

# PROVINCIA DI ROMA



## COMUNE DI ARTENA

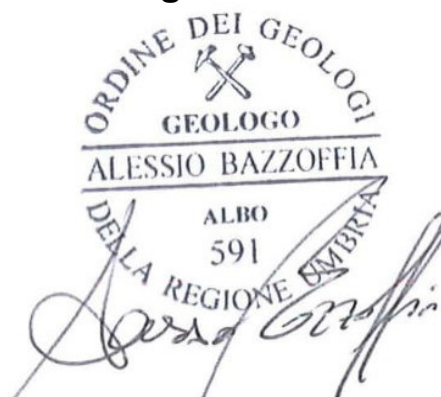
ELABORATO:  
RELAZIONE GEOLOGICA - IDROGEOLOGICA

PROGETTO:  
**MESSA IN SICUREZZA E MITIGAZIONE DEL RISCHIO  
IDROGEOLOGICO IN LOCALITA' PIANO DELLA CIVITA, NEL  
COMUNE DI ARTENA (RM)**

LOCALITA':  
PIANO DELLA CIVITA - ARTENA (RM)

COMMITTENTE:  
AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI ARTENA

**Dott. Geologo Alessio Bazzoffia**



## **INDICE**

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....</b>	<b>3</b>
<b>3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....</b>	<b>4</b>
<b>4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>6</b>
<b>5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>8</b>
<b>6. SISMICITÀ DELL'AREA .....</b>	<b>9</b>
<b>7. ANALISI DEGLI ELEMENTI DI RISCHIO .....</b>	<b>11</b>
<b>7.1 Analisi degli elementi di rischio litologico .....</b>	<b>11</b>
7.1.1 Potenziale di liquefazione .....	11
<b>7.2 Analisi degli elementi di rischio geomorfologico - idrogeologico .....</b>	<b>12</b>
<b>7.3 Analisi degli elementi di rischio idraulico .....</b>	<b>12</b>
<b>7.4 Analisi degli elementi di rischio sismico .....</b>	<b>12</b>
<b>8. CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA .....</b>	<b>13</b>
<b>8.1 Metodologia indagine sismica.....</b>	<b>19</b>
<b>8.2 Categoria di sottosuolo.....</b>	<b>20</b>
<b>8.3 Coefficiente topografico.....</b>	<b>21</b>
<b>8.4 Analisi di Risposta Sismica Locale.....</b>	<b>22</b>
<b>9. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>24</b>
<b>10. STATO DI FATTO, QUADRO GEOTECNICO E PROPOSTE PROGETTUALI .....</b>	<b>27</b>
<b>11. CONCLUSIONI.....</b>	<b>28</b>

## **1. PREMESSA**

Su incarico e committenza dell'Amministrazione comunale di Artena, è stata redatta la presente relazione geologica in merito al progetto "*Messa in sicurezza e mitigazione del rischio idrogeologico in località Piano della Civita, nel Comune di Artena (RM)*". Il presente lavoro, eseguito ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018 "nuove norme tecniche per le costruzioni NTC2018", è volto ad individuare gli aspetti geomorfologici, idrogeologici e litologici dell'area in esame, così da accertare l'idoneità degli interventi da realizzare, definire il modello geologico e sismico dell'area, assegnare la categoria di suolo e caratterizzare dal punto di vista geotecnico le terre di sedime.

Le considerazioni riportate di seguito derivano da un'accurata analisi cartografica, dalla raccolta dei dati bibliografici in possesso dello scrivente e dall'analisi dei risultati ottenuti dall'elaborazione delle indagini geologico-sismiche e geomeccaniche effettuate nell'area oggetto d'intervento. Queste ultime hanno consentito di definire il locale quadro evolutivo, ottenendo così una situazione geologico-geomorfologica sufficientemente nitida delle condizioni dell'area in esame, utili alla redazione del presente documento ed al fine di realizzare, in condizioni di sicurezza, l'intervento previsto.

Il presente elaborato è redatto in ottemperanza alle vigenti leggi e normative:

- D.M. 11.03.1988 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di fondazione;
- Circolare LL. PP. 24.09.1988., N° 30483 – Legge 02 .02.1974 N° 64 – Istruzioni per l'applicazione del D.M. 11.03. 1988;
- Eurocodice 7 Progettazione geotecnica;
- Eurocodice 8 Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture;
- O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- O.P.C.M. n° 3519 del 28 aprile 2006 – Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone;
- D.M. 17 Gennaio 2018 Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 2 Febbraio 2009 n°617.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame di Piano della Civita è situata circa a 1 km a sud della moderna cittadina di Artena (RM). Il sito occupa la sommità e le pendici di una collina poco accessibile, all'estremità settentrionale dei Monti Lepini. Tra le cartografie riportiamo uno stralcio IGM del foglio 150 II S.E. "Artena" della carta topografica d'Italia alla scala 1:25000 (TAV. 1) e la Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000 Elemento n° 388071 "Artena" (TAV. 2).



**Figura 2.1:** *Ortofoto – Ubicazione dell'area d'intervento*



Di seguito vengono riportate le coordinate geografiche relative al sito in esame, calcolate mediante l'apposito software GeoStru ps;

### **Coordinate WGS84**

Latitudine 41.726965

Longitudine 12.913620



### 3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area in esame è ubicata su di alto costone calcareo, propaggine settentrionale della Dorsale Ernico–Lepino–Ausona, che in direzione nord-ovest sud-est si estende fino al Mar Tirreno. Presenta pendenze molto ripide superiori al 40% e si colloca ad una quota compresa tra i 550 e i 580 m s.l.m.

Geomorfologicamente, i Lepini presentano una serie di creste, divise in due dorsali parallele che dalla valle dal paese di Montelanico arriva a Carpineto Romano per poi valicare in direzione di Maenza.

Sono inoltre caratterizzati da pronunciati *fenomeni carsici* epigei ed ipogei. Per questo motivo, su questo territorio si possono trovare, doline, voragini, grotte e pozzi, che costituiscono motivi d'interesse speleologico.

Nel nostro caso specifico, il rilevamento geomorfologico eseguito rispecchia la situazione riportata nella cartografia PAI (Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico - "Assetto di Versante" – TAV. 4 allegata). Si evidenziano infatti condizioni di **Pericolosità Molto Elevata P4** e di **area di attenzione potenziale alta - APa** (area non urbanizzata, nella quale il livello di attenzione, potenzialmente alto, può essere definito solo a seguito di indagini e studi a scala di maggiore dettaglio). L'analisi di quanto riportato nel Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani – TAV. 5 allegata) denota nell'area oggetto d'intervento la presenza di fenomeni gravitativi superficiali diffusi. Vista la conformazione geologico-geomorfologica, questi potenziali dissesti potrebbero evolvere in fenomeni gravitativi di versante di tipo crolli (fenomeno che inizia con il distacco di terra o roccia da un pendio acclive lungo una superficie, dove lo spostamento di taglio è nullo o limitato; il materiale si muove quindi per caduta libera, rimbalzo e rotolamento) e ribaltamento (rotazione in avanti, verso l'esterno del versante, di una massa di terra o roccia, intorno ad un punto o un asse situato al di sotto del centro di gravità della massa spostata) (Fig. 3.1).



**Figura 3.1:** Affioramento roccioso fortemente alterato

---

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

---

Tale assetto morfologico evidenzia come le pareti rocciose siano predisposte al distacco ed alla caduta delle porzioni litiche disarticolate dalle numerose fratture intersecanti gli ammassi, già debilitati dalle discontinuità, dagli apparati radicali, dai cicli di gelo e disgelo, dalle acque di infiltrazione e dagli eventi sismici.

Le famiglie di fratture riscontrate definiscono un quadro penalizzante in quanto presentano, in alcuni casi, angoli di inclinazione elevati e direzioni parallele a quella del versante, dando origine a blocchi anche di dimensioni metriche (circa 1 m) sottoposti all'azione della gravità. Anche i versanti sono contraddistinti da elevati valori di acclività, superiori a 40° - 45°, con scarpate sub verticali e di altezze considerevoli. Le pareti rocciose sono dunque caratterizzate dalla presenza di numerosi blocchi a dimensioni variabili, da alcuni decimetri fino ad arrivare al metro e separati da fratture beanti con larghezze da centimetriche a decimetriche; il materiale di riempimento delle fratture è costituito da pezzame carbonatico derivante dalla disgregazione della roccia di base, da resti vegetali e da terra.

Inoltre, l'evoluzione geomorfologica vede come elementi a rischio sia l'edificazione sia le infrastrutture viarie esistenti. Al fine quindi di mettere in sicurezza sia l'edificazione sia le infrastrutture viarie esistenti e conferire agli stessi requisiti di sicurezza, sarà necessario intervenire sul versante roccioso mediante rafforzamento corticale, il cui dimensionamento dovrà tenere conto anche del modello geologico tecnico ricostruito.

#### 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Da un punto di vista geologico l'area in esame è costituita prevalentemente da calcari dolomitici e dolomie di piattaforma carbonatica aventi una colorazione grigia-biancastra, la cui età è compresa nell'intervallo Giurassico medio-Paleocene.

Nel complesso orografico dei Monti Lepini, dove sorge anche la nostra area d'interesse, prevalgono gli affioramenti del Cretaceo che sono state depositate in un contesto di piattaforma tropicale carbonatica. Le rocce cretacee possono essere distinte in base alla loro composizione in carbonati di piattaforma interna e di margine. Queste ultime affiorano principalmente nella zona compresa tra il Monte Arrestino ed Artena giusto appunto e sono caratterizzate da frammenti di *Rudiste*, dei bivalvi che avevano funzione di scogliera. A seguito di una complessa storia sedimentaria, la piattaforma entra in erosione per gran parte del Paleogene. Successivamente, nel Miocene inferiore e medio l'area è interessata dalla sedimentazione di calcareniti che sono preservate in modo discontinuo al tetto della successione e hanno spessori limitati a pochi metri o decine di metri.

Nel corso dell'orogenesi dell'Appennino i Monti Lepini assieme al resto dei Monti Volsci furono coinvolti in diverse fasi di piegamento e sovrascorrimento. Durante il Miocene medio la sedimentazione carbonatica subisce un brusco arresto dovuto alla forte subsidenza e alla sedimentazione di materiale *silicoclastico* e *argilloso fine*. Nel corso del Tortoniano inferiore la zona tra Colleferro e Ceprano viene ricoperta da una successione di avanfossa spessa circa 700-1000 metri - Avanfossa di Frosinone - costituita prevalentemente da arenarie e siltiti mentre i Monti Volsci iniziano a sperimentare i primi accavallamenti tettonici. Nel corso del Messiniano, nuovi sovrascorrimenti coinvolgono l'intera struttura di catena e di avanfossa. Eventi di retroscorrimento sembrano interessare l'intera area che torna ad entrare in erosione, perlomeno nelle parti più rilevate nel corso del Pliocene inferiore. La massima espressione del retroscorrimento corrisponde alla valle tra Montelanico e Maenza che suddivide i Monti Lepini in occidentali e orientali.

Successivamente, in seguito alla distensione ancora in corso della catena Appenninica, le faglie normali ad alto angolo ritagliano la più antica struttura a pieghe e sovrascorrimenti, determinando una serie di blocchi che ribassano nel corso del Pleistocene una serie di blocchi in quella che poi sarà la Piana Pontina così separando anche la struttura dai Monti Ausoni da quella dei Monti Lepini attraverso la formazione della Valle Dell'Amaseno. In questo contesto il carsismo inizia a modellare il paesaggio di pari passo con la tettonica che determina i percorsi seguiti dalle acque meteoriche, i quali seguono preferenzialmente faglie e strati argillosi per determinare falde idriche sospese e di base.

Sulla base del rilevamento geologico e geo-meccanico dei litotipi affioranti, correlato dai parametri sismici ottenuti dalle prove Masw e HVSR, è stato possibile definire la locale stratigrafia, relativamente al substrato nella sua porzione alterata, **Substrato alterato** (fratturato) (**L1**), ed al substrato nella sua porzione integra, **Substrato integro** (**L2**). Il substrato alterato può essere associato allo “spessore instabile” del versante roccioso (spessore variabile tra 0,50 e 1,00 m), sotteso da una copertura di materiale detritico in matrice

---

**Studio Geologico** – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)

---

*sabbioso-limosa* con *clasti calcarei eterogenei* (spessore variabile tra 2,40 e 3,00 m) che complessivamente si estende fino ad una profondità di circa 3,00 ÷ 4,00 m dal p.c.. La fondazione è completamente in roccia.

Nello specifico sono stati individuati i seguenti orizzonti:

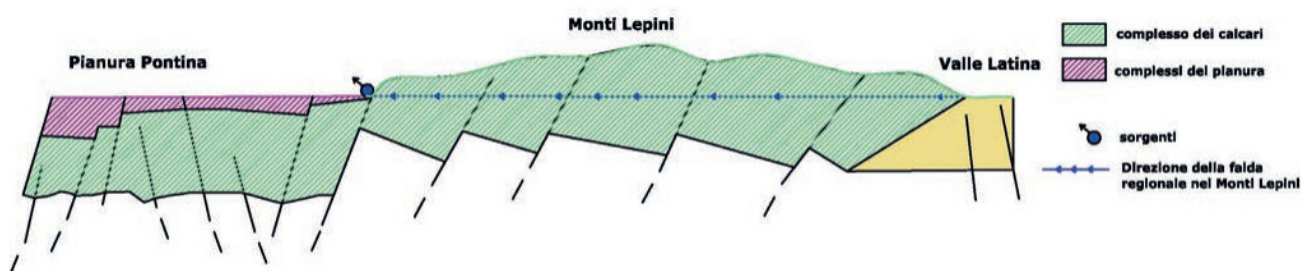
- **Substrato alterato** (fratturato) (**L1**): calcari grigio-biancastri alterati e fratturati (H = 0,50 ÷ 1,00 m);
- **Substrato integro** (**L2**): calcari grigio-biancastri integri (H>15,00 m).

In definitiva gli ammassi rocciosi analizzati sono **Calcari Massicci** di colore grigio-biancastro, con grado di alterazione e fratturazione che aumenta nella parte sommitale del versante. Questi ammassi rocciosi sono caratterizzati da più famiglie principali di discontinuità, con spaziatura media di quest'ultime di circa 0,5 ÷ 1,5 m. In base ai valori delle discontinuità si possono trarre delle correlazioni con le dimensioni dei blocchi, che nel caso specifico risultano comprese tra le decimetriche e le metriche, riconducibili ad un tipo di ammasso a blocchi o lastriformi.

## 5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista dell'idrografia superficiale e profonda, le acque di infiltrazione, dopo essere penetrate all'interno degli acquiferi vulcanici posti nelle formazioni tufacee di tipo pozzolanico e negli strati sottostanti carbonatici permeabili per fratturazione e carsismo, si dividono in diversi corpi idrici in corrispondenza di spartiacque sotterranei, generati da cause tettoniche, stratigrafiche e morfologiche. Nelle zone pedecollinari e di pianura, costituiti prevalentemente da materiali vulcanici, il grado di permeabilità primaria può variare notevolmente a seconda del grado di argillificazione degli strati.

Nel nostro caso specifico, la circolazione idrica sotterranea dell'idrostruttura lepina presenta un flusso prevalente verso la Pianura Pontina, generando i quattro grandi gruppi sorgivi (*Ninfa – Gruppo Cavata e Cavatella – Gruppo Sardellane – Gruppo Laghi del Vescovo*) e ricaricando il complesso dei calcari ribassato al di sotto del complesso dei depositi di copertura della pianura (Fig. 5.1).



**Figura 5.1:** Sezione schematica di circolazione delle acque nell'area di studio (rielaborato da schema di Boni et al., 1980)

Le indagini idrogeologiche condotte recentemente, consistite in misure piezometriche (Capelli et al., 2010) ed in misure di portata dei principali gruppi sorgivi (Bono, 2010), hanno confermato la presenza di due acquiferi, quello carsico e fratturato dei calcari e quello terrigeno delle coperture quaternarie della pianura. Nel modello "Lepini-Piana" l'acquifero carsico e fratturato, costituito da un complesso di Calcarei, Calcari dolomitici e dolomie, è stato ipotizzato come mezzo poroso equivalente, ossia un acquifero continuo in cui le acque sotterranee defluiscono, almeno alla scala di bacino, in regime laminare e caratterizzato da una **permeabilità di tipo primaria per porosità e secondaria per fratturazione e di grado medio**.



## 6. SISMICITÀ DELL'AREA

Il territorio nazionale è stato classificato, in base all'intensità e frequenza dei terremoti del passato, in diverse zone sismiche. Ciò con l'intento di ridurre gli effetti di un terremoto attraverso l'emanazione di speciali norme tecniche per le costruzioni in quelle zone classificate a rischio sismico. Fino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche.

Successivamente, in seguito all'emanazione di nuovi criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale, basati su studi relativi alla pericolosità sismica del territorio ed in particolare sull'analisi della probabilità che un territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo, sono state introdotte nuove norme. A tal fine il Presidente del Consiglio dei Ministri ha emesso un'Ordinanza (n. 3274 del 20 marzo 2003), nella quale vengono dettati i principi generali sulla base dei quali le Regioni hanno provveduto alla compilazione dell'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale.

Zona 1	E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti
Zona 2	Nei Comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti
Zona 3	I Comuni inseriti in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti
Zona 4	E' la zona meno pericolosa

(Fonte: Sito del Dipartimento della Protezione Civile - Presidenza del Consiglio dei Ministri)

A ciascuna zona, inoltre, viene attribuito un valore dell'azione sismica utile per la progettazione, espresso in termini di accelerazione massima su roccia (zona 1=0.35g - zona 2=0.25g – zona 3=0.15g – zona 4=0.05g). Nel territorio ricadente nella Zona 4 (che ha sostituito le zone che nella precedente normativa risultavano non classificate) è facoltà delle Regioni prescrivere o meno l'obbligo della progettazione antisismica. In seguito ad un aggiornamento dello studio di pericolosità sismica, recepito nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006, sono stati introdotti degli intervalli di accelerazione (ag), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche.

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)
1	$ag > 0.25$
2	$0.15 < ag \leq 0.25$
3	$0.05 < ag \leq 0.15$
4	$ag \leq 0.05$

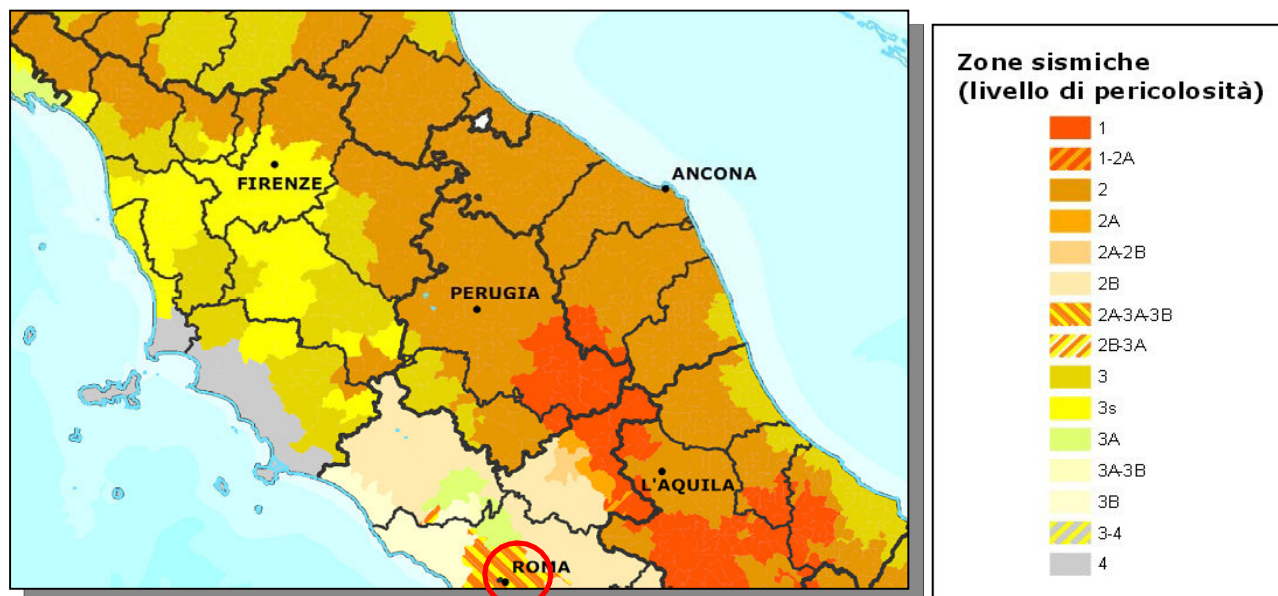
Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06)

(Fonte: Sito del Dipartimento della Protezione Civile - Presidenza del Consiglio dei Ministri)

**Studio Geologico** – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)

In alcune regioni sono state introdotte anche delle sottozone (contraddistinte oltre che dal numero anche da una lettera) al fine di meglio adattare la norma alle effettive caratteristiche sismiche del proprio territorio.

Il sito in oggetto, ricadente nel comune di Artena (RM), è classificato come **Zona sismica 2B** (Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti. La sottozona **2B** indica un valore di  $a_g < 0,20g$ ).



**Figura 6.1:** Mappa di classificazione sismica al 2012

(Fonte: Sito del Dipartimento della Protezione Civile - Presidenza del Consiglio dei Ministri)

In definitiva ad ogni zona (o sottozona) è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido ( $a_g$ ).

Ma in seguito all'entrata in vigore delle attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018), il valore di tale pericolosità di base non ha più influenza sulla progettazione.

## 7. ANALISI DEGLI ELEMENTI DI RISCHIO

### 7.1 Analisi degli elementi di rischio litologico

Studiate le caratteristiche litologiche, stratigrafiche ed idrogeologiche dei luoghi, si può stabilire che, per la composizione prevalentemente *Calcarea*, l'area in esame non è soggetta a rischio di liquefazione dei terreni di sedime.

#### 7.1.1 Potenziale di liquefazione

La liquefazione è un fenomeno per cui, in conseguenza dell'applicazione di azioni dinamiche quali le azioni sismiche agenti in condizioni non drenate, un terreno perde la propria resistenza al taglio. Nel rispetto delle NTC18 e da quanto riportato su "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", a cura del Dipartimento di Protezione Civile, ai fini della progettazione è importante valutare la possibilità di occorrenza di fenomeni liquefazione. Il pericolo liquefazione deve essere accertato in base alla possibilità di concomitanza di fattori scatenanti (caratteristiche dei terremoti attesi) e predisponenti (susceptibilità dei terreni).

La probabilità che un deposito incoerente raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende prevalentemente dalle proprietà geotecniche, stato di addensamento del deposito, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche (caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata), ed età del deposito stesso. Tanto minore è il grado di addensamento del materiale tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

La probabilità che in terreni sabbiosi saturi si manifesti liquefazione è bassa o nulla se si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

- evento sismico atteso di magnitudo inferiore a 5;
- terreni con caratteristiche ricadenti nelle seguenti condizioni:
  - frazione di fine, FC, superiore al 20% con indice di plasticità  $PI > 10$ ;
  - $FC \geq 35\%$  e resistenza  $(N_1)_{60} > 20$ ;
  - $FC \leq 5\%$  e resistenza  $(N_1)_{60} > 25$ ;

$(N_1)_{60}$  = valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT

- spessore del deposito potenzialmente liquefacibile inferiore dello spessore non liquefacibile sovrastante.

La natura dei terreni che non rientra nel fuso granulometrico delle sabbie soggette a liquefazione, ci permette di escludere il rischio di liquefazione. Pertanto, non è necessario procedere ad una tale verifica.

## **7.2 Analisi degli elementi di rischio geomorfologico – idrogeologico**

Dal rilevamento geomorfologico eseguito e verificate le cartografie regionali relative al rischio di dissesto idrogeologico, le cartografie di pianificazione territoriale (*Rischio PAI – IFFI - TAV. 5 - TAV. 6*) si può asserire che il sito, ed in particolare il versante oggetto d'intervento, risultano inseriti in area caratterizzata da movimenti gravitativi superficiali diffusi.

Il PAI ha come obiettivo specifico l'individuazione delle aree a rischio di frana e di alluvione e in particolare, nel nostro caso, sono state evidenziate condizioni di **Pericolosità Molto Elevata P4** e di **area di attenzione potenziale alta - APa** (area non urbanizzata, nella quale il livello di attenzione, potenzialmente alto, può essere definito solo a seguito di indagini e studi a scala di maggiore dettaglio).

Sempre il PAI ha come obiettivo la previsione di azioni finalizzate alla prevenzione e mitigazione di detto rischio sull'area in esame e sul territorio in generale.

In considerazione del fatto che trattasi di intervento atto a stabilizzare e consolidare il versante in frana, si può affermare che la realizzazione di quanto in progetto andrà a migliorare le condizioni idrogeologiche e geomorfologiche dell'area.

## **7.3 Analisi degli elementi di rischio idraulico**

Dall'esame delle cartografie ed esaminata la morfologia dell'area si può asserire che il sito in oggetto è esente dal rischio di esondazione.

## **7.4 Analisi degli elementi di rischio sismico**

L'area in oggetto rientra in Zona sismica 2B.

## 8. CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA

In riferimento alle nuove “Norme tecniche per le costruzioni” del D.M. 17 gennaio 2018, che definiscono l'azione sismica di progetto per un qualunque sito, è importante determinare la pericolosità sismica di base del sito oggetto d'intervento, la categoria di sottosuolo attraverso una valutazione delle specifiche caratteristiche geolitologiche e stratigrafiche, la categoria topografica per valutare i fattori stratigrafici e topografici che possono determinare fenomeni di amplificazione.

### Parametri sismici - Geostru software - [www.geostru.com](http://www.geostru.com)

#### Stati limite

Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale 50

Interpolazione Media ponderata

**CU = 1**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.052	2.518	0.260
Danno (SLD)	50	0.067	2.466	0.273
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.160	2.541	0.290
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.204	2.499	0.295
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

#### Coefficienti sismici

Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m) 1 us (m) 0.1

Cat. Sottosuolo B

Cat. Topografica T2

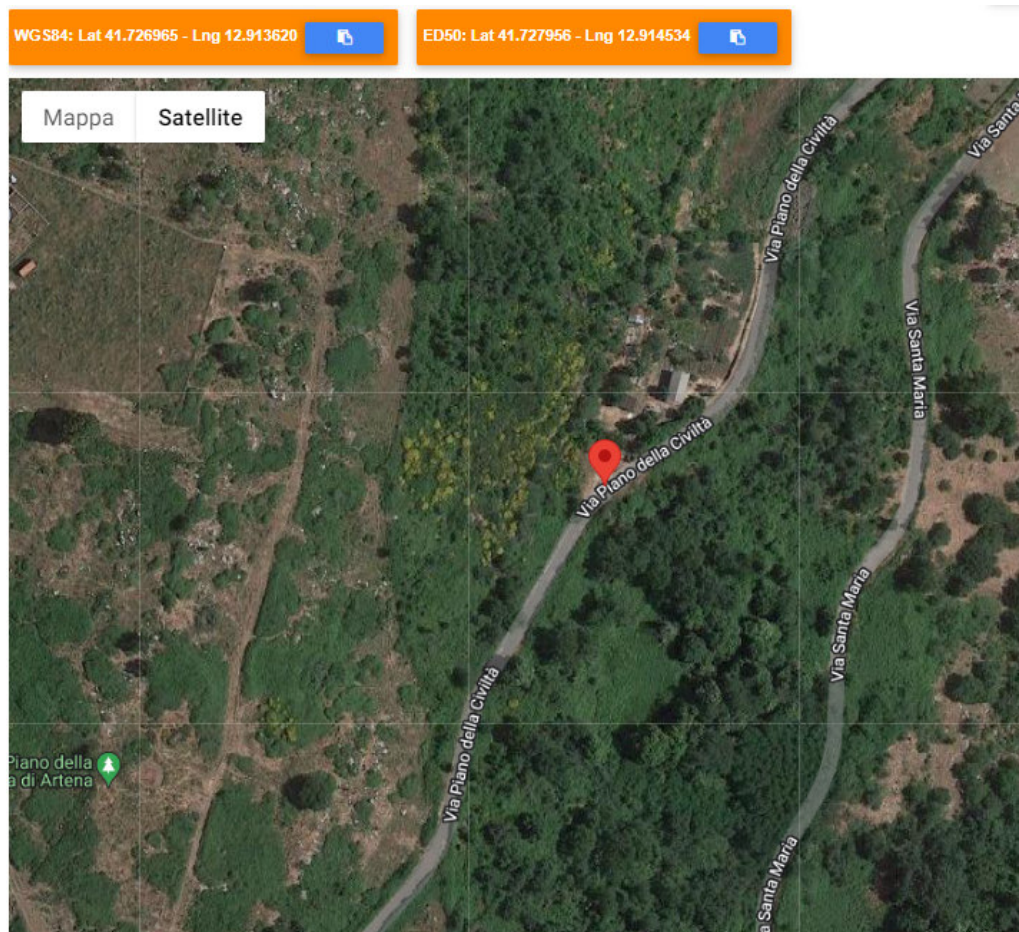
	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,44	1,43	1,41	1,40
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.015	0.019	0.055	0.082
kv	0.008	0.010	0.028	0.041
Amax [m/s²]	0.741	0.950	2.256	2.877
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280



**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**



#### Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 41,727955737312

longitudine: 12,9145343609154

Classe: 2

Vita nominale: 50

#### Siti di riferimento

Sito 1	ID: 29184	Lat: 41,7333	Lon: 12,8873	Distanza: 2338,700
Sito 2	ID: 29185	Lat: 41,7337	Lon: 12,9543	Distanza: 3355,982
Sito 3	ID: 29407	Lat: 41,6837	Lon: 12,9547	Distanza: 5949,314
Sito 4	ID: 29406	Lat: 41,6833	Lon: 12,8878	Distanza: 5439,565

**Parametri sismici****Categoria sottosuolo: B****Categoria topografica: T2****Periodo di riferimento: 50anni****Coefficiente cu: 1****Operatività (SLO):****Probabilità di superamento: 81 %****Tr: 30 [anni]****ag: 0,052 g****Fo: 2,518****Tc\*: 0,260 [s]****Danno (SLD):****Probabilità di superamento: 63 %****Tr: 50 [anni]****ag: 0,067 g****Fo: 2,466****Tc\*: 0,273 [s]****Salvaguardia della vita (SLV):****Probabilità di superamento: 10 %****Tr: 475 [anni]****ag: 0,160 g****Fo: 2,541****Tc\*: 0,290 [s]****Prevenzione dal collasso (SLC):****Probabilità di superamento: 5 %****Tr: 975 [anni]****ag: 0,204 g****Fo: 2,499****Tc\*: 0,295 [s]**

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

---

**Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii**

**SLO:**

**Ss: 1,200**

**Cc: 1,440**

**St: 1,200**

**Kh: 0,015**

**Kv: 0,008**

**Amax: 0,741**

**Beta: 0,200**

**SLD:**

**Ss: 1,200**

**Cc: 1,430**

**St: 1,200**

**Kh: 0,019**

**Kv: 0,010**

**Amax: 0,950**

**Beta: 0,200**

**SLV:**

**Ss: 1,200**

**Cc: 1,410**

**St: 1,200**

**Kh: 0,055**

**Kv: 0,028**

**Amax: 2,256**

**Beta: 0,240**

**SLC:**

**Ss: 1,200**

**Cc: 1,400**

**St: 1,200**

---

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

---

**Kh: 0,082****Kv: 0,041****Amax: 2,877****Beta: 0,280****Le coordinate espresse in questo file sono in ED50****Geostru****Coordinate WGS84****latitudine: 41.726965****longitudine: 12.913620**

Il parametro della **ag attesa** è risultato = **0.160g** Poiché tale valore di accelerazione sismica orizzontale **ag** si riferisce al *bedrock*, per definire il valore di **ag** in superficie si calcola inizialmente il fattore stratigrafico **Ss** caratteristico dell'area secondo il NTC 2018 D.M. 17/01/2018 da cui, essendo in classe **B** si avrà:

$$1,00 \leq Ss = 1,40 - (0,40 \bullet Fo \bullet ag/g) \leq 1,20 \quad (4.1)$$

dove:

**Fo** = Fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2; per il sito oggetto di studio tale valore, calcolato mediante l'utilizzo di apposito software, risulta pari a **2.541**;

**ag/g** = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a 475 anni/accelerazione di gravità;

**SS** = Coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione (4.1); per il sito oggetto di studio risulta pari a **1.237**

---

**Studio Geologico** – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)

---

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si ricava il fattore topografico ST dalla seguente tabella:

Categoria topografica Ubicazione opera/intervento ST
<b>T1</b> Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$ <b>1.0</b>
<b>T2</b> Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$ <b>1.2</b>
<b>T3</b> Rilievi con larghezza in cresta molto minore che all'base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ <b>1.2</b>
<b>T4</b> Rilievi con larghezza in cresta molto minore che all'base e inclinazione media $> 30^\circ$ <b>1.4</b>
Per l'area studiata, appartenente alla categoria topografica T1, si ottiene un fattore topografico
<b>ST pari a 1.0.</b>

In base a tali valori del fattore stratigrafico SS e del fattore topografico ST si procede al calcolo dell'accelerazione massima orizzontale **Agmax**:

$$Ag_{max} = SS \cdot ag = 1.237 \cdot 0.160 \text{ g} = 0.198 \text{ g}$$

I valori di accelerazione massima al suolo **Amax** sono riassunti nella seguente tabella:

sito:	S <sub>s</sub>	A <sub>max</sub> (g) al suolo	A <sub>max</sub> (m/sec <sup>2</sup> )
Artena - (RM)	1,237	0,198	1,942

**Tab. 8.1** – Valori di accelerazione orizzontale massima in superficie A<sub>max</sub> attesa al suolo

Dal valore nominale di accelerazione massima **Amax** attesa ag (g) si trasforma ad ag (m/sec<sup>2</sup>) moltiplicando per 9.81.



