

# COMUNE di SCANDICCI

*Committenza: S.E.I. S.p.a*

***RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA PRELIMINARE DI SUPPORTO AL PIANO  
UNITARIO del COMPARTO TR 09h  
Area di trasformazione di Via S. Ilario in loc. Capannuccia***

**Riferimenti normativi  
(D.P.G.R. n. 53/R del 25.10.2011)**

***Dott. Geol. Grandini Gabriele***

**Giugno 2016**

**Integrazione relativa ad indagini sismiche sitospecifiche  
e prescrizioni salvaguardie dal rischio idraulico**

**Dicembre 2016**

ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE  
Via Andrea del Castagno, 8 - 50132 Firenze  
Tel. e Fax 055.571393-575954  
Codice Fiscale e Partita IVA 02287880484

## Premessa

Il presente elaborato costituisce contributo integrativo alla *“Relazione geologico – tecnica di supporto al Piano Unitario del Comparto TR 09h – Area di trasformazione di Via S. Ilario in località Capannuccia in Comune di Scandicci”* redatta, dallo scrivente, nel giugno 2016, per la committenza S.E.I. S.p.a. .

L'ubicazione dell'area in oggetto è mostrata nell'immagine aerea che segue e nell'estratto di planimetria



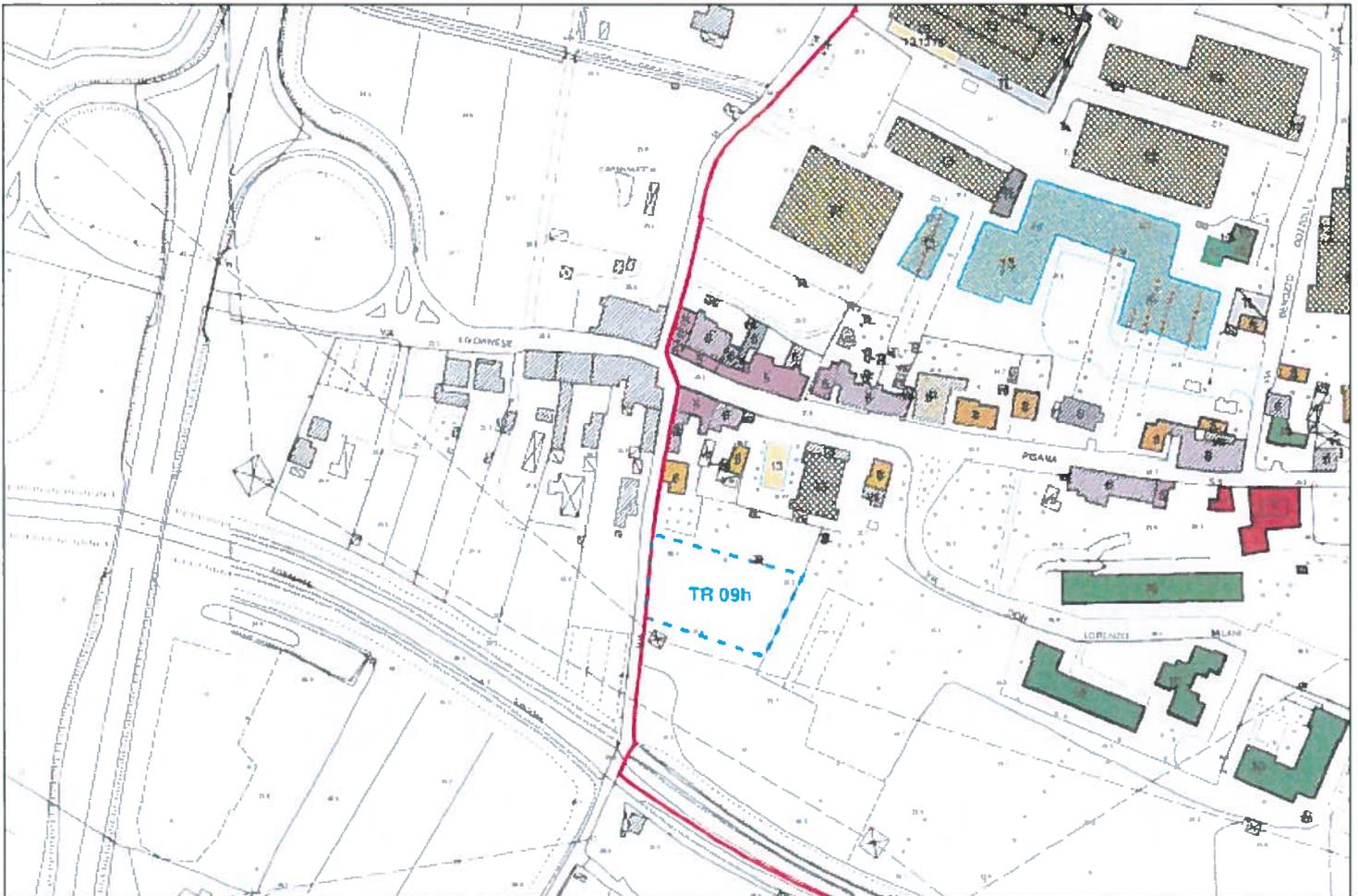
Panoramica dell'area di intervento da foto aerea, il cerchio rosso evidenzia la zona del comparto TR09h

La presente trattazione integra e completa, pertanto, il sopra citato rapporto per gli aspetti indicati nel dettaglio che segue con i relativi riferimenti ai paragrafi (della relazione giugno 2016) cui si apportano ulteriori definizioni di quadro conoscitivo e/o prescrizioni da mettere in atto e di cui tener conto in fase di progettazione esecutiva:

- paragrafo 8 *“Elementi per la valutazione degli effetti locali e di sito per la riduzione del rischi sismico e carta delle MOPS”* a seguito di approfondimento del quadro conoscitivo con indagini sismiche sitospecifiche di cui al dettaglio del paragrafo 8.1;
- paragrafo 10.4 *“Analisi quantitativa con dati di verifica idraulica per prefissati tempi di ritorno”* in relazione al sottoparagrafo *“Confronto fra i dati quantitativi riferiti al battente T 200 anni*

*desumibili dalle modellazioni e scelta del battente per il presente Piano Unitario*” relativamente a correzione di mero errore “dattilografico” relativo al battente T 200 anni maggiormente cautelativo (individuato dalla modellazione A.d.B. Arno) che è indicato erroneamente in 43,44 m.s.l.m. anziché in 38,26 m.s.l.m. (come segnalato in allegata certificazione da parte della stessa A.d.B. Arno);

- paragrafo 12.2 “*Prescrizioni per la realizzazione dell’intervento*” in relazioni alle prescrizioni inerenti il rischio sismico (alla luce della definizione dell’approfondito quadro conoscitivo) e al rischio idraulico in virtù delle modificazioni proposte con gli elaborati progettuali cui la presente integrazione si accompagna. Per tale paragrafo, per completezza di informazione ed immediatezza di consultazione, si è provveduto a riportare (nel presente rapporto) la completezza degli elementi costituenti onere prescrittivo così come riportati nell’originale trattato del giugno 2016 (Geo Eco Progetti, Dott. Gabriele Grandini) con le modificazione ed integrazioni del caso.



Area di intervento (estratto di planimetria di S.U. del Comune di Scandicci)

Per tutti gli altri aspetti, relativa trattazione e commento e cartografie tematiche si rimanda agli elaborati già oggetto di deposito per la pratica urbanistica al competente Ufficio del Genio Civile di Firenze (Geo Eco Progetti, Dott. Gabriele Grandini, giugno 2016) consistenti in:

- Relazione geologico tecnica (ex D.P.G.R. n. 53 del 25.10.2011),
- Tavola n. 1 – Cartografia tematica (elaborato fuori testo).

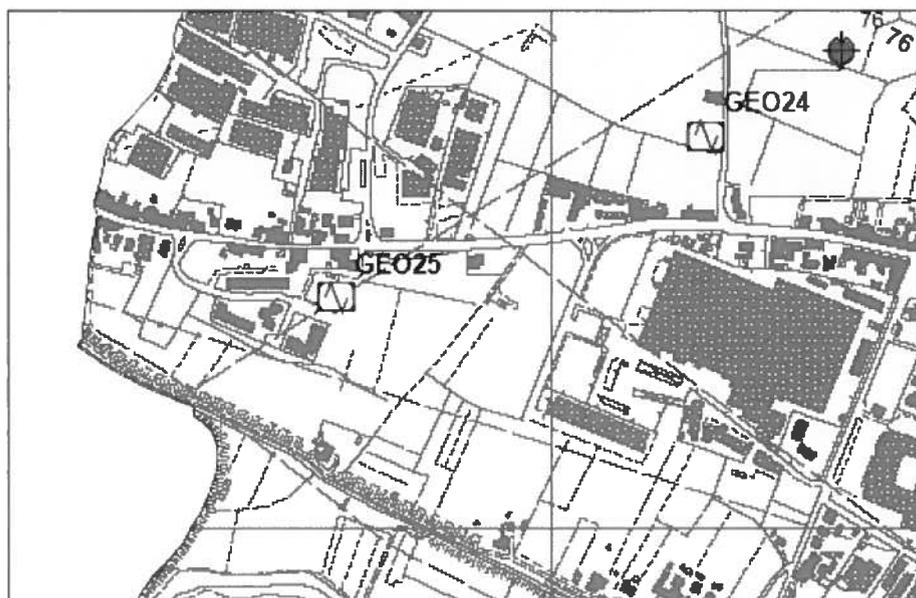
## 8. “Elementi per la valutazione degli effetti locali e di sito per la riduzione del rischi sismico e carta delle MOPS”

..... omississ ..... (vedi rapporto del giugno 2016)

### 8.1 Indagini sismiche sitospecifiche

Sulla base dei dati base e del quadro conoscitivo che scaturisce dal vigente S.U. (carta litologico tecnica e dei dati base, cartografia MOPS e indagini sismiche “areali” per la costruzione della stessa cartografia MOPS) l’area oggetto del presente piano attuativo mostra indicatori di effetti tali da poter essere classificata come zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato entro 10-20 metri di profondità e ricade pertanto in classe di pericolosità sismica S.3.

