

**STUDIO DI GEOLOGIA  
BARSANTI, SANI & ASSOCIATI**  
via Buiamonti 29 - 55100 LUCCA - Partita IVA: 01134410461  
Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090 e-mail: bar-sani@geoprove.com

**COMUNE DI SANTA MARIA A MONTE  
PROVINCIA DI PISA**

**INDAGINI SISMICHE  
DI SUPPORTO AL PROGETTO DI AMPLIAMENTO  
DEL CIMITERO DEL CAPOLUOGO**

**Relazione tecnica**

**Agosto 2012**

**Il Geologo:**



## INDICE

|  |    |
|--|----|
| PREMESSA .....   | 3  |
| 1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE DELL'AREA.....            | 4  |
| 2. PERICOLOSITÀ SISMICA DELL'AREA .....                          | 5  |
| 2.1. Pericolosità sismica di base .....                          | 5  |
| 2.2. Stabilità generale e potenziale di liquefazione .....       | 12 |
| 2.3. Pericolosità sismica locale - Categoria di sottosuolo ..... | 15 |
| 2.4. Spettro di risposta elastico.....                           | 19 |

## ELENCO DEGLI ALLEGATI

ALL. N° 1: INDAGINI GEOFISICHE – PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH - MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA

\*\*\*\*\*

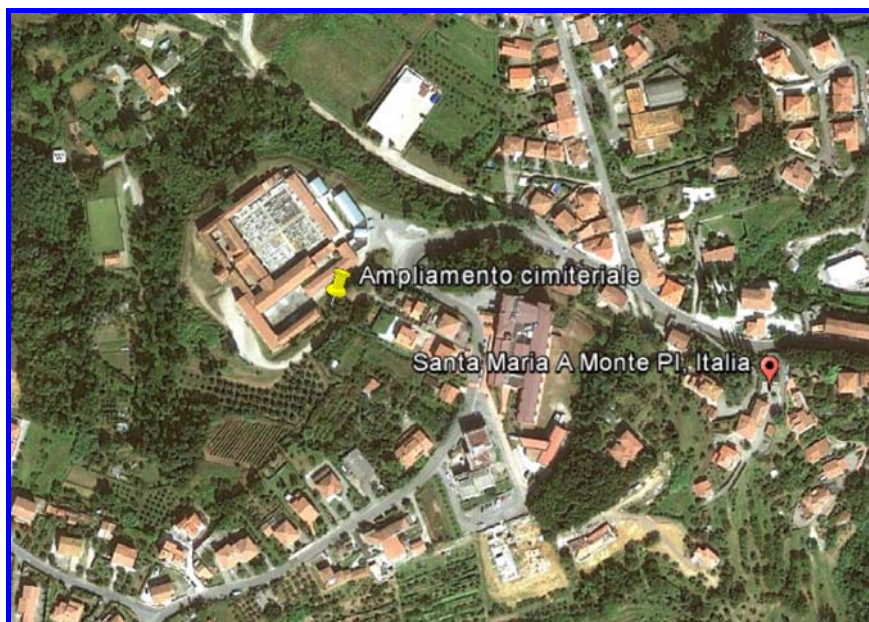
## PREMESSA

Per incarico del Comune di Santa Maria a Monte – Provincia di Pisa, sono state effettuate indagini sismiche di supporto al progetto di ampliamento del cimitero del Capoluogo.

Il Comune di Santa Maria a Monte, in forza dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 Marzo 2003, pubblicata sulla G.U. n° 105 dell'8 Maggio 2003, era stato definito sismico di Zona 2 (corrispondente alla vecchia II Categoria) e quindi soggetto alle norme di cui alla L. 2 Febbraio 1974 n° 64 ed alle norme tecniche emanate contestualmente all'Ordinanza.

Tale classificazione non è stata riconfermata dalla O.P.C.M. n° 3519 del 28 Aprile 2006, in base alla quale la Regione Toscana ha definito il Comune di Santa Maria a Monte, secondo la “Proposta di riclassificazione sismica RT4” del Giugno 2006, sismico di Zona 3s. Tale zona è stata individuata appositamente dalla Regione Toscana per mantenere lo stesso livello di protezione assicurato dalle azioni sismiche della Zona 2 per quei Comuni, come Santa Maria a Monte, che sono stati declassati dalla zona a media sismicità alla zona a bassa sismicità (da Zona 2 a Zona 3).

Con Decreto del 14 Gennaio 2008, pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4.02.2008 suppl. ord. n° 30, sono state inoltre approvate le nuove *Norme tecniche per le costruzioni*, entrate definitivamente in vigore il 1° Luglio 2009. Da tale data, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido, viene definita mediante un approccio “sito dipendente” e non più “zona dipendente”: in altre parole, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, questo sarà sempre compreso tra quattro punti della griglia di accelerazioni (Allegato A del D.M. 14 Gennaio 2008), e, tramite media pesata, ad esso competerà un valore specifico di accelerazione, calcolato secondo la relazione sottostante, che dipenderà anche dalla tipologia della costruzione (vita di riferimento  $V_r$ ) e dal tipo di verifica progettuale (Stati Limite di Esercizio SLO e SLD; Stati limite Ultimi SLV e SLC).



Coordinate ED 50 del sito: 43,7004881 lat e 10,6862166 long

Il presente rapporto è redatto a norma dell'art. 3.2. – Azione sismica - del D.M. 14 Gennaio 2008 “*Norme tecniche per le Costruzioni*” ed illustra la metodologia delle indagini eseguite, l'elaborazione dei dati ed i risultati conseguiti.

## 1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE DELL'AREA

L'area oggetto di studio si trova ad est del centro storico di Santa Maria a Monte, al culmine di un'area collinare prospiciente la vallata del F. Arno, a quote intorno ai 100 m s.l.m.

L'assetto strutturale di queste zone collinari è il risultato dei movimenti tettonici compressivi (con la formazione della catena appenninica costituita dal Complesso della Serie Toscana e dai Complessi Alloctoni Liguri) e distensivi (con ampio sollevamento epirogenetico) che hanno interessato la Toscana a partire dal Miocene superiore. Questi movimenti tettonici sono stati accompagnati sia da episodi trasgressivi (al Pliocene inferiore e medio) caratterizzati dalla formazione di depositi marini conglomeratici e argillosi, sia da episodi regressivi contraddistinti da depositi marini sabbiosi

Le unità tettoniche presenti nell'area delle indagini e nei suoi dintorni appartengono al *Complesso Neoautoctono* formatosi in ambiente marino, prima, e continentale, poi, a partire dal Pliocene inferiore. Essi giacciono trasgressivi sia sulle formazioni della *Serie Toscana*, sia su quelle dei *Complessi Alloctoni Liguri* che costituiscono più a sud i rilievi di Casciana Terme. Il Complesso Neoautoctono si compone di depositi pliocenici alla base e, al di sopra, da sedimenti trasgressivi pleistocenici (Pleistocene inferiore); seguono ancora sedimenti continentali essenzialmente fluviali formati a partire dal Pleistocene medio.

Le formazioni presenti nell'area in studio, elencate dalla più antica alla più recente, sono quindi le seguenti.

### *COMPLESSO NEOAUTOCTONO*

**Argille e sabbie di Marginone-Mastromarco (AGM)** - Si tratta di sabbie gialle, limi sabbiosi ed argille limose di colore grigio-nocciola, con strutture sedimentarie ed associazione fossilifera (malacofaune dulcicole e terrestri) di ambiente di posizione fluviale e palustre. Sono presenti talvolta anche livelli conglomeratici, spesso cementati e con elementi prevalentemente carbonatici. Età: *Rusciniano – Villafranchiano sup.*

**Formazione delle Cerbaie (CTB)** – Conglomerato debolmente cementato in matrice sabbiosa, di colore prevalentemente rosso ocra, con ciottoli di dimensioni generalmente inferiori a 15 cm di quarziti bianche, rosa, violette, calcari cristallini ed altri litotipi del Monte Pisano, Sono presenti anche livelli di sabbie monogranulari fini, sabbie limose e limi argillosi. E' presente spesso un abbondante argillificazione con presenza di plintiti. Età: *Pleistocene medio.*

In particolare il sito in oggetto ricade al di sopra della Formazione delle Cerbaie (CTB).

## 2. PERICOLOSITÀ SISMICA DELL'AREA

### 2.1. Pericolosità sismica di base

Al fine di conoscere la storia sismica di Santa Maria a Monte, è stata eseguita una ricerca degli eventi storici con risentimento nel territorio comunale, all'interno dei cataloghi sismici pubblicati da vari enti di ricerca. Tra i Cataloghi consultabili si annoverano:

1. NT 4.1.1: Catalogo parametrico dei terremoti italiani al di sopra della soglia del danno (GNDT Camassi e Stucchi, 1997). Cataloga 2488 terremoti dall'anno 1000 al 1992.

2. CFTI4MED: Catalogo Parametrico Dei Forti Terremoti Italiani dal 461 a.C .al 1997 e dell'Area Mediterranea dal 760 a.C. al 1500 (Guidoboni E., G. Ferrari, D. Mariotti, A. Comastri, G. Tarabusi e G. Valensise 2007).

3. CPTI11: Catalogo parametrico dei terremoti italiani. Partendo dalla prima versione CPTI99 che unificava e omogeneizzava, attraverso procedure di stima dei parametri uguali per tutti i terremoti, tutte le informazioni all'epoca disponibili, compreso il catalogo NT 4.1, ha ricompreso, con successive revisioni, la finestra temporale 1000-2006 (A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011).

3. DOM 4.1 Database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno (GNDT 1997). Non si tratta di un vero e proprio catalogo ma di un data-base delle osservazioni macrosismiche contenente circa 37.000 osservazioni su circa 10.000 località per 904 terremoti; da tale elaborato deriva la Carta delle Massime Intensità macrosismiche (vedi Fig. 1).

Non sono stati rilevati forti terremoti con epicentri localizzati nel territorio comunale di Santa Maria a Monte: la ricerca degli eventi sismici con risentimento nel territorio comunale dal catalogo CFTI4MED mostra 5 eventi registrati, di cui quello più importante è quello del terremoto della Garfagnana del 1920 con Intensità  $I_s = VI-VII$ , che "...causò danni alla chiesa parrocchiale e a molte abitazioni" (da La Nazione n. 215 dell' 8 Settembre 1920).

| Earthquakes for Santa Maria a Monte |          | n. 5   |        |        |     |       |           |       |      |     |     |                    |         |     |     |
|-------------------------------------|----------|--------|--------|--------|-----|-------|-----------|-------|------|-----|-----|--------------------|---------|-----|-----|
| Date                                | Time     | $I_s$  | Lat    | Lon    | Rel | $I_o$ | $I_{max}$ | Sites | Nref | Me  | Rme | Location           | Country | New | Unk |
| 1983 11 09                          | 16:29:52 | IV     | 44.75  | 10.267 | b   | 6.5   | 7         | 850   | 111  | 5.3 | !   | Parmense           | Italy   |     |     |
| 1920 09 07                          | 05:55:40 | VI-VII | 44.183 | 10.283 | b   | 10    | 10        | 756   | 792  | 6.5 | !   | Garfagnana         | Italy   |     |     |
| 1911 09 13                          | 22:29:02 | III    | 43.433 | 11.35  | b   | 7     | 7         | 115   | 14   | 5.2 |     | Chianti            | Italy   | +   |     |
| 1899 06 26                          | 23:17:22 | IV-V   | 43.95  | 11.117 | b   | 7     | 7         | 140   | 23   | 5.1 | !   | Valle del Bisenzio | Italy   |     |     |
| 1895 05 18                          | 19:55:12 | V      | 43.7   | 11.267 | b   | 8     | 8         | 404   | 540  | 5.4 |     | Fiorentino         | Italy   | *   |     |

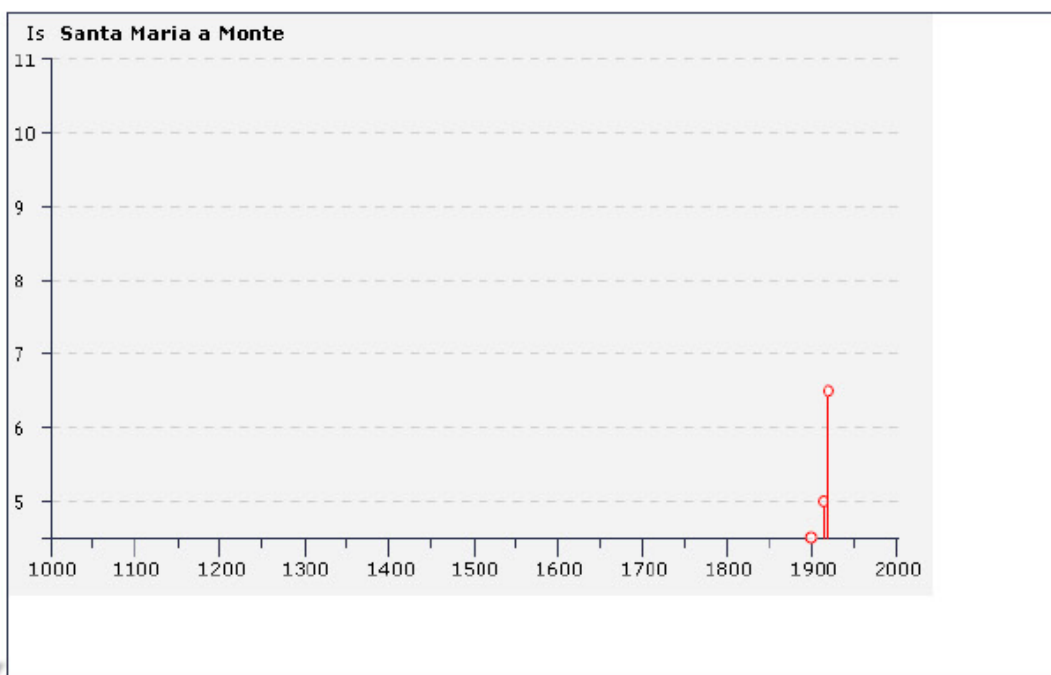
Interrogando invece il catalogo DBMI04 si registrano 7 informazioni per Santa Maria a Monte, come da tabella seguente, dalla quale si evince che le sorgenti epicentrali principali che hanno generato eventi con risentimenti apprezzabili nell'area di Santa Maria Monte sono individuabili principalmente nelle strutture sismogenetiche della Garfagnana-Lunigiana, Bassa Padana-Parmense, Volterrano e Valle del Bisenzio. Gli epicentri dei sismi più forti catalogati sono prevalentemente collocati in area appenninica ed in particolare in Garfagnana-Lunigiana che rappresenta l'area sismogenetica più vicina e più attiva, dove si segnalano i terremoti del 1914 con intensità epicentrale del VII° MCS che hanno comportato un risentimento (intensità al sito Is) del V° MCS a Santa Maria a Monte e quello del 1920 con intensità epicentrale del X° MCS e risentimento del VI°-VII° MCS a Santa Maria a Monte.

## Storia sismica di Santa Maria a Monte [43.698, 10.693]



Numero di eventi: 7

| Effetti | In occasione del terremoto del: |    |    |    |    |                    |     |     |      |
|---------|---------------------------------|----|----|----|----|--------------------|-----|-----|------|
| Is      | Anno                            | Me | Gi | Or | Mi | Area epicentrale   | Np  | Ix  | Mw   |
| F       | 1853                            | 08 | 02 |    |    | VOLTERRANO         | 6   | D   | 4.63 |
| 4-5     | 1899                            | 06 | 26 | 23 | 17 | Valle del Bisenzio | 134 | 7   | 5.09 |
| 4       | 1909                            | 01 | 13 | 00 | 45 | BASSA PADANA       | 799 | 6-7 | 5.53 |
| 5       | 1914                            | 10 | 27 | 09 | 22 | GARFAGNANA         | 618 | 7   | 5.79 |
| 6-7     | 1920                            | 09 | 07 | 05 | 55 | Garfagnana         | 638 | 10  | 6.48 |
| 4       | 1983                            | 11 | 09 | 16 | 29 | Parmense           | 835 | 7   | 5.10 |
| 3-4     | 1995                            | 10 | 10 | 06 | 54 | LUNIGIANA          | 341 | 7   | 5.04 |



Infine, dalla Carta delle massime Osservazioni macrosismiche rilevate nei comuni italiani si deduce invece come il massimo storicamente osservato per il Comune di Santa Maria a Monte sia il VII MCS (vedi Fig. 1).

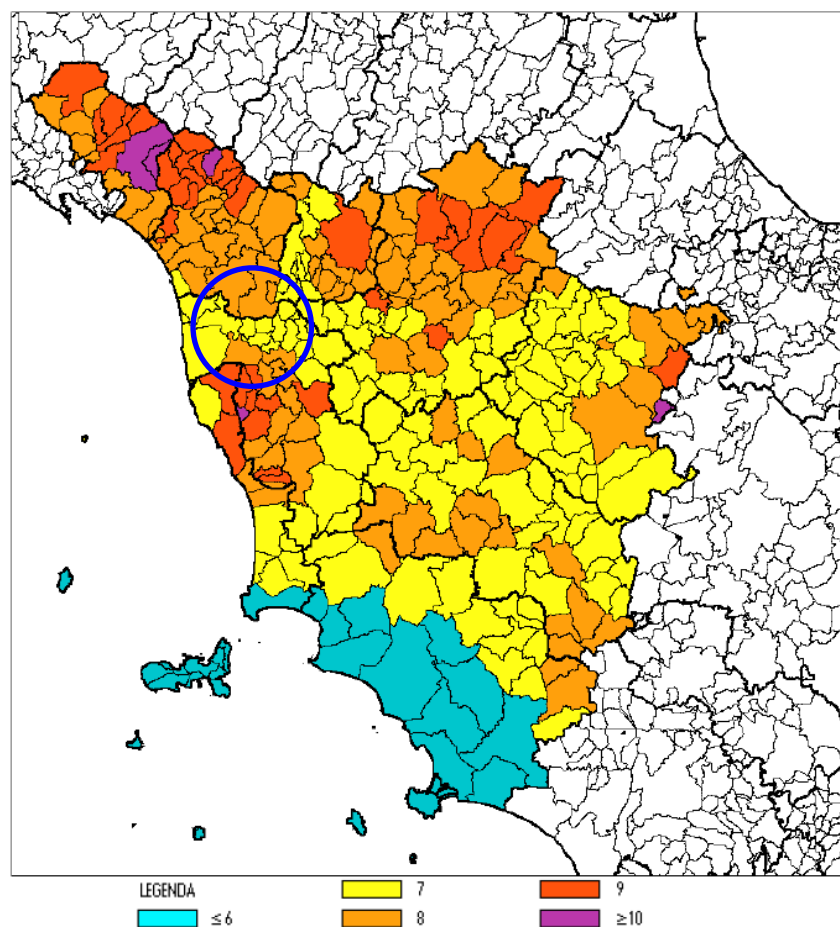


Fig. 1 – Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni toscani valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti dell'INGV marzo 1996

Con la pubblicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (Supplemento Ordinario n. 72 della G.U. n. 105 del 8.05.2003) è finalmente entrata in vigore la nuova Classificazione Sismica del Territorio Italiano, basata sulle indicazioni del Gruppo di Lavoro del Dipartimento della Protezione Civile del 1998: la nuova classificazione è stata recepita dalla Regione Toscana con D.G.R.T. n. 751 del 28 luglio 2003, in base alla quale il territorio del Comune di Santa Maria a Monte è stato definito sismico di Zona 2, caratterizzato da una accelerazione massima su suolo rigido  $ag/g = 0.25$ .

Successivamente la Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile ha approvato, nella seduta del 6 aprile 2004, la nuova Mappa di Pericolosità sismica del Territorio Nazionale (vedi Fig. 2 e 3): questa è stata recepita dalla O.P.C.M. n° 3519 del 28 Aprile 2006 (vedi Fig. 4) ed è divenuta infine la mappa di riferimento prevista dal D.M. 14 Gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni. In base a tale mappa la Regione Toscana, con D.G.R.T. n. 431 del 19/06/2006 ha

riclassificato il territorio del Comune di Santa Maria a Monte sismico di Zona 3s, ancora caratterizzato da una accelerazione massima su suolo rigido  $a_g/g = 0.25$ .