### 8.1 Metodologia indagine sismica

Le prospezioni sismiche vengono utilizzate nell'ambito dell'esplorazione del sottosuolo tramite lo studio della propagazione di onde elastiche generate artificialmente mediante esplosioni controllate, vibrazioni indotte sul terreno con intensità e frequenza note, masse battenti di vario peso e tipologia o con sorgenti naturali.

Nel caso di sorgenti artificiali si parlerà di sismica attiva e rientrano in questa categoria le indagini di sismica a rifrazione, a riflessione le indagini Masw, le Sasw e tutte le prove eseguite in foro (down-hole, cross-hole, up-hole) mentre nel caso di sorgenti naturali (*noise*) si parlerà di sismica passiva che comprendono le prove sismiche ReMi, Nakamura, Spac, Esac.

Nel nostro caso specifico sono stati utilizzati un numero attendibile di dati in possesso dello scrivente, riferibili a valori di velocità di propagazione delle onde di taglio Vs, relativi ad un'indagine sismica Masw effettuata nelle immediate vicinanze dell'area in studio. L'indagine MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) è una tecnica investigativa che consente di ricostruire la distribuzione della velocità delle onde S di taglio nel sottosuolo, permettendo di ricavare il parametro Vs,eq necessario per la classificazione dei suoli in base alle NTC 2018, che stabiliscono le nuove norme tecniche in materia di progettazione antisismica. La metodologia per la realizzazione di un'indagine sismica Masw prevede 4 passaggi fondamentali:

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni che viene spostato lungo la linea dello stendimento stesso dopo ogni acquisizione;
2. Estrazione del modo fondamentale delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione);
3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle Vs (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);
4. Ricostruzione di una sezione di una sezione (modello 2D) delle Vs dei terreni con approccio multicanale (con almeno due acquisizioni dei segnali, ovvero uno spostamento lungo la linea dello stendimento).

Per quanto concerne la fase di acquisizione del dato di campo, l'indagine Masw prevede di effettuare uno stendimento di 12 geofoni (preferibilmente da 4,5 Hz) allineati con la sorgente ad una distanza intergeofonica variabile in base alle condizioni di sito e di energizzare in un solo punto (off set) con una sorgente ad impatto verticale, ad una distanza dal geofono più esterno anch'essa variabile in un range prestabilito. Vengono dunque generate sia onde di volume (P ed S), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni. Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana.

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica Masw sta nella sua intrinseca capacità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni. I sismogrammi così ottenuti vengono poi selezionati in fase di elaborazione, utilizzando solamente lo shoot che presenta la migliore qualità del segnale.

## 8.2 Categoria di sottosuolo

In base a quanto attualmente esposto dalle “Norme tecniche per le costruzioni” del D.M. 17 gennaio 2018, è necessario determinare le azioni sismiche di progetto tramite specifiche analisi di sito o mediante un approccio semplificato che si basa sul calcolo della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ( $V_{s,eq}$ ) partendo dal piano di posa delle fondazioni.

Il valore di  $V_{s,eq}$  (in m/s) viene calcolato secondo la seguente espressione:

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

dove  $h_i$  e  $V_{s,i}$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti al disopra del substrato sismico (con  $V_s > 800$  m/s), fino ad un  $H$  massimo di 30 m ( $V_{s30}$ ). L'indagine sismica in possesso dello scrivente ha permesso quindi di ricostruire il seguente profilo sismostratigrafico necessario per il calcolo delle  $V_{s,eq}$ :

Nel caso del sito in oggetto al fine di identificare la categoria di sottosuolo di riferimento si utilizzeranno i dati ottenuti sia attraverso l'esecuzione di indagini HVSR sia attraverso il processo di inversione della curva di dispersione ricavata da profili MASW, entrambe le prove riferite a lavori pregressi ed eseguite nelle vicinanze dell'area d'intervento.

I risultati delle indagini utilizzate mostrano che i terreni costituenti il sottosuolo di interesse appartengono ad una categoria di sottosuolo B.

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

### 8.3 Coefficiente topografico

Per valutare i fattori stratigrafici e topografici che possono determinare fenomeni di amplificazione si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella Tab. 8.3/a, in funzione delle categorie topografiche definite in Tab. 8.3/b e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

La vigente normativa sismica prevede che, in tali condizioni morfologiche venga adottato:

$$S_T = 1.2$$

**Tabella 8.3/a – Categorie topografiche**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
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 $i > 30^\circ$

**Tabella 8.3/b – Valori del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$**

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

Il sito in esame è dunque ubicato in corrispondenza di un pendio con inclinazione media superiore a  $15^\circ$  e pertanto, in base a quanto previsto dal DM del 17 gennaio 2018, l'area può essere classificata nella seguente categoria topografica:

**Categoria topografica “T2”**

#### 8.4 Analisi di Risposta Sismica Locale

Le analisi della Risposta Sismica Locale sono effettuate utilizzando procedure di calcolo numerico in cui viene simulata la propagazione delle onde sismiche entro gli strati di terreno compresi tra il sottostante substrato rigido e il piano campagna. L'opera in progetto è ubicata in Località Piano della Civita, nel Comune di Artena (RM).

In generale, queste analisi richiedono le seguenti operazioni (Circ. NTC18 punto C.7.11.3.1.2):

- ***scelta della schematizzazione geometrica del sito;***
- ***definizione del modello geotecnico di sottosuolo;***
- ***definizione delle azioni sismiche al substrato rigido;***
- ***scelta della procedura di analisi;***
- ***stima dell'amplificazione del moto in superficie rispetto al bedrock, in funzione della frequenza;***
- ***stima dello spettro di risposta dell'oscillatore armonico tipo (edificio) ad un grado di libertà in termini di accelerazioni massime attese in funzione del periodo proprio della struttura per uno smorzamento assunto pari al 5%.***

Ai fini di un'analisi di risposta sismica locale semplificata è stato utilizzato il programma RSL III - GEOSTRU, che ipotizzata una schematizzazione geometrica mono-dimensionale (1D), in cui, a prescindere dalla effettiva configurazione topografica del piano campagna, ci si riconduce allo schema di terreno, uniforme o stratificato orizzontalmente, delimitato da piano campagna orizzontale e poggiante su substrato rigido, anch'esso orizzontale.

Nel caso specifico l'edificio in progetto si trova su una superficie riconducibile a categoria topografica T1 (N.T.C. 2018) e pertanto la scelta del codice di calcolo RSL III - GEOSTRU trova accordo con l'effettiva configurazione topografica del piano campagna.

Il programma RSL III - GEOSTRU, inoltre, fa riferimento ad un modello costitutivo del terreno di tipo viscoelastico lineare equivalente, che lavora in termini di tensioni totali, con un modello a strati piani e paralleli. Il codice di calcolo prevede che per ogni strato di terreno si definiscano spessore, massa volumica e le curve di decadimento del modulo di deformazione a taglio  $G$  e dello smorzamento  $D$  in funzione della deformazione a taglio  $\gamma$ . Il software RSL III - GEOSTRU inoltre ipotizza che il moto sismico, applicato al substrato, sia costituito da onde di tipo SH che si propagano in direzione verticale, perpendicolarmente alla giacitura degli strati.

---

**Studio Geologico** – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)

---

Questa analisi fornisce i profili di massima accelerazione, deformazione e tensione di taglio, i valori operativi del modulo di taglio e del coefficiente di smorzamento, le storie temporali di accelerazione, deformazione e tensione di taglio e gli spettri di risposta e di Fourier in punti del dominio specificati in ingresso all'analisi.

I risultati ottenuti dal calcolo della Risposta Sismica Locale (RSL), riportati di seguito negli allegati di elaborazione, evidenziano come il metodo semplificato risulti addirittura sovrastimato in termini di Accelerazione orizzontale massima attesa al suolo ( $A_{g_{MAX}}$ ).

Pertanto sulla base di quest'analisi, si evince che le indagini geognostiche e simiche eseguite risultano a nostro avviso sufficienti ed esaustive al fine di una corretta determinazione del modello geologico di sito.



## 9. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Sulla base dei risultati in possesso dello scrivente relativi ad una campagna geognostica effettuata nell'area lungo strada, soggetta a rifacimento e consolidamento, è stato possibile valutare i principali parametri geotecnici riferibili ai terreni di copertura. Le due prove penetrometriche dinamiche (DPM) effettuate, sono riuscite ad attraversare la copertura di materiale detritico, permettendo di osservare la sequenza litostratigrafica. Le due prove sono state spinte a rifiuto rispettivamente alla profondità di 2.2 m dal p.c. (DPM 1) e alla profondità di 1.9 m dal p.c. (DPM 2). Nello specifico, dai risultati ottenuti relativi alle litologie attraversate, sono stati ricavati i seguenti parametri geotecnici medi:

Strato	Profondità	falda	Litotipo	Parametri geotecnici
1	0,00 – 0,30 m da p.c.	--	Terreno vegetale rimaneggiato	$\gamma = 1740 \div 1780 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$ $\gamma_{\text{sat}} = 1920 \text{ (t/m}^3\text{)}$ $E_{\text{ed}} = 84,38 \div 90,05 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ $\phi = -$ $Dr = -$ $Cu = -$ $C' = -$ $v = 0,33$
2	0,30 – 1,10 m da p.c.	--	Limo sabbioso poco addensato	$\gamma = 1640 \div 1660 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$ $\gamma_{\text{sat}} = 1910 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$ $E_{\text{ed}} = 73,64 \div 71,94 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ $\phi = 22^\circ$ $Dr = 28,38\%$ $Cu = 0,25 \div 0,50 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ $v = 0,34$
3	1,10 – 2,20 m da p.c.	--	Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	$\gamma = 1930 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$ $\gamma_{\text{sat}} = 1960 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$ $E_{\text{ed}} = 112,97 \div 114,58 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ $\phi = 25^\circ$ $Dr = 46,18\%$ $Cu = 1,00 \div 2,00 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ $v = 0,32$

Tab. 9.1: Tabella riassuntiva parametri geotecnici dei terreni di copertura

### Legenda

$\gamma$  = peso specifico terreno naturale

$\gamma_{\text{sat}}$  = peso specifico terreno saturo

$E_{\text{ed}}$  = Modulo edometrico

$\phi^l$  = angolo di attrito residuo

$Dr$  = densità relativa

$Cu$  = Coesione non drenata

$v$  = modulo di Poisson

---

**Studio Geologico** – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)

---

La parametrizzazione geo-meccanica dell'ammasso roccioso da rafforzare, è stata ricavata sia dai rilievi in campo sia dai dati bibliografici e dell'esperienza acquisita su litotipi simili ubicati in contesti geologici e geomorfologici anch'essi prossimi al contesto che si sta analizzando.

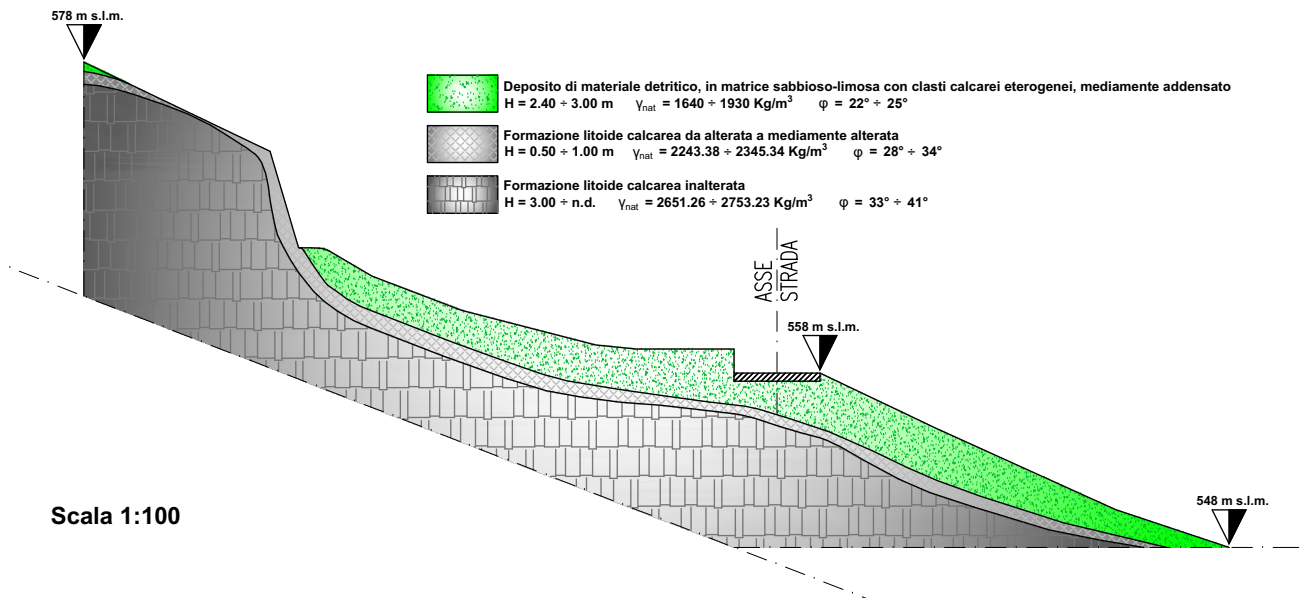
Al fine quindi di fornire una stima quantitativa dei parametri caratteristici dell'ammasso roccioso sono stati effettuati rilievi geo-meccanici relativamente ai fronti di intervento secondo le procedure I.S.R.M. (International Society for Rock Mechanics, 1978).

<b>JRC</b> (Joint Roughness Coefficient)	3
<b>JCS</b> (Joint Wall Compressive Strength)	$765 \text{ Kg/cm}^2 \div 1020 \text{ Kg/cm}^2$
$\gamma_{\text{nat}}$ (Peso dell'unità di volume della roccia)	$2243.38 \text{ Kg/m}^3 \div 2345.34 \text{ Kg/m}^3$
$\phi_{\text{picco}}$ (Angolo di attrito di picco)	$33^\circ \div 41^\circ$
$\phi_{\text{residuo}}$ (Angolo di attrito residuo)	$28^\circ \div 34^\circ$
$C_{\text{picco}}$ (Coesione di picco)	$2.90 \text{ Kg/cm}^2 \div 3.67 \text{ Kg/cm}^2$
$C_{\text{residua}}$ (Coesione residua)	$2.32 \text{ Kg/cm}^2 \div 2.93 \text{ Kg/cm}^2$
<b>Inclinazione del giunto più pericoloso</b>	$50^\circ \div 65^\circ$
<b>RMR di base</b>	$56.88 \div 72.02$
<b>RMR corretto</b>	$49.88 \div 65.02$
<b>Kh</b> (Coefficiente sismico orizzontale – SLV)	0,046

**Tab. 9.2:** Tabella riassuntiva parametri geotecnici dell'ammasso roccioso

**Studio Geologico** – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)

Dalla correlazione dei parametri geotecnici con i valori sismostratigrafici, è stato possibile ricostruire la sezione lito-stratigrafica (Fig. 9.1) interpretativa del modello geologico di sottosuolo, riferibile all'area di studio oggetto d'intervento:



**Figura 9.1:** Sezione lito-stratigrafica A – B relativa al modello geologico di sottosuolo

## **10. STATO DI FATTO, QUADRO GEOTECNICO E PROPOSTE PROGETTUALI**

L'assetto morfologico evidenzia come le pareti rocciose siano predisposte al distacco ed alla caduta delle porzioni litiche disarticolate dalle numerose fratture intersecanti gli ammassi, già debilitati dalle discontinuità, dagli apparati radicali, dai cicli di gelo e disgelo, dalle acque di infiltrazione e dagli eventi sismici.

Numerosi blocchi *calcarei*, di varie dimensioni, si trovano in condizioni potenzialmente instabili all'interno del versante roccioso esaminato, sia per l'elevata acclività che per l'insorgere di numerose cause scatenanti, quali l'azione dei diversi agenti esogeni, che potrebbero portare al conseguente rotolamento di questi massi lungo la superficie del pendio, i quali metterebbero a rischio la viabilità stradale e le abitazioni prospicienti il versante.

Al fine quindi di mettere in sicurezza sia l'edificazione che le infrastrutture viarie esistenti e conferire agli stessi requisiti di sicurezza, sarà necessario intervenire sul versante roccioso, mediante un consolidamento e rafforzamento con reti, il cui dimensionamento dovrà tenere conto anche del modello geologico tecnico ricostruito nel presente elaborato.

## 11. CONCLUSIONI

Alla luce delle considerazioni, della bibliografia specializzata e dei risultati ottenuti da indagini geologiche e sismiche effettuate nell'area d'intervento, è possibile esprimere le seguenti conclusioni:

- Geologicamente, l'area in esame è costituita in prevalenza da **calcari dolomitici** e **dolomie** di piattaforma carbonatica aventi una colorazione grigia-biancastra, la cui età è compresa nell'intervallo Giurassico medio-Paleocene. Il substrato roccioso, in seguito alle indagini geologiche e sismiche effettuate, è stato suddiviso in una porzione alterata, **Substrato alterato** (fratturato) (**L1**), e in una porzione integra, **Substrato integro** (**L2**). Il substrato alterato può essere associato allo "spessore instabile" del versante roccioso (spessore variabile tra 0,50 e 1,00 m), sotteso da una copertura di **materiale detritico** in matrice *sabbioso-limosa* con *clasti calcarei eterogenei* (spessore variabile tra 2,40 e 3,00 m) che complessivamente si estende fino ad una profondità di circa 3,00 ÷ 4,00 m dal p.c..
- Geomorfologicamente, l'area in esame è ubicata su di alto costone calcareo, propaggine settentrionale della Dorsale Ernico-Lepino-Ausona, che in direzione nord-ovest sud-est si estende fino al Mar Tirreno. Presenta pendenze molto ripide superiori al 40% e si colloca ad una quota compresa tra i 550 e i 580 m s.l.m. I Monti Lepini presentano una serie di creste, divise in due dorsali parallele che dalla valle dal paese di Montelanico arriva a Carpineto Romano per poi valicare in direzione di Maenza. Sono inoltre caratterizzati da pronunciati fenomeni carsici epigei ed ipogei. Per questo motivo, su questo territorio si possono trovare, doline, voragini, grotte e pozzi.
- Da un punto di vista idrogeologico, ci troviamo in presenza di un acquifero carsico e fratturato, costituito da un complesso di Calcari, Calcari dolomitici e dolomie, il quale è stato ipotizzato come mezzo poroso equivalente, ossia un acquifero continuo in cui le acque sotterranee defluiscono, almeno alla scala di bacino, in regime laminare e caratterizzato da una **permeabilità di tipo primaria per porosità e secondaria per fratturazione e di grado medio**.
- Sotto l'aspetto della pianificazione territoriale e della mitigazione del rischio idrogeologico, Il PAI ha come obiettivo specifico l'individuazione delle aree a rischio di frana e di alluvione e in particolare, nel nostro caso, sono state evidenziate condizioni di **Pericolosità Molto Elevata P4** e di **area di attenzione potenziale alta - APa** (area non urbanizzata, nella quale il livello di attenzione, potenzialmente alto, può essere definito solo a seguito di indagini e studi a scala di maggiore dettaglio).
- Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, secondo quanto stabilito nelle "Norme tecniche per le costruzioni" del D.M. del 17 gennaio 2018, il terreno in oggetto ricadrebbe nella **categoria di sottosuolo B**:

**Indagine sismica MASW 1 – Porzione lungo strada:  $V_{s,eq} (8.04 \text{ m}) = 478 \text{ m/s}$**

**Indagine sismica MASW 2 – Base dell'affioramento roccioso:  $V_{s,eq} (3.20 \text{ m}) = 505 \text{ m/s}$**

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

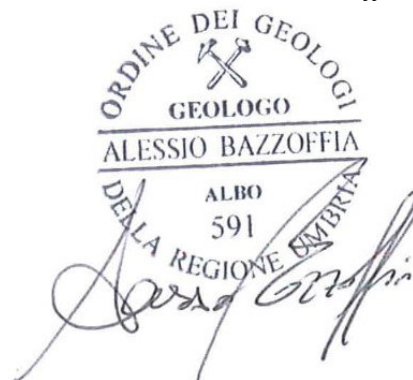
- Secondo la classificazione sismica vigente (zona sismica 2B) il comune di Artena presenta un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo (cioè per periodo  $T=0$ )  $a_{refg} = 0,160 \text{ g}$  (espressa sempre in frazione dell'accelerazione di gravità).
- Tali valori di accelerazione sismica orizzontale  $a_g$  si riferiscono al bedrock; dopo gli opportuni calcoli il valore di  $a_g$  in superficie è risultato:  **$A_{g_{MAX}} = 0.198 \text{ g}$**  mediante **metodo semplificato**, mentre con la modellazione in **RSL  $A_{g_{MAX}} = 0.133 \text{ g}$** . Come si evince dai risultati ottenuti, il metodo semplificato risulta addirittura sovrastimato in termini di Accelerazione orizzontale massima attesa al suolo ( $A_{g_{MAX}}$ ) rispetto al valore ricavato dall'Analisi di Risposta Sismica Locale (RSL). Pertanto sulla base di quest'analisi, ne consegue che le indagini geognostiche e simiche eseguite risultano a nostro avviso sufficienti ed esaustive al fine di una corretta determinazione del modello geologico di sito.
- La categoria topografica del sito in esame risulta essere **T2**: *"Pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$ ", secondo quanto previsto dal DM del 17 gennaio 2018 delle NTC2018".*
- Studiate le caratteristiche litologiche, stratigrafiche ed idrogeologiche dei luoghi, si può stabilire che, in base alla natura dei terreni che non rientra nel fuso granulometrico delle sabbie soggette a liquefazione, è possibile di escludere il rischio di liquefazione.
- In definitiva, l'intervento in progetto andrà a migliorare le condizioni idrogeologiche e geomorfologiche dell'area senza alterare la morfologia del territorio. Al fine quindi di mettere in sicurezza sia l'edificazione sia le infrastrutture viarie esistenti e conferire agli stessi requisiti di sicurezza, sarà necessario intervenire tempestivamente sul versante roccioso da mettere in sicurezza, mediante consolidamento e rafforzamento con reti, il cui dimensionamento dovrà tenere conto anche del modello geologico tecnico ricostruito.