L’ubicazione planimetrica di tali punti di indagine (S.U. vigente) è riportata in estratto planimetrico che segue e le relative certificazioni sono allegate al rapporto del giugno 2016.



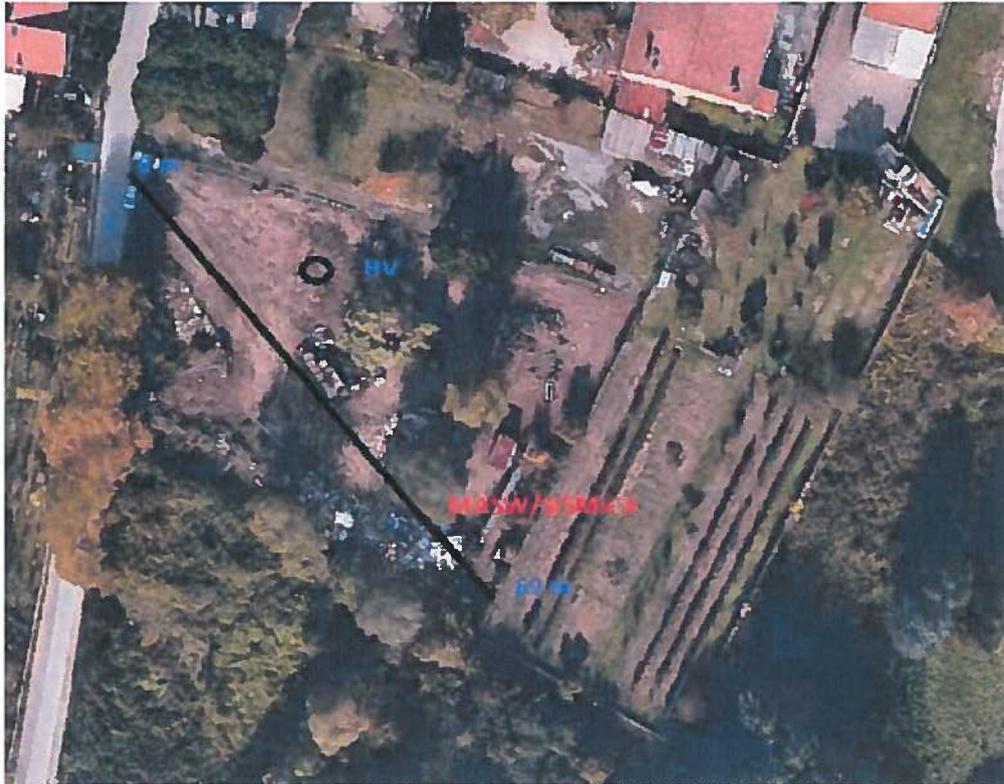
☐ stazione di misura del rumore sismico

Carta delle indagini per la microzonazione sismica di livello1 del Comune di Scandicci (GeoTecno, ottobre 2012)

Trattandosi di zona suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata da un alto contrasto di impedenza sismica tra copertura e substrato a profondità maggiori di 3,0-5,0 ml dall’attuale p. c. e contenute entro 50,0 ml di profondità dal piano campagna si è provveduto, in ottemperanza al Reg. Reg. n. 53/R, paragrafo 3.5, parte relativa alle aree ricadenti in classe di pericolosità sismica S3, comma e) si è provveduto a eseguire una campagna di indagini geofisiche sitospecifiche prodromiche alla definizione di spessori, geometrie e velocità sismiche dei litotipi sepolti al fine di valutare l’entità del contrasto di rigidità sismica dei terreni fra coperture e bed rock sismico.

A tal scopo si è provveduto mediante campagna di indagini svolta in data 10.12.2016 dalla Ditta specializzata GeoMa di Monte San Savino che ha provveduto mediante l’esecuzione di:

- M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves)
- Una sismica a rifrazione con acquisizione delle onde P (stesso stendimento della MASW)
- Un HVSR.

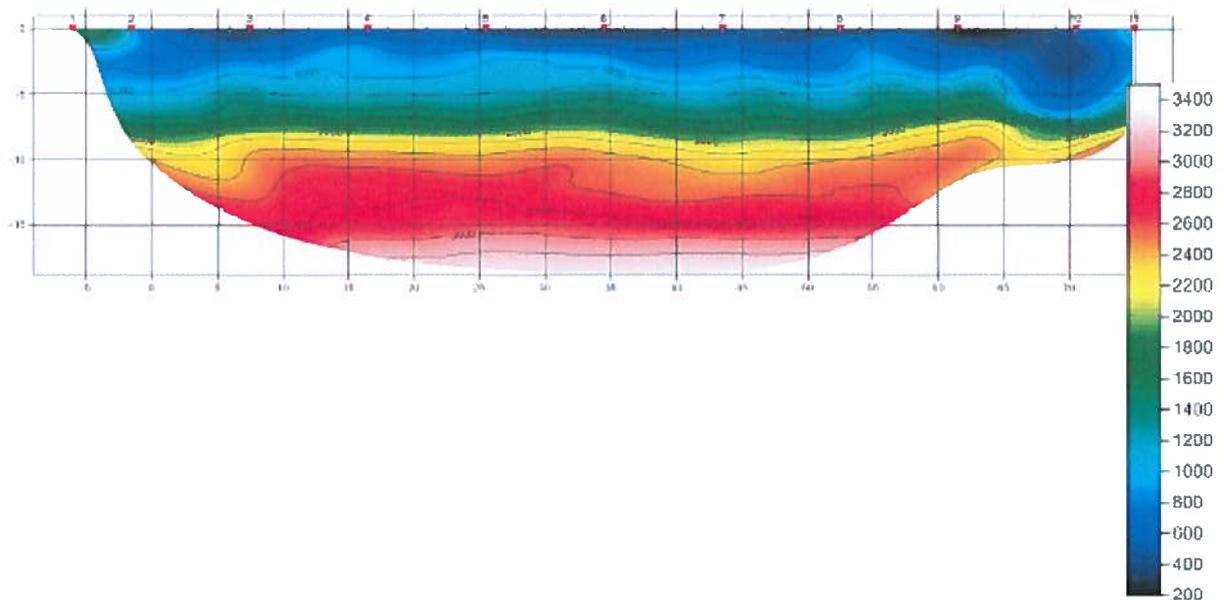


Area in oggetto con ubicazione prova HVSR e stese sismiche MASW e tomografia onde P

In sintesi l'elaborazione integrata delle prove realizzate (vedi relazione illustrativa allegata al presente rapporto) hanno individuato la sequenza verticale dei sismostrati riassunta nello schema tomografico che segue:

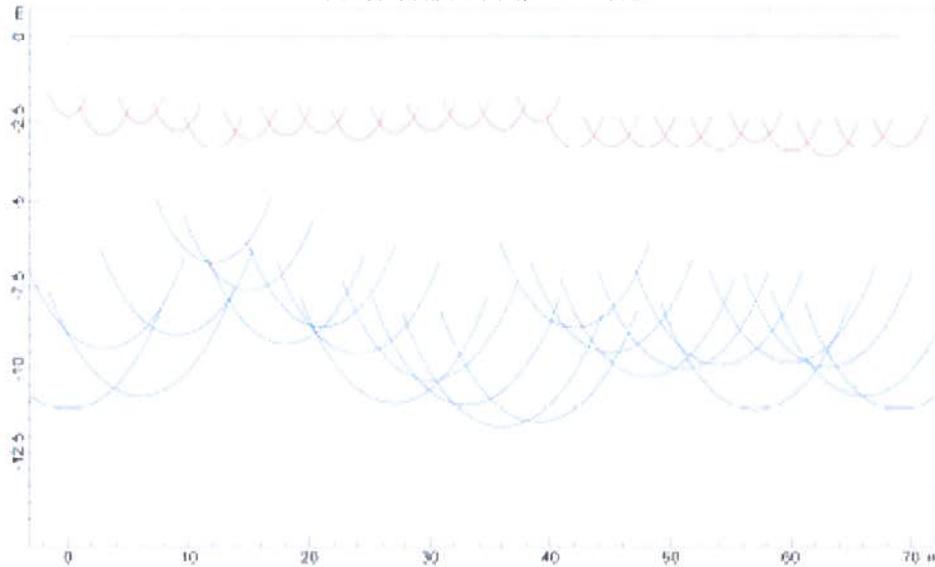
### SISMICA TOMOGRAFICA (Onde P)

Illustrazione 5: Tomografia (Scala 1:380)

