



# Comune di Monterotondo

## Provincia di Roma

### NUOVO CIMITERO COMUNALE

## VARIANTE AL PROGETTO ESECUTIVO 4° LOTTO FUNZIONALE - 1° STRALCIO

SPAZIO RISERVATO ALL'UFFICIO DELL'ENTE COMPETENTE:

PROGETTAZIONE:

DIRETTORE TECNICO: Arch. Marcello PERETTI CUCCHI



**ITALSTUDI s.r.l.**

Servizi d' Ingegneria e  
Assetto del Territorio

via Edoardo d'Onofrio, 212  
00156 Roma

GRUPPO DI PROGETTAZIONE: Geom. Massimo COMPAGNUCCI

AR/HI ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI,  
PAESAGGISTI E CONSERVATORI PROVINCE  
NOVARA E VERBANO - CUSO - OSSOLA  
ARCHITETTO  
Peretti Cucchi Marcello  
n° 861

OGGETTO:

RELAZIONE GEOLOGICO - TECNICA

**P.E. RS02**

DATA: 12/03/2018

Commessa	Livello Progetto	Specialistica	Progressivo	File
17_01	PE		-	17_01_A_02_D_P.E. RS02 - RelGeol

Rev	Data	Descrizione	Autore

A TERMINI DI LEGGE E' SEVERAMENTE VIETATO RIPRODURRE O COMUNICARE A TERZI IL CONTENUTO DEL PRESENTE ELABORATO



---

## Premessa

Il nuovo cimitero comunale di Monterotondo, in corso di realizzazione, è ubicato in località Pietrara–Monte del Prete lungo la tangenziale Nomentana-San Martino SP 25/b. Per la realizzazione dell'intero complesso cimiteriale è stato impegnato un lotto di terreno di circa 46.000 mq, identificato al catasto al foglio n. 19 particelle 12 e 13, foglio 27 particella 1968.

Con Deliberazione della Giunta Comunale n.424 del 16/10/2007 è stato approvato il progetto esecutivo del primo lotto del Nuovo Cimitero Comunale. Successivamente con Deliberazione della Giunta Comunale n. 26 del 4 febbraio 2010 è stata approvata la variante al progetto esecutivo relativa al 1° lotto, trasmessa il 23 dicembre 2009.

L'area interessata dall'intervento per il solo 1° lotto esecutivo ha impegnato una superficie di 18.000 mq, mentre per il 2° lotto il progetto esecutivo del primo stralcio lotto è stato approvato con Delibera di Giunta Comunale n. 119 del 19/05/2016. Questa prima porzione di lavori è stata completata nei primi mesi del 2018.

L'intervento oggetto della presente relazione riguarda la parte di cimitero diametralmente opposta al secondo lotto, precedentemente individuata Il Lotto e successivamente come IV lotto .

L'intervento si è reso necessario per soddisfare le esigenze contingenti del Comune di Monterotondo oltre a sistemare ed armonizzare l'area a ridosso del primo lotto su cui insiste un blocco di analoghi loculi prefabbricati realizzati d'urgenza nel 2015.

La relazione geologico-tecnica e le indagini geognostiche sono state effettuate negli anni 2013/2014 a cura del dott. Geologo Patrizio Paris . Le indagini effettuate hanno coinvolto le aree oggetto del presente intervento che , a suo tempo , era indicato come Lotto 2 . Successivamente , con la variante generale del progetto approvata dal Comune le aree di intervento in oggetto hanno preso la denominazione di Lotto 4 , di cui il presente progetto ne rappresenta il primo stralcio .

# INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2. INQUADRAMENTO TETTONICO, GEOLOGICO, MORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO</b>	<b>3</b>
<b>3. INDAGINE GEOGNOSTICA</b>	<b>13</b>
<b>4. CARATTERI STRATIGRAFICI DELL' AREA IN STUDIO</b>	<b>21</b>
<b>5. CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI</b>	<b>24</b>
<b>6. SISMICITA' DELL'AREA</b>	<b>31</b>
<b>7. PROBLEMATICHE GEOLOGICO-TECNICHE E FONDALI</b>	<b>45</b>
<b>8. CONCLUSIONI</b>	<b>47</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>48</b>
<b>10. ELABORAZIONE PENETROMETRIE E TABULATO DI CALCOLO</b>	<b>49</b>

Allegato: Indagine penetrometrica DPSH e Sismica HVSR (POLO GEOLOGICO)



## **1. PREMESSA**

Il presente rapporto analizza le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche dell'area interessata dal progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo – Lotto 2 (Provincia di Roma).

Quanto sviluppato nel presente rapporto è basato sui dati geologici e geotecnici relative ad indagini attualmente eseguite nel Lotto 2, nonché ad indagini pregresse al progetto esecutivo del Lotto 1 e della relativa Variante (Relazione Geologico-Tecnica dell'Ottobre 2006 e del Dicembre 2009, redatte dallo scrivente); si utilizzano inoltre i dati stratigrafici emersi dalla realizzazione del pozzo (2007) e dell'indagine eseguita nel 2013 per la progettazione dell'ex lotto 2 attualmente sospeso.

Nel presente Progetto Definitivo l'analisi della sismicità generale e locale viene sviluppata secondo quanto previsto dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 e con le modifiche presenti nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) emanato il 14/1/2008 e nella Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni". Si fa inoltre riferimento alla "Nuova Classificazione Sismica della Regione Lazio" (DGR n. 387 del 22 Maggio 2009) ed al Regolamento Regionale n. 7 del 7/02/2012.

La presente relazione sviluppa i seguenti argomenti:

- inquadramento tettonico, geologico, geomorfologico ed idrogeologico generale
- caratteristiche idro-geo-morfologiche dell'area in studio
- indagini geognostiche attuali e pregresse
- caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni
- caratteri macrosismici e risposta sismica locale
- problematiche di stabilità geomorfologica, geotecnica e sismica relative al progetto del Lotto 2 del Nuovo Cimitero di Monterotondo

## **2. INQUADRAMENTO TETTONICO, GEOLOGICO, MORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO**

Si descrivono qui di seguito i caratteri tettonici, geologici, geomorfologici e idrogeologici generali dell'area in esame.

### *Ubicazione, Geomorfologia*

L'area in studio è ubicata sui rilievi collinari che bordano ad est la valle tiberina e, più precisamente, a nord-est dell'abitato di Monterotondo (RM), in località Pietrara.

La Figura 1 mostra l'ubicazione del Lotto 2, congiuntamente al Lotto 1 ed alla Variante già realizzati.

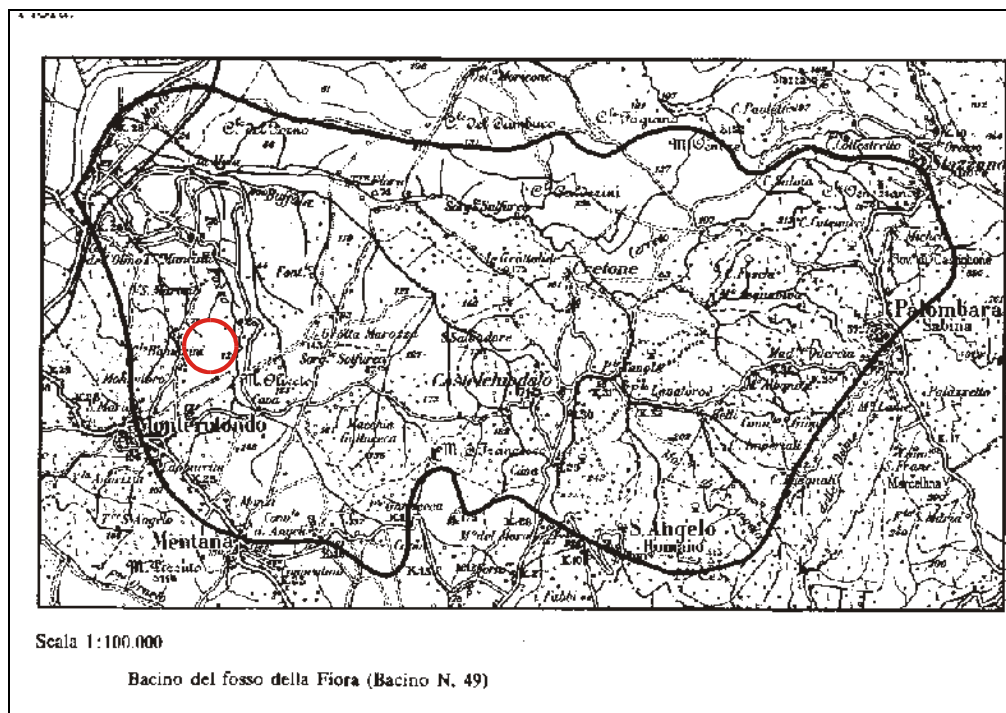


*Figura 1 – ubicazione del Lotto 2 del nuovo cimitero di Monterotondo*

La morfologia generale è caratterizzata da struttura essenzialmente collinare con dolci sommità ed acclività poco accentuate; il reticolo idrografico appare similmente poco accentuato e

caratterizzato prevalentemente da blandi impluvi. Si segnala in particolare il Fosso del Pozzo che si sviluppa ad est dell'area in esame.

Dal punto di vista idrografico l'area in studio è ubicata all'interno del bacino del Fosso della Fiora che si sviluppa prevalentemente in direzione est-ovest e si immette nel bacino del Tevere (Figura 2).



*Figura 2 – ubicazione dell'area in esame nell'ambito del bacino idrografico del Fiume Fiora*

L'area ove è ubicato il futuro Cimitero Comunale è caratterizzata da un debole versante con pendenza di circa 2-4%, a quote che vanno da 95 a 93 m slm, con esposizione del versante a nord-ovest; attualmente l'area è adibita ad uso agricolo.

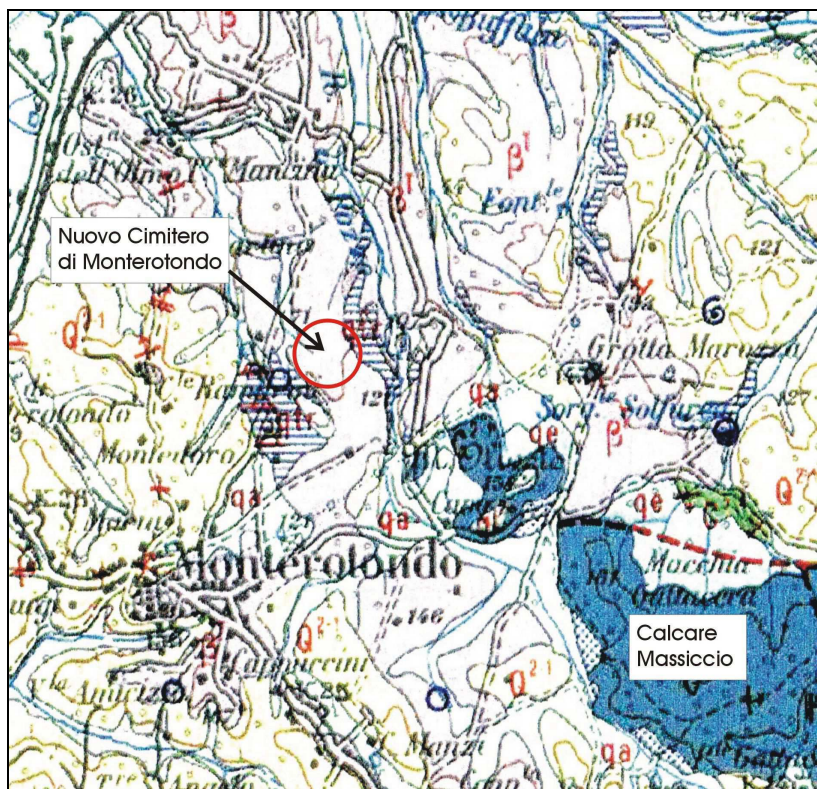
Dal sopralluogo, date le basse acclività, non sono emersi indizi di dissesti in atto e/o potenziali; similmente la realizzazione già eseguita del Lotto 1 e della variante non ha innescato variazioni delle dinamiche geomorfiche.

L'area in esame si trova localizzata in corrispondenza dei rilievi collinari che si sviluppano in sinistra idrografica della Valle Tiberina, poco ad ovest dei rilievi carbonatici dei Monti Cornicolani.

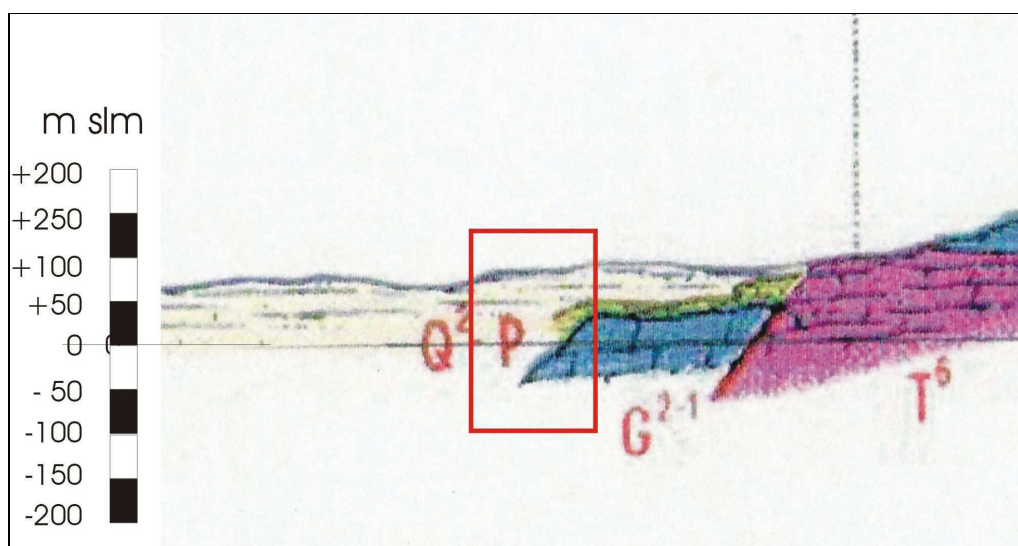
### *Tettonica*

Dal punto di vista tettonico l'area è ubicata in corrispondenza del margine tirrenico dell'Appennino Centrale, dove una serie di faglie dirette, a direzione NW-SE e NE-SW, hanno ribassato i depositi carbonatici meso-cenozoici, che costituiscono la struttura carbonatica dell'Appennino stesso. Al di sopra dei carbonati, attualmente affioranti poco ad est nei Monti Cornicolani, si sono depositate argille limose di origine marina (Pliocene), i depositi continentali sabbioso-ghiaiosi del Paleotevere e successivamente le sequenze piroclastiche e laviche del Vulcano Laziale (Pleistocene sup.).

In corrispondenza dell'area in esame, dall'indagine geofisica HVSR (vedi oltre) si è individuata la formazione marnosa pliocenica a circa 39-40 m di profondità, mentre il substrato carbonatico meso-cenozoico, costituito dal Calcarea Massiccio, a circa 130-140 m di profondità. Tale realtà è evidenziata dalle Figure 3 e 4 che mostrano rispettivamente uno stralcio dalla Carta Geologica 1:100.000 ed una sezione est-ovest localizzata più a nord, ma che esprime compiutamente le condizioni geostrutturali presenti.



*Figura 3 – Stralcio dalla Carta Geologica 1: 100.000 con localizzazione di Calcare Massiccio*



*Figura 4 – Stralcio di un profilo geologico ovest-est che illustra le condizioni geostrutturali locali, con il Calcare Massiccio ( $G^{2-2}$ ) che immerge verso ovest*



In tutta l'area in studio affiorano prevalentemente terreni di origine vulcanica: infatti, a partire dal Pleistocene medio (circa 600.000 anni BP), in concomitanza con grosse crisi tettoniche connesse all'orogenesi appenninica, si sviluppa una attività vulcanica alcalino potassica, di tipo prevalentemente esplosivo che, con momenti di particolare intensità, si protrae per tutto il corso del Pleistocene superiore. Nell'area in esame le vulcaniti sono provenienti dal Distretto Vulcanico Sabatino, localizzato più ad ovest.

La deposizione di grandi quantità di questi prodotti vulcanici, in particolare sotto forma di colate piroclastiche (ignimbriti) e di piroclastiti di ricaduta, preceduta e accompagnata da una notevole attività tettonica, causa un notevole sconvolgimento del precedente assetto morfologico dell'area, nonché del suo reticolo idrografico.

Durante l'ultima regressione quaternaria (regressione würmiana, apice a 19.000 anni BP) il livello del mare scende fino ad oltre -120 metri rispetto all'attuale, innescando così diffusi fenomeni erosivi che hanno inciso l'intera serie piroclastica dando origine al reticolo idrografico attuale. Successivamente, alla risalita del livello marino, da 19.000 anni fa ad oggi, si sono realizzati fenomeni di alluvionamento e colmamento delle incisioni vallive più profonde (Valle del Tevere e suoi affluenti)

### *Geologia*

Geologicamente sono presenti formazioni di origine tufacea provenienti dalle eruzioni del Vulcano Sabatino, di età Pleistocenica medio-superiore; questi terreni sono costituiti da piroclastiti stratificate prevalentemente rappresentate da lapilli, ceneri e livelli pomicei appartenenti all'Unità dei Tufi Stratificati di La Storta e si sviluppano sulle aree sommitali delle colline.

I tufi sono sovrapposti a depositi alluvionali prevulcanici costituiti da alternanza di sabbie, argille più o meno marnose e ghiaie, riferibili al Pleistocene inferiore, che affiorano soltanto sui settori a quota più bassa del sistema collinare e lungo le incisioni vallive.

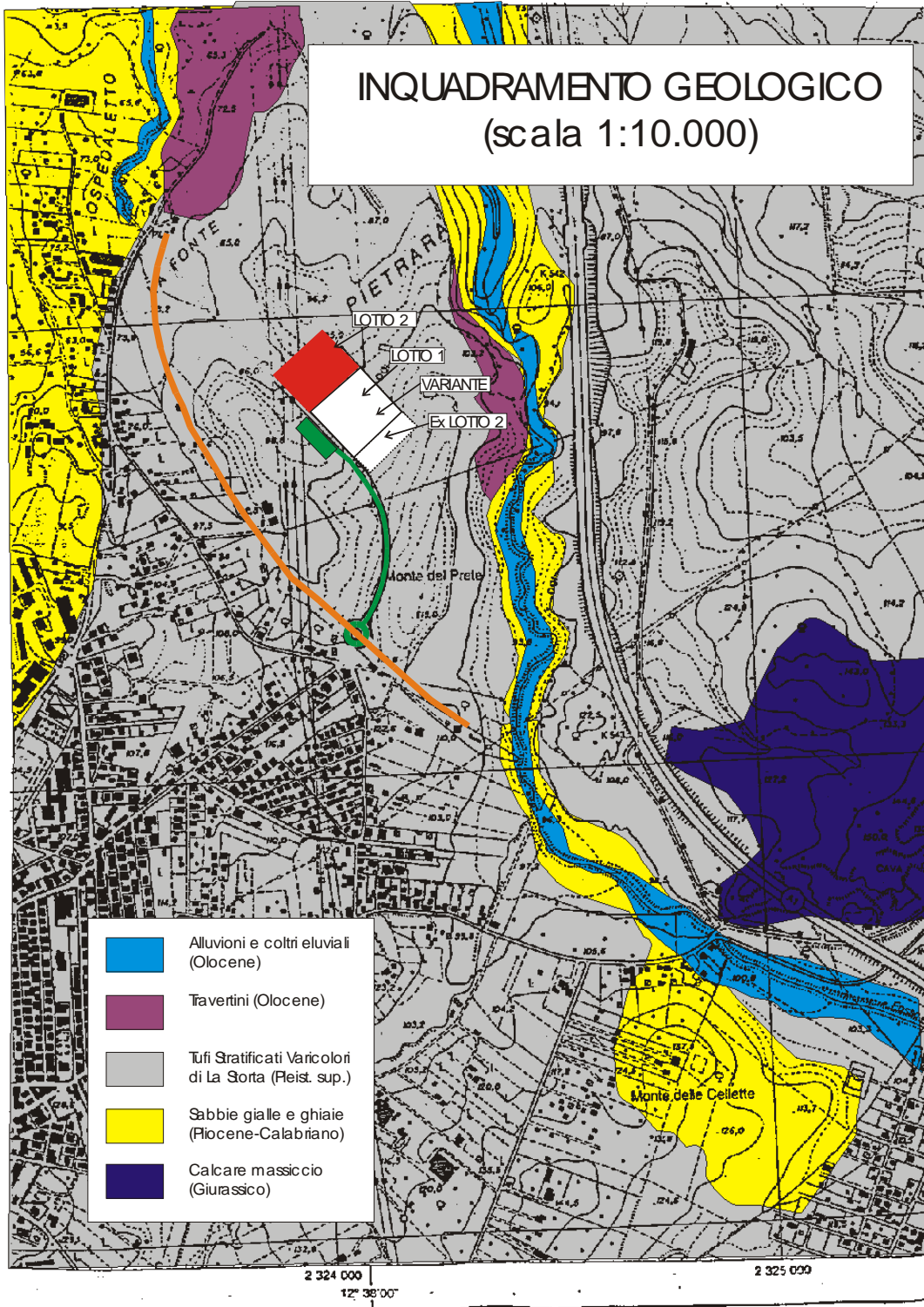
I depositi piroclastici non sono facilmente visibili o affioranti nell'area in esame, sia per le deboli acclività presenti e sia per la estesa copertura eluvio-colluviale formatasi grazie ai fenomeni di alterazione e di pedogenesi delle formazioni piroclastiche superficiali; le coltri

eluviali e pedogenetiche sono granulometricamente rappresentate da scorie cineritiche più o meno argillificate, con sparsi elementi lapidei tufacei.

Lo spessore dei tufi, in base al rilevamento geologico risulta di alcune decine di metri; l'indagine geofisica MASW e HVSR, sulla base dei sismostrati permette di individuare tale spessore intorno ai 14-16 metri (vedi oltre).

Nelle aree circostanti l'area in esame sono inoltre presenti alcuni affioramenti di limitate placche più o meno alterate di natura travertinosa di età olocenica.

La Fig. 5 mostra l'ubicazione dell'area cimiteriale nell'ambito della geologia dell'area; risulta che questa è localizzata in corrispondenza di depositi piroclastici.



*Figura 5 – ubicazione del nuovo cimitero di Monterotondo nel contesto geologico generale*



### *Idrogeologia*

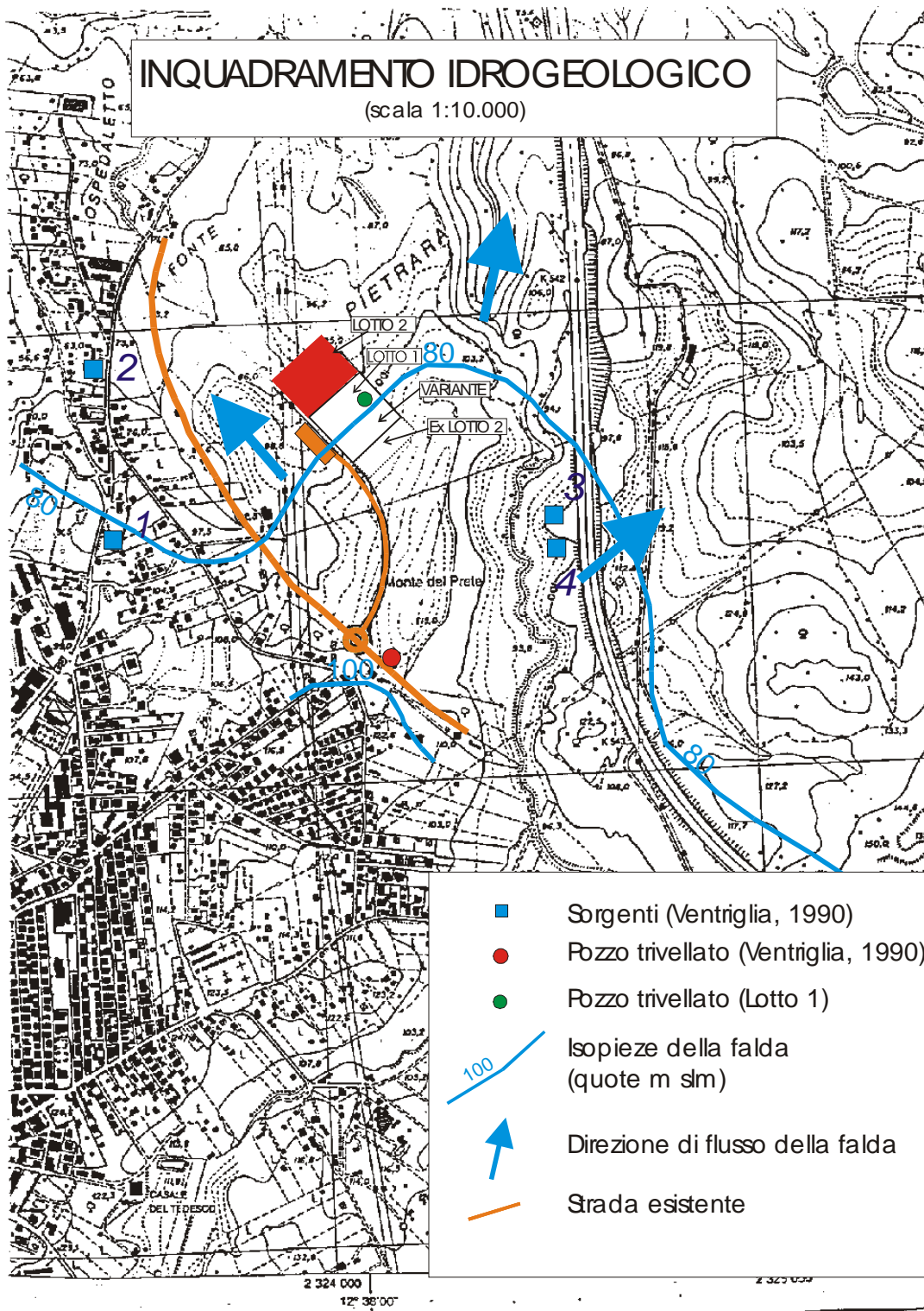
Dal punto di vista idrogeologico i litotipi tufacei ed i colluvi superficiali sono caratterizzati da *medio-bassa permeabilità*, mentre i sottostanti depositi alluvionali hanno una permeabilità relativamente maggiore, soprattutto negli strati a componente sabbiosa, ma comunque sempre a livelli di *media permeabilità* globale; trattasi di permeabilità per porosità.

Le limitate zone con presenza di travertini, esterni comunque all'area del futuro cimitero, sono caratterizzate invece da *elevata permeabilità* per fratturazione e per dissoluzione.

Le condizioni geologiche e di permeabilità dei vari litotipi determina condizioni per la presenza di una circolazione idrica sotterranea all'interno dei depositi alluvionali sabbioso-limosi, inferiormente alla formazione tufacea.

In base ai dati stratigrafici di letteratura (Ventriglia, 1990) riferiti ad un pozzo trivellato a circa 400 m a su-est dell'area in esame (Figura 4) si evidenzia un deposito tufaceo superficiale di spessore di 10-12 m ed inferiormente sabbie e limi giallastri; in tale pozzo la piezometrica è stabilizzata a circa 18 m dal piano campagna; essendo il pozzo ubicato a quota di 115 m slm, la falda è a circa 97 m slm.

Tale dato è coerente con il pozzo trivellato eseguito nel 2007 all'interno del Lotto 1 (quota circa 98-100 m slm), che ha evidenziato un livello statico della falda a circa 15-20 m da p.c. (circa 78-80 m slm), con caratteri freatici (vedi Figura 6).



*Figura 6 – l'area in esame nell'ambito dell'idrogeologia generale*

Nella Fig. 4 sono ubicate anche alcune sorgenti presenti all'intorno dell'area in esame che contribuiscono a definire l'andamento delle isopieze:

- Sorgente 1: quota 92 m slm (portata 1 l/sec)
- Sorgente 2: quota 70 m slm (portata 3 l/sec)
- Sorgente 3: quota 100 m slm (portata 0,2 l/sec)
- Sorgente 4: quota 100 m slm (portata 0,1 l/sec)

Le sorgenti 3 e 4 sgorgano dai livelli basali dei tufi, mentre le sorgenti 1 e 2 provengono dai depositi travertinosi; le portate maggiori sono relative a quelle provenienti dai travertini (Ventriglia, 1988).

Inoltre si segnala che le sorgenti 3 e 4 sono localizzate sul versante opposto a quello ove è localizzata l'area cimiteriale, e che tutte le sorgenti sono, comunque, distanti circa 400 m dal futuro cimitero.

Dall'analisi delle isopieze emerge che in corrispondenza dell'area del futuro cimitero la falda è a circa 80-90 m slm e pertanto a 15-20 m dal piano campagna, con gradiente verso nord-ovest, coerente con la morfologia; il drenaggio è ovviamente verso il fondovalle del Torrente La Fiora.

### **3. INDAGINE GEOGNOSTICA**

#### **Premessa**

Il Regolamento Regionale n. 2 del 7/2/2012 stabilisce alcune norme per la prevenzione del rischio sismico.

In tale contesto (Allegato C) individua 3 Classi di Pericolosità Geologica in funzione della zonazione sismica regionale (DGR 387/2009), delle condizioni geologiche dell'area in esame e dei vincoli derivanti dagli atti di governo del territorio, secondo il seguente schema:

<b>PERICOLOSITÀ GEOLOGICA DEL SITO</b>
<b>TIPO A: BASSA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA:</b> Zone Sismiche 3A e 3B per le quali sussistano contemporaneamente le condizioni geomorfologiche descritte al comma 2 dell'art. 4 del Regolamento.
<b>TIPO B: MEDIA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA:</b> Zona Sismica 2B o Zone Sismiche 3A e 3B in cui si verifica una delle seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"><li>● <i>Contatto stratigrafico o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche e sismiche diverse;</i></li><li>● <i>Zone Suscettibili di Amplificazione Sismica identificate da studi di Microzonazione Sismica ai sensi della DGR Lazio n. 545/2010, e già validati dall'Ufficio Geologico e Sismico Regionale;</i></li><li>● <i>Situazioni litostratigrafiche particolari, quali riperti antropici, terreni scarsamente addensati, rocce molto fratturate e alterate, fenomeni di inversione della Vs;</i></li><li>● <i>Situazioni geomorfologiche particolari quali pendii con acclività &gt; 15°, cresta, conoide alluvionale, falda detritica.</i></li></ul>
<b>TIPO C: ALTA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA:</b> Zone Sismiche 1 e 2A o in tutte le Zone Sismiche in cui si verifica almeno una delle seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"><li>● <i>Area entro 50mt da faglie attive e capaci effettivamente indicate dall'I.N.G.V.;</i></li><li>● <i>Fenomeni di Liquefazione; Fenomeni di Subsidenza o Sinkhole;</i></li><li>● <i>Presenza di cavità sotterranee;</i></li><li>● <i>Presenza di strati o terreni fortemente compressibili tipo limi o argille con presenza di torba;</i></li><li>● <i>Versanti in frana, in dissesto o instabilità diffusa;</i></li><li>● <i>Zone R3 e R4 delimitate nei Piani delle Autorità di Bacino;</i></li><li>● <i>Zone Suscettibili di Instabilità, identificate da studi, validati dall'Ufficio Geologico e Sismico Regionale, ai sensi della DGR Lazio n. 545/2010;</i></li></ul>

Alla luce di quanto sopra detto, il Comune di Monterotondo è caratterizzato da una Sottozona Sismica 2B, a cui si associa una Pericolosità Geologica Media (Tipo B).

