



CITTA' METROPOLITANA DI ROMA CAPITALE

DIPARTIMENTO I - Direzione

U.O.T. Progetti Complessi

***CITTA' DI COLLEFERRO – Realizzazione della nuova sede
dell'Istituto P.I.A. "Parodi-Delfino"***
CUP: F51B20000730001

PROGETTO DEFINITIVO



Co Finanziato dall'Unione Europea - NextGenerationEU

RELAZIONE GEOLOGICA 1

TAV

15-Geo

DATA

XI/2022

REV.

DIREZIONE DEL DIPARTIMENTO I

SCALA

Rup
Ing. Paolo QUATTRUCCI



Coordinatore del progetto:
Arch. Gianfilippo LOMASTO



Co progettista
Ing. Stefano Tranquilli

Ing. STEFANO TRANQUILLI
Via E. Faa' Di Bruno, 24 - 00195 Roma
Cell. 347 9433723 - Fax 06 99331952
C.F. TRN SFN 75E17 H501I
P. IVA 07879821002

Co Progettista associata
Arch. Alessandra Sassi



COLLABORATORI

Geom. Calogero Di Rocco
P.E. Francesco Oliviero
Geom. Fabio Fichera
Arch. Daria Marino

COLLABORAZIONE AL PROGETTO



CAPITALE LAVORO

Arch. Francesca
Pellicano'



SOMMARIO

1. <u>PREMESSA...</u>	Pag. 02
2. <u>INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DEL TERRITORIO E DELLA ZONA INTERESSATA DALL'INTERVENTO.....</u>	Pag. 04
3. <u>GEOLOGIA E TETTONICA DEL TERRITORIO IN ESAME</u>	Pag. 05
4. <u>INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO DEL TERRITORIO</u>	Pag. 18
5. <u>CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DI DETTAGLIO DELL'AREA</u>	Pag. 25
5.1 <u>INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO</u>	Pag. 26
5.2 <u>INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO</u>	Pag. 28
5.2 <u>INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO</u> ...	Pag. 32
6. <u>MODELLO GEOLOGICO VALIDO PER L'AREA DI STUDIO</u>	Pag. 33
7. <u>MODELLAZIONE SISMICA DEL LOTTO INVESTIGATO</u>	Pag. 39
8. <u>CONCLUSIONI</u>	Pag. 51
9. <u>ALLEGATI</u>	Pag. 55



1. PREMESSA

Il sottoscritto:

- Geologo Vincenzo **CORTESE**, nato a Mugnano di Napoli (NA) il 28/12/1983 (C.F. **CRTVCN83T28F799C**) e residente in Bojano (CB) alla Via Gino di Biase n° 32, iscritto all'Albo Professionale dell'*Ordine dei Geologi della Regione Molise* al n° **155** - sez. A "**Geologi Specialisti**"

è stato incaricato di eseguire uno studio di carattere geologico - tecnico nel **tenimento del Comune di COLLEFERRO (RM)**, a corredo del Progetto denominato: "**REALIZZAZIONE NUOVA SEDE ISTITUTO SCOLASTICO "PAOLO PARODI DELFINO" IN VIA DEL PANTANACCIO – IN VARIANTE AL P.R.G.VIGENTE**"

E' stato effettuato un primo sopralluogo per constatare lo stato di fatto della zona di studio.

In seguito, sono stati compiuti ulteriori sopralluoghi, sia sull'area interessata dall'intervento che nelle aree adiacenti, allo scopo di ottenere una visione globale del territorio in cui si trova la zona interessata.

Il lavoro, nel rispetto delle **N.T.C. 2018**, ha avuto lo scopo di:

- *definire le condizioni morfologiche, idrogeologiche e tettoniche dell'area;*
- *valutare l'assetto litostratigrafico dell'area;*
- *definire la categoria sismica del sottosuolo secondo le Norme del D.M. 17 Gennaio 2018.*



Il lavoro stesso è altresì stato compilato in due fasi distinte e successive:

- nella prima fase è stata effettuata una analisi geomorfologica, idrogeologica, geologica e tettonica della zona in cui ricade l'area oggetto di studio;
- nella seconda fase è stato realizzato un rilevamento geologico di superficie esteso anche ad aree limitrofe a quella d'interesse ed è stata presenziata, diretta ed interpretata una campagna di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche.

Tutti i risultati desunti dalle indagini effettuate e le relative elaborazioni grafiche, si riportano nel presente fascicolo.

Di seguito si espongono le risultanze di che trattasi e le considerazioni emerse dallo studio effettuato.



Fig. 1: Immagine aerea dell'area in cui ricade il lotto di terreno allo studio.



2. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DEL TERRITORIO E

DELLA ZONA INTERESSATA DALL'INTERVENTO

L'area oggetto di studio, ubicata in COLLEFERRO (RM), risulta cartografata nel Foglio Geologico 151, ALATRI,

Per quel che concerne la caratterizzazione geomorfologica di dettaglio del lotto oggetto del presente studio geologico-tecnico, è possibile affermare che l'area stessa sia collocata in una zona sub-pianeggiante, caratterizzata dall'**assenza di fenomeni di dissesto geomorfologico di versante**.

Le pendenze molto esigue, conferiscono infatti al suolo del territorio in questione un **alto indice di stabilità**, precludendo così ogni possibilità ai terreni di evolvere in forme di dissesto superficiale di tipo gravitativo: il terreno interessato dal Progetto di cui in oggetto risulta quindi **stabile**, essendo priva di qualunque indizio di disequilibrio passato, in atto o potenziale.



Fig. 2: Carta geomorfologica in scala 1:2000 dell'area oggetto di intervento.



L'area oggetto di intervento, infine, rientra nelle competenze dell'**Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale- Liri-Garigliano e Volturno**.

Si riporta in seguito la cartografia relativa.

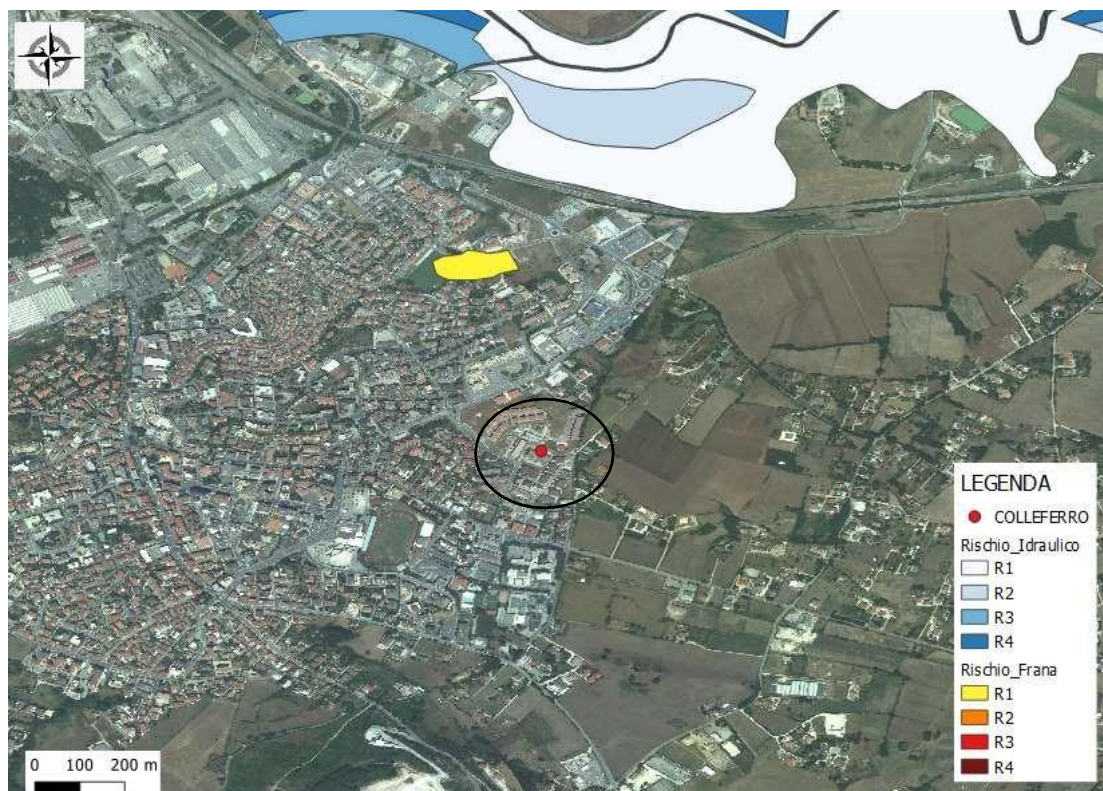


Fig. 3: Stralcio P.A.I. dell'area di interesse

Detta area risulta **ESCLUSA** da qualsiasi perimetrazione di **RISCHIO** sia da **FRANA** che **IDRAULICO** definito dai Piani di Bacino.

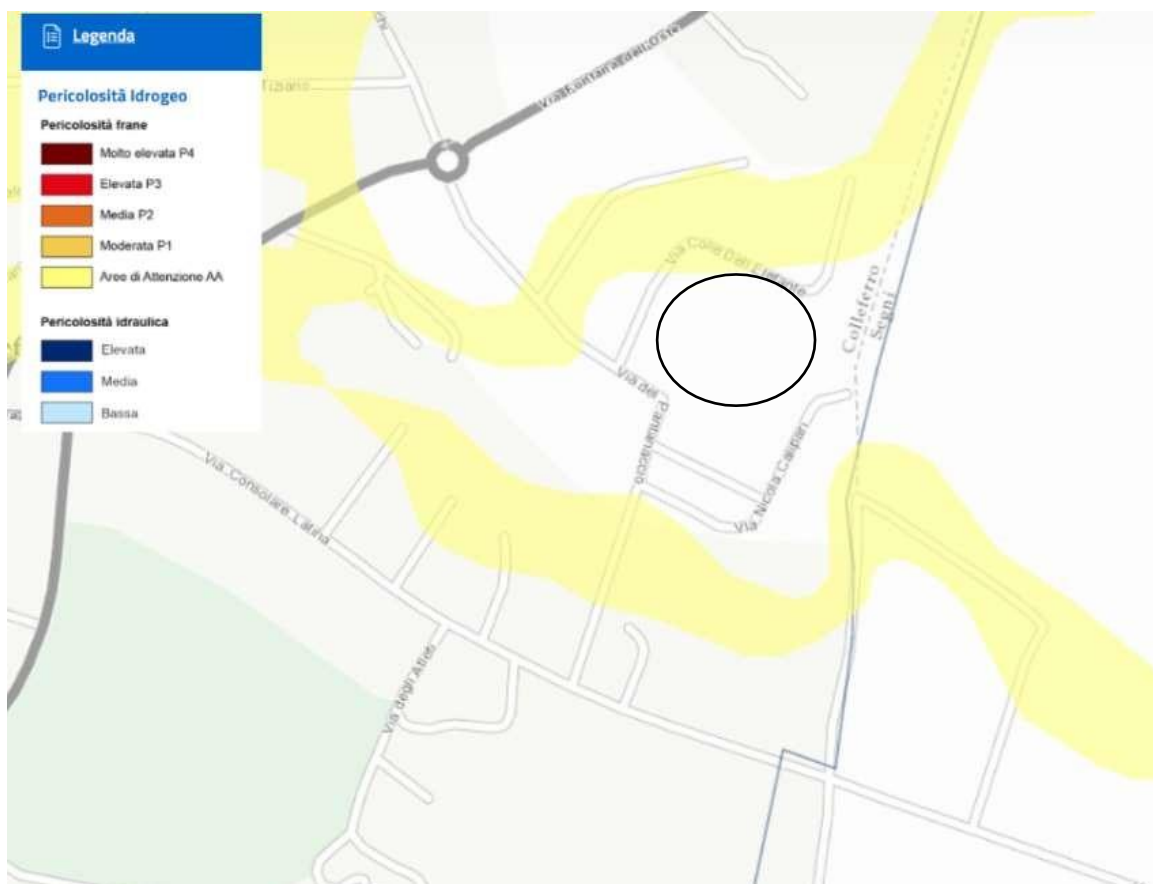


Fig. 4: Stralcio P.S.A.I.- PERICOLOSITA' IDROGEOLOGICA dell'area di interesse

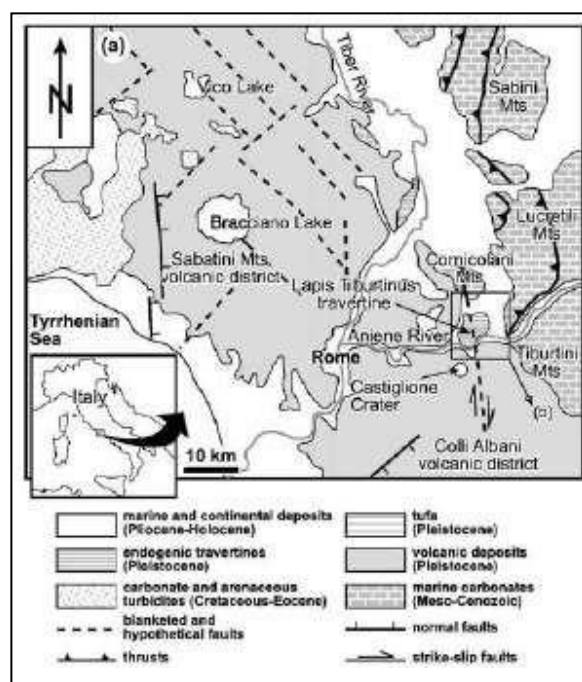
Come si evince dalla cartografia relativa, nel sito in esame NON SONO PRESENTI AREE PERICOLOSE e VULNERABILI.



3. GEOLOGIA E TETTONICA DEL TERRITORIO IN ESAME

La zona dei COLLI ALBANI si trova nel settore interno della fascia del sovrascorrimento dell'Appennino Centrale. Tale zona è costituita dalle coperture sovrascorse dei carbonati mesozoici che sono migrate verso E durante il Neogene, quando avveniva la subduzione della placca Adriatica verso W. Durante il tardo Neogene, la parte tirrenica della fascia appenninica si è estesa sotto un regime tettonico di retroarco, mentre, verso E, l'accrezione del cuneo frontale era ancora attiva (Malinverno et al., 1986). Dal lato tirrenico della cintura appenninica, lo spessore ridotto della litosfera, il vulcanismo, il regime distensivo dei bacini e flussi di calore elevati sono il risultato dei processi estensionali di retroarco del Neogene-Quaternario (Funiciello et al., 1976; Chiodini et al., 2004; Acocella et al., 2006). Inoltre questa fascia è caratterizzata da un sistema di faglie normali orientate in direzione NW e di bacini associati, lateralmente delimitati da faglie trascorrenti con direzione NE. L'età dei depositi di riempimento dei bacini rivela un accrescimento delle faglie normali associate ai bacini durante il Miocene sup. – Pleistocene inf. (**Figura 5**; Faccenna et al., 2008).

Figura 5.. Schema geologico dell'area romana. (Faccenna et al., 2008).





Nell'area romana i grandi distretti vulcanici esplosivi sono divenuti attivi nel Pleistocene medio (circa 700.000 anni fa) (**Figura 6**) e sono rimasti attivi in modo intermittente fino a 30.000 anni fa (De Rita et al., 1988, 1995). Gli ultimi episodi risalgono all'Olocene e provengono dal vulcano dei Colli Albani (Funicello et al., 2003).

La tettonica più recente ha caratteristiche differenti dal precedente regime estensionale, poiché le faglie sono principalmente caratterizzate da sistemi di scorrimento laterale destro e faglie trassensive normali con direzione NE. Queste strutture sono parzialmente controllate dalle ultime fasi di vulcanismo e relativi flussi idrotermali (Faccenna et al., 1994).

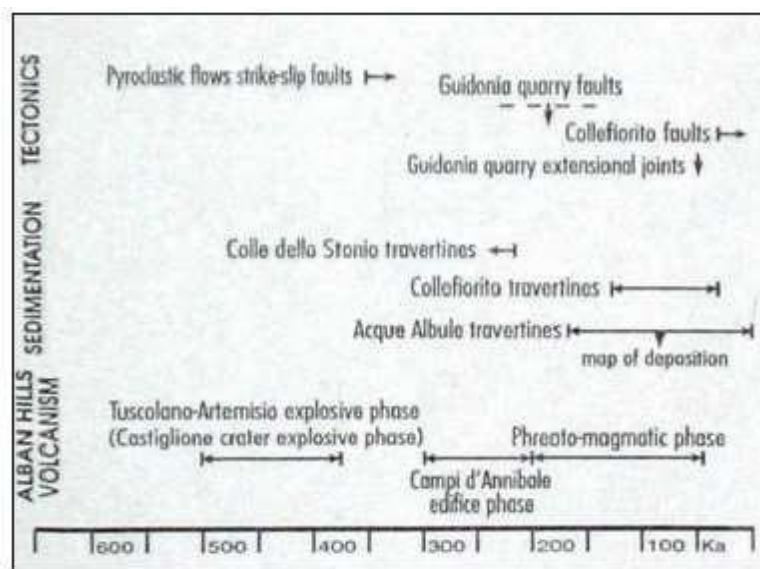


Figura 6. Età dei principali eventi tettonici, sedimentari e vulcanici (Faccenna et al., 1994).

Assetto geologico e tettonico dei Monti Lucretili

L'assetto tettonico dei Monti Lucretili, ricostruito da Cosentino e Parotto (1986) ricalca, nelle linee generali, i caratteri strutturali dell'intero settore sabino della catena appenninica. Questo è caratterizzato dalla sovrapposizione di diverse unità tettoniche derivanti dalla deformazione di un dominio paleogeografico, di transizione tra dominio umbro-marchigiano, di mare aperto, e quello laziale-abruzzese di piattaforma carbonatica.



Tale deformazione, come già noto in letteratura, è avvenuta in tempi diversi, secondo campi di stress orientati in maniera diversa, a partire dal Serravalliano superiore. È noto infatti come la successione stratigrafica del settore lucretile non contiene termini più recenti delle “Calcareniti a Briozoi e Litotamni” del Serravalliano p.p., a testimonianza di una probabile emersione già nel Tortoniano inferiore. L'ipotesi di una fase tettonica serravalliano-tortoniana è suffragata dal ritrovamento costante di corpi conglomeratici, costituiti esclusivamente da clasti di litotipi in facies sabina, intercalati nei depositi terrigeni di età tortoniana basale, generalmente al passaggio tra le “Marne ad Orbulina” ed il “Flysch argilloso-arenaceo” (Accordi & Carbone, 1985).

Questi corpi conglomeratici si ritrovano allineati in senso N-S lungo la ben nota linea “Olevano-AnTRODoco” (Castellarin et al, 1978).

Tutta la dorsale montuosa è caratterizzata dall'affioramento di unità litostratigrafiche prevalentemente mesozoiche, sovrascorse verso est sui termini più recenti della successione sabina. La superficie tettonica di separazione tra le due unità accavallate si segue agevolmente lungo tutto il tratto centro-meridionale della dorsale, sul versante orientale, ed è molto ben esposta in prossimità del M. Tancia. Sulla superficie di separazione tra queste due unità sono ben evidenti due sistemi di strie disposte quasi a 90° l'uno dall'altro, dei quali il sistema orientato in senso NW-SE sembra essere quello più recente. Questa successione nelle diverse direzioni di trasporto orogenico sembra avere una certa corrispondenza con quanto deducibile dall'analisi delle deformazioni presenti nei settori più meridionali dell'area sabina (Mattei et al., 1986).

Nel settore sabino sud-occidentale affiorano le unità strutturalmente più elevate di questo tratto di catena; queste sono generalmente costituite dai termini stratigrafici più antichi della successione sabina, compresi i termini dolomitici e calcareo-dolomitici del Trias superiore. Nei pressi del paese di Marcellina, sulle pendici occidentali del M. Morra (Monti Lucretili meridionali), è molto ben esposta la superficie di separazione tra due delle unità tettoniche più elevate di tutto il tratto

meridionale del settore Sabino.



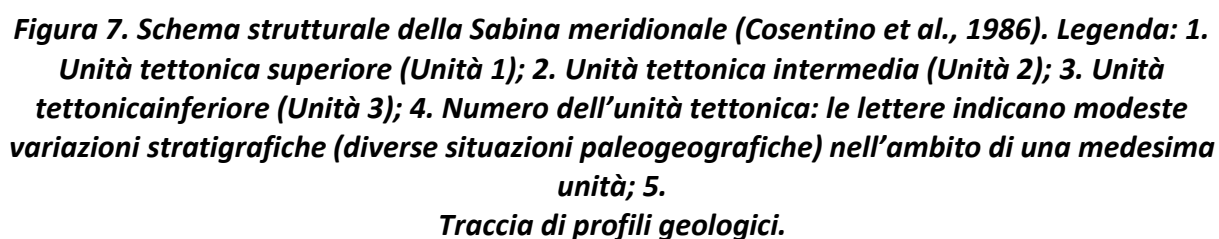
Analogamente a quanto risulta più a Nord, nei pressi del paese di Moricone, il termine triassico della successione sabina in questo settore di catena risulta completamente sradicato dal suo basamento. In definitiva l'assetto strutturale del settore sabino dell'orogene appenninico è caratterizzato dalla struttura embricata di diverse unità tettoniche accavallate verso Est, individuate da una serie di piani di sovrascorrimento di cui la linea "Olevano-AnTRODoco" rappresenta l'involuppo degli accavallamenti più esterni (Cavinato et al., 1986).

La struttura attuale del settore sabino risulta fortemente condizionata dall'intensa tettonica distensiva che in tempi recenti ha interessato questa porzione di catena, individuando blocchi diversamente dislocati.

Lo schema tettonico proposto da Cosentino et al. (1986) suggerisce una struttura che, in affioramento, interessa l'intera successione meso-cenozoica, ad esclusione dei terreni miocenici, dominata da pieghe rovesciate verso Est, interessate a volte da fianchi coricati e bordata, al margine orientale, da una superficie di accavallamento.

L'assetto geometrico dell'area è riconducibile a quello di un *thrust belt* caratterizzato da tre unità tettoniche: unità tettonica superiore (Unità 1 – M. Castelvechio-Moricone-M. Matano-Monte Flavio), intermedia (Unità 2 – M. degli Elci-M. del Lago Montorio Romano-M. Pelato- M. Pellecchia) e inferiore (Unità 3 – F.so Carlo Corso-Nerola-Scandriglia-Orvinio-Percile).

Le tre unità tettoniche individuate sono da intendere semplicemente come corpi rocciosi delimitati da superfici di accavallamento che le separano.





STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



(Cosentino et al., 1986).



Assetto geologico e tettonico dei Monti Cornicolani

I Monti Cornicolani sono un piccolo complesso montuoso, radicato e impostato su calcari mesozoici e sono delimitati a sud dal bacino delle Acque Albule, a nord ed est dalla depressione pliocenica di Palombara-Marcellina e a ovest dai depositi piroclastici. Il complesso collinare dei M. Cornicolani si eleva per un'altezza di circa 400 m ed è caratterizzato dai 3 rilievi principali. Il primo rilievo è costituito da: S. Angelo Romano (400m), Colle Grosso (180 m) e Colle Largo (222 m) orientato NNW-SSE. Il secondo rilievo, orientato NNW-SSE, è costituito dal Monte S. Francesco (206) e Colle Monsignore (149 m). Infine il terzo rilievo, orientato N-S, è costituito dal Colle Chiesuola (240m), Poggio Cesi (413 m), Montecelio (389 m) e Colle Carcibove (260 m) (Chiocchini et alii, 1979).

Nella parte meridionale del complesso dei Cornicolani questa morfologia è interrotta occasionalmente da faglie (Capelli, 2005).

I Monti Cornicolani sono costituiti prevalentemente da calcari del Lias inferiore e in minor misura da sedimenti del Lias medio - Cretacico; schematicamente essi corrispondono a tre alti strutturali.

I sedimenti successivi al Calcare Massiccio non raggiungono mai potenze elevate; la loro deposizione ha avuto inizio in tempi sempre più recenti da est verso ovest e si arresta durante il Cenomaniano inferiore. La zona, per le sue caratteristiche di relativa stabilità strutturale, rappresenta l'estremo settore meridionale affiorante della "Dorsale Tiberina", della quale un altro lembo, verso NW, è il Monte Soratte.

I Monti Cornicolani, situati al margine affiorante sud-occidentale del bacino umbro-marchigiano, presentano uno stile tettonico disgiuntivo, essendo gli affioramenti più cospicui costituiti da una formazione particolarmente rigida come il Calcare Massiccio; inoltre assai scarsa è l'influenza della componente orizzontale dei movimenti tettonici (Chiocchini et al., 1979).



La tettonica dei Monti Cornicolani è strettamente collegata e fortemente caratterizzata da quella del Calcere Massiccio. Lo stile prevalentemente rigido di quest'ultimo è evidenziato da tre sistemi di faglie subverticali condirezione NW-SE, NE-SW e N-S.

Assetto geologico e tettonico della Piana di Tivoli-Guidonia.

L'area di studio è compresa all'interno della Piana di Tivoli-Guidonia, che si estende per una superficie di circa 90 km² ed è fisicamente delimitata dai rilievi carbonatici meso-cenozoici dei Monti Cornicolani a nord e dei Monti Lucretili e Tiburtini ad est. Il limite meridionale è costituito dall'alveo del fiume Aniene, mentre i depositi piroclastici del Complesso Vulcanico dei Colli Albani rappresentano il limite occidentale.

Ad W dell'abitato di Tivoli, il Bacino delle Acque Albule è una depressione morfologica leggermente immergente verso S. La superficie topografica del bacino si trova a circa 70 metri s.l.m.

Il bacino è riempito quasi interamente da depositi di travertino (Lapis Tiburtinus) che giacciono sui depositi alluvionali, lacustri ed epivulcanici Plio-Pleistocenici. Il substrato di questi depositi consiste di una spessa (almeno 4-5 km) successione di carbonati meso-cenozoici (Faccenna et al., 2008).

La deposizione di travertini è iniziata appena dopo o contemporaneamente all'ultima fase dell'attività vulcanica (115 ka – 30 ka) con caratteristiche cicliche, alternando fasi deposizionali ed erosive controllate dalle oscillazioni della tavola d'acqua nel bacino (Faccenna et al., 2008).

Nei pressi di Tivoli, sul margine orientale del bacino delle Acque Albule, un piccolo corpo travertinoso è precipitato dalle cascate di acqua dolce del fiume Aniene. Questo deposito giace al di sopra del travertino compatto tiburtino.

Il margine meridionale del bacino è delimitato invece da almeno quattro colate piroclastiche del vulcano dei Colli Albani, messe in posto tra 500.000 e 350.000 anni fa (De Rita et al., 1995).



