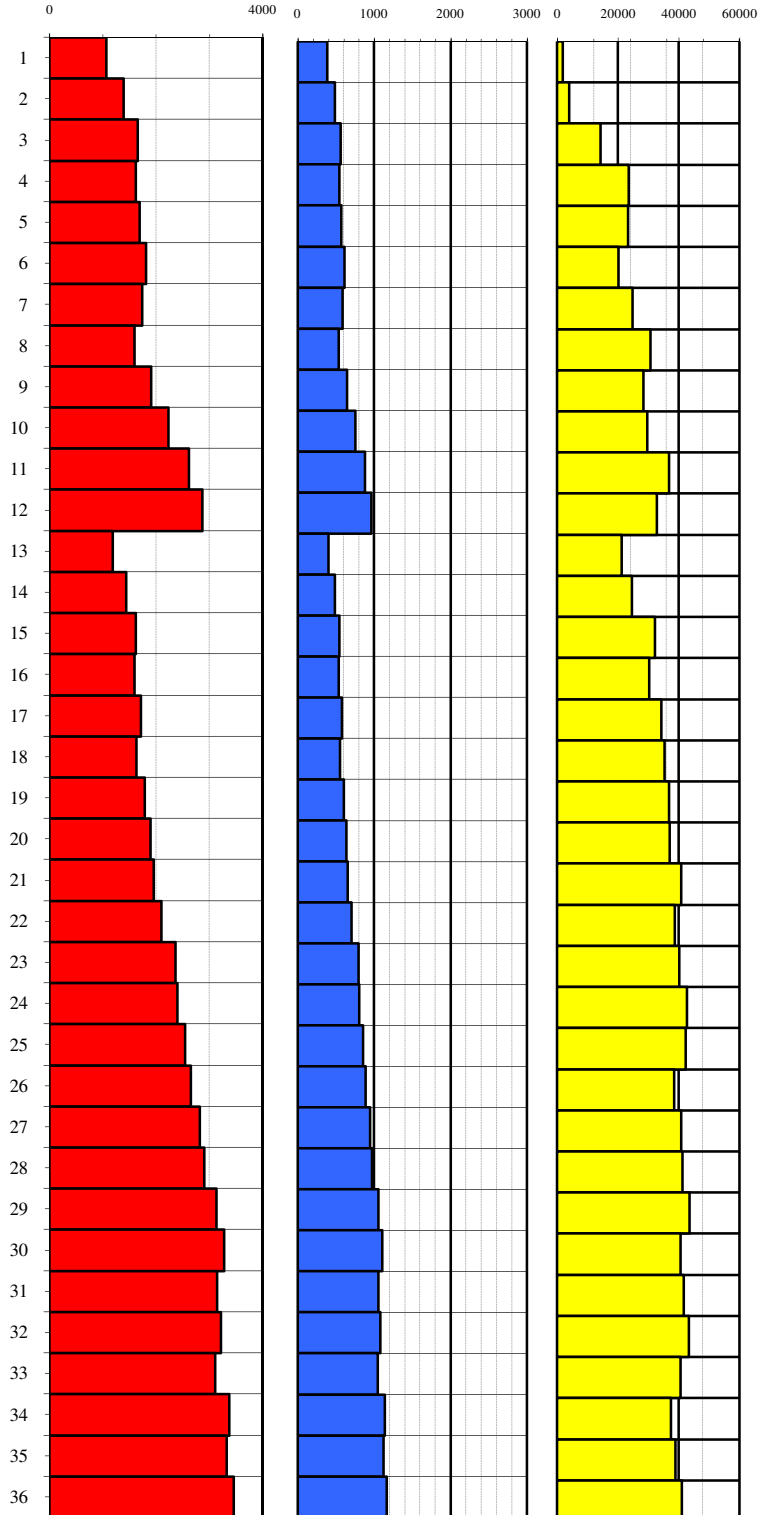
**INTERGEO** s.r.l. - **Servizi Geologici**

www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

prof.	Vp	Vs	v	y	Edin	Gdin	Kdin
mt.	m./sec.	m./sec.		T/mc.	kg/cmq.	kg/cmq.	kg/cmq.

1	381	154	0.40	1.58	1071	382	1828
2	518	168	0.44	1.67	1388	482	3936
3	893	172	0.48	1.85	1658	560	14344
4	1108	166	0.49	1.93	1617	543	23480
5	1105	170	0.49	1.93	1695	569	23301
6	1041	177	0.49	1.91	1813	610	20300
7	1138	172	0.49	1.94	1745	586	24881
8	1247	163	0.49	1.98	1598	536	30640
9	1209	179	0.49	1.96	1912	642	28443
10	1236	193	0.49	1.97	2231	750	29752
11	1362	207	0.49	2.01	2615	879	36864
12	1295	218	0.49	1.99	2867	965	32771
13	1056	143	0.49	1.91	1191	399	21253
14	1131	156	0.49	1.94	1436	482	24676
15	1275	164	0.49	1.98	1625	545	32190
16	1240	163	0.49	1.97	1596	535	30256
17	1311	168	0.49	1.99	1714	575	34220
18	1329	164	0.49	2.00	1638	549	35315
19	1357	171	0.49	2.01	1788	599	36932
20	1360	176	0.49	2.01	1894	635	37067
21	1422	178	0.49	2.03	1955	655	40928
22	1389	185	0.49	2.02	2100	704	38767
23	1415	196	0.49	2.02	2365	793	40295
24	1452	197	0.49	2.03	2401	805	42683
25	1447	203	0.49	2.03	2547	855	42288
26	1388	208	0.49	2.02	2650	890	38457
27	1426	214	0.49	2.03	2820	947	40797
28	1433	217	0.49	2.03	2902	975	41213
29	1471	225	0.49	2.04	3135	1053	43617
30	1428	231	0.49	2.03	3282	1104	40717
31	1441	226	0.49	2.03	3149	1059	41623
32	1469	228	0.49	2.04	3217	1081	43445
33	1425	225	0.49	2.03	3114	1047	40599
34	1376	235	0.48	2.01	3370	1135	37385
35	1402	233	0.49	2.02	3326	1119	39033
36	1435	237	0.49	2.03	3457	1163	41092

Edin	Gdin	Kdin
kg/cmq.	kg/cmq.	kg/cmq.



**ALLEGATO N.4**  
"INDAGINI GEOFISICHE DA ARCHIVIO COMUNE DI CERVIA "



**GEOPROGET**

Studio di Geologia  
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464  
E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copiolicarlo@libero.it](mailto:copiolicarlo@libero.it)

## **A-MASW A-HVSR da indagine Colonia Montecatini**



**GEOPROGET**

Studio di Geologia

via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464  
E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copioicarlo@libero.it](mailto:copioicarlo@libero.it)

## Allegato 1 – Documentazione fotografica

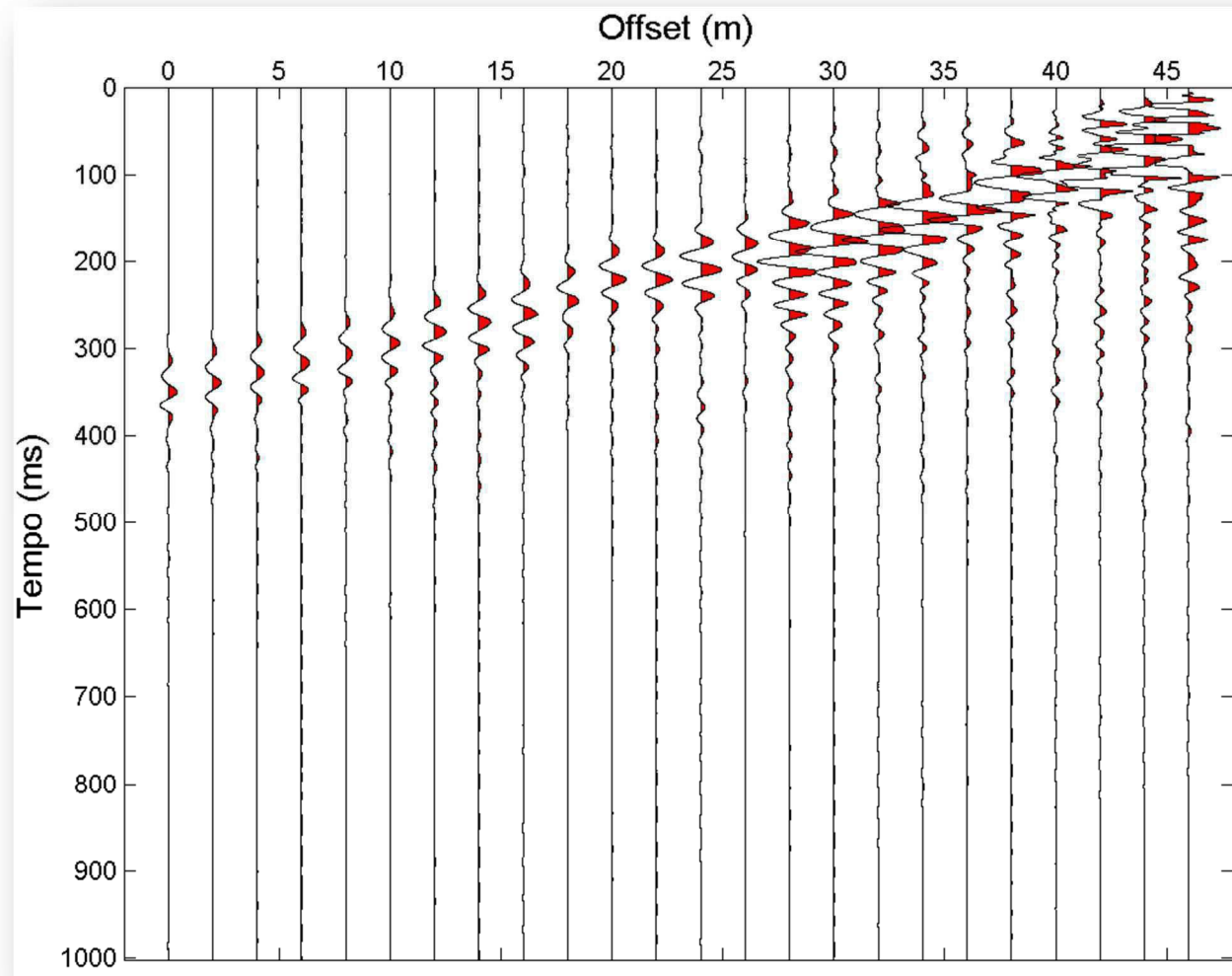


Foto 1 – Ubicazione profilo sismico



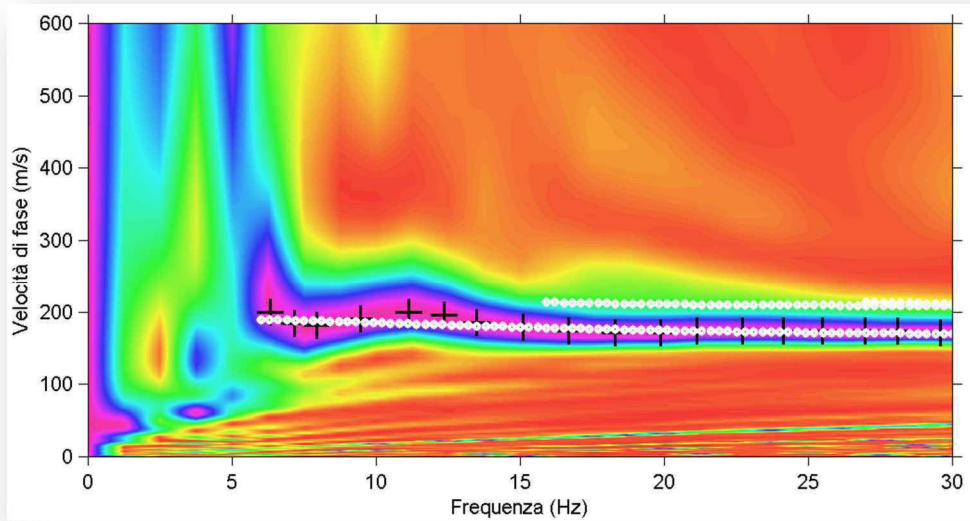
Foto 2 – Ubicazione misura HVSR

## Allegato 2 – Sismogrammi



Sismogrammi acquisiti dai 24 geofoni durante l'indagine. La sorgente è posta ad una distanza di 4 m dal geofono 24. La spaziatura tra i geofoni è di 2 m.