**Studio Geologico** – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)

---

*Assisi, 21 novembre 2022*

Il Responsabile Tecnico  
*Dott. Geol. Alessio Bazzoffia*



**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

---

**ALLEGATI CARTOGRAFICI**

<b>TAVOLA 1 – COROGRAFIA IGM (Scala 1:25000) .....</b>	<b>32</b>
<b>TAVOLA 2 – STRALCIO CARTA TECNICA REGIONALE (Scala 1:5000).....</b>	<b>33</b>
<b>TAVOLA 3 – STRALCIO CARTA GEOLOGICA ISPRA (Scala 1:100000) .....</b>	<b>34</b>
<b>TAVOLA 4 – STRALCIO CARTA IDROGEOLOGICA (Scala 1:5000) .....</b>	<b>35</b>
<b>TAVOLA 5 – STRALCIO CARTA DELLA PERICOLOSITA' E RISCHIO IDROGEOLOGICO PAI (Scala 1:10000) .....</b>	<b>36</b>
<b>TAVOLA 6 – STRALCIO CARTOGRAFIA I.F.F.I. (Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani).....</b>	<b>37</b>

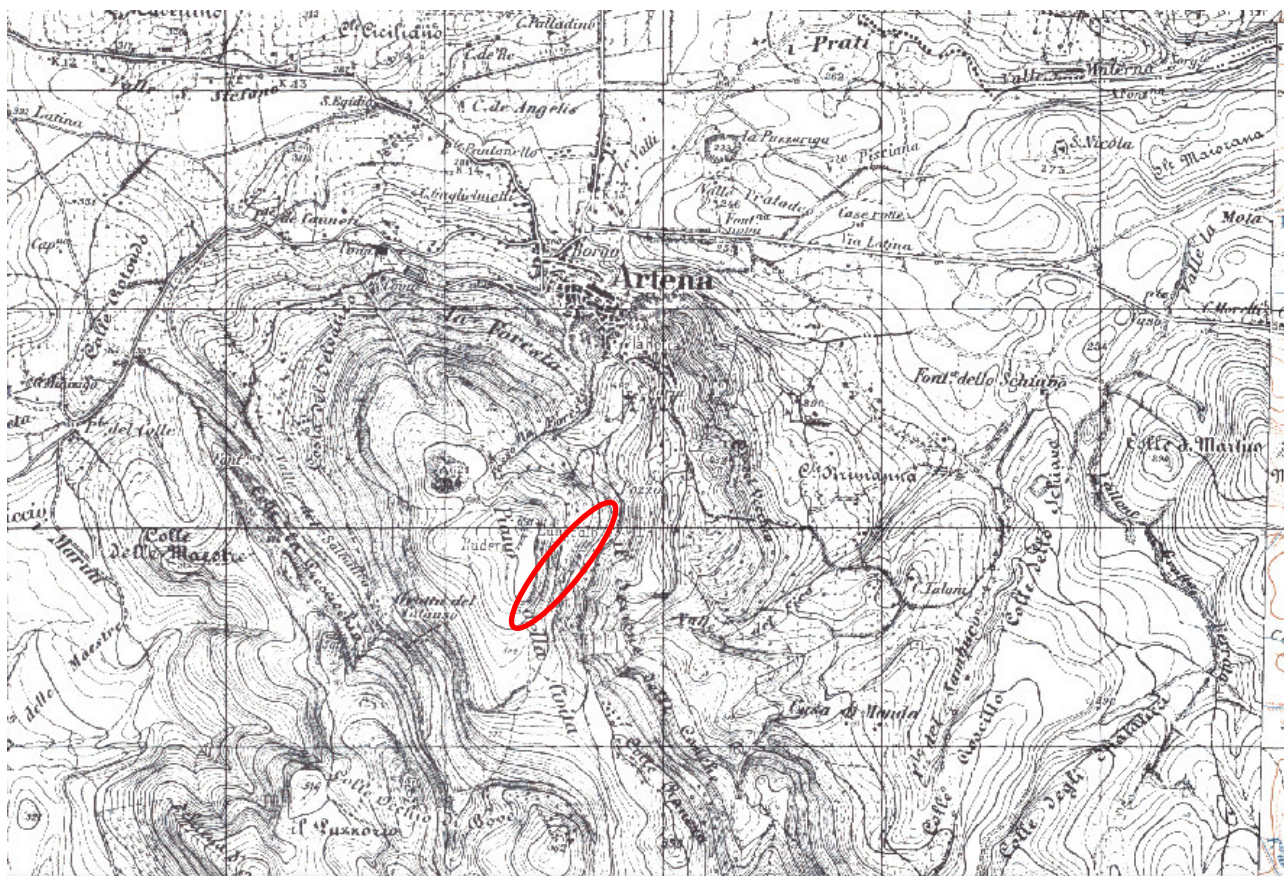


## TAVOLA 1

### COROGRAFIA IGM (Scala 1:25000)

Foglio n° 150 Carta Topografica d'Italia

II S.E. "Artena"



Area oggetto d'intervento

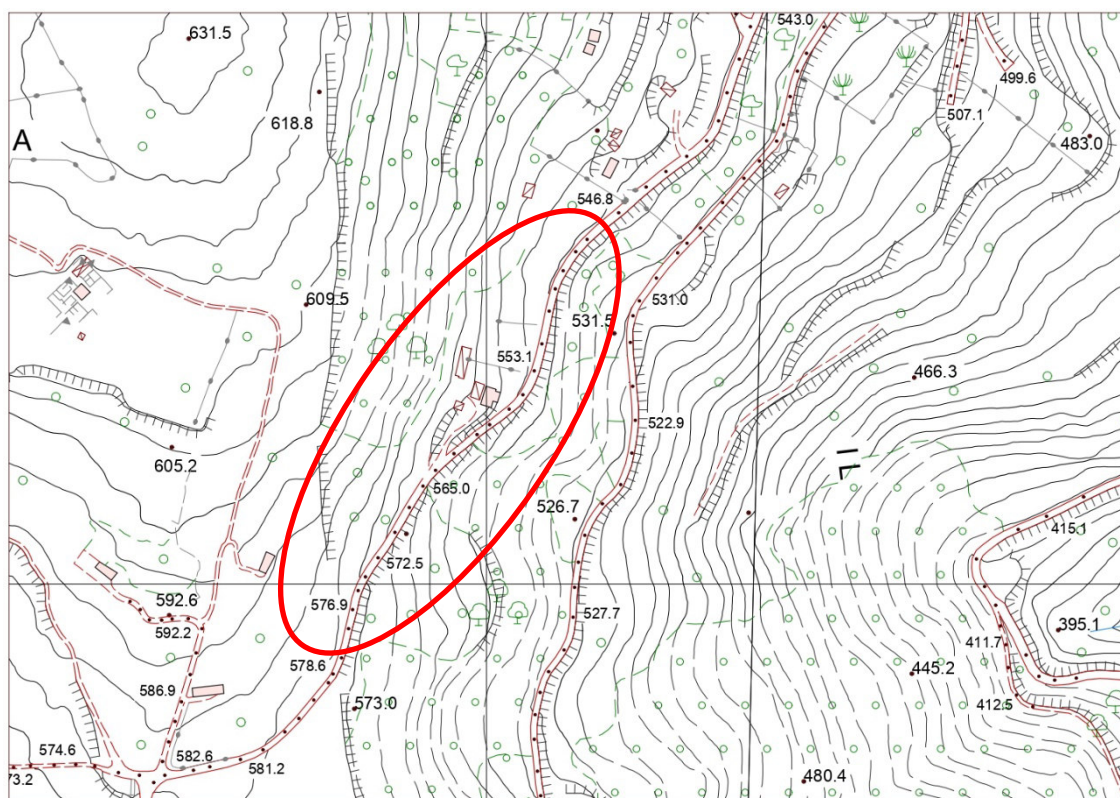


## TAVOLA 2

### STRALCIO CARTA TECNICA REGIONALE (Scala 1:5000)

Regione Lazio

*Elemento 388071 "Artena"*



Area oggetto d'intervento



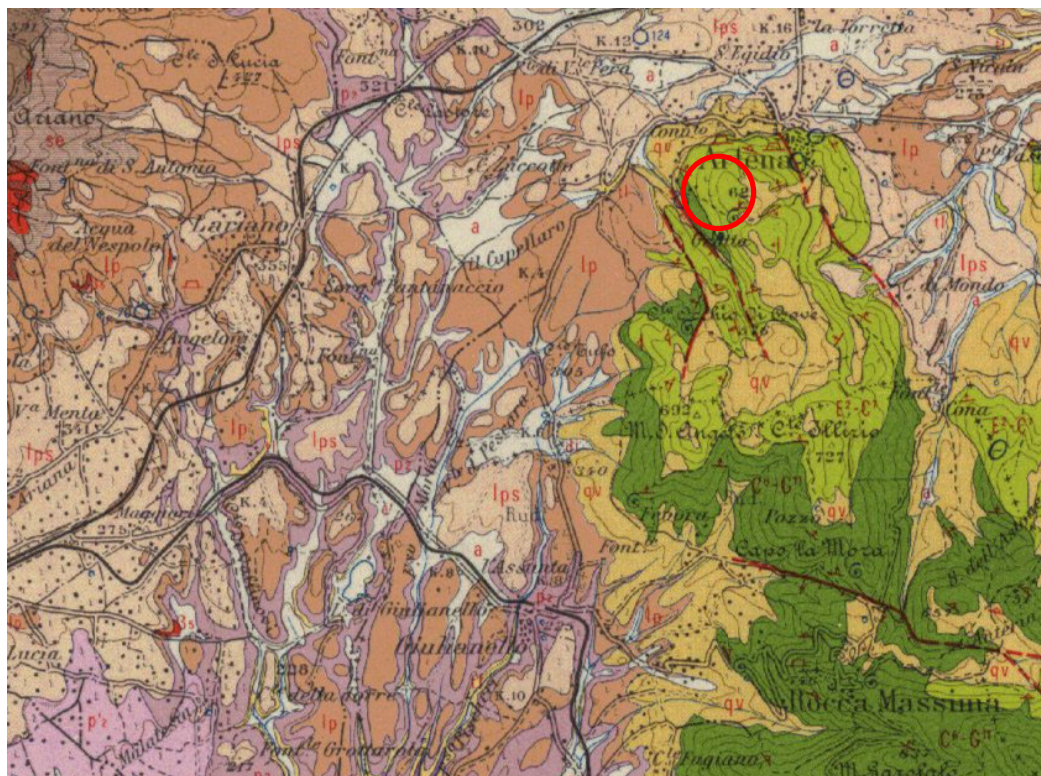


## TAVOLA 3

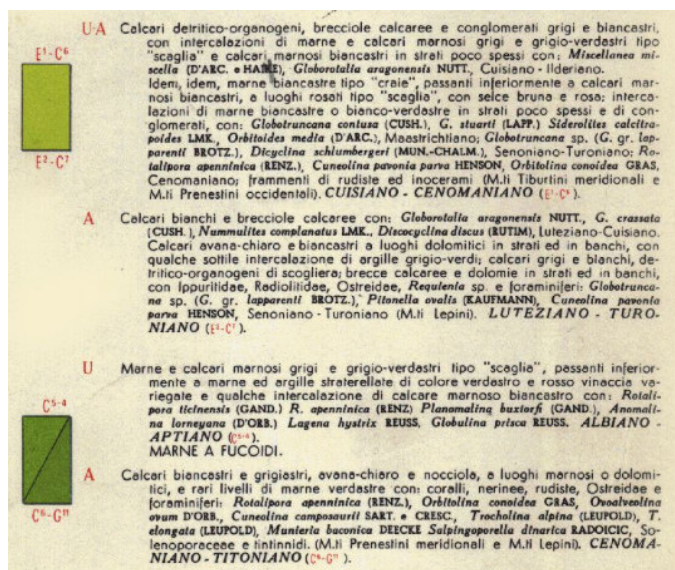
## STRALCIO CARTA GEOLOGICA ISPRA (Scala 1:100000)

Carta Geologica d'Italia

Foglio 150 "Roma"



Area oggetto d'intervento



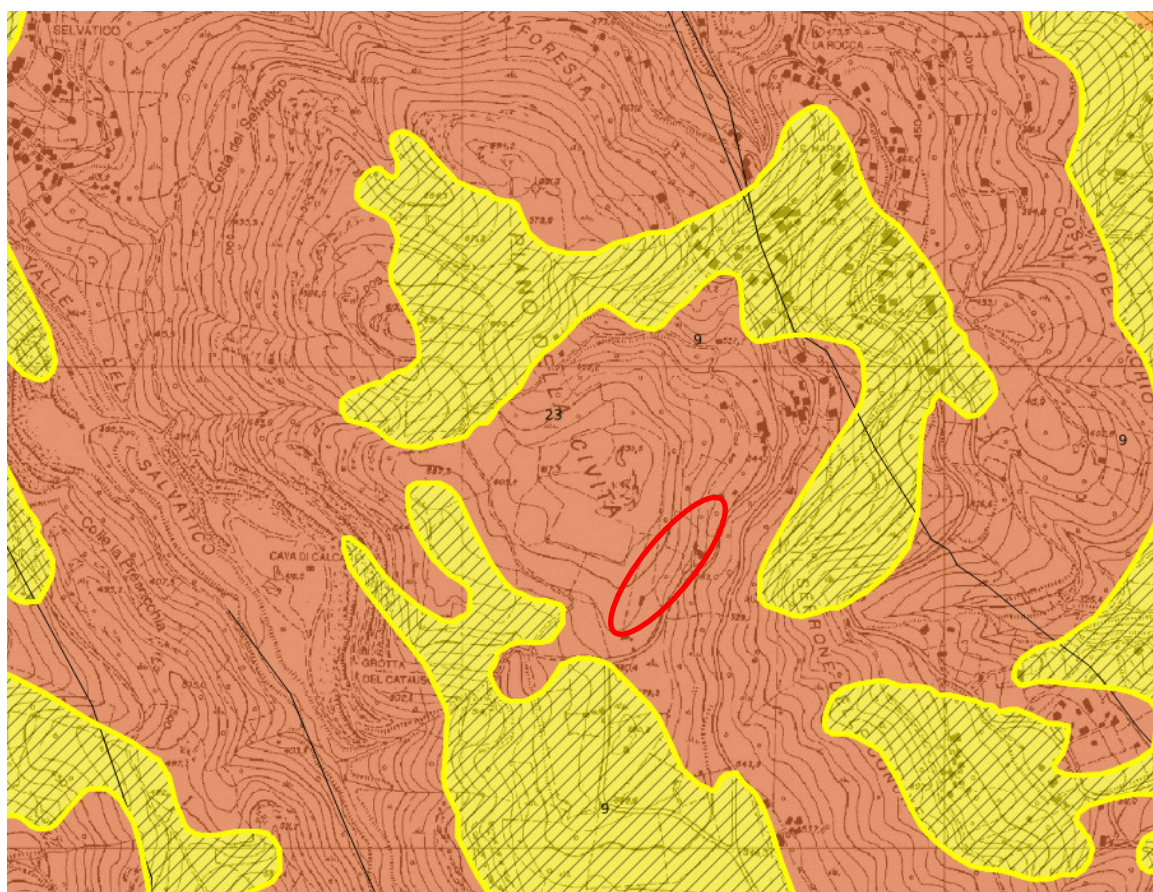


## TAVOLA 4

### STRALCIO CARTA IDROGEOLOGICA (Scala 1:5000)

Sistema Informativo Geografico – Città Metropolitana di Roma

Comune di Artena (RM)



Area oggetto d'intervento



#### Complessi Idrogeologici Lazio (1)



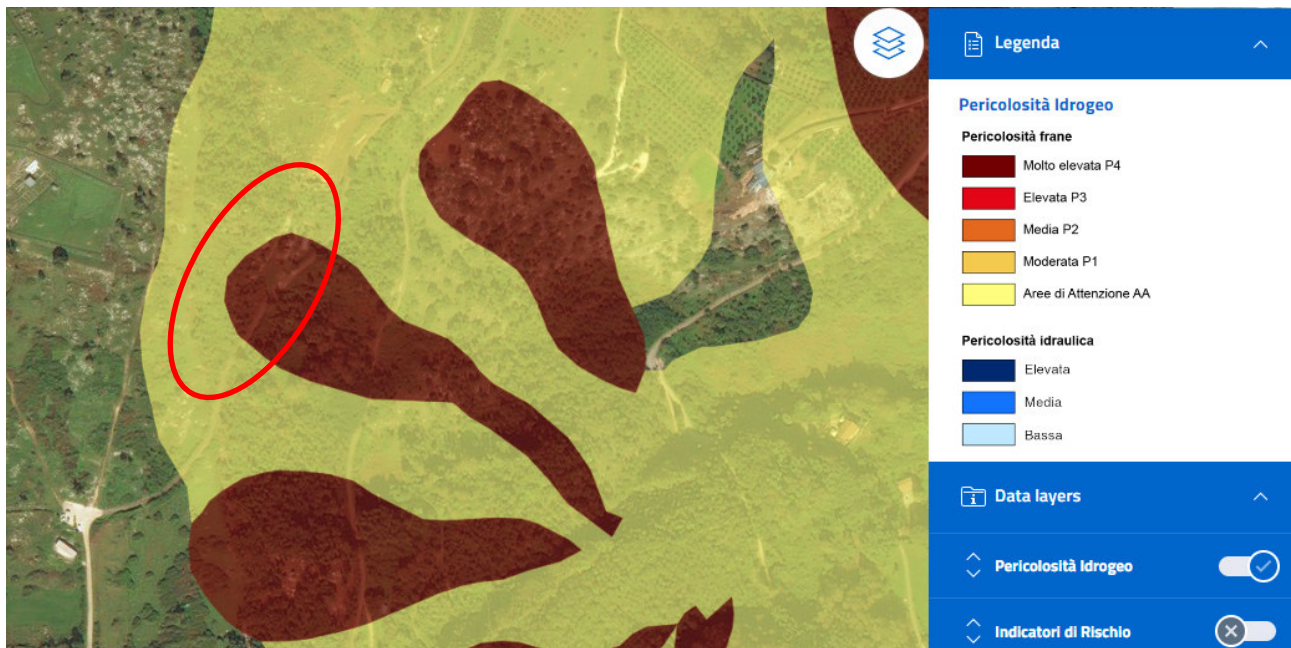
	id	potenz_acq	codice_fin
   	10432	Altissima	23
id	10432		
potenz_acq	Altissima		
codice_fin	23		
descr_fin	23) Complesso dei calcari di piattaforma		
orig_fid	24		


## TAVOLA 5

### STRALCIO CARTA DELLA PERICOLOSITA' E RISCHIO IDROGEOLOGICO PAI (Scala 1:10000)

Regione Lazio

Comune di Artena (RM)



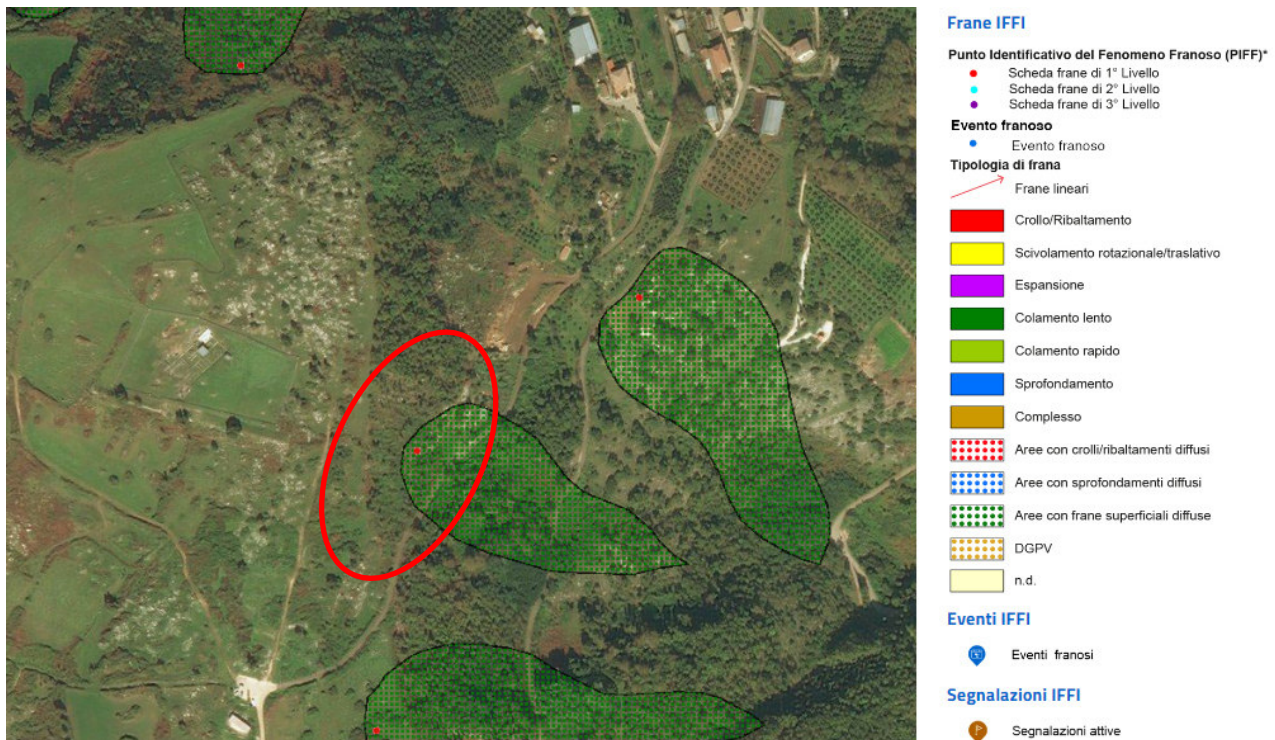
L'area oggetto d'intervento  ha evidenziato condizioni di **Pericolosità Molto Elevata P4** e di **area di attenzione potenziale alta – Apa**.



## TAVOLA 6

### STRALCIO CARTOGRAFIA I.F.F.I. (Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani)

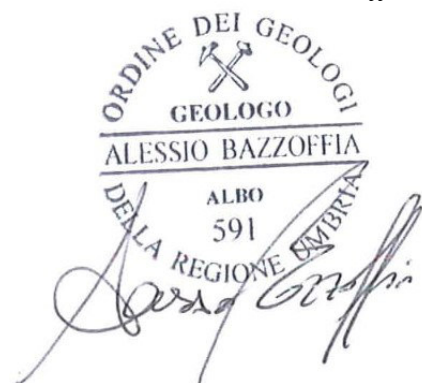
Località Piano della Civita - Comune di Artena (RM)



Secondo l'analisi riportata nel Progetto IFFI si evidenziano nell'area d'intervento **fenomeni gravitativi superficiali diffusi**.

Assisi, 21 novembre 2022

Il Responsabile Tecnico  
Dott. Geol. Alessio Bazzoffia



# PROVINCIA DI ROMA



## COMUNE DI ARTENA

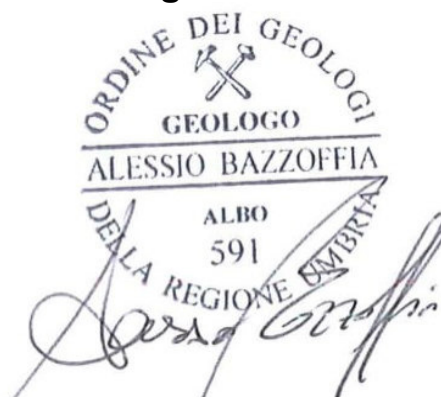
ELABORATO:  
RELAZIONE SISMICA - GEOTECNICA

PROGETTO:  
**MESSA IN SICUREZZA E MITIGAZIONE DEL RISCHIO  
IDROGEOLOGICO IN LOCALITA' PIANO DELLA CIVITA, NEL  
COMUNE DI ARTENA (RM)**

LOCALITA':  
PIANO DELLA CIVITA - ARTENA (RM)

COMMITTENTE:  
AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI ARTENA

**Dott. Geologo Alessio Bazzoffia**



## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>39</b>
<b>2. INDAGINI GEOGNOSTICHE .....</b>	<b>40</b>
2.1 Indagini penetrometriche .....	40
<b>3. METODOLOGIA INDAGINE GEO-MECCANICA.....</b>	<b>41</b>
3.1 Classificazione degli ammassi rocciosi (Bieniawski, Romana) .....	41
3.2 La classificazione di Barton (Sistema Q) .....	50
<b>4. METODOLOGIA INDAGINE SISMICA.....</b>	<b>54</b>
4.1 Specifiche tecniche di acquisizione e schema delle prove sismiche.....	54
4.1.1 Sismica attiva.....	54
4.1.2 Sismica passiva .....	55
4.2 Tecniche di indagine.....	55
4.2.1 Tecnica Masw .....	55
4.2.2 Sismica passiva HVSR.....	56
4.2.3 Analisi di Risposta Sismica Locale.....	57
<b>5. ELABORAZIONE PROVE SISMICHE .....</b>	<b>65</b>
5.1 Elaborazione prove sismica attiva.....	65
5.2 Elaborazione prove sismica passiva.....	67
<b>6. AZIONI SISMICHE DI PROGETTO .....</b>	<b>69</b>
6.1 Categoria di sottosuolo.....	69
6.2 Categoria topografica.....	71
<b>7. ELABORATI INDAGINI SISMICHE .....</b>	<b>72</b>
<b>8. ELABORATI INDAGINI GEOTECNICHE .....</b>	<b>99</b>
<b>9. ELABORATI INDAGINI GEO-MECCANICHE.....</b>	<b>121</b>

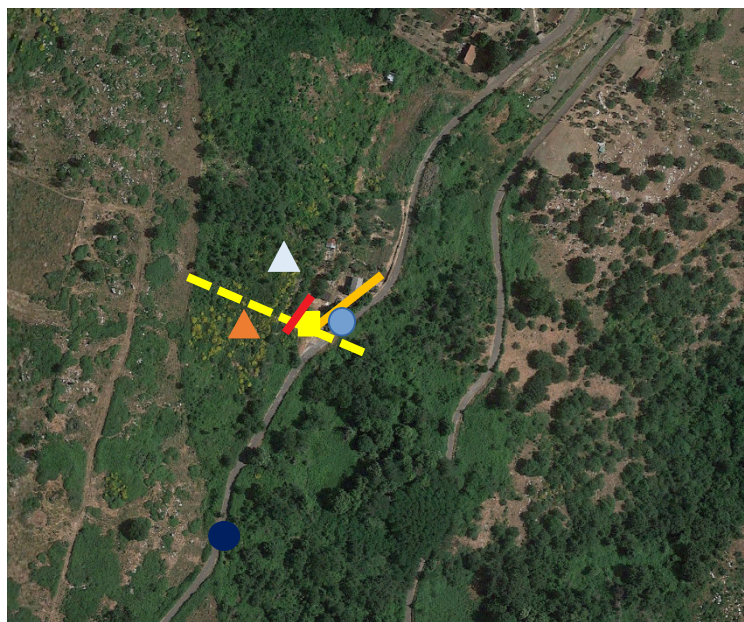


## 1. PREMESSA

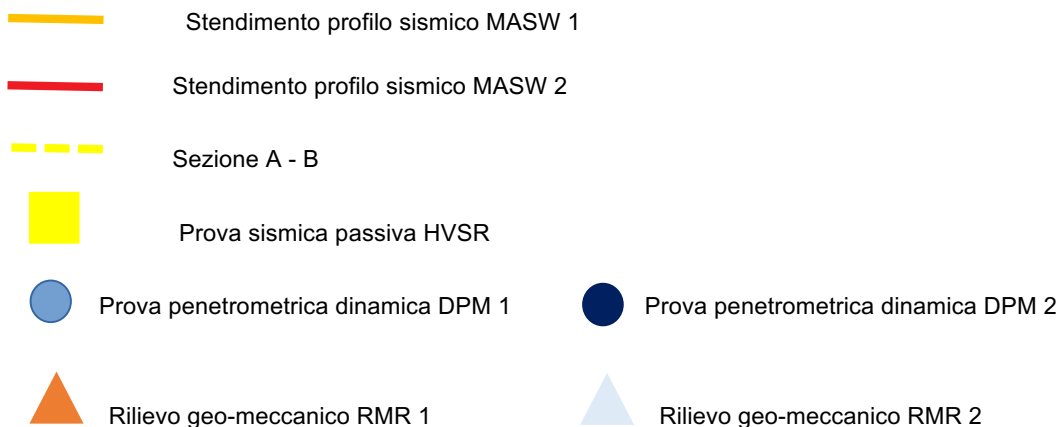
Su incarico e committenza dell'Amministrazione Comunale di Artena, nell'ambito del progetto “*Messa in sicurezza e mitigazione del rischio idrogeologico in località Piano della Civita, nel Comune di Artena (RM)*”, è stata condotta una campagna di indagini geofisiche, geotecniche e geo-meccaniche, finalizzata alla caratterizzazione sismica del sito tramite l'individuazione della Categoria di sottosuolo, definita dal valore di  $V_{s,eq}$ , secondo quanto stabilito nelle “Nuove Norme Tecniche per le costruzioni” del DM del 17 gennaio 2018, all'individuazione dei parametri caratteristici dei terreni di copertura, dell'ammasso roccioso e alla ricostruzione di un modello geotecnico di dettaglio dei terreni investigati.

Nello specifico sono state svolte le seguenti indagini secondo lo schema operativo riportato in *fig. 1.1*:

- N. 2 profili sismici in tecnica Masw (Multi-channel Analysis of Surface Waves);
- N. 1 stazione di misura in sismica passiva H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio);
- N. 2 prove penetrometriche dinamiche (DPM);
- N. 2 Rilievi geo-meccanici secondo le procedure I.S.R.M. (International Society for Rock Mechanics)



**Figura 1.1:** Ubicazione indagini sismiche e geo-meccaniche



## **2. INDAGINI GEOGNOSTICHE**

### **2.1 Indagini penetrometriche**

L'attrezzatura impiegata per l'esecuzione dell'indagine è un penetrometro dinamico/statico auto-semovente ed auto-ancorante prodotto dalla Ditta DEEP DRILL e contraddistinto dalla sigla DM30.

Il sistema d'infissione avviene con un maglio oleodinamico di 30 kg, con frequenza di battuta 50-60 colpi/min., con base in acciaio trattato, dotata di alloggiamento per infissione aste ( $\Phi$  22 mm) e di rivestimenti antiattrito laterale.

Le due prove penetrometriche dinamiche sono state spinte a rifiuto rispettivamente alla profondità di 2.2 m dal p.c. (DPM 1) e alla profondità di 1.9 m dal p.c. (DPM 2).

I tabulati della prova e i diagrammi vengono riportati negli allegati di elaborazione.

### 3. METODOLOGIA INDAGINE GEO-MECCANICA

#### 3.1 Classificazione degli ammassi rocciosi (Bieniawski, Romana)

Nel campo della progettazione di infrastrutture di ingegneria civile, siano esse legate alla stabilità di un versante o alla stabilità di un'opera in sotterraneo, difficilmente si possono avere informazioni dettagliate sulle caratteristiche di resistenza e di deformabilità dell'ammasso roccioso interessato alla progettazione. Allora diventa importante poter utilizzare uno schema che possa soddisfare le richieste, un metodo empirico che permetta di risolvere i problemi dovuti alla scarsa conoscenza o esperienza di una determinata area.

Le classificazioni di Bieniawsky e Romana (la seconda è derivata dalla prima, che risultava troppo "conservativa") consentono di soddisfare i quesiti richiesti e le problematiche che si presentano.

La classificazione di Bieniawsky si basa sul rilievo, in campagna o in laboratorio, di sei parametri:

A1 = resistenza a compressione uniassiale;

A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);

A3 = spaziatura delle discontinuità;

A4 = condizioni delle discontinuità;

A5 = condizioni idrauliche;

A6 = orientamento delle discontinuità.

Da questi sei parametri si ricava l'Rock Mass Rating (RMR, Bieniawsky) e con le dovute correzioni apportate da Romana nel 1985 lo Slope Mass Rating (SMR).

L'RMR, nella pratica, viene differenziato come:

RMR di base = RMRb = A1 + A2 + A3 + A4 + A5

RMR corretto = RMRc = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6

#### VALORE DI A1

A1 si può ricavare sia da prove di laboratorio (Point Load Test), sia da prove di campagna mediante sclerometro o da prove speditive (Standard ISRM), definendo la resistenza a compressione uniassiale Su.

#### - La prova Point Load Test

La prova Point Load ha il vantaggio di essere portatile; da essa si deriva l'indice di carico puntuale Is che viene correlato alla resistenza alla compressione uniassiale Su mediante la relazione:

$$Su = K I_s$$

K è un coefficiente moltiplicativo per il quale l'ISRM consiglia il valore 24, ma nella pratica si è evidenziato come tale valore non è univoco ma largamente variabile. Palmström suggerisce di variare K in funzione di  $I_s$  secondo lo schema seguente:

$I_s$ (MPa)	K
< 3,5	14
3,5 – 6,0	16
6,0 – 1,0	20
> 6,0	25

- Le prove sclerometriche

Il martello di Schmidt, noto come sclerometro, è ampiamente utilizzato come prova non distruttiva e volta a misurare la “durezza di rimbalzo” della roccia. Dalla prova si ricava l'indice di rimbalzo R che è possibile correlare alla resistenza alla compressione uniassiale mediante la relazione di Irfan e Dearman (1978):

$$Su = 0,775 R + 21,3$$

- Standard ISRM

In una fase preliminare delle indagini, mancando prove di campagna o di laboratorio, il valore di  $S_u$  può essere stimata osservando la risposta della roccia alla sua percussione con il martello da geologo.

Dalla risposta della roccia si possono ricavare i seguenti valori:

La roccia si incide con l'unghia o si sbriciola con le mani	0,25 – 1 MPa
Si sbriciola sotto i colpi della punta, lastre sottili si rompono con facilità con le mani	1 – 5 MPa
La punta lascia deboli buchi, lastre sottili si rompono con forti pressioni delle mani	5 – 25 MPa
La roccia si frattura con un colpo	25 – 50 MPa
Si frattura dopo due-tre colpi	50 – 100 MPa
Si frattura solo dopo molti colpi	100 – 200 MPa
Si scheggia solamente	> 200 MPa

Definita la resistenza a compressione  $S_u$  è possibile ricavare il valore del primo parametro  $A_1$ .