Sulla base dell'interazione fra la Pericolosità Geologica e le Classi d'Uso delle Opere, il Regolamento Regionale individua 4 Classi di Rischio Geologico, secondo il seguente schema:

<b>CLASSI DI RISCHIO GEOLOGICO</b>				
	<b>Pericolosità geologiche</b>	<b>Tipo A Bassa</b>	<b>Tipo B Media</b>	<b>Tipo C Alta</b>
<b>Classi d'uso</b>		Zone Sismiche 3A – 3B o casi comma 2 art. 4	Zone Sismiche 2B – 3A – 3B o casi particolari Tipo B	Zone Sismiche 1 – 2A o casi particolari Tipo C
<b>1</b> <i>(punto 2.4.2 DM 14.01.2008)</i>		<b>Rischio Basso</b>	<b>Rischio Basso</b>	<b>Rischio Medio</b>
<b>2</b> <i>(punto 2.4.2 DM 14.01.2008)</i>			<b>Rischio Medio</b>	<b>Rischio Medio-Alto</b>
<b>3</b> <i>(All. 2 DGR Lazio 387/09)</i>		<b>Rischio Medio</b>	<b>Rischio Medio-Alto</b>	<b>Rischio Alto</b>
<b>4</b> <i>(All. 2 DGR Lazio 387/09)</i>				

L'opera in esame appartiene alla Classe d'Uso II e pertanto è caratterizzata da una Classe di Rischio Geologico Medio.

Con riferimento alla Classe di Rischio Geologico ottenuto, la Regione Lazio indica le indagini minime geologiche, geotecniche e sismiche da effettuare obbligatoriamente per le opere sottoposte a controllo (art. 3) e non sottoposte a controllo (art. 4 comma 5), localizzate sia su terreni e sia su roccia compatta affiorante o entro i primi 3 metri di profondità (Categoria di Sottosuolo A), come qui di seguito esposto:

<b>RISCHIO MEDIO</b>	<p><b>Su Terreni:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Almeno un Sondaggio geognostico con prelievo di campioni per la determinazione delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione tramite analisi di laboratorio, <u>oppure</u> almeno 2 Prove Penetrometriche, di tipo DPSH o CPT, che indaghino il volume significativo come definito dal DM 14.01.2008 e dalla Circolare 02.02.2009;</li> <li>5. Almeno 2 prove geofisiche di comprovata validità e affidabilità che raggiungano la profondità necessaria per il calcolo delle <math>V_{S30}</math>;</li> <li>6. Prova sismica diretta, di tipo DownHole o CrossHole, solo per le strutture Strategiche e/o Rilevanti di cui all'All. 2 della DGR 387/09</li> <li>7. Verifiche di stabilità ante e post-operam dei versanti, laddove necessario;</li> </ol> <p><b>Su roccia compatta affiorante o con substrato roccioso entro i primi 3 mt di profondità:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>8. Almeno 2 prove sismiche indirette (<i>Sismica a rifrazione a onde P o onde S</i>) che raggiungano la profondità per accertare le condizioni di completa integrità del sottosuolo di Categoria A;</li> <li>9. Verifiche di stabilità ante e post-operam dei versanti, laddove necessario;</li> </ol>
----------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Nel caso in esame le indagini minime richieste sarebbero:

- Almeno 1 sondaggio geognostico oppure almeno 2 prove penetrometriche DPSH
- Almeno 2 prove sismiche MASW (incrociate)

Poiché dalle indagini pregresse:

- I dati stratigrafici sono noti dalla esecuzione del pozzo
- Sono state già eseguite n. 3 prove penetrometriche con penetrometro leggero (DL30) e n. 2 prove penetrometriche DPSH
- E' stata già eseguita una prova MASW

Per il progetto del Lotto 2 si esegue la seguente indagine geognostica:

- Esecuzione di n. 4 prove penetrometriche DPSH (che saranno utilizzate anche per i futuri lotti)
- Esecuzione di una prova HVSR da associare alla MASW già eseguita

Si descrivono qui di seguito le indagini attuale e pregresse:

### **Indagine attuale**

#### *Prove penetrometriche DPSH*

Per il progetto del Lotto 2 si sono eseguite n. 4 prove penetrometriche DPSH, in accordo con Regolamento Regionale n. 2 del 7/02/2012.

La prova penetrometrica DPSH consiste nel conteggio del numero di colpi ( $N_{DPSH}$ ) necessari per l'infissione di 20 cm di una batteria di aste munita di una punta conica con angolo di 60°; l'energia battente è data da un maglio di 63,5 Kg di peso con altezza di caduta di 75 cm.

Le 4 prove penetrometriche sono caratterizzate dai seguenti elementi:

<b>DPSH</b>	<b>PROFONDITA' (m da p.c.)</b>	<b>QUOTA RELATIVA (m da p.c.)</b>	<b>RIFERIMENTO</b>
1	12,4	0,0 (circa 94 m slm)	LOTTO 2
2	13	-0,6	LOTTO 2
3	10,8	-2	PROSSIMI LOTTI
4	8	-1	PROSSIMI LOTTI

In letteratura le correlazioni fra parametri geomeccanici dei terreni e valori penetrometrici sono prevalentemente relativi a penetrometrie tipo SPT (Standard Penetration Test), utilizzando i modelli interpretativi già precedentemente descritti con il seguente rapporto:

$$N_{SPT} = 1,52x N_{DPSH}$$

#### *Indagine geofisica HVSR*

Poiché si era in possesso di una prova MASW eseguita nel 2009, per la valutazione della risposta sismica locale, si è reputato opportuno eseguire una prova HVSR da interpretare congiuntamente con la suddetta MASW.

La prova HVSR, detta anche Metodo di Nakamura, si basa sulla misura dei rapporti fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale dei microtremori ambientali e sull'individuazione di massimi in frequenza della funzione H/V così ottenuta.

La quota di esecuzione della prova HVSR è a circa +0,2 m rispetto allo 0,00 della prova DPSH-1.

#### **Indagine 2006-2009 – Lotto 1 e Variante**

##### *Prove penetrometriche DL20*

L'indagine è consistita nella esecuzione di n. 3 prove penetrometriche dinamiche tipo DL20 (DIN 1, DIN 2, DIN 3).

Le prove penetrometriche sono state eseguite con penetrometro leggero DL20, che consiste nel conteggio del numero di colpi necessari per l'infissione di 10 cm di una batteria di aste munita di una punta conica con angolo di 60°; l'energia battente è data da un maglio di 20 Kg di peso con altezza di caduta di 20 cm.

In letteratura le correlazioni fra parametri geomeccanici dei terreni e valori penetrometrici sono prevalentemente relativi a penetrometrie tipo SPT (Standard Penetration Test) e pertanto è fondamentale individuare il rapporto dell'energia battente dei due tipi di penetrometro: da dati di letteratura si evince che, per terreni tendenzialmente incoerenti, il numero di colpi ogni 10 cm del penetrometro DL-20 utilizzato è caratterizzato dal seguente rapporto con la prova tipo SPT:

$$N_{SPT} = 0,511 \times N_{DL-20}$$

#### *Indagini Geofisica – prova MASW*

Il progetto della variante, nel 2009, ha richiesto l'esecuzione di indagini in accordo con quanto previsto nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) emanato il 14/1/2008. A tale proposito è stata eseguita una prova MASW (Multichannel Analysis Surface Waves) per la stima della velocità delle onde di taglio Vs dei terreni interessati il progetto di ampliamento del cimitero.

La metodologia MASW permette di valutare la stratigrafia di velocità delle onde di taglio nei primi metri di terreno utili per calcolare il parametro Vs30; la prova, a differenza delle prove "Down-Hole" non richiede l'esecuzione di un sondaggio e studia la propagazione delle onde superficiali (onde Rayleigh) prodotte da energizzazione e quindi è poco soggetta al rumore ambientale ed alla presenza di pavimentazioni.

Tramite questa prova vengono misurate le velocità sismiche delle onde superficiali a diverse frequenze. La variazione di velocità a diverse frequenze (dispersione) è imputabile prevalentemente alla stratificazione delle velocità delle onde S i cui valori sono ricavabili da una procedura di inversione numerica.



I risultati della prova MASW, che saranno di seguito discussi, sono allegati in un volume a parte; l'indagine è stata eseguita dalla Soc. Polo Geologico.

#### **Indagine 2007 – Pozzo**

Nel 2007 è stato eseguito un pozzo all'interno dell'area cimiteriale che ha dato la seguente stratigrafia locale:

<b>PROFONDITA' da p.c.</b>	<b>TERRENI</b>
0-0,5	Terreno vegetale
0,5-20	Depositi tufacei
> 20	Sabbie giallastre sede di una falda freatica

#### **Indagine 2013 – ex Lotto 2**

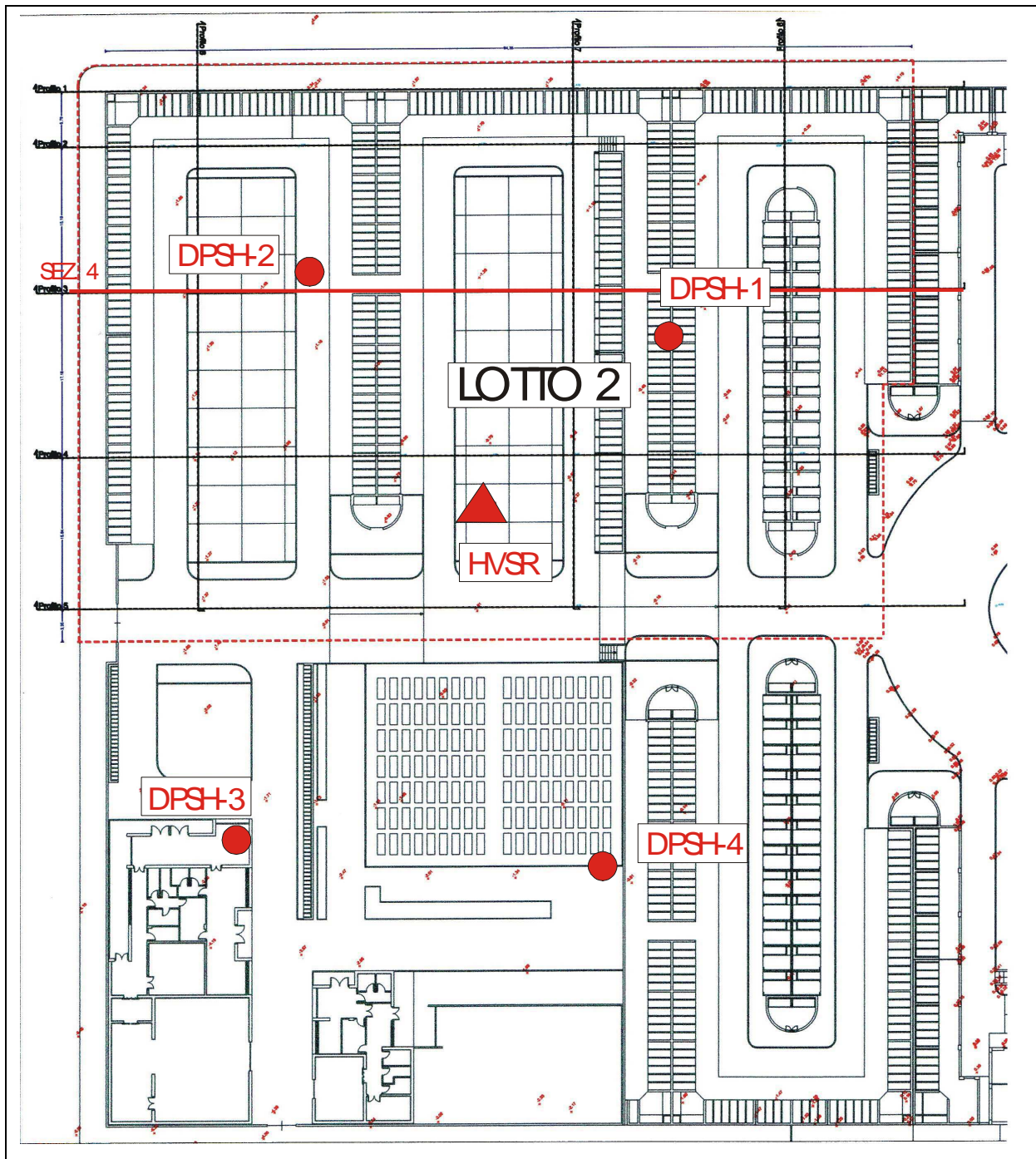
Nell'ambito della progettazione del Lotto 2 sono state eseguite 2 prove penetrometriche dinamiche DPSH.

Le prove penetrometriche DPSH sono state eseguite dalla Soc. UNIGEO srl.

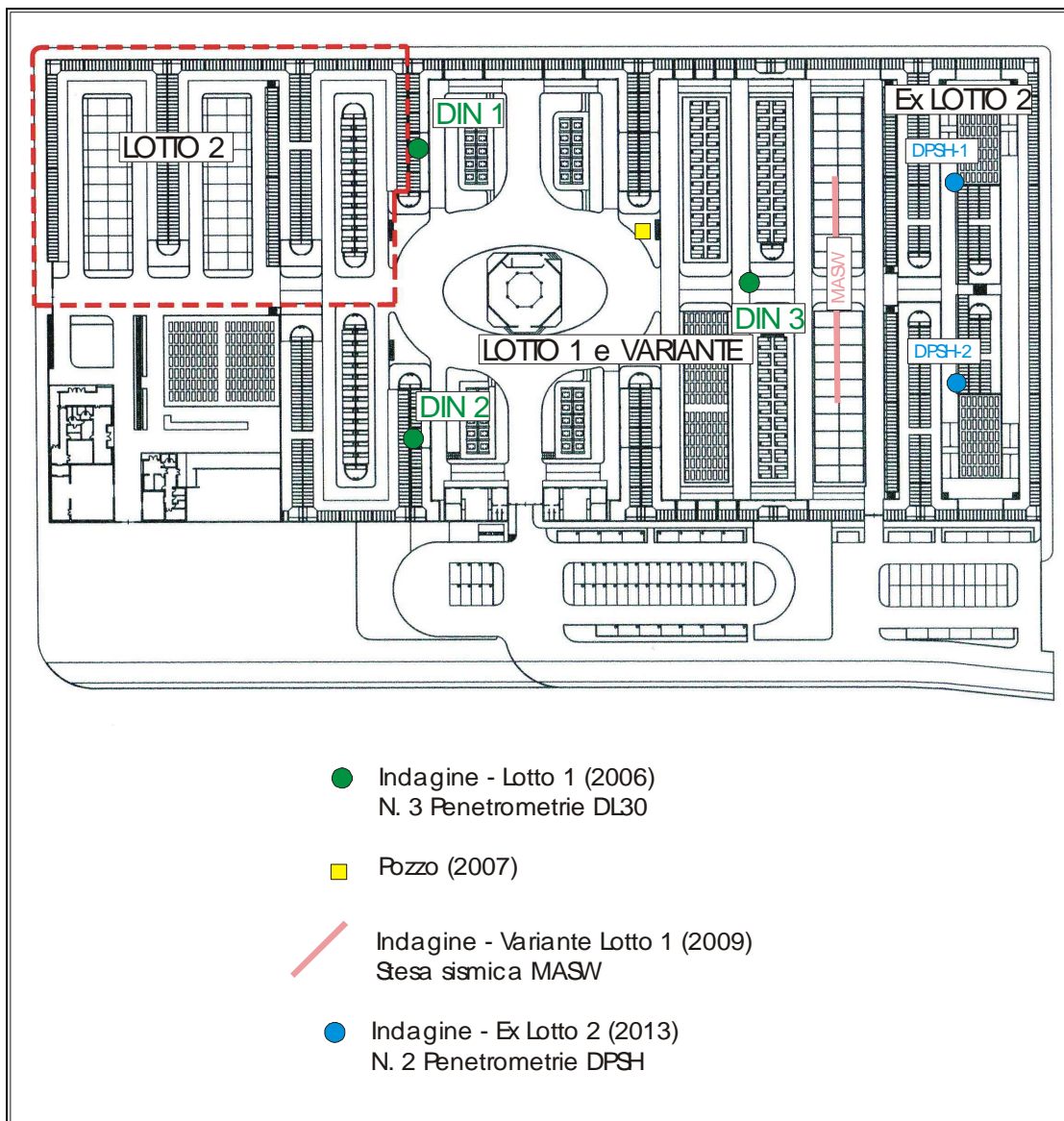
-----

Le indagini attuali (penetrometrie DPSH, HVSR) sono allegate in volume a parte, congiuntamente con i dati della prova MASW precedentemente eseguita (Rapporto POLO GEOLOGICO).

La Figura 7 mostra l'ubicazione delle indagini geognostiche attuali mentre la Figura 8 quelle pregresse.



*Figura 7 – ubicazione delle indagini geognostiche attuali (2014)*



*Figura 8 – ubicazione delle indagini geognostiche pregresse (2006-2013)*

#### **4. CARATTERI STRATIGRAFICI DELL' AREA IN STUDIO**

Alla luce delle caratteristiche geologico-strutturali generali precedentemente discusse, sulla base dei dati stratigrafici del pozzo e dei risultati delle indagini penetrometriche, si descrivono i caratteri stratigrafici dell'area attinente al Lotto 2 del Nuovo Cimitero di Monterotondo.

Nell'area in studio sono presenti esclusivamente depositi piroclastici riferibili ai Tufi Varicolori di La Storta, eruttati dal Vulcano Sabatino, di età pleistocenica, sovrimposti a sabbie prevulcaniche.

La copertura di detti tufi, nel corso della evoluzione morfologica, ha prodotto una copertura eluvio-colluviale di spessore variabile.

##### *Copertura eluvio-colluviale - terreno vegetale*

Le prove penetrometriche hanno individuato una copertura eluviale-colluviale di spessore variabile da 0,5 a 1,0 metri (in tale spessore è incluso lo strato di terreno vegetale pedogenizzato dello spessore di 10-30 cm).

Trattasi di materiale piroclastico alterato ed areato poco consistente e/o poco addensato.

##### *Tufi di La Storta - Pleistocene superiore*

Trattasi di tufi di ricaduta balistica, stratificati, caratterizzati da alternanze di lapilli varicolori, cineriti e prodotti piroclastici a volte argillificati.

I dati di pozzo permettono di individuare, in corrispondenza del Lotto 2, uno spessore intorno ai 14-16 metri, in accordo con i risultati delle indagini geofisiche.

Questa formazione in genere di ottima consistenza e/o addensamento è stata individuata dalle penetrometrie con valori elevati di resistenza alla penetrazione.

#### *Depositi alluvionali prevulcanici - Pleistocene medio*

Al di sotto dei tufi sono presenti depositi sabbiosi giallastri, alternati a livelli limoso-argillosi ed a intercalazioni ghiaiose.

L'indagine geofisica HVSR+MASW individua il tetto di questa formazione a circa 14-16 m di profondità ed uno spessore di circa 25 m, con un valore di  $V_s = 400$  m/sec...

#### *Depositi marini pliocenici – argille marnose*

L'indagine geofisica HVSR+MASW individua il tetto di questa formazione a circa 39-40 m di profondità dal p.c. con un valore di  $V_s = 550$  m/sec..

Questa unità, che non ha un diretto coinvolgimento con le problematiche progettuali del Lotto 2, è caratterizzata da una elevata consistenza e caratteristiche di sovraconsolidazione.

#### *Substrato carbonatico mesozoico*

L'indagine geofisica HVSR+MASW individua il tetto di questa formazione a circa 134-136 m di profondità dal p.c, con un valore di  $V_s = 1200$  m/sec..

Dal punto di vista geologico si fa riferimento alla Formazione del Calcere Massiccio.

Anche questa unità, decisamente lapidea e fratturata, non ha un diretto coinvolgimento con le problematiche progettuali del Lotto 2.

ooooo

Per una più chiara visione della realtà geologica e litostratigrafica generale dell'area si è costruita una sezione Geologica con direzione sud-nord (Figura 9) lungo l'intera area cimiteriale con l'ubicazione del Lotto 2 rispetto ai lotti già realizzati.

# SEZIONE GENERALE NORD-SUD

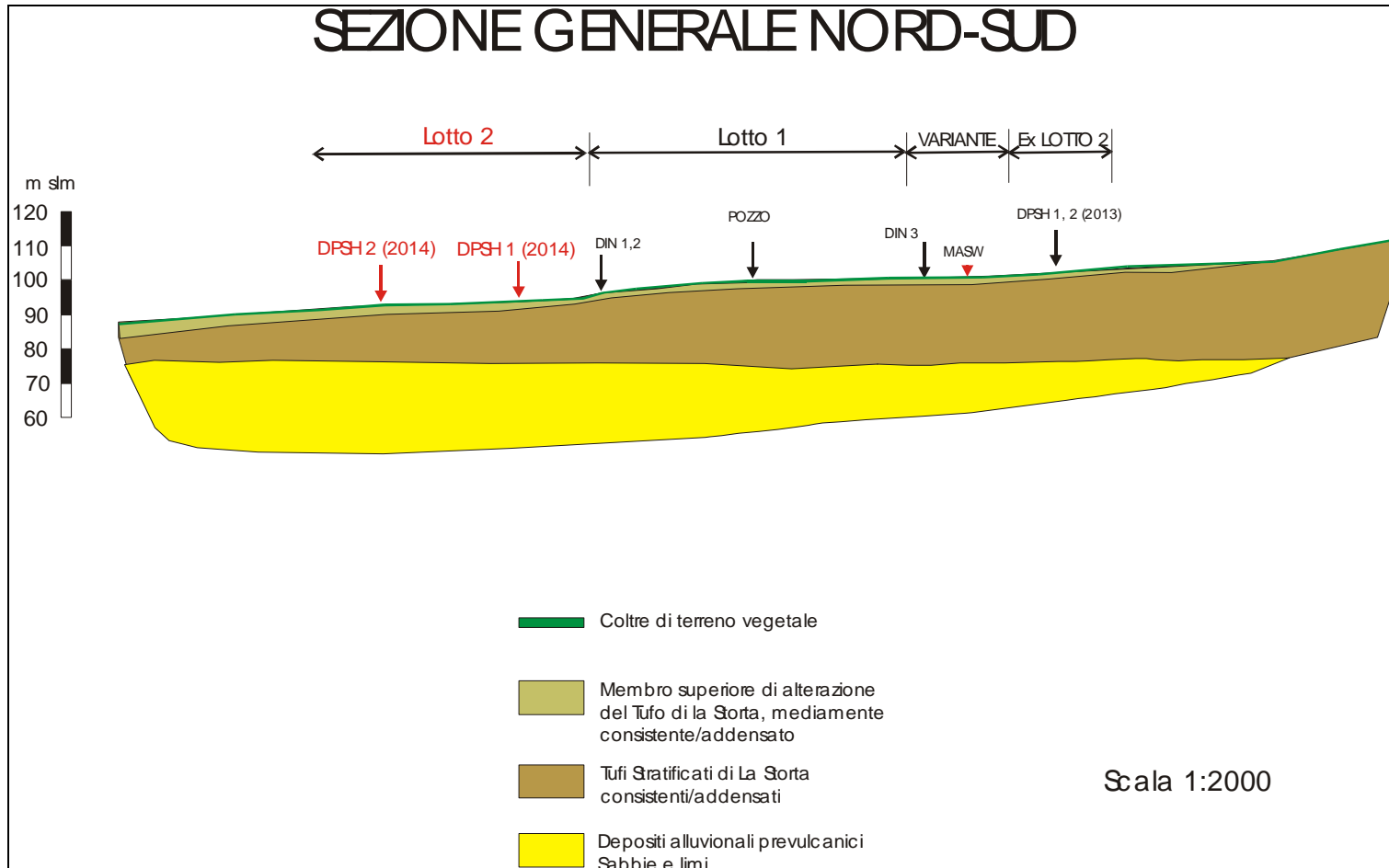


Figura 9 – profilo geologico generale

## **5. CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI**

### **5.1 Modelli di parametrizzazione geotecnica**

La caratterizzazione geotecnica è basata su dati ricavati da prove penetrometriche dinamiche continue DPSH.

Poiché in letteratura le valutazioni geotecniche da dati penetrometrici fanno riferimento ai valori  $N_{spt}$ , sono necessarie opportune modifiche sui valori penetrometrici e DPSH; si riportano i redimenti energetici di 1 colpo per le varie tipologie penetrometriche:

- $N_{spt} = 7,83 \text{ Kg/cm}^2$
- $N_{DPSH} = 11,91 \text{ Kg/cm}^2$

I dati penetrometrici, particolarmente significativi per la definizione degli orizzonti più granulari non campionabili, sono utilizzati utilizzando le metodologie più accreditate presenti in letteratura.

Per terreni tendenzialmente sabbiosi, i valori di  $N_{spt}$  sono significativi per la stima delle densità relative ( $D_r$ ), dell'angolo di attrito di picco ( $\phi_p$ ) e di Moduli di Deformazione ( $E'$ ,  $E_{25}$ ); nei terreni a comportamento coesivo si stimano invece i parametri  $C_u$  ed  $E_u$ .

I riferimenti interpretativi fanno riferimento a Bolton (1976), Jamiolkowski (1988), Webb (1970), Stroud (1974).

Alla fine del presente rapporto sono allegati in forma tabellare e grafica i dati penetrometrici dinamici SPT (come modellizzati nel rapporto delle indagini di POLO GEOLOGICO), interpretando le piroclastiti sia come terreni incoerenti che coerenti.

### **5.2 Caratteristiche geotecniche dei terreni**

Si descrivono qui di seguito le caratteristiche geotecniche dei terreni, limitatamente alle formazioni coinvolte nelle problematiche progettuali.

### *Copertura eluvio-colluviale - terreno vegetale*

Le prove penetrometriche hanno individuato una copertura eluviale-colluviale di spessore variabile da 0,5 a 1,0 metri (in tale spessore è incluso lo strato di terreno vegetale pedogenizzato dello spessore di circa 10-30 cm).

Trattasi di materiale piroclastico alterato ed areato poco consistente e/o poco addensato.

I valori penetrometrici sono piuttosto bassi, con valori di  $N_{spt} = 5-12$  colpi/30cm.

Si stimano i seguenti parametri fisico-meccanici:

Peso di Volume - $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	14-15
Angolo di attrito - $\phi'$ (stimato da SPT)	25
Coazione drenata - $C'$ (kPa) (stimato da SPT)	0
Modulo di Deformazione - E (MPa)	4-5

### *Tufi di La Storta - Pleistocene superiore*

Trattasi di tufi di ricaduta balistica, stratificati, caratterizzati da alternanze di lapilli varicolori, cineriti e prodotti piroclastici a volte argillificati; lo spessore è di circa 14-16 metri.

Questa formazione in genere di ottima consistenza e/o addensamento è stata individuata dalle penetrometrie con valori elevati di resistenza alla penetrazione, che aumenta con la profondità.

Si sono ottenuti valori penetrometrici variabili da 10-20 colpi/30cm, mentre da profondità di circa 8-9 metri si sono misurati valori superiori a 30 colpi/30 cm fino a rifiuto strumentale ( $N_{spt} > 50$  colpi/30cm).

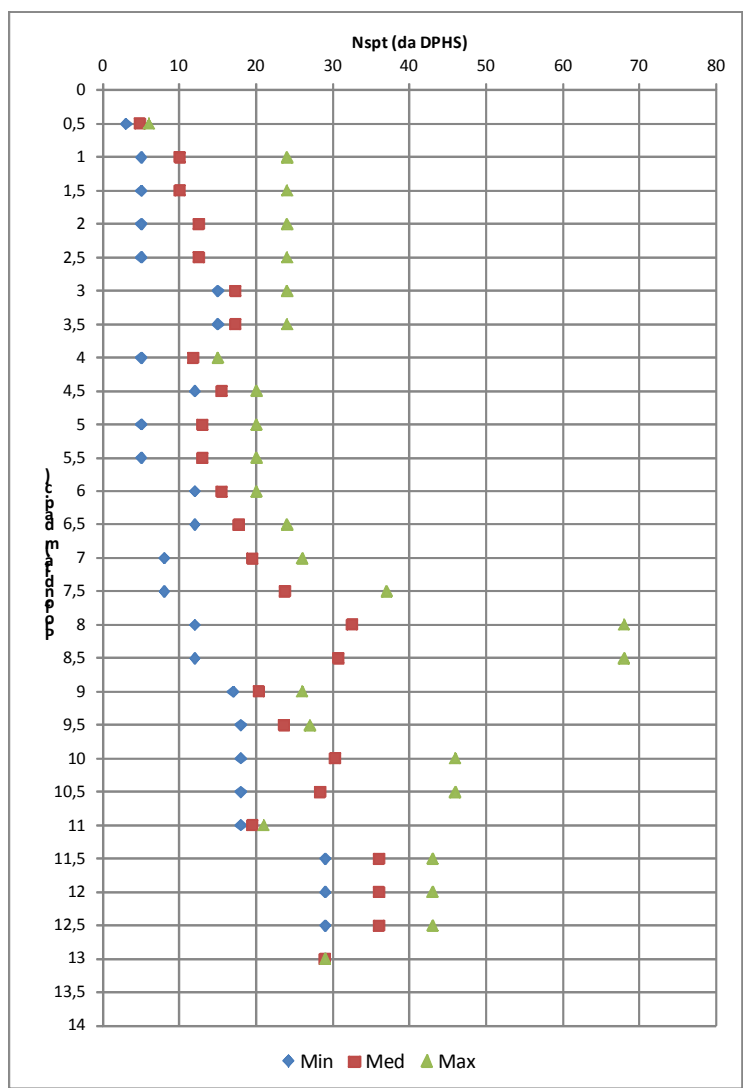
Dall'andamento dei valori penetrometrici (Figura 10) emerge un aumento dei valori di addensamento con la profondità.

