



REGIONE ABRUZZO

PROVINCIA DI L'AQUILA

**COMUNE DI
SAN BENEDETTO DEI MARSI**



RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Istituto Comprensivo "Marruvium"

REV.	DATA	COMMITTENTE	GEOLOGO
0	22/07/2016	Amministrazione Comunale di San Benedetto dei Marsi	Dott. Geol. Michele Aureli
PROGETTISTA		PROGETTISTA	D.L. STRUTTURALE

Sommario

1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TOPOGRAFICO	4
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	7
4. INQUADRAMENTO TETTONICO, PERICOLOSITA' E CLASSIFICAZIONE SISMICA ...	10
5. P.A.I.....	14
6. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO	17
7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELL'AREA D'INDAGINE	20
8. DATI GEOFISICI e AZIONE SISMICA.....	23
8.1 INDAGINE SISMICA MASW – M1	23
9. VERIFICA A LIQUEFAZIONE	26
10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	28
11. BIBLIOGRAFIA.....	29

ALLEGATI:

❖ ALL. 1 – **QUADERNO TECNICO DELLE INDAGINI**

❖ ALL. 2 – **MODELLO GEOLOGICO TECNICO**

(UBICAZIONE INDAGINI, DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA, PARAMETRI SISMICI)

1. PREMESSA

Il presente lavoro è stato redatto su incarico dell' **Amministrazione Comunale di San Benedetto dei Marsi**, al fine di definire le caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dell' **Istituto Comprensivo "Marruvium"** ubicata nel **Comune di San Benedetto dei Marsi (AQ)** in **Via San Cipriano**.

Lo studio ha comportato una ricerca bibliografica e cartografica preliminare, al fine di inquadrare l'area nel suo contesto geografico e geologico, nonché di acquisire informazioni utili allo scopo del lavoro.

La prima fase del lavoro è consistita in un accurato rilevamento geologico e geomorfologico che ha permesso di definire le principali caratteristiche del sito in oggetto. Così come previsto dalle disposizioni nazionali in materia di normativa tecnica per le costruzioni e di classificazione sismica del territorio (NTC 2008 – D.M. 14/01/2008, LR n°28/2011), allo scopo di definire le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche dell'area è stata osservata la seguente metodologia di indagine:

TIPOLOGIA DI INDAGINE	OBIETTIVO	DATA	QUANTITA'	PROFONDITA' / LUNGHEZZA
Sondaggio Geotecnico a c.c.	Ricostruzione rapporti stratigrafici, esecuzione prove in foro, installazione piezometro	30/05/2016	N° 1	S1 – 15.5 m
Prova Penetrometrica di tipo DPSH	Ricostruzione rapporti stratigrafici, prelievo campioni indisturbati, esecuzione prove in foro	30/05/2016	N°2	DPSH1 – 5.20 m DPSH2 – 4.40 m
Sismica di superficie tipo MASW	Caratterizzazione del parametro Vs30 per la categoria di suolo (D.M. 14-01-08)	30/05/2016	N°1	M – 48 m
Sismica a Rifrazione in onde P e Sh	Definizione dei rapporti geometrici tra i diversi sismostrati	30/05/2016	N°1	RIF – 48 m
Sismica passiva Tipo HVSR	Individuazione della frequenza fondamentale di sito	30/05/2016	N°1	HVSR1 – 30 min

Tab. 1 – Indagini Geotecniche e Geofisiche eseguite

I dati raccolti sono stati ritenuti sufficienti per la caratterizzazione geologica del sito e nel definire un appropriato modello geologico del sottosuolo.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TOPOGRAFICO

Il Comune di San Benedetto dei Marsi (AQ), si trova sul bordo est della Piana del Fucino, quest'ultima rappresenta un vasto bacino endoreico, di forma quadrangolare, posto tra i rilievi dei Monti Sirente e Velino a N-W ed i Monti della Marsica a S-E.

Il settore di studio si trova nel settore NE della Piana del Fucino, ad una quota di 675 m slm, ad E dal Monte Etra (1818 m slm) e dal M. Secino (1506 m slm) a N dalla Serra di Celano (1923 m slm) e ad W dal M. Mallevona (1314 m slm).

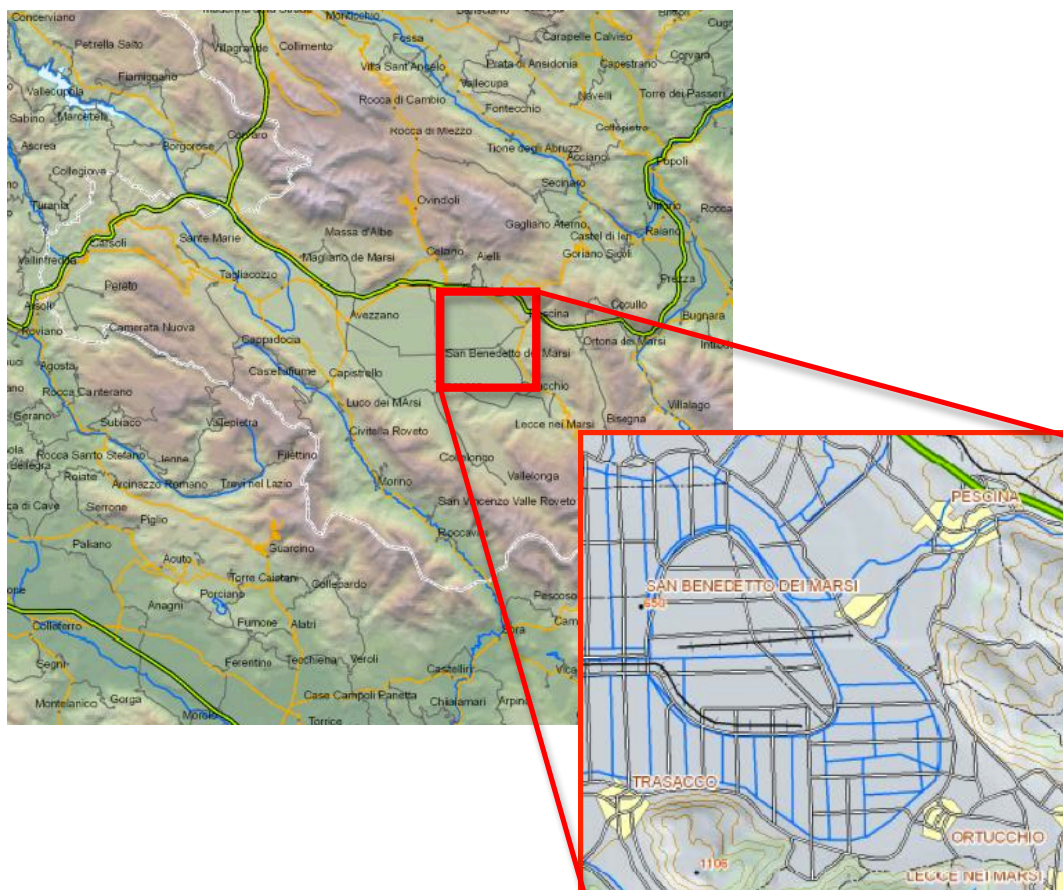


Figura 1. Stralcio del DEM Italia; nel riquadro l'area di indagine
(www.igmi.org)

Cartografia ufficiale			
Foglio n°	Scala	Nome	Anno
368163	1:5000	-	2005
146 III SE	1:25000	Pescina	1956
368 II	1:25000	Celano	1993
368	1:50000	Avezzano	1993
146	1:100000	Sulmona	1956

Dal punto di vista cartografico il territorio in esame è compreso nei fogli 368 II (Celano) in scala 1:25000 ed a grande scala nel foglio 368163 della serie CTR Abruzzo 1:5000.

Il sito si trova su di un versante, con inclinazione ' i ' di circa 0° per tanto il sito è stato classificato nella categoria Topografica "**T1**", che comprende pendii con inclinazione $i < 15^\circ$ (NTC 2008 – D.M. 14/01/2008).

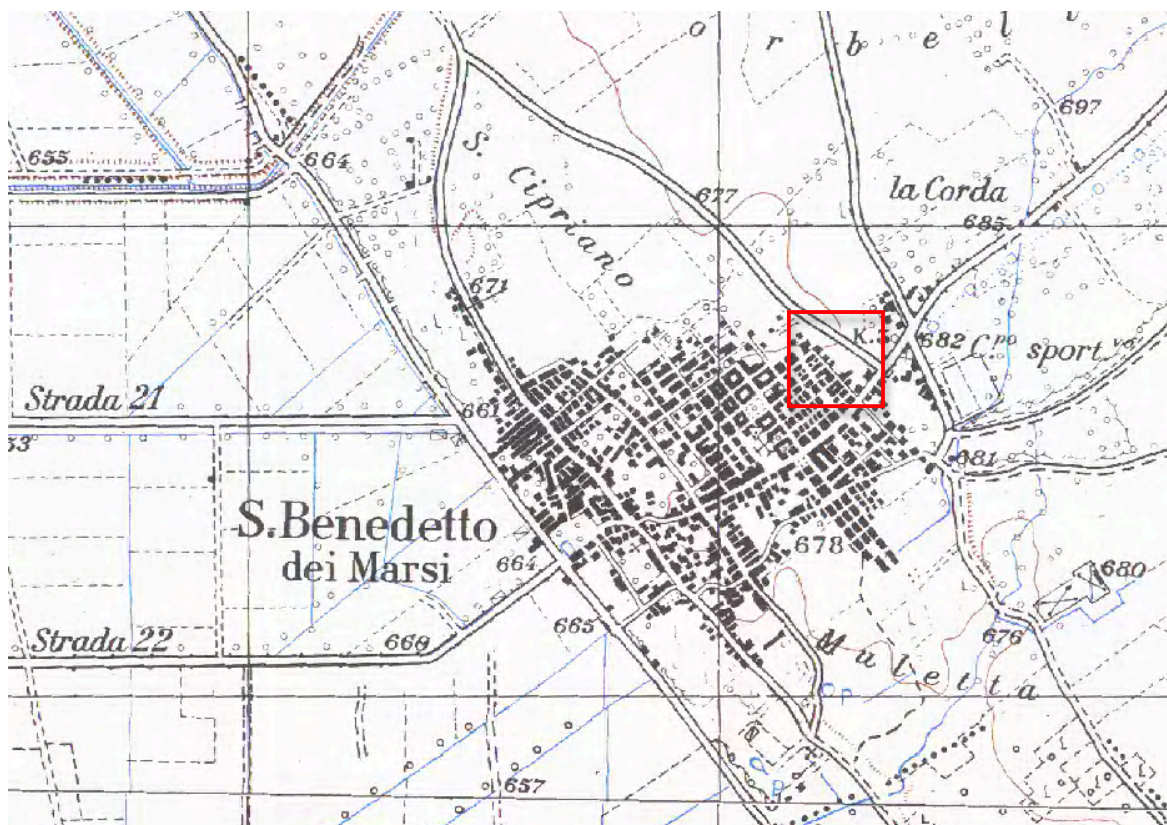


Figura 2. Stralcio F. 368 II, scala 1:25000; nel riquadro l'area di indagine.

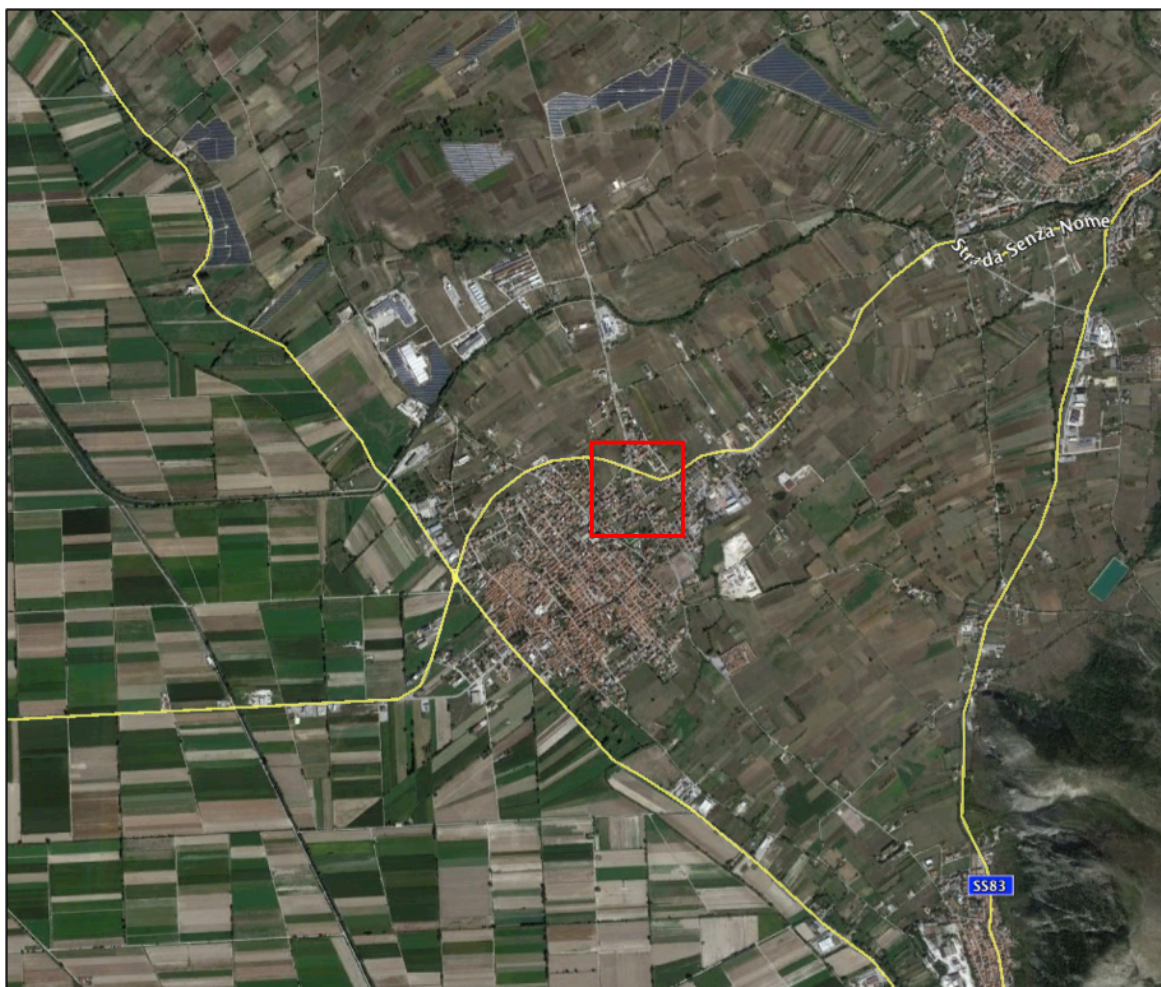


Figura 3. Ortofoto del territorio di San Benedetto dei Marsi (AQ), nel riquadro l'area di indagine.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area di studio si trova nella porzione SE del **Foglio geologico n°368 (Avezzano)** (APAT, 2005) in scala 1:50.000 (Fig.4); l'area è presente anche nel foglio occidentale della **Carta Geologica D'Abruzzo** (Vezzani & Ghisetti) in scala 1:100.000.

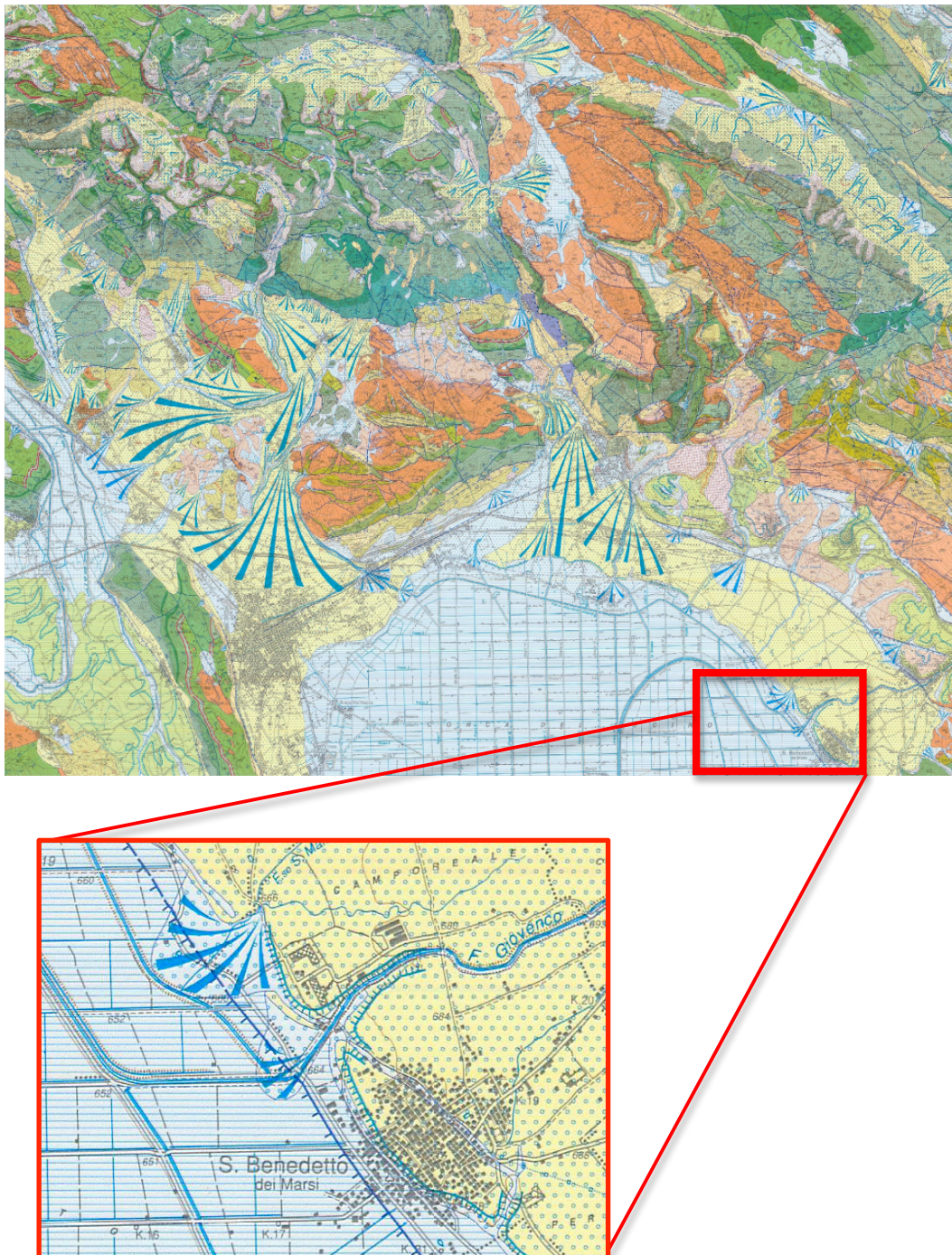


Figura 4. Carta Geologica d'Italia F. 368 (Avezzano), nel riquadro l'area di indagine.

Il sito si sviluppa in una zona sub pianeggiante sul bordo orientale della Piana del Fucino, pochi chilometri a nord – est, sono presenti i rilievi Monte “Ventrino” (1507 m s.l.m.) e Monte “della Selva” (1348 m.s.l.m.), i quali presentano versanti molto acclivi, fortemente incisi da diversi corsi d’acqua per lo più a carattere torrentizio, come tutti i rilievi che circondano la piana stessa. Rilevante è il Vallone della Forca, che giunge dai monti sopracitati e si sviluppa in direzione NW – SE, immediatamente a nord – est di Pescina confluisce nella Valle del Giovenco (questo fiume che un tempo costituiva un immissario del lago del Fucino).

Dai rilievi che bordano la piana, confluivano un gran numero di corsi d’acqua, tali elementi uniti alla natura dell’ex Lago del Fucino, che un tempo occupava l’omonima Piana, sono dei fattori geomorfologici rilevanti, che nel tempo hanno profondamente modellato l’area, ed oggi costituiscono un importante aspetto delle caratteristiche geologiche e geotecniche dei luoghi.

La Piana è interamente bordata da una serie di bassi terrazzi, i quali sono stati incisi e riempiti da numerose serie di conoidi, un esempio è proprio l’area su cui si sviluppano gli abitati di Pescina e San Benedetto dei Marsi.

L’attuale struttura della Piana del Fucino è stata modellata dalla tettonica, che ha strutturato la catena appenninica; la Piana è una depressione di tipo tettonico, sul fondo della quale si sono accumulati notevoli spessori di sedimenti lacustri a granulometria sabbioso-limoso-argillosa.

I rilievi che circondano la Piana, e che ne costituiscono il bacino di alimentazione, sono formati prevalentemente da rocce carbonatiche meso-cenozoiche e da sedimenti terrigeni cenozoici, tutti di origine marina, dislocati nel corso di varie fasi tettoniche.

I sedimenti che colmano la Piana sono di origine continentale e sono rappresentati da brecce, sedimenti lacustri, fluvio-lacustri e fluvio-glaciali; essi costituiscono complessi stratigraficamente ben definiti e variamente incassati l’uno nell’altro.

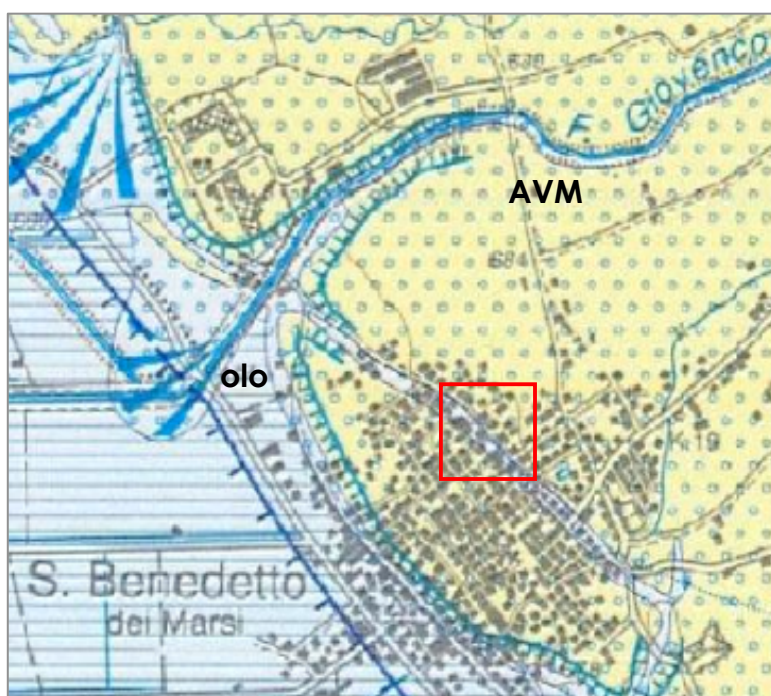
I depositi più antichi nell’area sono riconducibili al Supersintema di Aielli –Pescina - AP (Pliocene? – Pleistocene medio), affiorano nella zona compresa tra Pescina, Aielli, Celano e alla base dei versanti dei Tre Monti, sono sedimenti di facies prevalentemente lacustre costituiti da alternanze di limi e sabbie che passano, verso l’alto, a ghiaie sabbiose; ammassi di grandi dimensioni di brecce calcaree appaiono intercalate nella parte superiore dei sedimenti suddetti.

Le litologie depositatesi successivamente sono identificate come Sintema di Catignano - ACT (Pleistocene medio finale) caratterizzato da ghiaie con intercalazioni sabbiose, di origine fluviale: affiorano per lo più nella zona a sud-est di Celano e tra

Cerchio, Collarmele e Pescara. Ai margini della conca del lago storico, fino ad una quota di circa 720 m sono presenti sia sedimenti lacustri ghiaioso-sabbiosi di facies litoranea legati alle fasi in cui il lago raggiungeva i più alti livelli, sia depositi alluvionali e conoidi formati dagli apporti fluviali e torrentizi (Tardo Pleistocene-Olocene).

Quindi sono presenti i depositi del Sintema di Valle Majelama – AVM (Pleistocene superiore), costituito da grandi corpi di conoide alluvionale provenienti dai versanti montani, denudati della vegetazione e dei suoli in conseguenza delle condizioni climatiche freddo aride che hanno interessato l'area nel Pleniglaciale würmiano e diffusamente interessati da gelifrazione. Le sequenze stratigrafiche dell'area sono costituite da sedimenti di conoide come ghiaie da fini a grossolane in matrice sabbiosa, le quali sono spesso intercalate a depositi lacustri come argille e limi argilloso sabbiosi.

Spostando l'attenzione verso l'area occupata dall'ex Lago del Fucino sono presenti i Depositi alluvionali Olocenici – OLO (Olocene – Attuale) che nell'area sono prevalentemente costituiti da depositi lacustri e palustri argilloso-limosi talora con lenti organiche e ciottoloso-sabbiose, subordinatamente sabbioso limose, spesso possono essere presenti relazioni laterali di facies e discordanze angolari minori. Tali depositi giacciono in discordanza angolare sul Sintema più antico (Fig. 4).



DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

olo OLOCENE

olo Depositi alluvionali prevalentemente ciottoloso-sabbiosi e subordinatamente sabbioso limosi. Depositi lacustri e palustri argilloso-limosi talora con lenti organiche. Depositi detritici di versante. Depositi eluvio-colluviali con detriti immersi in matrice limoso argillosa e suoli sepolti, talora contenenti resti archeologici. Depositi di frana. Possono essere presenti relazioni laterali di facies e discordanze angolari minori. Giacciono in discordanza angolare sul Sintema più antico.
OLOCENE-ATTUALE

AVM SINTEMA DI VALLE MAJELAMA

AVM Depositi alluvionali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi e sabbioso-siltosi con talora una abbondante frazione piroclastica. Depositi detritici di versante, depositi glaciali, separati da discordanze angolari minori associate o meno a suoli sepolti. Depositi di frana sepolti. Giacciono in discordanza angolare sul Sintema più antico e talora su un paleosuolo fersiallitico.
PLEISTOCENE superiore

Figura 5. Stralcio Foglio geologico n°368 (Avezzano), nel riquadro l'area di studio.

In particolare possiamo osservare come dallo stralcio del Foglio geologico n°368 (Avezzano) (Fig.5) il sito si trova al passaggio tra:

- Depositi olocenici (olo);
- Sistema di Valle Majelama (AVM).

4. INQUADRAMENTO TETTONICO, PERICOLOSITA' E CLASSIFICAZIONE SISMICA

Il bacino intramontano del Fucino è posto in un segmento della catena appenninica dove si intersecano importanti strutture tettoniche regionali ad andamento appenninico ed anti-appenninico. Nel settore a nord della piana, sovrascorrimenti a prevalente direzione NW-SE e N-S causano il raddoppio di porzioni intere di successioni meso-cenozoiche e la loro sovrapposizione sulle successioni calcareo-terrigene mioceniche (thrust della Magnola, thrust delle Gole di Celano).

L'assetto tettonico compressivo è fortemente disarticolato dalla sovrimposta tettonica distensiva, a direttrici NW-SE ed ESE-WNW, i cui effetti hanno avuto ed hanno un ruolo guida nell'evoluzione anche neotettonica del bacino del Fucino. Infatti i principali lineamenti tettonici distensivi che delimitano ed intersecano la struttura del bacino fucense (faglie dei Tre Monti e S. Potito-Celano a nord, faglie di Pescina-Gioia dei Marsi, del Monte Parasano, Vallelonga ad est e sud), disarticolano sia le strutture carbonatiche circostanti la piana che i depositi plio-quadernari di riempimento della depressione. Oltre alla faglia di Pescina-Gioia dei Marsi a nord, nel settore occidentale si hanno la faglia di S. Benedetto dei Marsi (andamento NW-SE ed attiva in tempi storici) e la faglia bordiera di Luco dei Marsi (andamento NW-SE). Nel settore settentrionale i principali piani di taglio sono gli accavallamenti del Sirente, delle Gole di Celano, dell'Etra e la prosecuzione orientale della zona di faglia diretta dei Tre Monti (andamento WSW-ENE), la faglia di S. Vittorino e la faglia Celano-Aielli. In particolare nel settore meridionale del Fucino si riconoscono importanti lineamenti tettonici a carattere estensionale ad orientamento appenninico ritenuti attivi dalla comunità scientifica.

Le strutture cui può essere riferita l'attività tettonica quadernaria sono organizzate in sistemi di faglie a direzioni diverse.

Le principali strutture che con molta probabilità hanno giocato un ruolo fondamentale nell'evoluzione tettonica recente della conca del Fucino, sono (Fig. 6 a,b):

- faglia S. Benedetto dei Marsi-M. Serrone (16a),
- faglia M. Parasano (16b),
- faglia dei Tre Monti (16c).

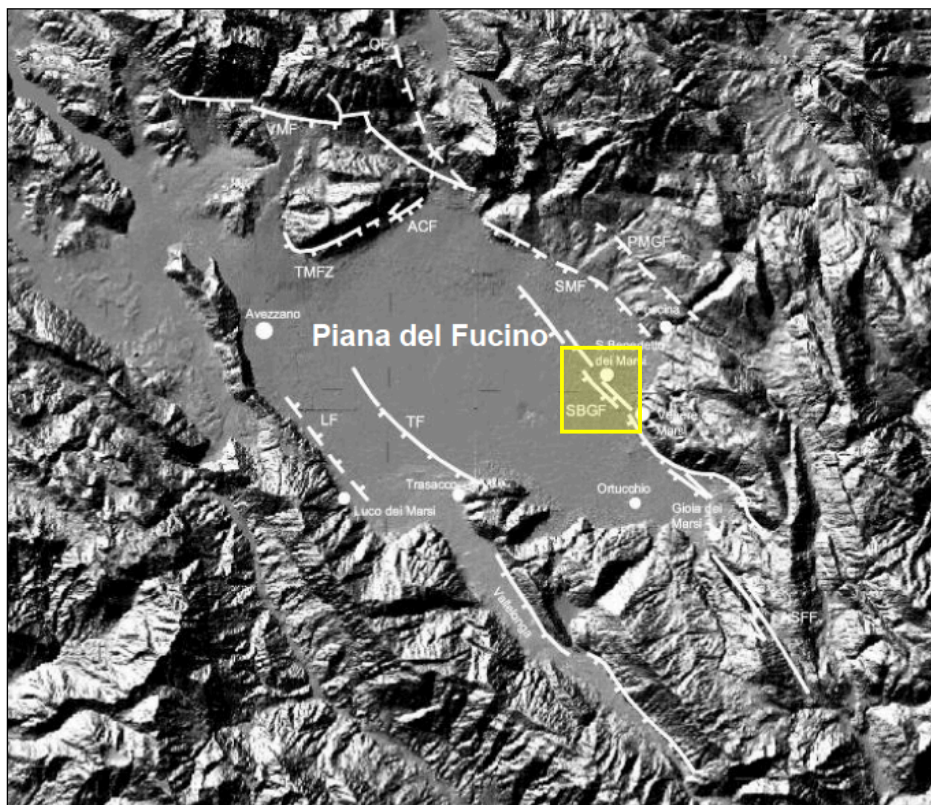


Figura 6a. Schema delle principali faglie ad attività quaternarie presenti nella Piana del Fucino (Saroli et al.2008), in giallo l'area di studio.

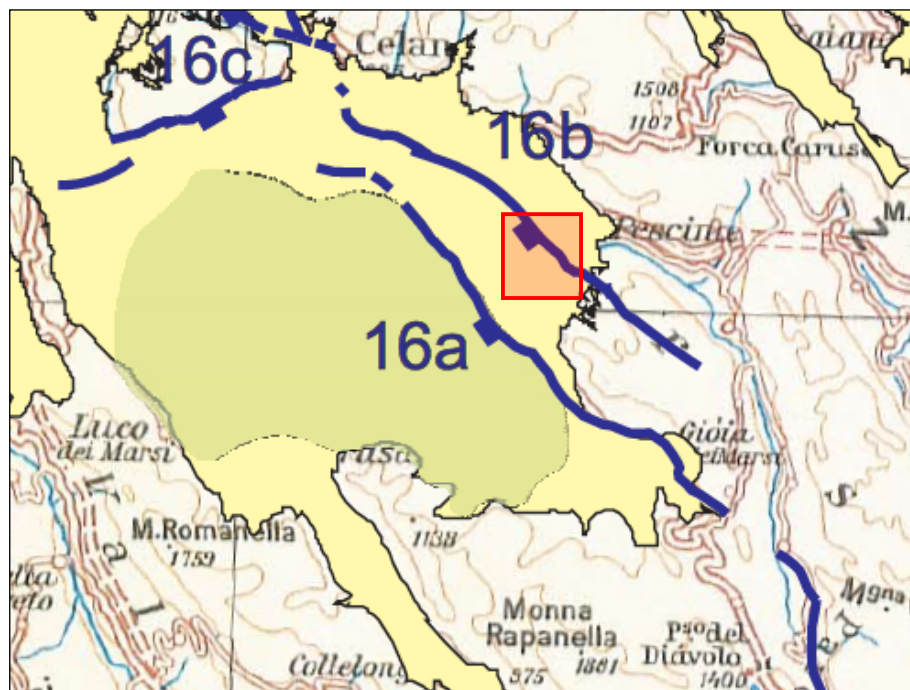


Figura 6b. Stralcio delle principali faglie attive (da Studio di pericolosità sismica della regione Abruzzo – G. Lavecchia et al.-2006) in rosso l'area di studio.

La faglia di S. Benedetto dei Marsi-M. Serrone (16a), può essere suddivisa in due segmenti principali: un segmento settentrionale ed uno meridionale. Il primo è costituito da due scarpate di faglia con direzione NW-SE di cui una, in località Venere, si sarebbe formata in occasione del terremoto del 1915 (Oddone, 1915).

Dal punto di vista cinematico le faglie presentano tutte un movimento distensivo associato talvolta ad una subordinata componente di strike slip. Lo slip rate verticale tardo quaternario è stimato in 0.6mm/a (Piccardi et al.,1999).

Per trattare i problemi tecnico-amministrativi tipici della gestione del territorio, ogni regione può definire l'appartenenza di ciascun comune o porzione di esso ad una delle quattro zone sismiche definite più avanti, sulla base del valore massimo di un parametro di pericolosità sismica valutato all'interno dell'area considerata. In particolare, il parametro di pericolosità utilizzato è l'accelerazione orizzontale massima al suolo a_g , ossia quella relativa al 50esimo percentile, ad una vita di riferimento di 50 anni e ad una probabilità di superamento del 10%.