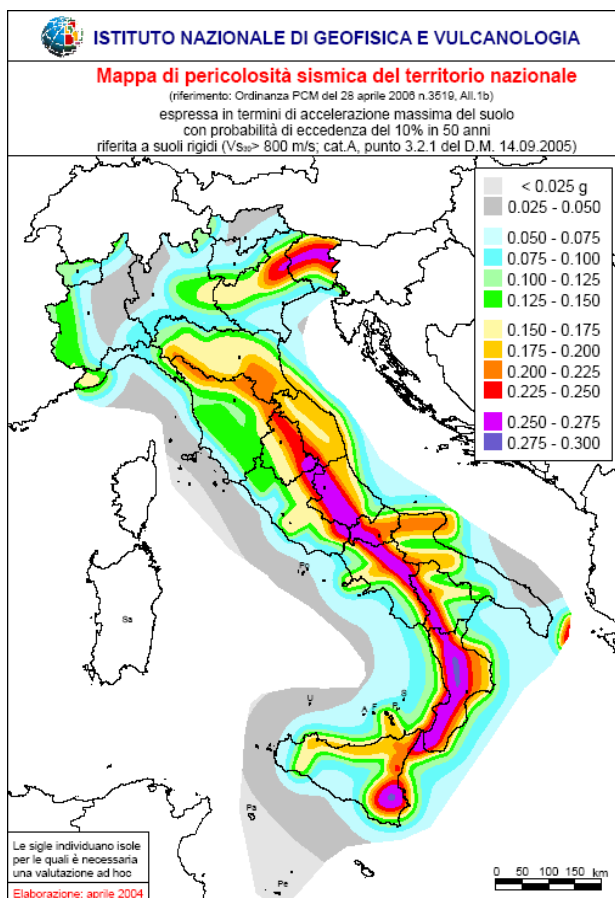


Fig. 2 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

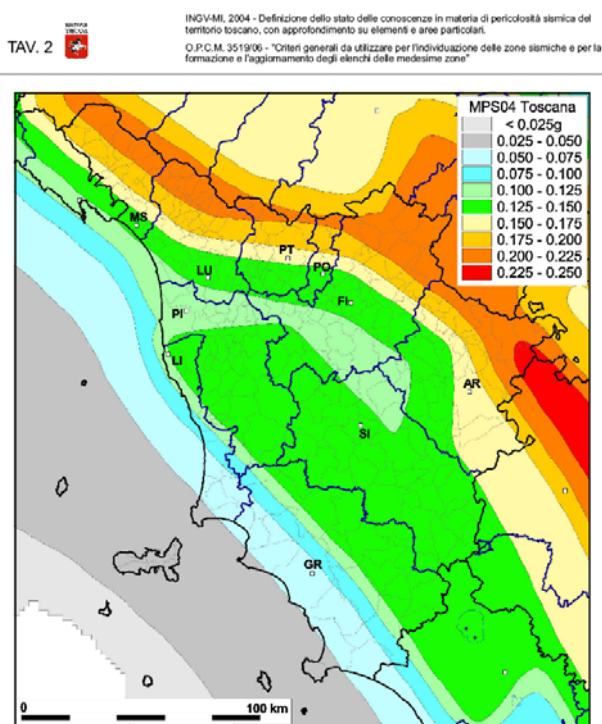


Fig. 3 – Mappa di pericolosità sismica del territorio regionale



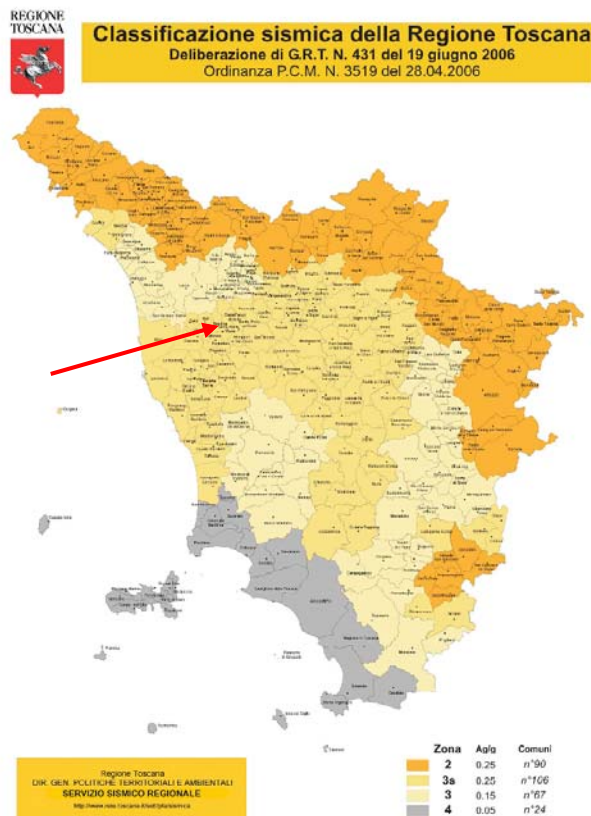


Fig. 4 – Classificazione sismica del territorio regionale

Andando infine ad analizzare la disaggregazione della pericolosità sismica per il territorio di Santa Maria a Monte, in particolare per il sito del cimitero di coordinate ED50 43,7004881 lat e 10,6862166 long, ovvero quali sono i contributi percentuali alla pericolosità sismica forniti dalle coppie Magnitudo-Distanza M-R dei terremoti che possono essere risentiti nell’area, dal sito dell’Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia INGV si ricavano i dati di seguito esposti.

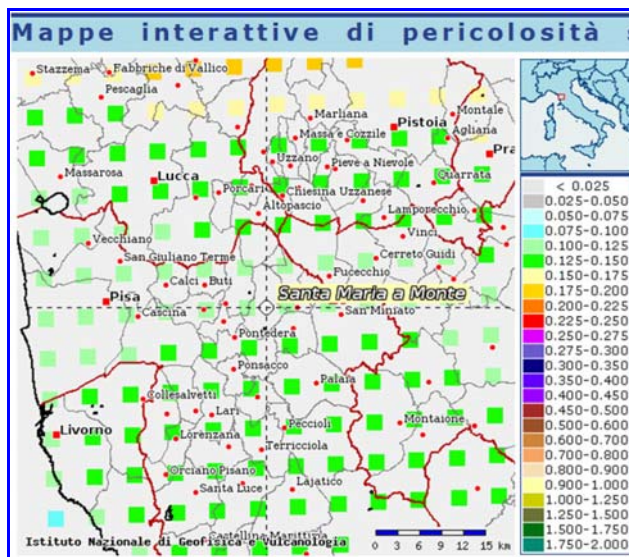
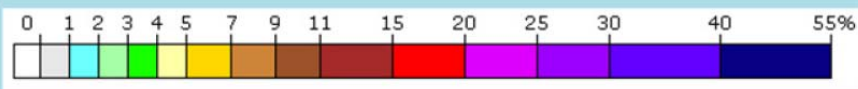
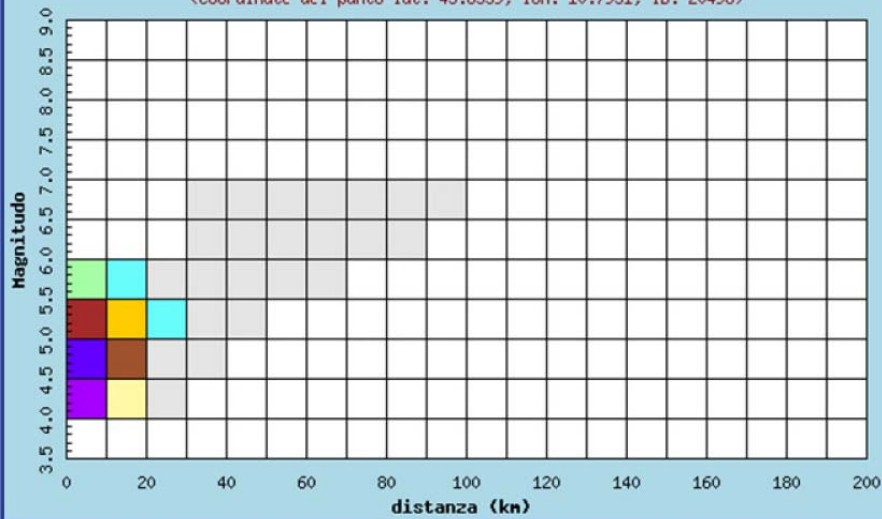


Fig. 5 – Grafico e tavole della disaggregazione della Pericolosità Sismica (per probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ovvero per un tempo di ritorno di 475 anni)

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
 Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza  
 del 10% in 50 anni

(Coordinate del punto lat: 43.6539, lon: 10.7951, ID: 20496)



| Distanza in km | Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni<br>(Coordinate del punto lat: 43.6539, lon: 10.7951, ID: 20496) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | Magnitudo   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|                | 3.5-4.0   | 4.0-4.5 | 4.5-5.0 | 5.0-5.5 | 5.5-6.0 | 6.0-6.5 | 6.5-7.0 | 7.0-7.5 | 7.5-8.0 | 8.0-8.5 | 8.5-9.0 |
| 0-10           | 0.000   | 26.400  | 34.600  | 11.600  | 2.400   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 10-20          | 0.000   | 4.540   | 5.260   | 5.430   | 1.560   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 20-30          | 0.000   | 0.090   | 0.941   | 1.270   | 0.506   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 30-40          | 0.000   | 0.000   | 0.009   | 0.234   | 0.235   | 0.088   | 0.017   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 40-50          | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.016   | 0.168   | 0.236   | 0.050   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 50-60          | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.036   | 0.151   | 0.038   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 60-70          | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.002   | 0.049   | 0.016   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 70-80          | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.010   | 0.006   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 80-90          | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.001   | 0.002   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 90-100         | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 100-110        | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 110-120        | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 120-130        | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 130-140        | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 140-150        | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 150-160        | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 160-170        | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 170-180        | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 180-190        | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 190-200        | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |

| Valori medi |          |         |
|-------------|----------|---------|
| Magnitudo   | Distanza | Epsilon |
| 4.770       | 7.720    | 0.822   |

Il maggior contributo alla pericolosità sismica del sito in studio, che, ricordiamo, indica in  $0.10 \div 0.125$  g (g = accelerazione di gravità) la massima

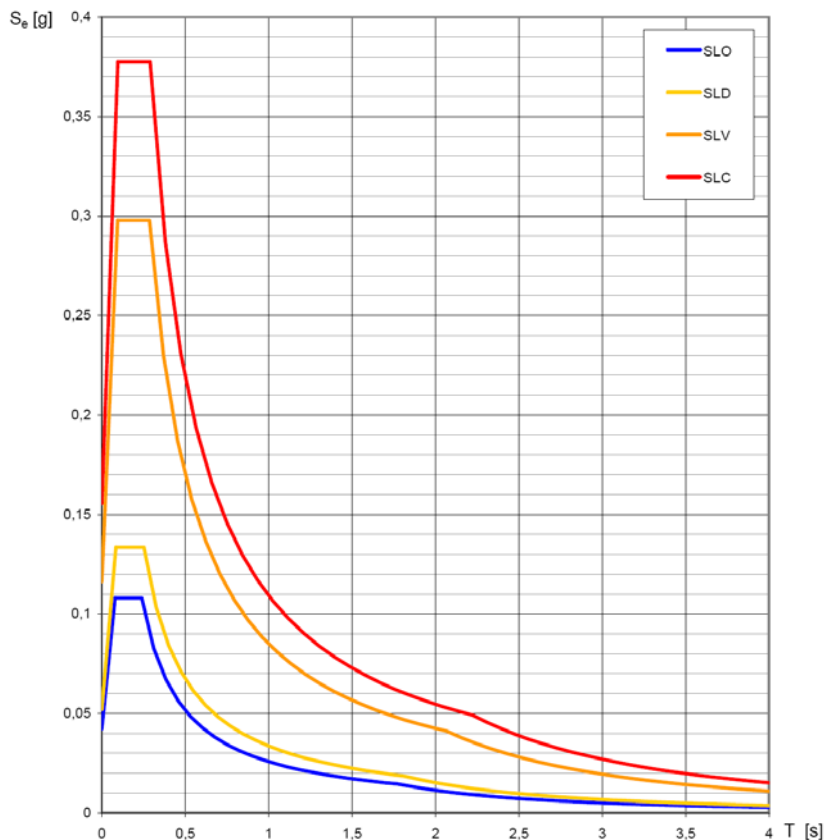
accelerazione su suolo rigido con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, corrispondente ad un tempo di ritorno di 475 anni (vedi Mappa di pericolosità alla pagina precedente), è dato dalla coppia M-R magnitudo  $M = 4.5-5$  e distanza epicentrale  $R = 0-10$  km (percentuale del 34.6 %), mentre i valori medi sono  $M = 4.77$  ed  $R = 7.72$  km.

Ai fini progettuali l'accelerazione di base del sito è definibile attraverso il programma Spettri-NTC Ver 1.0.3. fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Per le coordinate ED50 43,7004881 lat e 10,6862166 long, essa risulta  $a_g = 0,116$ , come da tabella seguente:

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**

| $T_R$<br>[anni] | $a_g$<br>[g] | $F_o$<br>[-] | $T_C^*$<br>[s] |
|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| 30              | 0,042        | 2,558        | 0,239          |
| 50              | 0,052        | 2,563        | 0,252          |
| 72              | 0,059        | 2,580        | 0,262          |
| 101             | 0,068        | 2,559        | 0,267          |
| 140             | 0,076        | 2,566        | 0,271          |
| 201             | 0,087        | 2,559        | 0,276          |
| 475             | 0,116        | 2,562        | 0,285          |
| 975             | 0,156        | 2,426        | 0,290          |
| 2475            | 0,205        | 2,426        | 0,298          |

**Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite**



Per quanto concerne i parametri da assumere nella progettazione, per un tempo di ritorno di 475 anni, Classe d'uso II, Vita nominale  $V_n = 50$  anni e Vita di riferimento  $V_R = C_u * V_N = 1,0 * 50 = 50$  anni come comunicato dalla Committente, si ottengono, sempre dal programma "Spettri – NTC" pubblicato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, i seguenti valori di  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c^*$  (vedi anche gli spettri alla pag. precedente):

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

| SLATO LIMITE | $T_R$<br>[anni] | $a_g$<br>[g] | $F_o$<br>[-] | $T_c^*$<br>[s] |
|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| SLO          | 30              | 0,042        | 2,558        | 0,239          |
| SLD          | 50              | 0,052        | 2,563        | 0,252          |
| SLV          | 475             | 0,116        | 2,562        | 0,285          |
| SLC          | 975             | 0,156        | 2,426        | 0,290          |

## 2.2. Stabilità generale e potenziale di liquefazione

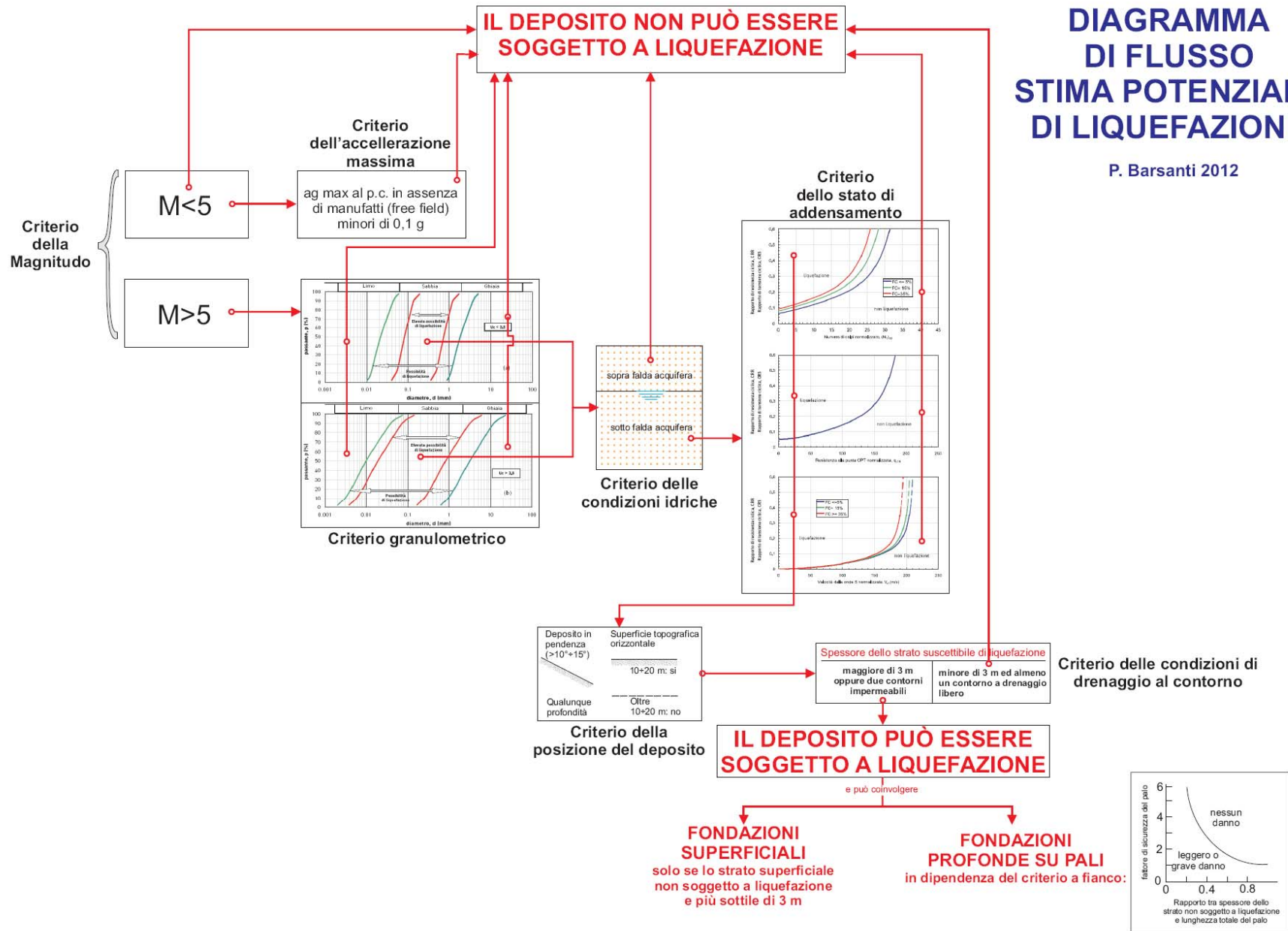
Nelle nuove norme, così come nelle vecchie, deve innanzitutto essere verificato che i terreni siano esenti da rischi di instabilità di pendii e di cedimenti permanenti causati da fenomeni di liquefazione o eccessivo addensamento in caso di terremoto. Nel caso in studio sono esclusi problemi di stabilità, essendo il sito edificando subpianeggiante.

Per quanto concerne la verifica alla liquefazione del deposito, il D.M. 14 Gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni, prescrive che la verifica alla liquefazione non sia eseguita qualora si verifichi almeno una delle seguenti le seguenti condizioni (vedi anche il diagramma di flusso alla pag. seguente:

- 1) Eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
- 2) accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field (assenza di manufatti) minore di 0.1 g;
- 3) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 4) depositi con costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  kPa, dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata con prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
- 5) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle Fig. 7.11.1 delle norme.

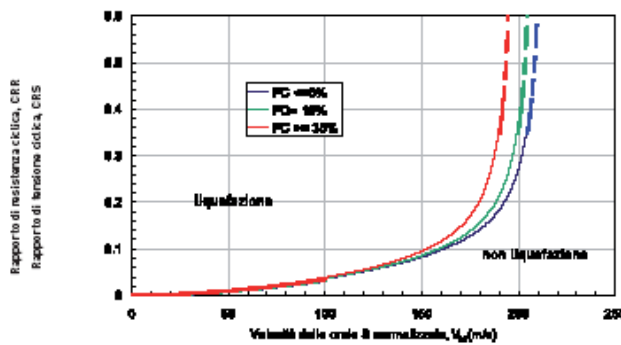
# DIAGRAMMA DI FLUSSO STIMA POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

P. Barsanti 2012



Con riferimento alla disaggregazione della pericolosità sismica riportata alle pagg. 13 e 14, il maggior contributo di pericolosità sismica del territorio in esame è associato alla coppia di valori magnitudo  $M = 4.5 \div 5$  e distanza  $R = 0 \div 10$  km, mentre la Magnitudo media è  $M = 4.77$ , quindi inferiore al limite per cui possono verificarsi fenomeni di liquefazione.

Si aggiunga che i livelli sabbiosi individuati dalla prova penetrometrica CPT risultano al di sopra del livello della falda acquifera (-11.5 m) e soprattutto che le velocità delle onde di taglio dei depositi nell'area di intervento è dell'ordine di  $V_s = 240 \div 380$  m/sec. Pertanto, con riferimento alle curve *Resistenza alla liquefazione CRR contro velocità delle onde di taglio  $V_s$*  sotto riportate (da "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione sismica" – Protezione Civile 2008), si evince che il deposito non è comunque liquefacibile in quanto  $V_s \gg 210$  m/sec, velocità limite per Magnitudo del terremoto  $M = 7.5$  contro la magnitudo di Santa Maria Monte  $M = 4.77$ .



$$V_{s1} = C_v V_{s2}$$

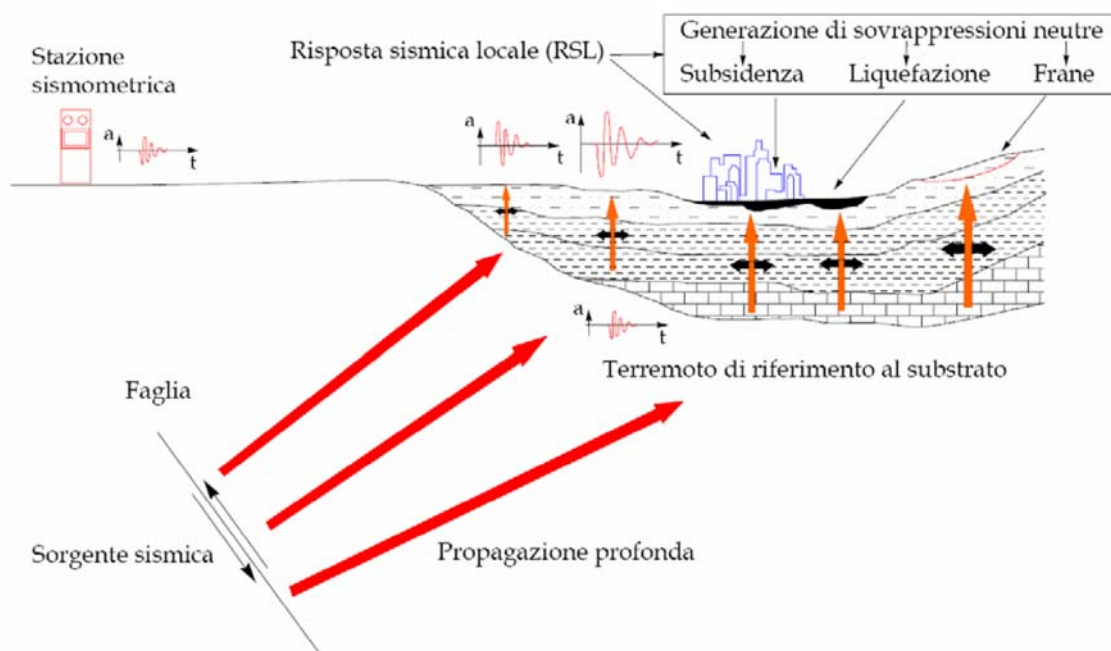
dove:

$p_a$  (pressione atmosferica di riferimento  $\approx 100$  kPa) e  $\sigma'_v$  sono espresse nelle stesse unità di misura

$$C_v = \left( \frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.25}$$

### 2.3. Pericolosità sismica locale - Categoria di sottosuolo

La **Risposta Sismica Locale** è l'azione sismica quale emerge in "superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, subite per effetti morfologici o subite trasmettendosi dal substrato rigido attraverso le coperture.



Ai fini della definizione delle azioni sismiche di progetto, nelle NTC 2008 viene data importanza sostanziale ai diversi profili stratigrafici del sottosuolo, i quali, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidezza sismica, possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base.