L'interpretazione dei valori penetrometrici è stata sviluppata considerando le piroclastiti, sia come terreni incoerenti che coerenti (vedi grafici allegati alla fine del presente rapporto).

Da questi valori si ricavano e si stimano i seguenti parametri fisico-meccanici, suddividendo le piroclastiti in due sottounità geotecniche:



	Profondità 1-8 m da p.c.	Profondità 8-14 m da p.c.
Peso di Volume - $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18	19
Angolo di attrito - $\phi'$ (stimato da SPT)	30	35
Coesione drenata - $C'$ (kPa) (stimato da SPT)	0-5	5-10
Modulo di Deformazione - $E_{25}$ (MPa)	16-18	25-30



*Figura 10– Andamento dei valori penetrometrici DPHS*

*Depositi alluvionali prevulcanici - Pleistocene medio*

Al di sotto dei tufi sono presenti depositi sabbiosi giallastri, alternati a livelli limoso-argillosi ed a intercalazioni ghiaiose. Questa unità, data la elevata consistenza dei tufi non è stata raggiunta dalle penetrometrie.

L'indagine geofisica HVSR+MASW individua per questa formazione una velocità delle onde  $V_s = 400$  m/sec, indice di ottimi addensamenti.

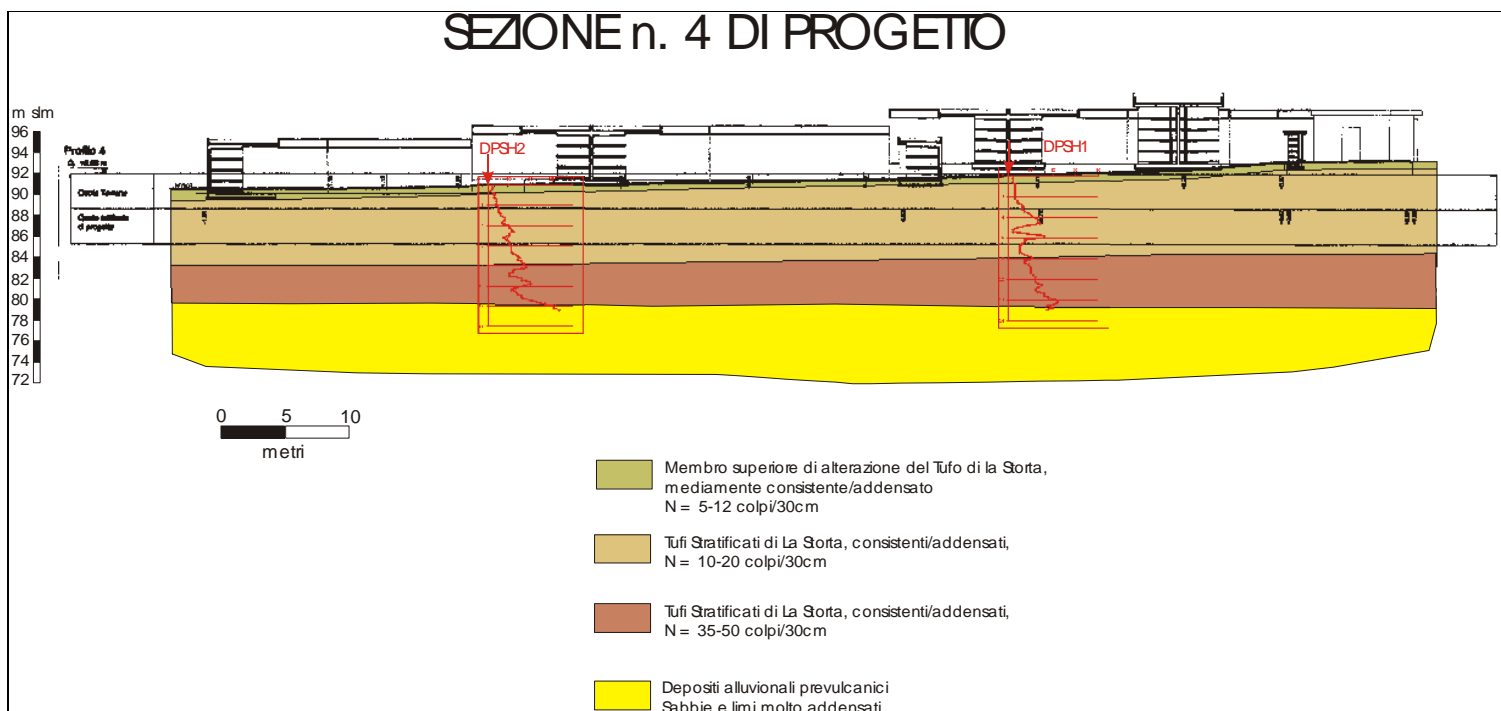
In mancanza di dati geotecnici sperimentali si stimano i seguenti parametri fisico-meccanici cautelativi:

Densità - $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18-19
Angolo di attrito - $\phi'$ (stimato da SPT)	30
Coesione drenata - $C'$ (kPa) (stimato da SPT)	0
Modulo di Deformazione - E (MPa)	35-40

oooooooooooooooooooo

La Figura 11 mostra una sezione limitata al Lotto 2, (Sezione 4 di progetto) la cui traccia è indicata in Figura 7.

Figura 11 – profilo geologico-geotecnico del Lotto 2 (Sezione 4 di progetto)



### 5.3 Coefficiente di Sottofondo

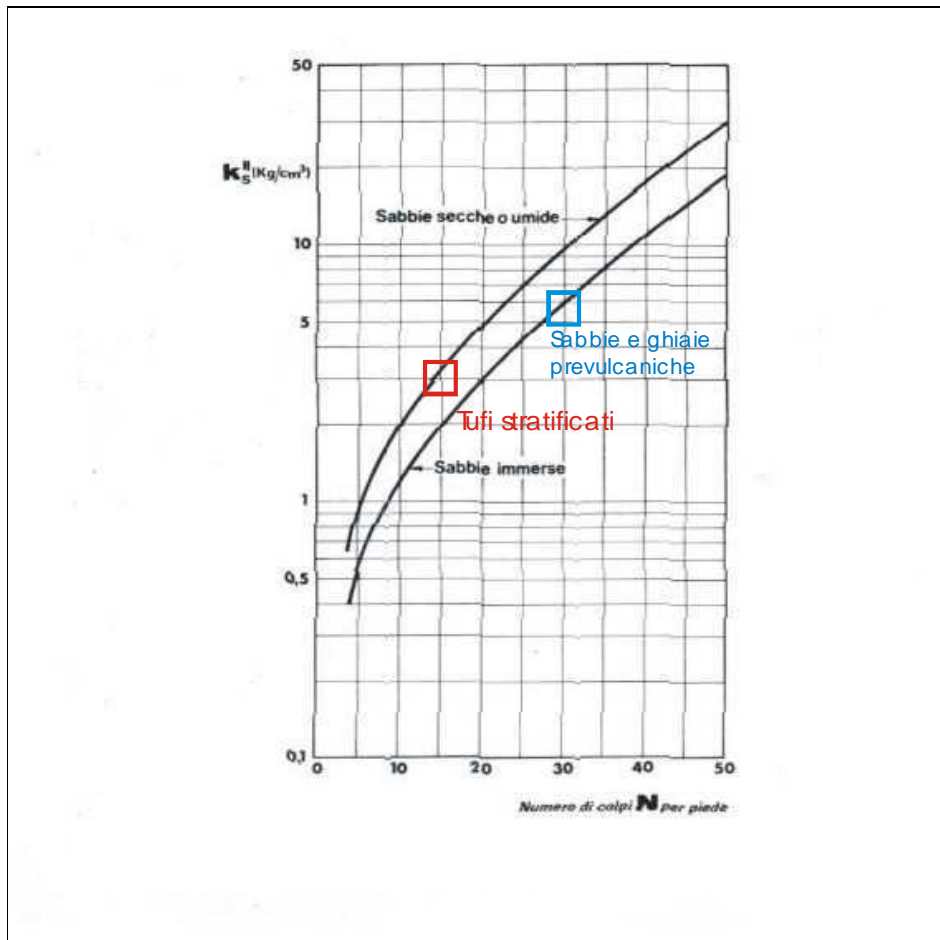
Il Coefficiente di sottofondo è un parametro che non esprime una caratteristica geotecnica intrinseca del terreno, ma è legato alle dimensioni della piastra di carico ed in effetti la sua valutazione richiede una prova di carico su piastra di diametro almeno di 30cm.

In mancanza di tale prova sperimentale esistono in letteratura varie relazioni per la sua stima; in questa sede, avendo a disposizione numerose prove penetrometriche dinamiche con penetrometro leggero tipo DL20 e DPSH, si utilizzeranno questi valori, opportunamente corretti e riferiti a prove SPT.

Si fa riferimento alle piroclastiti stratificate (Formazione di La Storta) ed alle sabbie prevulcaniche, utilizzando valori penetrometrici cautelativi (per le sabbie prevulcaniche il valore SPT è stimato cautelativamente).

Utilizzando il grafico di seguito allegato (Figura 12) e con riferimento alla curva “Sabbie secche o umide” risultano i seguenti coefficienti di sottofondo:

- Tufi stratificati (SPT = 10-20 colpi/30cm) - **ks = 3 Kg/cm<sup>3</sup>**
- Sabbie prevulcaniche in falda (SPT = >30 colpi/30cm) - **ks = 6 Kg/cm<sup>3</sup>**



*Figura 12– stima del Coefficiente di sottofondo in base a i valori Nspt*

Tale valori sono relativi ad una piastra circolare di 30 cm di diametro.

Il coefficiente di sottofondo effettivo e relativo alle dimensioni della fondazione è valutabile con la seguente relazione:

$$k = k_s \cdot \left( \frac{b_o + b}{2b} \right)^2$$

con

$b_o$  = diametro della piastra = 30cm

$b$  = lato della fondazione

## **6. SISMICITA' DELL'AREA**

L'analisi della sismicità generale e locale viene sviluppata secondo quanto previsto dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 e con le modifiche presenti nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) emanato il 14/1/2008.

Per quanto riguarda la definizione dei parametri di amplificazione sismica, l'analisi sarà sviluppata secondo le modalità presenti nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008 – 14/1/2008 e Circolare del 2/2/2009) e pertanto i parametri sismici saranno esplicitati attraverso i valori di  $a(g)$ ,  $F_0$ ,  $TC^*$ , che permettono di definire lo spettro di risposta su suolo rigido e locale.

Nel NTC-08 si evidenzia come l'analisi della sismicità è sviluppata con riferimento a metodologie probabilistiche di pericolosità sismica e pertanto le suddette analisi sono condizionate dalle scelte preliminari relative al progetto definendone il Periodo di Riferimento per l'azione sismica ( $V_R$ ), attraverso l'individuazione della sua Vita Nominale ( $V_N$ ) e del Coefficiente d'Uso ( $CU$ ). Il Periodo di Riferimento  $V_R$  è così determinato:

$$V_R = V_N \times CU$$

In accordo con i progettisti, per gli interventi previsti, si definiscono i seguenti valori:

VITA NOMINALE - $V_N$	50 anni
CLASSE D'USO	II
COEFFICIENTE D'USO - $CU$	1
Periodo di Riferimento - $V_R$	50 anni

Il Tempo di ritorno del Terremoto di riferimento ( $T_R$ ) si stima con la seguente relazione:

$$T_R = \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

dove PVR (%) è la Probabilità di Superamento corrispondente allo stato limite considerato dal progettista:

STATO LIMITE		PVR (%)
Stati Limite di Esercizio	SLO	81
	SLD	63
Stati Limite Ultimi	SLV	10
	SLC	5

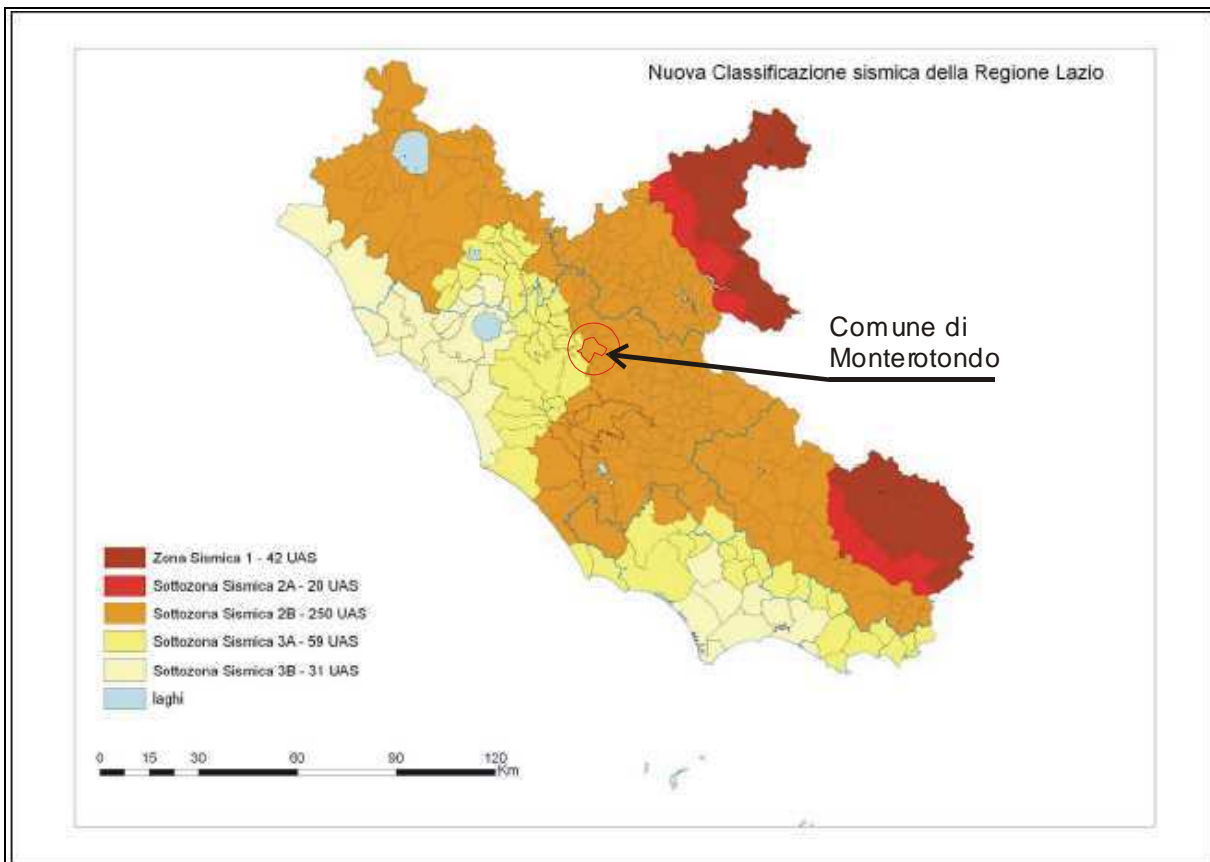
### 6.1 Caratteri macrosismici dell'area

In base all' Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, il Comune di Monterotondo appartiene alla Zona Sismica 2, con accelerazione sismica al suolo  $PGA = a/g = 0,25$  (PGA – Peak Ground Acceleration); successivamente il DGR della Regione Lazio n. 766 del 1/8/2003 ha confermato tale classificazione sismica.

Questa classificazione corrisponde alla II categoria delle vecchie norme (decreti fino al 1996) caratterizzata da un coefficiente di Intensità sismica  $C = 0,07$ .

Successivamente la Regione Lazio, attraverso il Servizio Geologico Regionale dell'Area Difesa del Suolo, dopo un anno di studi ed indagini in collaborazione con l'ENEA, ha emanato una "Nuova Classificazione Sismica della Regione Lazio" (DGR n. 387 del 22 Maggio 2009).

Novità di rilievo di questa ultima classificazione è l'istituzione di sottozone sismiche, che creano l'occasione di poter differenziare in modo dettagliato la pericolosità sismica sul territorio regionale, come qui di seguito illustrato (Figura 13):



*Figura 13: classificazione sismica dei Comuni del Lazio (DGR n. 387 del 22 Maggio 2009).*

In tale contesto il Comune di Monterotondo è incluso nella Zona Sismica 2B, caratterizzata da accelerazione sismica al suolo  $PGA = 0,15-0,20g$ , riferita alla Probabilità di Superamento del 10% in 50 anni (Figura 14).

ZONA SISMICA	SOTTOZONA SISMICA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI ( $a_g$ )
1		$0.25 \leq a_g < 0,278g$ (val. Max per il Lazio)
2	A	$0.20 \leq a_g < 0.25$
	B	$0.15 \leq a_g < 0.20$
3	A	$0.10 \leq a_g < 0.15$
	B	(val. min.) $0.062 \leq a_g < 0.10$

*Figura 14: classificazione sismica (DGR n. 387 del 22 Maggio 2009).*



## Caratteri macrosismici

Per quanto riguarda l'area in esame essa è priva di strutture sismogenetiche prossime, ma il Comune di Monterotondo può risentire di terremoti di provenienza appenninica, dell'area dei Colli Albani e subordinatamente dell'area sabatina.

### *Attività sismica dell'Appennino Centrale*

Nell'Appennino Centrale sono localizzate molte aree sismogenetiche di notevole importanza che hanno dato origine a terremoti di elevata magnitudo (fino a  $M = 7$ ).

I terremoti di queste zone sismogenetiche hanno determinato nel Comune di Monterotondo i risentimenti più elevati e fino alla Intensità Macrosismica di VII grado MCS (Mercalli – Cancani – Sieberg)

### *Attività sismica dei Colli Albani e dell'area Sabatina*

I Colli Albani sono sede di una sismicità con terremoti molto frequenti e con magnitudo intorno a  $M = 5$ ; l'area sabatina è invece caratterizzata da una sismicità ancora minore.

Si mostrano qui di seguito i risentimenti segnalati nel Comune di Monterotondo:

Osservazioni sismiche (18) disponibili per

MONTEROTONDO (RM) [42.054, 12.623]

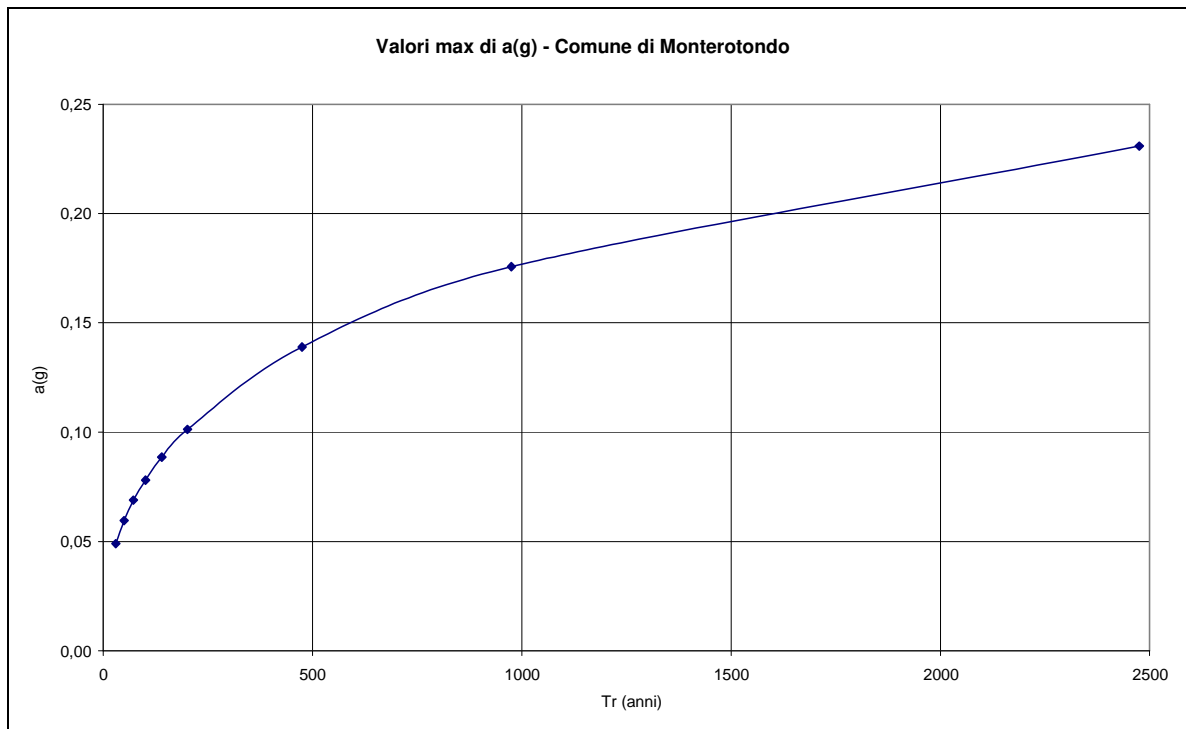
Data					Effetti	in occasione del terremoto di:		
Ye	Mo	Da	Ho	Mi	Is (MCS)	Area epicentrale	Ix	Ms
1915	01	13	06	52	75	AVEZZANO	110	70
1484	01	19			65	MONTEROTONDO	65	47
1901	04	24	14	20	60	MONTELIBRETTI	80	52
1892	01	22			55	COLLI ALBANI	70	47
1899	07	19	13	19	50	COLLI ALBANI	70	50
1902	10	23	08	51	50	REATINO	65	44
1927	12	26	15	06	50	COLLI ALBANI	80	45

1895 11 01	45	CASTELPORZIANO	65 44
1898 06 27 23 38	45	RIETI	80 52
1901 07 31 10 38	45	ALVITO	80 52
1919 10 22 06 10	45	ANZIO	70 54
1876 10 26 14 18	40	PALESTRINA	70 47
1904 02 24 15 53	40	MARSICA	90 55
1925 09 24 13 33	30	SANNIO	75 52
1927 10 11 14 45	30	MARSICA	70 50
1957 04 11 16 19	30	VALLE DEL SALTO	60 51
1930 10 30 07 13	20	SENIGALLIA	85 60
1961 10 31 13 37	20	ANTRODOCO	80 42



Dall'analisi statistica della storia sismica del Comune di Monterotondo risulta, in definitiva, che si sono risentiti terremoti fino a VII grado MCS, con riferimento a terremoti di origine appenninica, mentre terremoti con intensità del V-VI grado MCS sono preferibilmente riferibili alle aree sismogenetiche albane e sabatine.

Per il Comune di Monterotondo, dalle Banche Dati della Protezione Civile (CDROM – Microzonazione Sismica - Conferenza delle Regioni e Province Autonome, 2008) si ricavano i seguenti valori di accelerazione attesa in funzione dei vari Tempi di Ritorno (Figura 15).



*Figura 15: Legame delle accelerazioni con Tempi di ritorno  $T_r$  per il Comune di Monterotondo (Banche Dati della Protezione Civile– Microzonazione Sismica - Conferenza delle Regioni e Province Autonome, 2008)*

## 6.2 Risposta sismica locale

I dati sopra riportati sono di carattere macrosismico e/o validi per l'intero territorio comunale, mentre particolare rilevanza hanno i parametri geologici, geomorfologici ed idrogeologici che determinano la pericolosità sismica locale (amplificazione sismica, liquefazione dei terreni, ecc.).

In questa sede le condizioni sismiche locali dell'area in esame sono verificate secondo quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) emanato il 14/1/2008, che prevede sostanzialmente le seguenti 3 fasi di definizione della risposta sismica locale:

- A) Valutazione dei parametri sismici ( $a(g)$ ,  $F_0$ ,  $TC^*$ ) su suolo rigido;
- B) Valutazione del fattore di amplificazione stratigrafico (**Ss**);
- C) Valutazione del fattore di amplificazione topografico (**ST**);
- D) Valutazione del rischio di liquefazione dei terreni

A) valutazione delle accelerazioni (su suolo rigido – Categoria di Sottosuolo A)

Il Nuovo Testo Unico delle Costruzione (14/1/2008) impone che l'accelerazione orizzontale massima ( $ag$ ) e gli altri parametri che permettono di definire lo spettro di risposta ( $F_0$ ,  $TC^*$ ) siano definiti in base a diversi Tempi di Ritorno (TR) del sisma legato a diverse probabilità di superamento (PVR%).

Inoltre l'allegato A di tali Norme prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione venga definita sulla base di analisi probabilistiche di pericolosità sismica con riferimento ad un reticolo di nodi (INGV – Progetto S1, 2004-2006) caratterizzati da definiti parametri ( $a(g)$ ,  $F_0$ ,  $TC^*$ ).

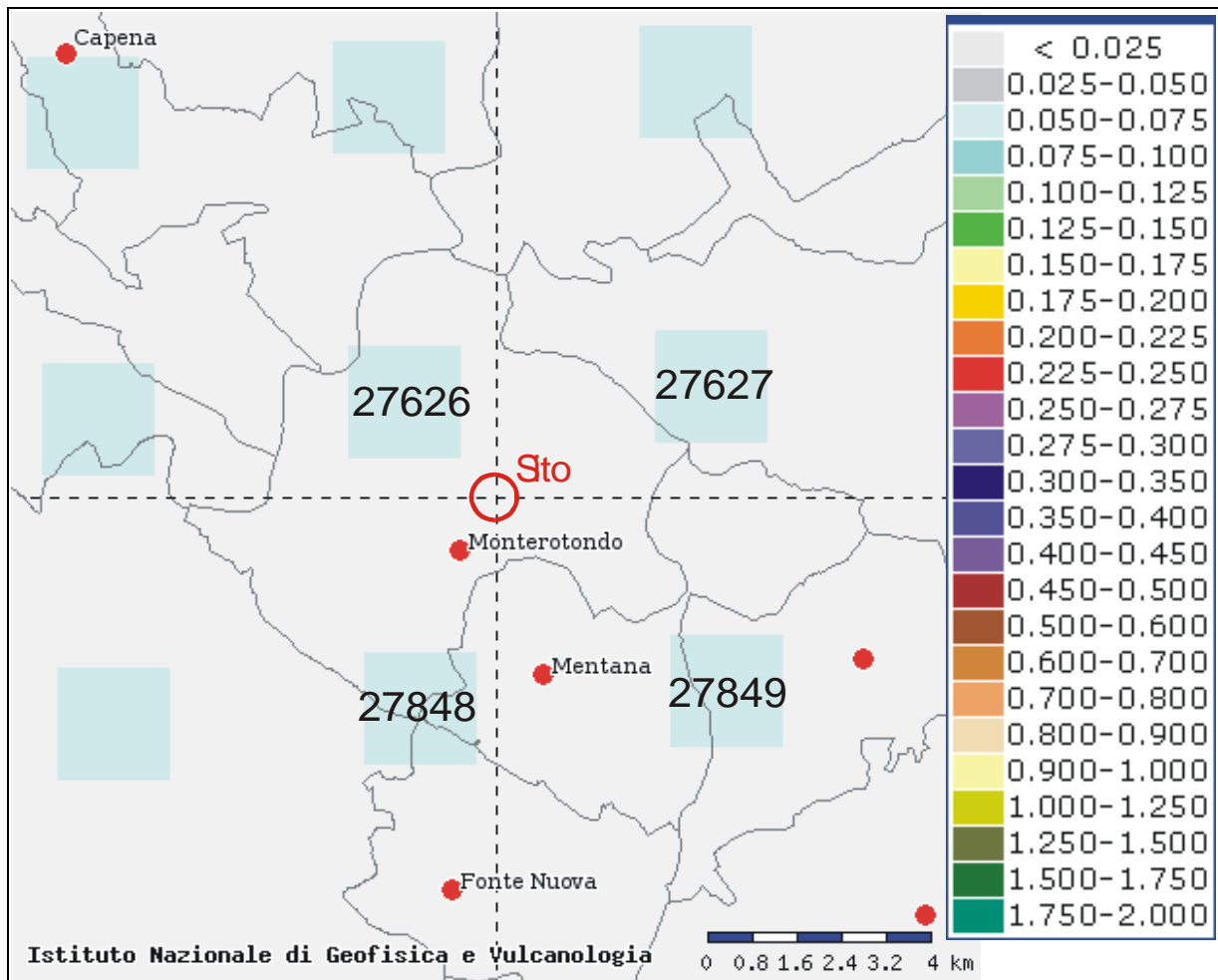
L'area sede della variante al Nuovo Cimitero di Monterotondo è individuata dalle seguenti coordinate (ED50):

	<b>LONGITUDINE</b> (°)	<b>LATITUDINE</b> (°)
<b>Ubicazione Cimitero</b>	12,63298	42,06758

L'area in esame è localizzata all'interno dei seguenti nodi con relative coordinate:

<b>NODO</b>	<b>LONGITUDINE</b> (°)	<b>LATITUDINE</b> (°)
<b>27626</b>	12,6144	42,0815
<b>27627</b>	12,6818	42,082
<b>27848</b>	12,6151	42,0315
<b>27849</b>	12,6824	42,032

La Figura 16 mostra la localizzazione del sito e dei nodi di riferimento, con riferimento ad una Probabilità di Superamento in 50 anni del 63% e Percentile del 50% (si nota che il sito è molto prossimo al nodo n. 28067).



*Figura 16: localizzazione del sito e dei nodi di riferimento  
(valori di  $a(g) = 0,05-0,075$  riferite ad una probabilità di superamento del 63% in 50 anni)*

Con riferimento ai 4 nodi, da analisi di disaggregazione dei valori di  $a(g)$  con probabilità di eccedenza del 63% in 50 anni, si ricava che l'area è soggetta a terremoti di massimi di Magnitudo variabile da 5,02 a 5,09 con epicentro distante da 30 a 35 Km (area appenninica).

I parametri sismici del sito ( $a(g)$ ,  $F_0$ ,  $TC^*$ ) sono definiti attraverso l'interpolazione pesata con l'inverso della distanza tra il sito ed i 4 nodi di riferimento.