Il comune di **San Benedetto dei Marsi** è localizzato in un settore dell'Appennino ad elevata pericolosità sismica tanto che la nuova mappa prevede per il suo bedrock (o suolo rigido con $V_s > 800$ m/s) la probabilità di superamento del 10% in 50 anni di un valore convenzionale di accelerazione massima orizzontale (a_g) variabile da 0.250 a 0.275 g (Fig.7).

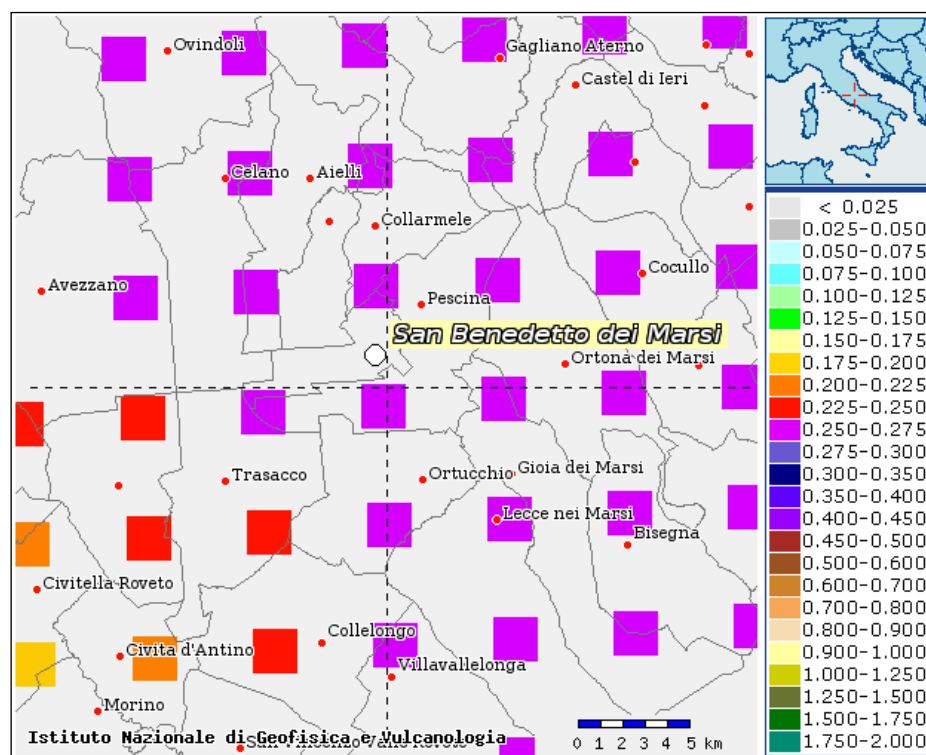


Figura 7. Ingrandimento della mappa di pericolosità sismica
(da <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Per valutare la pericolosità sismica di un luogo è necessario innanzitutto conoscere la sua storia sismica, quindi avere una lista dei terremoti che hanno colpito la zona quanto più completa ed estesa nel tempo.

Per il comune di San Benedetto dei Marsi, sono stati identificati 16 eventi dal 1915 al 2003.

Il maggior evento sismico che ha avuto risentimento nel territorio è quello del 1915, oltre chiaramente l'evento sismico dell'aprile 2009 (tabella e grafici in via di aggiornamento). Di seguito vengono illustrati i grafici degli eventi con i valori delle intensità sismiche (fig.8).

Numero di eventi: 16					
Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw	
11	1915 01 13 06:52	Avezzano	1041	11	7.00 ±0.09
4	1958 06 24 06:07	L'Aquila	152	7-8	5.21 ±0.11
4	1979 09 19 21:35	Valnerina	694	8-9	5.86 ±0.09
4-5	1980 06 14 20:56	Marsica sud-est	69	5-6	4.99 ±0.09
4	1980 11 23 18:34	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.89 ±0.09
6	1984 05 07 17:49	Appennino abruzzese	912	8	5.89 ±0.09
NF	1986 10 13 05:10	Appennino umbro-marchigiano	322	5-6	4.65 ±0.09
NF	1990 05 05 07:21	Potentino	1374		5.80 ±0.09
NF	1994 08 07 06:31	Aquilano	103	5-6	4.37 ±0.15
NF	1997 09 26 00:33	Appennino umbro-marchigiano	760		5.70 ±0.09
NF	1997 10 14 15:23	Appennino umbro-marchigiano	786	7-8	5.65 ±0.09
NF	1998 08 15 05:18	MONTI REATINI	233	5-6	4.45 ±0.09
NF	2000 03 11 10:35	Alto Aniene	211	6	4.29 ±0.09
2-3	2000 10 25 08:42	Val Comino	57	5	4.17 ±0.15
2	2002 11 01 15:09	Subapp. Dauno	645		5.72 ±0.09
NF	2003 06 01 15:45	Molise	516	5	4.50 ±0.09

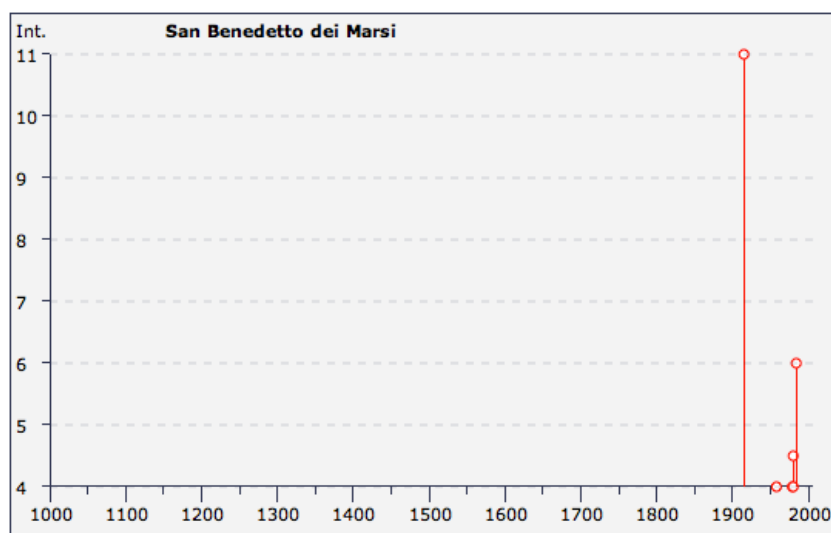


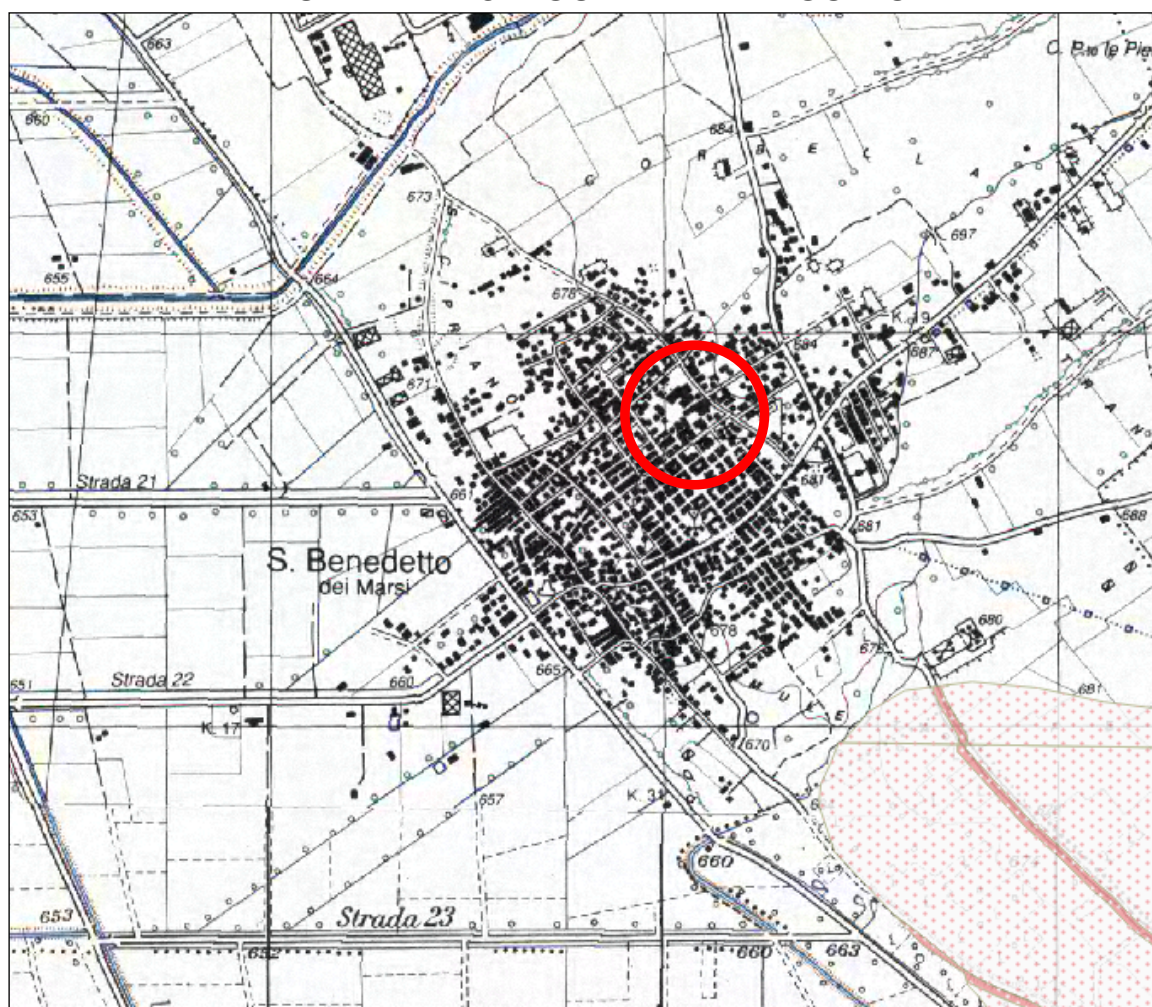
Figura 8. Grafico e eventi illustranti la storia sismica, sono riportati i valori dell'intensità sismica al sito MCS (Is), numero di osservazioni macrosismiche del terremoto(Np), l'intensità massima (Ix), la magnitudo momento CPTI04Maw(Mw), not felt (NF) (da <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>)

5. P.A.I.

Il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico redatto dall' Autorità di Bacino dei fiumi 'Liri-Garigliano e Volturno, viene definito dal legislatore quale "strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato" (si veda art. 17 della L. 183/89, Legge Quadro in materia di difesa del suolo).

Dall'analisi della Carte degli scenari di rischio frana fornita dalla Autorità di Bacino "Liri-Garigliano Volturno" si denota come **il sito non ricade in nessuna area perimetrata** (Fig.9).

CARTA DEGLI SCENARI DI RISCHIO



**AREA A RISCHIO MOLTO ELEVATO - R4**

Nella quale per il livello di rischio presente, sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.

*(* Aree a rischio molto elevato ricadenti in zone a Parco)*

**AREA A RISCHIO ELEVATO - R3**

Nella quale per il livello di rischio presente, sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale.

**AREA A RISCHIO MEDIO - R2**

Nella quale per il livello di rischio presente sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche.

**AREA A RISCHIO MODERATO - R1**

Nella quale per il livello di rischio presente i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali.

**AREA DI ALTA ATTENZIONE - A4**

Area non urbanizzata, potenzialmente interessata da fenomeni di innesco, transito ed invasione di frana a massima intensità attesa alta.

**AREA DI MEDIO - ALTA ATTENZIONE - A3**

Area non urbanizzata, ricadente all'interno di una frana attiva a massima intensità attesa media o di una frana quiescente della medesima intensità in un'area classificata ad alto grado di sismicità.

**AREA DI MEDIA ATTENZIONE - A2**

Area non urbanizzata, ricadente all'interno di una frana quiescente, a massima intensità attesa media.

**AREA DI MODERATA ATTENZIONE - A1**

Area non urbanizzata, ricadente all'interno di una frana a massima intensità attesa bassa.

**AREA A RISCHIO POTENZIALMENTE ALTO - R Pa**

Area nella quale il livello di rischio, potenzialmente alto, può essere definito solo a seguito di indagini e studi a scala di maggior dettaglio.

**AREA DI ATTENZIONE POTENZIALMENTE ALTA - A Pa**

Area non urbanizzata, nella quale il livello di attenzione, potenzialmente alto, può essere definito solo a seguito di indagini e studi a scala di maggiore dettaglio.

**AREA A RISCHIO POTENZIALMENTE BASSO R Pb**

Area nella quale l'esclusione di un qualsiasi livello di rischio, potenzialmente basso, è subordinata allo svolgimento di indagini e studi a scala di maggior dettaglio.

**AREA DI ATTENZIONE POTENZIALMENTE BASSA A Pb**

Area nella quale l'esclusione di un qualsiasi livello di attenzione, potenzialmente basso, è subordinata allo svolgimento di indagini e studi a scala di maggior dettaglio.



Area di possibile ampliamento dei fenomeni franosi cartografati all'interno, ovvero di fenomeni di primo distacco, per la quale si rimanda al D.M. LL.PP. 11/3/88 - C1

N.B.: Nelle aree a contorno delle frane, quando non è indicato l'ambito morfologico significativo di riferimento, l'area di possibile ampliamento deve essere estesa fino allo spartiacque principale e/o secondario, già riportati nella carta geomorfologica.



Area di versante nella quale non è stato riconosciuto un livello di rischio o di attenzione significativo (applicazione D.M. LL.PP 11/3/88) - C2

Figura 9. Stralcio della Carta degli Scenari di Rischio, nel riquadro l'area di studio (da PAI Liri, Garigliano, Volturno).

6. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO

L'area oggetto di studio ricade all'interno del bacino idrografico del Fucino che si estende per 863,26 km²; il bacino racchiude la *Piana del Fucino*, ampia circa 200 km² che in tempi storici era sede dell'omonimo lago Fucino il quale era alimentato dall'unico emissario costituito dal Fiume Giovenco.

L'opera di prosciugamento del lago fu iniziata dall'Imperatore Claudio nel 41 d. c., che realizza gli omonimi cunicoli (Cunicoli di Claudio), e termina con la bonifica completa del lago nel 1878, sotto la guida del Principe Alessandro Torlonia il quale realizza un emissario costituito da dodici pozzi collegati al bacino idrografico del Fiume Liri.

Come esposto nel capitolo precedente, riguardante la tettonica dell'area, l'attività neotettonica plio-quadernaria è stata particolarmente intensa tanto da originare qui, come in altre aree dell'Appennino centrale, un bacino endoreico. L'attività tettonica di questo settore di Appennino permane anche adesso, come testimoniato dal recente terremoto dell'Aquila (2009) e dallo storico terremoto di Avezzano (1915). I rilievi che bordano la Piana del Fucino sono costituiti prevalentemente da massicci carbonatici meso-cenozoici, interessati dalla tettonica sinorogena, responsabile della loro intensa fratturazione e della presenza di elementi tettonici in grado di influenzare la circolazione idrica sotterranea e superficiale.

Le principali dorsali, che in buona parte corrispondono alle strutture idrogeologiche, sono costituite dal Monte Velino e dal rilievo dei Tre Monti a N, dal massiccio del Monte Sirente a NE, dalla struttura di M. Pianecchia a E, da quella di M. Fontecchia a S e infine dal rilievo di Monte Salviano, che chiude a W la piana che ospitava il Lago Fucino.

Dati di letteratura forniscono per il bacino idrografico del Fucino i seguenti valori di precipitazione (**P**), evapotraspirazione (**ETR**), precipitazione efficace (**Pe_{eff}**), infiltrazione (**I**) e ruscellamento (**R**):

Piana del Fucino	AREA Km ²	P (mm/anno)	ETR (mm/anno)	Pe _{eff} (mm/anno)	I (mm/anno)	R (mm/anno)
	863,26	1108,38	401,51	706,82	574,39	132,40

All'intorno del sito indagato è possibile riconoscere i seguenti complessi idrogeologici (Fig 10):

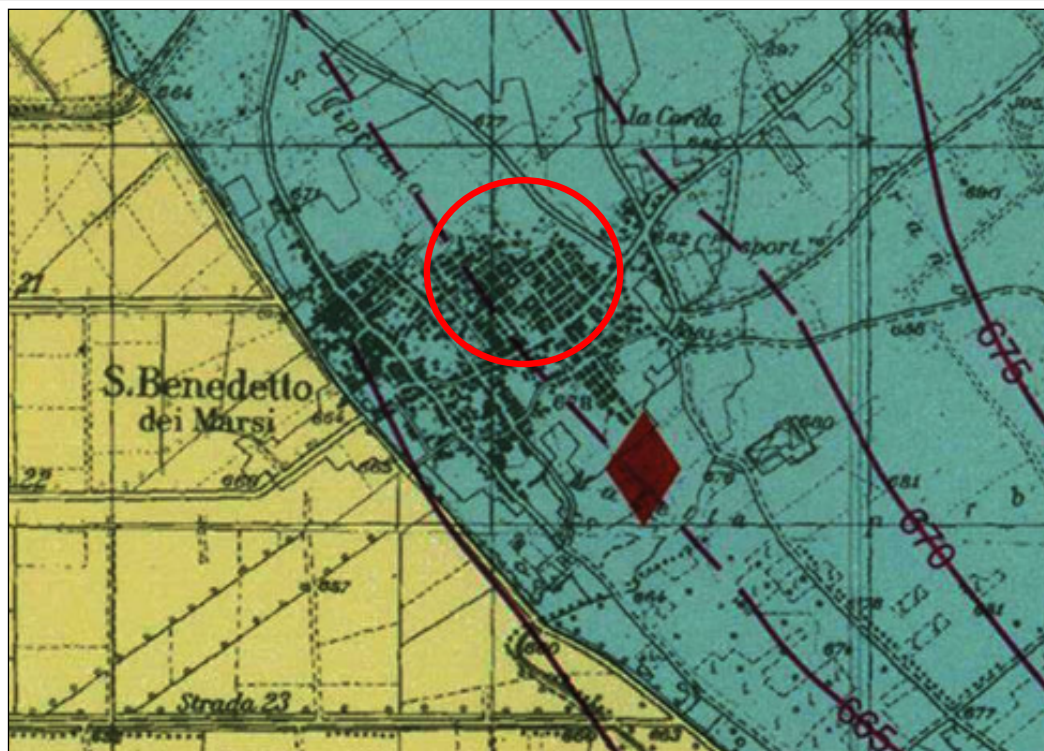
- **complesso dei depositi lacustri attuali:** è costituito da depositi lacustri a granulometria limosa e argillosa (Pleistocene superiore – Olocene), hanno una

permeabilità molto bassa per porosità che confina superiormente la falda in pressione della Piana del Fucino. In profondità, tali depositi sono interdigitati con i sedimenti del complesso detritico-alluvionale recente;

- **complesso dei depositi detritico-alluvionali recenti:** è costituito da depositi alluvionali fluvio-lacustri, conoidi di deiezione, depositi detritici di versante poco o nulla cementati (Pleistocene superiore – Olocene); tali depositi hanno granulometria estremamente variabile dalle ghiaie ai limi-argillosi che conferiscono una permeabilità per porosità, generalmente, medio alta. I depositi sono sede di acquiferi secondari di limitata estensione e potenzialità, a luoghi sospesi. Il complesso dei depositi detritico-alluvionali recenti costituisce, localmente, una zona di raccordo tra l'acquifero carbonatico e il fondovalle lacustre, favorendo il travaso di acque sotterranee che vanno ad alimentare le sorgenti poste al limite con il complesso dei depositi lacustri;

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico in corrispondenza dell'area di studio affiorano i depositi detritico alluvionali recenti costituiti, fino alla profondità investigata, da materiali sabbiosi ed argilloso - sabbiosi a cui possono intercalarsi depositi a granulometria più grossolana di natura per lo più ghiaiosa – sabbiosa.

Dalle indagini effettuate, la falda idrica è stata rilevata entro 8.6 m dal p.c., (S1 attrezzato a piezometro).



COMPLESSI IDROGEOLOGICI - HYDROGEOLOGICAL COMPLEX

Complesso dei depositi lacustri attuali

Lacustrine deposit complex

Depositi lacustri limosi e argillosi depositi dal Lago Fucino fino al suo prosciugamento (Pleistocene superiore - Olocene). In profondità sono interdigitati con i depositi del complesso detritico-alluvionale recente. Permeabilità per porosità estremamente bassa. Costituiscono l'aquiclude della circolazione idrica sotterranea nella Piana. Confinano superiormente la falda in pressione della Piana del Fucino. Limitano l'infiltrazione efficace in profondità, sia delle acque superficiali sia dei potenziali inquinanti di origine agricola.

Silt and clay lacustrine deposits of Fucino Lake before reclamation (Upper Pleistocene - Holocene). Below the surface these deposits are interbedded with the alluvial and detrital deposits. Porosity permeability is extremely low. It is the aquiclude of groundwater circulation of the Plain, bounding basal groundwater of the Fucino Plain. Infiltration of surface waters and agricultural pollutants into groundwater is limited by this complex.

Complesso dei depositi detritico-alluvionali recenti

Recent alluvial and detrital deposit complex

Depositi alluvionali fluvio-lacustri, conoidi di deiezione, depositi detritici di versante scarsamente o non cementati, depositi detritico-colluviali e terre rosse (Pleistocene superiore - Olocene). In profondità sono intercalati con i depositi lacustri attuali. Nelle facies di versante possono essere attualmente in fase di deposizione.

L'ampia gamma granulometrica, dalle ghiaie ai limi argillosi, determina una permeabilità variabile per porosità, generalmente medio-alta. In qualità di acquifero secondario, è sede di falde freatiche di limitata estensione e potenzialità, a luoghi sospese. Spesso costituisce zona di raccordo tra l'acquifero carbonatico e il fondovalle lacustre, determinando un travaso sotterraneo alimentante sorgenti poste al limite con il complesso dei depositi lacustri attuali. Localmente l'infiltrazione diretta può essere elevata e, in area agricola, può determinare il veicolamento di potenziali inquinanti verso la falda.

Alluvial and lacustrine deposits, alluvial fans, detrital fans, colluvium and red earths (Upper Pleistocene - Holocene). They are interbedded with the lacustrine complex. Along the slopes they are sedimenting. The porosity permeability shows a large range of variability, with predominant medium-high permeability, containing small perched aquifers. Frequently, groundwater seepages from carbonate aquifers to alluvial-lacustrine aquifers are observed, fed by springs located at the boundary of the lacustrine complex. High infiltration values could facilitate ingestion of potential pollutants to the groundwater.

Figura 10. Stralcio della CARTA IDROGEOLOGICA DEL FUCINO, in rosso il settore di interesse, da M. Petitta, E. Burri, A. Del Bon & A. Marchetti. Rev Scient. P. Celico.

7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELL'AREA D'INDAGINE

Fondamentale al fine di una corretta progettazione dell'opera è fornire un **Modello Geologico Tecnico**, del sito in esame (Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 14 gennaio 2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni - pubblicato sul Supplemento ordinario n. 29 della G.U. del 4.02.2008 - Paragrafo 6.2.1) orientato alla ricostruzione dei principali caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio in un intorno significativo del luogo d'interesse.

Il Modello Geologico Tecnico di riferimento è stato validato e supportato da indagini specifiche in funzione dell'importanza dell'opera.

La stratigrafia e le caratteristiche geologico tecniche del sito, sono state desunte dal rilevamento geologico, dalle prove geofisiche (**MASW1**, **RF1**), dalle prove Penetrometrica Super Pesante (**DPSH1-2**) e dal sondaggio geognostico a c.c. attrezzato a piezometro (**S1**).

Le indagini hanno permesso di ricostruire le caratteristiche fisico – meccaniche delle litologie presenti al di sotto del sito e consentito lo sviluppo di un accurato **Modello Geologico Tecnico** del sottosuolo (vedi sezione Allegati).

TABELLA RIASSUNTIVA DELLE UNITÀ GEOTECNICHE				
	Descrizione Unità Geotecnica	Carattere Geotecnico	Profondità dal p.c. (m)	Spessore massimo rilevato o desunto (m)
UNITÀ' GEOTECNICA 1 (UG1)	TERRENO DI RIPORTO ANTROPICO CHE PASSA AD ARGILLA LIMOSA CON SABBIA E GHIAIA	Coesivo - Granulare Incoerente	da 0,0 a 2,4 m	2,4
UNITÀ' GEOTECNICA 2 (UG2)	ALTERNANZE DECIMETRICHE E METRICHE DI GHIAIA SABBIOSO LIMOSA E LIMO CON ARGILLA E SABBIA	Coesivo - Granulare Incoerente	da 2,4 a 30,0 m	27,6

NB. Per una migliore comprensione della geometria delle unità geotecniche fare riferimento all'All.1-2.

- **UG1 – Unità geotecnica 1**, si estende a 0,0 a 2,4 m dal p.c. (spessore massimo rilevato nelle corso delle prove), tale unità è stata caratterizzata dal punto di vista geotecnico con la prova DPSH1 - 2, le litologie interpretate e desunte dalle suddette prove sono state inserite nel Modello Geologico Tecnico (All.1-2).

Dall'analisi della stratigrafia interpretata, emerge la presenza di terreno di riporto antropico per uno spessore di circa 0,6-0,7 m che passa ad argilla limosa con sabbia e ghiaia.

L'unità è stata caratterizzata in maniera univoca come **Terreno di riporto antropico che passa ad argilla limosa con sabbia e ghiaia.**

- **UG2 – Unità geotecnica 2**, si estende a 2,4 a 30,0 m dal p.c., tale unità è stata caratterizzata dal punto di vista geotecnico con la prova DPSH1 – 2, le SPT 1 - 2 e grazie ad il campione C1, le litologie interpretate e desunte dalle suddette prove sono state inserite nel Modello Geologico Tecnico (All.1-2).

Dall'analisi della stratigrafia interpretata, emerge la presenza di alternanze decimetriche e metriche di ghiaia sabbioso limosa e limo con argilla e sabbia.

L'unità è stata caratterizzata in maniera univoca come **Alternanze decimetriche e metriche di ghiaia sabbioso limosa e limo con argilla e sabbia.**

Le geometrie e gli spessori delle Unità Geotecniche sopra descritte, sono state rappresentate nel **Modello Geologico Tecnico** del sottosuolo in allegato.

Sulla base dei valori ottenuti dalle prove in situ, si è proceduto alla determinazione dei valori caratteristici che, tenendo conto delle potenziali differenze tra le proprietà misurate nel corso delle prove e le proprietà del terreno che ne determinano il comportamento geotecnico, possono considerarsi rappresentativi del comportamento del terreno.

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore che influenza l'insorgere dello stato limite; la stima cautelativa consiste nel 5° percentile della distribuzione della media dei valori registrati.

Per le verifiche agli SLU (SLV) deve essere rispettata la condizione:

$$Ed \leq Rd$$

Dove E_d è il valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni e R_d è il valore di progetto della resistenza del terreno. Va precisato che le stime della resistenza di progetto del terreno (R_d) non sono confrontate con il valore delle azioni di progetto (E_d) che verrà direttamente fornito dal progettista. La resistenza R_d è determinata in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici di resistenza del terreno ricavati dalle prove in sito, divisi per i coefficienti parziali γ_m di seguito riportati (tab.6.2. Il NTC 2008).

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_m	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_{γ}	1,0	1,0

Per la definizione del peso di volume e dell'angolo di attrito è stato applicato il metodo statistico con pochi dati e varianza nota.

Statistiche della varianza nota:

Dove: X_k è il valore caratteristico desiderato

$\bar{X}$ con barra il valore medio del campione

σ è la deviazione standard della popolazione n è la numerosità del campione

$$x_k = \bar{x} - 1.645 \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

Per gli altri parametri come la coesione, i valori caratteristici sono stati ricavati assegnando un coefficiente di variazione pari al 30% (COV30%) applicando il metodo statistico per ogni unità geotecnica individuata. Il valore di $G_{statico}$ è stato desunto attraverso relazioni empiriche a partire dal modulo di taglio dinamico note in bibliografia.

Per i moduli elastici si è applicato il metodo statistico a distribuzione log normale con varianza nota e diversi dati.

Statistiche della varianza nota:

Dove: $\bar{Y}$ è il valore medio del dataset con distribuzione log normale

Z è la distribuzione normale standardizzata

t è il valore della distribuzione di student ad $n-1$ gradi di libertà

S è la deviazione standard della popolazione

n è il numero dei dati

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}}$$

	Parametro geotecnico	Valore nominale medio	Valore caratt. (Xk)	Metodo utilizzato	Valore di progetto (M1)	Valore di progetto (M2)
UNITA' GEOTECNICA 1	Ang. di attrito (°)	19,87	18,81	COV=10%	18,81	15,04
	Peso di Volume (t/m3)	1,78	1,72	COV=5%	1,72	1,72
	Coesione non drenata Cu (kg/cm2)	0,21	0,16	COV=30%	0,16	0,11
	Mod. Edometrico (kg/cm2)	41	37	COV=30%		
	Mod. di Young (kg/cm2)	26	23	COV=30%		
	Mod. di Poisson	0,34				
	Mod. di deform. al taglio Gdinamico (kg/cm2)	448	396	COV=30%		
	Mod. di deform. al taglio Gstatico (kg/cm2)	29	25	COV=30%		

	Parametro geotecnico	Valore nominale medio	Valore caratt. (Xk)	Metodo utilizzato	Valore di progetto (M1)	Valore di progetto (M2)
UNITA' GEOTECNICA 2	Ang. di attrito (°)	26,40	24,70	COV=10%	24,70	19,76
	Peso di Volume (t/m3)	1,99	1,90	COV=5%	1,90	1,90
	Coesione non drenata Cu (kg/cm2)	1,28	0,91	COV=30%	0,91	0,65
	Coesione drenata C (kg/cm2)	0,37	0,19	COV=30%	0,19	0,15
	Mod. Edometrico (kg/cm2)	270	234	COV=30%		
	Mod. di Young (kg/cm2)	235	201	COV=30%		
	Mod. di Poisson	0,29				
	Mod. di deform. al taglio Gdinamico (kg/cm2)	1090	850	COV=30%		
	Mod. di deform. al taglio Gstatico (kg/cm2)	70	55	COV=30%		

I valori nominali sono stati estrapolati tramite l'elaborazione dei dati desunti dalla prova con il programma Dynamic Probing della GEOSTRU e da altre indagini effettuate su simili litotipi.

8. DATI GEOFISICI e AZIONE SISMICA

E' stata svolta una campagna d'indagini geofisiche atta ad ottenere il parametro fisico Vs30, utile per inquadrare la categoria di suolo (Norme Tecniche sulle costruzioni NTC 2008 - D.M. 14/01/2008) oltre che a definire dal punto di vista sismostratigrafico l'area.

In particolare si è stata eseguita un'indagine di sismica superficiale tipo MASW al fine di definire il parametro fisico Vs30.

8.1 INDAGINE SISMICA MASW – M1

Dall'indagine sismica M1, realizzata sul sito in oggetto, con lunghezza di **36 m** e direzione **NE-SW**, è stato sintetizzato il profilo di velocità delle onde S in cui si osserva un graduale incremento delle velocità sismiche, fino alla profondità di 30,0 m dal p.c. (All.1-2):

- - **2.5 m dal p.c.**, si riscontra una velocità Vs di **202 m/s**;
- - **7.5 m dal p.c.**, abbiamo un decremento delle Vs, passando **a 250 m/s**;
- - **12 m dal p.c.**, abbiamo un decremento delle Vs, passando **a 323 m/s**;
- - **15.5 m dal p.c.**, abbiamo un aumento delle Vs, passando **a 338 m/s**;
- - **30 m dal p.c.**, abbiamo un aumento delle Vs, passando **a 416 m/s**.

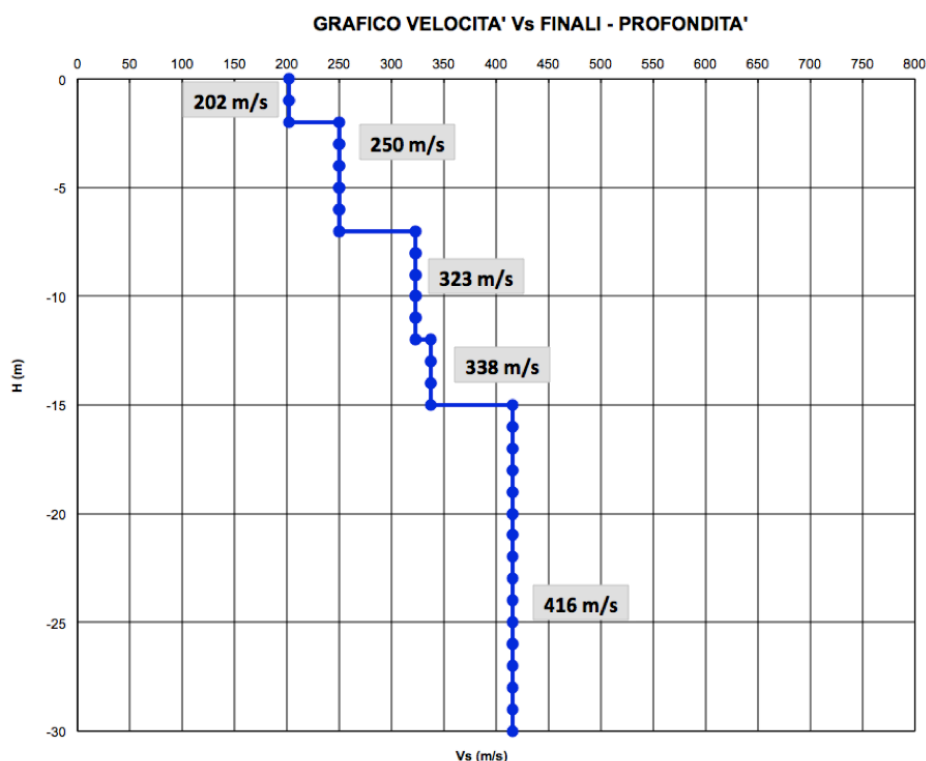


Figura 11. Profilo di Velocità ottenuto con la metodologia MASW – M1

Dall'analisi del profilo di velocità V_s , acquisito fino a 30 m dal p.c. con la prova **M1**, è stato calcolato il parametro **$V_{s30} = 328 \text{ m/s}$** (Fig.11).

