



**REGIONE**  
**MOLISE**



***COMUNE di***

**MACCHIA D'ISERNIA**

***(PROVINCIA DI ISERNIA)***

***REALIZZAZIONE NUOVO POLO SCOLASTICO***  
***"G.GALILEI" DESTINATO A SCUOLA SCUOLA***  
***DELL'INFANZIA E PRIMARIA***  
***CUP: D73H19000900006***

**Committenza:** COMUNE MACCHIA D'ISERNIA

**Località:** MACCHIA D'ISERNIA (IS)

**RELAZIONE GEOLOGICO – TECNICA A  
SERVIZIO DEL PROGETTO PRELIMINARE**



**IL DIRETTORE TECNICO:**

**Dott. Geol. Vincenzo Cortese**



**DATA:** DICEMBRE 2020

**Rev. 0**

## **INDICE**

<b>1. PREMESSA</b>	<b>Pag. 02</b>
<b>2. GEOLOGIA E TETTONICA DEL TERRITORIO IN ESAME</b>	<b>Pag. 06</b>
<b>3. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO</b>	<b>Pag. 08</b>
<b>4. VERIFICA DI COMPATIBILITA' GEOMORFOLOGICA</b>	<b>Pag. 09</b>
<b>4.1 CARATTERIZZAZIONE LITO-STRATIGRAFICA DI DETTAGLIO DELL'AREA</b>	<b>Pag. 13</b>
<b>4.2 INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO</b>	<b>Pag. 14</b>
<b>4.3 INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO</b>	<b>Pag. 19</b>
<b>4.4 MODELLO GEOLOGICO VALIDO PER L'AREA DI STUDIO</b>	<b>Pag. 20</b>
<b>4.5 VERIFICA DI STABILITA'</b>	<b>Pag. 22</b>
<b>5. MODELLAZIONE DEL LOTTO INVESTIGATO</b>	<b>Pag. 35</b>
<b>6. CONCLUSIONI</b>	<b>Pag. 49</b>

## **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 Monte Acerone n° 64, iscritto all'Albo Professionale dell'*Ordine dei Geologi della Regione Molise* al n° **155** - sez. A "Geologi Specialisti",

**DIRETTORE TECNICO** della SOCIETA' CERTIFICATA SOA Att. N. 7918/63/01, denominata **GEOSECURE SRL**, avente sede in Roma (RM), alla Via Tuscolana n.1003, è stato incaricato dal **COMUNE DI MACCHIA D'ISERNIA**, di eseguire uno studio di **Compatibilità Geomorfologica** nel tenimento del Comune di **MACCHIA D'ISERNIA (IS)** a corredo del Progetto per la **"REALIZZAZIONE NUOVO POLO SCOLASTICO "G. GALILEI" DESTINATO A SCUOLA SCUOLA DELL'INFANZIA E PRIMARIA - CUP: D73H19000900006"**.

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.

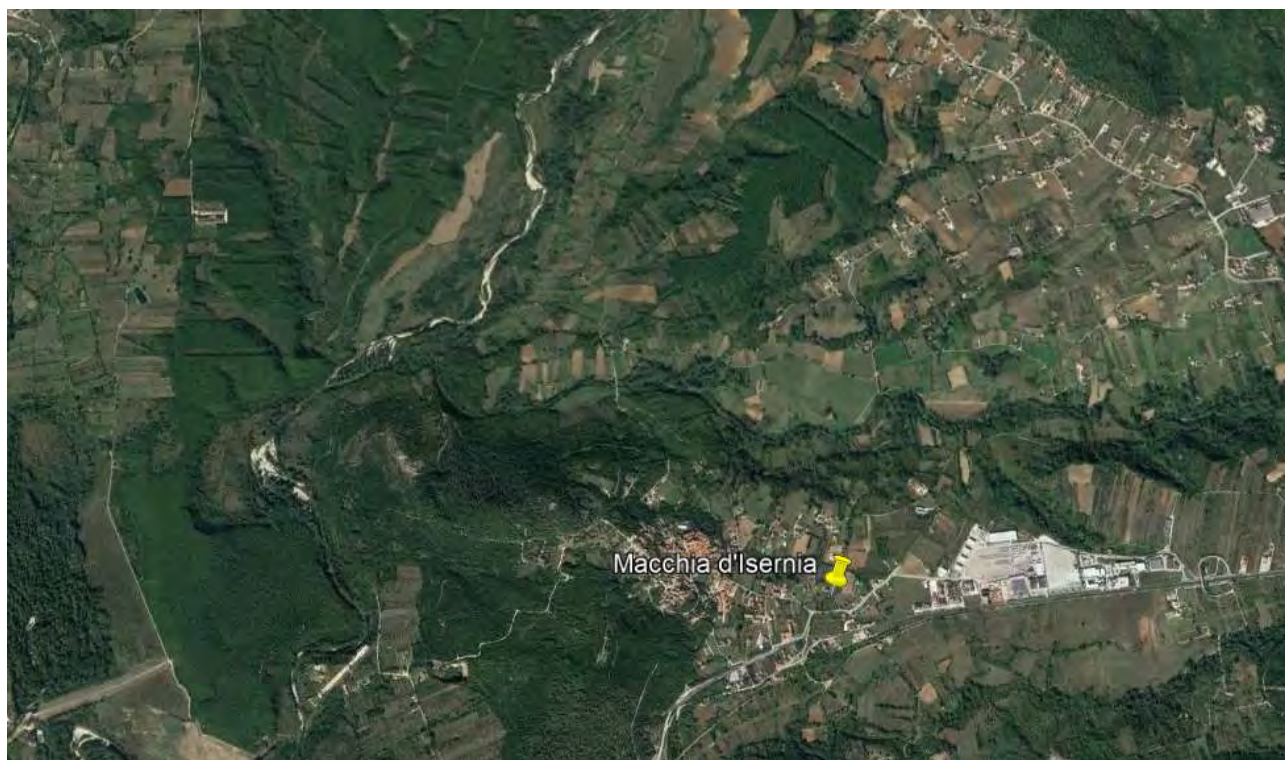
Il lavoro, nel rispetto delle **N.T.C. 2018**, ha avuto lo scopo di:

- *definire le condizioni morfologiche, idrogeologiche e tettoniche dell'area;*
- *valutare e verificare la **Compatibilità Geomorfologica** e 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 in situ.

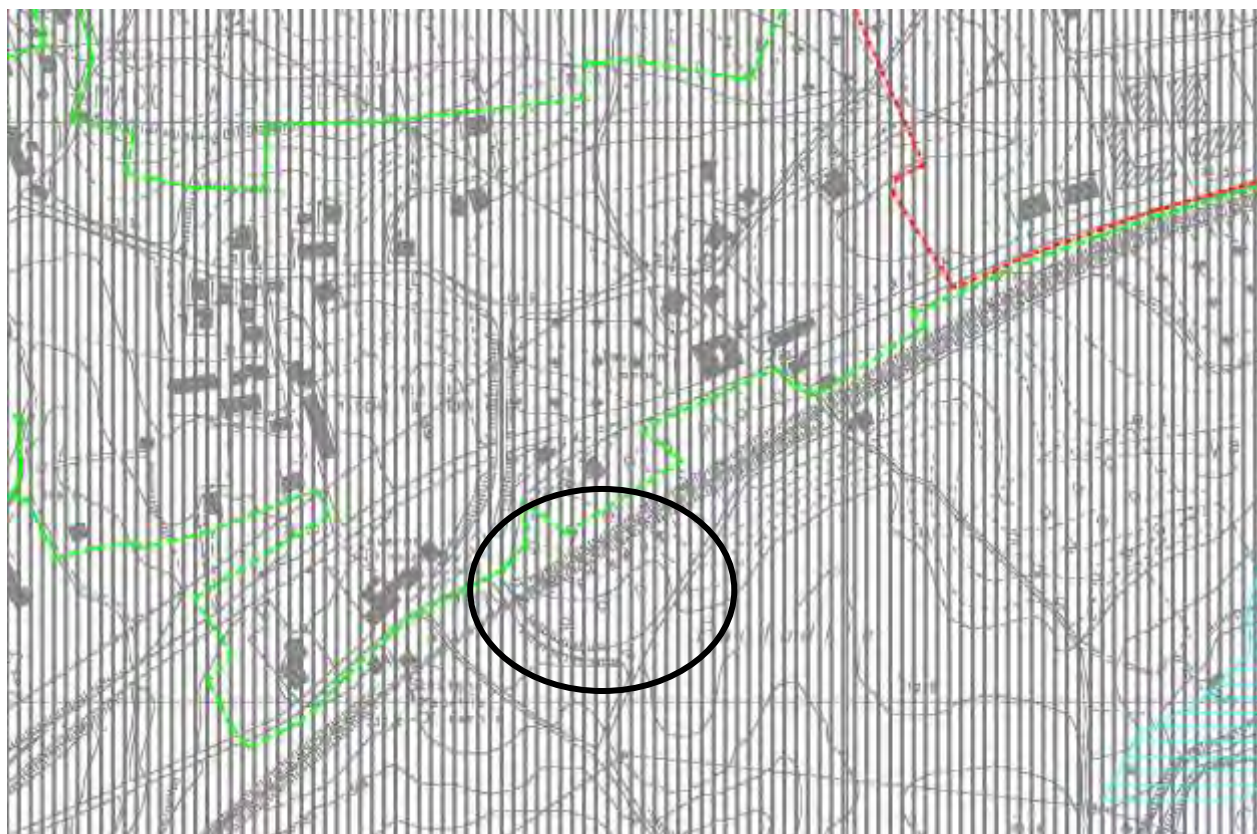
Di seguito si espongono le risultanze di cui trattasi e le considerazioni emerse dallo studio effettuato.





***Fig. 1: Immagine aerea dell'area allo studio.***





**DI SEGUITO E' RIPORTATO UNO STRALCIO DEL P.R.G. DEL COMUNE DI MACCHIA D'ISERNI (IS) CON L'INDIVIDUAZIONE DELLA ZONA OGGETTO DI STUDIO:**



#### LEGENDA

-  - Perimetro centro urbano
-  - Perimetro area P.I.P.

#### SISTEMA DEGLI SPAZI DI DEFINIZIONE MORFOLOGICA DEL CENTRO URBANO

-  - P.V.1 - P.V.2 - P.V.3
-  - I.T.

***Stralcio P.R.G del Comune di Macchia D'Isernia.***

Nel rispetto di quanto previsto dal DPR 380 - 2001 e successive modificazioni, di cui si riportano in testi interessanti ai fini di questo studio:

### **Sezione I - Norme per le costruzioni in zone sismiche**

#### ***.Art. 84 (L) - Contenuto delle norme tecniche - punto c***

*(Legge 3 febbraio 1974, n. 64, art. 4)*

*c) le azioni sismiche orizzontali e verticali da tenere in conto del dimensionamento degli elementi delle costruzioni e delle loro giunzioni;*

#### ***Art. 86 (L) - Verifica delle strutture - comma 1***

*(Legge 3 febbraio 1974, n. 64, art. 10)*

*1. L'analisi delle sollecitazioni dovute alle azioni sismiche di cui all'articolo 85 è effettuata tenendo conto della ripartizione di queste fra gli elementi resistenti dell'intera struttura.*

#### ***Art. 87 (L) - Verifica delle fondazioni - comma 1***

*(Legge 3 febbraio 1974, n. 64, art. 11)*

*1. I calcoli di stabilità del complesso terreno-opera di fondazione si eseguono con i metodi ed i procedimenti della geotecnica, tenendo conto, tra le forze agenti, delle azioni sismiche orizzontali applicate alla costruzione e valutate come specificato dalle norme tecniche di cui all'articolo 83.*

## **2. GEOLOGIA E TETTONICA DEL TERRITORIO IN ESAME**

L'**attuale quadro geologico e tettonico** dell'area ed i conseguenti rapporti stratigrafico-strutturali tra le diverse unità litologiche affioranti nel territorio comunale, sono il risultato di una serie di eventi che hanno interessato l'Appennino centro-meridionale negli ultimi 200 milioni di anni.

Durante tale periodo si sono, infatti, susseguite fasi di accumulo di notevoli spessori di sedimenti marini che hanno subito, dopo la fase litogenetica, intense e diverse fasi deformative.

Con l'inizio della fase orogenica, nel Miocene sup., ed il conseguente spostamento in orizzontale delle masse calcaree insieme alla loro copertura torbiditica e di colata, si ebbero traslazioni con corrugamento e sovrascorrimento delle scaglie tettoniche formatesi nel frattempo con il movimento stesso.

La **sequenza stratigrafica** rappresentativa è costituita, nella parte basale, da litotipi essenzialmente di natura calcarea e calcareo-dolomitica (calcareni cementate ben stratificate alternate a breccie poligeniche e conglomerati con elementi calcarei), seguiti da termini fluviolacustri a superficie terrazzata (materiale torrentizio e di conoide).