Per l'area in esame dal calcolo si individuano i seguenti parametri sismici per vari Tempi di Ritorno  $T_R$ :

		PARAMETRI - NODO SITO		
$\lambda$	Tr	a(g)	F <sub>0</sub>	TC*
freq. ann. di sup.	(anni)	g/10	-	(sec)
<b>0,0333</b>	<b>30</b>	0,0469	2,5062	0,2600
<b>0,02</b>	<b>50</b>	0,0569	2,5443	0,2700
<b>0,0139</b>	<b>72</b>	0,0651	2,5342	0,2800
<b>0,0099</b>	<b>101</b>	0,0737	2,5417	0,2900
<b>0,0071</b>	<b>140</b>	0,0825	2,5477	0,2941
<b>0,005</b>	<b>201</b>	0,0943	2,5220	0,3041
<b>0,0021</b>	<b>475</b>	0,1279	2,5051	0,3165
<b>0,001</b>	<b>975</b>	0,1614	2,5096	0,3265
<b>0,0004</b>	<b>2475</b>	0,2119	2,5161	0,3324

Con riferimento ai vari stati limite si riportano i parametri che permettono di costruire i rispettivi spettri di risposta in relazione alle varie strategie progettuali:

STATO LIMITE		PVR (%)	TR (anni)	a(g)	F <sub>0</sub>	TC*
Stati Limite di Esercizio	SLO	81	30	0,04697	2,50647	0,26007
	SLD	63	50	0,05715	2,52636	0,26977
Stati Limite Ultimi	SLV	10	475	0,12785	2,50505	0,31652
	SLC	5	975	0,16139	2,50965	0,32653

Si allegano qui di seguito i tabulati di calcolo (Figure 17, 18, 19).

# NTC - 2008

## Interpolazione da nodi del reticolo

COMUNE Monterotondo  
 LOCALITA' Monte del Prete  
 CLASSE 2B (DGR n. 378 - 22/05/2009)  
 OPERA: Nuovo Cimitero Comunale-Lotto 2

NODI ADIACENTI DEL RETICOLO				
	NODO1	NODO2	NODO3	NODO4
ID NODO	27626	27627	27848	27849
LONG (°)	12,6144	12,6818	12,6151	12,6824
LAT (°)	42,0815	42,082	42,0315	42,032

Tr	NODO 1: 27626			NODO 2: 27627			NODO 3: 27848			NODO 4: 27849		
	ag	Fo	Tc*	ag	Fo	Tc*	ag	Fo	Tc*	ag	Fo	Tc*
(anni)	g/10	-	(sec)	g/10	-	(sec)	g/10	-	(sec)	g/10	-	(sec)
30	0,0455	2,52	0,26	0,0488	2,51	0,26	0,0462	2,49	0,26	0,0494	2,49	0,26
50	0,0553	2,56	0,27	0,0592	2,54	0,27	0,0559	2,53	0,27	0,0598	2,53	0,27
72	0,0627	2,56	0,28	0,0686	2,52	0,28	0,0636	2,53	0,28	0,0696	2,49	0,28
101	0,0711	2,56	0,29	0,0776	2,53	0,29	0,0717	2,54	0,29	0,0786	2,51	0,29
140	0,0791	2,58	0,3	0,0889	2,48	0,29	0,0795	2,57	0,29	0,0886	2,51	0,29
201	0,0915	2,52	0,31	0,1016	2,48	0,3	0,0897	2,56	0,3	0,1	2,52	0,3
475	0,1253	2,49	0,32	0,1396	2,46	0,31	0,1173	2,59	0,32	0,1367	2,47	0,31
975	0,158	2,51	0,33	0,1766	2,47	0,32	0,1484	2,56	0,33	0,1718	2,48	0,32
2475	0,2084	2,51	0,33	0,2323	2,5	0,33	0,1934	2,55	0,34	0,2245	2,5	0,33

### COORDINATE DEL SITO

	UTM (da CTR)	GEOGRAFICHE				TRASF. PER NODI
	(m)	(°)	(')	(")	(X,xxxxx° - ED50)	
LONG					12,63298	
LAT					42,06758	

NODO SITO	
LONG (°)	12,633
LAT (°)	42,0676
Distanza da NODO1 - Km	1,601
Distanza da NODO2 - Km	3,511
Distanza da NODO3 - Km	2,777
Distanza da NODO4 - Km	4,200

### PARAMETRI - NODO SITO

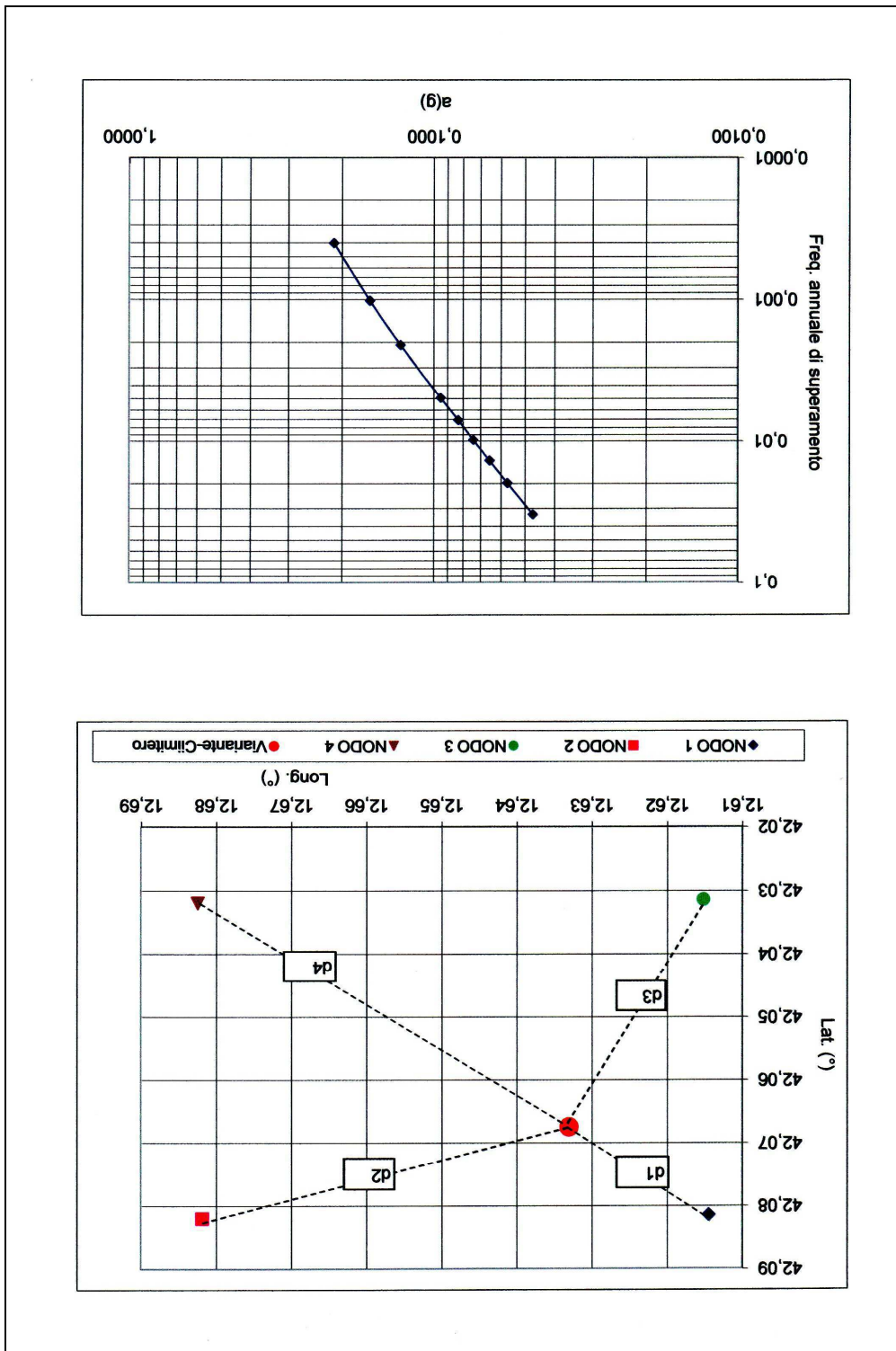
$\lambda$	Tr	a(g)	Fo	TC*
freq. ann. di sup.	(anni)	g/10	-	(sec)
0,0333	30	0,0469	2,5062	0,2600
0,02	50	0,0569	2,5443	0,2700
0,0139	72	0,0651	2,5342	0,2800
0,0099	101	0,0737	2,5417	0,2900
0,0071	140	0,0825	2,5477	0,2941
0,005	201	0,0943	2,5220	0,3041
0,0021	475	0,1279	2,5051	0,3165
0,001	975	0,1614	2,5096	0,3265
0,0004	2475	0,2119	2,5161	0,3324

### DATI VITA OPERA

VITA NOMINALE - Vn	50 anni
CLASSE D'USO	II
COEFFICIENTE DI CLASSE D'USO - Cu	1
PERIODO DI RIFERIMENTO - Vr	50 anni
PROBABILITA' DI SUPERAMENTO - Pvr	63 %
TEMPO DI RITORNO SISMA - Tr	50 anni

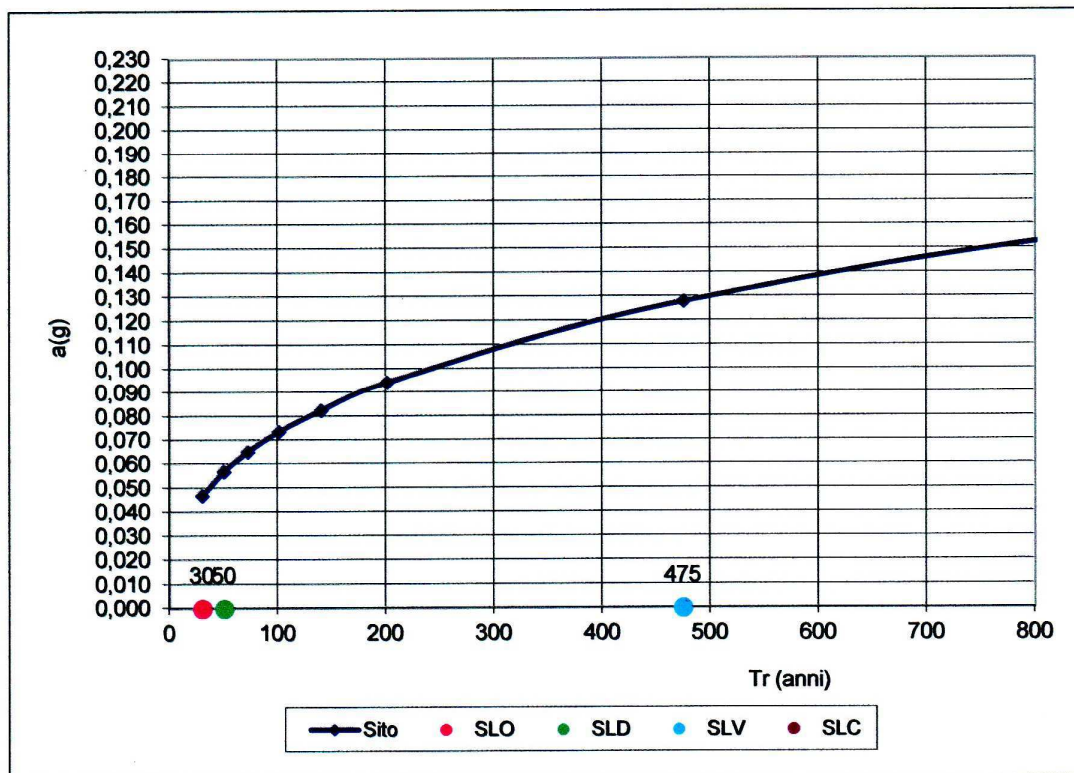
STATO LIMITE		PVR (%)	TR (anni)	a(g)	Fo	TC*
Stati Limite di Esercizio	SLO	81	30	0,04697	2,50647	0,26007
	SLD	63	50	0,05715	2,52636	0,26977
	SLV	10	475	0,12785	2,50505	0,31652
Stati Limite Ultimi	SLC	5	975	0,16139	2,50965	0,32653

Figura 17: Tabulato di calcolo parametri sismici (Suolo rigido - tipo A)



*Figura 18: Grafici interpolazione spaziale e frequenza annuale di superamento (Suolo rigido - tipo A)*





*Figura 19: variazione dell'accelerazione in funzione dei tempi di ritorno  
(Suolo rigido - tipo A)*

### B ) Amplificazione Stratigrafica

Per la valutazione dell'amplificazione stratigrafica le nuove norme sismiche suddividono i diversi terreni in 5 Categorie di Sottosuolo, in relazione alla risposta sismica locale, come qui di seguito riportato:

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30} > 800$ m/sec, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana

	fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 = 360-800 m/sec (Nspt30 > 50 nei terreni a grana grossa o Cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fine).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensate o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiore a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 = 180-360 m/sec (15 < Nspt30 < 50 nei terreni a grana grossa, 70 < Cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi a grana grossa scarsamente addensati oppure 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 Vs30 < 180 m/sec (Nspt < 15 nei terreni a grana grossa, Cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, giacenti su un substrato di riferimento (Vs30 > 800 m/sec).

Tale classifica individua anche due tipi di terreno S1 e S2 sono caratterizzati da parametri geotecnici particolarmente scadenti ( $V_s < 100$  m/sec; terreni liquefacibili, argille sensitive, ecc.), nei quali sono necessari studi specifici, ma che comunque non sono presenti nell'area in esame.

Nell'ambito del progetto di variante del Nuovo Cimitero Comunale di Monterotondo le fondazioni sono intestate in corrispondenza dei depositi piroclastici.

Dai dati ricavati dalla prova HVSR, interpretata congiuntamente con la MASW, risultano i seguenti sismostrati:

<b>STRATO</b>	<b>PROFONDITA' (m da p.c.)</b>	<b>Vs (m/sec)</b>
Coltre alterata e pedogenizzata delle piroclastiti di La Storta	0-1	120
Piroclastiti di La Storta (alternanza di strati cineritici e scoriacei)	1-14	200-300
Depositi prevulcanici pleistocenici – sabbie, ghiaie e calcareniti	14-39	400
Depositi marnosi pliocenici	39-134	550
Substrato carbonatico – Calcare Massiccio	> 134	1200
<b>VS30</b>		<b>300 m/sec</b>

Per quanto riguarda la Categoria di Suolo nel caso in esame si ottiene un valore di  $V_{s30} = 300 \text{ m/sec}$ , individuando pertanto una **Categoria di Sottosuolo C**.

Dalla prova HVSR risulta una frequenza fondamentale di vibrazione dei terreni a 0,9 Hz.

#### C) Amplificazione Topografica

In base alla situazione topografica le norme vigenti individuano 4 condizioni con relativi valori del Coefficiente di Amplificazione Topografica  $S_T$ :

<b>CATEGORIA TOPOGRAFICA</b>	<b>CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA</b>	<b>COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA - <math>S_T</math></b>
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi con inclinazione media $i < 15^\circ$	1,0
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1,2
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione $15^\circ < i < 30^\circ$	1,2
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione $i > 30^\circ$	1,4

Nel caso in esame sono presenti inclinazioni inferiori a  $15^\circ$  e pertanto si può assumere una Categoria Topografica T1, con **Coefficiente di Amplificazione Topografica  $S_T = 1,0$** .

#### D) Liquefazione dei terreni

Per quanto riguarda il rischio di liquefazione dei terreni in condizioni sismiche, si ritiene che tale problematica non sia localmente possibile, per motivi litologici, geotecnici ed idrogeologici.

Inoltre, per motivi morfologici e geotecnici, non sono presenti condizioni di induzione di instabilità morfologica in caso di sisma (frane cosismiche).

## **7. PROBLEMATICHE GEOLOGICO-TECNICHE E FONDALI**

L'area interessata dal Lotto 2 del Nuovo Cimitero di Monterotondo contempla la realizzazione di loculi, cappelle prefabbricate, edicole.

L'area risulta priva di dinamiche geomorfiche attuali e/o potenziali ed è caratterizzata da morfologie dolci e con blande acclività, caratterizzate da dislivelli massimi fra il settore meridionale e quello settentrionale di circa 2 m. In tale contesto l'area cimiteriale viene realizzata con livelli degradanti, conformandosi alla morfologia locale e minimizzando i rapporti fra scavi e riporti.

Si prevedono scavi, nel settore di meridionale, non superiori a 50-70 cm e riporti, nel settore settentrionale, non superiori a 60-100 cm. Nella zona con riporti, dopo aver asportato la coltre vegetale di circa 20-30 cm, la base fondale sarà resa orizzontale con gradonature di limitata altezza, per una efficace ammorsamento dei riporti stessi che saranno opportunamente compattati.

In base alla realtà idrogeologica, con particolare riferimento alla salvaguardia delle acque sotterranee, non emergono elementi ostativi alla realizzabilità dell'area cimiteriale in progetto.

Si sono eseguiti calcoli delle pressioni ammissibili e dei relativi cedimenti utilizzando la relazione di Terzaghi, con i parametri di Brinch&Hansen.

Si è utilizzata una configurazione geometrica di fondazione a platea del manufatto a loculi, con larghezza di circa 5 metri e approfondimento di 1 m dal piano campagna dopo la regolarizzazione fra scavi e riporti. Nel settore con i riporti, la base fondale sarà comunque sempre impostata sui terreni piroclastici in posto.

Risulta una pressione ammissibile di circa 275 kPa (2,7 Kg/cmq) che però induce cedimenti non accettabili e superiori ai 5-6 cm; con riferimento a deformazioni accettabili per usuali fondazioni (max 2,5-3,0 cm) si possono indurre tensioni indotte non superiori a 100 kPa (1.0 Kg/cmq).

Per quanto riguarda i cedimenti si sottolinea che le deformazioni dei terreni sono calcolati usualmente con relazioni che fanno riferimento a fondazioni flessibili; poiché nel contesto presente le platee fondali sono da considerarsi rigide, il cedimento effettivo è in genere minore e stimabile intorno al 78 % del cedimento calcolato.

Con riferimento ad una tensione media di contatto di 100 kPa risulta un cedimento teorico massimo di circa 2,5-2,8 cm (vedi tabulato di calcolo); tali cedimenti avranno carattere tendenzialmente immediato e non a lungo termine.

I calcoli sono sviluppati con software dedicato i cui tabulati sono allegati alla fine del presente rapporto; i tabulati di calcoli riassumono le condizioni stratigrafiche, geotecniche, geometriche ed i risultati dei calcoli.

Il progettista valuterà i calcoli sopra svolti in funzione delle reali dimensioni fondali dei vari manufatti.

## **8. CONCLUSIONI**

In base a quanto discusso nei capitoli seguenti si può concludere quanto segue:

- l'area interessata dal Lotto 2 del Nuovo Cimitero di Monterotondo è caratterizzata da morfologia leggermente inclinata; in tale contesto l'area cimiteriale è progettata con gradonature tali da minimizzare i rapporti fra scavi e riporti, comunque di limitati spessori
- nell'area, per motivi morfologici e geotecnici, non sono presenti indizi di dissesto in atto e/o potenziali;
- i terreni presenti sono costituiti dai Tufi Stratificati varicolori di La Storta e sono dotati di discrete caratteristiche geotecniche, con comportamento geomeccanico essenzialmente frizionale con elevata resistenza al taglio e medio-bassa deformabilità;
- dal punto di vista idrogeologico i terreni sono dotati di permeabilità media-bassa e media nelle compagini superficiali, con una falda principale di tipo freatico a circa 15 m di profondità dal piano campagna (da dati di letteratura, di livelli idrostatici di pozzi e del pozzo eseguito nell'ambito del cimitero);
- le condizioni geologiche, geomorfologiche e geotecniche determinano la possibilità di adottare fondazioni dirette con tensioni ammissibili non superiori a 100 kPa con cedimenti trascurabili;
- il Comune di Monterotondo è classificato come sismico appartenente alla Classe 2B; l'area interessata dalla variante impegna una Classe di Sottosuolo tipo C, con amplificazione topografica nulla.

Roma, Gennaio 2016



**STUDIO GEOLOGICO TECNICO**



*Maurizio Lanzini - geologo*

Via degli Scaligeri 29 - 00164 - ROMA

Tel. 347-3476138

Email: lanzin@aconet.it

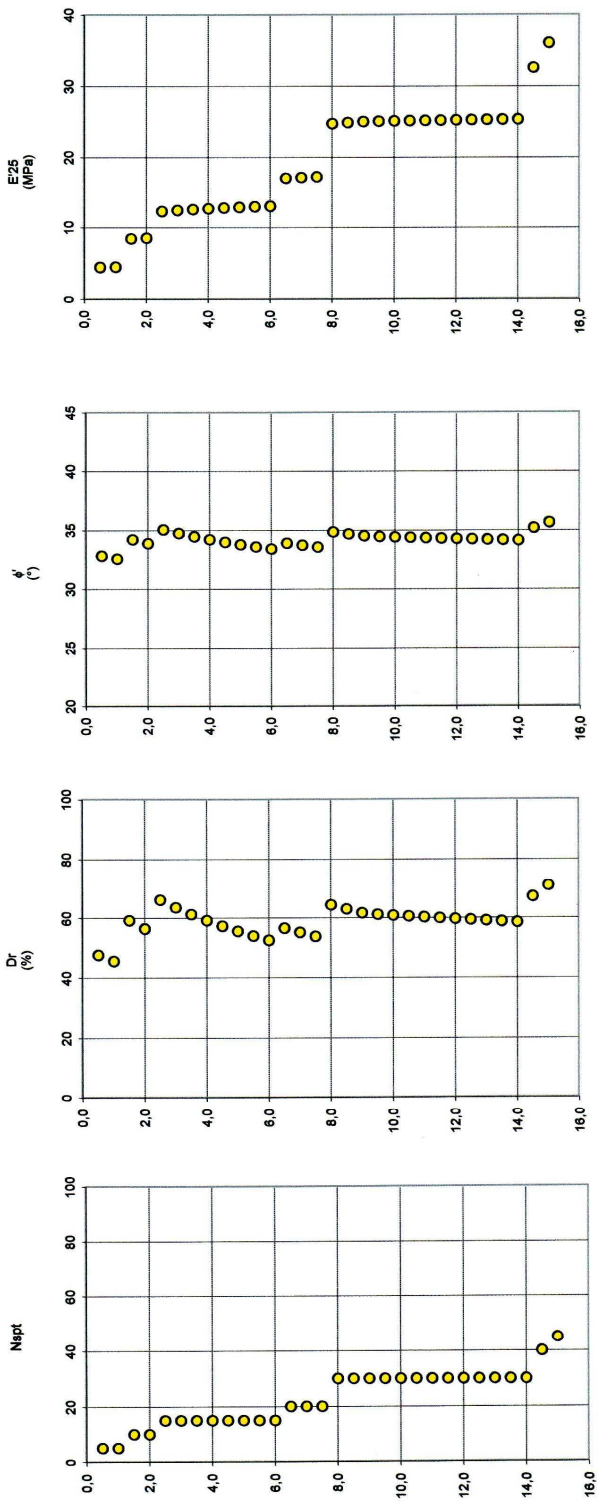
## **9. BIBLIOGRAFIA**

- CREPELLANI T., NARDI R., SIMONCINI C. (1988), La liquefazione del terreno in condizioni sismiche, Zanichelli, Bologna
- CNR - Progetto Finalizzato Geodinamica (1986), Elementi per una guida alle indagini di Microzonazione Sismica, Roma
- LANCELLOTTA R. (1983) - Meccanica dei terreni e fondazioni. Ed. Levrotto & Bella, Torino
- VENTRIGLIA U. (1990) - Idrogeologia della Provincia di Roma. Provincia di Roma, Ass. LL.PP. Viab. e Trasp., Roma.

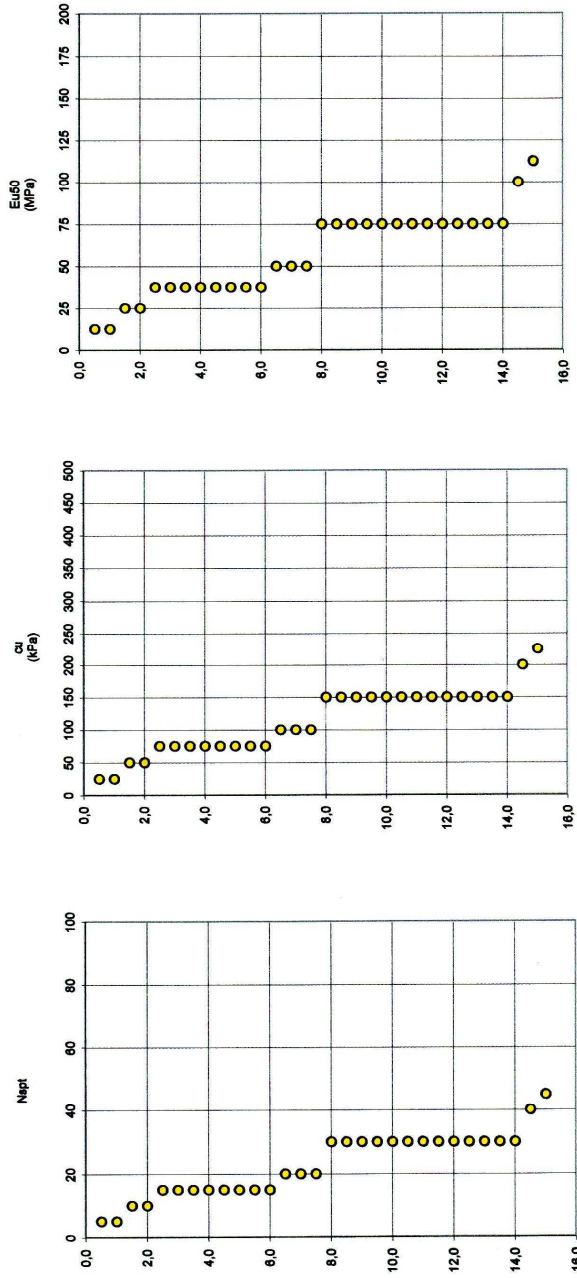
## **10. ELABORAZIONE PENTROMETRIE E TABULATO DI CALCOLO**



Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2  
 PROVE SPT - TERRENI INCOERENTI - DEPOSITI DEL FONDALE  
 /lotipo Piroclastiti



**Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2**  
**SPT - TERRENI COESIVI**  
**//for/ipo Piroclastiti**



Committente:	Italstudi srl
Riferimento:	Nuovo Cimitero di Monterotondo - LOTTO 2
Località:	Monterotondo (RM)
Opera:	Stima della pressione ammissibile - platea manufatto a loculi -largh.: 5 m

### FONDAZIONE CONTINUA - Formula di BRINCH-HANSEN

$$QI = 0.5 \cdot B \cdot G2 \cdot Ng \cdot Fg \cdot Dg \cdot Ig \cdot Gg \cdot Bg \cdot Rg + c \cdot Nc \cdot Fc \cdot Dc \cdot Ic \cdot Gc \cdot Bc + G1 \cdot H \cdot Nq \cdot Fq \cdot Dq \cdot Iq \cdot Gq \cdot Bq$$

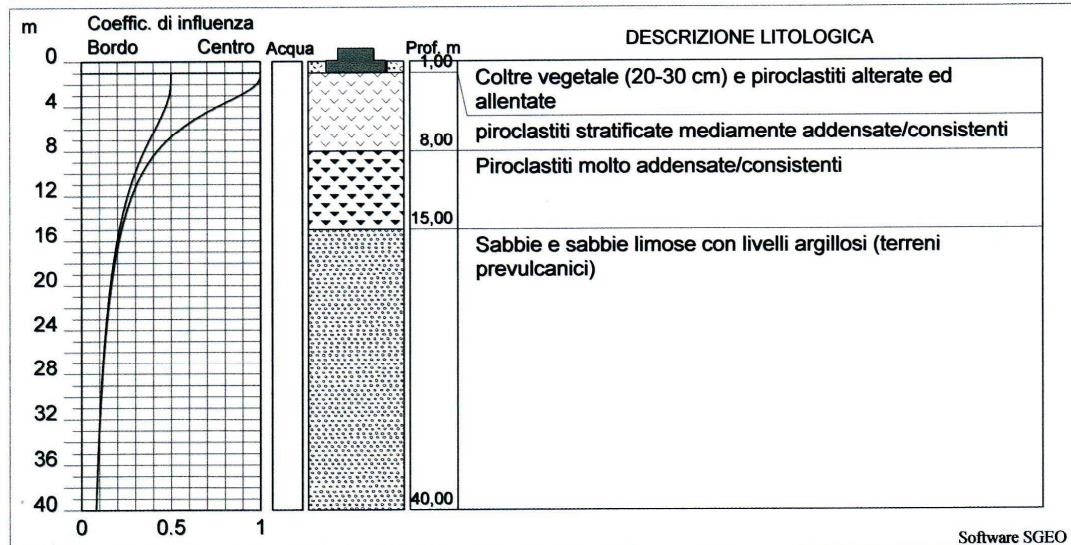
*Fg,Fc,Fq: fatt. di forma - Dg,Dc,Dq: fatt. profond. - Ig,Ic,Iq: fatt. inclin. carico - Gg,Gc,Gq: fatt. inclin. p.c. - Bg,Bc,Bq: fatt. inclin. fondaz. - Rg: fatt. platea*

Pressione a rottura [QI]	8,17 kg/cm <sup>2</sup>	Cedimenti totali alla pressione di esercizio	
Pressione ammissibile (k = 3,0)	2,72 kg/cm <sup>2</sup>	Al centro della fondazione	3,7 cm
Pressione di esercizio	1,00 kg/cm <sup>2</sup>	Al bordo della fondazione	2,7 cm
Profondità della base della fondazione [H]	1,00 m	Inclinazione piano campagna	0,0 °
Larghezza della fondazione [B]	5,00 m	Inclinazione del carico	0,0 °
		Direzione inclinazione carico	0,0 °
Densità media sopra il piano di fondaz. [G1]	1,50 g/cm <sup>3</sup>	Inclinazione della fondazione	0,0 °
Densità media sotto il piano di fondaz. [G2]	1,80 g/cm <sup>3</sup>	Eccentricità larghezza	0,00 m
Profondità della falda dal piano campagna	assente	Eccentricità lunghezza	0,00 m

Fattori di capacità portante di Hansen strato n° 2 Nc = 25,80 Nq = 14,72 Ng = 10,94

Profondità m	Densità (satura) g/cm <sup>3</sup>	Angolo Attrito Interno °	Coesione kg/cm <sup>2</sup>	Coesione n.d. kg/cm <sup>2</sup>	Modulo Edom. kg/cm <sup>2</sup>	Cedimenti centro cm	Cedimenti bordo cm
0,00 ÷ 1,00	1,50	25,0	0,00		50	0,0	0,0
1,00 ÷ 8,00	1,80	30,0	0,05		180	2,4	1,5
8,00 ÷ 15,00	1,90	35,0	0,10		300	0,6	0,5
15,00 ÷ 40,00	1,90	30,0	0,00		400	0,7	0,7

Il cedimento sopra calcolato fa riferimento usualmente a fondazioni flessibili.  
 Nel caso di una platea rigida, il cedimento effettivo è circa il 78% del cedimento di cui sopra (Cetselli Guidi, 1981)  
 Pertanto: 0,78x3,7=2,9-2,8 cm.



