

CONCORSO PER LA PROGETTAZIONE DEL  
**“NUOVO POLO DEI LABORATORI  
RITA LEVI MONTALCINI”**  
PER L’INMI L. SPALLANZANI IRCCS

**ALLEGATO 10.3**  
**RELAZIONE GEOLOGICA**  
**VANO SCALA ANTINCENDIO CENTRALE TERMICA**

*Relazione redatta ai sensi D.M. 11/03/1998 - D.M. 17/01/2018 – Reg. Sism. 14/2016*

*a cura dello Studio Geologico Dott. Marco Evangelisti*

*Febbraio 2019*

# ROMA CAPITALE

Municipio XII (ex XVI)

---

## RELAZIONE GEOLOGICA E DI MODELLAZIONE SISMICA

OGGETTO: Progetto per la realizzazione di parte del vano tecnico delle Pompe di Pressurizzazione dell'Impianto idrico antincendio presso l'INMI "Lazzaro Spallanzani"

*Località : "Via Portuense, 292"*

COMMITTENTE:



*Relazione redatta ai sensi D.M. 11/03/1998 - D.M. 17/01/2018 – Reg. Sism. 14/2016*

---

DATA	AGGIORNAMENTO	NOTE
Febbraio 2019		

---

**STUDIO GEOLOGICO**

**DR. MARCO EVANGELISTI**

VIA ALCIDE DE GASPERI, 83/G

03011 ALATRI (FR)

 + 39 338 8777998

E-MAIL : [VNGMRC@LIBERO.IT](mailto:VNGMRC@LIBERO.IT)

PEC: [MARCO.EVANGELISTI@PEC.GEOLOGILAZIO.IT](mailto:MARCO.EVANGELISTI@PEC.GEOLOGILAZIO.IT)

# INDICE

Premessa.....	2
1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	4
2. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE.....	4
2.1 VARIAZIONI DELLA MORFOLOGIA ORIGINARIA.....	4
2.2 FRANOSITÀ NATURALE.....	5
2.3 DISTRIBUZIONE DELLE CAVITÀ SOTTERRANEE.....	5
3. CARATTERISTICHE GEOSTRATIGRAFICHE.....	6
3.1 INQUADRAMENTO GENERALE.....	6
3.2 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO.....	8
4. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE.....	8
4.1 RETE IDROGRAFICA.....	8
4.2 PERMEABILITÀ DEI COMPLESSI.....	9
4.3 SCHEMI IDROGEOLOGICI.....	9
5. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DEL SITO.....	10
5.1 EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LOCALE.....	10
6. GEOTECNICA.....	11
6.1 MODELLO GEOLOGICO.....	11
6.2 DESCRIZIONE TECNICA DELLE METODOLOGIE DI INDAGINE.....	11
6.3 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE.....	12
6.4 MODELLO GEOTECNICO.....	13
7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	14

## Premessa

Nell'ambito di un progetto per la realizzazione di parte del vano tecnico presso l'impianto antincendio a servizio dell'Istituto Nazionale per le Malattie Infettive IRCCS "Lazzaro Spallanzani" sito in Via Portuense, 292 nel Comune di Roma Capitale nel Municipio XII (*ex XVI*) sono stato incaricato dalla committenza di provvedere ad eseguire uno studio geomorfologico, geostatigrafico, idrogeologico, geotecnico e di modellazione sismica finalizzato alla redazione del progetto esecutivo; a tal proposito è stato predisposto uno studio di dettaglio con l'obiettivo di delineare secondo gli aspetti summenzionati l'area all'interno della quale si inserisce il manufatto di interesse sia le caratteristiche litotecniche e geofisiche dei terreni che costituiranno il piano di posa delle fondazioni di progetto.

L'indagine è stata condotta mediante un rilevamento geologico di dettaglio esteso ad un'area sufficientemente ampia rispetto al sito di specifico interesse, la consultazione della letteratura specifica e mediante la valutazione d'insieme dell'assetto geomorfologico dell'area al fine di evidenziare anomalie rispetto alla normale evoluzione geodinamica dei versanti oltre ad uno studio geostatigrafico, geotecnico e geofisico *ad hoc*.

La presente relazione è stata redatta in ottemperanza del D.M. del 11/03/1988, D.M. 17/01/2018 e Regolamento Sismico regionale n. 14/2016; pertanto in riferimento all'Allegato C di questo Regolamento (**Delib. G.R. n. 375 del 5 Luglio 2016**) si precisa quanto segue:

### TIPOLOGIA OPERA

**Classe d'Uso 2** (D.M. 17/01/2008 - Delib. G.R. 387/2009)

**Zona Sismica III Sottozona A** (Delib. G.R. 387/2009)

**LIVELLO DI VULNERABILITA' DELL'OPERA: BASSO**

	zona sismica 1	zona sismica 2a	zona sismica 2b	zona sismica 3a	zona sismica 3b
ASSEVERAZIONI	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
PROGETTI A SORTEGGIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
PROGETTI A CONTROLLO OBBLIGATORIO (classe d'uso II; classe d'uso III, escluse le strutture per l'istruzione - DGRL n. 489/2012)	ALTO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
PROGETTI A CONTROLLO OBBLIGATORIO (classe d'uso III - strutture per l'istruzione; classe d'uso IV e opere pubbliche)	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO

A seguito di quanto riportato le indagini minime previste sono:

## SU TERRENI:

Dovranno eseguirsi:

- Almeno **1 prova penetrometrica di tipo statico** (CPT, CPTE, CPTU) o dinamico (DPH, DPSH) per una profondità almeno pari al volume significativo, **oppure prove di laboratorio** per la definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche;
- Almeno **1 prova geofisica indiretta** (tipo MASW, SASW, ecc.) per il calcolo delle  $V_{s30}$ .

Pertanto è stato approntato uno studio geognostico, costituito dalla realizzazione di **n. 1 Prova Penetrometrica Dinamica Superpesante Standard (DPSH)**, che hanno permesso di riconoscere la sequenza stratigrafica locale ed uno studio geotecnico che ha consentito di parametrizzare geotecnicamente i terreni.

Infine è stata definita la categoria del suolo ai sensi del cap. 3.2.2 delle NTC2018 attraverso l'esecuzione di un'indagine geofisica per valutare le variazioni di velocità delle onde sismiche "S" nel sottosuolo e determinare quindi il **parametro  $V_{s,eq}$** , in ottemperanza alla vigente normativa sismica; nello specifico è stato effettuato un profilo sismico a rifrazione del tipo **M.A.S.W.** (*multichannel analysis of surface waves*).

Per quanto riguarda la verifica di stabilità, come si evince dalle considerazioni a carattere geomorfologico la valutazione non è necessaria.

La presente relazione viene integrata dai seguenti allegati:

- Allegato A : Corografia generale in scala 1/10.000;
- Allegato B : Stralcio P.S.A.I. Autorità Bacino in scala 1/10.000;
- Allegato C : Stralcio MOPS U.A.S. ROMA XVI in scala 1/5.000;
- Allegato D : Planimetria catastale in scala 1/2.000;
- Allegato E : Carta geologica in scala 1/5.000;
- Allegato F : Dati desunti dalle indagini geognostiche e geotecniche effettuate;
  - dati strumentazione utilizzata
  - stratigrafia desunta dal saggio eseguito
  - parametrizzazione geotecnica
- Allegato G : Sequenza stratigrafica locale;
- Allegato H : Sezione litostratigrafica interpretativa;
- Allegato I : Report Indagine geofisica.

## 1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area di interesse è situata nel settore occidentale del territorio comunale di Roma nel Municipio XII (ex XVI); in particolare ci troviamo nel quartiere Portuense alla Sezione n° 374100 della Carta Tecnica Regionale (CTR) della Regione Lazio.

L'area di intervento è situata all'interno del complesso Ospedaliero dell'INMI "Lazzaro Spallanzani" compreso tra Via Portuense a Sud, Via Giacomo Folchi ad Ovest e quindi il complesso Ospedaliero "Forlanini", il complesso Ospedaliero "San Camillo" subito a Nord e la linea ferroviaria Roma-Pisa ad Est parallela a Via Q. Maiorana; nello specifico gli impianti tecnologici dell'ospedale sono situati nel settore più settentrionale del complesso ad immediato ridosso con l'area relativa all'Ospedale "San Camillo", ad una quota altimetrica di circa 41 m sl.m. (cfr. Allegato A)

Più in generale ci troviamo nel settore settentrionale del quartiere "Portuense" a circa 850 m a Nord rispetto il corso del Fiume Tevere, in sponda destra rispetto il suo corso.

## 2. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Questo settore del centro urbano di Roma presenta il tipico aspetto collinare della campagna romana, con dolci rilievi caratterizzati da sommità subpianeggianti ed altezza limitata, separati da valli debolmente incise ma completamente obliterate dalla spinta urbanizzazione, sviluppate secondo la direzione preferenziale Sud-Nord.

L'azione delle acque dilavanti ha costituito l'agente erosivo naturale di maggior importanza, e si è esplicata con un'erosione di tipo prevalentemente lineare che ha dato luogo ad un reticolo dendritico da poco a ben sviluppato.

I terreni di interesse sono posti al margine di un plateau piroclastico leggermente ondulato degradante in direzione Sud con valori originari della pendenza, essenzialmente blandi, compresi tra l'2 ed il 5% ed in un contesto di un rilievo attualmente obliterato dall'elevata antropizzazione ed urbanizzazione.

### 2.1 VARIAZIONI DELLA MORFOLOGIA ORIGINARIA

Questo settore del territorio comunale di Roma ha subito notevoli modifiche, a seguito dell'intensa urbanizzazione, con scavi e reinterri che hanno contribuito a livellare le quote ed a colmare le zone vallive; tali variazioni della originaria morfologia hanno interessato sensibilmente l'area in esame per cui si riscontra una modificazione molto significativa delle pendenze originarie.

In generale sul sito di interesse si osservano valori di terreni di riporto compresi tra 3 e 5 metri (Auct. *U. Ventriglia, 1971*); in particolare l'area in passato è stata oggetto di diverse attività

estrattive a carico dei substrati vulcanoclastici di cui si dirà in seguito per cui è stata massiccia l'azione di livellamento delle quote e riempimento delle cavità.

## 2.2 FRANOSITÀ NATURALE

In generale si può asserire come i terreni esaminati, pur risultando impostati su litologie geo-meccanicamente a grado di competenza eterogeneo, presentano però valori delle pendenze molto blandi, per cui risultano sostanzialmente stabili dal punto di vista geomorfologico; del resto nel corso del rilevamento effettuato non sono state notate né in atto né pregresse fenomenologie geodinamiche.

L'area pertanto è caratterizzata da un *basso grado di franosità*, legato alla naturale evoluzione morfologica dei versanti, soltanto a condizione che non vengano turbati gli assetti attuali i quali sono evidentemente il frutto di un equilibrio che si è andato a costituire nel tempo.

Comunque fatte salve le indicazioni precedenti possono essere esclusi movimenti franosi originati da innalzamenti del livello della falda acquifera o causati da eventi meteorici eccezionali.

Dall'analisi comparata tra il rilievo effettuato per un'area alquanto più vasta rispetto a quella di specifico interesse e le cartografie specifiche quali "Inventario dei fenomeni franosi e situazioni di rischio da frana" (*Autorità di Bacino del Tevere per il Piano di Assetto Idrogeologico – Anno 2006*), emerge che l'area risulta sostanzialmente stabile ed a bassa potenzialità di dissesto, non essendo emersa alcuna fenomenologia in atto o potenziale in un intorno significativo (cfr. Allegato B).

## 2.3 DISTRIBUZIONE DELLE CAVITÀ SOTTERRANEE

Le cavità sotterranee nell'area romana sono rappresentate da:

- cave di prestito
- catacombe
- vuoti di interesse archeologico (tombe, mitrei, cisterne, pozzi e cavità puntuali)

In genere le cave in sotterraneo e le catacombe sono ubicate in corrispondenza di materiali tufacei o pozzolanacei, di buona autoportanza.

I vuoti di interesse archeologico sono concentrati principalmente nel settore orientale dell'area romana, mentre nel settore occidentale sono presenti soprattutto in prossimità dei rilievi di Monte Vaticano e di Monte Gianicolo.

Le emergenze di cavità idrauliche sono situate in corrispondenza delle aree maggiormente urbanizzate già in tempi storici, mentre l'area in esame è caratterizzata da una recente antropizzazione.

Sulla base delle deduzioni effettuate e grazie anche alla presenza di testimonianze dirette riguardo alla presenza di cavità nel sottosuolo del settore in esame, si può affermare che l'area

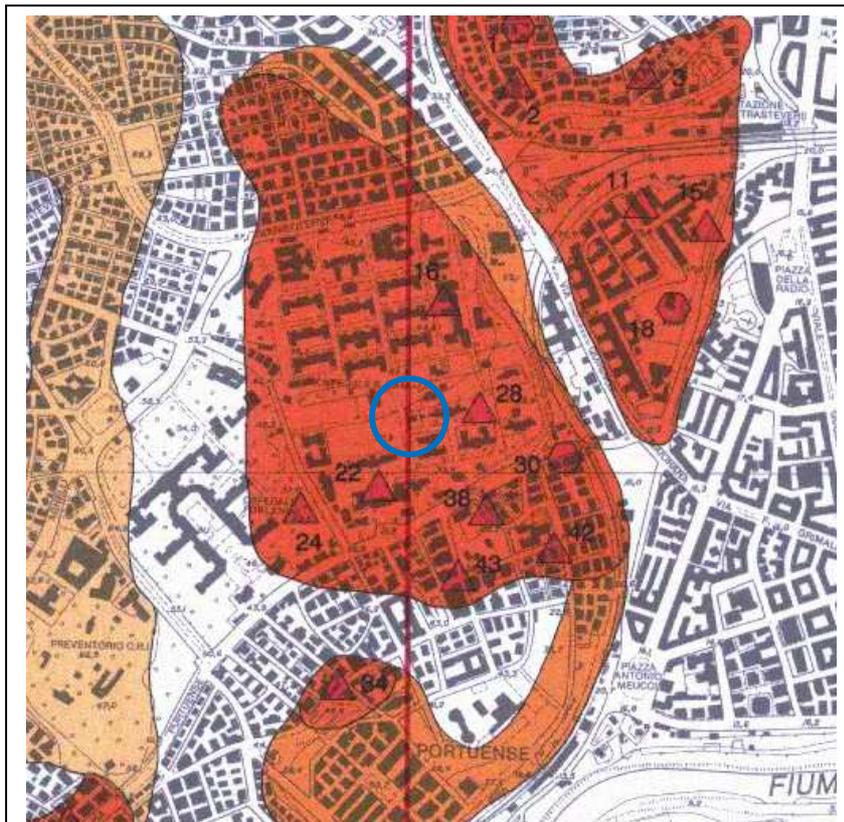


Fig. 1 – Carta delle cavità sotterranee – U. Ventriglia, 2002

nel suo insieme può essere inserita all'interno di una *zona in cui è molto probabile l'esistenza di cavità sotterranee nelle rocce vulcaniche con abbondanti segnalazioni con estensione accertata*, (Auct. U. Ventriglia, 2002- Fig. 1)) anche se nello specifico nell'area di interesse questa evidenza non sia stata riscontrata direttamente.