A nord sono visibili e affiorano i depositi argillosi marini plio-pleistocenici, ricoperti dalle sequenze sabbiose e conglomeratiche del Pleistocene inferiore. Tutti questi depositi sedimentari e vulcanici sono trasgressivi sopra i carbonati di ambiente di mare basso del Giurassico-Miocene, che formano il sovrascorrimento dei Monti Lucretili, Tiburtini, Cornicolani e Sabini (Faccenna et al., 2008).

I rapporti stratigrafici tra le piroclastiti albane e il travertino fanno supporre che durante la messa in posto delle principali colate piroclastiche, il settore delle Acque Albule dovesse essere elevato ad una quota di circa 250-300 m s.l.m. (Faccenna et al., 1994).

La situazione geologico-stratigrafica dell'area strettamente interessata dagli interventi in oggetto è caratterizzata dalla presenza di formazioni piroclastiche ed epivulcaniche legate a diverse fasi eruttive Plio-pleistoceniche. Nello specifico si segnala la presenza, in affioramento, delle seguenti formazioni principali:

- Tufo litoide di varia origine (tufo lionato Auct.) leucitico-biotitico con pirosseni, in facies da compatte e uniformi con fessurazione prismatica e vacuolare, a brecciate, fino a incoerenti (pozzolana);
- Pozzolane violacee e rosse in massa, con abbondanti proiettili scoriacei con sparsi talora piccoli frammenti di calcari marnosi a consistenza farinosa.

In particolare, l'area di intervento è posizionata nella zona di passaggio litologico tra le formazioni sopra descritte. Detto passaggio avviene per contatto stratigrafico poiché le due formazioni si trovano in rapporti eteropici.

La situazione descritta è rappresentata cartograficamente nella **Figura 9**.

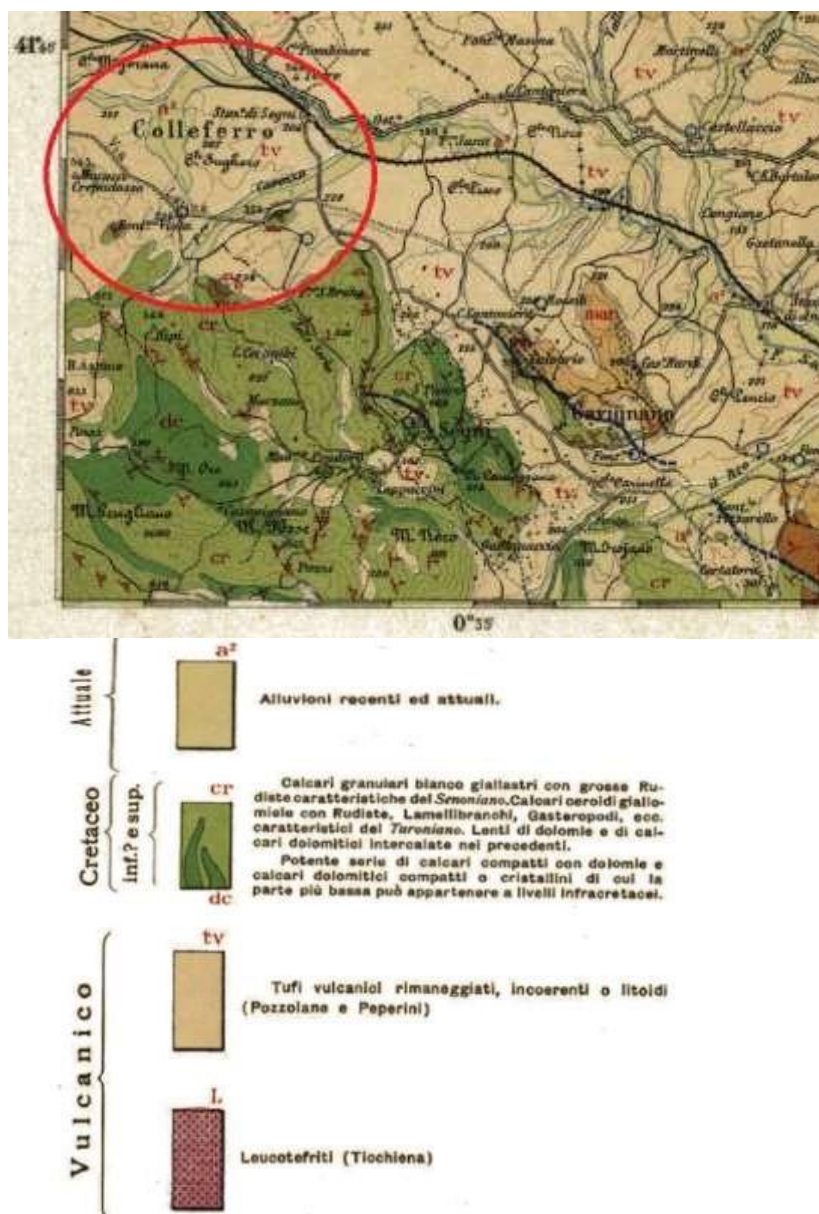


Figura 10. Stralcio del Foglio 151 della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000.



Fig. 11: Carta geologica in scala 1:1000 dell'area oggetto di intervento.

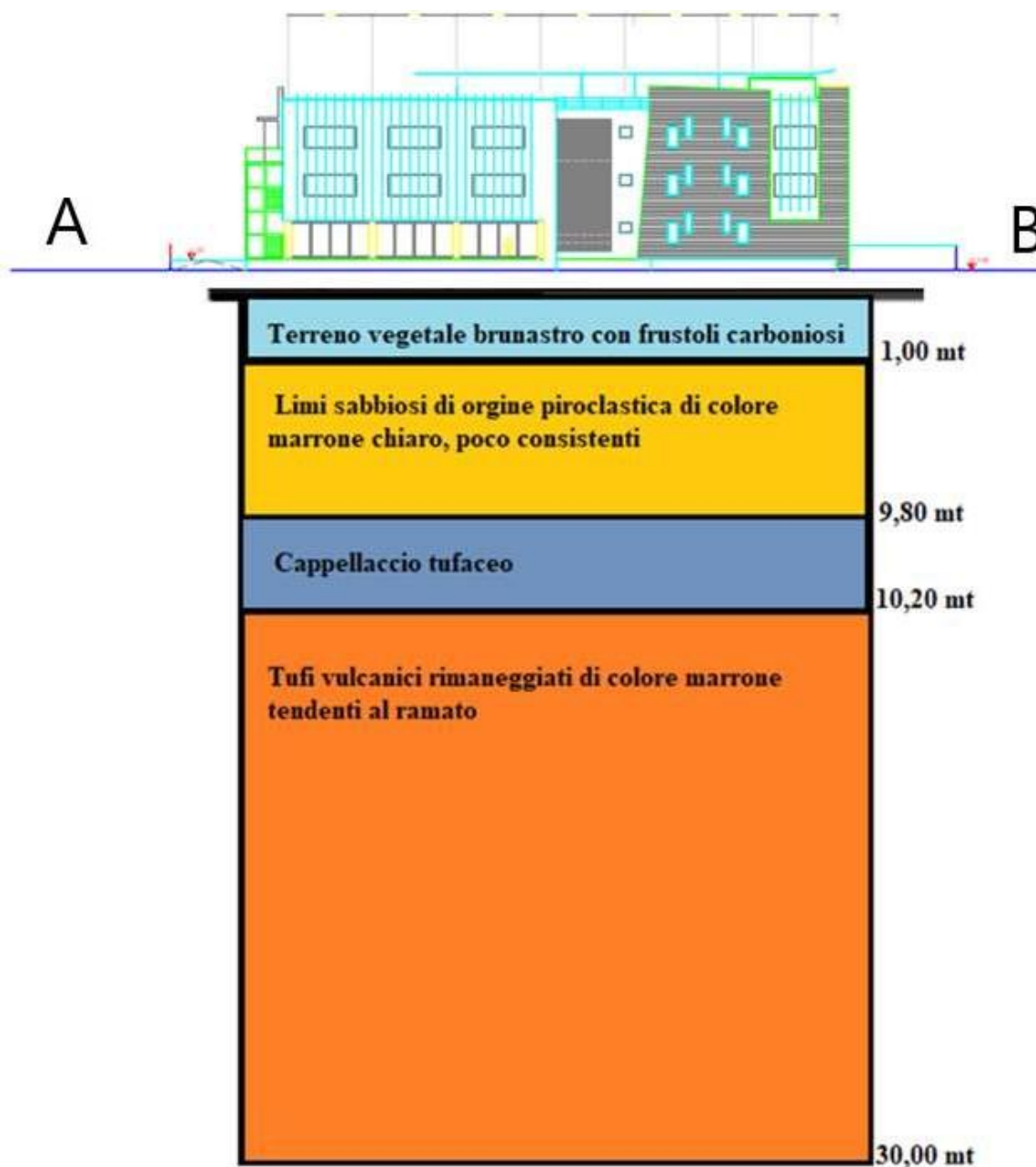


Figura 12. Sezione Geologica di dettaglio – SCALA 1:100.

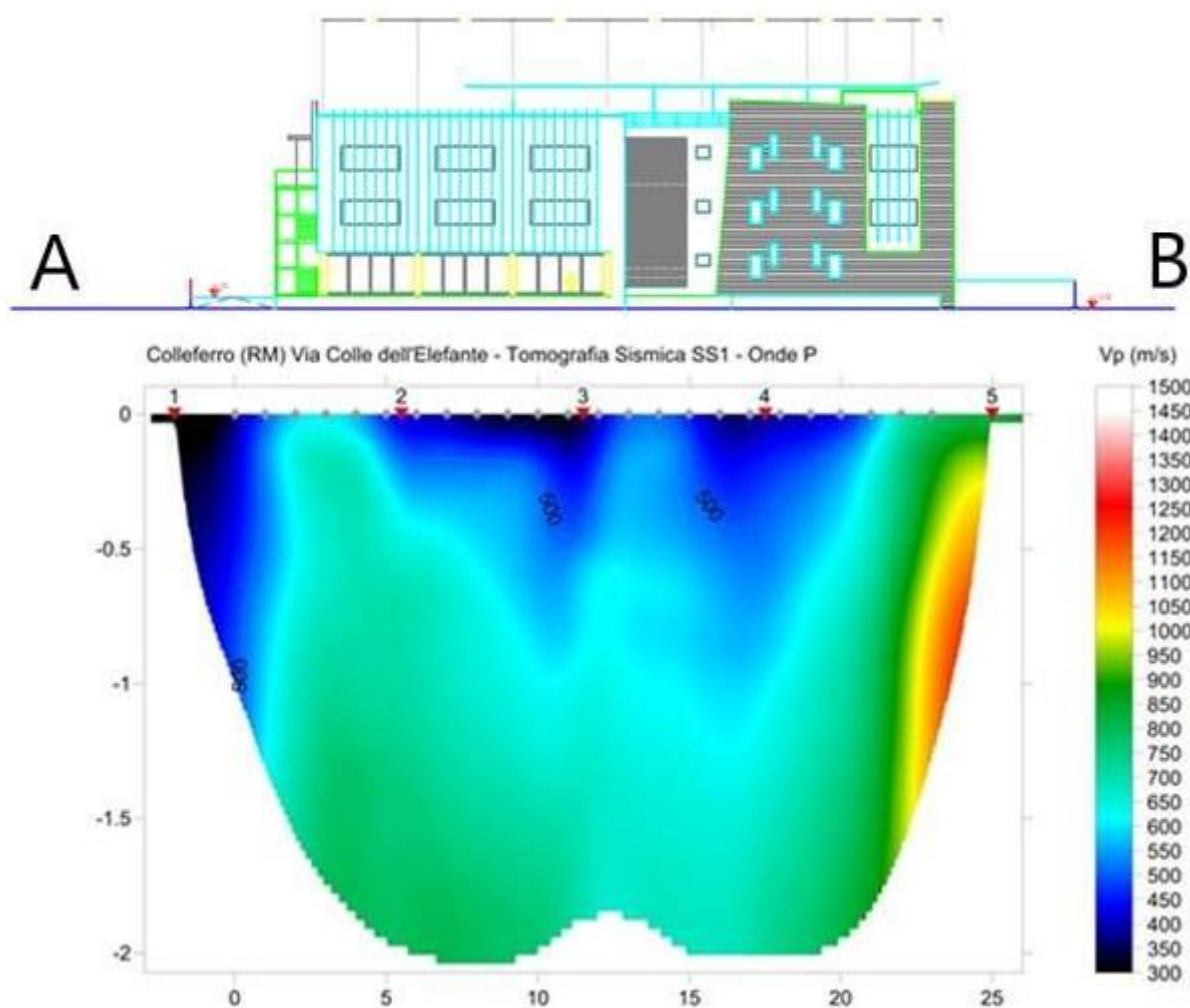


Figura 13. Sezione Sismica di dettaglio

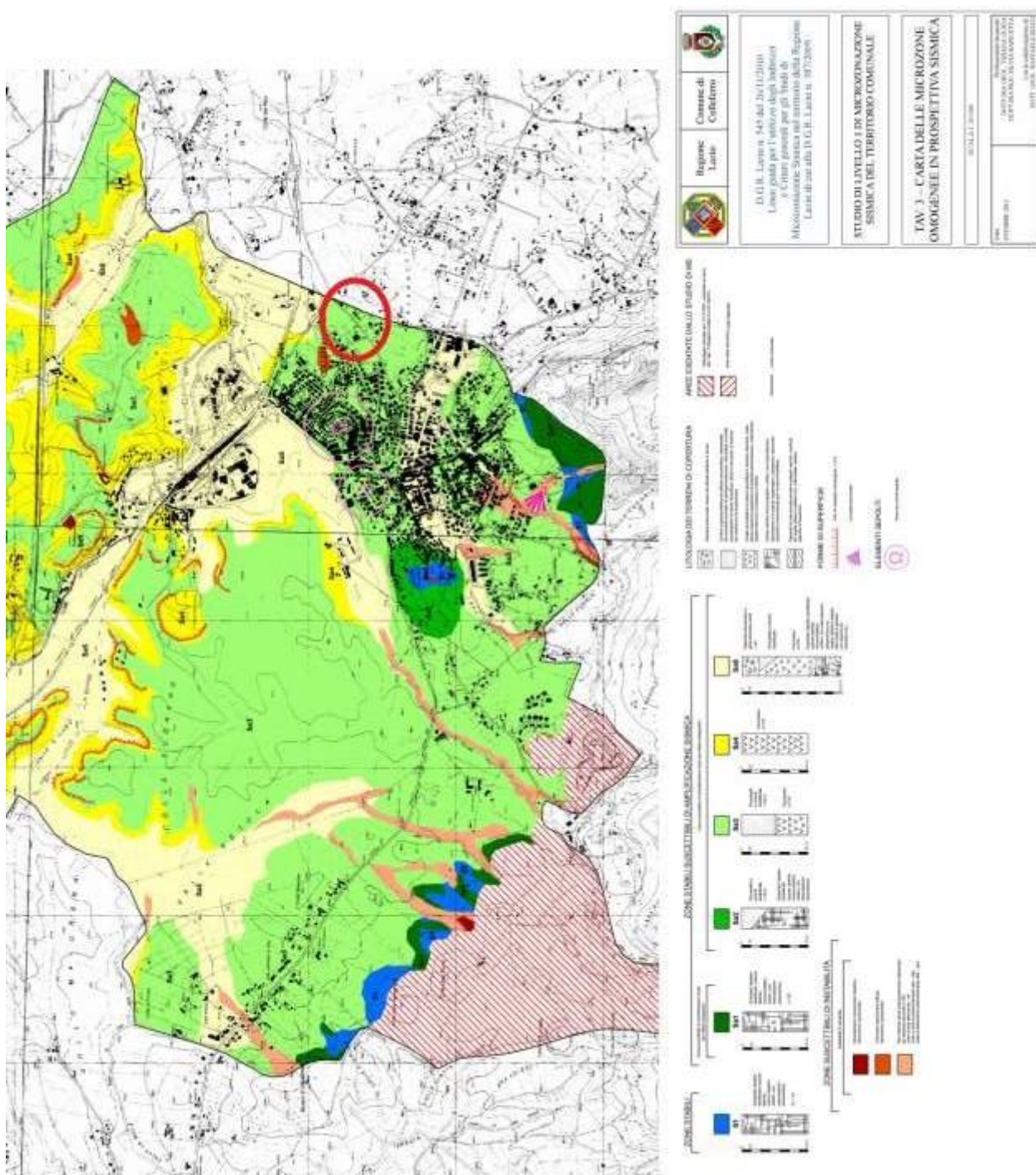


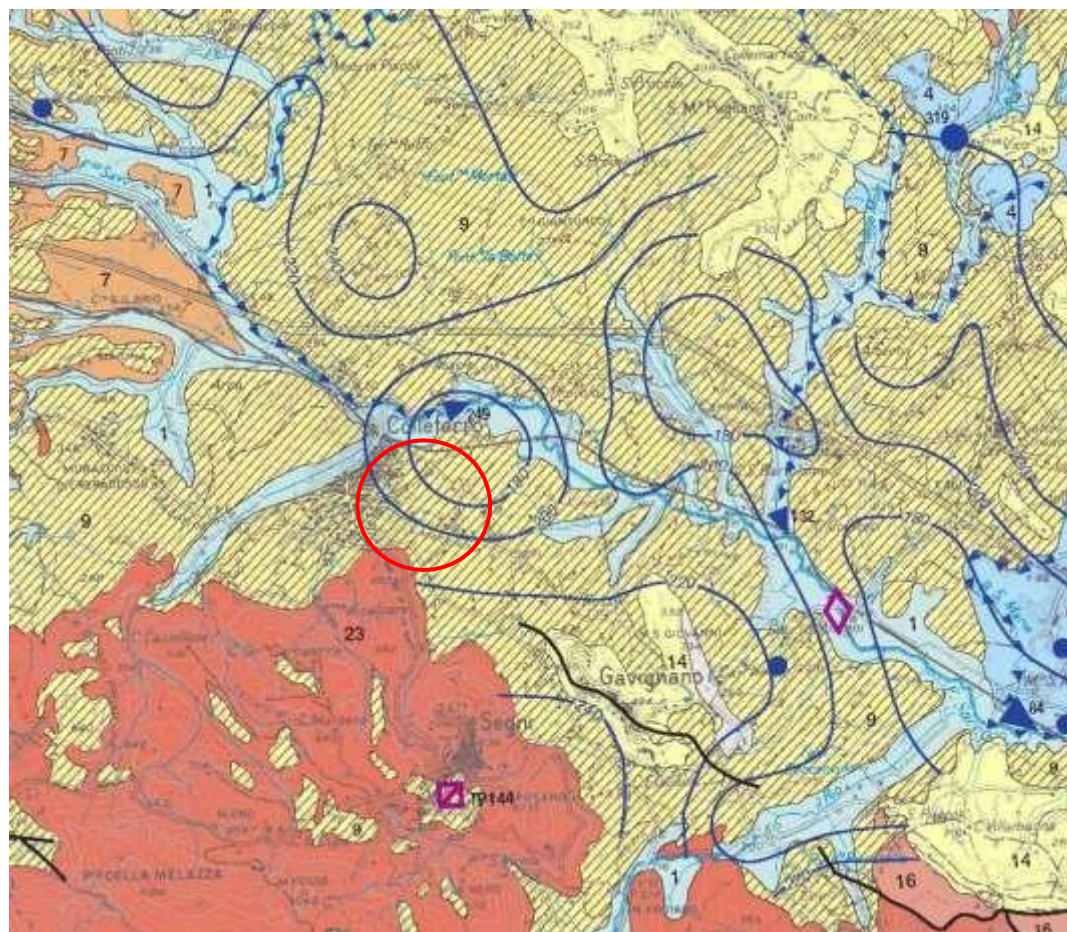
Figura 14. Stralcio M.S. PRIMO LIVELLO



Figura 15. CARTA DI IDONEITA' TERRITORIALE

Nella figura soprastante è riportata la carta dell'idoneità territoriale del sito in esame.

In merito alla realizzazione della nuova sede dell'istituto Scolastico "Paolo Parodi Delfino", detta area ricade nella perimetrazione "AREA DI IDONEITA' RISPETTO ALLE CONDIZIONI GEOMORFOLOGICHE AL CONTORNO"



COMPLESSI IDROGEOLOGICI

- 1** **COMPLESSO DEI DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI - potenzialità acquifera da bassa a medio alta**
Alluvioni ghiaiose, sabbiose, argillose attuali e recenti anche terrazzate e coperture fluviali e coluviali (*OLIOCENE*). Spessore variabile da pochi metri ad oltre un centinaio di metri. Dove il complesso è costituito dai depositi alluvionali dei corsi d'acqua perenni presenta gli spessori maggiori (da una decina ad oltre un centinaio di metri) e contiene falde multistrato di importanza regionale. I depositi alluvionali dei corsi d'acqua minori, con spessori variabili da pochi metri ad alcune decine di metri, possono essere sede di falde locali di limitata estensione.
- 9** **COMPLESSO DEI TUFI STRATIFICATI E DELLE FACIES FREATOMAGMATICHE - potenzialità acquifera bassa**
Tufi stratificati, tufi terrosi, breccie piroclastiche, pomice, lapilli e blocchi lavici in matrice cineritica (*PLEISTOCENE*). I termini del complesso si presentano interdigitati tra gli altri complessi vulcanici per cui risulta difficile definirne lo spessore totale. Il complesso ha una rilevanza idrogeologica limitata anche se localmente può condizionare la circolazione idrica sotterranea, assumendo localmente il ruolo di limite di flusso e sostenendo esigue falde superficiali.
- 14** **COMPLESSO DEI FLYSCH MARNOSO-ARENACEI - potenzialità acquifera medio bassa**
Associazioni arenaceo-conglomeratiche, arenacee e subordinatamente arenaceo-pelliche (Flysch della Laga, Macigno e formazione Marnoso Arenacea) (*MIOCENE MEDIO - SUP.*). Associazione pellico-arenacea in strati da sottili a medi (Flysch di Frosinone e formazione marnoso-arenacea) (Miocene medio-superiore). Spessore di alcune centinaia di metri. Il complesso, privo di una circolazione idrica sotterranea di importanza regionale, può ospitare falde locali e discontinue all'interno degli orizzonti calcarenitici fratturati.
- 23** **COMPLESSO DEI CALCARI DI PIATTAFORMA - potenzialità acquifera altissima**
Calconi detritici, marmorati, con intercalazioni dolomitiche, calcari organogeni e breccie calcaree della successione liaziale abruzzese (*LIAS MEDIO - CRETACEO SUP.*). Spessori variabili da qualche centinaio a 1500 m. E' sede di articolati ed imponenti acquiferi che alimentano le maggiori sorgenti della regione. Le diverse fasi tettoniche hanno determinato un assetto idrogeologico regionale complesso che condiziona lo schema di circolazione idrica sotterranea fra le principali unità idrogeologiche.

LINEAMENTI TETTONICI

- in affioramento
- - - - - sepolti

SORGENTI PUNTUALI

- 25 Sorgente con numero di riferimento (Le sorgenti con portata inferiore a 10 L/s non sono numerate)
● termale ($T \geq 20^\circ C$)
● minerale ($TDS > 750 \text{ mg/L}$)
● termominerale ($T \geq 20^\circ C$; $TDS > 750 \text{ mg/L}$)

ISOPIEZE

La piezometria è stata ricostruita solo per gli acquiferi vulcanici e alluvionali

- Equidistanza 1 m per le isopieze con quota inferiore a 5 m
— Equidistanza 5 m per le isopieze con quota compresa fra 5 e 20 m
— Equidistanza 20 m per le isopieze con quota superiore a 20 m

SORGENTI LINEARI

- Sorgente con numero di riferimento

Fig. 16: Stralcio della carta idrogeologica dell'area d'interesse



4. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO DEL TERRITORIO

L'area di ricarica che interessa la zona di studio è costituita dal "Sistema Idrogeologico dei COLLI ALBANI" (Boni, et alii, 1986) (Monti Tiburtini, Lucretili e Cornicolani), formati da una successione carbonatica marnoso-silicea in facies Sabina (Cosentino et al., 1986), meso-cenozoica, nel complesso mediamente permeabile per fessurazione e carsismo. Questa unità idrogeologica presenta un'area di ricarica di notevoli proporzioni, saturata alla base da una falda carsica, con drenaggio regionale verso S, che alimenta le sorgenti delle Acque Albule e il fiume Aniene in subalveo (Boni et al., 1979).

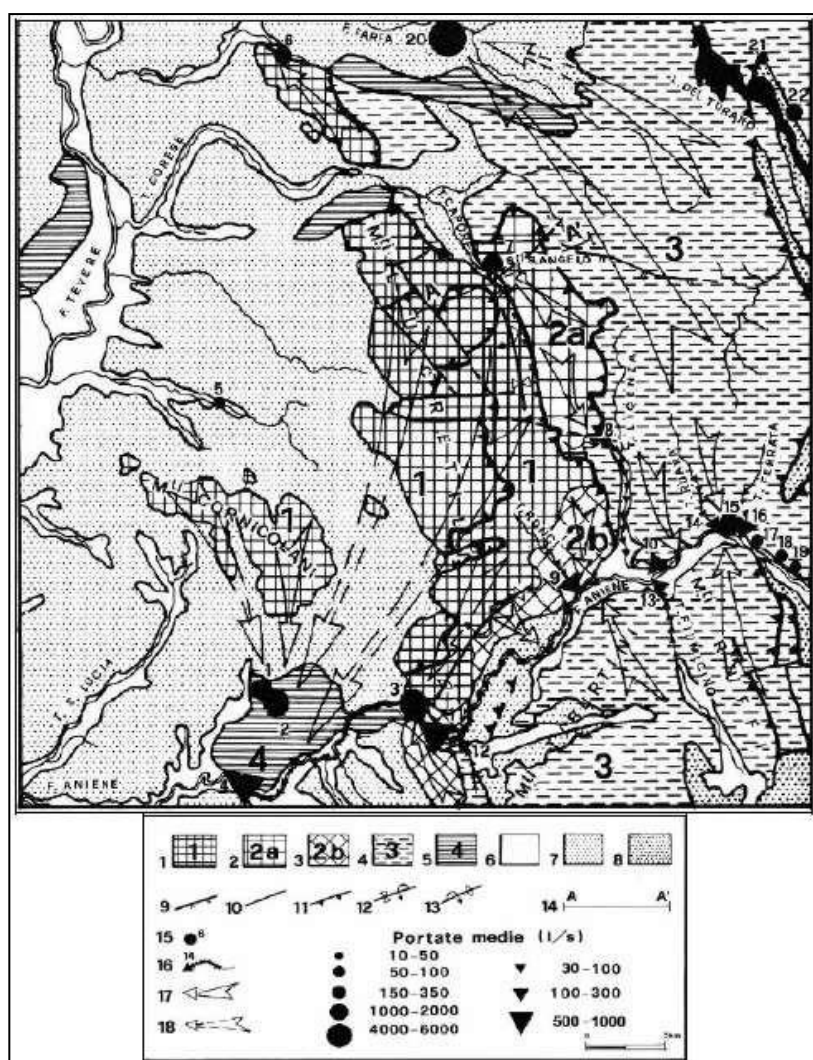


Figura 17.. Carta delle Unità e dei Complessi idrogeologici della Sabina meridionale (Capelli et al., 1987).