La vigente normativa sismica (D.M. 14 Gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni) richiede di verificare le condizioni amplificative dei siti attraverso specifiche analisi di Risposta Sismica Locale, oppure, qualora tali analisi non siano disponibili, attraverso l'approccio semplificato delle "categorie di sottosuolo".

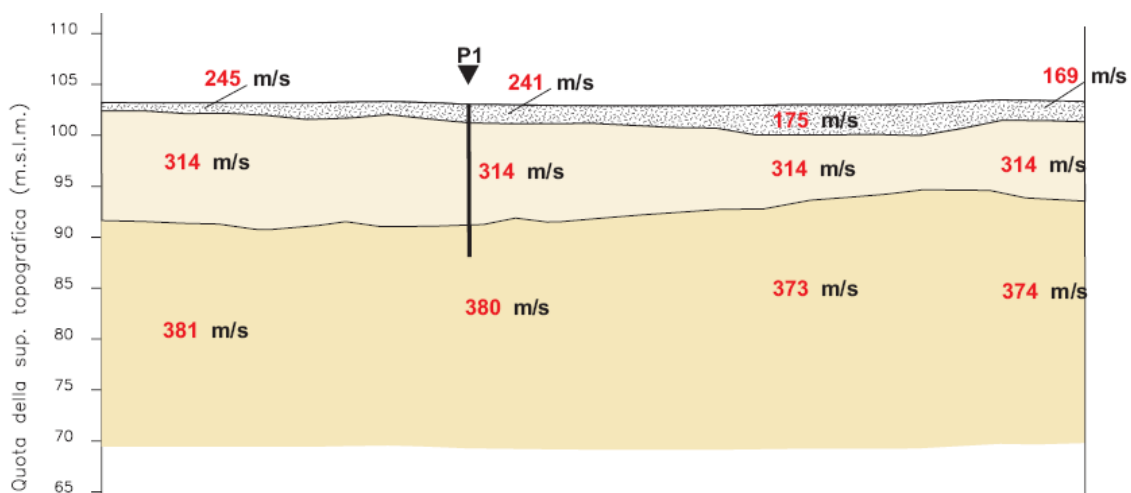
Nella norma vengono pertanto definite per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) categorie di sottosuolo a diversa rigidezza sismica, caratterizzate da velocità  $V_{s30}$  (definita come velocità delle onde di taglio di un terreno omogeneo nei primi 30 metri sotto la base della fondazione equivalente a quella di un terreno stratificato di pari spessore) decrescenti o da contrasti di rigidezza sismica particolari nei primi 20 m sotto la superficie del terreno (categoria E), che determinano diverse condizioni amplificative e diverse cambiamenti della forma spettrale rispetto allo spettro di risposta su suolo rigido:

- A) ***Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  superiori a 800 m/sec,***

eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

- B) **Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti** con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica  $N_{spt30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).
- C) **Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati, o terreni a grana fina mediamente consistenti**, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec ( $15 < N_{spt30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).
- D) **Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati, o terreni a grana fina scarsamente consistenti**, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  inferiori a 180 m/sec (ovvero  $N_{spt30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina).
- E) **Terreni dei sottosuoli tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento** (con  $V_{s30} > 800$  m/sec).

Per la determinazione della “Categoria di suolo di fondazione” e della determinazione dei fattori amplificativi dell’azione sismica, è stato fatto riferimento ai risultati della prospezione sismica a rifrazione con onde P ed Sh ed a quelli delle misure di rumore sismico ambientale. Per il dettaglio delle strumentazioni utilizzate, le modalità operative, i criteri interpretativi ed i risultati si rimanda alla relazione tecnica della Geoprove S.a.S. di cui All.to n° 1.

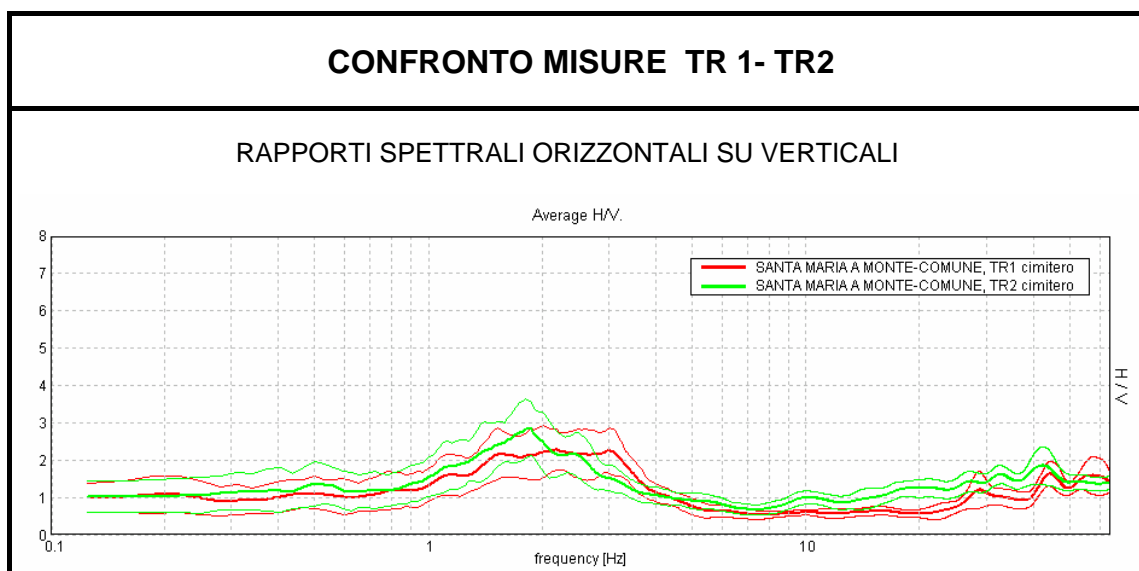




Dalla prospezione a rifrazione si ricava una velocità equivalente delle onde di taglio nei primi 30 m sotto la base delle fondazioni (indicata dal Progettista in -1.0 m sotto la superficie del terreno)  $V_{s30} = 349$  m/sec, velocità alla quale corrisponde la categoria di sottosuolo C:

**C) Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati, o terreni a grana fina mediamente consistenti**, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec ( $15 < N_{spt30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

Il rispetto delle definizioni caratteristiche della categoria C (*graduale miglioramento delle proprietà meccaniche e spessore > 30 m*) e quindi la possibilità di definire l'azione sismica locale mediante l'approccio semplificato delle categorie di sottosuolo, è confermato anche dalle misure di rumore sismico ambientale.

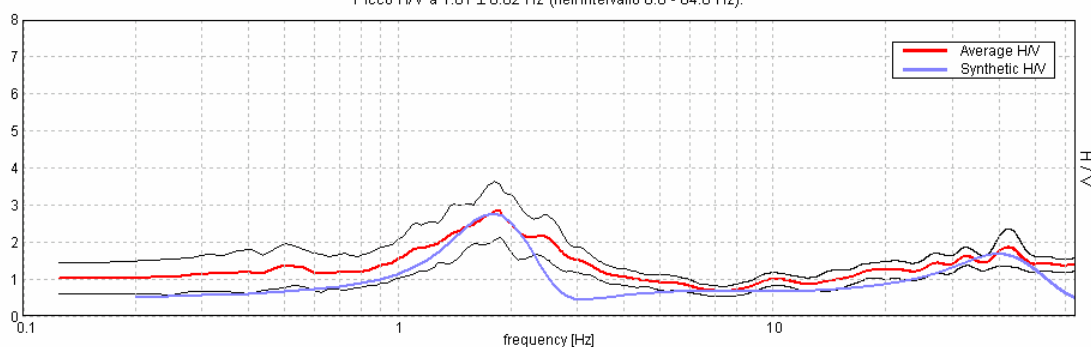


La curva H/V della misura TR2 mostra un picco a 1.81 Hz. Il picco si sovrappone, nella curva H/V di TR1, alla parte a più bassa frequenza di un largo massimo che si estende verso le alte frequenze fino a 3 Hz, probabile espressione della coalescenza di due picchi a frequenze troppo vicine per essere risolti singolarmente.

Sulla base dei dati sismici (sismica a rifrazione) e stratigrafici (prove penetrometriche e sondaggi geognostici) disponibili, è stata eseguita la modellazione della curva H/V di TR2. I risultati ottenuti sono sintetizzati nelle figure seguenti.

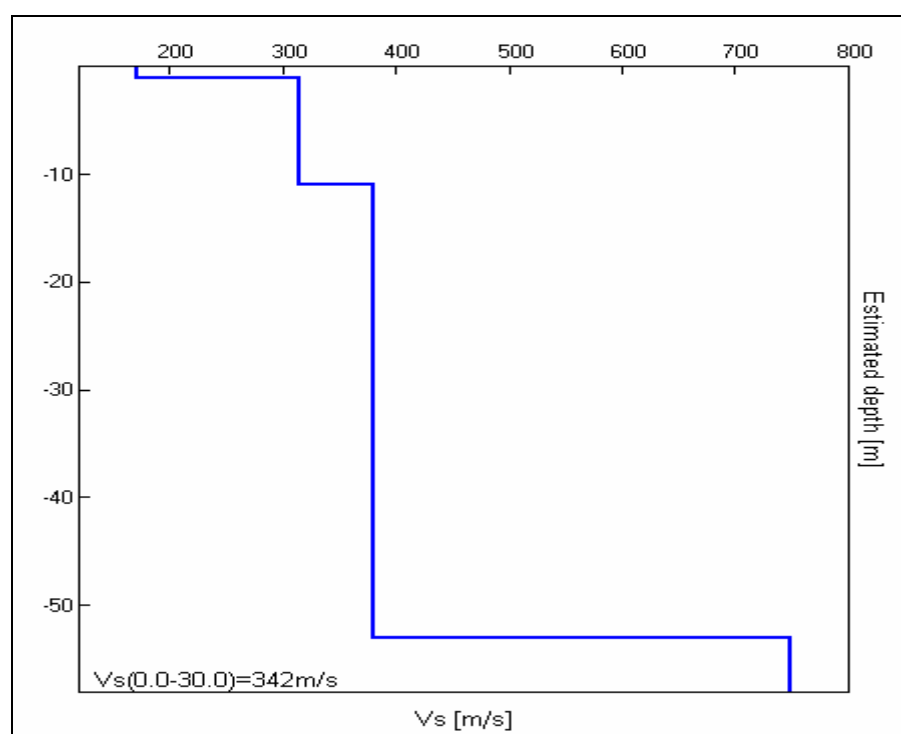
## MODELLAZIONE DELLA CURVA H/V di TR 2

Picco H/V a  $1.81 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



|   | Thickn. [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] | Poiss. | Dens. [m <sup>3</sup> ] |
|---|-------------|----------|----------|--------|-------------------------|
| 1 | 1           | 416      | 170      | 0.40   | 1.8                     |
| 2 | 10          | 716      | 315      | 0.38   | 1.9                     |
| 3 | 42          | 931      | 380      | 0.40   | 1.95                    |
| 4 | 0           | 1705     | 750      | 0.38   | 2.1                     |

### TR2 - Profilo Vs



Il profilo evidenzia un salto di velocità importante ad una profondità di almeno 50 metri ( $\gg 30$  m min per la cat. C). Esso è l'espressione del contrasto di impedenza sismica espresso nella curva H/V di TR2 dal picco alla frequenza di 1.81 Hz, che si verifica all'interno dei depositi fluvio-lacustri del bacino di Lucca-Montecarlo-Vinci (*Argille e sabbie di Marginone/Mastromarco-Ruscignano Sup.?-Villafranchiano Sup.*), stratigraficamente sottostanti i depositi fluviali delle Cerbaie-Altopascio (*Formazione delle Cerbaie- Pleistocene Medio*) affioranti nel sito in esame (vedi

sezioni 274050 e 274090 della Carta Geologica della Regione Toscana alla scala 1:10000).

Per quanto concerne infine le condizioni topografiche, il sito è classificabile in Categoria T1, avendo pendenza media minore di 15° ed altezza inferiore a 30 m, come da tabella sottostante:

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica  |
|-----------|---|
| T1        | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$                      |
| T2        | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$  |
| T3        | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ |
| T4        | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$                  |

## 2.4. Spettro di risposta elastico

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5% moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale: sia la forma spettrale che il valore di  $a_g$  variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento.

In particolare, lo spettro di risposta elastico varia in funzione di alcuni coefficienti, tra i quali, riferibili al “fattore terreno” (vedi tabella)

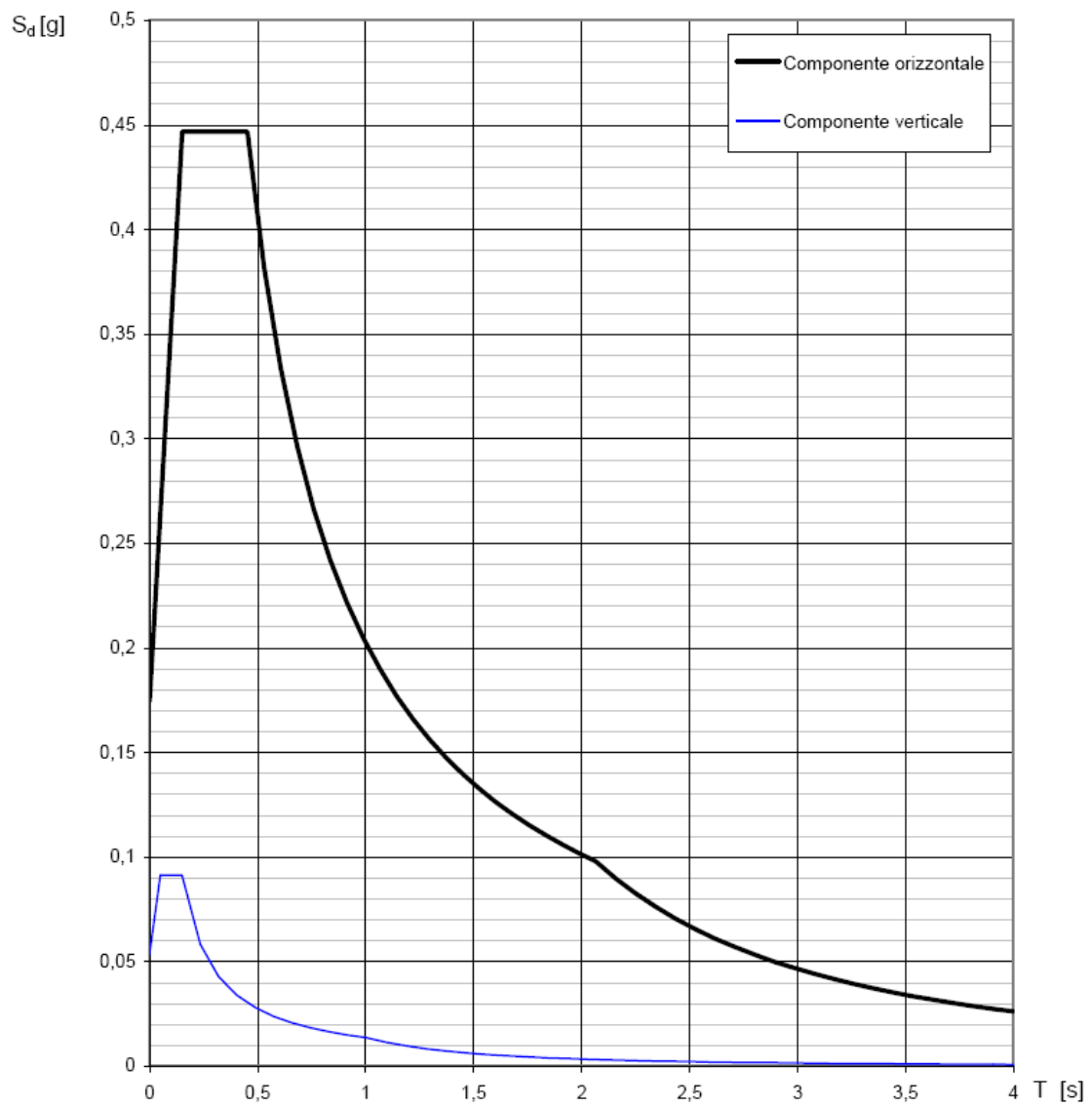
$S = S_s * S_t$  : è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo ( $S_s$ ) e delle condizioni topografiche ( $S_t$ )

$C_c$  = coefficiente funzione della categoria di sottosuolo

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

Definita la categoria di sottosuolo C e la categoria topografica T1, si ottengono, sempre dal programma Spettri-NTC, il seguente spettro di risposta elastico ed i parametri associati:

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



## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

### Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLV     |
|--------------|---------|
| $a_g$        | 0,116 g |
| $F_o$        | 2,562   |
| $T_c$        | 0,285 s |
| $S_s$        | 1,500   |
| $C_c$        | 1,588   |
| $S_T$        | 1,000   |
| $q$          | 1,000   |

### Parametri dipendenti

|        |         |
|--------|---------|
| $S$    | 1,500   |
| $\eta$ | 1,000   |
| $T_B$  | 0,151 s |
| $T_C$  | 0,453 s |
| $T_D$  | 2,065 s |

### Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

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

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

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

|         | T [s] | Se [g] |
|---------|-------|--------|
|         | 0,000 | 0,174  |
| $T_B$ ← | 0,151 | 0,447  |
| $T_C$ ← | 0,453 | 0,447  |
|         | 0,530 | 0,382  |
|         | 0,607 | 0,334  |
|         | 0,684 | 0,296  |
|         | 0,760 | 0,266  |
|         | 0,837 | 0,242  |
|         | 0,914 | 0,222  |
|         | 0,991 | 0,204  |
|         | 1,067 | 0,190  |
|         | 1,144 | 0,177  |
|         | 1,221 | 0,166  |
|         | 1,298 | 0,156  |
|         | 1,374 | 0,147  |
|         | 1,451 | 0,140  |
|         | 1,528 | 0,133  |
|         | 1,605 | 0,126  |
|         | 1,681 | 0,120  |
|         | 1,758 | 0,115  |
|         | 1,835 | 0,110  |
|         | 1,912 | 0,106  |
|         | 1,988 | 0,102  |
| $T_D$ ← | 2,065 | 0,098  |
|         | 2,157 | 0,090  |
|         | 2,249 | 0,083  |
|         | 2,341 | 0,076  |
|         | 2,434 | 0,071  |
|         | 2,526 | 0,066  |
|         | 2,618 | 0,061  |
|         | 2,710 | 0,057  |
|         | 2,802 | 0,053  |
|         | 2,894 | 0,050  |
|         | 2,986 | 0,047  |
|         | 3,079 | 0,044  |
|         | 3,171 | 0,042  |
|         | 3,263 | 0,039  |
|         | 3,355 | 0,037  |
|         | 3,447 | 0,035  |
|         | 3,539 | 0,033  |
|         | 3,631 | 0,032  |
|         | 3,724 | 0,030  |
|         | 3,816 | 0,029  |
|         | 3,908 | 0,027  |
|         | 4,000 | 0,026  |

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV**

**Parametri indipendenti**

| STATO LIMITE | SLV     |
|--------------|---------|
| $a_{gv}$     | 0,054 g |
| $S_S$        | 1,000   |
| $S_T$        | 1,000   |
| $q$          | 1,500   |
| $T_B$        | 0,050 s |
| $T_C$        | 0,150 s |
| $T_D$        | 1,000 s |

**Parametri dipendenti**

|        |       |
|--------|-------|
| $F_v$  | 1,179 |
| $S$    | 1,000 |
| $\eta$ | 0,667 |

**Espressioni dei parametri dipendenti**

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

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left( \frac{a_g}{a_g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

**Punti dello spettro di risposta**

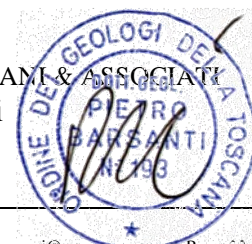
|         | T [s] | Se [g] |
|---------|-------|--------|
|         | 0,000 | 0,054  |
| $T_B$ ← | 0,050 | 0,091  |
| $T_C$ ← | 0,150 | 0,091  |
|         | 0,235 | 0,058  |
|         | 0,320 | 0,043  |
|         | 0,405 | 0,034  |
|         | 0,490 | 0,028  |
|         | 0,575 | 0,024  |
|         | 0,660 | 0,021  |
|         | 0,745 | 0,018  |
|         | 0,830 | 0,017  |
|         | 0,915 | 0,015  |
| $T_D$ ← | 1,000 | 0,014  |
|         | 1,094 | 0,011  |
|         | 1,188 | 0,010  |
|         | 1,281 | 0,008  |
|         | 1,375 | 0,007  |
|         | 1,469 | 0,006  |
|         | 1,563 | 0,006  |
|         | 1,656 | 0,005  |
|         | 1,750 | 0,004  |
|         | 1,844 | 0,004  |
|         | 1,938 | 0,004  |
|         | 2,031 | 0,003  |
|         | 2,125 | 0,003  |
|         | 2,219 | 0,003  |
|         | 2,313 | 0,003  |
|         | 2,406 | 0,002  |
|         | 2,500 | 0,002  |
|         | 2,594 | 0,002  |
|         | 2,688 | 0,002  |
|         | 2,781 | 0,002  |
|         | 2,875 | 0,002  |
|         | 2,969 | 0,002  |
|         | 3,063 | 0,001  |
|         | 3,156 | 0,001  |
|         | 3,250 | 0,001  |
|         | 3,344 | 0,001  |
|         | 3,438 | 0,001  |
|         | 3,531 | 0,001  |
|         | 3,625 | 0,001  |
|         | 3,719 | 0,001  |
|         | 3,813 | 0,001  |
|         | 3,906 | 0,001  |
|         | 4,000 | 0,001  |

Il Progettista, una volta calcolato il fattore di struttura  $q_0$  e valutata la “regolarità o meno in altezza”, potrà definire i parametri e spettri di risposta di progetto per lo stato limite SLV e gli altri SL.

