

## COMUNE DI ROCCA DI PAPA (RM)



Relazione geologica finalizzata alla Variante Urbanistica  
per la realizzazione di due rotatorie, site  
lungo la Strada Provinciale Olimpica SP18/C,  
in Loc. Vivaro

Roma, Marzo 2022

Dott. Geol. David Simoncelli

E' riservata la proprietà di questo elaborato che potrà essere riprodotto, anche in parte, solo dopo autorizzazione scritta





## Sommario

1	PREMESSE .....	2
2	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA .....	3
2.1	Inquadramento Geologico.....	3
2.2	Inquadramento Idrogeologico.....	6
3	INDAGINI CARATTERIZZANTI DELL'AREA.....	8
3.1	Studio geognostico .....	9
3.1.1	Verifica Liquefazione .....	11
3.2	Studio geofisico .....	14
3.2.1	Analisi sismica tramite microtremori .....	14
3.2.2	Analisi sismica tramite Masw.....	18
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA AI SENSI DEL D.M.17.01.20182 .....	20
5	DESCRIZIONE DELLA CARTOGRAFICA ALLEGATA.....	21
5.1	Carta geologica-geomorfologica (TAV.01).....	21
5.2	Carta delle indagini (TAV.02) .....	22
5.3	Carta idrogeologica (TAV.03).....	22
5.4	Carta delle pendenze (TAV.04).....	23
5.5	Carta delle vulnerabilità (TAV. 05).....	23
5.6	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica .....	24
5.7	Carta delle idoneità territoriali (TAV. 06) .....	25
6	CONCLUSIONI .....	26

## 1 PREMESSE

In ottemperanza all'art.89 della D.P.R. 380/2011, della D.G.R. 2649/1999, della D.G.R. 545/10 del 26 Novembre 2010, dell'articolo 89 del D.P.R. 380/2011 è stata redatta una relazione, a corredo della Variante Urbanistica commissionata dall'Amministrazione Comunale, per la realizzazione di due rotatorie lungo la Strada Provinciale Olimpica SP18/C in Loc. Vivaro.

La superficie interessata dall'intervento è suddivisa in due zone, la prima di circa 510mq, e la seconda di circa 503, per un totale di circa 1013 mq. La presente relazione descrive dapprima in maniera generale l'area per poi approfondirne in dettaglio le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del sito interessato dalla Variante e dei terreni presenti, desunte dalla campagna geognostica e geofisica eseguita. In ottemperanza alla D.G.R. 490/11 e s.m.i., vista la Determina Regionale n° A02680 del 05/04/2013 con cui è stato validato per l'Unità Amministrativa Sismica del Comune di Rocca di Papa (sottozona sismica 2b ) lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 (di seguito MS1), l'area di studio ricade in zona "esentata per presenza aree SIC/ZPS", e visto che nell'area in variante avente una superficie >5.000 mq non sono previste opere edificatorie, non è stato condotto alcuno studio di Microzonazione Sismica dell'area in oggetto.

Alla luce di quanto espresso è stato redatto il presente studio, acquisendo ed integrando i dati in possesso, studiando ampiamente i lineamenti geologici, geomorfologici, idrogeologici e sismici dell'area con particolare riguardo alla stabilità dei terreni affioranti, ai potenziali fattori di dissesto e ad un corretto uso globale della risorsa.

I concetti e le conclusioni di seguito espresse si intendono esplicitamente riferiti alla cartografia tematica, generale e di dettaglio, che, nel rispetto della normativa vigente sopra citata, costituisce parte integrante del presente studio.

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

L'area in oggetto è ubicata nel territorio comunale di Rocca di Papa, ricade nelle Sezioni 388023 e 388064 della Carta Tecnica Regionale Numerica edita dalla Regione Lazio scala 1:5.000 e nel Foglio n. 150 – “Frosinone” della Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000.

Essa si trova ad una quota compresa tra i 545 m e i 560 s.l.m., e dista circa 6.3 Km in direzione SE dal centro storico di Rocca di Papa.

Dal punto di vista morfologico tale area è ubicata su un altipiano all'interno dei Colli Albani, delimitato a sud dal Monte Artemisio (939 m), a nord dal Maschio delle Faete (956 m) e dal Monte Cavo (949 m), in corrispondenza di un settore caratterizzato da pendenze per lo più inferiori ai 5-10° seppur puntualmente, in corrispondenza di affioramenti di litologie più competenti, si riscontrano, pendenze anche prossime ai 15-20°.

### 2.1 *Inquadramento Geologico*

#### **Geologia dell'area**

Da un punto di vista geologico il territorio di Rocca di Papa è caratterizzato dalla presenza dei depositi vulcanici del Distretto vulcanico Albano.

Il Distretto vulcanico Albano (Vulcano Laziale Auctt.) è il più meridionale dei distretti vulcanici a struttura centrale del Lazio. Esso si è sviluppato su un substrato sedimentario costituito da unità calcareo-silico-marnose mesozoiche riferibili al Dominio Umbro-Marchigiano-Sabino. Al di sopra di tale successione, giacciono in discordanza depositi neogenici post-orogenici, arenaci e pelitici, con spessori estremamente variabili.

Il Distretto Vulcanico Albano inizia la sua attività nel Pleistocene medio, intorno a 0.6-0.7 milioni di anni da oggi; attività che termina intorno a 20.000 anni fa.

Nella letteratura geologica vengono considerate tre fasi principali nell'evoluzione dell'attività vulcanica, distinte sia cronologicamente che per la tipologia eruttiva ed i volumi di materiali emessi.

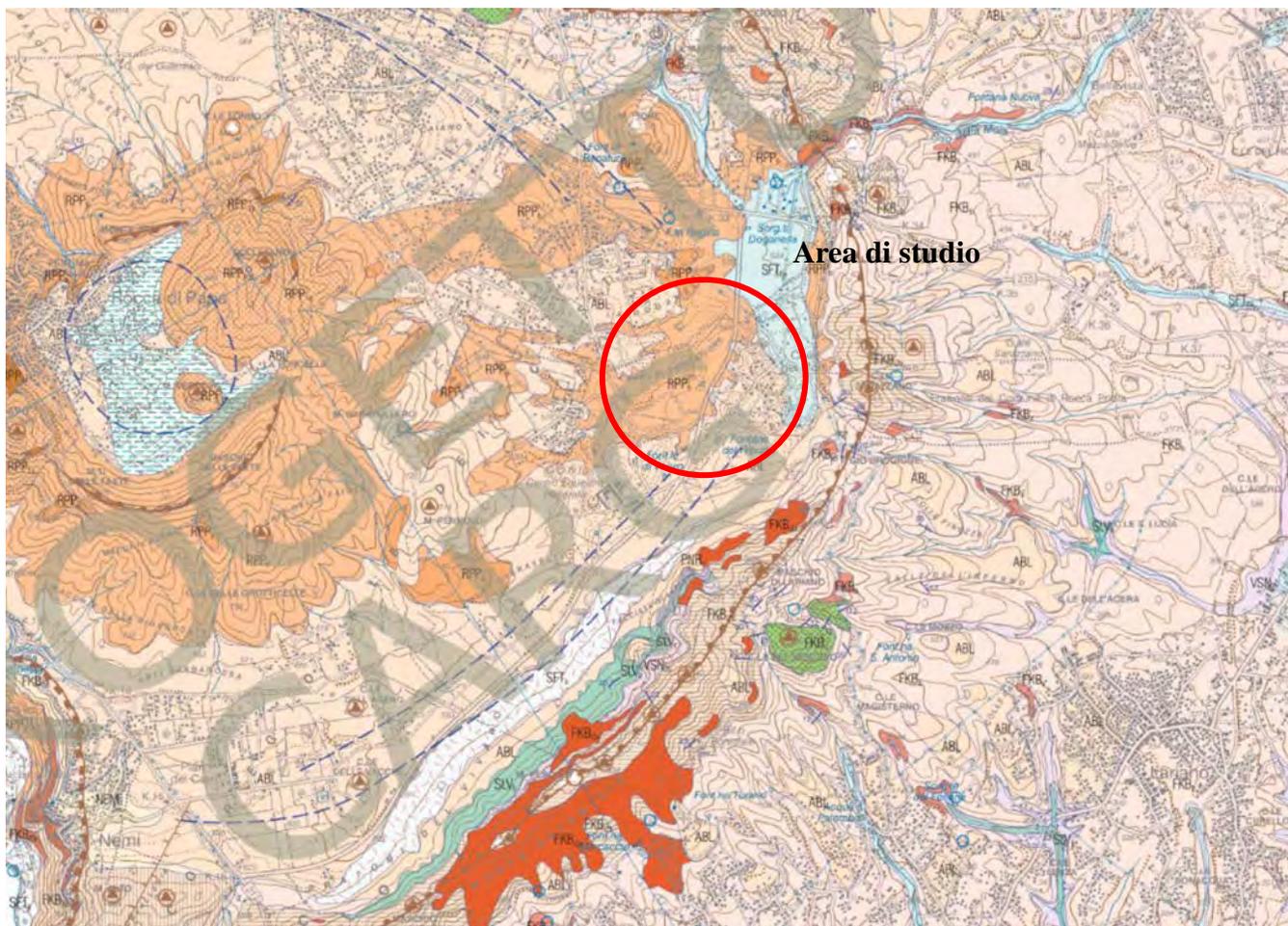
I Fase: attività del Tuscolano-Artemisio. Questa prima fase compresa cronologicamente tra circa 600.000 e 360.000 anni fa, è caratterizzata da una attività concentrata in un edificio principale (Tuscolano-Artemisio) è a sua volta suddivisa in quattro cicli principali. Ognuno di questi cicli è caratterizzato da notevole attività esplosiva, con emissione di grandi quantità di depositi piroclastici (colate, di ricaduta) con un'attività prevalentemente effusiva di chiusura. La prima fase termina con il collasso dell'edificio Tuscolano-Artemisio. Durante questa fase vengono eruttati oltre il 90 % dei prodotti emessi dal Distretto Vulcanico Albano.

II Fase: attività dei Campi di Annibale (o delle Faete). Dopo una breve stasi l'attività eruttiva riprende all'interno dell'area collassata con la formazione di uno strato-vulcano. Questa seconda fase è compresa, cronologicamente, tra circa 300.000 e 200.000 anni fa.

III Fase: attività idro-magmatica finale. L'ultima fase di attività del distretto vulcanico è caratterizzata da eruzioni da crateri eccentrici, posti al limite nord-occidentale del distretto, rappresentati dai crateri di: Ariccia, Nemi, Prata Porci, Castiglione, Pantano Secco, Valle Marciana, Albano e Giuturna. Tale fase termina circa 20.000 anni fa.

Dal punto di vista litologico, l'area in esame è caratterizzata, al di sotto di uno spessore decimetrico di coltre superficiale, dalla presenza di depositi piroclastici pedogenizzati scarsamente consistenti che occultano piroclastiti da poco a mediamente consistenti, riferibili cronologicamente al Pleistocene medio [Litosoma Faete] (vedi stralcio Carta Geologica scala 1:50.000, fig.1).

Le osservazioni e le indagini compiute hanno evidenziato, le discrete condizioni geomorfologiche del terreno in questione; non esistono, infatti nell'area in oggetto, tracce di fenomeni franosi o in genere, di processi morfogenetici in atto.

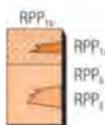


**FORMAZIONE DI CAMPI DI ANNIBALE**



Successione di più depositi proclastici cineritici, grigi, con lapilli accrezionari, intercalati da paleosuoli. In varie località i singoli orizzonti piroclastici sono intercalati da livelli di breccia ricchi di scorie dense porfiriche grigie e nere, cristalli di leucite, pirosseno e mica e litici lavici e olocristallini. Alla base possono essere presenti sottili livelli di scorie giallastre da caduta. La successione rappresenta le porzioni distali di varie eruzioni freatomagmatiche dei maar del Litosoma Via dei Laghi, e mantella i settori centrale e orientale del vulcano con spessori variabili tra 1 m e 5 m.  
**PLEISTOCENE SUPERIORE** p-p.

**FORMAZIONE DI ROCCA DI PAPA**



La formazione raccoglie i prodotti lavici e piroclastici che formano lo stratovulcano intracalderico della Faete ed i suoi apparati eccentrici.  
**litofacies lavica (RPP<sub>1a</sub>)** Lave grigio-scure, da tefitiche a K-foiditiche a fono-tefitiche<sup>10</sup>, da porfiriche a microcristalline, da compatte a vacuolari, con contenuto variabile di fenocristalli di leucite spesso in individui centimetrici, clinopirosseno ed occasionalmente olivina. Le colate principali sono quelle di Monti delle Faete, Maschio delle Faete, Pentima Stalla, Monte Ara, Monte Pennolo. Spessori massimi 20 m.  
**litofacies scoriacea (RPP<sub>1b</sub>)** Bancate di lapilli scoriacei, da saldati o sciolti, con intercalati livelli cineritici a giacitura quaquaversale associati sia all'apparato centrale delle Faete, sia ai con di scorie di Colle Tondo, Monte Fiore, Casale Molare, Madonna della Molara, Molara ed a quelli sepolti di Monte Pennolo, Colle delle Vacche, Colle dell'Acerio, Colle dell'Acqua. Spessori massimi 400 m.  
**membro di Colle Iano (RPP<sub>1c</sub>)**  
 È costituito dai depositi scoriacei (RPP<sub>1b</sub>) e lavici (RPP<sub>1a</sub>) dei centri di Colle Iano, Monte Cavo e Monte Vesuvio. Si tratta di con di scorie edificatis dopo il collasso della piccola caldera dei Campi d'Annibale e poggiati al di sopra di una superficie di *unconformity* significativa.  
**litofacies lavica (RPP<sub>1d</sub>)** Lave grigio-scure, da porfiriche a microcristalline, da compatte a vacuolari, con contenuto variabile di fenocristalli di leucite, clinopirosseno ed occasionalmente olivina. L'età radiometriche comprese fra 278 ± 5 ka e 268 ± 4 ka<sup>11</sup>. Spessori massimi 20 m.  
**litofacies scoriacea (RPP<sub>1e</sub>)** Bancate di lapilli scoriacei, da saldati a sciolti, con intercalati livelli cineritici a giacitura quaquaversale associati ai con di scorie di Colle Iano, Monte Cavo, Monte Vesuvio. Il cono di Monte Vesuvio è ricco di xenoliti pirossenitici. Spessori massimi 200 m.  
**PLEISTOCENE MEDIO** p-p.

Fig. 1 – Stralcio Carta Geologica 1:50.000 F. 388 “Velletri”

## 2.2 *Inquadramento Idrogeologico*

L'area in esame fa parte dell'unità Idrogeologica vulcanica dei Colli Albani (Carta delle Unità Idrogeologiche della Regione Lazio, scala 1:250.000, Capelli G. et alii, 2012). Questa unità corrisponde ad un sistema idraulicamente definito, in cui la presenza di limiti idraulici, delimita le aree di ricarica di questo serbatoio regionale. È stata distinta in base alla prevalente natura litologica degli acquiferi in essa contenuti ed è caratterizzata da un'estensione areale regionale di 1461 Km<sup>2</sup>. In dettaglio, l'area di studio è inserita all'interno di due complessi idrogeologici:

- il Complesso dei depositi alluvionali recenti (1) caratterizzato principalmente da alluvioni ghiaiose, sabbiose, argillose attuali e recenti anche terrazzate e coperture eluviali e colluviali (Olocene), la cui potenzialità acquifera risulta essere valutata da bassa a medio alta e possono essere sede di falde locali di limitata estensione;

- il Complesso delle Lave, laccoliti e coni di scorie (7) caratterizzato da scorie generalmente saldate, lave e laccoliti (Pleistocene), la cui potenzialità acquifera risulta medio alta. Tale complesso contiene falde di importanza locale ad elevata produttività, ma id estensione limitata (Fig. 2 – Stralcio Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio, Foglio n°3 - scala 1:100.000, Capelli G. et alii, 2012). Durante il corso delle prove geotecniche in sito, non è stata riscontrata la presenza di falde anche se non si esclude la presenza di eventuali flade sospese a carattere prettamente stagionale.

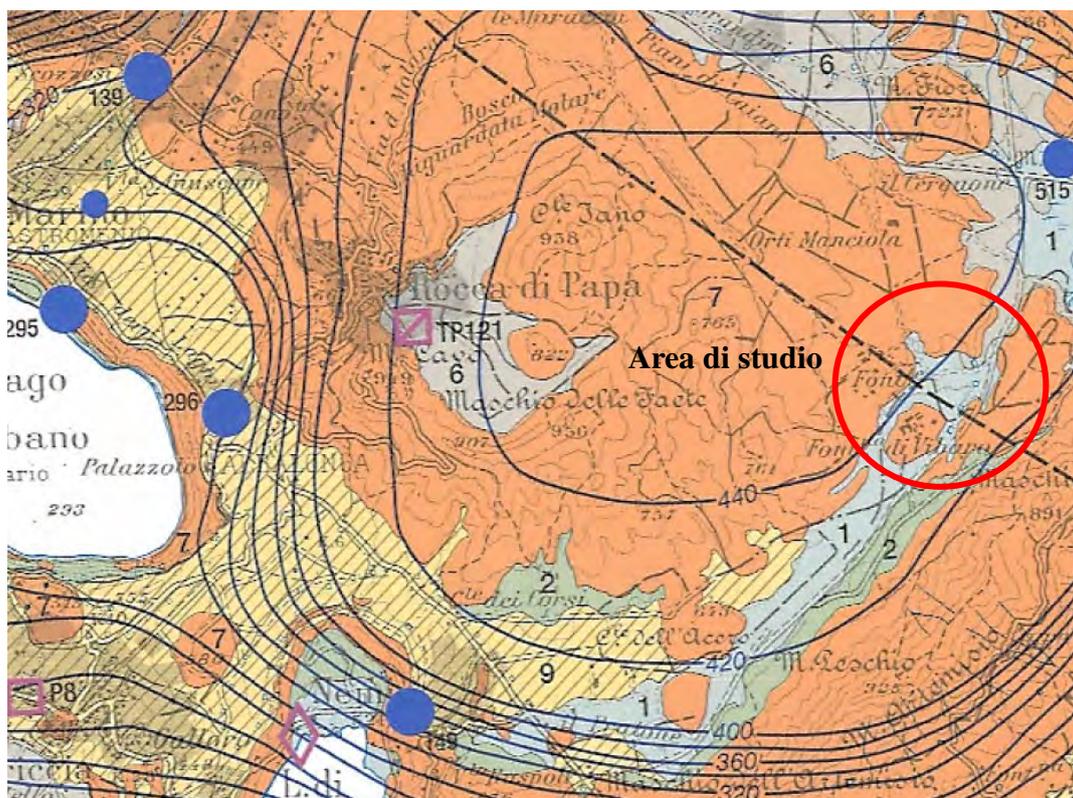


Fig. 2 – Stralci Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio, scala 1:100.000 F. 3

### 3 INDAGINI CARATTERIZZANTI DELL'AREA

In ottemperanza all'art.89 della D.P.R. 380/2001, della D.G.R. 2649/1999, D.G.R. 545/10, della D.G.R. 535/2012 del 2 Novembre 2012 e della successiva D.G.R. 155/20 del 7 Aprile 2020 della Regione Lazio ed al fine di caratterizzare la geologia ed il comportamento sismico del sottosuolo, sono stati eseguiti, all'interno dell'area in esame uno studio geognostico e uno studio geofisico così articolato:

- a) un rilevamento geologico, geomorfologico ed idrogeologico di dettaglio;
- b) acquisizione dati tratti da studi effettuati dallo scrivente in aree adiacenti e limitrofe;
- c) n°4 prove penetrometriche dinamiche continue tramite l'utilizzo dello strumento di tipo super-pesante (DPSH);
- d) n°2 prova di rumore sismico (HVSR) eseguita con tromografo digitale "Tromino" ed elaborazione dati mediante il software "Grilla", forniti entrambe della Società Micromed spa;
- e) n°4 MASW eseguite mediante sismografo "Sysmatrack" multicanale (12 canali) fornito dalla Società "MAE advanced geophysics instruments" ed elaborazione dati mediante il software "EasyMasw", fornito dalla Società "Geostru Software";
- f) misurazioni mediante strumenti portatili sugli affioramenti presenti.

### 3.1 Studio geognostico

Allo scopo sia di individuare la successione stratigrafica e le caratteristiche geologiche dei terreni, sia di delineare le caratteristiche geotecniche e geomeccaniche dei materiali riscontrati e correlarli con i dati geofisici sono state eseguite le seguenti indagini (vedi Carta delle indagini TAV.02):

1. rilevamento geologico, geomorfologico e idrogeologico sulle aree interessate dallo studio e nelle zone limitrofe;
2. acquisizione dati bibliografici tratti da studi a firma dello scrivente;
3. n°4 prove penetrometriche dinamiche continue con strumento di tipo superpesante (DPSH), 2 per ogni rotatoria;

Nel dettaglio, nell'area affiorano al di sotto di uno spessore decimetrico di coltre superficiale affiorano depositi piroclastici pedogenizzati scarsamente consistenti, che verso il basso lasciano il posto a piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti. Dagli studi acquisiti e dalle indagini eseguite nell'area è emersa la seguente stratigrafia media:

#### PROVA DPSH 1 ROTATORIA 17



dal P.C. a -0,3 m = COLTRE SUPERFICIALE

da -0,3 m a -4,8 m = PIROCLASTITI PEDOGENIZZATE LIMO ARGILLOSE  
SCARSAMENTE CONSISTENTI

da -4,8 m a -7,8 m = PIROCLASTITI LIMOSO SABBIOSE POCO CONSISTENTI

### PROVA DPSH 2 ROTATORIA 1



dal P.C. a -0,3 m = COLTRE SUPERFICIALE

da -0,3 m a -4,8 m = PIROCLASTITI PEDOGENIZZATE LIMO ARGILLOSE  
SCARSAMENTE CONSISTENTI

da -4,8 m a -7,8 m = PIROCLASTITI LIMOSO SABBIOSE POCO CONSISTENTI

### PROVA DPSH 3 ROTATORIA 2



dal P.C. a -1,2 m = COLTRE SUPERFICIALE E MATERIALI RIMANEGGIATI

da -1,2 m a -3,0 m = PIROCLASTITI PEDOGENIZZATE LIMO ARGILLOSE  
SCARSAMENTE CONSISTENTI

da -3,0 m a -5,1 m = PIROCLASTITI LIMOSO SABBIOSE MEDIAMENTE  
CONSISTENTI

### PROVA DPSH 4 ROTATORIA 2



dal P.C. a -0,9 m = COLTRE SUPERFICIALE E MATERIALI RIMANEGGIATI

da -0,9 m a -3,0 m = PIROCLASTITI PEDOGENIZZATE LIMO ARGILLOSE  
SCARSAMENTE CONSISTENTI

da -3,0 m a -5,4 m = PIROCLASTITI LIMOSO SABBIOSE POCO CONSISTENTI

Per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche, i valori di  $N_{spt}$  forniti dalle prove penetrometriche effettuate, correlati con teorie di vari autori (come riportato integralmente nell'elaborato delle prove penetrometriche allegati alla relazione), unitamente a misurazioni mediante strumenti portatili e dati da prove di laboratorio effettuate su analoghi litotipi, hanno permesso di determinare la seguente tabella dei parametri minimi dei litotipi rinvenuti:

<b>LITOTIPI</b>	<b>Peso di volume <math>\gamma</math> (t/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Angolo di attrito <math>\varphi</math> (°)</b>	<b>Coesione drenata C (t/m<sup>2</sup>)</b>	<b>NSPT</b>	<b>Modulo Edometrico (kg/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Modulo di taglio G (kg/cm<sup>3</sup>)</b>
PIROCLASTITI PEDOGENIZZATE LIMO ARGILLOSE SCARSAMENTE CONSISTENTI	1,76	22	0,5	1,31	9,30	147,42
PIROCLASTITI LIMOSO SABBIOSE POCO CONSISTENTI	1,84	27	0,5	3,94	27,97	288,91
PIROCLASTITI LIMOSO SABBIOSE MEDIAMENTE CONSISTENTI	1,88	29	0,5	15,25	108,28	660,52

### ***3.1.1 Verifica Liquefazione***

Le NTC 2018 prevedono che il sito presso il quale è in progetto una nuova opera deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione. In assenza di interventi di miglioramento del terreno l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della resistenza di progetto e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali. Per ciò che concerne la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione, questa è connessa alla presenza di terreni sabbiosi saturi a profondità inferiori a 15 m e alla eventualità di terremoti con

magnitudo superiore a 5. Lo scuotimento indotto dal moto sismico genera un incremento della pressione dell'acqua contenuta nei pori del terreno che può arrivare ad uguagliare la tensione efficace del terreno. In questa condizione si ha l'annullamento della resistenza al taglio del terreno e, di conseguenza, la sua liquefazione. Ai sensi delle N.T.C. di cui al D.M. 17/01/18 (paragrafo 7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione) la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizione di free-field) inferiori a 0,1g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- 4) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

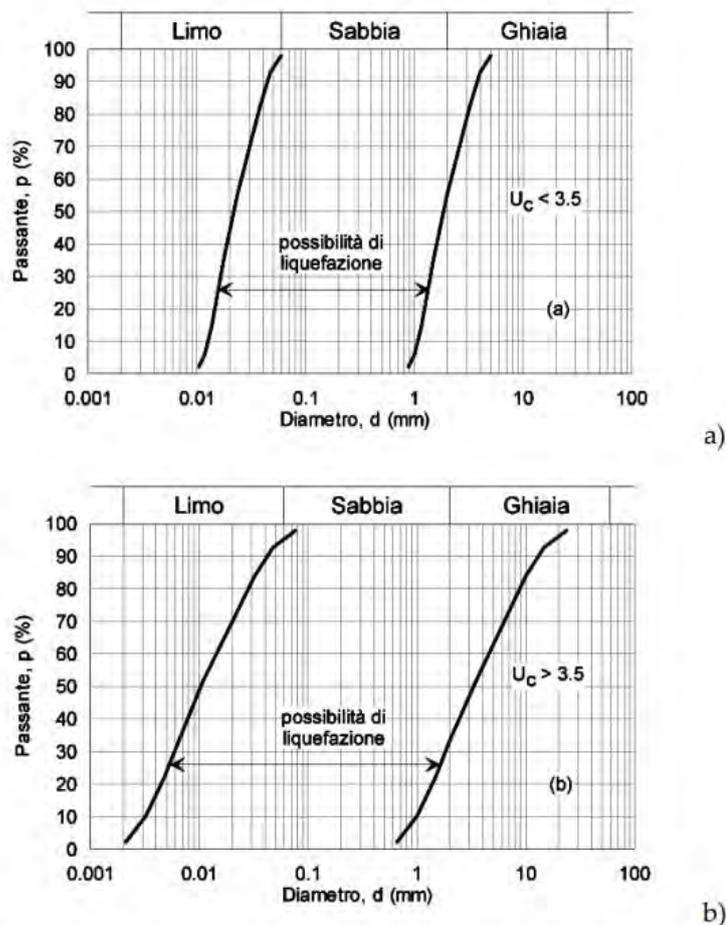


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Nel rispetto del § 7.11.3.4.2 delle N.T.C./18, si esclude la verifica a liquefazione in quanto, la distribuzione granulometrica è esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1 (a) nel caso di terreno con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$ .