Comunque per le suddette cavità, spesso riempite con amteriali vulcanolcasitici, sono ben note proprietà autoportanti delle volte, mentre la profondità alle

quali sono state rinvenute le aperture ed il loro sviluppo orizzontale oscillano tra i 9 ed i 14 m di profondità dai p.c. attuali per cui in relazione alle strutture di progetto anche una loro eventuale presenza nell'immediato sottosuolo di interesse non rappresenta un problema in ordine alla stabilità globale.

### 3. CARATTERISTICHE GEOSTRATIGRAFICHE

#### 3.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Dal punto di vista geologico, l'area è caratterizzata dalla presenza di depositi pleistocenici di origine vulcanica riconducibili all'attività dell'Apparato dei Colli Albani o meglio dei suoi coni eccentrici. Il complesso vulcanico dei Colli Albani è caratterizzato dalla presenza di un edificio centrale ad attività mista; l'edificio centrale è prevalentemente costituito da piroclastiti e colate piroclastiche con subordinate effusioni di lave leucititiche provenienti sia dall'apparato centrale che da fratture e centri locali.

Per il Vulcanismo dei Colli Albani si possono individuare varie fasi di attività; in particolare, l'attività del nostro complesso si è manifestata in tre fasi principali, denominate come di seguito indicato, dalla più antica alla più recente (DE RITA et alii, 1988):

- *Prima fase* denominata del Tuscolano-Artemisio (tra 600.000 e 300.000 anni);

- *Seconda fase* denominata dei Campi di Annibale o delle Faete (tra 300.000 e 200.000 anni);
- *Terza fase* denominata idromagmatica finale (tra 200.000 e 20.000 anni).

Nell'area di nostro specifico interesse risulta prevalente la formazione vulcanoclastica nota come Auct. "Successione di Villa Senni" riferibile al litosoma Tuscolano Artemisio del Vulcanismo dei Colli Albani.

In quest'area tale fase si è manifestata con la deposizione di tre colate piroclastiche principali (Auct. DE RITA et alii, 1995) , di seguito distinte, dalla più antica alla più recente, e con la messa in posto di varie colate laviche:

- IIa colata piroclastica": è costituita dalle *Pozzolane rosse o di San Paolo*, piroclastiti pozzolanacee di colore cinereo-violacee, generalmente incoerenti, a tratti addensate. Possono essere presenti colate laviche intercalate.
- IIIa colata piroclastica" : è costituita da un primo livello di tufo semilitoide di colore giallastro denominato *conglomerato giallo* e da un secondo livello di piroclastiti a matrice scoriaceo-pozzolanacea, di taglia sabbiosa grossolana, ben addensate, a luoghi cementate, denominate *pozzolane nere o delle Tre Fontane*. Tale formazione tufacea non affiora nell'area rilevata.
- IVa colata piroclastica: è costituita dall'Unità di Villa Senni, caratterizzata da tre unità piroclastiche principali. L'unità inferiore è costituita da tufo litoide di colore marrone, con scorie giallastre e frequenti inclusi litici centimetrici di aspetto massivo e giacitura per lo più tabulare, detto "*tufo lionato*" Auct. Tale unità affiora in più punti dell'area e costituisce il substrato di riferimento. L'unità intermedia, denominata delle *piroclastiti superiori*, è costituita da piroclastiti a granulometria sabbiosa grossolana, di colore grigio violaceo o grigio rossastro, generalmente da poco a mediamente coerenti, con intercalati livelli pozzolanacei e tufo semilitoide (Auct. "*pozzolane superiori*", ovvero "*pozzolanelle*" ovvero "*pozzolana grigia*".

A seguire nelle porzioni più rilevate affiorano termini continentali fluviali in facies prevalentemente sabbiosa con alternanze di ghiaie, limi, e travertini "**Formazione di Vitinia**-Funicello et alii, 2008), depositatisi quando l'attività vulcanica era assente o molto modesta.

Completano la geologia locale lungo le aree vallive i *Prodotti del dilavamento* interdigeriti ai *depositi alluvionali* recenti ed attuali costituiti da alternanze di depositi a granulometria da limoso-argillosa a sabbioso-limoso ed a grado di consistenza variabile ma in genere da scarso a moderato. Lo spessore di questa formazione varia da pochi decimetri a ridosso dei rilievi sino a 15-20 metri in alcuni punti, dove si alterna anche con livelli torbosi (cfr. Allegato E).

### 3.2 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Relativamente ai terreni oggetto di studio è possibile stilare una sequenza stratigrafica desunta dal rilevamento di superficie e suffragata da diverse indagini (sondaggi e scavi) ben noti in letteratura (cfr. Allegato G).

La sequenza stratigrafica di riferimento è la seguente:

**-da 0 m a < 4 m dal p.c.** *Riporto di natura pozzolanica in genere da poco addensato a moderatamente addensato*

**-da 4 m a 15 m dal p.c.** *Deposito da colata piroclastica, massivo, prevalentemente litoide di colore rosso fulvo Auct. "Tufo lionato"*

**-da 15 m a 35 m dal p.c.** *Piroclastite medio grossolana scoriacea con livelli litoidi "peperino" con decimetrici livelli pomicei, in genere da addensata a cementata (Auct. "Pozzolane rosse")*

Nello specifico l'esecuzione della prova penetrometrica ha dato i seguenti risultati:

#### **P1**

STRATO 1a -da 0,0 m a 1,2 m dal p.c. *Riporto piroclastico rimaneggiato poco addensato*

STRATO 1b -da 1,2 m a 3,3 m dal p.c. *Riporto piroclastico rimaneggiato mediamente addensato*

STRATO 2 -da 3,3 m a 3,9 m dal p.c. *Ignimbrite tufacea molto addensata da semilitoide a litoide (rifiuto strumentale)*

Per il dettaglio si veda l'allegata sequenza stratigrafica interpretativa desunta dalla prova effettuata (cfr. Allegato F).

La sequenza stratigrafica si è interrotta alla profondità raggiunta con le prove sismiche (cfr. Allegato I), ma il rilevamento consente di ritenere che lo spessore delle formazioni vulcanoclastiche del substrato superi abbondantemente i 50 m, come rilevato da alcuni pozzi presenti nella zona.

## **4. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE**

### 4.1 RETE IDROGRAFICA

Dal punto di vista idrologico il sito risulta il bacino è drenato direttamente dal fiume Tevere che corre a circa 850 m a Sud ed a circa 1,2 Km ad Est del sito.

In questo contesto la porzione di territorio esaminata viene facilmente drenata in direzione Sud grazie alla naturale pendenza dei versanti.

#### 4.2 PERMEABILITA' DEI COMPLESSI

I terreni che caratterizzano l'area studiata, da un punto di vista idrogeologico, appartengono al complesso delle vulcaniti (Pleistocene medio-superiore); tale complesso comprende le unità vulcaniche del Distretto dei Colli Albani (*Unità idrogeologica dei Colli Albani*) e del Distretto dei Vulcano Sabatino (*Unità Idrogeologica dei Sabatini*), e le unità sedimentarie sin e post vulcaniche, qualora queste siano direttamente sovrapposte alle vulcaniti.

Il complesso delle vulcaniti contiene falde di notevole importanza nell'economia idrogeologica regionale ed è costituito da depositi piroclastici che mostrano caratteristiche di permeabilità variabili sia in verticale che in orizzontale ma che in generale possono essere considerati mediamente permeabili per porosità e, solo nei litotipi litoidi, localmente, per fessurazione.

Nel sito studiato in particolare, i terreni presentano un tipo di permeabilità mista per fessurazione ("Tufo Lionato") e porosità ("Pozzolane superiori", "Pozzolane inferiori") con valori dei coefficienti di permeabilità in generale da medi a discreti o talvolta elevati.

##### **Complesso piroclastico**

Complesso costituito da tufi pozzolanacei sabbioso limosi ovvero conglomeratici con proietti, scorie e pomici sempre da poco a mediamente cementati a cemento tufaceo argillificato. Presenta spessori superiori ai 50 m; resenta permeabilità da media a modesta per porosità primaria e risulta acquifero in relazione ai livelli a granulometria media.

Le falde più superficiali sono di importanza limitata e di scarsa produttività mentre partecipa al potenziamento dell'acquifero che radicalmente defluisce verso il corso del Fiume Tevere da Ovest.

Si stimano per questo complesso valori di infiltrazione efficace compresi tra 200 e 500 mm/annui.

##### **Complesso vulcanoclastico litoide**

Questo complesso risulta costituito dai depositi da colata piroclastica di tipo ignimbrítico.

Il complesso si presenta da poco a mediamente permeabile per fatturazione e fessurazione secondaria; in generale questo deposito è comunque produttivo e per esso si stima una infiltrazione efficace compresa tra 300 e 500 mm/annui.

#### 4.3 SCHEMI IDROGEOLOGICI

All'interno delle piroclastiti della sequenza stratigrafica locale è rinvenibile una circolazione di interesse regionale, oggetto di numerosi emungimenti mediante pozzi a scopo irriguo e quindi dotata di discrete potenzialità legate agli estesi bacini di ricarica individuabili nelle formazioni

vulcaniche sabatine nordoccidentali intercalate ai lembi arrivate dell'attività laziale invece molto ben più sviluppata più ad Est e SudEst lungo la cinta esterna dei Colli Albani.

La circolazione più generale presenta una direzione di deflusso all'incirca NordOvest-SudEst in direzione del Fiume Tevere ed isopieze intorno a 20/25 m s.l.m. nel settore di nostro interesse; nell'area di specifico interesse l'esecuzione di alcuni pozzi a scopo irriguo hanno confermato la profondità della piezometrica a quote comprese tra 15 e 20 metri dal p.c..

## 5. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DEL SITO

Nello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 (cfr. Allegato C) redatto ai sensi della Delib. G.R. 545/2010 l'area di intervento ricade in una ampia fascia in cui siono prevalente le attività sepolte compresa però in una Zona Stabile ma Suscettibile di Amplificazione Sismica Locale (**ZSA4**) relativa quindi alle aree impostate su terreni vulcanoclastici per spessori considerevoli (sino a 40 m).

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La determinazione è stata eseguita secondo l'approccio previsto dal § 3.2.2 delle NTC; in particolare relativamente al punto 3.2.2 delle NTC è stata eseguita un'indagine di tipo MASW dalla quale è emerso un valore delle  $V_{s,eq}$  di **694 m/sec** (cfr. Allegato I) alle profondità di imposta delle fondazioni, per cui è stato possibile considerare il sottosuolo di interesse appartenente alla categoria di **suolo tipo "B"**:

*"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s."*

Classificazione delle condizioni topografiche secondo quanto previsto nelle tabelle 3.2.IV e 3.2.VI delle NTC: la superficie topografica, poiché il sito è ubicato in un'area poco pendente può essere classificata come appartenente alla

### **categoria "T1":**

*"Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ "*

#### 5.1 EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LOCALE

Il coefficiente di Amplificazione Topografica  $S_T$  potrà essere assunto pari a **1,0**, mentre per quanto riguarda gli effetti al sito, la Pericolosità Sismica di Riferimento i valori di  $a_g$  riscontrati sono compresi tra 0.100 – 0.125 espressi in termini di massima accelerazione al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi come definita al punto 3.2.1 del D.M. 14/09/2005.

Si ricorda infine come l'area di intervento ricade in un **IIIa zona sismica** sottozona **A** (Delib. G.R. Lazio n. 387 del 22/05/2009 attuativa dell'Ord.P.C.M. 28/04/2006 n. 3519).

## 6. GEOTECNICA

### 6.1 MODELLO GEOLOGICO

L'esecuzione delle indagini geognostiche ha permesso di ottenere alcuni risultati. In particolare è risultato evidente quanto segue:

- le fondazioni relative al vano scala di progetto verranno poste ad una profondità di circa 5 m dal p.c., potendo quindi superare la copertura di terreno di riporto (Auct. *Riporto storico dell'area romana*) il quale sebbene eterogeneo per composizione granulometrica si presenta abbastanza omogeneo per natura (essenzialmente vulcanoclastica pozzolanacea), per comportamento geomeccanico (mediamente addensato) e per distribuzione areale nell'area indagata (similarità nel corso di diverse indagini eseguite nell'area);
- le fondazioni di progetto si attesteranno quindi all'interno di un litotipo tufaceo (Auct. *Tufo lionato*) a comportamento geomeccanico da litoide a semilitoide.

### 6.2 DESCRIZIONE TECNICA DELLE METODOLOGIE DI INDAGINE

I terreni in esame sono stati indagati con delle prove penetrometriche eseguite con un penetrometro dinamico modello DPSH73SM della Geo Deep Drill srl (tipo superpesante DPSH) avente le caratteristiche riportate in allegato (cfr. Allegato F).