Il settore centrale del sistema, compreso tra il Torrente Farfa e il F. Aniene, è condizionato dall'esistenza di tre unità tettoniche accavallate e separate tra loro da superfici di sovrascorrimento a debole immersione verso ovest. Ad esse si aggiunge un'altra unità legata ai depositi travertinosi del Bacino delle Acque Albule.

Capelli et al. (1987) hanno definito quattro unità idrogeologiche dei Sabini meridionali, in base alla direzione del drenaggio e alle direttrici strutturali (**Figura 9**).

1. La prima e più importante unità idrogeologica del Sistema dei Monti Lucretili si identifica in affioramento con i rilievi Cornicolani e la catena dei M. Castelvechio, M. Zappi, M. Morra e M. Lecitone. L'acquifero è costituito essenzialmente dal termine triassico della successione sabina, dal Calcere Massiccio e dalla Corniola e subordinatamente dalla Maiolica e dai Calcari Granulari. La formazione del Rosso Ammonitico, pur essendo presente in affioramento ed in profondità, non gioca un ruolo determinante nella ricarica di questa idrostruttura e la sua presenza contribuisce più che altro a mantenere elevato il gradiente piezometrico che supera probabilmente lungo alcune direttrici il 10%. La funzione di tamponamento su tutto il fianco occidentale è esercitata dalle coperture pliopleistoceniche, caratterizzate in massa da bassa permeabilità. Il drenaggio sotterraneo del settore lucretile dell'Unità 1 è rivolto verso i rilievi cornicolani mediante sifonamento al di sotto della serie neogenica; verso il complesso dei travertini per trabocco della falda cornicolana sopra il Pliocene, per sifonamento al di sotto della serie neogenica e per risalita lungo le finestre d'erosione e le discontinuità tettoniche.
2. La seconda Unità si estende a ridosso del margine orientale dei Monti Lucretili e comprende solo una parte dell'unità tettonica intermedia definita precedentemente. Essa è costituita dai termini meso-cenozoici della successione



sabina che vanno dal Rosso

Ammonitico alle Marne e breccie a macroforaminiferi. La continuità delle



litoformazioni permeabili che costituiscono questa struttura è interrotta in senso meridiano, a sud dell'abitato di Licenza, dalla presenza di termini a bassissima permeabilità riferibili al Rosso Ammonitico e alle Marne a Furoidi. Tale discontinuità litologica (che riduce o preclude la continuità idraulica tra il settore settentrionale e quello meridionale della stessa unità) consente di suddividere l'idrostruttura in due distinte sottounità: "sottounità 2a" – dorsale di M. Pelato-M. Serrapopolo-M. Pellecchia; "sottounità 2b" – dorsale di Colle Rotondo-M. Follettoso-M. Ara Grande.

3. L'Unità 3 si estende lungo la dorsale di M. Navegna-M. Aguzzo ed è costituita dai termini della successione sabina compresi tra il Cretacico sup. ed il Miocene medio, caratterizzati, per spessori di alcune centinaia di metri, da marne intercalate a calcari marnosi e calcareniti. Le intercalazioni calcaree, generalmente molto fessurate, sono interessate da un diffuso carsismo che può assumere localmente particolare sviluppo. Anche in questo caso i piani di sovrascorrimento immergenti a W, fungono da acquiclude. Il livello di base principale è costituito dalle Sorgenti delle Capore, ubicate lungo il F. Farfa (246 m s.l.m.), mentre tra le quote 325 e 290 l'alveo dell'Aniene funge da livello di base secondario assieme ai settori terminali dei suoi affluenti.
4. La quarta unità coincide con il complesso dei depositi di travertino del Bacino delle Acque Albule. L'unità è interessata da numerosi fenomeni carsici e tettonici. Lungo la principale direttrice tettonica ad andamento circa nord-sud, su cui si struttura il bacino, si hanno le principali interazioni tra la falda freatica proveniente dai Cornicolani (a loro volta ricaricati per sifonamento dai Lucretili) e i fluidi idrotermali. Ad eccezione delle aree estrattive, la superficie del bacino è coperta quasi per intero da un sottile strato di piroclastiti e suoli che non costituiscono un ostacolo alla ricarica per apporti zenitali. In profondità, al di



sotto del territorio compreso tra le Sorgenti termali di Cretone,

Sant'Angelo Romano, Guidonia e le Sorgenti delle Acque Albule, l'ingente volume di



acqua proveniente dal circuito carsico lucretile-cornicolano si miscela con convogli gassosi e termominerali in pressione che risalgono, provenendo da masse a media entalpia, lungo le faglie distensive e/o trascorrenti che hanno sbloccato la serie meso-cenozoica in questo settore. Tale circostanza fa sì che in un'area assai vasta a ridosso dei principali motivi tettonici, si manifestino sorgenti termominerali. Nell'area di Bagni di Tivoli la portata complessiva dei fenomeni raggiunge in regime naturale i 3000 L/s.

Nella Piana che si estende a sud dei Monti Cornicolani, compresa tra gli abitati di Tivoli e Guidonia, la circolazione idrica sotterranea avviene principalmente attraverso la falda contenuta nel deposito travertinoso del bacino delle Acque Albule.

Nell'area oggetto di intervento la circolazione idrica sotterranea avviene prevalentemente nella porzione superficiale alterata dei depositi tufacei e piroclastici che costituiscono il *complesso idrogeologico piroclastico* rappresentativo dei litotipi presenti. Il deflusso idrico sotterraneo presenta, dunque, una morfologia piezometrica di tipo "epidermico", che si adatta sostanzialmente alla morfologia topografica. Un livello idrico di modesta rilevanza, e con apporti legati alle precipitazioni stagionali, si attesta a profondità comprese tra 2 e 5 metri dal piano campagna e presenta come aree di recapito preferenziale le principali incisioni vallive che costituiscono il reticolo idrografico superficiale. Il recapito finale della circolazione idrica sotterranea locale è comunque rappresentato dall'alveo del Fiume Aniene che rappresenta il principale collettore drenante dell'intera area di studio.



5. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DI DETTAGLIO DELL'AREA

Per la ricostruzione delle caratteristiche **geologiche, geotecniche e geofisiche** di dettaglio del lotto interessato dal Progetto di cui in oggetto è stato eseguito un rilevamento geologico esteso anche ad aree limitrofe a quella d'interesse ed una **campagna di indagini geognostiche, geotecniche in situ/laboratorio e geofisiche.**

Le **indagini GEOGNOSTICHE** sono consistite in UN SONDAGGIO MECCANICO A CAROTAGGIO CONTINUO DENOMINATO S1 E SPINTO FINO AD UNA QUOTA DI 30,00 MT DAL P.C., OPPORTUNAMENTE CONDIZIONATO PER PERMETTERE LO SVOLGIMENTO DELLA PROVA DOWN-HOLE.

Le **indagini GEOTECNICHE IN SITU** sono consistite in:

- n. 02 prove penetrometriche dinamiche super-pesanti (DPSH).

Le **indagini GEOFISICHE in sito** sono consistite in:

- n° 02 prospezioni geofisiche superficiali con tecniche di sismica a rifrazione classica e **tomografica**, allo scopo di ottenere delle sezioni sismiche da interpretare in chiave geologica;
- n° 02 prospezioni geofisiche superficiali con metodologia di indagine MASW, necessarie per la **misurazione del valore delle Vs₃₀**, allo scopo di classificare il suolo di fondazione secondo i criteri imposti dalle **N.T.** vigenti;
- 01 **prova sismica in foro di tipo down-hole**;
- **01 misurazione dei microtrempi secondo il METODO DI NAKAMURA.**



Una corretta ubicazione delle indagini è riportata, di seguito, in **Figura 15**; **N.B. LA LINEA DI STENDIMENTO SISMICO N° 1 E' CORRISPONDENTE CON LA TRACCIA DELLE SEZIONI GEOLOGICHE E SISMICHE DI DETTAGLIO MOSTRATE PRECEDENTEMENTE ALLE PAGINE 14 E 15 DELLA PRESENTE RELAZIONE.**



Fig. 18: Ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche in sito.



5.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO

Per caratterizzare, a livello geologico, geotecnico e geofisico le litologie caratterizzanti l'area di studio, sono stati dapprima consultati tutti i dati di Letteratura a disposizione del redattore.

Per confrontare i dati di Letteratura alla situazione in esame e per caratterizzare a livello puntuale l'area, è stato eseguito, *in situ*, un rilevamento geologico di superficie esteso anche ad aree limitrofe

a quella d'interesse ed una campagna di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche.

In questo paragrafo sono descritte le **indagini di natura geognostica** effettuate nell'area di studio, consistite più precisamente in:

- *n° 01 **sondaggio geognostico a carotaggio continuo** denominato **S1**, spinto fino ad una profondità di 30,00 metri dal p.c.* OPPORTUNAMENTE CONDIZIONATO PERPERMETTERE LO SVOLGIMENTO DELLA PROVA DOWN-HOLE.

La suddetta prospezione diretta è stata eseguita nel mese di APRILE 2018, dalla Impresa provvista di **AUTORIZZAZIONE** denominata **GEOSECURE SAS**.

La metodica è stata quella della perforazione con carotiere semplice a carotaggio continuo ai fini di una precisa visione delle litologie attraversate e di una buona conservazione delle carote estratte nonostante il disturbo laterale dovuto alla rotazione.

L'attrezzatura utilizzata per le perforazioni è la perforatrice **CMV mod. 800**, con l'ausilio di **carotieri semplici** aventi diametro Φ 101 mm; nella formazione superficiale, intercettata durante le terebrazioni, è stato utilizzato un **carotiere doppio** di diametro Φ 101 mm; la stabilizzazione dei fori di sondaggio è stata ottenuta con **tubazioni metalliche di rivestimento** Φ 127 mm; le specifiche tecniche della trivella utilizzata sono riportate, di seguito, in **Figura 19**.



Scheda tecnica	
Passo del carro cingolato	1.368 mm
Velocità max.	1,5 km/h
Pendenza max.	18°
Potenza motore	54 kW
Corsa utile dell'antenna	da 1.170 a 2.200 mm
Corsa utile con prolunga tralicciata	6.270 mm
Forza spinta/tiro	35.000 N
Coppia massima testa di rotazione	14.000 Nm
Dimensioni di trasporto	4.540 x 780 x 2.440 mm
Peso	4,2 t

Fig. 19: Scheda tecnica della trivella CMV mod. 800 – utilizzata in situ.

In **ALLEGATO N.1** sono riportate le descrizioni stratigrafiche integrali relative alla prospezione diretta eseguita in situ.



5.2

INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO

INDAGINI GEOTECNICHE IN SITU

In questo paragrafo sono descritte le **indagini geotecniche in situ** effettuate nell'area di studio, consistite precisamente in:

- **N° 02 Prove Penetrometriche Dinamiche DPSH, denominate P1 e P2, e spinte rispettivamente fino alla profondità di 10,20 e 10,20 metri dal p.c.**

Le **indagini geotecniche in situ denominate P1 e P2** sono state eseguite, nel mese di APRILE 2018, dalla **Impresa CERTIFICATA SOA – GEOSURE SAS**.

La **prova penetrometrica dinamica DPSH** (Dynamic Probing Super Heavy) consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni standard, infissa per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione.

Viene registrato il numero di colpi necessari per l'infissione ogni 20 cm di affondamento.

L'attrezzatura è composta da una batteria di aste lunghe 1 metro con diametro di 32 mm, alla cui estremità inferiore è collegata una punta conica avente angolo di apertura di 60°, e da un maglio battente di 63.5 kg che viene fatto cadere da un'altezza di 75 cm.

La prova viene generalmente eseguita a partire dal piano campagna, ma in alcuni casi può essere anche condotta come proseguimento di una prova statica interrotta a causa di un livello ad elevata resistenza.

Le informazioni fornite dalle prove penetrometriche dinamiche sono di tipo continuo, poiché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione.



METODOLOGIA

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

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

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

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

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

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

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



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

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

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max. indagine battente
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8m
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25 m
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25 m
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25 m

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

- **DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30)** (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $d = 10$ cm, punta conica ($\alpha = 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A = 10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.
- **DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20)** (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $d = 10$ cm, punta conica ($\alpha = 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A = 10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.
- **DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE)** secondo la classifica ISSMFE) *massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H = 0.75$ m, avanzamento*



d = 30 cm, punta



conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8 \text{ mm}$, area base cono $A = 20.27 \text{ cm}^2$ rivestimento: previsto secondo precise indicazioni.

- **DINAMICO SUPERPESANTE DPSH (Tipo EMILIA)**

massa battente $M = 63.5 \text{ kg}$, altezza caduta $H = 0.75 \text{ m}$, avanzamento $d = 20\text{-}30 \text{ cm}$, punta conica ($\alpha = 90^\circ$) diametro $D = 50.5 - 51,0 \text{ mm}$, area base cono $A = 20,0 - 20,43 \text{ cm}^2$, rivestimento/fango bentonitico : talora previsto.

PENETROMETRO DINAMICO IN USO PER LA SEGUENTE INDAGINETG 63-200 EML

.C Pagani

CARATTERISTICHE TECNICHE

Rif. Norme	DIN 4094
PESO MASSA BATTENTE : M	63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA : H	0,75m
PESO SISTEMA BATTUTA : Ms	0,63 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA: D	51,00 mm
AREA BASE PUNTA CONICA : A	20,43 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA: α	90°
LUNGHEZZA DELLE ASTE: La	1,00m
PESO ASTE PER METRO: Ma	6,31 kg
PROF. GIUNZIONE 1ª ASTA: PI	0,40 m
AVANZAMENTO PUNTA : δ	0,20 m
NUMERO DI COLPI PUNTA: N= N(20)	Relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO $Q = (MH) / (A \delta) = 11,65565 \text{ kg/cm}^2$ (prova SPT: $Q_{spt} = 7.83 \text{ kg/cm}^2$)	
COEFF.TEORICO DI ENERGIA $\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,489$ (teoricamente: $N_{spt} = \beta_t N$)	

Specifiche tecniche del Penetrometro utilizzato in situ.

In ALLEGATO N. 2 sono riportati i certificati relativi alle prove stesse.



5.2 INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO

E' stata eseguita, nell'area allo studio, una **campagna di indagini geofisiche in sito** risultata costituita, nello specifico, da:

- n° 02 **prospezioni geofisiche superficiali con tecniche di sismica a rifrazione classica e tomografica**, allo scopo di ottenere delle sezioni sismiche da interpretare in chiave geologica;
- n° 02 **prospezioni geofisiche superficiali con metodologia di indagine MASW**, necessarie per la **misurazione del valore delle V_{s30}** , allo scopo di classificare il suolo di fondazione secondo i criteri imposti dalle **N.T.** vigenti;
- 01 prova sismica in foro di tipo down-hole;
- **01 misurazione dei microtrempi secondo il METODO DI NAKAMURA.**

Le **indagini geofisiche** sono state eseguite dalla **Impresa GEOSECURE SAS** nel mese di APRILE 2018: nell'**ALLEGATO SISMICO (Allegato N. 3)** sono riportati gli elaborati relativi alle indagini geofisiche eseguite e la corretta ubicazione delle indagini stesse.

I risultati delle indagini geofisiche eseguite nell'area ed in particolar modo quelli provenienti dall'esecuzione della prospezione con metodologia di indagine "**MASW**" hanno permesso di classificare il suolo di fondazione del sito in esame: nel caso specifico si è ottenuto tale risultato:

- V_{s30} SS1 pari a 478 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt = suolo categoria B;
- V_{s30} SS2 pari a 480 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt = suolo categoria B;
- V_{s30} Down Hole pari a 509 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt.

Calcolato, quindi, con la prospezione geofisica **MASW** il valore di **V_{seq}** valido è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine, che rientra nella **categoria di tipo B**: tale sottosuolo è definito come *"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s)".*

In ALLEGATO N. 3 sono riportati i certificati relativi alle prove stesse.



6. MODELLO GEOLOGICO VALIDO PER L'AREA DI STUDIO

La consultazione dei **dati di Letteratura** disponibili per l'area di studio, la **diretta osservazione di campo** ottenuta durante il **rilevamento geologico di dettaglio** effettuato sia direttamente nell'area

di intervento che nelle zone adiacenti (al fine di ampliare la visione dei terreni affioranti e delle strutture geologiche presenti) e le **ricostruzioni lito-stratigrafiche** derivanti dall'esecuzione della **campagna di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche in sito**, hanno consentito il raggiungimento di una sufficiente definizione del quadro litologico e stratigrafico del sottosuolo in esame.

Per il sito di specifico interesse è pertanto possibile definire il seguente **modello geologico di riferimento**, come si riporta nella **Figura 14**, inerente la descrizione lito-stratigrafica del sondaggio geognostico ESEGUITO IN SITU.

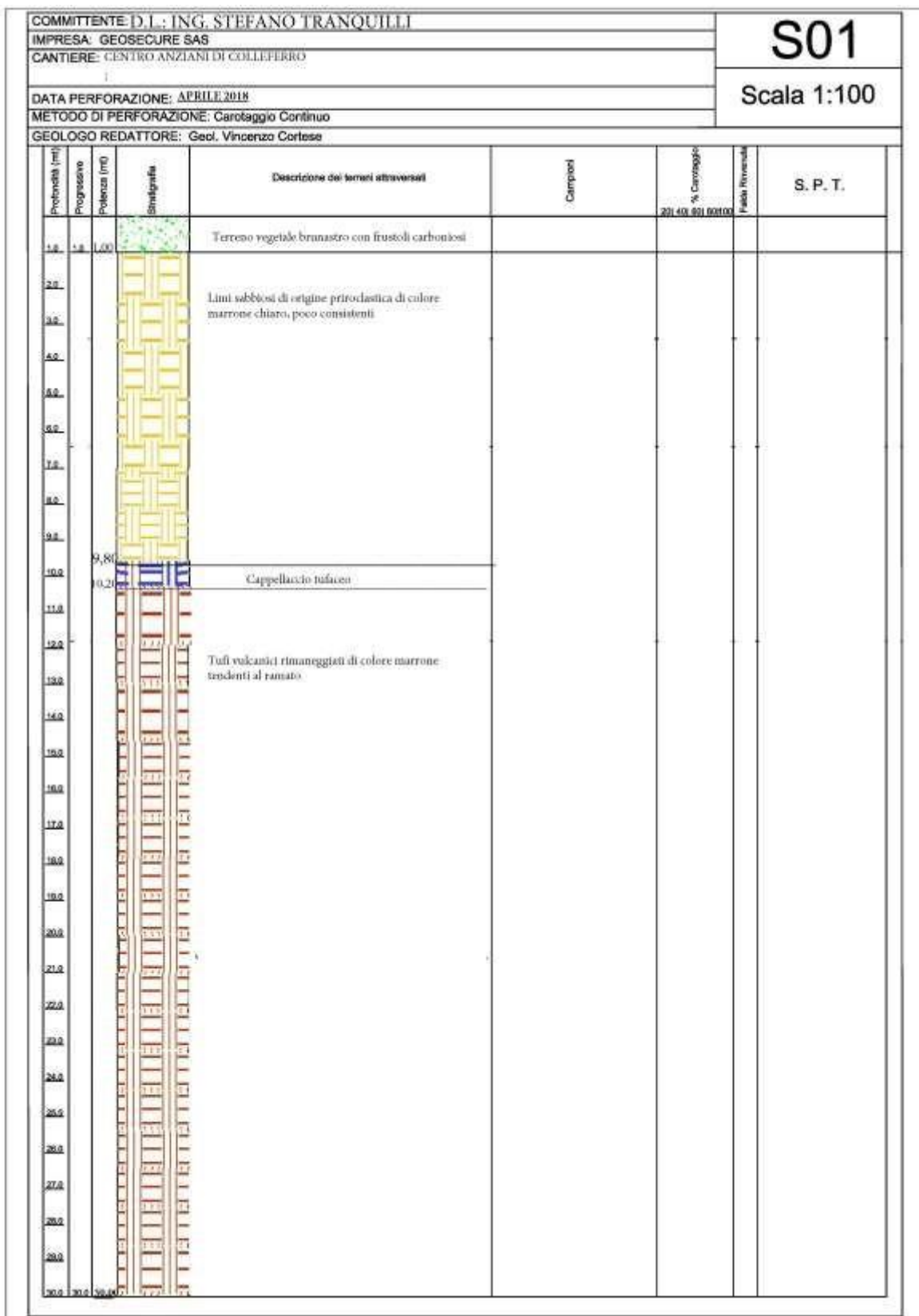


Fig. 20: Sondaggio geognostico ESEGUITO in situ.



CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Dall'esecuzione delle prospezioni geotecniche in sito di tipo **DPSH** eseguite nell'area è stato possibile produrre le seguenti tabelle che riportano una sintesi dei parametri geotecnici fondamentali del terreno di fondazione e dei parametri sismici ed elastici ricavati dall'esecuzione delle prospezioni geofisiche:

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Parametri geotecnici ricavati dalle prove penetrometriche dinamiche super-pesanti DPSH

PROVA N.1

STRATO	Spessore dello strato (m)	Nspt	Tipo	Dr %	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Angolo ϕ	Modulo di Poisson	Deformazione a taglio dinamico (Kg/cm ²)	Coefficiente spinta a Riposo K0	Mod. Edometrico E_{ed} (kg/cm ²)	Mod. Elastico di Young E_{el} (kg/cm ²)	Qc Resistenza alla punta (kg/cm ²)
1	DA METRI 0,00 A METRI 9,80	4	Incoerente	19	1,51	1,88	21	0,35	305,63	0,83	57,27	102,47	8,64
2	DA METRI 9,80 A METRI 10,20	16	Incoerente	43,95	1,89	1,95	30	0,32	667,64	3,23	107,22	152,60	31,04

PROVA N.2

STRATO	Spessore dello strato (m)	Nspt	Tipo	Dr %	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Angolo ϕ	Modulo di Poisson	Deformazione a taglio dinamico (Kg/cm ²)	Coefficiente spinta a Riposo K0	Mod. Edometrico E_{ed} (kg/cm ²)	Mod. Elastico di Young E_{el} (kg/cm ²)	Qc Resistenza alla punta (kg/cm ²)
1	DA METRI 0,00 A METRI 9,80	5	Incoerente	20,78	1,50	1,88	21	0,34	333,36	0,98	60,21	112,58	9,96
2	DA METRI 9,80 A METRI 10,20	20	Incoerente	50,5	1,91	1,95	30	0,32	767,82	3,96	125,01	172,55	39,02



ULTIMO STRATO

STRATO	Spessore dello strato (m)	Tipo	Dr %	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Angolo ϕ	Modulo di Poisson	Deformazione a taglio dinamico (Kg/cm ²)	Coefficiente spinta a Riposo K0	Mod. Edometrico E_{ed} (kg/cm ²)	Mod. Elastico di Young E_{el} (kg/cm ²)
3	DA METRI 10,20 A METRI 30,00	Incoerente	75,00	2,00	2,20	35	0.30	840,00	0,42	220,00	290,00



7 . MODELLAZIONE SISMICA DEL LOTTO INVESTIGATO

Definire i modelli di comportamento dei materiali superficiali (che possono costituire possibili piani di posa di sistemi fondali), in chiave sismica, significa trattare di una problematica di notevole interesse nell'ambito di ricerche di carattere geologico-tecnico e geofisico applicate all'Ingegneria. Determinare il comportamento di un litotipo, vale a dire la risposta a sollecitazioni costanti o variabili nel tempo, significa definire la o le relazioni sforzo-deformazioni sue caratteristiche, tramite i Moduli Elastici.

In particolare, in un contesto di **prevenzione da rischio sismico**, di notevole importanza è la valutazione della “**Risposta sismica locale**”, che consiste nel definire come i terreni più superficiali d'interesse ingegneristico, rispondono alle sollecitazioni prodotte da un evento sismico, modificandone le caratteristiche spettrali, nel senso di amplificazioni e/o attenuazioni in termini di ampiezze delle onde.

Da tali modifiche, è noto, dipendono i maggiori danni alle strutture durante una scossa di terremoto, poiché la vulnerabilità di un edificio è funzione oltre che della durata e dell'intensità della sollecitazione, principalmente dall'ampiezza delle onde di Taglio.

L'assetto litostratigrafico locale del sito investigato, e comunque di gran parte dell'intero territorio comunale, rappresenta, da questo punto di vista, una tipica “situazione geologica a Rischio”, per la notevole possibilità che si verifichino fenomeni di amplificazioni o risonanze dei sistemi terreno-strutture.

La ricostruzione della successione litostratigrafica dedotta dai sondaggi effettuati su tutto il territorio comunale, prevede una alternanza di materiale piroclastico da caduta, su deposito da flusso piroclastico, formato da ceneri da fini a grossolane, contenenti elementi pomicei scoriacei, il tutto su di un substrato a caratteristiche litoidi prevalentemente tufaceo.

Una tale situazione geolitologica nonché geomeccanica, fa sì che uno sciame sismico che percorre lo strato litoide (basamento con $V_s > 800$ m/sec), presenta delle velocità delle onde sismiche di



taglio abbastanza elevate, ma tutte le onde vengono attenuate secondo una ben determinata legge di attenuazione (resta sempre valida la regola generale che i danni prodotti e quindi la distribuzione degli effetti, sono funzione inversa alla distanza dalla sorgente e dal meccanismo di liberazione dell'energia).

Viceversa i terreni sciolti più superficiali, a differenza del basamento litoide che ha una risposta elastica alle sollecitazioni, tendono ad avere un comportamento visco-elastico, e quindi attenuano certe frequenze, mentre ne amplificano altre.



VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione dinamica assume una particolare pericolosità in presenza di materiali granulari poso addensati saturi; il meccanismo di tale fenomeno dipende sia dalle caratteristiche relative al sisma (magnitudo, durata, distanza dall'epicentro, accelerazione massima al sito) che da quelle del terreno (distribuzione granulometrica, uniformità, saturazione, densità relativa, pressioni efficaci di confinamento, stato tensionale in situ iniziale, etc.). La previsione della pericolosità di liquefazione si basa, oltre che sui parametri del sisma atteso, sulla stima di un "potenziale di liquefazione" del terreno, il quale dipende da una serie di parametri geotecnici. Come riportato nel par.7.11.3.4.2 del DM 14-01-2008 e modificata nelle N.T.C. 2018 la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- 2) Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3) Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_I)_{60} > 30$ oppure $q_{clN} > 180$ dove $(N_I)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa e q_{clN} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- 4) Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

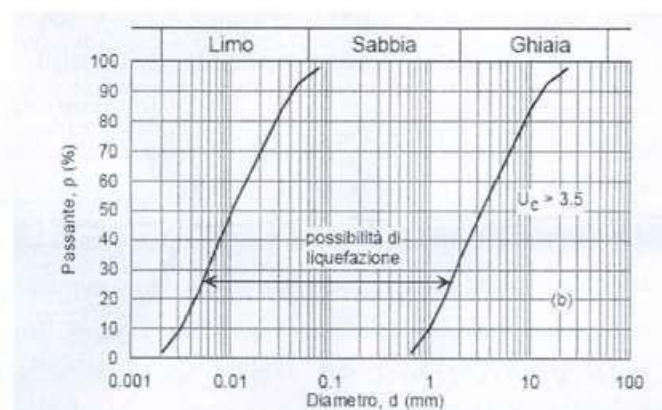
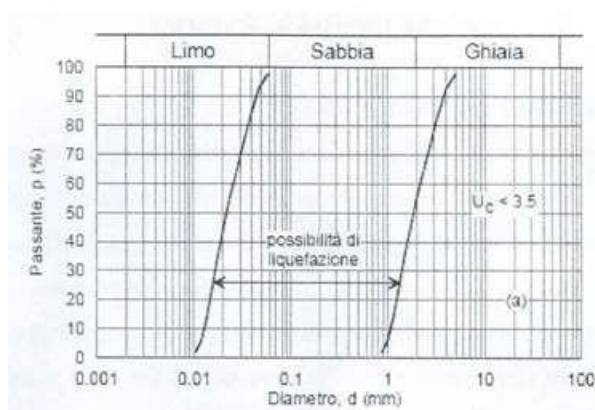


Figura 7.11.1(b) DM 14-01-2008

Nel caso specifico, dato l'assortimento granulometrico dei litotipi affioranti la situazione oggetto di questo studio non rientra in nessuna delle circostanze sopracitate, per cui le verifiche a liquefazione non possono essere omesse.



CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Riguardo alla classificazione sismica dei suoli di fondazione *in situ* prevista dalla Normativa in vigore (D.M. 17 Gennaio 2018, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni), vengono identificate n° 5 classi (denominate rispettivamente A, B, C, D e E) ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

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



Per V_{s30} s'intende la media pesata delle velocità delle onde **S** negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione.

Per il suolo di fondazione della zona di studio le V_{s30} mostrano i seguenti valori :

- V_{s30} SS1 pari a 478 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt
= suolo categoria B;
- V_{s30} SS2 pari a 480 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt
= suolo categoria B;
- V_{s30} Down Hole pari a 509 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt.

Calcolato, quindi, con la prospezione geofisica **MASW** il valore di V_{seq} valido è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine, che rientra nella **categoria di tipo B**: tale sottosuolo è definito come *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s”*



STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

Il **D.M. 17 gennaio 2018** (*Norme Tecniche per le Costruzioni in Zone Sismiche*) decreta che le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "**pericolosità sismica di base**" del sito di costruzione.

Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La **pericolosità sismica** è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa **ag** in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente **Se** (T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza **PVR**, nel periodo di riferimento **VR**.

In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.



Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento **PVR**, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- **ag**= accelerazione orizzontale massima al sito;
- **Fo** = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazioneorizzontale.
- **Tc***= periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazioneorizzontale.

Nella presente relazione, per il sito considerato, sono forniti valori di **ag**, **Fo** e **Tc*** necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Il "**range**" dei valori calcolati mette in evidenza che, il sottosuolo del sito in oggetto, risulta caratterizzato da valori della **V_{seq}** riconducibili alla **Categoria di Suolo di tipo B**.

Come anzi detto, il livello di sismicità di una specifica area viene caratterizzato attraverso lo spettro di risposta elastico.

Una volta individuate le coordinate del sito in oggetto sono state inserite nel programma che, riferendosi ad una griglia di parametri spettrali di riferimento che copre tutto il territorio nazionale con passo di circa 15 km per nodo, ha ricavato i valori di **Ag**, **Fo** e **Tc*** riferiti al punto indicativo del sito in oggetto, in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), ossia in assenza di effetti locali.

Questi parametri degli spettri di risposta come detto in precedenza sono relativi ad un sito privo di effetti al suolo, ossia senza effetti locali stratigrafici e topografici.



Per quanto riguarda l'amplificazione stratigrafica la norma individua due fattori di incremento **Ss e Cc** in funzione della **categoria di sottosuolo** di fondazione calcolata nel sito di realizzazione, mentre per quanto riguarda l'amplificazione topografica la norma individua quattro classi di variabilità assegnando a ciascuna un valore del coefficiente stratigrafico **Ts**.

Nelle **tabelle** successive vengono riportati i **range di variabilità** dei **coefficienti di amplificazione**:

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S _T
→ T1		1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 2: Valori del Coefficiente di Amplificazione Topografica ST per le diverse categorie topografiche.

Categoria sottosuolo	S _s	C _c
A	1,00	1,00
⇒ B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_f}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_f}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_f}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_f}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Tabella 3: Espressioni di calcolo dei coefficienti di Amplificazione Stratigrafica Ss e Cc per le diverse categorie di suolo.



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

Tabella 4: Categorie di amplificazione topografica.

Dalle analisi geologiche, geomorfologiche e geotecniche effettuate, si evince che, per il sito in oggetto, può essere ragionevolmente assegnata una categoria di amplificazione topografica di **tipo T1** ossia assimilabile a **Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$** .

Il passo successivo consiste nella valutazione dell'**accelerazione massima attesa al sito (a_{max})**, che viene riportata di seguito nella seguente espressione:

$$a_{max} = a_g * S_s * S_t$$

L'accelerazione massima attesa **a_{max}** è fornita in m/s^2 (dal valore nominale di **$a_g(g)$**), accelerazione massima attesa al sito, si passa ad **$a_g(m/s^2)$** moltiplicando per 9.81.

Infine, si passa alla determinazione del **Coefficiente Sismico orizzontale (K_h)** e **Coefficiente Sismico verticale (K_v)**, seguendo le seguenti relazioni:

- **Coefficiente sismico orizzontale $K_h = \beta S * a_{max} / g$** (per fondazioni)
- **Coefficiente sismico verticale $K_v = 0.5 K_h$** (per fondazioni)

In definitiva l'analisi degli spettri di risposta è completata in funzione dell'incremento relativo alla **Classe d'uso della struttura in oggetto** e alla **Vita Nominale dell'opera**, ulteriormente incrementata con i **Coefficienti Stratigrafici e Topografici** di cui sopra e



verificata agli **Stati Limiti** così come previsto da norma.

Nella **tabella5** sono riportati i valori dell'accelerazione del suolo orizzontale di picco a_g espressi in percentuale di g, riferiti ad ogni zona omogenea di riferimento, tali valori sono riferiti alle accelerazioni attese in seguito ad un evento sismico in siti su roccia o suolo molto rigido (*bedrock*) con $V_s > 800$ m/s, validi per il territorio nazionale.

Zona sismica (livello di pericolosità)	Accelerazione orizzontale massima con prob. di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)
1 (alto)	$> 0,25$
2 (medio)	$0,15 - 0,25$
3 (basso)	$0,05 - 0,15$
4 (minimo)	$< 0,05$

Tabella 5: Zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido.

La nuova riclassificazione sismica della regione Lazio (DGR 387 del 22 Maggio 2009) si basa soltanto su 3 zone sismiche a differenza delle quattro della precedente classificazione del 2003, con la scomparsa della zona sismica 4 e la suddivisione per le zone 2 e 3 di sottozone. In particolare la Zona Sismica 1, quella più gravosa in termini di pericolosità sismica, non presenta sottozone in quanto il massimo valore di a_g previsto per il Lazio non giustifica ulteriori suddivisioni. Le zone sismiche 2 e 3, sono state suddivise in 4 sottozone sismiche (dalla 2A, ovvero la maggiore sottozona della zona sismica 2, fino alla sottozona sismica 3B, corrispondente alla sottozona meno pericolosa della zona sismica 3) (**Tab. 6**).



Zona	Sottozona	Intervalli di accelerazione a_g con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni
1		$0.25 \leq a_g < 0,278$ (valore max. per il Lazio)
2	2A	$0.20 \leq a_g < 0,25$
	2B	$0.15 \leq a_g < 0,20$
3	3A	$0.10 \leq a_g < 0,15$
	3B	(valore min. per il Lazio) $0.062 \leq a_g < 0,10$

Tabella 6: Zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido della Regione Lazio.

L'area in esame ricade per intero nella sottozona **2B**.



LIVELLO DI VULNERABILITA' DELL'OPERA

L'area in esame ricade nella **sottozona 2B** della nuova riclassificazione sismica della *Regione Lazio* (DGR 387 del 22 Maggio 2009), secondo la schematizzazione riportata in tabella:

Tabella 1: Zone sismiche suddivise in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido della

Zona	Sottozona	Intervalli di accelerazione a_g con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni
1		$0.25 \leq a_g < 0.278$ (valore max. per il Lazio)
2	2A	$0.20 \leq a_g < 0.25$
	→ 2B	$0.15 \leq a_g < 0.20$
3	3A	$0.10 \leq a_g < 0.15$
	3B	(valore min. per il Lazio) $0.062 \leq a_g < 0.10$

Regione Lazio

Con riferimento all'**allegato C del R.R. 26/2020**, vengono definiti **3 Livelli di Vulnerabilità dell'Opera (Basso, Medio, Alto)**, in funzione della zona sismica e della classificazione del progetto, secondo lo schema seguente:



Tabella 2: Livelli di Vulnerabilità dell'opera

PROGETTI	PERICOLOSITA'				
	Zona Sismica				
	1	2a	2b	3a	3b
classi d'uso I e II	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
classe d'uso III	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
classe d'uso IV	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO

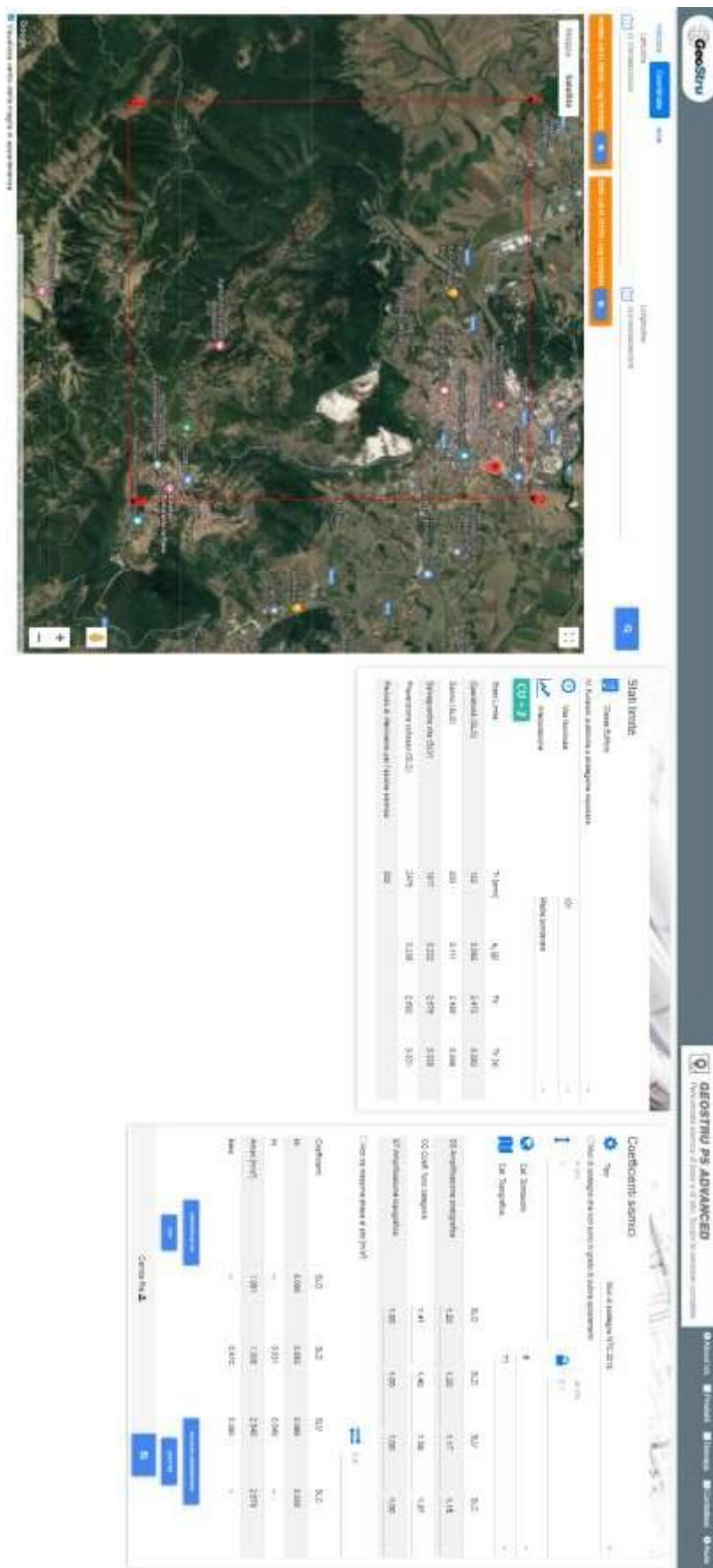
Poiché l'opera in oggetto è definita di **classe d'uso II**, è possibile affermare che, in base alle considerazioni fatte e alle Tabelle 1 e 2, il **LIVELLO DI VULNERABILITÀ DELL'OPERA È DEFINITO ALTO**



Tabella 3: Definizione del Livello di Vulnerabilità dell'opera

PROGETTI	PERICOLOSITA'				
	Zona Sismica				
	1	2a	2b	3a	3b
classi d'uso I e II	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
classe d'uso III	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
classe d'uso IV	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO

Si riportano di seguito, infine, i **Parametri Sismici fondamentali** validi per il sito in esame ottenuti da: <https://geoapp.eu/parametrisismici2018/>





8 CONCLUSIONI

Il sottoscritto:

- Geologo Vincenzo **CORTESE**, nato a Mugnano di Napoli (NA) il 28/12/1983 (C.F. **CRTVCN83T28F799C**) e residente in Bojano (CB) alla Via Gino di Biase n° 32, iscritto all'Albo Professionale dell'*Ordine dei Geologi della Regione Molise* al n° **155** - sez. A "**Geologi Specialisti**"

è stato incaricato dal **D.L. ING. STEFANO TRANQUILLI** di eseguire uno studio di carattere geologico - tecnico nel **tenimento del Comune di COLLEFERRO (RM)**, a corredo del Progetto denominato: **"REALIZZAZIONE NUOVA SEDE ISTITUTO SCOLASTICO "PAOLO PARODI DELFINO" IN VIA DEL PANTANACCIO – IN VARIANTE AL P.R.G.VIGENTE"**

E' stato effettuato un primo sopralluogo per constatare lo stato di fatto della zona di studio

In seguito, sono stati compiuti ulteriori sopralluoghi, sia sull'area interessata dall'intervento che nelle aree adiacenti, allo scopo di ottenere una visione globale del territorio in cui si trova la zona interessata.

Il lavoro, nel rispetto delle **N.T.C. 2018**, ha avuto lo scopo di:

- *definire le condizioni morfologiche, idrogeologiche e tettoniche dell'area;*
- *valutare l'assetto litostratigrafico dell'area;*
- *definire la categoria sismica del sottosuolo secondo le Norme del D.M. 17 Gennaio 2018.*



Il lavoro stesso è altresì stato compilato in due fasi distinte e successive:

- nella prima fase è stata effettuata una analisi geomorfologica, idrogeologica, geologica e tettonica della zona in cui ricade l'area oggetto di studio;
- nella seconda fase è stato realizzato un rilevamento geologico di superficie esteso anche ad aree limitrofe a quella d'interesse ed è stata presenziata, diretta ed interpretata una campagna di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche.

Per quel che concerne la caratterizzazione geomorfologica di dettaglio del lotto oggetto del presente studio geologico-tecnico, è possibile affermare che l'area stessa sia collocata in una zona sub-pianeggiante, caratterizzata dall'**assenza di fenomeni di dissesto geomorfologico di versante**. Le pendenze molto esigue, conferiscono infatti al suolo del territorio in questione un **alto indice di stabilità**, precludendo così ogni possibilità ai terreni di evolvere in forme di dissesto superficiale di tipo gravitativo: il terreno interessato dal Progetto di cui in oggetto risulta quindi **stabile**, essendo priva di qualunque indizio di disequilibrio passato, in atto o potenziale.

L'area oggetto di intervento, infine, rientra nelle competenze dell'**Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale- Liri-Garigliano e Volturno**.

Detta area risulta **ESCLUSA** da qualsiasi perimetrazione di **RISCHIO** sia da **FRANA** che **IDRAULICO** definito dai Piani di Bacino.

Come si evince dalla cartografia relativa, nel sito in esame, in cui è prevista la realizzazione della nuova sede dell'istituto Scolastico "Paolo Parodi Delfino", **NON SONO PRESENTI AREE PERICOLOSE e VULNERABILI**.

Nell'area oggetto di intervento la circolazione idrica sotterranea avviene prevalentemente nella porzione superficiale alterata dei depositi tufacei e piroclastici che costituiscono il *complesso idrogeologico piroclastico* rappresentativo dei litotipi presenti.



Il deflusso idrico sotterraneo presenta, dunque, una morfologia piezometrica di tipo “epidermico”, che si adatta sostanzialmente alla morfologia topografica.

Come si evince dalla cartografia relativa, trattandosi della realizzazione della nuova sede dell'istituto Scolastico "Paolo Parodi Delfino", detta area ricade nella perimetrazione “AREA DI IDONEITA’ RISPETTO ALLE CONDIZIONI GEOMORFOLOGICHE AL CONTORNO”

Per la ricostruzione delle caratteristiche **geologiche, geotecniche e geofisiche** di dettaglio del lotto interessato dal Progetto di cui in oggetto è stato eseguito un rilevamento geologico esteso anche ad aree limitrofe a quella d’interesse ed una **campagna di indagini geognostiche, geotecniche in situ/laboratorio e geofisiche.**

Le **indagini GEOGNOSTICHE** sono consistite in UN SONDAGGIO MECCANICO A CAROTAGGIO CONTINUO DENOMINATO S1 E SPINTO FINO AD UNA QUOTA DI 30,00 MT DAL P.C., OPPORTUNAMENTE CONSIZIONATO PER PERMETTERE LO SVOLGIMENTO DELLA PROVA DOWN-HOLE.

Le **indagini GEOTECNICHE IN SITU** sono consistite in:

- n. 02 prove penetrometriche dinamiche super-pesanti (DPSH).

Le **indagini GEOFISICHE in situ** sono consistite in:

- n° 02 prospezioni geofisiche superficiali con tecniche di sismica a rifrazione classica e **tomografica**, allo scopo di ottenere delle sezioni sismiche da interpretare in chiave geologica;



- n° 02 prospezioni geofisiche superficiali con metodologia di indagine MASW, necessarie per la **misurazione del valore delle V_{s30}** , allo scopo di classificare il suolo di fondazione secondo i criteri imposti dalle **N.T.** vigenti;
- 01 prova sismica in foro di tipo down-hole;
- **01 misurazione dei microtrempi secondo il METODO DI NAKAMURA.**

I risultati delle indagini geofisiche eseguite nell'area ed in particolar modo quelli provenienti dall'esecuzione della prospezione con metodologia di indagine "**MASW**" hanno permesso di classificare il suolo di fondazione del sito in esame: nel caso specifico si è ottenuto tale risultato:

- V_{s30} SS1 pari a 478 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt = suolo categoria B;
- V_{s30} SS2 pari a 480 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt = suolo categoria B;
- V_{s30} Down Hole pari a 509 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt.

Calcolato, quindi, con la prospezione geofisica **MASW** il valore di **V_{seq}** valido è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine, che rientra nella **categoria di tipo B**: tale sottosuolo è definito come *"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s)".*

Dall'esecuzione delle prospezioni geotecniche in sito di tipo **DPSH** eseguite nell'area è stato possibile, inoltre, produrre le tabelle mostranti i **parametri geotecnici fondamentali del terreno di fondazione**.

E' stata effettuata, infine, la **modellazione sismica** dell'area di studio.



Definire i modelli di comportamento dei materiali superficiali (che possono costituire possibili piani di posa di sistemi fondali), in chiave sismica, significa trattare di una problematica di notevole interesse nell'ambito di ricerche di carattere geologico-tecnico e geofisico applicate all'Ingegneria.

Il sito in esame, sulla base della nuova riclassificazione sismica della Regione Lazio (DGR 387 del 22 Maggio 2009) è compreso in **ZONA SISMICA 2B**.

E' quindi necessario comunicare ai Progettisti che in fase di calcolo delle strutture in progetto sarà necessario tener conto di un incremento di spinta legato ad azioni sismiche agenti di taglio.

I dati di letteratura mostrano, inoltre, che la zona di studio ed è situata in un'area caratterizzata da spessori della coltre di copertura inferiori a 30,00 metri e quindi potrebbe essere interessata da **possibili fenomeni di amplificazione di sito per frequenze inferiori ad 1 Hz**.

Pertanto, per il dimensionamento delle opere d'arte previste per gli interventi di natura edile è prevista l'adozione, con le relative prescrizioni, delle norme tecniche emanate con D.M. 17.1.2018 ai sensi delle Leggi 1086 del 1971 e 64 del 1974, poi diventate D.P.R. 380 del 2001.

IL GEOLOGO

Dott. Vincenzo CORTESE



9 ALLEGATI

ALLEGATO N. 1 : SONDAGGIO GEOGNOSTICO



ALLEGATO N. 2 :

CERTIFICATI

PROVE GEOTECNICHE IN SITU



ALLEGATO N. 3 : PROVE GEOFISICHE IN SITU

COMMITTENTE: D.L.: ING. STEFANO TRANQUILLI

IMPRESA: GEOSECURE SAS

CANTIERE: CENTRO ANZIANI DI COLLEFERRO

DATA PERFORAZIONE: APRILE 2018

METODO DI PERFORAZIONE: Carotaggio Continuo

GEOLOGO REDATTORE: Geol. Vincenzo Cortese

Protocollo: CMRC-2022-0145866 - 22-09-2022 12:15:25

S01

Scala 1:100

Profondità (mt)	Progressive	Polenza (mt)	Stratigrafia	Descrizione dei terreni attraversati	Campioni	% Carotaggio	Falda Rinvenuta	S. P. T.
						20 40 60 80 100		
1.0	1.0	1.00		Terreno vegetale brunastro con frustoli carboniosi				
2.0				Limi sabbiosi di origine priroclastica di colore marrone chiaro, poco consistenti				
3.0								
4.0								
5.0								
6.0								
7.0								
8.0								
9.0								
9.80								
10.0		10.20		Cappellaccio tufaceo				
11.0								
12.0				Tufi vulcanici rimaneggiati di colore marrone tendenti al ramato				
13.0								
14.0								
15.0								
16.0								
17.0								
18.0								
19.0								
20.0								
21.0								
22.0								
23.0								
24.0								
25.0								
26.0								
27.0								
28.0								
29.0								
30.0	30.00							

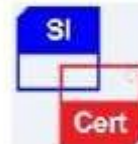
30,00

CERTIFICATI PROVE IN SITO

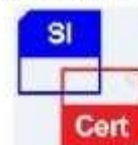


Available versions		
DP Only	CPT Only	DP + CPT
■ DPSH = DPH = DPM	■ 200 kN	■ DPSH + 200 kN = DPH + 200 kN = DPM + 200 kN
Rotary head		

Legend	
■	Standard
=	Optional



NUMERO PC: 0151-GEO-Q



NUMERO PC: 0151-GEO-E



NUMERO PC: 0151-GEO-H



GEOSECURE s.a.s.
GEOLOGICAL & GEOPHYSICAL SERVICES

SEDE LEGALE ED OPERATIVA : VIA BARCELLONA N.18 - BOJANO (CB)

TEL: 0874/783120 CELL.3286429991 FAX:0874/773188

MAIL: info@geosecure.it SITO: www.geosecure.it

D.L.: ING. STEFANO TRANQUILLI

OGGETTO : REALIZZAZIONE NUOVA SEDE ISTITUTO SCOLASTICO "PAOLO PARODI DELFINO"
IN VIA DEL PANTANACCIO – IN VARIANTE AL P.R.G. VIGENTE

LOCALITA' : COLLEFERRO (RM) VIA COLLE DELL'ELEFANTE

CODICE DOCUMENTO : CPS 115/18 DPSH

SPERIMENTATORE	DIRETTORE TECNICO	REV. 0
DOTT. ANTONINO CARUSO	DOTT. CARLO CORTESE	DATA 04/05/2018

NUMERO E TIPOLOGIE DI PROVE IN SITU:

N. 2 PROVE PENETROMETRICHE DI TIPO DPSH A PUNTA CHIUSA

NEL MESE DI APRILE 2018 LA GEOSECURE SAS HA ESEGUITO NEL TENIMENTO DI COLLEFERRO (RM) DUE PROSPEZIONI GEOTECNICHE IN SITU DI TIPO DPSH, SU INCARICO DEL **D.L. ING. STEFANO TRANQUILLI**, IN RELAZIONE ALLA PRATICA EDILE DENOMINATA “**REALIZZAZIONE NUOVA SEDE ISTITUTO SCOLASTICO “PAOLO PARODI DELFINO” IN VIA DEL PANTANACCIO – IN VARIANTE AL P.R.G. VIGENTE**”.

IL FASCICOLO, COSTITUITO DA N. PAG. 08, E' RILASCIATO IN TRIPLICE COPIA IN ORIGINALE.