Dall'analisi del profilo di velocità V_s ottenuto con la prova RF1 SH, abbiamo ottenuto un valore di $V_{s30} = 488 \text{ m/s}$.

Alla luce dei valori ottenuti, cautelativamente si decide di adottare come valore di V_{s30} quello ottenuto della prova M1, per tale motivo, in riferimento alla nuova normativa (NTC 2008 – D.M. 14 gennaio 2008) si assegna al suolo di fondazione la categoria **C**:
“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina).”.

9. VERIFICA A LIQUEFAZIONE

L'area di studio 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.

Secondo quanto prescritto nelle NTC08, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesta almeno una delle seguenti circostanze

- eventi sismici di magnitudo inferiore a 5 ($M < 5$);
- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizione di *free-field*) inferiori a 0.1g ($a < 1 \text{ m/sec}^2$);
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano di campagna, quest'ultimo inteso ad andamento sub-orizzontale e con strutture a fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $N_{1,60} > 30$;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Per eseguire un'appropriata valutazione del potenziale a liquefazione del sito, è importante andare a valutare in maniera rigorosa la natura dei terreni, al fine di stabilire la precisa quantità di sabbie presenti, a tal fine sono stati eseguiti appropriati studi del fuso granulometrico, sul campione C1 (9,5-10,0 m dal p.c.).

L'unità geotecnica 2, dove sono stati prelevati i suddetti campioni, e dove insiste la falda piezometrica ad una profondità di 8,6 m dal p.c., risulta costituita da alternanze decimetriche e metriche di ghiaia sabbioso limosa e limo con argilla e sabbia, pertanto appare caratterizzata da una grande eteropia laterale e verticale.

Il campione indisturbato C1 (9,5-10,0 m dal p.c.) come da analisi granulometrica è costituito da Limo con argilla di colore grigio – verdastro (Tav. 11), dalla sovrapposizione con i fusi granulometrici di normativa (Fig. 12) il fuso granulometrico del campione non rientra nel range di liquefacibilità proposta dalla normativa.

Quindi dai dati in nostro possesso, **è possibile stabilire che il sito non è liquefacibile.**

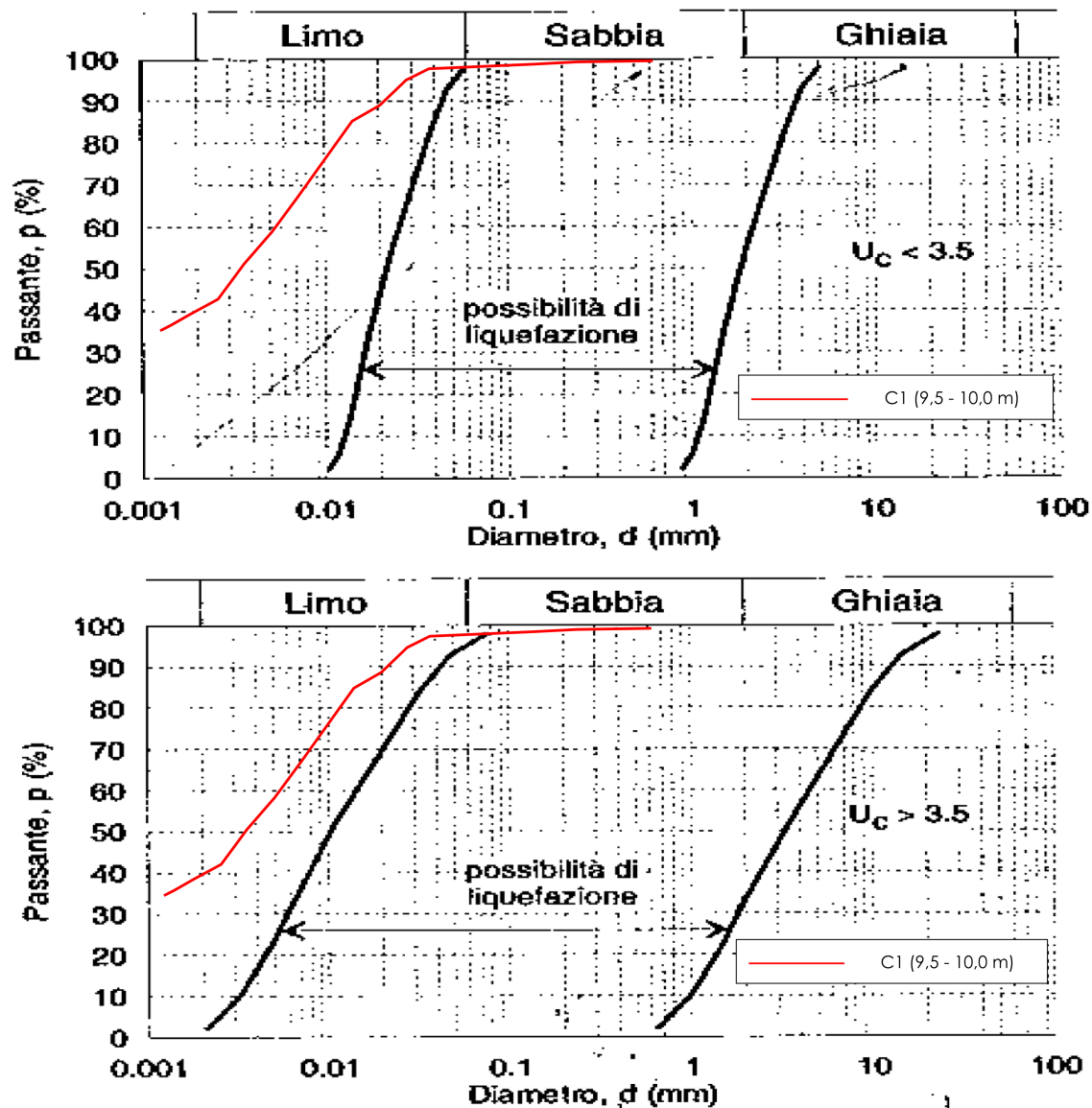


Figura 12. Confronto tra i fusi granulometrici dei campioni C1 (9,5-10,0 m dal p.c.) con le distribuzioni granulometriche indicate nella normativa (NTC'08)

10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente lavoro è stato redatto su incarico dell' **Amministrazione Comunale di San Benedetto dei Marsi**, al fine di definire le caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dell' **Istituto Comprensivo "Marruvium"** ubicata nel **Comune di San Benedetto dei Marsi (AQ)** su **Via San Cipriano**.

- In base al rilievo geomorfologico eseguito e dall'osservazione delle Carta Topografica l'area è stata classificata nella **categoria Topografica "T1"** in quanto il sito si trova su di un versante, con inclinazione '*i*' al disotto dei 15° (NTC 2008 – D.M. 14/01/2008).
- Analizzando la cartografia geologica ufficiale più recente ed a scala di dettaglio, **Foglio geologico n°368 (Avezzano)** il sito si colloca al passaggio tra i depositi olocenici (olo) ed i depositi del Sintema di Valle Majelama (AVM) (Fig.5).
- Dall'analisi della Carta degli scenari di rischio frana fornita dalla Autorità di Bacino "Liri-Garigliano Volturno" si denota come il sito non ricade in nessuna zona a rischio.
- Alla luce del piano delle indagini realizzato (stabilito dal progettista, NTC'08), è possibile stabilire che il sito non è liquefacibile.
- Il sito è stato analizzato attraverso Il **Modello Geologico Tecnico** in scala di dettaglio, che restituisce l'assetto litostratigrafico locale, il terreno di fondazione è stato suddiviso dal punto di vista geotecnico in **n°2 Unità Geotecniche**, in base alle indagini eseguite:
 - **UNITA' GEOTECNICA 1 – da 0,0 a 2,4 Terreno di riporto antropico che passa ad argilla limosa con sabbia e ghiaia;**
 - **UNITA' GEOTECNICA 2 – da 2,4 a 30,0 Alternanze decimetriche e metriche di ghiaia sabbioso limosa e limo con argilla e sabbia;**
- Dal punto di vista sismico, è stato calcolato il parametro **Vs30** con la prova sismica M1 è risultato essere pari a **328 m/s**. Pertanto il sito rientra nella **categoria di sottosuolo C**, in riferimento alla nuova normativa (NTC 2008 – D.M. 14 gennaio 2008).
- In relazione alle caratteristiche idrogeologiche dei terreni individuati, la struttura non dovrà interferire con la circolazione idrica, sia superficiale che profonda; è consigliabile prevedere la raccolta delle acque percolanti e il loro allontanamento, unitamente a quelle di gronda, al sistema fognario o in direzione del più vicino canale affinché nei terreni di fondazione le caratteristiche geologico-tecniche non subiscano decadimenti nel tempo.

Gioia dei Marsi (AQ)

Luglio 2016

Il Geologo

Dott. Michele Aureli

11. BIBLIOGRAFIA

- Bagnaia R., D'Epifanio A. & Sylos Labini S. (1992) - Aquila and Subequan basins: an example of Quaternary evolution in central Apennines, Italy. *Quaternaria Nova*, II, 187-209.
- Bertini T. & Bosi C. (1993) - La tettonica quaternaria della conca di Fossa (L'Aquila). *Il Quaternario*, 6, 293-314.
- Blumetti A.M., Cavinato G.P. & Tallini M. (1996) - Evoluzione plio-quaternaria della Conca di L'Aquila-Scoppito: studio preliminare. *Il Quaternario*, 9(1), 281-286.
- Bosi C. & Bertini T. (1970) - Geologia della Media Valle dell'Aterno. *Mem. soc. Geol. It.*, 9, 719-777.
- Bosi C. & Messina P. (1991) - Ipotesi di correlazione fra successioni morfo-litostratigrafiche plio-pleistoceniche nell'Appennino laziale-abruzzese. *Studi Geologici Camerti*, vol. spec. (1991/2), CROP 11, 257-263.
- Bosi C., Galadini F., Giaccio B., Messina P. & Sposato A. (2003) - Plio-Quaternary continental deposits in the Latium-Abruzzi Apennines: the correlation of geological events across different intermontane basins. *Il Quaternario*, 16 (1Bis), 55-76.
- Castellaro S. & Mulargia F. (2009) - VS30 Estimates Using Constrained H/V Measurements, *Bull.Seism.Soc.Am.*, 99; 761-773, DOI: 10.1785/0120080179.
- Cestari F. (1990) - Prove geotecniche in sito - ed. GEO-GRAPH s.n.c. (Segrate)
- Gruppo di Lavoro MS (2008) - Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Conferenza delle Regioni e delle Provincie autonome, Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Cd-rom.
- Lavecchia G. et al. (2006) - Carta degli allineamenti di faglie quaternarie ovest-immergenti rilevanti dal punto di vista sismogenetico (area intra-appenninica umbro-marchigiano-abruzzese) (http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/P512/UR_UNICH_lav.html)
- Messina P., Moro M. & Speranza F. (2001) - Primi risultati di stratigrafia magnetica su alcune formazioni continentali dell'alta Valle dell'Aterno (Italia centrale). *Il Quaternario*, 14(2), 167-172.
- Tallini M., Magadi D., Lorè A., Reale E. & Scozzafava M. (2002) - Geologia del Quaternario e pianificazione territoriale della piana intramontana L'Aquila-Scoppito (Italia centrale). *GEAM*, 1, 55-67.
- Tallini M. (Coordinatore) (2009) - Carta di Microzonazione sismica - Macroarea 2 - Progetto Microzonazione Sismica L'Aquila. Università degli studi dell'Aquila-Protezione Civile Nazionale.
- Tallini M. (Coordinatore) (2009) - Carta Geologica - Macroarea 2 - Progetto Microzonazione Sismica L'Aquila. Università degli studi dell'Aquila-Protezione Civile Nazionale.
- NTC (2008) - Norme Tecniche per le Costruzioni. DM 14 gennaio 2008, Gazzetta Ufficiale, n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma (www.cslp.it).
- Vezzani L. & Ghisetti F. (1998) - Carta geologica dell'Abruzzo, Scala 1:100.000, S.El.Ca., Firenze.
- Iervolino, I., Galasso, C., Cosenza, E. REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8:339-362, 2010 DOI 10.1007/s10518-009-9146-1.

ALLEGATI

- ❖ ALL. 1 QUADERNO TECNICO DELLE INDAGINI
- ❖ ALL. 2 UBICAZIONE INDAGINI – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA – MODELLO GEOLOGICO TECNICO – PARAMETRI SISMICI;

QUADERNO TECNICO DELLE INDAGINI

Sommario

1. PREMESSA	33
2. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUPERPESANTE – DPSH.....	34
2.1 ELABORAZIONE PROVA DPSH1	35
2.2 INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA PROVA DPSH1	39
2.3 ELABORAZIONE PROVA DPSH2	40
2.4 INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA PROVA DPSH2.....	44
3.0 PROVA SISMICA DI SUPERFICIE – MASW.....	45
3.1 INTRODUZIONE	45
3.2 MODALITA' DI ACQUISIZIONE	46
3.3 RISULTATI DELL'ANALISI MASW – M1	47
4. SISMICA A RIFRAZIONE.....	55
4.1 CENNI TEORICI SUL METODO	55
4.2 MODALITA' DI ACQUISIZIONE	57
4.3 ELABORAZIONE DATI	59
4.4 RISULTATI PROVA RF1 ONDE P.....	60
4.5 RISULTATI PROVA RF1 ONDE SH	60
5. PROVA SISMICA PASSIVA – HVSR.....	70
5.1 METODOLOGIA DI CALCOLO DEI RAPPORTI SPETTRALI	70
5.2 CONDIZIONI DI RAPPRESENTATIVITA' DEL PICCO	71
5.3 CURVA MISURATA E RISULTATI DELL'ANALISI – HVSR1	73
6. SONDAGGIO GEOGNOSTICO A CAROTAGGIO CONTINUO.....	78
6.1 ATTREZZATURA DI PERFORAZIONE	78
6.2 UTENSILI DI PERFORAZIONE	79
6.3 MODALITA' ESECUTIVE DEL SONDAGGIO GEOTECNICO.....	79
6.4 FLUIDI DI CIRCOLAZIONE.....	80
6.5 MODALITA' DI REALIZZAZIONE ED INSTALLAZIONE PIEZOMETRO	80
6.6 STRATIGRAFIA SONDAGGIO S1 15.5 m	82
7. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE IN FORO (S.P.T.)	83
7.1 ELABORAZIONE PROVA PENETROMETRICA IN FORO – S.P.T.	85
7.1.1 SPT1/S1	86

Tavole:

- TAV.1 Dromocrone (onde P) – RF1;
- TAV.2 Sezione sismostratigrafica (onde P) – RF1;
- TAV.3 Posizione dei geofoni e primi arrivi (onde P) – RF1;
- TAV.4 Sismogrammi di campagna con tempi di primo arrivo (onde P) – RF1
- TAV.5 Dromocrone (onde SH) – RF1;
- TAV.6 Sezione sismostratigrafica (onde SH) – RF1;
- TAV.7 Posizione dei geofoni e primi arrivi (onde SH) – RF1;
- TAV.8 Sismogrammi di campagna con tempi di primo arrivo (onde SH) – RF1;
- TAV.9 Stratigrafia sondaggio a c.c. con foto cassette catalogatrici;
- TAV.10 Foto cassette catalogatrici;
- TAV.11 Certificati di Laboratorio.

1. PREMESSA

Il giorno **30 Maggio 2016** è stata condotta un'indagine geognostica e geofisica presso **Via San Cipriano**, nel comune di **Comune di San Benedetto dei Marsi (AQ)**.

Le indagini sono state condotte al fine di definire i caratteri geotecnici del terreno interessato dall'opera in progetto. Di seguito vengono elencate le indagini eseguite:

<i>TIPOLOGIA DI INDAGINE</i>	<i>OBIETTIVO</i>	<i>DATA</i>	<i>QUANTITA'</i>	<i>PROFONDITA' / LUNGHEZZA</i>
Sondaggio Geotecnico a c.c.	Ricostruzione rapporti stratigrafici, esecuzione prove in foro, installazione piezometro	30/05/2016	N° 1	S1 – 15.5 m
Prova Penetrometrica di tipo DPSH *	Ricostruzione rapporti stratigrafici, prelievo campioni indisturbati, esecuzione prove in foro	30/05/2016	N°2	DPSH1 – 5.20 m DPSH2 – 4.40 m
Sismica di superficie tipo MASW	Caratterizzazione del parametro Vs30 per la categoria di suolo (D.M. 14-01-08)	30/05/2016	N°1	M – 48 m
Sismica a Rifrazione in onde P e Sh	Definizione dei rapporti geometrici tra i diversi sismostrati	30/05/2016	N°1	RIF – 48 m
Sismica passiva Tipo HVSR	Individuazione della frequenza fondamentale di sito	30/05/2016	N°1	HVSR1 – 30 min

(*) Le indagini penetrometriche DPSH sono state eseguite con penetrometro Pagani, costruito in conformità delle norme tecniche UNI ENV 1997-3:2002 o EN ISO 22476-2:2005 e secondo quanto previsto dalle norme UNI EN/1997-1 e UNI EN/1997- 2.

2. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUPERPESANTE – DPSH

Committente: Amministrazione Comunale San Benedetto dei Marsi Cantiere: Istituto Comprensivo "Marruvium" – Via San Cipriano Località: San Benedetto dei Marsi (AQ)	
--	--

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	0.63 Kg
Diametro punta conica	51.00 mm
Area di base punta	20.43 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.40 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1.472
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

2.1 ELABORAZIONE PROVA DPSH1

Strumento utilizzato DPSH TG 63-200 PAGANI
 Prova eseguita in data 30/05/2016
 Profondità prova 5,20 mt
 Falda non rilevata
 Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	19	0,805	160,64	199,64	8,03	9,98
0,40	5	0,851	44,70	52,54	2,23	2,63
0,60	4	0,847	32,67	38,57	1,63	1,93
0,80	2	0,843	16,27	19,29	0,81	0,96
1,00	2	0,840	16,20	19,29	0,81	0,96
1,20	5	0,836	40,32	48,22	2,02	2,41
1,40	6	0,833	48,19	57,86	2,41	2,89
1,60	11	0,830	81,31	98,02	4,07	4,90
1,80	3	0,826	22,09	26,73	1,10	1,34
2,00	3	0,823	22,01	26,73	1,10	1,34
2,20	3	0,820	21,92	26,73	1,10	1,34
2,40	3	0,817	21,84	26,73	1,09	1,34
2,60	4	0,814	26,97	33,13	1,35	1,66
2,80	5	0,811	33,60	41,41	1,68	2,07
3,00	15	0,759	94,25	124,23	4,71	6,21
3,20	40	0,606	200,75	331,27	10,04	16,56
3,40	38	0,653	205,63	314,70	10,28	15,74
3,60	25	0,701	135,54	193,39	6,78	9,67
3,80	18	0,748	104,21	139,24	5,21	6,96
4,00	14	0,746	80,79	108,30	4,04	5,41
4,20	4	0,794	24,56	30,94	1,23	1,55
4,40	14	0,741	80,30	108,30	4,01	5,41
4,60	25	0,689	125,04	181,42	6,25	9,07
4,80	31	0,637	143,33	224,96	7,17	11,25
5,00	54	0,585	229,26	391,87	11,46	19,59
5,20	100	0,583	423,08	725,69	21,15	36,28

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0,6	9,33	96,92	Incoerente - coesivo	2,05	2,25	0,06	1,46	13,62	Terreno di riporto
2,8	4,27	38,56	Incoerente - coesivo	1,83	1,89	0,32	1,47	6,29	Argilla limosa con sabbia
5,2	25,27	195,33	Incoerente - coesivo	2,4	2,5	0,81	1,49	37,65	Sabbia limosa con ghiaia

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Terreno di riporto	13,62	0.00-0,60	Shioi - Fukui (1982)	0,34
Argilla limosa con sabbia	6,29	0,60-2,80	Shioi - Fukui (1982)	0,16
Sabbia limosa con ghiaia	37,65	2,80-5,20	Shioi - Fukui (1982)	0,24

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Terreno di riporto	13,62	0.00-0,60	Stroud e Butler (1975)	62,49
Argilla limosa con sabbia	6,29	0,60-2,80	Stroud e Butler (1975)	28,86
Sabbia limosa con ghiaia	37,65	2,80-5,20	Stroud e Butler (1975)	172,74

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Terreno di riporto	13,62	0.00-0,60	Apollonia	41,20
Argilla limosa con sabbia	6,29	0,60-2,80	Apollonia	18,90
Sabbia limosa con ghiaia	37,65	2,80-5,20	Apollonia	134,50

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Terreno di riporto	13,62	0.00-0,60	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Argilla limosa con sabbia	6,29	0,60-2,80	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Sabbia limosa con ghiaia	37,65	2,80-5,20	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Terreno di riporto	13,62	0.00-0,60	Meyerhof	2,05
Argilla limosa con sabbia	6,29	0,60-2,80	Meyerhof	1,83
Sabbia limosa con ghiaia	37,65	2,80-5,20	Meyerhof	2,40

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Terreno di riporto	13,62	0.00-0,60	Meyerhof	2,25
Argilla limosa con sabbia	6,29	0,60-2,80	Meyerhof	1,89
Sabbia limosa con ghiaia	37,65	2,80-5,20	Meyerhof	2,50

TERRENI INCOERENTI**Densità relativa**

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Terreno di riporto	13,62	0.00-0,60	13,62	Gibbs & Holtz 1957	47,04
Argilla limosa con sabbia	6,29	0,60-2,80	6,29	Gibbs & Holtz 1957	25,1
Sabbia limosa con ghiaia	37,65	2,80-5,20	37,65	Gibbs & Holtz 1957	56,76

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Terreno di riporto	13,62	0.00-0,60	13,62	Meyerhof (1956)	18,89
Argilla limosa con sabbia	6,29	0,60-2,80	6,29	Meyerhof (1956)	21,8
Sabbia limosa con ghiaia	37,65	2,80-5,20	37,65	Malcev (1964)	31,33

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Terreno di riporto	13,62	0.00-0,60	13,62	Schultze-Menzenbach	37,65
Argilla limosa con sabbia	6,29	0,60-2,80	6,29	Schultze-Menzenbach	25,06
Sabbia limosa con ghiaia	37,65	2,80-5,20	37,65	Schultze-Menzenbach	340,97

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Terreno di riporto	13,62	0.00-0,60	13,62	Begemann (1974)	55,44
Argilla limosa con sabbia	6,29	0,60-2,80	6,29	Begemann 1974	40,38
Sabbia limosa con ghiaia	37,65	2,80-5,20	37,65	Begemann (1974)	435,62

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Terreno di riporto	13,62	0.00-0,60	13,62	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Argilla limosa con sabbia	6,29	0,60-2,80	6,29	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Sabbia limosa con ghiaia	37,65	2,80-5,20	37,65	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Terreno di riporto	13,62	0.00-0,60	13,62	Meyerhof ed altri	1,84
Argilla limosa con sabbia	6,29	0,60-2,80	6,29	Meyerhof ed altri	1,59
Sabbia limosa con ghiaia	37,65	2,80-5,20	37,65	Meyerhof ed altri	2,19

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Terreno di riporto	13,62	0.00-0,60	13,62	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,94
Argilla limosa con sabbia	6,29	0,60-2,80	6,29	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,89
Sabbia limosa con ghiaia	37,65	2,80-5,20	37,65	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,28

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Terreno di riporto	13,62	0.00-0,60	13,62	(A.G.I.)	0,33
Argilla limosa con sabbia	6,29	0,60-2,80	6,29	(A.G.I.)	0,34
Sabbia limosa con ghiaia	37,65	2,80-5,20	37,65	(A.G.I.)	0,28

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Terreno di riporto	13,62	0.00-0,60	13,62	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	616,44
Argilla limosa con sabbia	6,29	0,60-2,80	6,29	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	384,49
Sabbia limosa con ghiaia	37,65	2,80-5,20	37,65	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	1147,37

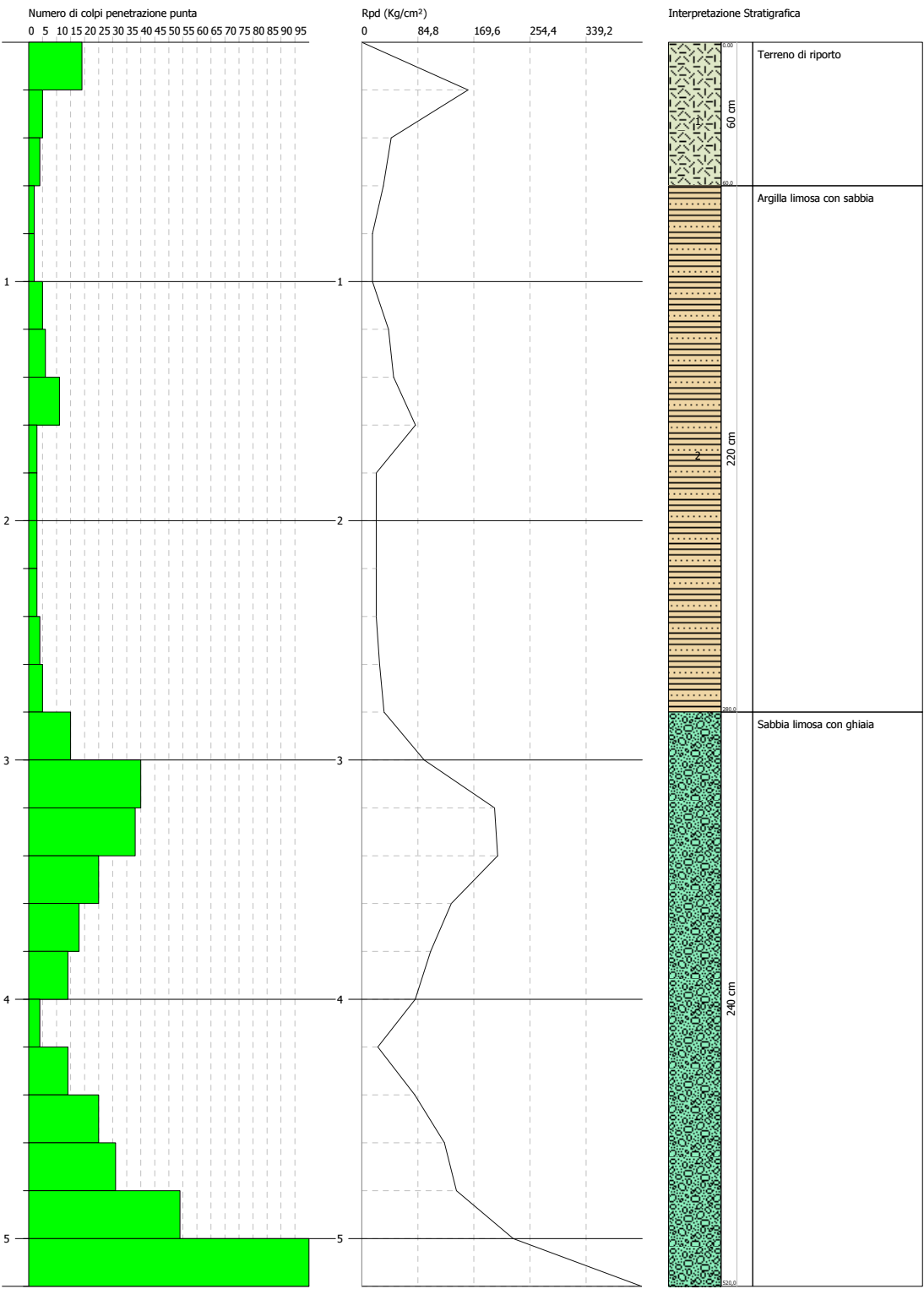
2.2 INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA PROVA DPSH1

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH1
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente:
Cantiere:
Località:

Data: 30/05/2016

Scala 1:22



IL RESPONSABILE DEL SITO

IL DIRETTORE

2.3 ELABORAZIONE PROVA DPSH2

Strumento utilizzato DPSH TG 63-200 PAGANI
 Prova eseguita in data 30/05/2016
 Profondità prova 4,40 mt
 Falda non rilevata
 Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	12	0,855	107,76	126,09	5,39	6,30
0,40	4	0,851	35,76	42,03	1,79	2,10
0,60	4	0,847	32,67	38,57	1,63	1,93
0,80	4	0,843	32,53	38,57	1,63	1,93
1,00	3	0,840	24,29	28,93	1,21	1,45
1,20	3	0,836	24,19	28,93	1,21	1,45
1,40	3	0,833	24,10	28,93	1,20	1,45
1,60	4	0,830	29,57	35,64	1,48	1,78
1,80	10	0,826	73,63	89,11	3,68	4,46
2,00	9	0,823	66,02	80,20	3,30	4,01
2,20	25	0,720	160,42	222,77	8,02	11,14
2,40	18	0,767	123,05	160,40	6,15	8,02
2,60	31	0,664	170,53	256,73	8,53	12,84
2,80	16	0,761	100,89	132,51	5,04	6,63
3,00	4	0,809	26,79	33,13	1,34	1,66
3,20	3	0,806	20,03	24,85	1,00	1,24
3,40	3	0,803	19,96	24,85	1,00	1,24
3,60	19	0,751	110,36	146,97	5,52	7,35
3,80	33	0,648	165,52	255,27	8,28	12,76
4,00	59	0,596	272,02	456,40	13,60	22,82
4,20	75	0,594	344,44	580,16	17,22	29,01
4,40	100	0,591	457,51	773,55	22,88	38,68

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0,8	6	61,32	Incoerente - coesivo	1,93	2,12	0,08	1,46	8,76	Terreno di riporto
1,6	3,25	30,61	Incoerente - coesivo	1,75	1,88	0,22	1,47	4,78	Argilla limosa con sabbia
4,4	23,46	189,49	Incoerente - coesivo	2,28	2,5	0,61	1,48	34,77	Sabbia limosa con ghiaia

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Terreno di riporto	8,76	0,00-0,80	Shioi - Fukui (1982)	0,22
Argilla limosa con sabbia	4,78	0,80-1,60	Shioi - Fukui (1982)	0,12
Sabbia limosa con ghiaia	34,77	1,60-4,40	Shioi - Fukui (1982)	0,22

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Terreno di riporto	8,76	0.00-0,80	Stroud e Butler (1975)	40,19
Argilla limosa con sabbia	4,78	0,80-1,60	Stroud e Butler (1975)	21,93
Sabbia limosa con ghiaia	34,77	1,60-4,40	Stroud e Butler (1975)	159,53

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Terreno di riporto	8,76	0.00-0,80	Apollonia	25,60
Argilla limosa con sabbia	4,78	0,80-1,60	Apollonia	13,80
Sabbia limosa con ghiaia	34,77	1,60-4,40	Apollonia	121,70

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Terreno di riporto	8,76	0.00-0,80	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Argilla limosa con sabbia	4,78	0,80-1,60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Sabbia limosa con ghiaia	34,77	1,60-4,40	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Terreno di riporto	8,76	0.00-0,80	Meyerhof	1,93
Argilla limosa con sabbia	4,78	0,80-1,60	Meyerhof	1,75
Sabbia limosa con ghiaia	34,77	1,60-4,40	Meyerhof	2,28

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Terreno di riporto	8,76	0.00-0,80	Meyerhof	2,12
Argilla limosa con sabbia	4,78	0,80-1,60	Meyerhof	1,88
Sabbia limosa con ghiaia	34,77	1,60-4,40	Meyerhof	2,50

TERRENI INCOERENTI**Densità relativa**

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Terreno di riporto	8,76	0.00-0,80	8,76	Gibbs & Holtz 1957	36,68
Argilla limosa con sabbia	4,78	0,80-1,60	4,78	Gibbs & Holtz 1957	21,72
Sabbia limosa con ghiaia	34,77	1,60-4,40	34,77	Gibbs & Holtz 1957	58,2

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Terreno di riporto	8,76	0.00-0,80	8,76	Meyerhof (1956)	17,5
Argilla limosa con sabbia	4,78	0,80-1,60	4,78	Meyerhof (1956)	21,37
Sabbia limosa con ghiaia	34,77	1,60-4,40	34,77	Malcev (1964)	31,81

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Terreno di riporto	8,76	0.00-0,80	8,76	Schultze-Menzenbach	29,61
Argilla limosa con sabbia	4,78	0,80-1,60	4,78	Schultze-Menzenbach	24,07
Sabbia limosa con ghiaia	34,77	1,60-4,40	34,77	Schultze-Menzenbach	312,99

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Terreno di riporto	8,76	0.00-0,80	8,76	Begemann (1974)	45,46
Argilla limosa con sabbia	4,78	0,80-1,60	4,78	Begemann (1974)	37,28
Sabbia limosa con ghiaia	34,77	1,60-4,40	34,77	Begemann (1974)	409,41

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Terreno di riporto	8,76	0.00-0,80	8,76	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Argilla limosa con sabbia	4,78	0,80-1,60	4,78	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Sabbia limosa con ghiaia	34,77	1,60-4,40	34,77	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Terreno di riporto	8,76	0.00-0,80	8,76	Meyerhof ed altri	1,69
Argilla limosa con sabbia	4,78	0,80-1,60	4,78	Meyerhof ed altri	1,53
Sabbia limosa con ghiaia	34,77	1,60-4,40	34,77	Meyerhof ed altri	2,17

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Terreno di riporto	8,76	0.00-0,80	8,76	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,91
Argilla limosa con sabbia	4,78	0,80-1,60	4,78	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,89
Sabbia limosa con ghiaia	34,77	1,60-4,40	34,77	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,27

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Terreno di riporto	8,76	0.00-0,80	8,76	(A.G.I.)	0,34
Argilla limosa con sabbia	4,78	0,80-1,60	4,78	(A.G.I.)	0,34
Sabbia limosa con ghiaia	34,77	1,60-4,40	34,77	(A.G.I.)	0,29

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Terreno di riporto	8,76	0.00-0,80	8,76	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	470,74
Argilla limosa con sabbia	4,78	0,80-1,60	4,78	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	325,12
Sabbia limosa con ghiaia	34,77	1,60-4,40	34,77	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	1092,91

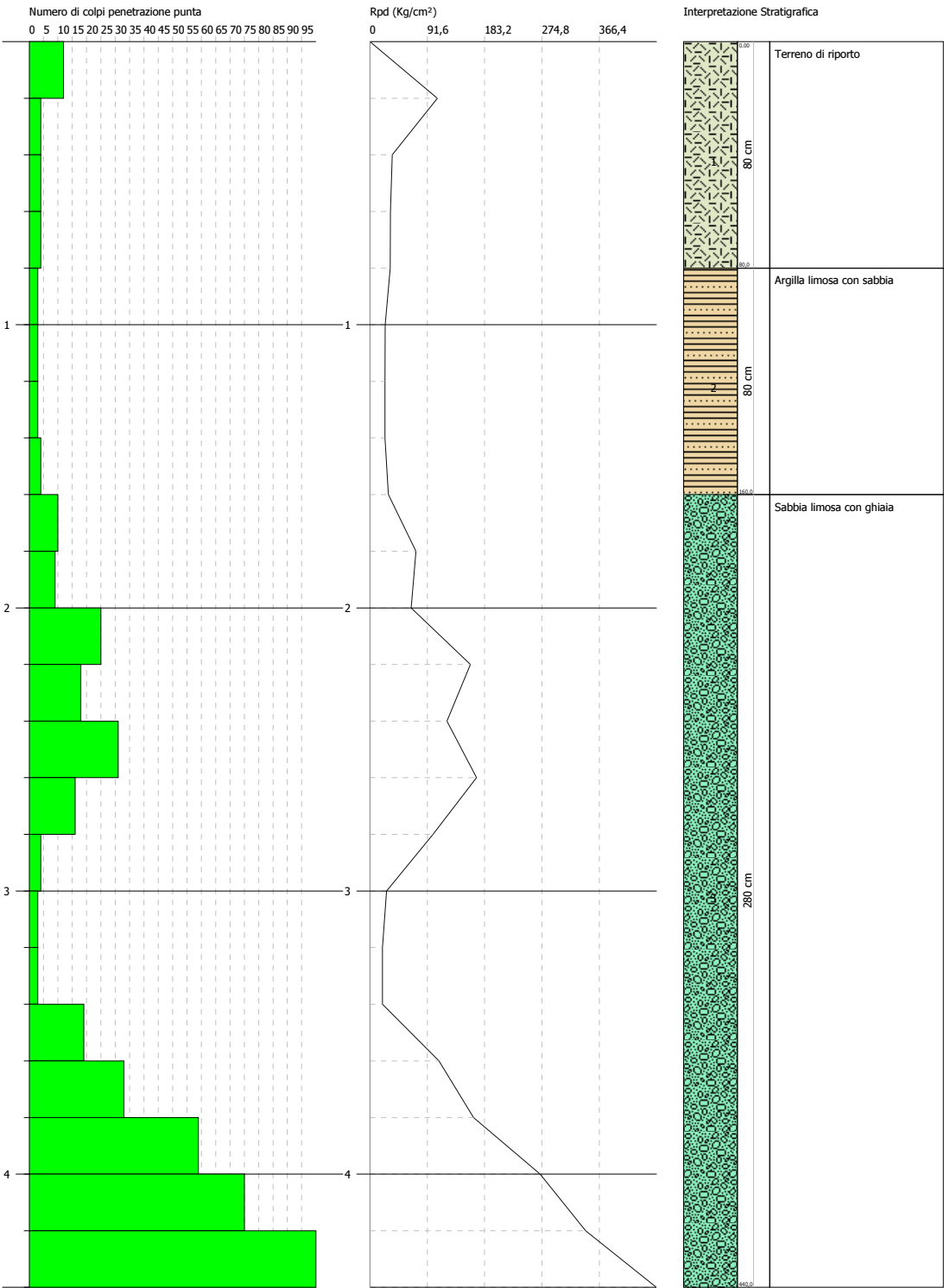
2.4 INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA PROVA DPSH2

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH2
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente:
Cantiere:
Località:

Data: 30/05/2016

Scala 1:19



IL RESPONSABILE DEL SITO

IL DIRETTORE

3.0 PROVA SISMICA DI SUPERFICIE – MASW

3.1 INTRODUZIONE

E' stata eseguita una indagine sismica con metodologia MASW per l'acquisizione del profilo di velocità delle onde di taglio $V_{s,30}$ (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni DM 14 gennaio 2008).