Figura 7.11.1 (a)

### 3.2 *Studio geofisico*

Al fine di caratterizzare l'area di studio dal punto di vista geofisico e per la determinazione della categoria di sottosuolo sono state effettuate le seguenti indagini geofisiche:

**n°2 misure di rumore ambientale (HVSR)** per la determinazione della frequenza fondamentale del sito e, dopo averlo per la determinazione delle Vs30, con tromografo digitale "Tromino" ed elaborazione dati mediante il software "Grilla", forniti dalla Società Micromed spa;

**n°4 stendimenti MASW** eseguite mediante sismografo "Sysmatrack" multicanale (12 canali) fornito dalla Società "MAE advanced geophysics instruments" ed elaborazione dati mediante il software "EasyMasw", fornito dalla Società "Geostru Software";

#### 3.2.1 *Analisi sismica tramite microtrempi*

Il rumore sismico è presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste per lo più nelle onde prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P ed S negli strati superficiali. Il rumore sismico viene prodotto principalmente dal vento e dalle onde del mare. Anche le industrie e il traffico veicolare producono localmente rumore sismico ma, in genere, solo a frequenze relativamente alte, superiori ad alcuni Hz, che vengono attenuate piuttosto rapidamente.

A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono gli effetti locali, dovuti a sorgenti antropiche e/o naturali.

Il rumore di fondo agisce da funzione di eccitazione per le risonanze specifiche sia degli edifici che del sottosuolo, un po' come una luce bianca che illumina gli oggetti, eccitando le lunghezze d'onda del loro stesso colore. Ad esempio, se ci si trova all'interno di un edificio con frequenze di risonanza a 6 e 100 Hz, il rumore di fondo ecciterà queste frequenze, rendendole chiaramente visibili nello spettro di rumore. Allo stesso modo compariranno anche le frequenze di risonanza del

sottosuolo. Ad esempio, se il sottosuolo su cui lo strumento è posto ha una stratificazione con frequenze proprie a 0.8 Hz e 20 Hz, queste frequenze appariranno nello spettro come picchi facilmente individuabili rispetto alla traccia di sottofondo.

Durante un terremoto che si può assimilare ad una traccia di rumore con ampiezze sino a  $10^{10}$  volte maggiori del rumore di fondo, se la frequenza di risonanza del suolo e quella dell'edificio che si trova su di esso sono uguali, viene indotta un'oscillazione risonante accoppiata, detta *amplificazione sismica*, che accresce enormemente le sollecitazioni sull'edificio.

L'amplificazione sismica è la prima causa dei danni agli edifici durante un terremoto, molto più della grandezza stessa del terremoto. Un esempio notevole di amplificazione sismica si è avuto in anni recenti, il 19 settembre 1985, quando un terremoto "medio" ( $M=6.6$ ) colpì il Messico Centrale producendo danni modesti vicino all'epicentro, ma provocando il crollo di 400 palazzi a Città del Messico, distante 240 km dall'epicentro. Analisi successive hanno mostrato come Città del Messico sia costruita su di un bacino sedimentario la cui frequenza, circa 1 Hz, è identica a quella dei palazzi di 10 piani che risultarono essere i più danneggiati dal terremoto. Allo stesso modo, il terremoto calabro-messinese del 28 dicembre 1908 ( $M=7.2$ ) distrusse il 95% delle case di Messina ma lasciò praticamente intatte tutte quelle costruite su roccia e quindi non soggette a amplificazione sismica.

La tecnica qui applicata e detta HVSR (Horizontal/Vertical Spectral Ratio) con registrazione su singola stazione. Alla curva sperimentale HVSR (rossa, in Fig. 3, riferita ad un caso generico) viene sovrapposta una curva teorica (blu) usando il vincolo geologico-stratigrafico ottenuto per via indipendente dalle indagini di campagna sullo strato più superficiale.

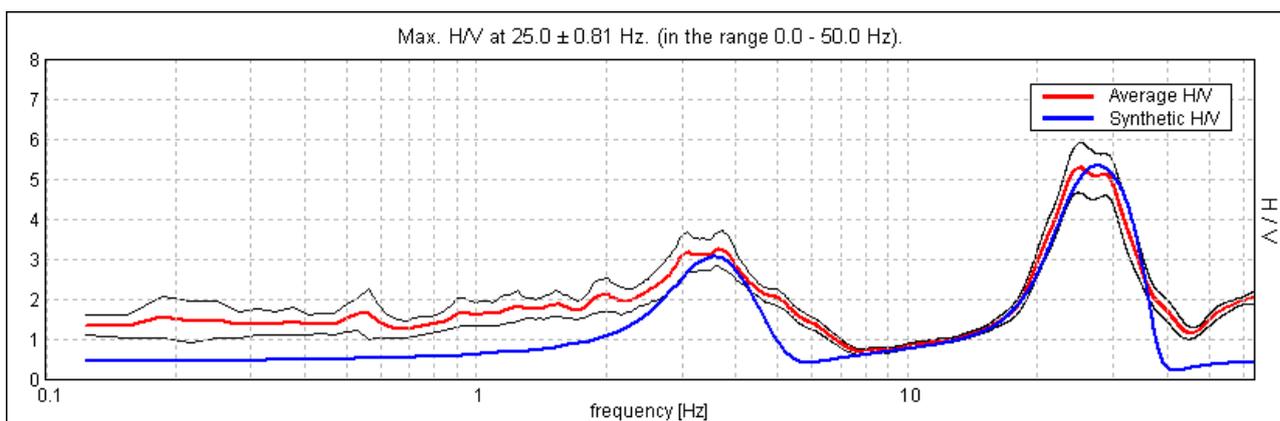


Figura 3

I picchi evidenziati corrispondono ad orizzonti stratigrafici dotati di una particolare frequenza di risonanza (espressa in Hertz) e caratterizzati da differenze di impedenza sismica, direttamente correlabili alla velocità di propagazione delle onde sismiche, tanto più evidenti quanto maggiore è il

contrasto di impedenza/velocità.

La procedura dunque comprende:

- Identificazione diretta di uno strato superficiale (posto solitamente entro i primi metri dal p.c.);
- Identificazione del picco ad esso riferito sulla curva sperimentale;
- Costruzione del *best fit* della curva teorica su quella sperimentale, usando i vincoli dei punti precedenti (Figura 4);

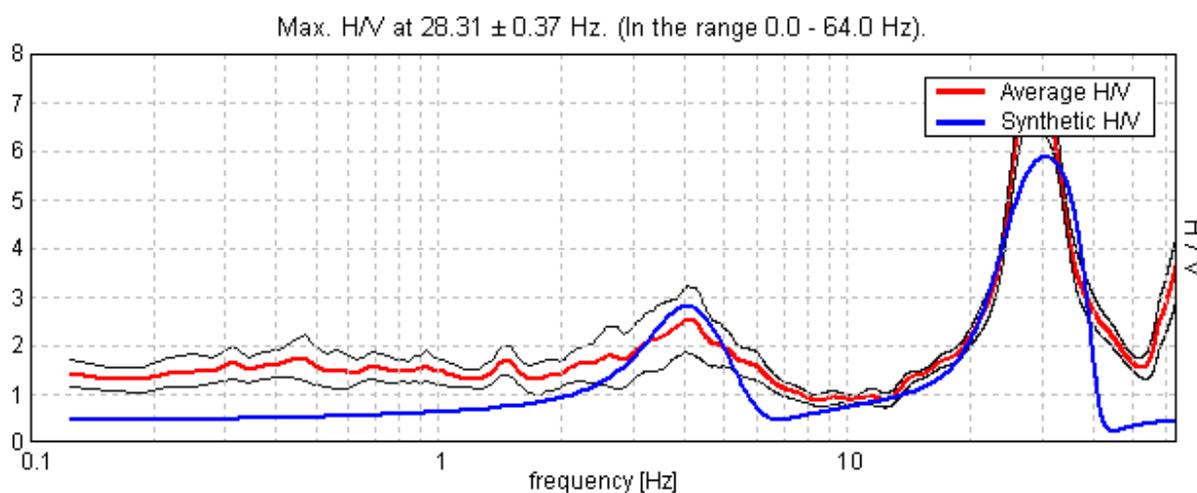


Figura 4

Costruzione di una sequenza sismica monodimensionale fondata sulle Vs, i cui orizzonti stratigrafici corrispondono ai picchi della sovrapposizione curva sperimentale vs. curva teorica, come nella figura che segue (Figura 5), anch'essa riferita ad un caso generico.

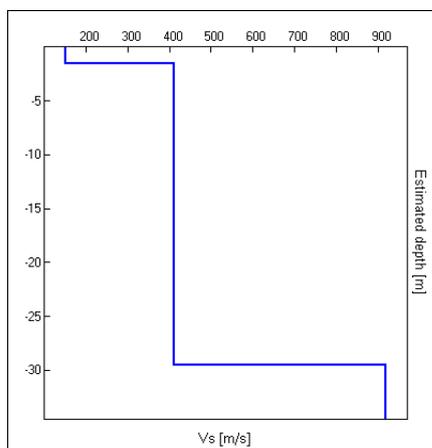


Figura 5

L'acquisizione dei dati di campagna viene effettuata mediante tromografo digitale *Tromino* della

Micromed spa, mentre l'elaborazione dei dati si serve del software Grilla fornito dalla stessa ditta.

Nei grafici in allegato sono inoltre rappresentati:

- Diagramma rappresentativo della stabilità del rapporto H/V, durante la registrazione, indice della pulizia della traccia acquisita (Figura 6);

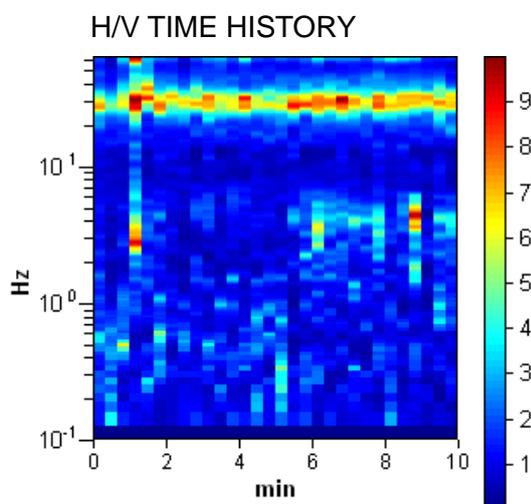


Figura 6

- Diagramma delle singole componenti spettrali, misurate dal tromografo (Figura 7).

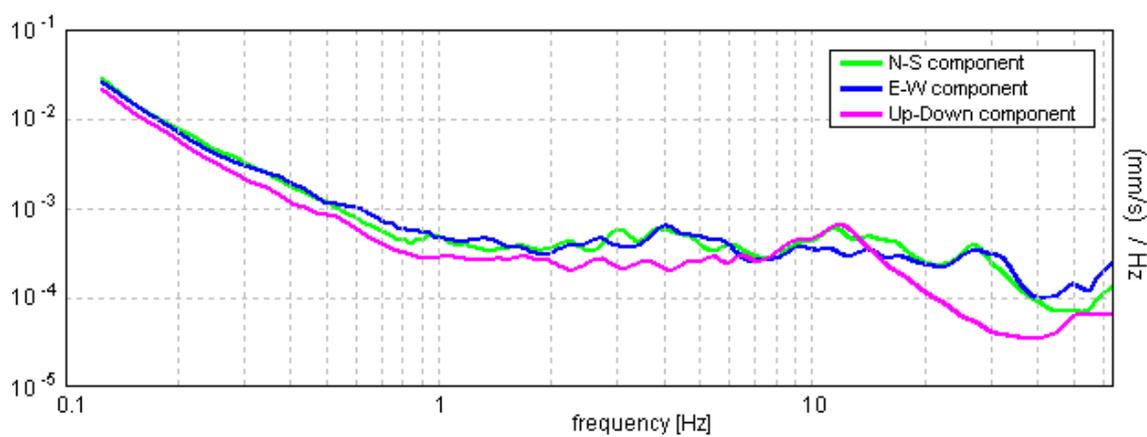


Figura 7

### 3.2.2 *Analisi sismica tramite Masw*

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , sulla base della misura delle onde superficiali, eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiale è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiando con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e di velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. And Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente parallelamente all'array) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-10Hz e 70-100Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30-50 metri, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori ai  $20^\circ$ , sia della topografia sia delle diverse discontinuità elastiche.

La metodologia utilizzata consiste in tre fasi:

1. calcolo della curva di dispersione sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento, energizzando alternativamente ai due estremi dello stendimento;
2. calcolo della curva di dispersione apparente numerica mediante il metodo Roma (2001);
3. calcolo della curva di dispersione effettiva numerica mediante il metodo Lai-Rix (1998);

l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_{sv}$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_{sv}$  e di compressione  $V_p$  (o in alternativa il coefficiente di Poisson  $\nu$ ), la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato; l'affidabilità del profilo di velocità  $V_s$  trovato durante il processo di inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativo tra le due curve.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software "Grilla" fornito dalla Società Micromed S.p.A.

Pertanto, sulla base dei dati pervenuti e dall'acquisizione dei dati stratigrafici tratti dalle indagini geognostiche (prove penetrometriche dinamiche), effettuate nell'area stessa e in lotti limitrofi si è tarata l'elaborazione dell'indagine effettuata, ottenendo i seguenti valori delle velocità di VS30:

**HVSR n.1 = 346 m/s**

**HVSR n.2 = 335 m/s**

**MASW n.1 rotatoria 1 = 291,24 m/s**

**MASW n.2 rotatoria 1 = 274,96 m/s**

**MASW n.3 rotatoria 2 = 251,94 m/s**

**MASW n.4 rotatoria 2 = 241,21 m/s**

Inoltre, è stato possibile determinare le frequenze fondamentali del sito a circa 1.63 Hz (HVSR1), e 5.44 Hz (HVSR2).

#### 4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA AI SENSI DEL D.M.17.01.20182

Il comune di **Rocca di Papa** è stato classificato come località non sismica sulla base delle proposte del Gruppo di Lavoro del Servizio Sismico Nazionale (Ord. P.C.M. n.2788 del 12.06.1998). E' stato poi classificato in **Zona 2** ai sensi dell'Ord. P.C.M. n°3274 del 20.03.2003 e successivamente confermato, in ottemperanza alla Delib. Giunta Reg. Lazio n°766 del 01.08.2003 che aggiorna in senso restrittivo l'Ord. P.C.M. n°3274, in **Zona 2**, equiparata alla precedente Seconda Categoria Sismica. Con la DGR Lazio n°387 del 22.05.2009 (Bur Lazio 24/2009; S.O. 106) attualmente vigente, che rivede globalmente i criteri di valutazione della pericolosità sismica del territorio regionale, il Comune di **Rocca di Papa** è stato inserito nella **sottozona 2B**.

Ai sensi del D.M. 17.01.2018 (“Norme Tecniche per le Costruzioni”, Tab. 3.2.II), per la progettazione di manufatti soggetti ad azioni sismiche, il terreno in esame può essere riferito alla **Categoria di Suolo di Fondazione C – [Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s]**.

In ottemperanza all'art.89 della D.P.R. 380/2011, alla D.G.R. 2649/1999, alla D.G.R. 545/2010, alla D.G.R. 490/2011, alla D.G.R. 535/2012 e alla successiva D.G.R. 155/20 del 7 Aprile 2020 della Regione Lazio, vista la Determina Regionale n° A02680 del 05/04/2013 con cui è stato validato per l'Unità Amministrativa Sismica del Comune di Rocca di Papa (sottozona sismica 2b ) lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 (di seguito MS1), l'area di studio ricade in zona “esentata per presenza aree SIC/ZPS”, e visto che nell'area in variante avente una superficie >5.000 mq non sono previste opere edificatorie, non è stato condotto alcuno studio di Microzonazione Sismica dell'area in oggetto.

## 5 DESCRIZIONE DELLA CARTOGRAFICA ALLEGATA

L'insieme della cartografia prodotta è stata redatta utilizzando come base cartografica l'elemento sezione – 388023-388064 della Carta Tecnica Regionale scala 1:5.000 (C.T.R.N.) edita dalla Regione Lazio.

Tutte le elaborazioni cartografiche sono state eseguite in ambiente GIS ed in per la Carta delle Indagini è stata utilizzata la simbologia di rappresentazione degli standard di rappresentazione e di archiviazione informatica (Versione 4.2) della Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica del DPC.

### 5.1 *Carta geologica-geomorfologica (TAV.01)*

Da un punto di vista geologico-geomorfologico l'area in esame è caratterizzata da due differenti tipologie di terreni di sedime:

Rotatoria 1: situata in una zona leggermente più ribassata, è caratterizzata dalla presenza di depositi piroclastici pedogenizzati di origine eluvio colluviale (Olocene) che occultano depositi piroclastici a granulometria limoso sabbiosa, appartenenti alla Formazione di Campi di Annibale (Pleistocene Superiore).

Rotatoria 2: posizionata leggermente più a monte è caratterizzata al di sotto di uno spessore metrico di coltre superficiale e materiali rimaneggiati da depositi piroclastici limoso argillosi, che occultano i terreni costituiti da scorie e lapilli, appartenenti alla Formazione di Rocca di Papa (Pleistocene Medio).

Sulla quasi totalità dell'area in esame geomorfologicamente questi materiali determinano delle pendenze topografiche basse ed improntate alla stabilità.

Le osservazioni e le indagini compiute hanno evidenziato le discrete condizioni geomorfologiche del sito; non si ravvisano, infatti, tracce di fenomeni franosi o in genere, di processi morfogenetici in atto e le acque di corrivazione non hanno prodotto dissesti o altre forme di erosione diffusa. A corredo di questa tavola vi sono

due sezioni geologiche tracciate una per ogni area di intervento. Tali sezioni sono correlate ai risultati ottenuti dalle prove penetrometriche dinamiche e da prove pregresse effettuate dallo scrivente mediante sondaggi a carotaggio continuo.

## 5.2 *Carta delle indagini (TAV.02)*

In questo elaborato sono riportate tutte le indagini, precedentemente elencate, che hanno consentito di caratterizzare la stratigrafia ed il comportamento sismico del sottosuolo effettuate nell'area oggetto del presente studio e riportate in allegato.

I simboli utilizzati per tutte le indagini sopra elencate sono estrapolati dagli standard di Microzonazione Sismica versione 4.2.

## 5.3 *Carta idrogeologica (TAV.03)*

Questa tavola mette in evidenza i complessi idrogeologici preponderanti nel territorio di intervento. L'area in esame, relativa alla "Rotatoria 1", ricade all'interno del complesso idrogeologico dei depositi alluvionali ed eluvio colluviali, costituiti da limi argillosi a bassa permeabilità. Tuttavia vista l'eterogeneità dei terreni che costituiscono il Complesso la permeabilità dello stesso risulta anch'essa puntualmente molto variabile, infatti l'area coperta da questi terreni risulta segnata da impluvi a carattere prettamente stagionale che talvolta scompaiono in corrispondenza dei livelli più permeabili. La morfologia sub-pianeggiante, dell'area d'intervento, unitamente alla granulometria delle litologie presenti potrebbe causare fenomeni di impaludimento in caso di eventi meteorologici intensi.

In corrispondenza della "Rotatoria 2" si riscontrano i terreni appartenenti al Complesso Idrogeologico delle Vulcaniti dei Colli Albani, caratterizzate in questo settore da scorie e lapilli a luoghi cementati con una permeabilità medio alta, con un grado di potenzialità acquifera medio alta. Gli spessori sono variabili da poche decine di metri a qualche centinaio di metri e possono ospitare modeste falde locali ad

elevata produttività, ma di estensione limitata.

Nella tavola vengono inoltre rappresentate le linee di flusso superficiale e profonde. Le prime immergono in direzione degli impluvi locali generalmente con direzione SW-NE. Mentre, le linee di flusso profonde hanno immersione SE in direzione dei corsi d'acqua che drenano le pendici meridionali dei Colli Albani in direzione della piana pontina e del Mar Tirreno.

#### **5.4 Carta delle pendenze (TAV.04)**

Dal rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio effettuato dallo scrivente si evidenzia che le aree di studio, sono caratterizzate per la totalità del loro sviluppo da due classi di pendenza, ovvero quella sub-pianeggiante e debolmente acclive con pendenze massime di 10°. Nelle aree circostanti tuttavia si segnalano puntualmente zone con pendenze anche leggermente superiori che tuttavia non superano mai i 15°, se non in corrispondenza di scarpate naturali, posizionate comunque a relativa distanza dai luoghi d'intervento.

#### **5.5 Carta delle vulnerabilità (TAV. 05)**

Dall'esame della cartografia ufficiale (PAI, Database IFFI, Cartografia del Vincolo idrogeologico, "Carta dei Sinkhole nella Regione Lazio") non sono emerse criticità nelle aree di studio. Nella cartografia a scala 1:5.000 si evidenzia comunque la presenza di una scarpata posta a circa 70 m in direzione W dalla Rotatoria 2 avente un salto morfologico inferiore ai 5m.

## 5.6 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

Il Comune di Rocca di Papa come già menzionato ricade in sottozona sismica 2b. Dallo studio di Microzonazione Sismica di livello 1, approvato con Determina Regionale n° A02680 del 05/04/2013, è stato riscontrato che le aree d'intervento ricadono in "zone esentate" in quanto ricadenti all'interno del territorio di zone SIC/ZPS. Visto che la superficie totale delle aree interessate dalla variante risulta di circa 1.013 mq e che gli interventi in progetto non prevedono opere edificatorie nelle aree di studio, non è stato condotto alcuno studio di Microzonazione Sismica dell'area in oggetto.

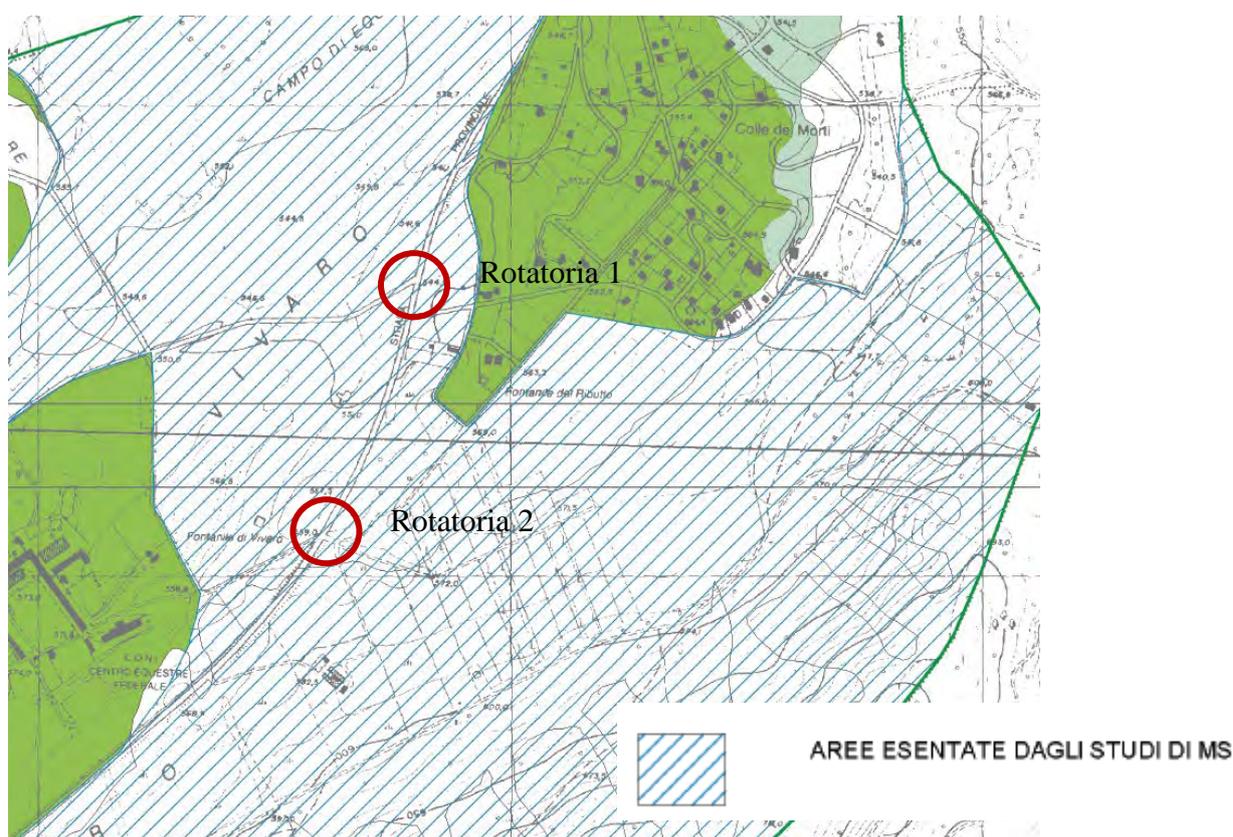


Fig. 8 – Stralcio Carta delle MOPS scala 1:10.000 redatta a cura del Dott. Geol. Massimiliano Carelli



**G.EDI.S. S.r.l.**

Sede Amministrativa: Via Roma, 28 - 02034 Montopoli di Sabina (RI)

Sede Legale: Via Frattina, 10 - 00187 Roma

Tel. 0765/441102 e-mail: info@gedis-srl.com



## **5.7 Carta delle idoneità territoriali (TAV. 06)**

La carta delle idoneità rappresenta la sintesi di tutti i dati geologici, geomorfologici, idrogeologici e geofisici generali e particolari, emersi nel corso dello studio e nasce dall'opportuna sovrapposizione dei tematismi evidenziati nelle tavole precedenti.

Dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico, con riferimento alla cartografia allegata, in seguito alle indagini svolte ed in relazione alle pendenze caratterizzanti le aree oggetto di Variante Urbanistica, si evidenzia generale stabilità delle aree, pertanto l'intera superficie risulta "Idonea" alla trasformazione urbanistica prevista. Si consiglia di eseguire un adeguato sistema di drenaggio delle acque meteoriche per evitare fenomeni di impaludimento.