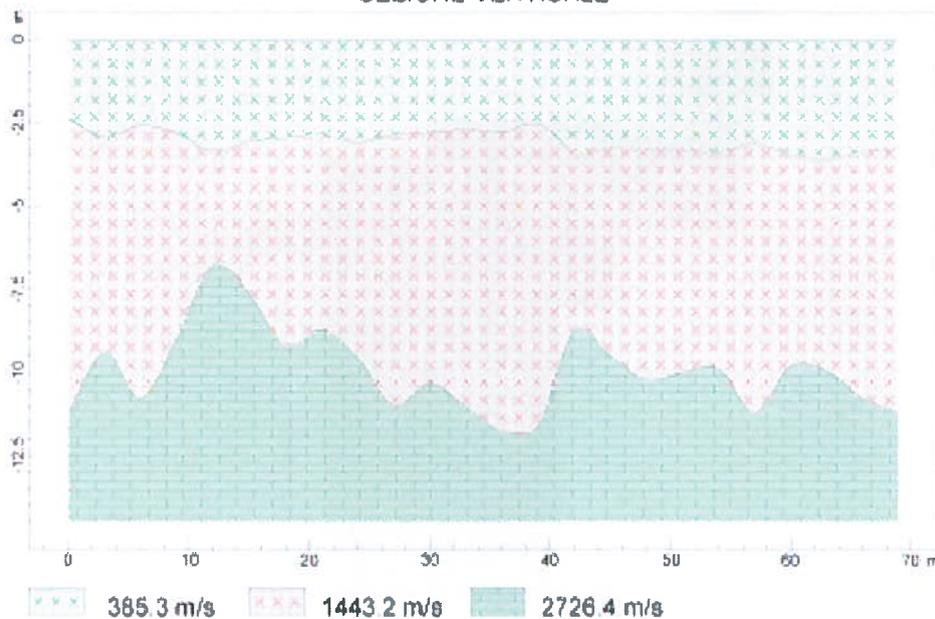


## SISMCA GRM (Onde P)

### PROFONDITA' RIFRATTORI



### SEZIONE VERTICALE



### VELOCITA' DEGLI STRATI

N. Strato	Velocità [m/s]
1	385.3
2	1443.2
3	2726.4

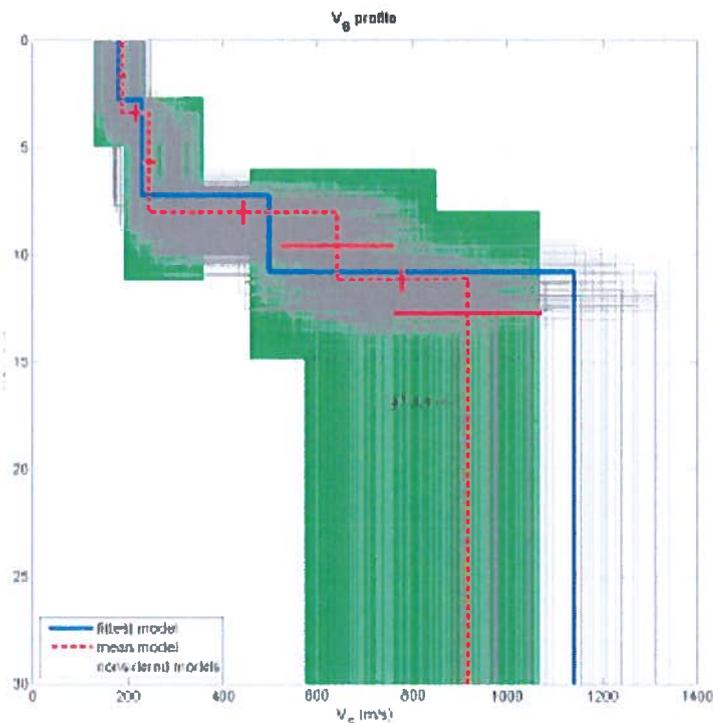
L'indagine tomografica in onde P definisce pertanto tre sismostrati nella sequenza verticale che segue:

- strato 1 con velocità onde P pari a 385 m/sec di spessore e profondità pari a 2,50/3,0 ml;

- strato 2 con velocità onde P pari a circa 1440 m/sec che raggiunge profondità dal piano campagna di -8,0/-12,0 ml e spessore compreso fra 6,0 e 10,0 ml;
- strato 3 con velocità onde P di 2725 m/sec accertato (con presenza accertata fra -10,0 e -20,0 ml dal piano campagna attuale).

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire dai dati di sismica attiva (M.A.S.W.), il cui grafico riassuntivo profondità/velocità delle onde Sh è sotto riportato, ha consentito di determinare il profilo sismico verticale della VS

- Un primo sismo strato con velocità 188 m/se spessore di 2,6 m (assimilabile allo strato 1 definito con onde P);
- Un secondo sismo strato con velocità 246 m/se spessore di 4,7 m (assimilabile alla porzione più superficiale dello strato 2 definito con onde P);
- Un terzo sismo strato con velocità 643 m/se spessore di 3,1 m (assimilabile alla porzione più profonda dello strato 2 definito con onde P);
- La sezione sismo-stratigrafica evidenzia al di sotto dei 10,4 m una velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) di 917 m/s fino alla profondità di 30 m (assimilabile allo strato 3 definito con onde P).

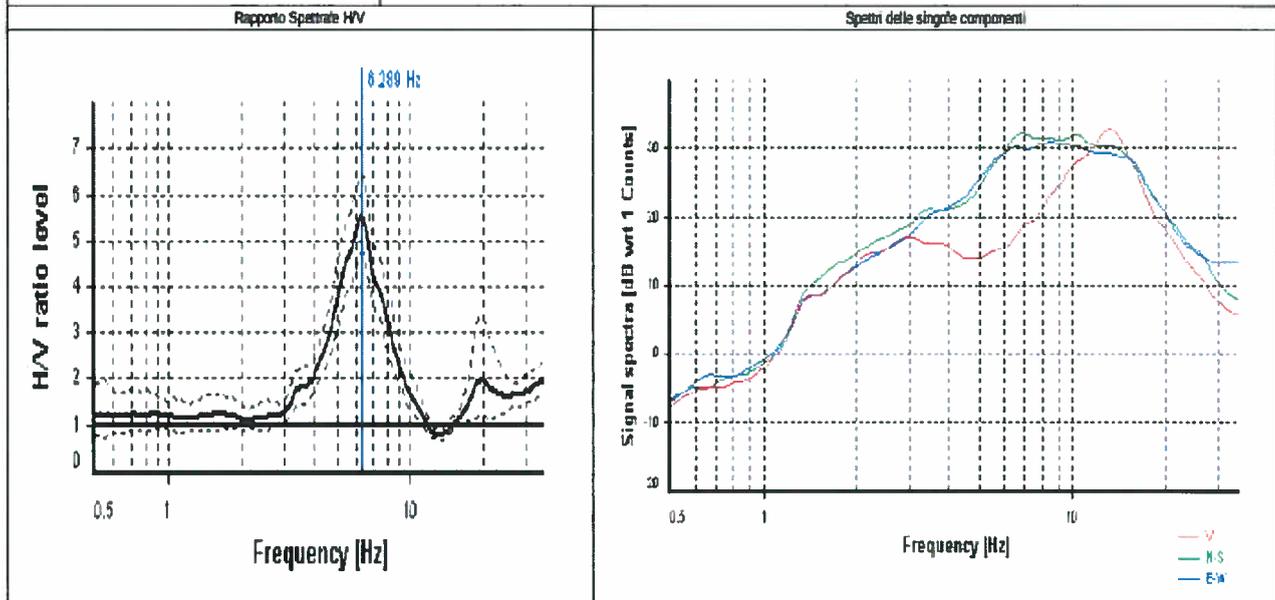


dataset: 2010-12-10\_0-20-40\_1000\_0100\_24\_cqul[2010-12-10\_0-20-47]\_EG2.dat  
 dispersion curve: 02.cdp  
 $V_{s30}$  (best model): 513 m/s  
 $V_{s30}$  (mean model): 487 m/s

La sintesi dei dati ricavati dalla elaborazione della misura HVSR (microtremori) fanno rilevare la presenza di un picco netto con ampiezza 5,56 e frequenza 6.107 Hz tale da confermare la ipotizzata condizione di zona stabile suscettibile di amplificazione sismica per elevato contrasto di impedenza fra la coltre superficiale ed il "bed rock" sismico individuabile fra 8,0 e 10,0 ml di profondità molto probabilmente in corrispondenza di livelli ghiaiosi che potrebbero presentare un certo grado di cementazione.

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio			Ver 4.1
PICCO (Hz)	6.107 ± 0.414	AMPIEZZA	5.566
DATI ELABORATI			
Date	10/12/16		

CATEGORIA	A (Affidabile)	TIPO	TIPO 01
NOTE	Picco ev. silenz. naturale e netto		
PICCHI (Hz)	6.107 ± 0.414		



Il quadro generale desumibile dalle prove sismiche condotte specificatamente sull'area di interesse risulta confermare, pur nella valenza qualitativa delle procedure eseguite, una generale congruità fra i tre sistemi di rilevazione nella individuazione dei sopra descritti orizzonti sismostratigrafici e nella individuazione della possibilità di verificarsi di fenomeni di amplificazione, per elevato contrasto di impedenza, a profondità tali (indicativamente fra 8,50 e 11,50 ml circa) da poter, con certezza, **confermare l'attribuzione della classe di pericolosità sismica elevata S.3** cui applicare le prescrizioni, in fase esecutiva, di cui al dettaglio del successivo paragrafo 12.2.