---

## Premessa

Il nuovo cimitero comunale di Monterotondo, in corso di realizzazione, è ubicato in località Pietrara–Monte del Prete lungo la tangenziale Nomentana-San Martino SP 25/b. Per la realizzazione dell'intero complesso cimiteriale è stato impegnato un lotto di terreno di circa 46.000 mq, identificato al catasto al foglio n. 19 particelle 12 e 13, foglio 27 particella 1968.

Con Deliberazione della Giunta Comunale n.424 del 16/10/2007 è stato approvato il progetto esecutivo del primo lotto del Nuovo Cimitero Comunale. Successivamente con Deliberazione della Giunta Comunale n. 26 del 4 febbraio 2010 è stata approvata la variante al progetto esecutivo relativa al 1° lotto, trasmessa il 23 dicembre 2009.

L'area interessata dall'intervento per il solo 1° lotto esecutivo ha impegnato una superficie di 18.000 mq, mentre per il 2° lotto il progetto esecutivo del primo stralcio lotto è stato approvato con Delibera di Giunta Comunale n. 119 del 19/05/2016. Questa prima porzione di lavori è stata completata nei primi mesi del 2018.

L'intervento oggetto della presente relazione riguarda la parte di cimitero diametralmente opposta al secondo lotto, precedentemente individuata Il Lotto e successivamente come IV lotto .

L'intervento si è reso necessario per soddisfare le esigenze contingenti del Comune di Monterotondo oltre a sistemare ed armonizzare l'area a ridosso del primo lotto su cui insiste un blocco di analoghi loculi prefabbricati realizzati d'urgenza nel 2015.

La relazione geologico-tecnica e le indagini geognostiche sono state effettuate negli anni 2013/2014 a cura del dott. Geologo Patrizio Paris . Le indagini effettuate hanno coinvolto le aree oggetto del presente intervento che , a suo tempo , era indicato come Lotto 2 . Successivamente , con la variante generale del progetto approvata dal Comune le aree di intervento in oggetto hanno preso la denominazione di Lotto 4 , di cui il presente progetto ne rappresenta il primo stralcio .





**POLOGEOLOGICO** srl  
servizi nel campo della geologia applicata

# COMUNE DI MONTEROTONDO

PROVINCIA DI ROMA

## PROGETTO ESECUTIVO DEL NUOVO CIMITERO DI MONTEROTONDO LOTTO 2



### RAPPORTO SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Gennaio 2014

Committente: Italstudi





## INDICE

<b>PREMESSA</b> .....	2
<b>1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</b> .....	2
<b>2. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE</b> .....	3
2.1 Strumentazione e metodologia.....	3
2.2 Criteri di correlazione dei dati.....	4
<b>3. INDAGINE SIMICA CON METODOLOGIA MASW</b> .....	7
3.1 Cenni teorici - MASW (Analisi multicanale delle onde superficiali).....	7
3.2 Strumentazione impiegata e modalità operative .....	11
3.3 Modalità esecutive.....	12
<b>4. SISMICA PASSIVA TIPO HVSR</b> .....	12
<b>5. CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI SECONDO LE NTC 2008</b> .....	13
<b>6. RISULTATI INDAGINI</b> .....	15
6.1 Risultati prove penetrometriche.....	15
6.2 Risultati MASW .....	16
6.3 Risultati misure HVSR.....	17

---

## ALLEGATI

- Ubicazione indagini geognostiche
- Elaborati indagine DPSH
- Elaborati indagine MASW
- Elaborati indagine HVSR
- Documentazione Fotografica



## PREMESSA

Su incarico della Italstudi S.r.l., è stato condotto uno studio geotecnico e geofisico per il Progetto esecutivo del Nuovo cimitero di Monterotondo – Lotto2 presso Monterotondo Strada Provinciale n.25b (Roma).

In particolare è stata eseguita un'indagine geotecnica in sito consistita nell'esecuzione di 4 prove DPSH, ed una misura HVSR.

Il presente rapporto illustra inoltre i risultati di una MASW eseguita nel 2009 per il progetto esecutivo del I Lotto del Nuovo Cimitero di Monterotondo, rielaborata utilizzando anche i risultati dell'HVSR.

I risultati, presentati in forma di elaborati grafici e numerici, hanno fornito informazioni sulle caratteristiche geotecniche del sottosuolo e sulla pericolosità sismica e i parametri sismici necessari alla progettazione dell'opera.

Tali indagini sono state eseguite secondo le prescrizioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) del 14/01/2008 (paragrafo 3.2.3 "Valutazione dell'azione sismica") e di autorizzazione sismica del regolamento regionale del Lazio (Delibera n.10 del 13-01-2012 e successive modifiche).

## 1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di studio si trova a nord est della città di Roma, presso la Strada Provinciale n.25b (RM).

I riferimenti cartografici IGM sono: sezione n. 365 II (Monterotondo) della Serie 25 (scala 25.000).

La sezione della CTR Lazio è la 365120 di cui viene allegato uno stralcio (scala originaria 1:10000).







## 2. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Per la caratterizzazione geotecnica, dell'area in esame sono state eseguite quattro prove Penetrometriche Dinamiche che hanno raggiunto la profondità indicata in tabella.

Prova Penetrometrica	Prof. Massima (m)
DPSH 01	12,40
DPSH 02	13,00
DPSH 03	10,80
DPSH 04	8,00

### 2.1 Strumentazione e metodologia

Lo strumento utilizzato nell'esecuzione delle prove è un penetrometro COMPAC azionato da un motore a quattro tempi della HONDA. Le caratteristiche tecniche del penetrometro sono di seguito riportate:

- *peso massa battente*  $M = 63,5 \text{ Kg}$
- *altezza di caduta libera*  $H = 0,75 \text{ m}$
- *peso sistema battuta*  $M_s = 30,0 \text{ Kg}$
- *diametro punta conica*  $D = 50,5 \text{ mm}$
- *area base punta conica*  $A = 20 \text{ cm}^2$
- *angolo apertura punta*  $\alpha = 90^\circ$
- *lunghezza delle aste*  $L_a = 1,0 \text{ m}$
- *peso aste per metro*  $M_a = 8,0 \text{ Kg/m}$
- *avanzamento punta*  $\delta = 0,2 \text{ m}$
- *numero di colpi punta*  $N=N(20)$  relativo ad un avanzamento di 20 cm
- *energia specifica*  $E_s = MH/A\delta = 11,91 \text{ Kg/cm}^2$
- *coeff. teorico di energia*  $\beta t = E_s/E_{SPT} = 1,521$

Le caratteristiche tecniche sopra riportate, in base alla classificazione ISSMFE 1988, inseriscono lo strumento utilizzato nella classe dei penetrometri superpesanti avendo una massa battente di peso superiore ai 60 Kg.

Per un migliore inquadramento delle attività dell'indagine si ritiene utile richiamare alcuni brevi cenni sulla metodologia impiegata in questa indagine.

La prova penetrometrica dinamica è un valido metodo di determinazione della resistenza dei terreni; essa consiste nell'infingere verticalmente una punta metallica conica di dimensioni standard posta all'estremità di un'asta di acciaio prolungabile con l'aggiunta di successive aste. L'infissione avviene per battitura, facendo cadere da un'altezza costante di 0,75 m un maglio di peso pari a 63,5 Kg.

Il parametro che viene misurato in campagna è la resistenza alla penetrazione, definita come il numero di colpi necessario ad infingere la punta conica per un tratto di lunghezza determinata. Nella procedura di riferimento da noi seguita, ISSMFE (1988), tale lunghezza risulta essere di 0,2 m.





## 2.2 Criteri di correlazione dei dati

Le misure di campagna sono il numero di colpi ( $N_{DP}$ ) per ogni 0,2 m di avanzamento della punta penetrometrica.

Questi dati sono riportati su tabella e grafico insieme alla resistenza dinamica alla penetrazione (Rpd) espressa in  $\text{Kg/cm}^2$ .

Il numero di colpi della prova penetrometrica dinamica ( $N_{DP}$ ) si correla al corrispondente valore  $N_{SPT}$  della prova Standard SPT attraverso la relazione  $N_{SPT} = 1,521 N_{DP}$  di seguito illustrata.

### Correlazione tra $N_{DP}$ e $N_{SPT}$

I dati della prova penetrometrica si possono convertire in valori di  $N_{SPT}$ , utilizzando il rapporto tra l'energia specifica ( $E_s$ ) relativa a ciascun colpo in una prova DPM e l'energia specifica relativa a ciascun colpo in una prova SPT ( $E_{SPT}$ ) è legato al numero di colpi dalla seguente relazione:

$$E_s/E_{SPT} = N_{SPT}/ N_{DP}$$

essendo

$$\beta_t = E_s/E_{SPT} = 1,521$$

si può ottenere il valore di  $N_{SPT}$  :

$$N_{SPT} = \beta_t N_{DP} = 1,521 N_{DP}$$

Dal valore di  $N_{SPT}$ , utilizzando le correlazioni note in letteratura, si può risalire ad alcuni parametri geotecnici relativi alle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni; tra questi si citano l'angolo di attrito ( $\phi'$ ), il modulo edometrico (E), la coesione non drenata ( $C_u$ ), la densità relativa ( $D_r\%$ ), peso specifico naturale secco e saturo.



**Nspt ->  $\phi'$  (ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE) (Terreni granulari)**

- PECK-HANSON-THORBURN (1953-1974) -

Nspt	$\phi'$ (°)	Nspt	$\phi'$ (°)	Nspt	$\phi'$ (°)	Nspt	$\phi'$ (°)
5	28,0	30	36,0	55	41,8	80	44,5
10	30,0	35	37,3	60	42,5	85	44,8
15	31,5	40	38,5	65	43,3	90	45,0
20	33,0	45	39,8	70	44,0	95	45,0
25	34,5	50	41,0	75	44,3	100	45,0

N.B.: esistono altre più precise correlazioni che tengono conto della pressione di consolidazione;  $p'_{vo}$  (pressione geostatica efficace).

**Nspt ->  $\gamma$  (PESO DI VOLUME) (Terreni coesivi)**

$\gamma_{sat}$ [t/m<sup>3</sup>]= peso di volume saturo  $\gamma_d$ [t/m<sup>3</sup>]= peso di volume secco  $W$  = umidità %  $e$  = indice vuoti

**TERRENI GRANULARI (Terzaghi-Peck 1948/1967) [e.max = 1 e.min = 1/3 G = 2.65]**

Nspt	$\gamma_{sat}$	$\gamma_d$	Nspt	$\gamma_{sat}$	$\gamma_d$	Nspt	$\gamma_{sat}$	$\gamma_d$	Nspt	$\gamma_{sat}$	$\gamma_d$
0	1,83	1,33	25	2,02	1,64	50	2,15	1,85	75	2,20	1,93
5	1,88	1,41	30	2,05	1,69	55	2,16	1,87	80	2,21	1,95
10	1,93	1,50	35	2,08	1,73	60	2,17	1,88	85	2,23	1,97
15	1,96	1,54	40	2,10	1,77	65	2,18	1,90	90	2,24	1,99
20	1,99	1,59	45	2,13	1,81	70	2,19	1,92	95	2,24	1,99

**TERRENI COESIVI (Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967) [p.specifico G = 2.70]**

Nspt	$\gamma_{sat}$	W%	$e$	Nspt	$\gamma_{sat}$	W%	$e$	Nspt	$\gamma_{sat}$	W%	$e$
0	1,60	68	1,833	10	1,90	33	0,892	20	2,02	25	0,667
2	1,75	47	1,267	12	1,92	31	0,842	22	2,04	23	0,628
4	1,80	42	1,125	14	1,95	29	0,795	24	2,07	22	0,591
6	1,85	37	1,000	16	1,97	28	0,750	26	2,09	21	0,556
8	1,87	35	0,945	18	2,00	26	0,708	28	2,10	20	0,545

N.B.: Correlazioni scarsamente affidabili soprattutto per terreni coesivi!



**Nspt -> E' (MODULO DI DEFORMAZIONE DRENATO) (Terreni granulari)**

- D'APPOLONIA e altri (1970) -

**SABBIE e GHIAIE N.C. (normalmente consolidate)**

Nspt	E'(kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt	E'(kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt	E'(kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt	E'(kg/cm <sup>2</sup> )
5	229,8	30	422,6	55	615,3	80	808,1
10	268,4	35	461,1	60	653,9	85	846,6
15	306,9	40	499,7	65	692,4	90	885,2
20	345,5	45	538,2	70	731,0	95	923,7
25	384,0	50	576,8	75	769,5	100	962,3

**SABBIE S.C. (sovra consolidate)**

Nspt	E'(kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt	E'(kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt	E'(kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt	E'(kg/cm <sup>2</sup> )
5	428,5	30	694,5	55	960,5	80	1226,5
10	481,7	35	747,7	60	1013,7	85	1279,7
15	534,9	40	800,9	65	1066,9	90	1332,9
20	588,1	45	854,1	70	1120,1	95	1386,1
25	641,3	50	907,3	75	1173,3	100	1439,3



### 3. INDAGINE SIMICA CON METODOLOGIA MASW

#### 3.1 Cenni teorici - MASW (Analisi multicanale delle onde superficiali)

La metodologia MASW si basa sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh e Love generate da una sorgente sismica e rilevate da geofoni equidistanti, distribuiti lungo degli allineamenti avente una lunghezza di qualche decina di metri.

La strumentazione di acquisizione consiste in un sismografo multicanale configurato per registrare un sismogramma con campionamento 1 ms (1000 Hz), per un tempo che normalmente varia da 0,5 a 2 secondi.

Le onde di Rayleigh si muovono secondo un moto ellittico retrogrado, avente una componente sia verticale che orizzontale.

Le onde di Love si muovono solo sul piano orizzontale con un'oscillazione la cui direzione è perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda.

Per generare queste onde nelle prospezioni MASW si usano sorgenti sismiche ad impatto verticale sul terreno (Rayleigh con geofoni verticali per la componente verticale e geofoni orizzontali per la componente orizzontale) e sorgenti con direzione d'impatto parallela al terreno, mediante apparati che creano sollecitazioni orizzontali (Love con geofoni orizzontali orientati secondo la direzione d'oscillazione dell'onda).

La propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo è legata alla lunghezza d'onda e alla frequenza e queste due proprietà fisiche sono in relazione con la velocità secondo il rapporto

$$\text{lunghezza d'onda} = \text{velocità/frequenza}; \quad \lambda = v/f$$

L'interesse verso le onde superficiali è legato alla loro proprietà dispersiva dalla quale si può risalire alle proprietà elastiche dei terreni superficiali e quindi alla velocità delle onde di taglio, con le quali, al livello di grandezza, sono in stretta relazione secondo il rapporto  $V_s = 1,1 \cdot V_{\text{Rayleigh}}$  o  $V_{\text{Love}}$ .

La dispersione delle onde piane a partire da un sismogramma generato da una sorgente sismica è rappresentata nello spettro elastico  $F/V$  o  $F/K$  dove  $F$  è la frequenza dell'onda,  $V$  è la velocità di fase,  $K$  è il numero d'onda cioè il numero di oscillazioni di un'onda nell'unità di lunghezza.

Per un'onda non-dispersiva il numero d'onda è proporzionale alla frequenza.

Entrambi gli spettri rappresentano nel campo delle frequenze le condizioni più energetiche di una perturbazione sismica che è dovuta soprattutto alle onde superficiali. Su questi spettri elastici la porzione più energetica comprende un ampio intervallo di frequenze, funzione della profondità: in superficie prevalgono le alte frequenze, mentre le basse frequenze sono rappresentative degli strati più profondi.

Un situazione non infrequente è quella di trovare nello spettro elastico più campi energetici che rappresentano i modi superiori delle onde in esame, mentre quello considerato rappresentativo per la correlazione delle  $V_s$  è quello fondamentale che si posiziona più in basso nello spettro.

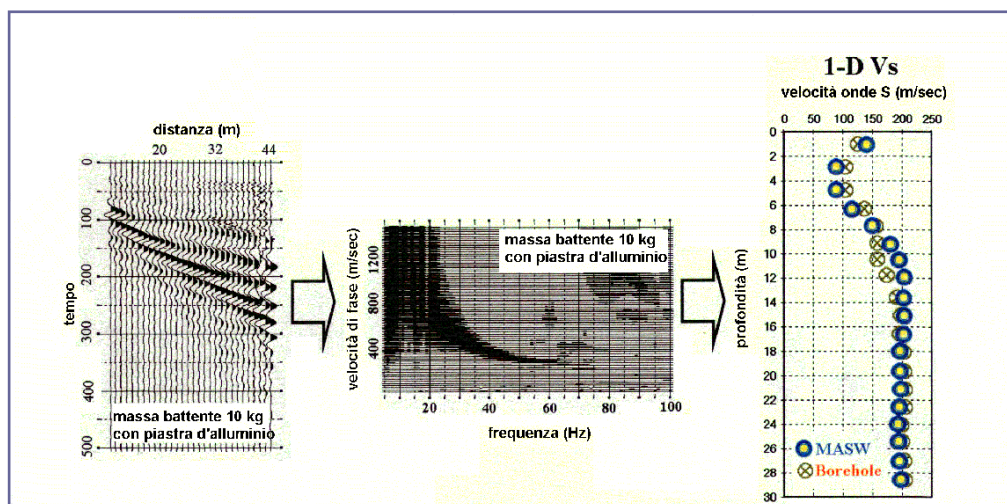
Assumere erroneamente come modo fondamentale un modo superiore porta a una sovrastima delle velocità delle onde di taglio.

L'affidabilità dei risultati dall'analisi delle onde Rayleigh e di Love, e la possibilità di rilevarle mediante le prospezioni speditive ed economiche della MASW e del REMI, ha indotto le istituzioni sia a livello di stato che di regioni a considerarle un valido strumento per la determinazione delle velocità di  $V_s$  nel sottosuolo.



Nella MASW, dall'indagine all'analisi, si identificano 3 passaggi principali:

- acquisizione delle onde superficiali (ground roll);
- costruzione di una curva di dispersione sullo spettro F/V o F/K
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.



- **Acquisizione delle onde superficiali (ground roll)**

Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarli minimizzando il rumore. In alcuni casi è possibile utilizzare anche la tecnica delle acquisizioni in sommatoria, per minimizzare i disturbi.

- **Costruzione di una curva di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza)**

Quando si generano le onde superficiali vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde come quelle di volume, quelle superficiali non piane e le riverberate (back scattered) che in questo tipo di analisi rappresentano elementi di disturbo. Inoltre durante una registrazione intervengono altri fattori che rendono difficoltosa l'interpretazione dei dati come il rumore ambientale e quello imputabile all'attività antropica.

Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno. La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore analizzando la fase e la frequenza in funzione della distanza dalla sorgente. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore presente durante l'acquisizione.

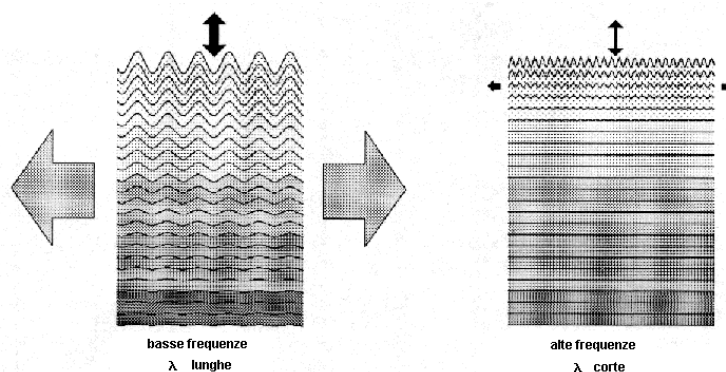
La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x; y), il cui legame costituisce la





curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso la tecnica MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo Vs di inversione.



L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S ( $V_s$ ) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

- **Inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$**

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente utilizzando la curva di dispersione ottenuta dai dati sperimentali come riferimento. Due sono le metodologie utilizzate per l'inversione i metodi deterministici che usano la teoria dei minimi quadrati e i metodi euristici che invece si basano sugli algoritmi genetici. Quest'ultimi non richiedono la definizione di un modello di partenza, ma è sufficiente definire un intervallo di valori per ogni parametro all'interno del quale vengono valutate le possibili soluzioni. Lo scopo dell'intera procedura è identificare il modello la cui curva di dispersione meno si scosta dai dati osservati. Tale modello sarà evidentemente caratterizzato dal minor errore di adattamento che in questo caso è rappresentato dalla deviazione standard tra le velocità di fase osservate e calcolate.

Valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$  dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

- **Elaborazione per confronto tra modellazione diretta e misure HVSR**

Un metodo di interpretazione relativamente semplice ma "robusto" è costituito dalla modellazione diretta confrontata con i risultati di un rilievo HVSR eseguito in corrispondenza del centro dello stendimento MASW o almeno nelle sue immediate vicinanze (CFR Dal Moro G. "Manuale WinMASW").



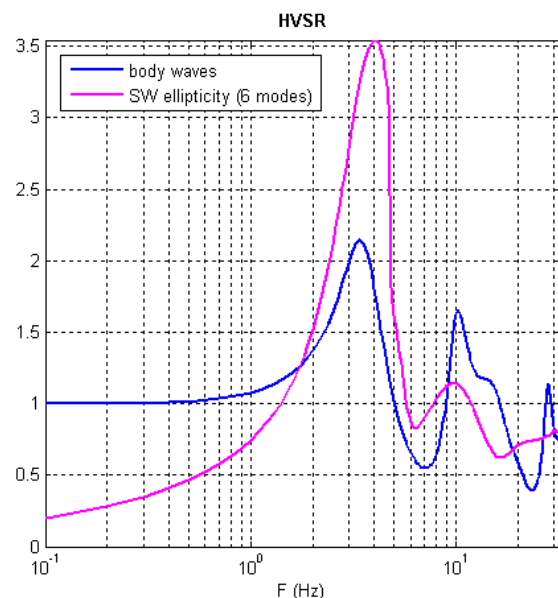
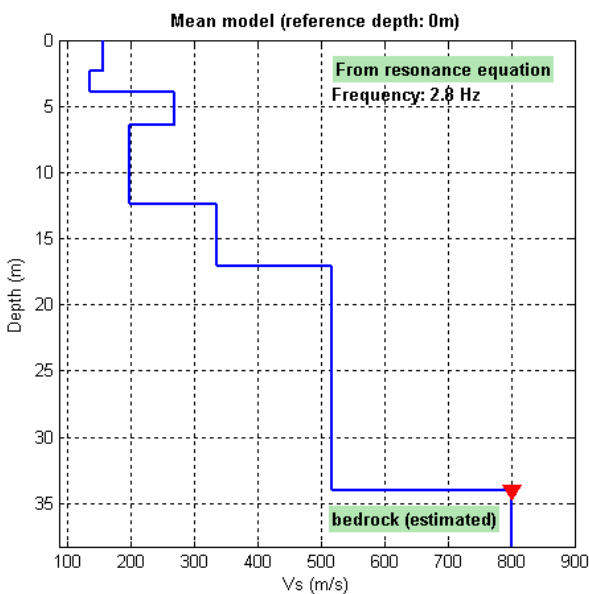
Con la “*modellazione diretta*” è possibile calcolare le curve di dispersione di un modello fino a un certo numero di strati i cui parametri (Spessore e Vs) sono fissati dall’utente.

Lo scopo è ottenere una valutazione di un possibile modello rispetto allo spettro osservato. Nel caso di situazioni geologiche particolari o complesse (cioè dati sismici di ardua interpretazione) questo è un modo di procedere utilissimo e spesso il risultato interpretativo è sufficiente (non essendo poi necessario effettuare l’inversione).

Chiaramente se l’accordo tra il modello identificato in fase di modellazione diretta e lo spettro è già ottimale (nella nostra interpretazione) NON servirà fare alcuna inversione e ci fermeremo al modello identificato.

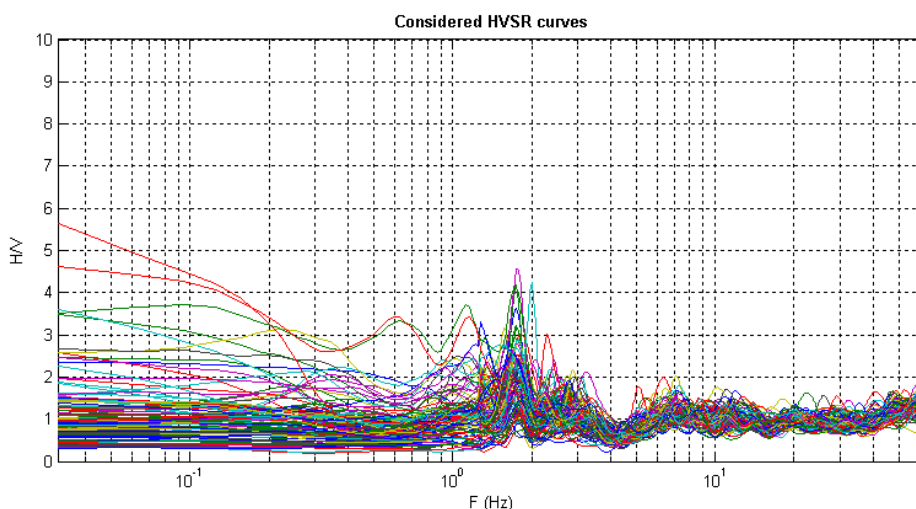
L’approccio suggerito è quindi di analisi congiunta curve di dispersione derivanti da misure MASW (meglio in Rayleigh e Love) + curve H/V, avendo cura di far coincidere il più fedelmente possibile le curve di dispersione del modello con i segnali dello spettro di velocità e fare contestualmente coincidere la frequenza (trattando con non troppa pignoleria e rigore l’ampiezza) del principale picco della curva H/V (quello che tipicamente è legato al più profondo contatto litologico “significativo”).

Qui di seguito un esempio di modellazione del rapporto spettrale H/V a partire da un modello di VS (sulla sinistra) secondo la formulazione basata sulle onde di corpo (in blu) e delle onde di superficie (Magenta)



Vi è un ulteriore ragione (di tutt’altro ordine) per prendere sempre con relativa accuratezza il peso dell’ampiezza.

Le curve H/V che si analizzano sono un valore medio e tipicamente smussato in quanto la serie temporale registrata viene suddivisa in tante finestre di lunghezza stabilita dall’utente; all’interno di ciascuna di queste finestre vengono poi calcolati gli spettri con il relativo rapporto spettrale H/V dai quali infine si ricava il valore medio.



La possibilità di utilizzare questo metodo di elaborazione permette inoltre di superare tutte le incertezze dovute al picking della curva di dispersione, notoriamente fortemente dipendente dall'occhio dell'interprete e da tutte le indeterminazioni connesse ai metodi di inversione per quanto sofisticati essi siano.

### 3.2 Strumentazione impiegata e modalità operative

L'attrezzatura utilizzata per le indagini sismiche è costituita da:

- Sismografo digitale "ABEM Instrument AB" (Allén 1, S-172 66 Sundbyberg – Sweden – [www.abem.se](http://www.abem.se)) modello **Terraloc MK8** a 24 canali dotato di:

- visualizzazione istantanea delle tracce su display 8,4" TFT LCD attivo;
- registrazione ad incremento di segnale (stacking);
- funzione di monitoring dei disturbi;
- dispositivi di filtraggio selettivo;
- ritardo di acquisizione preselezionabile;
- zoom delle tracce video;
- computer interno Low power AMD LX800 500 MHz/1 GB RAM (OS Windows XP) con software di acquisizione SeisTW;
- interfaccia USB 2.0 per lo scaricamento dei dati;
- convertitore A/D 21Bits;
- intervallo minimo di campionamento 25 $\mu$ s e numero massimo di campioni 16392.



- 24 Geofoni verticali a 4,5 Hertz "**SUNFULL**".

I geofoni verticali del tipo elettromagnetico a bobina mobile, con frequenza caratteristica di 4,5 Hz, consentono di convertire in segnali elettrici gli spostamenti che si verificano nel terreno.

Sono particolarmente adatti per essere utilizzati nei metodi che si basano sulle onde superficiali (MASW – REMI) perché ampliano lo spettro di frequenza verso il basso e consentono quindi profondità di indagine maggiori.







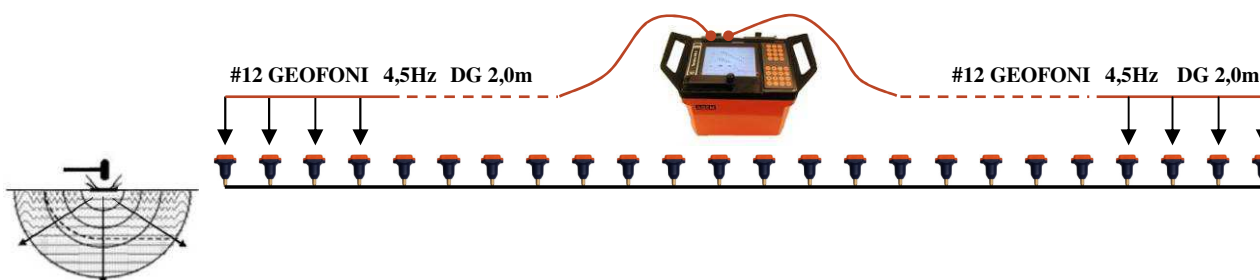
Il sistema di acquisizione si completa con i seguenti elementi:

- cavi sismici
  - cavi multipolari schermati armati in Kevlar per stendimenti fino a 290 m di lunghezza;
- sorgenti sismiche:
  - martello da 6Kg e piastra di alluminio;
- funzione time-break
  - assolta da geofono starter o chiusura di contatto.

### 3.3 Modalità esecutive

E' stata eseguita una MASW con 24 geofoni equidistanti 2 metri disposti lungo un allineamento di lunghezza pari a 46,0 metri con un offset minimo di 2 metri.

#### Configurazione base sismica per rilievo MASW



Prova	Lunghezza	Geofoni 4,5 Hz	DG	Energizzazione
MASW Monterotondo Nuovo Cimitero	46,0 m	24	2,0m	Hammer

I sismogrammi sono stati elaborati con il software “Win-MASW” della ELIOSOFT.