\*\*\*\*\*

Lucca, 07/08/12

STUDIO DI GEOLOGIA BARSANTI, SANI & ASSOCIATI  
dr. Pietro Barsanti



## **STUDIO DI GEOLOGIA**

**BARSANTI, SANI & ASSOCIATI**

via Buiamonti 29 - 55100 LUCCA - Partita IVA: 01134410461  
Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090 e-mail: bar-sani@geoprove.com

## **COMUNE DI SANTA MARIA A MONTE PROVINCIA DI PISA**

**INDAGINI SISMICHE  
DI SUPPORTO AL PROGETTO DI AMPLIAMENTO  
DEL CIMITERO DEL CAPOLUOGO**

**ALL. N° 1 - INDAGINI GEOFISICHE – PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE  
CON ONDE P ED SH - MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE A  
STAZIONE SINGOLA**





**COMUNE DI SANTA MARIA A MONTE**  
**PROVINCIA DI PISA**

*Località: Cimitero di Santa Maria a Monte*

**PROSPEZIONE SISMICA RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH**

**TOMOGRAFIA SISMICA**

**MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE  
A STAZIONE SINGOLA**

**Committente: Comune di Santa Maria a Monte**

**RELAZIONE TECNICA**

**Agosto 2012**

**GEOPROVE S.p.A.**  
Il Socio Accomandatario  
e Direttore Tecnico  
Dr. Geol. Pietro Barsanti  
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)



## I N D I C E

|   |    |
|---|----|
| PREMESSA.....   | 3  |
| PARTE I – PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P ED<br>SH.....       | 4  |
| 1. Possibilità e limiti del metodo sismico a rifrazione .....             | 4  |
| 2. Ulteriori possibilità offerte dal metodo della tomografia sismica..... | 5  |
| 3. Sistema di acquisizione .....  | 6  |
| 4. Sismografo.....  | 6  |
| 5. Sistema energizzante .....   | 7  |
| 6. Trigger.....   | 8  |
| 7. Apparecchiatura di ricezione.....                                      | 8  |
| 8. Elaborazione dati.....   | 8  |
| 8.1. Commento ai risultati delle prospezioni sismiche .....               | 9  |
| PARTE II – MISURE DI RUMORE AMBIENTALE A STAZIONE<br>SINGOLA .....        | 12 |

## ALLEGATI

Planimetria scala 1 : 1000 con ubicazione delle indagini

Documentazione Fotografica

Tabulati, dromocrone e sezioni sismostratigrafiche

Sezioni tomografiche

Tavole delle misure di rumore sismico ambientale

## COMUNE DI SANTA MARIA A MONTE (PI)

### *Località: cimitero di Santa Maria a Monte*

#### PREMESSA

Per incarico dell'*Amministrazione Comunale di Santa Maria a Monte* sono state effettuate indagini sismiche nel cimitero di Santa Maria a Monte (PI) di supporto al progetto di ampliamento di un'ala del cimitero destinata a loculi.

Le indagini, finalizzate alla ricostruzione sismostratigrafica del sottosuolo ed alla analisi di risposta sismica locale ai sensi del vigente D.M. 14 Gennaio 2008 – *Norme tecniche per le costruzioni*, sono state condotte mediante le seguenti tecniche:

- 1) Prospezioni sismiche a rifrazione con onde P ed SH e tomografie sismiche
- 2) misure del rumore sismico ambientale a stazione singola H/V

L'ubicazione delle indagini è riportata nella Planimetria Scala 1:1000 allegata.

L'elaborazione e l'interpretazione dei dati geofisici è stata effettuata in collaborazione con il Dottor Donato Merola.

Le presenti note illustrano la metodologia delle indagini ed i risultati conseguiti.

## PARTE I – PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH

### 1. Possibilità e limiti del metodo sismico a rifrazione

Come è noto, le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo. Nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione"), che sono le più veloci fra le diverse onde elastiche, o trasversali (onde SH o "di taglio") per determinare spessori e andamento dei livelli presenti.

La prospezione consiste nel generare un'onda sismica di compressione o di taglio nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino agli apparecchi di ricezione (*geofoni*) seguendo le leggi di rifrazione dell'ottica (*Legge di Snell*), cioè rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente.

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di ricevitori (*geofoni*) che vengono spazati lungo un determinato allineamento (base sismica) e da un cronografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (*dromocrona*) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali ( $V_p$ ) o trasversali ( $V_s$ ) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti; per lo stesso tipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione; aumenta per contro con la profondità e l'età geologica. Sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione.

Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali (ad esempio roccia fortemente fratturata e materiale detritico saturo con velocità  $V_p$  dell'ordine di 1400÷1700 m/sec), per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
  
- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
  
- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");
  
- aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma può ovviamente ridursi la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati. In presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza sino anche ad 1/3 del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare "attraverso" un terzo intermedio non evidenziabile;
  
- analogamente, incrementi graduali di velocità con la profondità danno origine a dromocrone che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere più contenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e "cercando" sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

Per contro i moderni metodi di elaborazione del dato sismico, come il *Generalized Reciprocal Method (GRM: Palmer - 1980)*, consentono di ricostruire la morfologia sepolta di più rifrattori sovrapposti, variamente "accidentati" e con velocità variabili lungo il profilo, anche in presenza di morfologie di superficie non piane: la buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

## **2. Ulteriori possibilità offerte dal metodo della tomografia sismica**

Il metodo della tomografia sismica è una tecnica di indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse.

Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione delle onde sismiche sotto la superficie, basate sui tempi di primo arrivo (come nella normale sismica a rifrazione) e sulla geometria di acquisizione. Si ricostruisce in tal modo un modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive iterazioni: la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

Il processing dei dati, qui eseguito con il programma RAYFRACT (distribuito dalla Intelligent Resources Inc.), prosegue con la fase di inversione tomografica detta WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.

Successivamente, con la fase di imaging, si otterrà con un software dedicato (SURFER 8) l'immagine della sezione tomografica.

### **3. Sistema di acquisizione**

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sistema composto dalle seguenti parti:

- sismografo
- sorgente energizzante
- trigger
- apparecchiatura di ricezione

### **4. Sismografo**

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico EG&G GEOMETRICS *STRATAVISOR NZXP* a 48 canali avente le seguenti caratteristiche:

- Impedenza di ingresso diff. 20 Kohm
- Impedenza di ingresso common mode: 20 Kohm
- Range dinamico: 144 dB
- Larghezza di banda 1.75÷20.000 Hz
- Digitalizzatore a 24 bit

- Filtri in acquisizione ed in uscita:
- Sommatoria dei segnali fino ad un massimo di 8.000 stacks
- Intervallo di campionamento selezionabile a: 20.0, 31.25, 62.5, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000  $\mu$ s
- Durata della registrazione: 16384 campioni
- Possibilità di registrazione continua per controllo vibrazioni
- Possibilità di registrazione Autostack e Preview
- Possibilità di inversione della polarità (Stack polarity)
- CDP Roll Along
- Visore grafico a cristalli liquidi colore
- Stampante a plotter su carta termica
- Memoria su HD interno 40 Mb o su floppy 3.5" 1.44 Mb
- Sistema Windows XP
- Porta USB

## 5. Sistema energizzante

Sono stati utilizzati diversi sistemi di energizzazione per le onde P e per le onde SH.

Come sorgente energizzante per le onde P è stata utilizzata la classica mazza da 10 kg.

Le onde SH sono state ottenute con un dispositivo di energizzazione costituito da un parallelepipedo (traversina di legno) percosso sulle estremità opposte da una mazza da 10 kg sovraccaricato dal peso di due operatori, in grado di generare onde SH di buon contenuto energetico, uniformi sia nella direzione di propagazione sia nella polarizzazione (+ e -) e, di contro, con una generazione di onde P trascurabile.

Tutte le registrazioni delle SH sono state effettuate con metodo cross-over utilizzando la funzione inversione di polarità offerta dal Geometrics Stratavisor NPXZ, ovvero sia facendo la differenza tra un ugual numero di battute a destra ed a sinistra con polarità invertita: in tal modo viene esaltato l'istante di primo arrivo delle onde SH, mentre vengono abbattute le eventuali onde P spurie.

È stato curato in modo particolare l'accoppiamento della traversina con il terreno: tale metodologia ha consentito di ottenere ovunque registrazioni di buona qualità.

## **6. Trigger**

Il trigger utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un apparecchio starter (geofono starter, starter a lamelle, piezoelettrico od altro) nell'istante in cui il sistema energizzante (maglio, mazza etc.) colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso della durata di qualche secondo che viene inviato al sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

## **7. Apparecchiatura di ricezione**

Per la ricezione delle onde P sono stati utilizzati 24 geofoni verticali Mark Products con frequenza propria di 14 Hz.

Per la ricezione delle onde SH sono stati utilizzati 24 geofoni orizzontali Mark Products con frequenza propria di 10 Hz.

## **8. Elaborazione dati**

Il risultato finale della fase di acquisizione è costituito da una serie di files in formato SEG Y.

Per quanto riguarda la sismica a rifrazione, la successiva elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

1. determinazione dei primi arrivi attraverso il software RAYFRACT, operata prima in automatico e successivamente con aggiustamenti manuali, con particolare attenzione alle fasi d'onda ed alla loro evoluzione;
2. inserimento dei dati ed interpretazione con programma GRM (Generalized Reciprocal Method – Palmer 1980) del Dr. Bruno Vassallo (distribuito da P.A.S.I. s.r.l.) integrato dal metodo dei “tempi intercetti”;
3. output dei tabulati:
  - dati di scoppio (ascissa e quota dei geofoni, ascissa e quota dei punti di energizzazione, tempi di primo arrivo)
  - velocità calcolate per ciascun strato individuato

- profondità calcolate per ciascun strato individuato
4. output delle dromocrone sismiche e della sezione sismostratigrafica interpretativa in formato Coreldraw.

Per la tomografia sismica, l'elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

1. determinazione dei tempi di primo arrivo attraverso il software RAYFRACT, operata prima in automatico e successivamente con aggiustamenti manuali, con particolare attenzione alle fasi d'onda ed alla loro evoluzione.
2. formazione di un database contenente la geometria della linea sismica (posizione altimetrica e planimetrica dei geofoni e degli scoppi) ed i tempi di primo arrivo per ciascun scoppio.
3. Conversione dei dati in formato ASCII.
4. Inversione Delta t-V che permette di ottenere profili monodimensionali (1D) di tipo profondità/velocità.
5. Ottimizzazione del profilo, per iterazioni successive, mediante inversione tomografica WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.
6. Controllo del "fitting" tra tempi misurati e tempi calcolati ed eventuale reiterazione del processo di inversione.
7. Output grafico della sezione tomografica in formato Sfr.

### ***8.1. Commento ai risultati delle prospezioni sismiche***

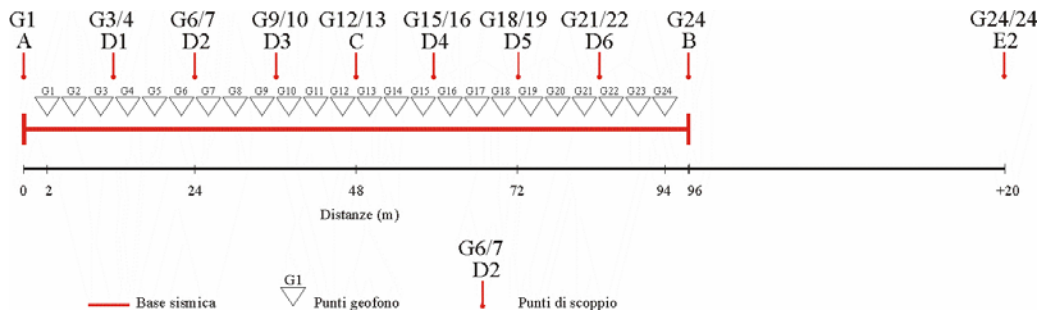
E stata effettuata la seguente prospezione sismica a rifrazione a 24 geofoni, con onde P e con onde SH:

ST1: interasse  $i = 4$  m - lunghezza ml 96

Lo schema di acquisizione della linea (lunghezza, posizione dei punti di energizzazione etc. ) è il seguente:



## ST1



La qualità delle registrazioni ottenute è stata generalmente buona sia per le onde P che per le onde SH e tale da consentire la sicura individuazione dei primi arrivi sulle tracce dei sismogrammi, specie dopo filtraggio Hi-cut a 250 Hz.

In allegato si riportano i diagrammi tempi di arrivo - distanze e le sezioni sismostratigrafiche derivanti dall'interpretazione effettuata al computer con il metodo reciproco generalizzato GRM (*Palmer 1986*) integrato dal metodo dei tempi intercetti che ha consentito la visualizzazione anche degli strati per i quali non si hanno "ricoperture". Si allegano inoltre le sezioni tomografiche elaborate con il programma RAYFRACT. Queste ultime offrono ovviamente una maggiore discretizzazione delle velocità rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale, individuando in genere, per la caratteristica intrinseca dell'algoritmo di calcolo (basato sui gradienti di velocità) spessori diversi da quelli valutati utilizzando la sismica a rifrazione classica. In questo caso si osserva comunque una buona corrispondenza tra i risultati dei due metodi.

L'attribuzione delle litologie ai vari sismostrati individuati dalle prospezioni è stata effettuata sulla base della stratigrafia dei due sondaggi (S1 e S2) e della carta geologica scala 1:2000 forniti dal Committente, tenuto conto anche dei dati delle 2 prove penetrometriche eseguite nello stesso contesto di indagine e delle informazioni contenute nelle sezioni 274050 e 274090 della Carta Geologica della Regione Toscana alla scala 1: 10000.

In dettaglio si ha, con riferimento alle sezioni sismostratigrafiche interpretative allegate:

### SEZIONE ST1

*Linea 1207181 (onde P) ÷ 1207182 (onde SH)*

- dalla superficie fino a profondità di 0.5÷1 m (onde P)/0.7÷2.8 m (onde SH) si incontra un primo strato a bassa velocità con  $V_p = 388\div 480$  m/sec e  $V_s = 169\div 245$

*m/sec*, correlabile con del materiale di riporto e con una copertura detritica sabbioso-limoso-argillosa da poco a mediamente addensata;

- segue un secondo strato caratterizzato da  $V_p = 567 \text{ m/sec}$  e da  $V_s = 314 \text{ m/sec}$ , riferibili a sabbie argillose/limose mediamente addensate, talora ghiaiose, con intercalazioni di argille; presenza sporadica di torba, abbondante in alcuni livelli. La base dello strato si incontra a profondità di  $9.5 \div 12.5 \text{ m}$ , secondo le onde P e a profondità di  $8.5 \div 12.5 \text{ m}$ , secondo le onde SH;
- segue un terzo strato caratterizzato da  $V_p = 740 \div 747 \text{ m/sec}$  e da  $V_s = 373 \div 381 \text{ m/sec}$ , riferibili a sabbia argillosa o limosa addensata, con intercalazioni di argille; tracce di torba, talora abbondante. La base dello strato, individuata solo dalle onde P, si incontra a profondità comprese tra 14.5 e 17.5 metri.
- segue un quarto ed ultimo strato caratterizzato da  $V_p = 959-976 \text{ m/sec}$  e ancora e da  $V_s = 373 \div 381 \text{ m/sec}$ , riferibili a sabbia argillosa/limosa addensata e argille molto compatte, con possibili intercalazioni di ghiaie; presenza sporadica di torba, abbondante in alcuni livelli.

Non è stato rilevato un quarto rifratore più veloce (e quindi un quinto strato) entro i primi  $25 \div 30 \text{ m}$  di profondità, che è all'incirca la massima indagata dalle linee sismiche di 96 m.

## PARTE II – MISURE DI RUMORE AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA

### *METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE*

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha un andamento caratterizzato da due picchi a 0.14 e 0.07 Hz che sono prodotti delle onde oceaniche sulle coste. Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda.

A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e nella stima dello spessore della copertura, qualora si abbiano a disposizione, come nel caso in esame, sufficienti dati sismo-stratigrafici al contorno.

Il microtremore sismico ambientale è stato registrato con un tromografo digitale della ditta Micromed (*TROMINO* modello TRZ-0101/01-10) e successivamente analizzato ed elaborato attraverso il software dedicato *GRILLA*.

In particolare, i parametri di base per l'acquisizione e l'elaborazione del segnale sono stati i seguenti:

- Tempo di acquisizione: 30 min
- Frequenza di campionamento: 128 Hz
- Larghezza delle finestre d'analisi: 30 s

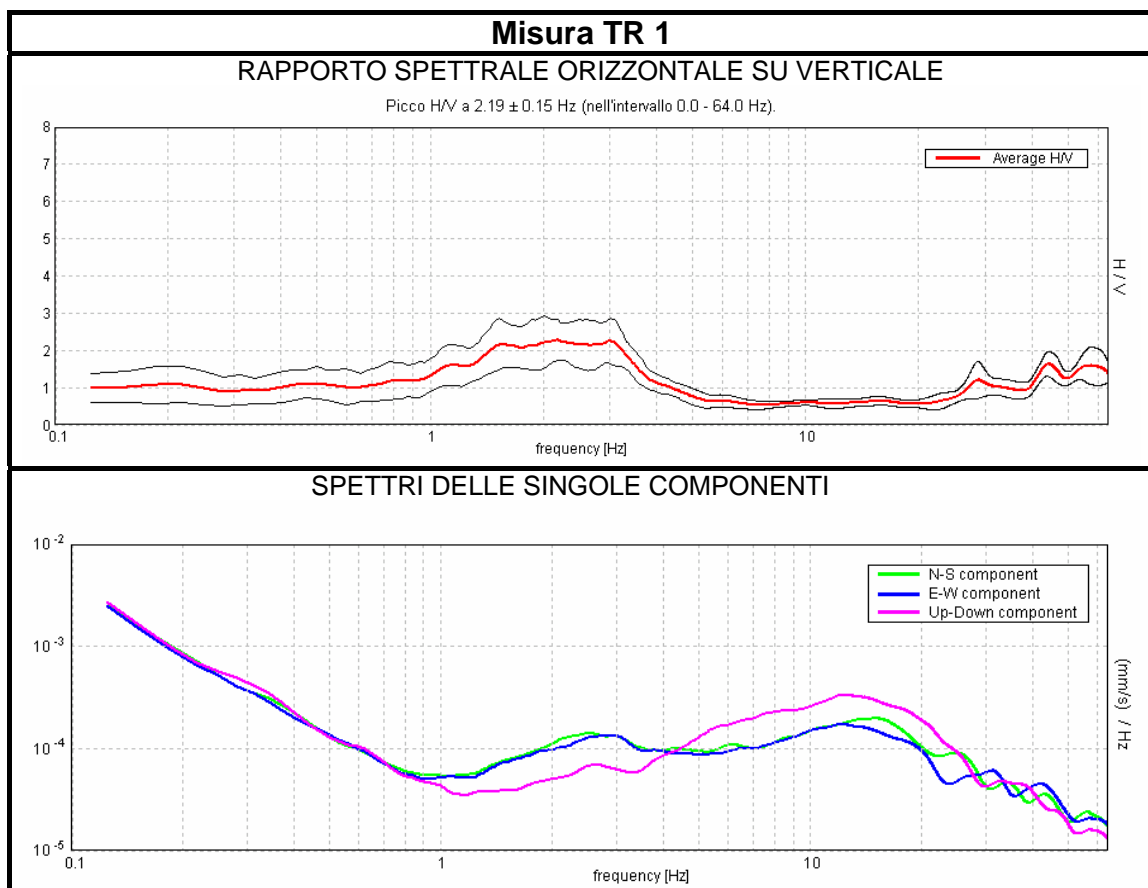
- Lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale

Per ulteriori informazioni sulle misure effettuate (condizioni ambientali, tipo di superficie di misura, “pulizia” dei dati, processing, spettri ottenuti, ecc.) si rimanda alle tavole di sintesi allegate. Le tavole riportano anche, per ogni misura, una stima della sua affidabilità secondo gli standard suggeriti dalle linee guida del SESAME Projet (2004) e da Albarello *et alii* (2010).

## RISULTATI

Sono state eseguite n° 2 misure di rumore sismico, TR1 e TR2, ubicate in prossimità degli estremi della linea sismica a rifrazione (vedi planimetria allegata).