Nel supporto geologico tecnico al vigente P.R.G. (Piano Strutturale e Regolamento Urbanistico), al comparto in esame, sono state attribuite pericolosità geologica G.2a (medio bassa), pericolosità idraulica I.3 (elevata) e pericolosità sismica S.3 (elevata), come mostrato in estratti cartografici di Tavola n. 1 fuori testo.

Per quanto concerne la fattibilità, dal relativo abaco incluso nella scheda urbanistica relativa al comparto TR 09h, si ricava per l'area in esame classe di fattibilità geologica F.G.2, idraulica F.I.4 e sismica F.S.2 (vedi allegato 1, al presente rapporto, in cui si riporta per esteso la scheda di R.U. relativa al comparto in esame) con prescrizioni in merito agli aspetti idraulici che analizzeremo nel presente supporto al precipuo paragrafo.

#### **10.4 “Analisi quantitativa con dati di verifica idraulica per prefissati tempi di ritorno”**

..... omississ ..... (vedi rapporto del giugno 2016)

*Nel paragrafo che segue si riporta la correzione di mero errore “dattilografico” relativo al battente T 200 anni maggiormente cautelativo (individuato dalla modellazione A.d.B. Arno) che è indicato erroneamente in 43,44 m.s.l.m. anziché correttamente in 38,26 m.s.l.m. (come segnalato in allegata certificazione da parte della stessa A.d.B. Arno);*

#### **“Confronto fra i dati quantitativi riferiti al battente T 200 anni desumibili dalle modellazioni e scelta del battente per il presente Piano Unitario”**

..... omississ ..... (vedi rapporto del giugno 2016)

Pertanto al fine della scelta del battente di riferimento (altezza della possibilità di esondazione per tempo di ritorno duecento anni), in base a contatti preliminari, sulla questione in oggetto (scelta del battente T 200 anni di riferimento per il presente Piano Unitario), susseguitisi con gli istruttori del Genio Civile di Firenze;

si è definito e condiviso, preliminarmente, con il competente Genio Civile di Firenze (destinatario della pratica di deposito a controllo obbligatorio del presente Piano Unitario – ex Reg. Reg. n. 53/R) di far riferimento al battente duecentenario , **maggiormente cautelativo**, cui si riferisce l'Autorità di Bacino del Fiume Arno individuato nella **quota 43,44 38,26 m.s.l.m. .**

*(prosegue il contenuto tal quale l'elaborato prodotto nel giugno 2016)*

In funzione di tale dato quantitativo discendente da modellazione idraulica, per l'area in esame si è puntualizza e si dettagliano i seguenti dati salienti emersi dallo studio idraulico:

- una stima del **battente duecentenario pari a 38,26 m.s.l.m.** (dato ufficiale Autorità di Bacino dell'Arno);
- una stima della **quota di sicurezza corrispondente al battente T = 200 anni + 0,30 ml di franco corrispondente a 38,56 m.s.l.m. .**

Per semplicità di trattazione e possibilità di confronto dei dati inerenti le quote del battente idraulico per T = 200 anni e la relativa quota di sicurezza (+ 0,30 ml) si riportano appresso la quota significativa relative a:

- **quota minima di progetto del primo solaio ad uso residenza posta a 38,70 m.s.l.m. coincidente con la quota di imposta del piano terreno rialzato (come mostrato in elaborati di progetto – tav. n. 8.**



## Autorità di Bacino del Fiume Arno

### Area pianificazione e tutela dal rischio idrogeologico

DOTT. GEOL. GABRIELE GRANDINI

pec: [gabriele.grandini@epap.sicurezza postale.it](mailto:gabriele.grandini@epap.sicurezza postale.it)

Oggetto: Richiesta dati relativi a battente Tr 200 anni nel Comune di Scandicci

In riferimento alla vostra pec del 30 maggio 2016, acquisita agli atti di questa Autorità di Bacino in data 30 maggio 2016 con il n. 1509, con la quale eravate a richiedere il battente idraulico nel comune di Scandicci in una zona individuata in apposita cartografia da voi inviata, siamo a comunicarvi quanto richiesto:

Località	Tempo di ritorno	Battente idraulico
Comparto Tr09h, Scandicci	200 anni	38.26 m s.l.m.

Stralcio della certificazione del battente duecentennale sull'area di interesse relativo alla vigente modellazione quantitativa realizzata dalla Autorità di Bacino del Fiume Arno

## 12. CARTA DELLA FATTIBILITA'

..... omississ ..... (vedi rapporto del giugno 2016)

### 12.1 FATTIBILITÀ DEL PIANO UNITARIO

La pericolosità geologica dell'area in esame risulta in classe G.2a (a).

Si esprime pertanto per l'intero comparto **classe di fattibilità geomorfologica F2.**

..... omississ ..... (vedi rapporto del giugno 2016)

Per quanto concerne la pericolosità sismica l'area in esame ricade in classe S.3 (elevata) per la verificata possibilità di elevato contrasto di impedenza fra copertura e substrato.

Si esprime pertanto per l'intero comparto **classe di fattibilità sismica F3.**

In tale situazione, caratterizzata da pericolosità sismica elevata, si prescrive per la fase di supporto alla progettazione esecutiva ~~le verifiche del caso relative alla realizzazione di una campagna di indagini geofisica (ad esempio profili sismici a riflessione/rifrazione, prove sismiche in foro, profili~~

~~MASW) e geotecniche (ad esempio sondaggi, preferibilmente a c.c.) che definisca spessori, geometrie e velocità sismiche dei litotipi sepolti al fine di valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica dei terreni tra coperture e bedrock sismico~~ l'osservanza ed il rispetto delle prescrizioni dettagliate al paragrafo 12.2.

Per quanto concerne l'aspetto relativo al rischio idraulico l'area oggetto di studio ricade:

- in classe I.3 (pericolosità elevata) risultando potenzialmente soggetta all'episodio per tempo di ritorno  $T = 200$  anni con battente derivante da modellazione pari a 38,26 m.s.l.m. .

In funzione di quanto sopra riportato si assegna **classe di fattibilità idraulica F4** al comparto, dovendosi conformare alle prescrizioni in merito alla salvaguardia idraulica riportate nel successivo paragrafo n. 12.2.

## 12.2 PRESCRIZIONI PER LA REALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

In funzione delle argomentazioni riportate, svolte e commentate nei precedenti paragrafi si ritiene poter provvedere alla realizzazione dell'intervento previsto mediante la predisposizione e messa in opera dei seguenti accorgimenti e l'osservanza delle seguenti prescrizioni finalizzate alla riduzione della esposizione a rischi territoriali (idraulico e sismico in particolare) per il comparto senza trasferimento delle condizioni di rischio idraulico alle aree contermini:

- 1) l'intervento di realizzazione dei nuovi edifici dovrà prevedere l'ubicazione della quota del piano di calpestio dei piani residenziali a quota pari al battente duecentenario con adeguato franco (30 cm) in modo da garantire le necessarie condizioni di sicurezza per i locali ad uso residenza e permanenza di persone. La proposta progettuale prevede l'imposta del "piano terra rialzato ad uso residenza" a quota 38,70 m.s.l.m. (vedi quote di progetto su elaborati di proposta progettuale) tale da ottemperare a quanto citato con un franco minimo previsti di almeno 30 sul battente duecentenario di 38,26 m.s.l.m.;
- 2) per i locali sottostanti ad uso vani scala e/o servizi tecnici si dovranno prevedere condizioni di sicurezza idraulica, per l'evento sopra citato, mediante la predisposizione di porte di ingresso a tenuta stagna;
- 3) a seguito della sopra citata "modificazione morfologica" (relativa alle volumetrie sottratte alla possibilità di esondazione delle acque) si dovrà provvedere per l'intera zona soggetta a modificazione morfologica rispetto allo stato attuale, per non trasferire condizioni di rischio in zone contermini, a adeguata compensazione delle volumetrie sottratte alla possibilità di esondazione da calcolarsi fra la quota media dell'attuale piano campagna ed il battente duecentenario valutato nello studio idraulico di supporto al presente piano attuativo a quota 38,26 m.s.l.m. e le attuali quote di piano campagna (vedi elaborato di progetto di cui alla Tav. n. 8);
- 4) tale compensazione volumetrica, legata alle modifiche morfologiche, è stimata e calcolata nell'elaborato di progetto di cui alla tavola n. 8 in cui sono svolte le calcolazione della volumetria sottratta alla libera esondazione delle acque in caso di alluvionamento che ammonta a circa 285,00 mc. La stessa tavola riporta la volumetria che verrà scavata all'interno dei resede del comparto, per circa 332,00 mc, per compensare la sottrazione correlata alla realizzazione dei vano scala;
- 5) le aree sottostanti il primo solaio ad uso residenza (posto a quota di sicurezza per il battente T 200 anni oltre il franco di sicurezza come sopra definito), in cui si prevede la realizzazione di posti auto aperti ed ingressi ai singoli vani scale dal piano terreno (il tutto delimitato da una struttura continua di frangisole in legno, permeabile all'aria e all'acqua grazie alla spaziatura tra le tavole), dovranno essere dotate, per ciascuna delle sette ripartizioni in cui è suddivisa la proposta progettuale, di due varchi di ingresso/uscita (uno sul prospetto nord ed uno sul

prospetto sud per ciascuna singola unità di utilizzo) completamente liberi e non dotati di sistema di chiusura (neanche di altezza parziale) di larghezza non inferiore a ml 2,0;

- 6) per quanto concerne l'aspetto sismico in virtù della accertata condizione di propensione al verificarsi di fenomeni di amplificazione per elevato contrasto di impedenza si prescrive che in fase di supporto alla progettazione esecutiva (ed in particolare deposito strutture al competente Ufficio Regionale per la Tutela del Territorio sede di Firenze – ex Genio Civile di Firenze) si dovranno integrare le conoscenze acquisite con adeguata campagna di indagini geognostiche (sondaggi) da programmare secondo le specifiche indicate dal Regolamento Regionale n. 36/R per la puntuale definizione della parametrizzazione geotecnica dei vari orizzonti litotecnici da utilizzare in sede di verifiche previste dal D.M. 14.01.2008\_N.T.C.. Si prescrive inoltre l'analisi "numerica di risposta sismica locale" ai sensi del paragrafo 7.11.3.1 delle NTC\_2008 e del paragrafo C7.11.3.1.2 della circolare Cs.LL.PP. n. 617 emanata il 2 febbraio 2009.