Se si utilizzano prove Point Load o prove sclerometriche risulta più agevole, rispetto alle tabelle e ai grafici proposte da Beniauskis, ricavare il valore di  $A_1$  trasformando i grafici in forma di equazioni:

VALORE DI $S_u$ (MPa)	EQUAZIONE
$\leq 44,5$	$A_1 = \frac{4}{44,5} S_u + 1$
$44,5 \div 93,75$	$A_1 = \frac{4}{49,25} S_u + 1,368$
$93,75 \div 140$	$A_1 = \frac{3}{46,25} S_u + 2,919$
$140 \div 180$	$A_1 = 0,0375 S_u + 6,75$
$180 \div 240$	$A_1 = 0,025 S_u + 9$
$> 240$	$A_1 = 15$

Qualora si utilizzi lo Standard ISRM si usa la tabella proposta da Beniauskis nell'ultima versione del sistema (1989):

$S_u$ (MPa)	$> 200$	$100 - 200$	$50 - 100$	$25 - 50$	$5 - 25$	$1 - 5$	$< 1$
Coefficiente $A_1$	15	12	7	4	2	1	0

#### VALORE DI $A_2$

Se si effettuano sondaggi è possibile ricavare il valore di RQD, da cui si ottiene il coefficiente  $A_2$ , dal recupero di percentuale di carotaggio riferito alla somma degli spezzoni di carota con lunghezza maggiore o uguale a 100 mm:

$$RQD = \frac{\sum L_c}{L_t} \cdot 100$$

dove:

Lc = somma delle lunghezze degli spezzoni di carota > 100 mm

Lt = lunghezza totale del tratto in cui si è misurata Lc.

In mancanza di carote di sondaggio, RQD si ricava dal numero di famiglie di discontinuità caratterizzanti l'ammasso roccioso e dalla misura della loro spaziatura. Dalla relazione di Palmström (1982) si ha:

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

dove  $J_v$  è il numero di fratture per metro cubo di roccia.

In forma alternativa RQD si può ricavare dalla formula di Priest e Hudson (1981):

$$RQD = 100 e^{(0,1 n)} (0,1 n + 1)$$

con "n" numero medio di giunti per metro.

Calcolato RQD con uno di questi metodi, si ricava il coefficiente A2 mediante le equazioni, che derivano sempre dai grafici di Beniauskis:

VALORE DI RQD %	EQUAZIONE
$\leq 26,5$	$A2 = \frac{3}{26,6} RQD + 3$
$26,5 \div 39$	$A2 = \frac{2}{12,4} RQD + 1,71$
$39 \div 76,6$	$A2 = \frac{7}{37,6} RQD + 0,739$
$> 76,6$	$A2 = \frac{5}{23,4} RQD - 1,367$

**VALORE DI A3**

Una volta calcolata la spaziatura media, cioè la distanza media tra due discontinuità adiacenti, è possibile ricavare il valore del coefficiente A3, mediante le seguenti relazioni:

<b>SPAZIATURA (m)</b>	<b>EQUAZIONE</b>
$\leq 0,2$	$A3 = 15 s + 5$
$0,2 \div 0,4$	$A3 = 10 s + 6$
$0,4 \div 0,66$	$A3 = 7,752 s + 5,9$
$0,66 \div 0,94$	$A3 = 7,067 s + 7,35$
$0,94 \div 1,6$	$A3 = 6,07 s + 8,288$
$1,6 \div 2,0$	$A3 = 5 s + 10$
$> 2,0$	$A3 = 20$

**VALORE DI A4**

Determinare dalle tavole di classificazione di Beniauskas il valore numerico relativo alla condizione delle discontinuità, invece, risulta molto soggettivo.

Perciò per valutare correttamente A4 conviene procedere sommando alcuni parametri numerici attribuibili alla persistenza del giunto, all'apertura del giunto, alla rugosità dello stesso, all'alterazione delle pareti, e al materiale di riempimento:

$$A4 = v1 + v2 + v3 + v4 + v5$$

I valori da assegnare sono:

- v1 – Persistenza del giunto

<b>PERSISTENZA (m)</b>	<b>v1</b>
$< 1$	6
$1 \div 3$	4
$3 \div 10$	2
$10 \div 20$	1
$> 20$	0

---

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**


---

- v2 – Apertura del giunto

APERTURA (mm)	v2
Completamente chiuso	6
< 0,1	5
0,1 ÷ 1	4
1 ÷ 5	1
> 5	0

- v3 – Rugosità del giunto

RUGOSITA'	v3
Molto Rugosa	6
Rugosa	5
Leggermente rugosa	3
Liscia	1
Levigata	0

- v4 – Alterazione delle pareti

ALTERAZIONE	v4
Non alterate	6
Leggermente alterate	5
Mediamente alterate	3
Molto alterate	1
Decomposte	0

- v5 – Riempimento delle discontinuità

RIEMPIMENTO (mm)	RIEMPIMENTO	v5
-	Assente	6
< 5	Compatto	4
> 5	Compatto	2
< 5	Soffice	2
> 5	Soffice	0



**VALORE DI A5**

Questo valore viene derivato dalle condizioni idrauliche riferite ad un fronte di 10 m. Dalle tabelle fornite da Beniauskas si ottiene:

<b>Venute d'acqua su 10 m di lunghezza</b>	Nessuna	< 10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/min
<b>Condizione</b>	Asciutta	Umida	Bagnata	Deboli venute	Forti venute
<b>Coefficiente A5</b>	15	10	7	4	0

**VALORE DI A6**

Per l'orientamento delle discontinuità si applica un coefficiente di correzione A6, a seconda che si tratti di gallerie o fondazioni.

<b>APPLICAZIONE</b>	Molto favorevole	Favorevole	Mediocre	Sfavorevole	Molto sfavorevole
<b>Gallerie</b>	0	-2	-5	-10	-12
<b>Fondazioni</b>	0	-2	-7	-15	-25

Per quanto riguarda i versanti il coefficiente A6 proposto da Beniauskas risulta troppo "conservativo" e pertanto nel calcolo di RMR si utilizza la metodologia proposta da Romana.

**VALORE DI RMR (ROCK MASS RATING) E PARAMETRI CARATTERISTICI DELL'AMMASSO**

Attribuiti tutti i coefficienti, sulla base del valore RMR<sub>c</sub> calcolato si identificano 5 intervalli a cui corrispondono 5 classi di ammasso roccioso e altrettante valutazioni di qualità della roccia:

<b>RMR<sub>c</sub></b>	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<= 20
<b>Classe</b>	I	II	III	IV	V
<b>Descrizione</b>	Molto buono	Buono	Mediocre	Scadente	Molto scadente

Dal valore di RMR<sub>b</sub> si derivano i parametri caratteristici dell'ammasso, che secondo Beniauskas assumono il valore:

$$\begin{aligned} \text{coesione di picco } c_p \text{ (kPa)} &= 5 \text{ RMR}_b \\ \text{angolo di attrito di picco } \phi_p &= 0,5 \text{ RMR}_b + 5 \\ \text{modulo di deformazione } E \text{ (GPa)} &= 2 \text{ RMR}_b - 100 \end{aligned}$$

I valori della coesione residua e dell'angolo di attrito residuo si ricavano introducendo nelle formule sopra indicate un valore di RMR<sub>b</sub> modificato secondo la:

$$\text{RMR}_b = \text{RMR}_b(\text{originario}) - [0,2 \times \text{RMR}_b(\text{originario})] \text{ (Priest, 1983)}$$

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

La formula di E è però da considerare valida per valori di RMR superiori di 50, mentre per valori inferiori si utilizza la formula di Serafim e Pereira (1983):

$$E \text{ (GPa)} = 10(RMR_b - 10 / 40)$$

Il valore di GSI (Geological Strength Index) viene ricavato dalla:

$$GSI = RMR - 5$$

dove RMR viene calcolato tenendo conto dei punteggi assegnati ai primi quattro parametri e assumendo condizioni idrauliche asciutte ( $A5 = 15$ ). Tale relazione è da ritenersi valida per  $RMR > 23$ .

#### SLOPE MASS RATING (SMR, Romana 1985)

Romana propone di aggiungere al valore di RMR (di base), alcuni fattori di aggiustamento sulla base dell'orientamento relativo fra discontinuità e fronte del versante e aggiungere un ulteriore fattore che tiene conto del metodo di scavo:

$$SMR = RMR_b + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

Il primo fattore di aggiustamento è il prodotto di tre fattori:

F1 dipende dal parallelismo fra l'immersione del fronte e l'immersione dei giunti.

F2 è riferito all'inclinazione del giunto nell'ipotesi di rottura planare.

F3 mantiene le relazioni proposte da Beniauskas per l'inclinazione fra fronte e giunti.

F4 rappresenta un fattore di correzione legato al metodo di scavo ed è stato fissato empiricamente.

Le condizioni di stabilità verificate sono relative rotture planari e per ribaltamento (toppling); il metodo è stato esteso anche alle rotture a cuneo di recente da Anbalagan et al..

Sulla base della tabella che segue si attribuiscono i valori ai fattori:

CASO		Molto favorevole	Favorevole	Mediocre	Sfavorevole	Molto sfavorevole
Planare Toppling Cuneo	$\alpha_j - \alpha_f$ $\alpha_j - \alpha_f - 180^\circ$ $\alpha_i - \alpha_f$	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
	F1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Planare Cuneo	$\beta_j$ $\beta_i$	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
	F2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Toppling	F2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Planare Cuneo	$\beta_j - \beta_f$ $\beta_i - \beta_f$	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	$0^\circ$	$0^\circ - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
Toppling	$\beta_j - \beta_f$	$< 110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$	-	-
	F3	0	- 6	- 25	- 50	- 60

dove:

$\alpha_j$  = immersione del giunto

$\alpha_i$  = immersione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo

$\alpha_f$  = immersione del fronte del versante

$\beta_j$  = inclinazione del giunto

$\beta_i$  = inclinazione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo

$\beta_f$  = inclinazione del fronte

Il fattore F4 vale invece:

METODO DI SCAVO	F4
Scarpata naturale	15
Abbattimento con pretaglio	10
Abbattimento controllato	8
Abbattimento normale	0
Abbattimento non controllato	-8

Calcolato il valore di SMR, si possono avere indicazioni generali, fornite da Romana, sul grado di stabilità della scarpata, sul tipo di cinematismo di rottura che si può instaurare e su quanto possano pesare eventuali interventi di stabilizzazione:

SMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0
CLASSE	I	II	III	IV	V
DESCRIZIONE	Molto buona	Buona	Mediocre	Scadente	Molto scadente
STABILITA'	Sicuramente stabile	Stabile	Parzialmente stabile	Instabile	Sicuramente instabile
MODO DI ROTTURA	Assente	Possibili blocchi	Lungo piani o per cunei	Lungo piani o su grandi cunei	Su grandi piani o rototraslazionali
STABILIZZAZIONE	Nessuna	Occasionale	Sistematica	Estesa	Riprofilare la scarpata

### 3.2 La classificazione di Barton (Sistema Q)

Sviluppata nel 1974 al *Norwegian Geotechnical Institute* essenzialmente per l'applicazione in campo sotterraneo, negli ultimi anni è stata estesa a diversi campi e di recente, nel 2002, lo stesso Barton ha proceduto ad una revisione totale del sistema. Il valore di Q si calcola da:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

In cui i vari indici sono:

**RQD** (Rock Quality Designation), che tiene conto della suddivisione della massa rocciosa

**J<sub>n</sub>** (Joint Set Number), che dipende dal numero di famiglie di giunti presenti nell'ammasso roccioso

**J<sub>r</sub>/JRC** (Joint Roughness Coefficient), che dipende dalla rugosità della famiglia più sfavorevole

**J<sub>a</sub>** (Joint Alteration Number), che dipende dal grado di alterazione delle fratture, dallo spessore e dalla natura del riempimento, e che viene ugualmente determinato sulla famiglia più sfavorevole

**J<sub>w</sub>** (Joint Water Number), che dipende dalle condizioni idrogeologiche

**JCS** (Joint Wall Compressive Strength), esprime la resistenza a compressione monoassiale lungo la superficie del giunto

**SRF** (Stress Reduction Factor), che è funzione dello stato tensionale in rocce massive o dal disturbo tettonico.

Di recente Q è stato normalizzato nei confronti della resistenza a compressione monoassiale della roccia:

$$Q_c = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \cdot \frac{\sigma_c}{100}$$

Le tabelle che seguono indicano i coefficienti numerici che vengono assegnati ai vari parametri. Le ultime modifiche e suggerimenti di Barton vengono riportati sotto ogni tabella.

#### – PARAMETRI DELLA CLASSIFICAZIONE DI BARTON

Parametro RQD (Rock Quality Designation, che tiene conto della suddivisione della massa rocciosa):

Prende il suo valore nominale; se RQD risulta < 10, si assume 10.

Parametro Jw (Joint water Number, che dipende dalle condizioni idrogeologiche):

DEFINIZIONE	Jw
Acqua assente o scarsa, localmente < 5 lt/min	1
Afflusso medio con occasionale dilavamento del riempimento del giunto	0,66
Afflusso forte o ad alta pressione in rocce compatte con discontinuità aperte senza riempimento	0,5
Venute forti o ad alta pressione con dilavamento del riempimento del giunto	0,33
Venute eccezionalmente forti o a pressioni molto elevate subito dopo l'avanzamento, a diminuire nel tempo	0,2 – 0,1
Venute eccezionalmente forti o a pressioni molto elevate subito dopo l'avanzamento, costanti nel tempo	0,1 – 0,05

Negli ultimi quattro casi se sono installati sistemi efficaci di drenaggio Jw va portato a 1 o a 0,66.

Per una caratterizzazione dell'ammasso lontano dall'influenza dello scavo e nel caso che RQD/Jn sia sufficientemente basso (0,5 - 25) in modo da assicurare una buona connettività idraulica, si possono assumere i valori di Jw (1,0 – 0,66 – 0,5 – 0,33) in funzione delle altezze di ricoprimento (0 – 5; 5 – 25; 25 – 250; > 250).

Parametro SRF (Stress Reduction Factor, che è funzione dello stato tensionale in rocce massive o dal disturbo tettonico):

Zone di debolezza intersecanti lo scavo

DEFINIZIONE	SRF
Diverse zone di debolezza con argilla o roccia chimicamente disgregata, roccia circostante molto allentata	10
Singole zone di debolezza con argilla o roccia chimicamente disgregata (altezze di copertura <= 50 m)	5
Singole zone di debolezza con argilla o roccia chimicamente disgregata (altezze di copertura > 50 m)	2,5
Fasce di taglio multiple in roccia competente, rilassamento della roccia circostante	7,5
Fascia di taglio singola in roccia competente (altezze di copertura <= 50 m)	5
Fascia di taglio singola in roccia competente (altezze di copertura > 50 m)	2,5
Zone intensamente fratturate con intersezione di discontinuità aperte e continue	5

Se le zone di debolezza o di fratturazione influenzano ma non intersecano direttamente lo scavo, SRF va ridotto del 25- 50%.

Ammasso competente con problemi di tensioni geostatiche

DEFINIZIONE	$\sigma_c/\sigma_1$	$\sigma_\theta/\sigma_c$	SRF
Basso campo tensionale in prossimità della superficie	> 200	< 0,01	2,5
Condizioni tensionali favorevoli	200 - 10	0,01 - 0,3	1
Campo tensionale alto, favorevole alla stabilità in calotta, può essere sfavorevole per la stabilità dei piedritti	10 - 5	0,3 - 0,5	0,5 - 0,2
Moderati colpi di tensione dopo più di un'ora in roccia massiva	5 - 3	0,5 - 0,65	5 - 50
Colpi di tensione quasi immediati in roccia massiva	3 - 2	0,65 - 1	50 - 400

$\sigma_c$  = resistenza a compressione della roccia

$\sigma_\theta$  = massima tensione tangenziale al contorno dello scavo

$\sigma_1$  = tensione principale maggiore agente

$\sigma_3$  = tensione principale minore agente

*Se il rapporto fra le tensioni principali  $\sigma_1/\sigma_3$  è compreso fra 5 e 10, ridurre  $\sigma_c$  a  $0,75\sigma_c$ , se il rapporto è  $> 10$  ridurre a  $0,5\sigma_c$ .*

*Se la profondità della calotta dal piano campagna è inferiore alla larghezza dello scavo, Barton suggerisce di utilizzare  $SRF = 5$ .*

*Per una caratterizzazione dell'ammasso lontano dall'influenza dello scavo si possono assumere i valori di  $SRF$  ( $5 - 2,5 - 1,0 - 0,5$ ) in funzione delle altezze di ricoprimento ( $0 - 5$ ;  $5 - 25$ ;  $25 - 250$ ;  $> 250$ ).*

*Le ultime tre righe nella tabella sono generalmente applicabili a rocce molto dure e massive, con valori di  $RQD/J_n$  compresi fra 50 e 200.*

Ammasso spingente:

DEFINIZIONE	SRF
Ammasso moderatamente spingente	5 - 10
Ammasso fortemente spingente	10 - 20

Ammasso rigonfiante:

DEFINIZIONE	SRF
Ammasso moderatamente rigonfiante	5 - 10
Ammasso fortemente rigonfiante	10 - 15

L'indice Q (variabile da 0,001 a 1000), così calcolato, è diviso in 9 intervalli cui corrispondono altrettante classi di ammasso roccioso:

Q	Classe	Descrizione
0,001 - 0,01	IX	Eccezionalmente scadente
0,01 - 0,1	VIII	Estremamente scadente
0,1 - 1	VII	Molto scadente
1 - 4	VI	Scadente
4 - 10	V	Mediocre
10 - 40	IV	Buona
40 - 100	III	Molto buona
100 - 400	II	Estremamente buona
400 - 1000	I	Ottima

Inoltre è possibile estrapolare due caratteristiche di resistenza dell'ammasso:

1. Una componente attritiva, che può essere considerata come approssimazione dell'angolo di attrito dell'ammasso

$$FC = \tan^{-1} \left( \frac{J_r}{J_a} J_w \right)$$

2. Una componente coesiva, che può essere considerata come approssimazione della coesione dell'ammasso

$$CC = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{1}{SRF} \cdot \frac{\sigma_c}{100}$$

Invece il modulo di deformazione statico dell'ammasso può essere determinato mediante la:

$$E_M \text{ (GPa)} = 10 Q_c^{1/3}$$

in accordo con l'espressione di Serafim e Pereira derivata da RMR.

#### 4. METODOLOGIA INDAGINE SISMICA

Le prospezioni sismiche vengono utilizzate nell'ambito dell'esplorazione del sottosuolo tramite lo studio della propagazione di onde elastiche generate o artificialmente mediante esplosioni controllate, vibrazioni indotte sul terreno con intensità e frequenza note, masse battenti di vario peso e tipologia o con sorgenti naturali.

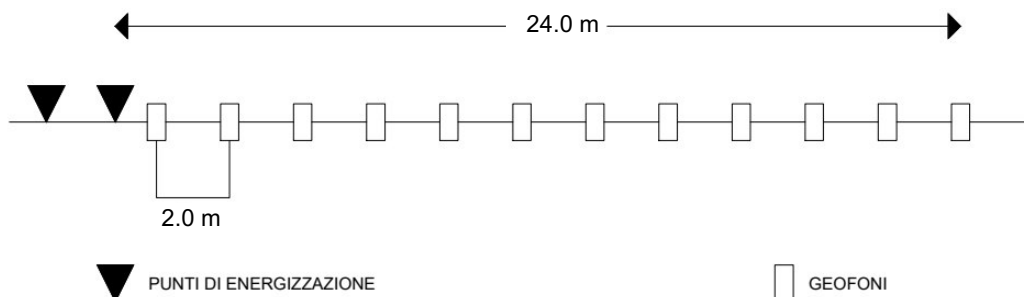
Nel caso di sorgenti artificiali si parlerà di sismica attiva e rientrano in questa categoria le indagini di sismica a rifrazione, a riflessione le indagini Masw, le Sasw e tutte le prove eseguite in foro (down-hole, cross-hole, up-hole) mentre nel caso di sorgenti naturali (*noise*) si parlerà di sismica passiva che comprendono le prove sismiche ReMi, Nakamura, Spac, Esac.

##### 4.1 Specifiche tecniche di acquisizione e schema delle prove sismiche

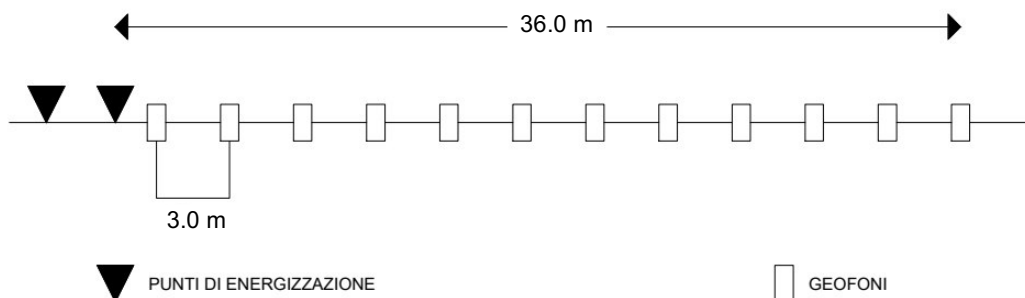
###### 4.1.1 Sismica attiva

I sismogrammi sono stati acquisiti con un sismografo DOLANG DBS28B con risoluzione di acquisizione 16bit (24bit con sovracampionamento e post processing) collegato tramite cavo a 12 geofoni verticali di tipo elettromagnetico a bobina mobile, con frequenza propria di 4.5 Hz.

E' stata eseguita una serie di punti di energizzazione (shot) a distanze variabili dai geofoni G1, selezionando poi, in fase di elaborazione, lo shot che presentava la migliore qualità del segnale. Come sistema di energizzazione è stata utilizzata una mazza da 10 Kg che si è dimostrata in grado di fornire energia sufficiente allo scopo prefissato (Fig.3.1 e Fig. 3.2).



**Fig. 4.1 - Schema profilo sismico in tecnica MASW 1 – base dell'affioramento roccioso**



**Fig. 4.2 - Schema profilo sismico in tecnica MASW 2 – lungo strada**



---

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**


---

Come sistema di trigger per fornire il tempo zero all'acquisitore, è stato utilizzato un interruttore piezoelettrico posto in corrispondenza della testa della mazza di battuta.

PROFILO	Tecnica di indagine	lunghezza stendimento (m)	distanza intergeofonica (m)	orientazione stendimento	durata acquisizione (s)	tempo di campionamento (ms)
MASW 1	Sismica in tecnica MASW	24.0	2.0	SSO – NNE	2.0	0.250
MASW 2	Sismica in tecnica MASW	36.0	3.0	SO - NE	2.0	0.250

#### 4.1.2 Sismica passiva

Le registrazioni dei microtrempi sono state effettuate con un sismometro DOLANG (HVSR Jeatrom) a 3 sensori elettrodinamici con risoluzione a 24 bit (munita di livella ad occhio di bue) e orientati in direzione est-ovest, nord-sud e verticalmente.

Il cuore dell'unità sismica è rappresentato dalla scheda A/D SADC20 munita di convertitore Sigma-Delta che consente l'uso di un semplice filtro antialias R-C ad un polo, regolabile in funzione delle frequenze di campionamento scelte.

Lo strumento, data la sua maneggevolezza e funzionalità, può venire installato su tutti i tipi di sito, previa corretta livellazione e accoppiamento con il terreno, tramite appositi piedini livellabili.

Lo strumento è stato installato in prossimità del centro del profilo Masw in modo da poter correlare i dati di sismica attiva e passiva.

## 4.2 Tecniche di indagine

### 4.2.1 Tecnica Masw

L'indagine MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) è una tecnica investigativa che consente di ricostruire la distribuzione della velocità delle onde S di taglio nel sottosuolo, permettendo di ricavare il parametro  $V_{s,eq}$  necessario per la classificazione dei suoli in base alle NTC 2018, che stabiliscono le nuove norme tecniche in materia di progettazione antisismica. La metodologia per la realizzazione di un'indagine sismica Masw prevede 4 passaggi fondamentali:

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni che viene spostato lungo la linea dello stendimento stesso dopo ogni acquisizione;
2. Estrazione del modo fondamentale delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione);
3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle  $V_s$  (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);

4. Ricostruzione di una sezione di una sezione (modello 2D) delle Vs dei terreni con approccio multicanale (con almeno due acquisizioni dei segnali, ovvero uno spostamento lungo la linea dello stendimento).

Per quanto concerne in particolar modo la fase di acquisizione del dato di campo, l'indagine Masw prevede di effettuare uno stendimento di 12 geofoni (preferibilmente da 4,5 Hz) allineati con la sorgente ad una distanza intergeofonica variabile in base alle condizioni di sito e di energizzare in un solo punto (off set) con una sorgente ad impatto verticale, ad una distanza dal geofono più esterno anch'essa variabile in un range prestabilito. Vengono dunque generate sia onde di volume (P ed S), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni. Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana.

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica Masw sta nella sua intrinseca capacità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni. I sismogrammi così ottenuti vengono poi selezionati in fase di elaborazione, utilizzando solamente lo shoot che presenta la migliore qualità del segnale.

#### 4.2.2 Sismica passiva HVSr

La tecnica HVSr è stata applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi nel 1970 e successivamente ripresa e resa celebre da Nakamura nel 1989 che la utilizzò come metodologia per la determinazione dell'amplificazione sismica locale.

Le basi della teoria dei rapporti spettrali (HVSr) sfrutta il principio secondo cui i microtremiti o rumore sismico di fondo, sono costituiti prevalentemente da onde superficiali di tipo Rayleigh, che si propagano in un sistema stratificato caratterizzato da una variazione dei parametri con la profondità.

Il metodo HVSr consiste nello studio del rapporto spettrale tra la componente orizzontale del rumore e quella verticale (H/V spectrum). Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati caratterizzati da un significativo contrasto di impedenza (funzione della velocità delle onde e della densità del materiale). Considerando due strati con differente impedenza acustica, la frequenza di risonanza è quindi legata allo spessore e alla velocità delle onde di taglio Vs del primo strato dalla seguente relazione:

$$f_0 = V_{s1} / 4 h \quad [1]$$

dove:

$V_{s1}$  = velocità delle onde S del primo strato

$h$  = spessore primo strato

Tale metodologia, in base agli studi effettuati, presenta quindi la sua migliore applicabilità in contesti caratterizzati dalla presenza di depositi soffici di copertura sovrastanti un basamento roccioso, dove si manifestano evidenti contrasti di impedenza.

#### 4.2.3 Analisi di Risposta Sismica Locale

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
  - 2.1 Stima della funzione di trasferimento;
  - 2.2 Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
  - 2.3 Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;

Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;

3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile “trasferire” l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove M rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l'N-esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt  $\left[ \tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z, t)}{\partial z \partial t} \right]$ , la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove:  $u$  rappresenta lo spostamento;  $t$  il tempo;  $\rho$  la densità;  $G$  il modulo di deformazione al taglio;  $\eta$  la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z, t) = U(z) e^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (3)$$

dove  $\omega$  rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto  $G^* = G + i\omega\eta$ , ovvero il modulo di deformazione al taglio complesso. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove  $\xi$  rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice \* indica la natura complessa delle variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z, t) = E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)}$$

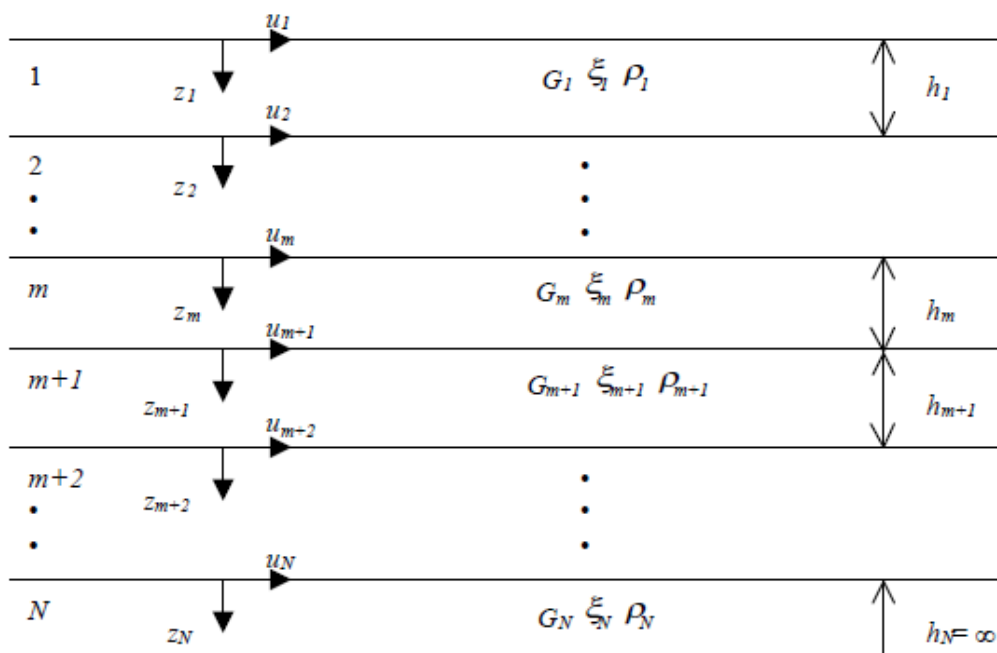


Figura 4.2.3.1: Esempio di stratigrafia per riferimento

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre  $k^*$  rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[ E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \right] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato  $m$  di spessore  $h_m$  gli spostamenti, rispettivamente in sommità ( $z = 0$ ) ed al fondo ( $z = h_m$ ), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = \left( E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \right) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell' $m$ -esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove  $\alpha_m^*$  rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati  $m$  ed  $m+1$ , ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che  $E_1 = F_1$ .