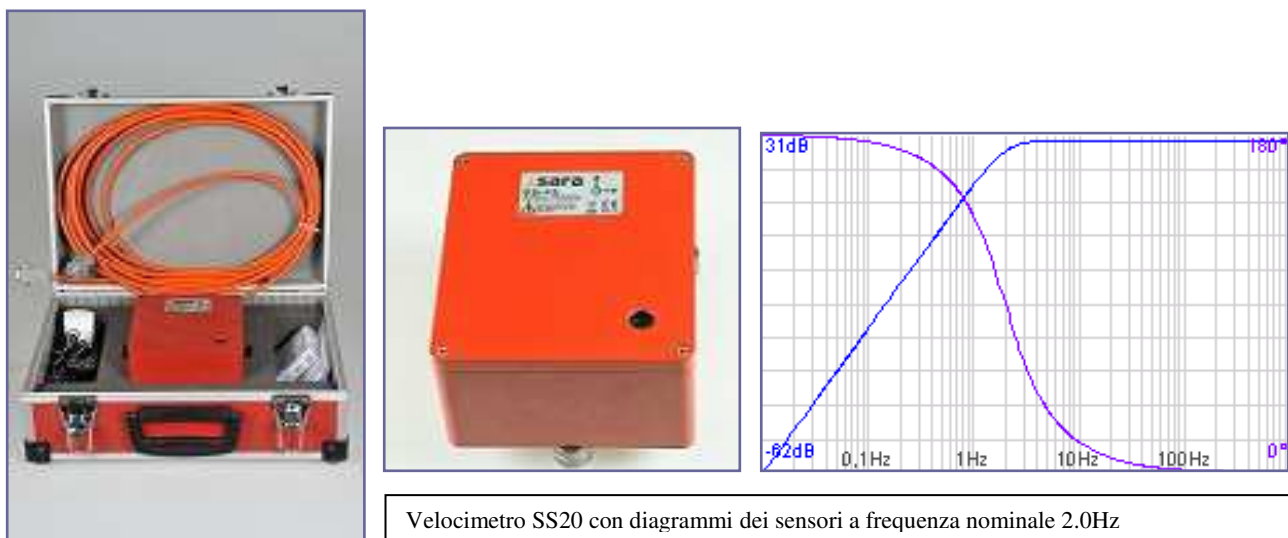
## 4. SISMICA PASSIVA TIPO HVSR

Le onde superficiali contenute nei microtrempi ambientali sono costituite da onde di Love e di Rayleigh, le cui velocità dipendono esclusivamente dalle proprietà sismiche del sottosuolo. La metodologia HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), detta anche Metodo di Nakamura si basa sulla misura dei rapporti fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale dei microtrempi ambientali e sull'individuazione di massimi in frequenza della funzione H/V così ottenuta.

Le misure sono eseguite con una terna di sensori velocimetrici ad alta sensibilità, con frequenza naturale pari a 2 Hz, alloggiati in un box di alluminio dotato di 3 piedini regolabili per la livellazione in bolla del geofono.



Per l'indagine è stata utilizzata la strumentazione, di seguito raffigurata, prodotta dalla azienda SARA Electronics Instruments S.r.l. di Perugia ([www.sara.pg.it](http://www.sara.pg.it)).



Velocimetro SS20 con diagrammi dei sensori a frequenza nominale 2.0Hz

Di seguito si riporta la scheda tecnica con le specifiche del sensore:

- ✚ Numero canali: 3
- ✚ Configurazione: Z,X,Y (Z verticale, X nord-sud, Y est-ovest)
- ✚ Non ortogonalità: < 0.01%
- ✚ Livellamento: manuale tramite manopole con serraggio
- ✚ Frequenza naturale: 2.0Hz (+/-5%)
- ✚ Banda utilizzabile: 0.1-250Hz
- ✚ Damping: 0.65
- ✚ Massa inerziale: 25 g
- ✚ Sensibilità nominale: 60 V/m/s
- ✚ Tilt massimo: Verticale:7°
- ✚ Orizzontale: 0.5°
- ✚ Movimento massa: 0.5mm
- ✚ Dimensioni: 190x180x90mm
- ✚ Peso: 2500g
- ✚ Lunghezza cavo: standard 3 metri
- ✚ Connettore: Cannon JC series 10 poli
- ✚ Certificazioni: CE (EN55022, EN55011)

Il trasferimento dei segnali sismici dal geofono al pc portatile è gestito dai programmi Seismo-log e Seismo-Survey (SARA Electronics), mentre il processo di elaborazione è sviluppato con il programma Win-MASW ver. 5.1 Academy della Eliosoft.

## 5. CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI SECONDO LE NTC 2008

La nuova normativa sismica italiana e le più avanzate normative internazionali, attribuiscono la giusta importanza alla caratterizzazione sismica del terreno su cui dovranno essere realizzate opere di qualunque natura (edifici residenziali e industriali, opere di sostegno e di stabilizzazione di versanti, rilevati stradali, opere infrastrutturali, argini, dighe e opere idrauliche, gallerie, ponti e opere strutturali di grandi dimensioni).



La caratterizzazione del terreno dal punto di vista sismico in particolare e dinamico in generale, richiede come elemento indispensabile la conoscenza del profilo di velocità delle onde di taglio Vs degli strati di terreno presenti nel sito, fino alla profondità di almeno 30 m dal piano campagna, secondo quanto richiesto dalle sopraccitate normative. Il profilo delle onde di taglio Vs nei primi 30 m di profondità risulta necessario per:

- valutare l'azione sismica di progetto al livello delle fondazioni di qualunque struttura
- valutare il rischio di liquefazione del terreno in sito
- valutare rischi di instabilità dei pendii e/o delle opere di sostegno
- valutare i cedimenti dei rilevati stradali, delle opere di sostegno, delle fondazioni degli edifici

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m di profondità è possibile determinare una velocità equivalente Vs30 rappresentativa del sito in esame, che consente di classificare il sito come suolo di tipo A, B, C, D, E, S1, S2 secondo la nuova normativa sismica italiana o secondo la normativa europea Eurocodice 8.

Il calcolo viene sviluppato utilizzando la stratigrafia Vs e la seguente formula:

$$Vs30=30/\sum_{i=1,N} hi/Vi$$

dove hi e Vi indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

Di seguito si riporta la tabella contenuta nel DM 14.01.2008 riguardo alla definizione delle diverse categoria di suolo.

Classificazione del tipo di suolo secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni - NTC 14/01/2008		
Suolo	Descrizione geotecnica	Vs30(m/s)
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m	>800
<b>B</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	360÷800
<b>C</b>	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	180÷360
<b>D</b>	Depositi 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	<180
<b>E</b>	Terreni dei sottosuoli tipo C e D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs>800 m/s)	
<b>S1</b>	Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	<100
<b>S2</b>	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti	



## 6. RISULTATI INDAGINI

### 6.1 Risultati prove penetrometriche

Attraverso le prove penetrometriche dinamiche è stato definito il modello geotecnico del sottosuolo che viene di seguito sintetizzato. Dalla lettura delle tabelle si nota la presenza di uno strato di alterazione avente uno spessore variabile da qualche decimetro a circa 3 metri che si trova al di sopra di piroclastiti mediamente addensate e/o consistenti. Segue a partire da circa 10-11 m uno strato ben addensato e/o molto consistente. Negli allegati sono presenti gli elaborati dettagliati delle prove eseguite.

DPSH01			
Profondità (m)	N <sub>spt</sub>	Angolo di attrito (°)	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )
0,0 – 3,0	6	28,4	0,38
3,0 – 6,6	15	31,5	0,94
6,6 – 8,2	24	34,2	1,50
8,2 – 9,0	17	32,1	1,06
9,0 – 10,0	27	35,1	1,69
10,0 – 11,2	21	33,3	1,31
11,2 – 12,4	43	39,3	2,69

DPSH02			
Profondità (m)	N <sub>spt</sub>	Angolo di attrito (°)	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )
0,0 – 2,6	5	28,0	0,31
2,6 – 4,8	15	31,5	0,94
4,8 – 5,4	5	28,0	0,31
5,4 – 6,6	15	31,5	0,94
6,6 – 7,4	8	29,2	0,50
7,4 – 8,4	12	30,6	0,75
8,4 – 11,2	18	32,4	1,13
11,2 – 13,0	29	35,7	1,81



<b>DPSH03</b>			
<b>Profondità (m)</b>	<b>N<sub>spt</sub></b>	<b>Angolo di attrito (°)</b>	<b>Coesione non drenata (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
0,0 – 1,6	5	28,0	0,31
1,6 – 3,8	15	31,5	0,94
3,8 – 4,0	5	28,0	0,31
4,0 – 4,8	20	33,0	1,25
4,8 – 6,8	12	30,6	0,75
6,8 – 9,6	26	34,8	1,63
9,6 – 10,0	46	40,0	2,88

<b>DPSH04</b>			
<b>Profondità (m)</b>	<b>N<sub>spt</sub></b>	<b>Angolo di attrito (°)</b>	<b>Coesione non drenata (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
0,0 – 0,4	3	27,2	0,19
0,4 – 3,4	24	34,2	1,50
3,4 – 4,2	12	30,6	0,75
4,2 – 7,0	20	33,0	1,25
7,0 – 7,6	37	37,8	2,31
7,6 – 8,0	68	43,7	4,25

## 6.2 Risultati MASW

Gli elaborati della prova MASW sono assemblati in 2 pagine; la prima mostra 6 immagini, ordinate secondo il processo di elaborazione che inizia dal sismogramma, acquisito sperimentalmente, e prosegue con lo spettro di dispersione  $f_v$  estratto dal sismogramma, la modellazione diretta e il modello interpretativo rappresentato dal grafico profondità-velocità  $V_s$ , e ancora lo spettro e il sismogramma sintetico; nella seconda pagina, oltre alla versione sismostratigrafica del modello interpretativo del sottosuolo, viene riproposto il grafico velocità-profondità elaborato con l'analisi congiunta MASW-HVSR e le relative curve H/V-frequenza, nonché la documentazione fotografica della prospezione.

La rielaborazione della prova MASW ha permesso di affinare la caratterizzazione dei terreni nell'area di indagine in termini di velocità delle onde sismiche trasversali, in modo da poter calcolare per i primi 30 metri di profondità dal piano fondazione la  $V_{s30}$  e di definire, sulla base dell'andamento del profilo di velocità, la categoria di suolo.



L'elaborazione congiunta con la misura HVSR ha inoltre fornito indicazioni relativamente alla presenza di un substrato profondo, rilevato a profondità di circa 130 metri dal p.c..

Sono stati calcolati i valori di Vs30 per un piano d'imposta di una fondazione superficiale compreso tra 0 e 5 metri. I risultati ottenuti sono riportati di seguito in modo sintetico.

<b>MASW Nuovo Cimitero di Monterotondo (2009)</b> TABELLA DEL MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO				
Prof. (m)			$\Delta H$ (m)	Vs (m/s)
da	÷	a		
0,0	÷	1,0	1,0	120,0
1,0	÷	9,0	8,0	300,0
9,0	÷	14,0	5,0	200,0
14,0	÷	39,0	25,0	400,0
39,0	÷	134,0	95,0	550,0
134,0	÷	140,0	--,-	1200,0

<b>MASW Nuovo Cimitero di Monterotondo (2009)</b> Vs30 e CATEGORIA DI SUOLO		
Profondità piano fondazione (m)	Vs30 (m/s)	Categoria di sottosuolo (DM 14.02.2008)
0	300	C
1	319	C
2	321	C
3	324	C
4	327	C
5	330	C

In accordo con la "descrizione geotecnica" riportata nella tabella della NTC 14/01/2008 il profilo delle onde S ed il valore della Vs30 fanno attribuire ai terreni di fondazione la categoria "C".

### 6.3 Risultati misure HVSR

In tabella sono elencate le misure HVSR e i principali parametri desunti test HVSR.

HVSR – Nuovo Cimitero di Monterotondo	FREQUENZA ( $f_0$ )	PERIODO (T)
HVSR	0.9 Hz	1.1 s

Lo svolgimento della misura è stato caratterizzato da una buona situazione meteorologica e da un moderato livello di rumore antropico prodotto quasi esclusivamente da traffico veicolare.

Il trattamento dei dati in post-processing tramite la rimozione di principali transienti, ha comunque permesso di ottenere buoni risultati in termini di rapporto segnale rumore.

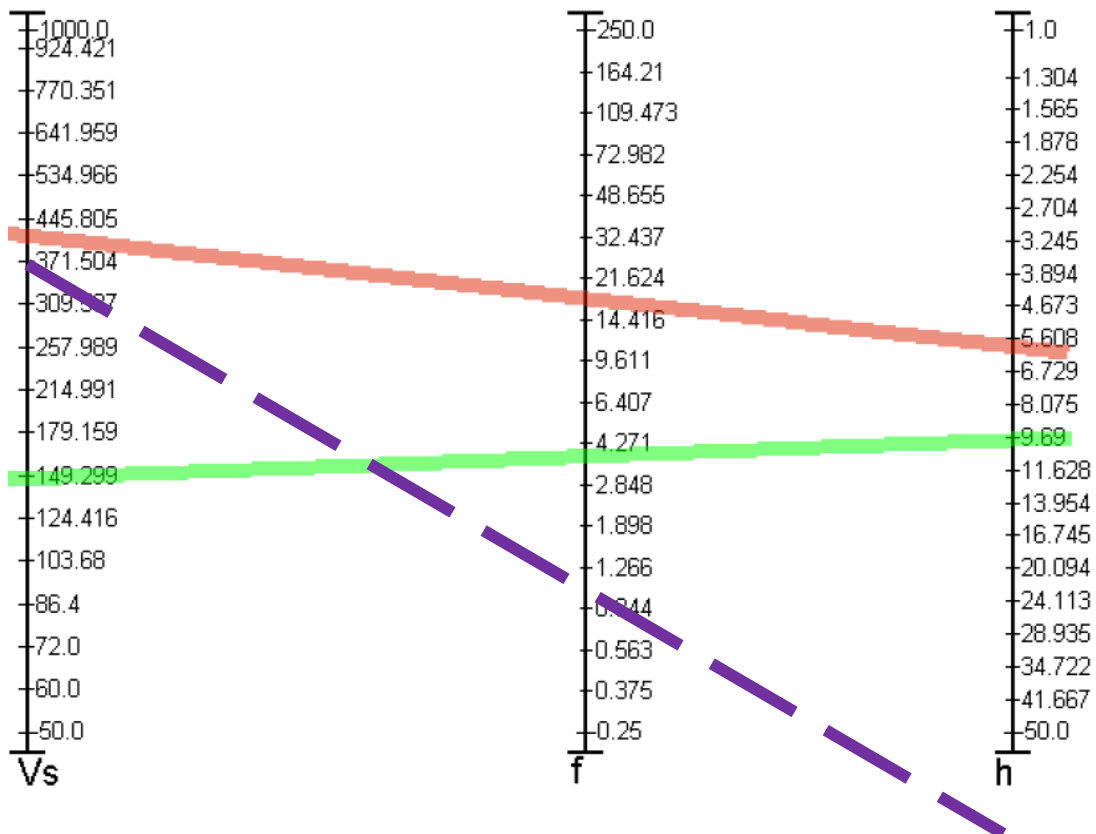
L'acquisizione dei dati ha avuto una durata di circa 26 minuti, in ragione del fatto che da dati di bibliografia, il bedrock sismico risulta in questo sito ad elevata profondità.

L'elaborazione dei dati ha in effetti rivelato un picco significativo, secondo le prescrizioni del progetto SESAME ( $H/V > 2$ ), a 0.9 Hz a dimostrazione che il substrato sismico



( $V_s > 800$  m/s) dovrebbe essere localizzato a profondità maggiore di 50 metri dal piano campagna, come dimostra il nomogramma messo a disposizione dalla Sara Electronics sul suo sito web ([www.sara.pg.it](http://www.sara.pg.it)).

Considerando infatti una  $V_s$  media stimata di circa 370 m/s e la frequenza di 0.9 Hz si può desumere una profondità del bedrock superiore a 50 metri (linea tratteggiata viola sul nomogramma)



Un altro picco significativo è localizzato a circa 15 Hz, al limite delle frequenze ingegneristiche, ed è correlabile con un contrasto di impedenza sismica moto più superficiale.

Il segnale HVSR nel tempo mostra una buona persistenza e una discreta consistenza, la distribuzione spaziale relativa alle frequenze suindicate non presenta caratteri di spiccata direzionalità e quindi sono da attribuirsi fondamentalmente a fenomeni naturali (geologici) e non antropici.

Il dettaglio di quanto appena esposto è visualizzato negli elaborati allegati al presente documento.

Roma 28 Gennaio 2014

Polo Geologico srl





# ALLEGATI

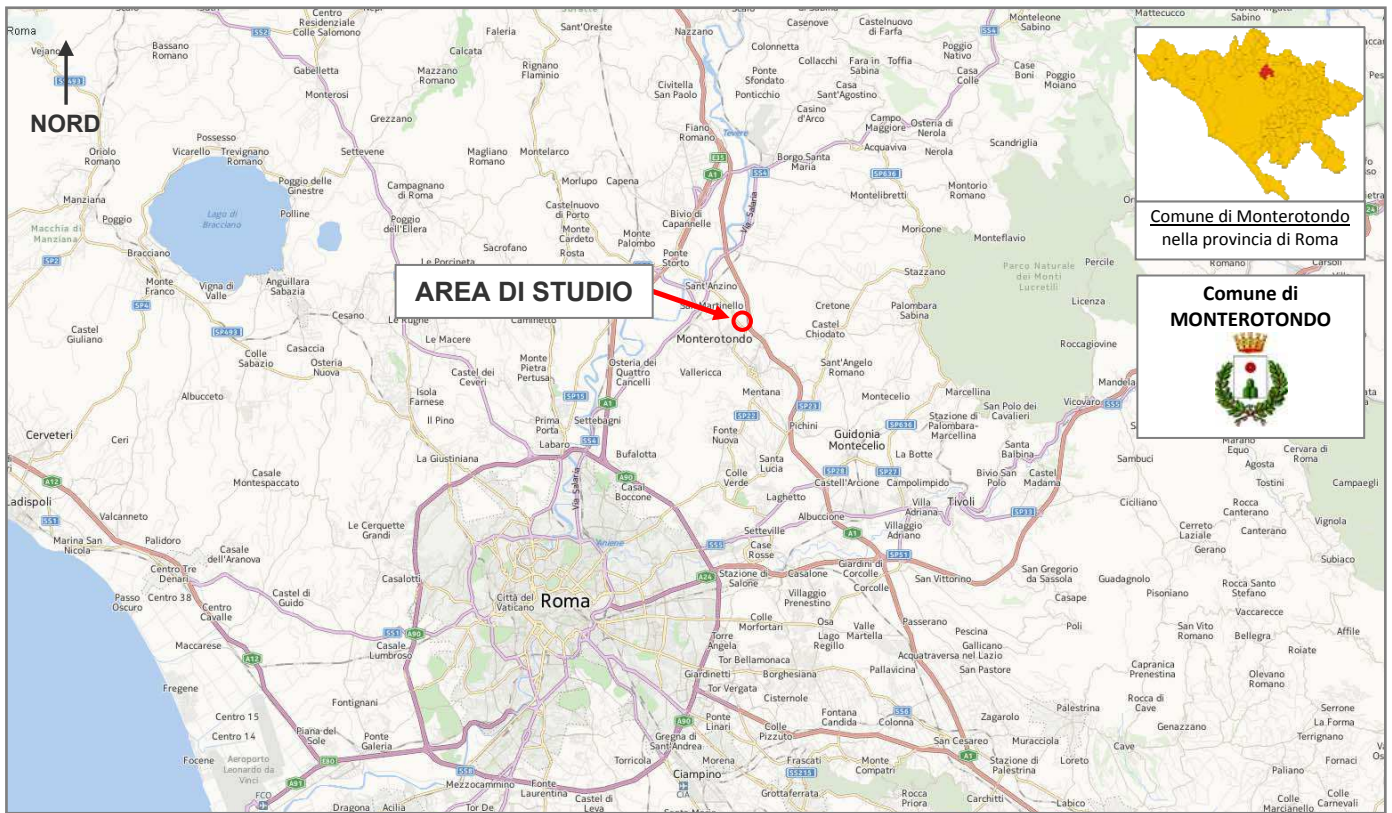


**Committente:** Italstudi

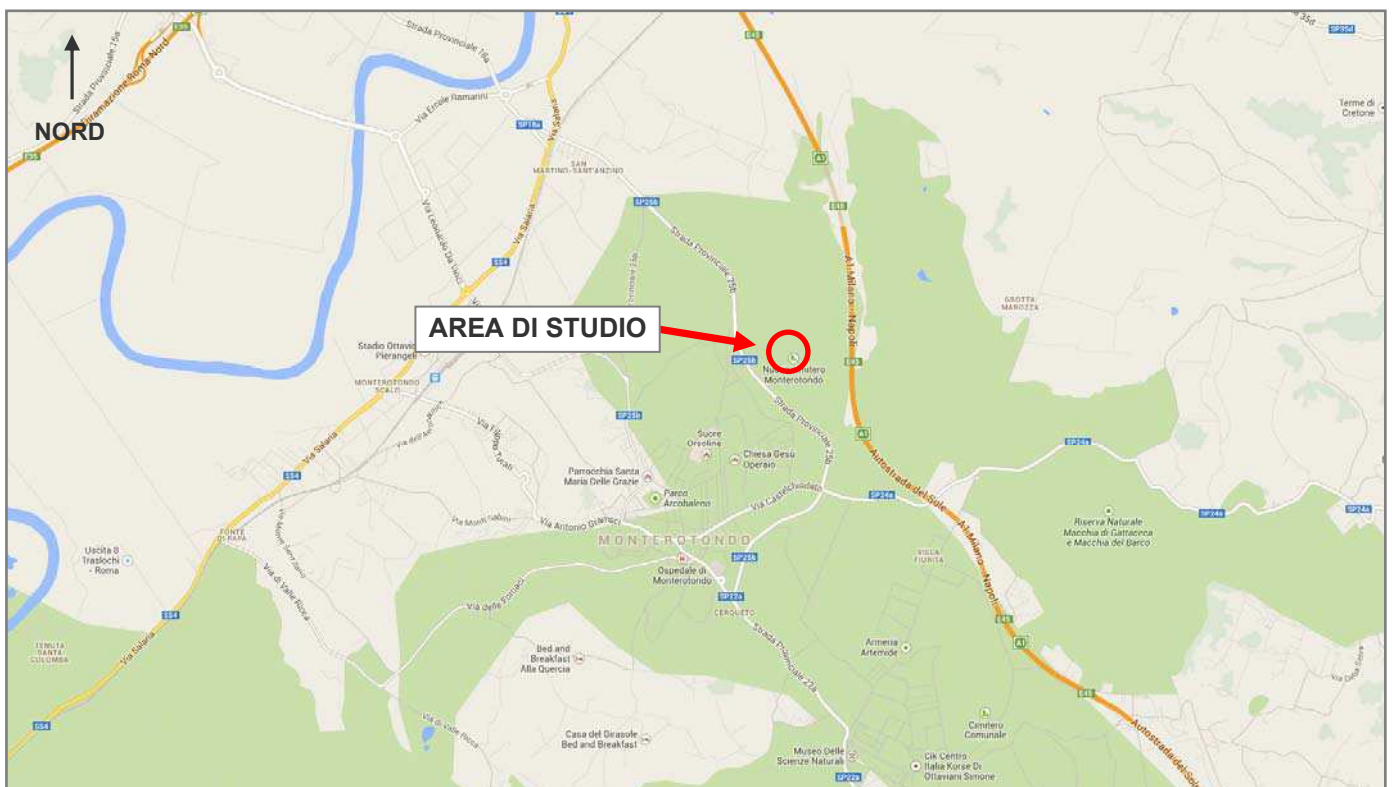
**Progetto:** Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2

**Località:** Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)

**Data:** Gennaio 2014



**UBICAZIONE DELL'AREA DI STUDIO  
MAPPA STRADALE ISTECLA**



**UBICAZIONE DELL'AREA DEL NUOVO CIMITERO DI MONTEROTONDO  
MAPPA STRADALE GOOGLMAPS**



**Committente:** Italtudi

**Progetto:** Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2

**Località:** Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)

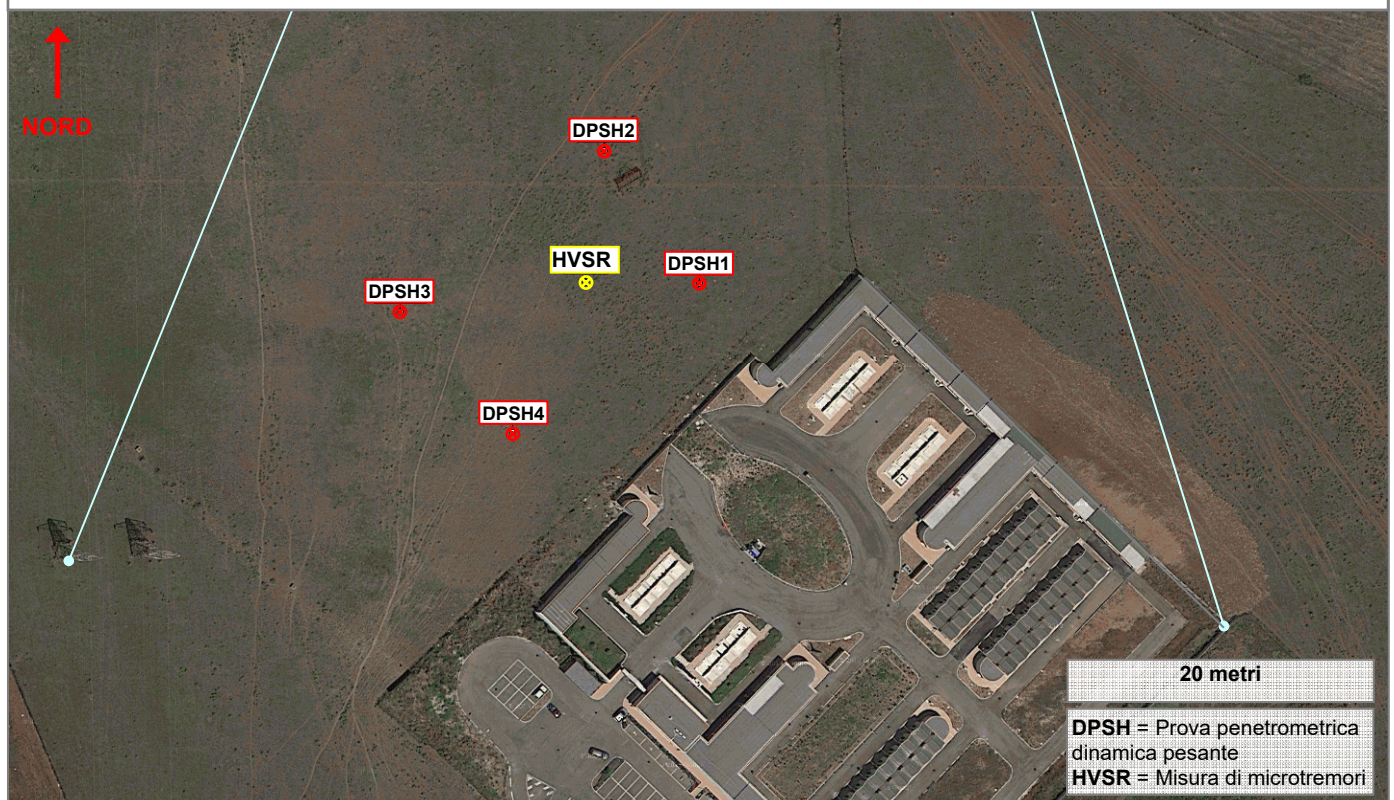
**Data:** Gennaio 2014

  
**UBICAZIONE  
INDAGINI  
GEOGNOSTICHE**



**MONTEROTONDO (RM) – NUOVO CIMITERO Ubicazione area di progetto  
MAPPA FOTO AEREA GOOGLERMAPS**

**UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE  
MAPPA FOTO AEREA GOOGLERMAPS**





**Committente:** Italstudi

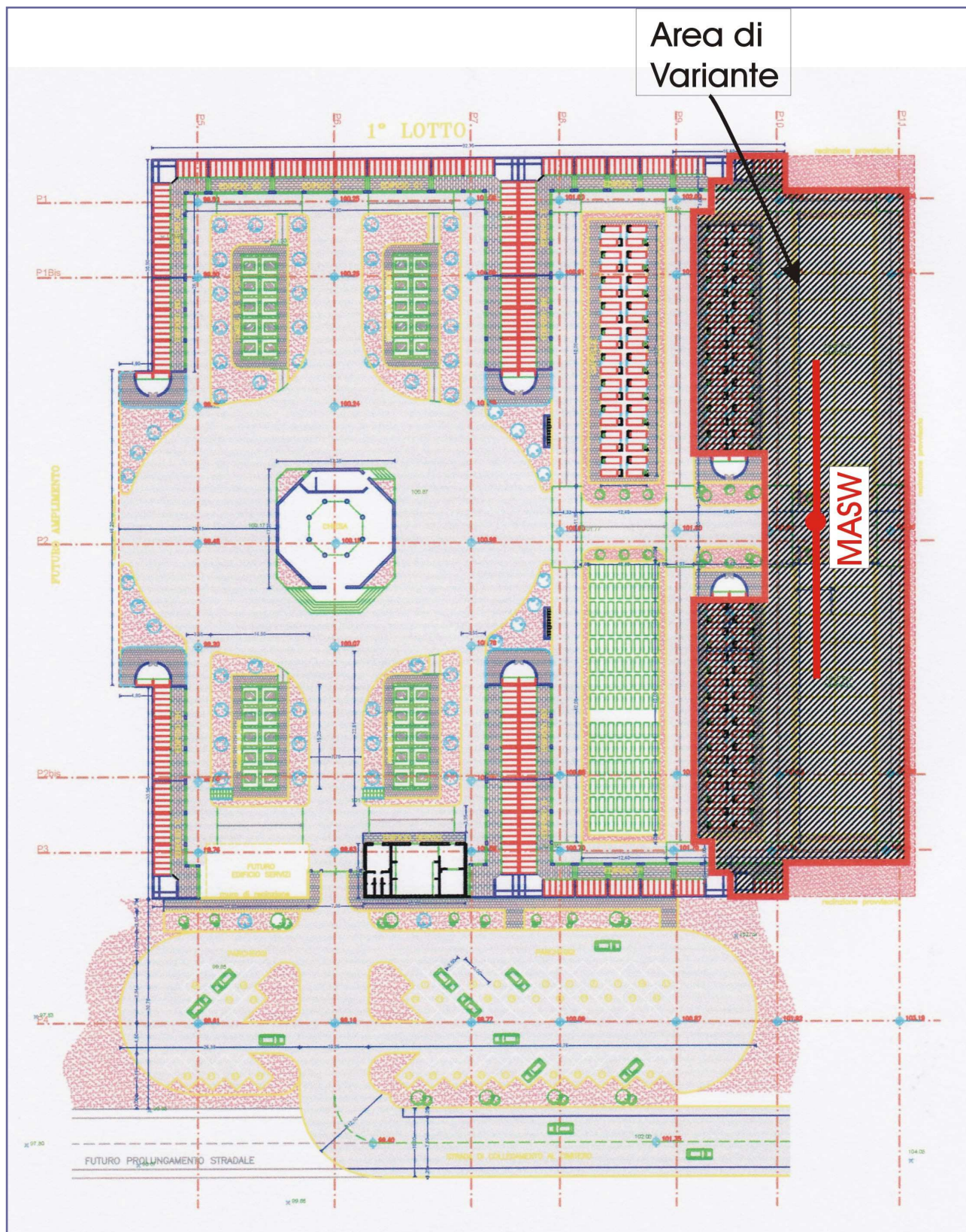
**Progetto:** Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2