Si demanda, infine, alla cura del progettista strutturale la verifica inerente alla possibilità di fenomeni di doppia risonanza (confronto fra la frequenza fondamentale del terreno di fondazione e la frequenza propria del fabbricato).

Firenze, 30.12.2016

Dott. Geol. Gabriele Grandini

# **ALLEGATO**

## **Indagini sismiche:**

- **HVSR**
- **M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves)**
- **Sismica a rifrazione con acquisizione delle onde P (sullo stesso stendimento della MASW)**

# 2016



[www.Geoma.it](http://www.Geoma.it)

Cell: 328-7255608

Fax: +391782206474

Email: Marzupinimarco@gmail.com

Email Pec: Geoma.marzupini@pec.it

Skype: Geoma. Marzupini

Sede: Via Brancoleta 1E

Monte San Savino 52048 (AR)

C.F. MRZMRC83B01A390P

P.IVA 03318000928

## ***REPORT***

### **M.A.S.W.**

**(Multichannel Analysis of Surface Waves)**

### **SISMICA A RIFRAZIONE**

**(Multichannel Analysis of Surface Waves)**

LOCALITÀ:	SCANDICCI	ID:	171005101216335H69	DATA:	10/12/16
COORDINATE SITO		LAT	43.768066°	LON	11.129557°

V03.2016

*Geoma di Marco Marzupini Cell: 3287255608 P.iva 03318000928*

1

## Indice generale

PREMESSA.....	3
UBICAZIONE.....	4
TEORIA ALLA BASE DELLA TECNICA M.A.S.W. E SULL'ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH.....	5
ONDE DI RAYLEIGH.....	5
ONDE DI LOVE.....	5
ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE.....	6
PRIMA FASE.....	6
SECONDA FASE.....	7
PROFILO SISMICO A.....	8
SISMICA TOMOGRAFICA (Onde P).....	10
SISMICA GRM (Onde P).....	11
DATI.....	12
ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DELLE MISURE HVSR.....	14
CONCLUSIONI.....	18

## PREMESSA

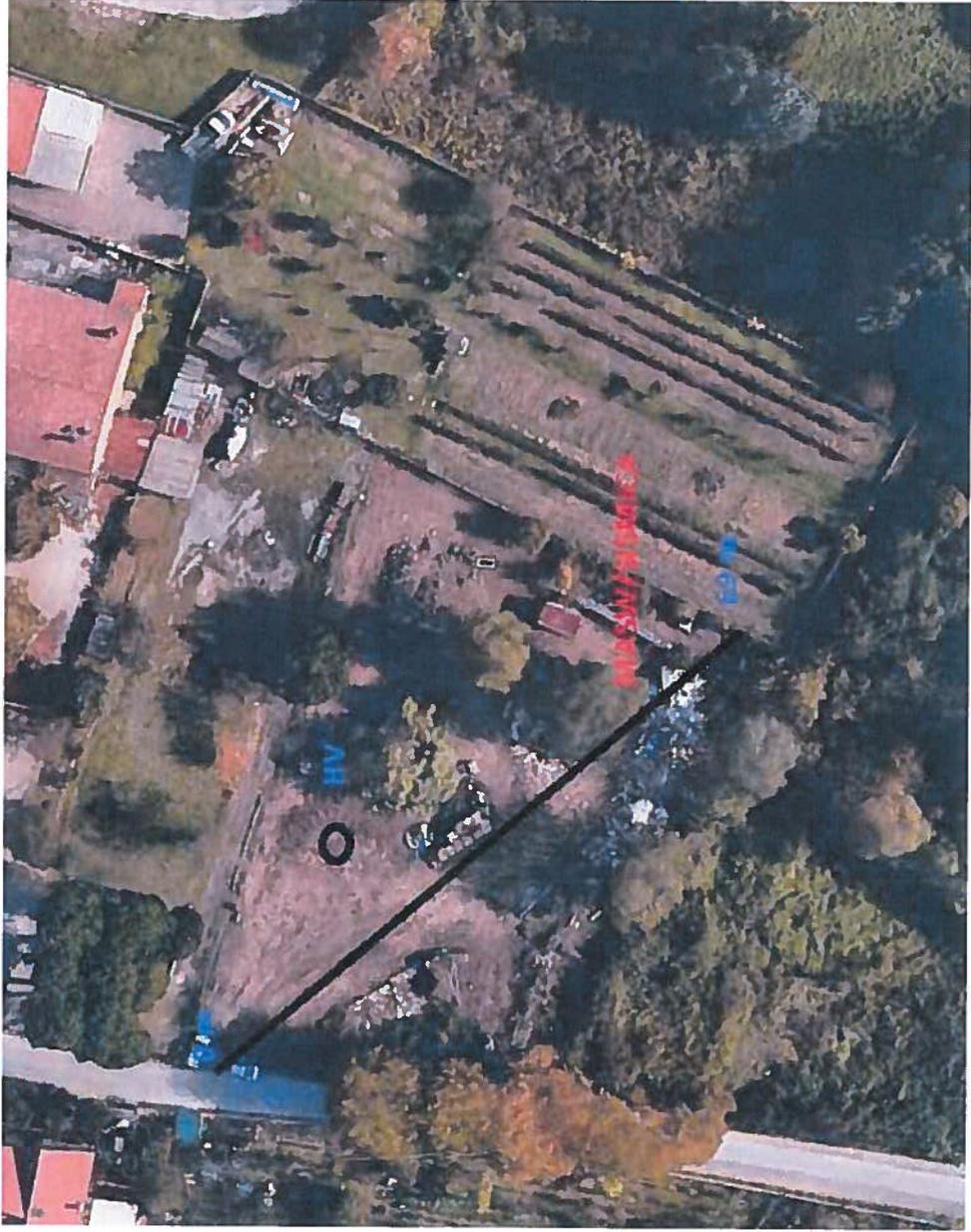
In località Scandicci (FI) in data 10/12/2016 (Illustrazione 1), con obiettivo la valutazione della velocità media di propagazione delle onde elastiche, sono state eseguite le seguenti misure:

- M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves)
- Una sismica a rifrazione con acquisizione delle onde P (stesso stendimento della MASW)
- Un HVSR



*Illustrazione 1: Ubicazione del dito*

**UBICAZIONE**



## **TEORIA ALLA BASE DELLA TECNICA M.A.S.W. E SULL'ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH**

Il M.A.S.W. è una tecnica d'indagine recente che sfrutta le onde superficiali di Rayleigh e Love (in questo studio verranno utilizzate solamente le prime). Il metodo mira ad una caratterizzazione sismica del sottosuolo basandosi sull'analisi della dispersione geometrica delle onde di superficie. Le onde superficiali si creano quando il fronte d'onda nel terreno incontra una discontinuità fisica, che può essere sia la superficie terreno-atmosfera (il nostro caso), sia il passaggio areato-consolidato (*Thorne L & Wallace T.C, 1995. Modern Global Seismology*). Nella discontinuità, la somma del moto delle onde riflesse e rifratte, dà origine alle onde superficiali.

### ***ONDE DI RAYLEIGH***

L'interazione delle onde P e SV sulla superficie libera dà origine alle onde di Rayleigh che si muovono con un movimento ellittico delle particelle nello strato superficiale avente un asse dell'ellisse parallelo alla direzione dell'onda e l'altro ortogonale alla superficie libera.

### ***ONDE DI LOVE***

La riflessione totale delle onde SH dà origine alle onde di Love, che si muovono con moto delle particelle perpendicolare alla direzione di propagazione, ma polarizzato nel piano orizzontale.

Le onde superficiali, a differenza di quelle di volume (P ed S), hanno le seguenti proprietà:

Sono dispersive in mezzi non omogenei (perché variano la propria velocità a seconda della frequenza). La velocità di propagazione è lievemente più bassa rispetto alle onde S. La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Love e Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_s$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati. Un'ulteriore proprietà importante è la diminuzione dell'ampiezza che diminuisce con radice quadrata della distanza dalla sorgente. Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della

frequenza, che è l'inverso della lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite il processo d'inversione.

## ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE

L'analisi M.A.S.W. viene condotta in due fasi principali:

### PRIMA FASE

La prima fase avviene in campagna con l'acquisizione multicanale dei segnali sismici, mediante il sismografo DoReMi a 24 canali della SARA electronic instruments s.r.l..

L'acquisizione viene effettuata mediante 24 geofoni verticali da 4,5 Hz distanziati di 3 m per una lunghezza totale dello stendimento di 69 metri.