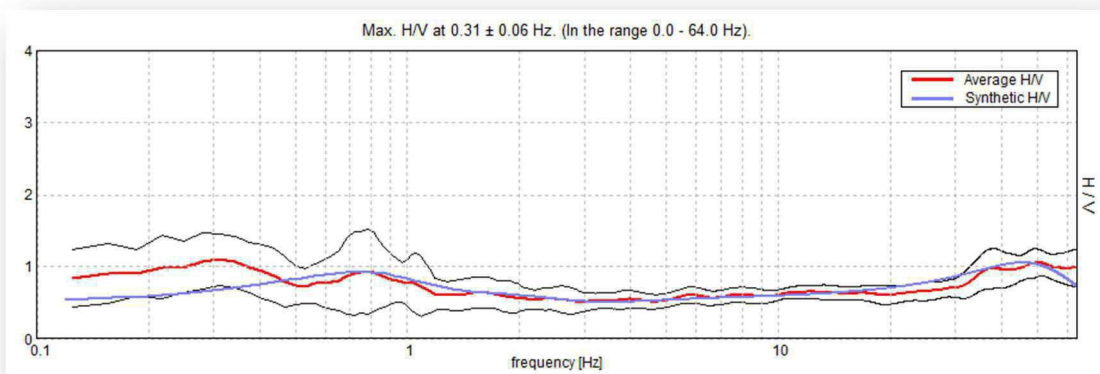
## Allegato 3 – Spettro di dispersione



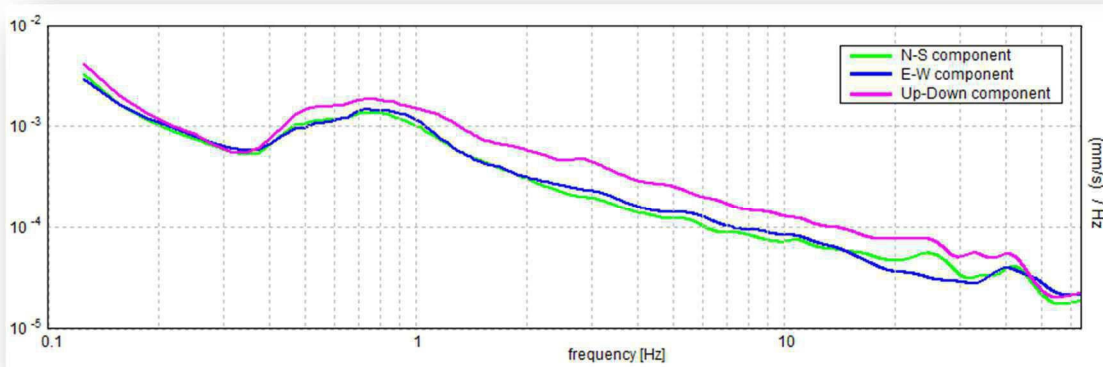
**in alto:** Spettro frequenza-velocità di fase dei dati acquisiti durante l'indagine. Sovrimposti allo spettro sono il picking del modo fondamentale (crocette nere) e le curve di dispersione sintetiche del modo fondamentale e di alcuni modi superiori (pallini bianchi).

**in basso:** Curva H/V **(A)** e andamento delle tre componenti velocimetriche (N-S, E-W, Up-Down) **(B)**

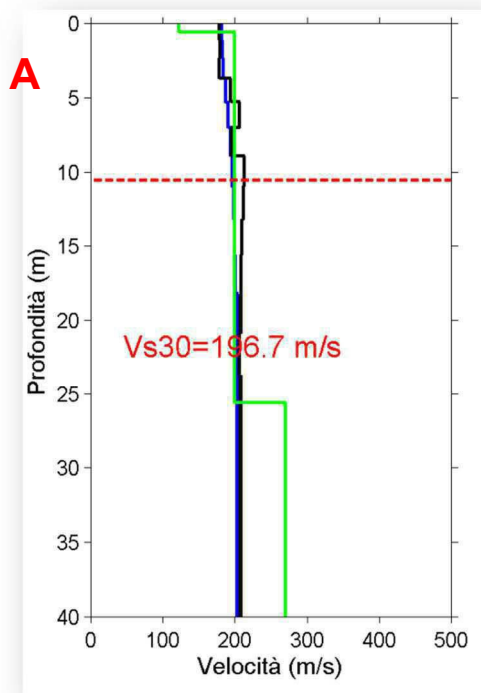
**A**



**B**



## Allegato 4 – Velocità onde S in funzione della profondità

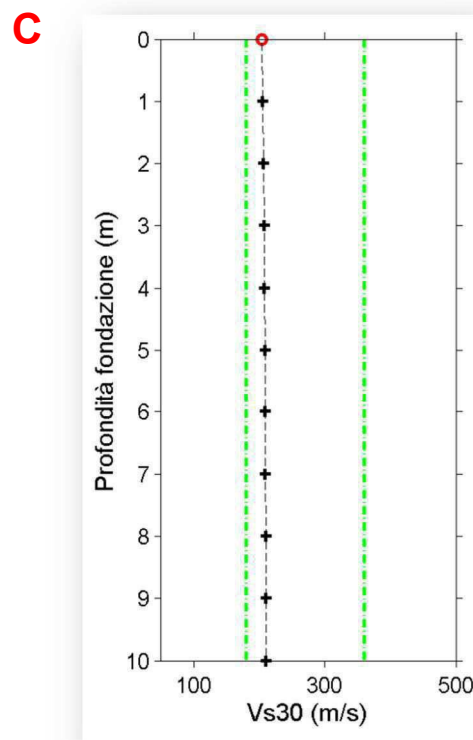


(A) Andamento della velocità delle onde S in funzione della profondità. Vengono riportati in nero i valori ottenuti con il programma WaveEq (Geometrics) e in blu i valori derivati con il programma SWAMI (Georgia Institute of Technology), relativamente all'indagine MASW; in verde viene indicato l'andamento ottenuto mediante inversione della curva H/V, vincolata nella parte superficiale attraverso i valori ottenuti dall'indagine MASW. La linea tratteggiata in rosso rappresenta la profondità stimata per la frequenza più bassa scelta durante l'operazione di *picking*. A profondità maggiori l'andamento delle velocità delle onde S è stimato mediante *fit* della curva H/V.

**B**

Spessore (m)	Vs WaveEq (m/s)	Spessore (m)	Vs SWAMI (m/s)	Spessore (m)	Vs HVSR (m/s)
1.1	178.8	1.1	182.3	0.6	123.0
1.2	179.9	1.2	182.8	25.0	200.0
1.4	178.3	1.4	184.3	55.0	270.0
1.6	193.9	1.6	187.2	inf	360.0
1.7	206.8	1.7	190.7		
1.9	195.7	1.9	193.9		
2.1	213.4	2.1	196.6		
2.2	212.0	2.2	198.6		
2.4	209.8	2.4	200.1		
2.6	208.0	2.5	201.2		
2.7	207.0	2.8	201.9		
2.9	206.8	2.8	202.4		
3.0	206.9	3.1	202.7		
inf	213.4	inf	203.0		

(B) La prima, terza e quinta colonna riportano gli spessori degli strati dei modelli ottenuti dall'indagine MASW (colonne 1 e 3) e dall'indagine HVSR (colonna 5). La seconda e la quarta colonna contengono le velocità stimate attraverso la tecnica MASW utilizzando i programmi WaveEq e SWAMI; la sesta colonna riporta le velocità stimate mediante inversione della curva H/V. Sono evidenziati in azzurro i valori di velocità e i relativi spessori utilizzati per il calcolo del parametro  $V_{s30}$ ; (C) andamento del parametro  $V_{s30}$  in funzione della variazione della profondità del piano fondale della struttura in progetto. Le linee in tratteggio di colore verde indicano i limiti 180 m/s e 360 m/s rispetto alla tabella 1 (crf. §2).



## **A-MASW A-HVSR da indagine HERA**



**GEOPROGET**

Studio di Geologia

via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464

E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copiolicarlo@libero.it](mailto:copiolicarlo@libero.it)