Il parametro $V_{s,30}$ rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S nei primi 30 metri di profondità ed è calcolato mediante la seguente espressione:

Dove:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

h_i è lo spessore dello strato i -esimo

V_i è la velocità dello strato i -esimo

Tale parametro può essere determinato attraverso indagini indirette ed in particolar modo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh, ossia onde di superficie generate dall'interazione tra onde di pressione (P) e le onde di taglio verticali (Sv) ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo.

L'analisi delle onde S mediante tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, che, a seguito di una trasformata di Fourier, restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio è possibile separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P, propagazione in aria ecc. Osservando lo spettro di frequenza è possibile evidenziare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della sua frequenza, come risultato del fenomeno della dispersione.

I dati ottenuti dall'acquisizione di campagna sono stati opportunamente elaborati e interpretati così da ottenere i risultati finali. Il seguente rapporto tecnico illustra le tecniche utilizzate ed i risultati conseguiti.

3.2 MODALITA' DI ACQUISIZIONE

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

a) **Sismografo**

Il sismografo utilizzato per l'esecuzione della linea sismica MASW è un sismografo ECHO 24/2010 SEISMIC UNIT a 24 canali (Foto 1) caratterizzato dai seguenti parametri di acquisizione:

PARAMETRI DI ACQUISIZIONE:

Sismografo: ECHO 24/2010SEISMIC UNIT

Numero canali utilizzati: 24

Numero geofoni per canale: 1

Impedenza geofoni: 430 Ω

Frequenza naturale: 4,5 Hz (verticali)

Lungh. di registrazione: 1000ms

GEOMETRIA DELLO STENDIMENTO:

Offset: 2.0 m

Distanza intergeofonica: 2.0 m



Foto 1: Sismografo Echo 24/2010

b) **Sistema energizzante**

Come sorgente energizzante è stato utilizzato una mazza del peso di 8 Kg, battente su una piastra di alluminio, in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia con forme d'onda ripetibili e direzionali, cioè con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione.

Tale metodologia ha consentito di ottenere ovunque registrazioni di buona qualità.

Per questa linea sismica sono state effettuate diverse energizzazioni in modo da poter avere più possibilità di analizzare una buona registrazione.

c) **Trigger**

Il trigger utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un geofono starter nell'istante in cui il sistema energizzante (cannoncino, maglio, mazza etc.) colpisce la base di battuta determinando l'inizio della registrazione.

d) **Apparecchiatura di ricezione**

Per la ricezione del segnale si sono utilizzati Geofoni verticali con frequenza di 4,5 Hz.

3.3 RISULTATI DELL'ANALISI MASW – M1

Il metodo MASW adottato nella fase di elaborazione consiste in più fasi (Roma, 2002):

- (1) la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale e la valutazione dello spettro $f-k$;
- (2) la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica, invertendo la curva di dispersione mediante picking e successiva applicazione di algoritmi genetici;
- (3) la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (o in maniera alternativa alle velocità V_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson ν), la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo.

La sovrapposizione delle curve teoriche e sperimentali fornisce un parametro indicativo sull'attendibilità del modello geofisico risultante.

Software redatto da MASW
(c) V.antonio Roma. All rights reserved.

Fase 1 – Analisi dei dati sperimentali

Numero di ricevitori..... 24
Numero di campioni temporali..... 7800
Passo temporale di acquisizione 0.128ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1000ms

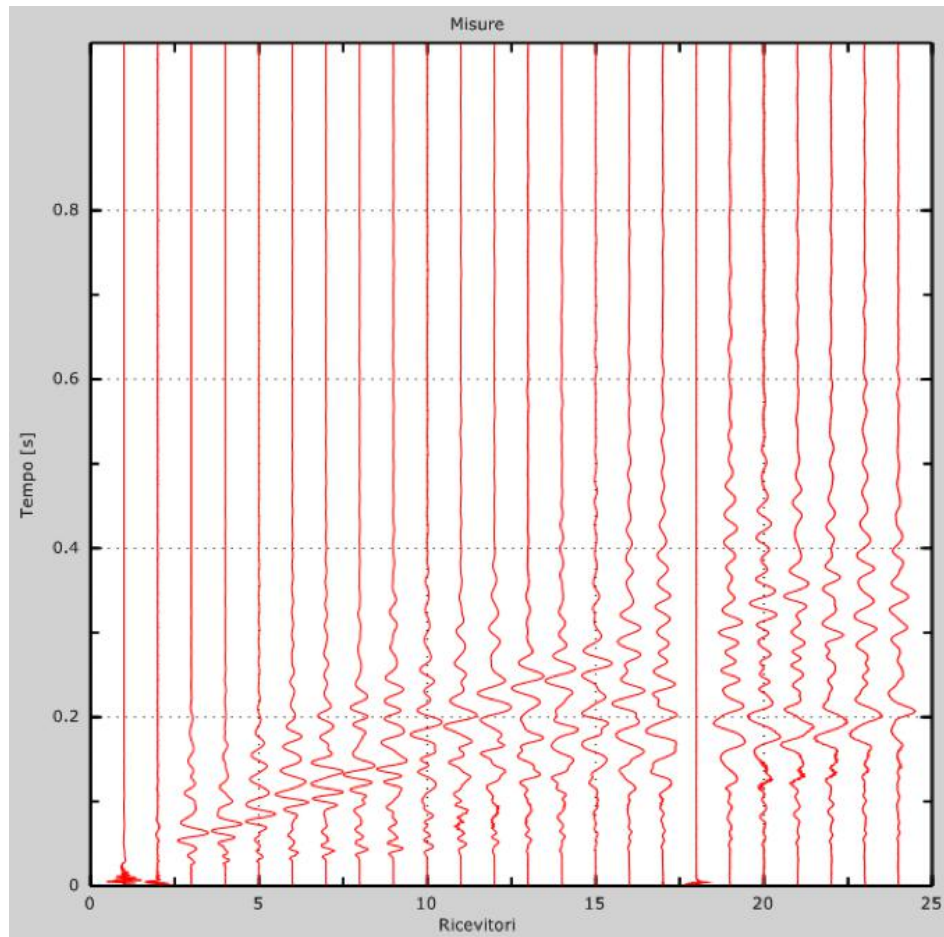


Figura 1: Tracce sperimentali

Fase 2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale..... 60 Hz
Frequenza iniziale..... 5 Hz

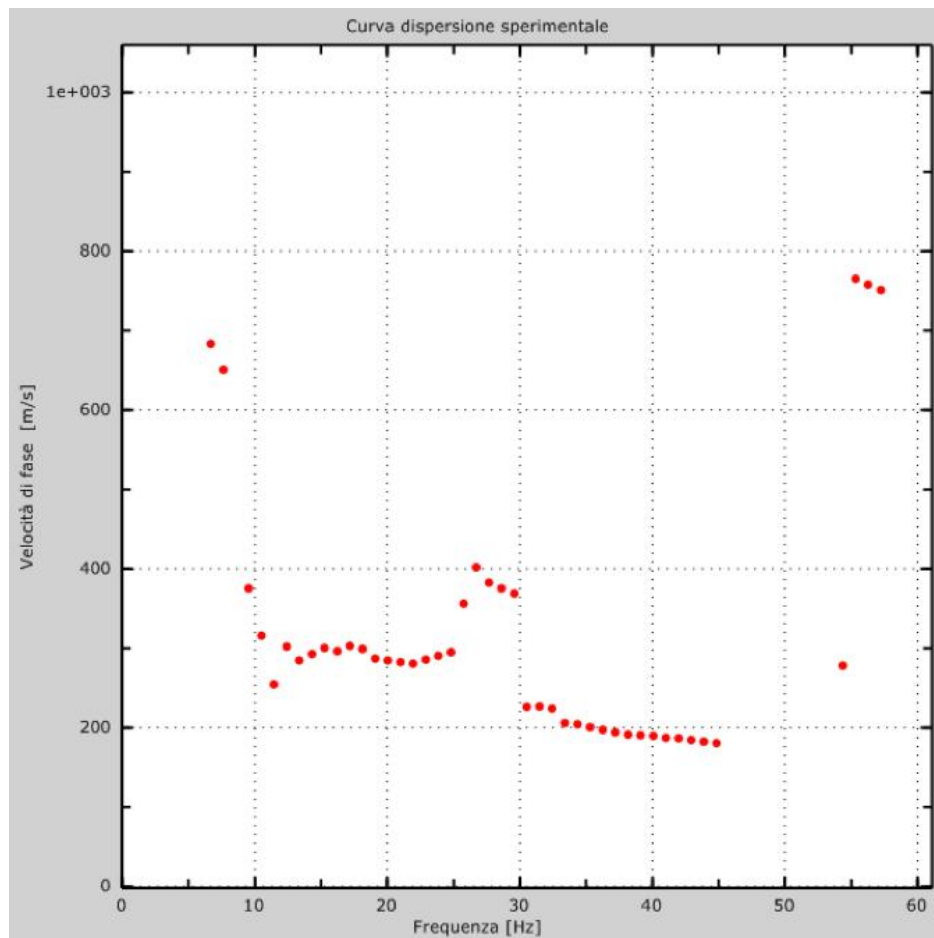


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

Fase 3 - Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
9.45657	374.795	339.806	409.784
12.4557	304.817	284.631	325.003
19.1796	291.36	267.137	315.583
23.9203	290.014	267.137	312.891
28.5641	377.487	362.683	392.29
32.4824	225.419	209.27	241.568
39.0128	191.776	170.244	213.307
44.866	182.355	170.244	194.467

Tabella 1: Curva di dispersione

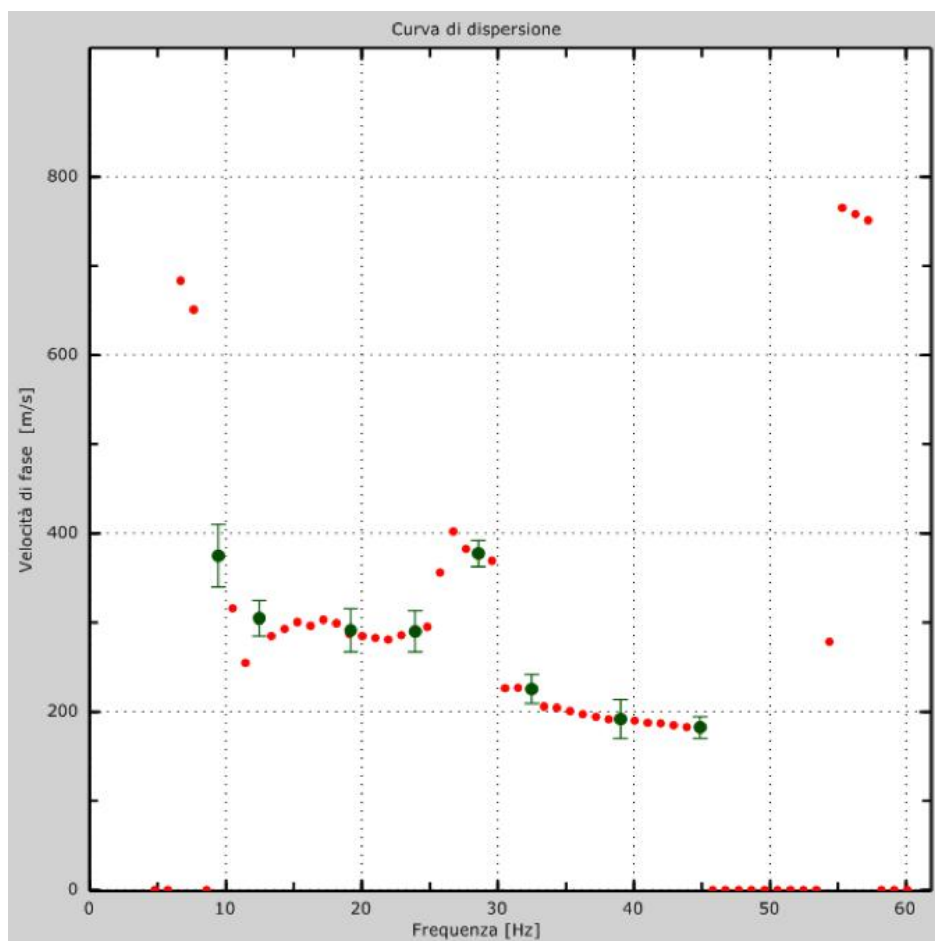


Figura 3: Curva di dispersione

Fase 4 – Profilo sismostratigrafico del sito

Numero di strati (escluso semispazio) 5
Spaziatura ricevitori [m] 2,0 m
Numero ricevitori 24
Numero modi 2
Numero iterazioni 20
Massimo errore [%] 10

Strato 1

h [m] 2.5
z [m] -2.5
Vs fin.[m/s] 202.620

Strato 2

h [m] 5.0
z [m] -7.5
Vs fin.[m/s] 250.470

Strato 3

h [m] 4.5
z [m] -12.0
Vs fin.[m/s] 323.730

Strato 4

h [m] 3.5
z [m] -15.5
Vs fin.[m/s] 338.690

Strato 5

h [m] 0
z [m] -00
Vs fin.[m/s] 416.440

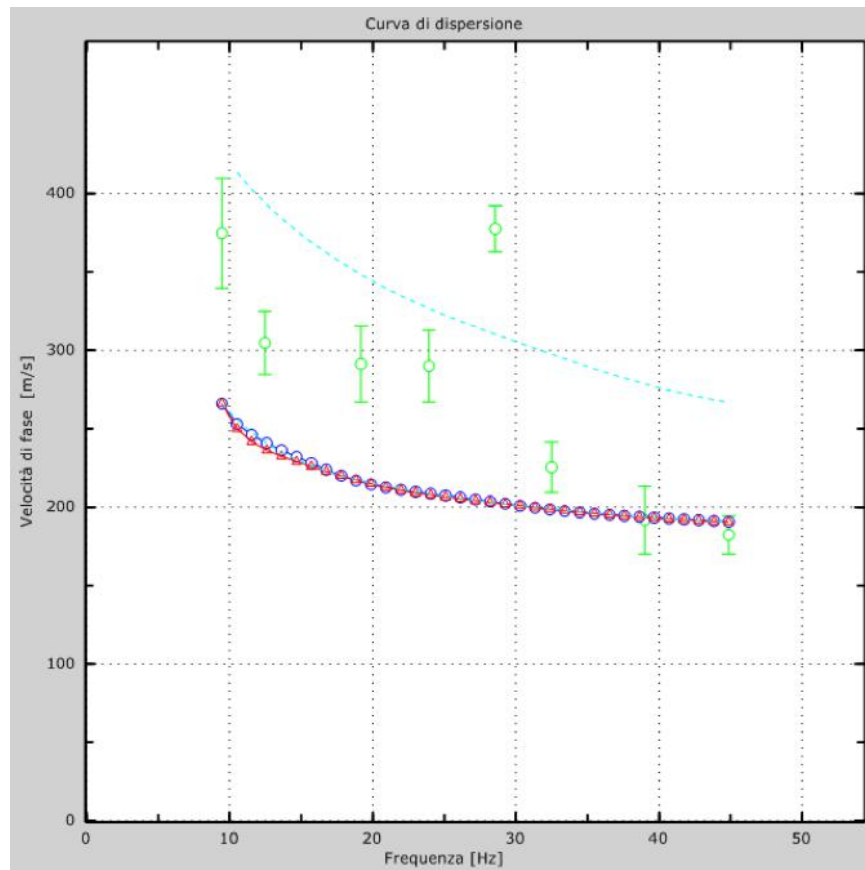


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

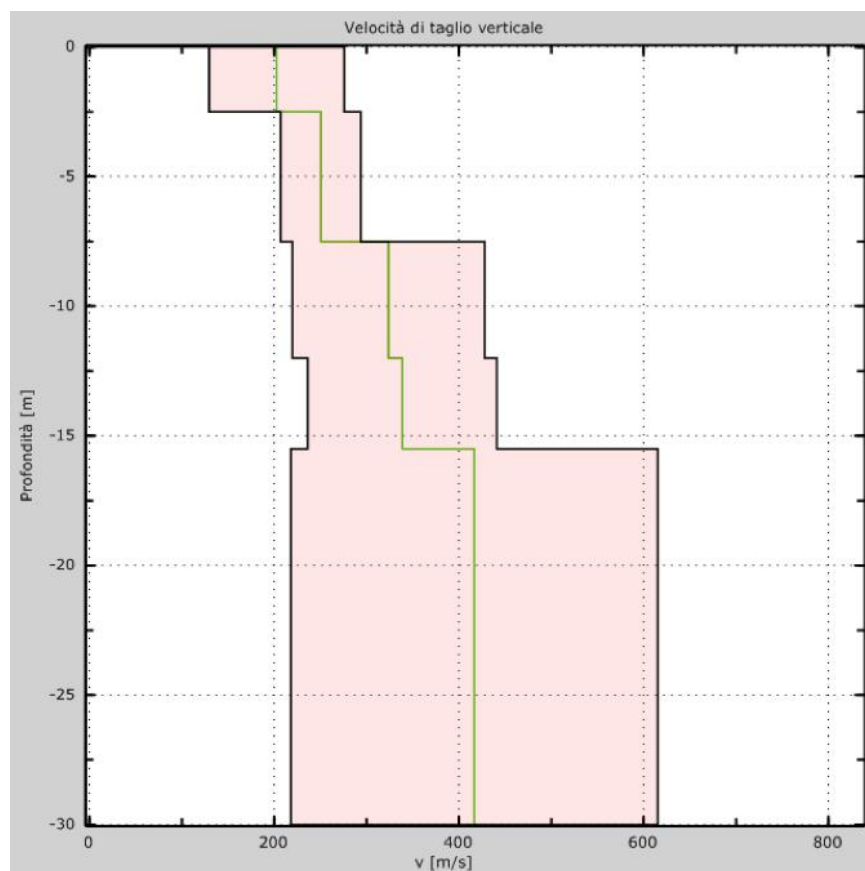


Figura 5: Velocità

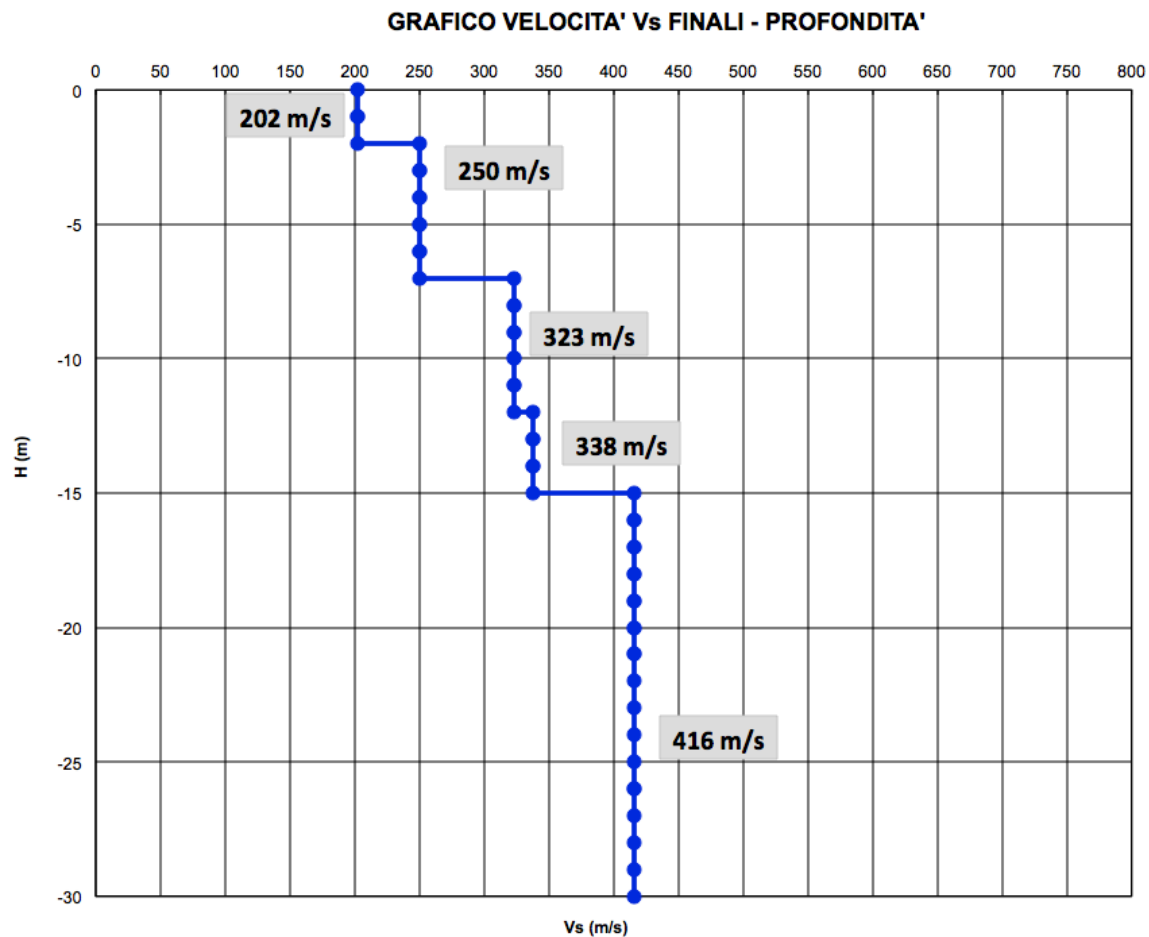


Figura 6: Grafico Velocità Vs finali

Fase 5 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m] 0
 Vs30 [m/s] 328

Appendice

Tipo di suolo

Tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

Tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

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

Tipo D: Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

Tipo E: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tipo S1: Depositati di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

Tipo S2: Depositati di terreno liquefacibile o argille sensitive o altri profili di terreno non inclusi nei tipi A, B, C, D, E o S1. Attenzione: la nuova norma classifica come S2 una serie di siti che prima erano classificati come B, C, D, E.

4. SISMICA A RIFRAZIONE

4.1 CENNI TEORICI SUL METODO

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2 MODALITA' DI ACQUISIZIONE

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

a) **Sismografo:**

il sismografo utilizzato per l'esecuzione delle basi di sismiche a rifrazione è un sismografo ECHO 24/2010 SEISMIC UNIT (AMBROGEO) a 24 canali caratterizzato dai seguenti parametri di acquisizione:



Figura 1: Sismografo Echo 24/2010

PARAMETRI DI ACQUISIZIONE LINEE SISMICHE A RIFRAZIONE:

SISMOGRAFO:

ECHO 24/2002 SEISMIC UNIT

Numero canali utilizzati: 24

Numero geofoni (P) per canale: 1

Impedenza geofoni: 430 Ω

Frequenza naturale: 14 Hz (P)

Frequenza naturale: 10 Hz (S)

Lungh. di registrazione: 400ms (P) – 400ms(SH)

GEOMETRIA DEGLI STENDIMENTI:

Offset RF1 = 1,0 m

Distanza intergeofonica RF1= 2,0 m

Nr. Di scoppi per stendimento: 5

b) **Sistema energizzante:**

Come sorgente energizzante è stato utilizzata una mazza del peso di 8 Kg, battente direttamente sia su una piastra di alluminio che sull'asfalto, e in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia con forme d'onda ripetibili e direzionali, cioè con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione. Tale metodologia ha consentito di ottenere ovunque registrazioni di buona qualità.



Figura 2: particolare del sistema di acquisizione

Tale metodologia ha consentito di ottenere ovunque registrazioni di buona qualità.

Per le linee sismiche a rifrazione sono state effettuate 5 energizzazioni in modo da avere una maggiore risoluzione delle geometrie e delle morfologie sepolte nell'area indagata.

c) trigger:

Il trigger utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un geofono starter nell'istante in cui il sistema energizzante (cannoncino, maglio, mazza etc.) colpisce la base di battuta determinando l'inizio della registrazione.

d) apparecchiatura di ricezione:

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

La geometria di acquisizione utilizzata per l'acquisizione delle basi sismiche a rifrazione è riportata in fig. 3

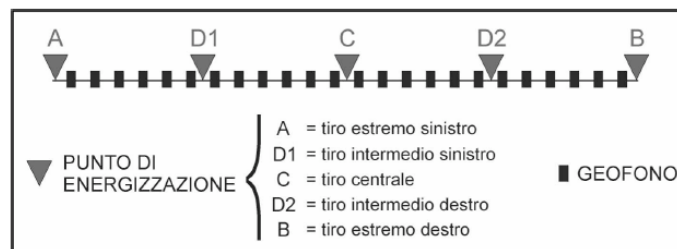


Figura 3: geometria acquisizione linee sismiche a rifrazione

4.3 ELABORAZIONE DATI

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

La successiva elaborazione dei dati si è sviluppata attraverso le seguenti fasi:

- ⇒ inserimento dei dati, determinazione dei primi arrivi (*picking*) ed interpretazione con software specifico INTERSISM 2.1 (Geo&Soft);
- ⇒ output dei tabulati:
 - dati di scoppio (ascissa e quota dei geofoni, ascissa e quota dei punti di energizzazione, tempi di primo arrivo);
 - velocità calcolate per ciascun sismostrato individuato;
 - profondità calcolate per ciascun sismostrato individuato;
 - dromocrone e sezione sismostratigrafica.
- ⇒ inserimento dei dati e interpretazione dei dati sismici con software specifico Rayfract 3.17;
- ⇒ output degli elaborati:
 - modello monodimensionale (gradiente 1D) onde P;

4.4 RISULTATI PROVA RF1 ONDE P

Nell'indagine di sismica a rifrazione, i materiali investigati sono stati suddivisi in 3 principali sismostrati per le onde P (Tav.3):

Sism1-> primo sismostrato con velocità delle onde P di 420 m/s, con uno spessore massimo di circa 3,0 metri in corrispondenza degli scoppi D2 e B, tale sismostrato è assimilabile a terreno di riporto e terreno vegetale con argilla limosa;

Sism2-> secondo sismostrato con velocità delle onde P di 775 m/s, ha uno spessore irregolare, minimo (circa 1,5 m) in corrispondenza dello scoppio D2 e massimo (circa 5,0 m) in corrispondenza dello scoppio C, tale intervallo sismostratigrafico è assimilabile a ghiaia sabbioso limosa;

Sism3-> secondo sismostrato con velocità delle onde P di 1541 m/s, tale intervallo sismostratigrafico è assimilabile ad alternanze tra argille limose e ghiaie sabbiose.

La prova della lunghezza complessiva di 48 m ha consentito di indagare fino ad una profondità di circa 9,0 m dal p.c..

4.5 RISULTATI PROVA RF1 ONDE SH

Nell'indagine di sismica a rifrazione, i materiali investigati sono stati suddivisi in 2 principali sismostrati per le onde SH (Tav.7):

Sism1-> primo sismostrato con velocità delle onde P di 374 m/s, ha uno spessore regolare, minimo (circa 6,0 m) in corrispondenza dello scoppio D1 e massimo (circa 7,0 m) in corrispondenza dello scoppio C, tale sismostrato è assimilabile a terreno di riporto e terreno vegetale con argilla limosa che passa a ghiaia sabbioso limosa;

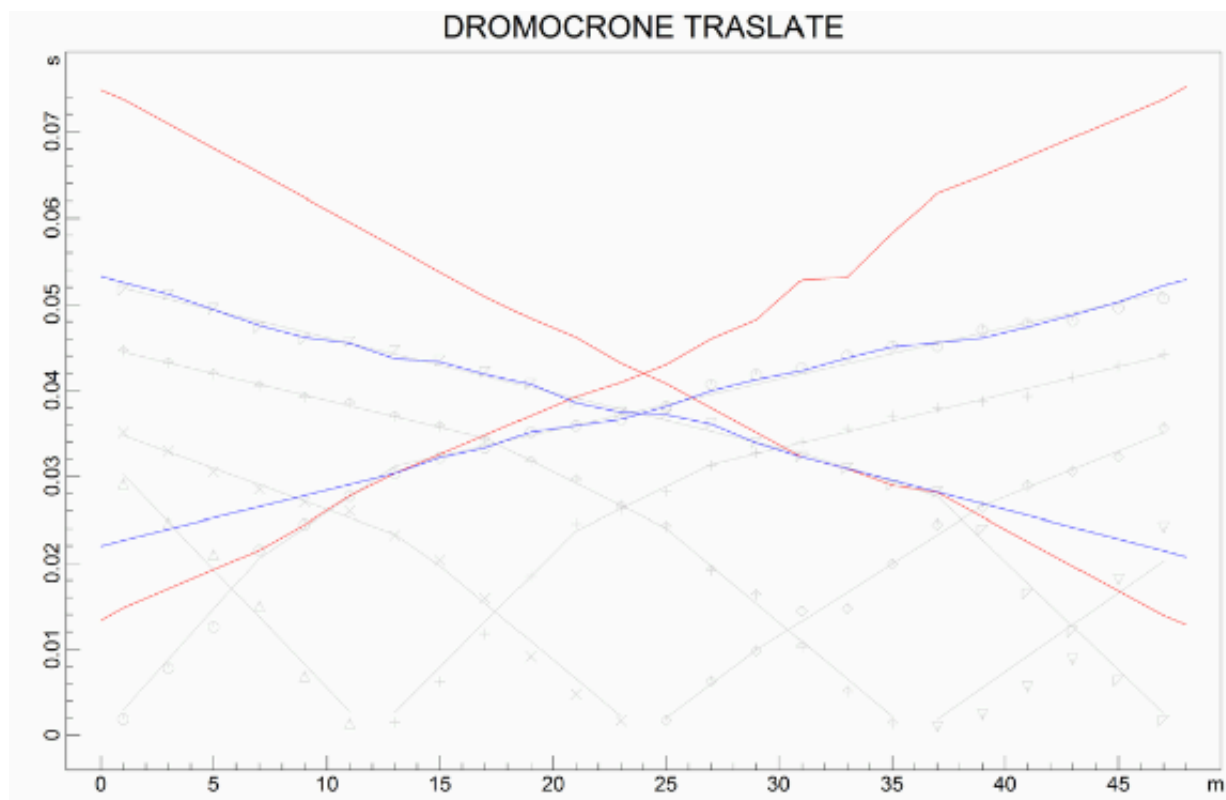
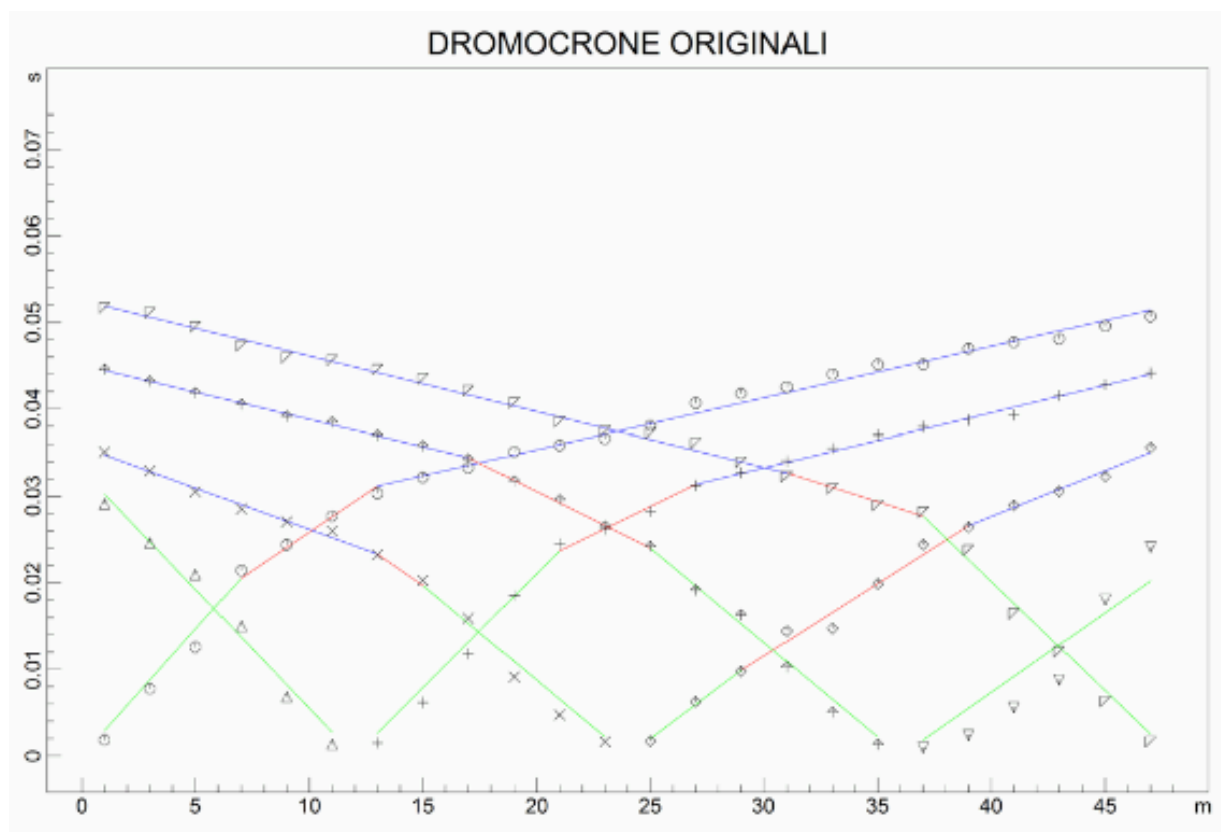
Sism2-> secondo sismostrato con velocità delle onde P di 538 m/s, tale intervallo sismostratigrafico è assimilabile ad alternanze tra argille limose e ghiaie sabbiose;

La prova della lunghezza complessiva di 48 m ha consentito di indagare fino ad una profondità di circa 9,0 m dal p.c..