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad  $m$ . La funzione di trasferimento  $A_{mn}$  che lega gli spostamenti in sommità degli strati  $m$  ed  $n$  è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

$A_{mn}$  rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti  $m$  e  $n$ .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento  $A_{mn}$  può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati  $n$  ed  $m$ :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

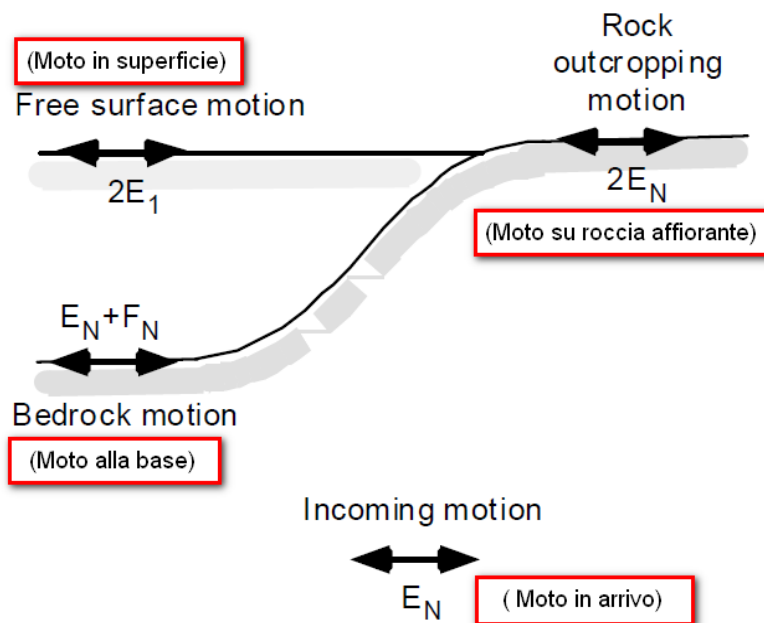
La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità  $z$  e al tempo  $t$  dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* \left( E e^{ik^+ z} - F e^{-ik^+ z} \right) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 4.2.3.2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.



**Figura 4.2.3.2:** Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad  $E_N$ ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a  $E_N + F_N$ . Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ( $E_N = F_N$ ), il moto avrà ampiezza pari a  $2E_N$ . La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché  $G$  è funzione di  $\gamma$ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di  $\gamma$ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo  $G$  così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per  $G(\gamma)$  adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (27)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0.492} \right] \right\} \quad (28)$$



$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (29)$$

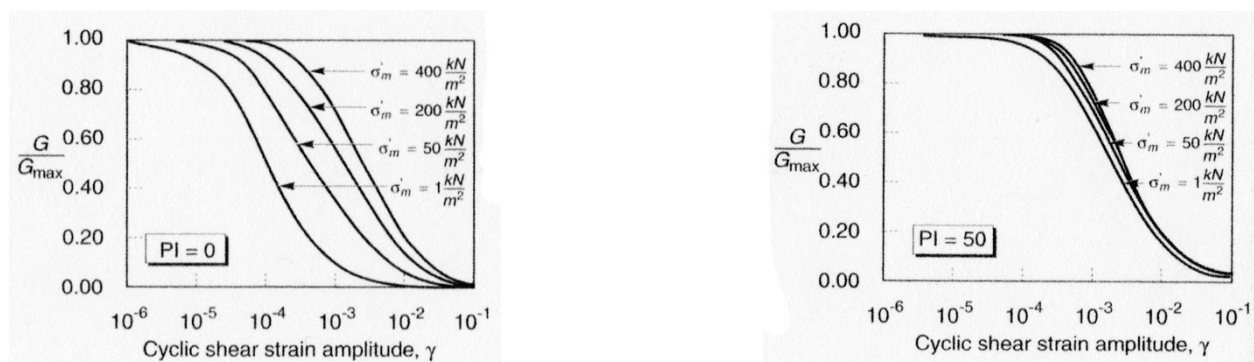
$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (30)$$

dove  $G_{max}$  è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (31)$$

dove  $\rho$  è la densità del terreno e  $V_s$  la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso.

La (31) fornisce il valore iniziale di  $G$  per la prima iterazione.

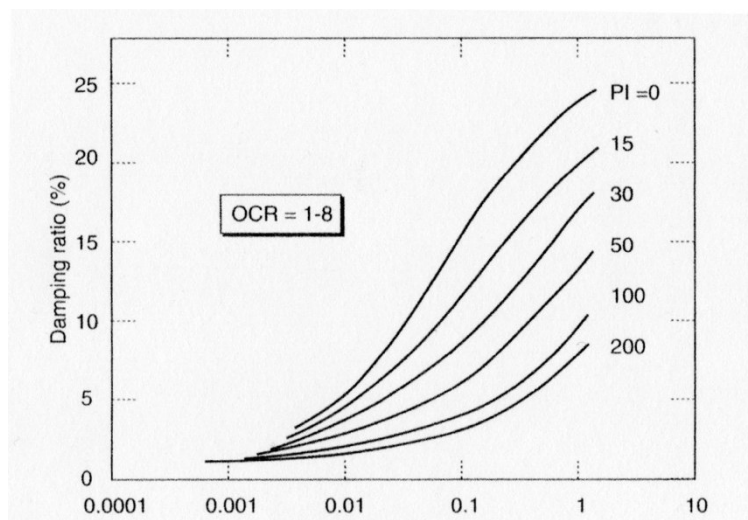


**Figura 4.2.3.3:** Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ , in conseguenza del modello introdotto dalla (27) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.3})}{2} \left[ 0.586 \left( \frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (32)$$

da cui si deduce che anche  $\xi$  deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.



**Figura 4.2.3.4:** Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

## 5. ELABORAZIONE PROVE SISMICHE

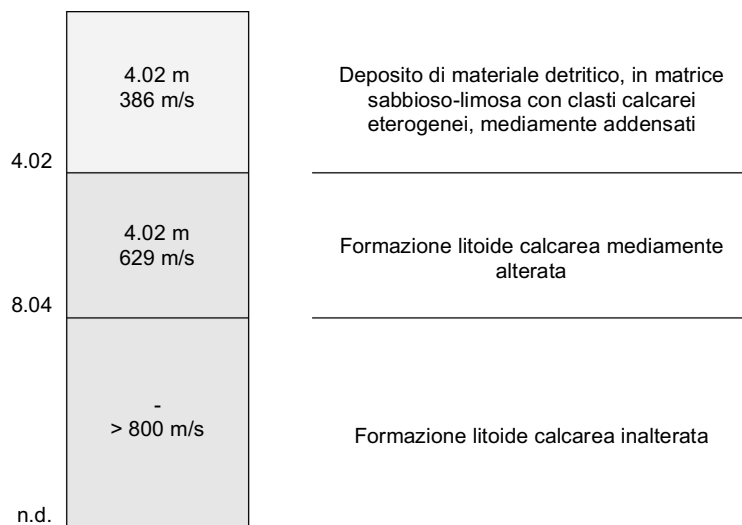
### 5.1 Elaborazione prove sismica attiva

#### Porzione lungo strada

L'elaborazione del dato tramite la tecnica di inversione ha permesso quindi di ricostruire un modello sismostratigrafico del terreno a monte del versante in frana, che mostra la presenza di n. 3 orizzonti di velocità:

- un layer superficiale con valori di velocità Vs di circa 386 m/s e spessore di circa 4.02 m;
- un secondo layer con valori di velocità Vs di circa 629 m/s e spessore di circa 4.02 m;
- un terzo layer con valori di velocità Vs > 800 m/s;

Dai dati sopra esposti si può quindi constatare un graduale aumento di velocità delle onde S con la profondità e, in base alle conoscenze geologiche dell'area ed alle informazioni bibliografiche reperite, le velocità ricavate possono essere ricondotte per il primo orizzonte ad un deposito di materiale detritico, in matrice sabbioso-limosa con clasti calcarei eterogenei, mediamente addensati, per il secondo layer ad una Formazione litoide calcarea mediamente alterata, mentre per il rifrattore di base ad una Formazione litoide calcarea inalterata.



**Fig. 5.1 – Colonna sismostratigrafica**

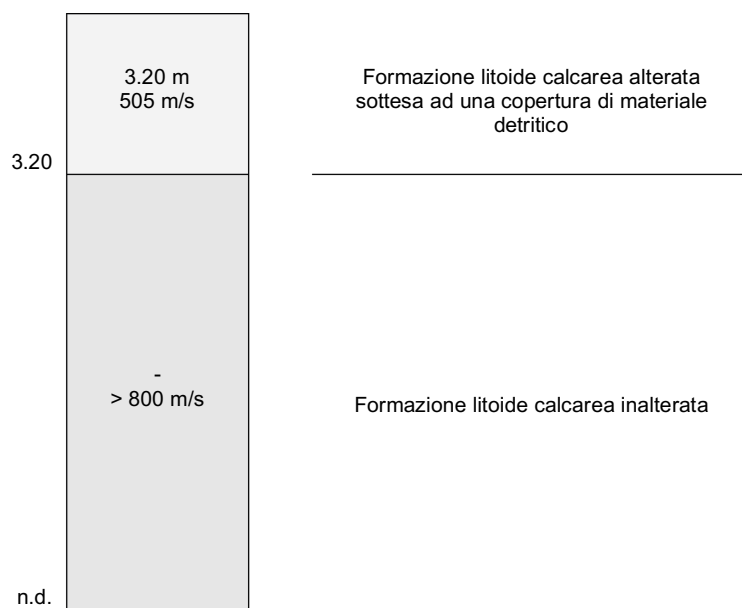
Ulteriori dettagli dei dati acquisiti sono esposti negli elaborati grafici allegati di seguito.

**Porzione alla base del versante roccioso**

L'elaborazione del dato tramite la tecnica di inversione ha permesso quindi di ricostruire un modello sismostratigrafico del terreno a monte del versante in frana, che mostra la presenza di n. 2 orizzonti di velocità:

- un layer superficiale con valori di velocità  $V_s$  di circa 505 m/s e spessore di circa 3.20 m;
- un secondo layer con valori di velocità  $V_s > 800$  m/s;

Dai dati sopra esposti si può quindi constatare un graduale aumento di velocità delle onde S con la profondità e, in base alle conoscenze geologiche dell'area ed alle informazioni bibliografiche reperite, le velocità ricavate possono essere ricondotte per il primo orizzonte ad una formazione litoide calcarea alterata sottesa ad una copertura di materiale detritico mentre per il rifrattore di base ad una formazione litoide calcarea integra costituita da Calcareniti massicce.



**Fig. 5.2 – Colonna sismostratigrafica**

Ulteriori dettagli dei dati acquisiti sono esposti negli elaborati grafici allegati di seguito.

**5.2 Elaborazione prove sismica passiva**

L'area di progetto, durante la fase di acquisizione, non presentava un rumore ambientale di fondo (seismic noise). In fase di elaborazione, vista la discreta rumorosità del segnale e la presenza di alcuni transienti, si è cercato di selezionare solamente le finestre temporali che presentavano il minor disturbo, utilizzando finestre di campionamento con durata di 20 s.

Di seguito vengono riportati i Processing Data e i risultati dell'elaborazione della stazione di misura HVSR eseguita sul versante roccioso in esame:

Name of the survey	Location	Sampling frequency	Trace length	Date	Smoothing windows	Costante
HVSR	Artena (RM)	250 Hz	20 min	24/11/2022	Triangular windows	10%

**Tab. 5.2/a - Caratteristiche dell'acquisizione**

L'elaborazione dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e del moto verticale ha permesso quindi di individuare la frequenza principale di risonanza del sito e quelle secondarie, riferite alla stazione di misura installata:

Name of the survey	<b>f<sub>0</sub></b> (Peak value)	Standard deviation of f <sub>0</sub>	Window length	Range of frequency analyzed
<b>HVSR 1</b>	<b>9.35 Hz</b>	+/- 0.28 Hz	20 s	0.50 / 14.90 Hz

**Tab. 5.2/b - Risultati elaborazione**

---

**Studio Geologico** – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)

---

In base ai dati sopra riportati è stata infine valutata l'affidabilità delle curve ricavate e dei relativi picchi, verificando la corrispondenza con i criteri riportati nelle linee guida del progetto SESAME:

## HVSR

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

La verifica dell'acquisizione secondo i criteri SESAME mostra quindi una buona affidabilità della curva HVSR e una buona chiarezza statistica del picco individuato, essendo stati verificati 4 dei 5 criteri stabiliti.

## 6. AZIONI SISMICHE DI PROGETTO

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. L'azione sismica sulle costruzioni è quindi valutata da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC).

L'azione sismica così individuata viene poi variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

### 6.1 Categoria di sottosuolo

In base a quanto attualmente esposto dalle "Norme tecniche per le costruzioni" del D.M. 17 gennaio 2018, è necessario determinare le azioni sismiche di progetto tramite specifiche analisi di sito o mediante un approccio semplificato che si basa sul calcolo della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ( $V_{s,eq}$ ) partendo dal piano di posa delle fondazioni.

Il valore di  $V_{s,eq}$  (in m/s) viene calcolato secondo la seguente espressione:

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

dove  $h_i$  e  $V_{s,i}$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti al disopra del substrato sismico (con  $V_s > 800$  m/s), fino ad un  $H$  massimo di 30 m ( $V_{s30}$ ). L'indagine sismica in possesso dello scrivente ha permesso quindi di ricostruire i seguenti profili sismostratigrafici, necessari per il calcolo delle  $V_{s,eq}$ :

Porzione lungo strada MASW 1:

STRATO	SPESSORE medio ( $h_i$ )	VELOCITA' media ( $V_s$ )
1	4.02 m	386 m/s
2	4.02 m	629 m/s
3	n.d.	> 800 m/s

Utilizzando i dati sopra elencati e considerando in via cautelativa il piano di posa delle fondazioni coincidente con il piano campagna, sono stati quindi ricavati i seguenti valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 8.04 m di profondità:

$$V_{s,eq(8.04\text{ m})} = 478\text{ m/s}$$

---

**Studio Geologico** – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)

---

Pertanto, sulla base di questo valore e secondo quanto stabilito dal DM del 17 gennaio 2018, è possibile assegnare al terreno di progetto la seguente categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione:

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

Porzione alla base dell'ammasso roccioso MASW 2:

STRATO	SPESSORE medio (hi)	VELOCITA' media (Vs)
1	3.20 m	386 m/s
2	n.d.	> 800 m/s

Utilizzando i dati sopra elencati e considerando in via cautelativa il piano di posa delle fondazioni coincidente con il piano campagna, sono stati quindi ricavati i seguenti valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 3.20 m di profondità:

$$V_{s,eq(3.20\text{ m})} = 505 \text{ m/s}$$

Pertanto, sulla base di questo valore e secondo quanto stabilito dal DM del 17 gennaio 2018, è possibile assegnare al terreno di progetto la seguente categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione:

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



**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

## 6.2 Categoria topografica

Per valutare i fattori stratigrafici e topografici che possono determinare fenomeni di amplificazione si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella Tab. 6.2/a, in funzione delle categorie topografiche definite in Tab. 6.2/b e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

La vigente normativa sismica prevede che, in tali condizioni morfologiche venga adottato:

$$S_T = 1.2$$

**Tabella 6.2./a – Categorie topografiche**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
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 $i > 30^\circ$

**Tabella 6.2./b – Valori del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$**

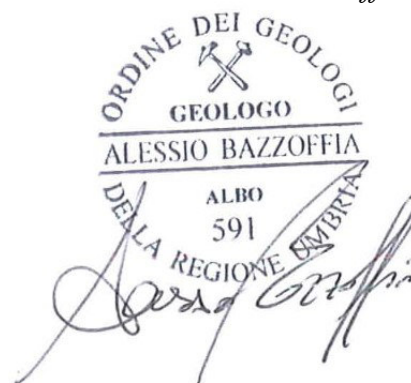
Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	---	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

Il sito in esame è dunque ubicato in corrispondenza di un pendio con inclinazione media superiore a  $15^\circ$  e pertanto, in base a quanto previsto dal DM del 17 gennaio 2018, l'area può essere classificata nella seguente categoria topografica:

**Categoria topografica “T2”**

Assisi, 21 novembre 2022

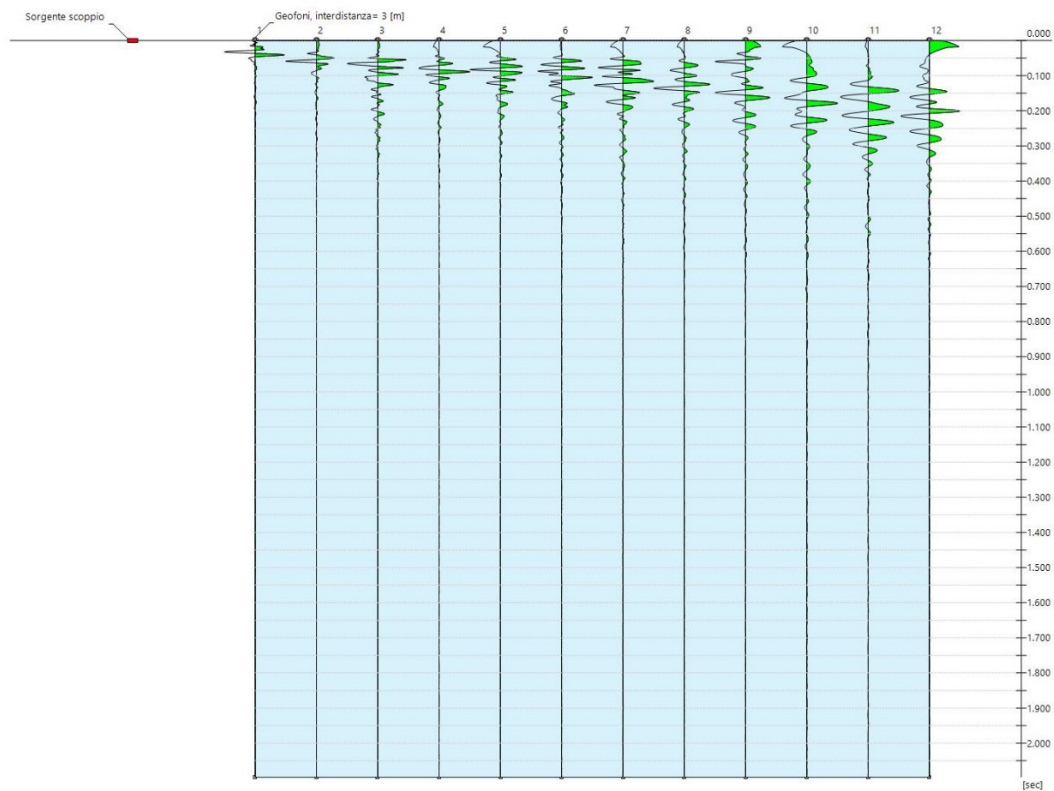
Il Responsabile Tecnico  
Dott. Geol. Alessio Bazzoffia



## 7. ELABORATI INDAGINI SISMICHE

### Porzione lungo strada MASW 1:

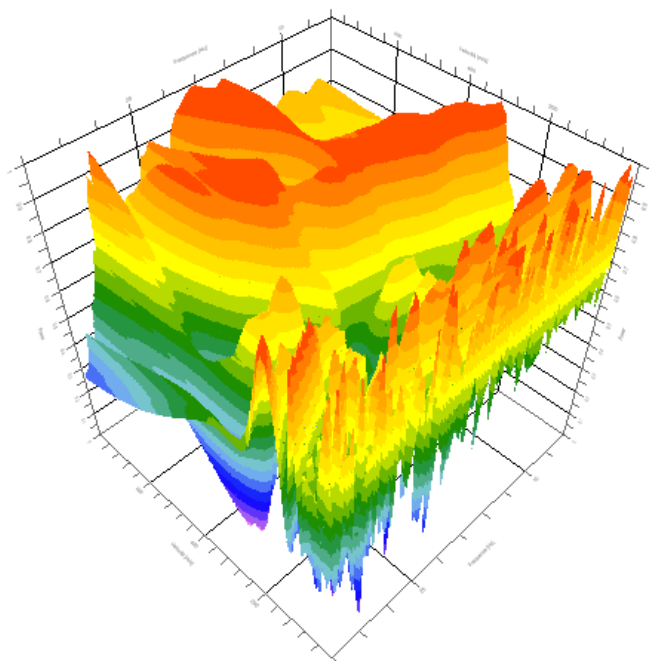
<b>N. tracce</b>	12
<b>Durata acquisizione [msec]</b>	2097.2
<b>Interdistanza geofoni [m]</b>	3.0
<b>Periodo di campionamento [msec]</b>	1.024



### Analisi spettrale

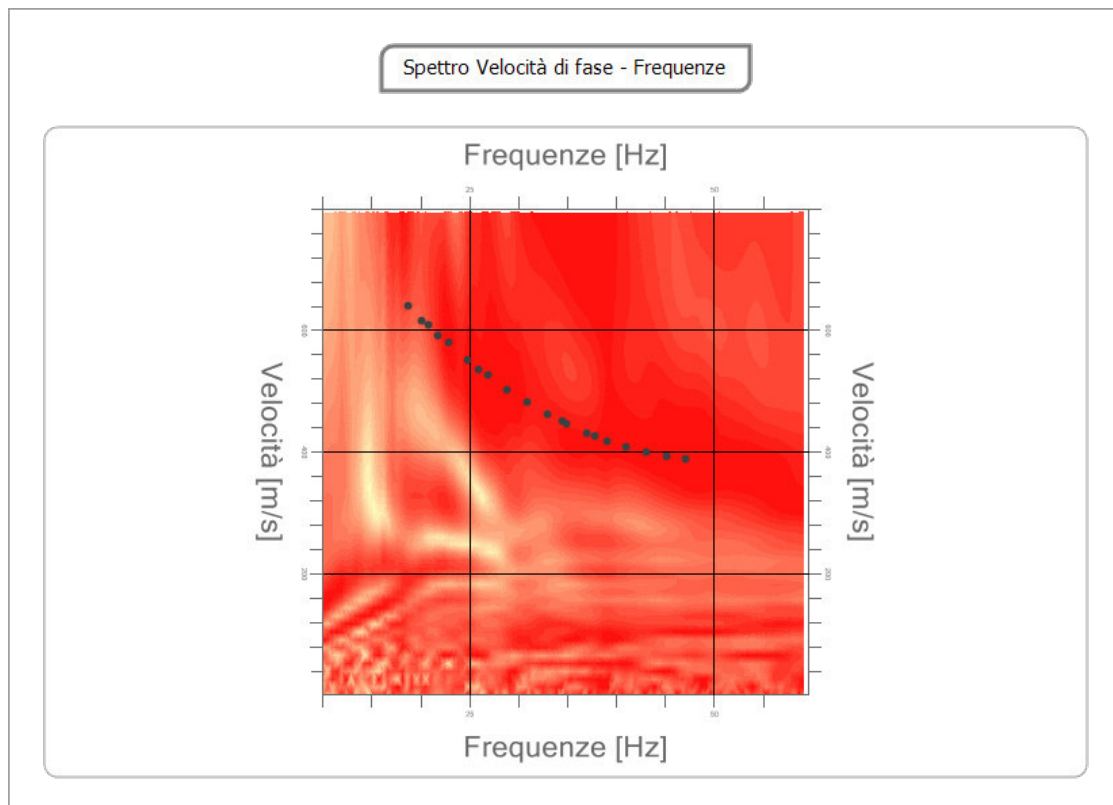
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

Spettro Velocità di fase - Frequenze



**Curva di dispersione**

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	18.8	640.4	0
2	20.1	616.1	0
3	20.8	608.6	0
4	21.7	590.3	0
5	22.8	578.9	0
6	24.9	551.4	0
7	25.9	534.7	0
8	26.9	526.0	0
9	28.9	502.7	0
10	30.9	481.5	0
11	33.0	462.4	0
12	34.5	451.2	0
13	35.0	445.5	0
14	37.0	430.7	0
15	37.8	425.3	0
16	39.0	418.0	0
17	41.1	407.5	0
18	43.1	399.0	0
19	45.1	392.7	0
20	47.2	388.5	0



**Inversione**

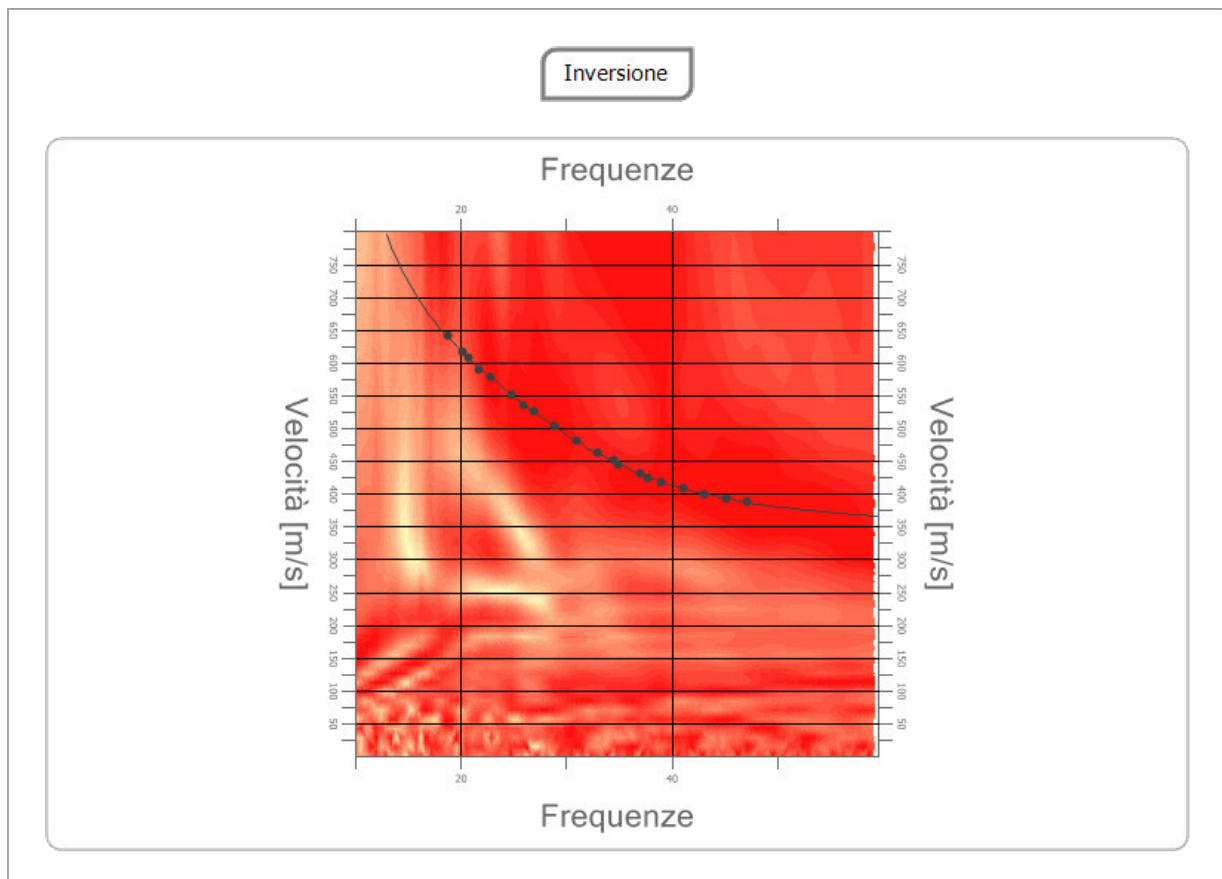
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		4.02	4.02	1800.0	0.20	No	630.5	386.1
2		8.04	4.02	1800.0	0.20	No	1026.7	628.7
3		13.04	5.00	1800.0	0.20	No	1363.6	835.0
4		19.04	6.00	1800.0	0.20	No	1495.5	915.8
5		27.13	8.09	1800.0	0.20	No	1630.5	998.5
6		oo	oo	1800.0	0.20	No	2313.3	1416.6

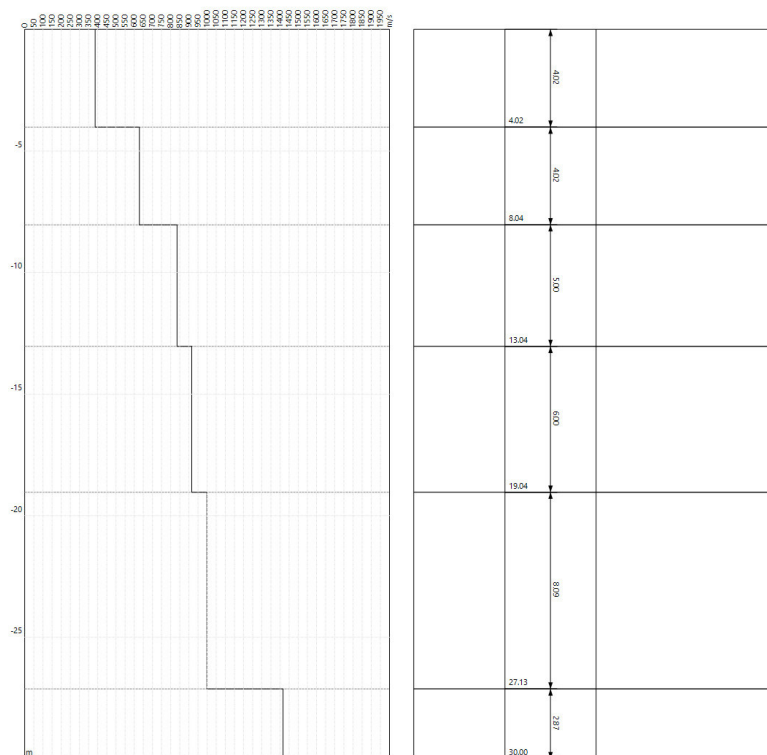
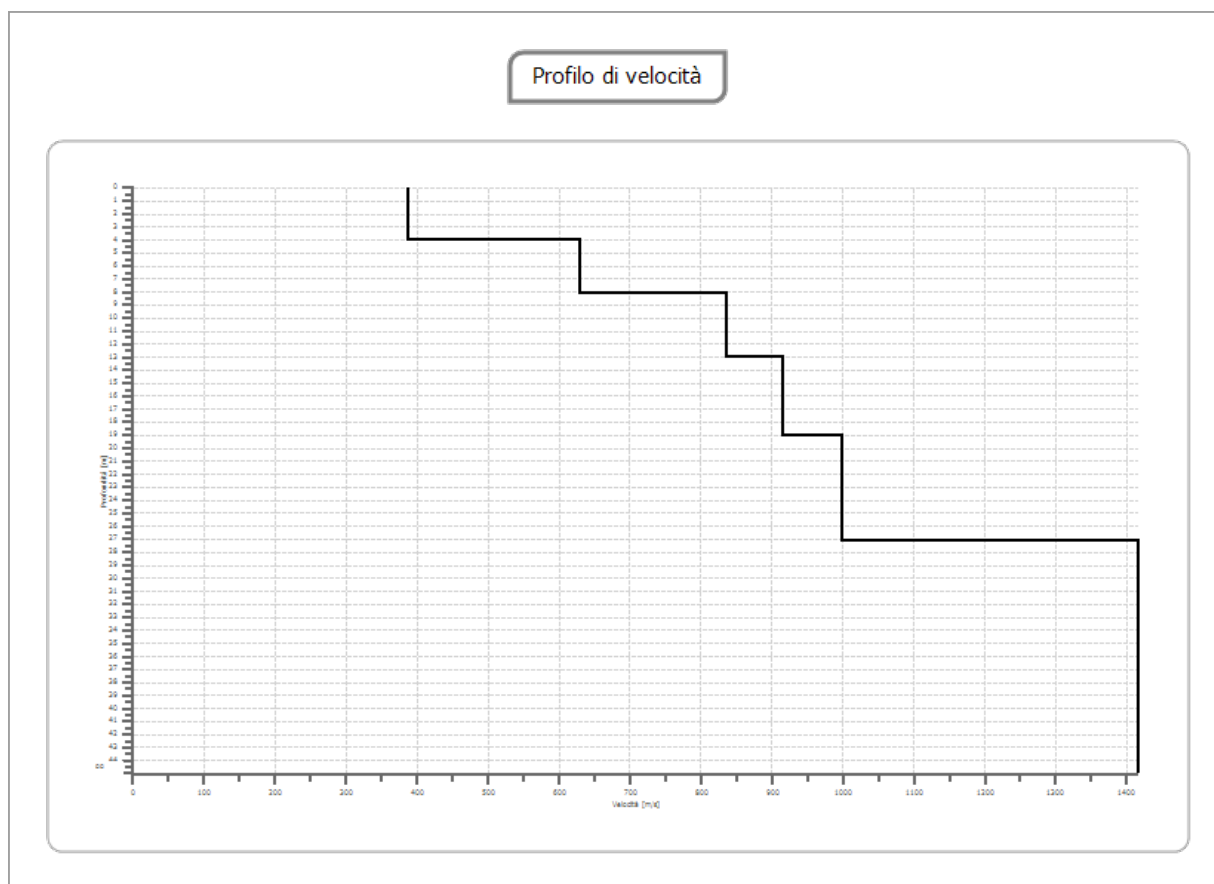
Percentuale di errore