## Allegato 1 – Documentazione fotografica

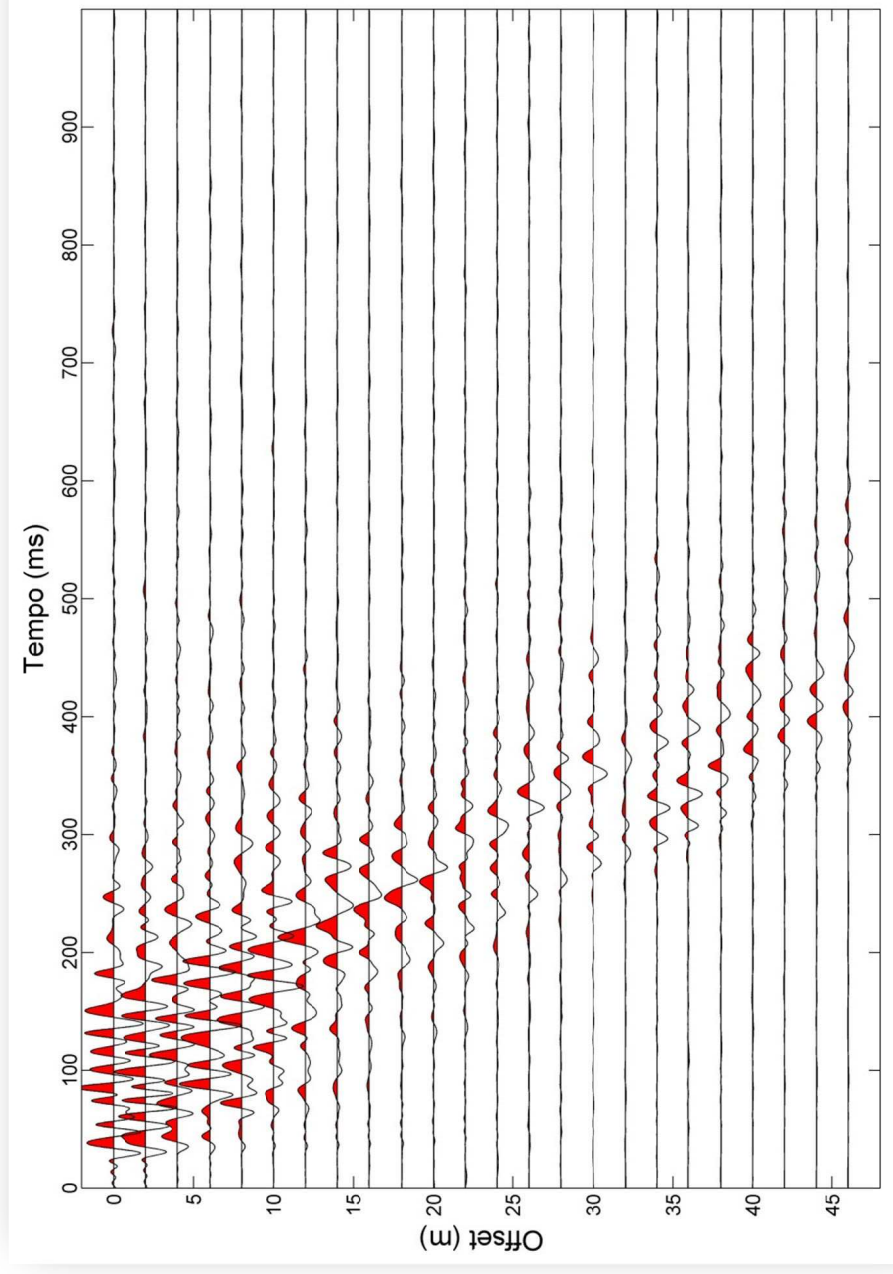


Foto 1 – Profilo sismico



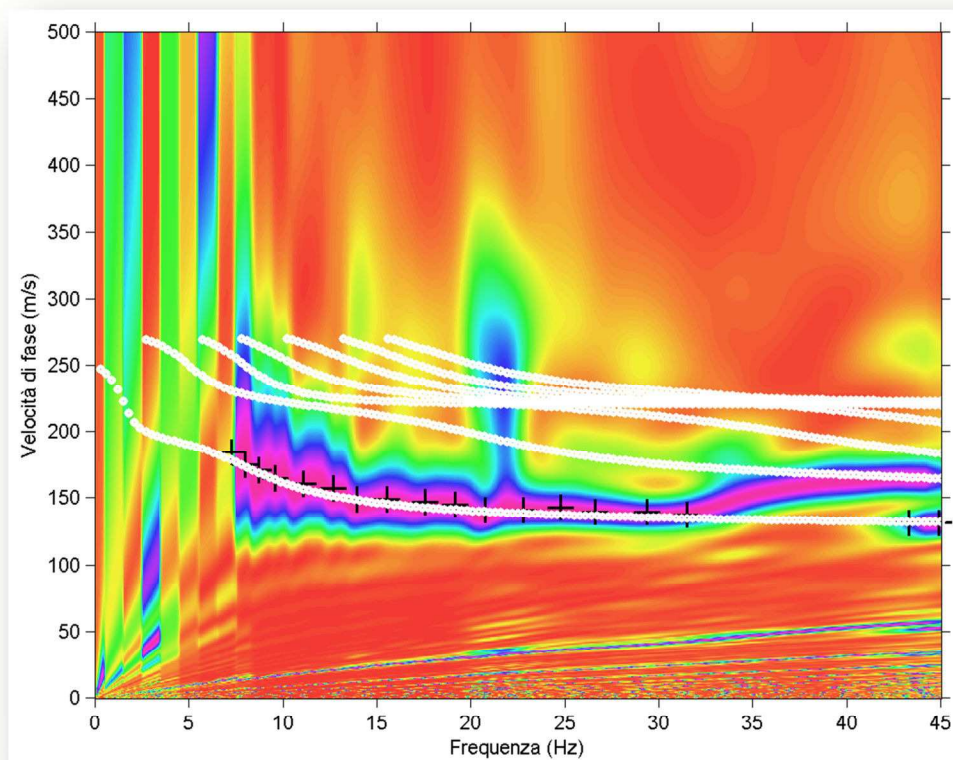
Foto 2 – Punto di misura HVSR

## Allegato 2 - Sismogrammi



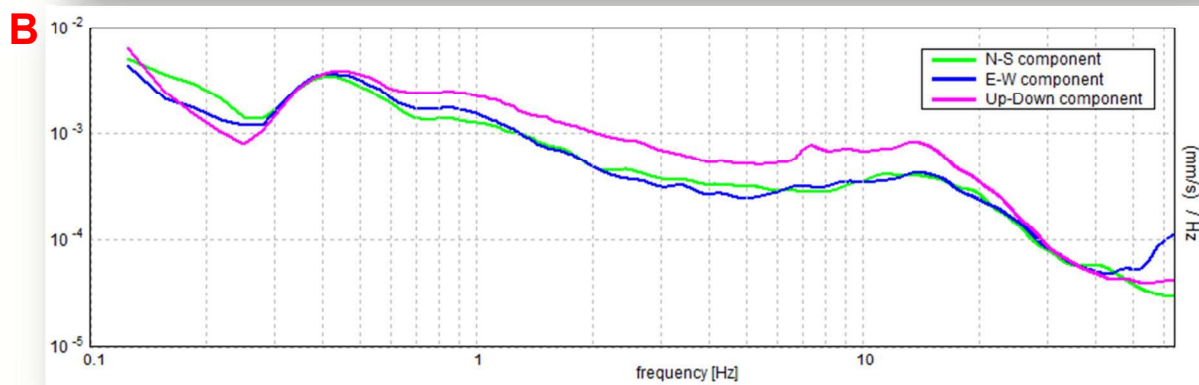
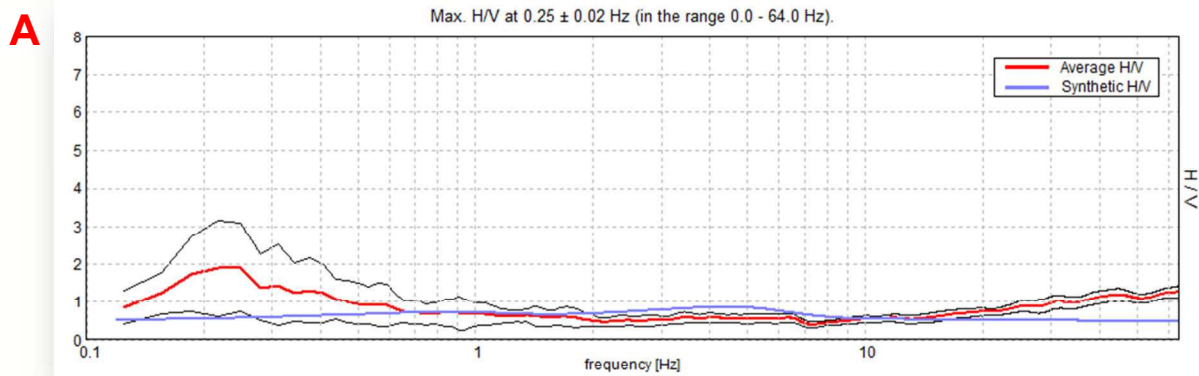
Sismogrammi acquisiti dai 24 geofoni durante l'indagine. La sorgente è posta ad una distanza di 4 m dal geofono 1. La spaziatura tra i geofoni è di 2 m.

## Allegato 3 – Spettro di dispersione

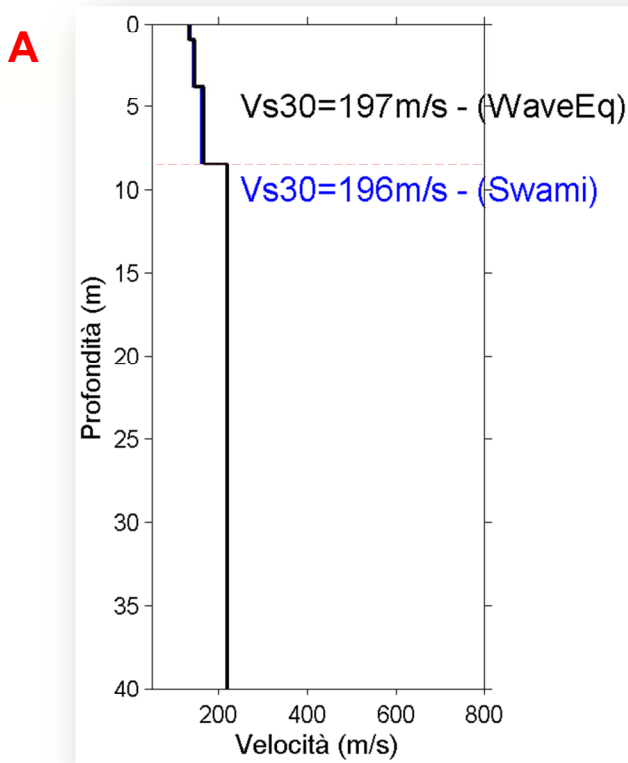


**in alto:** Spettro frequenza-velocità di fase dei dati acquisiti durante l'indagine. Sovrimposti allo spettro sono il picking del modo fondamentale (crocette nere) e le curve di dispersione sintetiche del modo fondamentale e di alcuni modi superiori (pallini bianchi).

**in basso:** Curva H/V **(A)** e andamento delle tre componenti velocimetriche (N-S, E-W, Up-Down) **(B)**



## Allegato 4 – Velocità onde S in funzione della profondità

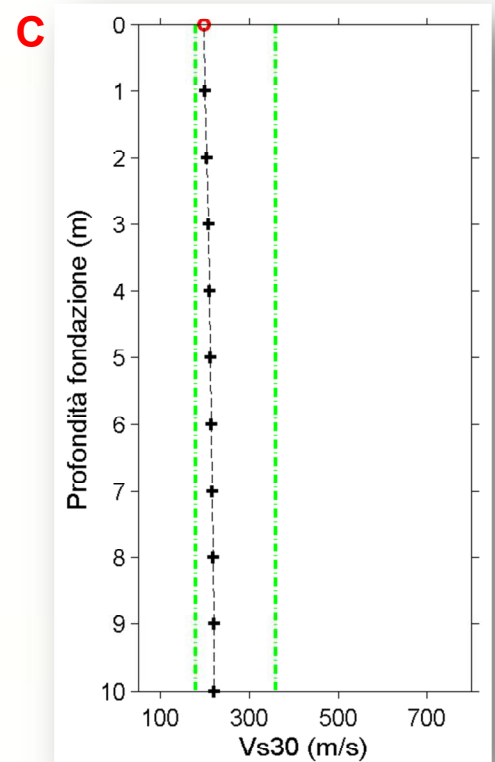


**(A)** Andamento della velocità delle onde S in funzione della profondità. Vengono riportati in nero i valori ottenuti con il programma WaveEq (G e o m e t r i c s) e in blu i valori derivati con il programma SWAMI (Georgia Institute of Technology), relativamente all'indagine MASW. La linea tratteggiata in rosso rappresenta la profondità stimata per la frequenza più bassa scelta durante l'operazione di *picking*. A profondità maggiori l'andamento delle velocità delle onde S è stimato mediante *fit* della curva H/V.

**B**

Prof. Tetto (m)	Prof. Letto (m)	Vs WaveEq (m/s)	Vs SWAMI (m/s)	Vs HVSr (m/s)
0.0	1.0	133.6	136.3	-
1.0	3.8	147.1	144.0	-
3.8	8.5	167.7	163	-
8.5	58.5	-	-	220
58.5	inf	-	-	270

**(B)** Valori di velocità delle onde S alle diverse profondità. La prima colonna riporta la profondità del tetto dello strato considerato e la seconda quella del letto. La terza e la quarta colonna contengono le velocità stimate attraverso la tecnica MASW utilizzando i programmi WaveEq e SWAMI; la quinta colonna riporta le velocità stimate mediante inversione della curva H/V; **(C)** andamento del parametro Vs30 in funzione della variazione della profondità del piano fondale della struttura in progetto. Le linee in tratteggio di colore verde indicano i limiti 180 m/s e 360 m/s rispetto alla tabella 1 (crf. §2).



## **A-S1 Down Hole A-HVSR da indagine Prima Traversa**



**GEOPROGET**

Studio di Geologia

via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464  
E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copiolicarlo@libero.it](mailto:copiolicarlo@libero.it)

## Allegato 1 – Documentazione fotografica



Foto 1 – Ubicazione prova Down-Hole



Foto 2 – Ubicazione prova HVSR

**Allegato 2 – Risultati prova Down-Hole****TEMPI DI ARRIVO**

PROFONDITA' (m)	ARRIVI P (sec)	ARRIVI S (sec)
1	0.0068	0.0122
2	0.0081	0.0175
3	0.0094	0.0228
4	0.0105	0.0282
5	0.0111	0.0335
6	0.0117	0.0388
7	0.0122	0.0441
8	0.0128	0.0500
9	0.0134	0.0549
10	0.0139	0.0599
11	0.0145	0.0648
12	0.0151	0.0698
13	0.0156	0.0747
14	0.0162	0.0797
15	0.0168	0.0847
16	0.0173	0.0896
17	0.0179	0.0946
18	0.0185	0.0995
19	0.0191	0.1045
20	0.0198	0.1106
21	0.0205	0.1168
22	0.0212	0.1229
23	0.0219	0.1291
24	0.0226	0.1352
25	0.0233	0.1414
26	0.0238	0.1454
27	0.0243	0.1497
28	0.0249	0.1539
29	0.0255	0.1581
30	0.0262	0.1623
31	0.0268	0.1666
32	0.0274	0.1708
33	0.0280	0.1750
34	0.0286	0.1792
35	0.0292	0.1834
36	0.0299	0.1877
37	0.0305	0.1919
38	0.0311	0.1961
39	0.0317	0.2002
40	0.0323	0.2039
41	0.0329	0.2077
42	0.0335	0.2114

---

43	0.0340	0.2151
44	0.0346	0.2188
45	0.0352	0.2225
46	0.0358	0.2263



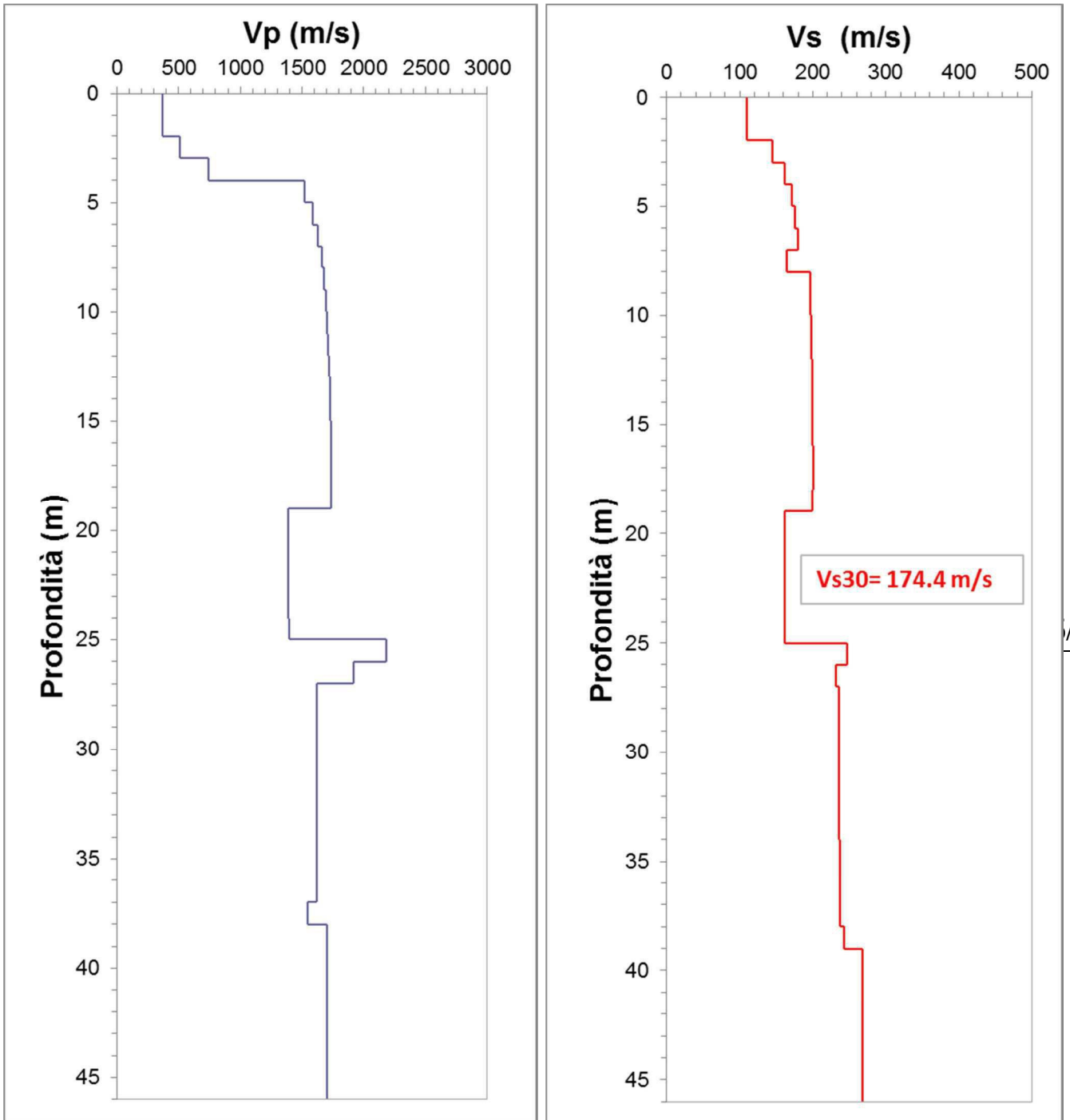
**VELOCITA'**

PROFONDITA' (m)	V <sub>p</sub> (sec)	V <sub>s</sub> (sec)
1	368.5	109.8
2	368.5	109.8
3	513.8	144.9
4	745.6	162.1
5	1518.9	171.2
6	1586.8	176.3
7	1630.1	179.5
8	1659.0	164.4
9	1679.2	196.1
10	1693.8	197.2
11	1704.7	198.0
12	1713.0	198.6
13	1719.4	199.1
14	1724.5	199.4
15	1728.7	199.7
16	1732.0	200.0
17	1734.8	200.2
18	1737.2	200.4
19	1739.2	199.9
20	1388.0	161.9
21	1389.2	162.0
22	1390.2	162.1
23	1391.1	162.1
24	1391.8	162.2
25	1392.5	162.3
26	2185.3	247.2
27	1919.6	231.4
28	1616.7	236.4
29	1617.2	236.4
30	1617.6	236.4
31	1618.0	236.5
32	1618.4	236.5
33	1618.7	236.5
34	1619.0	236.6
35	1619.3	236.6
36	1619.5	236.6
37	1619.8	236.6
38	1544.5	236.7
39	1701.7	242.5
40	1701.9	268.5
41	1702.0	268.6
42	1702.2	268.6