VELOCITA' ONDE SH			
Sismostrato	z [m]	Velocità [m/sec]	Vs30 [m/sec]
Sism1	7,0	374	488
Sism2	23,0	538	

PARAMETRI ELASTO DINAMICI

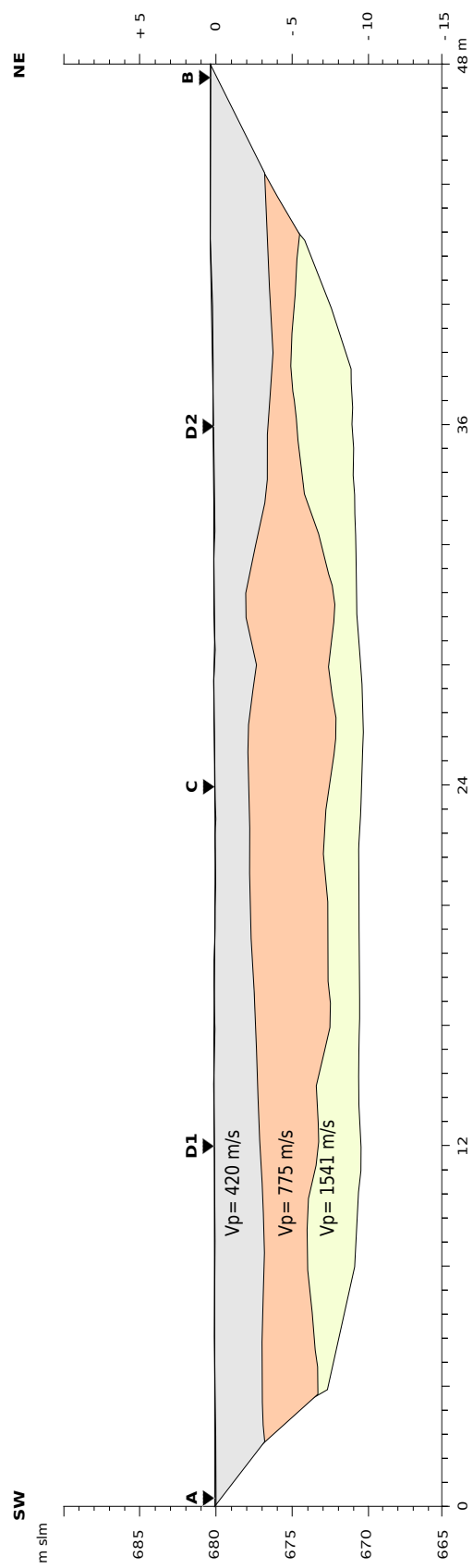
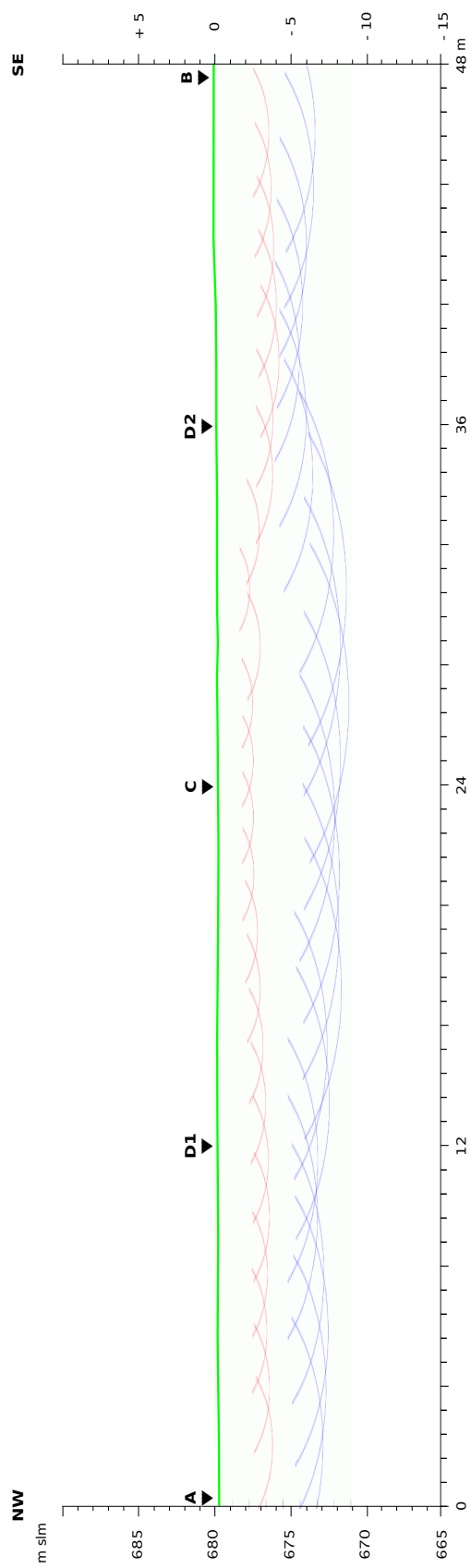
z (m)	Vp (m*s-1)	Vs (m*s-1)	Vp/Vs (-)	Densità (t/m3)	M. Poisson (-)	M. Taglio G (Mpa)	M. Young E (Mpa)	M. Bulk K (Mpa)
1	420	374	1,1	1700	-1,41	233	-193	-17
2	420	374	1,1	1700	-1,41	233	-193	-17
3	420	374	1,1	1700	-1,41	233	-193	-17
4	775	374	2,1	1700	0,35	233	629	690
5	775	374	2,1	1700	0,35	233	629	690
6	775	374	2,1	1700	0,35	233	629	690
7	775	374	2,1	1800	0,35	247	666	731
8	1541	538	2,9	1800	0,43	511	1462	3511
9	1541	538	2,9	1800	0,43	511	1462	3511

**SISMICA A RIFRAZIONE RF1
ONDE P**

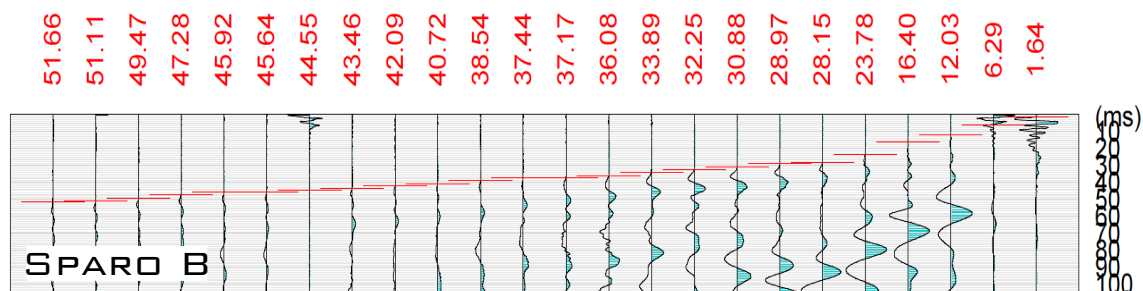
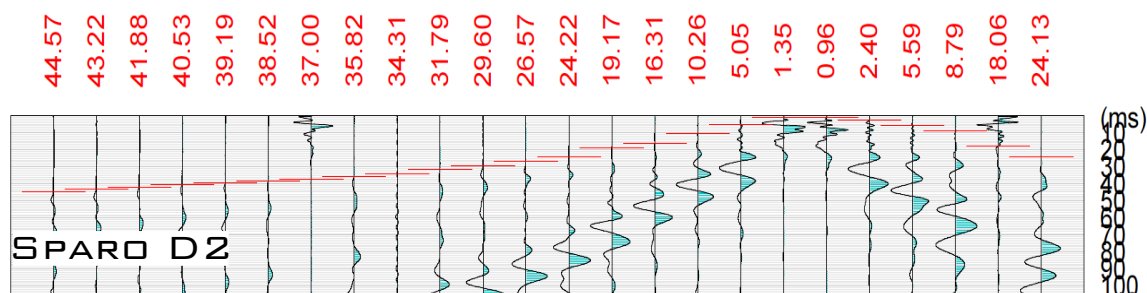
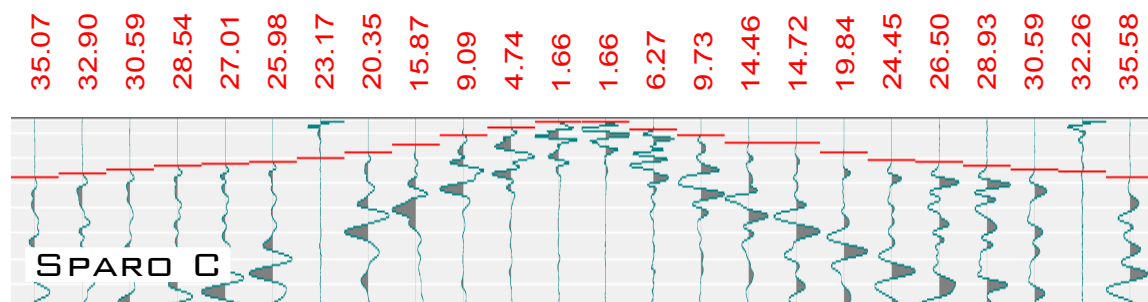
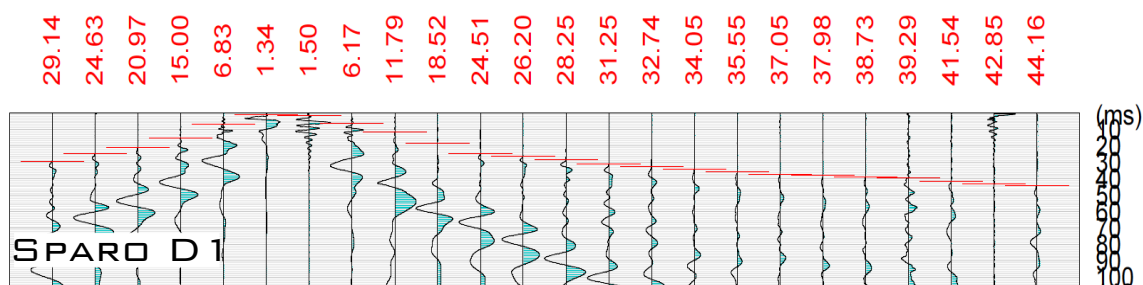
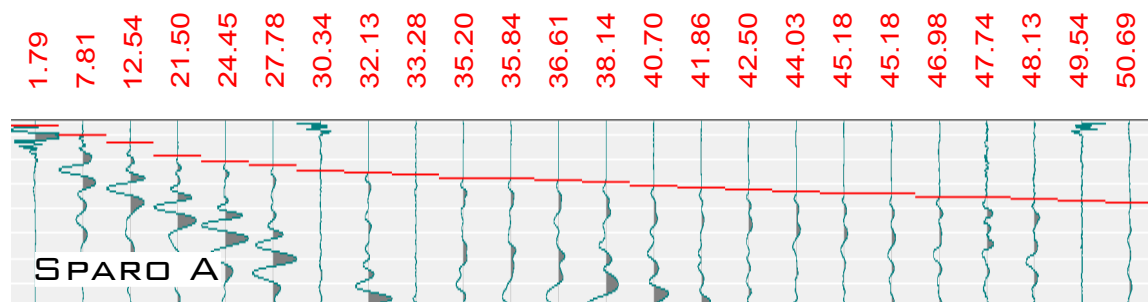
ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE
SISMICA A RIFRAZIONE RF1
ONDE P

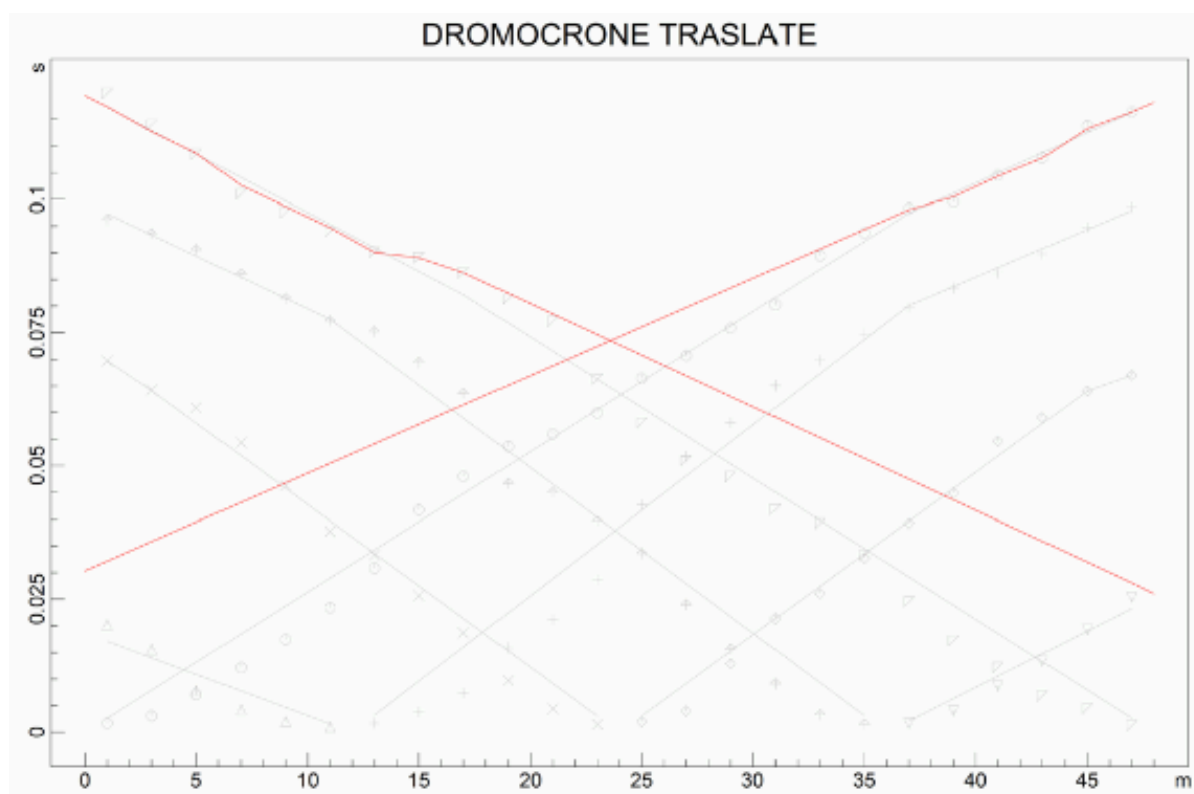
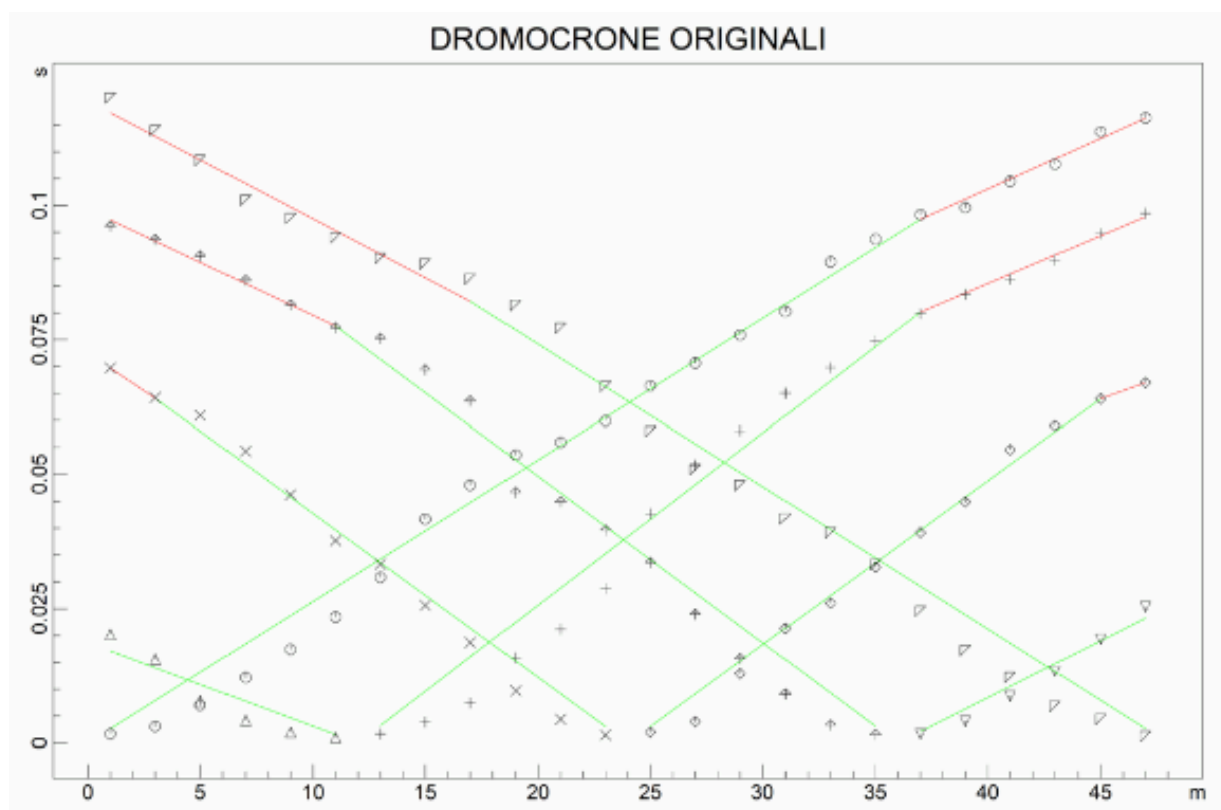
POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da 0 [ms]	FBP da 12 [ms]	FBP da 24 [ms]	FBP da 36 [ms]	FBP da 48 [ms]
1	1.00	0.00	1.79	29.14	35.07	44.57	51.66
2	3.00	0.00	7.81	24.63	32.90	43.22	51.11
3	5.00	0.00	12.54	20.97	30.59	41.88	49.47
4	7.00	0.00	21.50	15.00	28.54	40.53	47.28
5	9.00	0.00	24.45	6.83	27.01	39.19	45.92
6	11.00	0.00	27.78	1.34	25.98	38.52	45.64
7	13.00	0.00	30.34	1.50	23.17	37.00	44.55
8	15.00	0.00	32.13	6.17	20.35	35.82	43.46
9	17.00	0.00	33.28	11.79	15.87	34.31	42.09
10	19.00	0.00	35.20	18.52	9.09	31.79	40.72
11	21.00	0.00	35.84	24.51	4.74	29.60	38.54
12	23.00	0.00	36.61	26.20	1.66	26.57	37.44
13	25.00	0.00	38.14	28.25	1.66	24.22	37.17
14	27.00	0.00	40.70	31.25	6.27	19.17	36.08
15	29.00	0.00	41.86	32.74	9.73	16.31	33.89
16	31.00	0.00	42.50	34.05	14.46	10.26	32.25
17	33.00	0.00	44.03	35.55	14.72	5.05	30.88
18	35.00	0.00	45.18	37.05	19.84	1.35	28.97
19	37.00	0.00	45.18	37.98	24.45	0.96	28.15
20	39.00	0.00	46.98	38.73	26.50	2.40	23.78
21	41.00	0.00	47.74	39.29	28.93	5.59	16.40
22	43.00	0.00	48.13	41.54	30.59	8.79	12.03
23	45.00	0.00	49.54	42.85	32.26	18.06	6.29
24	47.00	0.00	50.69	44.16	35.58	24.13	1.64



SPARI CON TEMPI DI PRIMO ARRIVO ONDE P



**SISMICA A RIFRAZIONE RF1
ONDE SH**

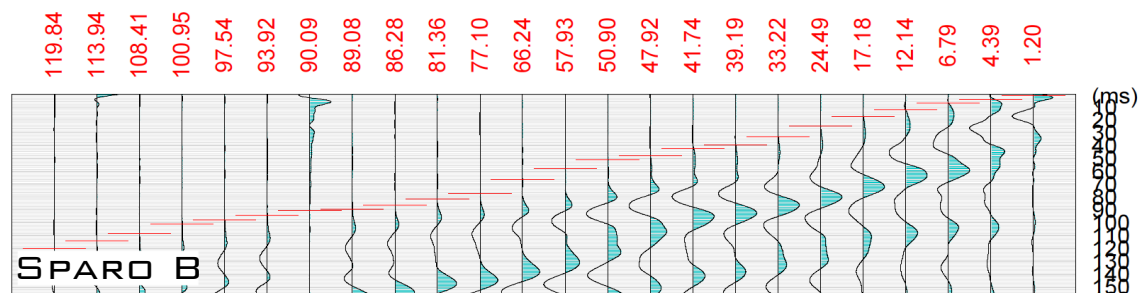
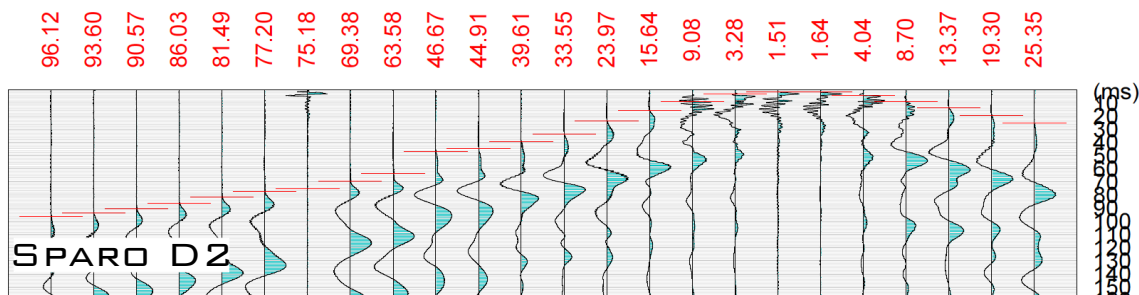
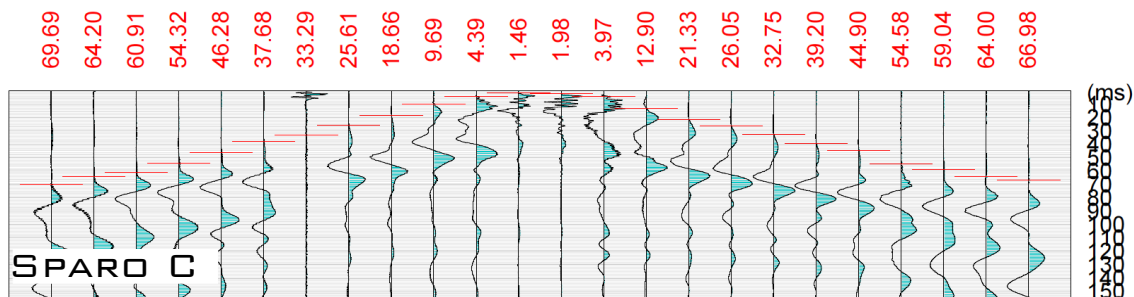
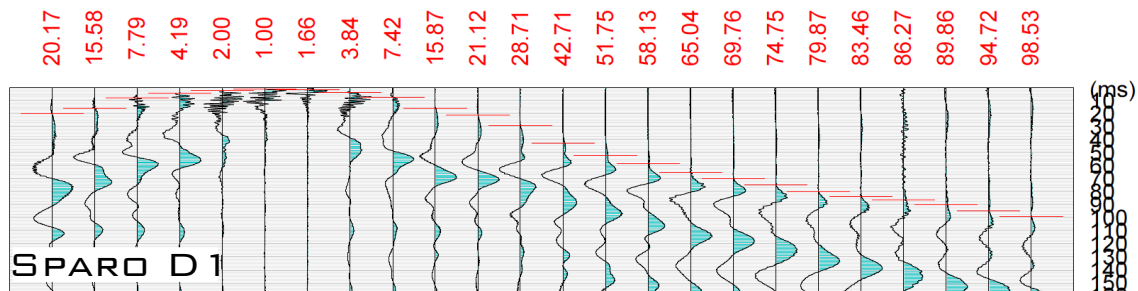
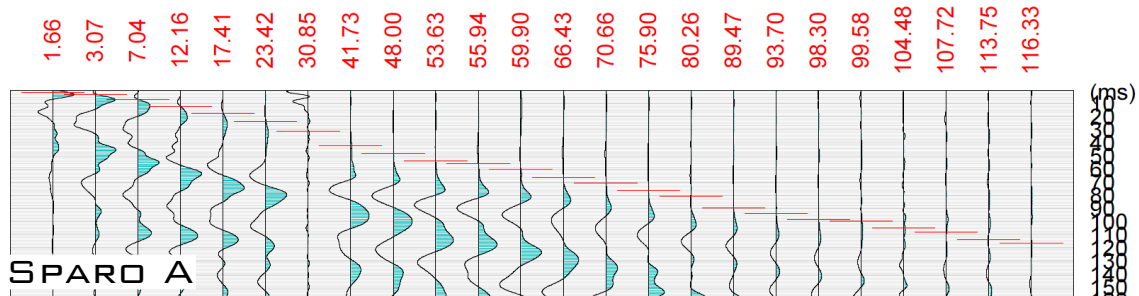
ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE
SISMICA A RIFRAZIONE RF1
ONDE SH

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da 0 [ms]	FBP da 12 [ms]	FBP da 24 [ms]	FBP da 36 [ms]	FBP da 48 [ms]
1	1.00	0.00	1.66	20.17	69.69	96.12	119.84
2	3.00	0.00	3.07	15.58	64.20	93.60	113.94
3	5.00	0.00	7.04	7.79	60.91	90.57	108.41
4	7.00	0.00	12.16	4.19	54.32	86.03	100.95
5	9.00	0.00	17.41	2.00	46.28	81.49	97.54
6	11.00	0.00	23.42	1.00	37.68	77.20	93.92
7	13.00	0.00	30.85	1.66	33.29	75.18	90.09
8	15.00	0.00	41.73	3.84	25.61	69.38	89.08
9	17.00	0.00	48.00	7.42	18.66	63.58	86.28
10	19.00	0.00	53.63	15.87	9.69	46.67	81.36
11	21.00	0.00	55.94	21.12	4.39	44.91	77.10
12	23.00	0.00	59.90	28.71	1.46	39.61	66.24
13	25.00	0.00	66.43	42.71	1.98	33.55	57.93
14	27.00	0.00	70.66	51.75	3.97	23.97	50.90
15	29.00	0.00	75.90	58.13	12.90	15.64	47.92
16	31.00	0.00	80.26	65.04	21.33	9.08	41.74
17	33.00	0.00	89.47	69.76	26.05	3.28	39.19
18	35.00	0.00	93.70	74.75	32.75	1.51	33.22
19	37.00	0.00	98.30	79.87	39.20	1.64	24.49
20	39.00	0.00	99.58	83.46	44.90	4.04	17.18
21	41.00	0.00	104.48	86.27	54.58	8.70	12.14
22	43.00	0.00	107.72	89.86	59.04	13.37	6.79
23	45.00	0.00	113.75	94.72	64.00	19.30	4.39
24	47.00	0.00	116.33	98.53	66.98	25.35	1.20

TAV.8

SPARI CON TEMPI DI PRIMO ARRIVO ONDE SH



5. PROVA SISMICA PASSIVA – HVSR

5.1 METODOLOGIA DI CALCOLO DEI RAPPORTI SPETTRALI

La principale informazione fornita dai rapporti spettrali H/V, è rappresentata dalla frequenza naturale di oscillazione del sottosuolo, data dal picco della curva H/V, la cui variabilità aumenta con la larghezza della sua base. Viceversa, nessuna informazione utile è fornita dall'ampiezza, se non un'indicazione approssimativa del contrasto di impedenza presente nel sito (SESAME Del.23.12).

Per ottenere i rapporti spettrali H/V a partire dai dati rappresentati da misure di rumore sismico nelle 3 componenti, si è utilizzato il Software HVSR realizzato da Vitantonio Roma che consente di:

1. analizzare le misure in sito per il calcolo della curva HVSR sperimentale e quindi le frequenze di risonanza sperimentali del sito;
2. determinare la frequenza di risonanza teorica del sito associata ad un modello geotecnico sismico preventivamente definito attraverso il metodo MASW-REMI o altro metodo, per le onde S verticali;
3. confrontare le frequenze sperimentale e teorica calcolate ai punti 1) e 2) ma volutamente non affronta in maniera “automatica” il processo di inversione del profilo di velocità delle onde di taglio Vs.

ma volutamente non affronta in maniera “automatica” il processo di inversione del profilo di velocità delle onde di taglio Vs.

L'obiettivo principale quindi del metodo HVSR è di valutare la frequenza di risonanza del sito per le onde S verticali, piuttosto che il profilo di velocità delle onde di taglio Vs.

Disponendo di informazioni aggiuntive sul modello geologico-geotecnico oppure tramite altre indagini oppure tramite informazioni sul sito in esame (per es. la profondità del bedrock sismico, oppure la successione stratigrafica delle unità geotecniche, oppure le formazioni geologiche presenti, oppure il profilo di Vs da una prova MASW o di sismica a rifrazione, etc.), allora il metodo HVSR può essere usato come strumento complementare per determinare il profilo di Vs e stimare così il parametro Vs30.

Le ampiezze misurate non sono ricollegabili alle effettive amplificazioni di sito; se lo spessore dei sedimenti al di sopra del bedrock è noto, la velocità delle onde S in questo strato superficiale è approssimativamente $V_{s,av} \approx f_0 \cdot 4h$.

Per il sito in esame stata effettuata 1 misura di microtremore sismico sul terreno di fondazione dell'opera.

La misura è stata effettuata per mezzo del sismografo utilizzato per l'acquisizione della sismica superficiale MASW con l'utilizzo di un geofono tricomponente AMBROGREGO con **frequenza propria di 2 Hz** registrando per **30 minuti il microtremore ambientale**.

5.2 CONDIZIONI DI RAPPRESENTATIVITA' DEL PICCO

Le seguenti condizioni di rappresentatività sono state stabilite grazie al progetto SESAME (Site Effects Assessment Using Ambient Excitations), a seguito dei numerosi studi condotti (SESAME).

La prima condizione necessaria per ritenere una curva H/V rappresentativa, è la sua riproducibilità nello stesso sito con altre sorgenti e tipologie di rumore ambientale e mediante una differente selezione di finestre. Inoltre devono essere verificate le seguenti condizioni:

1. $f_0 > 10 / I_w$, ovvero che alla frequenza di interesse devono trovarsi almeno 10 cicli significativi nella finestra selezionata.;
2. $n_c = I_w \cdot n_w \cdot f_0 > 200$, ossia che il numero di cicli significativi sia maggiore di 200;
3. un basso livello di scattering tra le finestre. Deviazioni standard troppo elevate sono riportabili a situazioni di scarsa stazionarietà ed alta perturbazione del segnale, quindi ad una bassa rappresentatività. Sono raccomandate deviazioni standard < 2 per $f_0 > 0.5$ Hz.

Nel migliore dei casi, la curva mostra un singolo picco 'netto', definibile in termini di ampiezza deviazione standard relativa ed assoluta.