Le energizzazioni, eseguite mediante una mazza, vengono effettuate con offset (dal primo geofono) di -2, -8 m e dall'ultimo +2+8 m



*Illustrazione 2: Stendimento*

## SECONDA FASE

La seconda fase, che consiste nell'elaborazione dei dati acquisiti in campagna, è stata eseguita mediante il software WinMASW 5,0 ACADEMY della Eliosoft. Il programma, dopo il calcolo dello spettro di velocità, richiede il picking della curva di dispersione che poi mediante inversioni e modellizzazioni permetterà la ricostruzione del profilo delle velocità delle onde s nel terreno. Tutte queste fasi devono essere seguite accuratamente dall'operatore mediante la verifica, attraverso l'utilizzo di modelli, della qualità dei dati, ma soprattutto della loro possibile congruità con i dati geologici del sito. Qui di seguito vengono riportati i più importanti passaggi dell'elaborazione (Illustrazione 3 e Illustrazione 4):

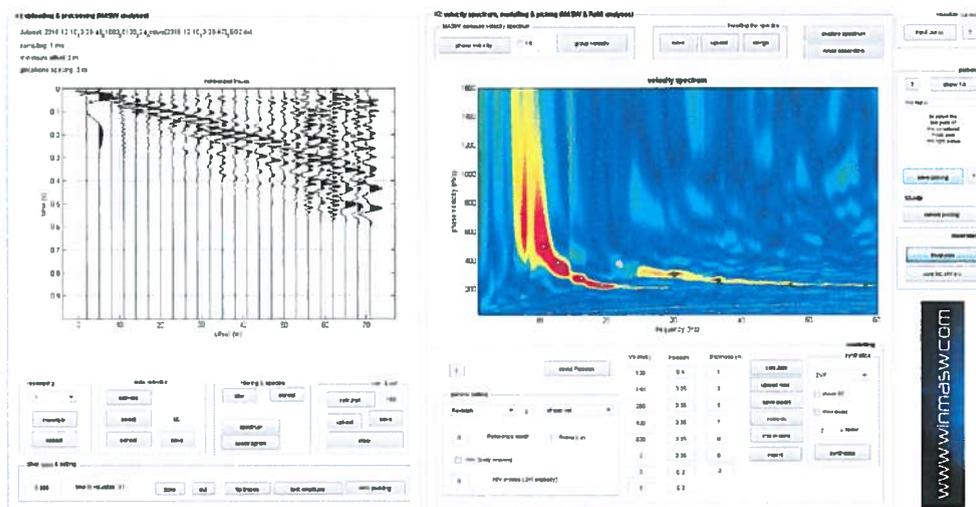


Illustrazione 3: A sinistra sismogramma e a destra picking della curva di dispersione

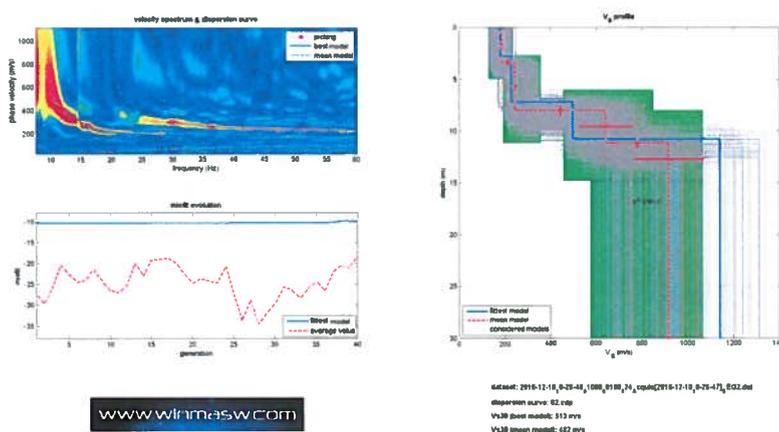


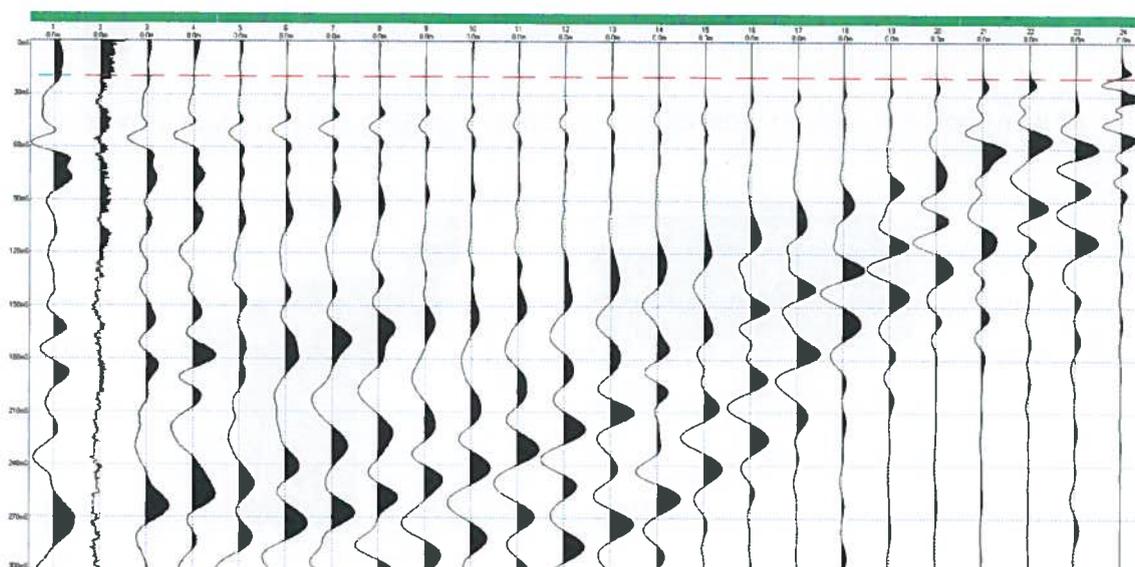
Illustrazione 4: Inversione della curva di dispersione

## PROFILO SISMICO A

La linea sismica è stata coperta per mezzo di 24 geofoni verticali con distanza intergeofonica di 3 m per l'acquisizione delle onde P.