La prova Penetrometrica Dinamica Standard (*DPSH*), con o senza rivestimento laterale, consiste nell'infiggere una punta conica sormontata da una batteria di aste nel terreno, utilizzando una massa battente (maglio) che cade liberamente da un'altezza fissa alla velocità costante di 20÷25 battute al minuto. Durante la prova, ogni 30 cm di avanzamento si rileva il numero di colpi N necessari all'affondamento della punta; per ogni asta si valuta la verticalità della batteria d'aste e l'attrito laterale lungo la stessa (nelle prove senza rivestimento).

Nelle prove con rivestimento viene invece misurato anche il numero di colpi necessario all'avanzamento delle aste cave (*Nriv*), che segue quello della punta con un intervallo di 30 cm.

La prova viene interrotta allorquando si raggiunge un numero di colpi  $N > 100$  (rifiuto). Anche l'infissione del rivestimento viene interrotta per  $Nriv > 100$ : in tal caso l'eventuale proseguimento della prova viene eseguita valutando la presenza o meno di attrito sulle aste di perforazione. Analogamente la prova viene interrotta qualora si abbia un blocco delle aste per azione dell'attrito o di una deviazione dalla verticalità (nel caso di prova senza rivestimento); nel caso di un blocco a seguito di penetrazione di materiale nell'intercapedine tra aste e rivestimento; infine nel caso di un blocco a causa della deviazione della tubazione di rivestimento.

Il terreno oppone una resistenza dinamica alla penetrazione della punta conica infissa, funzione diretta delle proprietà caratteristiche fisico-meccaniche; tali caratteristiche sono funzione delle dimensione medie dei granuli e dello stato di addensamento relativo per i terreni incoerenti quali ghiaie, sabbie, ovvero del grado di consistenza e del tasso di umidità naturale per i terreni coesivi. E' possibile quindi valutare in via indiretta, tutti i parametri di resistenza limite specifica dei livelli attraversati, tramite la resistenza opposta alla penetrazione della punta, espressa in numero di colpi della massa battente necessari per ottenere un approfondimento di 30 cm.

Per risalire ai parametri geomeccanici dei terreni è necessario correlare i dati derivanti dalla prova eseguita con il penetrometro superpesante, con la prova dinamica SPT, i cui risultati sono stati ampiamente sperimentati e correlati alle caratteristiche geomeccaniche dei terreni testati.

Nel caso dei litotipi evidenziati nella prova penetrometrica eseguita, il rapporto di correlazione tra il numero di colpi con il penetrometro superpesante e quello con l'SPT è stato essere assunto pari a **1,183 NDPM = N<sub>spt</sub>** così come previsto dal programma di interpretazione adottato (*Dynamic probing V 2018.25.5.854 - Licenza n. 1781 GeoStru spa Software*).

Convertiti i valori in N<sub>spt</sub>, si può risalire alla valutazione di alcuni parametri geomeccanici, mediante una casistica internazionale nota ed ampiamente comprovata.

### 6.3 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Dall'interpretazione dei dati scaturiti dalle esecuzione delle indagini è stato possibile riscontrare quanto segue:

- per il litotipo tufaceo inalterato sono ben note le proprietà geotecniche con valori dei parametri che determinano limiti di resistenza ai carichi di tipo infrastrutturale ben al di sopra delle normali imposizioni progettuali;
- possono essere esclusi cedimenti fondazionali differenziali stante la relativa omogeneità orizzontale del livello litotecnico riscontrato mentre possono essere esclusi cedimenti assoluti in virtù della bassissima compressibilità del litotipo di riferimento;
- non sono stati riscontrati livelli acquiferi nel sottosuolo indagato.

Per quanto concerne le opere di fondazione possono assumersi i valori dei parametri geotecnici finalizzati alla valutazione della portanza desunti dalla letteratura e normalmente utilizzati nella pratica geotecnica:

#### Auct. Tufo lionato

- *Angolo di resistenza al taglio ( $\Phi$ ) = 35°*
- *Modulo di Young ( $E_y$ ) = 25 Mpa*
- *Modulo Edometrico ( $E_{ed}$ ) = 10 Mpa*

- *Peso unità di volume ( $\gamma_{mat}$ ) = 22 KN/m<sup>3</sup>*
- *Peso unità di volume saturo ( $\gamma_{sat}$ ) = 22 KN/m<sup>3</sup>*
- *Modulo di Poisson ( $\nu$ ) = 0,3*
- *Modulo di deformazione a taglio dinamico ( $G$ ) = 180 Mpa*
- *Modulo di reazione ( $K_o$ ) = 60 MN/m<sup>3</sup>*
- *Coesione ( $c'$ ) = 50 Kpa*

Per quanto riguarda i terreni che costituiscono il terrapieno circostante la vasca antincendio potranno definirsi i seguenti valori dei parametri geotecnici desunti dalla Prova Penetrometrica n. 1 (**P1**) e riferibili allo **Strato Geotecnico 1a** (cfr. § 3.2):

Riporto eterogeneo rimaneggiato, poco addensato

SPT min = 10,72

- *Angolo di resistenza al taglio ( $\Phi$ ) = 27,68°*
- *Modulo di Young ( $E_y$ ) = 8,41 Mpa*
- *Modulo Edometrico ( $E_{ed}$ ) = 4,85 Mpa*
- *Peso unità di volume ( $\gamma_{mat}$ ) = 14,58 KN/m<sup>3</sup>*
- *Peso unità di volume saturo ( $\gamma_{sat}$ ) = 18,88 KN/m<sup>3</sup>*
- *Modulo di Poisson ( $\nu$ ) = 0,33*
- *Modulo di deformazione a taglio dinamico ( $G$ ) = 59,27 Mpa*
- *Modulo di reazione ( $K_o$ ) = 22,17 MN/m<sup>3</sup>*
- *Resistenza di Punta ( $Q_c$ ) = 2,10 Mpa*

dati di letteratura

- *coesione ( $c'$ ) = 5 Kpa*

#### 6.4 MODELLO GEOTECNICO

Dai dati riportati precedentemente, è possibile ricavare tutte le informazioni necessarie per poter determinare i valori necessari alla stesura delle varie verifiche che la normativa prevede per il complesso struttura-terreno, tra cui la verifica allo stato limite ultimo in cui deve essere stimata la capacità portante.

Sulla base dei valori dei parametri geotecnici riportati opportunamente corretti secondo quanto definito da Terzaghi (riduzione della coesione a 2/3 e la tangente dell'angolo di resistenza a taglio a  $0,67 \cdot \tan(\phi)$ ) e considerati caratteristici quelli nominali trovandoci nelle condizioni previste al punto 6.2.2 delle NTC e della Circolare per fondazioni superficiali che interessano volumi significativi di terreno, nell'ipotesi di fondazioni nastriformi superficiali incassate al minimo (**D**) 0,5 m, si stima un valore di resistenza di progetto (**Rd**) non inferiore a 300 KN/m<sup>2</sup> secondo l'Approccio 2 con verifica in condizioni drenate, condizione che meglio risponde a comportamento

geomeccanico atteso per le litologie riscontrate ed attestando le strutture all'interno dello Strato Geotecnico n. 2.

Per quanto riguarda la verifica agli stato limite ultimo la capacità portante della struttura fondazione-terreno è stata valutata sulla base delle formule normalmente in uso in ambito geotecnico sulla base dei parametri dianzi definiti.

## **7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

Da quanto è emerso dall'indagine geomorfologica, idrogeologica, geotecnica e geofisica eseguita sull'area di interesse, si possono trarre le seguenti considerazioni:

-in ottemperanza all'Allegato C del Regolamento Sismico regionale n. 14/2016 si precisa quanto segue:

### **TIPOLOGIA OPERA**

**Classe d'Uso 2** (D.M. 17/01/2018 - Delib. G.R. 387/2009)

**Zona Sismica III Sottozona A** (Delib. G.R. 387/2009)

**LIVELLO DI VULNERABILITA' DELL'OPERA:** BASSO

-il versante su cui si impostano i terreni in esame di presenta geomorfologicamente stabile ed a bassa potenzialità di dissesto;

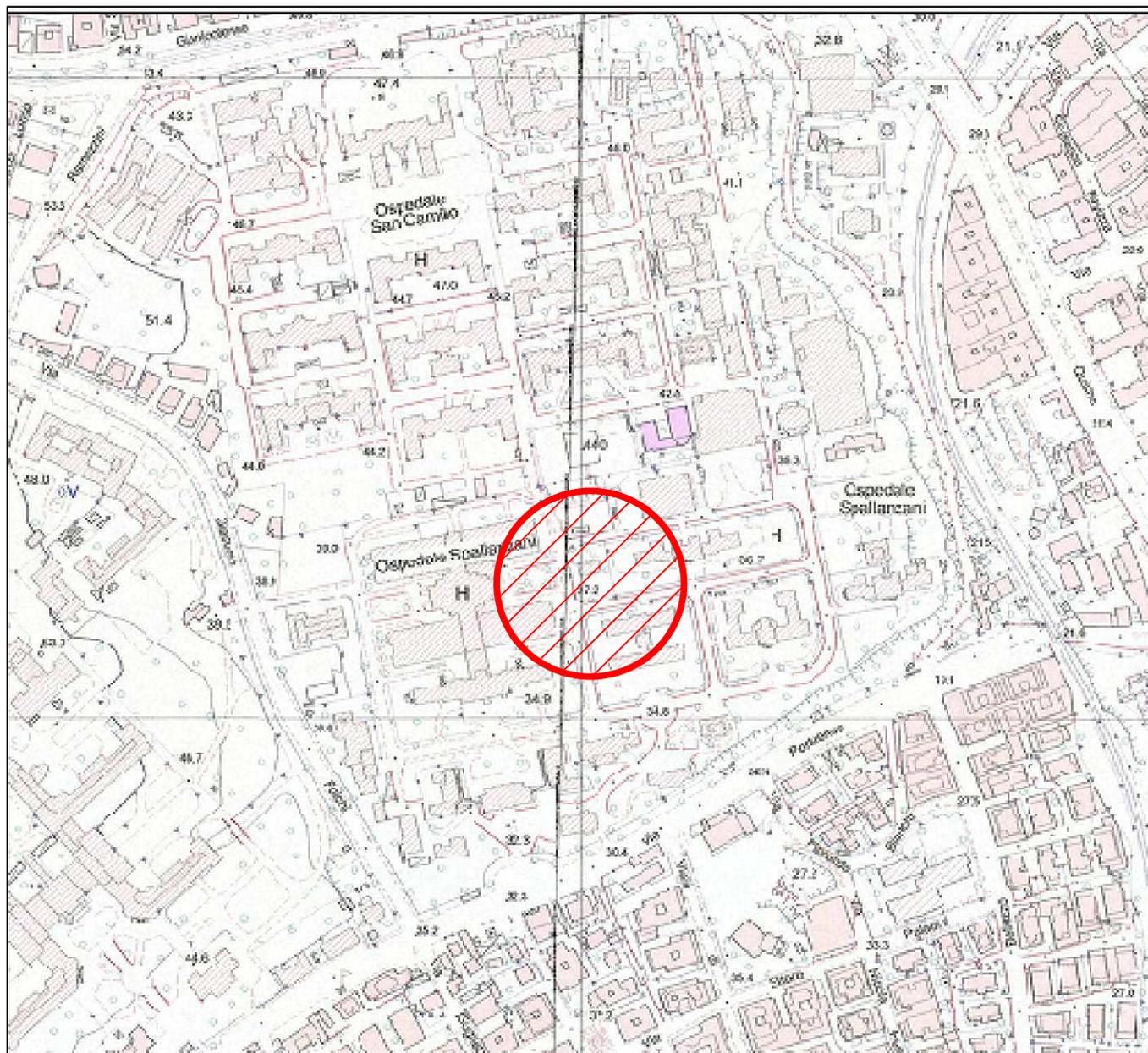
- possono escludersi interazioni tra le opere di fondazione e livelli acquiferi;

-i terreni che costituiscono il sottosuolo dell'area si presentano idonei dal punto di vista geotecnico a sopportare i carichi di progetto;

- sulla base di indagini dirette eseguite in situ è stato ottenuto un profilo di **suolo di tipo B** mentre il coefficiente di Amplificazione Topografica **S<sub>T</sub>** può essere assunto pari a **1,0** essendo emersa una categoria topografica del tipo **T1**.