---

43	1702.4	268.6
44	1702.5	268.6
45	1702.6	268.6
46	1702.8	268.6

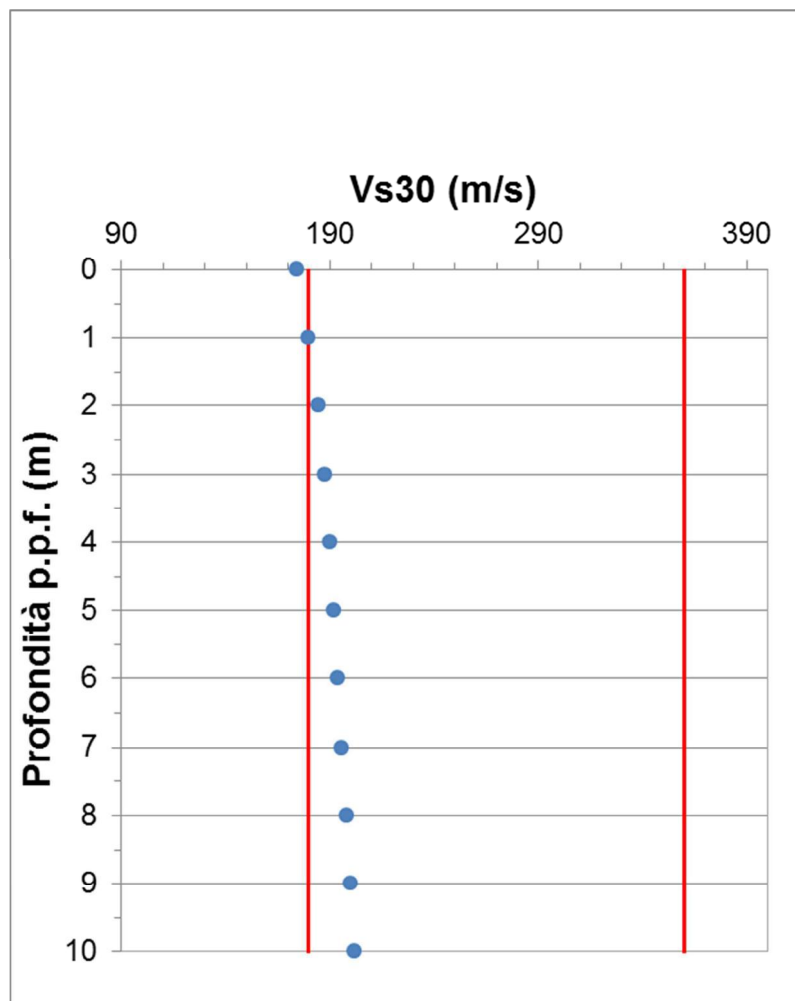
## Andamento velocità in funzione della profondità



/10

## Andamento parametro Vs30 in funzione della profondità

quota p.p.f. (m da p.c.)	Vs30 (m/sec)
0	174
1	179
2	185
3	188
4	190
5	192
6	194
7	196
8	198
9	200
10	202



**PARAMETRI ELASTICI**

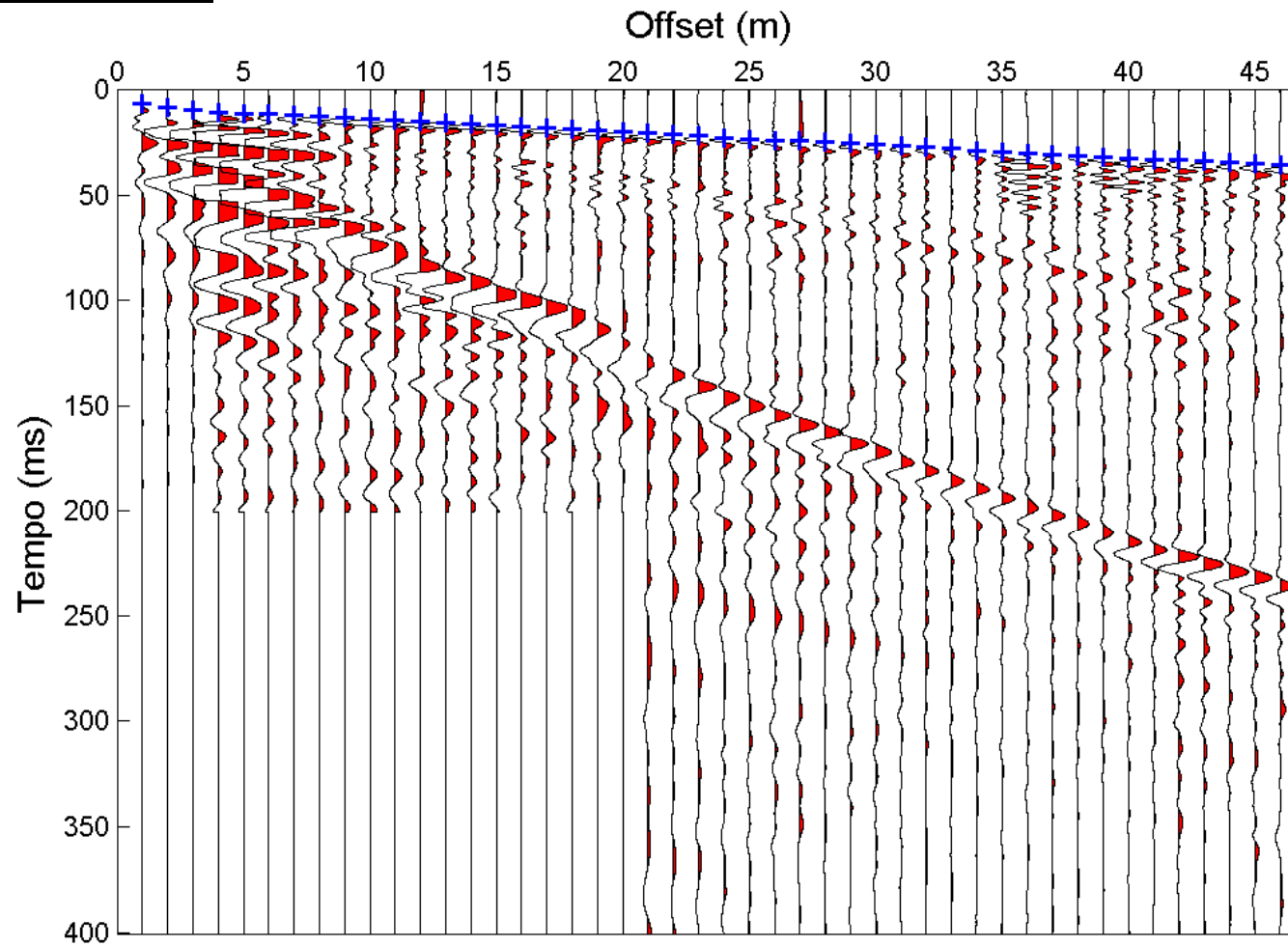
Profondità (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densità (kg/m <sup>3</sup> )	Coeff. di Poisson (ν)	Modulo di Taglio (G- MPa)	Modulo Elastico (E- MPa)	Modulo di Compr. Vol. (K- MPa)
1	368.4749	109.7671	1358.1998	0.4513	16.3647	47.5004	162.5883
2	368.4749	109.7671	1358.1998	0.4513	16.3647	47.5004	162.5883
3	513.8156	144.8604	1475.9224	0.4568	30.9715	90.2403	348.3576
4	745.5504	162.1172	1619.8729	0.4752	42.5735	125.6075	843.6342
5	1518.9211	171.1567	1935.2875	0.4936	56.6935	169.3514	4389.3515
6	1586.8097	176.3139	1956.5588	0.4937	60.8227	181.7079	4845.4494
7	1630.0814	179.4860	1969.7632	0.4939	63.4564	189.5903	5149.3781
8	1659.0318	164.4395	1978.4513	0.4950	53.4980	159.9632	5374.1321
9	1679.2288	196.0837	1984.4454	0.4931	76.2996	227.8440	5494.0250
10	1693.8227	197.1735	1988.7431	0.4931	77.3172	230.8894	5602.6849
11	1704.6731	197.9778	1991.9204	0.4932	78.0737	233.1537	5684.2440
12	1712.9610	198.5877	1994.3371	0.4932	78.6508	234.8810	5746.9869
13	1719.4151	199.0607	1996.2130	0.4932	79.1003	236.2263	5796.1140
14	1724.5350	199.4347	1997.6974	0.4932	79.4568	237.2934	5835.2516
15	1728.6667	199.7351	1998.8928	0.4932	79.7441	238.1532	5866.9428
16	1732.0457	199.9808	1999.8689	0.4932	79.9794	238.8575	5892.9319
17	1734.8464	200.1835	2000.6769	0.4933	80.1740	239.4401	5914.5226
18	1737.1852	200.3529	2001.3508	0.4933	80.3368	239.9275	5932.5856
19	1739.1616	199.9476	2001.9198	0.4933	80.0348	239.0325	5948.4600
20	1388.0294	161.9252	1892.1752	0.4931	49.6124	148.1527	3579.3632
21	1389.1880	162.0094	1892.5700	0.4931	49.6744	148.3382	3586.1309
22	1390.1893	162.0826	1892.9109	0.4931	49.7282	148.4994	3591.9850
23	1391.0578	162.1462	1893.2065	0.4931	49.7750	148.6394	3597.0673
24	1391.8226	162.2017	1893.4667	0.4931	49.8159	148.7619	3601.5458
25	1392.5025	162.2507	1893.6978	0.4931	49.8521	148.8703	3605.5301
26	2185.2950	247.2275	2119.5283	0.4935	129.5486	386.9662	9949.1055
27	1919.5948	231.4092	2051.9373	0.4926	109.8817	328.0247	7414.5606