**Località:** Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)

**Data:** Gennaio 2014



**UBICAZIONE  
MASW Variante  
Lotto1 (2009)**



<b>Committente:</b> Italtudi	<b>PROVE PENETROMETRICHE</b>  Penetrometro Utilizzato
<b>Progetto:</b> Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2	
<b>Località:</b> Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)	
<b>Data:</b> Gennaio 2014	

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : **DPSH (S. Heavy)**

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla Certificato	Peso Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

**CARATTERISTICHE TECNICHE : DPSH (S. Heavy)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M <sub>s</sub> = 30,00 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm <sup>2</sup>
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L <sub>a</sub> = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M <sub>a</sub> = 8,00 kg
PROF. GIUNZIONE 1 <sup>a</sup> ASTA	P1 = 0,80 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0,20$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(20) ⇒ Relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A $\delta$ ) = 11,91 kg/cm <sup>2</sup> ( prova SPT : Q <sub>spt</sub> = 7.83 kg/cm <sup>2</sup> )
COEFF. TEORICO DI ENERGIA	gt = Q/Q <sub>spt</sub> = 1,521 ( teoricamente : N <sub>spt</sub> = gt N )

Valutazione resistenza dinamica alla punta R<sub>pd</sub> [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

R<sub>pd</sub> = resistenza dinamica punta [ area A]  
e = infissione per colpo =  $\delta / N$

M = peso massa battente (altezza caduta H)  
P = peso totale aste e sistema battuta

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm <sup>2</sup> = 0.098067 MPa ≈ 0,1 MPa
1 MPa = 1 MN/m <sup>2</sup> = 10.197 kg/cm <sup>2</sup>
1 bar = 1.0197 kg/cm <sup>2</sup> = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

<b>Committente:</b> Italtudi	<b>PROVE PENETROMETRICHE</b>  Tabelle
<b>Progetto:</b> Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2	
<b>Località:</b> Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)	
<b>Data:</b> Gennaio 2014	

## DIN 01

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,20	2	14,9	1	6,20 - 6,40	11	55,6	7
0,20 - 0,40	2	14,9	1	6,40 - 6,60	11	55,6	7
0,40 - 0,60	1	7,4	1	6,60 - 6,80	12	60,7	7
0,60 - 0,80	3	22,3	1	6,80 - 7,00	14	67,2	8
0,80 - 1,00	3	20,7	2	7,00 - 7,20	15	72,0	8
1,00 - 1,20	3	20,7	2	7,20 - 7,40	14	67,2	8
1,20 - 1,40	4	27,6	2	7,40 - 7,60	16	76,8	8
1,40 - 1,60	4	27,6	2	7,60 - 7,80	17	81,6	8
1,60 - 1,80	4	27,6	2	7,80 - 8,00	18	82,2	9
1,80 - 2,00	4	25,7	3	8,00 - 8,20	18	82,2	9
2,00 - 2,20	5	32,2	3	8,20 - 8,40	12	54,8	9
2,20 - 2,40	5	32,2	3	8,40 - 8,60	12	54,8	9
2,40 - 2,60	5	32,2	3	8,60 - 8,80	10	45,7	9
2,60 - 2,80	6	38,6	3	8,80 - 9,00	10	43,6	10
2,80 - 3,00	6	36,1	4	9,00 - 9,20	16	69,7	10
3,00 - 3,20	8	48,2	4	9,20 - 9,40	16	69,7	10
3,20 - 3,40	8	48,2	4	9,40 - 9,60	20	87,2	10
3,40 - 3,60	7	42,2	4	9,60 - 9,80	20	87,2	10
3,60 - 3,80	7	42,2	4	9,80 - 10,00	17	70,8	11
3,80 - 4,00	10	56,6	5	10,00 - 10,20	13	54,2	11
4,00 - 4,20	10	56,6	5	10,20 - 10,40	11	45,8	11
4,20 - 4,40	11	62,3	5	10,40 - 10,60	13	54,2	11
4,40 - 4,60	12	68,0	5	10,60 - 10,80	14	58,3	11
4,60 - 4,80	10	56,6	5	10,80 - 11,00	16	63,8	12
4,80 - 5,00	10	53,4	6	11,00 - 11,20	16	63,8	12
5,00 - 5,20	7	37,4	6	11,20 - 11,40	20	79,8	12
5,20 - 5,40	9	48,1	6	11,40 - 11,60	23	91,8	12
5,40 - 5,60	10	53,4	6	11,60 - 11,80	27	107,7	12
5,60 - 5,80	10	53,4	6	11,80 - 12,00	32	122,5	13
5,80 - 6,00	11	55,6	7	12,00 - 12,20	31	118,7	13
6,00 - 6,20	11	55,6	7	12,20 - 12,40	34	130,2	13

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**

- M (massa battente)= 63,50 kg - H (altezza caduta)= 0,75 m - A (area punta)= 20,00 cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 50,50 mm

- Numero Colpi Punta N = N(20) [  $\delta = 20$  cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

<b>Committente:</b> Italtudi	<b>PROVE PENETROMETRICHE</b>  Tabelle
<b>Progetto:</b> Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2	
<b>Località:</b> Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)	
<b>Data:</b> Gennaio 2014	

## DIN 02

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,20	2	14,9	1	6,60 - 6,80	5	25,3	7
0,20 - 0,40	2	14,9	1	6,80 - 7,00	5	24,0	8
0,40 - 0,60	2	14,9	1	7,00 - 7,20	5	24,0	8
0,60 - 0,80	3	22,3	1	7,20 - 7,40	5	24,0	8
0,80 - 1,00	3	20,7	2	7,40 - 7,60	7	33,6	8
1,00 - 1,20	3	20,7	2	7,60 - 7,80	10	48,0	8
1,20 - 1,40	3	20,7	2	7,80 - 8,00	11	50,3	9
1,40 - 1,60	3	20,7	2	8,00 - 8,20	7	32,0	9
1,60 - 1,80	3	20,7	2	8,20 - 8,40	7	32,0	9
1,80 - 2,00	2	12,9	3	8,40 - 8,60	9	41,1	9
2,00 - 2,20	3	19,3	3	8,60 - 8,80	10	45,7	9
2,20 - 2,40	4	25,7	3	8,80 - 9,00	10	43,6	10
2,40 - 2,60	4	25,7	3	9,00 - 9,20	10	43,6	10
2,60 - 2,80	6	38,6	3	9,20 - 9,40	10	43,6	10
2,80 - 3,00	7	42,2	4	9,40 - 9,60	11	47,9	10
3,00 - 3,20	6	36,1	4	9,60 - 9,80	12	52,3	10
3,20 - 3,40	7	42,2	4	9,80 - 10,00	12	50,0	11
3,40 - 3,60	9	54,2	4	10,00 - 10,20	12	50,0	11
3,60 - 3,80	10	60,2	4	10,20 - 10,40	13	54,2	11
3,80 - 4,00	11	62,3	5	10,40 - 10,60	15	62,5	11
4,00 - 4,20	13	73,6	5	10,60 - 10,80	13	54,2	11
4,20 - 4,40	13	73,6	5	10,80 - 11,00	12	47,9	12
4,40 - 4,60	14	79,3	5	11,00 - 11,20	13	51,9	12
4,60 - 4,80	8	45,3	5	11,20 - 11,40	16	63,8	12
4,80 - 5,00	4	21,4	6	11,40 - 11,60	16	63,8	12
5,00 - 5,20	2	10,7	6	11,60 - 11,80	18	71,8	12
5,20 - 5,40	2	10,7	6	11,80 - 12,00	21	80,4	13
5,40 - 5,60	9	48,1	6	12,00 - 12,20	22	84,2	13
5,60 - 5,80	16	85,5	6	12,20 - 12,40	21	80,4	13
5,80 - 6,00	16	80,9	7	12,40 - 12,60	17	65,1	13
6,00 - 6,20	7	35,4	7	12,60 - 12,80	20	76,6	13
6,20 - 6,40	7	35,4	7	12,80 - 13,00	17	62,5	14
6,40 - 6,60	6	30,3	7				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**

- M (massa battente)= 63,50 kg - H (altezza caduta)= 0,75 m - A (area punta)= 20,00 cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 50,50 mm

- Numero Colpi Punta N = N(20) [  $\delta = 20$  cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

<b>Committente:</b> Italstudi	<b>PROVE PENETROMETRICHE</b>  Tabelle
<b>Progetto:</b> Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2	
<b>Località:</b> Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)	
<b>Data:</b> Gennaio 2014	

### DIN 03

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,20	2	14,9	1	5,40 - 5,60	8	42,7	6
0,20 - 0,40	1	7,4	1	5,60 - 5,80	7	37,4	6
0,40 - 0,60	2	14,9	1	5,80 - 6,00	8	40,5	7
0,60 - 0,80	6	44,7	1	6,00 - 6,20	8	40,5	7
0,80 - 1,00	5	34,5	2	6,20 - 6,40	9	45,5	7
1,00 - 1,20	3	20,7	2	6,40 - 6,60	10	50,6	7
1,20 - 1,40	3	20,7	2	6,60 - 6,80	11	55,6	7
1,40 - 1,60	3	20,7	2	6,80 - 7,00	14	67,2	8
1,60 - 1,80	7	48,3	2	7,00 - 7,20	16	76,8	8
1,80 - 2,00	8	51,5	3	7,20 - 7,40	16	76,8	8
2,00 - 2,20	10	64,3	3	7,40 - 7,60	17	81,6	8
2,20 - 2,40	9	57,9	3	7,60 - 7,80	17	81,6	8
2,40 - 2,60	7	45,0	3	7,80 - 8,00	19	86,8	9
2,60 - 2,80	8	51,5	3	8,00 - 8,20	19	86,8	9
2,80 - 3,00	9	54,2	4	8,20 - 8,40	17	77,7	9
3,00 - 3,20	10	60,2	4	8,40 - 8,60	15	68,5	9
3,20 - 3,40	11	66,3	4	8,60 - 8,80	16	73,1	9
3,40 - 3,60	19	114,5	4	8,80 - 9,00	17	74,1	10
3,60 - 3,80	10	60,2	4	9,00 - 9,20	20	87,2	10
3,80 - 4,00	3	17,0	5	9,20 - 9,40	20	87,2	10
4,00 - 4,20	8	45,3	5	9,40 - 9,60	19	82,8	10
4,20 - 4,40	15	84,9	5	9,60 - 9,80	21	91,5	10
4,40 - 4,60	19	107,6	5	9,80 - 10,00	24	100,0	11
4,60 - 4,80	11	62,3	5	10,00 - 10,20	30	125,0	11
4,80 - 5,00	9	48,1	6	10,20 - 10,40	34	141,6	11
5,00 - 5,20	8	42,7	6	10,40 - 10,60	34	141,6	11
5,20 - 5,40	7	37,4	6	10,60 - 10,80	37	154,1	11

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**

- M (massa battente)= 63,50 kg - H (altezza caduta)= 0,75 m

- Numero Colpi Punta N = N(20) [ $\delta$  = 20 cm]

- A (area punta)= 20,00 cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 50,50 mm

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**



<b>Committente:</b> Italstudi	<b>PROVE PENETROMETRICHE</b>
<b>Progetto:</b> Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2	
<b>Località:</b> Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)	
<b>Data:</b> Gennaio 2014	
Tabelle	

## DIN 04

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	asta
0,00 - 0,20	2	14,9	1	4,00 - 4,20	8	45,3	5
0,20 - 0,40	2	14,9	1	4,20 - 4,40	10	56,6	5
0,40 - 0,60	12	89,4	1	4,40 - 4,60	11	62,3	5
0,60 - 0,80	13	96,8	1	4,60 - 4,80	12	68,0	5
0,80 - 1,00	13	89,8	2	4,80 - 5,00	12	64,1	6
1,00 - 1,20	16	110,5	2	5,00 - 5,20	11	58,8	6
1,20 - 1,40	20	138,1	2	5,20 - 5,40	13	69,5	6
1,40 - 1,60	23	158,8	2	5,40 - 5,60	12	64,1	6
1,60 - 1,80	18	124,3	2	5,60 - 5,80	13	69,5	6
1,80 - 2,00	19	122,3	3	5,80 - 6,00	11	55,6	7
2,00 - 2,20	19	122,3	3	6,00 - 6,20	14	70,8	7
2,20 - 2,40	22	141,6	3	6,20 - 6,40	13	65,7	7
2,40 - 2,60	19	122,3	3	6,40 - 6,60	15	75,9	7
2,60 - 2,80	14	90,1	3	6,60 - 6,80	15	75,9	7
2,80 - 3,00	13	78,3	4	6,80 - 7,00	15	72,0	8
3,00 - 3,20	12	72,3	4	7,00 - 7,20	22	105,6	8
3,20 - 3,40	11	66,3	4	7,20 - 7,40	24	115,2	8
3,40 - 3,60	7	42,2	4	7,40 - 7,60	26	124,8	8
3,60 - 3,80	7	42,2	4	7,60 - 7,80	40	192,0	8
3,80 - 4,00	9	51,0	5	7,80 - 8,00	50	228,4	9

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**

- M (massa battente)= 63,50 kg - H (altezza caduta)= 0,75 m

- Numero Colpi Punta N = N(20) [ $\delta$  = 20 cm]

- A (area punta)= 20,00 cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 50,50 mm

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**



<b>Committente:</b> Italstudi	
<b>Progetto:</b> Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2	
<b>Località:</b> Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)	
<b>Data:</b> Gennaio 2014	

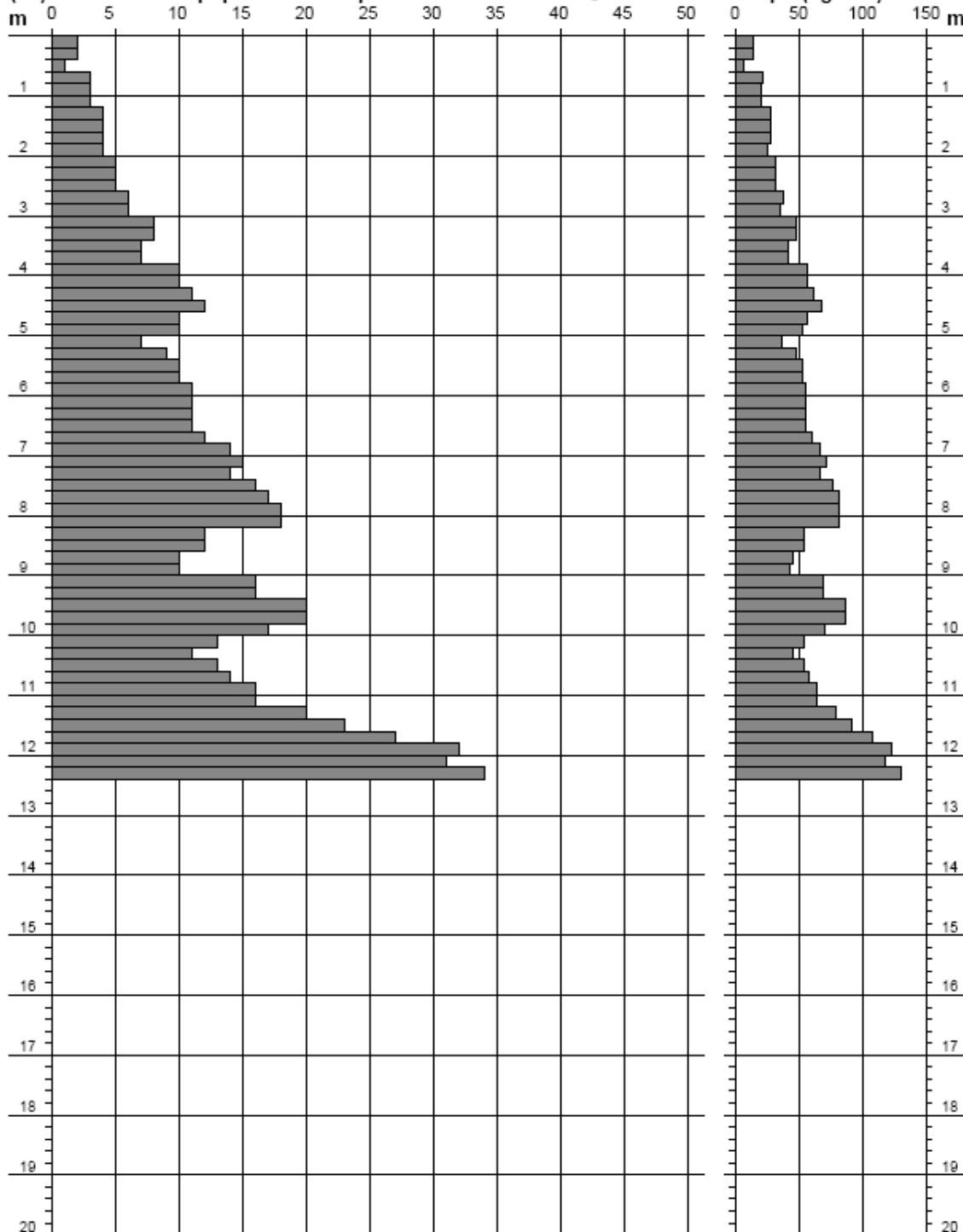
**PROVE  
PENETROMETRICHE**

Grafici

**DIN 01**

**N = N(20) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento  $\delta = 20$  cm**

**Rpd (kg/cm<sup>2</sup>)**



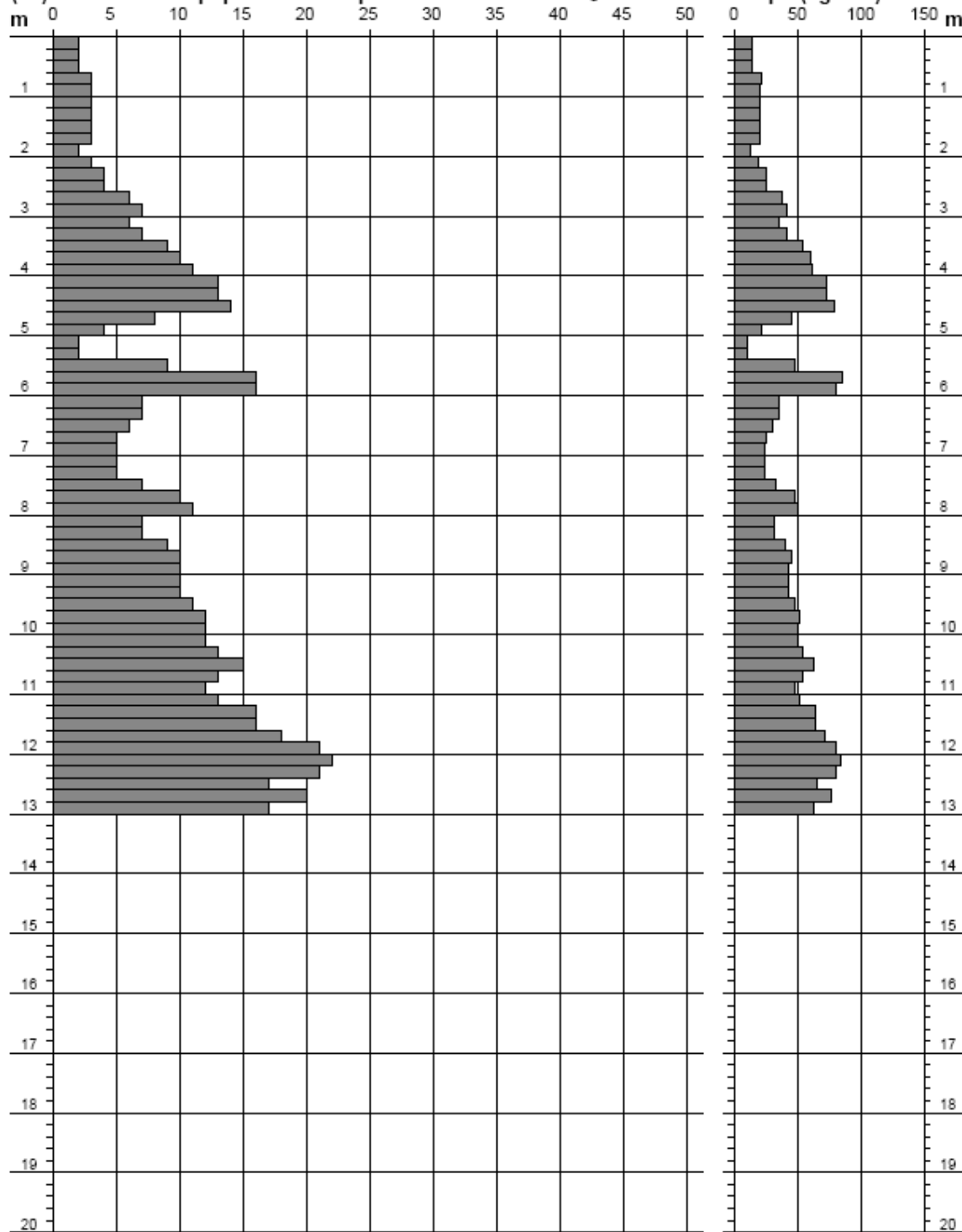
<b>Committente:</b> Italstudi	
<b>Progetto:</b> Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2	
<b>Località:</b> Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)	
<b>Data:</b> Gennaio 2014	

**PROVE  
PENETROMETRICHE**  
  
Grafici

## DIN 02

**N = N(20) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento  $\delta = 20$  cm**

**Rpd (kg/cm<sup>2</sup>)**



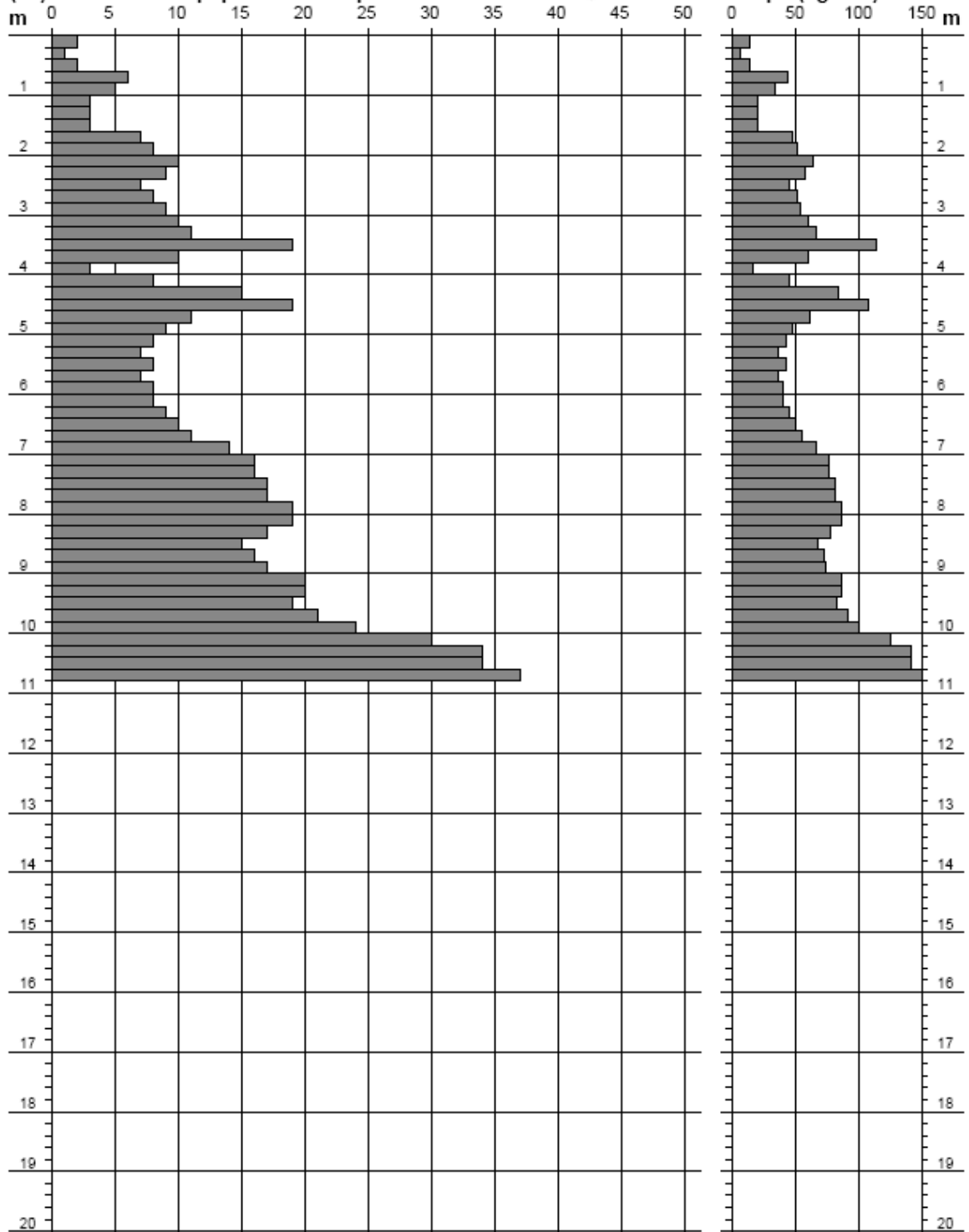
<b>Committente:</b> Italstudi	
<b>Progetto:</b> Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2	
<b>Località:</b> Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)	
<b>Data:</b> Gennaio 2014	

<b>PROVE PENETROMETRICHE</b>
Grafici

### DIN 03

**N = N(20) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento  $\delta = 20$  cm**

**Rpd (kg/cm<sup>2</sup>)**



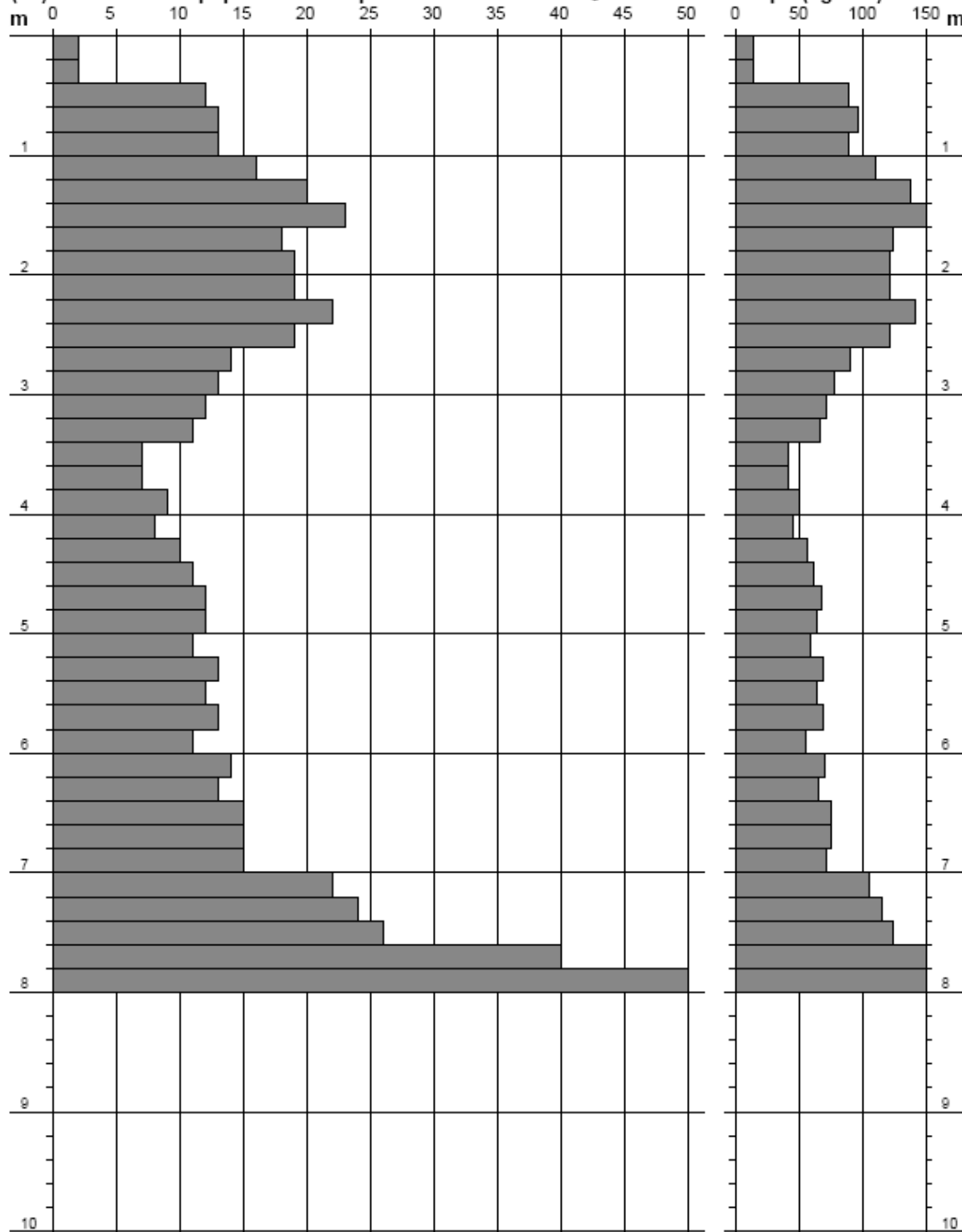
<b>Committente:</b> Italstudi	
<b>Progetto:</b> Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2	
<b>Località:</b> Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)	
<b>Data:</b> Gennaio 2014	