Alatri, Febbraio 2019

Dr. Geologo Marco Evangelisti  
Ordine dei Geologi del Lazio  
A.P. 952



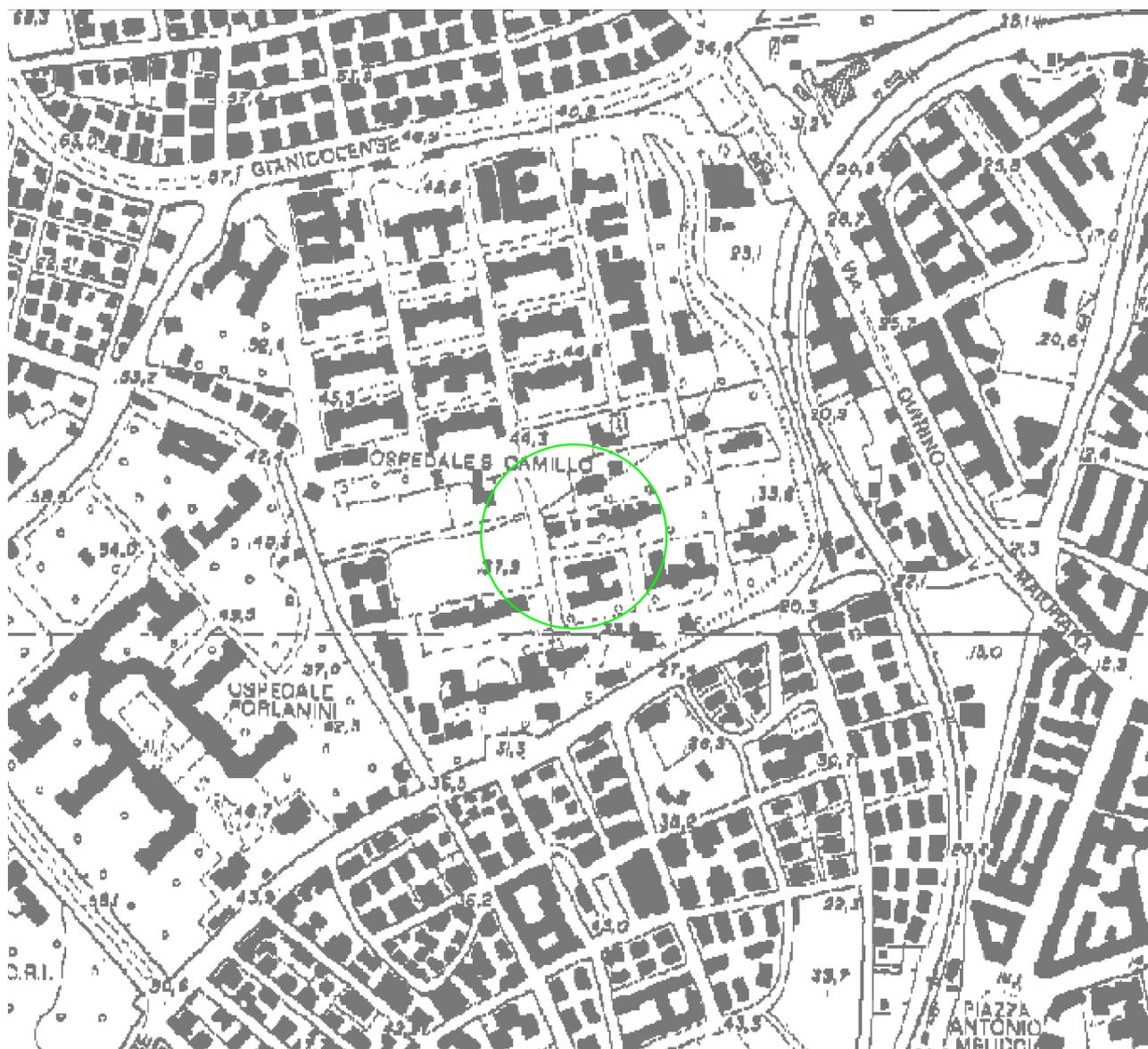
ROMA CAPITALE  
Municipio XII (ex XVI)

COROGRAFIA GENERALE  
scala 1/5.000

Carta Tecnica Regionale Ediz. 2005



Area di interesse



## Legenda

### Inventario dei fenomeni franosi

fenomeno attivo	fenomeno quiescente	fenomeno inattivo*	fenomeno presunto	
				frana per crollo o ribaltamento
				frana per scivolamento
				frana per colamento
				frana complessa
				area con franosità diffusa
				area interessata da deformazioni gravitative profonde (DGPV)
				area interessata da deformazioni superficiali lente e/o soliflusso
				falda e/o cono di detrito
				debris flow (colata di detrito)



Autorità di Bacino del Fiume Tevere

via Bachelet, 12 - 00185 - ROMA - 06492491 - www.ablevere.it

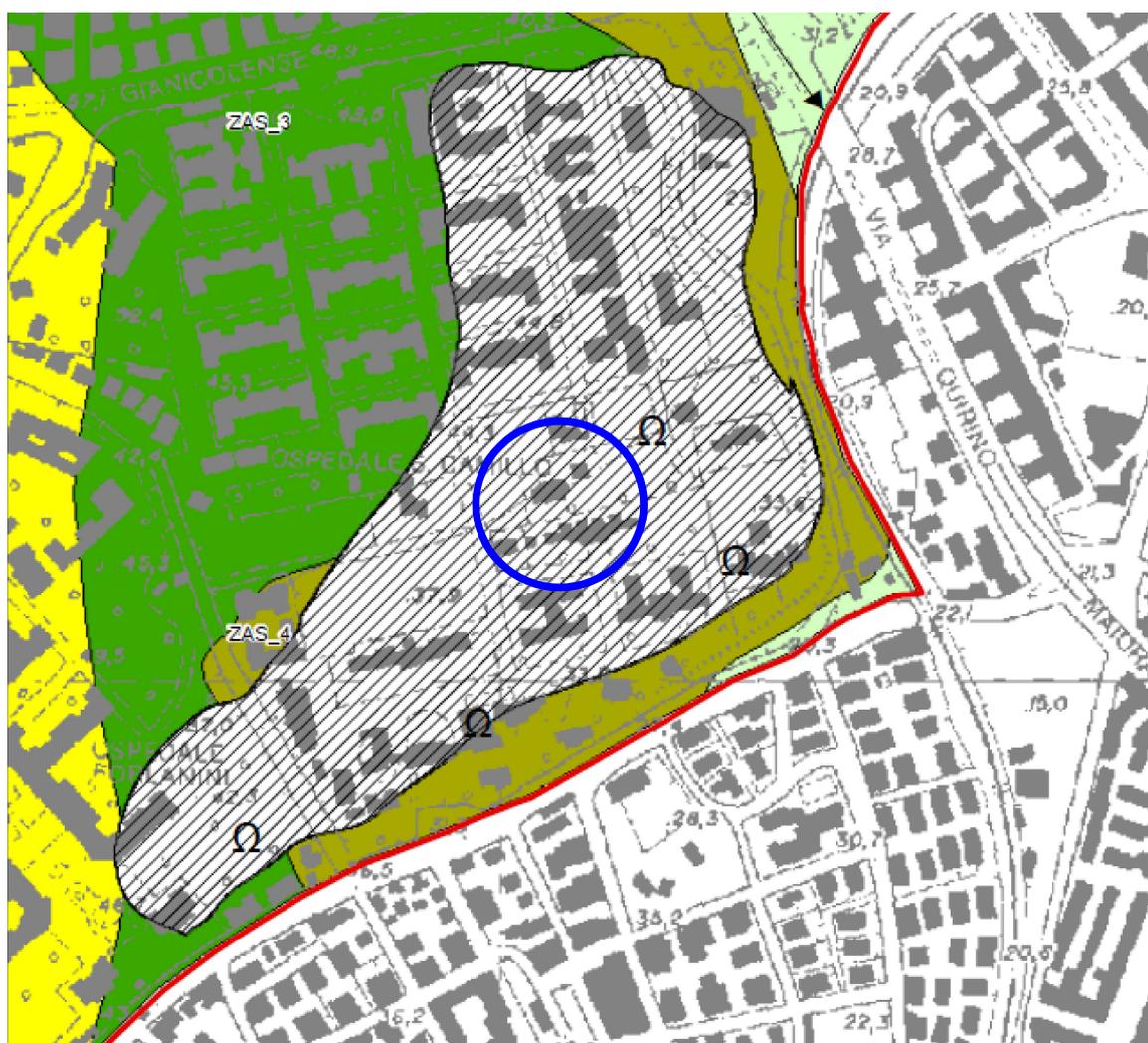
Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico

### Inventario dei fenomeni franosi e situazioni di rischio da frana

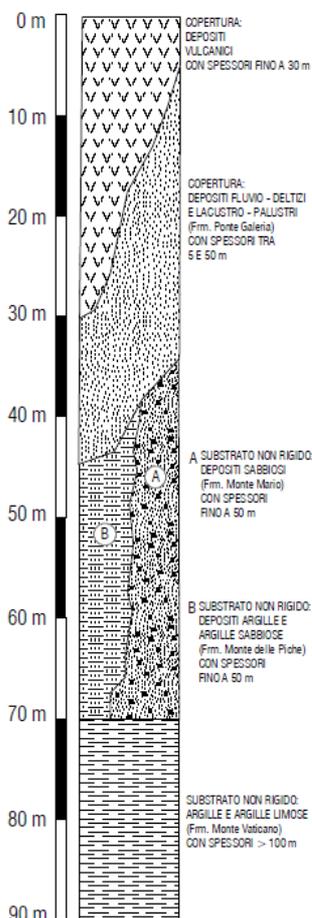
scala 1:10.000

### TAVOLA n. 22

fenomeno attivo	fenomeno quiescente	fenomeno inattivo*	fenomeno presunto	
				area a calanchi o in erosione
				frana presunta
				orlo di scarpata di frana
				frana non cartografabile



ZAS 4



## CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

**Livello 1 di MS  
del Municipio XVI  
Comune di Roma**

Scala 1:10.000 (base cartografica CTR 1:10.000)

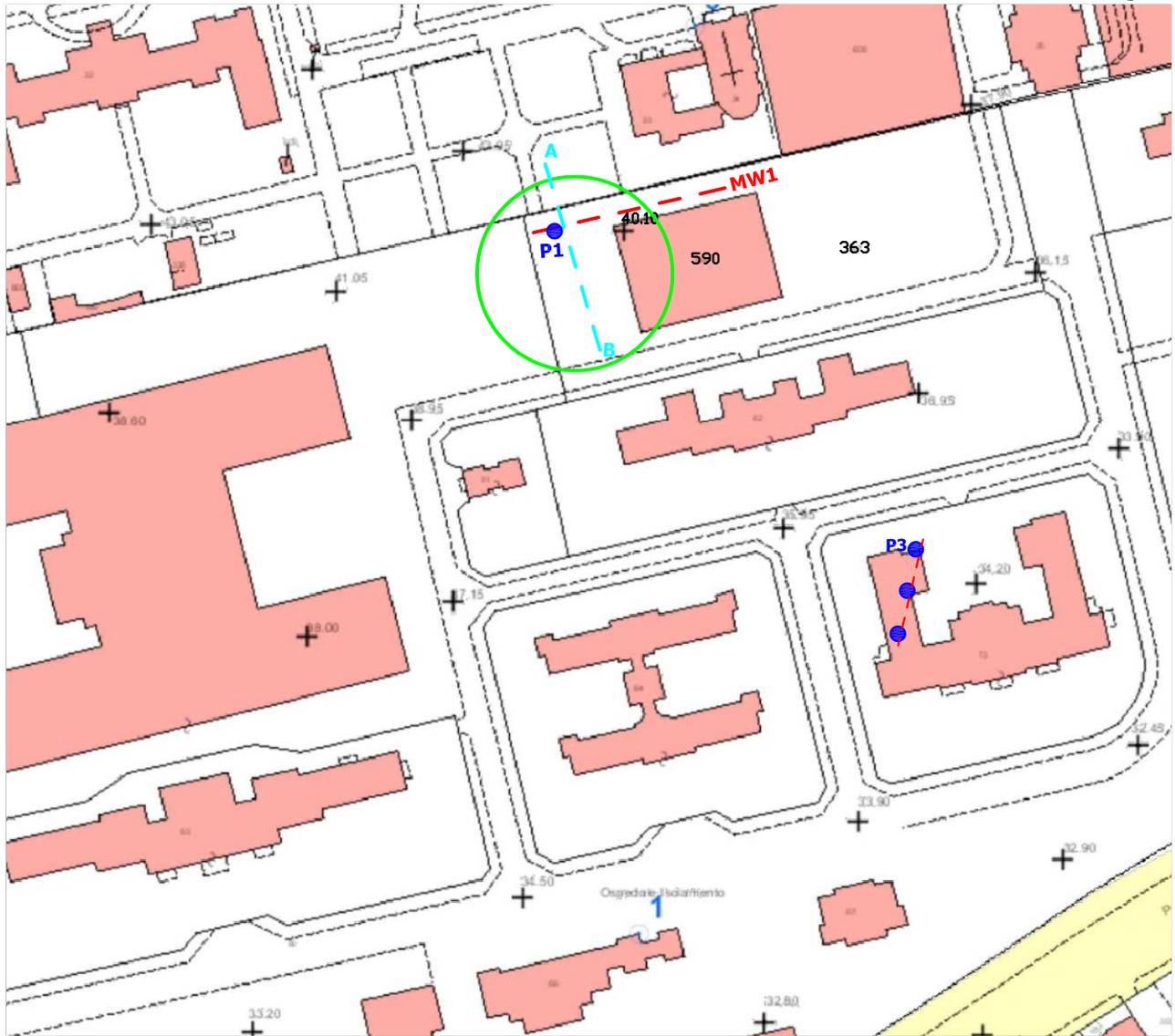
$\Omega$  Cavità sepolta isolata

$\blacktriangleright\blacktriangleright\blacktriangleright$  Valle sepolta stretta ( $C > 0.25$ )

Area con cavità sepolte



ZAS 4: Comprende le aree caratterizzate da depositi piroclastici di copertura riferibili all'attività del distretto vulcanico Sabatino con spessori fino a 20/25 m poggianti sui depositi sedimentari del Plio-Pleistocene. I profili di velocità ricavate dai dati bibliografici di prove MASW evidenziano velocità crescenti con la profondità ed una  $V_s 30$  media di circa 400 m/s. Le misure di HVSR documentano una forte variabilità dei picchi di frequenza con valori compresi tra 3 e 20 Hz poco caratteristici e scarsamente significativi.