Dal punto di vista strutturale, l'attuale assetto dell'area appare comunque, in linea generale, determinato da un orientamento di tipo appenninico, in cui le porzioni più antiche formano le parti rilevate (massicci carbonatici mesozoici), mentre le formazioni più recenti (cenozoiche) sono incassate in una depressione tettonica.

**In dettaglio** i depositi presenti nell'area di studio sono rappresentati da calcari (nella parte occidentale), sabbie argillose con livelli conglomeratici talvolta cementati.



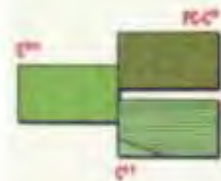


Alluvioni ghiaiose degli alvei attuali e di golaia (a); sedimenti argilloso-sabbiosi e limosi di colmata di alvei abbandonati (b); argille sabbiose, limi, sabbie siccive finissime e grossolane, con lenti di ciottoli calcarei di piccole dimensioni, e di lapilli e pomici diletati nella zona circumvolturnica (c).



#### Fluvio-lacustre:

ciottoli eterogenei, anche di grosse dimensioni, in ammassi poco o non stratificati, con rare lenti di sabbie grossolane, e superficie terrazzata (materiale torrentizio e di conoidi) (Vallée del Volturno e S. di Fornelli) (b);  
marna argillosa cinerea e giallastre varvate, sabbie argillose e sabbie giallastre, a volte con livelli torbosi, lenti di ciottoli poligenici, per lo più in copertura (a);  
conglomerati poligenici debolmente cementati, di probabile ambiente lacustre (Castel S. Vincenzo) (b).



I - Calcari, calcareniti bianche e arena, calcinudi, banchi bivalviformi ad appariti e radioli con *Thammatopora* sp., *Bryozoa* sp., *Camosia* sp., (C<sup>44</sup>) SENONIANO p.p. - CENOMANIANO.

II - Calcareniti bianche a cemento spetico, ben stratificate e «calcari saccaroidi» con frammenti di rudiste, frequentemente alternate a breccie poligeniche e conglomerati mono e poligenici a cemento ad elementi calcarei, prevalentemente bianchi. Microfossili: *Globularia* spp., *Micellina* sp., *Rotalia*, *Orbitolina* media (DASCH.), *O. spinulosa* SCHLUM., *Siderolites sub-trigonus* (LAMAR.), *Globotruncana costata* (COSI.), *G. aserti* (LATT.). La formazione trasgressiva su (C<sup>44</sup>), (G<sup>44</sup>-P) alla Mainarde, su (C<sup>44</sup>) a Rocchetta al Volturno e su (G<sup>44</sup>), (G<sup>44</sup>), (P), sul Matese occidentale e settentrionale, (PC-C<sup>44</sup>). PALEOCENE - CAMPANIANO.

III - Disegni varicolori con intercalazioni di calcari detritici, calcari tipo «scaglia» e marna, eteropici, nella parte alta, e calcari detritici biancastri e grigiastri ad a breccie poligeniche, ben stratificati, con anisoli e strati di selce grigio-nera. Nella parte basale breccie ad elementi calcarei e selciosi e cemento varicolore calcifico o marnoso, con rari lenti di selce varicolore, in banchi e strati, livelli discontinui di marna varicolore in grossi banchi (Mata, Mainarde e tra Mainarde e Sessano), Microfossili: *Globotruncana lapparenti* cronista ROLL., *G. lapparenti* tricornata (COSI.), *G. helveticus* ROLL., *Rotalia* appenninica (RINTZ), *Prionoglobotruncana stephani* (GAND.), *Orbitolina* spp., *Redbergella* spp., frammenti di rudiste. La formazione, dove affiora la base, è trasgressiva su (G<sup>44</sup>-P), (C<sup>44</sup>) SENONIANO - ALBIANO pp.

Calcari bioclastici arena e biancastri, in strati e grossi banchi, eteropici della parte basale di (C<sup>44</sup>) (M. Bocchetta), con *Orbitolina* spp., *praevalentina*, frammenti di rudiste, *Redbergella* spp., *Rotalia* appenninica (RINTZ), *Planorbis* hastatus (GAND.), (C<sup>44</sup>) CENOMANIANO - ALBIANO pp.

Fig. 2: Stralcio del F.° 161 "ISERNIA" della carta Geologica d' Italia in scala 1:100.000.



### **3. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO DEL TERRITORIO**

L'assetto idrografico superficiale dell'area di studio appare evidentemente condizionato dall'assetto geologico-strutturale dei litotipi a maggiore competenza di tipo calcareo-dolomitico.

L'idrografia superficiale è governata dal corso d'acqua principale rappresentato dal torrente Cavaliere (regime permanente) che nel tratto di nostro interesse presenta una struttura meandriforme che mette in evidenza le scarse pendenze dell'area.

La permeabilità relativa dei terreni affioranti nel Bacino del Fiume Cavaliere è ricavata da alcune principali caratteristiche macroscopiche delle singole rocce (porosità, fratturazione, carsismo, assetto stratigrafico-strutturale).

Sono state individuate **4 classi di permeabilità**.

#### **1) Classe a permeabilità scarsa**

Appartengono a questa classe le rocce caratterizzate da una composizione prevalentemente **argillosa**, in cui è minima la penetrazione e la circolazione d'acqua, come i depositi argillosi continentali.

#### **2) Classe a permeabilità Mediocre**

In questa classe rientrano le rocce composte da un'alternanza di litotipi caratterizzati da un diverso grado di permeabilità relativa: come ad esempio i depositi sabbiosi marini.

#### **3) Classe a permeabilità buona**

Comprende le rocce caratterizzate da un buon grado di permeabilità di tipo primario, secondario o misto: come ad esempio i depositi fluvio-lacustri quaternari e in cui predomina la componente carbonatica.

#### 4) Classe a permeabilità elevata

In questa classe troviamo i litotipi che presentano una porosità di tipo secondario con una conseguente elevata capacità di infiltrazione e una importante circolazione sotterranea.

Per quanto riguarda la ricerca della falda superficiale, dalla prova penetrometrica di tipo DPSH spinta fino alla profondità di 8,20 m dal p.c., non ha rilevato nessuna falda superficiale.

L'area oggetto di questo studio geologico-tecnico rientra nella competenza dall'**Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale**.

**Detta area risulta ESCLUSA da qualsiasi perimetrazione di RISCHIO IDRAULICO.**



*Fig. 3: Stralcio del P.S.A.I. - Rischio Idraulico.*

#### **4. VERIFICA DI COMPATIBILITA' GEOMORFOLOGICA**

L'area oggetto di studio, nel tenimento del Comune di Macchia D'Isernia (IS), risulta cartografata nel Foglio 161 (ISERNIA) della Carta geologica d'Italia alla Scala 1:100.000.

L'area oggetto di studio ricade nell'alta valle del fiume Cavaliere ad una quota di circa 360 m s.l.m. tale area è caratterizzata dalla confluenza dei torrenti Carpino, Sordo e Lorda.

**A scala regionale** la valle è orientata in senso NE-SW ed è bordata dai rilievi montuoso-collinari che caratterizzano l'appennino meridionale, tale forma sono prevalentemente costituiti da termini carbonatici (posizione geometrica inferiore) e flyshoidi (posizione geometrica superiore).

**Alla mesoscala** i terreni oggetto di studio sono impostati su un terrazzo di secondo ordine, parallelo all'attuale flusso del fiume Cavaliere. Dal punto di vista morfologico l'area è caratterizzata da blande pendenze vergenti verso SW; il terrazzo è bordato da una scarpata di raccordo tra piana attuale e il terrazzo stesso. Dal punto di vista geomorfologico si osservano prevalentemente processi erosivo-deposizionali, più erosivi in corrispondenza della scarpata e più deposizionali nella porzione centrale del terrazzo.

**Dal punto di vista litologico**, affiorano terreni derivanti da antiche alluvioni costituiti da sabbie, ghiaie e limi.

Per quel che concerne la **caratterizzazione geomorfologica di dettaglio** per quanto sopra esposto è possibile affermare che il lotto oggetto del presente studio geologico-tecnico sia collocato in una zona caratterizzata dalla presenza di depositi clastici eterogenei che giacciono su una successione carbonatico-dolomitica, e che l'area stessa sia collocata in una zona sub-pianeggiante, **caratterizzata dall'assenza di qualsiasi fenomeno di dissesto geomorfologico in seno ai terreni in oggetto di questo studio.**

Le pendenze molto esigue unite alla competenza dei litotipi affioranti, conferiscono al territorio in questione un **alto indice di stabilità**, precludendo così ogni possibilità ai terreni di evolvere in forme di dissesto superficiale di tipo gravitativo:

Si allega, relativamente al Comune di Macchia d'Isernia, il **Piano Stralcio per Assetto Idrogeologico, Rischio Frana** emessa dall'**Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale**.



***Fig. 4: Stralcio del P.S.A.I. - Rischio da Frana.***



Detta area risulta **ESCLUSA** da qualsiasi perimetrazione **di RISCHIO da FRANA** previste dal piano.

**Il terreno interessato dal Progetto di cui in oggetto risulta quindi stabile, essendo privo di qualunque indizio di disequilibrio passato, in atto o potenziale in seno ai terreni oggetto di intervento.**

#### **4.1 CARATTERIZZAZIONE LITO-STRATIGRAFICA 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 geotecniche in sito e geofisiche**.

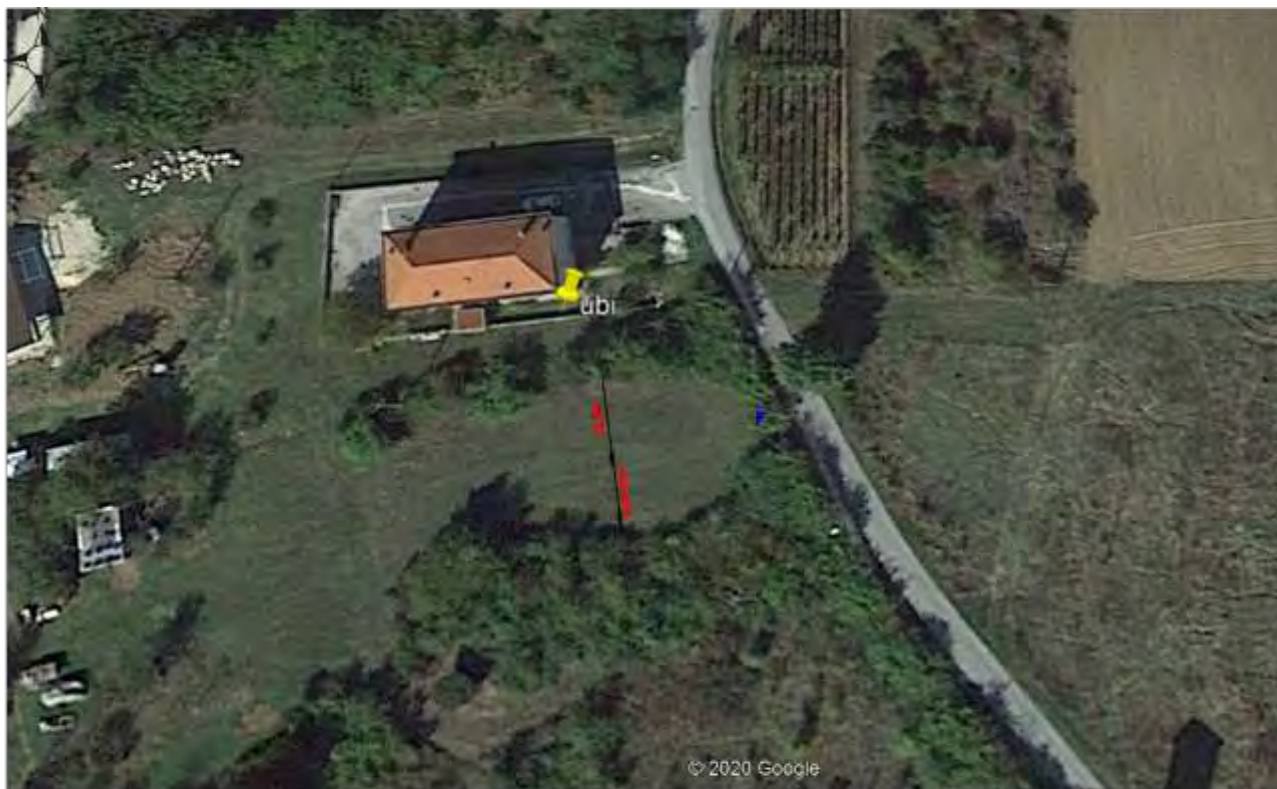
Le **indagini GEOTECNICHE IN SITU** sono consistite in:

- N° 01 prova penetrometrica dinamica super-pesante (DPSH).