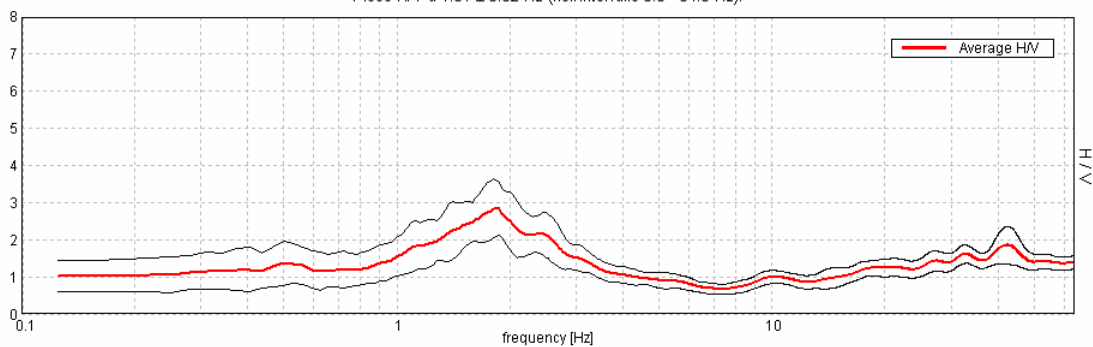
Di seguito sono riportati, per ciascuna delle due misure, i grafici che mostrano, in funzione della frequenza, i valori dei rapporti spettrali H/V e l’ampiezza delle singole componenti:



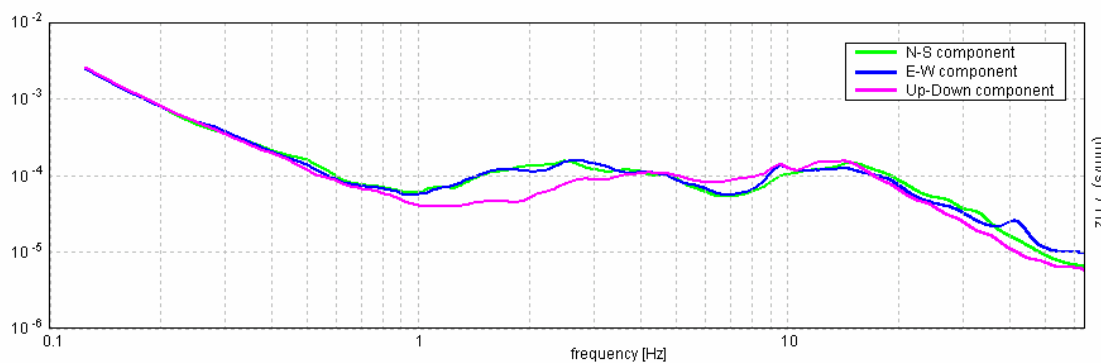
## Misura TR 2

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Picco HV a  $1.81 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



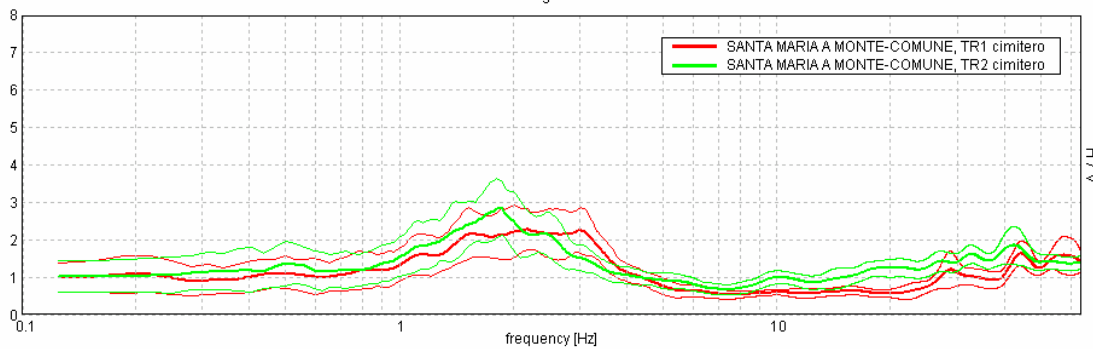
### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



## CONFRONTO MISURE TR 1- TR2

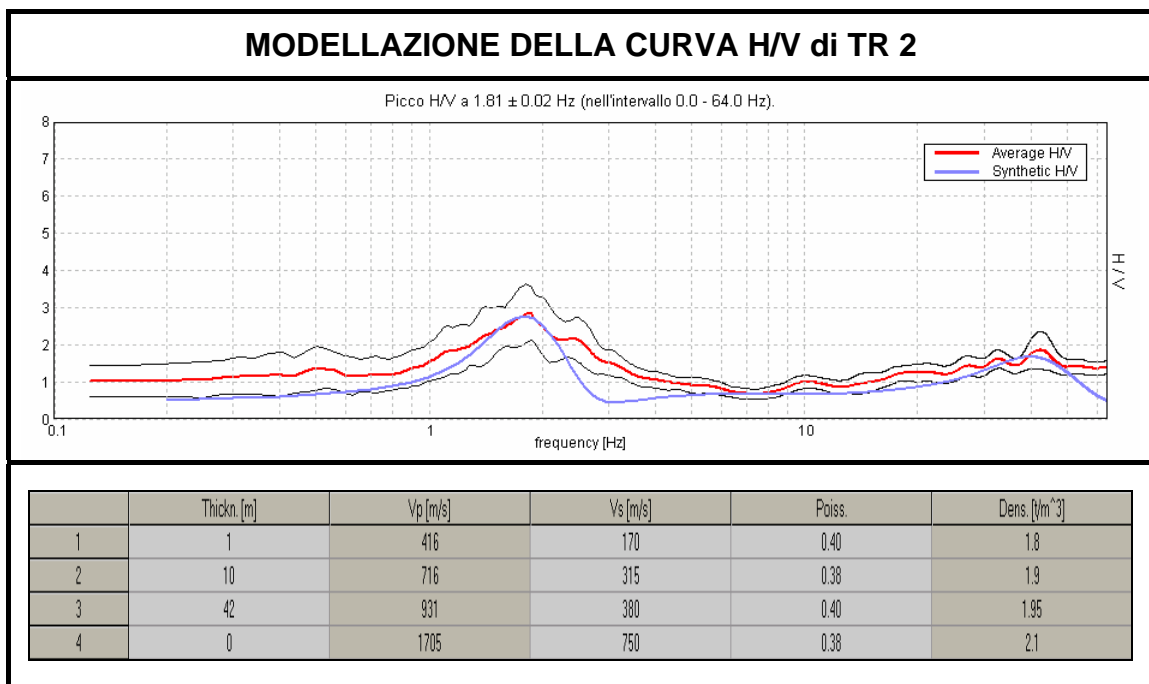
### RAPPORTI SPETTRALI ORIZZONTALI SU VERTICALI

Average H/V.

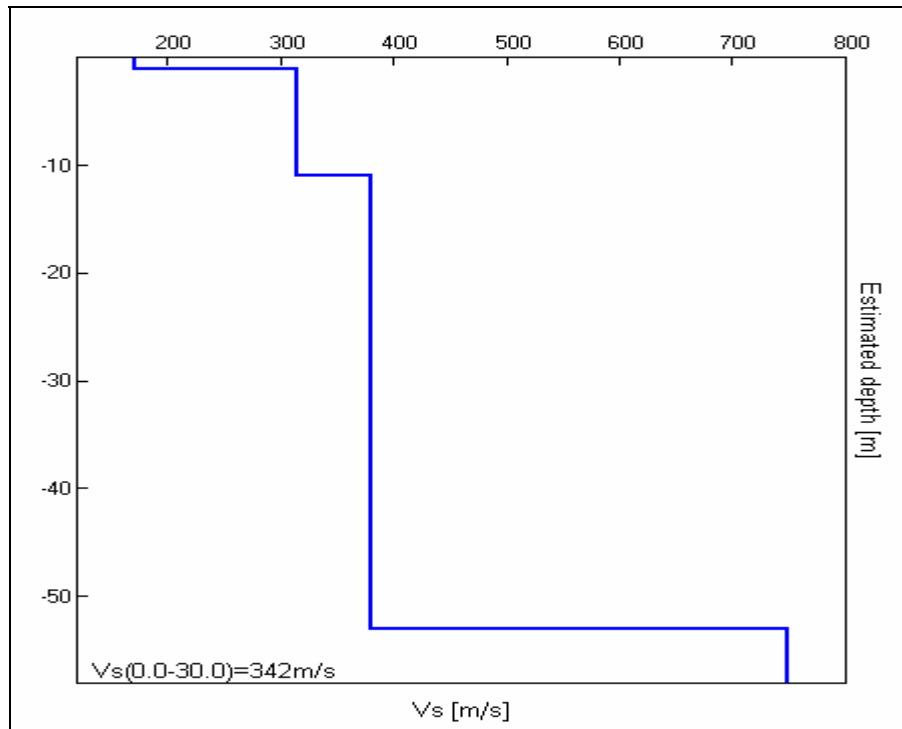


La curva H/V della misura TR2 mostra un picco a 1.81 Hz. Il picco si sovrappone, nella curva H/V di TR1, alla parte a più bassa frequenza di un largo massimo che si estende verso le alte frequenze fino a 3 Hz, probabile espressione della coalescenza di due picchi a frequenze troppo vicine per essere risolti singolarmente. Tale massimo è probabilmente leggermente attenuato per effetto dell'inversione di velocità superficiale da cui è affetta la misura TR1 (H/V minore di 1 tra 4 e 16 Hz), dovuta al contrasto di impedenza tra un sottile strato superficiale di terreno indurito ed essiccato ed il terreno sottostante molto meno rigido sismicamente.

Sulla base dei dati sismici (sismica a rifrazione) e stratigrafici (prove penetrometriche e sondaggi geognostici) disponibili, è stata eseguita la modellazione della curva H/V di TR2. I risultati ottenuti sono sintetizzati nelle figure seguenti.



### TR2 - Profilo Vs



Il profilo evidenzia un salto di velocità importante ad una profondità di almeno 50 metri. Esso è l'espressione del contrasto di impedenza sismica espresso nella curva H/V di TR2 dal picco alla frequenza di 1.81 Hz, che si verifica all'interno dei depositi fluvio-lacustri del bacino di Lucca-Montecarlo-Vinci (*Argille e sabbie di Marginone/Mastromarco-Ruscignano Sup.?-Villafranchiano Sup.*), stratigraficamente sottostanti i depositi fluviali delle Cerbaie-Altopascio (*Formazione delle Cerbaie- Pleistocene Medio*) affioranti nel sito in esame (vedi sezioni 274050 e 274090 della Carta Geologica della Regione Toscana alla scala 1:10000).

\*\*\*\*\*

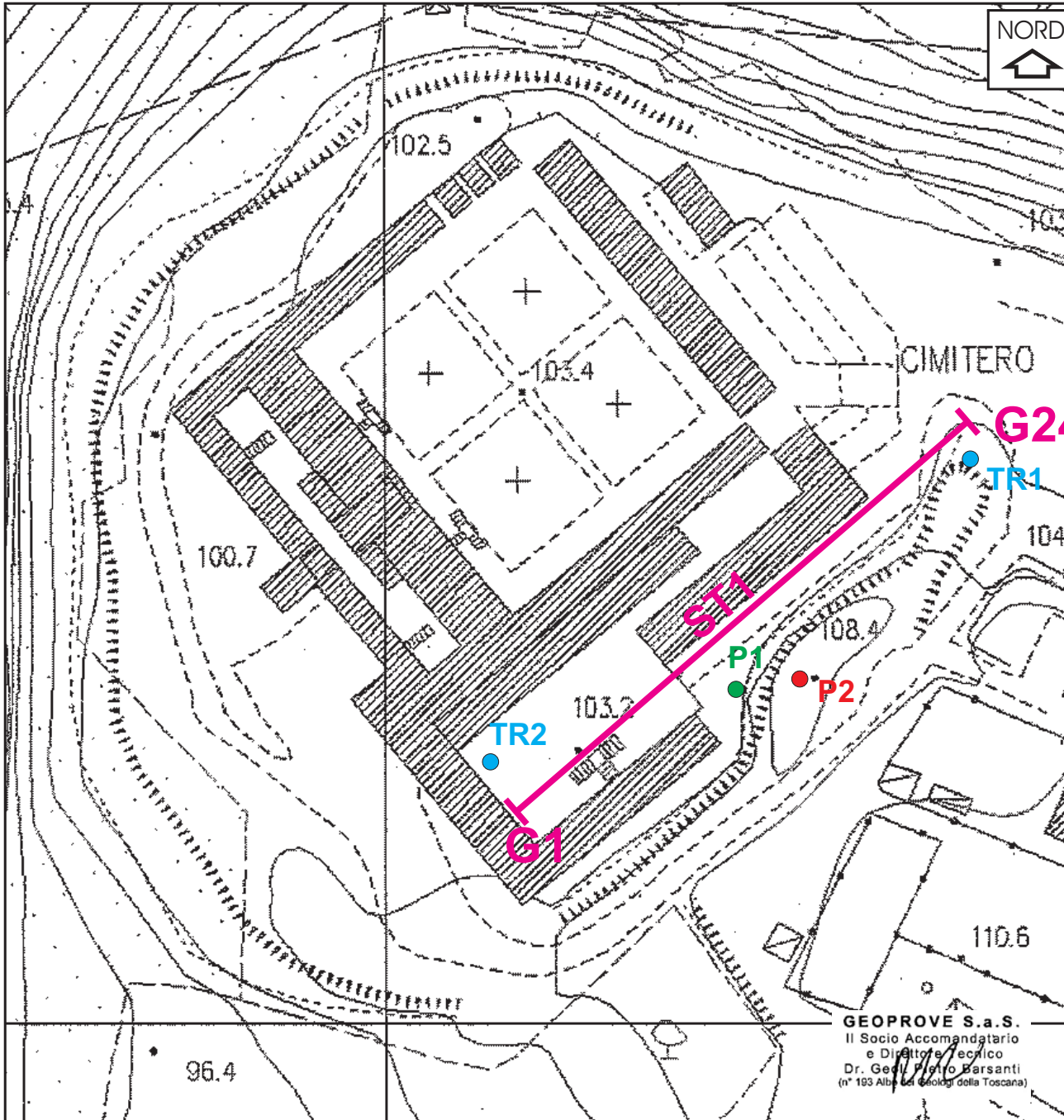
Lucca, 02/08/12

Collaboratore:  
Dr. Donato Merola



GEOPROVE S.A.S.  
Socio Accomandatario  
e Direttore Tecnico  
Dr. Pietro Barsanti

**GEOPROVE S.a.S.**  
Il Socio Accomandatario  
e Direttore Tecnico  
Dr. Geol. Pietro Barsanti  
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)



**GEOPROVE sas**  
 DI PIETRO BARSANTI, ALESSANDRO PETRONI & C.  
**GEOGNOSTICA - GEOFISICA  
 PROVE PENETROMETRICHE**  
 via Buiamonti, 29 LUCCA - Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090  
 http://www.geoprove.com e-mail info@geoprove.com P.I. 01066010461

**COMUNE DI S. MARIA A MONTE**





**PROVINCIA DI PISA**

Località: Cimitero

Committente:  
 Comune di Santa Maria a Monte

**PLANIMETRIA**  
 Scala 1:1000

**LEGENDA**

-  **G1 ST1 G24** Linea sismica a rifrazione
-  Prova penetrometrica statica/dinamica CPT/DPSH
-  Prova penetrometrica dinamica DPSH
-  Misure di rumore sismico ambientale a stazione singola

**GEOPROVE S.a.S.**  
 Il Socio Accomandatario  
 e Direttore Tecnico  
 Dr. Geol. Pietro Barsanti  
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)





**COMUNE DI SANTA MARIA A MONTE**  
**PROVINCIA DI PISA**

*Località: Cimitero di Santa Maria a Monte*

**PROSPEZIONE SISMICA RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH**

**TOMOGRAFIA SISMICA**

**MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE  
A STAZIONE SINGOLA**

**Committente: Comune di Santa Maria a Monte**

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**

# Comune di Santa Maria a Monte

Località: Cimitero

*Prospezioni sismiche a rifrazione con onde P ed onde S e tomografia sismica*



*Profilo ST1 – Panoramica del sito indagato e stralcio dello stendimento di geofoni da 10Hz con interdistanza 4m.*



*Profilo ST1 – Stralcio dello stendimento di sismica a rifrazione e sistema utilizzato per la generazione delle onde sismiche di taglio (traversina di legno con sovraccarico percossa da un pendolo alle estremità).*



**COMUNE DI SANTA MARIA A MONTE**  
**PROVINCIA DI PISA**

*Località: Cimitero di Santa Maria a Monte*

**PROSPEZIONE SISMICA RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH**

**TOMOGRAFIA SISMICA**

**MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE  
A STAZIONE SINGOLA**

**Committente: Comune di Santa Maria a Monte**

**TABULATI , DROMOCRONE E SEZIONI  
SISMOSTRATIGRAFICHE**

**GEOPROVE S.a.S.**  
Il Socio Accomandatario  
e Direttore tecnico  
Dr. Geol. Pietro Barsanti  
(n° 163 Albo dei Geologi della Toscana)

**PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P**  
**INTERPRETAZIONE CON METODO RECIPROCO GENERALIZZATO (GRM)**

Committente : Comune di Santa Maria a Monte  
Data : 18/07/12  
Località : Santa Maria a Monte (PI)  
Prospettore : GEOMETRICS STRATAVISOR NZXP  
Sorgente : mazza da 10 kg  
Linea : 1207181 – ST1  
Lunghezza : 96 ml  
Orientamento : SE - NW

DATI DI SCOPPIO 1207181 – ST1

SCOPPIO 1 - X (m) .10 QUOTA 103.20 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 3.800000        | 103.200000 |
| 6.000000  | 13.500000       | 103.200000 |
| 10.000000 | 20.600000       | 103.200000 |
| 14.000000 | 28.600000       | 103.200000 |
| 18.000000 | 38.500000       | 103.200000 |
| 22.000000 | 44.600000       | 103.200000 |
| 26.000000 | 52.600000       | 103.300000 |
| 30.000000 | 60.600000       | 103.300000 |
| 34.000000 | 66.900000       | 103.100000 |
| 38.000000 | 72.300000       | 103.000000 |
| 42.000000 | 80.300000       | 103.000000 |
| 46.000000 | 85.600000       | 102.900000 |
| 50.000000 | 91.000000       | 102.900000 |
| 54.000000 | 97.100000       | 102.900000 |
| 58.000000 | 103.400000      | 102.900000 |
| 62.000000 | 106.100000      | 102.900000 |
| 66.000000 | 113.100000      | 103.000000 |
| 70.000000 | 118.400000      | 103.000000 |
| 74.000000 | 123.000000      | 103.000000 |
| 78.000000 | 126.500000      | 103.000000 |
| 82.000000 | 130.100000      | 103.100000 |
| 86.000000 | 132.800000      | 103.400000 |
| 90.000000 | 135.400000      | 103.500000 |
| 94.000000 | 138.100000      | 103.200000 |

SCOPPIO 2 - X (m) 12.00 QUOTA 103.20 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 19.800000       | 103.200000 |
| 6.000000  | 11.800000       | 103.200000 |
| 10.000000 | 4.300000        | 103.200000 |
| 14.000000 | 4.600000        | 103.200000 |
| 18.000000 | 12.600000       | 103.200000 |
| 22.000000 | 19.300000       | 103.200000 |
| 26.000000 | 26.900000       | 103.300000 |
| 30.000000 | 34.900000       | 103.300000 |
| 34.000000 | 42.000000       | 103.100000 |
| 38.000000 | 48.300000       | 103.000000 |
| 42.000000 | 55.400000       | 103.000000 |
| 46.000000 | 62.900000       | 102.900000 |
| 50.000000 | 68.800000       | 102.900000 |
| 54.000000 | 75.600000       | 102.900000 |
| 58.000000 | 82.100000       | 102.900000 |
| 62.000000 | 85.600000       | 102.900000 |
| 66.000000 | 90.100000       | 103.000000 |
| 70.000000 | 97.100000       | 103.000000 |
| 74.000000 | 101.600000      | 103.000000 |
| 78.000000 | 104.300000      | 103.000000 |
| 82.000000 | 109.600000      | 103.100000 |
| 86.000000 | 115.000000      | 103.400000 |
| 90.000000 | 119.400000      | 103.500000 |
| 94.000000 | 123.900000      | 103.200000 |

SCOPPIO 3 - X (m) 24.00 QUOTA 103.20 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 40.600000       | 103.200000 |
| 6.000000  | 34.000000       | 103.200000 |
| 10.000000 | 26.300000       | 103.200000 |
| 14.000000 | 20.600000       | 103.200000 |
| 18.000000 | 14.000000       | 103.200000 |
| 22.000000 | 4.600000        | 103.200000 |
| 26.000000 | 4.300000        | 103.300000 |

SCOPPIO 4 - X (m) 36.00 QUOTA 103.10 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 61.500000       | 103.200000 |
| 6.000000  | 54.400000       | 103.200000 |
| 10.000000 | 46.900000       | 103.200000 |
| 14.000000 | 40.300000       | 103.200000 |
| 18.000000 | 33.100000       | 103.200000 |
| 22.000000 | 26.000000       | 103.200000 |
| 26.000000 | 19.300000       | 103.300000 |
| 30.000000 | 13.500000       | 103.300000 |
| 34.000000 | 5.100000        | 103.100000 |
| 38.000000 | 4.000000        | 103.000000 |
| 42.000000 | 12.300000       | 103.000000 |
| 46.000000 | 20.600000       | 102.900000 |
| 50.000000 | 28.600000       | 102.900000 |
| 54.000000 | 34.400000       | 102.900000 |
| 58.000000 | 42.400000       | 102.900000 |
| 62.000000 | 50.900000       | 102.900000 |
| 66.000000 | 57.500000       | 103.000000 |
| 70.000000 | 61.500000       | 103.000000 |
| 74.000000 | 67.400000       | 103.000000 |
| 78.000000 | 71.400000       | 103.000000 |
| 82.000000 | 76.800000       | 103.100000 |
| 86.000000 | 82.000000       | 103.400000 |
| 90.000000 | 86.900000       | 103.500000 |
| 94.000000 | 92.300000       | 103.200000 |

SCOPPIO 5 - X (m) 48.00 QUOTA 102.90 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 82.900000       | 103.200000 |
| 6.000000  | 77.100000       | 103.200000 |
| 10.000000 | 72.300000       | 103.200000 |
| 14.000000 | 65.100000       | 103.200000 |
| 18.000000 | 58.400000       | 103.200000 |
| 22.000000 | 51.300000       | 103.200000 |
| 26.000000 | 44.600000       | 103.300000 |
| 30.000000 | 39.300000       | 103.300000 |
| 34.000000 | 30.900000       | 103.100000 |
| 38.000000 | 24.300000       | 103.000000 |
| 42.000000 | 15.300000       | 103.000000 |
| 46.000000 | 4.100000        | 102.900000 |
| 50.000000 | 5.100000        | 102.900000 |
| 54.000000 | 14.900000       | 102.900000 |
| 58.000000 | 23.800000       | 102.900000 |
| 62.000000 | 30.000000       | 102.900000 |

SCOPPIO 6 - X (m) 60.00 QUOTA 102.90 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 99.400000       | 103.200000 |
| 6.000000  | 95.800000       | 103.200000 |
| 10.000000 | 89.100000       | 103.200000 |
| 14.000000 | 85.100000       | 103.200000 |
| 18.000000 | 78.900000       | 103.200000 |
| 22.000000 | 71.800000       | 103.200000 |
| 26.000000 | 65.100000       | 103.300000 |
| 30.000000 | 62.000000       | 103.300000 |
| 34.000000 | 54.000000       | 103.100000 |
| 38.000000 | 47.300000       | 103.000000 |
| 42.000000 | 41.500000       | 103.000000 |
| 46.000000 | 33.100000       | 102.900000 |
| 50.000000 | 24.600000       | 102.900000 |
| 54.000000 | 17.100000       | 102.900000 |
| 58.000000 | 5.500000        | 102.900000 |
| 62.000000 | 5.100000        | 102.900000 |
| 66.000000 | 14.400000       | 103.000000 |
| 70.000000 | 21.100000       | 103.000000 |
| 74.000000 | 29.100000       | 103.000000 |
| 78.000000 | 36.600000       | 103.000000 |
| 82.000000 | 42.400000       | 103.100000 |
| 86.000000 | 50.000000       | 103.400000 |
| 90.000000 | 55.800000       | 103.500000 |
| 94.000000 | 61.100000       | 103.200000 |