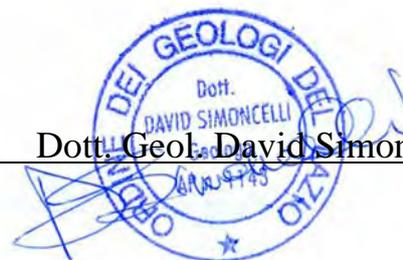
## 6 CONCLUSIONI

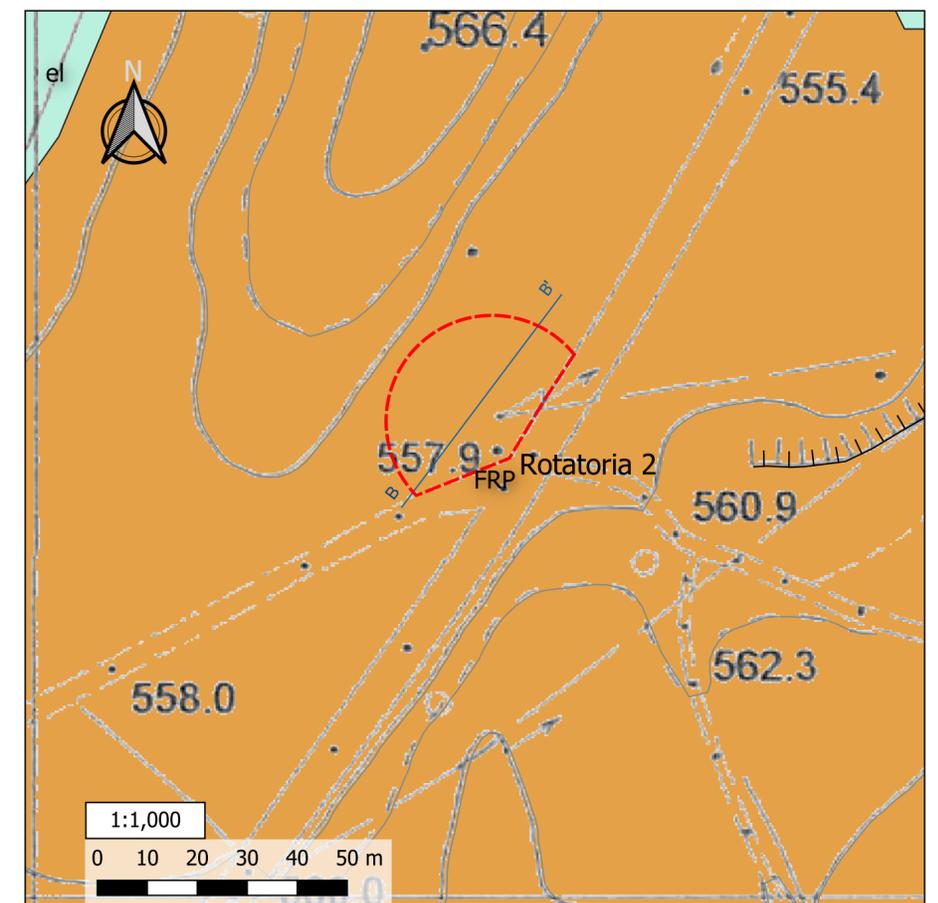
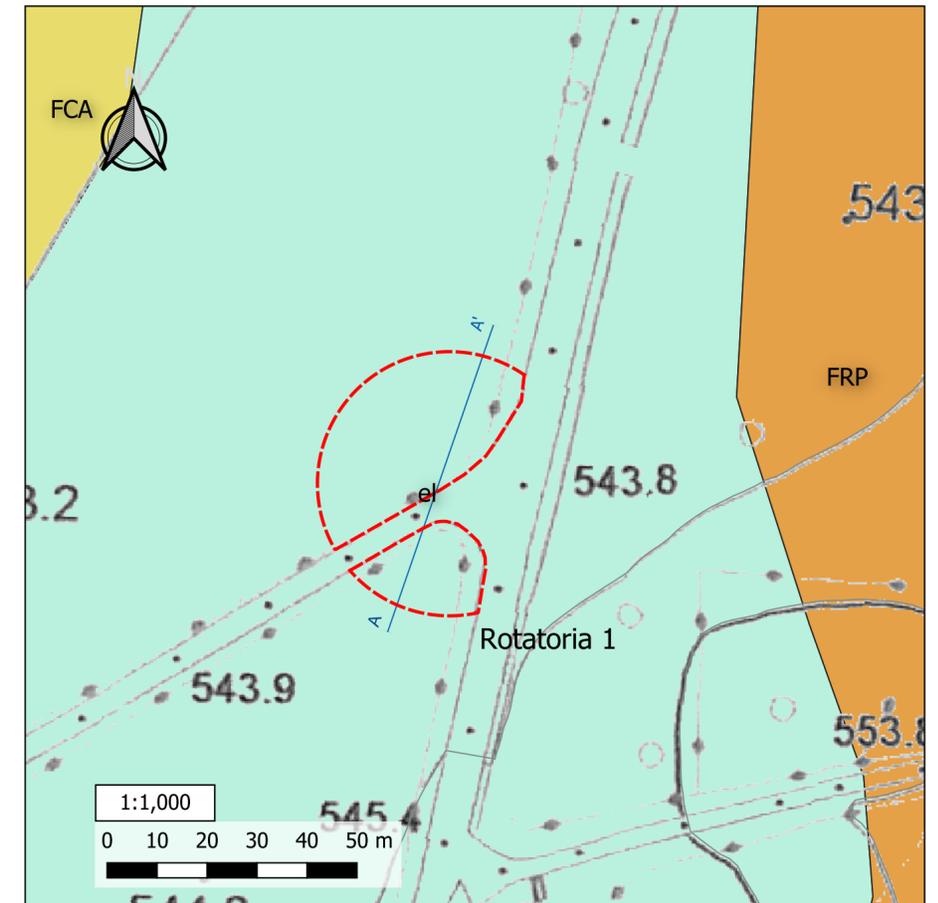
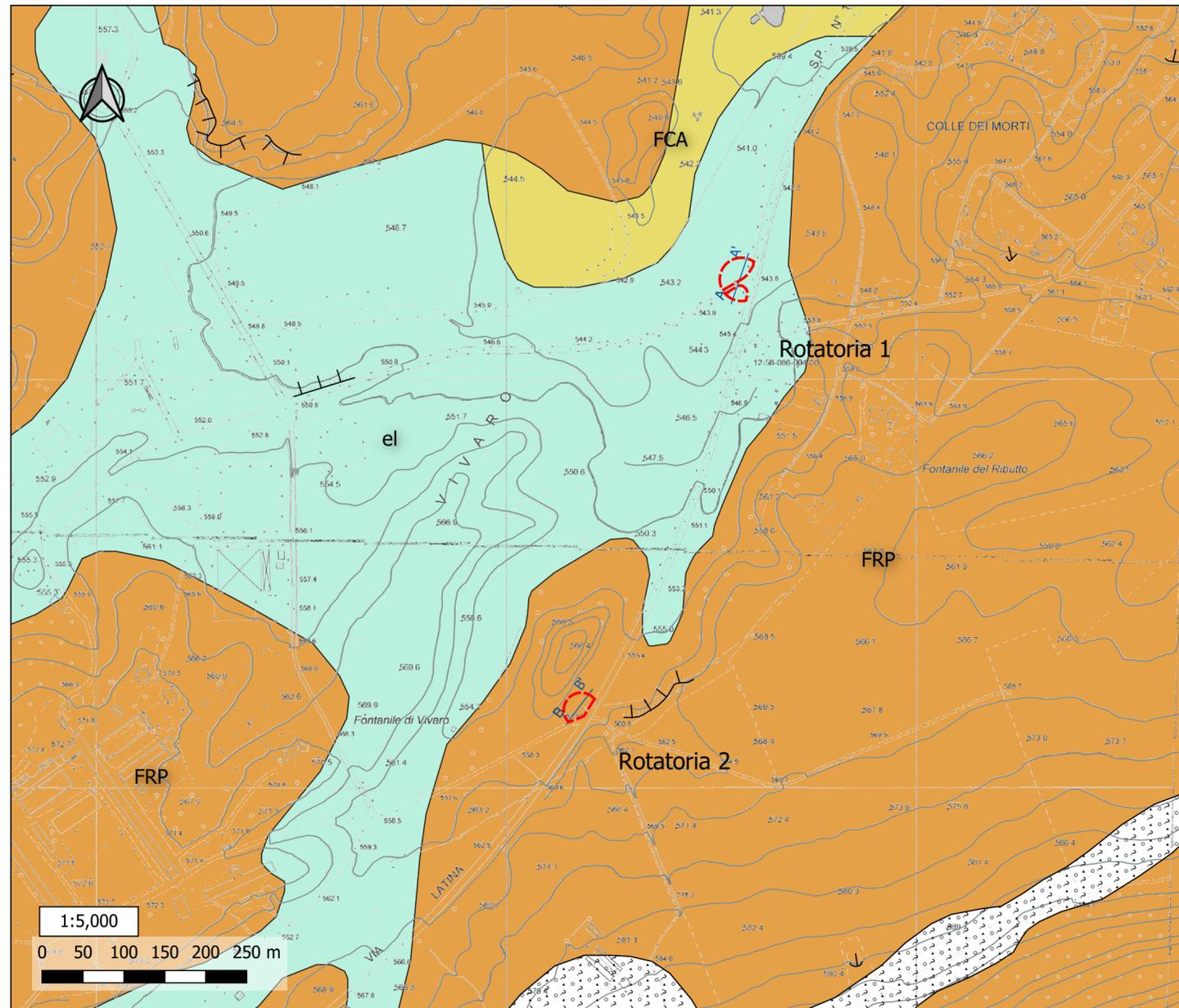
L'area interessata dagli interventi ricade in zona già nota.

Considerando le caratteristiche geomorfologiche, litologiche, geotecniche e idrogeologiche dei terreni riscontrati le aree di studio sono caratterizzate da un'unica zona che risulta idonea alla realizzazione delle due rotatorie previste dal progetto di Variante Urbanistica. Viste le litologie rilevate in fase di studio nelle aree in cui sono previste le due nuove rotatorie, e viste le pendenze massime di circa 5°-10°, che possono creare fenomeni di impaludimento in caso di eventi meteorici intensi, si consiglia al fine di mitigare gli stessi adeguato di realizzare un adeguato sistema di drenaggio delle acque meteoriche.

Montopoli di Sabina, Marzo 2022

Dott. Geol. David Simoncelli





Litologie

-  Conoidi e detriti di pendio anche cementati (Olocene) - de
-  Coperture colluviali ed eluviali a granulometria limo argillosa (Olocene) - el
-  Formazione Campi di Annibale: depositi piroclastici cineritici con lapilli accrezionati intercalati a paleosuoli (Pleistocene Sup.) - FCA
-  Formazione di Rocca di Papa, litofacies scoriacea: bancate di lapilli scoriacei, da saldati a sciolti, con intercalati livelli cineritici (Pleistocene Medio) - FRP

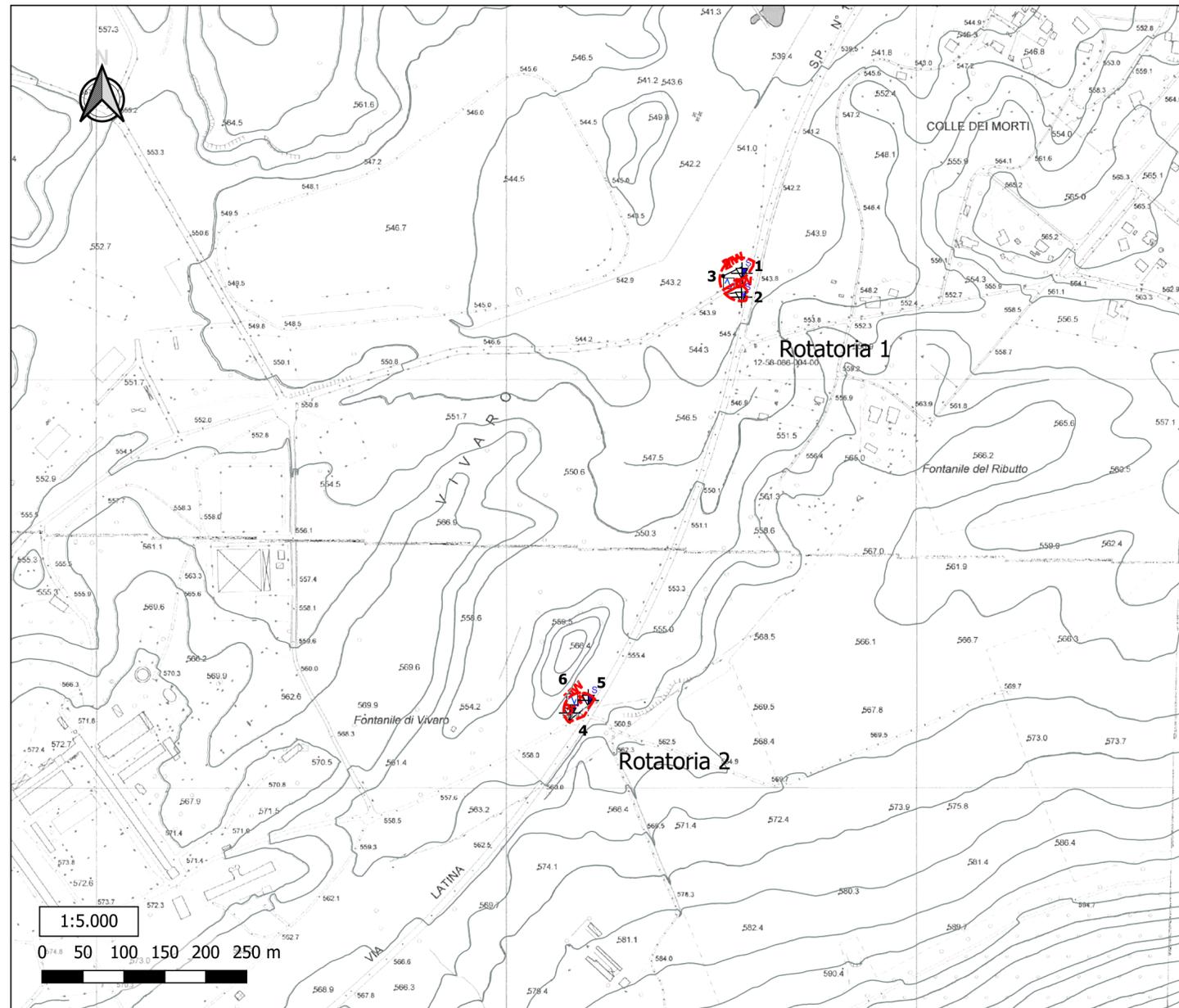
Forme di superficie

-  Scarpate
-  Falda detritica

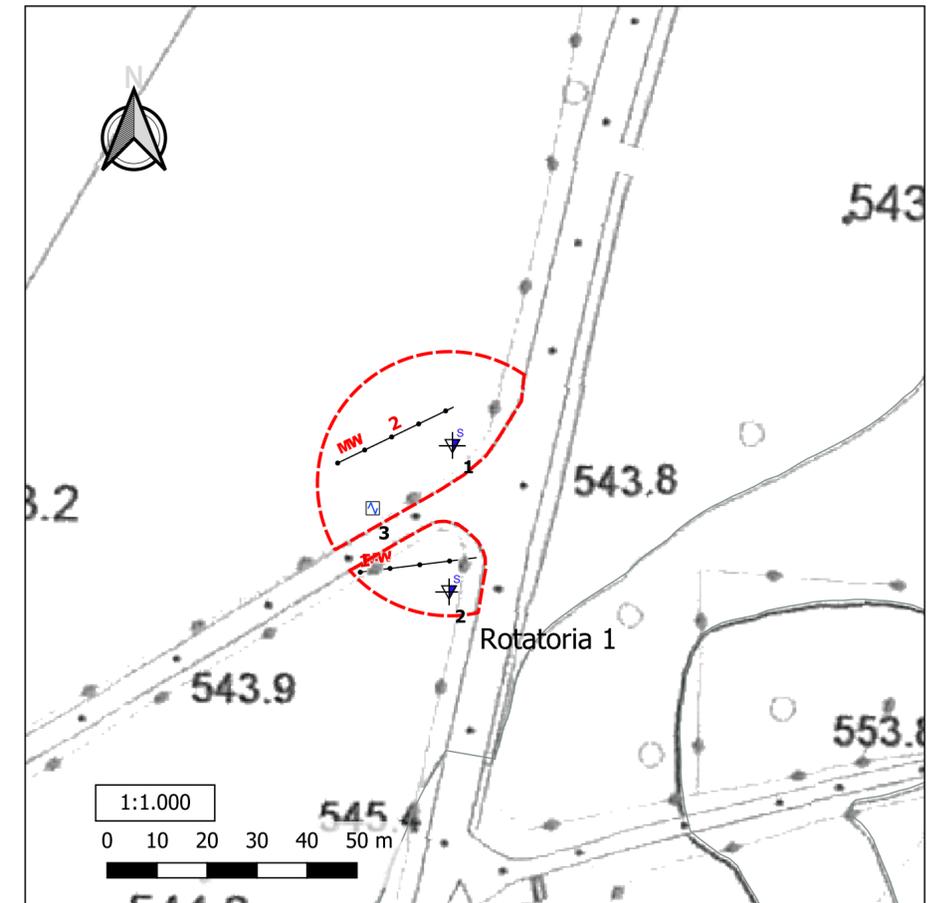
Elementi lineari

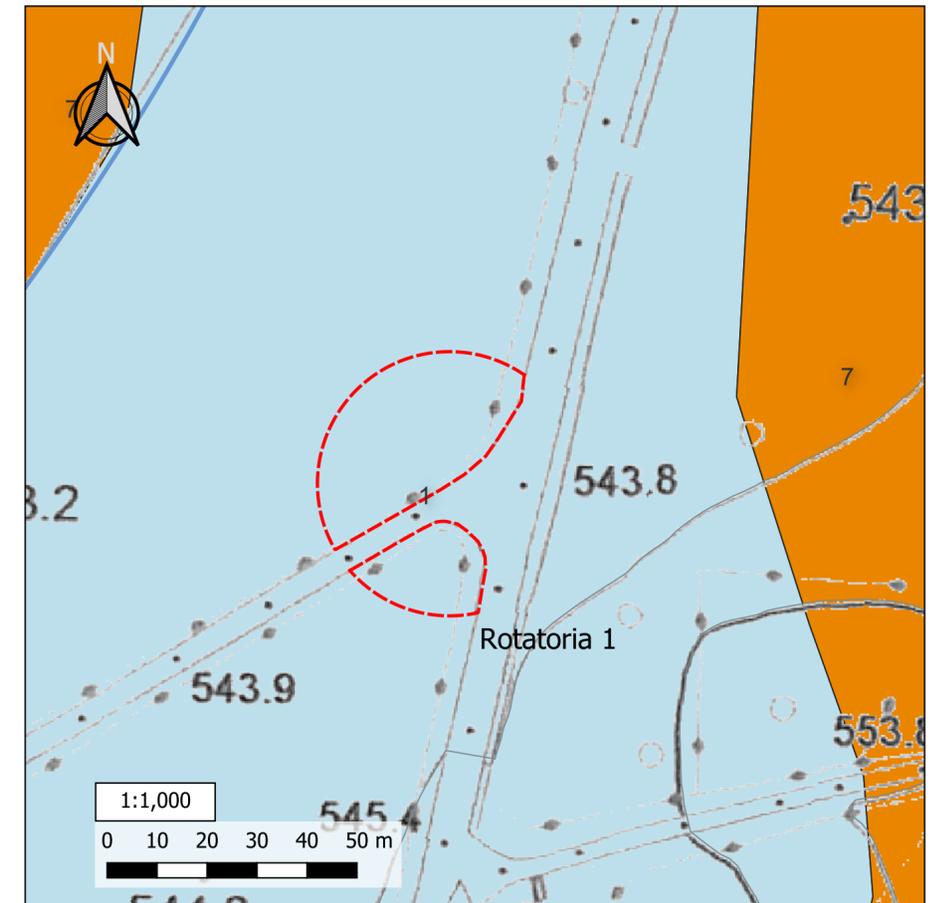
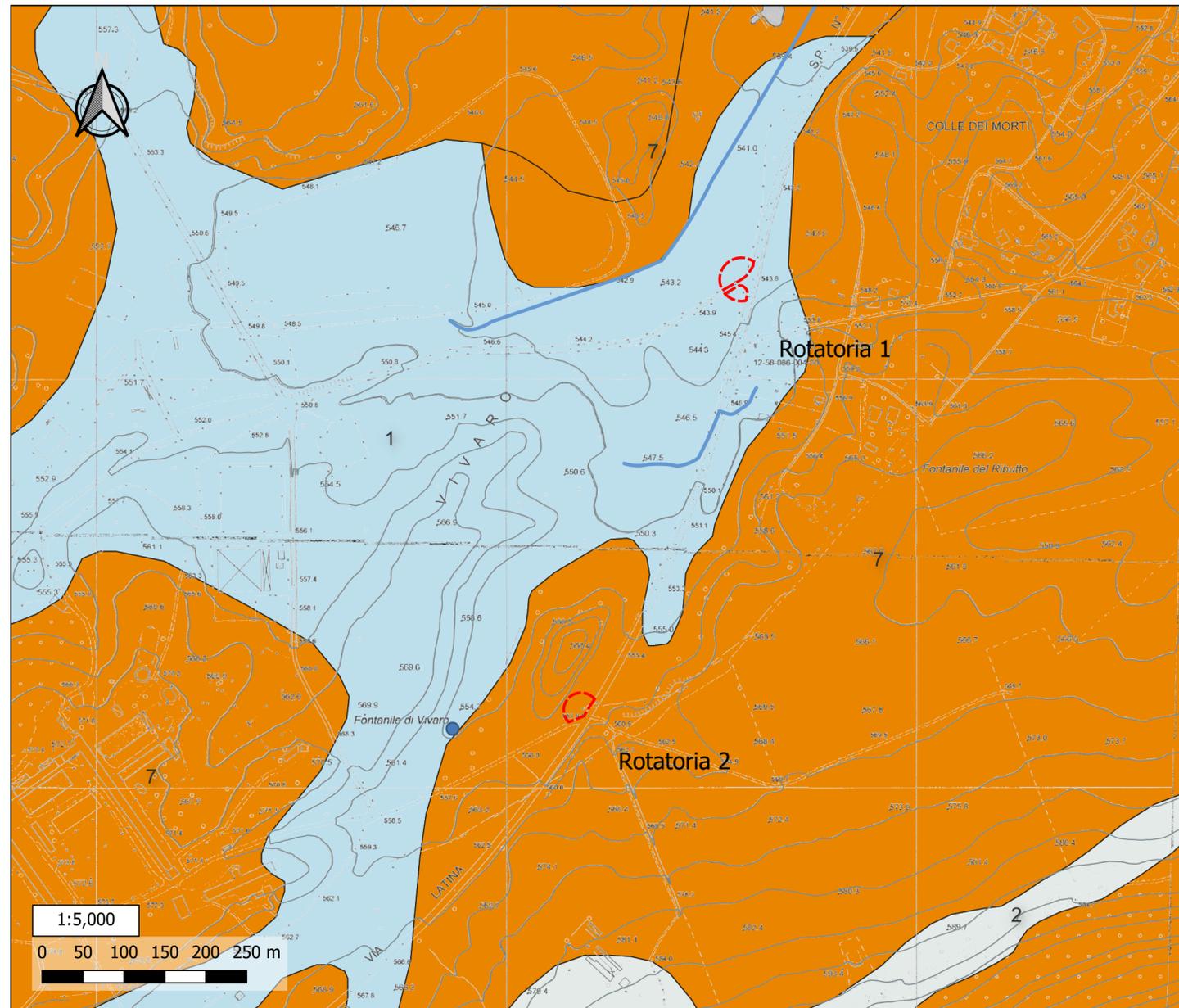
-  Traccia sezione geologica
-  Aree in variante

# Carta delle Indagini TAV. 02



- Indagini geologiche
- Prova penetrometrica di tipo superpesante DPSH
  - Misura di microtremori HVSr
  - MASW
  - Aree in variante