FOTO DI CANTIERE



Prova DPSH n.1



Prova DPSH n.2**PROVA N.1**

Prova eseguita in data

20/04/2018

Profondità prova

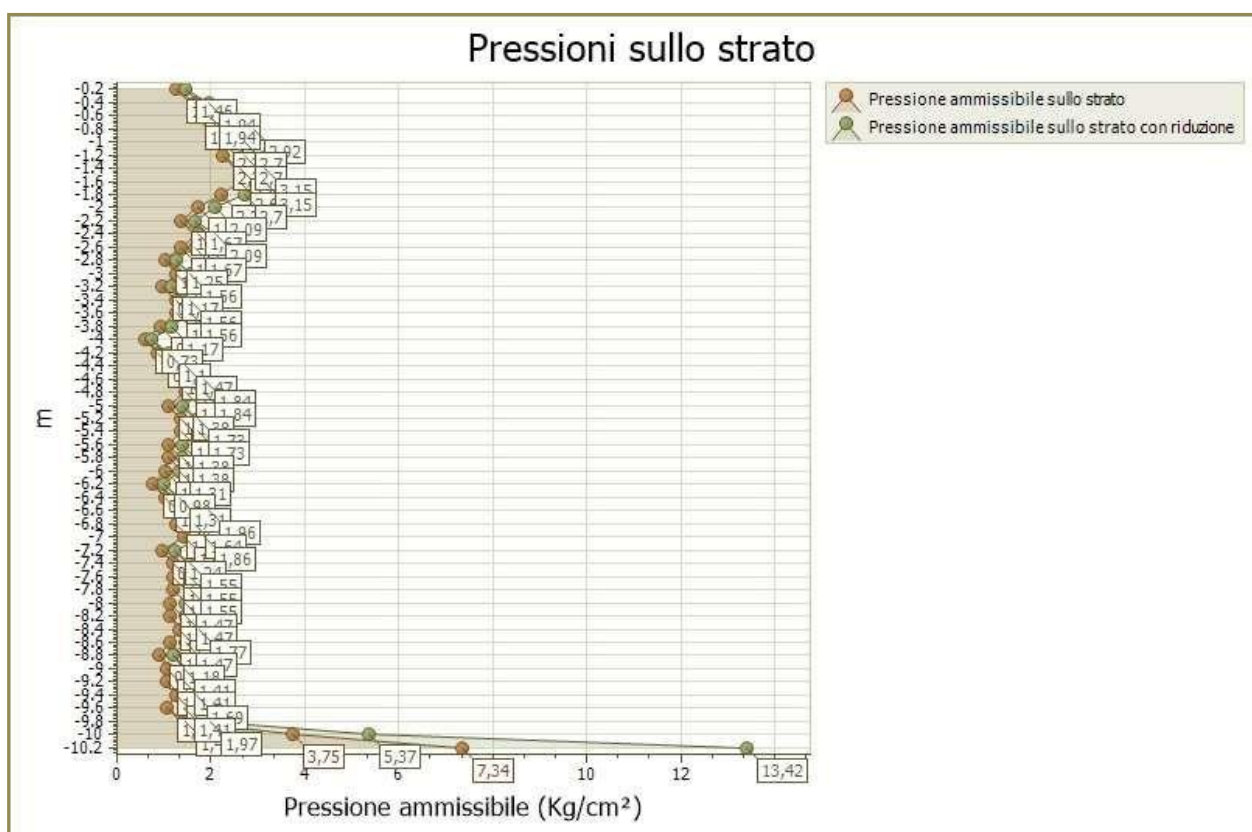
10,20 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Distribuzione normale R.N.C.

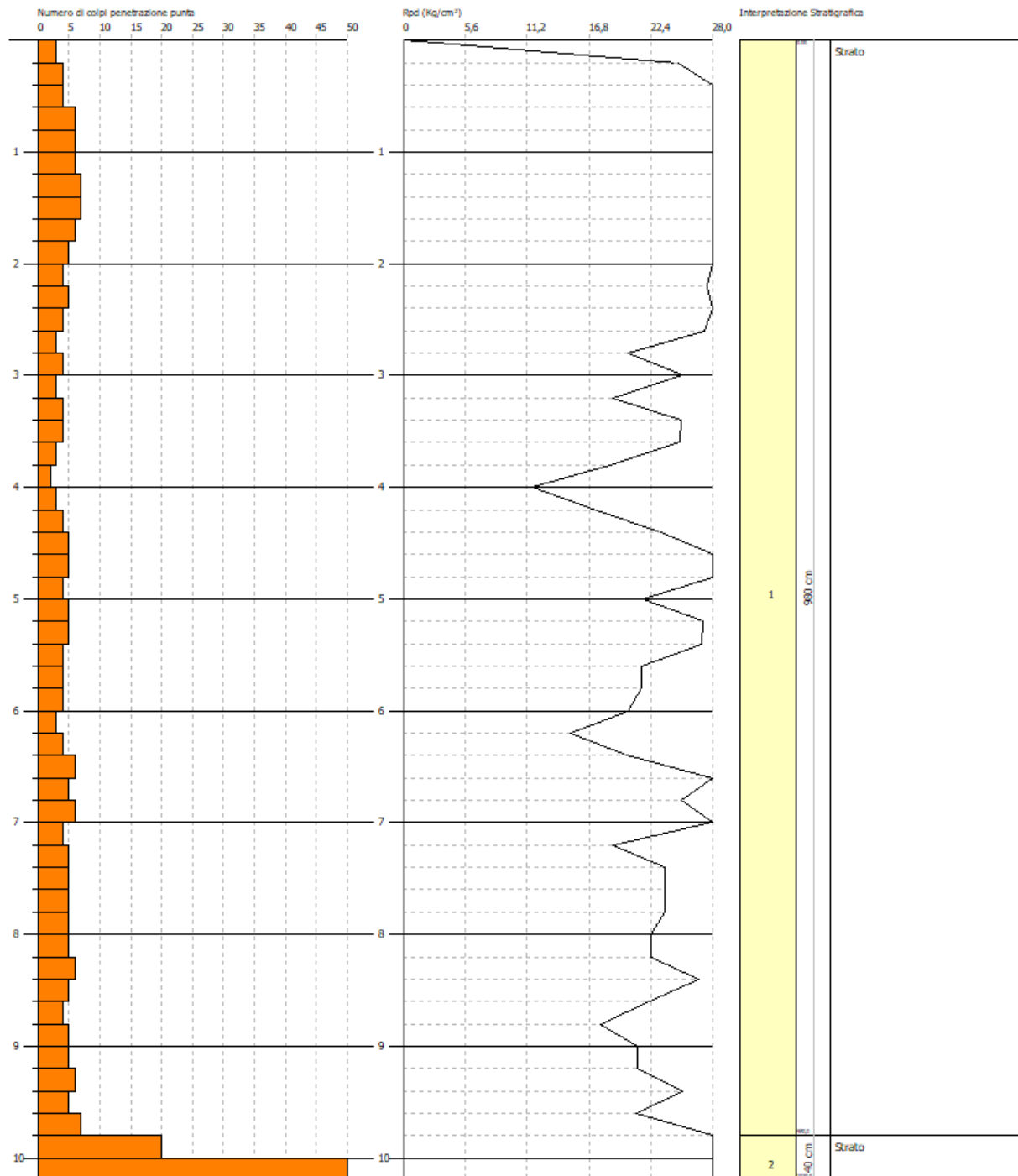
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)
0,20	3	0,855	24,92	29,15
0,40	4	0,851	33,07	38,87
0,60	4	0,847	32,92	38,87
0,80	6	0,843	49,17	58,31
1,00	6	0,840	45,30	53,94
1,20	6	0,836	45,11	53,94
1,40	7	0,833	52,41	62,93
1,60	7	0,830	52,20	62,93
1,80	6	0,826	44,57	53,94
2,00	5	0,823	34,42	41,82
2,20	4	0,820	27,44	33,45
2,40	5	0,817	34,17	41,82
2,60	4	0,814	27,24	33,45
2,80	3	0,811	20,36	25,09
3,00	4	0,809	25,29	31,27
3,20	3	0,806	18,91	23,46
3,40	4	0,803	25,13	31,27
3,60	4	0,801	25,05	31,27
3,80	3	0,798	18,73	23,46
4,00	2	0,796	11,69	14,68
4,20	3	0,794	17,48	22,02
4,40	4	0,791	23,24	29,36
4,60	5	0,789	28,97	36,70
4,80	5	0,787	28,89	36,70
5,00	4	0,785	21,72	27,67
5,20	5	0,783	27,08	34,59
5,40	5	0,781	27,01	34,59
5,60	4	0,779	21,56	27,67
5,80	4	0,777	21,51	27,67
6,00	4	0,775	20,29	26,16
6,20	3	0,774	15,18	19,62
6,40	4	0,772	20,20	26,16
6,60	6	0,770	30,23	39,24
6,80	5	0,769	25,14	32,70
7,00	6	0,767	28,55	37,21
7,20	4	0,766	18,99	24,81
7,40	5	0,764	23,70	31,01

7,60	5	0,763	23,65	31,01
7,80	5	0,761	23,61	31,01
8,00	5	0,760	22,41	29,49
8,20	5	0,759	22,37	29,49
8,40	6	0,757	26,79	35,38
8,60	5	0,756	22,29	29,49
8,80	4	0,755	17,80	23,59
9,00	5	0,753	21,18	28,11
9,20	5	0,752	21,14	28,11
9,40	6	0,751	25,33	33,73
9,60	5	0,750	21,08	28,11
9,80	7	0,749	29,46	39,35
10,00	20	0,698	74,93	107,39
10,20	50	0,547	146,75	268,48



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)Committente:
Cantere:
Località:

Scala 1:50



PROVA N.2

Prova eseguita in data

20/04/2018

Profondità prova

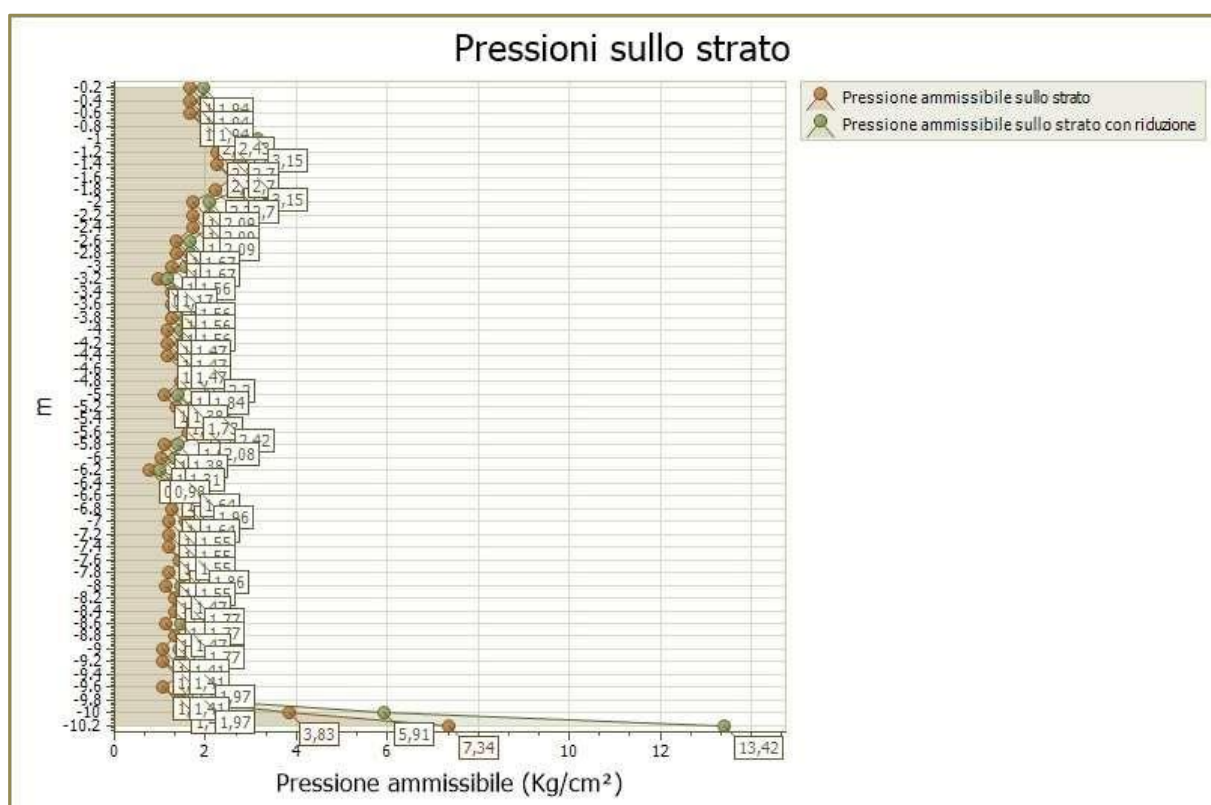
10,20 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Distribuzione normale R.N.C.

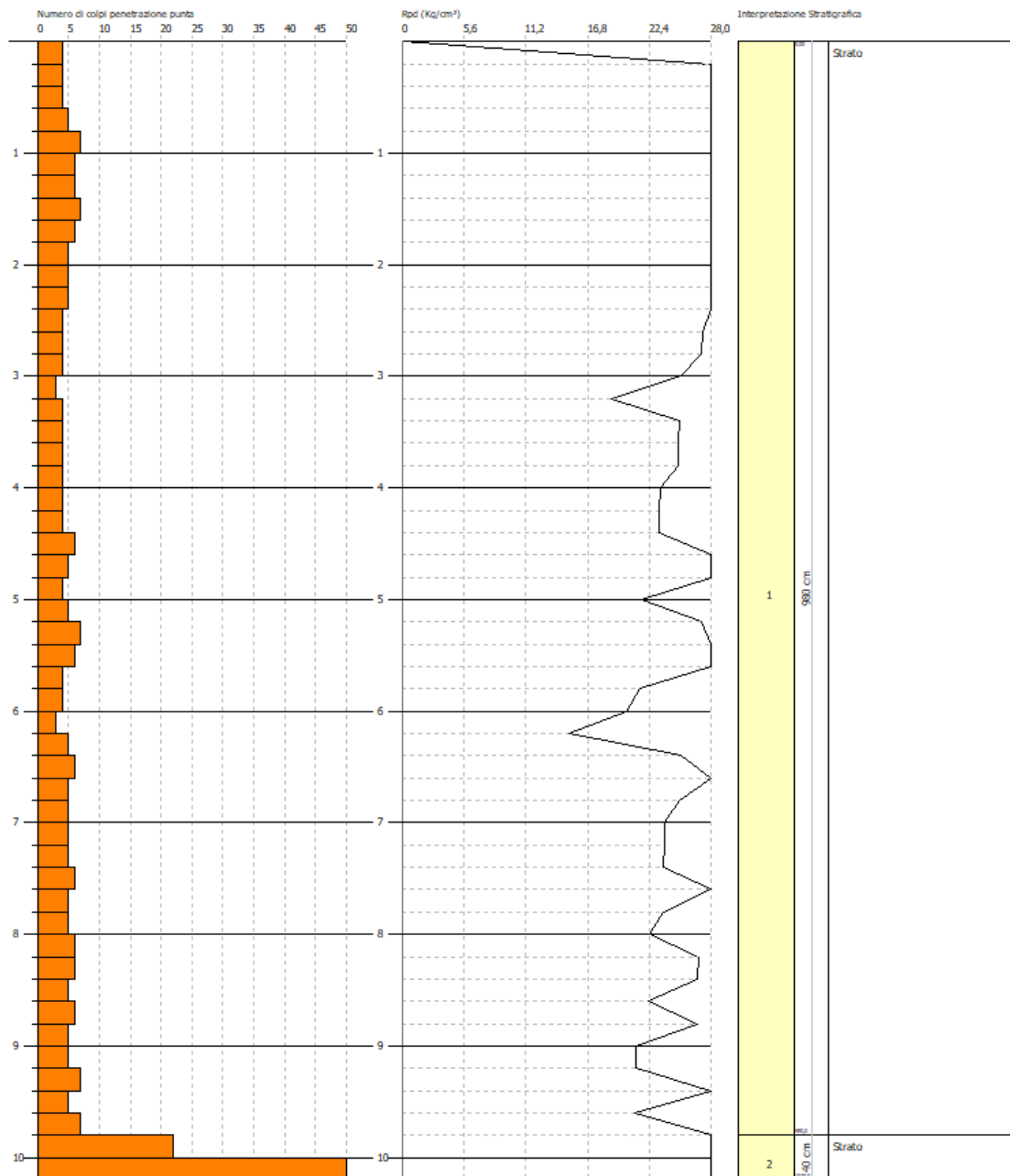
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)
0,20	4	0,855	33,22	38,87
0,40	4	0,851	33,07	38,87
0,60	4	0,847	32,92	38,87
0,80	5	0,843	40,98	48,59
1,00	7	0,840	52,84	62,93
1,20	6	0,836	45,11	53,94
1,40	6	0,833	44,92	53,94
1,60	7	0,830	52,20	62,93
1,80	6	0,826	44,57	53,94
2,00	5	0,823	34,42	41,82
2,20	5	0,820	34,29	41,82
2,40	5	0,817	34,17	41,82
2,60	4	0,814	27,24	33,45
2,80	4	0,811	27,14	33,45
3,00	4	0,809	25,29	31,27
3,20	3	0,806	18,91	23,46
3,40	4	0,803	25,13	31,27
3,60	4	0,801	25,05	31,27
3,80	4	0,798	24,97	31,27
4,00	4	0,796	23,37	29,36
4,20	4	0,794	23,30	29,36
4,40	4	0,791	23,24	29,36
4,60	6	0,789	34,76	44,04
4,80	5	0,787	28,89	36,70
5,00	4	0,785	21,72	27,67
5,20	5	0,783	27,08	34,59
5,40	7	0,781	37,82	48,42
5,60	6	0,779	32,34	41,50
5,80	4	0,777	21,51	27,67
6,00	4	0,775	20,29	26,16
6,20	3	0,774	15,18	19,62
6,40	5	0,772	25,25	32,70
6,60	6	0,770	30,23	39,24
6,80	5	0,769	25,14	32,70
7,00	5	0,767	23,79	31,01
7,20	5	0,766	23,74	31,01

7,40	5	0,764	23,70	31,01
7,60	6	0,763	28,38	37,21
7,80	5	0,761	23,61	31,01
8,00	5	0,760	22,41	29,49
8,20	6	0,759	26,84	35,38
8,40	6	0,757	26,79	35,38
8,60	5	0,756	22,29	29,49
8,80	6	0,755	26,71	35,38
9,00	5	0,753	21,18	28,11
9,20	5	0,752	21,14	28,11
9,40	7	0,751	29,55	39,35
9,60	5	0,750	21,08	28,11
9,80	7	0,749	29,46	39,35
10,00	22	0,648	76,51	118,13
10,20	50	0,547	146,75	268,48



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)Committente:
Cantiere:
Località:

Scala 1:50





REGIONE LAZIO

COMUNE di

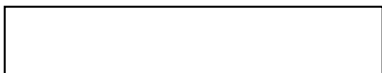
COLLEFERRO

(AREA METROPOLITANA di ROMA)



**REALIZZAZIONE NUOVA SEDE ISTITUTO
SCOLASTICO "PAOLO PARODI DELFINO" IN VIA
DEL PANTANACCIO –**

ALLEGATO SISMICO



Rev. 0





INDICE

1	INTRODUZIONE GENERALE	PAG. 02
2	INTRODUZIONE ALLE METODOLOGIE GEOFISICHE UTILIZZATE	PAG. 03
	2.1 TOMOGRAFIA SISMICA	PAG. 03
	2.2 MASW	PAG. 06
3	RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – STENDIMENTO SISMICI	PAG. 09
	3.1 TOMOGRAFIA SISMICA	PAG. 09
	3.2 MASW	PAG. 13
4	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO DI INDAGINE	PAG. 23





1. INTRODUZIONE

In questo **ALLEGATO SISMICO** si descrivono i risultati provenienti dalla **campagna di indagini geofisiche** effettuata in Via Colle dell'Elefante nel comune di Colleferro (RM) dalla ditta "GEOSecure s.a.s."

Nel dettaglio, la **campagna di indagini geofisiche** eseguite nell'area è consistita in:

- N° 02 PROSPEZIONI GEOFISICHE SUPERFICIALI CON METODOLOGIE DI INDAGINE DENOMINATE "SISMICA A RIFRAZIONE" E "TOMOGRFIA SISMICA" ESEGUITE MEDIANTE INSTALLAZIONE DI N° 02 STENDIMENTI SISMICI DENOMINATI RISPETTIVAMENTE SS1 ed SS2 (Entrambe di lunghezza pari a 23,00 MT);
- N° 02 PROSPEZIONI GEOFISICHE SUPERFICIALI CON METODOLOGIA DI INDAGINE "MASW" denominate M1 ed M2 (Entrambe di lunghezza pari a 23,00 MT).

La corretta ubicazione delle indagini eseguite nell'area allo studio è riportata di seguito in **Figura 1**:



Fig. 1: ubicazione delle indagini geofisiche eseguite nel Comune di Colleferro (RM)





INTRODUZIONE ALLE METODOLOGIE GEOFISICHE UTILIZZATE

1.1 TOMOGRAFIA SISMICA

L'obiettivo delle prospezioni geofisiche effettuate con metodologia di indagine TOMOGRAFICA SISMICA è stato quello di investigare attraverso metodologie geofisiche specifiche il sottosuolo allo scopo di creare un profilo sismo-stratigrafico di riferimento per ciascuna prova effettuata.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E FIGURE PROFESSIONALI UTILIZZATE DURANTE LE INDAGINI:

La strumentazione utilizzata nell'area è costituita da un sismografo multicanale M.A.E. modello A 6000 S (*Figura 2*), avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- *capacità di campionamento dei segnali tra 0,002 e 0,00005 sec;*
- *sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break);*
- *filtri High Pass e Band Reject;*
- *"Automatic Gain Control";*
- *convertitore A/D a 24 bit;*
- *24 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;*
- *massa battente pesante di 10 Kg.*



Fig. 2: sismografo multicanale M.A.E. modello A 6000 S.

Durante la fase di acquisizione dati la Ditta "GEOSecure S.A.S." si è avvalsa delle seguenti figure professionali:

- n. 1 geofisico prospectore;
- n. 2 assistenti al geofisico prospectore.

Tutti gli strumenti di misura, impiegati in accordo con il calendario di taratura imposto al sistema di qualità in uso presso la Ditta "GEOSecure S.A.S." sono tarati presso il laboratorio della "M.A.E. s.r.l." di Frosolone (IS).





PRINCIPI DI BASE:

La metodologia **sismica a rifrazione** utilizza la stima delle **velocità di propagazione** delle onde sismiche nel sottosuolo che sono generate quando il terreno è sottoposto a sollecitazioni artificiali o naturali (sisma).

La determinazione delle velocità viene ricavata misurando i **tempi di primo arrivo** delle onde sismiche generate in diversi punti sulla superficie topografica, considerando i seguenti *principi di base*:

- *le onde sismiche si propagano con velocità diverse in mezzi con caratteristiche meccaniche diverse*
- *quando il raggio sismico attraversa una discontinuità di velocità (passa da una mezzo più lento ad uno più veloce, o viceversa) cambia direzione come descritto dalla **Legge di Snell**.*

I CASI DI APPLICAZIONE DELLA SISMICA A RIFRAZIONE:

I metodi di interpretazione della **sismica a rifrazione di superficie** si basano sull'analisi delle **onde P** o in alternativa **onde S** e trovano numerosi campi di applicazione:

- **Studi di carattere geotecnico (individuazioni delle proprietà fisiche dei mezzi investigati);**
- **Studi di carattere geologico (successioni stratigrafiche, individuazione di faglie, strutture sepolte, ecc.);**
- **Determinazione della profondità del substrato roccioso;**
- **Studi per la pianificazione del territorio (microzonazione sismica);**
- **Studi in campo ambientale (discariche).**





La tabella di seguito riportata illustra i casi di applicazione per ogni metodologia d'indagine.

<u>Metodi di interpretazione</u>	<u>Caso di applicazione</u>
Delle intercette (o convenzionale)	Strati paralleli e sub-orizzontali
Reciproco generalizzato (GRM)	Morfologie degli strati articolate e con inclinazioni < 20°
Reciproco di Hawkins o Delay time	Morfologie degli strati articolate e con inclinazioni < 20°
Tomografico	Morfologie complesse

Considerate le caratteristiche geologiche dell'area di studio, i metodi d'indagine sismica utilizzati sono stati il **metodo delle intercette** (o metodo convenzionale) ed il **metodo tomografico**.

Operativamente, ciò che è stato eseguito in campagna è una disposizione lungo una retta di **trasduttori velocimetrici** (geofoni) lungo la sezione specifica che si desiderava investigare; quindi, in funzione della risoluzione e delle profondità ricercate, si sono adeguatamente disposti i punti di produzione dell'energia elastica; leggendo i tempi dei primi arrivi delle onde sismiche ai geofoni, si sono ricostruite le **dromocrone** che permettono di individuare le variazioni verticali di velocità e le velocità reali dei diversi sismostrati.

Secondo i tempi di primo arrivo delle onde longitudinali **P** e le distanze relative alla configurazione geometrica adottata (**interspazio geofonico** e **offset di scoppio**) è stato possibile, inoltre, dimensionare gli spessori dei sismo-strati attraversati dalla radiazione elastica e quindi ottenere una **dettagliata perizia sismica** della porzione di sottosuolo sottoposta ad indagine.

Per ciò che concerne la campagna di indagine del lavoro in oggetto, sono stati sviluppati in situ:

- **n° 02 stendimento sismico** - **DENOMINATO SS1 ed SS2** - con l'utilizzo di n° **24 geofoni** distanziati tra di loro su linea retta con distanza intergeofonica pari a 1,00 metro (LUNGHEZZA TOTALE DEL PROFILO = 23,00 MT);





1.2 MASW

INTRODUZIONE:

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

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle **onde di Rayleigh**, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde; in un mezzo stratificato le **onde di Rayleigh** sono dispersive (**fenomeno della dispersione geometrica**), cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (**Achenbach, IO., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980**) o detto in maniera equivalente **la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione**.

La **natura dispersiva** delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine **MASW** utilizzato è, inoltre, di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite **energizzazione** con mazza battente parallelamente all'*array*) e misurate da uno stendimento lineare di sensori (*geofoni*).

Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel **range di frequenze** compreso tra **5-10Hz** e **70-100Hz**, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30,00-50,00 metri, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

METODOLOGIA UTILIZZATA:

Il metodo prevede lo svolgimento di **n° 4 fasi** successive e propedeutiche:

- 1) calcolo della curva di dispersione sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;**





- 2) calcolo della curva di dispersione apparente numerica mediante il metodo **Roma (2001)**;
- 3) calcolo della curva di dispersione effettiva numerica mediante il metodo **Lai-Rix (1998)**;
- 4) individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_{sv} , modificando opportunamente lo **spessore h** , le **velocità delle onde di taglio V_{sv}** e di **compressione V_p** (o in alternativa il **coefficiente di Poisson ν**), la **densità di massa ρ** degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato; l'**affidabilità del profilo di velocità V_s** trovato durante il processo di inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativo tra le due curve.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E FIGURE PROFESSIONALI UTILIZZATE DURANTE LE INDAGINI:

Durante la fase di acquisizione dati la Ditta "GEOSecure S.A.S." si è avvalsa delle seguenti figure professionali:

- n. 1 geofisico prospettore;
- **n. 2 assistenti al geofisico prospettore.**

Tutti gli strumenti di misura, impiegati in accordo con il calendario di taratura imposto al sistema di qualità in uso presso la Ditta "GEOSecure S.A.S." sono tarati presso il laboratorio della "M.A.E. s.r.l." di Frosolone (IS).