0.001 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.003





**Risultati**

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs,eq [m/sec] (H=8.04 m)</b>	478.37
<b>Categoria del suolo</b>	B

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

**Altri parametri geotecnici**

n.	Profo ndità [m]	Spess ore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densi tà [kg/m c]	Coeffi ciente Pois son	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	4.02	4.02	386.1 1	630.5 2	1800. 00	0.20	268.3 5	715.6 0	357.8 0	644.0 4	N/A	N/A
2	8.04	4.02	628.7 1	1026. 68	1800. 00	0.20	711.4 9	1897. 32	948.6 6	1707. 58	N/A	N/A
3	13.04	5.00	835.0 0	1363. 56	1800. 00	0.20	1255. 02	3346. 71	1673. 36	3012. 04	N/A	N/A
4	19.04	6.00	915.7 8	1495. 46	1800. 00	0.20	1509. 58	4025. 54	2012. 77	3622. 99	N/A	N/A
5	27.13	8.09	998.4 9	1630. 53	1800. 00	0.20	1794. 58	4785. 54	2392. 77	4306. 98	N/A	N/A
6	oo	oo	1416. 57	2313. 25	1800. 00	0.20	3612. 02	9632. 06	4816. 03	8668. 85	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

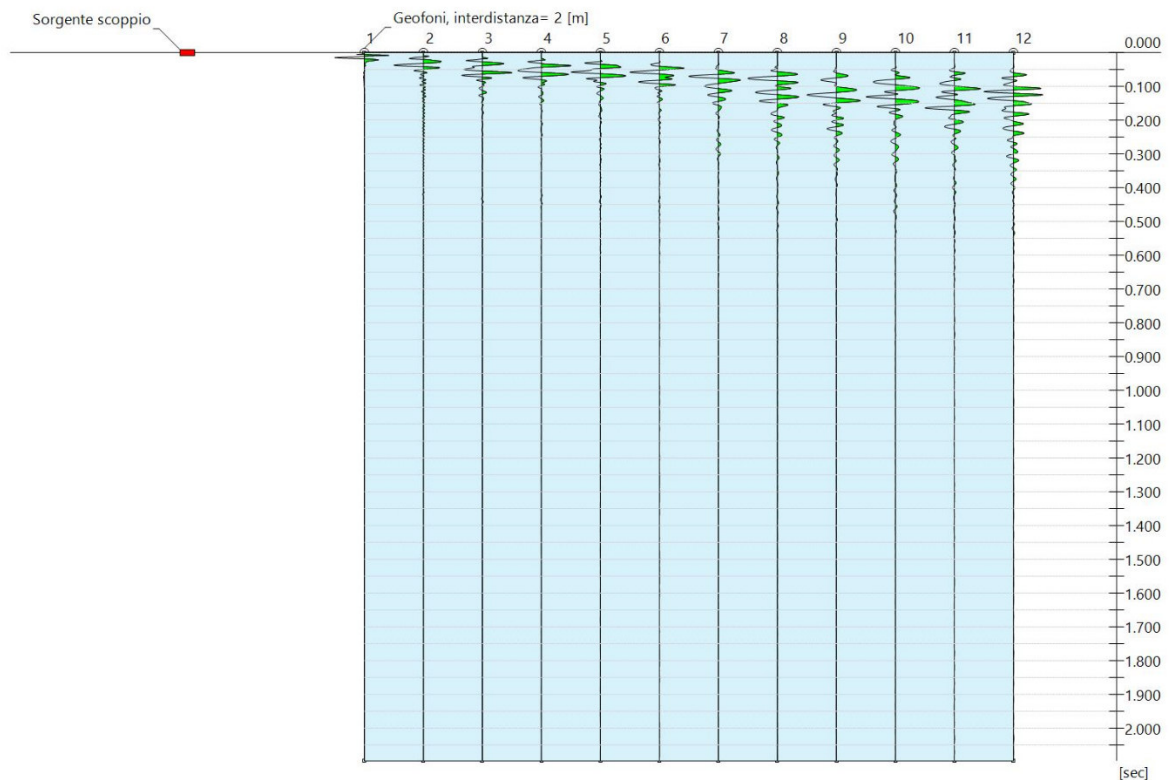
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

Porzione lungo strada MASW 2:

**Tracce**

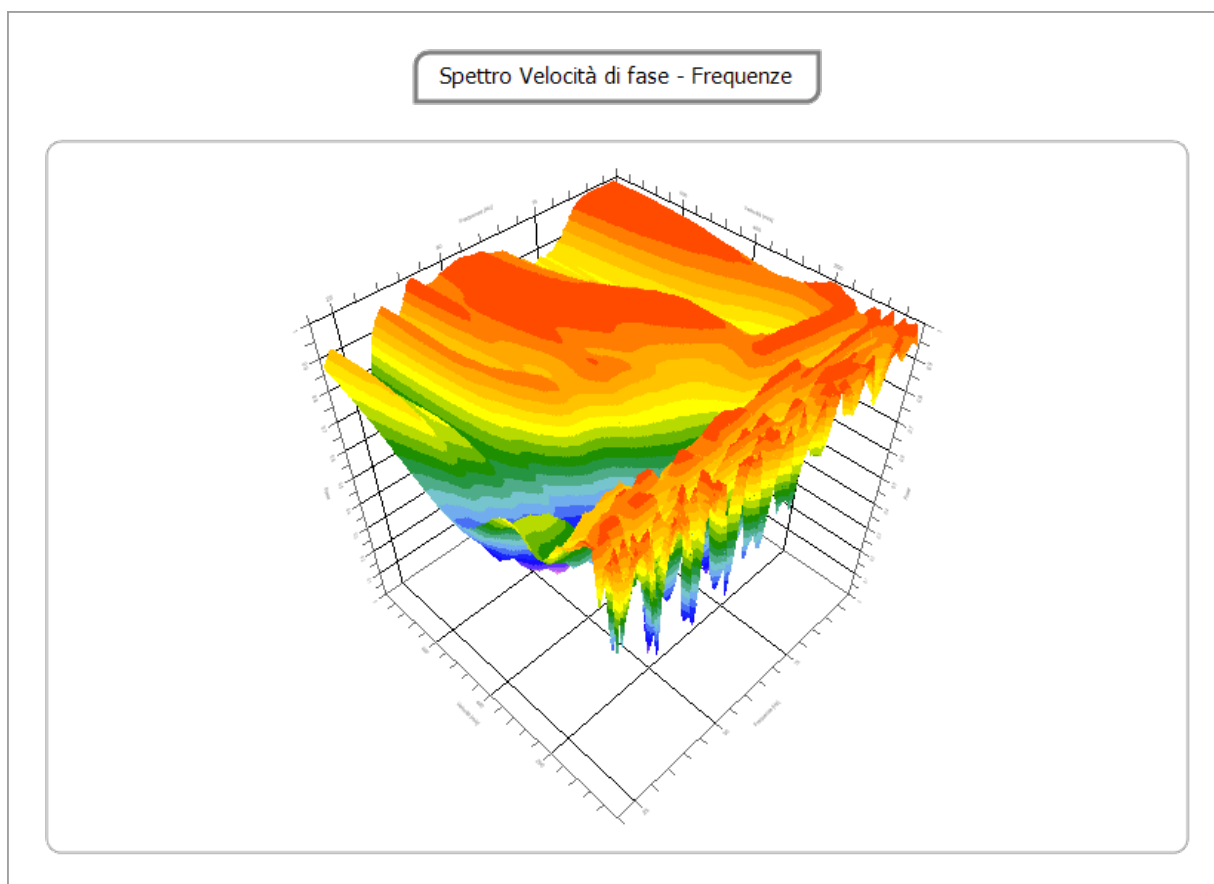
<b>N. tracce</b>	12
<b>Durata acquisizione [msec]</b>	2097.2
<b>Interdistanza geofoni [m]</b>	2.0
<b>Periodo di campionamento [msec]</b>	1.024





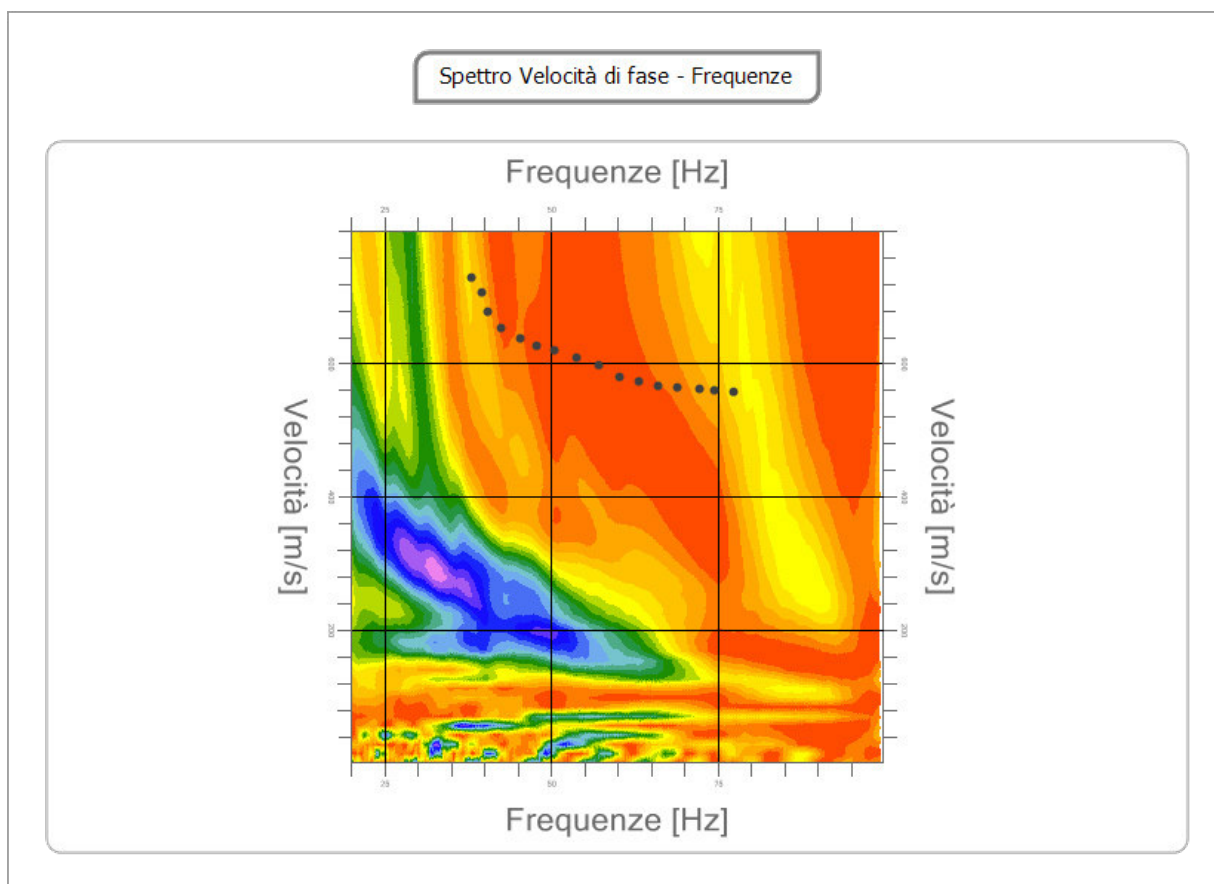
### Analisi spettrale

<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	20
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	100
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	1
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	800
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	1



**Curva di dispersione**

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	38.1	730.2	0
2	39.6	706.9	0
3	40.4	678.5	0
4	42.5	652.6	0
5	45.3	637.1	0
6	47.9	626.8	0
7	50.5	619.0	0
8	53.9	608.7	0
9	57.2	598.3	0
10	60.3	580.2	0
11	63.2	572.5	0
12	66.0	567.3	0
13	74.6	559.5	0
14	77.4	556.9	0
15	72.2	562.1	0
16	68.9	564.7	0

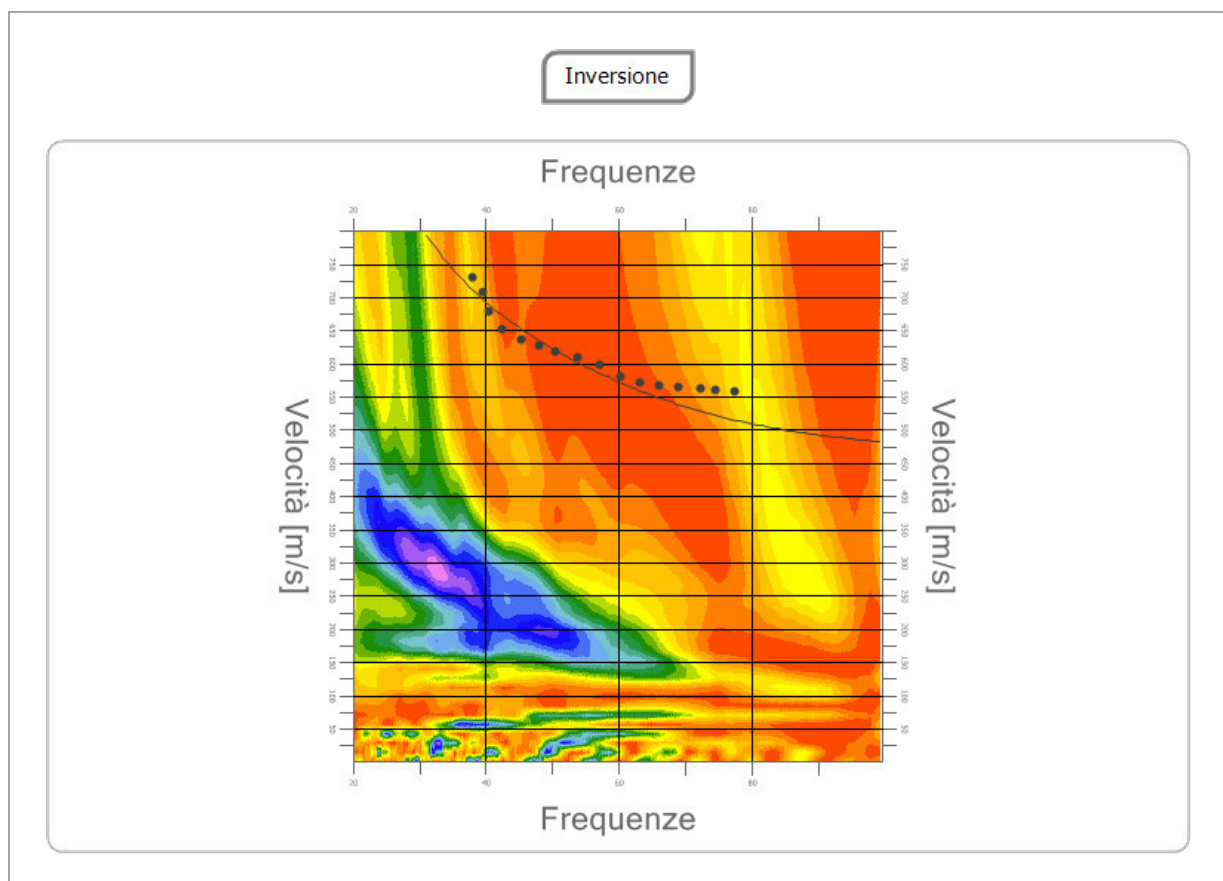


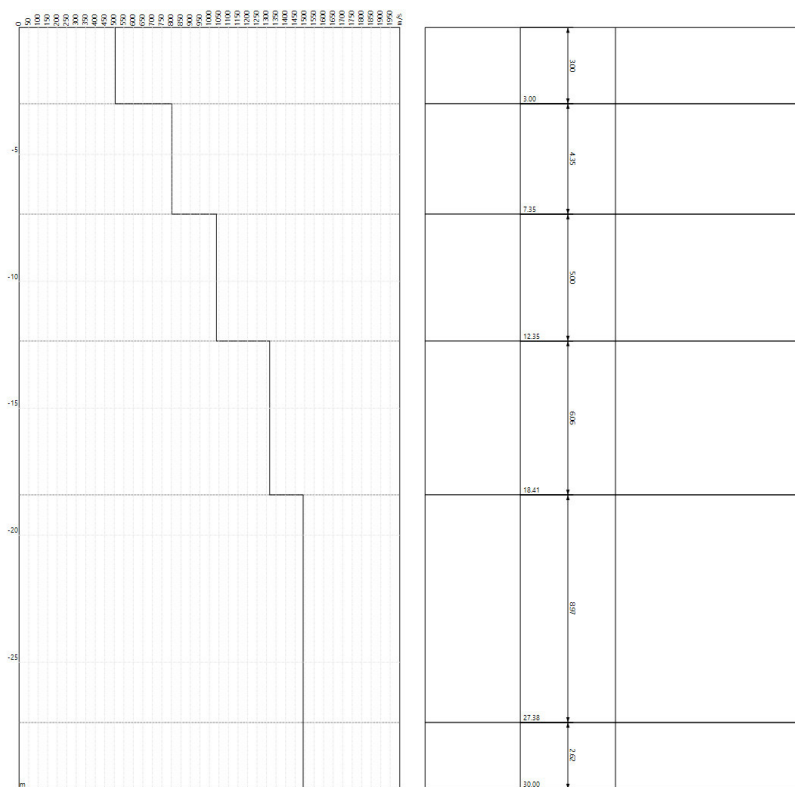
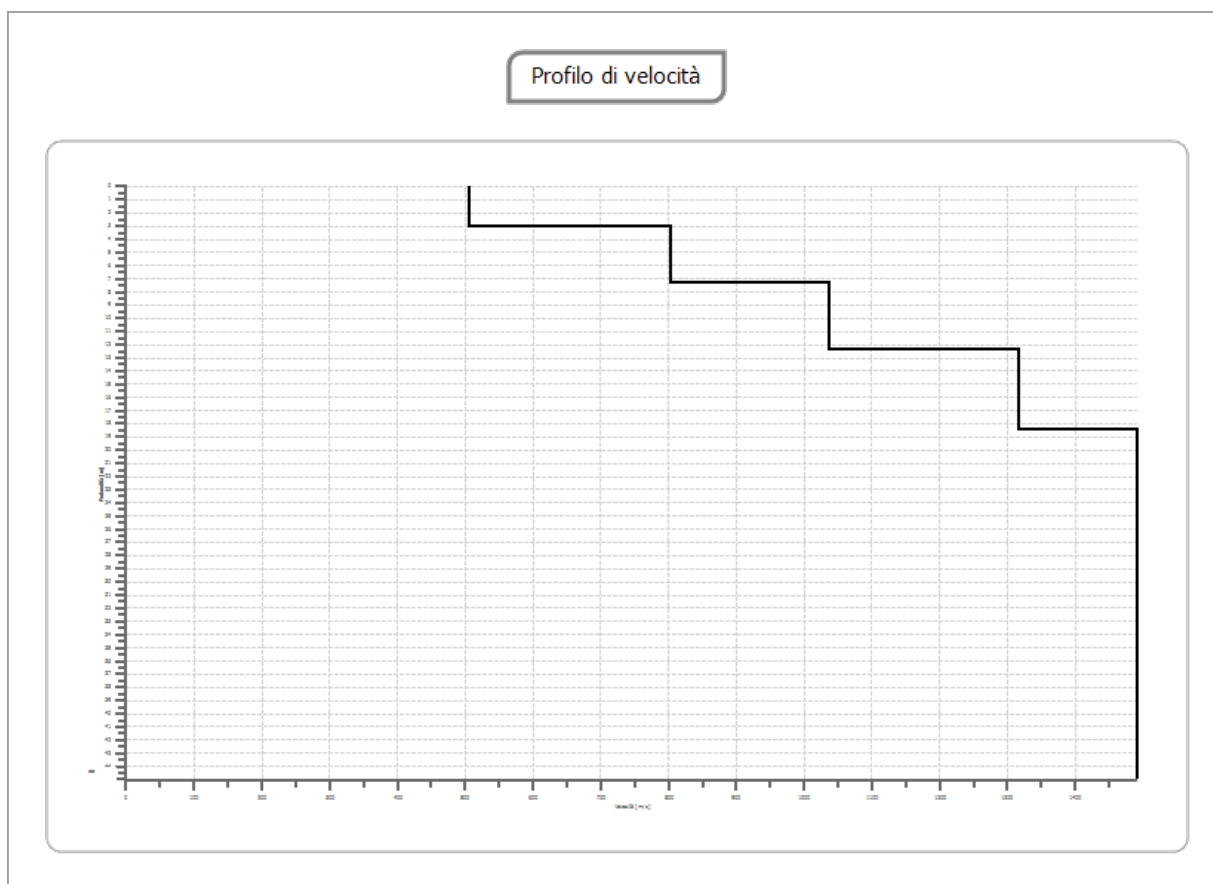
**Inversione**

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3.20	3.20	1800.0	0.20	No	824.9	505.1
2		7.55	4.35	1800.0	0.20	No	1310.3	802.4
3		12.55	5.00	1800.0	0.20	No	1693.1	1036.8
4		18.61	6.06	1800.0	0.20	No	2150.0	1316.6
5		27.58	8.97	1800.0	0.20	No	2436.9	1492.3
6		oo	oo	1800.0	0.20	No	2436.9	1492.3

Percentuale di errore 0.120 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.037





**Risultati**

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs,eq [m/sec] (H=3.20 m)</b>	<b>505.12</b>
<b>Categoria del suolo</b>	B

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

**Altri parametri geotecnici**

n.	Profo ndità [m]	Spess ore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densi tà [kg/m c]	Coeffi ciente Pois son	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	3.20	3.20	505.1 2	824.8 5	1800. 00	0.20	459.2 6	1224. 68	612.3 4	1102. 22	N/A	N/A
2	7.55	4.35	802.3 8	1310. 28	1800. 00	0.20	1158. 86	3090. 29	1545. 15	2781. 26	N/A	N/A
3	12.55	5.00	1036. 82	1693. 13	1800. 00	0.20	1935. 01	5160. 02	2580. 01	4644. 02	N/A	N/A
4	18.61	6.06	1316. 59	2149. 98	1800. 00	0.20	3120. 13	8320. 35	4160. 18	7488. 32	N/A	N/A
5	27.58	8.97	1492. 32	2436. 94	1800. 00	0.20	4008. 61	10689 .63	5344. 81	9620. 66	N/A	N/A
6	oo	oo	1492. 32	2436. 94	1800. 00	0.20	4008. 61	10689 .63	5344. 81	9620. 66	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

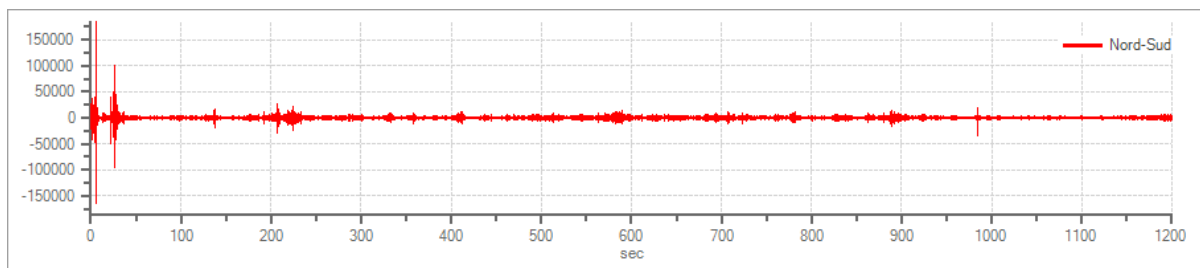
HVSR:

## Tracce in input

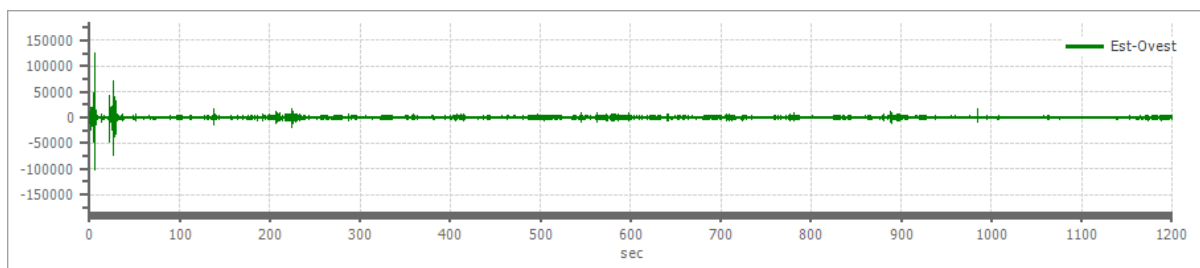
### Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	250.00 Hz
Numero campioni:	300000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

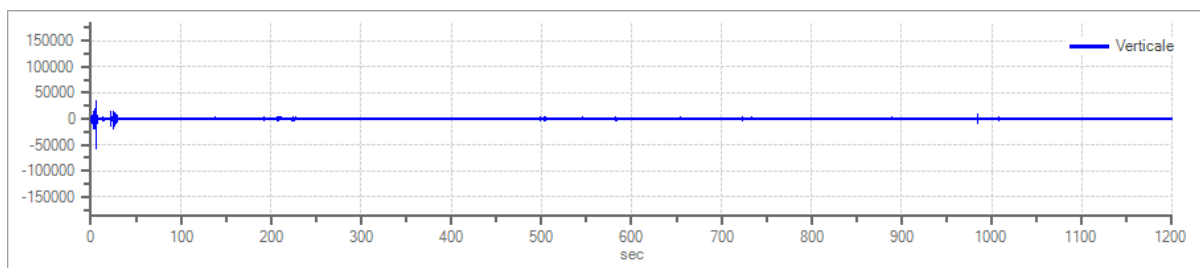
### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 50

Numero finestre incluse nel calcolo: 50

Dimensione temporale finestre: 20.000 s

Tipo di lisciamiento: Triangolare proporzionale

Percentuale di lisciamiento: 10.00 %

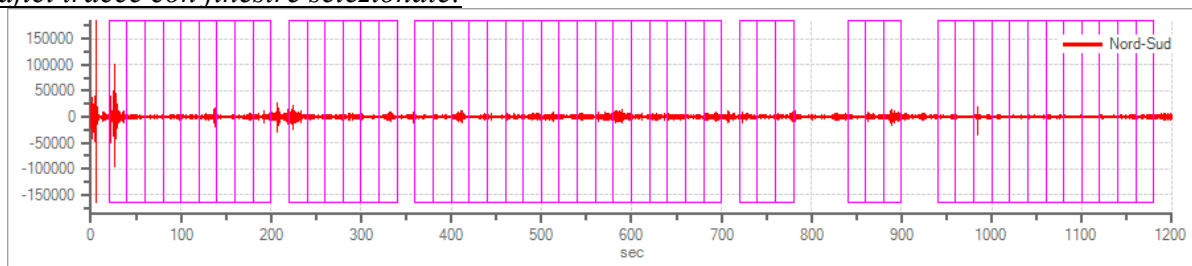
### Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	20	40	Inclusa
2	40	60	Inclusa
3	60	80	Inclusa
4	80	100	Inclusa
5	100	120	Inclusa
6	120	140	Inclusa
7	140	160	Inclusa
8	160	180	Inclusa
9	180	200	Inclusa
10	220	240	Inclusa
11	240	260	Inclusa
12	260	280	Inclusa
13	280	300	Inclusa
14	300	320	Inclusa
15	320	340	Inclusa
16	360	380	Inclusa
17	380	400	Inclusa
18	400	420	Inclusa
19	420	440	Inclusa
20	440	460	Inclusa
21	460	480	Inclusa
22	480	500	Inclusa
23	500	520	Inclusa
24	520	540	Inclusa
25	540	560	Inclusa
26	560	580	Inclusa
27	580	600	Inclusa
28	600	620	Inclusa
29	620	640	Inclusa
30	640	660	Inclusa
31	660	680	Inclusa
32	680	700	Inclusa
33	720	740	Inclusa
34	740	760	Inclusa
35	760	780	Inclusa