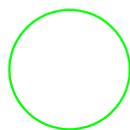


ROMA CAPITALE  
Municipio XII (ex XVI)

PLANIMETRIA CATASTALE  
scala 1/2.000

Stralcio Foglio n. 462 Allegato C Mappale n. 363-590

LEGENDA



Area di intervento



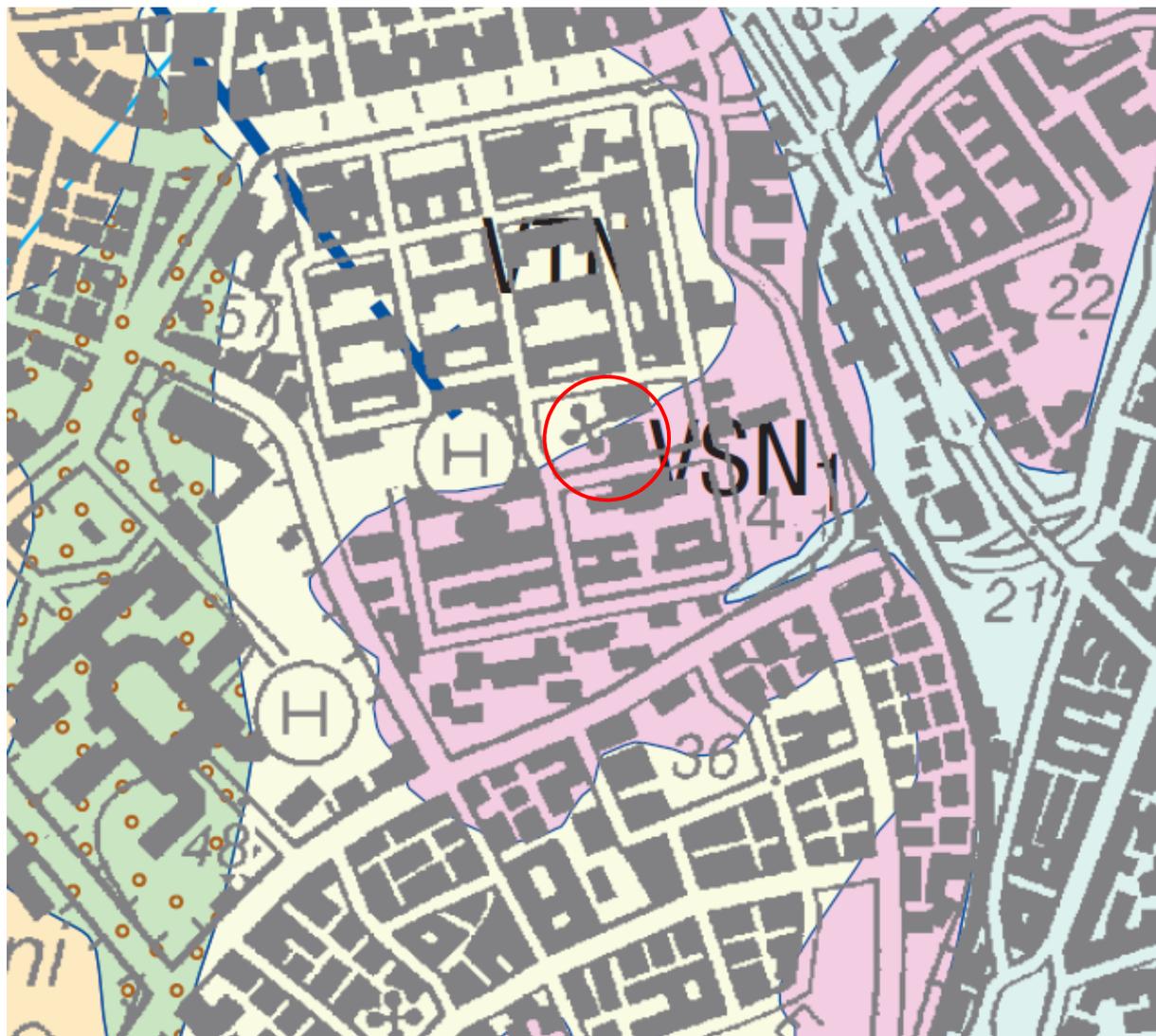
Ubicazione saggio geognostico



Traccia Profilo MASW



Traccia sezione litostratigrafica interpretativa



CARTA GEOLOGICA DEL COMUNE DI ROMA  
 scala nd  
 (Funicello, Giordano e Mattei, 2008)

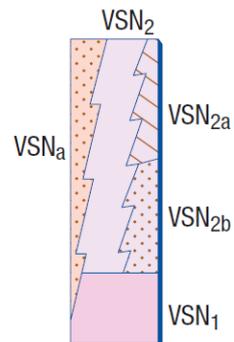


**FORMAZIONE DI VITINIA**

Sabbie fluviali, ghiaie e limi con travertini. *PLEISTOCENE MEDIO p.p.*

**VITINIA FORMATION.**

*Fluvial conglomerate, sand and silt, travertine. MIDDLE PLEISTOCENE p.p.*



**FORMAZIONE DI VILLA SENNI**

**Pozzolanelle (VSN<sub>2</sub>).** Ignimbrite pozzolanacea da tefri-fonolitica a fono-tefritica; (357±2ka).

**litofacies Occhio di Pesce (VSN<sub>2a</sub>).** Facies di VSN<sub>2</sub> con > 30% di cristalli di leucite.

**Breccia di Colle Fumone (VSN<sub>2b</sub>).** Breccia co-ignimbratica.

**Tufo Lionato (VSN<sub>1</sub>).** Ignimbrite litoide, da K-foiditica a tefri-fonolitica.

**litofacies ghiaioso-sabbiosa (VSN<sub>a</sub>).** Ceneri e scorie rimaneggiate.  
*PLEISTOCENE MEDIO p.p.*

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: IRCCS "Spallanzani"  
Descrizione: Adeguamento Impianto Antincendio  
Località: ROMA (XII)

### Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: SCPT (DPSH73 SM)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	73 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	60 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	5,5 Kg/m
Profondità 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 °

**RESPONSABILE ED ELABORAZIONE**  
**dott. Marco Evangelisti**

**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  $A=10 \text{ cm}^2$  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  $A=10 \text{ cm}^2$  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 ( $\alpha = 60^\circ-90^\circ$ )

di diametro  $D = 50.5$  mm, area base cono  $A = 20$  cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

### Correlazione con Nspt

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 Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. 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.
- Haltezza 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 $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$  è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{\frac{Pa}{\sigma_{v0}}} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa} \quad (\text{Liao e Whitman 1986})$$

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

- ER/60 rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
- $C_S$  parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
- $C_d$  funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
- $C_r$  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 resistenze 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**

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

$N_{spt}$  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  $Dr$  %.
- 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 NATIONALE 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  $Dr$  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  $Dr$  % 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 Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

**Modulo Di Young ( $E_v$ )**

- 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
- Buisman-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 ( $K_o$ )**

- 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 , (Cu-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con  $N_c = 20$  e  $Q_c/N_{spt} = 2$ .
- Schmertmann (1975), Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (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/cmq)-, 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.

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1****TERRENI INCOERENTI**

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Riporto poco add.	10,72	0.00-1,20	Shioi-Fukuni 1982	27,68
Riporto med. add.	17,53	1,20-3,30	Shioi-Fukuni 1982	31,22
Tufo molto add.	61,05	3,30-3,90	Shioi-Fukuni 1982	45,26

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Mpa)
Riporto poco add.	10,72	0.00-1,20	Schmertmann	8,41
Riporto med. add.	17,53	1,20-3,30	Schmertmann	13,75
Tufo molto add.	61,05	3,30-3,90	Schmertmann	47,90

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Mpa)
Riporto poco add.	10,72	0.00-1,20	Begemann 1974	4,85
Riporto med. add.	17,53	1,20-3,30	Begemann 1974	6,22
Tufo molto add.	61,05	3,30-3,90	Begemann 1974	14,99

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Riporto poco add.	10,72	0.00-1,20	Terzaghi-Peck	14,58
Riporto med. add.	17,53	1,20-3,30	Terzaghi-Peck	15,38
Tufo molto add.	61,05	3,30-3,90	Terzaghi-Peck	18,74

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
Riporto poco add.	10,72	0.00-1,20	Terzaghi-Peck	18,88
Riporto med. add.	17,53	1,20-3,30	Terzaghi-Peck	19,38
Tufo molto add.	61,05	3,30-3,90	Terzaghi-Peck	21,45

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Poisson
Riporto poco add.	10,72	0.00-1,20	(A.G.I.)	0,33
Riporto med. add.	17,53	1,20-3,30	(A.G.I.)	0,32
Tufo molto add.	61,05	3,30-3,90	(A.G.I.)	0,23

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	G (Mpa)
Riporto poco add.	10,72	0.00-1,20	Ohsaki	59,27
Riporto med. add.	17,53	1,20-3,30	Ohsaki	94,10
Tufo molto add.	61,05	3,30-3,90	Ohsaki	304,07

Coefficiente spinta a Riposo  $K_0 = \sigma_H / P_0$ 

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	$K_0$
Riporto poco add.	10,72	0.00-1,20	Navfac 1971-1982	2,26
Riporto med. add.	17,53	1,20-3,30	Navfac 1971-1982	3,60
Tufo molto add.	61,05	3,30-3,90	Navfac 1971-1982	10,15

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Mpa)
Riporto poco add.	10,72	0.00-1,20	Robertson 1983	2,10
Riporto med. add.	17,53	1,20-3,30	Robertson 1983	3,44
Tufo molto add.	61,05	3,30-3,90	Robertson 1983	11,97

IMMAGINI DELL'INDAGINE EFFETTUATA

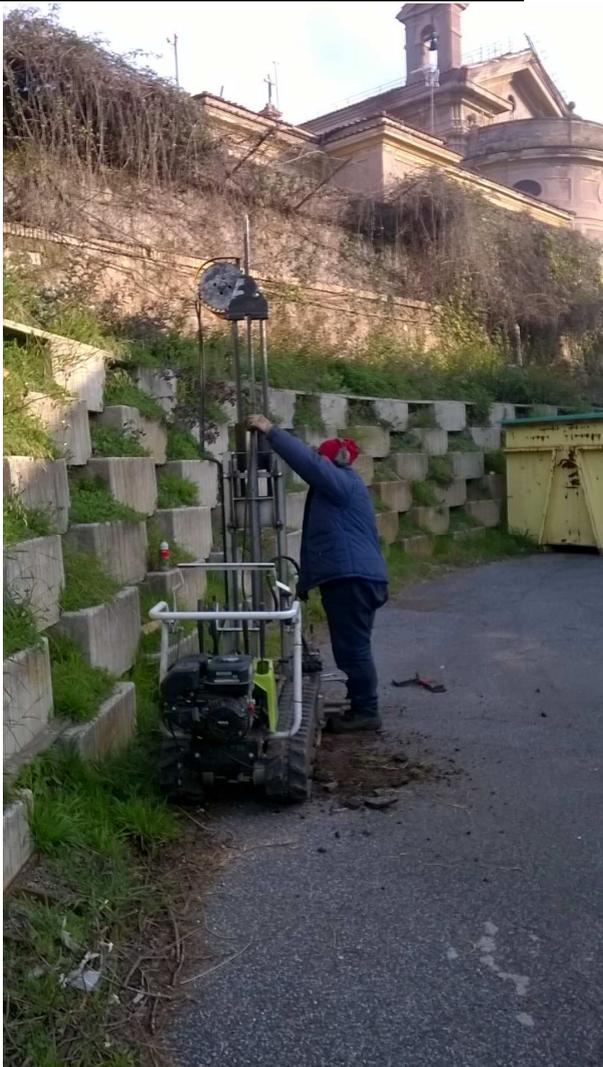
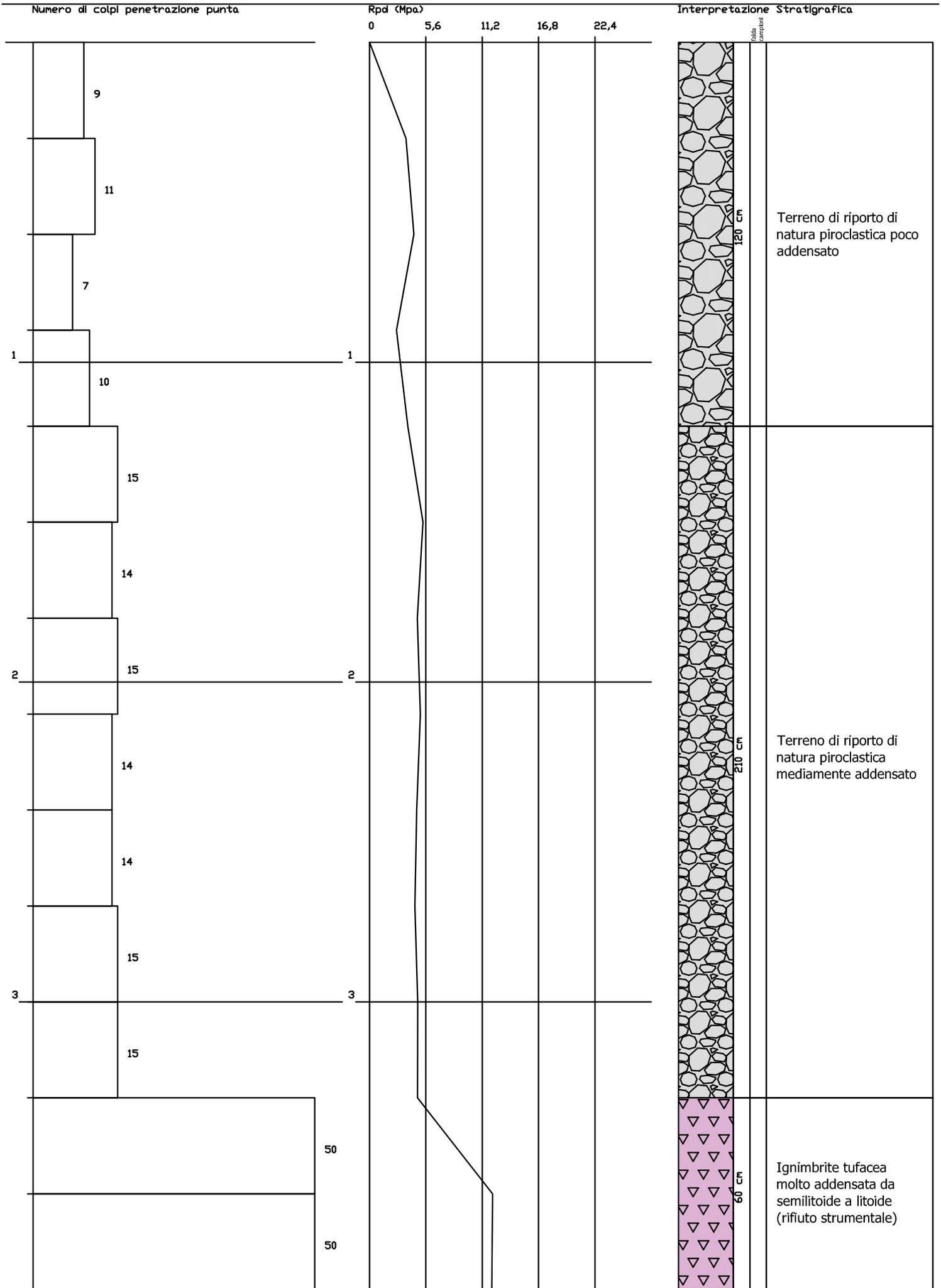