**PROVE  
PENETROMETRICHE**  
  
Grafici

### DIN 04

**N = N(20) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento  $\delta = 20$  cm**

**Rpd (kg/cm<sup>2</sup>)**



<b>Committente:</b> Italtudi	<b>PROVE PENETROMETRICHE</b>  Parametri Geotecnici
<b>Progetto:</b> Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2	
<b>Località:</b> Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)	
<b>Data:</b> Gennaio 2014	

## DIN 01

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA								VCA	$\beta$	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s				
1	0,00 3,00	N	3,8	1	6	2,4	1,5	2,3	5,3	4	1,52	6	
		Rpd	25,4	7	39	16,4	8,6	16,8	34,0				27
2	3,00 6,60	N	9,6	7	12	8,3	1,6	8,0	11,2	10	1,52	15	
		Rpd	52,7	37	68	45,1	7,4	45,4	60,1				55
3	6,60 8,20	N	15,5	12	18	13,8	2,1	13,4	17,6	16	1,52	24	
		Rpd	73,7	61	82	67,2	8,2	65,5	82,0				76
4	8,20 9,00	N	11,0	10	12	10,5	---	---	---	11	1,52	17	
		Rpd	49,7	44	55	46,7	---	---	---				50
5	9,00 10,00	N	17,8	16	20	16,9	---	---	---	18	1,52	27	
		Rpd	76,9	70	87	73,3	---	---	---				78
6	10,00 11,20	N	13,8	11	16	12,4	1,9	11,9	15,8	14	1,52	21	
		Rpd	56,7	46	64	51,3	6,9	49,8	63,6				58
7	11,20 12,40	N	27,8	20	34	23,9	5,5	22,3	33,3	28	1,52	43	
		Rpd	108,4	80	130	94,1	19,4	89,1	127,8				109

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto  
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento  $\delta = 20$  cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\beta$ : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico  $\beta_t = 1,52$ ) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

## Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

## DIN 1

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	$\phi'$	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 3.00		6	21.7	28.4	238	1.89	1.43	0.38	1.85	37	1.000
2	3.00 6.60		15	42.5	31.5	307	1.96	1.54	0.94	1.96	29	0.773
3	6.60 8.20		24	56.0	34.2	376	2.01	1.63	1.50	2.07	22	0.591
4	8.20 9.00		17	45.5	32.1	322	1.97	1.56	1.06	1.98	27	0.729
5	9.00 10.00		27	60.5	35.1	399	2.03	1.66	1.69	2.10	20	0.539
6	10.00 11.20		21	51.5	33.3	353	2.00	1.60	1.31	2.03	24	0.648
7	11.20 12.40		43	78.0	39.3	523	2.11	1.79	2.69	2.30	12	0.309

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

DR % = densità relativa  $\phi'$  (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm<sup>2</sup>) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua  
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm<sup>2</sup>) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

<b>Committente:</b> Italtudi	<b>PROVE PENETROMETRICHE</b>  Parametri Geotecnici
<b>Progetto:</b> Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2	
<b>Località:</b> Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)	
<b>Data:</b> Gennaio 2014	

## DIN 02

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	$\beta$	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s			
1	0,00 2,60	N	2,8	2	4	2,4	---	2,2	3,5	3	1,52	5
		Rpd	19,6	13	26	16,2	4,1	15,5	23,6			
2	2,60 4,80	N	9,5	6	14	7,7	2,9	6,5	12,4	10	1,52	15
		Rpd	55,2	36	79	45,7	15,5	39,7	70,8			
3	4,80 5,40	N	2,7	2	4	2,3	---	---	---	3	1,52	5
		Rpd	14,2	11	21	12,5	---	---	---			
4	5,40 6,60	N	10,2	6	16	8,1	4,6	5,5	14,8	10	1,52	15
		Rpd	52,6	30	86	41,5	24,5	28,1	77,1			
5	6,60 7,40	N	5,0	5	5	5,0	---	---	---	5	1,52	8
		Rpd	24,3	24	25	24,2	---	---	---			
6	7,40 8,40	N	8,4	7	11	7,7	---	---	---	8	1,52	12
		Rpd	39,2	32	50	35,6	---	---	---			
7	8,40 11,20	N	11,6	9	15	10,3	1,7	9,9	13,2	12	1,52	18
		Rpd	49,2	41	63	45,1	5,7	43,5	54,8			
8	11,20 13,00	N	18,7	16	22	17,3	2,3	16,3	21,0	19	1,52	29
		Rpd	72,1	63	84	67,3	8,5	63,5	80,6			

M: valore medio    min: valore minimo    Max: valore massimo    s: scarto quadratico medio    VCA: valore caratteristico assunto  
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento  $\delta = 20$  cm)    Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\beta$ : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico  $\beta = 1,52$ )    Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

## Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

## DIN 2

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	$\phi'$	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 2.60		5	18.3	28.0	230	1.88	1.41	0.31	1.83	39	1.061
2	2.60 4.80		15	42.5	31.5	307	1.96	1.54	0.94	1.96	29	0.773
3	4.80 5.40		5	18.3	28.0	230	1.88	1.41	0.31	1.83	39	1.061
4	5.40 6.60		15	42.5	31.5	307	1.96	1.54	0.94	1.96	29	0.773
5	6.60 7.40		8	28.3	29.2	253	1.91	1.46	0.50	1.87	35	0.945
6	7.40 8.40		12	38.0	30.6	284	1.94	1.52	0.75	1.92	31	0.842
7	8.40 11.20		18	47.0	32.4	330	1.98	1.57	1.13	2.00	26	0.708
8	11.20 13.00		29	63.5	35.7	415	2.05	1.68	1.81	2.13	19	0.506

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

DR % = densità relativa     $\phi'$  (°) = angolo di attrito efficace    E' (kg/cm<sup>2</sup>) = modulo di deformazione drenato    W% = contenuto d'acqua  
e (-) = indice dei vuoti    Cu (kg/cm<sup>2</sup>) = coesione non drenata    Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

<b>Committente:</b> Italtudi	<b>PROVE PENETROMETRICHE</b>  Parametri Geotecnici
<b>Progetto:</b> Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2	
<b>Località:</b> Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)	
<b>Data:</b> Gennaio 2014	

### DIN 03

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA								VCA	$\beta$	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s				
1	0,00 1,60	N	3,1	1	6	2,1	1,6	1,5	4,8	3	1,52	5	
		Rpd	22,3	7	45	14,9	11,9	10,4	34,2	22			
2	1,60 3,80	N	9,8	7	19	8,4	3,3	6,5	13,1	10	1,52	15	
		Rpd	61,3	45	115	53,2	18,8	42,4	80,1	63			
3	3,80 4,00	N	3,0	3	3	3,0	---	---	---	3	1,52	5	
		Rpd	17,0	17	17	17,0	---	---	---	17			
4	4,00 4,80	N	13,3	8	19	10,6	---	---	---	13	1,52	20	
		Rpd	75,0	45	108	60,2	---	---	---	73			
5	4,80 6,80	N	8,5	7	11	7,8	1,3	7,2	9,8	8	1,52	12	
		Rpd	44,1	37	56	40,8	5,9	38,2	50,0	42			
6	6,80 9,60	N	17,3	14	20	15,6	1,9	15,4	19,1	17	1,52	26	
		Rpd	79,1	67	87	73,2	6,8	72,3	86,0	78			
7	9,60 10,80	N	30,0	21	37	25,5	6,3	23,7	36,3	30	1,52	46	
		Rpd	125,6	92	154	108,6	25,1	100,6	150,7	126			

M: valore medio    min: valore minimo    Max: valore massimo    s: scarto quadratico medio    VCA: valore caratteristico assunto  
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento  $\delta = 20$  cm)    Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\beta$ : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico  $\beta_t = 1,52$ )    Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

### Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

### DIN 3

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	$\phi'$	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 1.60		5	18.3	28.0	230	1.88	1.41	0.31	1.83	39	1.061
2	1.60 3.80		15	42.5	31.5	307	1.96	1.54	0.94	1.96	29	0.773
3	3.80 4.00		5	18.3	28.0	230	1.88	1.41	0.31	1.83	39	1.061
4	4.00 4.80		20	50.0	33.0	346	1.99	1.59	1.25	2.02	25	0.667
5	4.80 6.80		12	38.0	30.6	284	1.94	1.52	0.75	1.92	31	0.842
6	6.80 9.60		26	59.0	34.8	392	2.03	1.65	1.63	2.09	21	0.556
7	9.60 10.80		46	81.0	40.0	546	2.13	1.82	2.88	2.33	10	0.274

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

DR % = densità relativa     $\phi'$  (°) = angolo di attrito efficace    E' (kg/cm<sup>2</sup>) = modulo di deformazione drenato    W% = contenuto d'acqua  
e (-) = indice dei vuoti    Cu (kg/cm<sup>2</sup>) = coesione non drenata    Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

<b>Committente:</b> Italtudi	<b>PROVE PENETROMETRICHE</b>  Parametri Geotecnici
<b>Progetto:</b> Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2	
<b>Località:</b> Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)	
<b>Data:</b> Gennaio 2014	

## DIN 04

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	$\beta$	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s			
1	0,00 0,40	N	2,0	2	2	2,0	---	---	---	2	1,52	3
		Rpd	14,9	15	15	14,9	---	---	---			
2	0,40 3,40	N	16,3	11	23	13,6	4,0	12,3	20,2	16	1,52	24
		Rpd	108,2	66	159	87,2	27,4	80,8	135,6			
3	3,40 4,20	N	7,8	7	9	7,4	---	---	---	8	1,52	12
		Rpd	45,2	42	51	43,7	---	---	---			
4	4,20 7,00	N	12,6	10	15	11,3	1,6	11,0	14,3	13	1,52	20
		Rpd	66,3	56	76	61,0	6,5	59,8	72,8			
5	7,00 7,60	N	24,0	22	26	23,0	---	---	---	24	1,52	37
		Rpd	115,2	106	125	110,4	---	---	---			
6	7,60 8,00	N	45,0	40	50	42,5	---	---	---	45	1,52	68
		Rpd	210,2	192	228	201,1	---	---	---			

M: valore medio    min: valore minimo    Max: valore massimo    s: scarto quadratico medio    VCA: valore caratteristico assunto  
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento  $\delta = 20$  cm)    Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\beta$ : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico  $\beta_t = 1,52$ )    Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

## Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

## DIN 4

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	$\phi'$	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 0.40		3	11.3	27.2	214	1.86	1.38	0.19	1.78	44	1.194
2	0.40 3.40		24	56.0	34.2	376	2.01	1.63	1.50	2.07	22	0.591
3	3.40 4.20		12	38.0	30.6	284	1.94	1.52	0.75	1.92	31	0.842
4	4.20 7.00		20	50.0	33.0	346	1.99	1.59	1.25	2.02	25	0.667
5	7.00 7.60		37	72.0	37.8	477	2.09	1.74	2.31	2.23	14	0.387
6	7.60 8.00		68	91.8	43.7	716	2.19	1.91	4.25	2.60	02	0.061

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

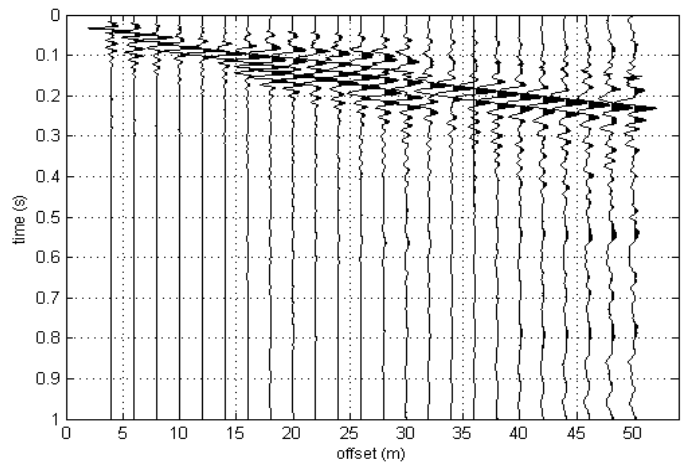
DR % = densità relativa     $\phi'$  (°) = angolo di attrito efficace    E' (kg/cm<sup>2</sup>) = modulo di deformazione drenato    W% = contenuto d'acqua  
e (-) = indice dei vuoti    Cu (kg/cm<sup>2</sup>) = coesione non drenata    Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno



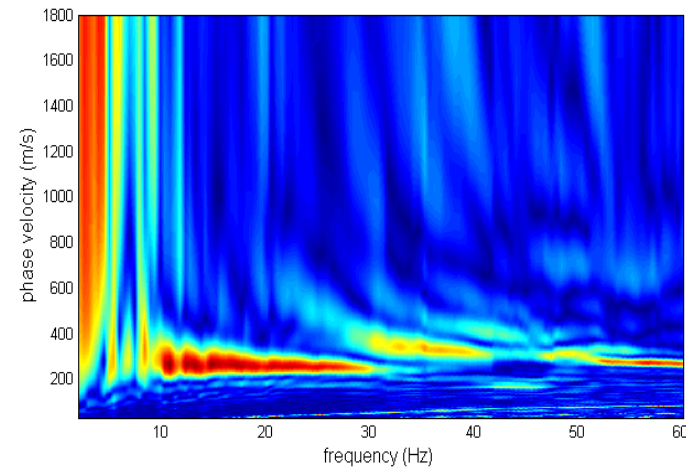
<b>Committente:</b> Italstudi	<b>MASW Monterotondo</b> Dati MASW rielaborati ex lotto 1 (2009)
<b>Progetto:</b> Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2	<b>Vs30 in superficie = 300 m/s</b>
<b>Località:</b> Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)	<b>CLASSE "C" NTC 14/01/2008</b>
<b>Data:</b> Gennaio 2014	

**Interpretazione congiunta Velocità di fase – HVSR - Modellazione diretta**

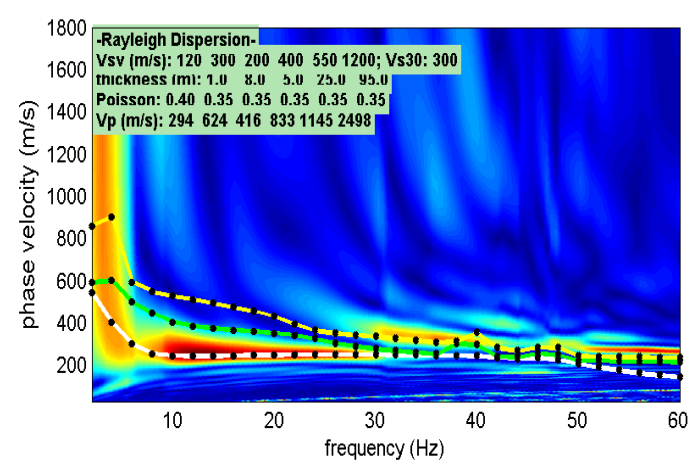
**Sismogramma Grezzo**



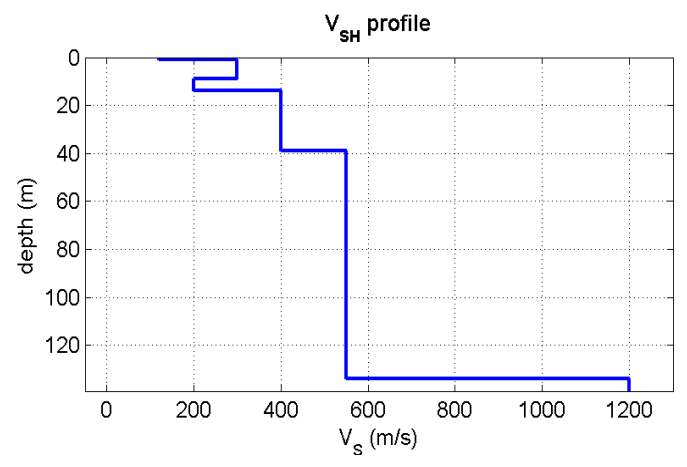
**Spettro di velocità**



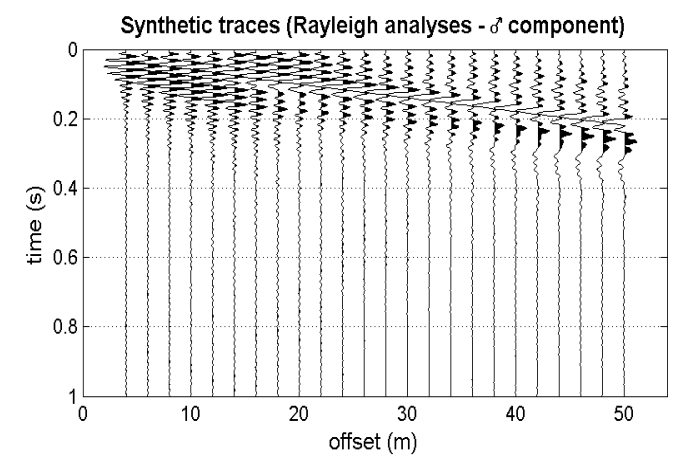
**Modellazione diretta**



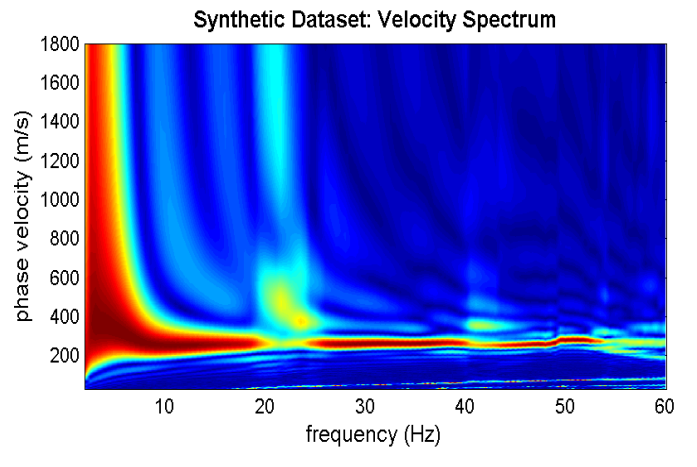
**Modello interpretativo**



**Sismogramma sintetico**



**Spettro di velocità sintetico**



**Committente:** Italstudi

**Progetto:** Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2

**Località:** Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)

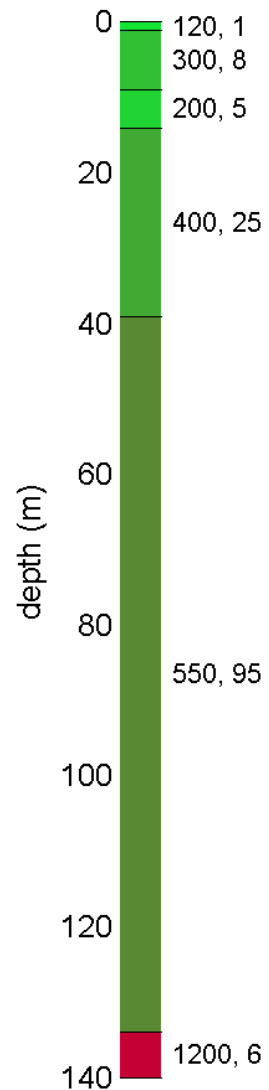
**Data:** Gennaio 2014

**MASW Monterotondo**  
Dati MASW rielaborati ex lotto 1 (2009)

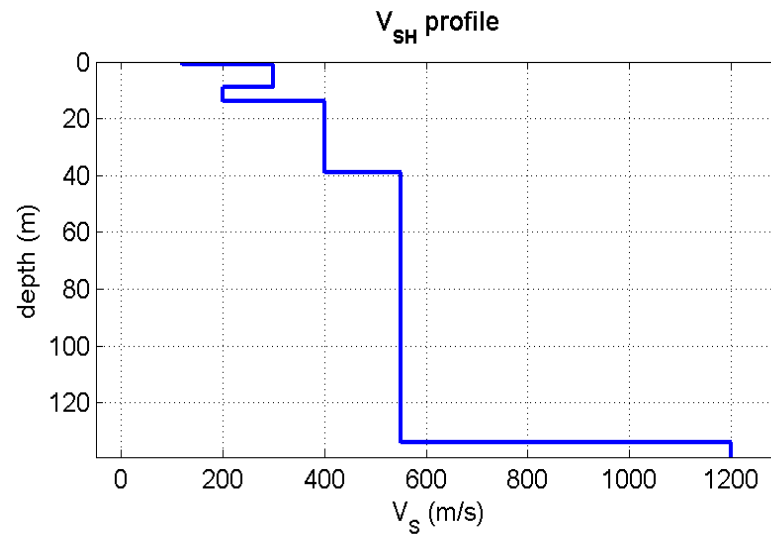
**Vs30 in superficie = 300 m/s**

**CLASSE "C" NTC 14/01/2008**

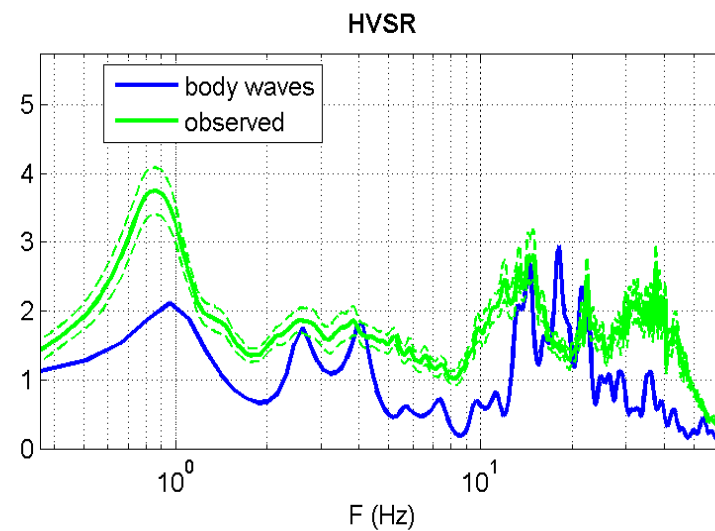
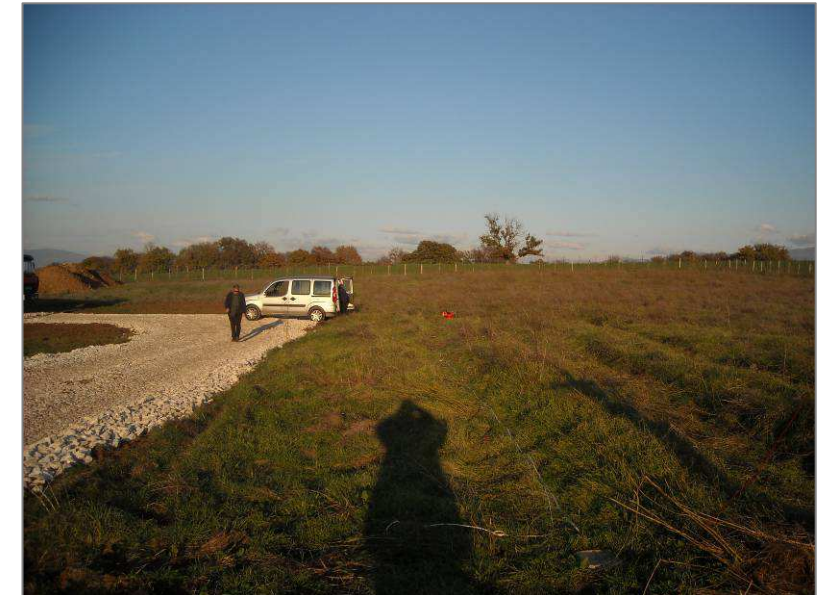
Modello del sottosuolo



Modello interpretativo - Curva HV



Documentazione fotografica



**Variazione Vs30 1÷5 m dal p.c.**  
**Velocità di fase**

Prof. (m)	Vs30 (m/s)	Categoria
1	319	C
2	321	C
3	324	C
4	327	C
5	330	C

Committente: Italtstudi

Progetto: Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2

Località: Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)

Data: Gennaio 2014

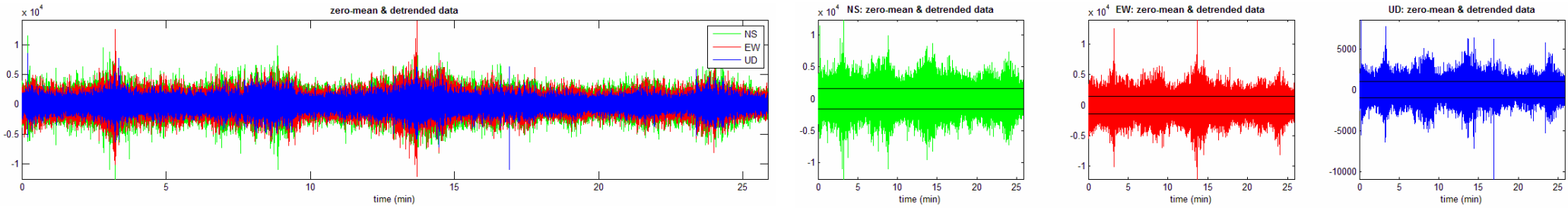
HVSR Monterotondo

$F_0 = 0.9 \text{ Hz}$

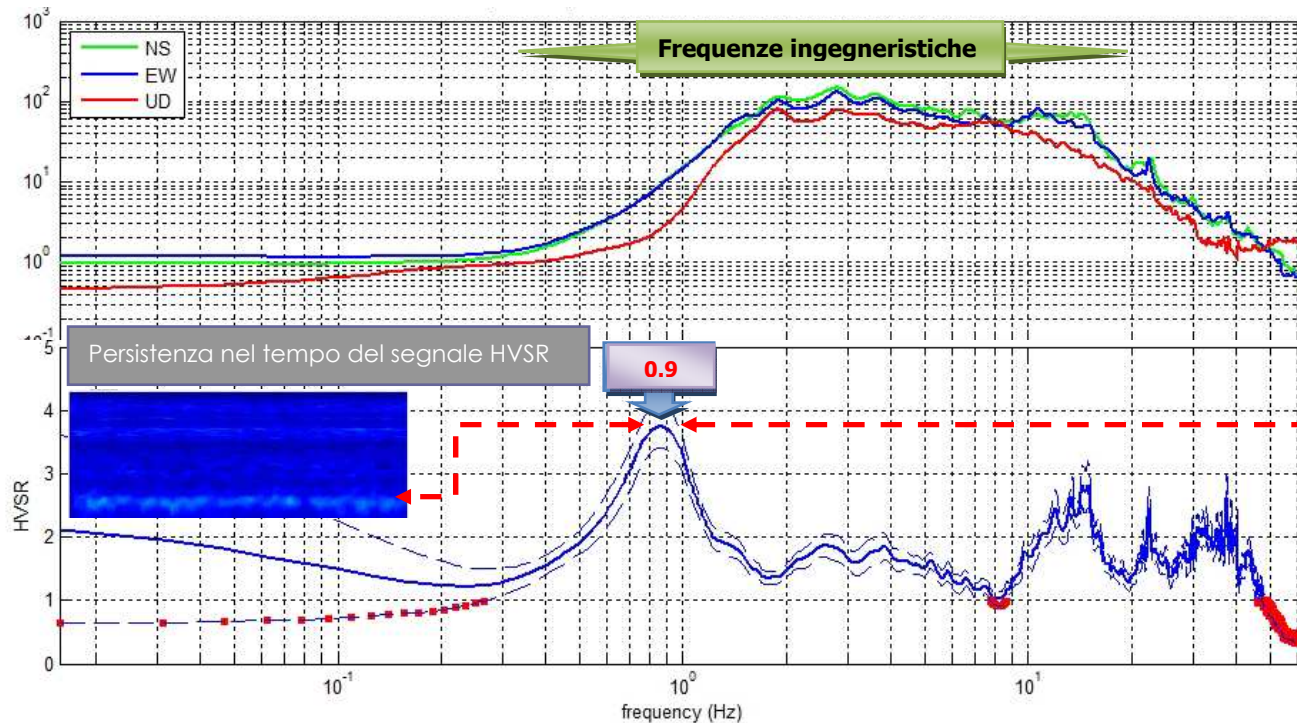
$T_0 = 1.1 \text{ s}$

Gennaio 2014

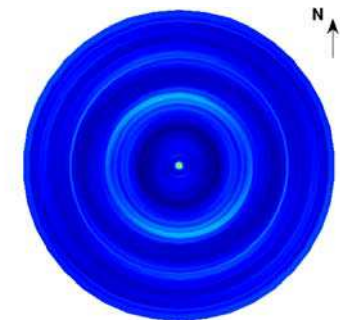
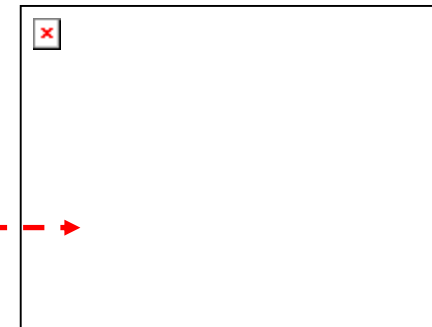
Visualizzazione dati dopo l'elaborazione base (media zero e rimozione delle derive strumentali)



Spettro per le tre componenti e HVSR medio calcolato



Valori H/V in funzione della frequenza al variare della direzione del segnale



<b>Committente:</b> Italtudi	<b>HVSR Monterotondo</b>
<b>Progetto:</b> Progetto esecutivo del Nuovo Cimitero di Monterotondo - Lotto 2	<b><math>F_0 = 0.9</math> Hz</b>
<b>Località:</b> Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)	<b><math>T_0 = 1.1</math> s</b>
<b>Data:</b> Gennaio 2014	Gennaio 2014

## Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

### Dataset: MT\_2014/01/16\_16:10:52.SAF

Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 40

Length of analysed temporal sequence (min): 25.9

Tapering (%): 10

### Results in the 0.1-20.0 Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 0.9 ( $\pm 6.4$ )

Peak HVSR value: 3.7 ( $\pm 0.3$ )

### Criteria for a reliable H/V curve

1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]:  $0.9 > 0.25$  (OK)
2. [ $nc > 200$ ]:  $2451 > 200$  (OK)
3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

### Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: (NO)
2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.4Hz (OK)
3. [ $A_0 > 2$ ]:  $3.7 > 2$  (OK)
4. [ $f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)
5. [ $\sigma_{f_0} < \epsilon(f_0)$ ]:  $6.378 > 0.131$  (NO)
6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]:  $0.339 < 2$  (OK)

*Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities. Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change*



**Committente:** Italstudi

**Progetto:** Progetto esecutivo del Nuovo cimitero di Monterotondo - lotto 2

**Località:** Monterotondo, Strada Provinciale n.25b (Roma)

**Data:** Gennaio 2013



**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA**



Postazione DPSH 1



Postazione DPSH 2



Postazione DPSH 3



Postazione DPSH 4



Misure sismiche tipo HVSr