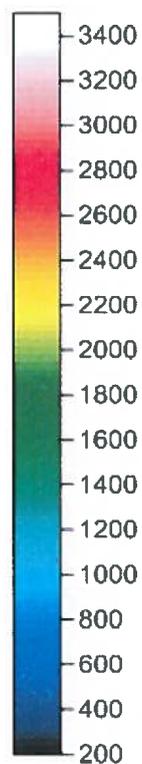


- Lo stendimento è stato eseguito nella stessa base della masw



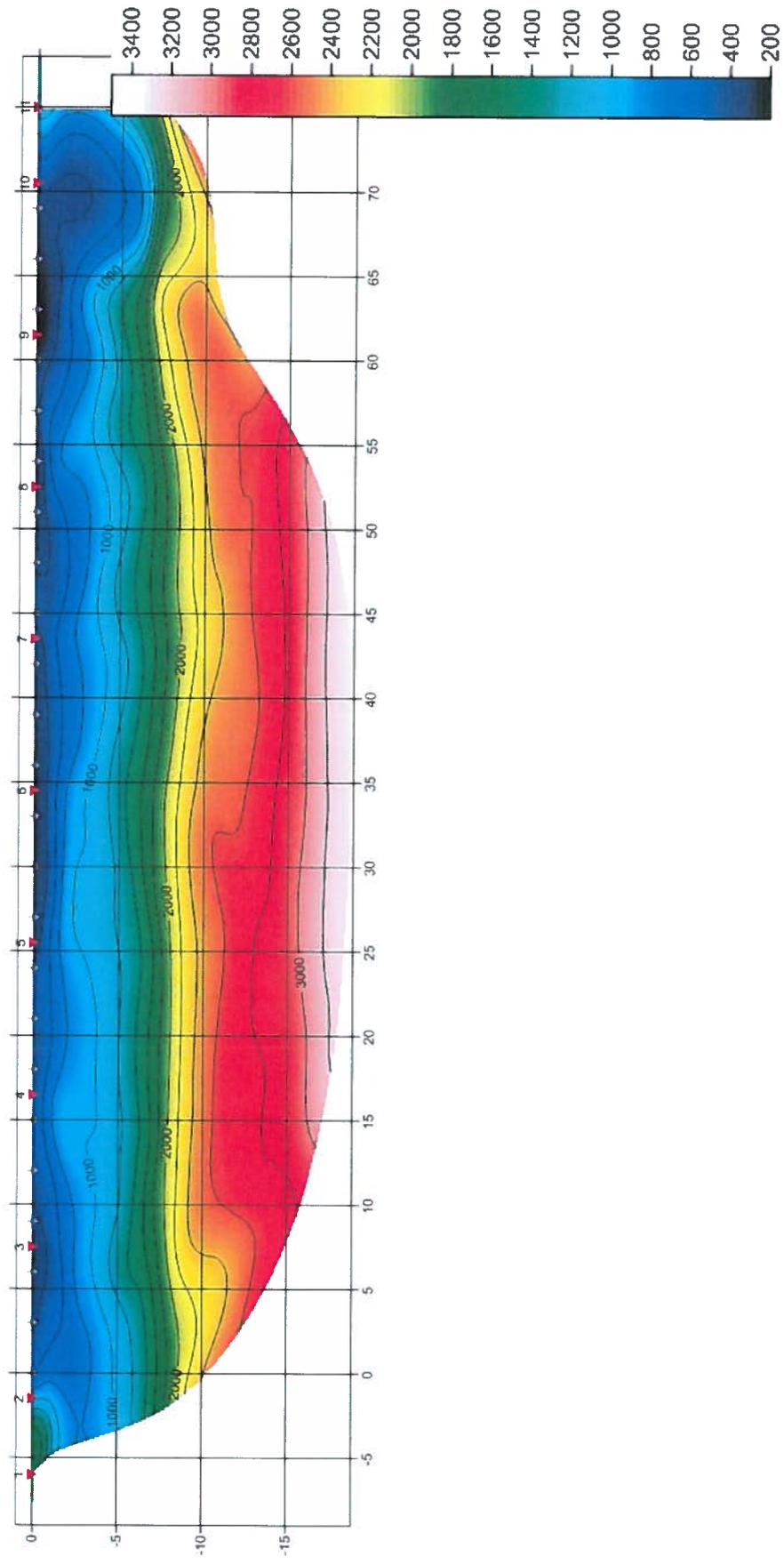
*Illustrazione 4: Picking*

1. Simulazione e inversione mediante il software Rayfract che utilizzando la tecnica WET, crea un modello del sottosuolo derivante da progressivi aggiustamenti, con iterazioni successive, del modello iniziale.
2. Modellizzazione e calcolo di un profilo del sottosuolo mediante piccoli aggiustamenti fino a un modello compatibile con la geologia del sito. Gli elaborati ottenuti dall'indagine, considerando le caratteristiche geologiche della zona, sono stati rappresentati mediante una scala cromatica che per le onde P è stata suddivisa in fasce di velocità comprese tra 200 m/s e 3400 m/s



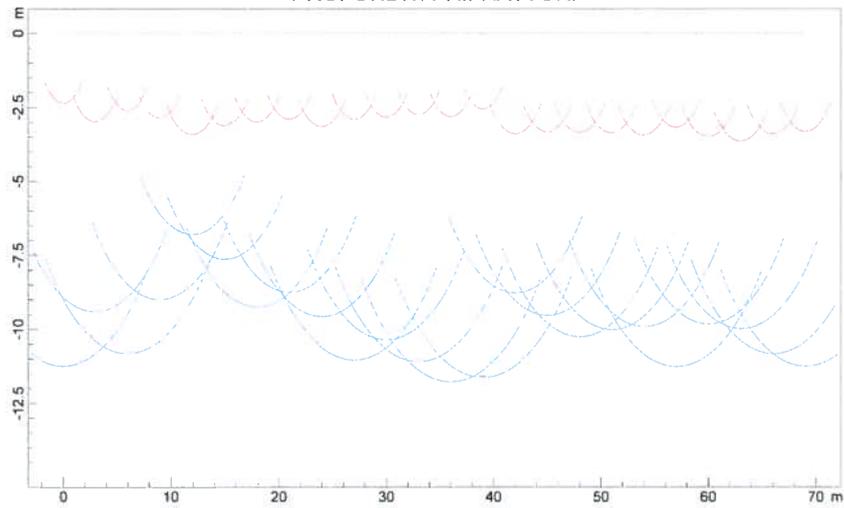
# SISMICA TOMOGRAFICA (Onde P)

Illustrazione 5: Tomografia (Scala 1:380)

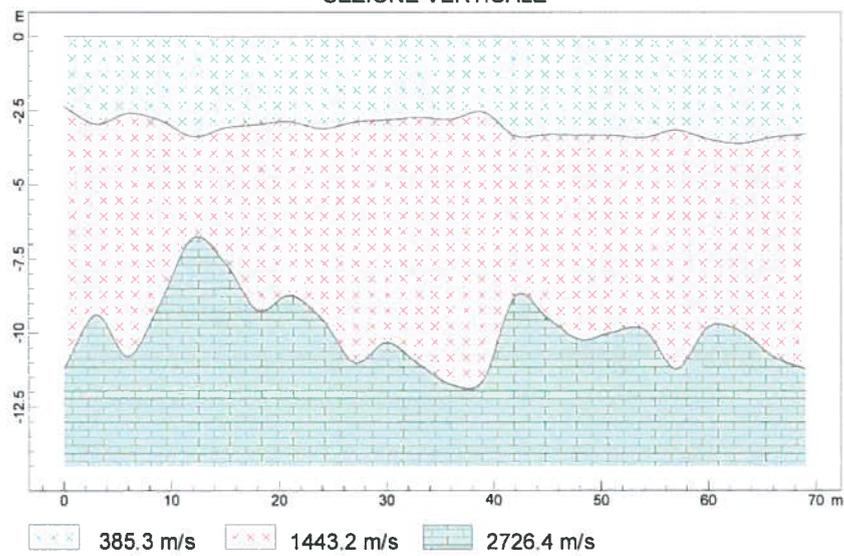


# SISMCA GRM (Onde P)

## PROFONDITA' RIFRATTORI



## SEZIONE VERTICALE



www.geosoft.com

**DATI**

## POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da -3 [ms]	FBP da -1 [ms]	FBP da 34.5 [ms]	FBP da 70 [ms]	FBP da 76 [ms]
1	0.00	0.00	4.09	5.03	32.10	55.35	45.60
2	3.00	0.00	10.06	10.38	33.15	53.77	44.40
3	6.00	0.00	14.47	16.35	29.40	52.20	42.80
4	9.00	0.00	19.80	20.40	26.55	51.26	41.80
5	12.00	0.00	24.40	23.40	26.30	50.31	40.80
6	15.00	0.00	24.60	23.80	24.45	47.80	40.20
7	18.00	0.00	25.80	24.80	22.85	47.17	38.60
8	21.00	0.00	26.60	26.00	21.20	46.23	38.36
9	24.00	0.00	29.00	28.20	20.20	46.23	37.40
10	27.00	0.00	29.60	29.40	17.85	46.23	36.20
11	30.00	0.00	32.20	32.00	14.90	44.03	36.40
12	33.00	0.00	33.60	33.40	7.95	41.82	35.20
13	36.00	0.00	33.40	32.40	5.66	40.25	32.60
14	39.00	0.00	34.20	33.80	13.21	37.11	32.00
15	42.00	0.00	35.53	36.60	19.00	36.16	31.60
16	45.00	0.00	37.42	37.00	21.60	33.02	29.00
17	48.00	0.00	38.68	37.42	24.20	30.50	28.00
18	51.00	0.00	39.31	38.80	26.00	28.93	25.80
19	54.00	0.00	40.57	40.25	27.40	27.04	24.60
20	57.00	0.00	42.45	40.88	27.20	23.27	22.00
21	60.00	0.00	43.71	42.14	28.30	16.98	20.80
22	63.00	0.00	45.28	43.08	30.60	12.58	19.60
23	66.00	0.00	46.23	43.40	31.13	9.43	16.60
24	69.00	0.00	47.80	44.65	33.65	4.80	7.80

## DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI

N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]	Dist. Rifr. 2 [m]
1	2.4	11.2
2	3.0	9.4

3	2.6	10.8
4	2.8	9.0
5	3.4	6.8
6	3.1	7.6
7	3.0	9.2
8	2.9	8.7
9	3.1	9.5
10	2.9	11.0
11	2.8	10.3
12	2.7	11.1
13	2.8	11.7
14	2.5	11.6
15	3.4	8.8
16	3.3	9.5
17	3.3	10.2
18	3.3	10.0
19	3.4	9.9
20	3.2	11.2
21	3.5	9.8
22	3.6	10.0
23	3.4	10.8
24	3.3	11.2

VELOCITA' DEGLI STRATI

N. Strato	Velocità [m/s]
1	385.3
2	1443.2
3	2726.4

## ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DELLE MISURE HVSR

L'analisi HVSR viene condotta in due fasi principali:

1. La prima fase è avvenuta in campagna con l'acquisizione dei segnali sismici, mediante le misure del microtremore ambientale della durata variabile ma mai minore ai 2400 secondi con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Lo strumento, il tromografo digitale GeoBox 24 bit della SARA electronic instruments s.r.l., è dotato di una terna di sensori ortogonali da 2 Hz orientati N-S, E-O e verticale. Il segnale viene campionato a 300 Hz per evitare eventuale aliasing. Tutte le analisi sono state disposte in direzione NS magnetico mediante bussola Brunton

2. La seconda fase, che consiste nell'elaborazione dei dati acquisiti in campagna, è stata eseguita mediante il software winMASW5,0 ACADEMY della Eliosoft e Geopsy.