Foto n. 1 – DPSH n. 1

Committente: INMI "Lazzaro Spallanzani"  
 Cantiere: Via Portuense, 292  
 Località: ROMA (XII)

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P1  
 Strumento utilizzato DPSH73SM  
 DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

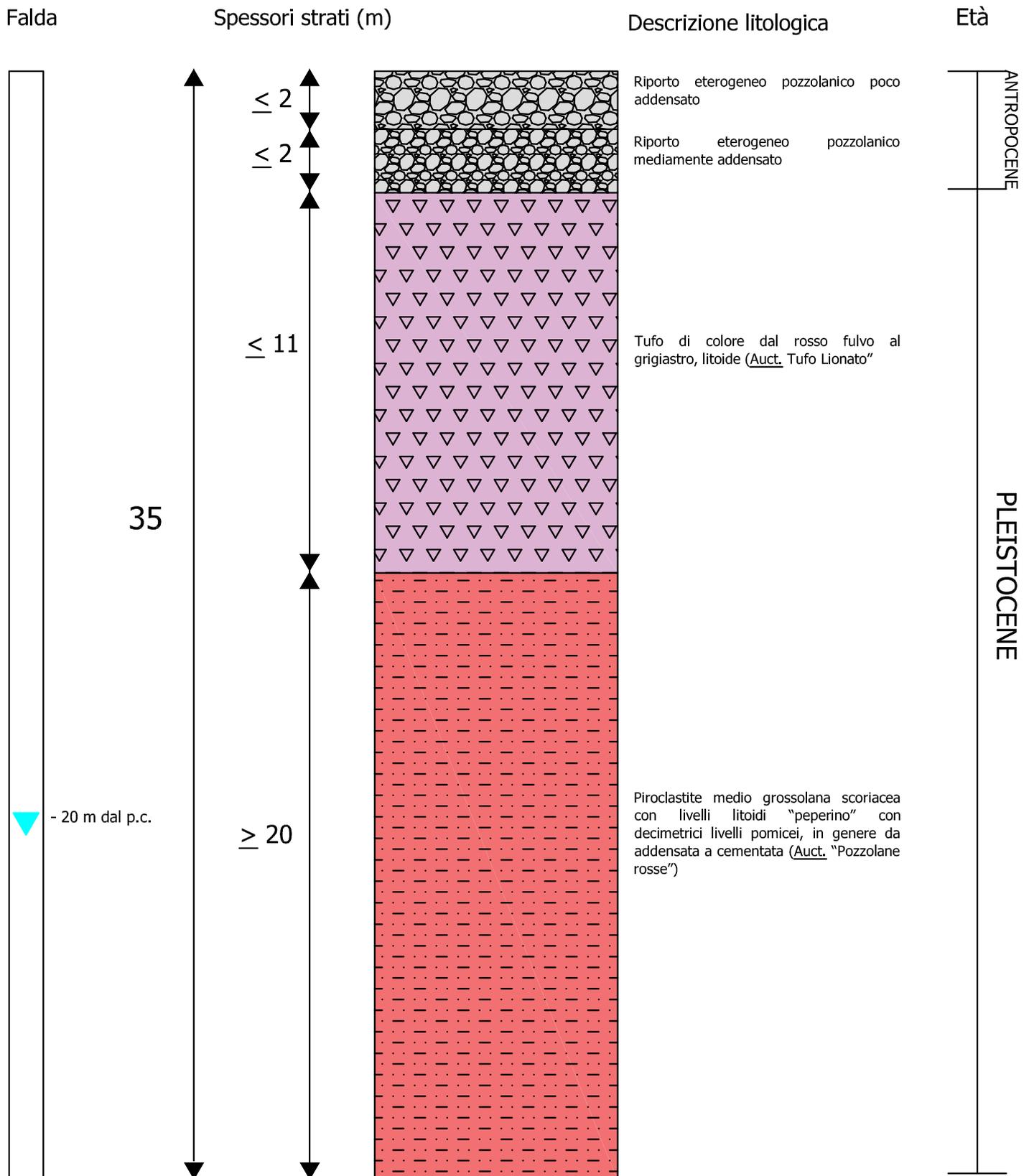


# SEQUENZA STRATIGRAFICA LOCALE

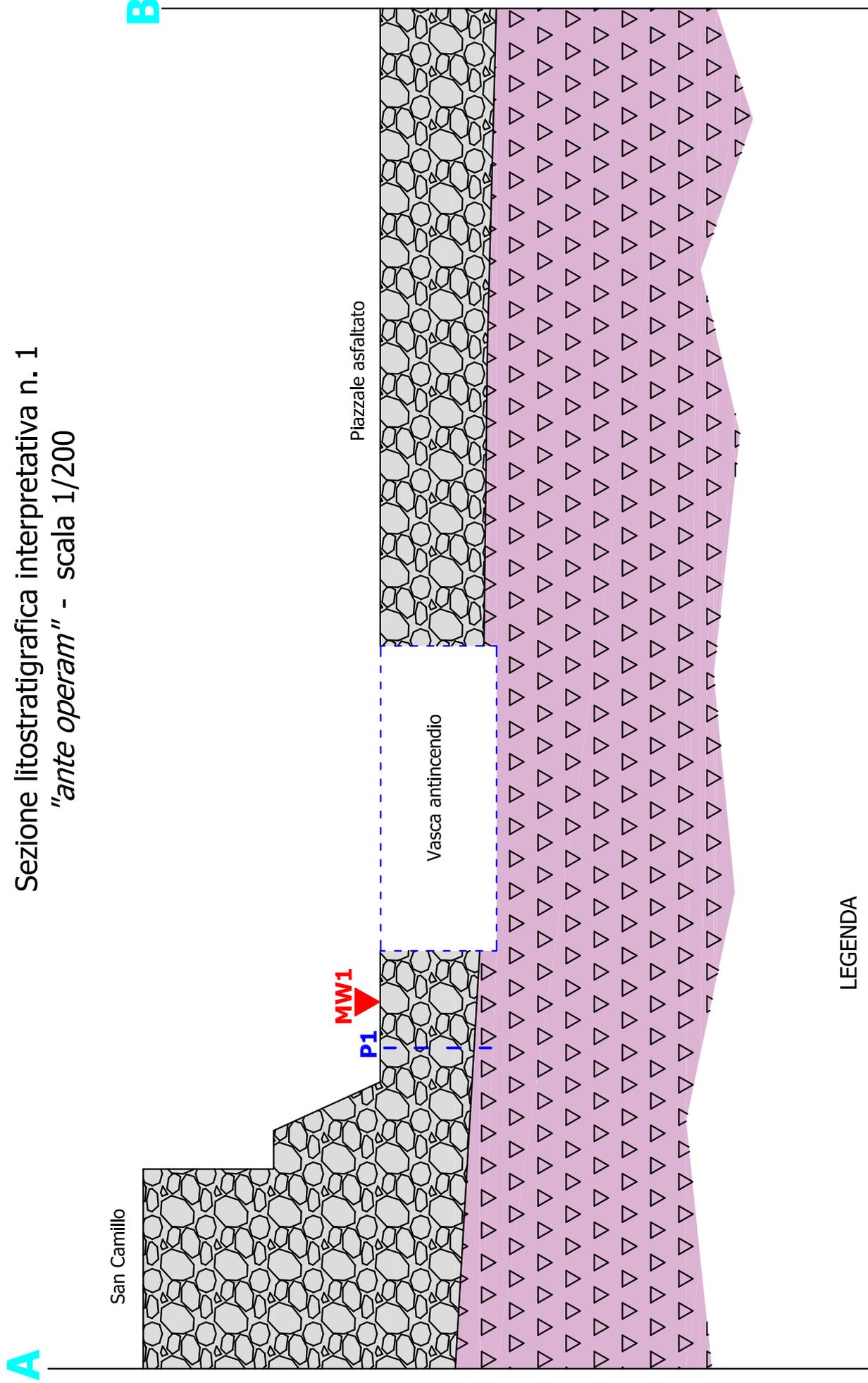
**Ditta:** INMI "Lazzaro Spallanzani"

**Riferimento:** Adeguamento Impianto antincendio

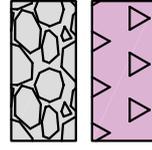
**Località:** Via Portuense, 292 - ROMA CAPITALE (XII)



Sezione litostratigrafica interpretativa n. 1  
"ante operam" - scala 1/200



LEGENDA



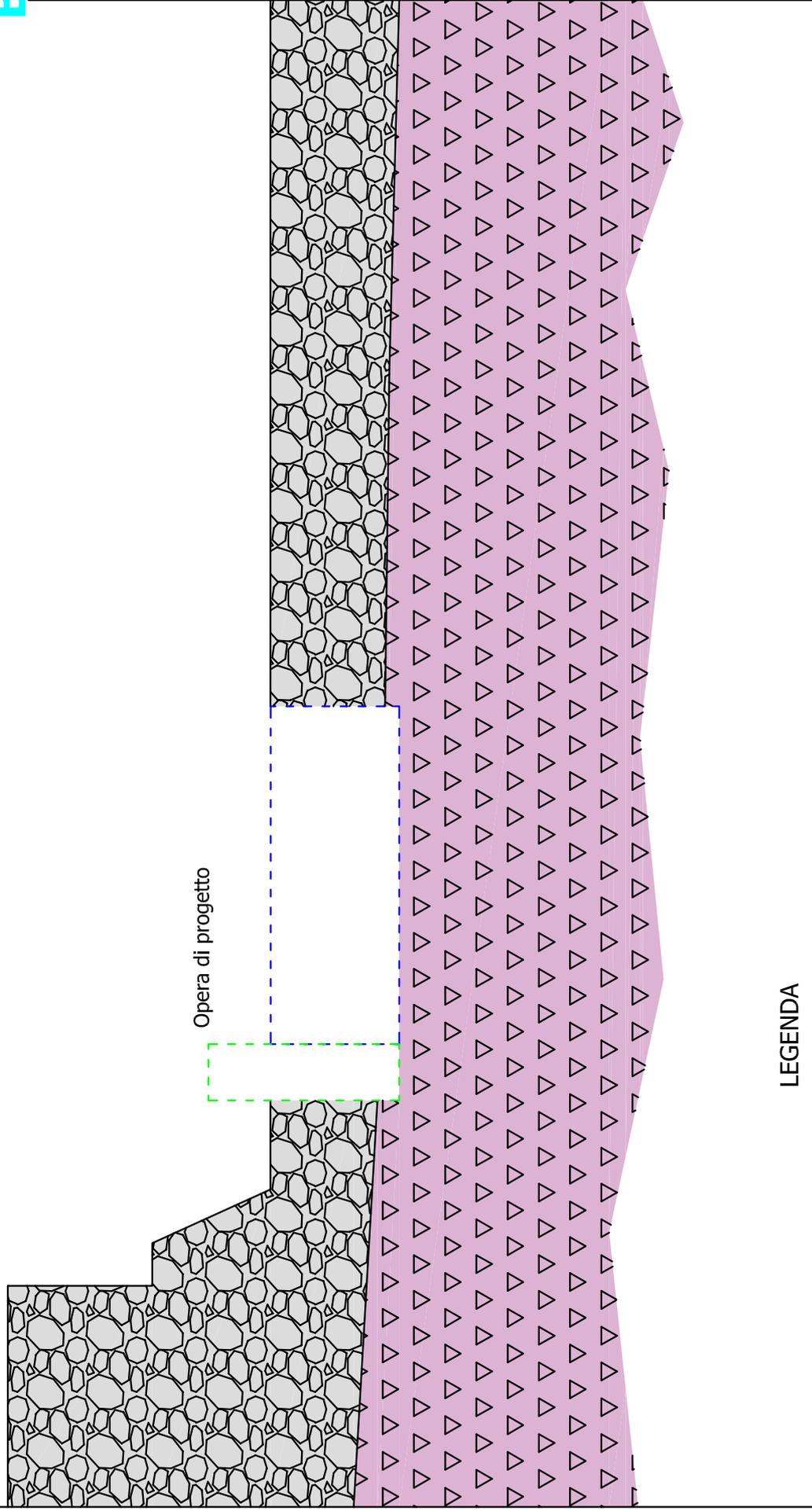
Terreno di riporto da poco addensato a moderatamente addensato

Ignimbrite vulcanoclastica (Auct. *Tufo lionato*)

# Sezione litostratigrafica interpretativa n. 1 "post operam" - scala 1/200

**A**

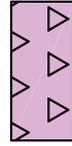
**B**



## LEGENDA



Terreno di riporto da poco addensato a moderatamente addensato



Ignimbrite vulcanoclastica (Auct. *Tufo lionato*)

# ALLEGATO I

Relazione Geofisica

Determinazione categoria del suolo ai sensi del punto 3.2.2  
delle NTC2018 mediante indagine di tipo MASW  
(*multichannel analysis of surface waves*)

Località INMI Lazzaro Spallanzani-Via Portunese, 292

Comune di ROMA CAPITALE (XII)

**Studio Geologico**

**dott. Marco Evangelisti**

Via: Alcide de Gasperi, 83/g

03011 Alatri - FR

Tel: +39 338 8777998

Email: [vngmrc@libero.it](mailto:vngmrc@libero.it)

Pec: [marco.evangelisti@pec.geologilazio.it](mailto:marco.evangelisti@pec.geologilazio.it)

---

Indagine geofisica tramite tecnica MASW

---

Data: Febbraio 2019

---

**Dati generali**

Committente

INMI "Lazzaro Spallanzani"

Cantiere

Adeguamento Impianto antincendio

Località

Via Portuense, 292

ROMA CAPITALE (XII)

Operatore

dott. Marco Evangelisti

Responsabile

dott. Marco Evangelisti

## INDICE

1. PREMESSA.....	4
2. IL PARAMETRO $V_{s,eq}$ .....	4
3. L'INDAGINE GEOFISICA.....	5
4. PROFILI SISMICI M.A.S.W . . . . .	7
4.1. STRUMENTAZIONE IMPIEGATA.....	7
4.2. METODOLOGIA OPERATIVA . . . . .	9
5. ELABORATI MASW - PROFILO MW1 . . . . .	10
IMMAGINI DELL'INDAGINE EFFETTUATA.....	15

## 1. PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto, è stata eseguita un'indagine geofisica per valutare le variazioni di velocità delle onde sismiche "S" nel sottosuolo e determinare quindi il parametro **VS,eq** in ottemperanza alla vigente normativa sismica; a tale scopo è stato effettuato un profilo sismico del tipo **M.A.S.W.** (*multichannel analysis of surface waves*) nell'area interessata dal "Progetto per la realizzazione di parte del vano tecnico delle Pompe di Pressurizzazione dell'Impianto idrico antincendio" all'interno del complesso ospedaliero INMI "Lazzaro Spallanzani" sito in Via Portuense nel quartiere omonimo nel Comune di Roma Capitale (XII).