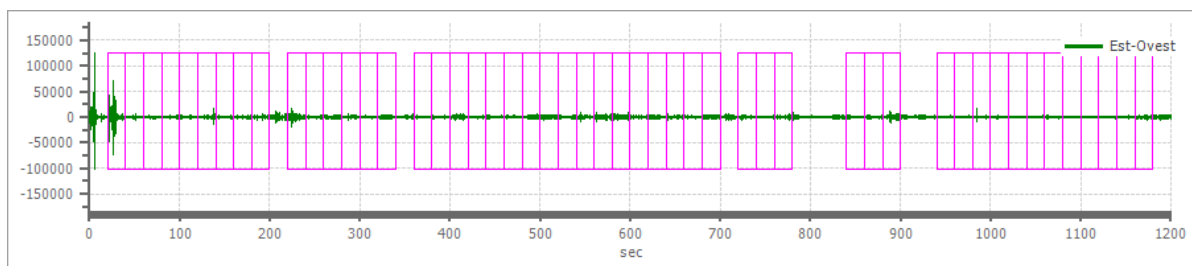
**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

36	840	860	Inclusa
37	860	880	Inclusa
38	880	900	Inclusa
39	940	960	Inclusa
40	960	980	Inclusa
41	980	1000	Inclusa
42	1000	1020	Inclusa
43	1020	1040	Inclusa
44	1040	1060	Inclusa
45	1060	1080	Inclusa
46	1080	1100	Inclusa
47	1100	1120	Inclusa
48	1120	1140	Inclusa
49	1140	1160	Inclusa
50	1160	1180	Inclusa

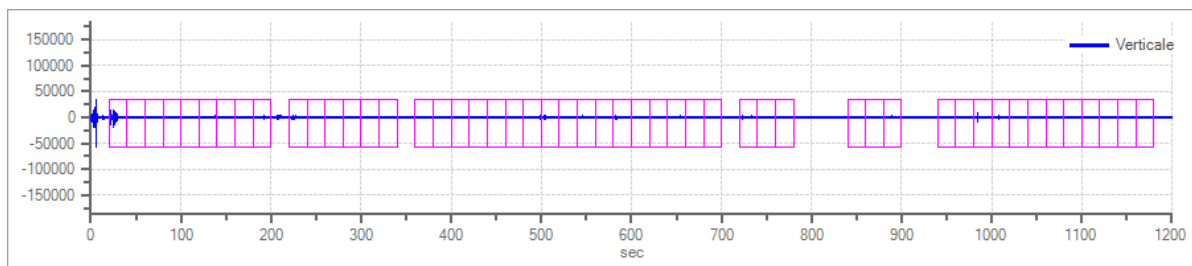
*Grafici tracce con finestre selezionate:*



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud



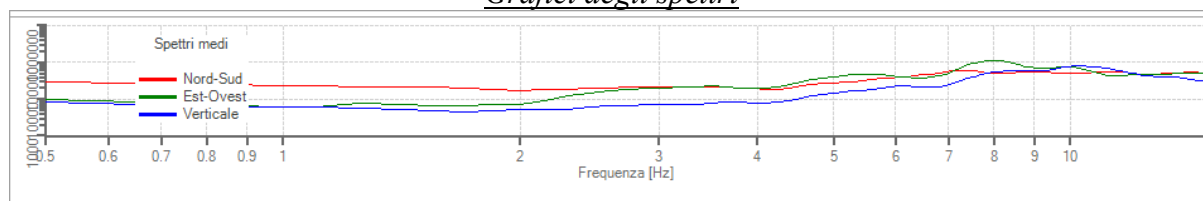
Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest



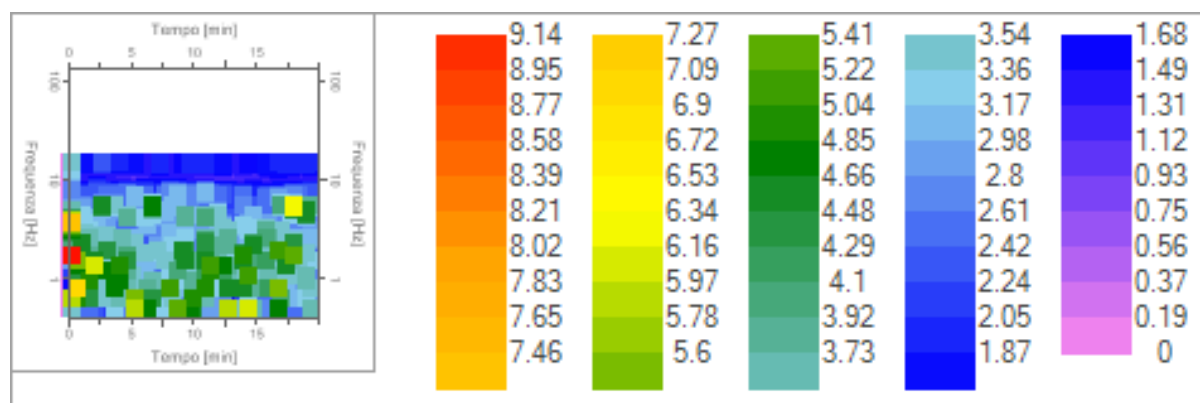
Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale



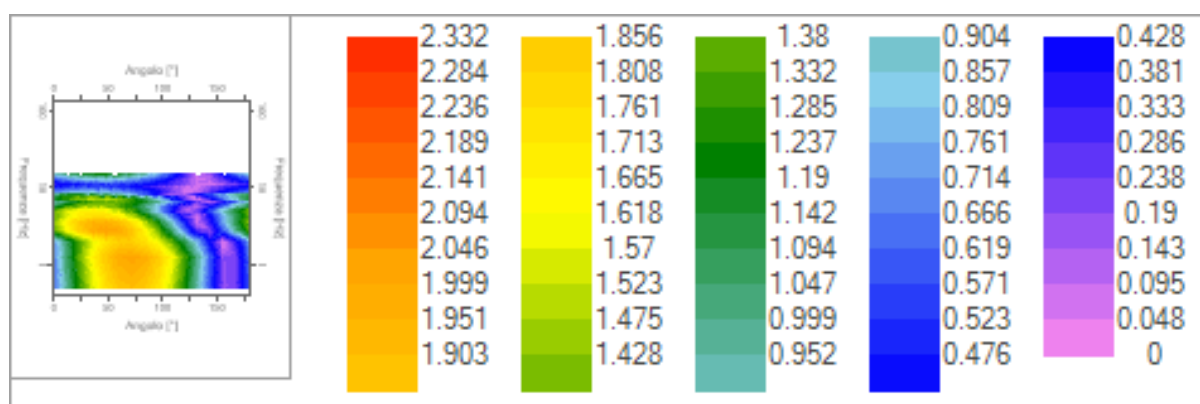
### Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

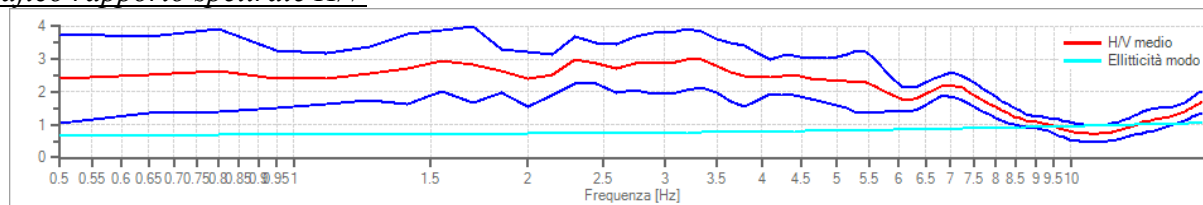
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 14.90 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.15 Hz  
 Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 9.35 Hz  $\pm 0.28$  Hz

### Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### Verifiche SESAME

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H_z$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H_z$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

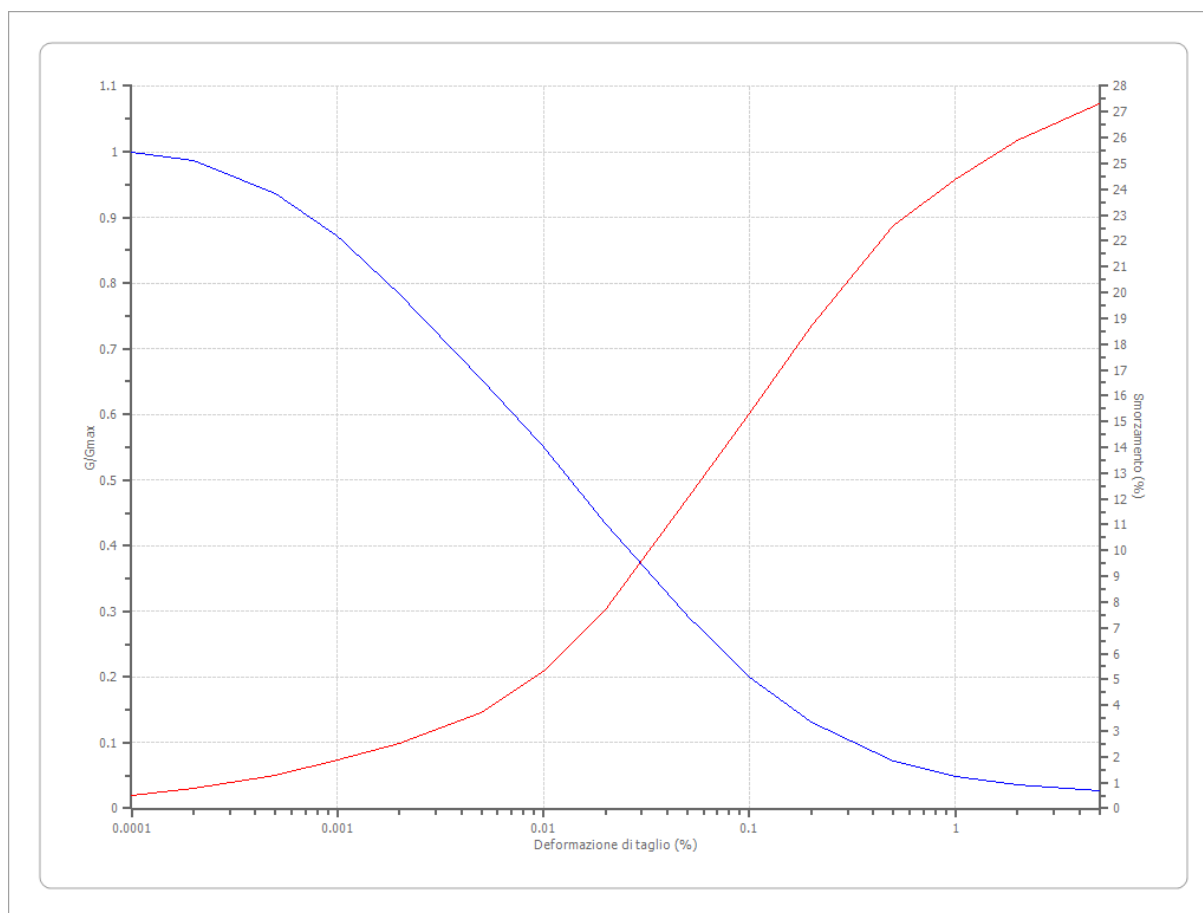
**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)****RISPOSTA SISMICA LOCALE 01:****Dati generali**

Data della prova 05/12/2022  
 Via Località Piano della Civita, Artena (RM)  
 Latitudine 41,731636[°]  
 Longitudine 12,9076347[°]

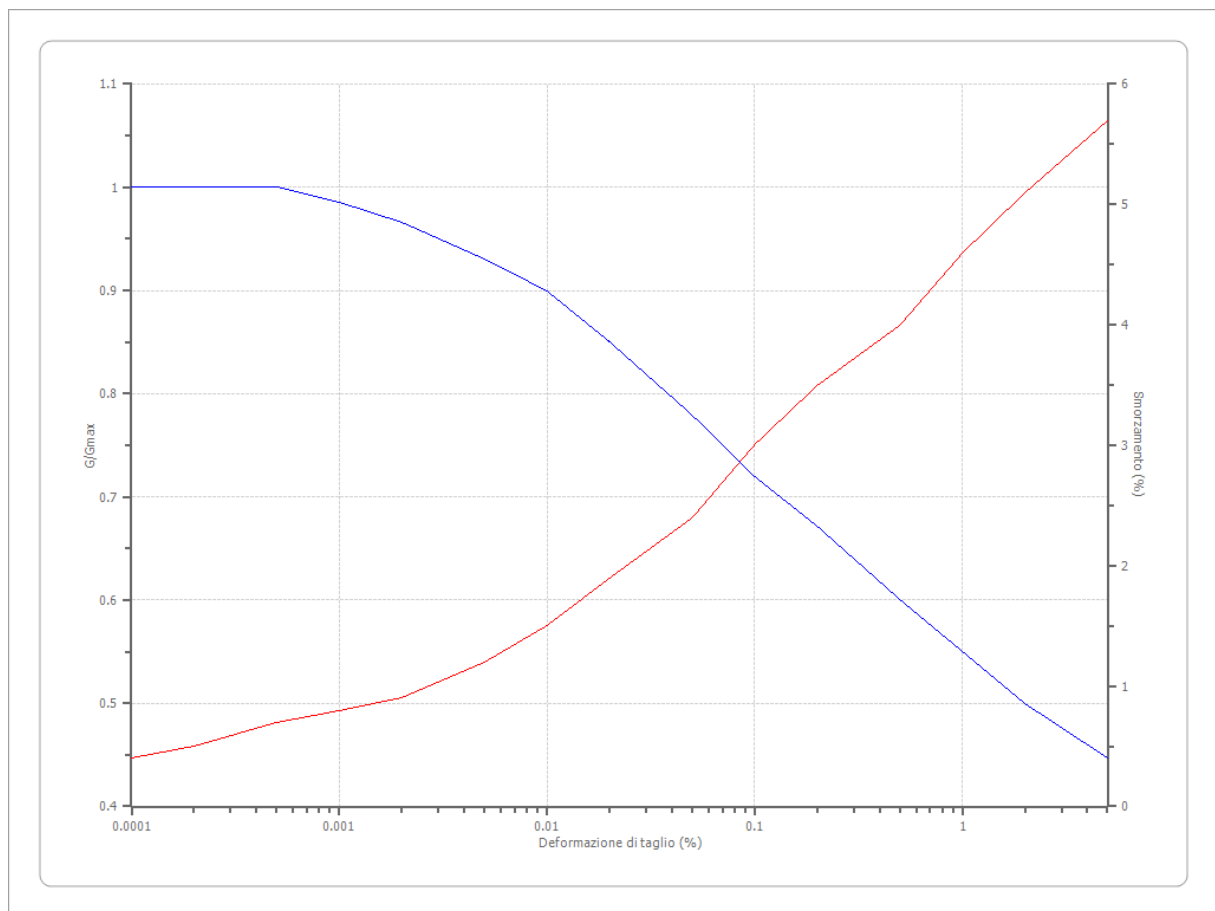
**Terreni**

Seed et al. (1986) Gravel

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.500
0.0002	0.987	0.0002	0.800
0.0005	0.937	0.0005	1.300
0.001	0.872	0.001	1.900
0.002	0.783	0.002	2.500
0.005	0.653	0.005	3.700
0.010	0.550	0.010	5.300
0.020	0.434	0.020	7.700
0.050	0.293	0.050	12.000
0.100	0.200	0.100	15.300
0.200	0.132	0.200	18.700
0.500	0.072	0.500	22.600
1.000	0.049	1.000	24.400
2.000	0.036	2.000	25.900
5.000	0.027	5.000	27.300

**Idriss (1990) Rock**

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.400
0.0002	1.000	0.0002	0.500
0.0005	1.000	0.0005	0.700
0.001	0.986	0.001	0.800
0.002	0.966	0.002	0.900
0.005	0.931	0.005	1.200
0.010	0.900	0.010	1.500
0.020	0.850	0.020	1.900
0.050	0.779	0.050	2.400
0.100	0.720	0.100	3.000
0.200	0.671	0.200	3.500
0.500	0.600	0.500	4.000
1.000	0.550	1.000	4.600
2.000	0.500	2.000	5.100
5.000	0.447	5.000	5.700



### Fattori di amplificazione ICMS 2018

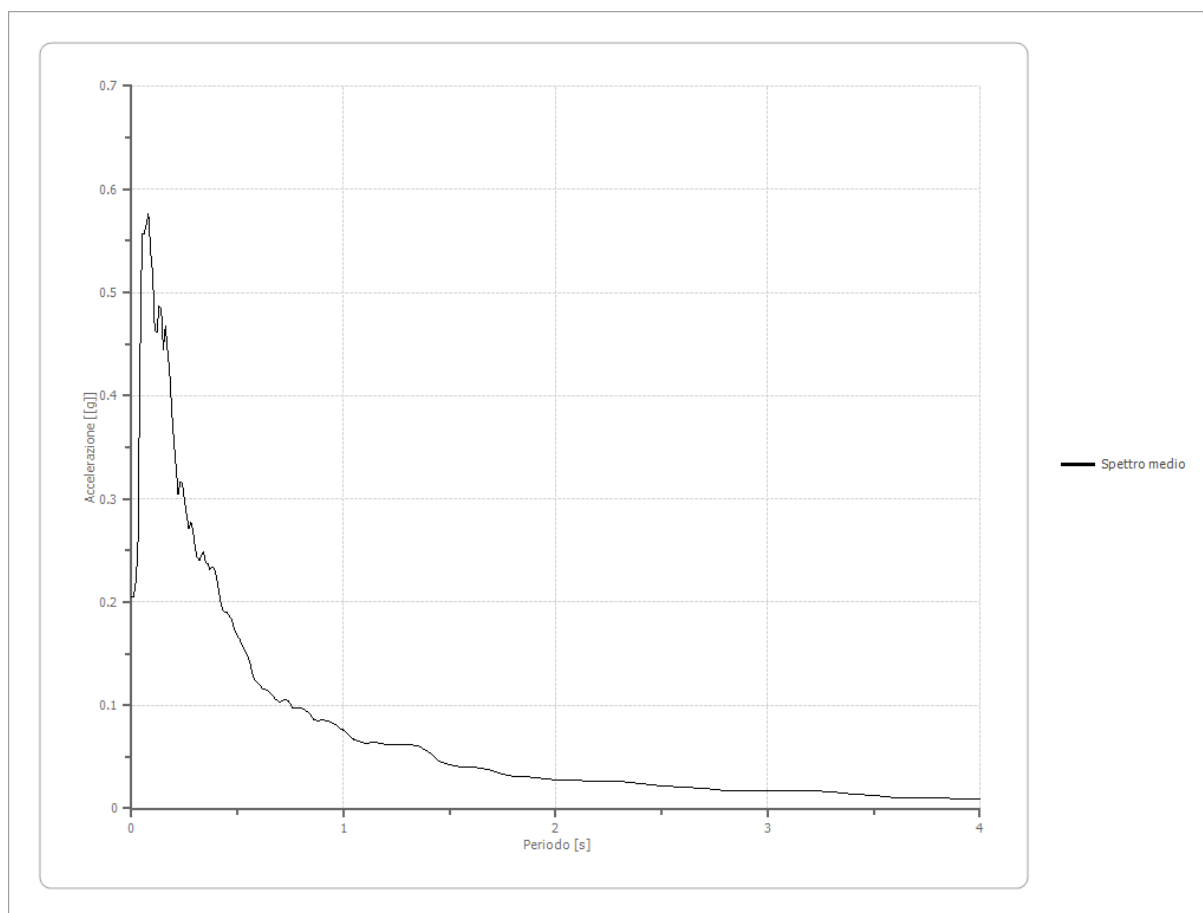
Tai	0.160 [s]
Tvi	1.300 [s]
Tao	0.080 [s]
Tvo	1.300 [s]
Sami	3.639 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.132 [m/s]
Samo	5.177 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.136 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>1.423 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>1.029 [-]</b>
TB	0.055 [s]
TC	0.165 [s]
TD	2.133 [s]
SA(0)	0.133 [g]
SA(TB)	0.528 [g]

**Fattori di amplificazione su intensità spettrale**

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
-----------------------	------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------------	----

**Spettro medio di risposta elastico**

Periodo [s]	Accelera- zione [g]	Periodo [s]	Accelera- zione [g]	Periodo [s]	Accelera- zione [g]	Periodo [s]	Accelera- zione [g]	Periodo [s]	Accelera- zione [g]
0.00	0.2052	0.26	0.2844	0.52	0.1591	0.98	0.0784	2.25	0.0265
0.01	0.2052	0.27	0.2720	0.53	0.1550	1.00	0.0759	2.30	0.0261
0.02	0.2185	0.28	0.2770	0.54	0.1509	1.05	0.0661	2.35	0.0254
0.03	0.2518	0.29	0.2693	0.55	0.1472	1.10	0.0634	2.40	0.0244
0.04	0.4280	0.30	0.2519	0.56	0.1398	1.15	0.0639	2.50	0.0220
0.05	0.5569	0.31	0.2427	0.57	0.1305	1.20	0.0615	2.60	0.0211
0.06	0.5566	0.32	0.2408	0.58	0.1254	1.25	0.0624	2.70	0.0197
0.07	0.5660	0.33	0.2448	0.60	0.1204	1.30	0.0616	2.80	0.0177
0.08	0.5765	0.34	0.2480	0.62	0.1161	1.35	0.0606	2.90	0.0170
0.09	0.5402	0.35	0.2383	0.64	0.1145	1.40	0.0544	3.00	0.0174
0.10	0.5183	0.36	0.2366	0.66	0.1110	1.45	0.0455	3.10	0.0176
0.11	0.4624	0.37	0.2317	0.68	0.1059	1.50	0.0426	3.20	0.0175
0.12	0.4622	0.38	0.2339	0.70	0.1030	1.55	0.0406	3.30	0.0164
0.13	0.4872	0.39	0.2328	0.72	0.1053	1.60	0.0399	3.40	0.0143
0.14	0.4841	0.40	0.2245	0.74	0.1048	1.65	0.0384	3.50	0.0123
0.15	0.4444	0.41	0.2128	0.76	0.0970	1.70	0.0364	3.60	0.0109
0.16	0.4677	0.42	0.1999	0.78	0.0973	1.75	0.0336	3.70	0.0098
0.17	0.4438	0.43	0.1921	0.80	0.0969	1.80	0.0313	3.80	0.0099
0.18	0.4227	0.44	0.1902	0.82	0.0952	1.85	0.0308	3.90	0.0096
0.19	0.3853	0.45	0.1906	0.84	0.0919	1.90	0.0299	4.00	0.0089
0.20	0.3553	0.46	0.1873	0.86	0.0863	1.95	0.0289		
0.21	0.3308	0.47	0.1841	0.88	0.0851	2.00	0.0271		
0.22	0.3053	0.48	0.1774	0.90	0.0854	2.05	0.0279		
0.23	0.3157	0.49	0.1704	0.92	0.0850	2.10	0.0277		
0.24	0.3150	0.50	0.1669	0.94	0.0842	2.15	0.0269		
0.25	0.2991	0.51	0.1635	0.96	0.0816	2.20	0.0267		

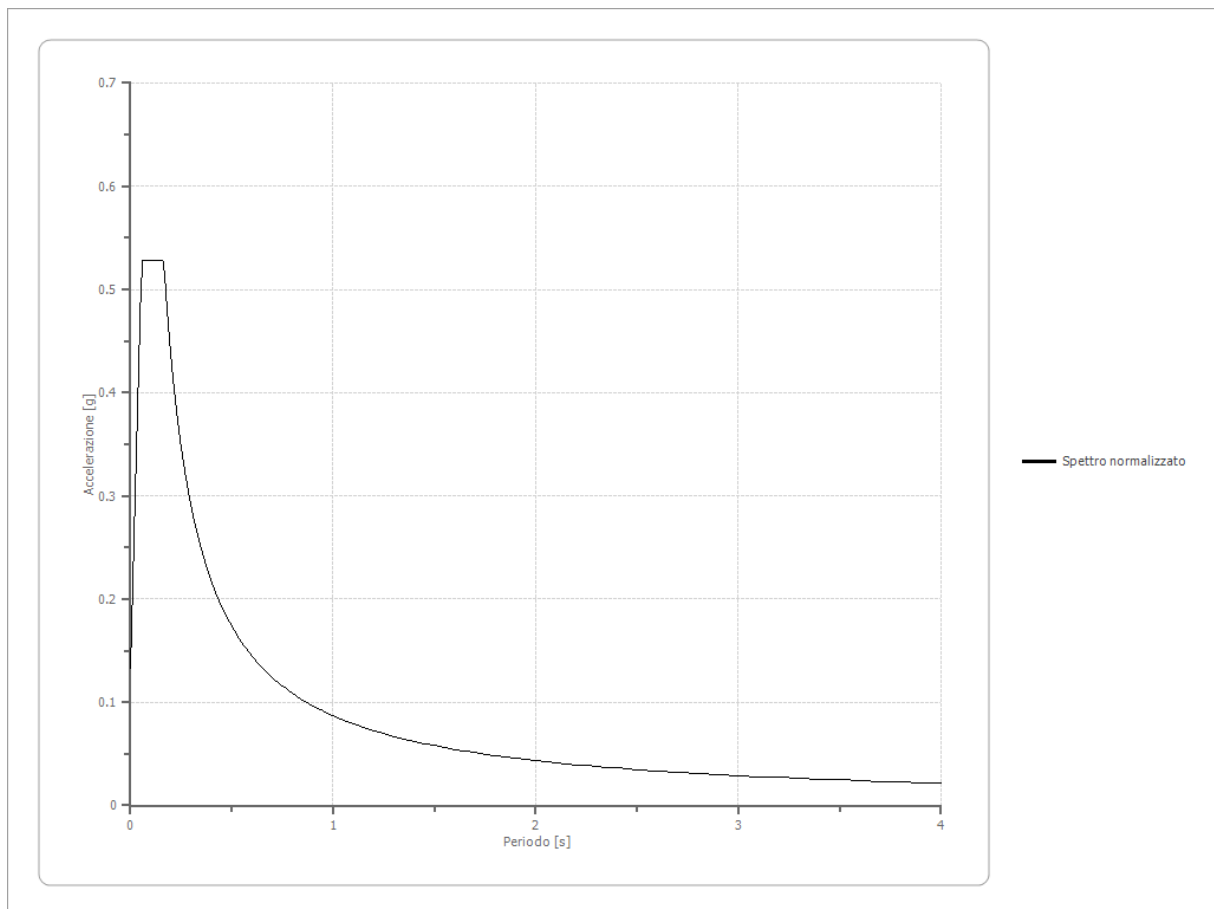


Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.1333	0.26	0.3340	0.52	0.1670	0.98	0.0886	2.25	0.0386
0.01	0.2052	0.27	0.3216	0.53	0.1638	1.00	0.0868	2.30	0.0378
0.02	0.2771	0.28	0.3101	0.54	0.1608	1.05	0.0827	2.35	0.0370
0.03	0.3490	0.29	0.2994	0.55	0.1579	1.10	0.0789	2.40	0.0362
0.04	0.4210	0.30	0.2894	0.56	0.1551	1.15	0.0755	2.50	0.0347
0.05	0.4929	0.31	0.2801	0.57	0.1523	1.20	0.0724	2.60	0.0334
0.06	0.5277	0.32	0.2714	0.58	0.1497	1.25	0.0695	2.70	0.0322
0.07	0.5277	0.33	0.2631	0.60	0.1447	1.30	0.0668	2.80	0.0310
0.08	0.5277	0.34	0.2554	0.62	0.1401	1.35	0.0643	2.90	0.0299
0.09	0.5277	0.35	0.2481	0.64	0.1357	1.40	0.0620	3.00	0.0289
0.10	0.5277	0.36	0.2412	0.66	0.1316	1.45	0.0599	3.10	0.0280
0.11	0.5277	0.37	0.2347	0.68	0.1277	1.50	0.0579	3.20	0.0271
0.12	0.5277	0.38	0.2285	0.70	0.1240	1.55	0.0560	3.30	0.0263
0.13	0.5277	0.39	0.2226	0.72	0.1206	1.60	0.0543	3.40	0.0255
0.14	0.5277	0.40	0.2171	0.74	0.1173	1.65	0.0526	3.50	0.0248
0.15	0.5277	0.41	0.2118	0.76	0.1143	1.70	0.0511	3.60	0.0241