Complessi idrogeologici

■ Complesso dei depositi alluvionali e coperture eluvio colliviali - 1

■ Complesso dei depositi detritici - 2

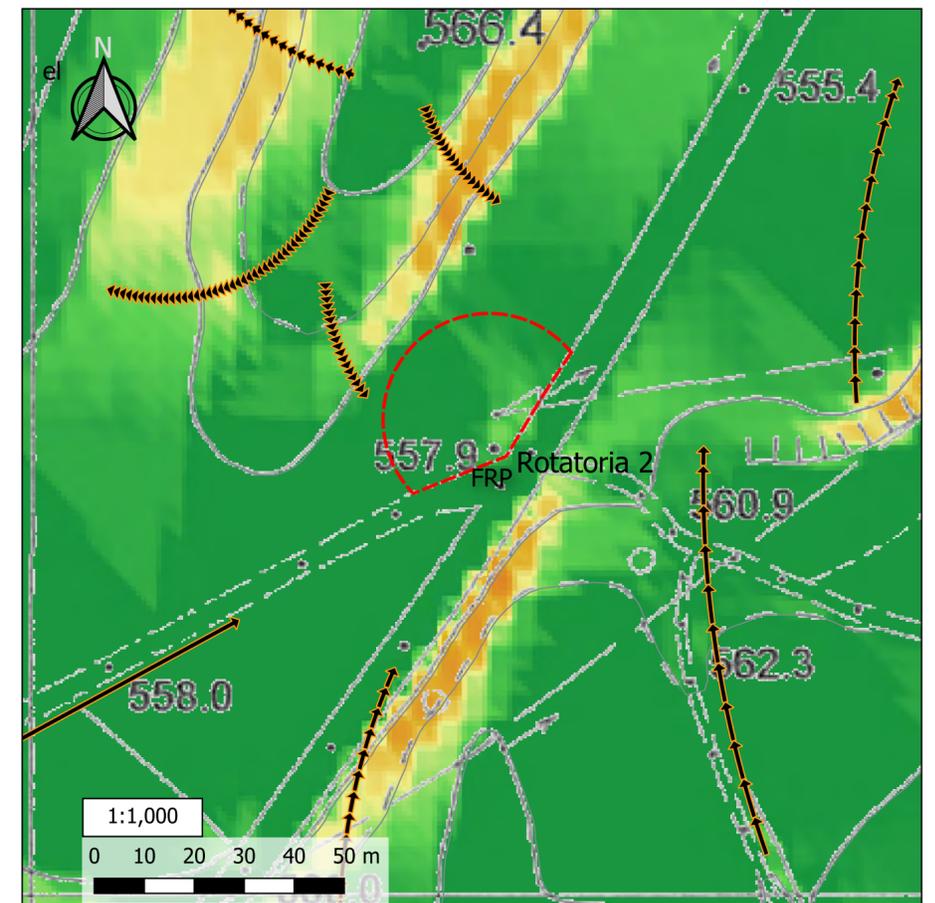
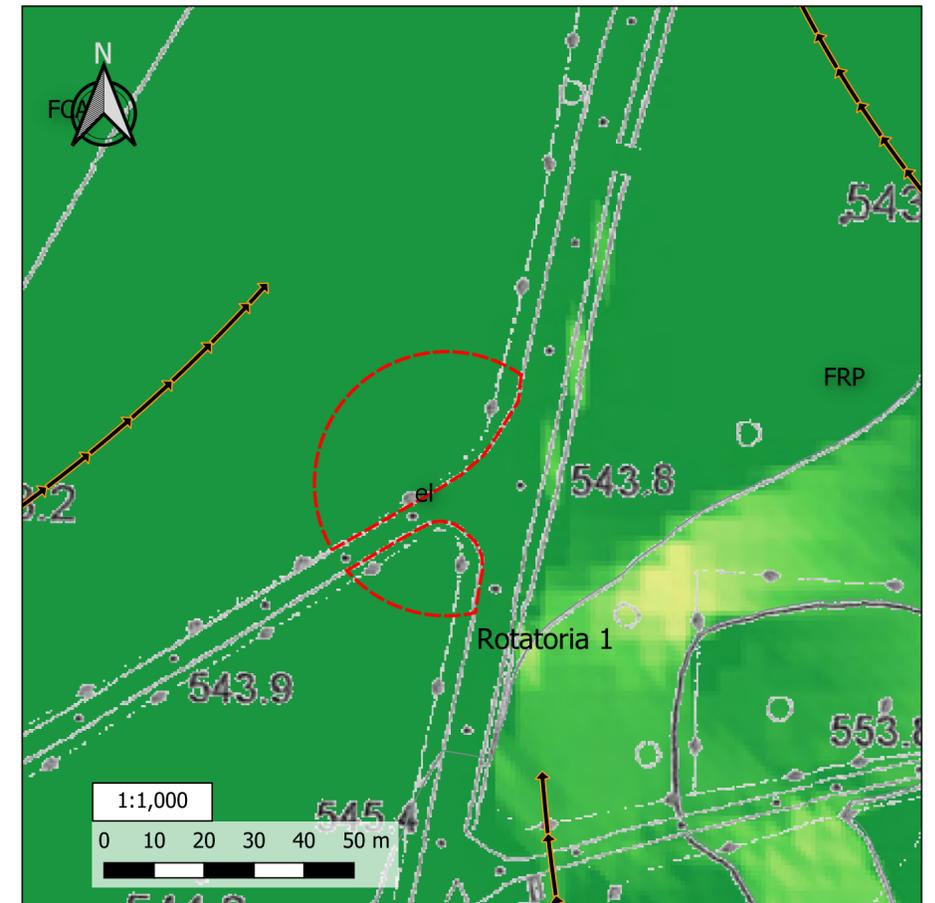
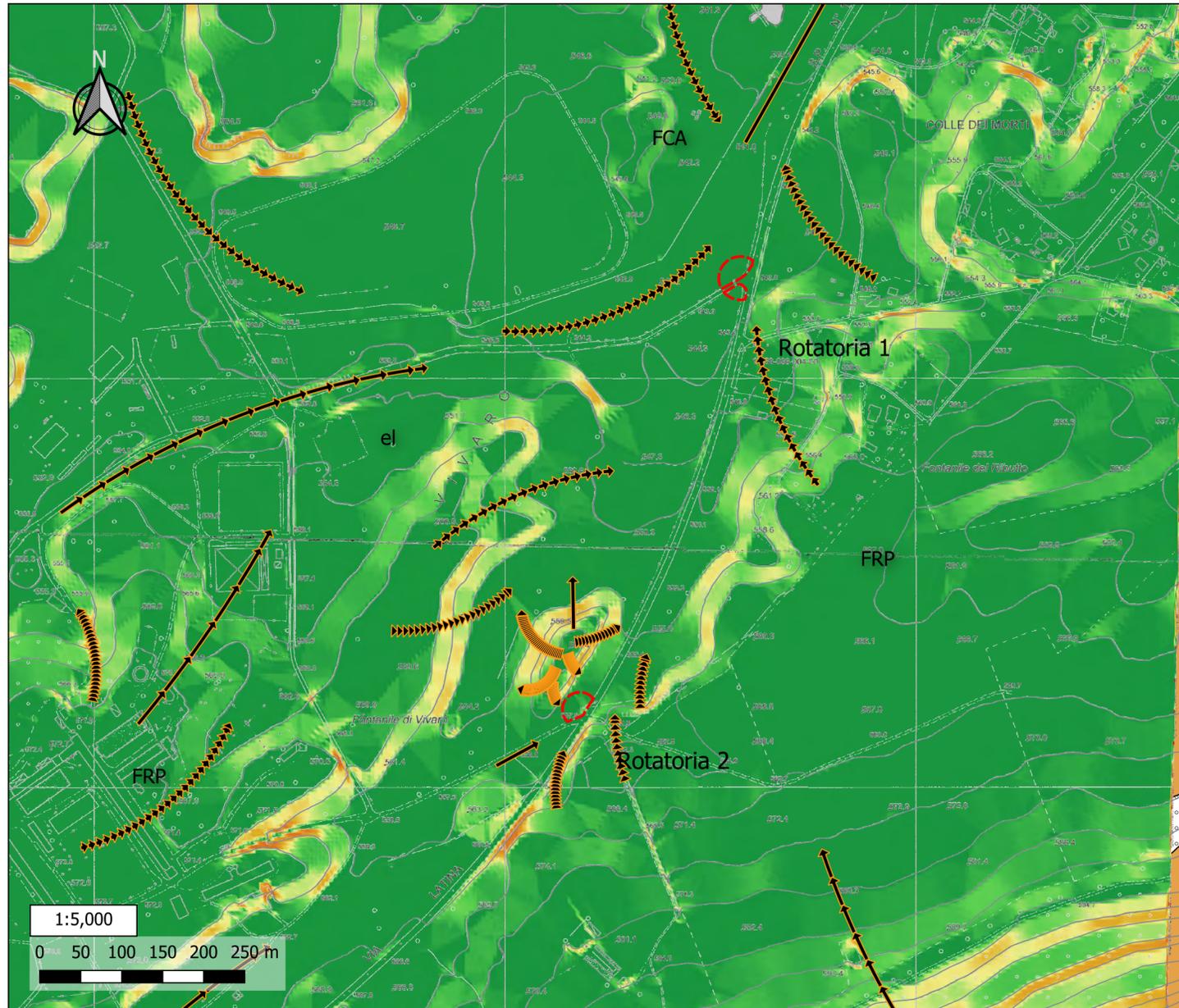
■ Complesso delle vulcaniti dei Colli Albani - 7

● Fontanili

→ Linee di deflusso profondo

→ Linee di deflusso superficiale

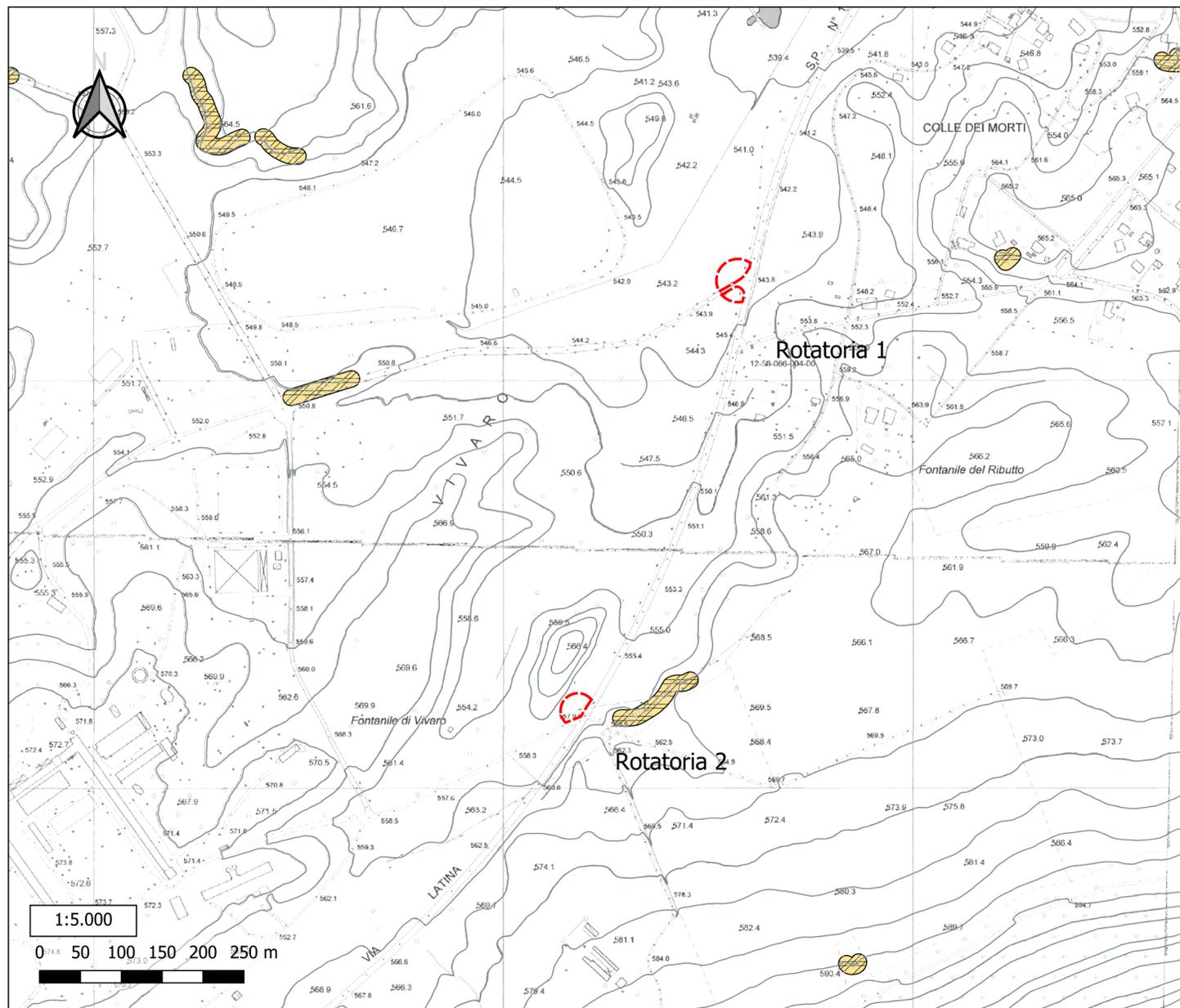
□ Aree in variante



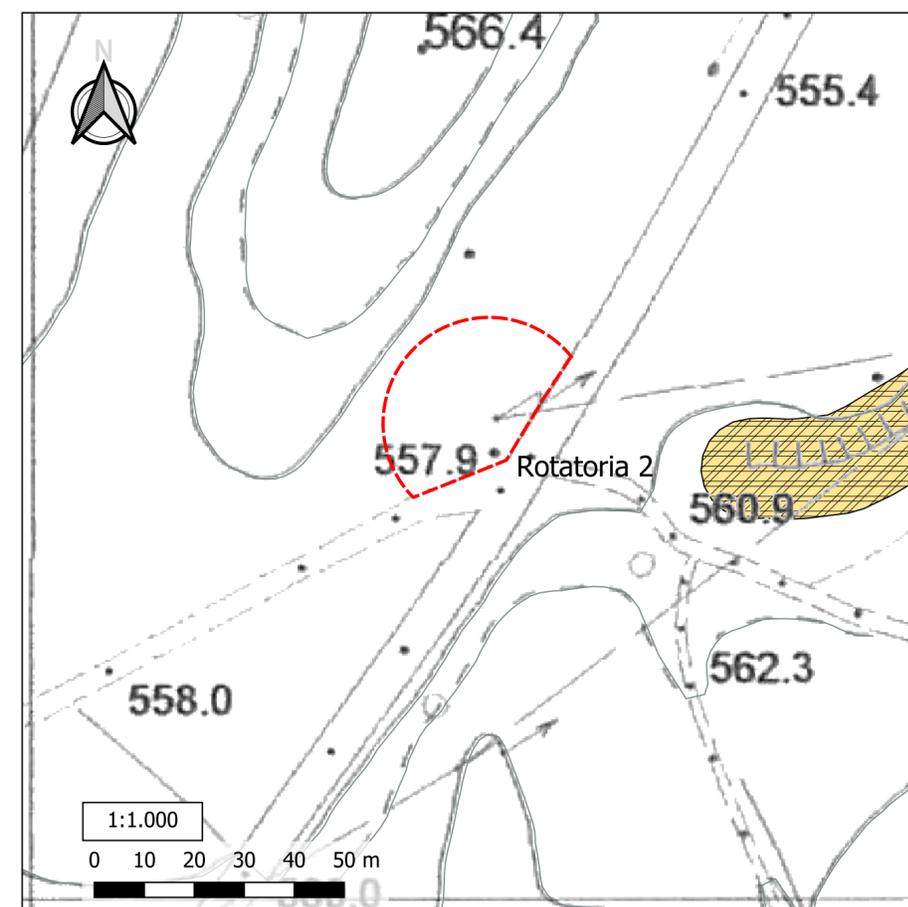
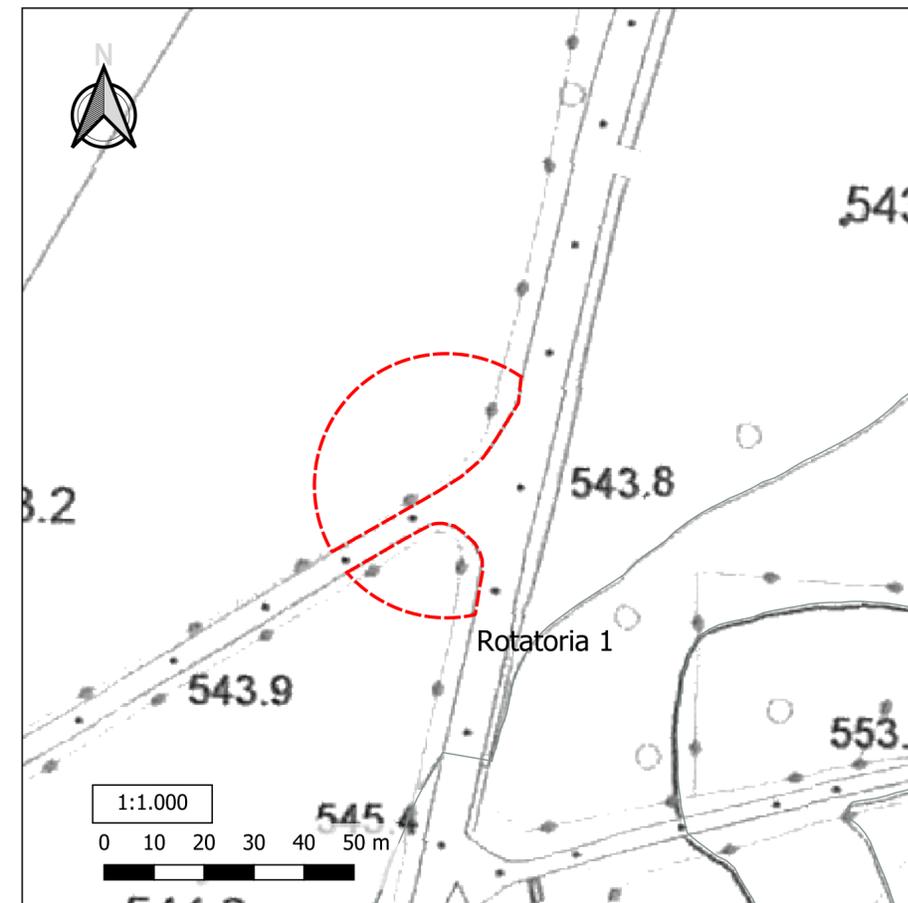
Classi di pendenza

- Aree subpianeggianti, pendenze <math>< 5^\circ</math>
- Aree debolmente acclivi, pendenze tra  $5^\circ$  e  $10^\circ$
- Aree moderatamente acclivi, pendenze tra  $10^\circ$  e  $15^\circ$
- Aree mediamente acclivi, pendenze tra  $15^\circ$  e  $20^\circ$
- Aree acclivi, pendenze tra  $20^\circ$  e  $30^\circ$
- Aree fortemente acclivi, pendenze  $> 30^\circ$
- Direzioni di massima pendenza
- Aree in variante

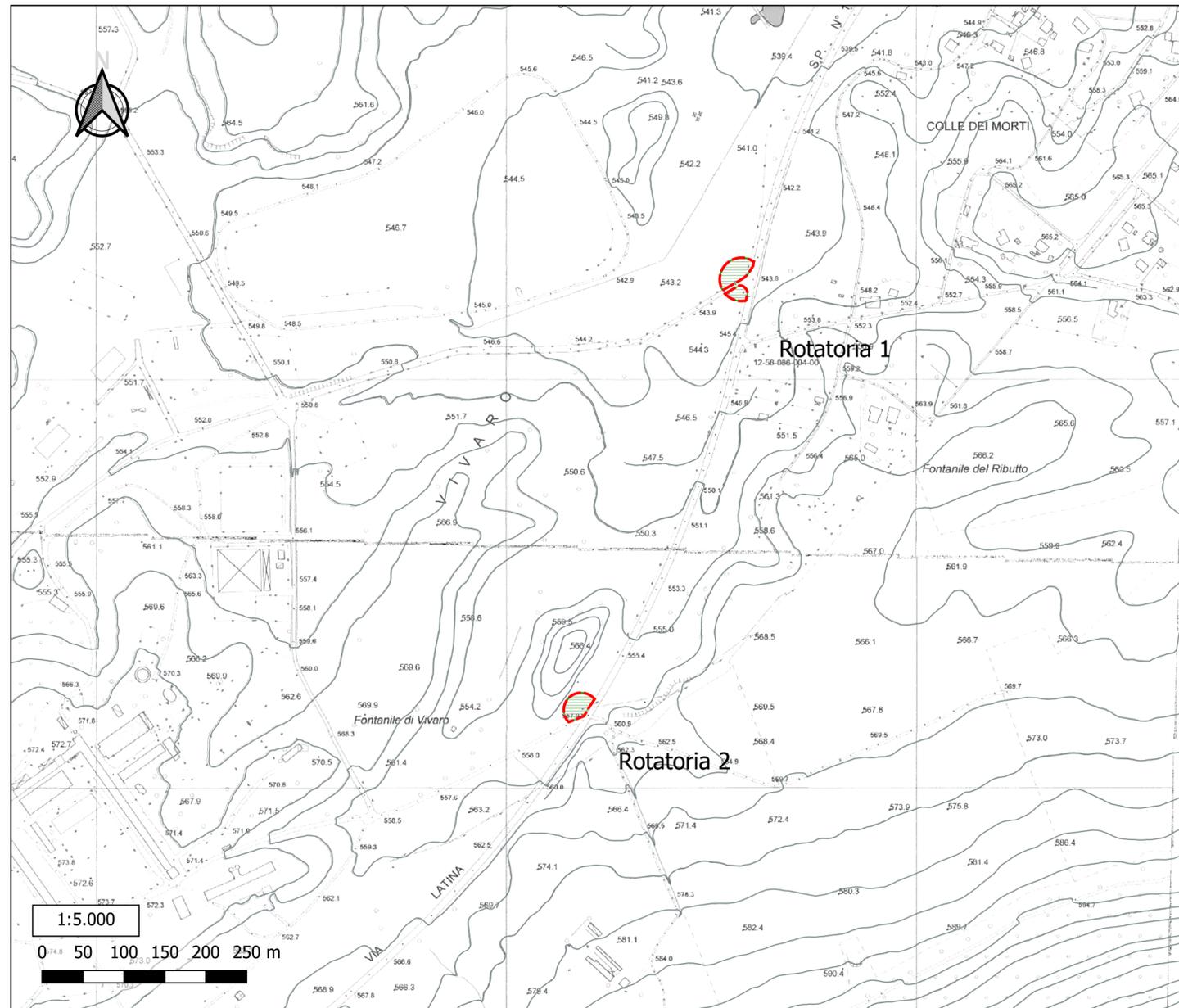
# Carta delle Vulnerabilità TAV. 05



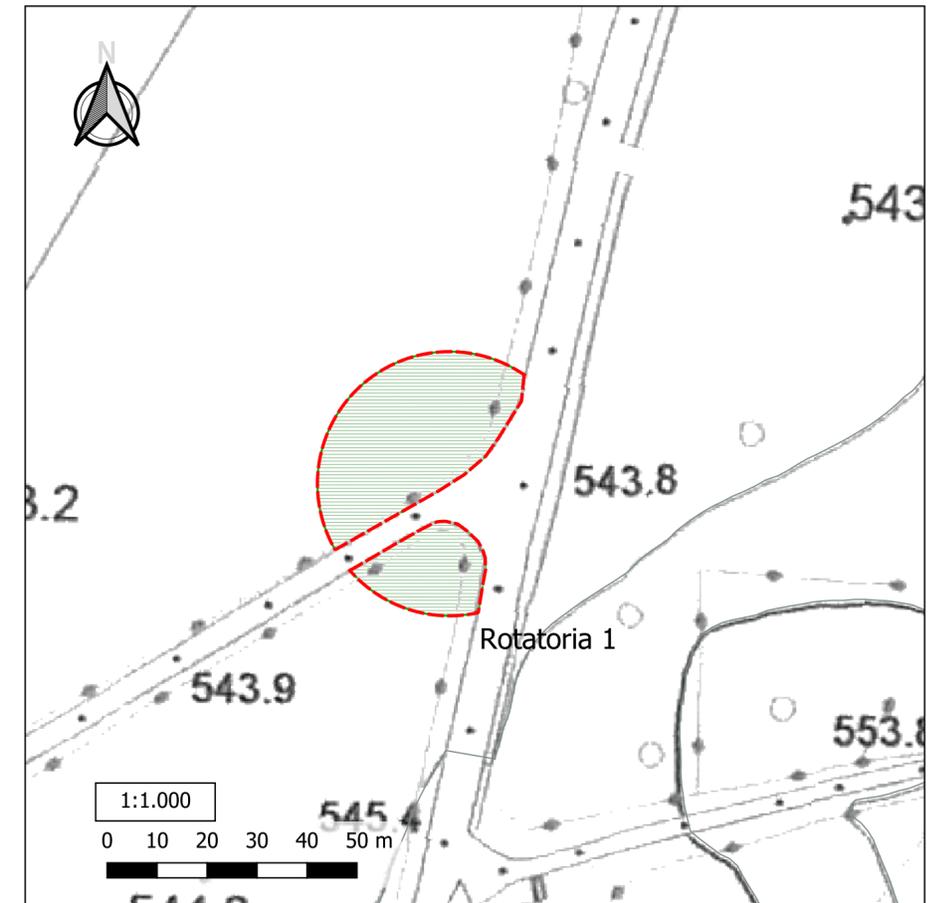
- Aree vulnerabili per possibili fenomeni gravitativi
- Aree in variante



# Carta delle Idoneità TAV. 05



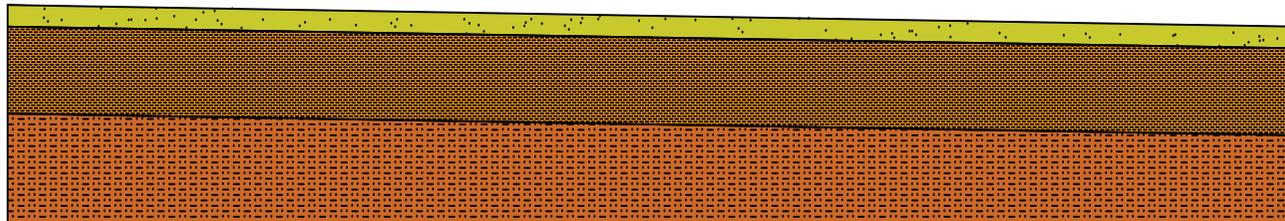
-  Aree idonee
-  Aree in variante



SEZIONI GEOLOGICHE Scala 1:1.000

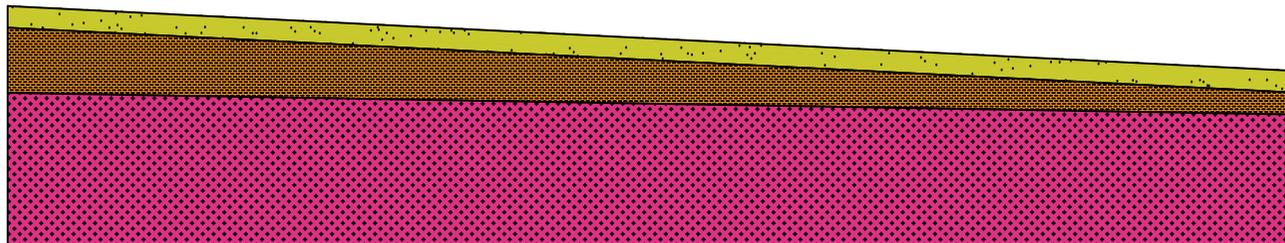
A

A'



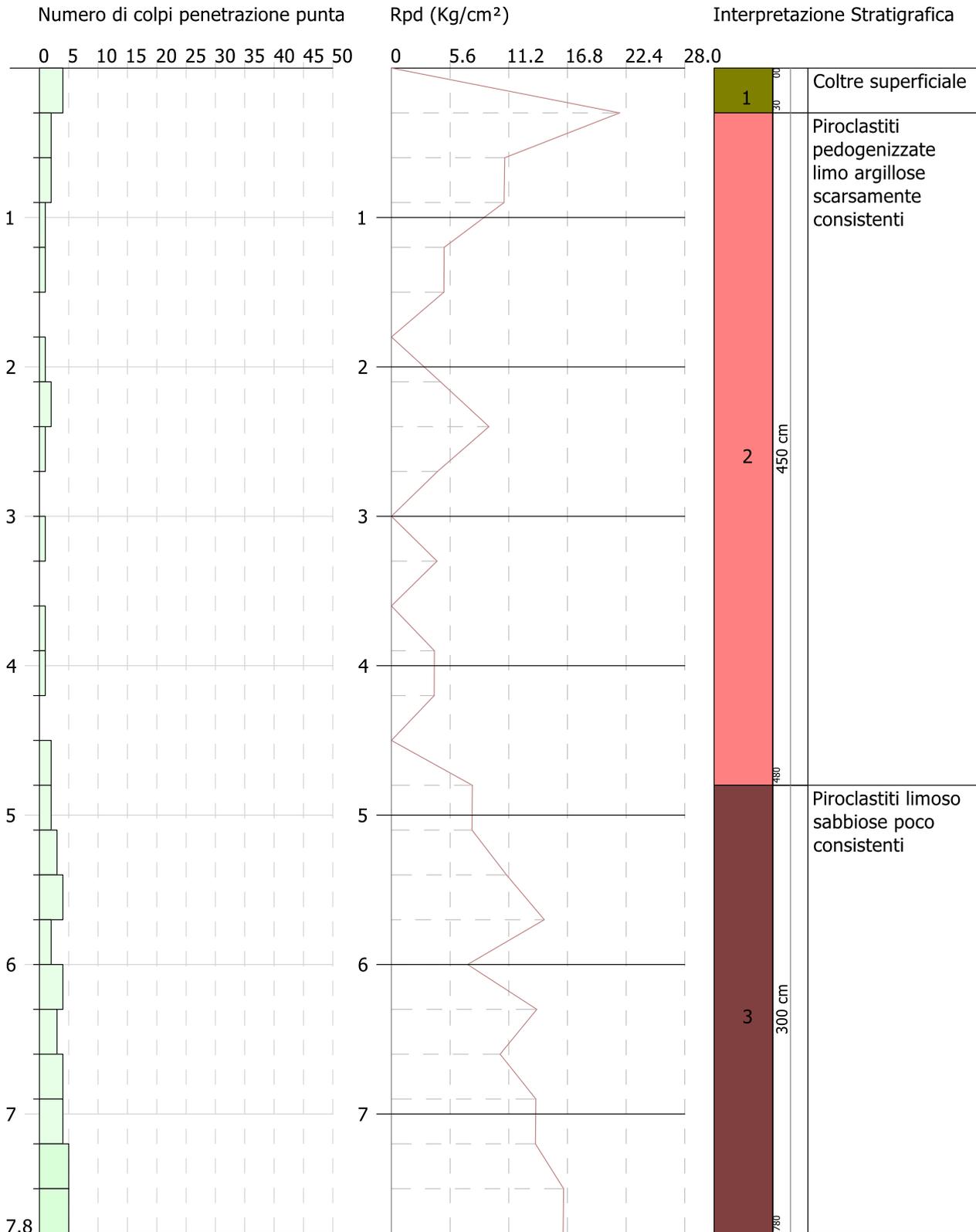
B

B'



-  *Coltre superficiale*
-  *Depositi piroclastici pedogenizzati limo argillosi scarsamente consistenti*
-  *Depositi piroclastici limoso sabbiosi poco consistenti*
-  *Depositi piroclastici limoso sabbiosi mediamente consistenti*





## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Amministrazione Comunale Descrizione: Strada Provinciale SP18/C Rotatoria 1 Localita': Rocca di Papa	
--	--

### Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH GEDIS

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	73 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	25 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	0.9 m
Peso aste a metro	6.3 Kg/m
Profondita' giunzione prima asta	0.90 m
Avanzamento punta	0.30 m
Numero colpi per punta	N(30)
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

**PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE**  
**(DYNAMIC PROBING)**  
**DPSH – DPM (... scpt ecc.)**

**Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici**

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura  $\alpha$ );
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$  ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

<b>Tipo</b>	<b>Sigla di riferimento</b>	<b>peso della massa M (kg)</b>	<b>prof. max indagine battente (m)</b>
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25

Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

### penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
 massa battente  $M = 30$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha=60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A=10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
 massa battente  $M = 20$  kg, altezza di caduta  $H=0.20$  m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha = 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A=10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)  
 massa battente  $M = 73$  kg, altezza di caduta  $H=0.75$  m, avanzamento  $\delta=30$  cm, punta conica ( $\alpha = 60^\circ$ ), diametro  $D = 50.8$  mm, area base cono  $A=20.27$  cm<sup>2</sup> rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)  
 massa battente  $M=63.5$  kg, altezza caduta  $H=0.75$  m, avanzamento  $\delta=20-30$  cm, punta conica conica ( $\alpha = 60^\circ-90^\circ$ ) diametro  $D = 50.5$  mm, area base cono  $A = 20$  cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

### Correlazione con $N_{spt}$

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{spt}$  ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con  $N_{spt}$ . Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui  $Q$  è l'energia specifica per colpo e  $Q_{spt}$  è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
$\delta$	passo di avanzamento.

### Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo ( $\delta/N$ ).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

### Calcolo di (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub>

(N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
C <sub>s</sub>	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
C <sub>d</sub>	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
C <sub>r</sub>	parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

### Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

## **Valutazioni statistiche e correlazioni**

### **Elaborazione Statistica**

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

#### ***Media***

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Media minima***

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Massimo***

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Minimo***

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Scarto quadratico medio***

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Media deviata***

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Media (+ s)***

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Media (- s)***

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Distribuzione normale R.C.***

Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove  $\sigma_{N_{spt}}$  è la deviazione standard di  $N_{spt}$

#### ***Distribuzione normale R.N.C.***

Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di  $N_{spt}$  distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove  $n$  è il numero di letture.

#### **Pressione ammissibile**

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione  $d = 1$  m.

#### **Correlazioni geotecniche terreni incoerenti**

##### ***Liquefazione***

Permette di calcolare utilizzando dati  $N_{spt}$  il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se  $N_{spt}$  dello strato considerato risulta inferiore a  $N_{spt}$  critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

##### ***Correzione $N_{spt}$ in presenza di falda***

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

$N_{spt}$  è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

### **Angolo di Attrito**

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda)  $\sigma > 5$  t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38° ).
- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da  $D_r$  %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONAL RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

### **Densità relativa (%)**

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie  $D_r$  viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).

- 
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

### ***Modulo Di Young ( $E_y$ )***

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

### ***Modulo Edometrico***

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

### ***Stato di consistenza***

- Classificazione A.G.I. 1977

### ***Peso di Volume***

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

### ***Peso di volume saturo***

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

### ***Modulo di poisson***

- Classificazione A.G.I.

### ***Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)***

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio  $\tau$  e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

**Velocità onde di taglio  $V_s$  (m/s)**

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

**Modulo di deformazione di taglio ( $G$ )**

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

**Modulo di reazione ( $K_0$ )**

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

**Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )**

- Robertson (1983) -  $Q_c$

**Correlazioni geotecniche terreni coesivi****Coesione non drenata**

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con  $N_{spt} < 8$ , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948).  $C_u$  (min-max).
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività  $> 5$ , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche  $< 10$  colpi, per resistenze penetrometriche  $> 10$  l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, ( $C_u$ - $N_{spt}$ -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975),  $C_u$  (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con  $N_c = 20$  e  $Q_c/N_{spt} = 2$ .
- Schmertmann (1975),  $C_u$  (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago). Coesione non drenata  $C_u$  (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.

- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

#### ***Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )***

- Robertson (1983) -  $Q_c$

#### ***Modulo Edometrico-Confinato ( $M_o$ )***

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - $M_o$  (Eed) (Kg/cm<sup>2</sup>)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).
- Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte ( $N_{spt} < 30$ ) medie e molli ( $N_{spt} < 4$ ) e argille sabbiose ( $N_{spt} = 6-12$ ).

#### ***Modulo Di Young ( $E_Y$ )***

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15.
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

#### ***Stato di consistenza***

- Classificazione A.G.I. 1977.

#### ***Peso di Volume***

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

#### ***Peso di volume saturo***

- Meyerhof ed altri.

#### **PROVA ... Nr.1**

Strumento utilizzato... DPSH GEDIS  
 Prova eseguita in data 09-03-2022  
 Profondita' prova 7.80 mt  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.30	5	0.853	27.23	31.93	2.72	3.19
0.60	1	0.847	5.41	6.39	0.54	0.64
0.90	2	0.842	10.75	12.77	1.07	1.28
1.20	1	0.836	5.04	6.02	0.50	0.60
1.50	1	0.831	5.01	6.02	0.50	0.60
1.80	1	0.826	4.98	6.02	0.50	0.60
2.10	0	0.822	0.00	0.00	0.00	0.00
2.40	2	0.817	9.31	11.40	0.93	1.14
2.70	1	0.813	4.39	5.41	0.44	0.54
3.00	0	0.809	0.00	0.00	0.00	0.00
3.30	0	0.805	0.00	0.00	0.00	0.00
3.60	1	0.801	4.33	5.41	0.43	0.54
3.90	1	0.797	4.10	5.14	0.41	0.51
4.20	0	0.794	0.00	0.00	0.00	0.00
4.50	2	0.790	8.13	10.29	0.81	1.03
4.80	4	0.787	15.44	19.62	1.54	1.96
5.10	4	0.784	15.38	19.62	1.54	1.96
5.40	2	0.781	7.32	9.38	0.73	0.94
5.70	2	0.778	7.30	9.38	0.73	0.94
6.00	2	0.775	7.27	9.38	0.73	0.94
6.30	3	0.773	10.41	13.47	1.04	1.35
6.60	4	0.770	13.83	17.95	1.38	1.80
6.90	4	0.768	13.79	17.95	1.38	1.80
7.20	4	0.766	13.75	17.95	1.37	1.80
7.50	4	0.763	13.15	17.22	1.31	1.72
7.80	5	0.761	16.39	21.53	1.64	2.15

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tension e efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.3	5	31.93	Incoeren	0	1.57	1.89	0.02	1.16	5.8	Coltre

			te							superficiale
4.8	1.13	6.3	Incoerente	0	1.37	1.86	0.36	1.16	1.31	Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti
7.8	3.4	15.38	Incoerente	0	1.49	1.88	0.89	1.16	3.94	Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti

## TERRENI INCOERENTI

## Densita' relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Coltre superficiale	5.8	0.30	29.42	59.46	100	22.93
[2] - Piroclastiti pedogenizzate e limo argillose scarsamente consistenti	1.31	4.80	0	23.4	25.54	10.31
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	3.94	7.80	10.03	33.09	34.02	17.95

## Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato	Nspt corret	Peck-Hans	Meyerhof	Sowers	Malcev	Meyerhof	Schmertma	Mitchell &	Shioi-Fuku	Japanese	De Mello	Owaski &
--	------	--------------	-------------	-----------	----------	--------	--------	----------	-----------	------------	------------	----------	----------	----------

	(m)		to per prese nza falda	on-Th ornbu rn-M eyerh of 1956	(1956 )	(1961 )	(1964 )	(1965 )	nn (1977 ) Sabbie	Katti (1981 )	ni 1982 (ROA D BRID GE SPEC IFIC ATIO N)	Natio nal Railw ay	Iwasa ki	
[1] - Coltr e super ficial e	5.8	0.30	5.8	28.66	21.66	29.62	35.99	32	0	<30	24.33	28.74	25.58	25.77
[2] - Pirocl astiti pedog enizz ate limo argill ose scarsa mente consi stenti	1.31	4.80	1.31	27.37	20.37	28.37	27.68	30.07	0	<30	19.43	27.39	18.67	20.12
[3] - Pirocl astiti limos o sabbie ose poco consi stenti	3.94	7.80	3.94	28.13	21.13	29.1	27.48	31.22	0	<30	22.69	28.18	20.83	23.88

Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertm ann (1978) (Sabbie)	Schultze- Menzenba ch (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollo nia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media

[1] - Coltre superficiale	5.8	0.30	5.8	---	46.40	---	---	---
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.31	4.80	1.31	---	10.48	---	---	---
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	3.94	7.80	3.94	---	31.52	---	---	---

Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Coltre superficiale	5.8	0.30	5.8	---	39.38	41.18	63.87
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.31	4.80	1.31	---	30.16	9.30	43.84
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	3.94	7.80	3.94	---	35.56	27.97	55.57

## Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Coltre	5.8	0.30	5.8	Classificazione	POCO

superficiale				A.G.I	ADDENSATO
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.31	4.80	1.31	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	3.94	7.80	3.94	Classificazione A.G.I	SCIOLTO

## Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Coltre superficiale	5.8	0.30	5.8	Terzaghi-Peck 1948	1.42
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.31	4.80	1.31	Terzaghi-Peck 1948	1.36
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	3.94	7.80	3.94	Terzaghi-Peck 1948	1.40

## Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Coltre superficiale	5.8	0.30	5.8	Terzaghi-Peck 1948	1.89
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.31	4.80	1.31	Terzaghi-Peck 1948	1.85
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	3.94	7.80	3.94	Terzaghi-Peck 1948	1.87

## Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Coltre superficiale	5.8	0.30	5.8	(A.G.I.)	0.34

[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.31	4.80	1.31	(A.G.I.)	0.35
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	3.94	7.80	3.94	(A.G.I.)	0.35

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Coltre superficiale	5.8	0.30	5.8	339.26	365.90
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.31	4.80	1.31	83.78	147.42
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	3.94	7.80	3.94	235.87	288.91

## Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Coltre superficiale	5.8	0.30	5.8	Ohta & Goto (1978) Limi	64.3
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.31	4.80	1.31	Ohta & Goto (1978) Limi	85.88
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	3.94	7.80	3.94	Ohta & Goto (1978) Limi	123.71

## Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Coltre	5.8	0.30	5.8	Seed e Idriss	--

superficiale				(1971)	
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.31	4.80	1.31	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	3.94	7.80	3.94	Seed e Idriss (1971)	--

## Coefficiente spinta a Riposo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Coltre superficiale	5.8	0.30	5.8	Navfac 1971-1982	1.17
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.31	4.80	1.31	Navfac 1971-1982	0.10
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	3.94	7.80	3.94	Navfac 1971-1982	0.74

## Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Coltre superficiale	5.8	0.30	5.8	Robertson 1983	11.60
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.31	4.80	1.31	Robertson 1983	2.62
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	3.94	7.80	3.94	Robertson 1983	7.88

**PROVA ... Nr.2**

Strumento utilizzato... DPSH GEDIS  
 Prova eseguita in data 09-03-2022  
 Profondita' prova 7.80 mt  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.30	4	0.853	21.78	25.55	2.18	2.55
0.60	2	0.847	10.82	12.77	1.08	1.28
0.90	2	0.842	10.75	12.77	1.07	1.28
1.20	1	0.836	5.04	6.02	0.50	0.60
1.50	1	0.831	5.01	6.02	0.50	0.60
1.80	0	0.826	0.00	0.00	0.00	0.00
2.10	1	0.822	4.68	5.70	0.47	0.57
2.40	2	0.817	9.31	11.40	0.93	1.14
2.70	1	0.813	4.39	5.41	0.44	0.54
3.00	0	0.809	0.00	0.00	0.00	0.00
3.30	1	0.805	4.35	5.41	0.44	0.54
3.60	0	0.801	0.00	0.00	0.00	0.00
3.90	1	0.797	4.10	5.14	0.41	0.51
4.20	1	0.794	4.08	5.14	0.41	0.51
4.50	0	0.790	0.00	0.00	0.00	0.00
4.80	2	0.787	7.72	9.81	0.77	0.98
5.10	2	0.784	7.69	9.81	0.77	0.98
5.40	3	0.781	10.98	14.06	1.10	1.41
5.70	4	0.778	14.59	18.75	1.46	1.88
6.00	2	0.775	7.27	9.38	0.73	0.94
6.30	4	0.773	13.88	17.95	1.39	1.80
6.60	3	0.770	10.37	13.47	1.04	1.35
6.90	4	0.768	13.79	17.95	1.38	1.80
7.20	4	0.766	13.75	17.95	1.37	1.80
7.50	5	0.763	16.44	21.53	1.64	2.15
7.80	5	0.761	16.39	21.53	1.64	2.15

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.3	4	25.55	Incoerente	0	1.52	1.88	0.02	1.16	4.64	Coltre superficiale
4.8	1	5.71	Incoerente	0	1.36	1.86	0.35	1.16	1.16	Piroclastiti

											pedogen izzate limo argillose scarsam ente consiste nti
7.8	3.6	16.24	Incoeren te	0	1.5	1.88	0.88	1.16	4.17	Piroclas titi limoso sabbiose poco consiste nti	

## TERRENI INCOERENTI

## Densita' relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Coltre superficiale	4.64	0.30	25.12	53.21	95.99	19.87
[2] - Piroclastiti pedogenizzate e limo argillose scarsamente consistenti	1.16	4.80	0	22.06	24.16	9.85
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	4.17	7.80	10.96	34.09	35	18.59

## Angolo di resistenza al taglio

NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corret to per prese nza falda	Peck- Hans on-Th ornbu rn-M eyerh of	Meye rhof (1956 )	Sowe rs (1961 )	Malc ev (1964 )	Meye rhof (1965 )	Schm ertma nn (1977 ) Sabbie	Mitch ell & Katti (1981 )	Shioi- Fuku ni 1982 (ROA D BRID	Japan ese Natio nal Railw ay	De Mello	Owas aki & Iwasa ki

			1956								GE SPEC IFIC ATIO N)			
[1] - Coltr e super ficial e	4.64	0.30	4.64	28.33	21.33	29.3	35.7	31.52	0	<30	23.34	28.39	24.73	24.63
[2] - Pirocl astiti pedog enizz ate limo argill ose scarsa mente consi stenti	1.16	4.80	1.16	27.33	20.33	28.32	27.51	30	0	<30	19.17	27.35	18.23	19.82
[3] - Pirocl astiti limos o sabb iose poco consi stenti	4.17	7.80	4.17	28.19	21.19	29.17	27.58	31.32	0	<30	22.91	28.25	21.06	24.13

Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertm ann (1978) (Sabbie)	Schultze- Menzenba ch (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollo nia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Coltre superficial e	4.64	0.30	4.64	---	37.12	---	---	---
[2] -	1.16	4.80	1.16	---	9.28	---	---	---

Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti								
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	4.17	7.80	4.17	---	33.36	---	---	---

Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sa nglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbac h e Malcev (Sabbia media)
[1] - Coltre superficiale	4.64	0.30	4.64	---	37.00	32.94	58.69
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.16	4.80	1.16	---	29.85	8.24	43.17
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	4.17	7.80	4.17	---	36.03	29.61	56.60

## Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Coltre superficiale	4.64	0.30	4.64	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente	1.16	4.80	1.16	Classificazione A.G.I	SCIOLTO

consistenti					
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	4.17	7.80	4.17	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO

## Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Coltre superficiale	4.64	0.30	4.64	Terzaghi-Peck 1948	1.41
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.16	4.80	1.16	Terzaghi-Peck 1948	1.36
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	4.17	7.80	4.17	Terzaghi-Peck 1948	1.40

## Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Coltre superficiale	4.64	0.30	4.64	Terzaghi-Peck 1948	1.88
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.16	4.80	1.16	Terzaghi-Peck 1948	1.85
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	4.17	7.80	4.17	Terzaghi-Peck 1948	1.87

## Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Coltre superficiale	4.64	0.30	4.64	(A.G.I.)	0.34
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.16	4.80	1.16	(A.G.I.)	0.35

[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	4.17	7.80	4.17	(A.G.I.)	0.35
---	------	------	------	----------	------

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Coltre superficiale	4.64	0.30	4.64	275.07	319.27
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.16	4.80	1.16	74.73	136.87
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	4.17	7.80	4.17	248.79	299.10

## Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Coltre superficiale	4.64	0.30	4.64	Ohta & Goto (1978) Limi	61.86
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.16	4.80	1.16	Ohta & Goto (1978) Limi	84.09
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	4.17	7.80	4.17	Ohta & Goto (1978) Limi	124.93

## Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Coltre superficiale	4.64	0.30	4.64	Seed e Idriss (1971)	--
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente	1.16	4.80	1.16	Seed e Idriss (1971)	--

consistenti					
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	4.17	7.80	4.17	Seed e Idriss (1971)	--

## Coefficiente spinta a Riposo

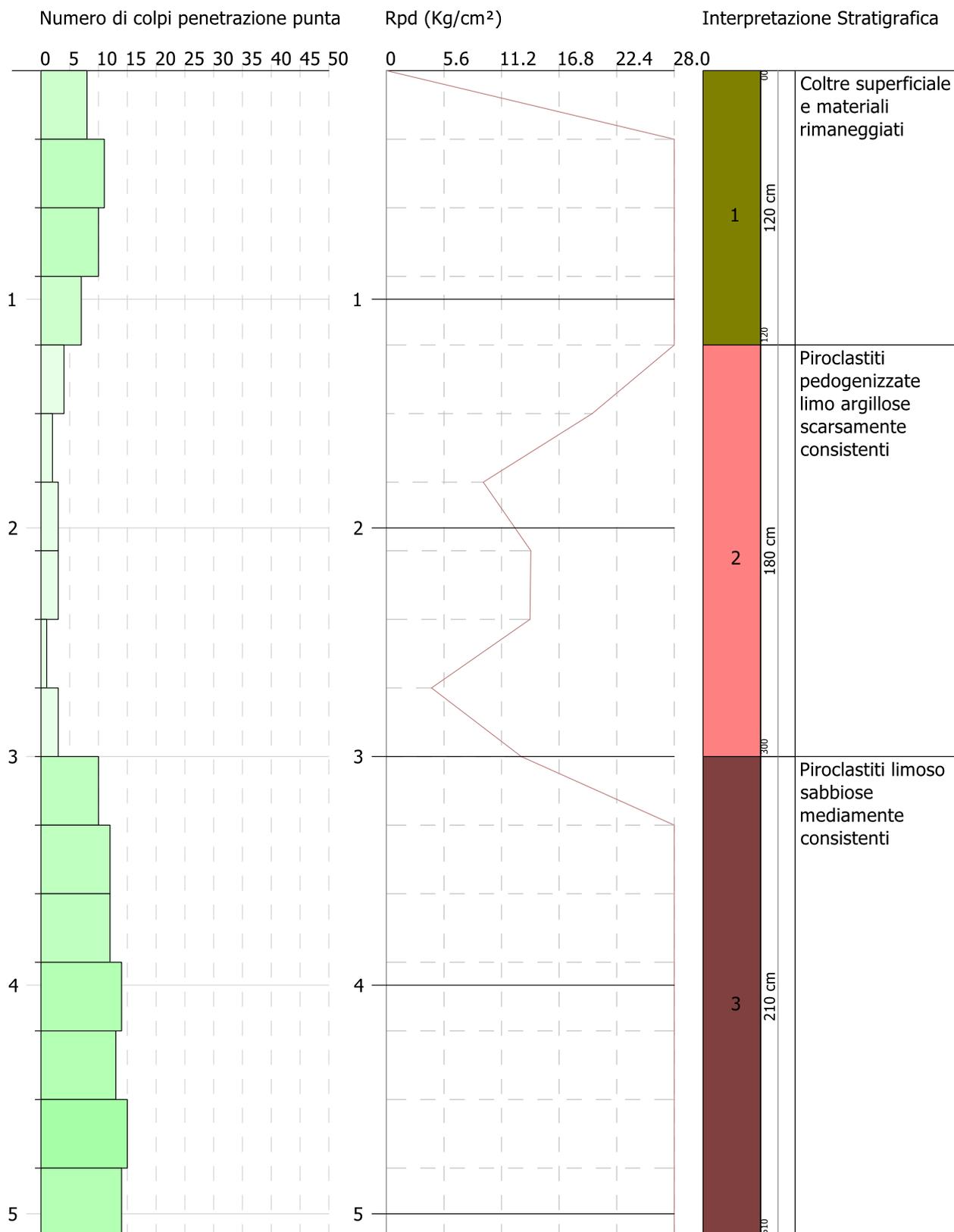
	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Coltre superficiale	4.64	0.30	4.64	Navfac 1971-1982	0.90
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.16	4.80	1.16	Navfac 1971-1982	0.06
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	4.17	7.80	4.17	Navfac 1971-1982	0.79

## Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Coltre superficiale	4.64	0.30	4.64	Robertson 1983	9.28
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	1.16	4.80	1.16	Robertson 1983	2.32
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose poco consistenti	4.17	7.80	4.17	Robertson 1983	8.34

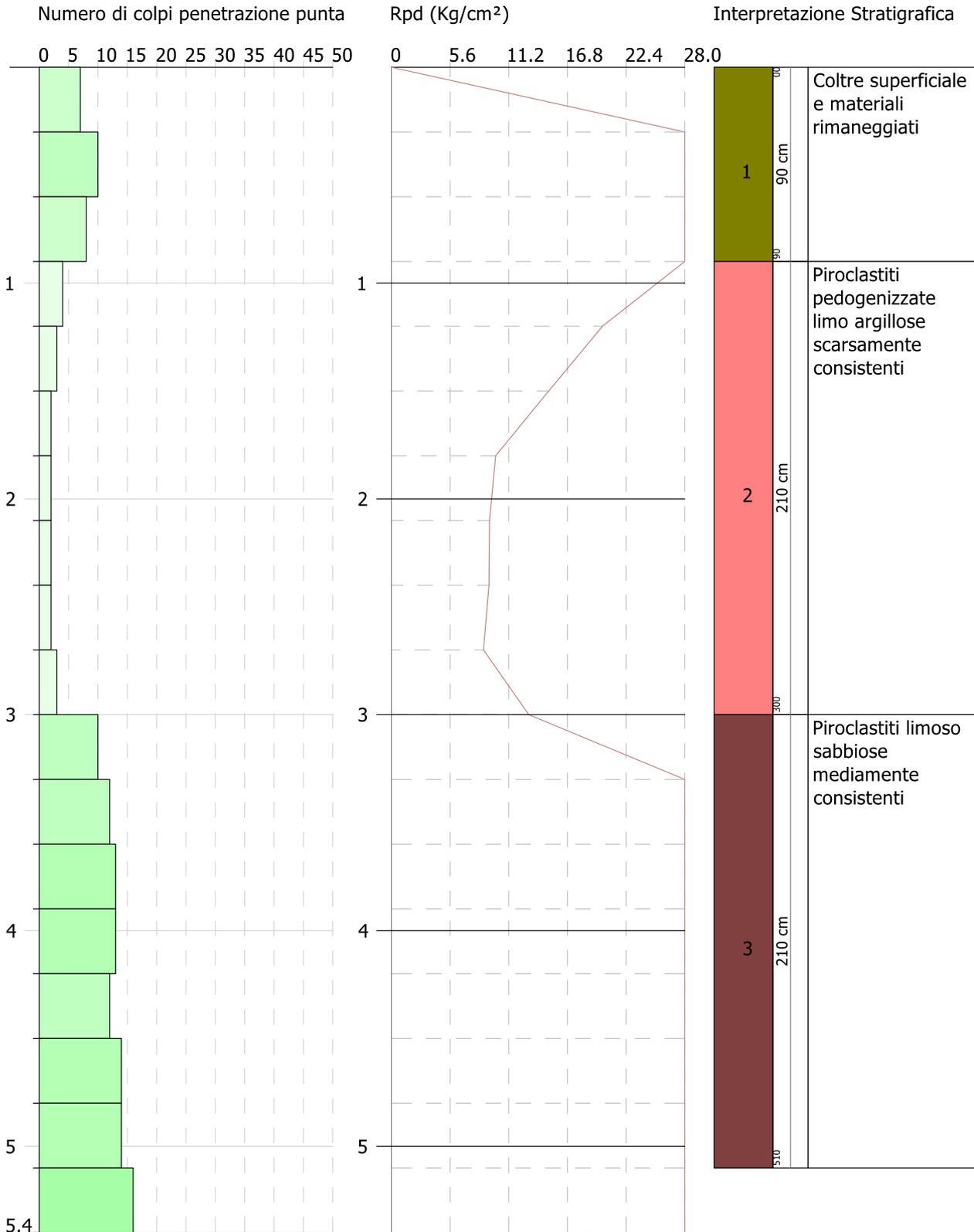
## Indice

PROVA ... Nr.1	.10
Densita' relativa	.12
Angolo di resistenza al taglio	.12
Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )	.13
Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	.14
Classificazione AGI	.14
Peso unita' di volume	.14
Peso unita' di volume saturo	.15
Modulo di Poisson	.15
Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm <sup>2</sup> )	.15
Velocita' onde di taglio	.16
Liquefazione	.16
Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)	.17
PROVA ... Nr.2	.17
Densita' relativa	.19
Angolo di resistenza al taglio	.19
Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )	.20
Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	.20
Classificazione AGI	.21
Peso unita' di volume	.21
Peso unita' di volume saturo	.22
Modulo di Poisson	.22
Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm <sup>2</sup> )	.22
Velocita' onde di taglio	.23
Liquefazione	.23
Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)	.23
Indice	.25



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Amministrazione Comunale Descrizione: SP 18/C Rotatoria 2 Localita': Rocca di Papa	
---	--

### Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH GEDIS

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	73 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	25 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	0.9 m
Peso aste a metro	6.3 Kg/m
Profondita' giunzione prima asta	0.90 m
Avanzamento punta	0.30 m
Numero colpi per punta	N(30)
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

**PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE**  
**(DYNAMIC PROBING)**  
**DPSH – DPM (... scpt ecc.)**

**Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici**

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura  $\alpha$ );
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$  ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

<b>Tipo</b>	<b>Sigla di riferimento</b>	<b>peso della massa M (kg)</b>	<b>prof. max indagine battente (m)</b>
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25

Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

### penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente  $M = 30$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha=60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A=10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente  $M = 20$  kg, altezza di caduta  $H=0.20$  m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha= 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A=10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente  $M = 73$  kg, altezza di caduta  $H=0.75$  m, avanzamento  $\delta=30$  cm, punta conica ( $\alpha = 60^\circ$ ), diametro  $D = 50.8$  mm, area base cono  $A=20.27$  cm<sup>2</sup> rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)  
massa battente  $M=63.5$  kg, altezza caduta  $H=0.75$  m, avanzamento  $\delta=20-30$  cm, punta conica conica ( $\alpha = 60^\circ-90^\circ$ ) diametro  $D = 50.5$  mm, area base cono  $A = 20$  cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

### Correlazione con $N_{spt}$

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{spt}$  ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con  $N_{spt}$ . Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui  $Q$  è l'energia specifica per colpo e  $Q_{spt}$  è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
$\delta$	passo di avanzamento.

### Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

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

Rpd	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo ( $\delta/N$ ).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

### Calcolo di (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub>

(N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
C <sub>s</sub>	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
C <sub>d</sub>	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
C <sub>r</sub>	parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

### Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

## **Valutazioni statistiche e correlazioni**

### **Elaborazione Statistica**

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

#### ***Media***

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Media minima***

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Massimo***

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Minimo***

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Scarto quadratico medio***

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Media deviata***

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Media (+ s)***

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### ***Media (- s)***

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

### ***Distribuzione normale R.C.***

Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove  $\sigma_{N_{spt}}$  è la deviazione standard di  $N_{spt}$

### ***Distribuzione normale R.N.C.***

Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di  $N_{spt}$  distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove  $n$  è il numero di letture.

### **Pressione ammissibile**

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione  $d = 1$  m.

## **Correlazioni geotecniche terreni incoerenti**

### ***Liquefazione***

Permette di calcolare utilizzando dati  $N_{spt}$  il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se  $N_{spt}$  dello strato considerato risulta inferiore a  $N_{spt}$  critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

### ***Correzione $N_{spt}$ in presenza di falda***

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

$N_{spt}$  è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

### **Angolo di Attrito**

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda)  $\sigma > 5$  t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38° ).
- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da  $D_r$  %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONAL RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

### **Densità relativa (%)**

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie  $D_r$  viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).

- 
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

### ***Modulo Di Young ( $E_y$ )***

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

### ***Modulo Edometrico***

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

### ***Stato di consistenza***

- Classificazione A.G.I. 1977

### ***Peso di Volume***

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

### ***Peso di volume saturo***

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

### ***Modulo di poisson***

- Classificazione A.G.I.

### ***Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)***

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio  $\tau$  e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

**Velocità onde di taglio  $V_s$  (m/s)**

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

**Modulo di deformazione di taglio ( $G$ )**

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

**Modulo di reazione ( $K_0$ )**

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

**Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )**

- Robertson (1983) -  $Q_c$

**Correlazioni geotecniche terreni coesivi****Coesione non drenata**

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con  $N_{spt} < 8$ , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948).  $C_u$  (min-max).
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività  $> 5$ , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche  $< 10$  colpi, per resistenze penetrometriche  $> 10$  l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, ( $C_u$ - $N_{spt}$ -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975),  $C_u$  (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille** e **limi argillosi** con  $N_c = 20$  e  $Q_c/N_{spt} = 2$ .
- Schmertmann (1975),  $C_u$  (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago). Coesione non drenata  $C_u$  (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.

- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

#### ***Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )***

- Robertson (1983) -  $Q_c$

#### ***Modulo Edometrico-Confinato ( $M_o$ )***

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - $M_o$  (Eed) (Kg/cm<sup>2</sup>)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).
- Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte ( $N_{spt} < 30$ ) medie e molli (  $N_{spt} < 4$ ) e argille sabbiose ( $N_{spt} = 6-12$ ).

#### ***Modulo Di Young ( $E_Y$ )***

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15.
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

#### ***Stato di consistenza***

- Classificazione A.G.I. 1977.

#### ***Peso di Volume***

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

#### ***Peso di volume saturo***

- Meyerhof ed altri.

#### **PROVA ... Nr.1**

Strumento utilizzato... DPSH GEDIS  
 Prova eseguita in data 09-03-2022  
 Profondita' prova 5.10 mt  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.30	8	0.853	43.57	51.09	2.18	2.55
0.60	11	0.847	59.50	70.25	2.98	3.51
0.90	10	0.842	53.75	63.87	2.69	3.19
1.20	7	0.836	35.26	42.16	1.76	2.11
1.50	4	0.831	20.02	24.09	1.00	1.20
1.80	2	0.826	9.95	12.05	0.50	0.60
2.10	3	0.822	14.05	17.09	0.70	0.85
2.40	3	0.817	13.97	17.09	0.70	0.85
2.70	1	0.813	4.39	5.41	0.22	0.27
3.00	3	0.809	13.12	16.22	0.66	0.81
3.30	10	0.805	43.51	54.07	2.18	2.70
3.60	12	0.801	51.96	64.88	2.60	3.24
3.90	12	0.797	49.21	61.73	2.46	3.09
4.20	14	0.744	53.56	72.01	2.68	3.60
4.50	13	0.740	49.51	66.87	2.48	3.34
4.80	15	0.737	54.23	73.58	2.71	3.68
5.10	14	0.734	50.41	68.67	2.52	3.43

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.2	9	56.84	Incoerente	0	1.74	1.92	0.1	1.15	10.31	Coltre superficiale e materiali rimaneggiati
3	2.67	15.33	Incoerente	0	1.45	1.88	0.34	1.17	3.12	Piroclastiti pedogen

										izzate limo argillose scarsam ente consiste nti
5.1	12.86	65.97	Incoeren te	0	1.89	1.95	0.67	1.19	15.25	Piroclas titi limoso sabbiose mediam ente consiste nti

## TERRENI INCOERENTI

## Densita' relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Coltre superficiale e materiali rimaneggiati	10.31	1.20	39.58	75.18	94.37	33.67
[2] - Piroclastiti pedogenizzate e limo argillose scarsamente consistenti	3.12	3.00	12.62	36.39	39.14	15.65
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	15.25	5.10	37.6	70.11	69.96	43.47

## Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corret to per prese nza	Peck- Hans on-Th ornbu rn-M	Meye rhof (1956 )	Sowe rs (1961 )	Malc ev (1964 )	Meye rhof (1965 )	Schm ertma nn (1977 )	Mitch ell & Katti (1981 )	Shioi- Fuku ni 1982 (ROA	Japan ese Natio nal Railw	De Mello	Owas aki & Iwasa ki

			falda	eyerh of 1956					Sabbi e		D BRID GE SPEC IFIC ATIO N)	ay		
[1] - Coltr e super ficial e e mater iali riman eggiat i	10.31	1.20	10.31	29.95	22.95	30.89	33.69	33.79	38.53	<30	27.44	30.09	27.45	29.36
[2] - Pirocl astiti pedog enizz ate limo argill ose scarsa mente consi stenti	3.12	3.00	3.12	27.89	20.89	28.87	29.19	30.87	0	<30	21.84	27.94	22.02	22.9
[3] - Pirocl astiti limos o sabbi ose media mente consi stenti	15.25	5.10	15.25	31.36	24.36	32.27	30.29	35.55	37.82	30-32	30.12	31.58	26.79	32.46

Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato	Nspt corretto	Terzaghi	Schmertm ann	Schultze- Menzenba	D'Appollo nia ed altri	Bowles (1982)
--	------	-----------------	------------------	----------	-----------------	-----------------------	---------------------------	------------------

	(m)		per presenza falda		(1978) (Sabbie)	ch (Sabbia ghiaiosa)	1970 (Sabbia)	Sabbia Media
[1] - Coltre superficial e e materiali rimaneggi ati	10.31	1.20	10.31	229.19	82.48	122.36	257.33	126.55
[2] - Piroclastit i pedogeniz zate limo argillose scarsamen te consistenti	3.12	3.00	3.12	---	24.96	---	---	---
[3] - Piroclastit i limoso sabbiose mediamen te consistenti	15.25	5.10	15.25	278.74	122.00	180.65	294.38	151.25

Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sa nglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbac h e Malcev (Sabbia media)
[1] - Coltre superficiale e materiali rimaneggiat i	10.31	1.20	10.31	61.86	48.64	73.20	83.98
[2] - Piroclastiti pedogenizz ate limo argillose scarsamente consistenti	3.12	3.00	3.12	---	33.87	22.15	51.92
[3] - Piroclastiti	15.25	5.10	15.25	91.50	58.79	108.28	106.01

limoso sabbiose mediamente consistenti						
---	--	--	--	--	--	--

## Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Coltre superficiale e materiali rimaneggiati	10.31	1.20	10.31	Classificazione A.G.I	MODERATAM ENTE ADDENSATO
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	3.12	3.00	3.12	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	15.25	5.10	15.25	Classificazione A.G.I	MODERATAM ENTE ADDENSATO

## Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Coltre superficiale e materiali rimaneggiati	10.31	1.20	10.31	Terzaghi-Peck 1948	1.48
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	3.12	3.00	3.12	Terzaghi-Peck 1948	1.39
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	15.25	5.10	15.25	Terzaghi-Peck 1948	1.54

## Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Coltre	10.31	1.20	10.31	Terzaghi-Peck	1.92

superficiale e materiali rimaneggiati				1948	
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	3.12	3.00	3.12	Terzaghi-Peck 1948	1.86
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	15.25	5.10	15.25	Terzaghi-Peck 1948	1.96

## Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Coltre superficiale e materiali rimaneggiati	10.31	1.20	10.31	(A.G.I.)	0.33
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	3.12	3.00	3.12	(A.G.I.)	0.35
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	15.25	5.10	15.25	(A.G.I.)	0.32

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Coltre superficiale e materiali rimaneggiati	10.31	1.20	10.31	582.61	520.01
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	3.12	3.00	3.12	189.42	250.52

[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	15.25	5.10	15.25	841.76	660.52
---	-------	------	-------	--------	--------

## Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Coltre superficiale e materiali rimaneggiati	10.31	1.20	10.31	Ohta & Goto (1978) Limi	92.81
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	3.12	3.00	3.12	Ohta & Goto (1978) Limi	96.12
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	15.25	5.10	15.25	Ohta & Goto (1978) Limi	143.57

## Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Coltre superficiale e materiali rimaneggiati	10.31	1.20	10.31	Seed e Idriss (1971)	--
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	3.12	3.00	3.12	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	15.25	5.10	15.25	Seed e Idriss (1971)	--

## Coefficiente spinta a Riposo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Coltre	10.31	1.20	10.31	Navfac	2.17

superficiale e materiali rimaneggiati				1971-1982	
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	3.12	3.00	3.12	Navfac 1971-1982	0.54
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	15.25	5.10	15.25	Navfac 1971-1982	3.17

## Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Coltre superficiale e materiali rimaneggiati	10.31	1.20	10.31	Robertson 1983	20.62
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	3.12	3.00	3.12	Robertson 1983	6.24
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	15.25	5.10	15.25	Robertson 1983	30.50

**PROVA ... Nr.2**

Strumento utilizzato... DPSH GEDIS  
 Prova eseguita in data 09-03-2022  
 Profondita' prova 5.40 mt  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )

0.30	7	0.853	38.12	44.71	1.91	2.24
0.60	10	0.847	54.10	63.87	2.70	3.19
0.90	8	0.842	43.00	51.09	2.15	2.55
1.20	4	0.836	20.15	24.09	1.01	1.20
1.50	3	0.831	15.02	18.07	0.75	0.90
1.80	2	0.826	9.95	12.05	0.50	0.60
2.10	2	0.822	9.36	11.40	0.47	0.57
2.40	2	0.817	9.31	11.40	0.47	0.57
2.70	2	0.813	8.79	10.81	0.44	0.54
3.00	3	0.809	13.12	16.22	0.66	0.81
3.30	10	0.805	43.51	54.07	2.18	2.70
3.60	12	0.801	51.96	64.88	2.60	3.24
3.90	13	0.747	49.97	66.87	2.50	3.34
4.20	13	0.744	49.73	66.87	2.49	3.34
4.50	12	0.790	48.78	61.73	2.44	3.09
4.80	14	0.737	50.62	68.67	2.53	3.43
5.10	14	0.734	50.41	68.67	2.52	3.43
5.40	16	0.731	54.83	75.00	2.74	3.75

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.9	8.33	53.22	Incoerente	0	1.71	1.92	0.08	1.15	9.55	Coltre superficiale e materiali rimaneggiati
3	2.57	14.86	Incoerente	0	1.45	1.87	0.31	1.16	2.98	Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti
5.1	12.57	64.54	Incoerente	0	1.88	1.95	0.66	1.19	14.91	Piroclastiti limoso sabbiose mediam



e e mater iali riman eggiat i														
[2] - Pirocl astiti pedog enizz ate limo argill ose scarsa mente consi stenti	2.98	3.00	2.98	27.85	20.85	28.83	29.34	30.81	0	<30	21.69	27.89	21.98	22.72
[3] - Pirocl astiti limos o sabb ose media mente consi stenti	14.91	5.10	14.91	31.26	24.26	32.17	30.29	35.44	37.75	30-32	29.95	31.47	26.75	32.27

Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertm ann (1978) (Sabbie)	Schultze- Menzenba ch (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollo nia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Coltre superficial e e materiali rimaneggi ati	9.55	0.90	9.55	---	76.40	113.39	---	---
[2] - Piroclastit	2.98	3.00	2.98	---	23.84	---	---	---

i pedogeniz zate limo argillose scarsamen te consistenti								
[3] - Piroclastit i limoso sabbiose mediamen te consistenti	14.91	5.10	14.91	275.62	119.28	176.64	291.83	149.55

Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sa nglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbac h e Malcev (Sabbia media)
[1] - Coltre superficiale e materiali rimaneggiat i	9.55	0.90	9.55	---	47.08	67.81	80.59
[2] - Piroclastiti pedogenizz ate limo argillose scarsamente consistenti	2.98	3.00	2.98	---	33.59	21.16	51.29
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	14.91	5.10	14.91	89.46	58.09	105.86	104.50

## Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Coltre superficiale e materiali	9.55	0.90	9.55	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO

rimaneggiati					
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	2.98	3.00	2.98	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	14.91	5.10	14.91	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

## Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Coltre superficiale e materiali rimaneggiati	9.55	0.90	9.55	Terzaghi-Peck 1948	1.47
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	2.98	3.00	2.98	Terzaghi-Peck 1948	1.38
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	14.91	5.10	14.91	Terzaghi-Peck 1948	1.54

## Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Coltre superficiale e materiali rimaneggiati	9.55	0.90	9.55	Terzaghi-Peck 1948	1.92
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	2.98	3.00	2.98	Terzaghi-Peck 1948	1.86
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	14.91	5.10	14.91	Terzaghi-Peck 1948	1.96

## Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Coltre superficiale e materiali rimaneggiati	9.55	0.90	9.55	(A.G.I.)	0.34
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	2.98	3.00	2.98	(A.G.I.)	0.35
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	14.91	5.10	14.91	(A.G.I.)	0.32

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Coltre superficiale e materiali rimaneggiati	9.55	0.90	9.55	542.15	496.24
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	2.98	3.00	2.98	181.42	243.59
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	14.91	5.10	14.91	824.10	651.49

## Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Coltre superficiale e materiali	9.55	0.90	9.55	Ohta & Goto (1978) Limi	86.64

rimaneggiati					
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	2.98	3.00	2.98	Ohta & Goto (1978) Limi	94
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	14.91	5.10	14.91	Ohta & Goto (1978) Limi	143.01

## Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Coltre superficiale e materiali rimaneggiati	9.55	0.90	9.55	Seed e Idriss (1971)	--
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	2.98	3.00	2.98	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	14.91	5.10	14.91	Seed e Idriss (1971)	--

## Coefficiente spinta a Riposo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Coltre superficiale e materiali rimaneggiati	9.55	0.90	9.55	Navfac 1971-1982	2.01
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	2.98	3.00	2.98	Navfac 1971-1982	0.51
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	14.91	5.10	14.91	Navfac 1971-1982	3.11

## Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Coltre superficiale e materiali rimaneggiati	9.55	0.90	9.55	Robertson 1983	19.10
[2] - Piroclastiti pedogenizzate limo argillose scarsamente consistenti	2.98	3.00	2.98	Robertson 1983	5.96
[3] - Piroclastiti limoso sabbiose mediamente consistenti	14.91	5.10	14.91	Robertson 1983	29.82

## Indice

PROVA ... Nr.1	.10
Densita' relativa	.12
Angolo di resistenza al taglio	.12
Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )	.13
Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	.14
Classificazione AGI	.14
Peso unita' di volume	.15
Peso unita' di volume saturo	.15
Modulo di Poisson	.16
Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm <sup>2</sup> )	.16
Velocita' onde di taglio	.16
Liquefazione	.17
Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)	.17
PROVA ... Nr.2	.18
Densita' relativa	.19
Angolo di resistenza al taglio	.20
Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )	.21
Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	.21
Classificazione AGI	.22
Peso unita' di volume	.22
Peso unita' di volume saturo	.23
Modulo di Poisson	.23
Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm <sup>2</sup> )	.23
Velocita' onde di taglio	.24
Liquefazione	.24
Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)	.25
Indice	.27

# **REPORT MASW**

	<b>Data: marzo 2022</b>
	<b>Il committente Amministrazione comunale di Rocca di Papa</b>
	<b>Variante urbanistica per la realizzazione di n°2 rotatorie lungo la Strada Provinciale Olimpica SP18/C</b>
<b>Indagine geofisica tramite tecnica MASW</b>	

# Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

## Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

## Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (onde P, onde S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

## Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

## Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

**Modi di vibrazione**

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

**Profondità di indagine**

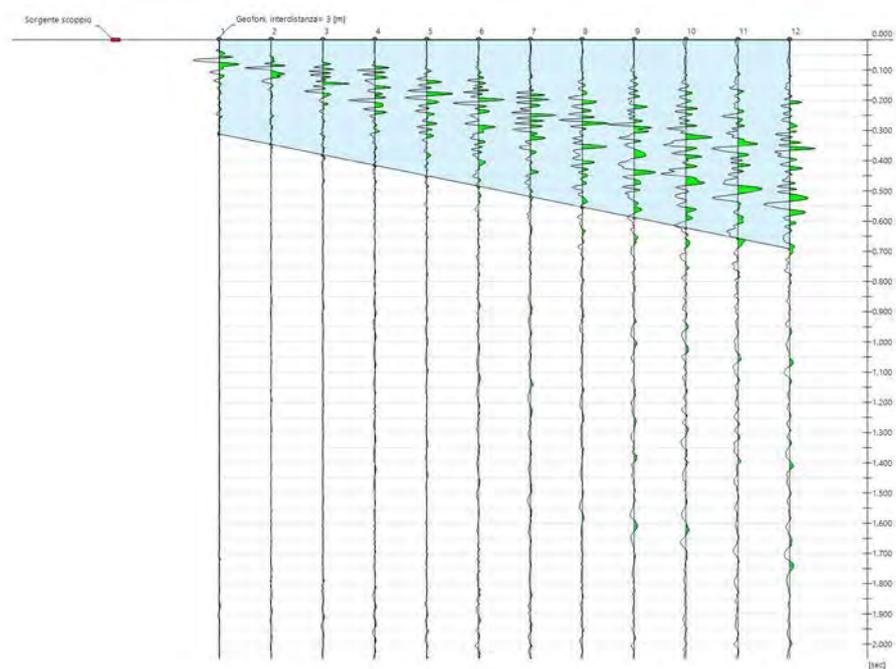
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

**MASW 1 Rotatoria 1****Dati generali**

**Data** | 09/03/2022 9:41

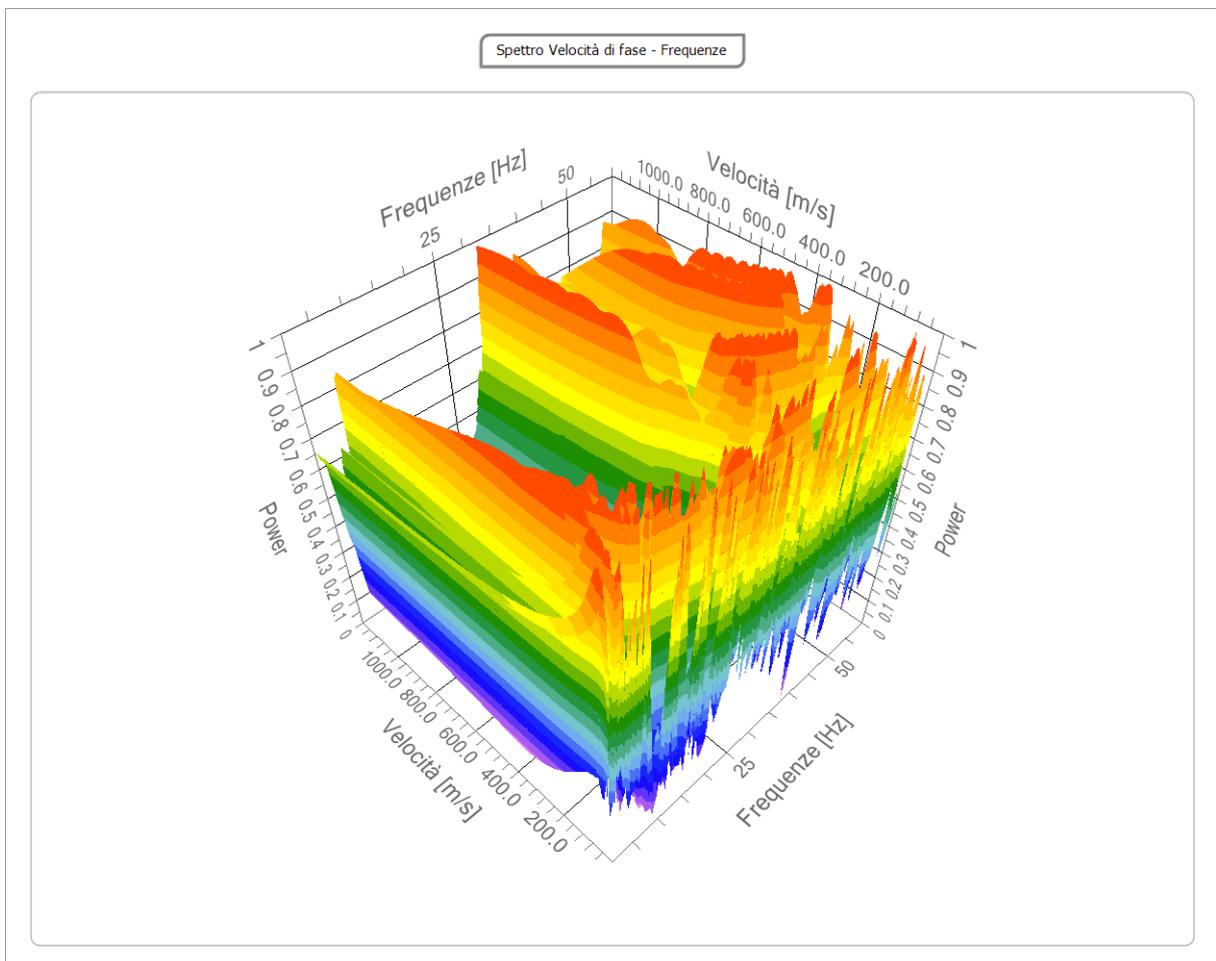
## Tracce

<b>N. tracce</b>	12
<b>Durata acquisizione</b> [msec]	2048.0
<b>Interdistanza geofoni</b> [m]	3.0
<b>Periodo di campionamento</b> [msec]	1.00



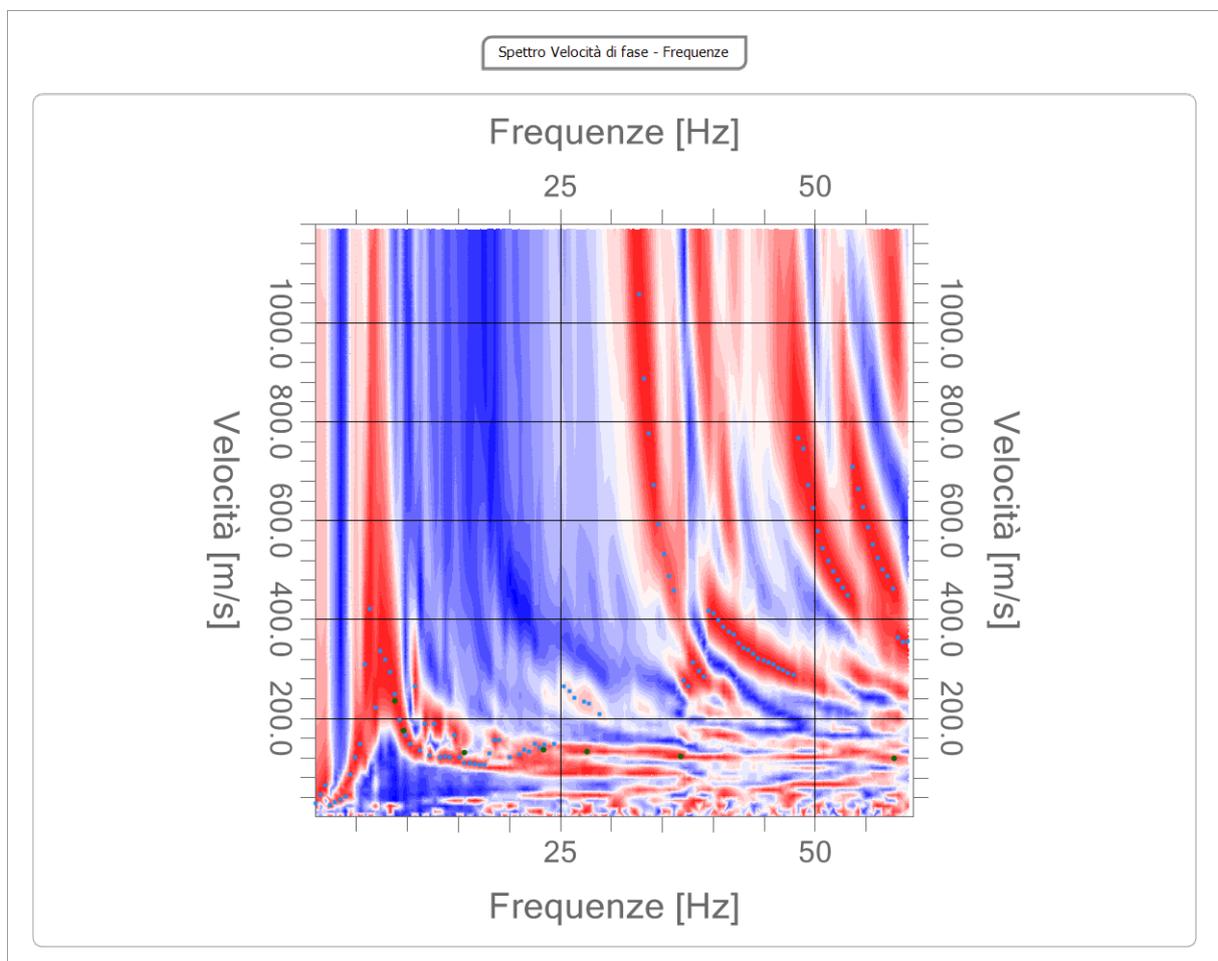
## Analisi spettrale

<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	1
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	60
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	1
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	1200
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	8.8	236.0	0
2	9.6	175.7	0
3	15.6	129.5	0
4	23.3	135.6	0
5	27.7	131.5	0
6	36.9	123.5	0
7	57.7	119.5	0



## Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		6.59	6.59	1840.0	0.44	No	405.7	132.8
2		7.61	1.02	1880.0	0.43	No	863.2	302.5
3		12.61	5.00	1900.0	0.42	No	983.4	365.2
4		17.65	5.04	1920.0	0.40	No	981.4	400.7
5		oo	oo	1960.0	0.40	No	1273.6	520.0

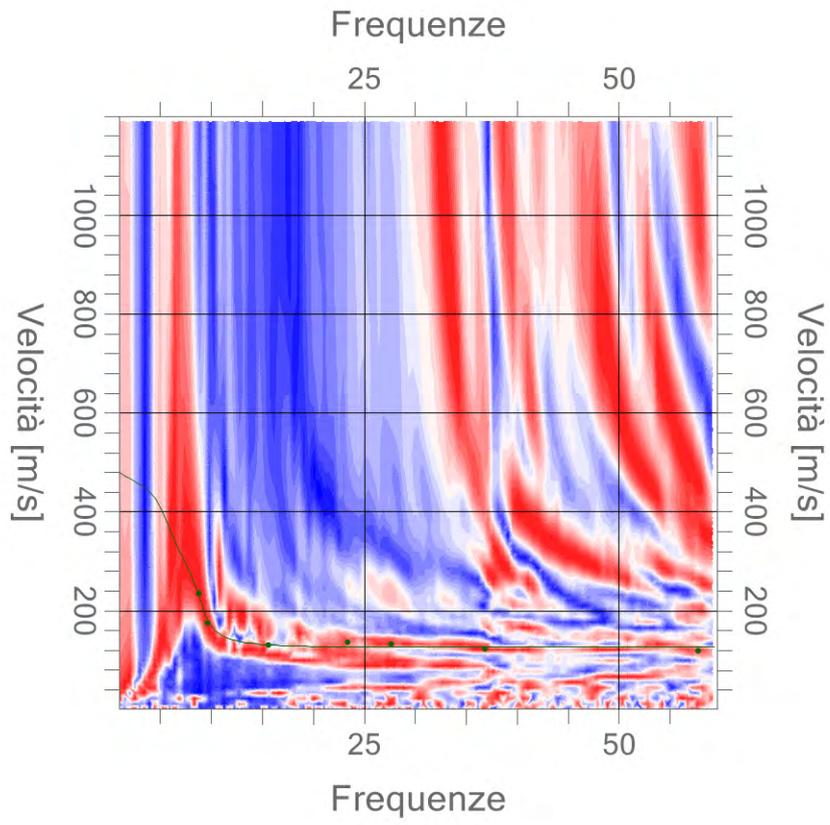
Percentuale di errore

0.172 %

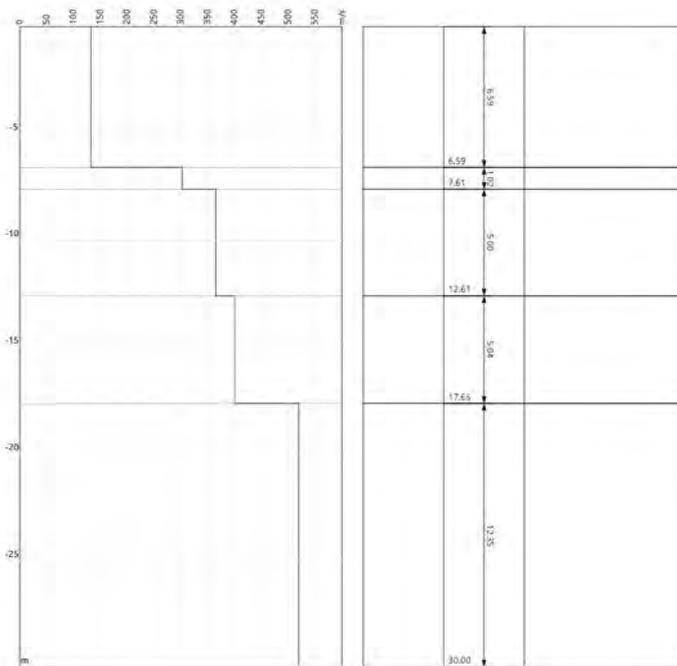
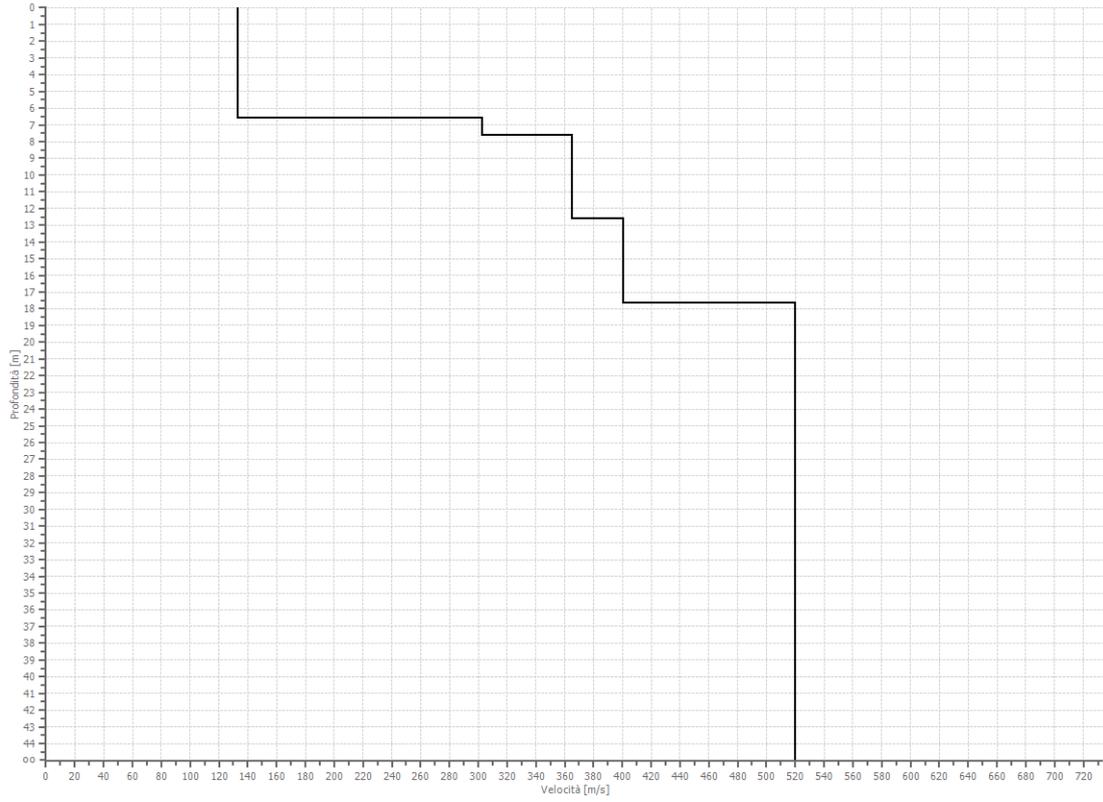
Fattore di disadattamento della soluzione

0.042

Inversione



Profilo di velocità



## Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)</b>	291.24
<b>Categoria del suolo</b>	C

Suolo di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

### Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	6.59	6.59	132.79	405.68	1840.00	0.44	32.44	302.82	259.56	93.44	12	97.11
2	7.61	1.02	302.49	863.18	1880.00	0.43	172.02	1400.76	1171.40	491.99	N/A	N/A
3	12.61	5.00	365.24	983.43	1900.00	0.42	253.46	1837.55	1499.61	719.81	N/A	N/A
4	17.65	5.04	400.65	981.39	1920.00	0.40	308.20	1849.20	1438.26	862.96	N/A	N/A
5	oo	oo	519.96	1273.63	1960.00	0.40	529.90	3179.37	2472.84	1483.71	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

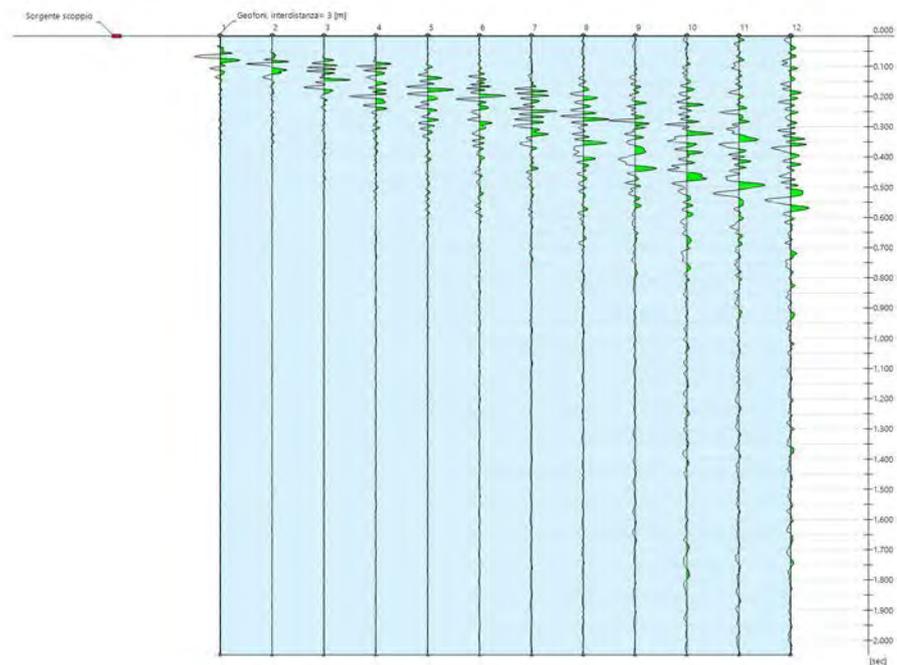
# MASW 2 Rotatoria 1

## Dati generali

Data | 09/03/2022 10:12

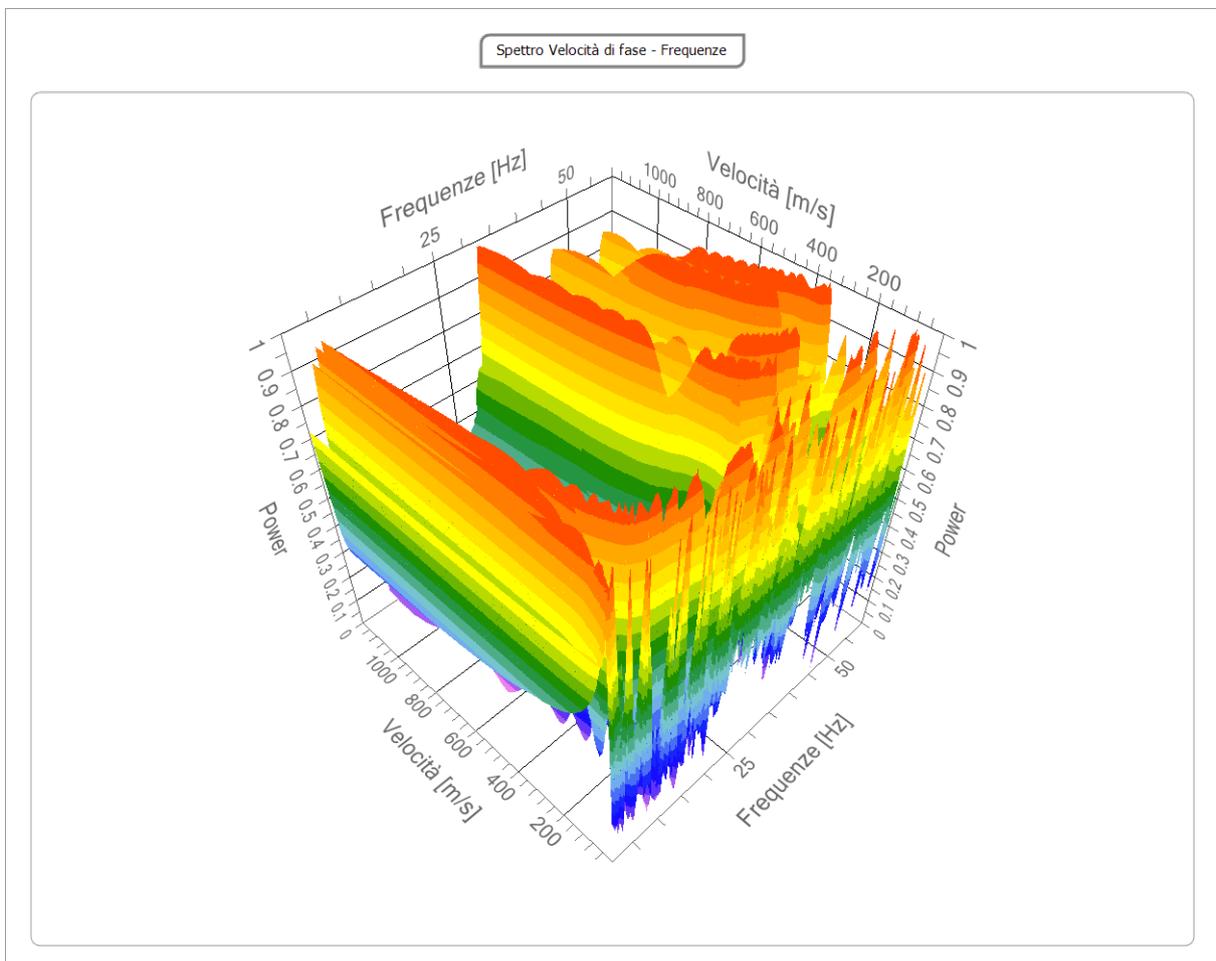
## Tracce

<b>N. tracce</b>	12
<b>Durata acquisizione</b> [msec]	2048.0
<b>Interdistanza geofoni</b> [m]	3.0
<b>Periodo di campionamento</b> [msec]	1.00



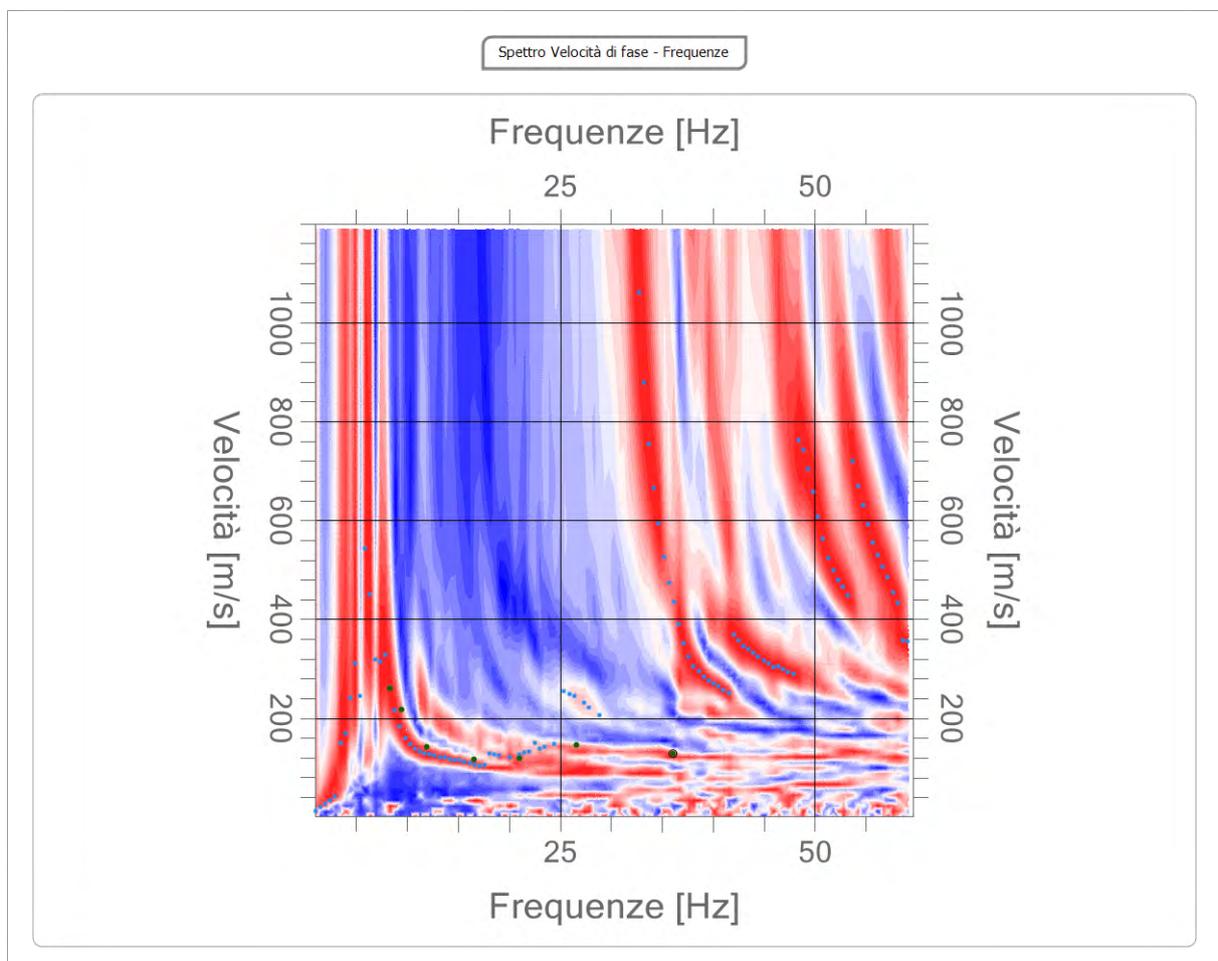
## Analisi spettrale

<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	1
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	60
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	1
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	1200
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	8.3	260.1	0
2	9.4	217.9	0
3	11.9	141.6	0
4	16.6	117.5	0
5	21.0	119.5	0
6	26.6	145.6	0
7	36.1	127.5	0



## Inversione

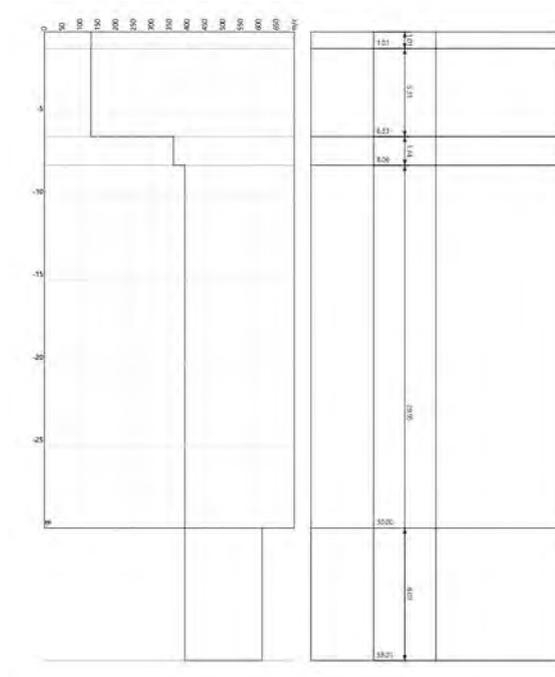
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.01	1.01	1840.0	0.43	No	374.0	131.1
2		6.33	5.31	1880.0	0.44	No	398.0	130.3
3		8.06	1.74	1900.0	0.42	No	973.2	361.5
4		38.01	29.95	1920.0	0.40	No	963.3	393.3
5		∞	∞	1960.0	0.40	No	1494.0	609.9

Percentuale di errore

0.380 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.071



## Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)</b>	274.96
<b>Categoria del suolo</b>	C

Suolo di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

### Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.01	1.01	131.08	374.04	1840.00	0.43	31.61	257.43	215.28	90.42	91	90.99
2	6.33	5.31	130.27	397.98	1880.00	0.44	31.90	297.78	255.24	91.89	10	88.21
3	8.06	1.74	361.45	973.23	1900.00	0.42	248.23	1799.65	1468.68	704.97	N/A	N/A
4	38.01	29.95	393.27	963.32	1920.00	0.40	296.95	1781.72	1385.78	831.47	N/A	N/A
5	oo	oo	609.93	1494.02	1960.00	0.40	729.15	4374.90	3402.70	2041.62	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

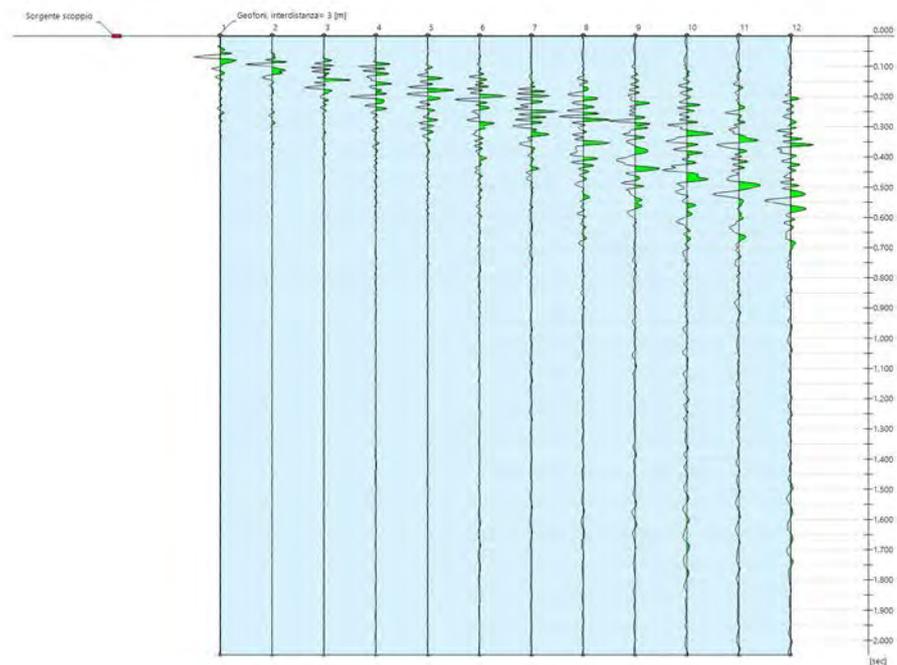
# MASW 3 Rotatoria 2

## Dati generali

Data | 09/03/2022 11:02

## Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	2048.0
Interdistanza geofoni [m]	3.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00



## Analisi spettrale

<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	1
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	60
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	1
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	1200
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	1

## Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	8.2	256.1	0
2	9.3	189.8	0
3	12.5	125.5	0
4	16.6	113.5	0
5	20.2	125.5	0
6	24.6	145.6	0

## Inversione

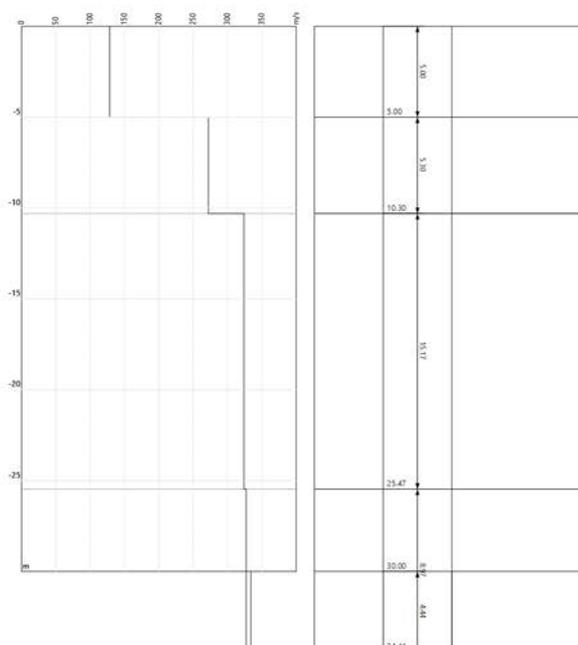
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		5.00	5.00	1840.0	0.20	No	209.8	128.5
2		10.30	5.30	1880.0	0.20	No	444.3	272.1
3		25.47	15.17	1920.0	0.20	No	529.0	323.9
4		34.44	8.97	1800.0	0.20	No	534.5	327.3
5		∞	∞	1800.0	0.20	No	545.4	334.0

Percentuale di errore

3.224 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.143



## Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)</b>	251.94
<b>Categoria del suolo</b>	C

Suolo di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

### Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	5.00	5.00	128.47	209.80	1840.00	0.20	30.37	80.99	40.49	72.89	14	82.26
2	10.30	5.30	272.06	444.27	1880.00	0.20	139.15	371.06	185.53	333.95	N/A	3569.29
3	25.47	15.17	323.92	528.95	1920.00	0.20	201.45	537.20	268.60	483.48	N/A	N/A
4	34.44	8.97	327.33	534.53	1800.00	0.20	192.86	514.30	257.15	462.87	N/A	N/A
5	∞	∞	333.98	545.38	1800.00	0.20	200.77	535.39	267.70	481.85	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