7/10

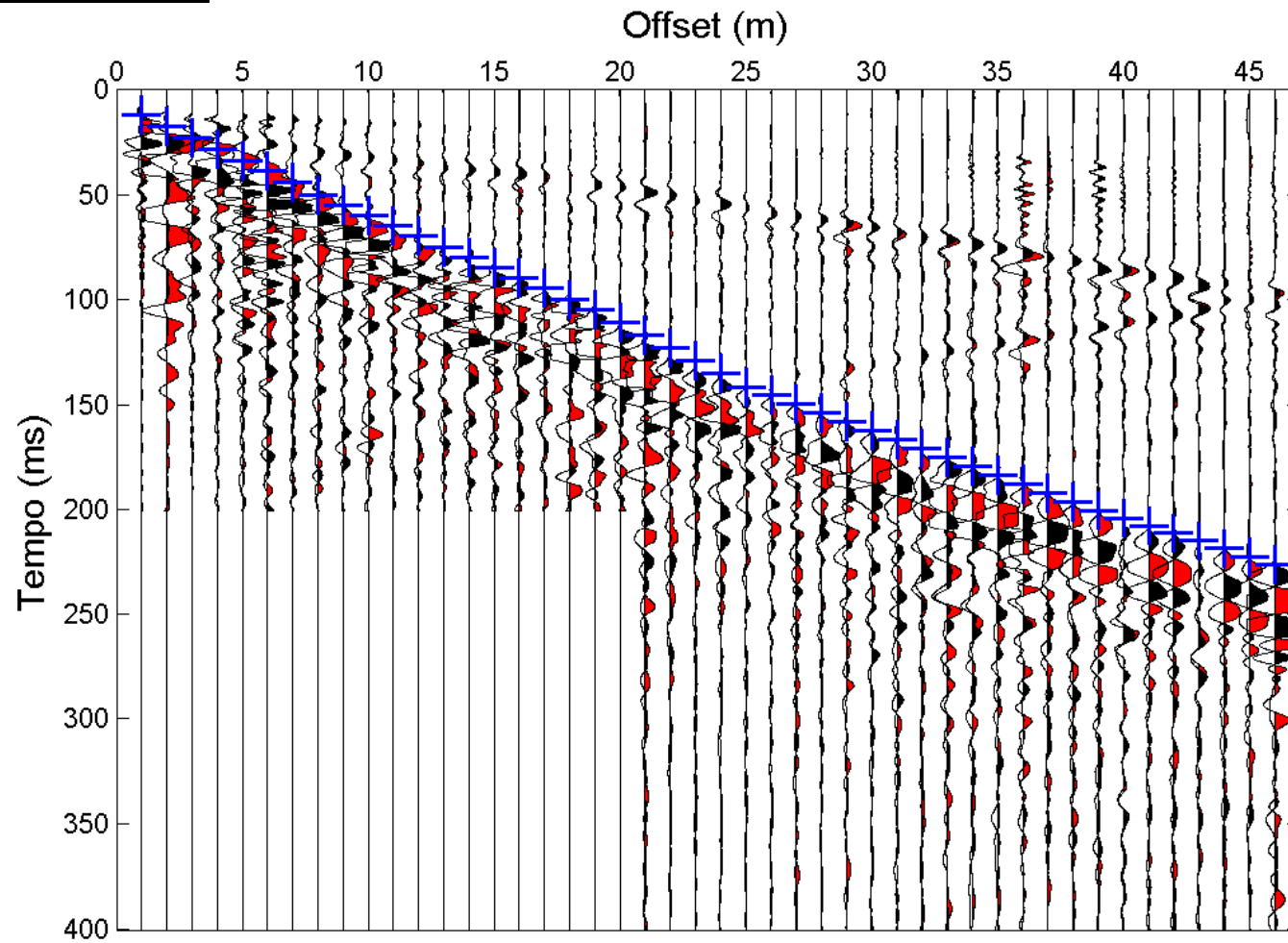
Profondità (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densità (kg/m <sup>3</sup> )	Coeff. di Poisson (ν)	Modulo di Taglio (G- MPa)	Modulo Elastico (E- MPa)	Modulo di Compr. Vol. (K- MPa)
28	1616.6630	236.3604	1965.6970	0.4891	109.8161	327.0498	4991.1228
29	1617.1547	236.4063	1965.8464	0.4891	109.8671	327.2023	4994.5709
30	1617.6052	236.4469	1965.9833	0.4891	109.9125	327.3379	4997.7333
31	1617.9998	236.4836	1966.1032	0.4891	109.9533	327.4599	5000.5028
32	1618.3727	236.5169	1966.2165	0.4891	109.9906	327.5713	5003.1225
33	1618.6994	236.5463	1966.3157	0.4891	110.0235	327.6696	5005.4185
34	1619.0050	236.5747	1966.4085	0.4891	110.0551	327.7642	5007.5647
35	1619.2794	236.5999	1966.4918	0.4891	110.0833	327.8483	5009.4935
36	1619.5336	236.6230	1966.5690	0.4891	110.1091	327.9256	5011.2800
37	1619.7698	236.6435	1966.6407	0.4891	110.1321	327.9944	5012.9425
38	1544.4637	236.6639	1943.3728	0.4880	108.8479	323.9265	4490.5293
39	1701.6680	242.4633	1991.0419	0.4896	117.0503	348.7252	5609.3410
40	1701.8612	268.5406	1991.0984	0.4872	143.5862	427.0922	5575.4328
41	1702.0403	268.5582	1991.1508	0.4872	143.6088	427.1597	5576.7684
42	1702.2183	268.5745	1991.2029	0.4872	143.6299	427.2230	5578.0975
43	1702.3644	268.5897	1991.2456	0.4872	143.6494	427.2810	5579.1859
44	1702.5058	268.6039	1991.2869	0.4872	143.6675	427.3352	5580.2402
45	1702.6405	268.6172	1991.3263	0.4872	143.6845	427.3859	5581.2452
46	1702.7665	268.6294	1991.3631	0.4872	143.7003	427.4332	5582.1850

8/10

## Sismogrammi onde P



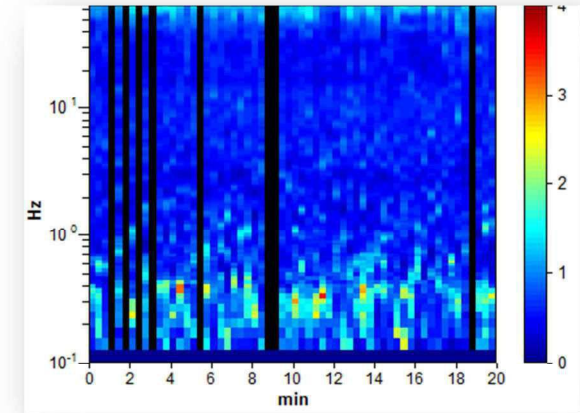
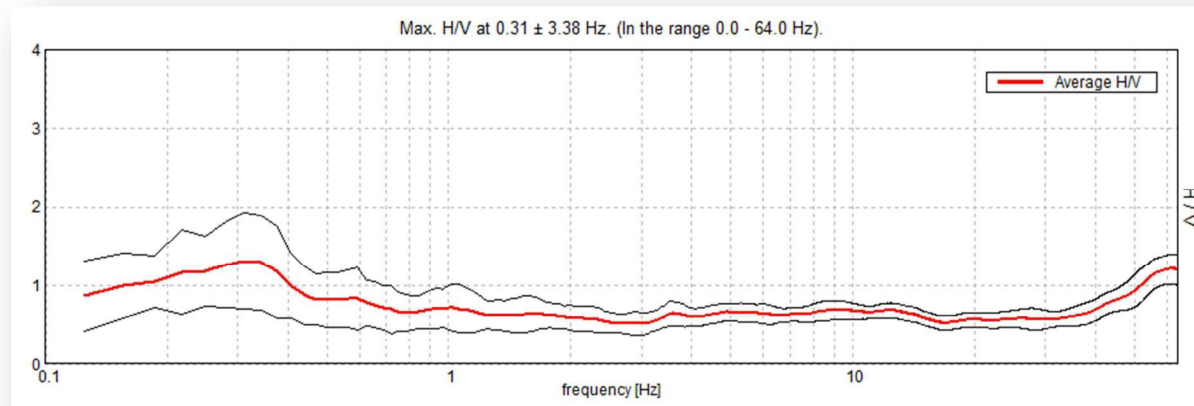
## Sismogrammi onde S



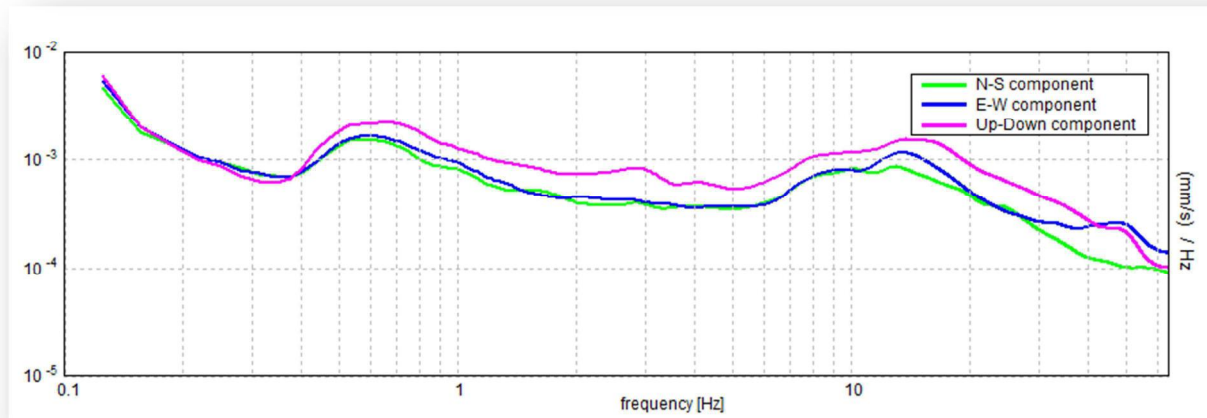


## Allegato 3 – Elaborazione prova HVSR

A



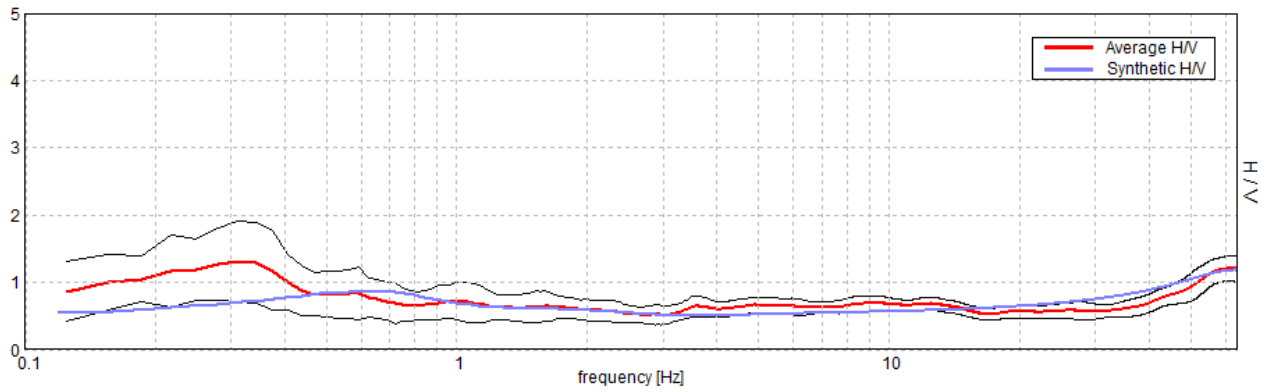
B



C

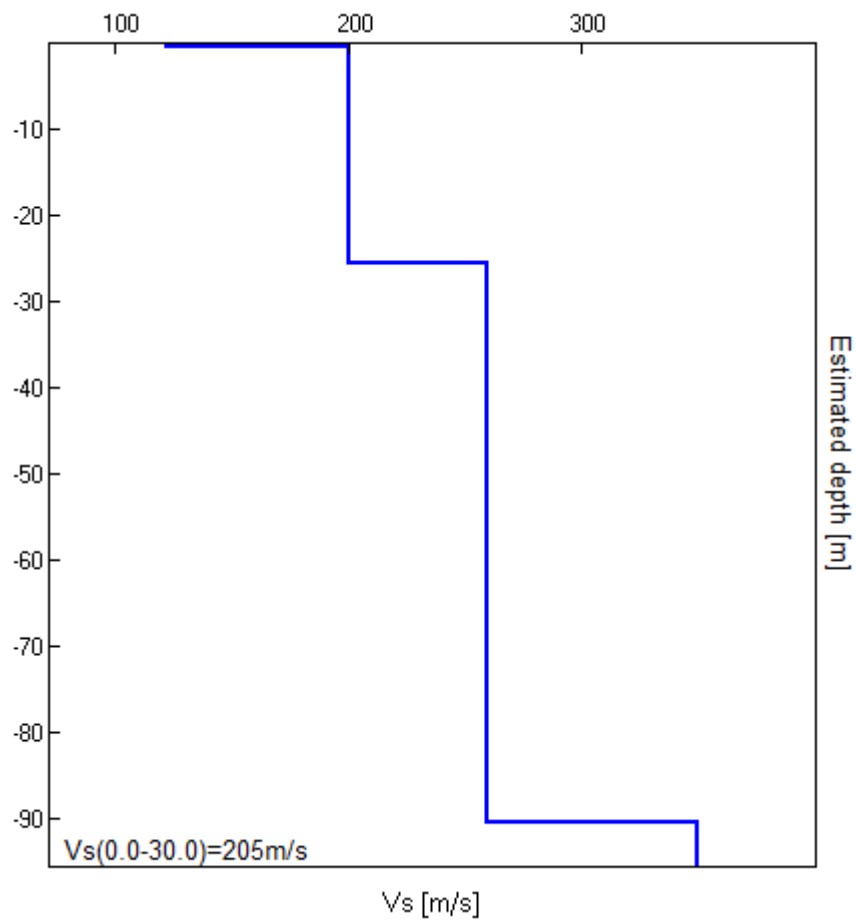
**A:** Curva H/V; **B:** Andamento componenti velocimetriche (E-W, N-S, Up-Down); **C:** Storia temporale H/V (le bande di colore nero corrispondono alle finestre di registrazione eliminate)

EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.45	0.45	122	0.35
25.45	25.00	200	0.35
90.45	65.00	260	0.35
inf.	inf.	350	0.35

Vs(0.0-30.0)=205m/s



**ALLEGATO N.5**  
"PARAMETRI DI SCUOTIMENTO SEGNALI - INPUT/OUTPUT "



**GEOPROGET**

Studio di Geologia  
via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464  
E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copioicarlo@libero.it](mailto:copioicarlo@libero.it)

# ALLEGATO N. 5

## PARAMETRI DI SCUOTIMENTO - ACCELEROGRAMMI DI INPUT

### ARENILE NORD

#### 000046xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.17
Time of Max. Acceleration (sec)	2.41
Max. Velocity (cm/sec)	7.69897
Time of Max. Velocity (sec)	2.49
Max. Displacement (cm)	0.77108
Time of Max. Displacement (sec)	2.405
Vmax / Amax: (sec)	0.04617
Acceleration RMS: (g)	0.0327
Velocity RMS: (cm/sec)	1.57265
Displacement RMS: (cm)	0.13093
Arias Intensity: (m/sec)	0.3263
Characteristic Intensity (Ic)	0.02632
Specific Energy Density (cm2/sec)	48.97015
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	422.65618
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.14547
Velocity Spectrum Intensity (cm)	31.87444
Housner Intensity (cm)	21.59437
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.13878
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	5.75881
Effective Design Acceleration (g)	0.16663
A95 parameter (g)	0.167
Predominant Period (sec)	0.24
Mean Period (sec)	0.26491
Significant Duration: (sec)	13.475
Effective Duration: (sec)	13.365