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

- N°01 prospezione geofisica superficiale con tecniche di sismica a rifrazione classica e tomografica, allo scopo di ottenere delle sezioni sismiche da interpretare in chiave geologica;
- N°01 prospezioni geofisiche superficiali con metodologia di indagine MASW, necessarie per la **misurazione del valore delle  $V_{seq}$** , allo scopo di classificare il suolo di fondazione secondo i criteri imposti dalle N.T. vigenti;

La corretta ubicazione delle indagini è riportata in ***Figura 3***.



simboli per le varie tipologie di indagini

<b>MW</b>	MASW	Prova penetrometrica dinamica DPSH
<b>SR</b>	Profilo sismico a rifrazione	

*Fig. 5: Ubicazione delle indagini effettuate nell'area di studio*

## **4.2 INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO**

### **Prova Penetrometrica Dinamica DPSH**

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

- **N° 01 Prova Penetrometrica Dinamica DPSH**, *denominate **DPSH 1** e spinte fino ad una profondità pari a 8.20 metri dal p.c.*

Tale campagna di **indagini geotecniche in sito** è stata eseguita, nel mese di DICEMBRE 2020.

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.

Il campo di utilizzazione è molto vasto, potendo essere eseguita praticamente in tutti i tipi di terreno, anche se viene tendenzialmente effettuata su terreni a granulometria grossolana.



## **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 generale del terreno.

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

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- *peso massa battente  $M$*
- *altezza libera caduta  $H$*
- *punta conica: diametro base cono  $D$ , area base  $A$  (angolo di apertura  $\alpha$ )*
- *avanzamento (penetrazione)  $d$*
- *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  $A = 10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.
- ***DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20)*** (*MEDIO secondo la classifica ISSMFE*)  
massa battente  $M = 20$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $d = 10$  cm, punta conica ( $\alpha = 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A = 10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.



- **DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)**  
*massa battente  $M = 73 \text{ kg}$ , altezza di caduta  $H = 0.75 \text{ m}$ , avanzamento  $d = 30 \text{ cm}$ , 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 INDAGINE

### TG 63-200 EML .C Pagani

#### CARATTERISTICHE TECNICHE

Rile 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 <sup>2</sup>
ANGOLO APERTURA PUNTA: $\alpha$	90°
LUNGHEZZA DELLE ASTE: La	1,00m
PESO ASTE PER METRO: Ma	6,31 kg
PROF. GIUNZIONE 1° ASTA: P1	0,40 m
AVANZAMENTO PUNTA: $\delta$	0,20 m
NUMERO DI COLPI PUNTA: N= N(20)	Relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA A 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: $\beta = Q/Q_{spt} = 1.489$ (teoricamente: $N_{spt} = (1/N)$	

**i certificati relativi alle prove eseguitesaranno allegati alla relazione geologica (allegato 1)**

### **4.3 INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO**

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

- **N° 01 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°01 prospezioni geofisiche superficiali con metodologia di indagine MASW**, necessarie per la **misurazione del valore delle  $V_{seq}$** , allo scopo di classificare il suolo di fondazione secondo i criteri imposti dalle **N.T.** vigenti;

Le **indagini geofisiche** sono state eseguite nel mese di DICEMBRE 2020: nell'**ALLEGATO SISMICO (Allegato N.2)** sono riportati gli elaborati relativi alle indagini geofisiche eseguite e la corretta ubicazione delle indagini stesse.



#### **4.4 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 **modello geologico, riferito alle indagini geognostiche eseguite nel sito in esame.**

PROFONDITA'	DESCRIZIONE
DA 0,00 MT A 1,00 MT	TERRENO VEGETALE DI COPERTURA
DA 1,00 MT A 2,60 MT	LIMO SABBIOSO CONTENENTE DETRITI E GRANELLI DI TORBA
DA 2,60 MT A 3,60 MT	SABBIA DEBOLMENTE LIMOSA E BENE ADDENSASTA
DA 3,60 MT A 30,00 MT	FACIES FLUVIALE COSTITUITO DA CIOTTOLI ARROTONDATI, POLIMERI CEMENTATI DA MATRICE SABBIOSA - GHAIOSA

## 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 mostranti i parametri geotecnici fondamentali del terreno di fondazione:

### PROSPEZIONE GEOTECNICA IN SITO DI TIPOLOGIA DPSH N° 1

#### Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Tabella dei parametri geotecnici ricavati dalla prova penetrometrica dinamica di tipo DPSH

#### PROVA N.1

STRATO	Spessore dello strato (m)	Nspt	Tipo	Dr %	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Angolo $\phi$	Modulo di Poisson	Deformazione a taglio dinamico (kg/cm²)	Coefficiente spinta a Riposo K0	Mod. Edometrico $E_{ed}$ (kg/cm²)	Mod. Elastico di Young $E_H$ (kg/cm²)	Qc Resistenza alla punta (kg/cm²)
1	DA METRI 0,00 A METRI 1,00	1	Incoerente	20,48	1,36	1,85	20,48	0,35	160,14	0,15	44,69	12,00	3,00
2	DA METRI 1,00 A METRI 2,60	5	Incoerente	24,69	1,41	1,88	24,69	0,34	321,36	0,91	58,92	37,52	9,38
3	DA METRI 2,60 A METRI 3,60	12	Incoerente	30,32	1,50	1,93	30,32	0,33	562,67	2,47	90,32	93,84	23,46
4	DA METRI 3,60 A METRI 8,20	27	Incoerente	38,07	1,67	2,04	38,07	0,3	928,35	5,12	156,73	212,96	53,24

#### **4.5 VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE**

##### **GENERALITÀ SULL'ANALISI DI STABILITÀ DEI VERSANTI**

L'analisi di stabilità di un pendio, attraverso la valutazione dell'equilibrio limite, consiste nella stima di un coefficiente di sicurezza ( $F_s$ ) alla traslazione e/o alla rotazione del volume di terra o roccia compreso fra la superficie del versante ed una superficie di taglio potenziale imposta.

La procedura di calcolo prende in considerazione tutte le forze e/o i momenti agenti lungo il piano di taglio, fornendo una valutazione della stabilità globale attraverso le equazioni d'equilibrio fornite dalla statica. I metodi di calcolo di  $F_s$  impiegati si basano sulle tecniche di verifica dette LIMIT EQUILIBRIUM METHOD (che di seguito indicheremo sempre come LEM), (Duncan 1996; Krahn 2003). Nei metodi LEM (LIMIT EQUILIBRIUM METHOD) il calcolo di  $F_s$  viene effettuato su una specifica superficie di scivolamento definita entro un pendio. Dato che le porzioni potenzialmente instabili sono definibili in uno spazio 3D il calcolo viene sviluppato sopra una striscia rappresentativa di larghezza unitaria, quindi bidimensionale (2D) della superficie di potenziale scivolamento. Nell'applicazione del metodo dell'equilibrio limite tale superficie separa la parte di pendio stabile da quella potenzialmente instabile. La parte stabile inferiore rimane indeformata e non subisce rotture. Si suppone che la massa superiore, fino al momento della rottura, non subisca deformazioni. Collassi e deformazioni sono posteriori allo sviluppo di una superficie di rottura. Viene quindi assunto un comportamento a rottura rigido perfettamente plastico: non si deforma fino a quando non arriva a rottura. Tuttavia, il valore di  $F_s$  (e quindi il suo grado di stabilità o propensione al movimento) si riferisce alle condizioni precedenti al fenomeno di rottura.

Per ogni superficie di potenziale scivolamento si può quindi derivare lo sforzo di taglio totale mobilitato “ $T_m$ ” (domanda) e la resistenza al taglio disponibile “ $T_f$ ” (capacità) e quindi è possibile definire  $F_s$ :

$$F_s = \frac{T_f}{T_m}$$

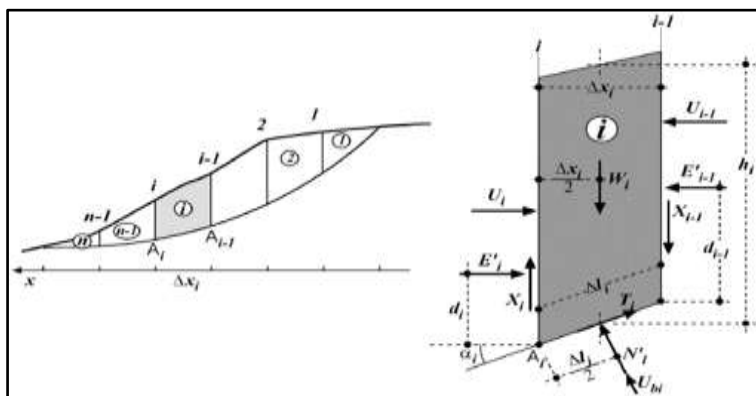
Usando ad esempio il criterio di rottura Mohr-Coulomb:  $F_s$  è il fattore per cui occorre dividere i parametri della resistenza al taglio del terreno lungo i vari tratti della superficie, per provocare la rottura del pendio lungo tutta la superficie considerata e nel medesimo tempo, ovvero:

$$T_f = \frac{c'}{F_s} + \frac{\sigma' \tan \varphi'}{F_s}$$

Che avverrà qualora sia verificata la condizione di eguaglianza tra sforzi mobilitati e disponibili, ovvero tra domanda e capacità. Se  $F_s > 1.0$  siamo in condizioni di stabilità, mentre per  $F_s < 1.0$  siamo in condizioni instabili dovuti a un generalizzato deficit di resistenza. Un altro assunto fondamentale dei metodi LEM è che nel caso di variabilità delle caratteristiche di resistenza al taglio lungo la superficie di scivolamento, sebbene  $F_s$  possa essere in realtà localmente variabile, si assume che  $F_s$  sia costante lungo tutta la superficie di potenziale scivolamento assunta. Ovvero abbiamo dovunque la medesima frazione di resistenza al taglio mobilitata rispetto a quella massima mobilitabile.

Il "FATTORE DI SICUREZZA" del pendio sarà quello che compete alla superficie di scorrimento con  $F_s$  più basso. Tale superficie è detta anche "SUPERFICIE CRITICA". Una superficie di scivolamento assunta divide in due parti distinte il pendio (vedi figura). Superiormente abbiamo una massa potenzialmente instabile supposta rigida e inferiormente una massa rigida stabile. L'equazione permette di determinare la stabilità del pendio nei confronti della superficie considerata precedentemente.





Le forze agenti sono le componenti tangenziali del peso proprio della massa e degli eventuali sovraccarichi superficiali agenti sulla superficie di scivolamento, mentre le forze resistenti sono le resistenze al taglio mobilitate nei vari punti di detta superficie che dipendono dagli sforzi normali applicati e dalla resistenza al taglio locale del suolo. Sistemi di forze interne e esterne (es. opere di rinforzo) influiscono nella stabilità globale del pendio e devono essere considerate opportunamente; cosa che viene effettuata in tutti i metodi di calcolo rigorosi che verranno trattati più avanti. Per procedere con il calcolo di  $F_s$  la massa potenzialmente instabile viene suddivisa in "Fette" detti Conci delimitate da superficie verticali. Su ogni concio vengono valutate singolarmente le forze agenti e resistenti. L'insieme delle forze agenti sul concio singolo è presentato in figura. Queste forze sono  $W$ =Peso del concio,  $T$ =Forza di taglio mobilitata sulla base del concio,  $N$ =Forza peso normale alla base del concio,  $U$ =Forza esercitata dal carico idraulico agente sulla base,  $T$ =Forza verticale interconco,  $X$ =Forza orizzontale interconco.  $F_s$  può essere determinato mediante gruppi di equazioni per l'equilibrio dei corpi rigidi. In pratica tutto il sistema di forze verticali, orizzontali e dei momenti devono garantire una somma 0. Quando tutti i parametri di interesse sono noti si passa al calcolo di  $F_s$ . L'algoritmo di calcolo può implementare uno dei diversi metodi esistenti nell'ambito dei modelli LEM dove i procedimenti di calcolo avvengono in modo iterativo. I vari metodi, BISHOP (1955), MORGESTERN & PRICE (1965), SPENCER (1967), JANBU (1973) sono tutti riconducibili al "General equilibrium method" di FREDLUND et al. (1981), abbreviato

con GLE. Questi metodi si diversificano per il tipo delle assunzioni e semplificazioni fatte per ridurre il numero delle incognite nel problema.

## **METODI DI CALCOLO UTILIZZATI**

L'analisi di stabilità è stata condotta mediante il programma di calcolo Geostru - Slope, basato sulla teoria dell'equilibrio limite, che effettua la ricerca automatica delle superfici di rottura con coefficiente di sicurezza minimo. Questa teoria studia l'equilibrio di un corpo rigido (pendio e superficie di scorrimento) calcolandone le tensioni di taglio e la resistenza disponibile, valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb. Quindi il fattore di sicurezza  $F_s$  è espresso da: Il grado di sicurezza ritenuto accettabile deve essere giustificato sulla base del livello di conoscenze raggiunto, dell'affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica, nonché sulla base delle conseguenze di un'eventuale frana. Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.). In alternativa, la stabilità può essere verificata ricercando un campo di tensioni statisticamente ammissibile oppure impiegando il metodo degli elementi finiti.