SCOPPIO 7 - X (m) 72.00 QUOTA 103.00 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 114.000000      | 103.200000 |
| 6.000000  | 110.500000      | 103.200000 |
| 10.000000 | 104.800000      | 103.200000 |
| 14.000000 | 98.000000       | 103.200000 |
| 18.000000 | 92.800000       | 103.200000 |
| 22.000000 | 84.800000       | 103.200000 |
| 26.000000 | 79.800000       | 103.300000 |
| 30.000000 | 77.100000       | 103.300000 |
| 34.000000 | 72.300000       | 103.100000 |
| 38.000000 | 64.600000       | 103.000000 |
| 42.000000 | 61.500000       | 103.000000 |
| 46.000000 | 54.000000       | 102.900000 |
| 50.000000 | 46.900000       | 102.900000 |
| 54.000000 | 38.900000       | 102.900000 |
| 58.000000 | 31.800000       | 102.900000 |
| 62.000000 | 23.800000       | 102.900000 |
| 66.000000 | 14.900000       | 103.000000 |
| 70.000000 | 4.600000        | 103.000000 |
| 74.000000 | 5.100000        | 103.000000 |
| 78.000000 | 16.400000       | 103.000000 |
| 82.000000 | 22.000000       | 103.100000 |
| 86.000000 | 27.800000       | 103.400000 |
| 90.000000 | 34.900000       | 103.500000 |
| 94.000000 | 40.600000       | 103.200000 |

**GEOPROVE S.a.s.**  
 Il Socio Accomandatario  
 e Direttore Tecnico  
 Dr. Gedi Pietro Barsanti  
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

## DATI DI SCOPPIO 1207181 – ST1

SCOPPIO 8 - X (m) 84.00 QUOTA 103.20 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 125.600000      | 103.200000 |
| 6.000000  | 121.100000      | 103.200000 |
| 10.000000 | 115.900000      | 103.200000 |
| 14.000000 | 110.500000      | 103.200000 |
| 18.000000 | 105.100000      | 103.200000 |
| 22.000000 | 99.000000       | 103.200000 |
| 26.000000 | 92.300000       | 103.300000 |
| 30.000000 | 89.100000       | 103.300000 |
| 34.000000 | 84.800000       | 103.100000 |
| 38.000000 | 78.500000       | 103.000000 |
| 42.000000 | 75.400000       | 103.000000 |
| 46.000000 | 70.000000       | 102.900000 |
| 50.000000 | 64.300000       | 102.900000 |
| 54.000000 | 59.800000       | 102.900000 |
| 58.000000 | 51.300000       | 102.900000 |
| 62.000000 | 43.800000       | 102.900000 |
| 66.000000 | 37.100000       | 103.000000 |
| 70.000000 | 29.600000       | 103.000000 |
| 74.000000 | 22.500000       | 103.000000 |
| 78.000000 | 15.400000       | 103.000000 |
| 82.000000 | 5.100000        | 103.100000 |
| 86.000000 | 5.100000        | 103.400000 |
| 90.000000 | 14.600000       | 103.500000 |
| 94.000000 | 22.500000       | 103.200000 |

|           |            |            |
|-----------|------------|------------|
| 30.000000 | 128.300000 | 103.300000 |
| 34.000000 | 123.900000 | 103.100000 |
| 38.000000 | 121.100000 | 103.000000 |
| 42.000000 | 116.800000 | 103.000000 |
| 46.000000 | 112.300000 | 102.900000 |
| 50.000000 | 108.800000 | 102.900000 |
| 54.000000 | 103.400000 | 102.900000 |
| 58.000000 | 96.300000  | 102.900000 |
| 62.000000 | 89.100000  | 102.900000 |
| 66.000000 | 83.800000  | 103.000000 |
| 70.000000 | 77.600000  | 103.000000 |
| 74.000000 | 71.400000  | 103.000000 |
| 78.000000 | 65.100000  | 103.000000 |
| 82.000000 | 57.500000  | 103.100000 |
| 86.000000 | 50.400000  | 103.400000 |
| 90.000000 | 42.400000  | 103.500000 |
| 94.000000 | 33.500000  | 103.200000 |

**GEOPROVE S.a.S.**  
 Il Socio Accomandatario  
 e Direttore Tecnico  
 Dr. Geo. Pietro Barsanti  
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

SCOPPIO 9 - X (m) 96.00 QUOTA 103.20 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 137.300000      | 103.200000 |
| 6.000000  | 134.500000      | 103.200000 |
| 10.000000 | 130.100000      | 103.200000 |
| 14.000000 | 125.600000      | 103.200000 |
| 18.000000 | 121.800000      | 103.200000 |
| 22.000000 | 117.600000      | 103.200000 |
| 26.000000 | 112.300000      | 103.300000 |
| 30.000000 | 107.900000      | 103.300000 |
| 34.000000 | 103.100000      | 103.100000 |
| 38.000000 | 97.900000       | 103.000000 |
| 42.000000 | 93.800000       | 103.000000 |
| 46.000000 | 89.100000       | 102.900000 |
| 50.000000 | 83.900000       | 102.900000 |
| 54.000000 | 78.000000       | 102.900000 |
| 58.000000 | 72.300000       | 102.900000 |
| 62.000000 | 64.000000       | 102.900000 |
| 66.000000 | 55.400000       | 103.000000 |
| 70.000000 | 47.300000       | 103.000000 |
| 74.000000 | 40.100000       | 103.000000 |
| 78.000000 | 34.000000       | 103.000000 |
| 82.000000 | 26.900000       | 103.100000 |
| 86.000000 | 20.600000       | 103.400000 |
| 90.000000 | 14.400000       | 103.500000 |
| 94.000000 | 5.300000        | 103.200000 |

SCOPPIO 10 - X (m) 116.00 QUOTA 103.10 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 154.100000      | 103.200000 |
| 6.000000  | 151.500000      | 103.200000 |
| 10.000000 | 146.100000      | 103.200000 |
| 14.000000 | 142.600000      | 103.200000 |
| 18.000000 | 139.000000      | 103.200000 |
| 22.000000 | 136.400000      | 103.200000 |
| 26.000000 | 131.900000      | 103.300000 |

# VELOCITÀ 1207181 – ST1

| Ascissa    | Velocità   |            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| STRATO # 1 |            | STRATO # 2 |            | STRATO # 3 |            | STRATO # 4 |            |
| 4.100000   | 464.908600 | 4.100000   | 553.078000 | 4.100000   | 743.843200 | 4.100000   | 979.542700 |
| 8.100000   | 488.620100 | 8.100000   | 567.600800 | 8.100000   | 740.808700 | 8.100000   | 973.853100 |
| 12.100000  | 471.598500 | 12.100000  | 567.600800 | 12.100000  | 743.784200 | 12.100000  | 963.960300 |
| 16.100000  | 454.577000 | 16.100000  | 567.600800 | 16.100000  | 746.759700 | 16.100000  | 967.080000 |
| 20.100000  | 437.555500 | 20.100000  | 567.600800 | 20.100000  | 749.735200 | 20.100000  | 970.199600 |
| 24.100000  | 446.451000 | 24.100000  | 567.600800 | 24.100000  | 744.425600 | 24.100000  | 973.319300 |
| 28.100000  | 455.346600 | 28.100000  | 567.600800 | 28.100000  | 739.116000 | 28.100000  | 963.426500 |
| 32.100000  | 464.242200 | 32.100000  | 567.600800 | 32.100000  | 733.806400 | 32.100000  | 966.546100 |
| 36.100000  | 442.872900 | 36.100000  | 567.600800 | 36.100000  | 744.205000 | 36.100000  | 969.665800 |
| 40.100000  | 421.503600 | 40.100000  | 567.600800 | 40.100000  | 744.205000 | 40.100000  | 959.772900 |
| 44.100000  | 400.134400 | 44.100000  | 567.600800 | 44.100000  | 736.560400 | 44.100000  | 962.892600 |
| 48.100000  | 394.499900 | 48.100000  | 567.600800 | 48.100000  | 735.118300 | 48.100000  | 966.012300 |
| 52.100000  | 388.865400 | 52.100000  | 567.600800 | 52.100000  | 737.458900 | 52.100000  | 969.131900 |
| 56.100000  | 383.230900 | 56.100000  | 567.600800 | 56.100000  | 741.418200 | 56.100000  | 959.239100 |
| 60.100000  | 384.309800 | 60.100000  | 567.600800 | 60.100000  | 745.928000 | 60.100000  | 962.358700 |
| 64.100000  | 385.388800 | 64.100000  | 567.600800 | 64.100000  | 745.343900 | 64.100000  | 965.478400 |
| 68.100000  | 386.467800 | 68.100000  | 567.600800 | 68.100000  | 751.253200 | 68.100000  | 968.598000 |
| 72.100000  | 390.836100 | 72.100000  | 567.600800 | 72.100000  | 742.279500 | 72.100000  | 971.717700 |
| 76.100000  | 395.204400 | 76.100000  | 567.600800 | 76.100000  | 748.455900 | 76.100000  | 974.837300 |
| 80.100000  | 399.572700 | 80.100000  | 567.600800 | 80.100000  | 754.632300 | 80.100000  | 964.944500 |
| 84.100000  | 404.104400 | 84.100000  | 567.600800 | 84.100000  | 747.875700 | 84.100000  | 973.194600 |
| 88.100000  | 408.636100 | 88.100000  | 567.600800 | 88.100000  | 754.131500 | 88.100000  | 968.432200 |
| 92.100000  | 413.167900 | 92.100000  | 567.600800 | 92.100000  | 747.374900 | 92.100000  | 976.682300 |

**GEOPROVE S.a.S.**  
 Il Socio Accomandatario  
 e Direttore Tecnico  
 Dr. Geol. Pietro Barsanti  
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

# PROFONDITÀ 1207181 – ST1

Ascissa      Profondità

## STRATO # 2

|              |              |
|--------------|--------------|
| 1.000000E-01 | 5.334402E-01 |
| 4.100000     | 5.834308E-01 |
| 8.100000     | 6.396854E-01 |
| 12.100000    | 5.645669E-01 |
| 16.100000    | 5.056994E-01 |
| 20.100000    | 4.576169E-01 |
| 24.100000    | 4.816323E-01 |
| 28.100000    | 5.080978E-01 |
| 32.100000    | 5.375236E-01 |
| 36.100000    | 4.717023E-01 |
| 40.100000    | 8.241725E-01 |
| 44.100000    | 7.807384E-01 |
| 48.100000    | 7.704312E-01 |
| 52.100000    | 7.605287E-01 |
| 56.100000    | 7.509999E-01 |
| 60.100000    | 7.527970E-01 |
| 64.100000    | 7.546070E-01 |
| 68.100000    | 7.564300E-01 |
| 72.100000    | 7.639481E-01 |
| 76.100000    | 7.716972E-01 |
| 80.100000    | 7.796918E-01 |
| 84.100000    | 7.882625E-01 |
| 88.100000    | 7.971348E-01 |
| 92.100000    | 8.063306E-01 |

## STRATO # 3

|              |           |
|--------------|-----------|
| 1.000000E-01 | 12.582860 |
| 4.100000     | 12.344620 |
| 8.100000     | 12.138790 |
| 12.100000    | 11.935390 |
| 16.100000    | 11.737330 |
| 20.100000    | 11.543930 |
| 24.100000    | 11.469340 |
| 28.100000    | 10.975180 |
| 32.100000    | 10.465220 |
| 36.100000    | 10.297250 |
| 40.100000    | 10.057500 |
| 44.100000    | 10.103250 |
| 48.100000    | 9.661684  |
| 52.100000    | 9.938894  |
| 56.100000    | 9.951536  |
| 60.100000    | 9.878420  |
| 64.100000    | 10.177250 |
| 68.100000    | 10.523140 |
| 72.100000    | 10.664060 |
| 76.100000    | 10.572910 |
| 80.100000    | 10.410130 |
| 84.100000    | 10.430810 |
| 88.100000    | 10.471970 |
| 92.100000    | 9.725657  |

## STRATO # 4

|              |           |
|--------------|-----------|
| 1.000000E-01 | 18.327410 |
| 4.100000     | 17.688000 |
| 8.100000     | 17.316380 |
| 12.100000    | 17.067480 |
| 16.100000    | 16.822430 |
| 20.100000    | 16.581000 |
| 24.100000    | 16.373810 |
| 28.100000    | 16.515820 |
| 32.100000    | 16.201940 |
| 36.100000    | 15.934460 |
| 40.100000    | 15.322470 |
| 44.100000    | 15.083390 |
| 48.100000    | 14.732080 |
| 52.100000    | 14.696300 |
| 56.100000    | 14.925280 |
| 60.100000    | 14.985610 |
| 64.100000    | 14.959140 |
| 68.100000    | 15.038090 |
| 72.100000    | 15.211280 |
| 76.100000    | 15.114380 |
| 80.100000    | 15.206800 |
| 84.100000    | 15.106990 |
| 88.100000    | 14.968060 |
| 92.100000    | 14.794560 |

**GEOPROVE S.a.S.**  
 Il Socio Accomandatario  
 e Direttore tecnico  
 Dr. *P. Barsanti*  
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)



**PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE SH**  
**INTERPRETAZIONE CON METODO RECIPROCO GENERALIZZATO (GRM)**

Committente : Comune di Santa Maria a Monte  
Data : 18/07/12  
Località : Santa Maria a Monte (PI)  
Prospettore : GEOMETRICS STRATAVISOR NZXP  
Sorgente : mazza da 10 kg  
Linea : 1207182 – ST1  
Lunghezza : 96 ml  
Orientamento : SE - NW

## DATI DI SCOPPIO 1207182 – ST1

SCOPPIO 1 - X (m) .10 QUOTA 103.20 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 8.300000        | 103.200000 |
| 6.000000  | 22.500000       | 103.200000 |
| 10.000000 | 34.000000       | 103.200000 |
| 14.000000 | 46.400000       | 103.200000 |
| 18.000000 | 60.600000       | 103.200000 |
| 22.000000 | 71.400000       | 103.200000 |
| 26.000000 | 85.600000       | 103.300000 |
| 30.000000 | 94.500000       | 103.300000 |
| 34.000000 | 111.400000      | 103.100000 |
| 38.000000 | 119.400000      | 103.000000 |
| 42.000000 | 132.800000      | 103.000000 |
| 46.000000 | 146.100000      | 102.900000 |
| 50.000000 | 160.300000      | 102.900000 |
| 54.000000 | 174.500000      | 102.900000 |
| 58.000000 | 188.800000      | 102.900000 |
| 62.000000 | 201.300000      | 102.900000 |
| 66.000000 | 220.000000      | 103.000000 |
| 70.000000 | 233.300000      | 103.000000 |
| 74.000000 | 247.500000      | 103.000000 |
| 78.000000 | 254.600000      | 103.000000 |
| 82.000000 | 268.900000      | 103.100000 |
| 86.000000 | 276.500000      | 103.400000 |
| 90.000000 | 284.900000      | 103.500000 |
| 94.000000 | 292.000000      | 103.200000 |

SCOPPIO 2 - X (m) 12.00 QUOTA 103.20 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 34.000000       | 103.200000 |
| 6.000000  | 23.400000       | 103.200000 |
| 10.000000 | 8.300000        | 103.200000 |
| 14.000000 | 8.000000        | 103.200000 |
| 18.000000 | 18.900000       | 103.200000 |
| 22.000000 | 35.800000       | 103.200000 |
| 26.000000 | 46.400000       | 103.300000 |
| 30.000000 | 60.600000       | 103.300000 |
| 34.000000 | 74.000000       | 103.100000 |
| 38.000000 | 84.800000       | 103.000000 |
| 42.000000 | 94.500000       | 103.000000 |
| 46.000000 | 113.100000      | 102.900000 |
| 50.000000 | 122.900000      | 102.900000 |
| 54.000000 | 139.000000      | 102.900000 |
| 58.000000 | 153.100000      | 102.900000 |
| 62.000000 | 169.100000      | 102.900000 |
| 66.000000 | 185.300000      | 103.000000 |
| 70.000000 | 206.600000      | 103.000000 |
| 74.000000 | 215.500000      | 103.000000 |
| 78.000000 | 229.600000      | 103.000000 |
| 82.000000 | 240.400000      | 103.100000 |
| 86.000000 | 247.500000      | 103.400000 |
| 90.000000 | 258.300000      | 103.500000 |
| 94.000000 | 267.100000      | 103.200000 |

SCOPPIO 3 - X (m) 24.00 QUOTA 103.20 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 71.400000       | 103.200000 |
| 6.000000  | 58.000000       | 103.200000 |
| 10.000000 | 45.600000       | 103.200000 |
| 14.000000 | 34.000000       | 103.200000 |
| 18.000000 | 20.600000       | 103.200000 |
| 22.000000 | 8.000000        | 103.200000 |
| 26.000000 | 8.200000        | 103.300000 |

|           |            |            |
|-----------|------------|------------|
| 30.000000 | 19.800000  | 103.300000 |
| 34.000000 | 34.000000  | 103.100000 |
| 38.000000 | 42.900000  | 103.000000 |
| 42.000000 | 55.400000  | 103.000000 |
| 46.000000 | 66.900000  | 102.900000 |
| 50.000000 | 78.500000  | 102.900000 |
| 54.000000 | 97.100000  | 102.900000 |
| 58.000000 | 110.500000 | 102.900000 |
| 62.000000 | 126.500000 | 102.900000 |
| 66.000000 | 144.300000 | 103.000000 |
| 70.000000 | 163.000000 | 103.000000 |
| 74.000000 | 175.500000 | 103.000000 |
| 78.000000 | 187.900000 | 103.000000 |
| 82.000000 | 197.800000 | 103.100000 |
| 86.000000 | 208.400000 | 103.400000 |
| 90.000000 | 220.900000 | 103.500000 |
| 94.000000 | 230.600000 | 103.200000 |

SCOPPIO 4 - X (m) 36.00 QUOTA 103.10 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 104.300000      | 103.200000 |
| 6.000000  | 94.500000       | 103.200000 |
| 10.000000 | 84.800000       | 103.200000 |
| 14.000000 | 70.500000       | 103.200000 |
| 18.000000 | 57.100000       | 103.200000 |
| 22.000000 | 43.800000       | 103.200000 |
| 26.000000 | 33.100000       | 103.300000 |
| 30.000000 | 18.000000       | 103.300000 |
| 34.000000 | 8.300000        | 103.100000 |
| 38.000000 | 8.200000        | 103.000000 |
| 42.000000 | 19.800000       | 103.000000 |
| 46.000000 | 30.500000       | 102.900000 |
| 50.000000 | 42.000000       | 102.900000 |
| 54.000000 | 56.300000       | 102.900000 |
| 58.000000 | 69.600000       | 102.900000 |
| 62.000000 | 89.100000       | 102.900000 |
| 66.000000 | 104.300000      | 103.000000 |
| 70.000000 | 124.800000      | 103.000000 |
| 74.000000 | 135.500000      | 103.000000 |
| 78.000000 | 149.600000      | 103.000000 |
| 82.000000 | 162.100000      | 103.100000 |
| 86.000000 | 174.600000      | 103.400000 |
| 90.000000 | 183.500000      | 103.500000 |
| 94.000000 | 194.100000      | 103.200000 |

SCOPPIO 5 - X (m) 48.00 QUOTA 102.90 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 139.000000      | 103.200000 |
| 6.000000  | 128.300000      | 103.200000 |
| 10.000000 | 117.600000      | 103.200000 |
| 14.000000 | 105.100000      | 103.200000 |
| 18.000000 | 90.100000       | 103.200000 |
| 22.000000 | 77.600000       | 103.200000 |
| 26.000000 | 65.100000       | 103.300000 |
| 30.000000 | 55.300000       | 103.300000 |
| 34.000000 | 40.300000       | 103.100000 |
| 38.000000 | 30.500000       | 103.000000 |
| 42.000000 | 16.300000       | 103.000000 |
| 46.000000 | 8.300000        | 102.900000 |
| 50.000000 | 8.300000        | 102.900000 |
| 54.000000 | 20.600000       | 102.900000 |
| 58.000000 | 36.600000       | 102.900000 |
| 62.000000 | 50.000000       | 102.900000 |

|           |            |            |
|-----------|------------|------------|
| 66.000000 | 66.900000  | 103.000000 |
| 70.000000 | 86.500000  | 103.000000 |
| 74.000000 | 101.600000 | 103.000000 |
| 78.000000 | 117.600000 | 103.000000 |
| 82.000000 | 130.100000 | 103.100000 |
| 86.000000 | 143.500000 | 103.400000 |
| 90.000000 | 150.600000 | 103.500000 |
| 94.000000 | 163.900000 | 103.200000 |

SCOPPIO 6 - X (m) 60.00 QUOTA 102.90 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 184.400000      | 103.200000 |
| 6.000000  | 176.300000      | 103.200000 |
| 10.000000 | 163.900000      | 103.200000 |
| 14.000000 | 153.300000      | 103.200000 |
| 18.000000 | 140.800000      | 103.200000 |
| 22.000000 | 127.400000      | 103.200000 |
| 26.000000 | 115.800000      | 103.300000 |
| 30.000000 | 97.100000       | 103.300000 |
| 34.000000 | 85.600000       | 103.100000 |
| 38.000000 | 75.900000       | 103.000000 |
| 42.000000 | 60.600000       | 103.000000 |
| 46.000000 | 52.600000       | 102.900000 |
| 50.000000 | 38.500000       | 102.900000 |
| 54.000000 | 25.100000       | 102.900000 |
| 58.000000 | 8.300000        | 102.900000 |
| 62.000000 | 8.300000        | 102.900000 |
| 66.000000 | 25.100000       | 103.000000 |
| 70.000000 | 41.100000       | 103.000000 |
| 74.000000 | 66.000000       | 103.000000 |
| 78.000000 | 74.900000       | 103.000000 |
| 82.000000 | 94.500000       | 103.100000 |
| 86.000000 | 103.400000      | 103.400000 |
| 90.000000 | 115.800000      | 103.500000 |
| 94.000000 | 125.600000      | 103.200000 |