#### 000126xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.17
Time of Max. Acceleration (sec)	9.82
Max. Velocity (cm/sec)	9.70722
Time of Max. Velocity (sec)	9.755
Max. Displacement (cm)	0.80223
Time of Max. Displacement (sec)	9.84
Vmax / Amax: (sec)	0.05821
Acceleration RMS: (g)	0.01711
Velocity RMS: (cm/sec)	1.08552
Displacement RMS: (cm)	0.13894
Arias Intensity: (m/sec)	0.09012
Characteristic Intensity (Ic)	0.01
Specific Energy Density (cm2/sec)	23.53756
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	136.6237
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.13181
Velocity Spectrum Intensity (cm)	30.78811
Housner Intensity (cm)	23.08466
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.09658
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	4.42284
Effective Design Acceleration (g)	0.17038
A95 parameter (g)	0.16957
Predominant Period (sec)	0.28
Mean Period (sec)	0.32783
Significant Duration: (sec)	3.53
Effective Duration: (sec)	3.19

#### 000354xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.17
Time of Max. Acceleration (sec)	7.525
Max. Velocity (cm/sec)	8.393
Time of Max. Velocity (sec)	5.755
Max. Displacement (cm)	1.78991
Time of Max. Displacement (sec)	13.435
Vmax / Amax: (sec)	0.05033
Acceleration RMS: (g)	0.02638
Velocity RMS: (cm/sec)	2.00174
Displacement RMS: (cm)	0.387
Arias Intensity: (m/sec)	0.35243
Characteristic Intensity (Ic)	0.02456
Specific Energy Density (cm2/sec)	131.7093
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	532.3465
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.14666
Velocity Spectrum Intensity (cm)	39.01396
Housner Intensity (cm)	35.92206
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.15166
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	7.50294
Effective Design Acceleration (g)	0.16477
A95 parameter (g)	0.16786
Predominant Period (sec)	0.14
Mean Period (sec)	0.36994
Significant Duration: (sec)	15.355
Effective Duration: (sec)	13.675

VALORI MEDI	
Max. Acceleration (g)	0.170
Time of Max. Acceleration (sec)	6.585
Max. Velocity (cm/sec)	8.600
Time of Max. Velocity (sec)	6.000
Max. Displacement (cm)	1.121
Time of Max. Displacement (sec)	8.560
Vmax / Amax: (sec)	0.052
Acceleration RMS: (g)	0.025
Velocity RMS: (cm/sec)	1.553
Displacement RMS: (cm)	0.219
Arias Intensity: (m/sec)	0.256
Characteristic Intensity (Ic)	0.020
Specific Energy Density (cm2/sec)	68.072
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	363.875
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.141
Velocity Spectrum Intensity (cm)	33.892
Housner Intensity (cm)	26.867
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.129
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	5.895
Effective Design Acceleration (g)	0.167
A95 parameter (g)	0.168
Predominant Period (sec)	0.220
Mean Period (sec)	0.321
Significant Duration: (sec)	10.787
Effective Duration: (sec)	10.077

### PARAMETRI DI SCUOTIMENTO - ACCELEROGRAMMI DI OUTPUT

#### 000046xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.21579
Time of Max. Acceleration (sec)	3.425
Max. Velocity (cm/sec)	16.04234
Time of Max. Velocity (sec)	3.245
Max. Displacement (cm)	1.76186
Time of Max. Displacement (sec)	3.1
Vmax / Amax: (sec)	0.07578
Acceleration RMS: (g)	0.03888
Velocity RMS: (cm/sec)	2.88354
Displacement RMS: (cm)	0.34267
Arias Intensity: (m/sec)	0.46125
Characteristic Intensity (Ic)	0.03411
Specific Energy Density (cm2/sec)	164.63331
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	495.0634
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.18407
Velocity Spectrum Intensity (cm)	61.41649
Housner Intensity (cm)	43.05414
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.14488
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	9.54553
Effective Design Acceleration (g)	0.21555
A95 parameter (g)	0.21416
Predominant Period (sec)	0.24
Mean Period (sec)	0.42838
Significant Duration: (sec)	13.255
Effective Duration: (sec)	13.295

#### 000126xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.22338
Time of Max. Acceleration (sec)	8.9
Max. Velocity (cm/sec)	17.00405
Time of Max. Velocity (sec)	8.815
Max. Displacement (cm)	1.90563
Time of Max. Displacement (sec)	8.93
Vmax / Amax: (sec)	0.0776
Acceleration RMS: (g)	0.02308
Velocity RMS: (cm/sec)	2.30109
Displacement RMS: (cm)	0.33431
Arias Intensity: (m/sec)	0.16393
Characteristic Intensity (Ic)	0.01567
Specific Energy Density (cm2/sec)	105.7679
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	185.9041
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.17935
Velocity Spectrum Intensity (cm)	59.16609
Housner Intensity (cm)	48.37831
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.09507
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	6.57266
Effective Design Acceleration (g)	0.22331
A95 parameter (g)	0.22282
Predominant Period (sec)	0.28
Mean Period (sec)	0.57367
Significant Duration: (sec)	3.28
Effective Duration: (sec)	3.92

#### 000354xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.19925
Time of Max. Acceleration (sec)	8.555
Max. Velocity (cm/sec)	16.06129
Time of Max. Velocity (sec)	14.805
Max. Displacement (cm)	4.03174
Time of Max. Displacement (sec)	14.425
Vmax / Amax: (sec)	0.08217
Acceleration RMS: (g)	0.03787
Velocity RMS: (cm/sec)	4.41722
Displacement RMS: (cm)	0.92064
Arias Intensity: (m/sec)	0.7265
Characteristic Intensity (Ic)	0.04226
Specific Energy Density (cm2/sec)	641.3531
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	821.2501
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.18046
Velocity Spectrum Intensity (cm)	80.84416
Housner Intensity (cm)	76.17627
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.15838
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	14.59701
Effective Design Acceleration (g)	0.19857
A95 parameter (g)	0.19675
Predominant Period (sec)	0.28
Mean Period (sec)	0.64351
Significant Duration: (sec)	19.28
Effective Duration: (sec)	19.06

VALORI MEDI	
Max. Acceleration (g)	0.213
Time of Max. Acceleration (sec)	6.960
Max. Velocity (cm/sec)	16.369
Time of Max. Velocity (sec)	8.955
Max. Displacement (cm)	2.566
Time of Max. Displacement (sec)	8.818
Vmax / Amax: (sec)	0.079
Acceleration RMS: (g)	0.033
Velocity RMS: (cm/sec)	3.201
Displacement RMS: (cm)	0.533
Arias Intensity: (m/sec)	0.451
Characteristic Intensity (Ic)	0.031
Specific Energy Density (cm2/sec)	303.918
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	500.739
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.181
Velocity Spectrum Intensity (cm)	67.142
Housner Intensity (cm)	55.870
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.133
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	10.238
Effective Design Acceleration (g)	0.212
A95 parameter (g)	0.211
Predominant Period (sec)	0.267
Mean Period (sec)	0.549
Significant Duration: (sec)	11.938
Effective Duration: (sec)	12.092

# ALLEGATO N. 5

## PARAMETRI DI SCUOTIMENTO - ACCELEROGRAMMI DI INPUT

### ARENILE SUD

#### 000046xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.176
Time of Max. Acceleration (sec)	2.41
Max. Velocity (cm/sec)	7.97069
Time of Max. Velocity (sec)	2.49
Max. Displacement (cm)	0.7983
Time of Max. Displacement (sec)	2.405
Vmax / Amax: (sec)	0.04617
Acceleration RMS: (g)	0.03386
Velocity RMS: (cm/sec)	1.62816
Displacement RMS: (cm)	0.13555
Arias Intensity: (m/sec)	0.34974
Characteristic Intensity (Ic)	0.02772
Specific Energy Density (cm2/sec)	52.48786
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	437.57346
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.15061
Velocity Spectrum Intensity (cm)	32.99942
Housner Intensity (cm)	22.35653
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.14368
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	5.96206
Effective Design Acceleration (g)	0.17251
A95 parameter (g)	0.17289
Predominant Period (sec)	0.24
Mean Period (sec)	0.26491
Significant Duration: (sec)	13.475
Effective Duration: (sec)	13.255

#### 000126xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.176
Time of Max. Acceleration (sec)	9.82
Max. Velocity (cm/sec)	10.04983
Time of Max. Velocity (sec)	9.755
Max. Displacement (cm)	0.83054
Time of Max. Displacement (sec)	9.84
Vmax / Amax: (sec)	0.05821
Acceleration RMS: (g)	0.01772
Velocity RMS: (cm/sec)	1.12383
Displacement RMS: (cm)	0.14384
Arias Intensity: (m/sec)	0.0966
Characteristic Intensity (Ic)	0.01054
Specific Energy Density (cm2/sec)	25.22835
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	141.4457
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.13646
Velocity Spectrum Intensity (cm)	31.87475
Housner Intensity (cm)	23.89942
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.09999
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	4.57894
Effective Design Acceleration (g)	0.17639
A95 parameter (g)	0.17556
Predominant Period (sec)	0.28
Mean Period (sec)	0.32783
Significant Duration: (sec)	3.53
Effective Duration: (sec)	3.19

#### 000354xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.176
Time of Max. Acceleration (sec)	7.525
Max. Velocity (cm/sec)	8.68922
Time of Max. Velocity (sec)	5.755
Max. Displacement (cm)	1.85308
Time of Max. Displacement (sec)	13.435
Vmax / Amax: (sec)	0.05033
Acceleration RMS: (g)	0.02731
Velocity RMS: (cm/sec)	2.07239
Displacement RMS: (cm)	0.40066
Arias Intensity: (m/sec)	0.37775
Characteristic Intensity (Ic)	0.02587
Specific Energy Density (cm2/sec)	141.1705
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	551.1352
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.15184
Velocity Spectrum Intensity (cm)	40.39093
Housner Intensity (cm)	37.1899
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.15701
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	7.76775
Effective Design Acceleration (g)	0.17058
A95 parameter (g)	0.17379
Predominant Period (sec)	0.14
Mean Period (sec)	0.36994
Significant Duration: (sec)	15.355
Effective Duration: (sec)	15.605

VALORI MEDI	
Max. Acceleration (g)	0.176
Time of Max. Acceleration (sec)	6.585
Max. Velocity (cm/sec)	8.903
Time of Max. Velocity (sec)	6.000
Max. Displacement (cm)	1.161
Time of Max. Displacement (sec)	8.560
Vmax / Amax: (sec)	0.052
Acceleration RMS: (g)	0.026
Velocity RMS: (cm/sec)	1.608
Displacement RMS: (cm)	0.227
Arias Intensity: (m/sec)	0.275
Characteristic Intensity (Ic)	0.021
Specific Energy Density (cm2/sec)	72.962
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	376.718
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.146
Velocity Spectrum Intensity (cm)	35.088
Housner Intensity (cm)	27.815
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.134
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	6.103
Effective Design Acceleration (g)	0.173
A95 parameter (g)	0.174
Predominant Period (sec)	0.220
Mean Period (sec)	0.321
Significant Duration: (sec)	10.787
Effective Duration: (sec)	10.683

## PARAMETRI DI SCUOTIMENTO - ACCELEROGRAMMI DI OUTPUT

#### 000046xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.2412
Time of Max. Acceleration (sec)	3.24
Max. Velocity (cm/sec)	17.84189
Time of Max. Velocity (sec)	3.055
Max. Displacement (cm)	1.8316
Time of Max. Displacement (sec)	3.22
Vmax / Amax: (sec)	0.0754
Acceleration RMS: (g)	0.04499
Velocity RMS: (cm/sec)	3.12043
Displacement RMS: (cm)	0.30755
Arias Intensity: (m/sec)	0.61757
Characteristic Intensity (Ic)	0.04246
Specific Energy Density (cm2/sec)	192.79454
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	578.03865
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.21771
Velocity Spectrum Intensity (cm)	68.79015
Housner Intensity (cm)	47.52911
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.19052
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	10.93422
Effective Design Acceleration (g)	0.24073
A95 parameter (g)	0.23817
Predominant Period (sec)	0.24
Mean Period (sec)	0.40349
Significant Duration: (sec)	13.265
Effective Duration: (sec)	13.295

#### 000126xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.2646
Time of Max. Acceleration (sec)	8.715
Max. Velocity (cm/sec)	19.3874
Time of Max. Velocity (sec)	8.63
Max. Displacement (cm)	2.19057
Time of Max. Displacement (sec)	8.74
Vmax / Amax: (sec)	0.07469
Acceleration RMS: (g)	0.02598
Velocity RMS: (cm/sec)	2.44702
Displacement RMS: (cm)	0.34209
Arias Intensity: (m/sec)	0.20783
Characteristic Intensity (Ic)	0.01872
Specific Energy Density (cm2/sec)	119.6085
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	199.7632
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.21301
Velocity Spectrum Intensity (cm)	64.59196
Housner Intensity (cm)	52.45784
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.10617
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	7.09423
Effective Design Acceleration (g)	0.26448
A95 parameter (g)	0.26394
Predominant Period (sec)	0.28
Mean Period (sec)	0.53865
Significant Duration: (sec)	3.47
Effective Duration: (sec)	3.69