I vari metodi di calcolo dell'equilibrio limite disponibili in letteratura, si basano tutti su due ipotesi fondamentali: Il coefficiente di sicurezza ( $F_s$ ) è definito come rapporto tra la resistenza al taglio e lo sforzo di taglio mobilitato lungo un'ipotetica superficie di scorrimento; Il coefficiente di sicurezza ( $F_s$ ) è considerato costante in tutti i punti della superficie di scorrimento;

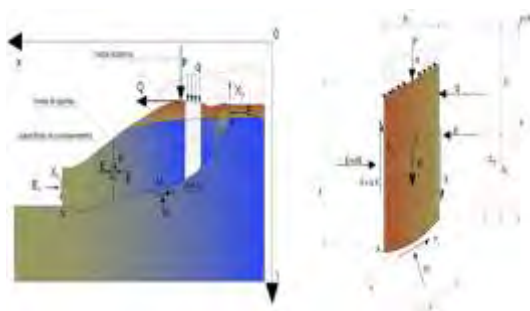
In questo caso lo studio del fattore di sicurezza è stato effettuato con il metodo:

Metodo di Janbu (1967)

### Metodo di Janbu (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi. Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\Sigma\{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \tan \alpha_i}$$

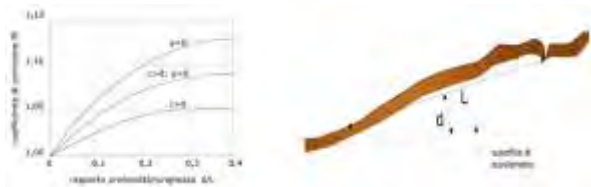


*Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme  
dell'ammasso*

Assumendo  $DX_i = 0$  si ottiene il metodo ordinario. Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.



### **Valutazione dell'azione sismica**

La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza. Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo:

- **$F_H$**  e  **$F_V$**  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- **$W$**  peso concio;
- **$K_x$**  coefficiente sismico orizzontale;
- **$K_y$**  coefficiente sismico verticale.

### **Ricerca della superficie di scorrimento critica**

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia m'n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

## ANALISI STABILITA'

La verifica di stabilità è stata condotta sulla Sezione litologica A (con direzione NO-SE) finalizzata a valutare, le condizioni di stabilità del versante oggetto di studio.



*Fig. 6: sezione litologica di verifica*

La verifica è stata eseguita sulla base del livello di conoscenza raggiunto, l'affidabilità dei risultati dipende quindi dalla loro corrispondenza alle reali condizioni presenti in sito.

Per ottenere una più veritiera e raffinata verifica di stabilità del versante si necessiterebbe di informazioni geotecniche dirette ottenute da prove di laboratorio su campioni indisturbati prelevati alle varie quote d'interesse, nonché di un'esatta localizzazione della piezometrica.



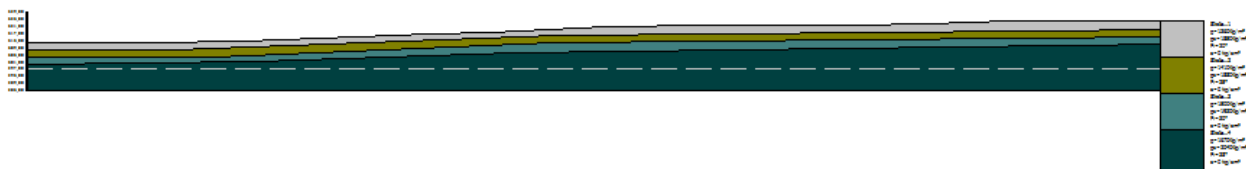
**La scelta dei parametri geotecnici assegnati agli strati è stata eseguita tenendo conto dei risultati delle prove eseguite:**

- Prova DPSH eseguita in sito;
- Prova MASW e Rifrazione eseguita in sito;
- Bibliografia e letteratura scientifica in merito.

Nello specifico i dati inseriti nel modello sono riassunti nella seguente tabella:

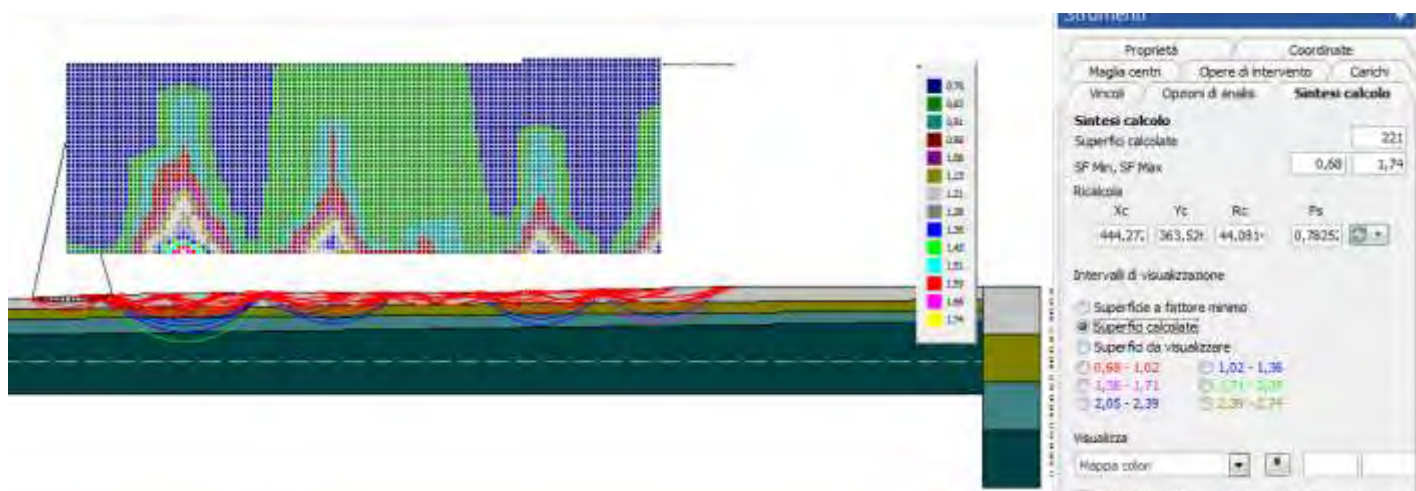
STRATO	Spessore dello strato (m)	N°	Tipi	Or- %	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Angolo $\phi$	Modulo di Poisson	Deforma- zione a taglio dinamico (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficien- te di spinta a Riposo K <sub>0</sub>	Mod. Elastico E <sub>0</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico E <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Or- Resistenza a alla punta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	DA METRI 0,00 A METRI 1,00	1	Incoerente	20,48	1,36	1,85	20,48	0,35	160,14	0,15	44,69	12,00	3,00
2	DA METRI 1,00 A METRI 2,60	5	Incoerente	24,69	1,41	1,88	24,69	0,34	321,36	0,91	58,92	37,52	9,38
3	DA METRI 2,60 A METRI 3,60	12	Incoerente	30,32	1,50	1,93	30,32	0,33	562,67	2,47	90,32	93,84	23,46
4	DA METRI 3,60 A METRI 8,20	27	Incoerente	38,07	1,67	2,04	38,07	0,3	928,35	5,12	156,73	212,96	53,24

Assemblando tutti i dati a disposizione è stato possibile ricostruire un modello plausibile per il versante in esame:



	Strato...1 g=1360Kg/m <sup>3</sup> gs=1850Kg/m <sup>3</sup> Fi=20° c=0 kg/cm <sup>2</sup>
	Strato...2 g=1410Kg/m <sup>3</sup> gs=1880Kg/m <sup>3</sup> Fi=25° c=0 kg/cm <sup>2</sup>
	Strato...3 g=1500Kg/m <sup>3</sup> gs=1930Kg/m <sup>3</sup> Fi=30° c=0 kg/cm <sup>2</sup>
	Strato...4 g=1670Kg/m <sup>3</sup> gs=2040Kg/m <sup>3</sup> Fi=38° c=0 kg/cm <sup>2</sup>

## Verifica



Da	A	Colore
0,6782	1,0213	Red
1,0213	1,3644	Blue
1,3644	1,7075	Magenta
1,7075	2,0505	Green
2,0505	2,3936	Dark Blue
2,3936	2,7367	Olive

### sintesi dei risultati dell'analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Lat./Long.	41,562027/14,167261
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	4,0
Numero dei conci	15,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

## Coefficienti sismici [N.T.C.]

### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	101,0 [anni]
Vita di riferimento:	202,0 [anni]

### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	122,0	1,42	2,33	0,32
S.L.D.	203,0	1,81	2,32	0,33
S.L.V.	1917,0	4,4	2,35	0,41
S.L.C.	2475,0	4,82	2,37	0,42

### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Stabilità dei pendii e Fondazioni
--------	-----------------------------------

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	2,1265	0,24	0,052	0,026
S.L.D.	2,6119	0,24	0,0639	0,032
S.L.V.	4,6962	1,0	0,4789	0,2395
S.L.C.	4,825	1,0	0,492	0,246

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,4789
Coefficiente azione sismica verticale	0,2395

### Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0 0,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0 0,0

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

### Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0	0	20	1360	1850	
2	0	0	25	1410	1880	
3	0	0	30	1500	1930	

## Risultati analisi pendio

<b>Fs minimo individuato</b>	<b>0,68</b>
Ascissa centro superficie	315,6 m
Ordinata centro superficie	377,4 m
Raggio superficie	58,8 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**xc = 530,051 yc = 398,204 Rc = 77,988 Fs=0,727**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1,31	-14,8	1,35	339,0	162,35	81,19	0,0	20,0	0,0	404,0	209,2
2	4,61	-12,5	4,72	6115,23	2928,58	1464,6	0,0	20,0	0,0	7050,0	3615,8
3	2,96	-9,7	3,0	7251,72	3472,85	1736,79	0,0	20,0	0,0	8045,2	4086,1
4	2,96	-7,5	2,98	9314,82	4460,87	2230,9	0,0	20,0	0,0	10059,1	5079,4
5	2,96	-5,3	2,97	10914,42	5226,92	2614,0	0,0	20,0	0,0	11497,7	5781,0
6	2,96	-3,1	2,96	12054,2	5772,76	2886,98	0,0	20,0	0,0	12413,4	6223,9
7	2,96	-1,0	2,96	12742,76	6102,51	3051,89	0,0	20,0	0,0	12853,1	6435,6
8	2,96	1,2	2,96	12979,34	6215,8	3108,55	0,0	20,0	0,0	12845,5	6432,3
9	2,96	3,4	2,96	12763,75	6112,56	3056,92	0,0	20,0	0,0	12418,6	6228,0
10	2,96	5,6	2,97	12094,72	5792,16	2896,69	0,0	20,0	0,0	11586,7	5828,2
11	2,96	7,8	2,99	10965,37	5251,32	2626,21	0,0	20,0	0,0	10360,2	5234,5
12	2,96	10,0	3,0	9373,39	4488,92	2244,93	0,0	20,0	0,0	8748,0	4446,5
13	2,96	12,2	3,03	7308,69	3500,13	1750,43	0,0	20,0	0,0	6748,1	3456,0
14	2,96	14,4	3,05	4761,47	2280,27	1140,37	0,0	20,0	0,0	4355,9	2251,5
15	2,96	16,7	3,09	1715,5	821,55	410,86	0,0	20,0	0,0	1557,4	813,8



## **MISURE PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO**

Il progetto contempla diversi interventi atti a mitigare il rischio geologico tra cui:

- realizzazione opere d'arte per la regimentazione delle acque piovane: zanelle, cunette e briglie;
- realizzazione di opere di provvisorie per il contenimento del pendio durante le fasi di scavo e eventuale riporto di materiale per aumentare la stabilità (terrapieno o riporto)
- realizzazione di opere sostegno permanenti.

## **CONSIDERAZIONI**

La Verifica di Stabilità del versante mostra valori del  $F_s$  che variano da circa 0.7 a 1.7.

I Valori più bassi sono da collocarsi in corrispondenza di cambi di pendenza da parte del versante considerato. Va evidenziato che il lotto in oggetto si imposta in una area subpianeggiante caratterizzata da  $F_s$  superiori a 1.3. Tuttavia, si prevede la realizzazione di opere di mitigazione del rischio geomorfologico.

Valutati i risultati ottenuti dalle prove geofisiche e geotecniche, e considerato il contesto Geologico, Geomorfologico e l'entità dell'opera è possibile affermare che il Progetto non interferisce negativamente sul paesaggio. La stessa opera va a migliorare le condizioni di stabilità geomorfologica.