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata nella zona di indagine è stata costituita da:

- un sistema di energizzazione : la sorgente è costituita da una mazza del peso di 10 Kg battente verticalmente su piastra circolare in acciaio del diametro di 25 cm posta direttamente sul p.c. per la generazione prevalentemente di onde P e secondariamente di onde SV, in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali;
- un sistema di ricezione costituito da 24 geofoni verticali monocomponente del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa (peso della massa 12.2 gr) con frequenza propria di 4.5 Hz, ovvero dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche longitudinali e trasversali prodotte da una specifica sorgente;





- un sistema di acquisizione dati con memoria dinamica a 24 bit composto da 12 dataloggers a 2 canali ciascuno per un totale di 24 canali, cavo sismico telemetrico di 130 m, MOM power con interfaccia USB 1.1 24 V, notebook PC Windows XP con software Pane I Acquisition a 24 canali; il sistema è in grado di convertire in digitale e registrare su memoria il segnale proveniente da ciascun canale dal sistema di ricezione; la conversione A/D avviene già dal primo metro di cavo: il sistema permette pertanto di eliminare molte fonti di disturbo dovute al trasferimento del segnale lungo centinaia di metri di cavo sismico ed è inoltre dotato di un sistema di filtraggio in tempo reale, da un hardware complesso, che comporta un anello di regolazione con diversi passaggi di digital signal processing;
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.

Nello specifico, la **strumentazione utilizzata nell'area** è costituita da un sismografo multicanale **M.A.E. modello A 6000 S (Figura 3)**, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- capacità di campionamento dei segnali tra 0,002 e 0,00005 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (**time break**);
- filtri High Pass e Band Reject;
- "Automatic Gain Control";
- convertitore A/D a 24 bit;
- 24 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;
- massa battente pesante di 10 Kg.



Fig. 3: sismografo multicanale M.A.E. modello A 6000 S.





2. RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – STENDIMENTO SISMICO SS1

2.1 TOMOGRAFIA SISMICA

LUNGHEZZA TOTALE DEL PROFILO 23,00 Mt - DISTANZA INTERGEOFONICA = 1,00 Mt

Il profilo sismico in oggetto è stato ubicato come mostrato, di seguito, in **Figura 4**:



Fig. 4: ubicazione dei profili sismici

Il terreno è stato energizzato mediante l'utilizzo di una mazza **battente di massa pari a 10.00 kg** effettuando scoppi specifici ubicati in punti ben precisi lungo ciascuno stendimento stesso:

- *due scoppi simmetrici (**off-shots**) esterni allo stendimento ad una distanza di 2,00 metri dal geofono più vicino;*
- *uno scoppio (**mid-shot**) al centro dello stendimento stesso.*
- *due scoppi intermedi allo stendimento, il primo tra il 6° e il 7° geofono e il secondo tra il 18° e 19° geofono.*

I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 15.000 campioni al secondo per un totale di 0.13 secondi di acquisizione.

Sono riportati le forme d'onda e i dati di picking che sono stati elaborati con il software "**Rayfract 3.32**" della **Intelligent Resources** (Copyright 1996-2010), relativi ai risultati dell'indagine sismica effettuata.



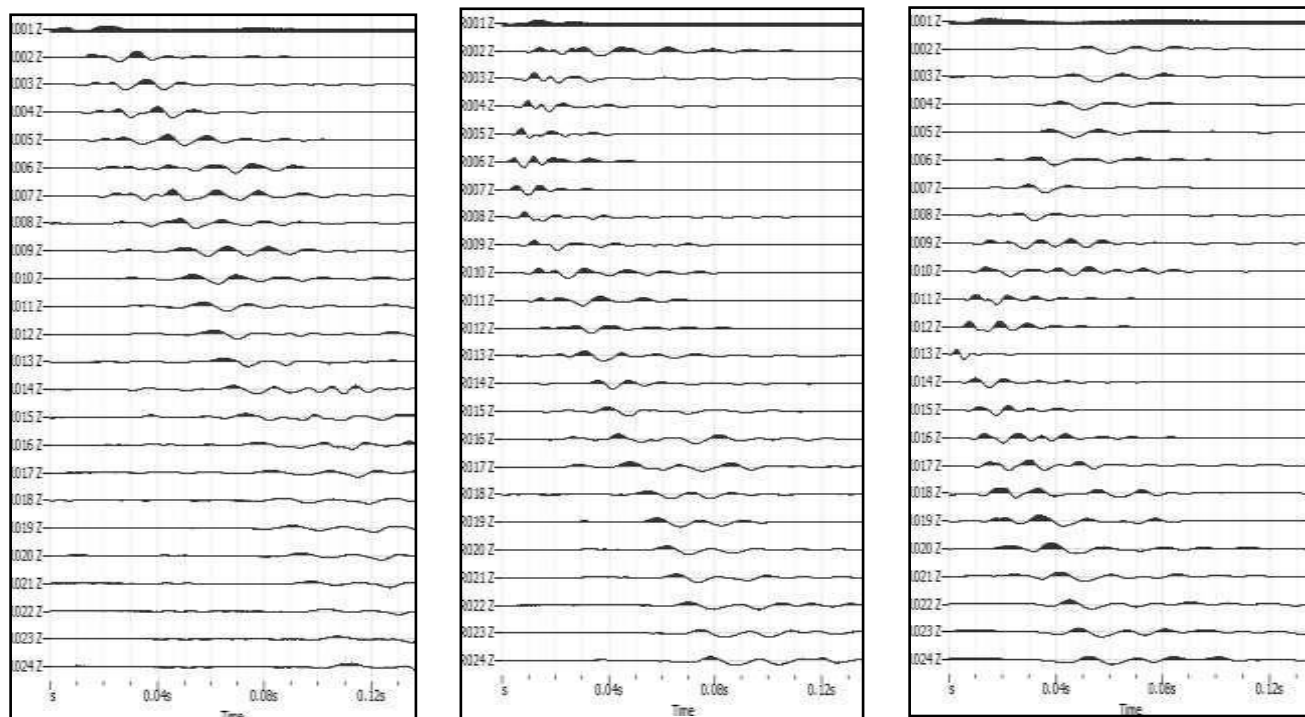


Fig. 5: sismogrammi dello Scoppio 1,2 e 3. – SS1

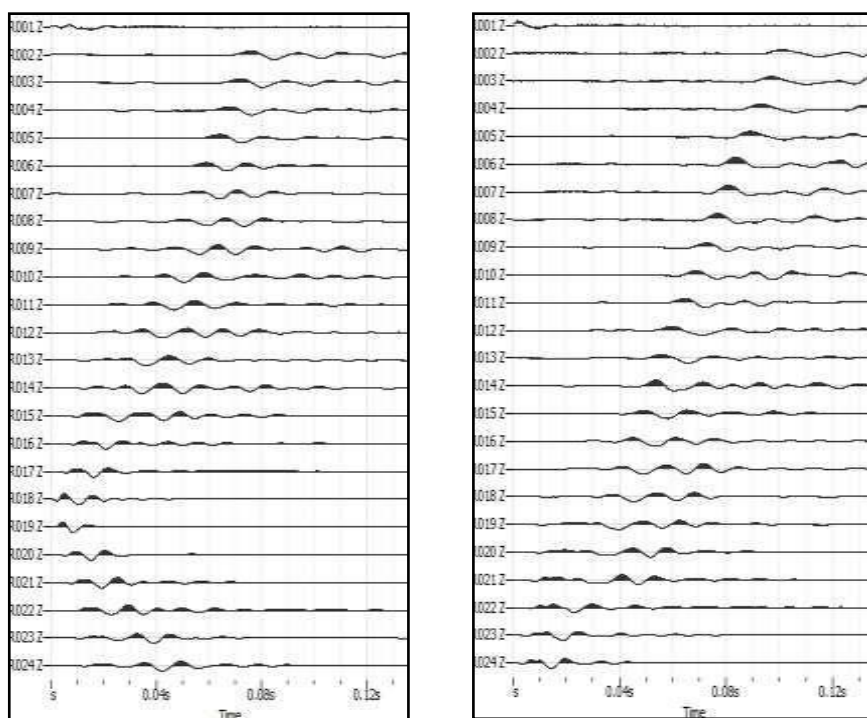


Fig. 6: sismogrammi dello Scoppio 4 e 5 – SS1





TABELLA PRIMI ARRIVI					
Scoppi	S1	S2	S3	S4	S5
Distanza (m)	-2.00	6.50	12.50	18.50	26.00
	msec	msec	msec	msec	msec
0.00	5.73	9.27	16.80	26.13	33.47
2.00	8.67	7.40	16.00	25.00	32.47
3.00	9.93	5.40	14.93	24.07	31.40
4.00	11.53	4.67	13.67	22.80	30.13
5.00	12.47	2.67	12.67	21.87	29.33
6.00	14.27	1.33	11.40	20.93	28.73
7.00	15.73	1.53	9.87	19.87	27.60
8.00	16.87	3.20	9.00	19.33	25.60
9.00	18.73	5.07	7.80	16.93	24.20
10.00	20.00	6.93	6.47	15.53	22.33
11.00	21.27	8.13	4.60	14.20	21.20
12.00	22.73	10.27	2.07	12.47	20.13
13.00	24.00	10.47	1.80	10.27	17.87
14.00	26.00	11.87	3.27	9.60	15.80
15.00	27.07	14.13	5.40	7.27	15.13
16.00	28.40	16.00	6.73	6.27	14.00
17.00	30.40	17.00	8.40	4.07	12.73
18.00	31.33	19.13	9.93	1.00	10.93
19.00	33.07	20.00	12.13	1.13	9.20
20.00	34.07	21.73	13.53	3.73	7.53
21.00	35.47	22.27	15.13	5.40	6.67
22.00	36.93	24.47	15.87	6.93	4.60
23.00	37.93	25.13	16.20	8.13	3.27
24.00	38.67	25.13	18.73	8.93	2.13

Fig. 7: tabella dei primi arrivi.

Nella **Figura 8** sono riportate le **dromocrone dei primi arrivi**.

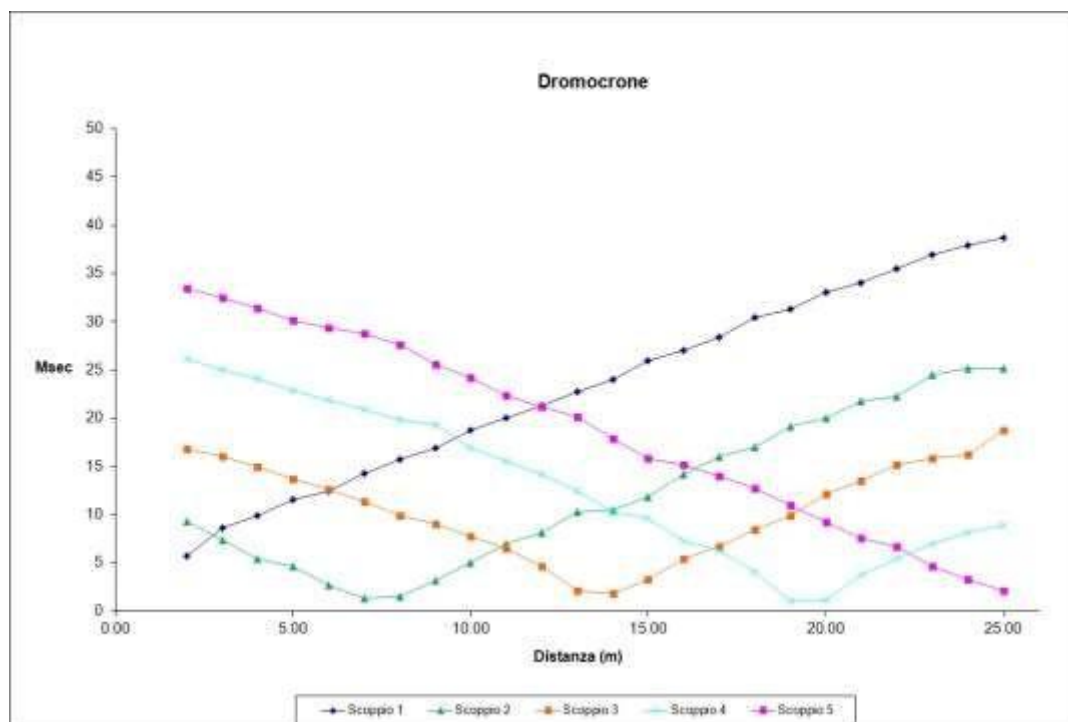


Fig. 8: dromocrone dei primi arrivi.





Nella figura seguente viene riportata la tomografia sismica relativa al sito di indagine, calcolata tramite software **Rayfract 3.32** con restituzione grafica ottenuta tramite software **Surfer 9.0**.

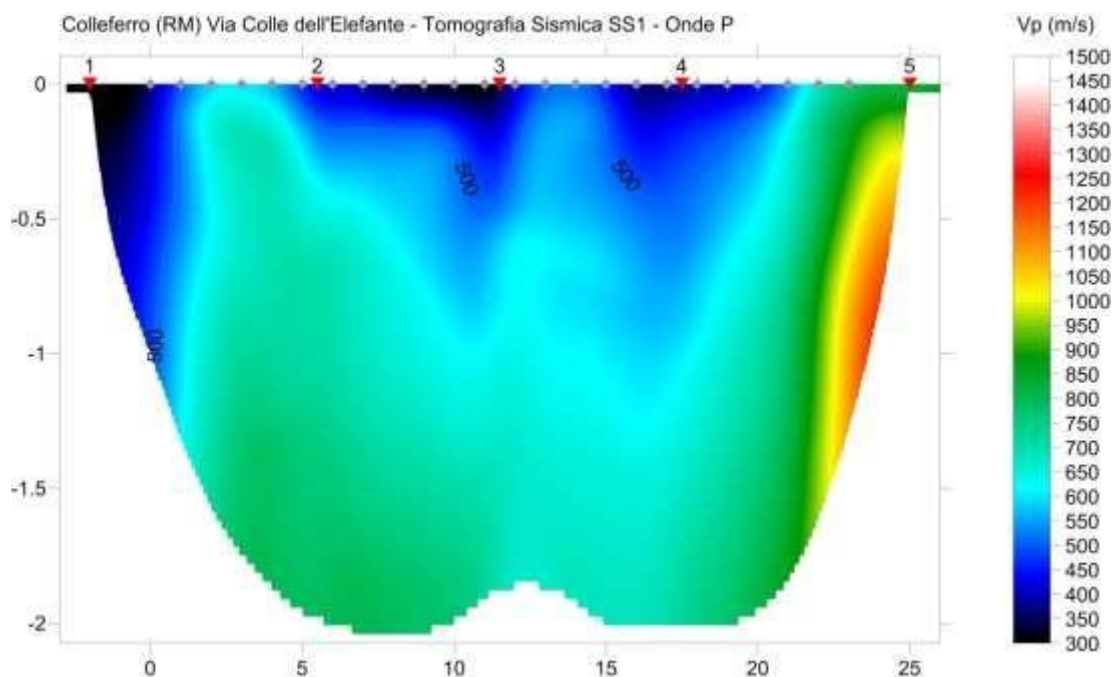


Fig. 9: tomografia sismica. SS1

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE



FOTO 1: panoramica dello stendimento SS1



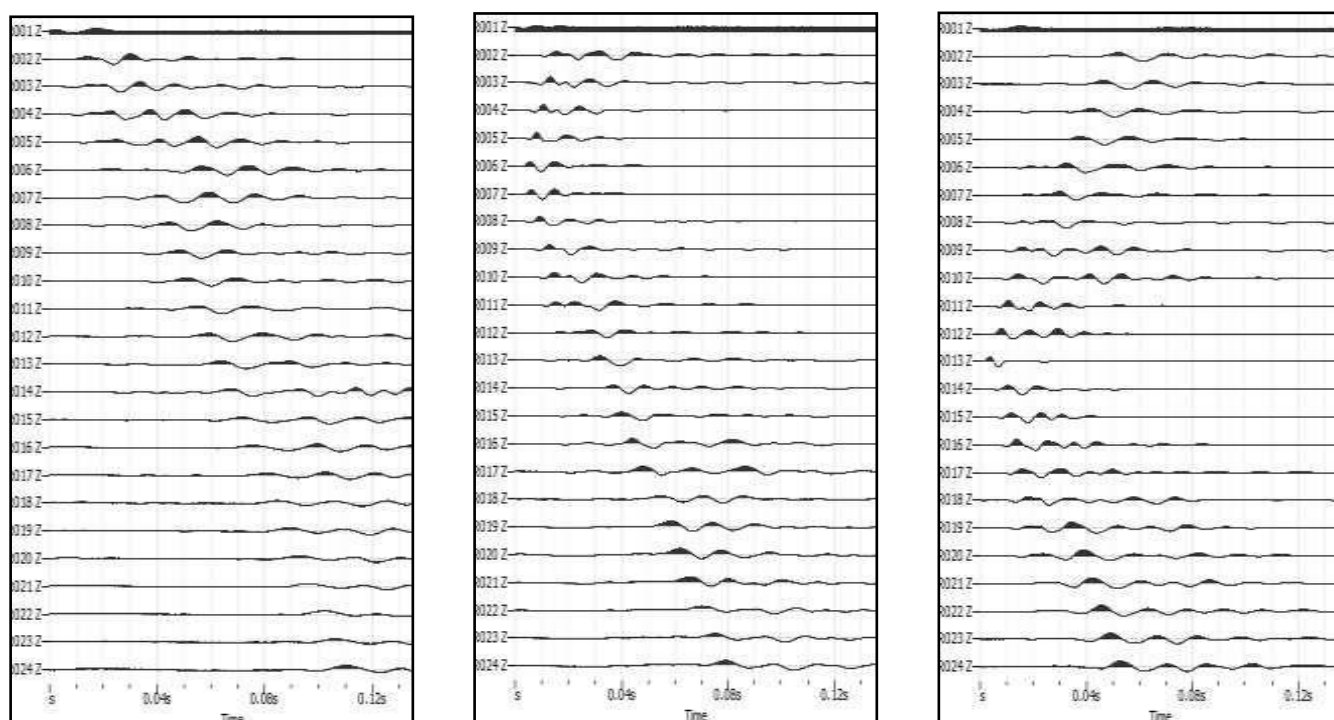


Fig. 10: sismogrammi dello Scoppio 1,2 e 3. – SS2

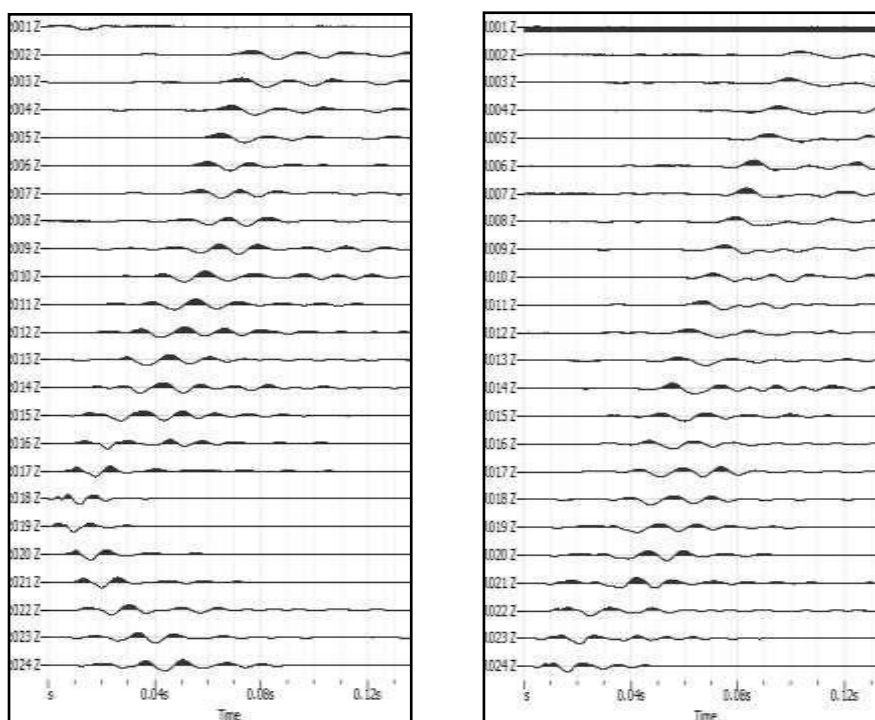


Fig. 11: sismogrammi dello Scoppio 4 e 5 – SS2





TABELLA PRIMI ARRIVI					
Scoppi	S1	S2	S3	S4	S5
Distanza (m)	-2.00	6.50	12.50	18.50	26.00
	msec	msec	msec	msec	msec
0.00	4.53	9.67	17.00	26.20	32.93
2.00	5.67	8.40	15.67	25.20	32.60
3.00	7.00	7.00	14.67	24.00	31.20
4.00	7.87	5.80	13.67	22.87	30.13
5.00	9.27	4.13	12.73	21.60	28.80
6.00	10.80	2.13	11.40	19.93	27.47
7.00	12.20	2.07	10.27	19.13	26.67
8.00	14.13	4.00	9.40	18.27	25.87
9.00	15.87	6.40	8.47	16.47	24.40
10.00	17.53	7.73	6.93	14.33	23.53
11.00	18.87	9.27	4.93	12.07	22.20
12.00	19.73	10.60	2.27	11.07	21.53
13.00	20.87	11.87	2.00	10.80	18.87
14.00	22.00	13.40	3.67	8.47	17.80
15.00	23.80	14.47	5.33	6.53	16.33
16.00	25.20	15.87	7.40	5.33	14.07
17.00	26.47	17.00	8.47	3.13	12.67
18.00	28.53	18.13	9.87	1.33	11.27
19.00	30.07	18.87	11.20	1.33	9.73
20.00	30.60	20.60	12.20	3.67	8.73
21.00	32.73	22.07	13.67	5.13	7.60
22.00	33.73	22.87	15.67	6.53	5.53
23.00	34.40	24.20	16.67	8.13	4.00
24.00	35.07	24.93	17.47	9.47	3.07

Fig. 12: tabella dei primi arrivi. SS2

Nella **Figura 13** sono riportate le **dromocrone dei primi arrivi**.

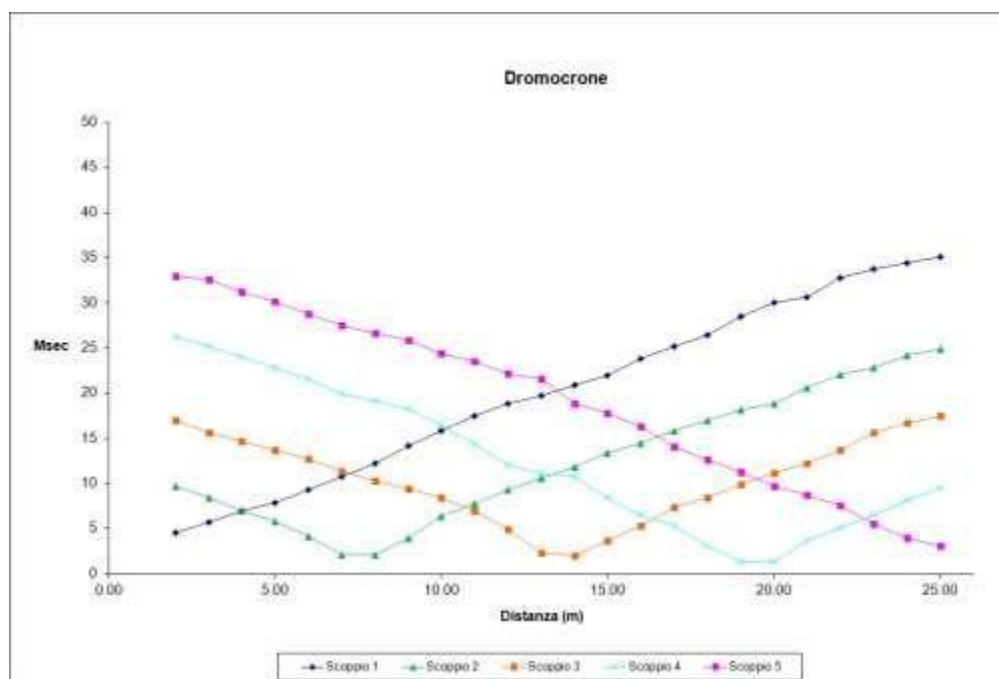


Fig. 13: dromocrone dei primi arrivi. SS2



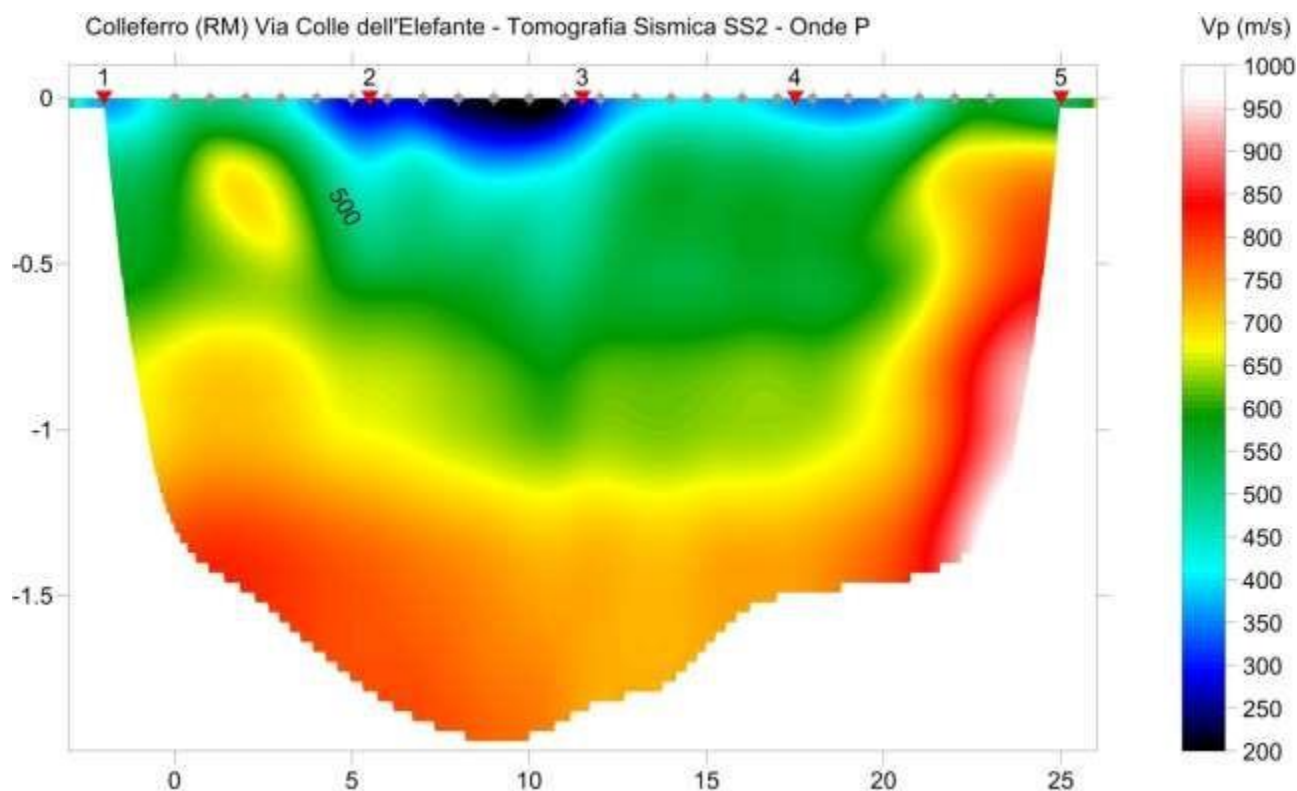


Fig. 14: tomografia sismica. SS2

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE



FOTO 2: panoramica dello stendimento SS2





2.2 MASW

ELABORAZIONE DEI DATI M1:

Per ciò che riguarda l'**elaborazione dei dati** è stato utilizzato il software **Geopsy** per ottenere il **grafico di dispersione** ed il software **Dinver** per l'**elaborazione del profilo di V_{s30}** .