In termini di ampiezza deve soddisfare le seguenti condizioni:

1. esistenza di una frequenza f^- tra $f_0/4$ ed f_0 tale che $A_0 / A_{H/V}(f^-) > 2$;
2. esistenza di un'altra frequenza f^+ , compresa tra f_0 e $4f_0$, tale che $A_0 / A_{H/V}(f^+) > 2$;
3. $A_0 > 2$.

Viceversa le condizioni di stabilità sono che:

1. il picco deve apparire alla stessa frequenza sulle curve H/V corrispondenti alla somma e differenza della deviazione standard, con una percentuale del 5%;
2. la deviazione standard del picco in frequenza e_f , deve essere inferiore ad una soglia massima $e(f_0)$;
3. la deviazione standard del picco in ampiezza $s_A(f_0)$, deve essere inferiore a soglia massima $q(f_0)$;

Di seguito sono inseriti i valori massimi accettabili per le deviazioni standard a diversi range di frequenza del picco.

Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$e(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$q(f_0)$ for $s_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $q(f_0)$ for $s_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

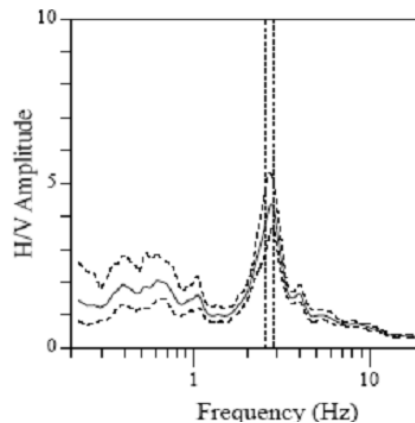
Quindi se la curva H/V per un dato sito soddisfa almeno 5 di queste 6 condizioni, il valore di f_0 è da considerarsi rappresentativo della frequenza fondamentale; se l'ampiezza di picco A_0 è

maggiore di 4 o 5, si può affermare con certezza che esiste una discontinuità ed un contrasto di velocità ad una qualche profondità.

Bisogna infine verificare che:

1. la frequenza f_0 è consistente con la frequenza di cut-off del sensore e con la sensitività;
2. il picco non ha origine industriale.

In basso si riporta un esempio di curva H/V, con picco 'netto' che soddisfa le condizioni di stabilità.



Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows			
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$
41	14	1561	2.72	0.11	4.4	1.2

Fig. 1- 3 – Esempio di picco netto, da SESAME Del.23.12.

Non sempre la curva H/V mostra dei picchi netti. Talora sono poco chiari o allargati, e non soddisfano le condizioni sopra citate.

In questi casi sono imputabili a diversi fattori quali: un contrasto di impedenza moderato o alla bassa frequenza delle vibrazioni ambientali; condizioni di misura ventose e perturbate; un disaccoppiamento suolo-sensore; disturbi a bassa frequenza (camion, macchine a grande distanza); parametri di smoothing inadeguati; sensore a frequenza e sensitività troppo basse.

5.3 CURVA MISURATA E RISULTATI DELL'ANALISI – HVSR1

File/Parametri

Passo temporale: 6.41026 ms
 Numero di campioni: 280800
 Istante finale: 1800 s
 Numero di sotto-intervalli: 90

Finestra temporale: 20 s
 Frequenza massima: 20 Hz
 Numero di campioni: 50
 Passo in frequenza: 0.4 Hz

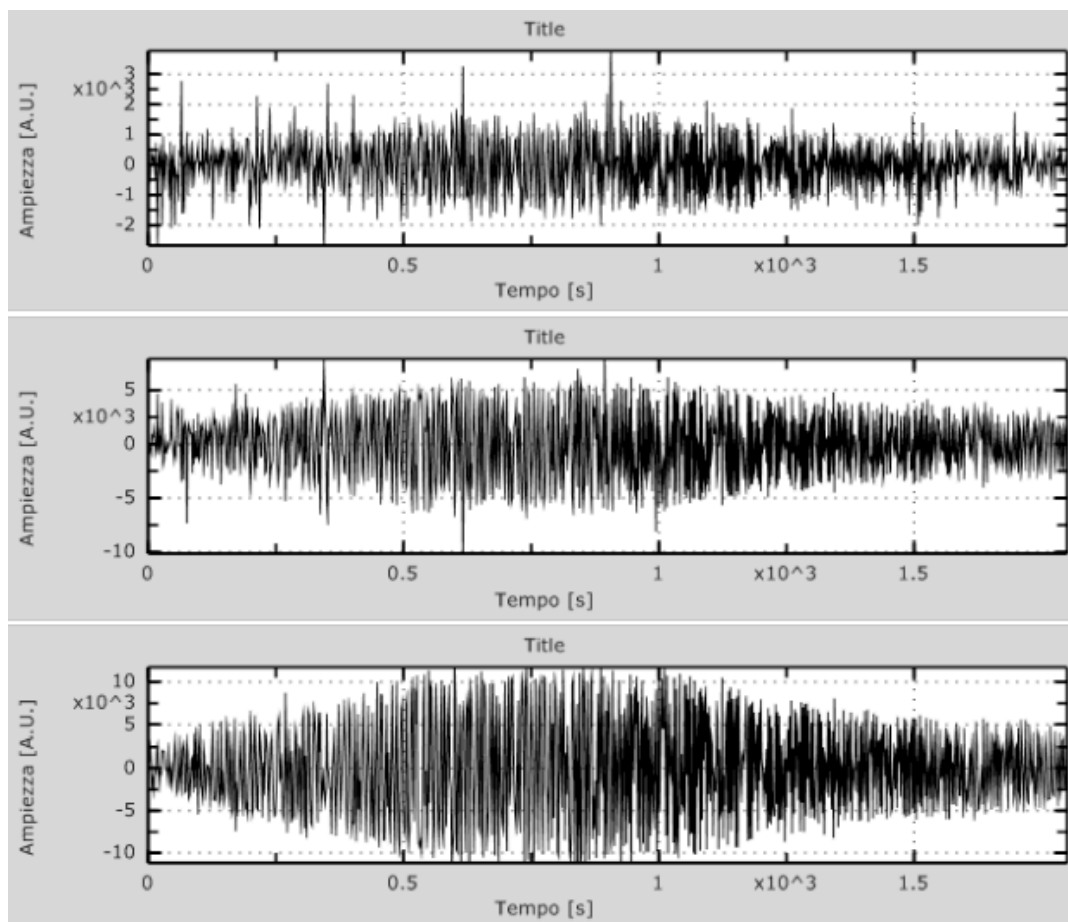


Fig. 2-3: Dati sperimentali in direzione Z (alto), N-S (centro) e E-W (basso).

Sulle finestre del segnale scelte, si sono effettuate altre operazioni di processing, prima di eseguire il calcolo dei rapporti spettrali. Si è proceduto all'analisi della curva e di seguito si riportano i risultati conseguiti.

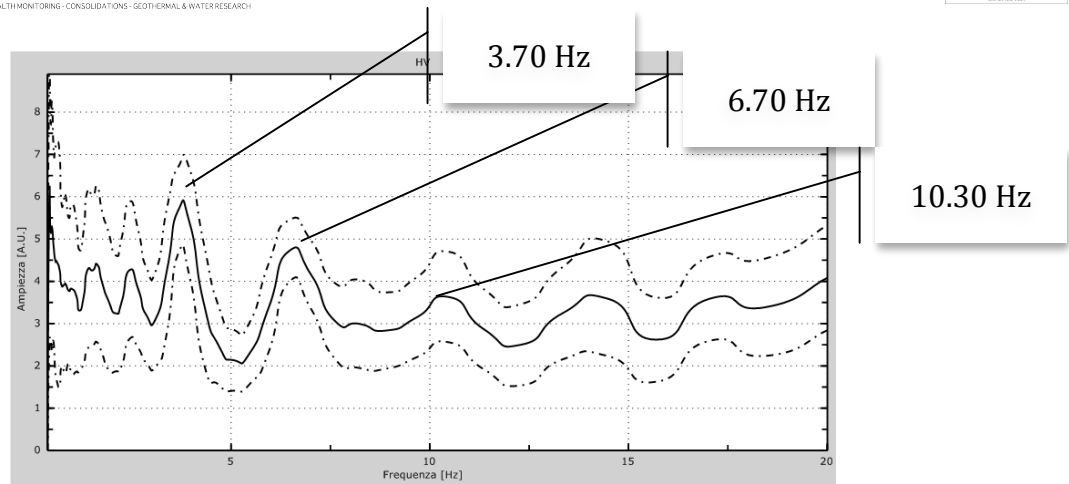


Fig. 3-3: Curva HVSR; Curva H/V sperimentale (nero).

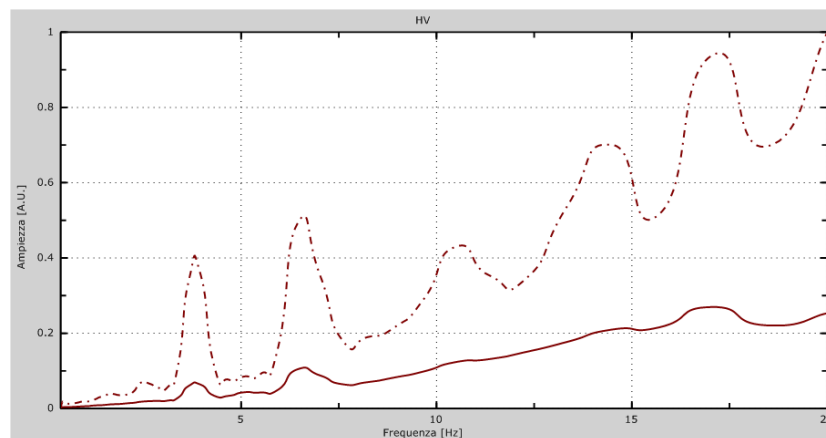


Fig.4-3 Spettro di risposta delle singole componenti: Orizzontale (linea tratteggiata) e Verticale (linea continua).

Frequenza del picco della curva H/V sperimentale [Hz]	0.43 Hz	1.58 Hz	2.49 Hz	3.70 Hz	6.60 Hz	10.30 Hz	14.00 Hz
Criterio 1	NO	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Criterio 2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Criterio 3	NO	NO	OK	OK	OK	OK	OK
Criterio 4	OK	NO	NO	NO	OK	NO	NO
Criterio 5	NO	NO	NO	OK	NO	NO	NO
Criterio 6	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Criterio 7	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Tabella 1: Esito dell'analisi del picco H/V principale del sito secondo le linee guida SESAME (2005).

Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, che corrispondono alle frequenze naturali **f_n** di vibrazione del deposito: **$f_n = 1/T_n = (V_s \cdot (2n-1)) / (4 \cdot H)$** con **$n = 1, 2, \dots$** mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno. Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito **f_1** , denominata frequenza fondamentale di risonanza: **$f_1 = 1/T_1 = V_s / 4H$** .

E' quindi necessario porre **estrema attenzione a fenomeni di “doppia risonanza”**, cioè la **corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero, a dir poco, gravose.**

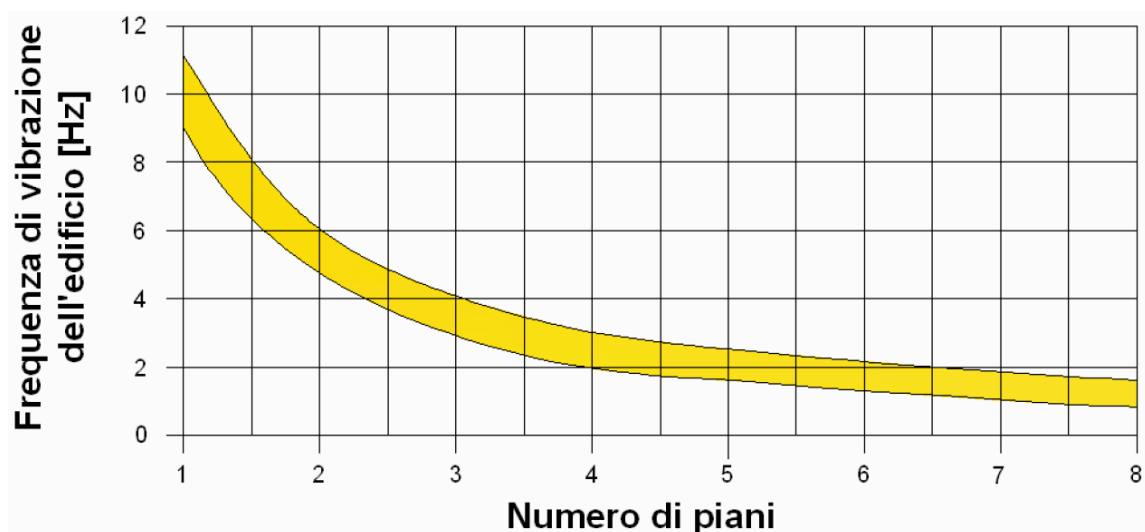
Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$\text{freq. Naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. fondamentale di risonanza del sito}$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché dà luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.



L'interpretazione consente di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del substrato roccioso compatto (bedrock geofisico) e di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si possono ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito. Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità [m] dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

Nella misura sono stati riconosciuti n°7 picchi significativi con ampiezza sup. a 2 (Fig. 3-3) :

- **0,43 Hz** con ampiezza nel rapporto H/V, superiore a 2 (Ampiezza), tale picco è ritenuto indicativo ai fini litostratigrafici, legato al contatto tra litotipi con un alto contrasto di impedenza, ad elevate profondità;
- **1,58 Hz** con ampiezza nel rapporto H/V, di poco superiore a 2 (Ampiezza), tale picco è ritenuto indicativo ai fini litostratigrafici, legato al contatto tra litotipi con un alto contrasto di impedenza;
- **2,49 Hz** con ampiezza nel rapporto H/V, di poco superiore a 2 (Ampiezza), tale picco è ritenuto indicativo ai fini litostratigrafici, legato al contatto tra litotipi con un alto contrasto di impedenza;
- **3,7 Hz** con ampiezza nel rapporto H/V, di poco superiore a 2 (Ampiezza), tale picco è ritenuto indicativo ai fini litostratigrafici, legato al contatto tra litotipi con un alto contrasto di impedenza;
- **6,6 Hz** con ampiezza nel rapporto H/V, di poco superiore a 2 (Ampiezza), tale picco è ritenuto indicativo ai fini litostratigrafici, legato al contatto tra litotipi con un alto contrasto di impedenza;
- **10,3 Hz** con ampiezza nel rapporto H/V, di poco superiore a 2 (Ampiezza), tale picco è ritenuto indicativo ai fini litostratigrafici, legato al contatto tra litotipi con un alto contrasto di impedenza;
- **10,4 Hz** con ampiezza nel rapporto H/V, di poco superiore a 2 (Ampiezza), tale picco è ritenuto indicativo ai fini litostratigrafici, legato al contatto tra litotipi con un alto contrasto di impedenza.

È importante la conoscenza di questi dati poiché possono essere confrontati con i valori calcolati, laddove non si hanno misure dirette o in strutture in progetto, secondo le indicazioni delle NTC 2008, delle frequenze di risonanza proprie delle strutture stesse; per costruzioni civili o industriali che non superino i 40 m di altezza e la cui massa sia approssimativamente uniformemente distribuita lungo l'altezza, T_1 (periodo del modo di vibrare principale della struttura) può essere stimato utilizzando la formula seguente:

$$T_1 = C_1 \cdot H^{3/4}$$

dove H è l'altezza della costruzione, in metri, dal piano di fondazione e C_1 vale 0,085 per costruzioni con struttura a telaio in acciaio, 0,075 per costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato e 0,050 per costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura.

6. SONDAGGIO GEOGNOSTICO A CAROTAGGIO CONTINUO

L'esecuzione della perforazione a fini geotecnici, è stata eseguita con le attrezzature aventi le caratteristiche e la potenza idonea allo scopo.

Si definisce sondaggio geotecnico una perforazione caratterizzata dalle seguenti modalità esecutive:

- carotaggio continuo e rappresentativo del terreno attraversato;
- descrizione stratigrafica a carattere geotecnico dei terreni attraversati;
- prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno;
- esecuzione di prove geotecniche o geomeccaniche in foro;
- determinazione del livello piezometrico della falda, se presente;
- annotazione di osservazioni atte alla caratterizzazione geotecnica del terreno.

6.1 ATTREZZATURA DI PERFORAZIONE

Per l'esecuzione dei sondaggi è stata utilizzata una sonda a rotazione CK 600 SL carro cingolata.

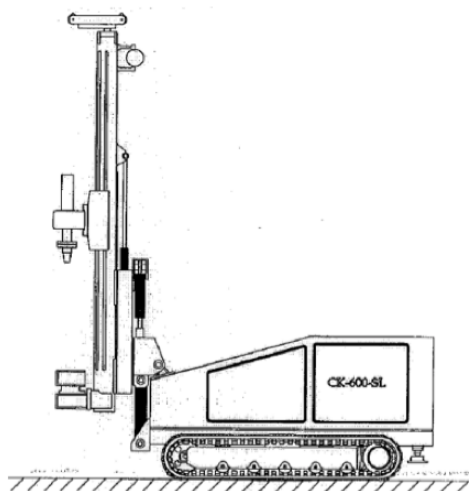


Fig.1 – Sonda perforatrice tipo “CK 600 SL”

La macchina è progettata e costruita in conformità ai seguenti regolamenti:

- Direttiva 98/37 CE
- EN 791
- EN 292
- EN 60204-1
- EN 563
- ISO 4872-1978

6.2 UTENSILI DI PERFORAZIONE

La perforazione è stata eseguita a rotazione a “carotaggio continuo” secondo le norme tecniche prescritte:

- **Carotieri semplici, con valvola di testa a sfera e calice**

Diametro nominale $\varnothing_{est} = 101\text{ mm}$

Lunghezza utile = 150 cm

- **Corone di perforazione in widia**
- **Aste di perforazione in acciaio con filettatura tronco-conica**

Diametro esterno $\varnothing_{est} = 76\text{ mm}$.

- **Rivestimento provvisorio in acciaio**

Spessore tubo = 10 mm

Diametro interno $\varnothing_{int} = 127\text{ mm}$

Lunghezza spezzoni $l = 150\text{ cm}$

6.3 MODALITA' ESECUTIVE DEL SONDAGGIO GEOTECNICO

Il carotaggio è rappresentativo del terreno attraversato, con percentuale di recupero >85%, il carotiere semplice utilizzato è stato azionato da aste in acciaio.

La perforazione è stata seguita dal rivestimento provvisorio del foro solo in assenza di sufficiente autosostentamento delle pareti. Le manovre di rivestimento sono state eseguite con l'uso di fluido in circolazione, la pressione del fluido è stata mantenuta la minore possibile e controllata mediante manometro.

Il disturbo arrecato al terreno è stato contenuto al minimo, fermando la scarpa del rivestimento a circa 50 cm dal fondo foro in modo da non investirlo in forma eccessivamente diretta con il getto di fluido in pressione.

Il battente di fluido in colonna è mantenuto prossimo a bocca foro mediante rabbocchi progressivi specialmente durante l'estrazione del carotiere e delle aste, che avviene con velocità iniziale molto bassa ($1 \div 2\text{ cm/sec}$), al fine di evitare effetti di risucchio che possono anche verificarsi nel caso di brusco sollevamento della batteria di rivestimento, qualora occlusa all'estremità inferiore dal terreno per insufficiente circolazione di fluido durante l'infissione.

La quota del fondo foro è stata misurata con scandaglio a filo graduato prima di ogni manovra di campionamento indisturbato e di prova geotecnica SPT.

Apposite manovre di pulizia vengono eseguite qualora la differenza tra quota raggiunta con la perforazione e quota misurata con scandaglio superi le seguenti tolleranze:

- 7 cm, prima dell'uso di campionatori privi di pistone fisso o sganciabile meccanicamente e di prove SPT

- 15 cm, prima dell'uso di campionatori con pistone fisso o sganciabile meccanicamente.

La lunghezza esatta delle batterie di aste inserite nel foro è stata misurata e riportata, in una apposita tabella, onde prevenire imprecisioni nella definizione delle profondità raggiunte. E' stata compilare una scheda stratigrafica del sondaggio completa di tutte le indicazioni necessarie alla descrizione con criteri geotecnici del materiale carotato.

6.4 FLUIDI DI CIRCOLAZIONE

Il fluido di circolazione nelle fasi di perforazione e di rivestimento, è costituito da acqua e fanghi polimerici.

Il fluido ha la funzione di raffreddamento, asportazione detriti ed eventuale sostentamento del foro, senza in alcun modo pregiudicare la qualità del carotaggio, l'esito delle prove geotecniche ed il funzionamento della strumentazione.

6.5 MODALITA' DI REALIZZAZIONE ED INSTALLAZIONE PIEZOMETRO

Il sondaggio **S1 15,5 m** è stato attrezzato come piezometro, nel foro è stato inserito un tubo in PVC, in spezzoni fessurati da 3 m.

Nello spazio anulare tra le pareti del foro ed il tubo di rivestimento è stato inserito ghiaino siliceo calibrato 0,1-0,4 mm; il rivestimento di perforazione è stato estratto operando la sola trazione e senza rotazione.

Il tubo è stato sigillato con apposito tappo ed è stato coperto con un chiusino in PVC.

La perforazione è stata condotta con circolazione di fanghi e con modalità esecutive tali da evitare scavarnamenti e rifluimenti, il foro è stato rivestito con rivestimento metallico provvisorio del 127 mm.

La posa in opera della tubazione di prova è avvenuta in accordo con le seguenti modalità:

- lavaggio accurato con acqua pulita del foro di sondaggio;
- pre assemblaggio dei tubi in spezzoni di 6 m. La realizzazione dei giunti dovrà avvenire nel modo seguente:
 - montaggio del tappo di fondo sul primo spezzone di tubo e fissaggio dell'estremità inferiore del tubo per l'iniezione della miscela cementizia;
 - bloccaggio del tubo mediante apposita morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo;
 - inserimento dello spezzone successivo;
 - allentamento della morsa per permettere di calare il tubo nel foro

(riempiendolo d'acqua se necessario) fissando nel contempo il tubo di iniezione;

- bloccaggio del tubo con la morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo;
- prosecuzione delle operazioni descritte fino al completamento della colonna, annotando la lunghezza dei tratti di tubo;
- inserimento ghiaia selezionata e lavata 0,1-0,4 mm;
- installazione a testa foro di un chiusino di protezione in PVC.

6.6 STRATIGRAFIA SONDAGGIO S1 15.5 m

SCALA 1 : 83 Pagina 1/1

Riferimento: S1										Sondaggio: S1					
Località: Comune di San Benedetto dei Marsi - Edificio Scolastico San Cipriano										Quota: 678 m slm					
Impresa esecutrice: Aureli Soil Srl										Data: 01/06/2016					
Coordinate: N 42,008901 E 13,623445										Redattore: Dott. Geol. Michele Aureli					
Perforazione: a carotaggio continuo															
Ø mm	R v	A r	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T. S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	
														0.7	Terreno di riporto antropico, di tipo argilloso limoso con presenza di frustoli vegetali e frammenti di laterizio.
				1											Argilla limosa con sabbia e ghiaia, da fine a grossolana.
				2										2.4	
				3						12-20-27	47				Ghiaia sabbioso limosa, con ghiaia da fine a grossolana, a spigoli vivi e sub arrotondati, in matrice sabbioso limosa di colore avana chiaro.
				4											
				5											
				6											
				7										7.2	
				8										7.7	Argilla limoso sabbiosa con ghiaia, di colore variabile da grigio verde a marrone.
				9											Limo argilloso debolmente sabbioso, di colore grigio chiaro.
				10										9.0	Alternanze decimetriche di limo con argilla e sabbia con ghiaia in matrice argilloso limosa, colore grigio verdastro.
				11											
				12				0.9							Argilla limoso sabbiosa con ghiaia fine, colore marrone chiaro.
				13						17-15-13	28			12.0	Ghiaia limoso sabbiosa, con ghiaia calcarea da fine a media, a spigoli vivi e sub arrotondati, in matrice limoso sabbiosa colore avana marrone.
				14				0.3						12.8	Argilla molto plastica di colore marrone
				15										13.2	Ghiaia limoso sabbiosa, con ghiaia calcarea da fine a media, a spigoli vivi e sub arrotondati, in matrice limoso sabbiosa colore avana marrone.
				16										13.5	Sabbia argillosa di colore marrone chiaro.
				17				1.3						14.0	Argilla molto plastica di colore marrone
				18										15.1	Ghiaia limoso sabbiosa, con ghiaia calcarea da fine a media, a spigoli vivi e sub arrotondati, in matrice limoso sabbiosa colore avana marrone.
				19										15.5	

Il foro è stato attrezzato come piezometro, il sondaggio verticale è stato realizzato con carotiere 101 mm fino a 15,5 dal p.c., il foro è stato rivestito con rivestimento del 127 mm. Nel foro è stato inserito un tubo in PVC da 2", in spezioni da 3 m.

Nello spazio anulare tra le pareti del foro ed il tubo di rivestimento è stato inserito ghiaio siliceo calibrato 0,1 - 0,4 mm; il rivestimento di perforazione è stato estratto operando solo a trazione e senza rotazione.

Il tubo è stato sigillato con tappo ed è stato coperto con un chiusino a fungo in PVC di colore rosso.

La profondità investigata è pari a 15,5 m dal p.c., le carote estratte sono state sistemate in n°4 cassette catalogatrici, nel corso della perforazione sono state eseguite n°2 prove SPT al passaggio di orizzonti significativi, è stato prelevato n°1 campione indisturbato (C1) da 9,5-10,0 m dal p.c..

7. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE IN FORO (S.P.T.)

Nel corso dei sondaggi è stata eseguita n°2 prove di resistenza alla penetrazione “SPT” utilizzando un’attrezzatura standard secondo le modalità di esecuzione indicate dalle “Raccomandazioni dell’Associazione Geotecnica Italiana” del 1977.

	PROVA	PROFONDITA (m)	NUMERO DI COLPI
S1	S1/SPT 1	2,55 – 3,00	12-20-27
S1	S1/SPT 2	12,0 – 12,45	17-15-13

Tali prove si eseguono preferibilmente in terreni granulari (sabbie e ghiaie fini), tuttavia si possono eseguire in qualsiasi terreno sciolto e su alcune rocce tenere allo scopo di determinare grado di addensamento / consistenza / resistenza.

Si riassumono brevemente le caratteristiche tecniche della prova “SPT”:

Campionatore:

- Raymond di diametro esterno 51 mm, diametro interno 35 mm, lunghezza minima 457 mm, con scarpa standard a punta aperta come utensile di penetrazione;
- Aste collegate al campionatore di lunghezza 1.50 m, diametro esterno 50 mm e peso di 7.47 kg/ml.

Dispositivo di battuta avente peso non superiore a 115 Kg, comprende:

- testa di battuta in acciaio avvitata all’estremità della batteria di aste;
- massa battente o maglio di 63.5 kg;
- dispositivo di guida e rilascio del maglio, a sganciamento automatico, che assicura una corsa a caduta libera di 76 cm.

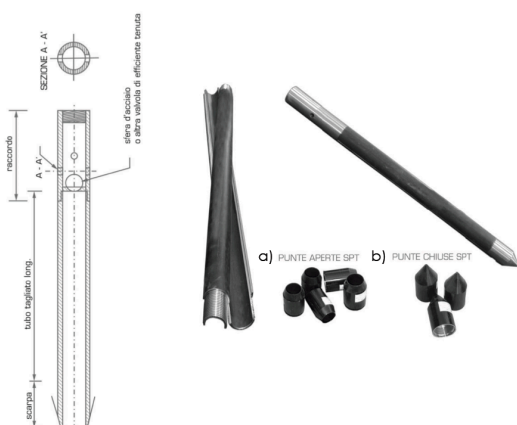


Fig.2 – Campionatore a punta aperta (a) - a punta chiusa (b)

Ogni determinazione di prova è stata preceduta dalla pulizia del fondo foro con verifica della coincidenza della quota di attestazione della punta con profondità misurata dopo la pulizia del foro (tolleranza di +/- 7 cm); la prova consiste nel fare penetrare il campionatore posato al fondo foro per tre tratti successivi di 15 cm registrando ogni volta il numero dei colpi necessari (N1,N2,N3).

Con il primo tratto detto avviamento si intende superare la zona di terreno rimaneggiato in fase di perforazione. Nel caso di un terreno molto addensato con $N_1 = 50$ ed avanzamento minore di 15 cm l'infissione deve essere sospesa: la prova dichiarata conclusa in base alle raccomandazioni AGI 1977 e si annota la relativa penetrazione.

Se il tratto di avviamento viene superato si conteggiano N_2 e N_3 (da 15 a 30 e da 30 a 45 cm) fino ad un limite complessivo di 100 colpi ($N_2 + N_3$) raggiunto il quale si sospende la prova annotando l'avanzamento ottenuto.

Pertanto il parametro caratteristico della prova, prescindendo dai casi particolari di rifiuto è: $N_{spt} = N_2 + N_3$ che esprime il numero di colpi caratteristico per 30 cm utili di perforazione.

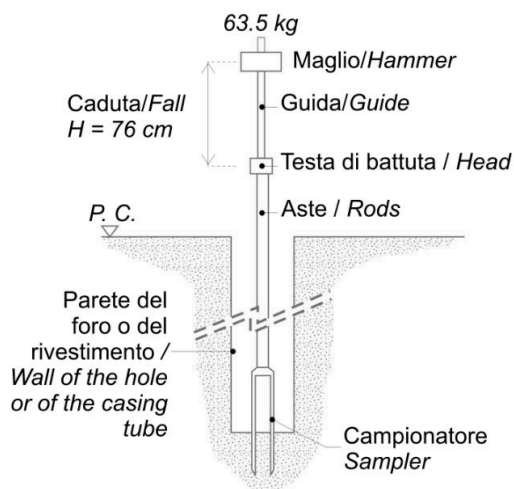


Fig.3 – Modalità di esecuzione della prova SPT

7.1 ELABORAZIONE PROVA PENETROMETRICA IN FORO – S.P.T.

Committente: Comune di San Benedetto dei Marsi
 Località: Ist. Comprensivo Marruvium

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: SPT HOLE

Rif. Norme	DIN 4094		
Peso Massa battente	63.5	Kg	
Altezza di caduta libera	0.76	m	
Peso sistema di battuta	4.2	Kg	
Diametro punta conica	50.46	mm	
Area di base punta	20	cm ²	
Lunghezza delle aste	1	m	
Peso aste a metro	7	Kg/m	
Profondità giunzione prima asta	0.80	m	
Avanzamento punta	0.30	m	
Numero colpi per punta	N(30)		
Coeff. Correlazione	0.997		
Rivestimento/fanghi	No		

7.1.1 SPT1/S1

Strumento utilizzato **RAYMOND HOLE**
 Prova eseguita in data **30/05/2016**
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi
S1/SPT1	
2,70	12
2,85	20
3,00	27
S1/SPT2	
12,15	17
12,30	15
12,45	13

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA SPT/S1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
SPT1	46,859	2,55 - 3,00	Shioi - Fukui (1982)	0,17
SPT2	27,916	12,00-12,45	Shioi - Fukui (1982)	0,70

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
SPT1	46,859	2,55 - 3,00	Stroud e Butler (1975)	214,99
SPT2	27,916	12,00-12,45	Stroud e Butler (1975)	128,08

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
SPT1	46,859	2,55 - 3,00	Apollonia	174,59
SPT2	27,916	12,00-12,45	Apollonia	92,16

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
SPT1	46,859	2,55 - 3,00	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE
SPT2	27,916	12,00-12,45	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
SPT1	46,859	2,55 - 3,00	Meyerhof	2,40
SPT2	27,916	12,00-12,45	Meyerhof	2,14

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
SPT1	46,859	2,55 - 3,00	Meyerhof	2,50
SPT2	27,916	12,00-12,45	Meyerhof	2,31

TERRENI INCOERENTI
Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
SPT1	46,859	2,55 - 3,00	46,859	Gibbs & Holtz 1957	71,62
SPT2	27,916	12,00-12,45	21,458	Gibbs & Holtz 1957	38,12

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
SPT1	46,859	2,55 - 3,00	46,859	Meyerhof (1956)	28,39
SPT2	27,916	12,00-12,45	21,458	Meyerhof (1956)	26,13

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
SPT1	46,859	2,55 - 3,00	46,859	Schultze-Menzenbach	553,64
SPT2	27,916	12,00-12,45	21,458	Schultze-Menzenbach	145,46

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
SPT1	46,859	2,55 - 3,00	46,859	Begemann (1974)	424,42
SPT2	27,916	12,00-12,45	21,458	Buisman-Sanglerat	104,75

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
SPT1	46,859	2,55 - 3,00	46,859	Classificazione A.G.I.	ADDENSATO
SPT2	27,916	12,00-12,45	21,458	Classificazione A.G.I.	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
SPT1	46,859	2,55 - 3,00	46,859	Meyerhof ed altri	2,23
SPT2	27,916	12,00-12,45	21,458	Meyerhof ed altri	2,02

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
SPT1	46,859	2,55 - 3,00	46,859	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,25
SPT2	27,916	12,00-12,45	21,458	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,09

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
SPT1	46,859	2,55 - 3,00	46,859	(A.G.I.)	0,26
SPT2	27,916	12,00-12,45	21,458	(A.G.I.)	0,31

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm²)
SPT1	46,859	2,55 - 3,00	46,859	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	1311,49
SPT2	27,916	12,00-12,45	21,458	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	813,79

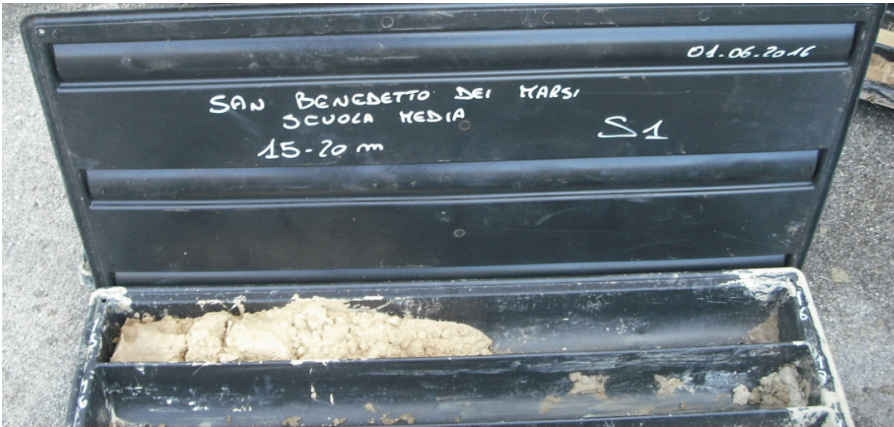
SONDAGGIO GEOGNOSTICO A C.C.	S1 (15,5 m)
COMUNE DI SAN BENEDETTO DEI MARSI (AQ)	N 42,008901 E 13,623445 (WGS84 Gradi decimali)