## **5. 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 depositi eluvio-colluviali su di un substrato litoide.

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.

Alla luce di quanto detto, vista la possibilità oggettiva che alcune frequenze subiscano un'amplificazione (da tenere ben presente nel calcolo strutturale degli edifici da realizzare), risulta importante verificare attentamente la “**Risposta sismica locale**” del sito oggetto di studio.

## **VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE**

Il fenomeno della liquefazione dinamica assume una particolare pericolosità in presenza di materiali granulari poco 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 17-01-2018 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  $(Nl)_{60} > 30$  oppure  $q_{clN} > 180$  dove  $(Nl)_{60}$  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  $U_c > 3,5$ .

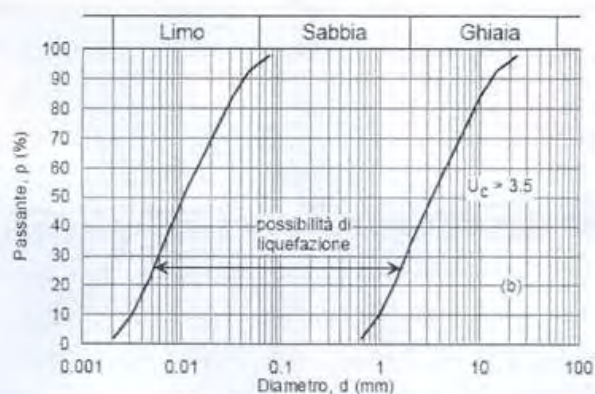
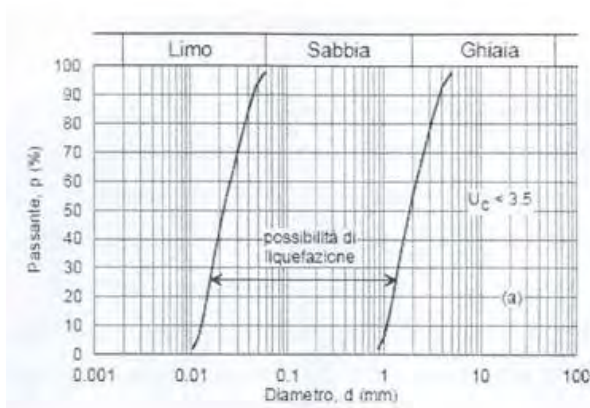


Figura 7.11.1(b) DM 14-01-2008

Nel caso specifico la Profondità media stagionale della falda è superiore a 15 m. Per cui è possibile affermare che la situazione oggetto di questo studio rientra nella circostanza n.2 per la quale le verifiche a liquefazione 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
<b>A</b>	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>B</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 <b>360 m/s e 800 m/s</b></i>
<b>C</b>	<u>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 <b>180 m/s e 360 m/s</b></u>
<b>D</b>	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 <b>100m/s e 180 m/s</b>
<b>E</b>	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  $V_s$  eq 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  $V_{seq}$  mostrano i seguenti valori:

- $V_{seq}$  SS1 - pari a 321 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 m.

Calcolato, quindi, con le prospezioni geofisiche MASW valori di  $V_{seq}$  validi per detto intervallo è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine, che rientra nella **categoria di tipo C**: tale sottosuolo è definito come *“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”*, secondo il D.M. 17 Gennaio 2018, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

### **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  $S_e(T)$ , 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:

- **$a_g$** = accelerazione orizzontale massima al sito;
- **$F_0$**  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- **$T_c^*$** = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nella presente relazione, per il sito considerato, sono forniti valori di  **$a_g$** ,  **$F_0$**  e  **$T_c^*$**  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 C**.

Come anzi detto, il livello di sismicità di una specifica area viene caratterizzato attraversolo 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  $A_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$

referiti 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  $S_T$  per le diverse categorie topografiche.**



Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20}$
→ C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$

**Tabella 3: Espressioni di calcolo dei coefficienti di Amplificazione Stratigrafica  $S_s$  e  $C_c$  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 $i \geq 30^\circ$

**Tabella 4: Categorie di amplificazione topografica.**

Dalle analisi geologiche, geomorfologiche, geognostiche 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 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:

$$a_{max} = a_g \cdot S_s \cdot S_t$$

PAGINA 43 di 56



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  $K_h = \beta S \cdot a_{max} / g$**  (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 **tabella 5** 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.

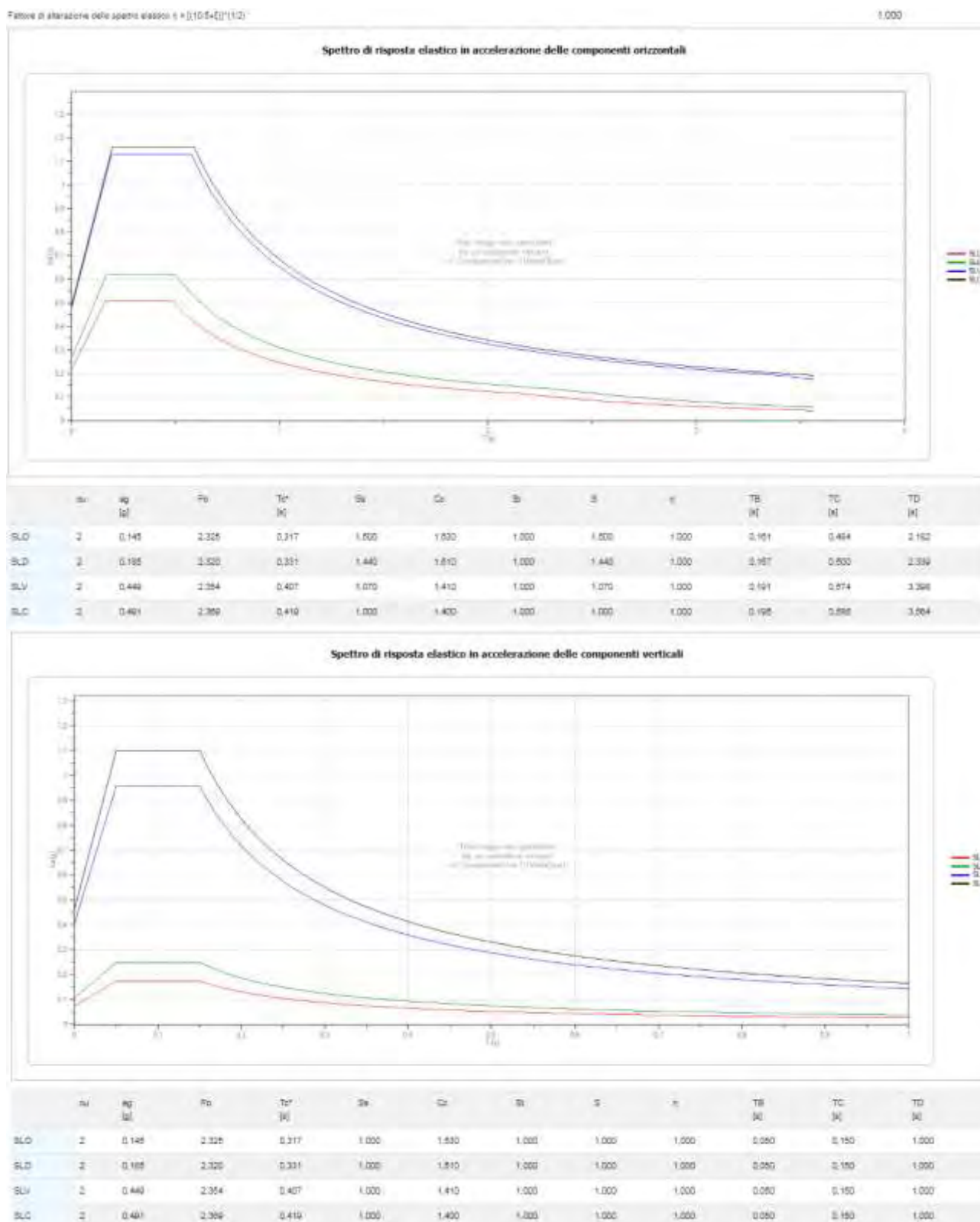
<b>Zona sismica (livello di pericolosità)</b>	<b>Accelerazione orizzontale massima con prob. di superamento pari al 10% in 50 anni (<math>a_g/g</math>)</b>
<b>1 (alto)</b>	<b><math>&gt; 0,25</math></b>
<b>2 (medio)</b>	<b><math>0,15 - 0,25</math></b>
<b>3 (basso)</b>	<b><math>0,05 - 0,15</math></b>
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

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



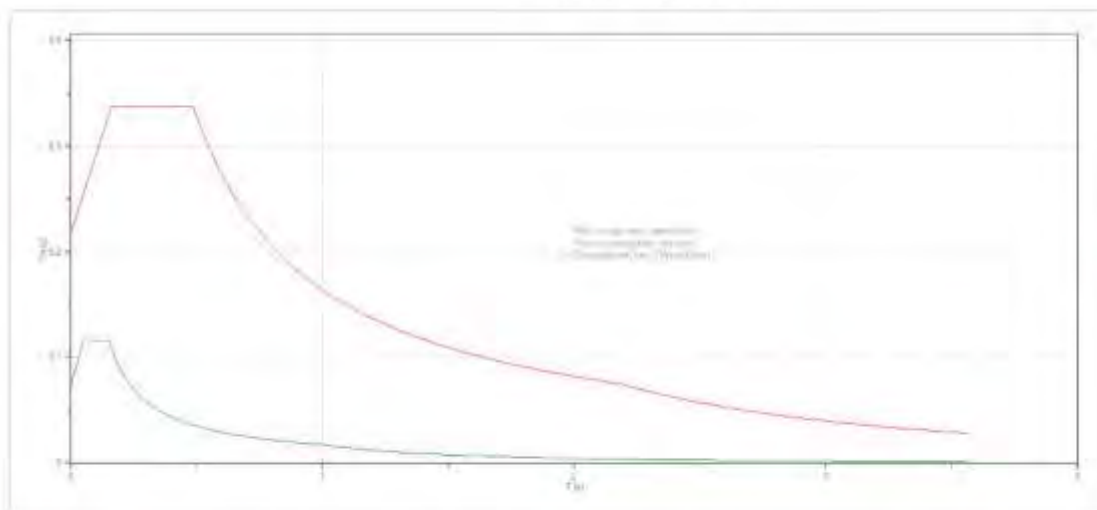
L'area in esame ricade per intero della zona sismica 1.

Si riportano di seguito, infine, i **Parametri Sismici fondamentali** validi per il sito in esame.





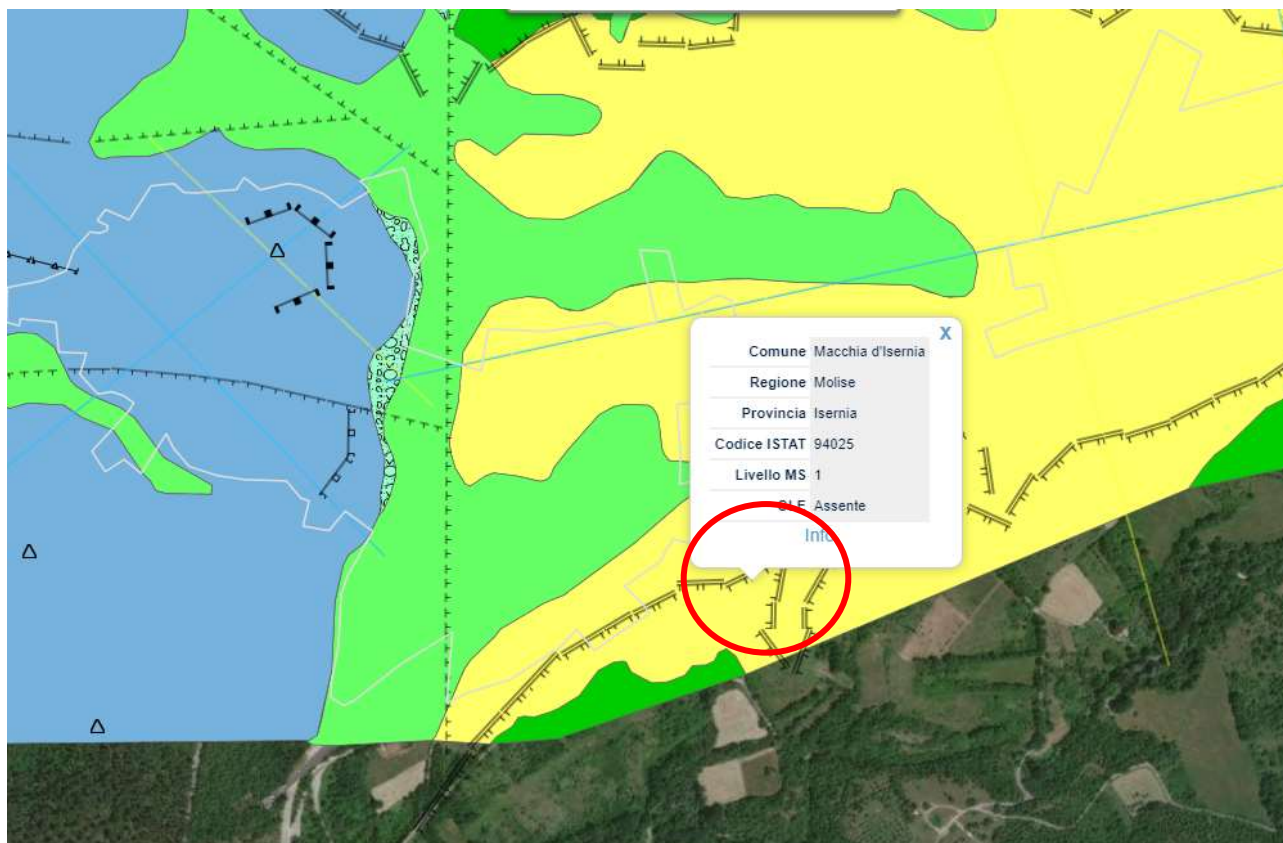
Spettri di progetto per lo stato limite: SLD



	$\alpha_1$	$\alpha_0$ [g]	$F_d$	$T_d^*$ [s]	$S_a$	$S_v$	$S_d$	$S_1$	$S_2$	$T_B$ [s]	$T_C$ [s]	$T_D$ [s]
SLD orizzontale	2	0.145	2.525	0.317	1.500	1.500	1.000	1.500	1.500	0.101	0.454	2.152
SLD verticale	2	0.145	2.525	0.317	1.500	1.500	1.000	1.500	1.500	0.050	0.150	1.000



Si riporta di seguito lo stralcio della carta di MICROZONAZIONE OMOGENEA IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS) del Comune di MACCHIA D'ISERNIA (IS).