#### 000354xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.20229
Time of Max. Acceleration (sec)	8.365
Max. Velocity (cm/sec)	16.79283
Time of Max. Velocity (sec)	6.595
Max. Displacement (cm)	3.92427
Time of Max. Displacement (sec)	14.215
Vmax / Amax: (sec)	0.08462
Acceleration RMS: (g)	0.04242
Velocity RMS: (cm/sec)	4.63765
Displacement RMS: (cm)	0.94017
Arias Intensity: (m/sec)	0.91131
Characteristic Intensity (Ic)	0.05008
Specific Energy Density (cm2/sec)	706.9599
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	927.803
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.21208
Velocity Spectrum Intensity (cm)	88.45068
Housner Intensity (cm)	82.81351
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.18981
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	15.19661
Effective Design Acceleration (g)	0.2013
A95 parameter (g)	0.19975
Predominant Period (sec)	0.28
Mean Period (sec)	0.59291
Significant Duration: (sec)	18.965
Effective Duration: (sec)	19.3

VALORI MEDI	
Max. Acceleration (g)	0.236
Time of Max. Acceleration (sec)	6.773
Max. Velocity (cm/sec)	18.007
Time of Max. Velocity (sec)	6.093
Max. Displacement (cm)	2.649
Time of Max. Displacement (sec)	8.725
Vmax / Amax: (sec)	0.078
Acceleration RMS: (g)	0.038
Velocity RMS: (cm/sec)	3.402
Displacement RMS: (cm)	0.530
Arias Intensity: (m/sec)	0.579
Characteristic Intensity (Ic)	0.037
Specific Energy Density (cm2/sec)	339.788
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	568.535
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.214
Velocity Spectrum Intensity (cm)	73.944
Housner Intensity (cm)	60.933
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.162
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	11.075
Effective Design Acceleration (g)	0.236
A95 parameter (g)	0.234
Predominant Period (sec)	0.267
Mean Period (sec)	0.512
Significant Duration: (sec)	11.900
Effective Duration: (sec)	12.095

**ALLEGATO N.6**  
**"DATI SPETTRO MEDIO OUTPUT"**



**GEOPROGET**

Studio di Geologia

via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464

E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copioicarlo@libero.it](mailto:copioicarlo@libero.it)

# ALLEGATO N. 6

## DATI SPETTRO MEDIO - ARENILE NORD

Period (s)	Acc (g)	Vel (cm/sec)	Disp (cm)	Pseudo-Acc (g)	Pseudo-Vel (cm/sec)
0	0.213	0.000	0.000	0.213	0.000
0.02	0.214	0.035	0.002	0.214	0.668
0.04	0.218	0.147	0.009	0.218	1.361
0.06	0.225	0.378	0.020	0.225	2.104
0.08	0.238	0.949	0.038	0.237	2.966
0.1	0.266	1.684	0.066	0.266	4.150
0.12	0.318	3.160	0.114	0.318	5.950
0.14	0.343	5.522	0.167	0.342	7.482
0.16	0.347	6.762	0.220	0.346	8.641
0.18	0.369	8.743	0.296	0.368	10.332
0.2	0.421	10.621	0.417	0.419	13.093
0.22	0.473	12.631	0.567	0.472	16.205
0.24	0.536	16.929	0.764	0.534	20.001
0.26	0.533	19.045	0.893	0.531	21.568
0.28	0.585	23.025	1.135	0.583	25.466
0.3	0.500	22.047	1.112	0.497	23.297
0.32	0.474	22.190	1.200	0.471	23.552
0.34	0.467	21.599	1.337	0.466	24.717
0.36	0.479	24.381	1.534	0.476	26.777
0.38	0.525	28.772	1.875	0.522	30.997
0.4	0.503	29.597	1.991	0.501	31.278
0.42	0.492	30.931	2.147	0.490	32.115
0.44	0.490	32.429	2.348	0.488	33.524
0.46	0.455	31.854	2.379	0.452	32.498
0.48	0.421	30.781	2.400	0.419	31.410
0.5	0.402	30.477	2.483	0.400	31.205
0.52	0.388	30.554	2.590	0.386	31.301
0.54	0.369	30.999	2.664	0.368	30.991
0.56	0.388	33.311	3.008	0.386	33.754
0.58	0.401	35.624	3.335	0.399	36.130
0.6	0.408	37.166	3.635	0.406	38.063
0.62	0.415	39.254	3.944	0.413	39.972
0.64	0.423	41.624	4.279	0.420	42.011
0.66	0.429	43.802	4.622	0.427	43.998
0.68	0.430	45.040	4.914	0.428	45.408
0.7	0.421	44.688	5.094	0.418	45.722
0.72	0.400	44.115	5.130	0.398	44.764
0.74	0.382	44.802	5.174	0.380	43.935
0.76	0.381	45.723	5.435	0.379	44.930
0.78	0.370	46.009	5.565	0.368	44.829
0.8	0.353	45.793	5.575	0.351	43.784
0.82	0.332	45.266	5.514	0.330	42.253
0.84	0.313	44.324	5.454	0.311	40.798
0.86	0.292	42.781	5.343	0.291	39.034
0.88	0.273	41.927	5.217	0.271	37.250
0.9	0.266	41.060	5.318	0.264	37.128
0.92	0.260	41.189	5.432	0.258	37.098
0.94	0.247	40.746	5.387	0.245	36.011
0.96	0.230	39.588	5.239	0.229	34.292
0.98	0.214	37.884	5.068	0.212	32.494
1	0.199	36.571	4.924	0.198	30.936
1.02	0.194	35.301	4.983	0.193	30.698
1.04	0.196	35.348	5.231	0.195	31.604
1.06	0.196	36.249	5.444	0.195	32.271
1.08	0.195	37.372	5.613	0.194	32.657
1.1	0.195	38.417	5.813	0.193	33.204
1.12	0.194	39.117	5.995	0.192	33.629
1.14	0.196	40.284	6.282	0.195	34.626
1.16	0.192	40.321	6.383	0.191	34.571
1.18	0.185	39.030	6.342	0.183	33.767
1.2	0.176	38.988	6.266	0.175	32.806
1.22	0.166	38.309	6.107	0.165	31.454
1.24	0.155	37.106	5.893	0.154	29.859
1.26	0.144	35.587	5.646	0.143	28.155
1.28	0.133	33.936	5.385	0.132	26.436
1.3	0.123	32.396	5.126	0.122	24.777
1.32	0.117	31.403	5.002	0.116	23.808
1.34	0.115	31.380	5.059	0.113	23.723
1.36	0.112	31.414	5.113	0.111	23.622
1.38	0.111	31.369	5.206	0.110	23.705

1.4	0.110	31.293	5.308	0.109	23.821
1.42	0.109	31.119	5.405	0.108	23.916
1.44	0.107	30.681	5.463	0.106	23.838
1.46	0.104	30.120	5.441	0.103	23.414
1.48	0.099	29.616	5.310	0.098	22.545
1.5	0.096	29.516	5.294	0.095	22.176
1.52	0.093	29.152	5.262	0.092	21.750
1.54	0.089	28.539	5.173	0.088	21.107
1.56	0.084	27.733	5.039	0.083	20.294
1.58	0.080	26.809	4.898	0.079	19.480
1.6	0.076	25.838	4.780	0.075	18.771
1.62	0.072	24.888	4.644	0.071	18.010
1.64	0.069	24.021	4.501	0.067	17.245
1.66	0.065	23.424	4.362	0.064	16.511
1.68	0.061	22.852	4.233	0.060	15.832
1.7	0.058	22.323	4.119	0.057	15.222
1.72	0.056	21.846	4.020	0.055	14.684
1.74	0.053	21.425	3.936	0.052	14.214
1.76	0.051	21.444	3.867	0.050	13.806
1.78	0.050	21.600	3.869	0.049	13.656
1.8	0.050	21.708	3.919	0.049	13.679
1.82	0.050	21.759	3.998	0.049	13.803
1.84	0.049	21.747	4.066	0.048	13.885
1.86	0.049	21.673	4.120	0.048	13.919
1.88	0.048	21.538	4.159	0.047	13.900
1.9	0.048	21.353	4.181	0.047	13.827
1.92	0.047	21.267	4.187	0.046	13.703
1.94	0.046	21.282	4.178	0.045	13.533
1.96	0.044	21.267	4.156	0.044	13.323
1.98	0.043	21.229	4.123	0.042	13.082
2	0.042	21.162	4.080	0.041	12.818
2.02	0.041	21.073	4.031	0.040	12.537
2.04	0.039	20.965	3.975	0.038	12.242
2.06	0.038	20.839	3.912	0.037	11.931
2.08	0.037	20.694	3.841	0.036	11.602
2.1	0.035	20.523	3.759	0.034	11.247
2.12	0.034	20.316	3.687	0.033	10.927
2.14	0.033	20.066	3.684	0.032	10.817
2.16	0.033	19.767	3.669	0.032	10.673
2.18	0.032	19.438	3.723	0.032	10.729
2.2	0.032	19.361	3.785	0.031	10.809
2.22	0.032	19.223	3.846	0.031	10.884
2.24	0.032	19.194	3.903	0.031	10.948
2.26	0.032	19.266	3.955	0.031	10.997
2.28	0.032	19.309	4.000	0.031	11.023
2.3	0.032	19.323	4.036	0.031	11.025
2.32	0.031	19.305	4.062	0.030	11.000
2.34	0.031	19.256	4.077	0.030	10.948
2.36	0.030	19.182	4.083	0.030	10.871
2.38	0.030	19.155	4.079	0.029	10.770
2.4	0.029	19.176	4.067	0.028	10.647
2.42	0.029	19.172	4.047	0.028	10.508
2.44	0.028	19.146	4.022	0.027	10.356
2.46	0.027	19.099	3.992	0.027	10.197
2.48	0.027	19.034	3.960	0.026	10.034
2.5	0.026	18.955	3.928	0.025	9.872
2.52	0.026	18.867	3.897	0.025	9.716
2.54	0.025	18.772	3.869	0.024	9.570
2.56	0.025	18.676	3.845	0.024	9.436
2.58	0.024	18.669	3.826	0.023	9.319
2.6	0.024	18.708	3.815	0.023	9.218
2.62	0.023	18.747	3.810	0.022	9.137
2.64	0.023	18.789	3.813	0.022	9.075
2.66	0.023	18.834	3.824	0.022	9.032
2.68	0.022	18.882	3.842	0.022	9.007
2.7	0.022	18.932	3.867	0.021	8.999
2.72	0.022	18.983	3.910	0.021	9.032
2.74	0.022	19.032	4.013	0.022	9.202
2.76	0.023	19.076	4.115	0.022	9.369
2.78	0.023	19.113	4.216	0.022	9.528
2.8	0.023	19.156	4.313	0.022	9.678
2.82	0.023	19.220	4.405	0.022	9.815
2.84	0.023	19.279	4.491	0.022	9.936
2.86	0.023	19.327	4.568	0.022	10.037
2.88	0.023	19.424	4.636	0.022	10.115
2.9	0.023	19.704	4.693	0.022	10.168



2.92	0.023	19.969	4.737	0.022	10.194
2.94	0.023	20.213	4.768	0.022	10.191
2.96	0.023	20.433	4.786	0.022	10.158
2.98	0.022	20.627	4.789	0.022	10.097
3	0.022	20.792	4.778	0.021	10.008
3.02	0.022	20.926	4.755	0.021	9.892
3.04	0.021	21.027	4.719	0.021	9.753
3.06	0.021	21.094	4.670	0.020	9.590
3.08	0.020	21.127	4.638	0.020	9.461
3.1	0.020	21.127	4.660	0.020	9.445
3.12	0.020	21.094	4.673	0.019	9.410
3.14	0.020	21.030	4.676	0.019	9.357
3.16	0.020	20.936	4.671	0.019	9.287
3.18	0.019	20.815	4.656	0.019	9.199
3.2	0.019	20.668	4.645	0.018	9.120
3.22	0.019	20.499	4.684	0.018	9.140
3.24	0.019	20.310	4.714	0.018	9.142
3.26	0.019	20.124	4.735	0.018	9.125
3.28	0.018	20.162	4.746	0.018	9.092
3.3	0.018	20.206	4.749	0.018	9.043
3.32	0.018	20.244	4.744	0.017	8.978
3.34	0.018	20.275	4.731	0.017	8.900
3.36	0.018	20.300	4.710	0.017	8.808
3.38	0.017	20.319	4.682	0.016	8.704
3.4	0.017	20.332	4.647	0.016	8.588
3.42	0.017	20.339	4.606	0.016	8.462
3.44	0.016	20.343	4.559	0.016	8.327
3.46	0.016	20.341	4.507	0.015	8.184
3.48	0.016	20.335	4.450	0.015	8.034
3.5	0.015	20.325	4.388	0.014	7.878
3.52	0.015	20.311	4.324	0.014	7.718
3.54	0.014	20.294	4.256	0.014	7.554
3.56	0.014	20.275	4.186	0.013	7.387
3.58	0.014	20.253	4.113	0.013	7.219
3.6	0.013	20.229	4.039	0.013	7.050
3.62	0.013	20.202	3.964	0.012	6.881
3.64	0.013	20.174	3.889	0.012	6.712
3.66	0.012	20.144	3.812	0.011	6.545
3.68	0.012	20.113	3.736	0.011	6.379
3.7	0.012	20.081	3.660	0.011	6.216
3.72	0.011	20.047	3.585	0.010	6.056
3.74	0.011	20.013	3.511	0.010	5.899
3.76	0.011	19.978	3.459	0.010	5.781
3.78	0.010	19.942	3.437	0.010	5.714
3.8	0.010	19.906	3.443	0.010	5.693
3.82	0.010	19.870	3.448	0.010	5.672
3.84	0.010	19.834	3.453	0.009	5.650
3.86	0.010	19.797	3.457	0.009	5.628
3.88	0.010	19.760	3.461	0.009	5.605
3.9	0.010	19.723	3.464	0.009	5.581
3.92	0.010	19.686	3.467	0.009	5.557
3.94	0.010	19.649	3.470	0.009	5.533
3.96	0.010	19.611	3.472	0.009	5.508
3.98	0.009	19.574	3.473	0.009	5.483
4	0.009	19.537	3.475	0.009	5.458