I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 1.000 campioni al secondo per un totale di 2 secondi di acquisizione.

La **distanza intergeofonica** è stata stabilita in 1,00 metro, mentre lo **scoppio di energizzazione** è stato effettuato a 2,00 metri dal primo geofono, come mostrato di seguito in **Figura 14**.

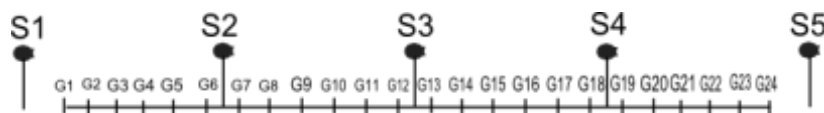


Fig. 14: profilo sismico utilizzato e modalità di energizzazione del terreno.

Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stesa eseguita:

In **Fig. 15** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 16** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

In **Fig. 17** è riportato il confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita; In **Fig.**

18 è riportato il grafico mostrante l'andamento della **V_s** con la profondità;

In **Fig. 19** è riportata la tabella utilizzata per il calcolo di **V_{s30}** .

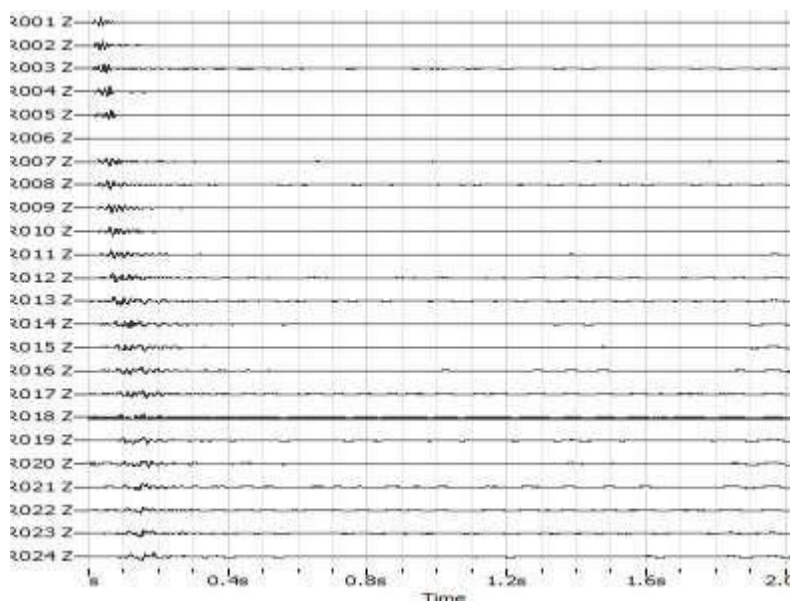


Fig.15: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della prospezione. M1



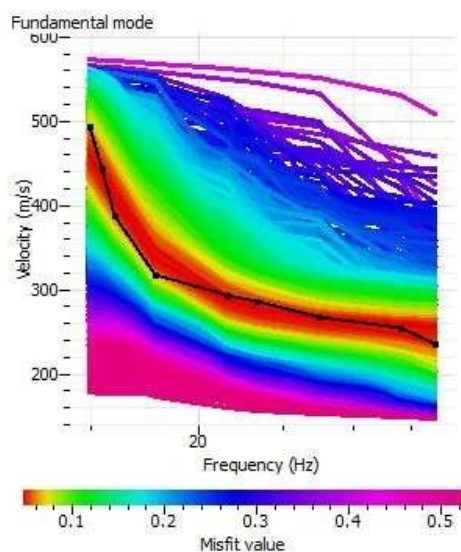


Fig. 16: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale. M1

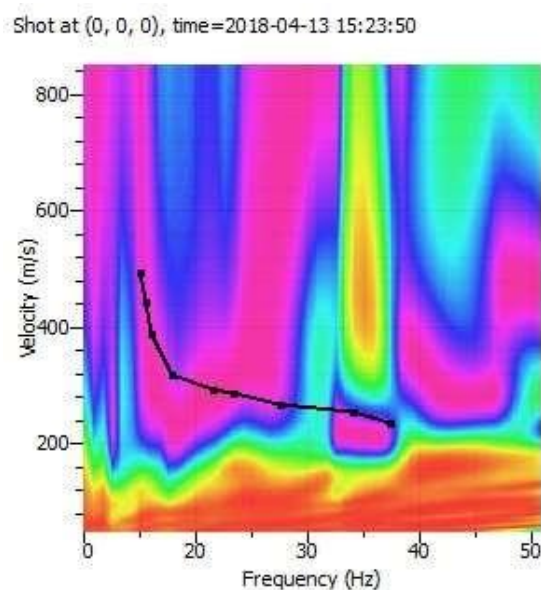


Fig. 17: confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita.M1



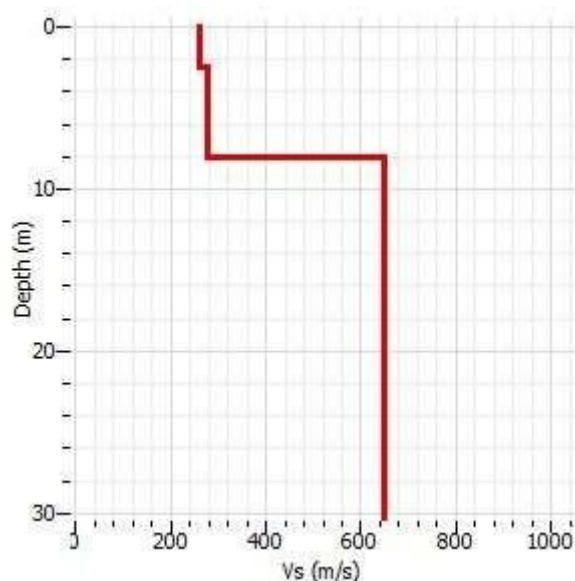


Fig. 18: profili di Vs M1

Sismostrato	Spessore (m)	Vs (m/s)	h/Vs
1	2.5	250	0.010
2	5.5	280	0.020
3	22	665	0.033
	30		
Vs30 (m/s)	478	Categoria Suolo: B	

Fig. 19: tabella per il calcolo di Vs₃₀. M1

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROVA MASW M1



FOTO 3: esecuzione del momento di energizzazione. M1





ELABORAZIONE DEI DATI M2

Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stesa eseguita:

In Fig. 20 è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In Fig. 21 è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

In Fig. 22 è riportato il confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita;

In Fig. 23 è riportato il grafico mostrante l'andamento della Vs con la profondità;

In Fig. 24 è riportata la tabella utilizzata per il calcolo di Vs30

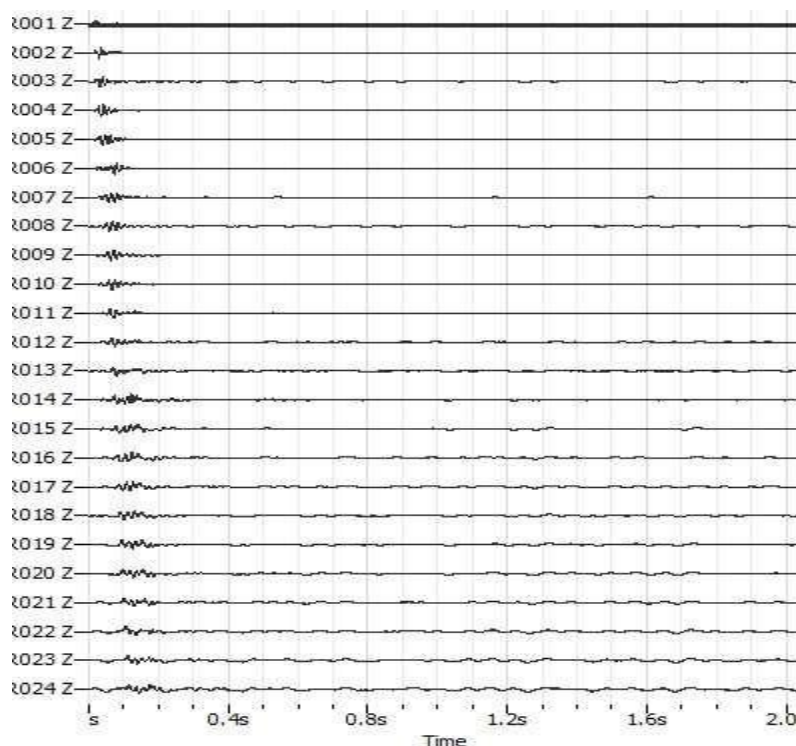


Fig.20: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della prospezione. M2



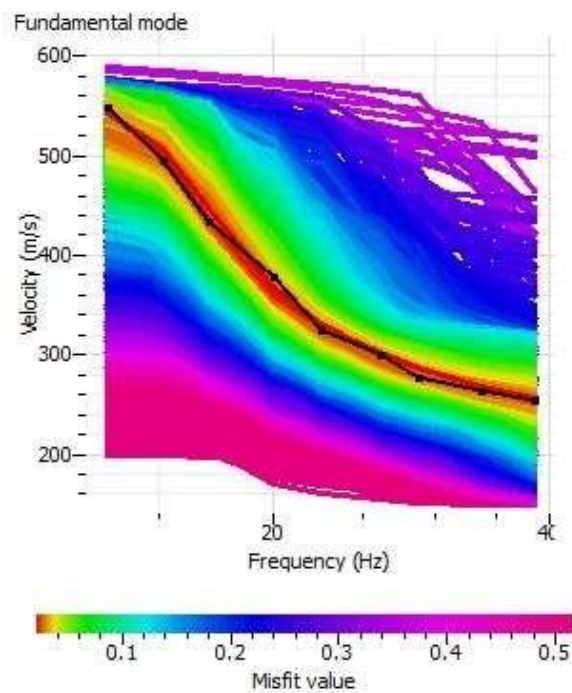


Fig. 21: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale. M2

Shot at (0, 0, 0), time=2018-04-13 15:26:10

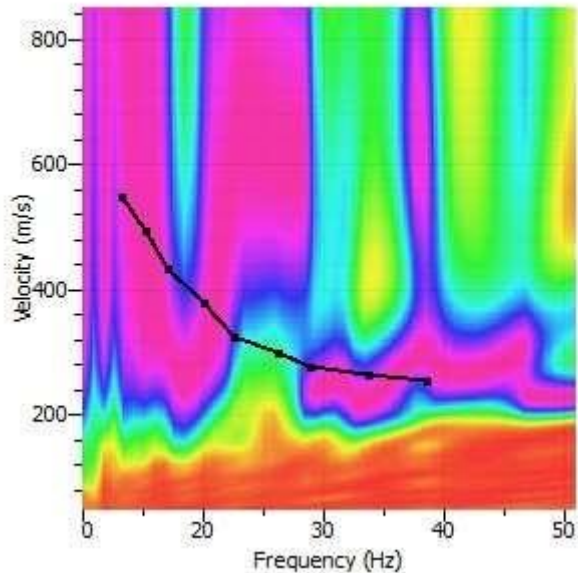


Fig. 22: confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita. M2



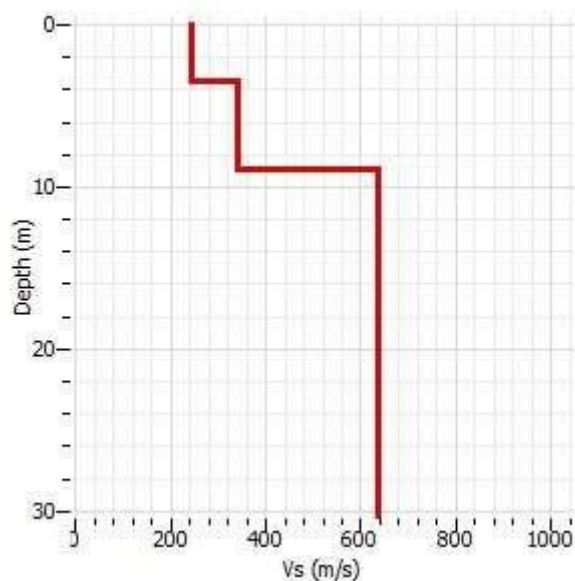


Fig. 23: profili di Vs. M2

Sismostrato	Spessore (m)	Vs (m/s)	h/Vs
1	3.3	245	0.013
2	5.5	340	0.016
3	21.2	645	0.033
	30		
Vs30 (m/s)	480	Categoria Suolo: B	

Fig. 24: tabella per il calcolo di Vs₃₀. M2

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROVA MASW M2



FOTO 4: esecuzione del momento di energizzazione M2





CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO DI INDAGINE

Riguardo alla classificazione sismica dei suoli di fondazione *in situ* prevista dalla Normativa in vigore (**D.M. 17 Gennaio 2018, Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni**), vengono identificate n° **5 classi** (denominate rispettivamente **A, B, C, D** e **E**) ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico.

Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

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





Per V_{s30} s'intende la media pesata delle velocità delle onde **S** negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione.

Per il suolo di fondazione della zona di studio il parametro **Vs30** è caratterizzato dalle seguenti velocità rilevate:

- $V_{s30} M1$ pari a 478 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt
= suolo categoria B,
- $V_{s30} M2$ pari a 480 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt
= suolo categoria B.

Calcolato, quindi, con la prospezione geofisica **MASW** il valore di V_{seq} valido è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine, che rientra nella **categoria di tipo B**: tale sottosuolo è definito come *"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 360 m/s e 800 m/s"*

IL DIRETTORE TECNICO

Dott. Carlo Cortese





INDICE

1	INTRODUZIONE	PAG. 02
2	ELABORAZIONE DELLA PROSPEZIONE GEOFISICA SUPERFICIALE	
	CON APPLICAZIONE DEL “<u>METODO DI NAKAMURA</u>”	PAG. 03
3	ANALISI DEL RUMORE SISMICO	PAG. 05





1. INTRODUZIONE

In questo **ALLEGATO SISMICO** si descrivono i risultati provenienti dalla **campagna di indagini geofisiche** effettuata in Via Colle dell'Elefante nel comune di Colleferro (RM) dalla ditta "GEOSECURE s.a.s.", nel mese di **aprile 2018**, a servizio del Progetto denominato "REALIZZAZIONE NUOVA SEDE ISTITUTO SCOLASTICO "PAOLO PARODI DELFINO" IN VIA DEL PANTANACCIO – IN VARIANTE AL P.R.G. VIGENTE".

Nel dettaglio, la **campagna di indagini geofisiche** eseguite nell'area è consistita in:

- N° 01 PROVA SISMICA PASSIVA SUPERFICIALE CON APPLICAZIONE DEL "METODO DI NAKAMURA".

La corretta ubicazione delle indagini eseguite nell'area allo studio è riportata di seguito in **Figura 1**:



Fig. 1: ubicazione delle indagini geofisiche eseguite nel Comune di Colleferro (RM)





2. ELABORAZIONE DELLE PROSPEZIONI GEOFISICHE SUPERFICIALI CON APPLICAZIONE DEL “METODO DI NAKAMURA”

REPORT INDAGINE SISMICA METODO DI NAKAMURA

LOCALITA': Colleferro (RM)

STRUMENTAZIONE

I microtremori sono stati registrati con una stazione sismica costituita da:

1. acquisitore **A6000S (M.A.E.)**



Specifiche Tecniche:

- *Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta*
- *Range dinamico: 144 dB (teorico)*
- *Distorsione massima: +/-0.0010%*
- *Banda passante: 2Hz-30KHz*
- *Common mode rejection: 110 dB a 60 Hz*
- *Diafonia: -120dB a 20 Hz*
- *Soglia di rumore dell'amplificatore programmabile: 27nV*
- *Precisione del trigger: 1/30 del tempo di campionatura*
- *Range massimo segnale in ingresso: +/-5V*
- *Impedenza di ingresso a 1000 campioni /secondo: 20Mohm*





- *Formato dei dati: SEG-2 standard (32-bit long integer) o ASCII*





- *Alimentazione: 12V DC, fornita da apposito power box ricaricabile. Assorbimento medio: 1.5A*
- *Sistema Operativo: Windows Embedded Standard 2009*

2. velocimetro **S3S (M.A.E.)**

Sensore 3D da superficie



Specifiche Tecniche:

- *Sensore geofonico da 4.5 Hz*
- *Componente verticale n.1*
- *Componente orizzontale n.2*
- *Sfasamento delle componenti orizzontali 90°*
- *Contenitore in alluminio*
- *Bolla e piedini di livellamento*
- *Dimensioni: 150x150x150 mm*

La stazione è stata integrata di un **ricevitore GPS** per la sincronizzazione del tempo e per la determinazione delle coordinate geografiche del punto di registrazione.

I parametri di acquisizione scelti in fase di registrazione sono: frequenza di campionamento a 0,008 secondi, ossia 125 Hz e un tempo totale di acquisizione pari a 10 min.



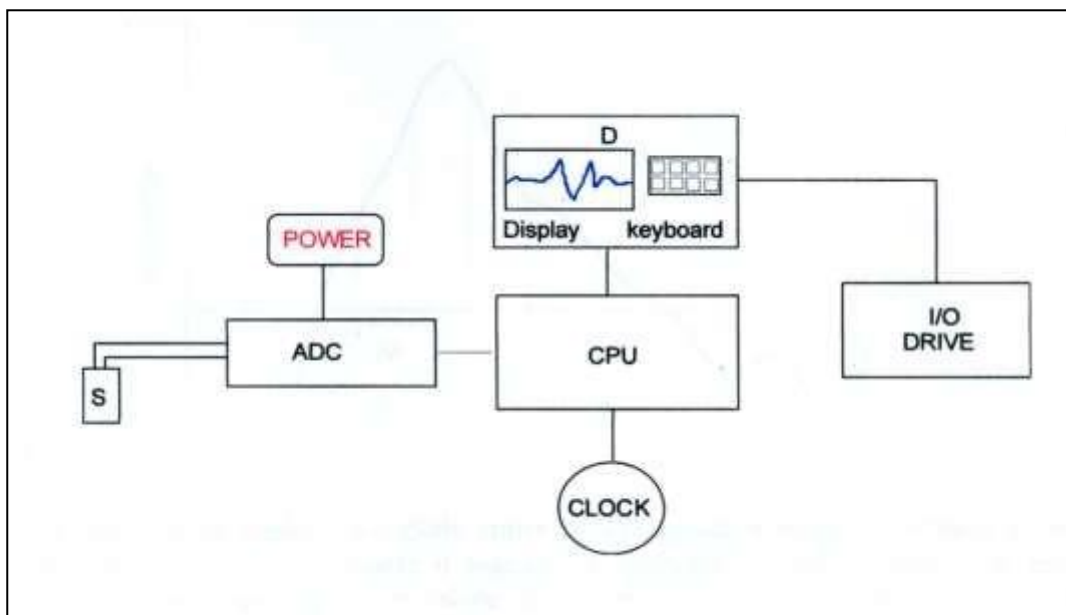


Fig. 2: schema di stazione sismica (S: sismometro, POWER: alimentazione, ADC: convertitore analogico/digitale, CPU: Central Processing Unit, I/O: Input/Output e sistema archiviazione dati, CLOCK: sistema del tempo (antenna GPS), D: sistema di visualizzazione del segnale e impostazione dei parametri di acquisizione).

ANALISI DEI DATI DI RUMORE SISMICO

Per applicare il metodo dei rapporti spettrali H/V si è usufruito del software Geopsy (M. Whatelet, 2002-2007), per la realizzazione dei grafici è stato necessario l'utilizzo del software Microsoft Excel.

La singola registrazione è stata archiviata su un disco esterno in dotazione alla strumentazione come files di tipo SEG2.

Sito Nome file

1 S1.SG2

Tabella 1: nomenclatura files archiviati.

Per il calcolo dei rapporti spettrali H/V (tecnica di Nakamura) è stato utilizzato il software **Geopsy** (M. Whatelet, 2002-2007).



Il software **Geopsy** opera l'analisi spettrale seguendo una procedura descritta qui di seguito:

- Scelta della finestra o delle finestre di analisi sulle tre componenti: può avvenire sia manualmente sia automaticamente. L'obiettivo della selezione automatica è considerare la parte meno rumorosa del segnale effettuando il rapporto tra l'ampiezza media su una finestra corta (STA, Short Term Average) e l'ampiezza media su una finestra lunga (LTA, Long Term Average) di segnale. Se il valore del rapporto STA/LTA rimane in un certo range definito in punti, una finestra di analisi è selezionata. Una finestra di analisi può sovrapporsi ad una finestra seguente secondo una certa percentuale. Nella tabella 2 vengono riportati i parametri per la selezione automatica delle finestre impostati in questo lavoro ed in tabella 3 viene riportato, per ciascun sito, il numero di finestre selezionate;

Parametro	Valore
Lunghezza della finestra corta (STA) in secondi	1.0
Lunghezza della finestra lunga (LTA) in secondi Livello minimo del rapporto STA/LTA	25.0
Livello massimo del rapporto STA/LTA	0.5
Lunghezza delle finestre di analisi in secondi	2.0
Percentuale di sovrapposizione delle finestre in secondi	16.0
	8.0

Tabella 2: parametri di impostati in GEOPSY per la selezione automatica delle finestre.

- Calcolo dello spettro di ampiezza per ciascuna componente e per ciascuna finestra mediante algoritmo FFT e tapering tramite funzione cosenoidale;
- Smoothing tramite funzione di Konno & Ohmachi (1998);
- Calcolo della media geometrica tra le componenti orizzontali N-S e E-W;
- Calcolo dei rapporti spettrali H/V su tutte le finestre;
- Calcolo della media dei rapporti spettrali H/V calcolati per ciascuna finestra;
- Stima degli errori sui rapporti spettrali.





Sito	Numero finestre
1	36

Tabella 3: numero di finestre temporali per ciascun sito selezionate dal programma GEOPSY.

Nelle figure seguenti viene riportato il grafico del rapporto spettrale H/V per il sito, calcolato con il programma GEOPSY.

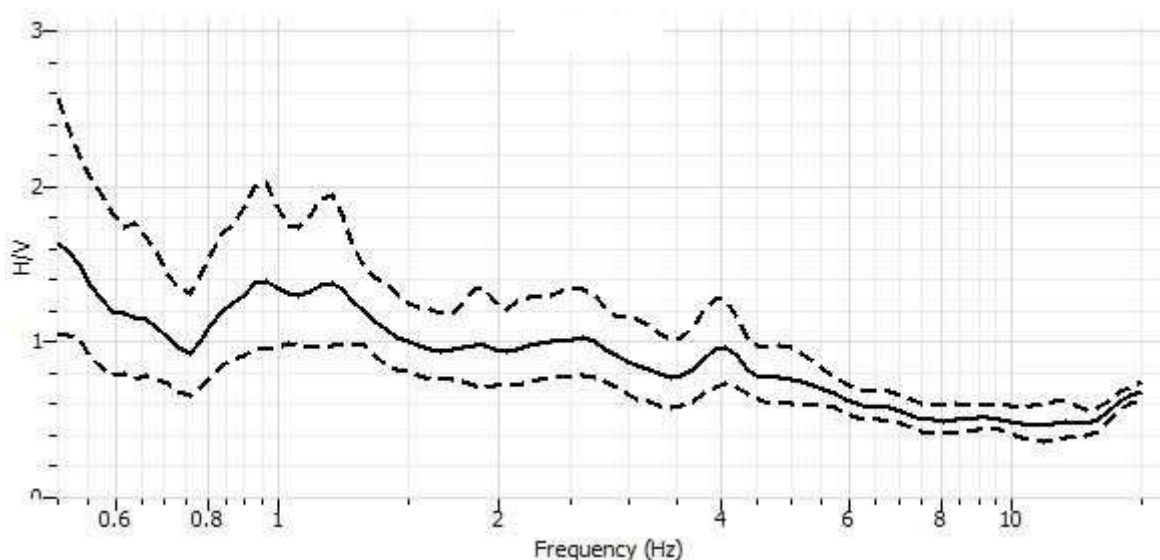


Figura 3: rapporto spettrale H/V per il sito 1.

DESCRIZIONE DEI RISULTATI

Data la natura del sito indagato, non si registrano particolari picchi di amplificazione significativi.

Non si notano inoltre evidenti ulteriori picchi di amplificazione se non a bassissime frequenze ma date le condizioni ambientali di indagine si consiglia di ritenere come valore più affidabile il solo valore di frequenza del picco e non quello della sua amplificazione.





Dal punto di vista empirico, è infatti 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 seguente:

$$freq. naturale edificio \approx 10 Hz / numero piani.$$

È la **coincidenza di risonanza tra terreno e struttura ad essere particolarmente pericolosa, perché dà luogo alla massima amplificazione**; tale correlazione è espressa dalla relazione seguente:

$$freq. naturale edificio \approx freq. naturale coperture$$

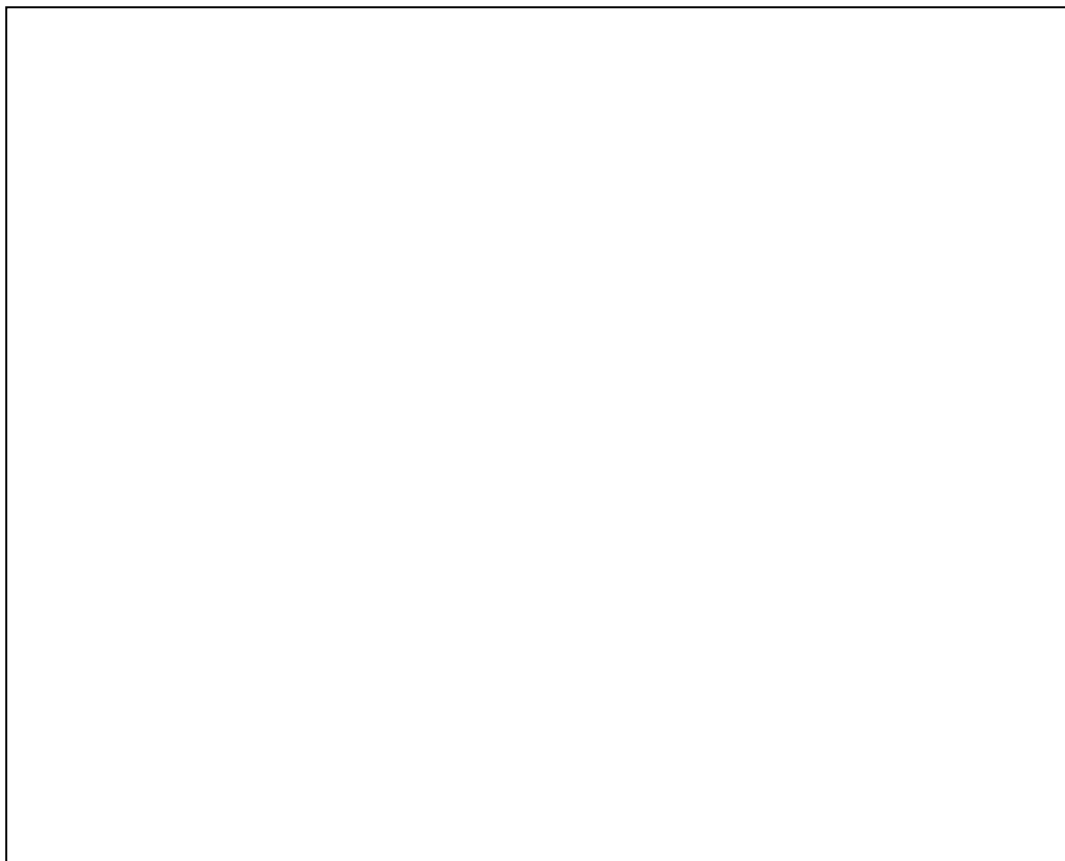
La combinazione delle relazioni fino ad ora espresse porta a:

$$10 Hz / numero piani \approx V_s / (4H),$$

da cui si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che possono determinare situazioni pericolose e devono quindi essere oggetto di studi approfonditi.