Come si osserva dallo stralcio della carta delle MOPS, il sito in esame risulta cartografato in una zona di microzonazione di Livello MS 1.



## **6. 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 Monte Acerone n° 64, iscritto all'Albo Professionale dell'*Ordine dei Geologi della Regione Molise* al n° **155** - sez. A "Geologi Specialisti",

**DIRETTORE TECNICO** della SOCIETA' CERTIFICATA SOA Att. N. 7918/63/01, denominata **GEOSECURE SRL**, avente sede in Roma (RM), alla Via Tuscolana n.1003, è stato incaricato dal **COMUNE DI MACCHIA D'ISERNIA**, di eseguire uno studio di **Compatibilità Geomorfologica** nel tenimento del Comune di **MACCHIA D'ISERNIA (IS)** a corredo del Progetto per la **"REALIZZAZIONE NUOVO POLO SCOLASTICO "G. GALILEI" DESTINATO A SCUOLA SCUOLA DELL'INFANZIA E PRIMARIA - CUP: D73H19000900006"**.

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 in situ.

Lo studio geomorfologico, oltre che all'area direttamente interessata dall'opera in oggetto è stato esteso, in modo particolarmente accurato, ad un'ampia area ritenuta significativa ai fini della valutazione dei caratteri geomorfologici rilevanti per la stabilità dell'area stessa.

La morfologia dell'area è legata principalmente all'assetto morfostrutturale su cui hanno agito fattori modellanti esogeni, prevalentemente legati all'azione erosiva delle acque, sia di tipo lineare che areale.

Dal punto di vista morfoevolutivo, la zona presenta attualmente una buona stabilità d'insieme.

A ciò si aggiunga la condizione statica, generalmente soddisfacente, di gran parte delle strutture edilizie presenti nelle adiacenze della zona oggetto di intervento.

Per quanto riguarda la stabilità dell'area strettamente interessata dalle opere in titolo, la zona, allo stato attuale, si può ritenere in equilibrio, data l'assenza, limitatamente al sito in esame, di dissesti attivi e di particolari aspetti morfoevolutivi tali da poter indicare possibili evoluzioni morfogenetiche negative in seno ai terreni presenti.

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 qualsiasi fenomeno di dissesto geomorfologico**.

Le pendenze molto esigue, unite alla competenza dei litotipi affioranti, conferiscono al 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 privo di qualunque indizio di disequilibrio passato, in atto o potenziale.

La Verifica di Stabilità del versante mostra valori del  $F_s$  che variano da circa 0.7 a 1.7.

I Valori più bassi sono da collocarsi in corrispondenza di cambi di pendenza da parte del versante considerato. Va evidenziato che il lotto in oggetto si imposta in una area subpianeggiante caratterizzata da  $F_s$  superiori a 1.3. Tuttavia, si prevede la realizzazione di opere di mitigazione del rischio geomorfologico.

**Dal punto di vista idrogeologico**, l'idrodinamica sotterranea si esplica mediante un deflusso prevalentemente basale e, subordinatamente, mediante una serie di "falde sospese", i cui recapiti sorgivi sono spesso a carattere stagionale ed in ogni caso non molto produttivi.

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 GEOTECNICHE IN SITU sono consistite in:

- N°01 prova penetrometrica dinamica super-pesante (DPSH).

Le indagini GEOFISICHE in situ sono consistite in:

- N°01 prospezione geofisica superficiale con tecniche di sismica a rifrazione classica e tomografica, allo scopo di ottenere delle sezioni sismiche da interpretare in chiave geologica;
- N°01 prospezione geofisica superficiale con metodologia di indagine MASW, necessarie per la **misurazione del valore delle  $V_{seq}$** , allo scopo di classificare il suolo di fondazione secondo i criteri imposti dalle **N.T.** vigenti;

I risultati delle indagini geofisiche eseguite nell'area ed in particolar modo quelli provenienti dall'esecuzione delle prospezioni con metodologia di indagine “**MASW**” hanno permesso di classificare il suolo di fondazione del sito in esame.

Calcolato, quindi, con le prospezioni geofisiche MASW i valori di  $V_{seq}$  valido per detto intervallo è stato possibile classificare sismicamente il terreno del sito di indagine, che rientra **nella categoria di tipo C**: 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*”, secondo il D.M. 17 Gennaio 2018, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

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

Il sito in esame, sulla base della **Riclassificazione Sismica del Territorio Italiano** secondo l'**Ordinanza n° 3234** del 29 luglio 2003 emanata dal **Presidente del Consiglio dei Ministri**, successivamente ripresa dal **D.M. 2018 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”**, è compreso in **ZONA SISMICA 1 (Comune di MACCHIA D'ISERNIA)**.

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.**

**Valutati i risultati ottenuti dalle prove geofisiche e geotecniche, e considerato il contesto Geologico, Geomorfologico e l'entità dell'opera è possibile affermare che il Progetto non interferisce negativamente sul paesaggio. La stessa opera va a migliorare le condizioni di stabilità geomorfologica.**

**Per questi motivi il progetto di cui in oggetto è compatibile con il contesto geologico e geomorfologico dell'area.**

Il progetto contempla diversi interventi atti a mitigare il rischio geologico tra cui:

- realizzazione opere d'arte per la regimentazione delle acque piovane: zanelle, cunette e briglie;
- realizzazione di opere di provvisorie per il contenimento del pendio durante le fasi di scavo e eventuale riporto di materiale per aumentare la stabilità (terrapieno o riporto)
- realizzazione di opere sostegno permanenti.

**E' BENE PRECISARE QUANTO SEGUE:**

- In fase di realizzazione del progetto esecutivo sarà necessario eseguire ulteriori e più dettagliate indagini geologiche.

## IL DIRETTORE TECNICO

Dott. Geol. Vincenzo Cortese





# **ALLEGATO N.1**

## **PROVE GEOTECNICHE**





## **ALLEGATO N.2**

### **PROVE GEOFISICHE**

# CERTIFICATI PROVE IN SITO



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

Legend	
■	Standard
=	Optional



ATT. N. 7918/63/01



NUMERO PC: D151-GE0-Q



NUMERO PC: D151-GE0-R



NUMERO PC: D151-GE0-H



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

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

MAIL: [info@geosecure.it](mailto:info@geosecure.it) SITO: [www.geosecure.it](http://www.geosecure.it)

COMMITTENTE: COMUNE MACCHIA D'ISERNIA

OGGETTO : REALIZZAZIONE NUOVO POLO SCOLASTICO "G.GALILEI" DESTINATO A SCUOLA DELL'INFANZIA E PRIMARIA CUP: D73H19000900006

LOCALITA' : MACCHIA D'ISERNIA (IS)

CODICE DOCUMENTO : CPS 379/20 DPH

SPERIMENTATORE	DIRETTORE TECNICO	REV. 0
DOTT. ANTONINO CARUSO	DOTT. VINCENZO CORTESE	DATA 22/12/2020

**NUMERO E TIPOLOGIE DI PROVE IN SITU:**

N. 1 PROVE PENETROMETRICHE DI TIPO DPSH A PUNTA CHIUSA

NEL MESE DI **DICEMBRE 2020** LA GEOSECURE SRL HA ESEGUITO NEL COMUNE **MACCHIA D'ISERNIA (IS)** UNA PROVA GEOTECNICA DI TIPO DPSH, SU INCARICO DEL **COMUNE DI MACCHIA D'ISERNIA**, A SEGUITO DELL'INCARICO RELATIVO AL PROGETTO **"REALIZZAZIONE NUOVO POLO SCOLASTICO "G.GALILEI" DESTINATO A SCUOLA DELL'INFANZIA E PRIMARIA CUP: D73H19000900006"**

IL FASCICOLO, COSTITUITO DA N. PAG. 5, E' RILASCIATO IN TRIPLICE COPIA IN ORIGINALE.



**PROVA N.1**

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

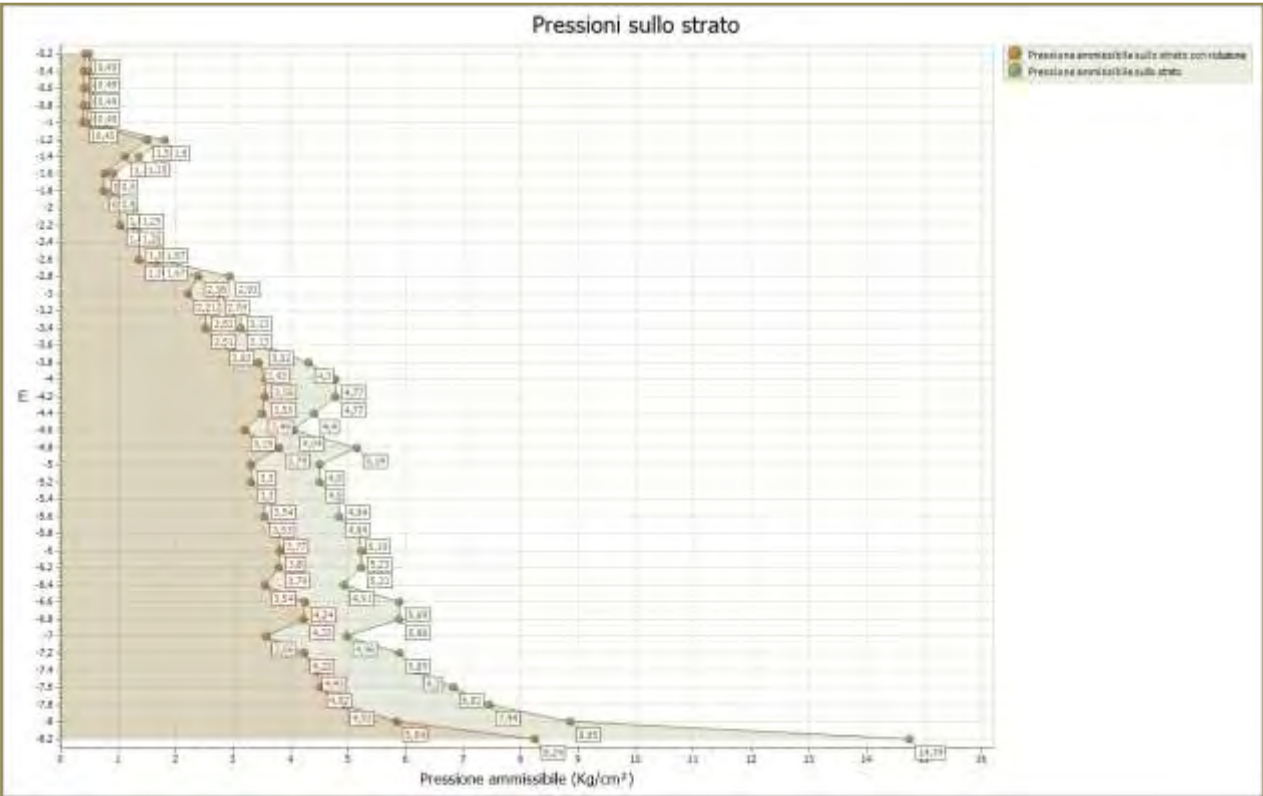
Profondità prova 8,20 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	1	0,851	8,27	9,72	0,41	0,49
0,60	1	0,847	8,23	9,72	0,41	0,49
0,80	1	0,843	8,20	9,72	0,41	0,49
1,00	1	0,840	7,55	8,99	0,38	0,45
1,20	4	0,836	30,07	35,96	1,50	1,80
1,40	3	0,833	22,46	26,97	1,12	1,35
1,60	2	0,830	14,92	17,98	0,75	0,90
1,80	2	0,826	14,86	17,98	0,74	0,90
2,00	3	0,823	20,65	25,09	1,03	1,25
2,20	3	0,820	20,58	25,09	1,03	1,25
2,40	4	0,817	27,34	33,45	1,37	1,67
2,60	4	0,814	27,24	33,45	1,36	1,67
2,80	7	0,811	47,50	58,54	2,38	2,93
3,00	7	0,809	44,26	54,73	2,21	2,74
3,20	8	0,806	50,41	62,55	2,52	3,13
3,40	8	0,803	50,25	62,55	2,51	3,13
3,60	9	0,801	56,35	70,37	2,82	3,52
3,80	11	0,798	68,67	86,00	3,43	4,30
4,00	13	0,746	71,19	95,42	3,56	4,77
4,20	13	0,744	70,97	95,42	3,55	4,77
4,40	12	0,791	69,71	88,08	3,49	4,40
4,60	11	0,789	63,73	80,74	3,19	4,04
4,80	14	0,737	75,75	102,76	3,79	5,14
5,00	13	0,735	66,10	89,92	3,30	4,50
5,20	13	0,733	65,91	89,92	3,30	4,50
5,40	14	0,731	70,79	96,84	3,54	4,84
5,60	14	0,729	70,61	96,84	3,53	4,84
5,80	15	0,727	75,46	103,76	3,77	5,19
6,00	16	0,725	75,92	104,64	3,80	5,23
6,20	16	0,724	75,73	104,64	3,79	5,23
6,40	15	0,722	70,83	98,10	3,54	4,91
6,60	18	0,720	84,80	117,72	4,24	5,89
6,80	18	0,719	84,61	117,72	4,23	5,89
7,00	16	0,717	71,17	99,24	3,56	4,96
7,20	19	0,716	84,33	117,84	4,22	5,89
7,40	20	0,714	88,59	124,04	4,43	6,20
7,60	22	0,663	90,42	136,45	4,52	6,82
7,80	24	0,661	98,43	148,85	4,92	7,44