SCOPPIO 7 - X (m) 72.00 QUOTA 103.00 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 236.800000      | 103.200000 |
| 6.000000  | 227.900000      | 103.200000 |
| 10.000000 | 219.000000      | 103.200000 |
| 14.000000 | 204.800000      | 103.200000 |
| 18.000000 | 195.900000      | 103.200000 |
| 22.000000 | 183.400000      | 103.200000 |
| 26.000000 | 167.400000      | 103.300000 |
| 30.000000 | 162.100000      | 103.300000 |
| 34.000000 | 147.900000      | 103.100000 |
| 38.000000 | 140.600000      | 103.000000 |
| 42.000000 | 122.900000      | 103.000000 |
| 46.000000 | 108.600000      | 102.900000 |
| 50.000000 | 98.000000       | 102.900000 |
| 54.000000 | 87.400000       | 102.900000 |
| 58.000000 | 67.800000       | 102.900000 |
| 62.000000 | 53.500000       | 102.900000 |
| 66.000000 | 34.000000       | 103.000000 |
| 70.000000 | 12.600000       | 103.000000 |
| 74.000000 | 13.500000       | 103.000000 |
| 78.000000 | 33.100000       | 103.000000 |
| 82.000000 | 50.000000       | 103.100000 |
| 86.000000 | 60.600000       | 103.400000 |
| 90.000000 | 75.900000       | 103.500000 |
| 94.000000 | 90.900000       | 103.200000 |

**GEOPROVE S.a.S.**  
 Il Socio Accomandatario  
 e Direttore tecnico  
 Dr. **Pietro Barsanti**  
 (n° 183 Albo dei Geologi della Toscana)

## DATI DI SCOPPIO 1207182 – ST1

SCOPPIO 8 - X (m) 84.00 QUOTA 103.20 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 268.900000      | 103.200000 |
| 6.000000  | 260.000000      | 103.200000 |
| 10.000000 | 251.000000      | 103.200000 |
| 14.000000 | 236.800000      | 103.200000 |
| 18.000000 | 227.900000      | 103.200000 |
| 22.000000 | 219.000000      | 103.200000 |
| 26.000000 | 203.000000      | 103.300000 |
| 30.000000 | 192.400000      | 103.300000 |
| 34.000000 | 176.300000      | 103.100000 |
| 38.000000 | 169.100000      | 103.000000 |
| 42.000000 | 160.300000      | 103.000000 |
| 46.000000 | 146.100000      | 102.900000 |
| 50.000000 | 133.600000      | 102.900000 |
| 54.000000 | 128.300000      | 102.900000 |
| 58.000000 | 112.300000      | 102.900000 |
| 62.000000 | 99.800000       | 102.900000 |
| 66.000000 | 87.400000       | 103.000000 |
| 70.000000 | 74.900000       | 103.000000 |
| 74.000000 | 56.300000       | 103.000000 |
| 78.000000 | 38.500000       | 103.000000 |
| 82.000000 | 14.400000       | 103.100000 |
| 86.000000 | 12.600000       | 103.400000 |
| 90.000000 | 32.300000       | 103.500000 |
| 94.000000 | 45.600000       | 103.200000 |

|           |            |            |
|-----------|------------|------------|
| 30.000000 | 274.100000 | 103.300000 |
| 34.000000 | 265.300000 | 103.100000 |
| 38.000000 | 251.000000 | 103.000000 |
| 42.000000 | 240.400000 | 103.000000 |
| 46.000000 | 229.600000 | 102.900000 |
| 50.000000 | 219.000000 | 102.900000 |
| 54.000000 | 210.100000 | 102.900000 |
| 58.000000 | 199.500000 | 102.900000 |
| 62.000000 | 185.300000 | 102.900000 |
| 66.000000 | 176.300000 | 103.000000 |
| 70.000000 | 162.100000 | 103.000000 |
| 74.000000 | 147.900000 | 103.000000 |
| 78.000000 | 131.900000 | 103.000000 |
| 82.000000 | 119.400000 | 103.100000 |
| 86.000000 | 105.100000 | 103.400000 |
| 90.000000 | 92.600000  | 103.500000 |
| 94.000000 | 80.300000  | 103.200000 |

**GEOPROVE S.a.S.**  
 Il Socio Accomandatario  
 e Direttore Tecnico  
 Dr. Geol. Pietro Barsanti  
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

SCOPPIO 9 - X (m) 96.00 QUOTA 103.20 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 294.400000      | 103.200000 |
| 6.000000  | 288.400000      | 103.200000 |
| 10.000000 | 279.500000      | 103.200000 |
| 14.000000 | 267.100000      | 103.200000 |
| 18.000000 | 254.600000      | 103.200000 |
| 22.000000 | 245.800000      | 103.200000 |
| 26.000000 | 233.300000      | 103.300000 |
| 30.000000 | 224.400000      | 103.300000 |
| 34.000000 | 221.700000      | 103.100000 |
| 38.000000 | 201.300000      | 103.000000 |
| 42.000000 | 191.500000      | 103.000000 |
| 46.000000 | 181.300000      | 102.900000 |
| 50.000000 | 171.900000      | 102.900000 |
| 54.000000 | 160.300000      | 102.900000 |
| 58.000000 | 149.600000      | 102.900000 |
| 62.000000 | 139.000000      | 102.900000 |
| 66.000000 | 123.500000      | 103.000000 |
| 70.000000 | 109.600000      | 103.000000 |
| 74.000000 | 96.300000       | 103.000000 |
| 78.000000 | 81.100000       | 103.000000 |
| 82.000000 | 64.300000       | 103.100000 |
| 86.000000 | 48.300000       | 103.400000 |
| 90.000000 | 29.900000       | 103.500000 |
| 94.000000 | 11.800000       | 103.200000 |

SCOPPIO 10 - X (m) 116.00 QUOTA 103.10 PROF: .00

| POSIZIONE | TEMPO DI ARRIVO | QUOTA      |
|-----------|-----------------|------------|
| 2.000000  | 341.800000      | 103.200000 |
| 6.000000  | 331.100000      | 103.200000 |
| 10.000000 | 324.000000      | 103.200000 |
| 14.000000 | 315.000000      | 103.200000 |
| 18.000000 | 304.400000      | 103.200000 |
| 22.000000 | 297.300000      | 103.200000 |
| 26.000000 | 288.400000      | 103.300000 |

# VELOCITÀ 1207182 – ST1

| Ascissa    | Velocità   |
|------------|------------|
| STRATO # 1 |            |
| 4.100000   | 250.783000 |
| 8.100000   | 245.483600 |
| 12.100000  | 245.970900 |
| 16.100000  | 246.458200 |
| 20.100000  | 246.945500 |
| 24.100000  | 245.430400 |
| 28.100000  | 243.915300 |
| 32.100000  | 242.400200 |
| 36.100000  | 241.909300 |
| 40.100000  | 241.418400 |
| 44.100000  | 240.927400 |
| 48.100000  | 240.947200 |
| 52.100000  | 240.967000 |
| 56.100000  | 240.986800 |
| 60.100000  | 219.482900 |
| 64.100000  | 197.979000 |
| 68.100000  | 176.475100 |
| 72.100000  | 173.908100 |
| 76.100000  | 171.341000 |
| 80.100000  | 168.774000 |
| 84.100000  | 168.954300 |
| 88.100000  | 169.134500 |
| 92.100000  | 169.314700 |

| STRATO # 2 |            |
|------------|------------|
| 4.100000   | 313.057500 |
| 8.100000   | 314.722700 |
| 12.100000  | 314.722700 |
| 16.100000  | 314.722700 |
| 20.100000  | 314.722700 |
| 24.100000  | 314.722700 |
| 28.100000  | 314.722700 |
| 32.100000  | 314.722700 |
| 36.100000  | 314.722700 |
| 40.100000  | 314.722700 |
| 44.100000  | 314.722700 |
| 48.100000  | 314.722700 |
| 52.100000  | 314.722700 |
| 56.100000  | 314.722700 |
| 60.100000  | 314.722700 |
| 64.100000  | 314.722700 |
| 68.100000  | 314.722700 |
| 72.100000  | 314.722700 |
| 76.100000  | 314.722700 |
| 80.100000  | 314.722700 |
| 84.100000  | 314.722700 |
| 88.100000  | 314.722700 |
| 92.100000  | 314.722700 |

| STRATO # 3 |            |
|------------|------------|
| 4.100000   | 380.611000 |
| 8.100000   | 382.811200 |
| 12.100000  | 381.201500 |
| 16.100000  | 379.591800 |
| 20.100000  | 377.982000 |
| 24.100000  | 381.353500 |
| 28.100000  | 380.197200 |
| 32.100000  | 379.040900 |
| 36.100000  | 379.767800 |
| 40.100000  | 380.494700 |
| 44.100000  | 376.693800 |
| 48.100000  | 376.878900 |
| 52.100000  | 377.064000 |
| 56.100000  | 377.249100 |
| 60.100000  | 376.169300 |
| 64.100000  | 375.089600 |
| 68.100000  | 374.009800 |
| 72.100000  | 373.376900 |
| 76.100000  | 372.743900 |
| 80.100000  | 372.110900 |
| 84.100000  | 372.870000 |
| 88.100000  | 373.629100 |
| 92.100000  | 374.388200 |

**GEOPROVE S.a.S.**  
 Il Socio Accomandatario  
 e Direttore Tecnico  
 Dr. Geo. Pietro Barsanti  
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

# PROFONDITÀ 1207182 – ST1

Ascissa      Profondità

**STRATO # 2**

|              |              |
|--------------|--------------|
| 1.000000E-01 | 8.888826E-01 |
| 4.100000     | 7.891940E-01 |
| 8.100000     | 1.050663     |
| 12.100000    | 1.024142     |
| 16.100000    | 1.236733     |
| 20.100000    | 1.614555     |
| 24.100000    | 1.560140     |
| 28.100000    | 1.284881     |
| 32.100000    | 1.588051     |
| 36.100000    | 1.799167     |
| 40.100000    | 1.847939     |
| 44.100000    | 1.801395     |
| 48.100000    | 1.716454     |
| 52.100000    | 1.920080     |
| 56.100000    | 2.115964     |
| 60.100000    | 2.153387     |
| 64.100000    | 2.877498     |
| 68.100000    | 2.939136     |
| 72.100000    | 2.940627     |
| 76.100000    | 2.906953     |
| 80.100000    | 3.054379     |
| 84.100000    | 2.578650     |
| 88.100000    | 2.017752     |
| 92.100000    | 1.960572     |

**STRATO # 3**

|              |           |
|--------------|-----------|
| 1.000000E-01 | 12.003460 |
| 4.100000     | 11.652950 |
| 8.100000     | 11.817080 |
| 12.100000    | 11.919300 |
| 16.100000    | 12.453160 |
| 20.100000    | 12.085490 |
| 24.100000    | 11.706880 |
| 28.100000    | 12.282350 |
| 32.100000    | 12.114500 |
| 36.100000    | 11.854840 |
| 40.100000    | 11.098390 |
| 44.100000    | 11.447140 |
| 48.100000    | 11.055690 |
| 52.100000    | 10.750960 |
| 56.100000    | 10.455270 |
| 60.100000    | 10.162150 |
| 64.100000    | 10.188810 |
| 68.100000    | 9.484150  |
| 72.100000    | 9.138571  |
| 76.100000    | 8.808254  |
| 80.100000    | 8.382128  |
| 84.100000    | 8.633135  |
| 88.100000    | 8.962411  |
| 92.100000    | 9.660846  |

**GEOPROVE S.a.S.**  
 Il Socio Accomandatario  
 e Direttore Tecnico  
 Dr. *P. Barsanti*  
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

**PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P**

- LEGENDA**
- Tempi dei primi arrivi ai geofoni
  - Profilo topografico
  - Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
  - 976 m/s** Velocità sismica dello strato in metri al secondo

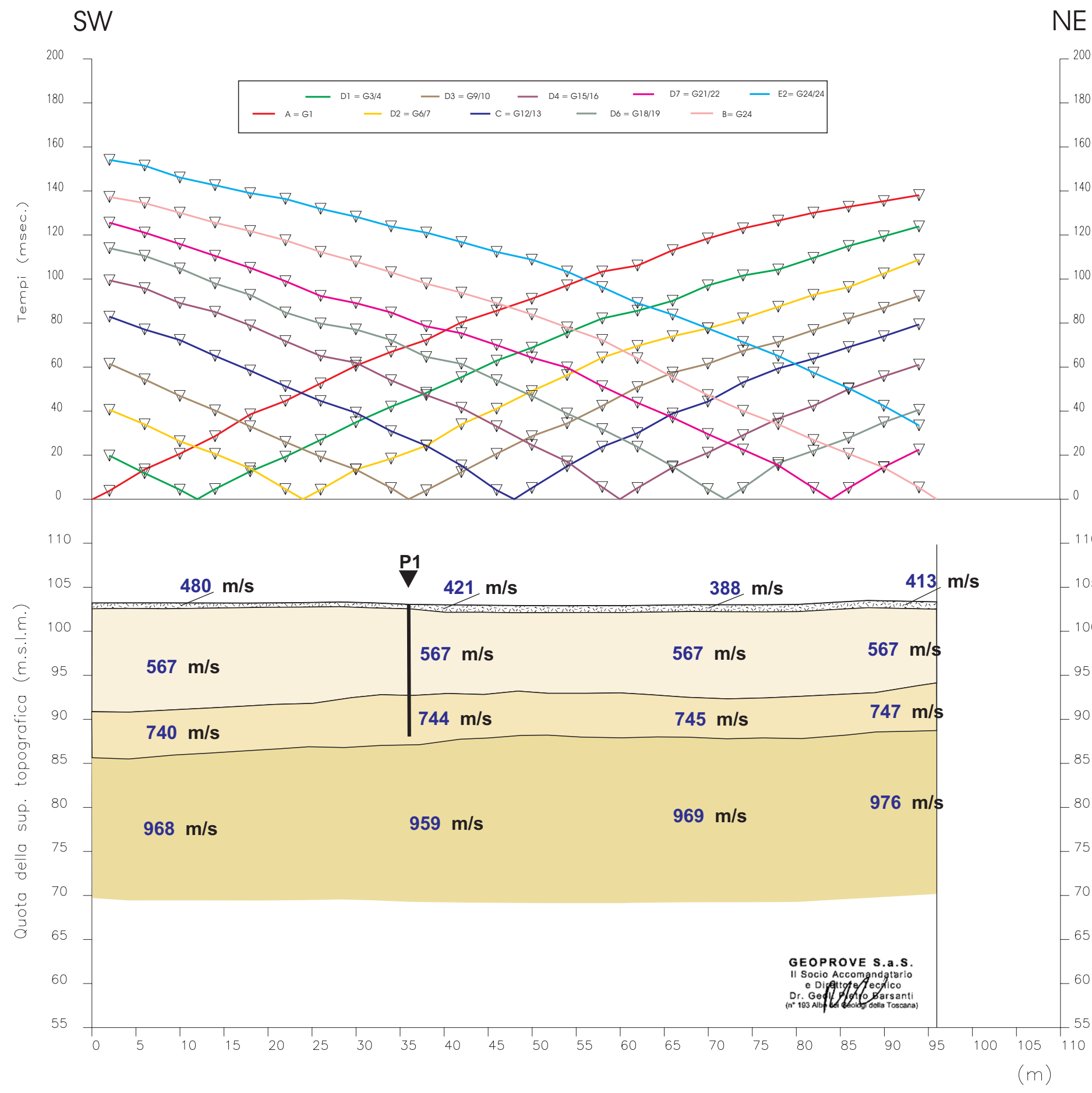
- Materiale di riporto e/o copertura detritica sabbioso-limoso-argillosa da poco a mediamente addensata
- Sabbia argillosa o limosa mediamente addensata, talora ghiaiosa, con intercalazioni di argille; presenza sporadica di torba, abbondante in alcuni livelli
- Sabbia argillosa o limosa addensata, con intercalazioni di argille; tracce di torba, talora abbondante
- Sabbia argillosa limosa addensata e argille molto compatte con possibili intercalazioni di ghiaie; presenza sporadica di torba, abbondante in alcuni livelli
- P** Proiezione prova penetrometrica CPT/DPSH

**Committente:** Comune di Santa Maria a Monte

**Località:** Santa Maria a Monte - (PI)




**Profilo:** ST 1      **Scala:** 1:500




**File:** 1207181      **Data:** 18/07/12



**PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE SH**

**LEGENDA**

-  Tempi dei primi arrivi ai geofoni
-  Profilo topografico
-  Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 374 m/s** Velocità sismica dello strato in metri al secondo

-  Materiale di riporto e/o copertura detritica sabbioso-limoso-argilloso da poco a mediamente addensata
-  Sabbia argillosa o limosa mediamente addensata, talora ghiaiosa, con intercalazioni di argille; presenza sporadica di torba, abbondante in alcuni livelli
-  Sabbia argillosa/limosa addensata e argille molto compatte con possibili intercalazioni di ghiaie; presenza sporadica di torba, abbondante in alcuni livelli.

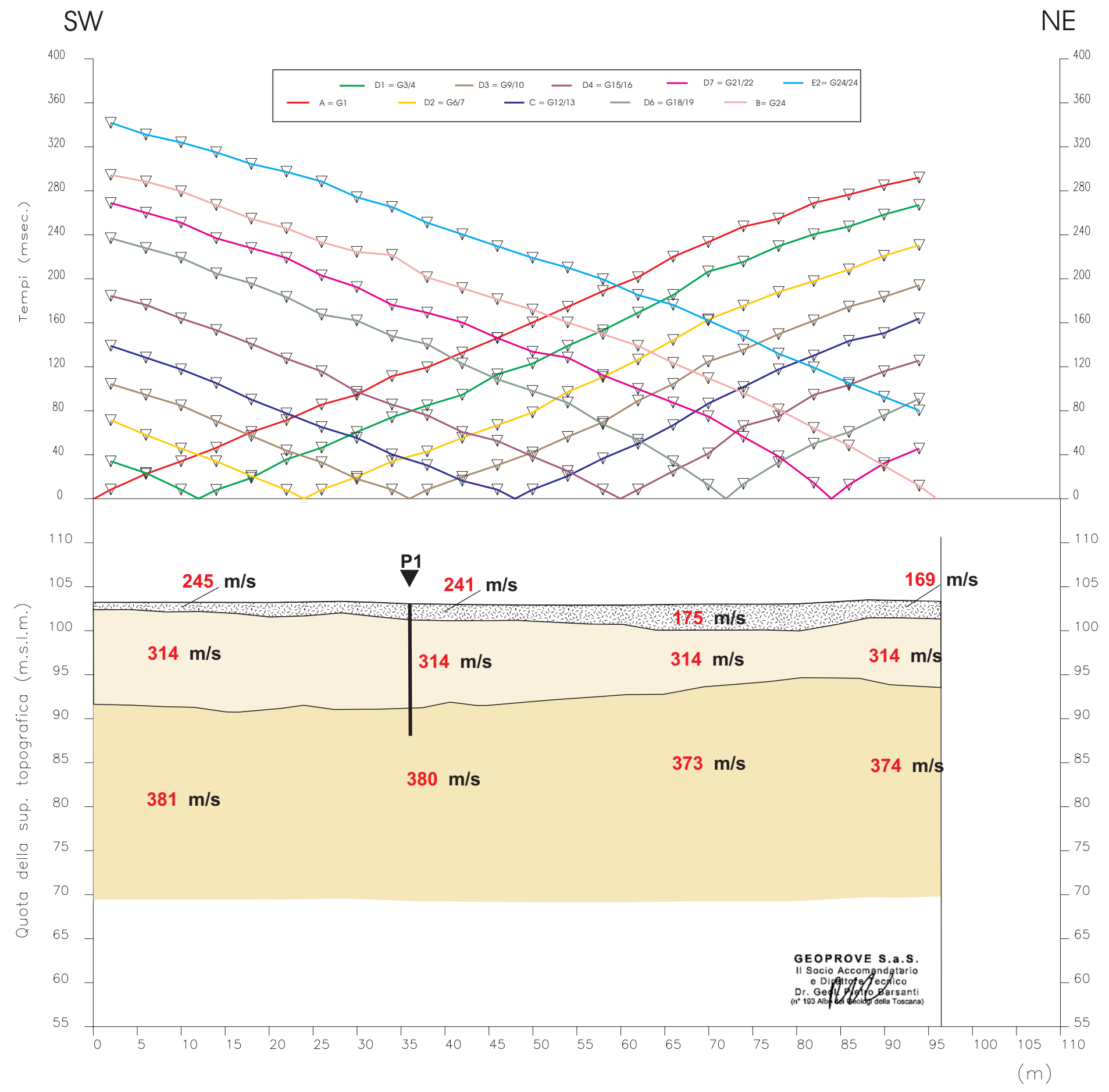
**P** Proiezione prova penetrometrica CPT/DPSH

**Committente:** Comune di Santa Maria a Monte

**Località:** Santa Maria a Monte - (PI)

**Profilo:** ST 1      **Scala:** 1:500

**File:** 1207182      **Data:** 18/07/12





**COMUNE DI SANTA MARIA A MONTE**  
**PROVINCIA DI PISA**

*Località: Cimitero di Santa Maria a Monte*

**PROSPEZIONE SISMICA RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH**

**TOMOGRAFIA SISMICA**

**MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE  
A STAZIONE SINGOLA**

**Committente: Comune di Santa Maria a Monte**

**SEZIONI TOMOGRAFICHE**



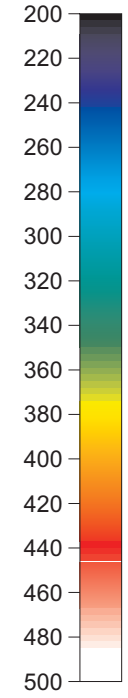

**GEOPROVE S.p.A.**  
Il Socio Accomandatario  
e Direttore Tecnico  
Dr. Geol. Pietro Barsanti  
(n° 183 Albo dei Geologi della Toscana)