# ALLEGATO N. 6

## DATI SPETTRO MEDIO - ARENILE SUD

Period (s)	Acc (g)	Vel (cm/sec)	Disp (cm)	Pseudo-Acc (g)	Pseudo-Vel (cm/sec)
0	0.236	0.000	0.000	0.236	0.000
0.02	0.237	0.042	0.002	0.237	0.741
0.04	0.242	0.179	0.010	0.242	1.514
0.06	0.250	0.481	0.022	0.250	2.343
0.08	0.270	1.244	0.043	0.269	3.366
0.1	0.316	2.122	0.078	0.315	4.923
0.12	0.381	3.978	0.136	0.380	7.127
0.14	0.386	6.511	0.188	0.385	8.416
0.16	0.398	7.833	0.253	0.397	9.916
0.18	0.429	10.348	0.344	0.427	12.006
0.2	0.490	12.346	0.485	0.488	15.243
0.22	0.561	14.995	0.672	0.559	19.205
0.24	0.634	20.399	0.904	0.632	23.673
0.26	0.618	22.669	1.034	0.615	24.976
0.28	0.684	27.075	1.327	0.681	29.767
0.3	0.584	25.977	1.300	0.581	27.235
0.32	0.554	26.057	1.403	0.551	27.547
0.34	0.563	26.854	1.610	0.560	29.749
0.36	0.585	30.266	1.875	0.582	32.726
0.38	0.634	35.257	2.265	0.631	37.445
0.4	0.597	35.994	2.360	0.594	37.075
0.42	0.596	36.931	2.600	0.593	38.896
0.44	0.586	38.780	2.807	0.583	40.082
0.46	0.543	37.902	2.840	0.540	38.795
0.48	0.498	36.504	2.840	0.496	37.170
0.5	0.467	35.986	2.887	0.465	36.277
0.52	0.447	35.778	2.987	0.445	36.095
0.54	0.420	35.859	3.025	0.417	35.196
0.56	0.433	37.910	3.361	0.431	37.705
0.58	0.448	40.616	3.730	0.446	40.412
0.6	0.460	42.359	4.097	0.458	42.901
0.62	0.468	43.979	4.447	0.466	45.063
0.64	0.474	46.668	4.802	0.472	47.140
0.66	0.480	49.279	5.173	0.478	49.243
0.68	0.480	50.916	5.486	0.477	50.694
0.7	0.469	50.733	5.680	0.466	50.981
0.72	0.446	49.282	5.712	0.443	49.846
0.74	0.414	48.938	5.597	0.411	47.522
0.76	0.386	47.574	5.511	0.384	45.560
0.78	0.363	45.613	5.463	0.361	44.009
0.8	0.345	44.724	5.448	0.343	42.785
0.82	0.325	43.509	5.394	0.323	41.332
0.84	0.304	42.588	5.305	0.303	39.684
0.86	0.286	41.660	5.229	0.285	38.202
0.88	0.281	42.074	5.385	0.280	38.451
0.9	0.279	43.286	5.591	0.278	39.032
0.92	0.270	43.748	5.639	0.268	38.515
0.94	0.253	43.225	5.535	0.252	36.995
0.96	0.235	41.716	5.346	0.233	34.989
0.98	0.217	39.672	5.151	0.216	33.026
1	0.207	37.681	5.118	0.206	32.158
1.02	0.209	37.366	5.382	0.208	33.150
1.04	0.213	38.440	5.676	0.211	34.290
1.06	0.214	39.735	5.931	0.212	35.159
1.08	0.213	40.839	6.120	0.211	35.606
1.1	0.209	41.733	6.248	0.208	35.691
1.12	0.208	42.452	6.451	0.207	36.191
1.14	0.202	41.972	6.483	0.201	35.732
1.16	0.198	41.505	6.580	0.197	35.641
1.18	0.191	41.750	6.565	0.190	34.957
1.2	0.181	41.444	6.448	0.180	33.760
1.22	0.170	40.529	6.254	0.169	32.210
1.24	0.159	39.183	6.015	0.157	30.478
1.26	0.147	37.608	5.757	0.146	28.706
1.28	0.136	35.970	5.499	0.135	26.993
1.3	0.126	34.408	5.261	0.125	25.426
1.32	0.121	33.035	5.179	0.120	24.653
1.34	0.120	32.685	5.287	0.118	24.790
1.36	0.118	32.573	5.375	0.117	24.832
1.38	0.117	32.386	5.458	0.115	24.853

1.4	0.115	32.149	5.545	0.114	24.886
1.42	0.113	31.781	5.618	0.112	24.860
1.44	0.111	31.794	5.641	0.109	24.613
1.46	0.107	31.849	5.573	0.105	23.984
1.48	0.103	31.658	5.555	0.102	23.582
1.5	0.101	31.207	5.559	0.099	23.287
1.52	0.097	30.509	5.501	0.096	22.741
1.54	0.093	29.586	5.384	0.091	21.966
1.56	0.088	28.760	5.248	0.087	21.135
1.58	0.084	28.256	5.106	0.082	20.305
1.6	0.079	27.613	4.936	0.078	19.385
1.62	0.074	26.890	4.754	0.073	18.438
1.64	0.070	26.220	4.572	0.068	17.517
1.66	0.066	26.003	4.401	0.064	16.656
1.68	0.062	25.693	4.246	0.061	15.881
1.7	0.058	25.335	4.112	0.057	15.198
1.72	0.057	24.961	4.101	0.056	14.980
1.74	0.057	24.584	4.187	0.056	15.120
1.76	0.056	24.207	4.255	0.055	15.189
1.78	0.056	23.968	4.303	0.055	15.189
1.8	0.055	24.166	4.332	0.054	15.121
1.82	0.055	24.285	4.443	0.054	15.340
1.84	0.055	24.321	4.541	0.054	15.508
1.86	0.055	24.277	4.623	0.054	15.617
1.88	0.054	24.165	4.686	0.053	15.663
1.9	0.054	24.013	4.730	0.053	15.643
1.92	0.053	23.809	4.755	0.052	15.562
1.94	0.052	23.669	4.762	0.051	15.424
1.96	0.051	23.699	4.753	0.050	15.238
1.98	0.050	23.690	4.731	0.049	15.014
2	0.048	23.654	4.700	0.047	14.764
2.02	0.047	23.599	4.661	0.046	14.497
2.04	0.046	23.530	4.615	0.045	14.215
2.06	0.044	23.450	4.564	0.043	13.921
2.08	0.043	23.354	4.505	0.042	13.610
2.1	0.041	23.235	4.437	0.040	13.274
2.12	0.041	23.239	4.450	0.040	13.190
2.14	0.040	23.405	4.480	0.039	13.154
2.16	0.040	23.537	4.500	0.039	13.089
2.18	0.039	23.619	4.504	0.038	12.982
2.2	0.038	23.634	4.489	0.037	12.820
2.22	0.038	23.570	4.533	0.037	12.828
2.24	0.038	23.417	4.605	0.037	12.917
2.26	0.038	23.174	4.668	0.037	12.978
2.28	0.037	22.844	4.719	0.037	13.006
2.3	0.037	22.432	4.758	0.036	12.997
2.32	0.037	22.009	4.781	0.036	12.949
2.34	0.036	22.122	4.790	0.035	12.861
2.36	0.035	22.271	4.783	0.035	12.735
2.38	0.035	22.370	4.762	0.034	12.573
2.4	0.034	22.422	4.728	0.033	12.379
2.42	0.033	22.429	4.684	0.032	12.161
2.44	0.032	22.400	4.630	0.031	11.924
2.46	0.031	22.338	4.571	0.030	11.675
2.48	0.030	22.253	4.508	0.029	11.421
2.5	0.030	22.150	4.444	0.029	11.170
2.52	0.029	22.040	4.381	0.028	10.924
2.54	0.028	21.927	4.322	0.027	10.691
2.56	0.027	21.816	4.297	0.026	10.547
2.58	0.027	21.714	4.279	0.026	10.420
2.6	0.026	21.623	4.261	0.025	10.298
2.62	0.026	21.545	4.247	0.025	10.184
2.64	0.025	21.481	4.234	0.024	10.078
2.66	0.025	21.433	4.225	0.024	9.979
2.68	0.024	21.399	4.217	0.024	9.886
2.7	0.024	21.377	4.210	0.023	9.797
2.72	0.024	21.364	4.203	0.023	9.709
2.74	0.023	21.358	4.195	0.022	9.619
2.76	0.023	21.357	4.183	0.022	9.524
2.78	0.023	21.356	4.168	0.022	9.421
2.8	0.022	21.353	4.191	0.022	9.404
2.82	0.022	21.344	4.235	0.021	9.436
2.84	0.022	21.328	4.280	0.021	9.469
2.86	0.022	21.302	4.366	0.021	9.592
2.88	0.022	21.264	4.459	0.022	9.729
2.9	0.023	21.213	4.540	0.022	9.838

2.92	0.023	21.147	4.608	0.022	9.916
2.94	0.023	21.066	4.661	0.022	9.961
2.96	0.022	20.970	4.698	0.022	9.972
2.98	0.022	20.859	4.718	0.021	9.948
3	0.022	20.732	4.722	0.021	9.889
3.02	0.022	20.819	4.708	0.021	9.795
3.04	0.021	20.912	4.677	0.020	9.668
3.06	0.021	21.001	4.631	0.020	9.508
3.08	0.020	21.086	4.590	0.019	9.363
3.1	0.020	21.167	4.585	0.019	9.292
3.12	0.020	21.243	4.575	0.019	9.213
3.14	0.020	21.312	4.561	0.019	9.127
3.16	0.019	21.376	4.561	0.018	9.068
3.18	0.019	21.433	4.556	0.018	9.003
3.2	0.019	21.483	4.548	0.018	8.930
3.22	0.019	21.526	4.536	0.018	8.852
3.24	0.018	21.563	4.521	0.017	8.767
3.26	0.018	21.593	4.502	0.017	8.678
3.28	0.018	21.618	4.481	0.017	8.584
3.3	0.017	21.636	4.457	0.016	8.486
3.32	0.017	21.648	4.430	0.016	8.385
3.34	0.017	21.654	4.402	0.016	8.280
3.36	0.016	21.655	4.371	0.016	8.174
3.38	0.016	21.651	4.339	0.015	8.066
3.4	0.016	21.643	4.305	0.015	7.956
3.42	0.016	21.629	4.270	0.015	7.846
3.44	0.015	21.612	4.235	0.014	7.735
3.46	0.015	21.591	4.198	0.014	7.623
3.48	0.015	21.567	4.161	0.014	7.512
3.5	0.014	21.540	4.123	0.014	7.402
3.52	0.014	21.511	4.085	0.013	7.292
3.54	0.014	21.479	4.047	0.013	7.183
3.56	0.014	21.445	4.009	0.013	7.075
3.58	0.013	21.410	3.970	0.012	6.968
3.6	0.013	21.373	3.932	0.012	6.863
3.62	0.013	21.334	3.894	0.012	6.759
3.64	0.013	21.295	3.856	0.012	6.657
3.66	0.012	21.255	3.819	0.011	6.556
3.68	0.012	21.214	3.782	0.011	6.458
3.7	0.012	21.172	3.746	0.011	6.361
3.72	0.012	21.130	3.709	0.011	6.265
3.74	0.011	21.087	3.674	0.011	6.172
3.76	0.011	21.045	3.638	0.010	6.080
3.78	0.011	21.002	3.604	0.010	5.990
3.8	0.011	20.959	3.569	0.010	5.902
3.82	0.011	20.916	3.536	0.010	5.816
3.84	0.010	20.873	3.502	0.010	5.731
3.86	0.010	20.830	3.470	0.009	5.648
3.88	0.010	20.787	3.441	0.009	5.573
3.9	0.010	20.745	3.414	0.009	5.501
3.92	0.010	20.703	3.392	0.009	5.437
3.94	0.010	20.661	3.395	0.009	5.415
3.96	0.009	20.619	3.398	0.009	5.392
3.98	0.009	20.577	3.401	0.009	5.369
4	0.009	20.536	3.404	0.009	5.346

**ALLEGATO N.7**  
**"ZONAZIONE SISMICA"**



**GEOPROGET**

Studio di Geologia

via Ceccarini, 171 - Palazzo La Viola  
Riccione - 47838 - (RN) Tel/Fax 0541/606464

E-MAIL [vannoni.fabio1960@libero.it](mailto:vannoni.fabio1960@libero.it)  
[copioicarlo@libero.it](mailto:copioicarlo@libero.it)

# ALLEGATO 7

## ZONAZIONE SISMICA - PEAK GROUND ACCELERATION (PGA)