Se si considera una relazione tipica tra **altezza di un edificio in cemento armato** e il suo **periodo di risonanza** con i relativi intervalli di confidenza, è possibile infatti rappresentare in un grafico come quello di **Figura 4**, la relazione tra frequenza di risonanza del sito e l'altezza dell'edificio con analoghe frequenze di vibrazione.





***Fig. 4: Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato:
la zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.***

L'area blu indica la zona in cui la coincidenza delle frequenze di risonanza (sito ed edificio) produce effetti di amplificazione che devono essere attentamente valutati perché sono proprio questi fenomeni a incidere pesantemente sulla stabilità degli edifici.

IL DIRETTORE TECNICO

Dott. Carlo Cortese



INDICE

1	INTRODUZIONE_____	PAG. 02
2	ELABORAZIONE INDAGINE SISMICA DOWN HOLE ESEGUITA ALL'INTERNO DEL FORO DI SONDAGGIO DENOMINATO S1 _____	PAG. 06
3	CLASSIFICAZIONE DEL SITO IN BASE AL METODO PREVISTO DAL D.M. 17 GENNAIO 2018_____	PAG. 13



1. INTRODUZIONE

In questo ***Allegato Sismico*** si descrivono i risultati provenienti dall'esecuzione della indagine geofisica ***Down Hole*** effettuata nel in Via Colle dell'Elefante nel comune di Collesferro (RM) nel mese di aprile 2018, all'interno del foro di sondaggio denominato **S1** di profondità pari a 30,00 mt a servizio del Progetto denominato **"REALIZZAZIONE NUOVA SEDE ISTITUTO SCOLASTICO "PAOLO PARODI DELFINO" IN VIA DEL PANTANACCIO – IN VARIANTE AL P.R.G. VIGENTE.**

Il metodo geofisico ***Down Hole*** consente la caratterizzazione meccanica dei terreni investigati mediante la stima diretta della velocità di propagazione delle onde elastiche sia di compressione (**V_p**) che di taglio (**V_s**) e indirettamente dei rispettivi moduli elastici.

Per l'indagine è stato necessario innanzitutto predisporre adeguatamente il foro di sondaggio in cui calare i ricevitori in fase di registrazione.

Il foro denominato **S1** è stato, infatti, preventivamente incamiciato con idonea tubazione in PVC; tale rivestimento, atto a resistere alle pressioni del terreno e della falda, è stato quindi chiuso all'estremità inferiore e cementato nell'intercapedine tra le pareti del foro di sondaggio stesso e il tubo in PVC in modo da garantire completa continuità elastica tra terreno e tubazione.

L'obiettivo delle indagini effettuate è stato la caratterizzazione dinamica dei terreni attraverso il parametro della velocità sismica delle onde **P**, delle onde **S_H** e la definizione del valore delle **V_{s30}** utile per la classificazione dei suoli di fondazione nelle categorie previste dalla vigente Normativa antisismica (**N.T.C. - 2018**).

La prova sismica è stata svolta, in accordo con la Committenza, con la misurazione dei parametri sismici validi per i primi **30,00** mt a partire dal **p.c.**



STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale **M.A.E. modello A 6000 S** (**Figura 1**), avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- *capacità di campionamento dei segnali tra 0,002 e 0,00005 sec;*
- *sistema di comunicazione e di trasmissione del “tempo zero” (time break);*
- *filtri High Pass e Band Reject;*
- *“Automatic Gain Control”;*
- *convertitore A/D a 24 bit;*
- *tripletta di geofoni con periodo proprio di 4.5 Hz dotati di aggancio pneumatico;*
- *dispositivo battente pesante di massa pari a 10,00 Kg.*



Fig. 1: sismografo multicanale M.A.E. modello A 6000 S e geofono da foro.

Il sismografo è stato configurato a 3 canali con acquisizione computerizzata dei dati, dispositivo battente pesante di massa pari a 10,00 Kg quale sorgente generatrice di onde sismiche e





tripletta di geofoni a componente verticale, orizzontale N/S ed E/W, con frequenza propria di 4.5 Hz.

Il segnale è stato campionato a 15.000 campioni al secondo per un totale di 0,20 secondi di acquisizione.

Tutti gli strumenti di misura, impiegati in accordo con il calendario di taratura imposto al sistema di qualità in uso presso la **Geosecure Sas**, sono tarati presso il laboratorio della **M.A.E. s.r.l.** di Frosolone (IS).

Durante la fase di acquisizione dati la **Ditta Geosecure Sas** si è avvalsa delle seguenti figure professionali:

- n. 1 geofisico prospektore;
- n. 2 assistenti al geofisico prospektore.

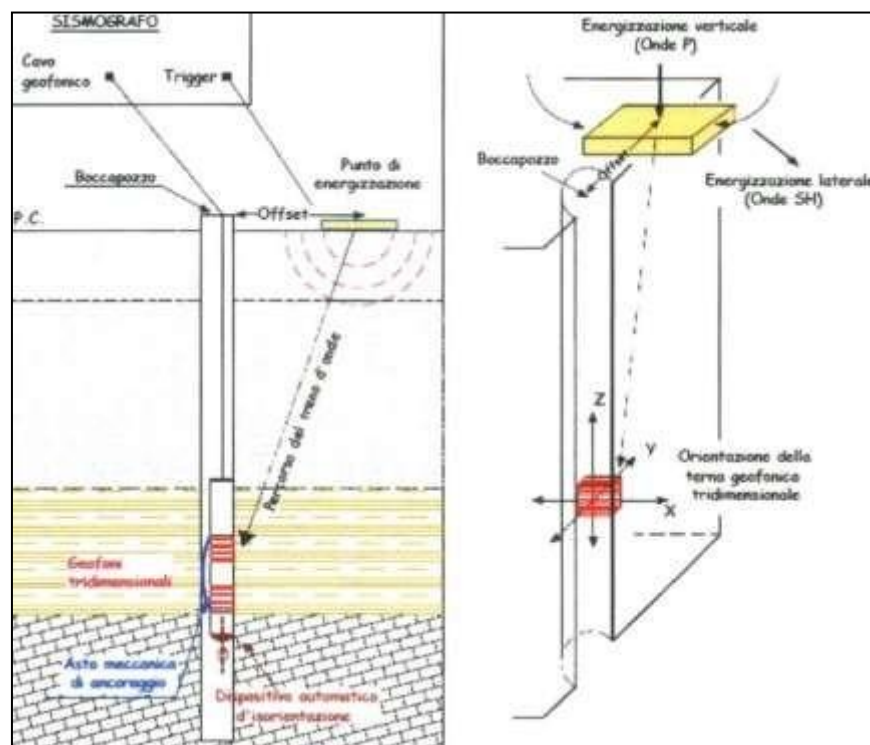


Fig. 2: rappresentazione schematica di una prova sismica con metodologia down-hole

ACQUISIZIONE DI CAMPAGNA E TRATTAMENTO DEI DATI ACQUISITI

L'indagine **Down Hole** è stata condotta nel foro di sondaggio denominato **S1** di profondità pari a **30,00 mt.**

Il sistema energizzante adottato è in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza, con forme d'onda ripetibili e direzionali, vale a dire con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali (ed eventualmente anche verticali).

Come sistema di ricezione è stata utilizzata un tripletta di geofoni orientati: due geofoni orizzontali e perpendicolari tra loro per acquisire le onde di taglio bidirezionali polarizzate nel piano orizzontale SH, ed un geofono verticale per acquisire le onde di compressione.

Sono state eseguite misure periodiche a partire da 1,00 mt dal piano di campagna fino a fondo foro con intervalli di misura di 1,00 mt; nella fase di discesa la traversina è stata colpita in maniera tale da generare onde di taglio a componente direzionale destra; nella fase di risalita, invece, la componente direzionale delle onde **s** è stata sinistra.

Per ogni posizione di misura, sono stati registrati 2 FILES presentanti componenti direzionali opposte corrispondenti alle 2 battute sulla traversina che è stata posta ad una distanza dalla bocca del foro pari a 3 metri.

Laddove si sia reso necessario, per ottenere una migliore qualità del dato sismico, si è proceduto alla registrazione della singola misura energizzando anche più volte con la stessa configurazione effettuando quello che in gergo geofisico viene definito *stack delle battute*.

In tutto sono state acquisite **90 tracce** e i dati acquisiti in campagna, in formato **SEG-2**, sono stati innanzitutto convertiti nel formato **Seismic Unix (SU)** e filtrati per la rimozione di disturbi strumentali ed eventuali noise ambientali che avrebbero potuto pregiudicare il segnale sismico



ed infine elaborati utilizzando il software “*Ps Lab 2.13*” della **M.A.E. s.r.l.** (Molisana Apparecchiature Elettroniche).

Di seguito verranno riportate integralmente le elaborazioni dei dati sismici così acquisiti.

2. ELABORAZIONE INDAGINE SISMICA DOWN HOLE ESEGUITA ALL'INTERNO

DEL FORO DI SONDAGGIO DENOMINATO S1

Il primo arrivo delle onde **S** è stato individuato tramite l'inversione di fase che si nota sovrapponendo i sismogrammi dei due scoppi con componente direzionale opposta, effettuati alla stessa profondità.

Nella **Figura 3** a pag. 7 sono riportati i sismogrammi, registrati alle diverse profondità ottenuti a seguito delle energizzazione verticali;

Nella **Figura 4** a pag. 8 sono riportati i sismogrammi, registrati alle diverse profondità con le sovrapposizioni delle tracce relative alle energizzazioni tangenziali;

Nella **Figura 5** a pag. 9 è riportata la tabella dei **primi arrivi**;

Nella **Figura 6** a pag. 10 è riportato il grafico delle **velocità intervallari**.





GEOSECURE s.a.s.
GEOLOGICAL & GEOPHYSICAL SERVICES

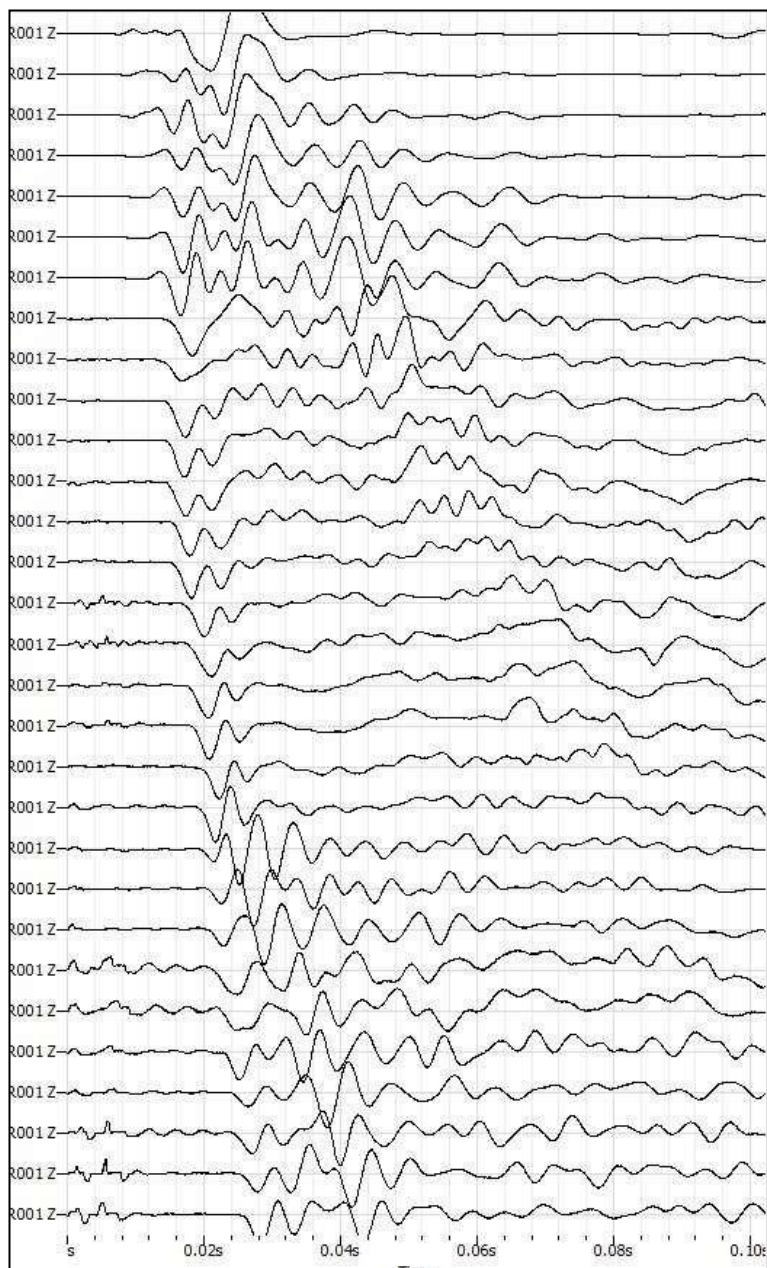


Fig. 3: sismogrammi onde di compressione P.



Via Barcellona, 20 - 86021 Bojano (CB)
TELEFONO 0874-783120 / FAX 0874-773186 / MOBILE 328.6429991
www.geosecure.it info@geosecure.it



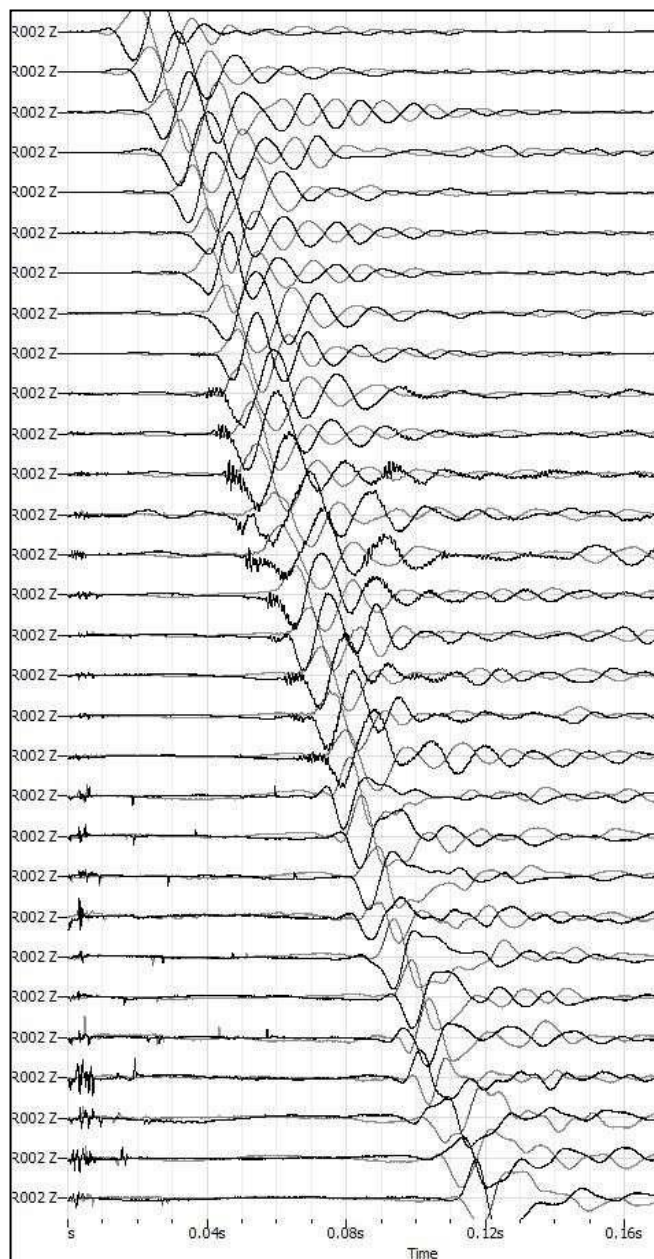


Fig. 4: sismogrammi onde di taglio S





profondita (m)	Tabella primi arrivi			
	t (onde P)	Vp (m/s)	t (onde S)	Vs (m/s)
-1	0.011	505	0.0137	320
-2	0.0108	520	0.0145	325
-3	0.0119	532	0.0174	330
-4	0.012	540	0.0185	335
-5	0.0124	555	0.0159	342
-6	0.0127	601	0.0166	390
-7	0.0119	650	0.0184	414
-8	0.0112	720	0.0181	450
-9	0.0114	725	0.0179	455
-10	0.0118	750	0.0186	475
-11	0.0114	765	0.018	460
-12	0.0117	760	0.0187	466
-13	0.0122	790	0.0196	472
-14	0.0149	832	0.0215	500
-15	0.0154	851	0.0229	550
-16	0.0163	843	0.0234	524
-17	0.0169	849	0.0247	530
-18	0.0174	890	0.0258	590
-19	0.0175	921	0.026	620
-20	0.0172	952	0.0259	632
-21	0.0178	978	0.0268	661
-22	0.0187	1012	0.0279	670
-23	0.0185	1121	0.0284	698
-24	0.0196	1124	0.0298	720
-25	0.0199	1265	0.0306	772
-26	0.0207	1264	0.0315	760
-27	0.0189	1255	0.0306	802
-28	0.0197	1241	0.0309	810
-29	0.0186	1314	0.0314	805
-30	0.0209	1354	0.0326	925

Fig. 5: tabella dei tempi di primo arrivo corretti.





Velocità Intervallo DH

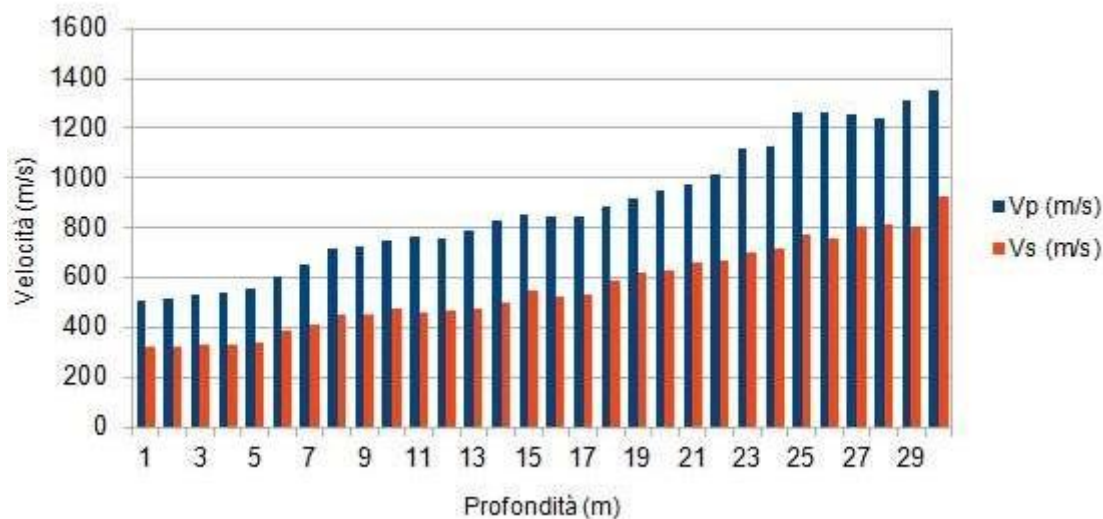


Fig. 6: grafico delle velocità intervallari.

Di seguito, invece, vengono riportati i grafici delle **dromocrone** con la relativa interpretazione stratigrafica e la tabella con i parametri elastici degli strati individuati.



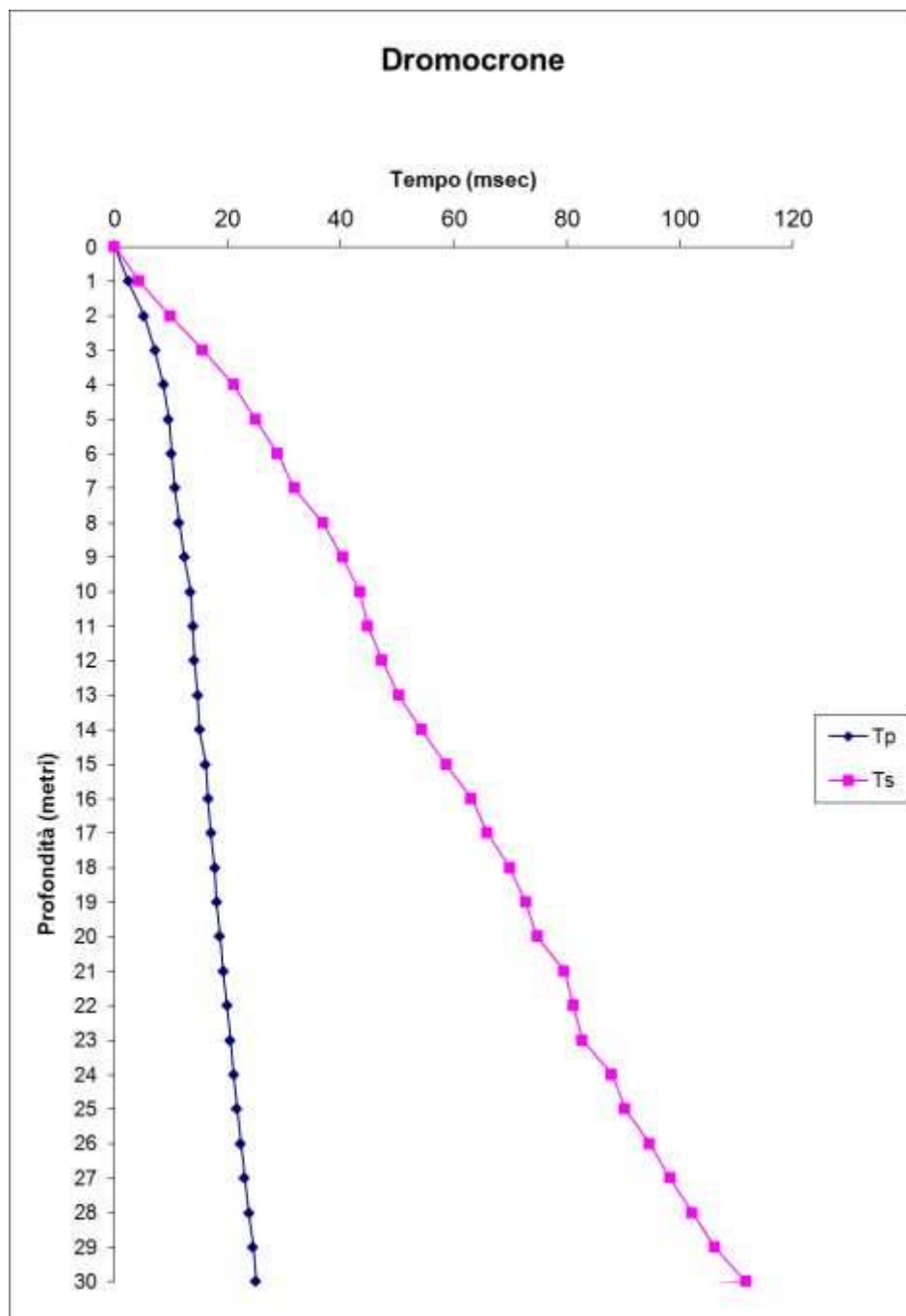


Fig. 7: dromocrone delle onde P e onde S.





Nella tabella seguente vengono riportati i **parametri elastici degli strati attraversati**.

	Vp	Vs	ρ	E	ν	k	μ	λ
	Longitudinale	Taglio	Densità	Young	Poisson	Bulk	Rigidità	Lamè
	m/s	m/s	kg/m ³	Pa		Pa	Pa	Pa
Sismostrato 1	554	320	1650	4.22E+08	0.25	2.81E+08	1.69E+08	1.68E+08
Sismostrato 2	820	503	1700	1.03E+09	0.2	5.70E+08	4.30E+08	2.83E+08
Sismostrato 3	1050	640	1750	2.54E+09	0.19	1.38E+09	1.06E+09	6.71E+08

Fig. 8: tabella dei parametri elastici della stratificazione individuata.

Nella **Fig. 9** viene riportato il calcolo del parametro **Vs30** per l' intervallo di sottosuolo richiesto dal Professionista incaricato (da **0,00 m a -30,0 m**).

Sismostrato	Spessore (m)	Vs (m/s)	h/Vs
1	5	320	0.016
2	10	503	0.020
3	15	640	0.023
	30		
Vs30 (m/s)	509	Categoria Suolo: B	

Fig. 9: calcolo di Vs₃₀ da 0,00 m a -30,00 m).



3. CLASSIFICAZIONE DEL SITO IN BASE AL D.M. 17 GENNAIO 2018

Riguardo alla classificazione sismica dei suoli di fondazione *in situ* prevista dalla Normativa in vigore (**D.M. 17 Gennaio 2018, Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni**), vengono identificate n° **5 classi** (denominate rispettivamente **A, B, C, D** e **E**) ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico.

Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

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



Per V_{s30} s'intende la media pesata delle velocità delle onde **S** negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione.

Per il suolo di fondazione della zona di studio la V_{s30} mostra il seguente valore (cfr **Figura 9, Pagina 12**):

- V_{s30} pari a 509 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato da 0,00 mt. a -30,00 mt.

Calcolato, quindi, con la prova sismica **down-hole** il valore di V_{s30} valido per detto intervallo è stato possibile classificare il sottosuolo del sito di indagine. Il sito è da ascrivere alla **categoria di tipo B**: tale sottosuolo è definito dalla Normativa come **“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 360 m/s e 800 m/s”**

Il Direttore Tecnico

Dott. Carlo Cortese