## 2. IL PARAMETRO VS,eq

È il parametro geofisico che rappresenta meglio la variabilità geotecnica dei materiali geologici presenti nel sottosuolo.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, **VS,eq** (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

**hi** spessore dell'i-esimo strato;

**VS,i** velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

**N** numero di strati;

**H** profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II delle NTC2018.

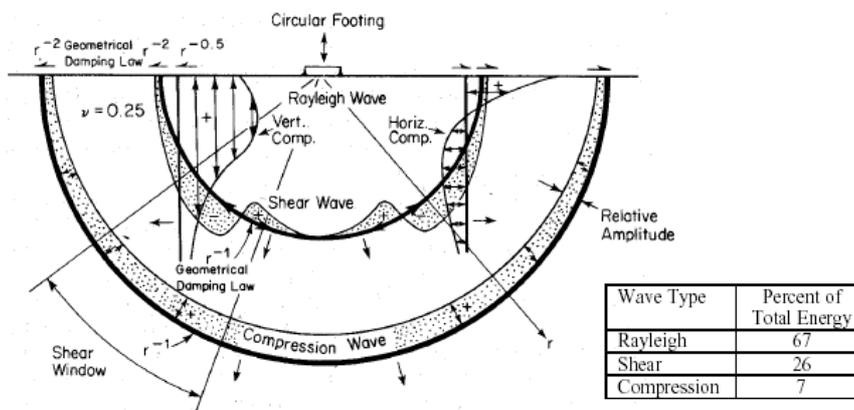
Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Il parametro **V<sub>s,eq</sub>** può essere acquisito mediante: Prove in foro (down-hole, cross-hole), Profili sismici (riflessione o rifrazione), modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh (**MASW**, SASW, ReMi)

### 3. L'INDAGINE GEOFISICA

Il rilievo geofisico, è basato sull'impiego della MASW (multichannel analysis of surface waves) per la determinazione dei profili verticali della velocità delle onde di taglio (**V<sub>S</sub>**) tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh effettuata con algoritmi genetici



I vantaggi dell'uso di questa metodologia geofisica rispetto ai metodi tradizionali sono:

1. Particolarmente indicato per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi
2. Non limitato – a differenza del metodo a rifrazione – dalla presenza di inversioni di velocità in profondità
3. Buona risoluzione (a differenza del metodo a riflessione)
4. Permette la ricostruzione della distribuzione verticale della velocità delle onde di taglio (S) – fondamentale per la caratterizzazione geotecnica del sito

Inoltre:

- La percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).

- L'ampiezza delle surface waves dipende da  $\sqrt{r}$  e non da  $r$  come per le body waves

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 (P,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:

$$v = \lambda \times v$$

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.

## **4. PROFILI SISMICI M.A.S.W .**

### 4.1. STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

L'indagine è stata eseguita utilizzando un sismografo DOREMI a 12 canali della SARA Electronic Instruments srl.

Il sismografo DoReMi è uno strumento innovativo che distribuisce lungo il cavo di stendimento l'elettronica necessaria alla registrazione del segnale sismico. Questa architettura ha molteplici benefici che complessivamente rendono il sistema estremamente vantaggioso da usare in ogni condizione operativa.

### CARATTERISTICHE TECNICHE

Classe strumentale: sismografo multicanale per geofisica

Topologia: rete differenziale RS485 half-duplex multipoint

Lunghezza max rete: 1200 metri senza ripetitori

(virtualmente illimitata con ripetitori)

N. max canali per tratta: 255

Dimensioni elemento: 80x55x18 mm

Peso: 250 g (un elemento con lunghezza cavo 5 metri)

Cavo: 4 fili, 2 coppie, robotico resistente a torsioni, flesso-torsioni, abrasioni ed agenti chimici

Campionamento

Memoria: 64 kBytes (>30000 campioni)

Frequenze selezionabili: da 200 a 20000 Hz (da 5 a 0.05 ms)

Convertitore: tipo SAR a 16 bit (96 dB)

Amplificatore: ultra-low noise con ingresso differenziale

Filtri: 3Hz passa alto, 200Hz passa basso

Reiezione modo comune: >80dB

Diafonia (crosstalk): non valutabile per architettura ad elementi singoli a trasmissione digitale, virtualmente nulla.

Dinamica del sistema

Risoluzione: 7.600  $\mu$ V @ 10x; 0.076  $\mu$ V @ 1000x

Dinamica di base: 96dB (16 bit)

S/N ratio fra 0.5 e 30Hz: >90dB (RMS)

Full range a 10x: 0.5V p-p

Risoluzione: 0.0000002V p-p @ 1000x 4000Hz (RMS)

Dinamica totale teorica: 155dB (A/D + PGA)

Alimentazione

Tensione di alimentazione: 10-15VdC

Consumo: Unità di testa: 20mA

Per Canale: 40mA

Consumo totale 12 canali: 510mA

#### CARATTERISTICHE OPERATIVE

Ogni canale un sismografo collegato in microrete e da svolgere e riavvolgere in un classico avvolgicavo. Il sistema è modulare e la comunicazione tra i canali e l'interfaccia di stardi e di comunicazione avviene in modo digitale. Con la digitalizzazione vicinissima al geofono si abbattano i disturbi e si ottiene una

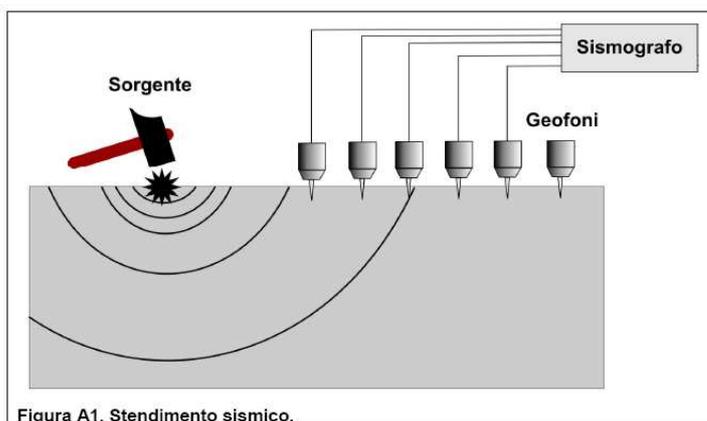
sensibilità incomparabile e sicuramente superiore ai sismografi con convertitori a 24 bit. La trasmissione del segnale è digitale quindi nulla viene perso anche su linee molto lunghe.

Sono stati utilizzati da 10 a 12 geofoni da 4,5 Hz e, come sorgente energizzante, una massa battente (martello) da 8 Kg battuta su una piastra metallica.



#### 4.2. METODOLOGIA OPERATIVA

Acquisire un set di dati per l'indagine MASW non è molto diverso da una comune acquisizione per un'indagine a rifrazione (o riflessione). E' sufficiente effettuare uno stendimento di geofoni allineati con la sorgente ed utilizzare una sorgente ad impatto verticale (martello).



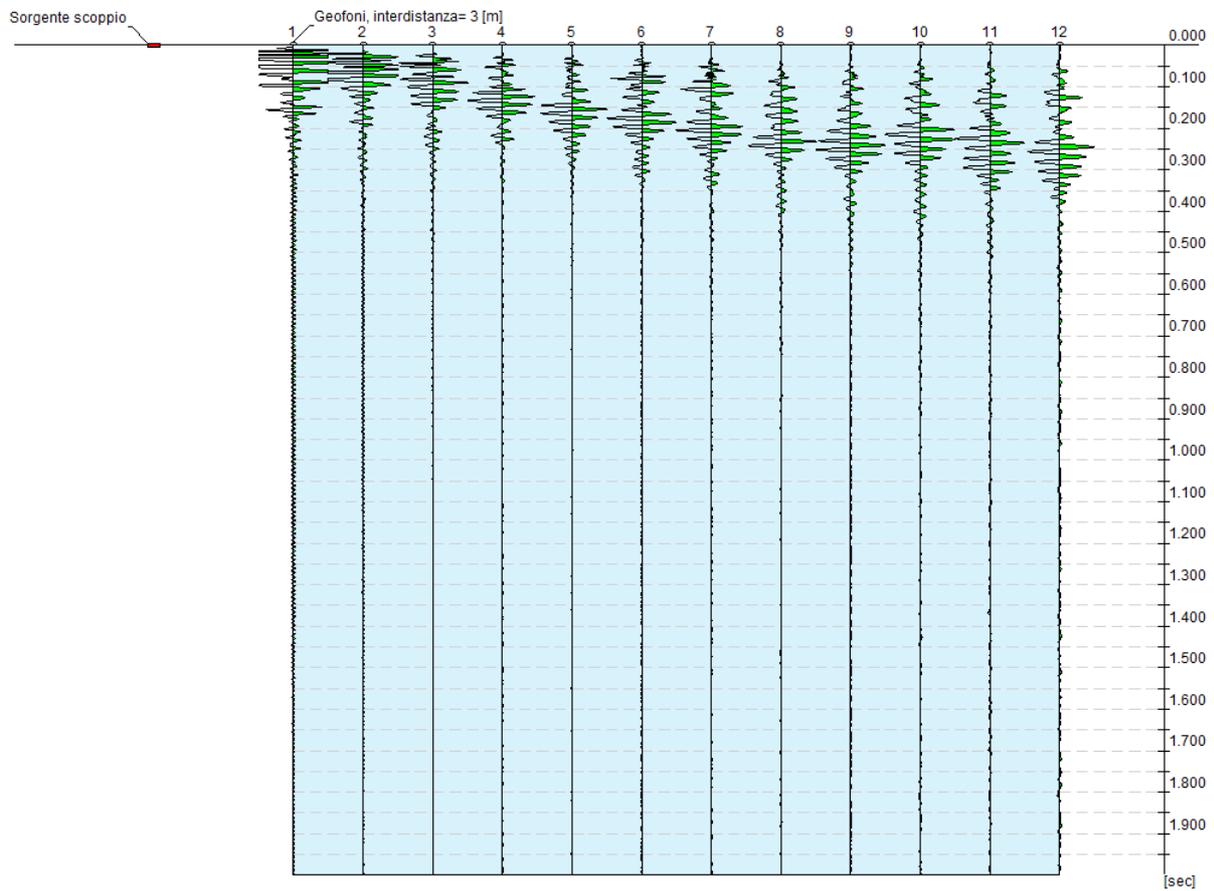
Il profilo MASW è stato eseguito utilizzando n° 12 geofoni allineati sul terreno con un'interdistanza che per il profilo **MW1** è stato di 3,0 metri e con i punti di scoppio posizionati ad una delle estremità del profilo a distanze di 3,0 e 4,5 m dal geofono n° 1.

La scelta dei due scoppi è stata effettuata per avere la certezza di generare la dispersione delle onde superficiali a prescindere dalle caratteristiche sismiche dei litotipi presenti nel sottosuolo dell'area investigata.

### 5. ELABORATI MASW - PROFILO MW1

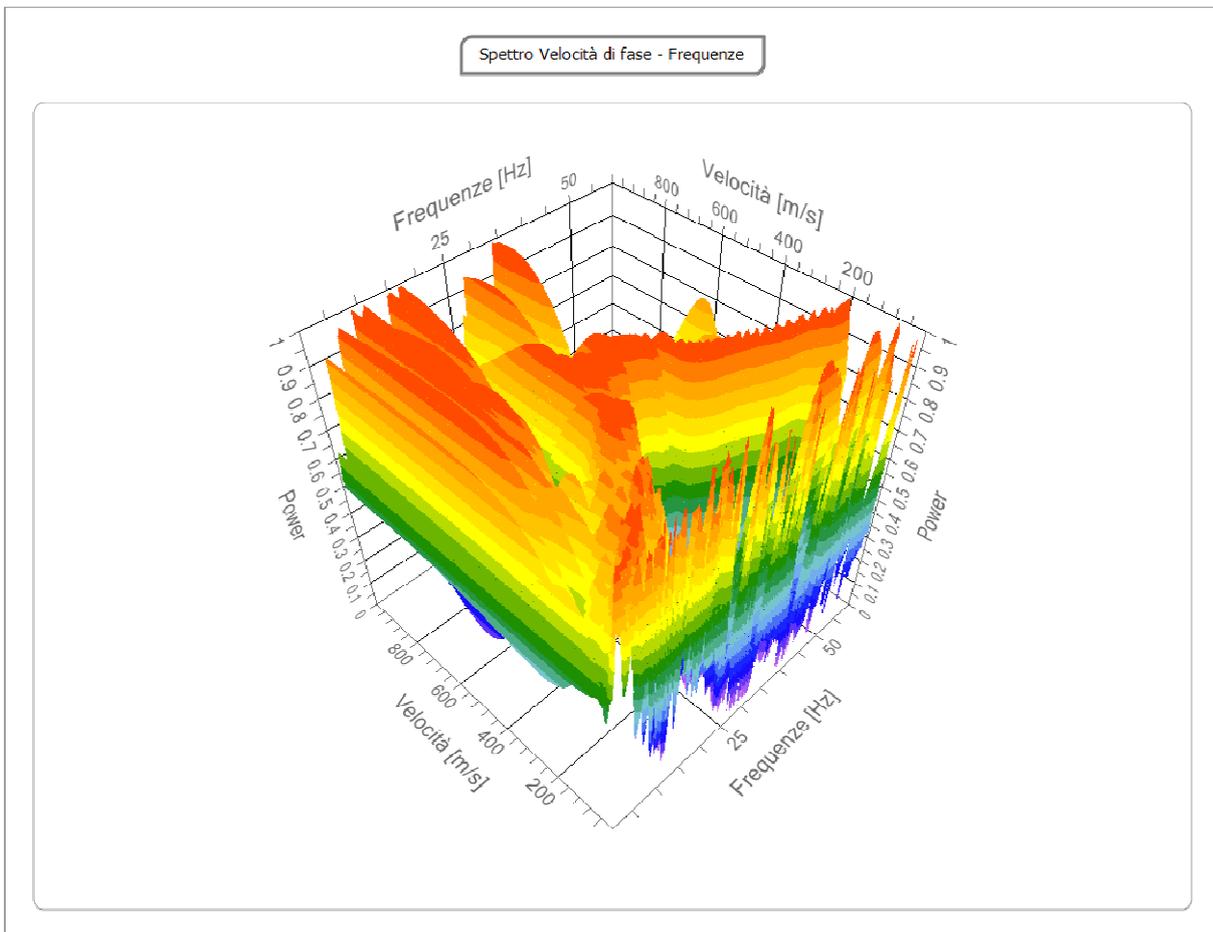
#### TRACCE

<b>N. tracce</b>	<i>12</i>
<b>Durata acquisizione [msec]</b>	<i>2000.0</i>
<b>Interdistanza geofoni [m]</b>	<i>3.0</i>
<b>Periodo di campionamento [msec]</b>	<i>1.00</i>