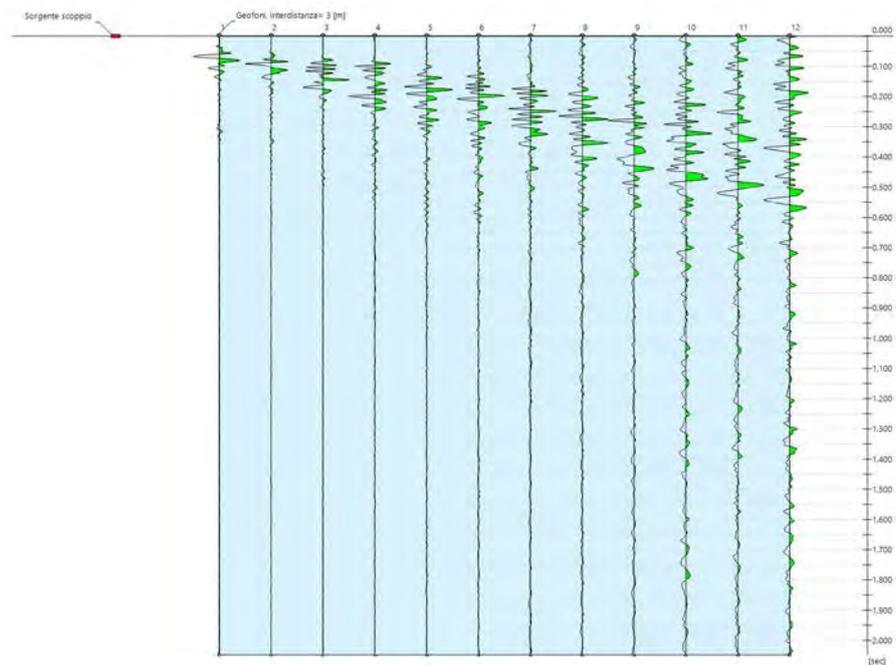
## MASW 4 Rotatoria 2

### Dati generali

Data | 09/03/2022 11:39

### Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	2048.0
Interdistanza geofoni [m]	3.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00



## Analisi spettrale

<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	1
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	60
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	1
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	1200
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	1

## Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	8.3	244.0	0
2	10.4	137.6	0
3	17.7	101.4	0
4	24.9	141.6	0

## Inversione

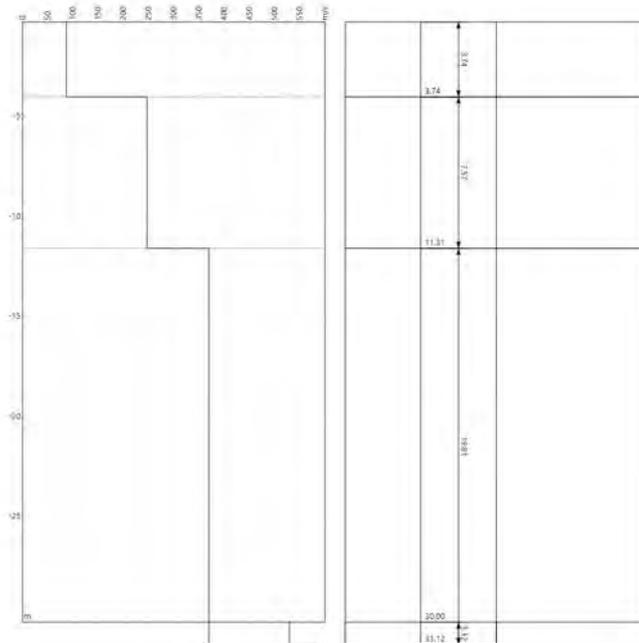
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3.74	3.74	1860.0	0.44	No	265.1	86.8
2		11.31	7.57	1880.0	0.42	No	664.9	246.9
3		31.12	19.81	1920.0	0.40	No	905.1	369.5
4		oo	oo	1960.0	0.38	No	1203.6	529.5

Percentuale di errore

4.963 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.238



## Risultati

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)</b>	241.21
<b>Categoria del suolo</b>	C

Suolo di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

## Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSP T	Qc [kPa]
1	3.74	3.74	86.77	265.09	1860.00	0.44	14.00	130.71	112.03	40.33	2	11.45
2	11.31	7.57	246.94	664.90	1880.00	0.42	114.64	831.13	678.28	325.57	N/A	2193.64
3	31.12	19.81	369.51	905.12	1920.00	0.40	262.16	1572.95	1223.41	734.04	N/A	N/A
4	oo	oo	529.51	1203.59	1960.00	0.38	549.55	2839.32	2106.59	1516.75	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young.

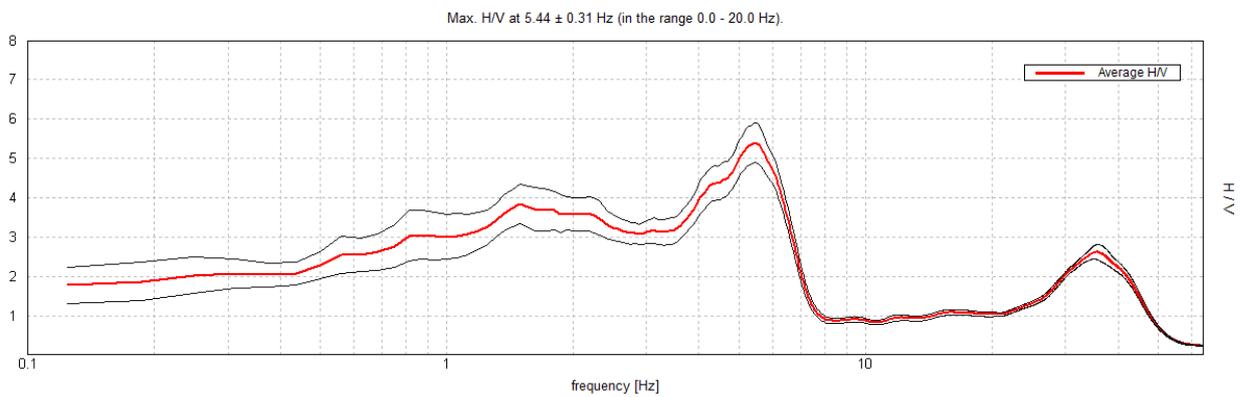
## REPORT HVSR

### ROCCA DI PAPA, SP18/C – ROTATORIA 1

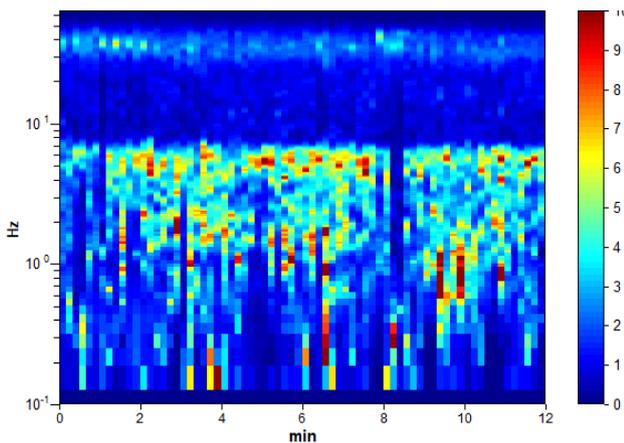
Instrument: TEP-0032/01-09  
 Data format: 16 bit  
 Full scale [mV]: 51  
 Start recording: 09/03/2022 10:25:01 End recording: 09/03/2022 10:37:01  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available

Trace length: 0h12'00". Analysis performed on the entire trace.  
 Sampling rate: 128 Hz  
 Window size: 10 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%

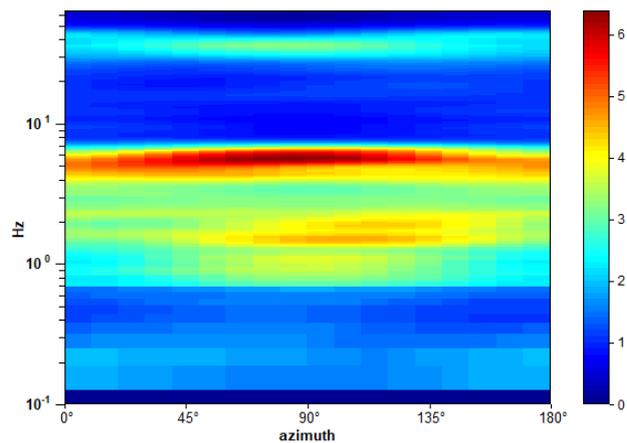
#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



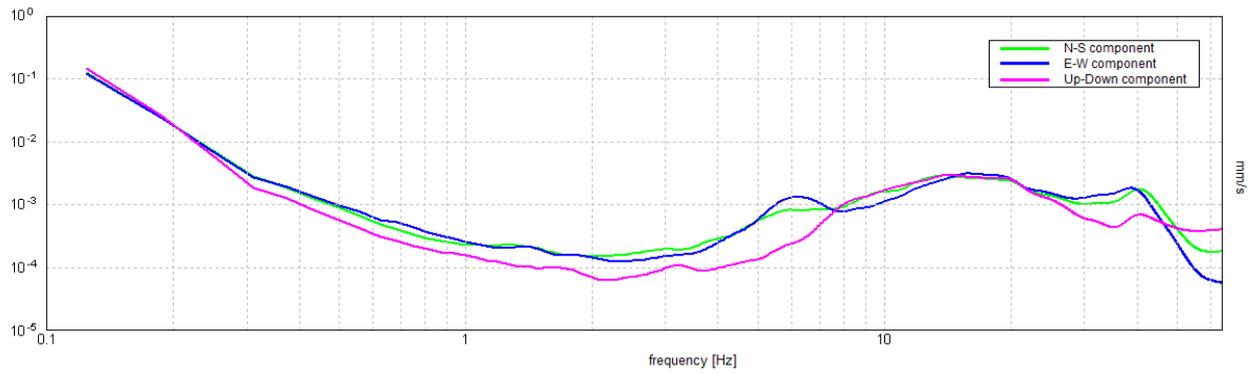
#### H/V TIME HISTORY



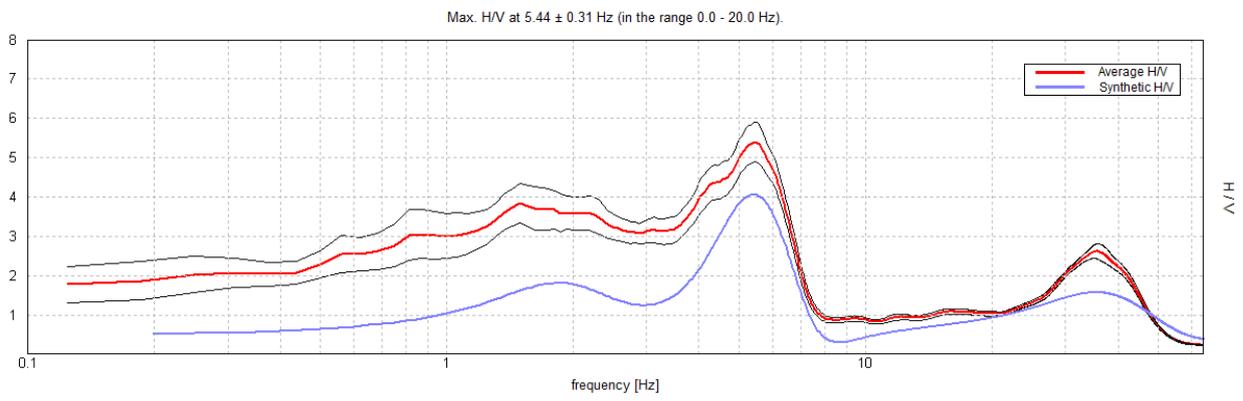
#### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

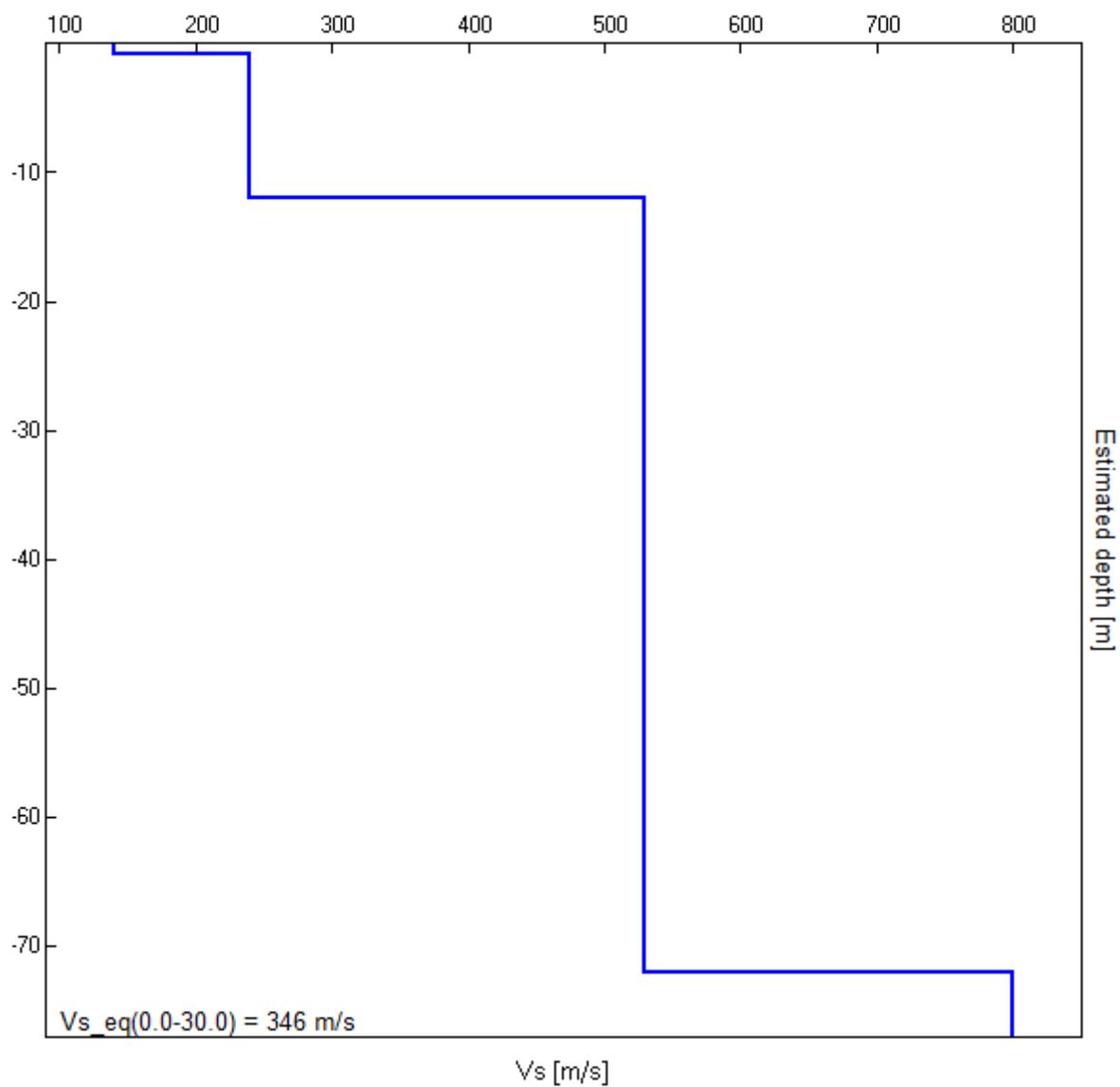


### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.90	0.90	140	0.45
12.00	11.10	240	0.44
72.00	60.00	530	0.42
inf.	inf.	800	0.38

**Vs\_eq(0.0-30.0) = 346 m/s**



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

**Max. H/V at 5.44 ± 0.31 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).**

### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	5.44 > 1.00	OK	
$n_c(f_0) > 200$	3915.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 131 times	OK	

### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	6.813 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.40 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.05624  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.30583 < 0.27188$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5078 < 1.58$	OK	

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

### Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$

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

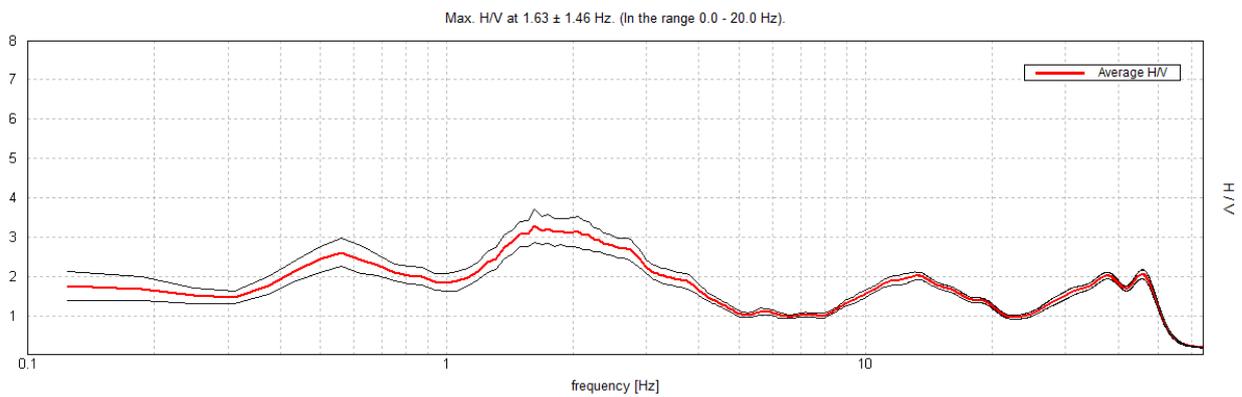
## REPORT HVSR

### ROCCA DI PAPA, SP18/C – ROTATORIA 2

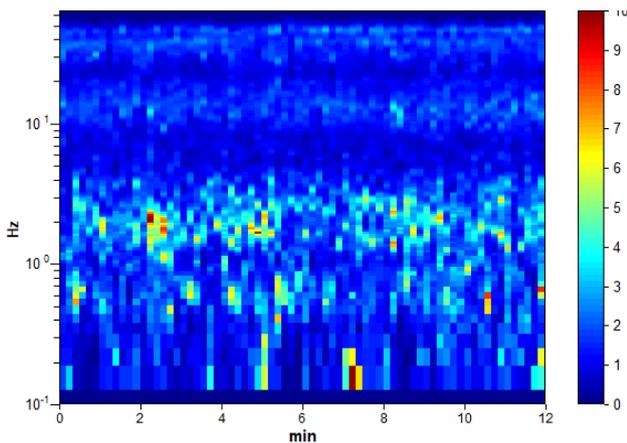
Instrument: TEP-0032/01-09  
 Data format: 16 bit  
 Full scale [mV]: 51  
 Start recording: 09/03/2022 10:49:33 End recording: 09/03/2022 11:01:33  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available

Trace length: 0h12'00". Analysis performed on the entire trace.  
 Sampling rate: 128 Hz  
 Window size: 10 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%

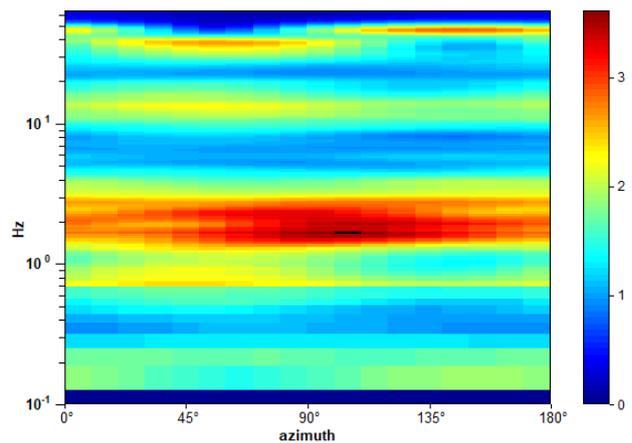
#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



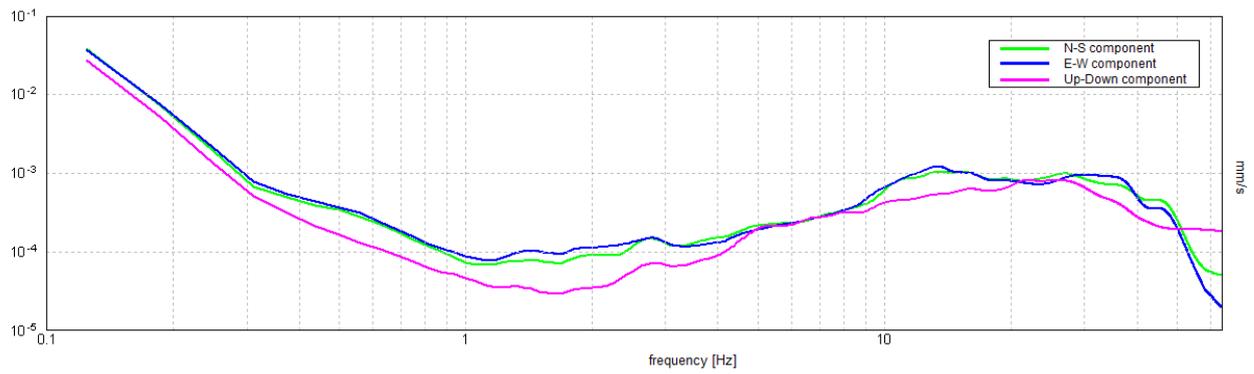
#### H/V TIME HISTORY



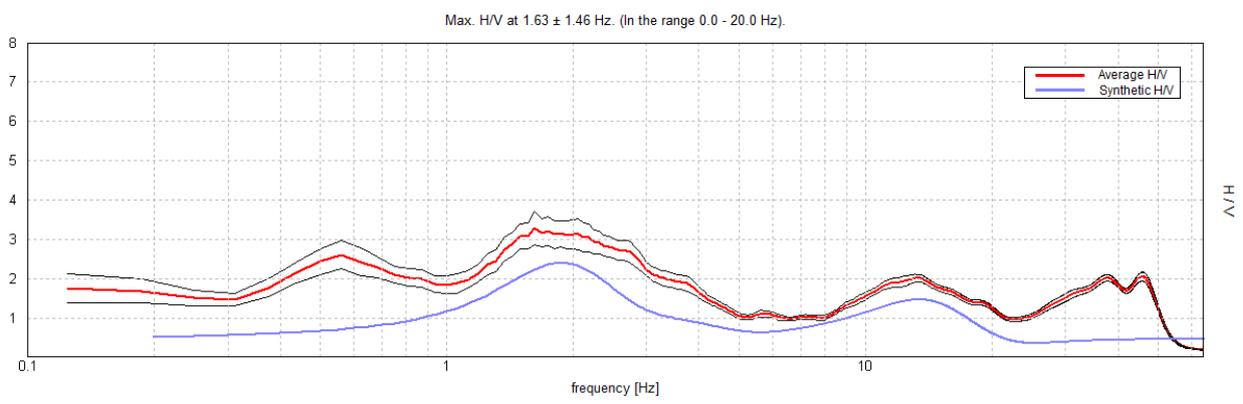
#### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

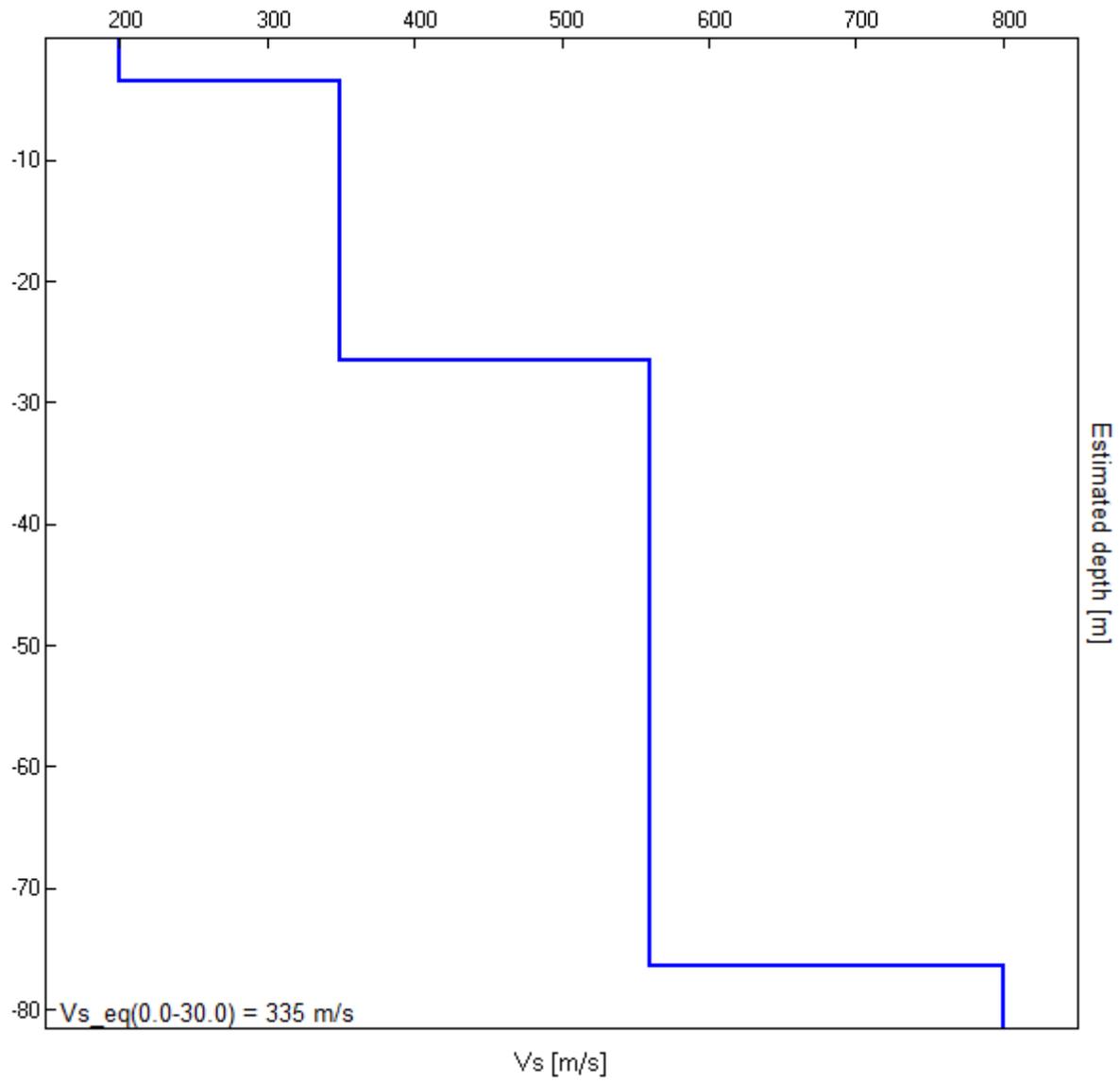


### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.50	3.50	200	0.44
26.50	23.00	350	0.43
76.50	50.00	560	0.42
inf.	inf.	800	0.40

**Vs\_eq(0.0-30.0) = 335 m/s**



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

**Max. H/V at  $1.63 \pm 1.46$  Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).**

### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.63 > 1.00$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1170.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 40 times	OK	

### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.063 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.29 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.89737  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.45822 < 0.1625$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4165 < 1.78$	OK	

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

### Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$

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