CASSETTA C1 (0 - 5 m)



CASSETTA C2 (5 - 10 m)



SONDAGGIO GEOGNOSTICO A C.C.	S1 (15,5 m)
COMUNE DI SAN BENEDETTO DEI MARSI (AQ)	N 42,008901 E 13,623445 (WGS84 Gradi decimali)
CASSETTA C3 (10 - 15 m)	
	
CASSETTA C4 (15 – 15,5 m)	
	

SONDAGGIO GEOGNOSTICO A C.C.	S1 (15,5 m)
COMUNE DI SAN BENEDETTO DEI MARSI (AQ)	N 42,008901 E 13,623445 (WGS84 Gradi decimali)

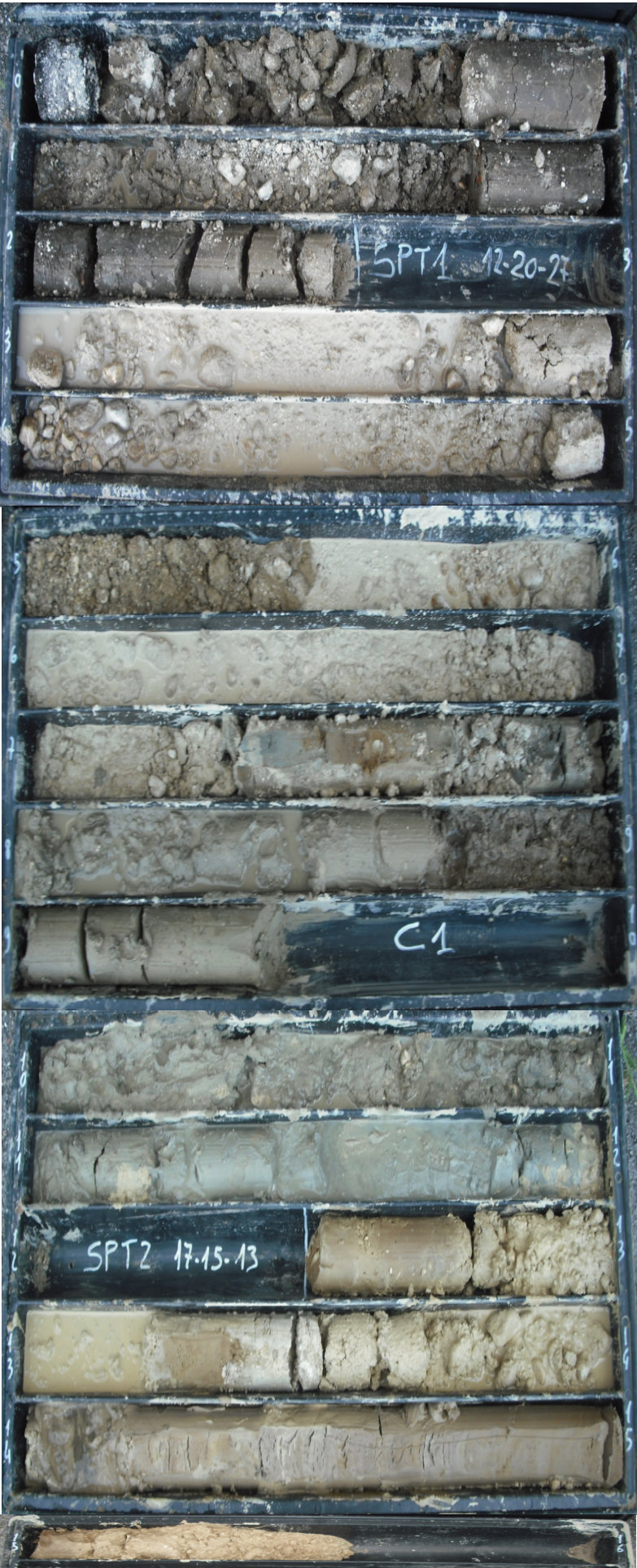
POSTAZIONE SONDAGGIO



Riferimento: S1	Sondaggio: S1
Località: Comune di San Benedetto dei Marsi - Edificio Scolastico San Cipriano	Quota: 678 m slm
Impresa esecutrice: Aureli Soil Srl	Data: 01/06/2016
Coordinate: N 42,008901 E 13,623445	Redattore: Dott. Geol. Michele Aureli
Perforazione: a carotaggio continuo	

Ø mm	R V	A r	S	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T. S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
															Terreno di riporto antropico, di tipo argilloso limoso con presenza di frustoli vegetali e frammenti di laterizio.
					1									0,7	Argilla limosa con sabbia e ghiaia, da fine a grossolana.
					2									2,4	Ghiaia sabbioso limosa, con ghiaia da fine a grossolana, a spigoli vivi e sub arrotondati, in matrice sabbioso limosa di colore avana chiaro.
					3					12-20-27		47			
					4										
					5										
					6										Argilla limoso sabbiosa con ghiaia, di colore variabile da grigio verde a marrone.
					7									7,2	
					8									7,7	Limo argilloso debolmente sabbioso, di colore grigio chiaro.
					9									9,0	Altemanze decimetriche di limo con argilla e sabbia con ghiaia in matrice argilloso limosa, colore grigio verdastro.
					10										
					11										Argilla limoso sabbiosa con ghiaia fine, colore marrone chiaro.
					12									12,0	
					13					17-15-13		28		12,8	Ghiaia limoso sabbiosa, con ghiaia calcarea da fine a media, a spigoli vivi e sub arrotondati, in matrice limoso sabbiosa colore avana marrone.
					14									13,2	Argilla molto plastica di colore marrone
					15									13,5	Ghiaia limoso sabbiosa, con ghiaia calcarea da fine a media, a spigoli vivi e sub arrotondati, in matrice limoso sabbiosa colore avana marrone.
														14,0	Sabbia argillosa di colore marrone chiaro.
														14,1	Argilla molto plastica di colore marrone
														15,1	Ghiaia limoso sabbiosa, con ghiaia calcarea da fine a media, a spigoli vivi e sub arrotondati, in matrice limoso sabbiosa colore avana marrone.
														15,5	

FOTO CASSETTE CATALOGATRICI



AURELI SOIL Srl
GEOTECHNICAL - GEOPHYSICS - STRUCTURAL HEALTH MONITORING - CONSOLIDATIONS - GEOTHERMAL & WATER RESEARCH

G-EST
Gruppo di Caratterizzazione Ambientale con attività di Ricerca e Sviluppo

REGIONE ABRUZZO
PROVINCIA DI L'AQUILA
COMUNE DI SAN BENEDETTO DEI MARSII

TAV. 10

STRATIGRAFIA
SONDAGGIO A C.C.
S1 (15,5 m)



Il foro è stato attrezzato come piezometro, il sondaggio verticale è stato realizzato con carotiere 101 mm fino a 15,5 dal p.c., il foro è stato rivestito con rivestimento del 127 mm. Nel foro è stato inserito un tubo in PVC da 2", in spezioni da 3 m. Nello spazio anulare tra le pareti del foro ed il tubo di rivestimento è stato inserito ghiaio siliceo calibrato 0,1 - 0,4 mm; il rivestimento di perforazione è stato estratto operando solo a trazione e senza rotazione. Il tubo è stato sigillato con tappo ed è stato coperto con un chiusino a fungo in PVC di colore rosso. La profondità investigata è pari a 15,5 m dal p.c., le carote estratte sono state sistemate in n°4 cassette catalogatrici, nel corso della perforazione sono state eseguite n°2 prove SPT al passaggio di orizzonti significativi, è stato prelevato n°1 campione indisturbato (C1).

CERTIFICATI DI LABORATORIO

COMMITTENTE: AURELI SOIL S.r.l - Via Lamarmora, 77 - Gioia dei Marsi (Aq)

RIFERIMENTO: SAN BENEDETTO DEI MARSII - EDIFICIO SCOLASTICO SAN CIPRIANO.

SONDAGGIO: S1 CAMPIONE: C1 PROFONDITA': m 9.50 - 10.00

MODULO RIASSUNTIVO

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	36.2	%
Peso di volume	17.5	kN/m ³
Peso di volume secco	12.9	kN/m ³
Peso di volume saturo	17.6	kN/m ³
Peso specifico	24.7	kN/m ³
Indice dei vuoti	0.923	
Porosità	48.0	%
Grado di saturazione	99.0	%
Limite di liquidità		%
Limite di plasticità		%
Indice di plasticità		%
Indice di consistenza		
Passante al set. n° 40		
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	2.0	%
Limo	57.7	%
Argilla	40.3	%
D 10		mm
D 50	0.008254	mm
D 60	0.012278	mm
D 90	0.043196	mm
Passante set. 10	100.0	%
Passante set. 42	99.8	%
Passante set. 200	98.0	%

PERMEABILITA'

Coefficiente k	cm/sec
----------------	--------

COMPRESSIONE

σ	kPa	σ Rim	kPa
c_u	kPa	c_u Rim	kPa

TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta			
c	36.6	kPa	ϕ 17.7 °
c Res	13.0	kPa	ϕ Res 12.1 °

COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	c_d	kPa	ϕ_d °
C.U.	c'_{cu}	kPa	ϕ'_{cu} °
	c_{cu}	kPa	ϕ_{cu} °
U.U.	c_u	kPa	ϕ_u °

PROVA EDOMETRICA

σ kPa	E kPa	Cv cm ² /sec	k cm/sec
12.3 ÷ 24.5	1751	0.001400	7.84E-08
24.5 ÷ 49.0	2043	0.000517	2.48E-08
49.0 ÷ 98.0	3159	0.000542	1.68E-08
98.0 ÷ 196.0	3920	0.000546	1.37E-08
196.0 ÷ 392.0	6759	0.001042	1.51E-08
392.0 ÷ 784.0	9679	0.000446	4.52E-09
784.0 ÷ 1568.0	18233	0.000294	1.58E-09

LIMO CON ARGILLA DI COLORE GRIGIO-VERDASTRO.

Rif. Munsell 5GY 6/2

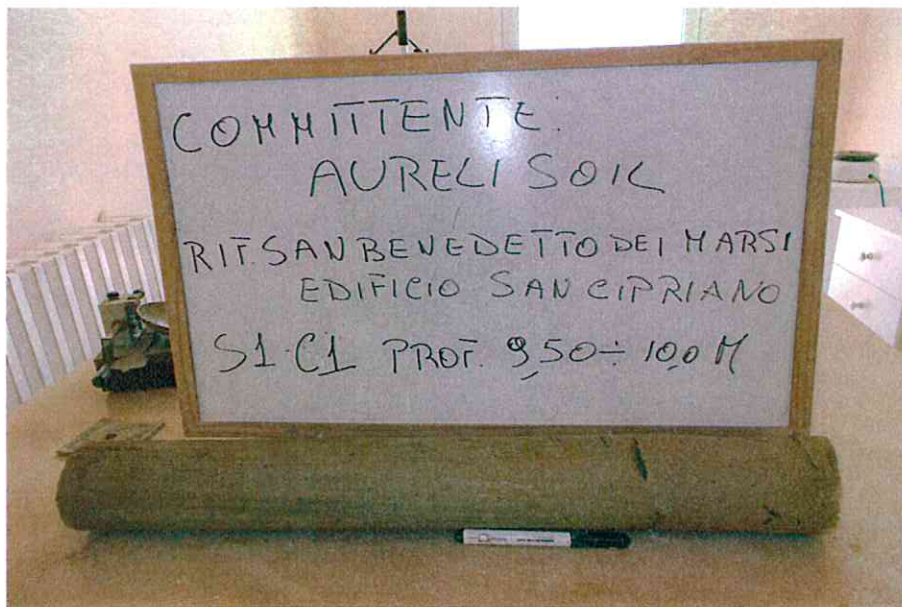
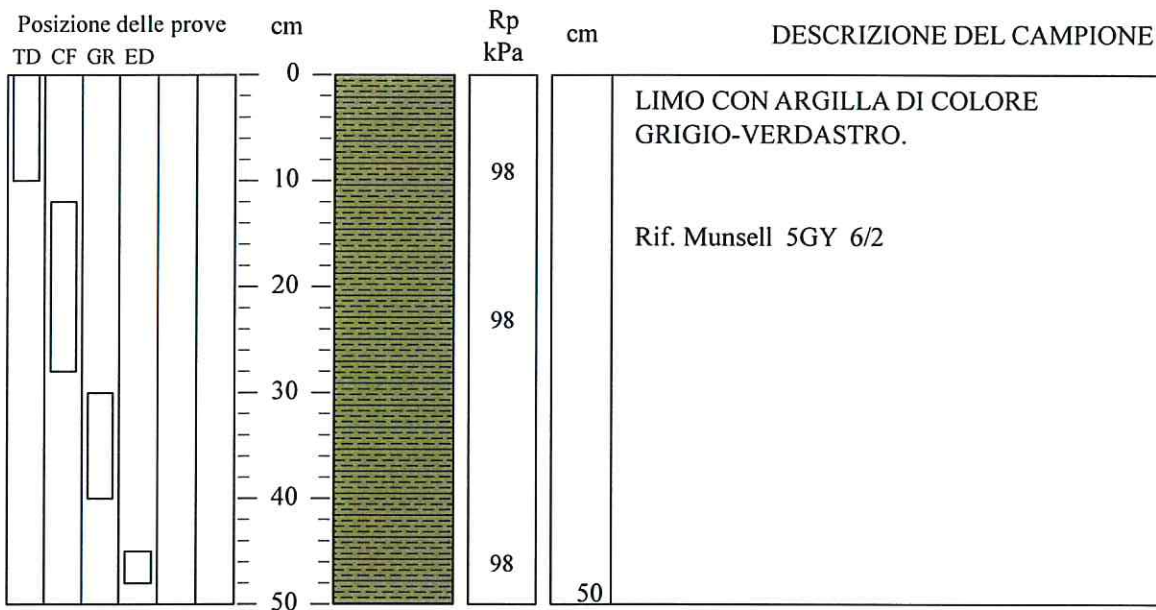
COMMITTENTE: AURELI SOIL S.r.l - Via Lamarmora, 77 - Gioia dei Marsi (Aq)

RIFERIMENTO: SAN BENEDETTO DEI MARSII - EDIFICIO SCOLASTICO SAN CIPRIANO.

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 9.50 - 10.00



TIPO DI CAMPIONE

- ☒ Cilindrico
☐ Cubico
☐ Massivo

QUALITÀ DEL CAMPIONE

- ☒ Q5 (Ottima)
☐ Q4 (Buona)
☐ Q3 (Sufficiente)
☐ Q2 (Insufficiente)
☐ Q1 (Pessima)

LIMO CON ARGILLA DI COLORE GRIGIO-VERDASTRO.

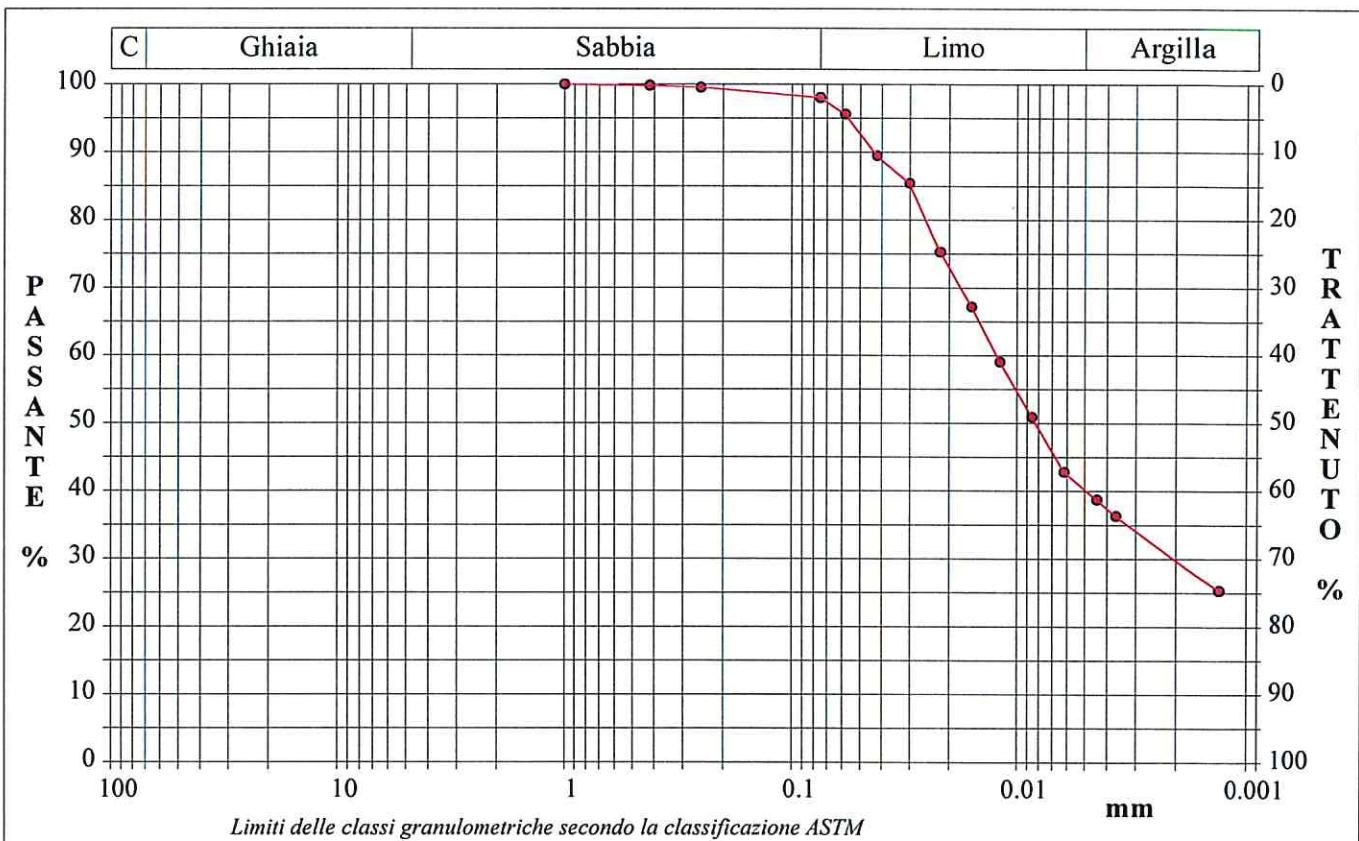
CERTIFICATO DI PROVA N°: 528/g/16	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 27/06/16	Inizio analisi: 21/06/16
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 61 del 15/06/16		Apertura campione: 21/06/16	Fine analisi: 24/06/16

COMMITTENTE: AURELI SOIL S.r.l - Via Lamarmora, 77 - Gioia dei Marsi (Aq)			
RIFERIMENTO: SAN BENEDETTO DEI MARSII - EDIFICIO SCOLASTICO SAN CIPRIANO.			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	9.50 - 10.00

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	0.0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	100.0 %	D10	---	mm
Sabbia	2.0 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	99.8 %	D30	0.00204	mm
Limo	57.7 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	98.0 %	D50	0.00825	mm
Argilla	40.3 %			D60	0.01228	mm
Coefficiente di uniformità	---	Coefficiente di curvatura	---	D90	0.04320	mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
1.0000	100.00	0.0421	89.52	0.0086	50.95				
0.4200	99.82	0.0302	85.46	0.0062	42.83				
0.2500	99.55	0.0220	75.31	0.0044	38.77				
0.0750	98.04	0.0159	67.19	0.0037	36.34				
0.0584	95.61	0.0119	59.07	0.0013	25.37				

LIMO CON ARGILLA DI COLORE GRIGIO-VERDASTRO

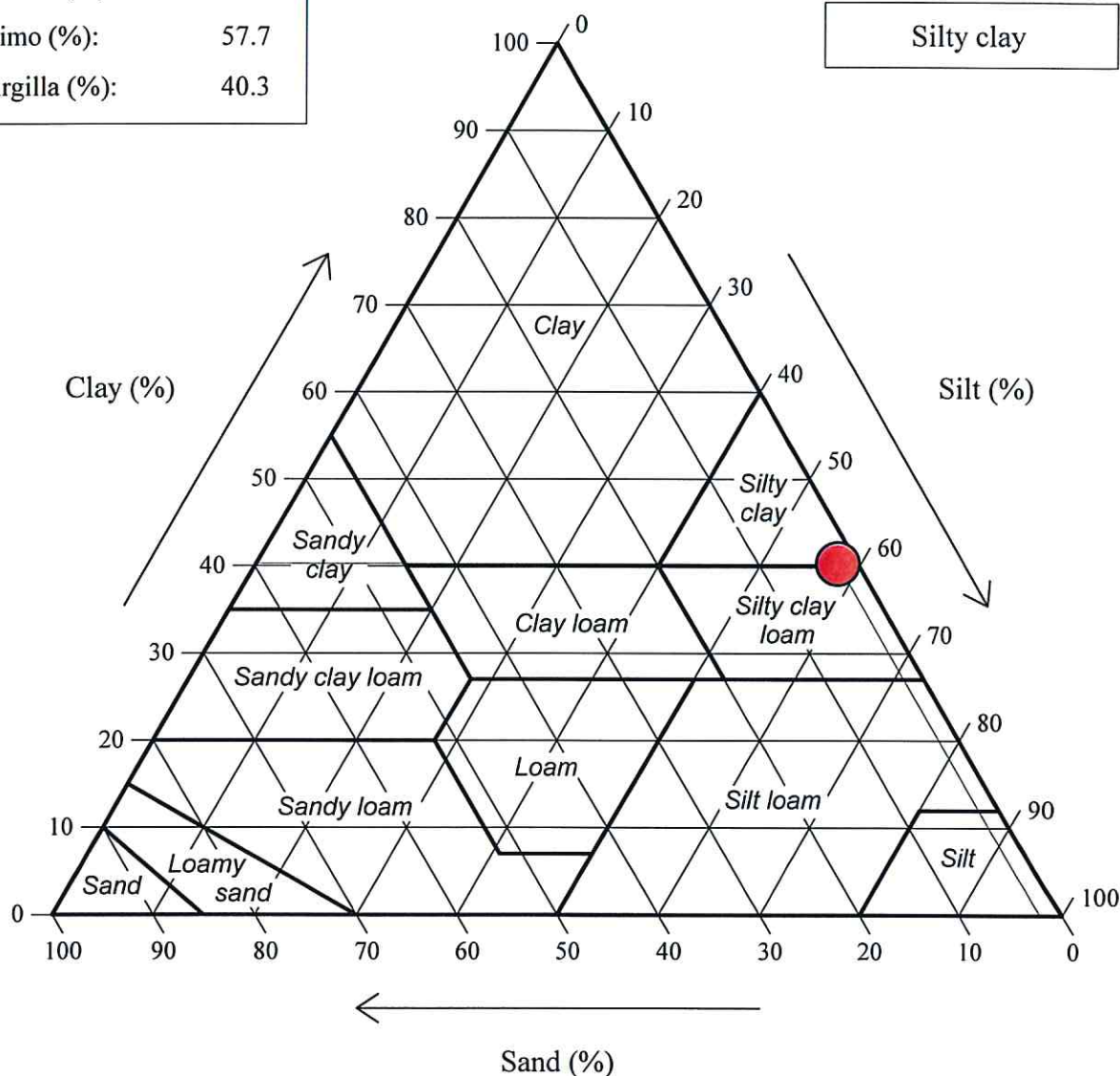
CERTIFICATO DI PROVA N°: 528/g/16	Allegato I	DATA DI EMISSIONE: 27/06/16	Inizio analisi: 21/06/16
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 61 del 15/06/16		Apertura campione: 21/06/16	Fine analisi: 24/06/16

COMMITTENTE: AURELI SOIL S.r.l - Via Lamarmora, 77 - Gioia dei Marsi (Aq)			
RIFERIMENTO: SAN BENEDETTO DEI MARSII - EDIFICIO SCOLASTICO SAN CIPRIANO.			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	9.50 - 10.00

ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Sabbia (%): 2.0
Limo (%): 57.7
Argilla (%): 40.3



LIMO CON ARGILLA DI COLORE GRIGIO-VERDASTRO.

CERTIFICATO DI PROVA N°: 528/u/16	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 27/06/16	Inizio analisi: 21/06/16
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 61 del 15/06/16		Apertura campione: 21/06/16	Fine analisi: 22/06/16

COMMITTENTE: AURELI SOIL S.r.l - Via Lamarmora, 77 - Gioia dei Marsi (Aq)			
RIFERIMENTO: SAN BENEDETTO DEI MARSII - EDIFICIO SCOLASTICO SAN CIPRIANO.			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	9.50 - 10.00

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216

W_n = contenuto d'acqua allo stato naturale (media delle tre misure) = 36.2 %

Struttura del materiale:

☒ Omogeneo
☐ Stratificato
☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Dimensione massima delle particelle: 0.42 mm

LIMO CON ARGILLA DI COLORE GRIGIO-VERDASTRO.

CERTIFICATO DI PROVA N°: 528/pdv/16	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 27/06/16	Inizio analisi: 21/06/16
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 61 del 15/06/16		Apertura campione: 21/06/16	Fine analisi: 21/06/16

COMMITTENTE: AURELI SOIL S.r.l - Via Lamarmora, 77 - Gioia dei Marsi (Aq)			
RIFERIMENTO: SAN BENEDETTO DEI MARSII - EDIFICIO SCOLASTICO SAN CIPRIANO.			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	9.50 - 10.00

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377 T15/D

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale (media delle due misure) = 17.5 kN/m³

LIMO CON ARGILLA DI COLORE GRIGIO-VERDASTRO.

CERTIFICATO DI PROVA N°: 528/ps/16	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 27/06/16	Inizio analisi: 22/06/16
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 61 del 15/06/16		Apertura campione: 21/06/16	Fine analisi: 22/06/16

COMMITTENTE: AURELI SOIL S.r.l - Via Lamarmora, 77 - Gioia dei Marsi (Aq)			
RIFERIMENTO: SAN BENEDETTO DEI MARSII - EDIFICIO SCOLASTICO SAN CIPRIANO.			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	9.50 - 10.00

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854

γ_s = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m³) = 24.7

γ_{sc} = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m³) = 24.7

Metodo: ☒ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 28.0 °C

Dimensione massima delle particelle: 0.42 mm

Disaerazione eseguita per bollitura

LIMO CON ARGILLA DI COLORE GRIGIO-VERDASTRO.

CERTIFICATO DI PROVA N°: 528/ED/16	Pagina 1/3	DATA DI EMISSIONE: 27/06/16	Inizio analisi: 21/06/16
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 61 del 15/06/16		Apertura campione: 21/06/16	Fine analisi: 27/06/16

COMMITTENTE: AURELI SOIL S.r.l - Via Lamarmora, 77 - Gioia dei Marsi (Aq)			
RIFERIMENTO: SAN BENEDETTO DEI MARSII - EDIFICIO SCOLASTICO SAN CIPRIANO.			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	9.50 - 10.00

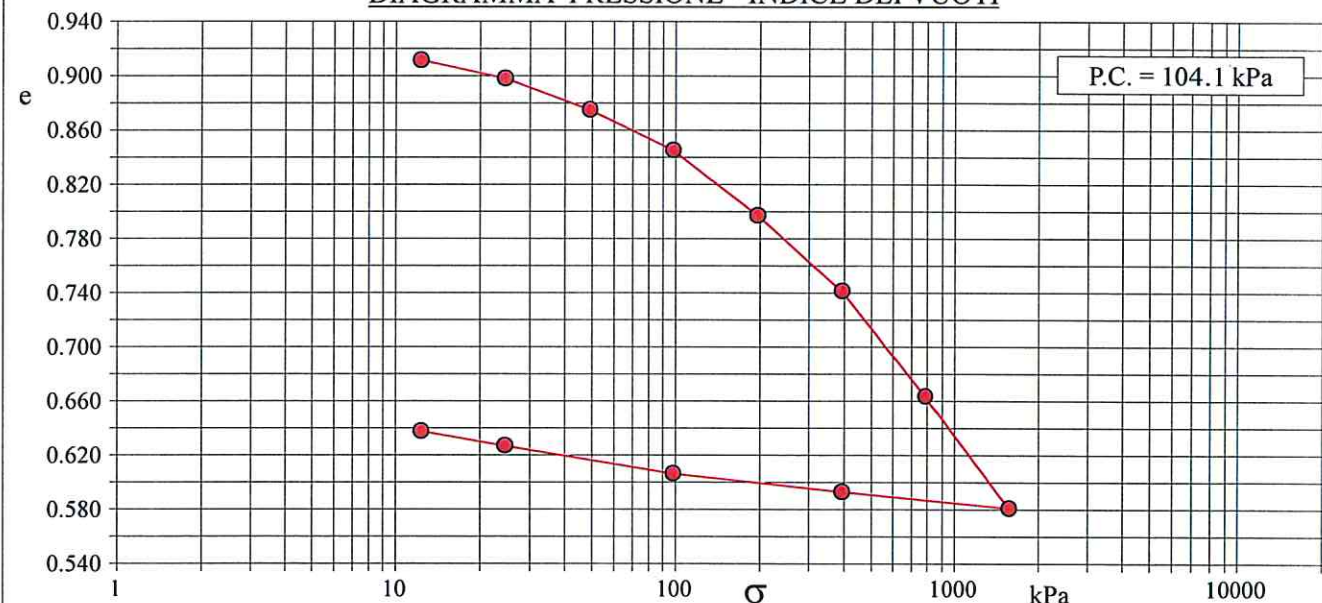
PROVA EDOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2435

Caratteristiche del campione

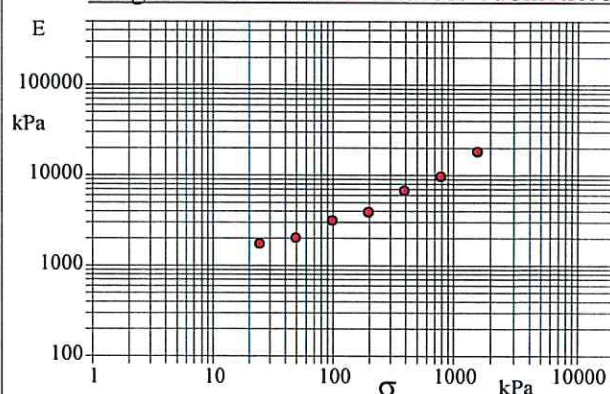
Peso di volume (kN/m³)	17.54	Altezza provino cm	2.00	Indice dei vuoti	0.92
Umidità (%)	36.2	Volume provino (cm³)	39.27	Porosità (%)	47.95
Peso specifico (kN/m³)	24.74	Volume dei vuoti (cm³)	18.83	Saturazione (%)	99.2

DIAGRAMMA PRESSIONE - INDICE DEI VUOTI



Pressione kPa	Cedim. mm/100	Indice Vuoti	Cc	Modulo kPa
12.3	10.0	0.912		
24.5	24.0	0.898	0.045	1751
49.0	48.0	0.875	0.077	2043
98.0	79.0	0.845	0.099	3159
196.0	129.0	0.797	0.160	3920
392.0	187.0	0.742	0.185	6759
784.0	268.0	0.664	0.258	9679
1568.0	354.0	0.581	0.274	18233
392.0	341.6	0.593		
98.0	327.5	0.607		
24.5	306.2	0.627		
12.3	295.0	0.638		

Diagramma Pressione - Modulo edometrico



LIMO CON ARGILLA DI COLORE GRIGIO-VERDASTRO.