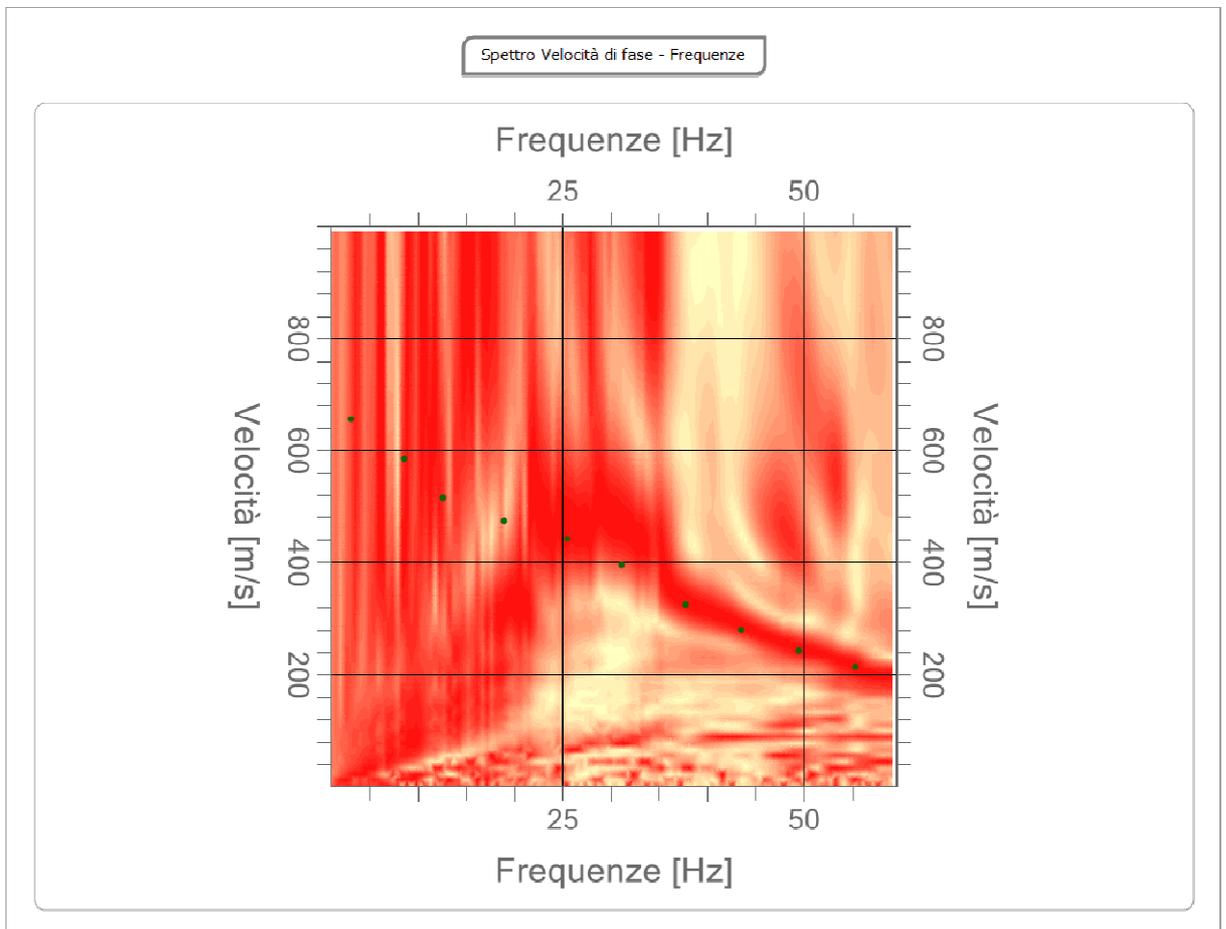
ANALISI SPETTRALE

<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	<i>1</i>
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	<i>60</i>
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	<i>1</i>
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	<i>1000</i>
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	<i>1</i>



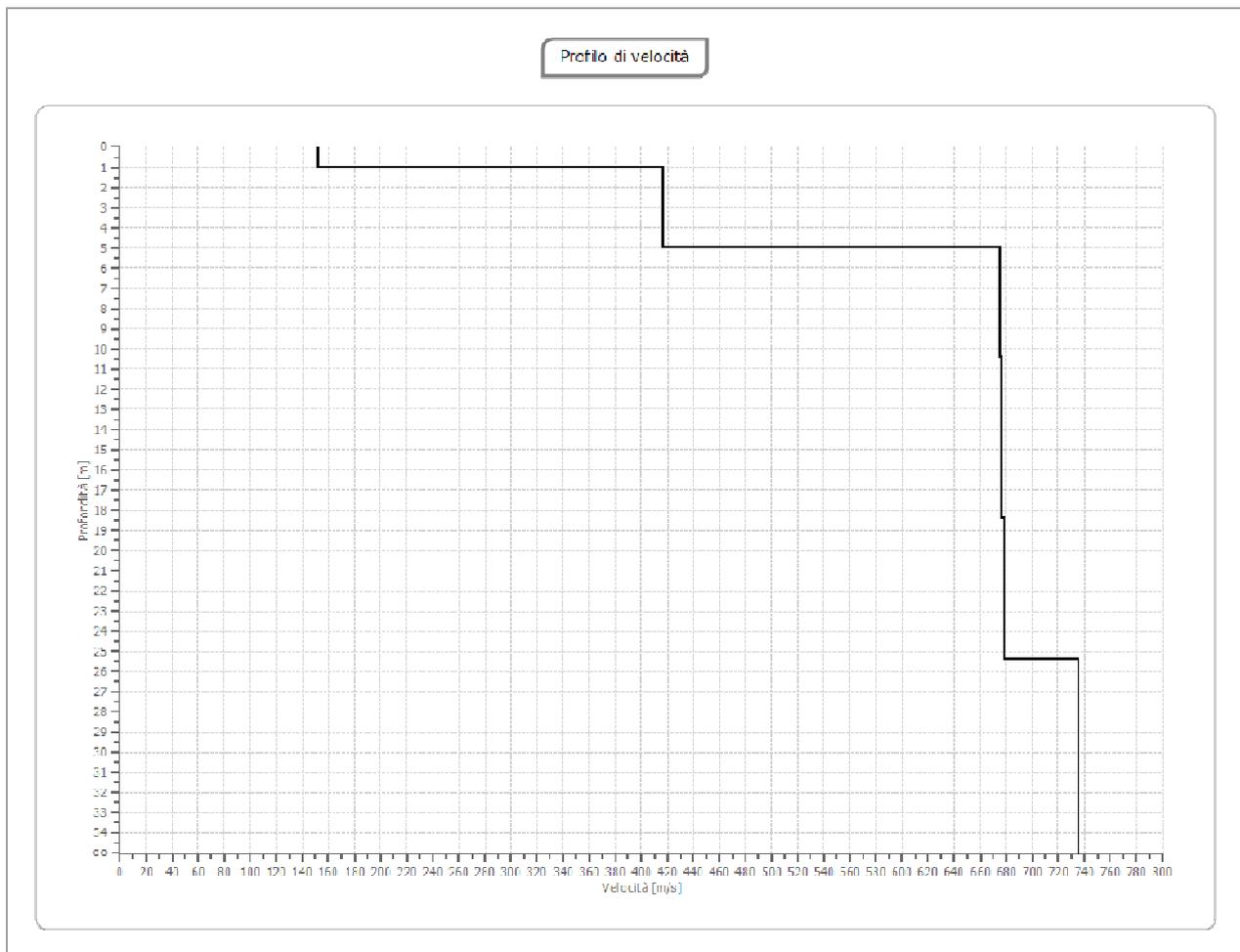
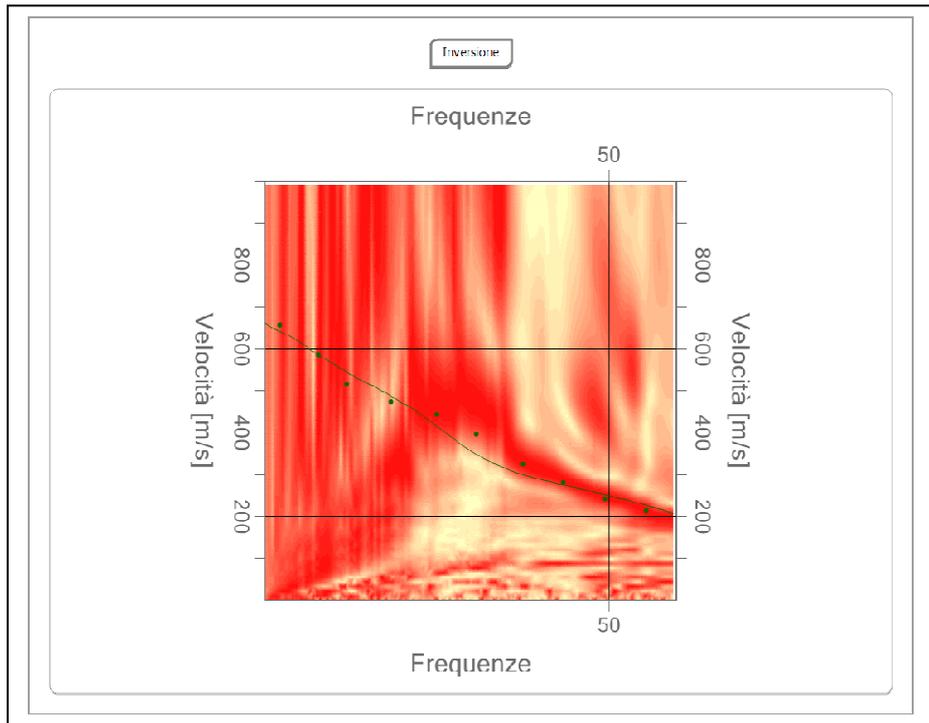
CURVA DI DISPERSIONE

<i>n.</i>	<i>Frequenza [Hz]</i>	<i>Velocità [m/sec]</i>
1	3.0	656.2
2	8.6	586.0
3	12.6	515.7
4	18.9	473.2
5	25.5	442.2
6	31.1	394.8
7	37.7	326.2
8	43.5	280.4
9	49.5	242.8
10	55.4	213.4



**INVERSIONE**

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.01	1.01	248.5	152.1
2	5.01	4.00	679.6	416.2
3	10.43	5.42	1102.5	675.2
4	18.39	7.96	1103.2	675.6
5	25.39	7.00	1107.5	678.2
6	∞	∞	1200.7	735.3



RISULTATI

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	<i>5.00</i>
<b>Vs,eq [m/sec] (H=30 m)</b>	<i>694.09</i>
<b>Categoria del suolo</b>	<b><i>B</i></b>

**Suolo di tipo B**

*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

ALTRI PARAMETRI GEOTECNICI

<i>n.</i>	<i>Profondità [m]</i>	<i>Spessore [m]</i>	<i>Vs [m/s]</i>	<i>Vp [m/s]</i>	<i>G0 [MPa]</i>	<i>Ed [MPa]</i>	<i>M0 [MPa]</i>	<i>Ey [MPa]</i>
<i>1</i>	<i>1.01</i>	<i>1.01</i>	<i>152.15</i>	<i>248.46</i>	<i>41.67</i>	<i>111.11</i>	<i>55.56</i>	<i>100.00</i>
<i>2</i>	<i>5.01</i>	<i>4.00</i>	<i>416.16</i>	<i>679.58</i>	<i>311.74</i>	<i>831.30</i>	<i>415.65</i>	<i>748.17</i>
<i>3</i>	<i>10.43</i>	<i>5.42</i>	<i>675.17</i>	<i>1102.54</i>	<i>820.53</i>	<i>2188.07</i>	<i>1094.04</i>	<i>1969.26</i>
<i>4</i>	<i>18.39</i>	<i>7.96</i>	<i>675.56</i>	<i>1103.19</i>	<i>821.49</i>	<i>2190.63</i>	<i>1095.32</i>	<i>1971.57</i>
<i>5</i>	<i>25.39</i>	<i>7.00</i>	<i>678.18</i>	<i>1107.46</i>	<i>827.86</i>	<i>2207.64</i>	<i>1103.82</i>	<i>1986.87</i>
<i>6</i>	<i>oo</i>	<i>oo</i>	<i>735.26</i>	<i>1200.67</i>	<i>973.09</i>	<i>2594.90</i>	<i>1297.45</i>	<i>2335.41</i>

*G0: Modulo di deformazione al taglio*

*Ed: Modulo edometrico*

*M0: Modulo di compressibilità volumetrica*

*Ey: Modulo di Young*

Alatri, Febbraio 2019

Il tecnico prospettore  
dott. geol. Marco Evangelisti

IMMAGINI DELL'INDAGINE EFFETTUATA



Foto n. 1 - Profilo MASW n. 1