8,00	30	0,660	116,75	176,92	5,84	8,85
8,20	50	0,559	164,70	294,87	8,24	14,74







## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





**REGIONE MOLISE**

***COMUNE di***

**MACCHIA D'ISERNIA**

***(Provincia di ISERNIA)***



***REALIZZAZIONE NUOVO POLO SCOLASTICO  
"G.GALILEI" DESTINATO A SCUOLA  
SCUOLA DELL'INFANZIA E PRIMARIA  
CUP: D73H19000900006***

**Committenza:** COMUNE MACCHIA D'ISERNIA

**Località:** MACCHIA D'ISERNIA (IS)

**ALLEGATO SISMICO**



**GEOSECURE S.R.L.**  
GEOLOGICAL & GEOPHYSICAL SERVICES



**IL DIRETTORE TECNICO**

**DOTT. GEOL. VINCENZO CORTESI**

**DATA:** DICEMBRE 2020

**GEOSECURE SRL**  
Il Direttore Tecnico  
Dott. Geol. Vincenzo Cortesi

**Rev. 0**

## **INDICE**

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE GENERALE</b>	<b>PAG. 02</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUZIONE ALLE METODOLOGIE GEOFISICHE UTILIZZATE</b>	<b>PAG. 03</b>
	2.1 TOMOGRAFIA SISMICA	PAG. 03
	2.2 MASW	PAG. 06
<b>3</b>	<b>RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – STENDIMENTO SISMICO</b>	<b>PAG. 09</b>
	3.1 TOMOGRAFIA SISMICA	PAG. 09
	3.2 MASW	PAG. 13
<b>4</b>	<b>CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO DI INDAGINE</b>	<b>PAG. 16</b>

## 1. INTRODUZIONE

In questo **ALLEGATO SISMICO** si descrivono i risultati provenienti dalla **campagna di indagini geofisiche** effettuata nel comune di **MACCHIA D'ISERNIA (IS)** dalla ditta "GEOSECURE SRL", nel mese di **DICEMBRE 2020**, eseguita per conto del **COMUNE MACCHIA D'ISERNIA**, a corredo del progetto denominato **"REALIZZAZIONE NUOVO POLO SCOLASTICO "G.GALILEI" DESTINATO A SCUOLA DELL'INFANZIA E PRIMARIA CUP: D73H19000900006"**.

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

- N° 01 PROSPEZIONI GEOFISICHE SUPERFICIALI CON METODOLOGIE DI INDAGINE DENOMINATE "SISMICA A RIFRAZIONE" E "TOMOGRAFIA SISMICA" ESEGUITA MEDIANTE INSTALLAZIONE DI N° 01 STENDIMENTO SISMICO DENOMINATO SS1 (di lunghezza pari a 23,00 MT);
- N° 01 PROSPEZIONI GEOFISICHE SUPERFICIALI CON METODOLOGIA DI INDAGINE "MASW" denominata M1 (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 MACCHIA D'ISERNIA (IS)**



## 2. INTRODUZIONE ALLE METODOLOGIE GEOFISICHE UTILIZZATE

### 2.1 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 "GEOSURE SRL" si è avvalsa delle seguenti figure professionali:

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

Tutti gli strumenti di misura, impiegati in accordo con il calendario di taratura imposto al sistema di qualità in uso presso la Ditta "GEOSURE SRL" 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>
<b>Delle intercette (o convenzionale)</b>	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°
<b>Tomografico</b>	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° 01 stendimenti sismici - DENOMINATO SS1** - 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);

## 2.2 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  $\nu$** ), la **densità di massa  $\rho$**  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato; l'**affidabilità del profilo di velocità  $V_s$**  trovato durante il processo di inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativo tra le due curve.

#### **STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E FIGURE PROFESSIONALI UTILIZZATE DURANTE LE INDAGINI**

Durante la fase di acquisizione dati la Ditta “**GEOSECURE SRL**” 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 SRL**” 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.**

### 3. RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – STENDIMENTO SISMICO SS1

#### 3.1 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**

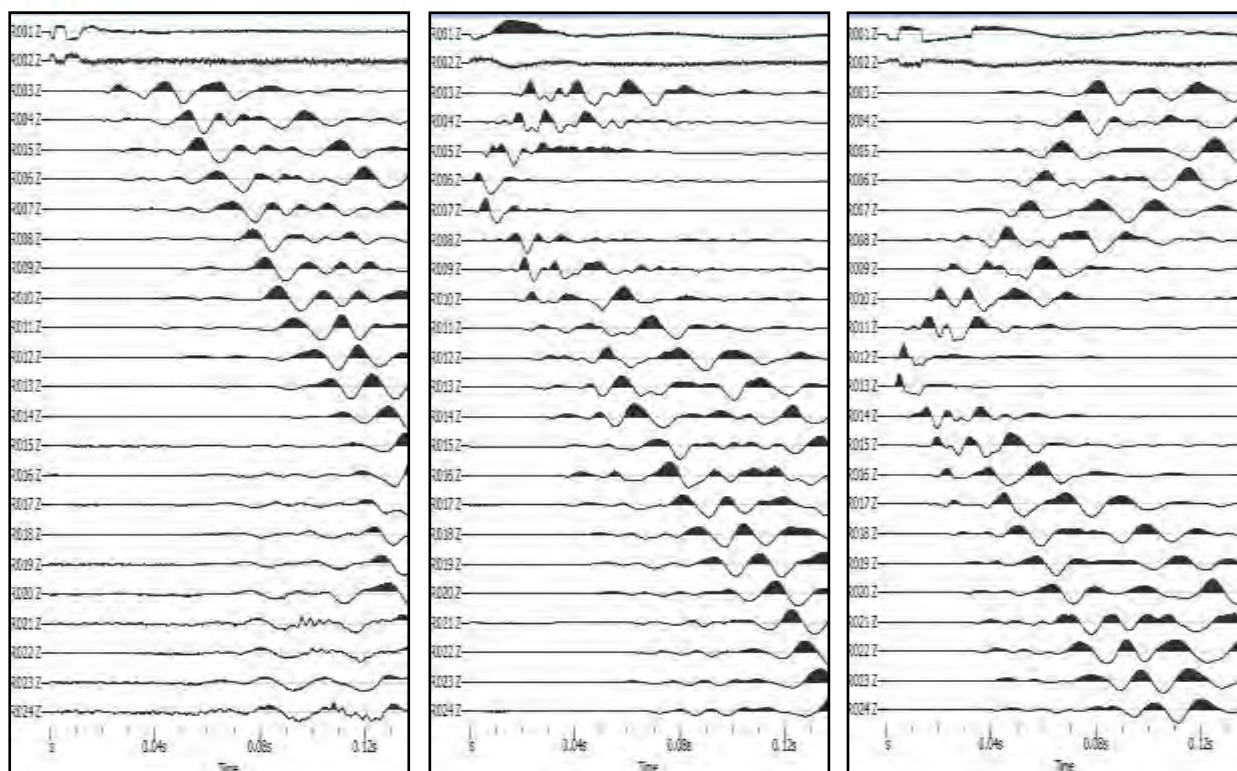
Il terreno è stato energizzato mediante l'utilizzo di una mazza **battente di massa pari a 10.00 kg** effettuando scoppi specifici ubicati in punti ben precisi lungo ciascuno stendimento stesso:

- *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.*

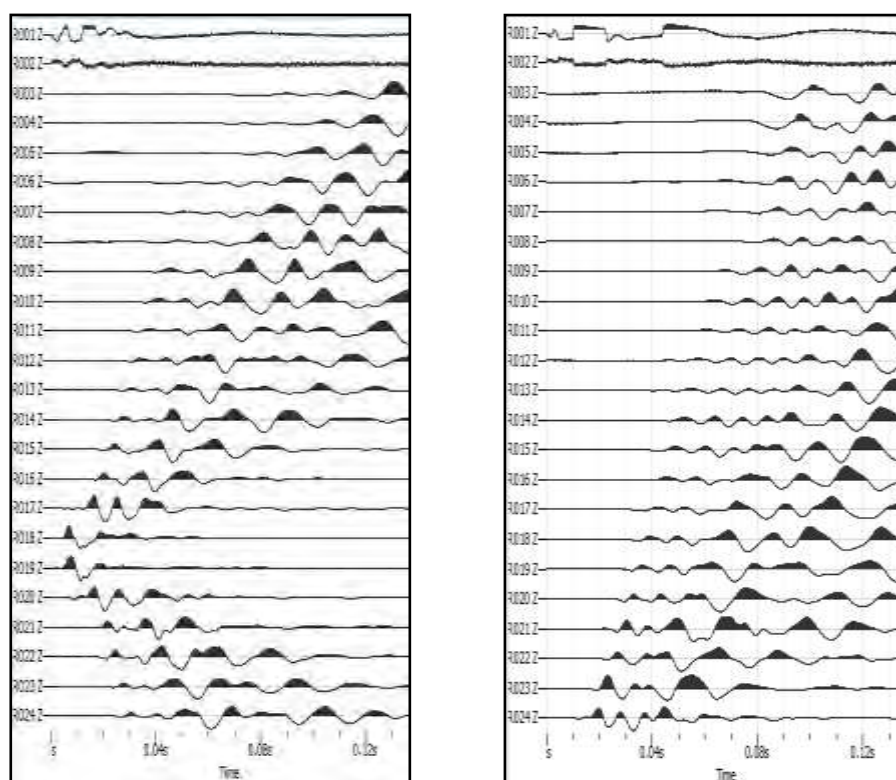
I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 15.000 campioni al secondo per un totale di 0.13 secondi di acquisizione.