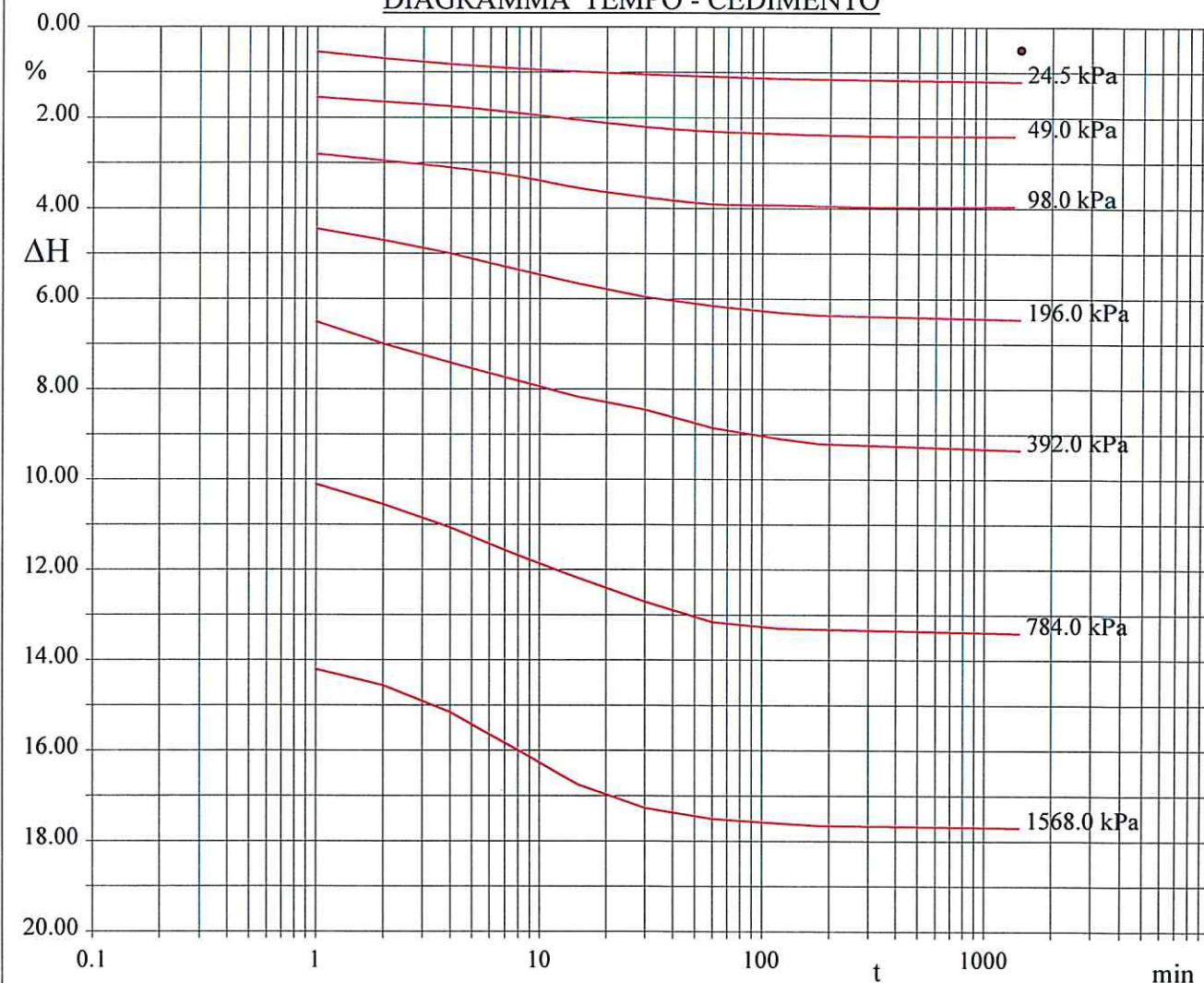
CERTIFICATO DI PROVA N°: 528/ED/16	Pagina 2/3	DATA DI EMISSIONE: 27/06/16	Inizio analisi: 21/06/16
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 61 del 15/06/16		Apertura campione: 21/06/16	Fine analisi: 27/06/16

COMMITTENTE: AURELI SOIL S.r.l - Via Lamarmora, 77 - Gioia dei Marsi (Aq)			
RIFERIMENTO: SAN BENEDETTO DEI MARSI - EDIFICIO SCOLASTICO SAN CIPRIANO.			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	9.50 - 10.00

PROVA EDOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2435

DIAGRAMMA TEMPO - CEDIMENTO



CERTIFICATO DI PROVA N°: 528/ED/16	Pagina 3/3	DATA DI EMISSIONE: 27/06/16	Inizio analisi: 21/06/16
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 61 del 15/06/16		Apertura campione: 21/06/16	Fine analisi: 27/06/16

COMMITTENTE: AURELI SOIL S.r.l - Via Lamarmora, 77 - Gioia dei Marsi (Aq)			
RIFERIMENTO: SAN BENEDETTO DEI MARSII - EDIFICIO SCOLASTICO SAN CIPRIANO.			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	9.50 - 10.00

PROVA EDOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2435

LETTURE INTERMEDIE - TABELLE RIASSUNTIVE

Pressione 24.5 kPa		Pressione 49.0 kPa		Pressione 98.0 kPa		Pressione 196.0 kPa	
Tempo minuti	Cedim. mm/100	Tempo minuti	Cedim. mm/100	Tempo minuti	Cedim. mm/100	Tempo minuti	Cedim. mm/100
0.00	10.0	0.00	24.0	0.00	48.0	0.00	79.0
1.00	11.0	1.00	31.0	1.00	56.0	1.00	89.0
2.00	13.9	2.00	33.0	2.00	59.0	2.00	94.1
4.00	16.4	4.00	35.0	4.00	62.0	4.00	100.0
8.00	18.5	8.00	38.0	8.00	66.0	8.00	107.1
15.00	19.7	15.00	41.0	15.00	71.0	15.00	113.3
30.00	20.8	30.00	44.0	30.00	75.0	30.00	119.0
60.00	21.8	60.00	46.0	60.00	78.0	60.00	123.0
120.00	22.6	120.00	47.0	120.00	78.5	120.00	126.0
180.00	22.9	180.00	47.5	180.00	78.9	180.00	127.1
1440.00	24.0	1440.00	48.0	1440.00	79.0	1440.00	129.0

Pressione 392.0 kPa		Pressione 784.0 kPa		Pressione 1568.0 kPa		Pressione -- kPa	
Tempo minuti	Cedim. mm/100	Tempo minuti	Cedim. mm/100	Tempo minuti	Cedim. mm/100	Tempo minuti	Cedim. mm/100
0.00	129.0	0.00	187.0	0.00	268.0		
1.00	130.0	1.00	202.0	1.00	284.0		
2.00	140.0	2.00	211.1	2.00	291.1		
4.00	148.2	4.00	221.4	4.00	303.1		
8.00	156.3	8.00	233.6	8.00	319.7		
15.00	163.4	15.00	243.7	15.00	334.9		
30.00	169.0	30.00	254.0	30.00	345.2		
60.00	177.0	60.00	263.0	60.00	350.0		
120.00	181.9	120.00	265.9	120.00	352.0		
180.00	184.1	180.00	266.2	180.00	353.0		
1440.00	187.0	1440.00	268.0	1440.00	354.0		

CERTIFICATO DI PROVA N°: 528/td/16	Pagina 1/4	DATA DI EMISSIONE: 27/06/16	Inizio analisi: 21/06/16
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 61 del 15/06/16		Apertura campione: 21/06/16	Fine analisi: 24/06/16

COMMITTENTE: AURELI SOIL S.r.l - Via Lamarmora, 77 - Gioia dei Marsi (Aq)			
RIFERIMENTO: SAN BENEDETTO DEI MARSI - EDIFICIO SCOLASTICO SAN CIPRIANO.			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	9.50 - 10.00

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	98	196	294
Tensione a rottura (kPa):	72	94	135
Deformazione orizzontale e verticale a rottura (mm):	9.50 -0.06	6.00 -0.05	8.00 -0.06
Umidità iniziale e umidità finale (%):	36.4 30.5	36.5 30.7	36.3 30.4
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	17.5 17.5	17.5 18.0	17.5 18.1
Grado di saturazione iniziale e finale (%):	99.2 90.8	99.6 97.0	99.2 98.0

DIAGRAMMA

Tensione - Pressione verticale

Tipo di prova:	Consolidata - lenta
Velocità di deformazione:	0.020 mm / min
Tempo di consolidazione (ore):	24

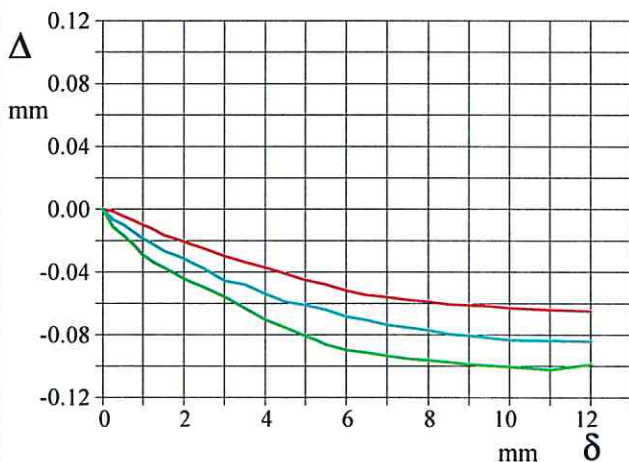
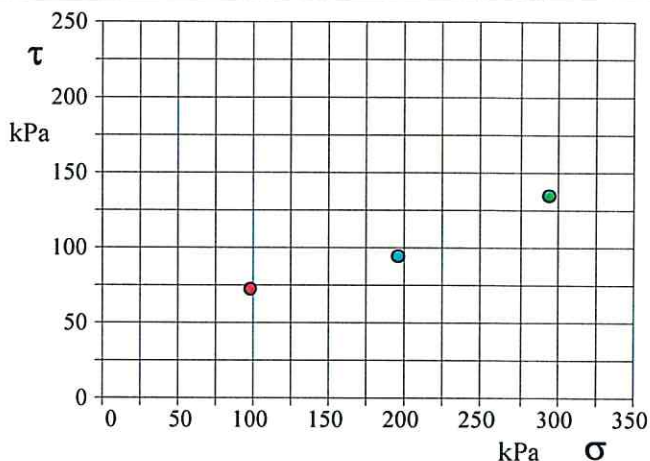


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

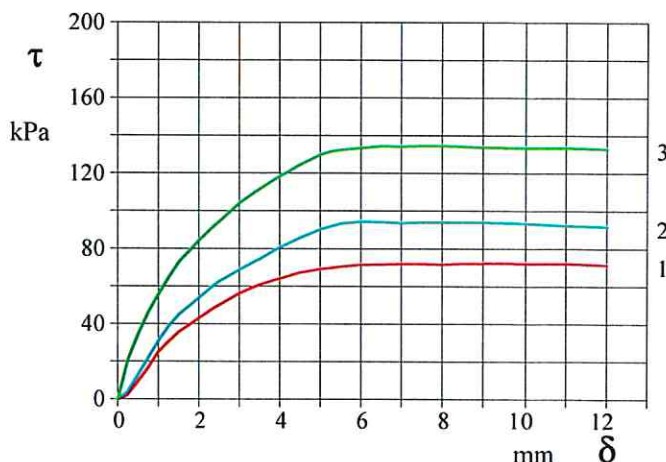


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

LIMO CON ARGILLA DI COLORE GRIGIO-VERDASTRO.

CERTIFICATO DI PROVA N°: 528/td/16	Pagina 3/4	DATA DI EMISSIONE: 27/06/16	Inizio analisi: 21/06/16
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 61 del 15/06/16		Apertura campione: 21/06/16	Fine analisi: 24/06/16

COMMITTENTE: AURELI SOIL S.r.l - Via Lamarmora, 77 - Gioia dei Marsi (Aq)			
RIFERIMENTO: SAN BENEDETTO DEI MARSII - EDIFICIO SCOLASTICO SAN CIPRIANO.			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	9.50 - 10.00

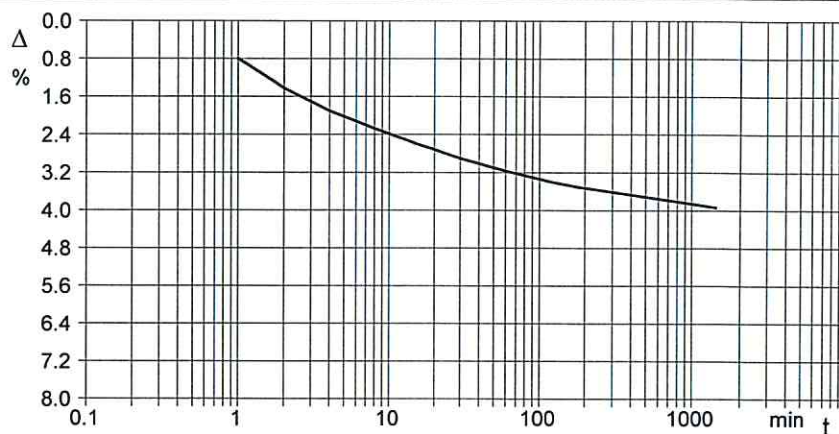
PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

**Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO**

PROVINO 1

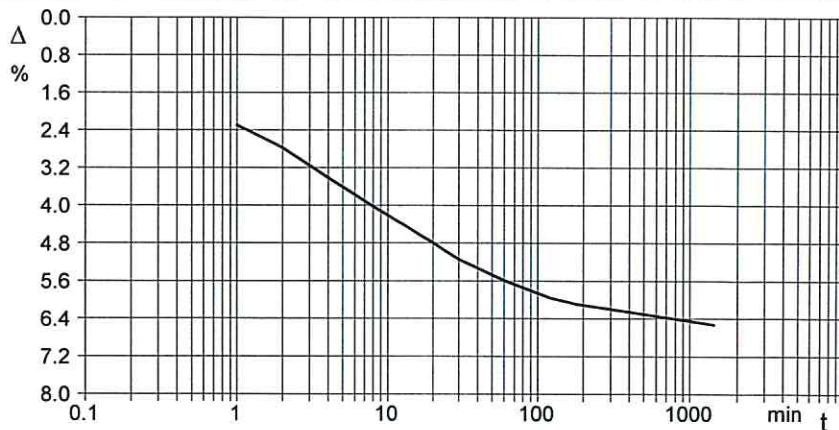
Pressione (kPa)	98
Altezza iniziale (cm)	2.00
Altezza finale (cm)	1.92
Sezione (cm²)	19.63
T ₅₀ (min)	2.5
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0.040



**Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO**

PROVINO 2

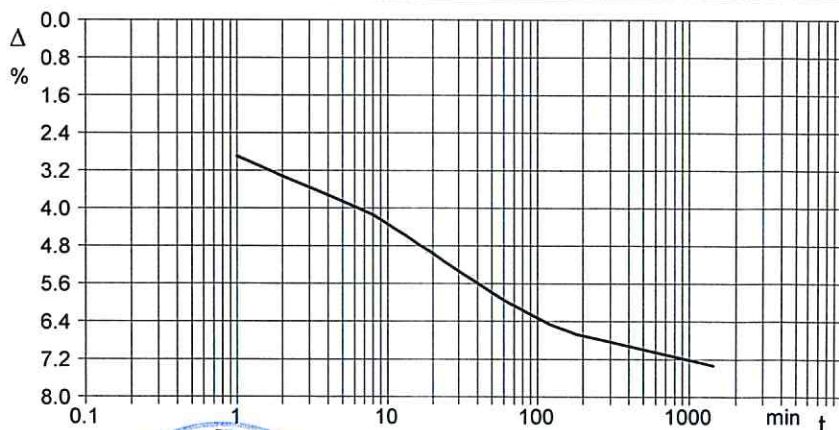
Pressione (kPa)	196
Altezza iniziale (cm)	2.00
Altezza finale (cm)	1.87
Sezione (cm²)	19.63
T ₅₀ (min)	6.4
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0.016



**Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO**

PROVINO 3

Pressione (kPa)	294
Altezza iniziale (cm)	2.00
Altezza finale (cm)	1.85
Sezione (cm²)	19.63
T ₅₀ (min)	24.3
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0.004



Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata

tf = 50 x T₅₀ Vs = Df / tf

CERTIFICATO DI PROVA N°: 528/td/16	Pagina 4/4	DATA DI EMISSIONE: 27/06/16	Inizio analisi: 21/06/16
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 61 del 15/06/16		Apertura campione: 21/06/16	Fine analisi: 24/06/16

COMMITTENTE: AURELI SOIL S.r.l - Via Lamarmora, 77 - Gioia dei Marsi (Aq)

RIFERIMENTO: SAN BENEDETTO DEI MARSI - EDIFICIO SCOLASTICO SAN CIPRIANO.

SONDAGGIO: S1 CAMPIONE: C1 PROFONDITA': m 9.50 - 10.00

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

[illegible]

CERTIFICATO DI PROVA N°: 528/tr/16	Pagina 1/2	DATA DI EMISSIONE: 27/06/16	Inizio analisi: 24/06/16
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 61 del 15/06/16		Apertura campione: 21/06/16	Fine analisi: 26/06/16

COMMITTENTE: AURELI SOIL S.r.l - Via Lamarmora, 77 - Gioia dei Marsi (Aq)			
RIFERIMENTO: SAN BENEDETTO DEI MARSII - EDIFICIO SCOLASTICO SAN CIPRIANO.			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	9.50 - 10.00

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - RESISTENZA RESIDUA

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	98	196	294
Tensione a rottura (kPa):	38	51	80
Deformazione orizzontale e verticale a rottura (mm):	5.50 -0.06	5.00 -0.05	4.50 -0.06
Umidità iniziale e umidità finale (%):	36.4 30.5	36.5 30.7	36.3 30.4
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	17.5 17.5	17.5 18.0	17.5 18.1
Grado di saturazione iniziale e finale (%):	99.2 90.8	99.6 97.0	99.2 98.0

DIAGRAMMA

Tensione - Pressione verticale

Tipo di prova:	Consolidata - lenta
Velocità di deformazione:	0.020 mm / min
Tempo di consolidazione (ore):	24

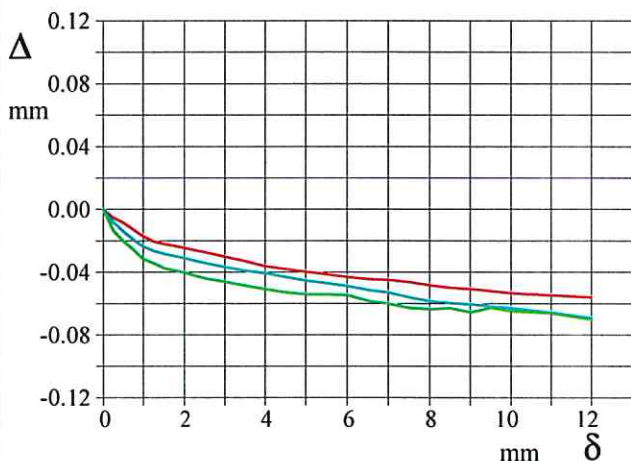
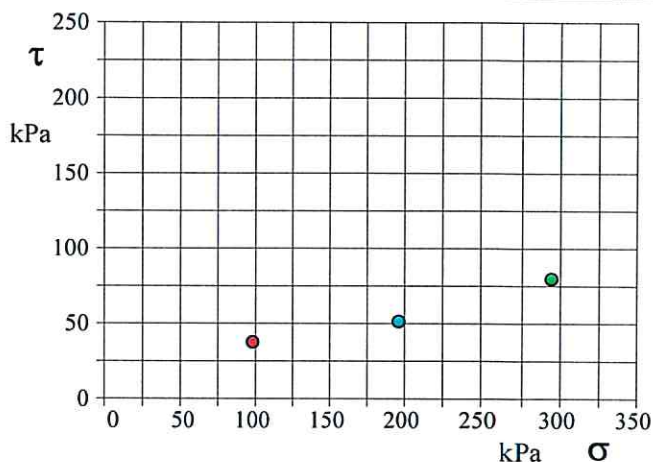


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

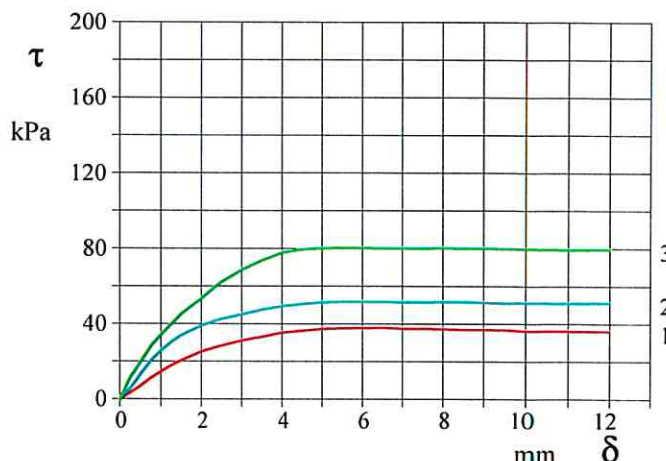


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

LIMO CON ARGILLA DI COLORE GRIGIO-VERDASTRO.

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

[illegible]

COMMITTENTE: AURELI SOIL S.r.l - Via Lamarmora, 77 - Gioia dei Marsi (Aq)

RIFERIMENTO: SAN BENEDETTO DEI MARSII - EDIFICIO SCOLASTICO SAN CIPRIANO.

SONDAGGIO: S1 CAMPIONE: C1 PROFONDITA': m 9.50 - 10.00

CLASSIFICA BASATA SULLA GRANULOMETRIA

Classifica A.G.I.

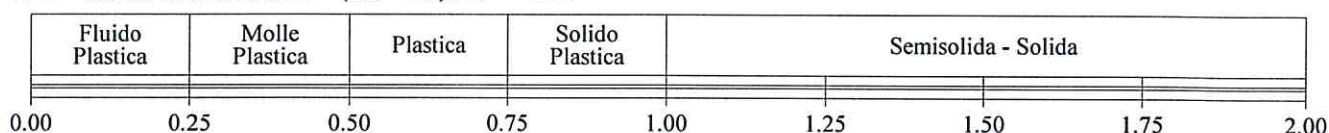
Limo con argilla

CLASSIFICHE BASATE SUI LIMITI DI CONSISTENZA

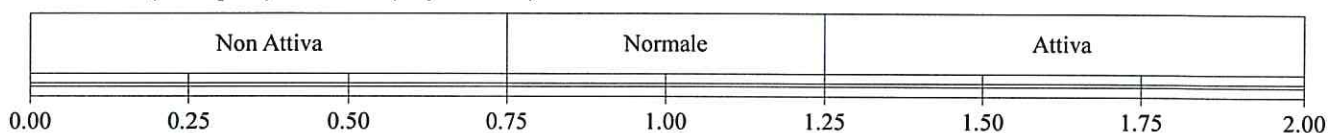
Abaco di plasticità di Casagrande

CL - Argille inorganiche a bassa compressibilità

I.C. = Indice di consistenza = $(LL - W_n) / IP = 0.00$

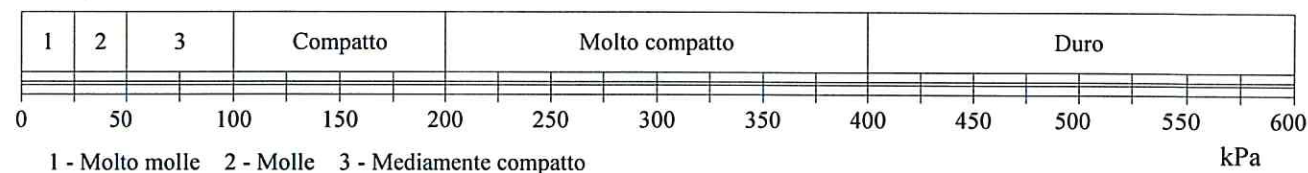


A = Attività (Skempton) = IP / CF (clay fraction) = 0.00



CLASSIFICA BASATA SULLA COESIONE NON DRENATA

Coesione non drenata =

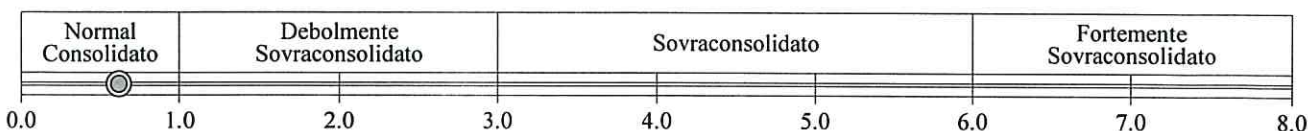


CLASSIFICA BASATA SULLA PRECONSOLIDAZIONE

Pressione del campione in sito (kPa) = 168.5

Pressione di preconsolidazione [da Prova Edometrica] (kPa) = 104.1

O.C.R. (Over Consolidation Ratio) = 0.62



LIMO CON ARGILLA DI COLORE GRIGIO-VERDASTRO.

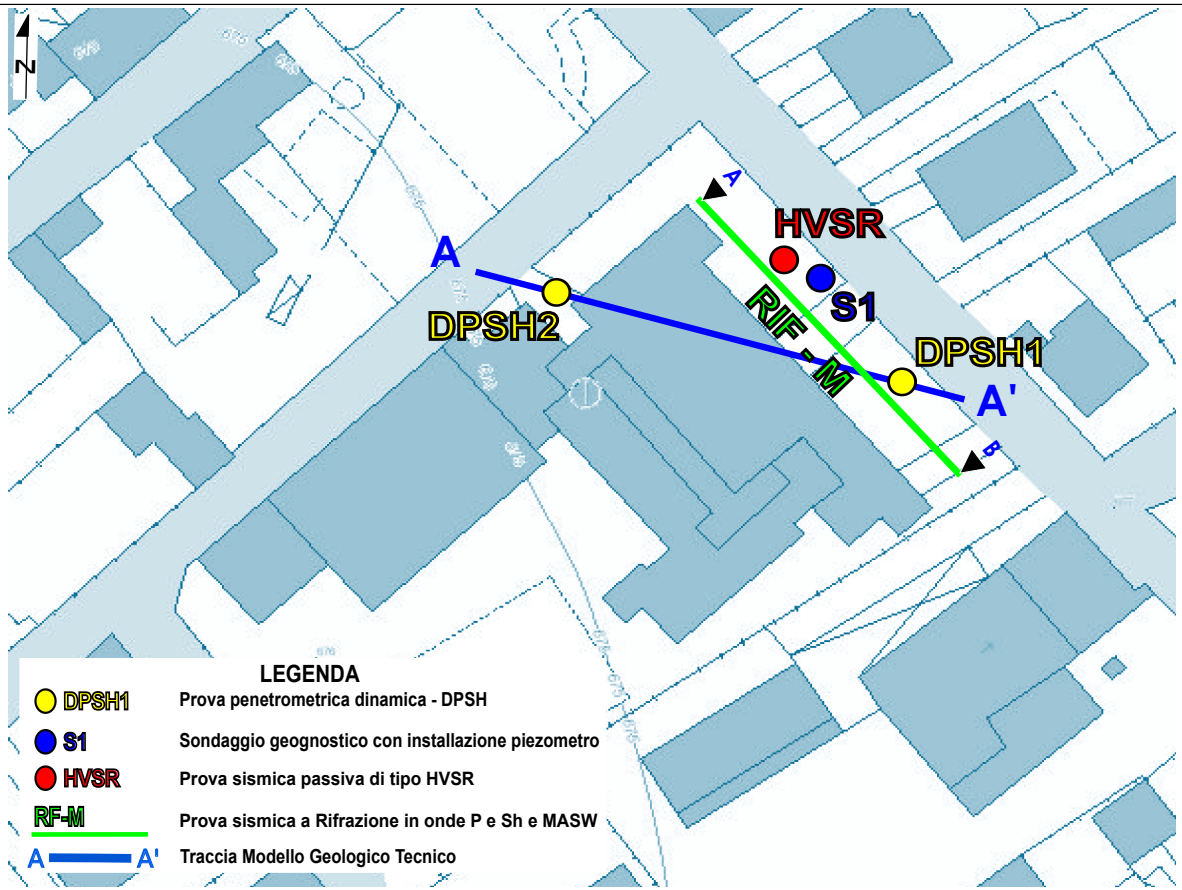
MODELLO GEOLOGICO TECNICO

UBICAZIONE INDAGINI
GEOTECNICHE E GEOFISICHE

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

PARAMETRI SISMICI

UBICAZIONE



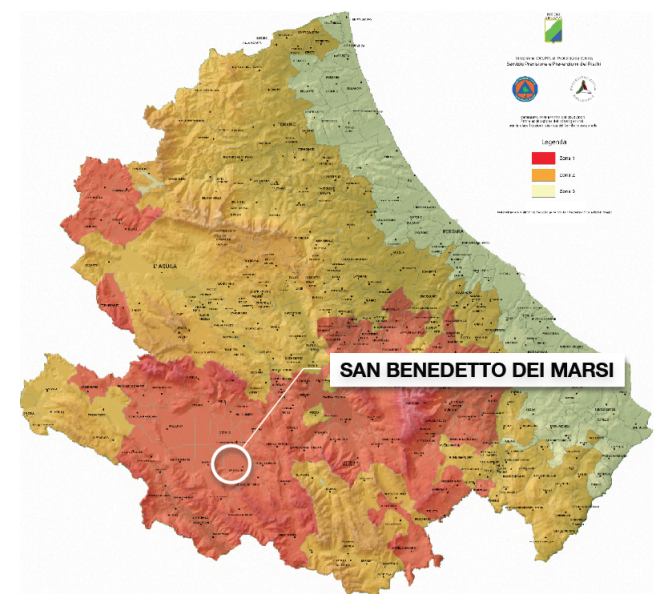
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



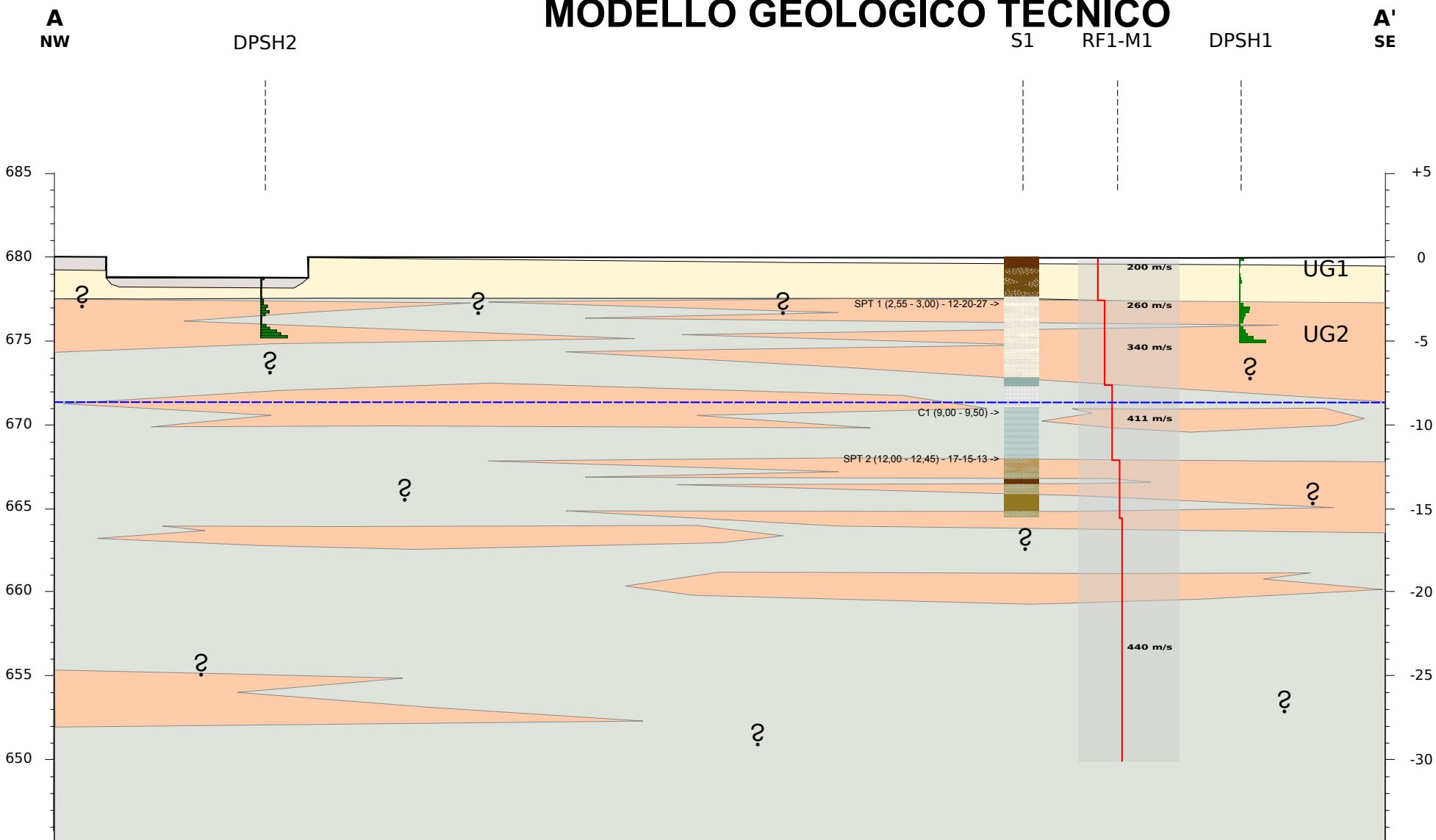
Regione Abruzzo Prov. di L'Aquila Comune di San Benedetto dei Marsi

ALLEGATO 2

PARAMETRI SISMICI

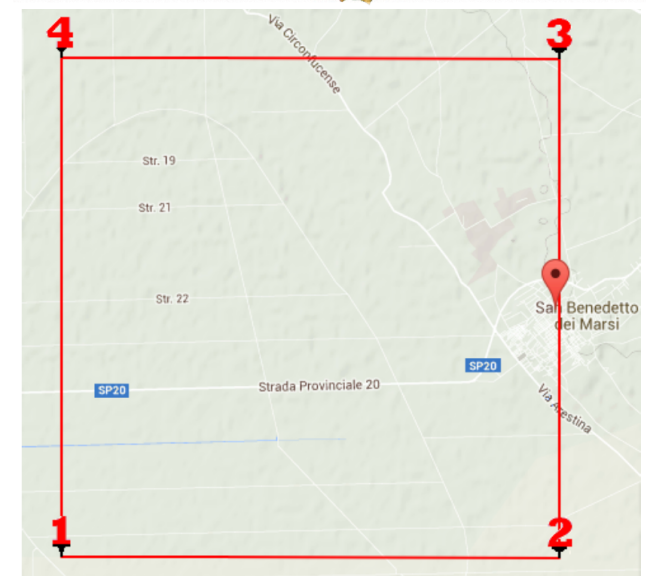


MODELLO GEOLOGICO TECNICO



LEGENDA			
UNITA' GEOTECNICHE			
Parametri geotecnici	Valore nominale medio	Valore caratteristico (Xk)	
	$\phi(^{\circ})$	19,87	18,81
	$\gamma(t/m^3)$	1,78	1,72
	Cu (kg/cm2)	0,21	0,16
Parametri geotecnici	Valore nominale medio	Valore caratteristico (Xk)	
	$\phi(^{\circ})$	26,4	24,7
	$\gamma(t/m^3)$	1,99	1,90
	Cu (kg/cm2)	1,28	0,91
C (kg/cm2)	0,37	0,19	

Categoria topografica: T1
Categoria di sottosuolo: C
Vs30: M1=328 m/s



		Probabilità di superamento (%)	Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc* (s)	Td (s)	S (SsxSt)
SLO	SLO Operatività	81	45	0,097	2,347	0,280	1,990	1,500
	SLD Danno	63	75	0,123	2,319	0,291	2,096	1,500
SLV	SLV Salvaguardia della vita	10	712	0,297	2,385	0,356	2,792	1,280
	SLC Prevenzione dal collasso	5	1462	0,378	2,427	0,371	3,117	1,150

	Ss (-)	St (-)	Cc (-)	Kh (-)	Kv (-)	Amax (-)	Beta (-)
SLO	1,500	1,000	1,600	0,029	0,015	1,425	0,200
SLD	1,500	1,000	1,580	0,044	0,022	1,810	0,240
SLV	1,280	1,000	1,480	0,106	0,053	3,727	0,280
SLC	1,150	1,000	1,460	0,122	0,061	4,264	0,280