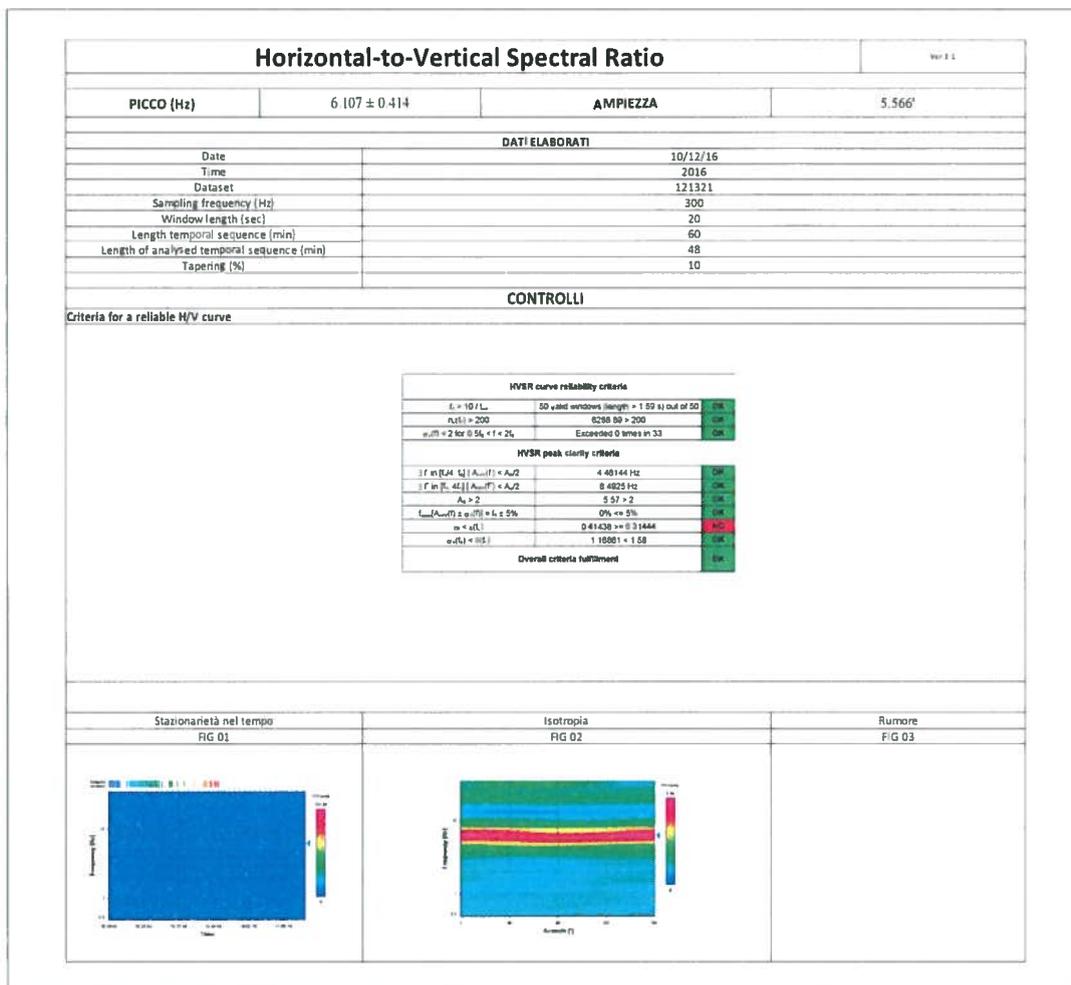
Il programma, basato sulle linee guida del progetto europeo SESAME, divide l'elaborazione nei seguenti passaggi:

1. Ricampionamento a 128 Hz del segnale
2. Rimozione manuale di eventuali transienti
3. Larghezza delle finestre d'analisi 40 s e lisciamento con ampiezza pari al 10%
4. Calcolo dello spettro mediante metodo di Nakamura
5. Controllo della persistenza del segnale cioè della continuità nella registrazione e quindi coerenza
6. Analisi della direttività del segnale (in caso di sorgente di rumore con direzione predominante questa viene eliminata nella fase 2)

Tutte queste fasi devono essere seguite accuratamente dall'operatore mediante la verifica, attraverso l'utilizzo di modelli, della qualità dei dati ma soprattutto della loro possibile congruità con i dati geologici del sito.



Un ulteriore controllo della qualità dell'acquisizione HVSR viene basato sulla classificazione proposta nelle attività di MS dell'Abruzzo (Albarello-Mucciarelli, 2010):



**GEOMA** di Marco Marzupini  
 Res. Fis. Via Brancaleta 1/E  
 52048 Monte S. Savino (AR)  
 Cell. 328-7255608 / marzupinimarco@gmail.com  
 C.F. MRZ MRC 88801 A390P - P.I. 03318000928

**GEOMA di Marco Marzupini**  
**Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio**

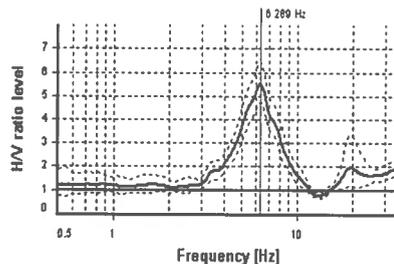
Res. PISA - Via S. Saverio 175  
 52048 Montecatini Terme (AR)  
 Cell. 328-7255608 - marzupini@geoma.it

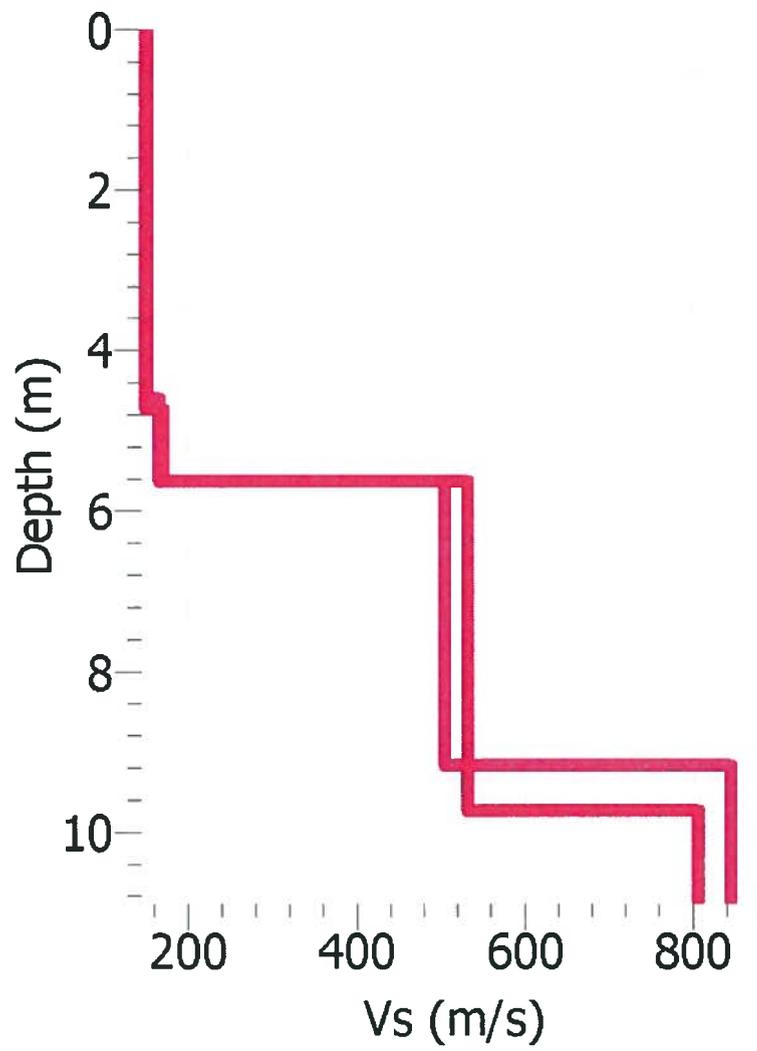
1	Durata: la misura deve essere almeno di 60 s	OK
2	Isotropia: le variazioni azimutali d'ampiezza non superano il 30% del massimo (FIG 02)	OK
3	Robustezza statistica: sono soddisfatti i primi 3 criteri di SESAME	OK
4	Stazionarietà nel tempo (FIG 01)	OK
5	Rumore elettromagnetico all'interno dell'intervallo di interesse (FIG 03)	SI
6	Rumore elettromagnetico all'esterno dell'intervallo di interesse (FIG 03)	NO
7	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale ( <i>plausibilità fisica</i> )	SI
8	Criteri Sesame	OK

Per ulteriori informazioni: Microzonazione Sismica e Programma VEL

CATEGORIA	C (Non affidabile)	TIPO	TIPO 01
-----------	--------------------	------	---------

NOTE	Picco evidente, naturale e netto
PICCHI (Hz)	6.107 ± 0.414





## CONCLUSIONI

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire dai dati di sismica attiva (M.A.S.W.) ha consentito di determinare il profilo sismico verticale della VS

- Un primo sismo strato con velocità 188 m/se spessore di 2,6 m
- Un secondo sismo strato con velocità 246 m/se spessore di 4,7 m
- Un terzo sismo strato con velocità 643 m/se spessore di 3,1 m
- La sezione sismo-stratigrafica evidenzia al di sotto dei 10,4 m una velocità delle onde di taglio (Vs) di 917 m/s fino alla profondità di 30 m.

Qui di seguito vengono riportati in tabella i risultati ottenuti e sismo-stratigramma

**GEOMA** di Marco Marzupini  
 Res. Pisc. Via Brancolella 1/E  
 52048 Monte S. Savino (AR)  
 Cell. 328-7255608 - marzupinimarco@gmail.com  
 C.F. MRZ MRC 88701 A390P - P.I. 03318000928

VS e PARAMETRI ELASTICI						
Strato	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Profondità livello campagna	Ø	Profondità (m) dal liv comm	
			Rapporto (Vp/Vs)	Spessore (m)	da	a
1	188	460	2,45	3,4	0	-2,6
2	246	512	2,08	4,7	-2,6	-7,3
3	643	1338	2,08	3,1	-7,3	-10,4
4	917	1909	2,08	18,8	-10,4	-30

Strato	Poisson v	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Shear G (kPa)	Bulk Ev (kPa)	Young E (kPa)
1	0,40	1,87	66093,28	307567,63	185026,39
2	0,35	1,89	114375,24	342951,84	308797,49
3	0,35	2,12	876511,88	2626634,77	2366320,74
4	0,35	2,21	1858364,69	5576041,42	5017669,91