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**

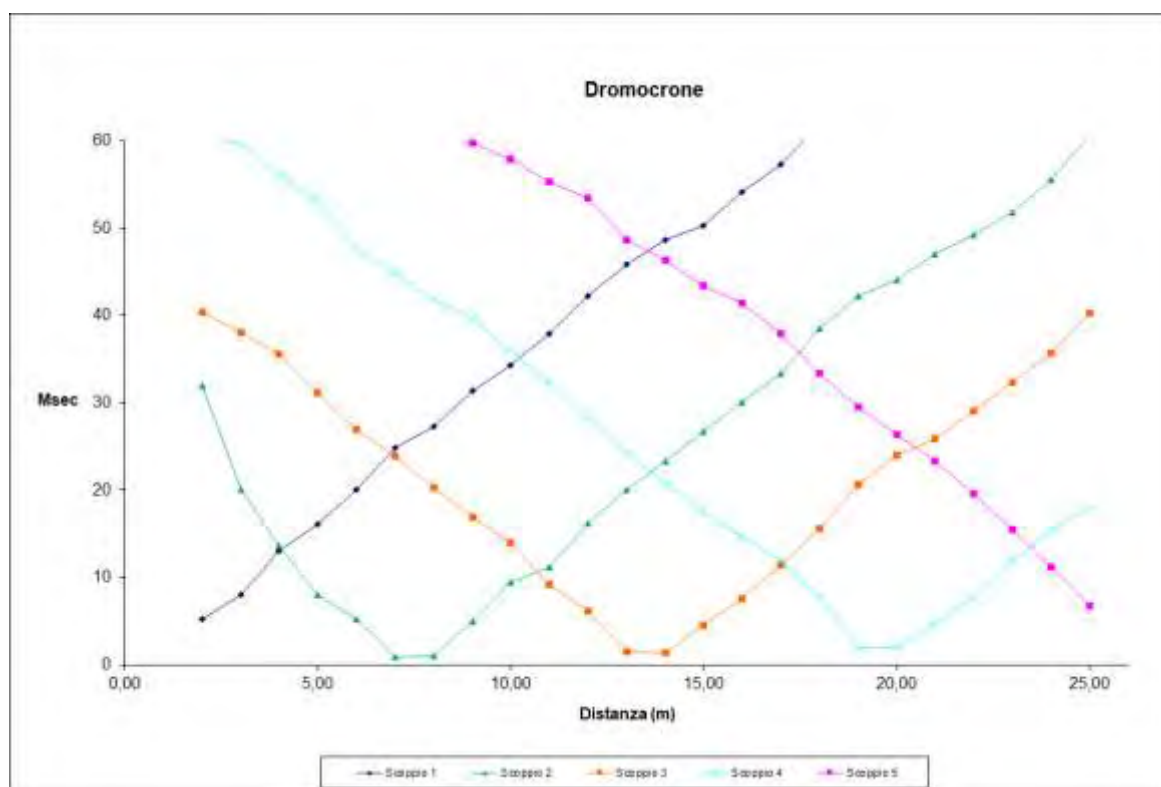




TABELLA PRIMI ARRIVI					
Scoppi	S1	S2	S3	S4	S5
Distanza (m)	-2,00	6,50	12,50	18,50	26,00
	msec	msec	msec	msec	msec
0,00	5,27	32,00	40,33	60,73	77,13
2,00	8,00	20,00	38,00	59,60	75,00
3,00	13,07	13,67	35,60	56,13	72,87
4,00	16,13	8,07	31,20	53,07	68,40
5,00	20,00	5,27	27,00	47,73	66,47
6,00	24,80	0,87	23,87	44,87	63,67
7,00	27,33	1,07	20,27	41,73	60,87
8,00	31,33	5,00	16,93	39,53	59,80
9,00	34,27	9,47	13,93	36,07	57,87
10,00	37,93	11,13	9,20	32,27	55,33
11,00	42,27	16,20	6,13	28,27	53,40
12,00	45,87	20,07	1,47	24,27	48,67
13,00	48,67	23,33	1,40	20,80	46,33
14,00	50,33	26,67	4,53	17,47	43,40
15,00	54,13	30,07	7,53	14,73	41,40
16,00	57,27	33,33	11,40	12,00	37,93
17,00	62,00	38,47	15,60	7,80	33,40
18,00	64,80	42,27	20,60	1,93	29,53
19,00	65,47	44,13	24,07	1,93	26,40
20,00	68,53	47,00	25,87	4,73	23,33
21,00	71,80	49,20	29,00	7,67	19,53
22,00	73,67	51,80	32,27	11,93	15,47
23,00	75,33	55,60	35,73	15,47	11,13
24,00	79,27	60,60	40,27	18,07	6,73

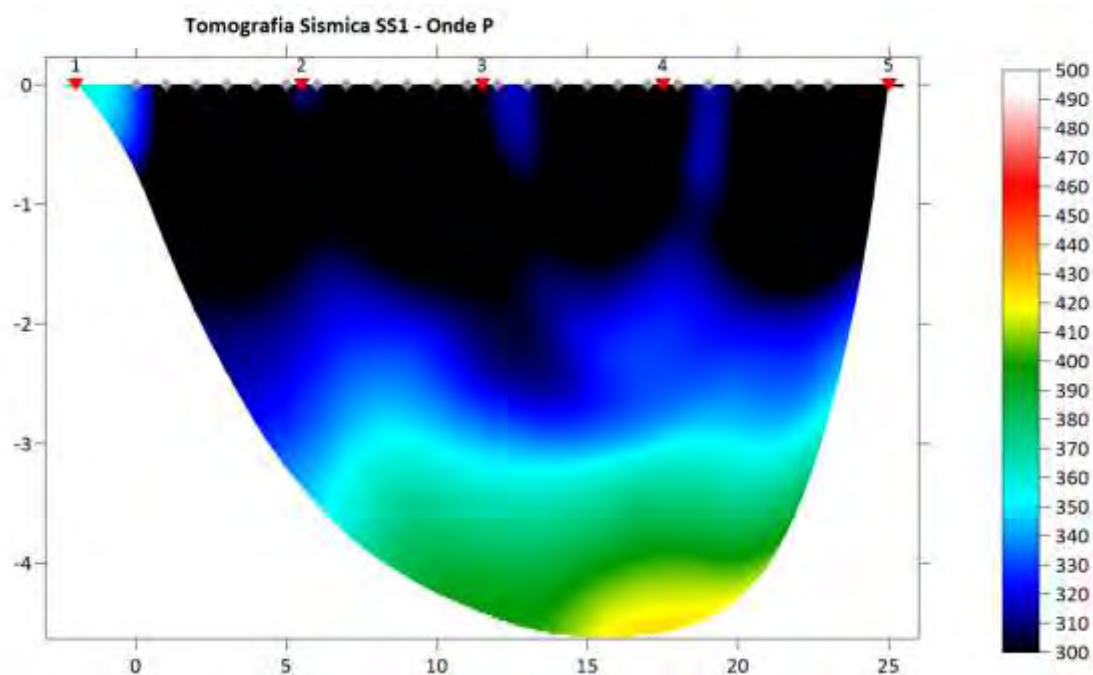
**Fig. 7: tabella dei primi arrivi.**

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 16.0**.



**Fig. 9: tomografia sismica. SS1**



**Foto n.1: Panoramica dello stendimento SS1**

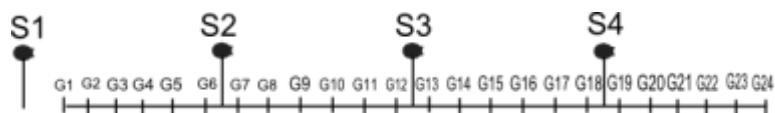
### 3.2 MASW

#### 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:

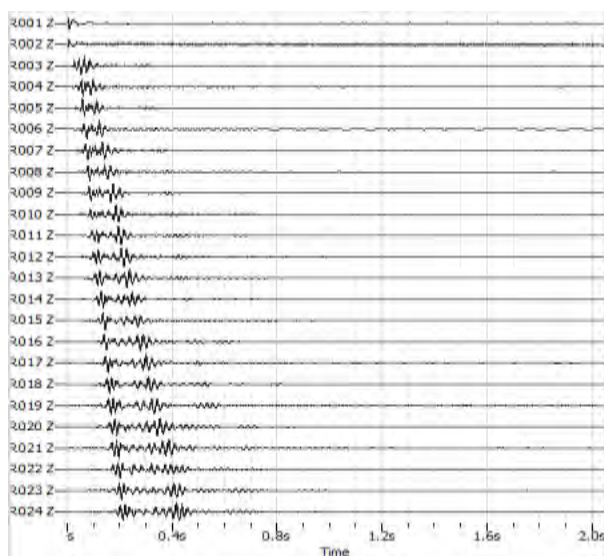
In **Fig. 15** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

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

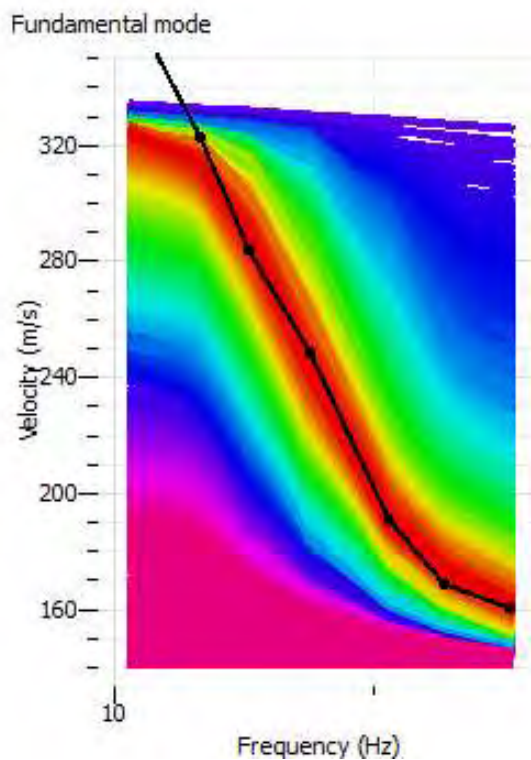
In **Fig. 17** è riportato il confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita;

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  **$V_{s30}$** .

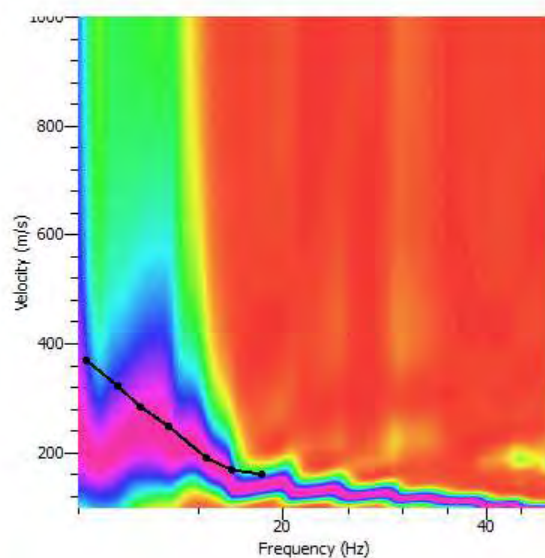


**Fig.15: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della prospezione. M1**



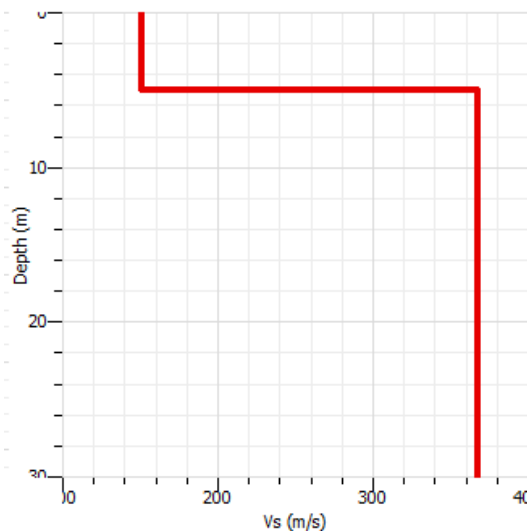
**Fig. 16: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale. M1**

Shot at (0, 0, 0), time=2019-08-30 11:32:48



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





**Fig. 18: andamento del parametro Vs con la profondità**

Sismostrato	Spessore (m)	Vs (m/s)	h/Vs		
1	4,00	160	0,025		
2	26,00	380	0,068		
	30,00	$\Sigma$	0,093		
<b>Vs30 (m/s)</b>	<b>321</b>				
				Classificazione: <b>Suolo Categoria Tipo C</b>	

**Fig. 19: tabella per il calcolo di Vs<sub>30</sub>. M1**



**Foto n.3: Energizzazione SS1**

#### 4. 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, 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
<b>A</b>	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>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra <b>360 m/s</b> e <b>800 m/s</b>
<b>C</b>	<u>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 <b>180 m/s</b> e <b>360 m/s</b></u>
<b>D</b>	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 <b>100 m/s</b> e <b>180 m/s</b>
<b>E</b>	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 il parametro **Vs30 (equivalente)** è caratterizzato dalla seguente velocità:

- **Vs30 (equivalente) M1 pari a 321 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a - 30,00 mt = suolo categoria C,**

Calcolato, quindi, con le prospezioni geofisiche **MASW** i valori di **Vs30** validi per detto intervallo è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine, che rientra nella **categoria di tipo C**: tale sottosuolo è definito come *"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".*

## **IL DIRETTORE TECNICO**

Dott. Geol. Vincenzo Cortese

**GEOSECURE SRL**

Il Direttore Tecnico  
Dott. Geol. Vincenzo Cortese