**TOMOGRAFIA SISMICA  
 CON ONDE SH**

**LEGENDA**

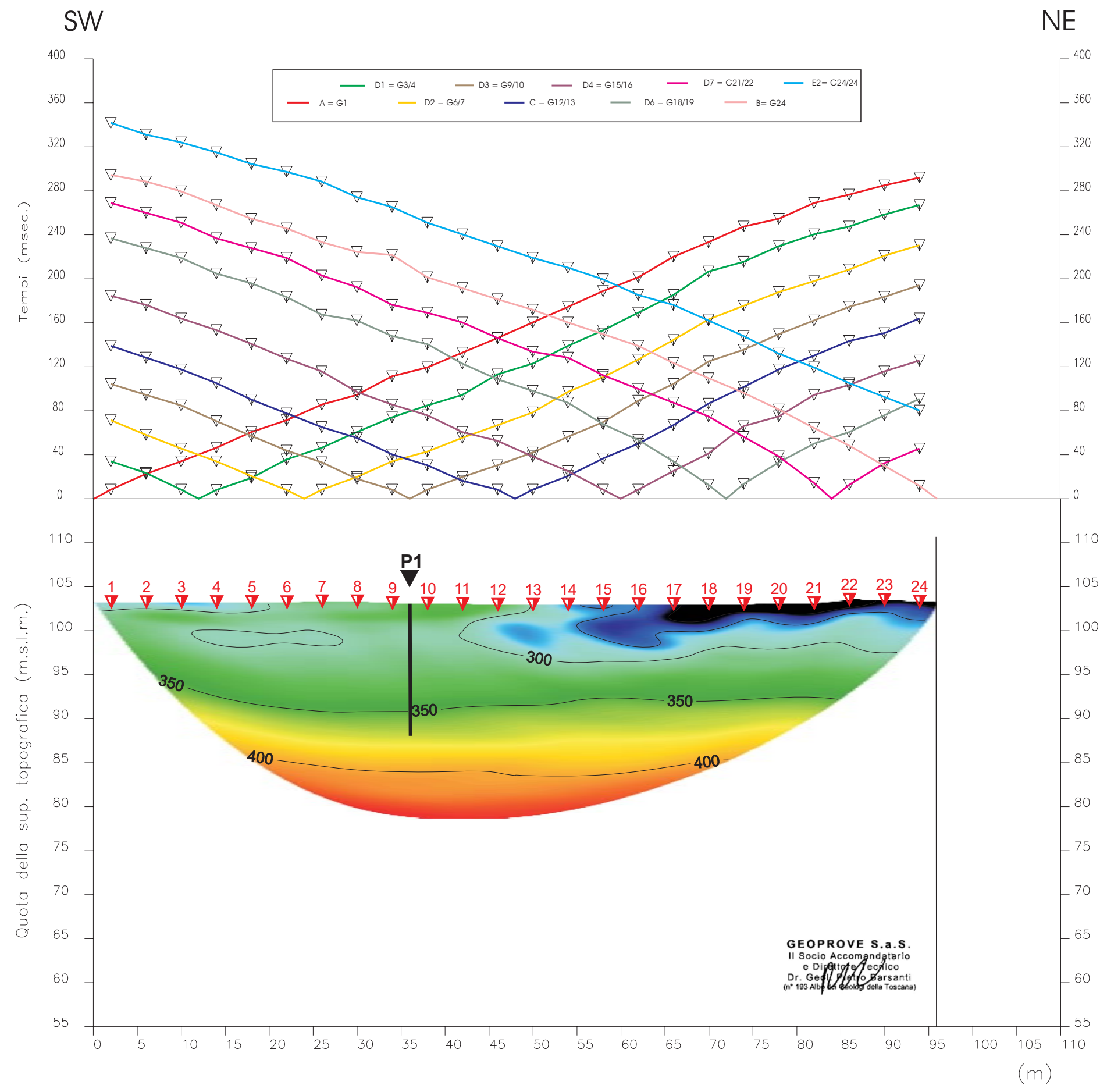
-  Tempi dei primi arrivi ai geofoni
-  3  
Posizione dei geofoni
-  Velocità delle onde SH (m/sec)
-  P  
Proiezione prova penetrometrica CPT/DPSH

**Committente:** Comune di Santa Maria a Monte

**Località:** Santa Maria a Monte - (PI)

**Profilo:** ST 1      **Scala:** 1:500

**File:** 1207182      **Data:** 18/07/12



**GEOPROVE S.a.S.**  
 Il Socio Accomandatario  
 e Direttore Tecnico  
 Dr. Geo. Pietro Barsanti  
 (n° 163 Albo dei Geologi della Toscana)



**COMUNE DI SANTA MARIA A MONTE**  
**PROVINCIA DI PISA**

*Località: Cimitero di Santa Maria a Monte*

**PROSPEZIONE SISMICA RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH**

**TOMOGRAFIA SISMICA**

**MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE  
A STAZIONE SINGOLA**

**Committente: Comune di Santa Maria a Monte**

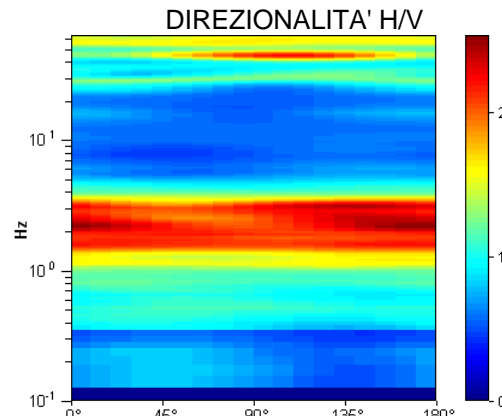
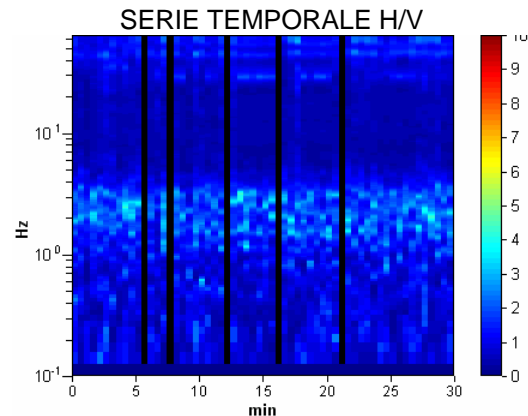
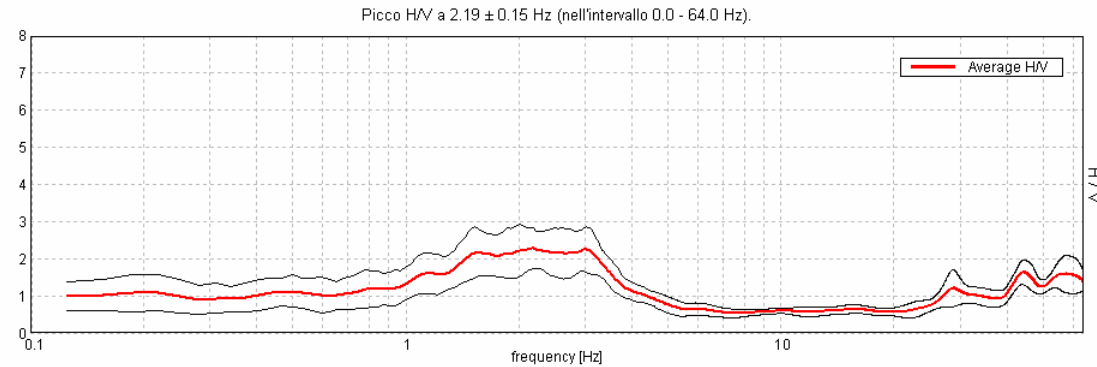
**TAVOLE MISURE RUMORE  
SISMICO AMBIENTALE**

**SANTA MARIA A MONTE-COMUNE, TR1 CIMITERO**  
 Coordinate (WGS84): N 43,69948°; E 010,68611°

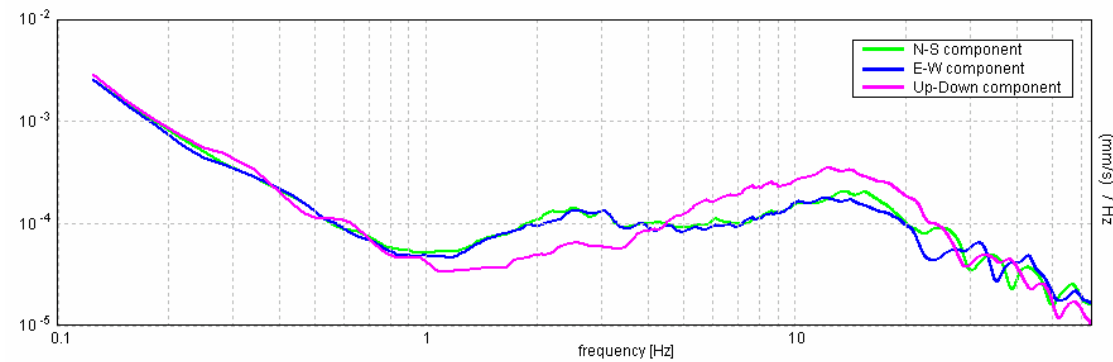
Strumento: TRZ-0101/01-10  
 Inizio registrazione: 18/07/12 12:47:49  
 Fine registrazione: 18/07/12 13:17:49

Durata registrazione: 0h30'00".  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 30 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 5% (\*) e 10% (\*\*)  
 Analizzato 92% tracciato (selezione manuale)  
 Condizioni meteo: sereno, vento leggero  
 Tipo di superficie: terreno naturale  
 Disturbi: alcuni transienti (strada vicina) e alcuni artefatti a frequenze superiori ai 20 Hz

**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE (\*\*)**



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (\*)**



**GEOPROVE S.a.S.**  
 Il Socio Accomandatario  
 e Direttore Tecnico  
 Dr. **Geol. Giorgio Barsanti**  
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

**CRITERI SESAME (2004) (1)**

Picco H/V a 2.19 ± 0.15 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

**Criteri per una curva H/V affidabile**  
 [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

|  |                         |    |
|--|-------------------------|----|
| $f_0 > 10 / L_w$   | 2.19 > 0.33             | OK |
| $n_c(f_0) > 200$   | 3609.4 > 200            | OK |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Superato 0 volte su 106 | OK |

**Criteri per un picco H/V chiaro**  
 [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

|  |                     |    |
|--|---------------------|----|
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$    | 0.75 Hz             | OK |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$     | 4.0 Hz              | OK |
| $A_0 > 2$  | 2.28 > 2            | OK |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.03375  < 0.05$  | OK |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                | $0.07383 < 0.10938$ | OK |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                                | $0.2703 < 1.58$     | OK |

|                        |   |
|------------------------|---|
| $L_w$                  | lunghezza della finestra  |
| $n_w$                  | numero di finestre usate nell'analisi   |
| $n_c = L_w n_w f_0$    | numero di cicli significativi   |
| $f$                    | frequenza attuale   |
| $f_0$                  | frequenza del picco H/V   |
| $\sigma_f$             | deviazione standard della frequenza del picco H/V   |
| $\varepsilon(f_0)$     | valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$   |
| $A_0$                  | ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$   |
| $A_{H/V}(f)$           | ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$   |
| $f^-$                  | frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$   |
| $f^+$                  | frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$  |
| $\sigma_A(f)$          | deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa |
| $\sigma_{\log H/V}(f)$ | deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$  |
| $\theta(f_0)$          | valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$   |

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

| Intervallo di freq. [Hz]                        | < 0.2      | 0.2 - 0.5 | 0.5 - 1.0  | 1.0 - 2.0  | > 2.0      |
|---|------------|-----------|------------|------------|------------|
| $\varepsilon(f_0)$ [Hz]                         | $0.25 f_0$ | $0.2 f_0$ | $0.15 f_0$ | $0.10 f_0$ | $0.05 f_0$ |
| $\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$               | 3.0        | 2.5       | 2.0        | 1.78       | 1.58       |
| $\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$ | 0.48       | 0.40      | 0.30       | 0.25       | 0.20       |

**CLASSIFICAZIONE DELLA CURVA H/V (2) (3)**

|        |   |
|--------|---|
| CLASSE | B |
| TIPO   | 1 |

La classificazione delle curve H/V prevede le seguenti tre classi di qualità:

**Classe A** (H/V affidabile, può essere utilizzata anche da sola)

1)-La forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% della durata della misura; 2)-le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo; 3)-assenza di disturbi elettromagnetici nella banda di frequenza di interesse; 4)-i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata dello spettro della componente verticale; 5)-i primi 3 criteri SESAME per una curva H/V attendibile sono verificati; 6)-durata della misura di almeno 15-20 minuti.

**Eccezione:** nel caso di assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati, la condizione 5) non sarà soddisfatta anche se la misura è affidabile (H/V tipo 2, v. sotto).

**Classe B** (H/V da "interpretare": **va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure vicine**)

Almeno una delle 6 condizioni della classe A non è soddisfatta (a meno che non si rientri nell'eccezione sopra citata)

**Classe C** (H/V scadente e di difficile interpretazione: **non va utilizzata**)

1)-Misura di tipo B con curva H/V che mostra ampiezza crescente al diminuire della frequenza (*deriva*) indice di movimento dello strumento durante la misura; 2)-misura di tipo B con presenza di rumore elettromagnetico nell'intervallo di frequenze di interesse.

Per le classi A e B si possono inoltre definire le seguenti due sottoclassi:

**Tipo 1:** H/V con almeno un picco "chiaro" secondo i criteri SESAME (*possibile risonanza*)

**Tipo 2:** H/V senza picchi "chiaro" nell'intervallo di frequenze di interesse (*ampiezza della curva circa uguali ad 1: assenza di risonanza*)

**NOTE**

(1) - SESAME Project (2004) - *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements processing and interpretation*, WP12, deliverable no. D23.12

(2) - Albarello D., Cesi C., Eulilli V. et alii (2010): *The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzoning: an example from the area damaged by the 26<sup>th</sup> April, 2009 L'Aquila (Italy) earthquake*. Boll. Geofis. Teor. Appl., 52 (3).

(3) - Albarello D. & Castellaro S. (2011) - *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola*. Supplemento alla rivista *Ingegneria sismica* Anno XXVIII, n. 2-2011.

**SANTA MARIA A MONTE-COMUNE, TR2 CIMITERO**  
 Coordinate (WGS84): N 43,69907°; E 010,68518°

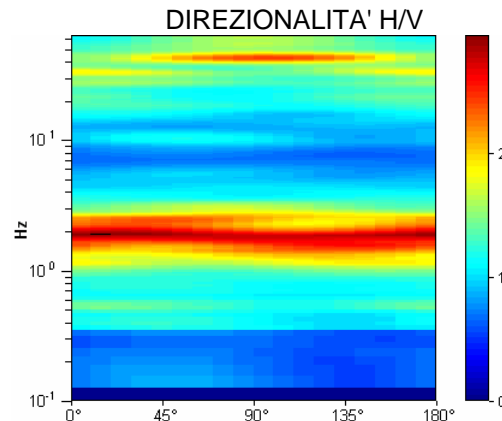
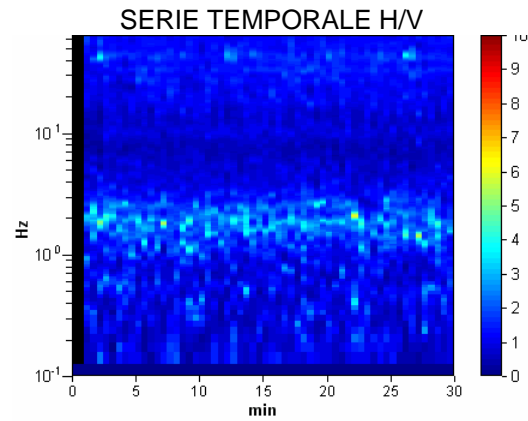
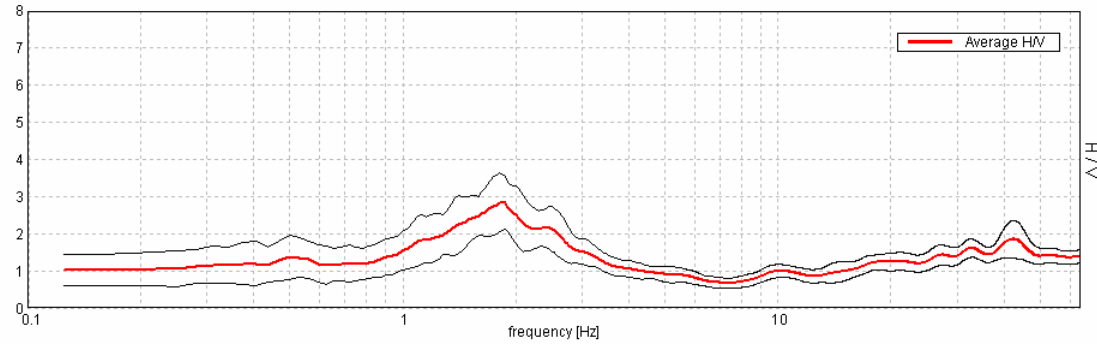
Strumento: TRZ-0101/01-10  
 Inizio registrazione: 18/07/12 17:00:29  
 Fine registrazione: 18/07/12 17:30:30

Durata registrazione: 0h30'00".  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 30 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 5% (\*) e 10% (\*\*)  
 Analizzato 97% tracciato (selezione manuale)  
 Condizioni meteo: sereno, vento leggero  
 Tipo di superficie: terreno naturale  
 Disturbi: rari transienti

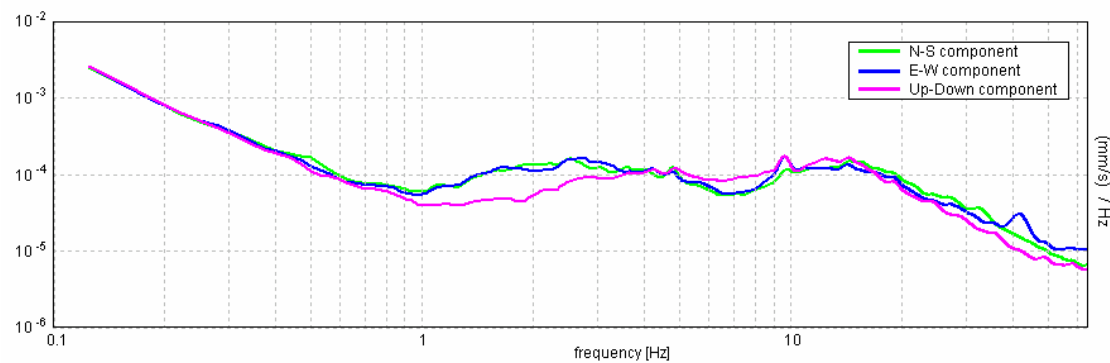


**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE (\*\*)**

Picco H/V a 1.81 ± 0.02 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (\*)**



**CRITERI SESAME (2004) (1)**

Picco H/V a 1.81 ± 0.02 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

**Criteri per una curva H/V affidabile**  
 [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

|  |                        |    |
|--|------------------------|----|
| $f_0 > 10 / L_w$   | 1.81 > 0.33            | OK |
| $n_c(f_0) > 200$   | 3153.8 > 200           | OK |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz | Superato 0 volte su 88 | OK |

**Criteri per un picco H/V chiaro**  
 [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

|   |                    |    |
|---|--------------------|----|
| Esiste $f^*$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$ | 0.938 Hz           | OK |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$  | 3.219 Hz           | OK |
| $A_0 > 2$   | 2.84 > 2           | OK |
| $f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$     | $ 0.00453  < 0.05$ | OK |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                             | 0.00821 < 0.18125  | OK |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                             | 0.3905 < 1.78      | OK |

|                      |   |
|----------------------|---|
| $L_w$                | lunghezza della finestra  |
| $n_w$                | numero di finestre usate nell'analisi   |
| $n_c = L_w n_w f_0$  | numero di cicli significativi   |
| $f$                  | frequenza attuale   |
| $f_0$                | frequenza del picco H/V   |
| $\sigma_f$           | deviazione standard della frequenza del picco H/V   |
| $\varepsilon(f_0)$   | valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$   |
| $A_0$                | ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$   |
| $A_{H/V}(f)$         | ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$   |
| $f^-$                | frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$   |
| $f^+$                | frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$  |
| $\sigma_A(f)$        | deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa |
| $\sigma_{logH/V}(f)$ | deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$  |
| $\theta(f_0)$        | valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$   |

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

| Intervallo di freq. [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 $f_0$ |
| $\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$             | 3.0        | 2.5       | 2.0        | 1.78       | 1.58       |
| $\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$ | 0.48       | 0.40      | 0.30       | 0.25       | 0.20       |

**CLASSIFICAZIONE DELLA CURVA H/V (2) (3)**

|        |   |
|--------|---|
| CLASSE | A |
| TIPO   | 1 |

La classificazione delle curve H/V prevede le seguenti tre classi di qualità:

**Classe A** (H/V affidabile, può essere utilizzata anche da sola)

1)-La forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% della durata della misura; 2)-le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo; 3)-assenza di disturbi elettromagnetici nella banda di frequenza di interesse; 4)-i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata dello spettro della componente verticale; 5)-i primi 3 criteri SESAME per una curva H/V attendibile sono verificati; 6)-durata della misura di almeno 15-20 minuti.

**Eccezione:** nel caso di assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati, la condizione 5) non sarà soddisfatta anche se la misura è affidabile (H/V tipo 2, v. sotto).

**Classe B** (H/V da "interpretare": va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure vicine)

Almeno una delle 6 condizioni della classe A non è soddisfatta (a meno che non si rientri nell'eccezione sopra citata)

**Classe C** (H/V scadente e di difficile interpretazione: non va utilizzata)

1)-Misura di tipo B con curva H/V che mostra ampiezza crescente al diminuire della frequenza (*deriva*) indice di movimento dello strumento durante la misura; 2)-misura di tipo B con presenza di rumore elettromagnetico nell'intervallo di frequenze di interesse.

Per le classi A e B si possono inoltre definire le seguenti due sottoclassi:

**Tipo 1:** H/V con almeno un picco "chiaro" secondo i criteri SESAME (*possibile risonanza*)

**Tipo 2:** H/V senza picchi "chiaro" nell'intervallo di frequenze di interesse (*ampiezza della curva circa uguali ad 1: assenza di risonanza*)

**NOTE**

(1) - SESAME Project (2004) - Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements processing and interpretation, WP12, deliverable no. D23.12

(2) - Albarello D., Cesi C., Eulilli V. et alii (2010): The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzoning: an example from the area damaged by the 26<sup>th</sup> April, 2009 L'Aquila (Italy) earthquake. Boll. Geofis. Teor. Appl., 52 (3).

(3) - Albarello D. & Castellaro S. (2011) - Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. Supplemento alla rivista Ingegneria sismica Anno XXVIII, n. 2-2011.