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

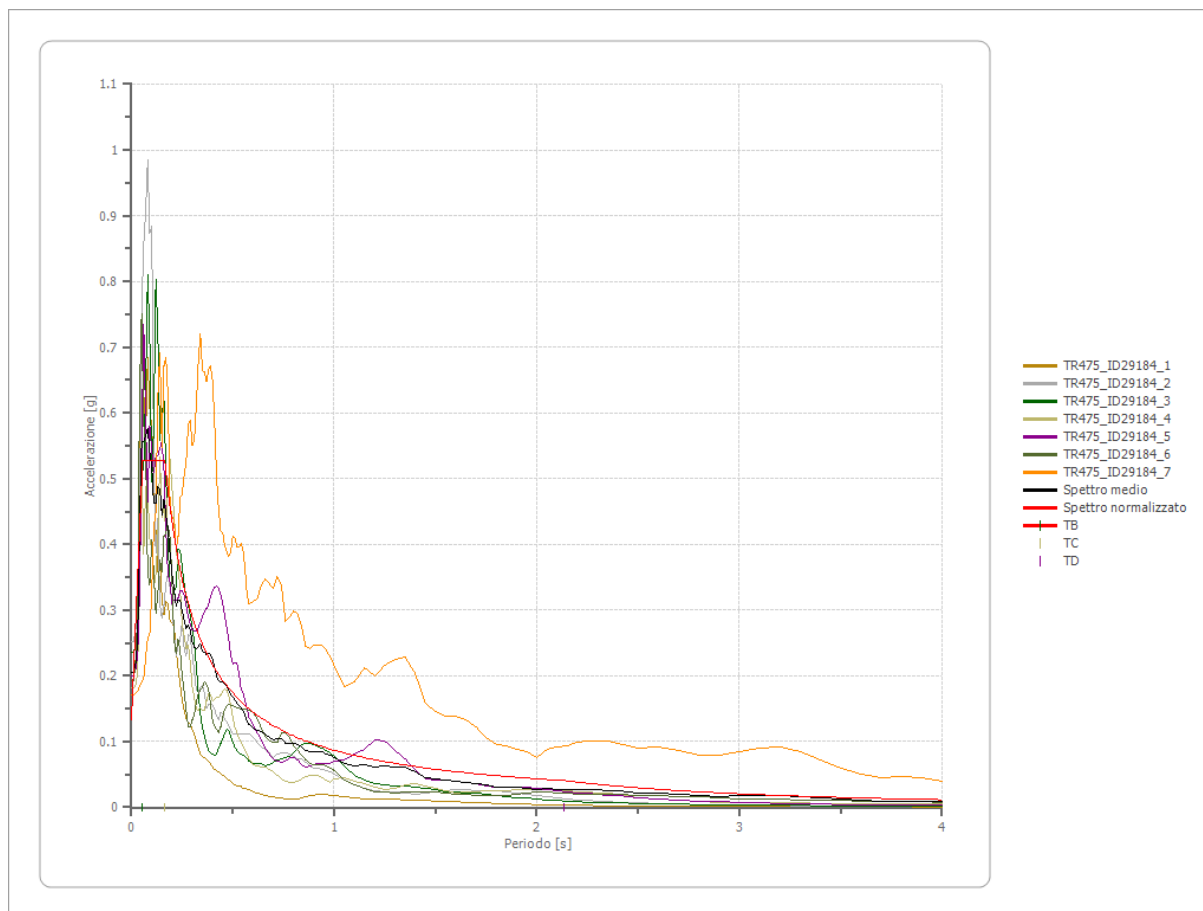
0.16	0.5277	0.42	0.2067	0.78	0.1113	1.75	0.0496	3.70	0.0235
0.17	0.5108	0.43	0.2019	0.80	0.1085	1.80	0.0482	3.80	0.0229
0.18	0.4824	0.44	0.1973	0.82	0.1059	1.85	0.0469	3.90	0.0223
0.19	0.4570	0.45	0.1930	0.84	0.1034	1.90	0.0457	4.00	0.0217
0.20	0.4342	0.46	0.1888	0.86	0.1010	1.95	0.0445		
0.21	0.4135	0.47	0.1848	0.88	0.0987	2.00	0.0434		
0.22	0.3947	0.48	0.1809	0.90	0.0965	2.05	0.0424		
0.23	0.3775	0.49	0.1772	0.92	0.0944	2.10	0.0413		
0.24	0.3618	0.50	0.1737	0.94	0.0924	2.15	0.0404		
0.25	0.3473	0.51	0.1703	0.96	0.0905	2.20	0.0395		

**Parametri spettro normalizzato**

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.133	3.960153	--	0.055	0.165	2.133	0.133	0.528	0.828



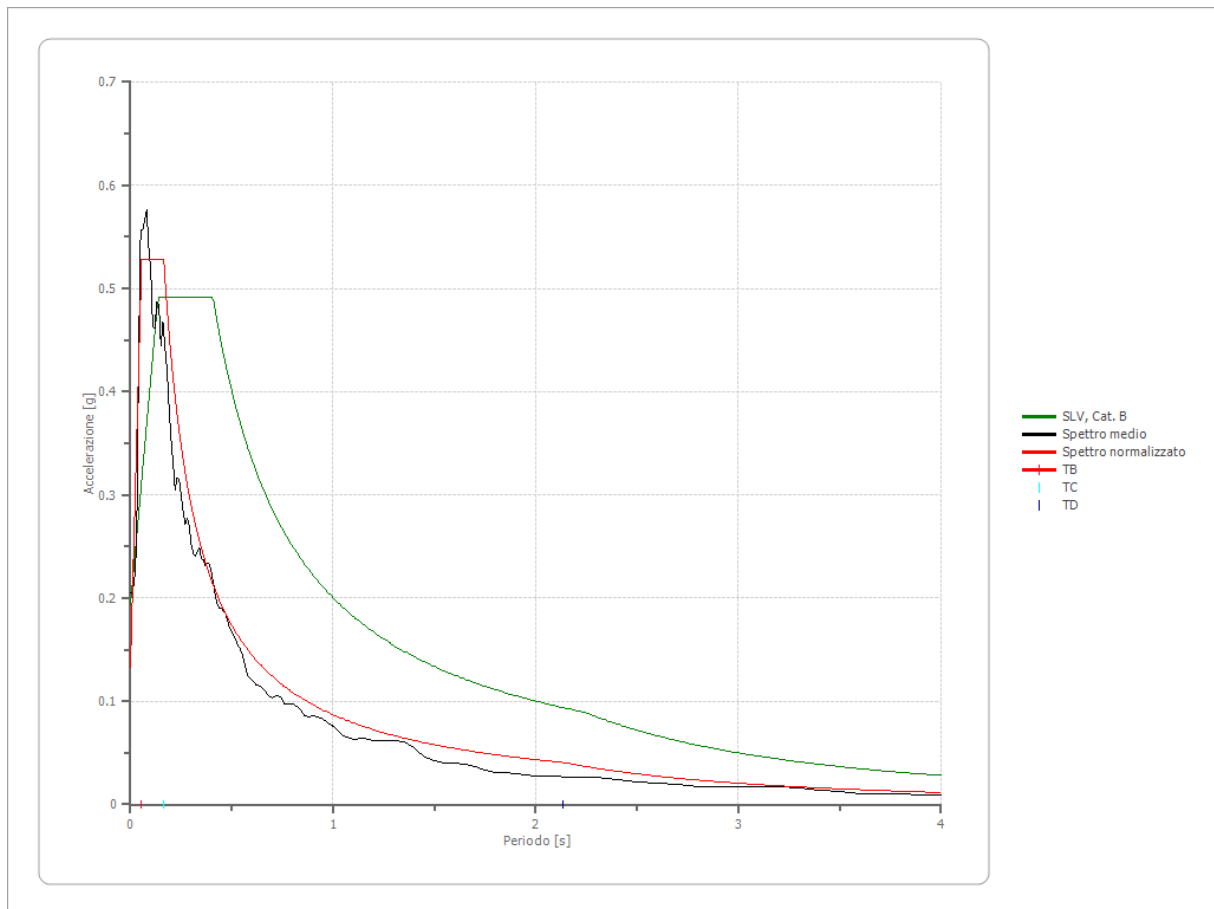
### Confronto tra gli spettri



### Confronto spettro normativa

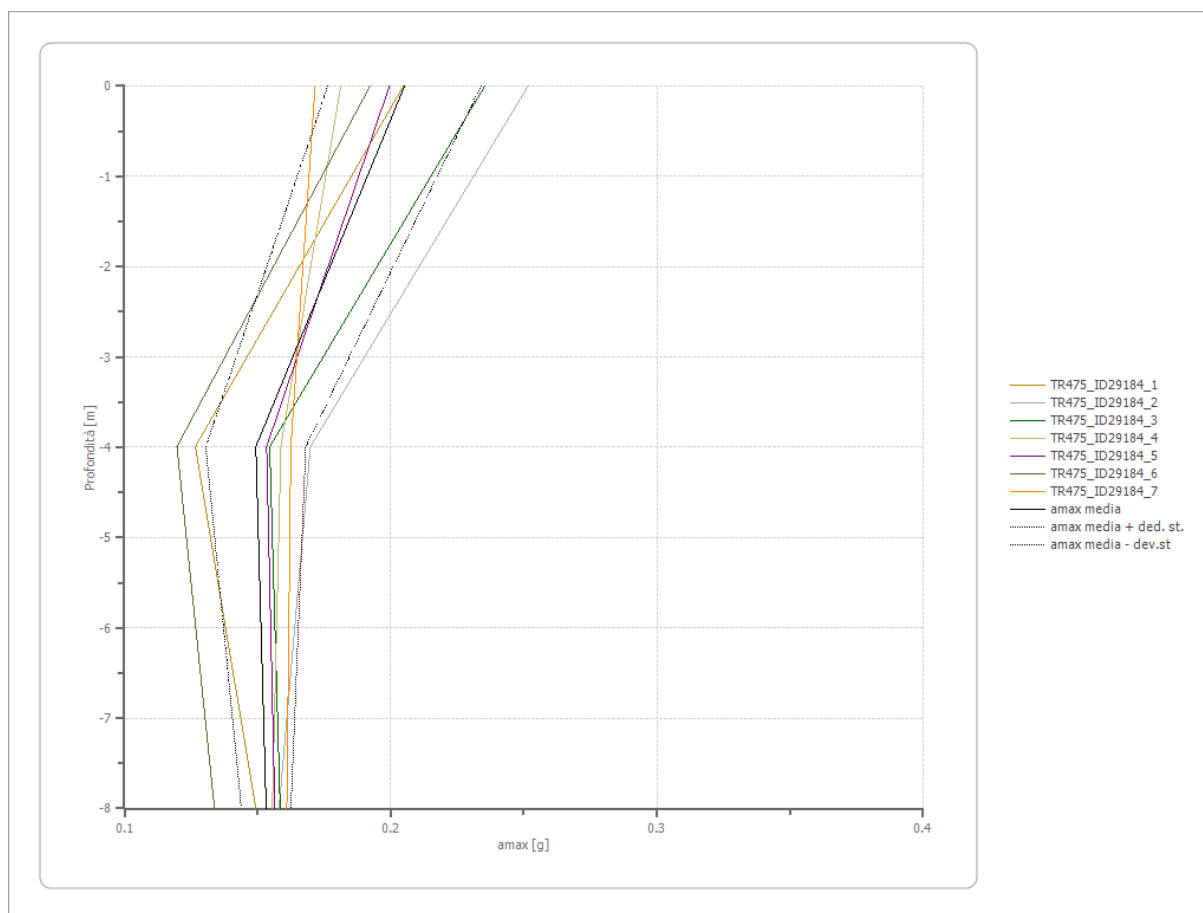
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	30	50	475	975
ag [g]	0.053	0.068	0.161	0.205
Fo	2.518	2.46	2.544	2.5
Tc* [s]	0.259	0.273	0.289	0.294
Ss	1.20	1.20	1.20	1.20
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.44	1.43	1.41	1.41
TB [s]	0.124	0.130	0.136	0.138
TC [s]	0.373	0.389	0.407	0.413
TD [s]	1.812	1.872	2.244	2.420
Se(0) [g]	0.064	0.082	0.193	0.245
Se(TB) [g]	0.160	0.201	0.491	0.612

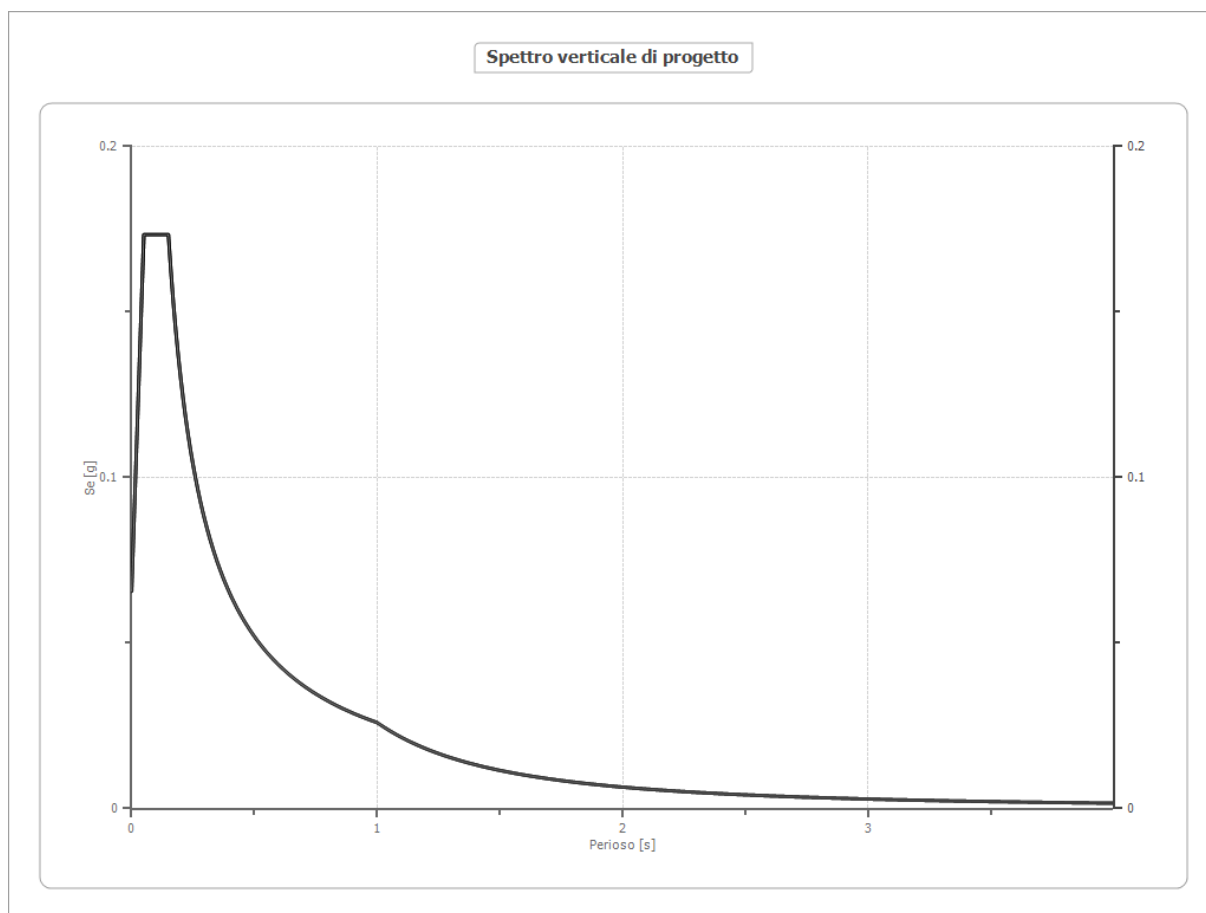


### Profilo a max

	0.0 [m]	4.0 [m]	8.0 [m]
TR475_ID29184_1 [g]	0.205	0.127	0.149
TR475_ID29184_2 [g]	0.252	0.170	0.158
TR475_ID29184_3 [g]	0.235	0.155	0.159
TR475_ID29184_4 [g]	0.181	0.159	0.156
TR475_ID29184_5 [g]	0.200	0.153	0.156
TR475_ID29184_6 [g]	0.192	0.120	0.134
TR475_ID29184_7 [g]	0.172	0.163	0.161
media [g]	0.205	0.149	0.153
Dev. St. [g]	0.029	0.019	0.009

**Spettro verticale di progetto**

Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.133	3.960	0.150	1.952	1.5	0.050	0.150	1.000	0.066	0.173



---

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**


---

**8. ELABORATI INDAGINI GEOTECNICHE**DPM 1:

Strumento utilizzato...DPM (DL030 10) (Medium)

Prova eseguita in data 24/11/2022

Profondita' prova 2.20 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.10	15	0.807	40.40	50.09	2.02	2.50
0.20	16	0.805	42.99	53.43	2.15	2.67
0.30	15	0.803	40.21	50.09	2.01	2.50
0.40	8	0.851	22.73	26.72	1.14	1.34
0.50	9	0.849	25.51	30.06	1.28	1.50
0.60	9	0.847	25.46	30.06	1.27	1.50
0.70	10	0.845	28.22	33.40	1.41	1.67
0.80	12	0.843	33.80	40.07	1.69	2.00
0.90	12	0.842	32.00	38.03	1.60	1.90
1.00	11	0.840	29.27	34.86	1.46	1.74
1.10	13	0.788	32.46	41.20	1.62	2.06
1.20	15	0.786	37.38	47.54	1.87	2.38
1.30	16	0.785	39.78	50.70	1.99	2.54
1.40	17	0.783	42.18	53.87	2.11	2.69
1.50	18	0.781	44.56	57.04	2.23	2.85
1.60	18	0.780	44.47	57.04	2.22	2.85
1.70	19	0.778	46.84	60.21	2.34	3.01
1.80	25	0.726	57.54	79.23	2.88	3.96
1.90	28	0.725	61.18	84.42	3.06	4.22
2.00	28	0.723	61.05	84.42	3.05	4.22
2.10	29	0.722	63.10	87.44	3.15	4.37
2.20	30	0.720	65.14	90.45	3.26	4.52

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tension e efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.3	15.33	51.2	Incoerente -	0	2.01	2.21	0.03	0.76	11.67	Terreno vegetale

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

			coesivo							rimaneg giato
1.1	10.5	34.3	Incoere nte - coesivo	0	1.9	1.91	0.14	0.76	7.99	Limo sabbios o poco addensa to
2.2	22.09	68.4	Incoere nte - coesivo	0	2.08	2.29	0.33	0.76	16.81	Sabbia limosa con clasti calcarei eterogen ei mediam ente addensa ta

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPM 1****TERRENI COESIVI****Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terza ghi- Peck	Sangl erat	Terza ghi- Peck (1948 )	U.S.D .M.S. M	Schm ertma nn 1975	SUN DA (1983 ) Benas si e Vanne lli	Fletch er (1965 ) Argill a di Chica go	Houst on (1960 )	Shioi - Fukui 1982	Bege mann	De Beer
[1] - Terre no vegeta le riman eggia to	11.67	0.30	0.79	1.46	0.50 - 1.00	0.46	1.15	1.54	1.03	1.34	0.58	2.04	1.46
[2] - Limo sabbio so poco adden sato	7.99	1.10	0.50	1.00	0.25 - 0.50	0.32	0.78	1.03	0.71	1.04	0.40	1.28	1.00

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20	1.14	2.10	1.00 - 2.00	0.66	1.66	2.05	1.45	1.79	0.84	2.68	2.10
---	-------	------	------	------	-------------	------	------	------	------	------	------	------	------

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30	Robertson (1983)	23.34
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10	Robertson (1983)	15.98
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20	Robertson (1983)	33.62

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

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30	53.54	--	120.82	116.70
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10	36.66	--	83.29	99.88
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20	77.12	--	173.24	168.10

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)****Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30	113.81	116.70
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10	71.49	79.90
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20	172.92	168.10

**Classificazione AGI**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

**Peso unita' di volume**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30	Meyerhof	2.01
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10	Meyerhof	1.90
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20	Meyerhof	2.08



## Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30	Meyerhof	2.21
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10	Meyerhof	1.91
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20	Meyerhof	2.29

## Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30		0
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10		0
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20		0

## TERRENI INCOERENTI

## Densita' relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30	44.26	83.96	100	36.56
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10	33.4	64.91	77.91	28.38
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei	16.81	2.20	45.8	84.97	88.41	46.18

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

mediamente addensata						
----------------------	--	--	--	--	--	--

## Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malclev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Terre no vegetale rimaneggiate	11.67	0.30	11.67	30.33	23.33	31.27	36.58	34.29	39.75	<30	28.23	30.5	28.2	30.28
[2] - Limosabbioso poco addensato	7.99	1.10	7.99	29.28	22.28	30.24	32.69	32.89	0	<30	25.95	29.4	26.36	27.64
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20	16.81	31.8	24.8	32.71	32	36.07	39.9	30-32	30.88	32.04	28.46	33.34

---

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**


---

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

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appolonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30	11.67	243.84	93.36	138.41	267.52	133.35
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10	7.99	---	63.92	---	---	---
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20	16.81	292.65	134.48	199.06	306.07	159.05

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

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30	11.67	70.02	51.44	82.86	90.05
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10	7.99	---	43.88	56.73	73.64
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20	16.81	100.86	61.99	119.35	112.97

---

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**


---

**Classificazione AGI**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30	11.67	Classificazione A.G.I	MODERATAM ENTE ADDENSATO
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10	7.99	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20	16.81	Classificazione A.G.I	MODERATAM ENTE ADDENSATO

**Peso unita' di volume**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30	11.67	Meyerhof et al.	1.78
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10	7.99	Meyerhof et al.	1.66
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20	16.81	Meyerhof et al.	1.92

**Peso unita' di volume saturo**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30	11.67	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.93
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10	7.99	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.91
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei	16.81	2.20	16.81	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.96

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

eterogenei mediamente addensata					
---------------------------------------	--	--	--	--	--

## Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30	11.67	(A.G.I.)	0.33
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10	7.99	(A.G.I.)	0.34
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20	16.81	(A.G.I.)	0.32

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

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30	11.67	654.58	560.91
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10	7.99	458.47	445.01
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20	16.81	922.46	701.02

## Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30	11.67	Ohta & Goto (1978) Limi	72.56

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10	7.99	Ohta & Goto (1978) Limi	91.49
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20	16.81	Ohta & Goto (1978) Limi	122.78

**Coefficiente spinta a Riposo**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30	11.67		---
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10	7.99		---
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20	16.81		---

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	11.67	0.30	11.67		---
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.99	1.10	7.99		---
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	16.81	2.20	16.81		---



**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

**DPM 2:**

Strumento utilizzato...DPM (DL030 10) (Medium)

Prova eseguita in data 24/11/2022

Profondita' prova 1.90 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.10	14	0.807	37.71	46.75	1.89	2.34
0.20	14	0.805	37.62	46.75	1.88	2.34
0.30	13	0.803	34.85	43.41	1.74	2.17
0.40	11	0.851	31.25	36.73	1.56	1.84
0.50	10	0.849	28.35	33.40	1.42	1.67
0.60	10	0.847	28.29	33.40	1.41	1.67
0.70	10	0.845	28.22	33.40	1.41	1.67
0.80	9	0.843	25.35	30.06	1.27	1.50
0.90	10	0.842	26.67	31.69	1.33	1.58
1.00	10	0.840	26.61	31.69	1.33	1.58
1.10	16	0.788	39.95	50.70	2.00	2.54
1.20	17	0.786	42.36	53.87	2.12	2.69
1.30	18	0.785	44.75	57.04	2.24	2.85
1.40	18	0.783	44.66	57.04	2.23	2.85
1.50	20	0.781	49.51	63.38	2.48	3.17
1.60	26	0.730	60.11	82.39	3.01	4.12
1.70	29	0.728	66.90	91.90	3.34	4.60
1.80	29	0.726	66.75	91.90	3.34	4.60
1.90	30	0.725	65.55	90.45	3.28	4.52

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tension e efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.3	13.67	45.64	Incoerente - coesivo	0	1.98	2.18	0.03	0.76	10.4	Terreno vegetale rimaneggiato
1	10	32.91	Incoerente -	0	1.88	1.9	0.13	0.76	7.61	Limo sabbiosi



**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

			coesivo							o poco addensato
1.9	22.56	70.97	Incoerente - coesivo	0	2.09	2.3	0.29	0.76	17.17	Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPM 2****TERRENI COESIVI**Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terza ghi-Peck	Sanglierat	Terza ghi-Peck (1948)	U.S.D .M.S. M	Schmertmann 1975	SUN DA (1983) Benassi e Vanelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Bege mann	De Beer
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	0.70	1.30	0.50 - 1.00	0.42	1.02	1.37	0.92	1.23	0.52	1.82	1.30
[2] - Limosabbioso poco addensato	7.61	1.00	0.48	0.95	0.25 - 0.50	0.31	0.74	0.99	0.68	1.01	0.38	1.23	0.95
[3] - Sabbia limosa	17.17	1.90	1.16	2.15	1.00 - 2.00	0.67	1.70	2.13	1.47	1.82	0.86	2.78	2.15

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

a con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata												
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	Robertson (1983)	20.80
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00	Robertson (1983)	15.22
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	17.17	1.90	Robertson (1983)	34.34

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

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman- Sanglerat
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	47.72	--	107.87	104.00
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00	34.92	--	79.41	95.13
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	17.17	1.90	78.78	--	176.92	171.70

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)****Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	99.20	104.00
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00	67.12	76.10
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	17.17	1.90	177.06	171.70

**Classificazione AGI**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	17.17	1.90	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

**Peso unita' di volume**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	Meyerhof	1.98
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00	Meyerhof	1.88
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	17.17	1.90	Meyerhof	2.09

## Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	Meyerhof	2.18
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00	Meyerhof	1.90
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	17.17	1.90	Meyerhof	2.30

## Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30		0
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00		0
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	17.17	1.90		0

## TERRENI INCOERENTI

## Densita' relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	41.64	79.28	100	33.87
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00	32.63	63.77	77.83	27.46
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei	17.17	1.90	47.19	87.67	92.56	46.79

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

mediamente addensata						
----------------------	--	--	--	--	--	--

## Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malclev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Terre no vegetale rimaneggiate	10.4	0.30	10.4	29.97	22.97	30.91	36.43	33.82	39.1	<30	27.49	30.12	27.77	29.42
[2] - Limosabbioso poco addensato	7.61	1.00	7.61	29.17	22.17	30.13	32.8	32.74	0	<30	25.68	29.28	26.22	27.34
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	17.17	1.90	17.17	31.91	24.91	32.81	32.33	36.19	40.27	30-32	31.05	32.15	28.7	33.53

---

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**


---

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

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	10.4	230.19	83.20	123.42	258.00	127.00
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00	7.61	---	60.88	---	---	---
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	17.17	1.90	17.17	295.77	137.36	203.31	308.77	160.85

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

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	10.4	62.40	48.83	73.84	84.38
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00	7.61	---	43.10	54.03	71.94
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	17.17	1.90	17.17	103.02	62.73	121.91	114.58

---

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**


---

**Classificazione AGI**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	10.4	Classificazione A.G.I	MODERATAM ENTE ADDENSATO
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00	7.61	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	17.17	1.90	17.17	Classificazione A.G.I	MODERATAM ENTE ADDENSATO

**Peso unita' di volume**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	10.4	Meyerhof et al.	1.74
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00	7.61	Meyerhof et al.	1.64
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	17.17	1.90	17.17	Meyerhof et al.	1.93

**Peso unita' di volume saturo**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	10.4	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.92
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00	7.61	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.90
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei	17.17	1.90	17.17	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.96

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

eterogenei mediamente addensata					
---------------------------------------	--	--	--	--	--

## Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	10.4	(A.G.I.)	0.33
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00	7.61	(A.G.I.)	0.34
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	17.17	1.90	17.17	(A.G.I.)	0.32

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

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	10.4	587.39	522.78
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00	7.61	437.94	431.95
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	17.17	1.90	17.17	941.02	710.16

## Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	10.4	Ohta & Goto (1978) Limi	71.13



**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00	7.61	Ohta & Goto (1978) Limi	89.43
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	17.17	1.90	17.17	Ohta & Goto (1978) Limi	120.19

**Coefficiente spinta a Riposo**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	10.4		---
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00	7.61		---
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	17.17	1.90	17.17		---

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Terreno vegetale rimaneggiato	10.4	0.30	10.4		---
[2] - Limo sabbioso poco addensato	7.61	1.00	7.61		---
[3] - Sabbia limosa con clasti calcarei eterogenei mediamente addensata	17.17	1.90	17.17		---

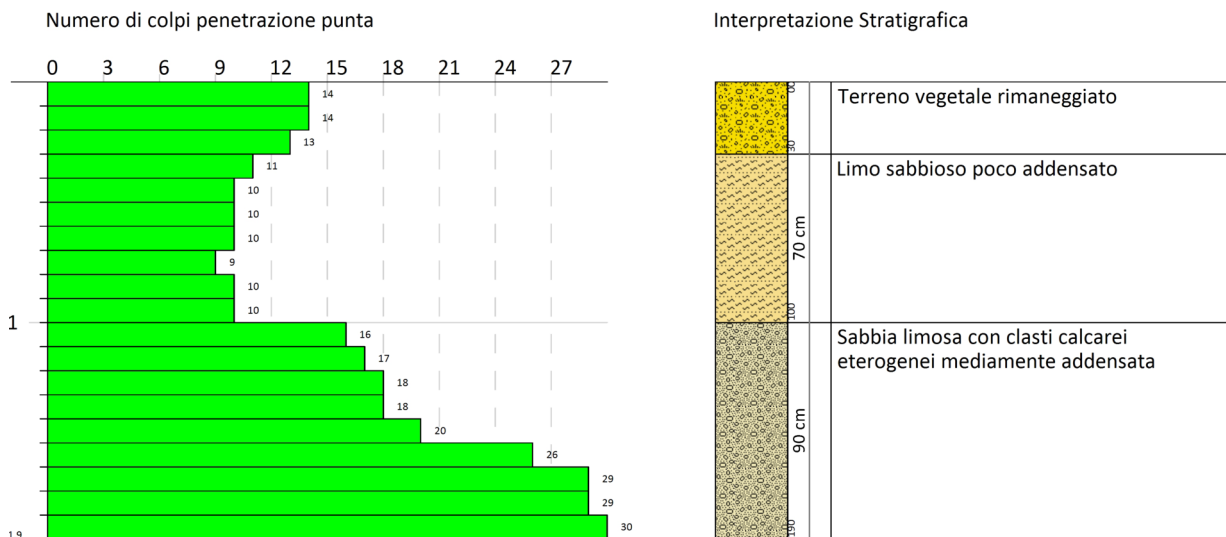
**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 2  
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente:  
Descrizione:  
Località:

11/28/2022

Scala 1:30



## 9. ELABORATI INDAGINI GEO-MECCANICHE

### RMR 1



*Masso roccioso pericolante*

- Dimensioni del masso =  $0.18 \text{ m}^3$
- Peso dell'unità di volume della roccia =  $2243 \text{ Kg/m}^3$
- Peso specifico di tale masso =  $404 \text{ Kg}$
- Inclinazione del giunto più pericoloso =  $35^\circ \div 40^\circ$

**CALCOLO DEI PARAMETRI CARATTERISTICI DELL'AMMASSO****Input dati per il calcolo di Rock Mass Rating (RMR)**

Standard ISRM = La roccia si frattura dopo 2-3 colpi di martello

Numero medio di giunti per metro (n) =2

Spaziatura delle discontinuità (s)=0.150000005960464 m

Persistenza (continuità) del giunto < 1 m

Apertura del giunto > 5 mm

Giunto molto rugoso

Pareti molto alterate

Riempimento soffice > 5 mm

Roccia umida

Orientamento delle discontinuità applicato alle fondazioni

Orientamento mediocre

**Risultati relativi a Rock Mass Rating (RMR)**

Resistenza a compressione Su (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)
50	98.2477035522461

V1	V2	V3	V4	V5
6	0	6	1	0

V1 è un parametro che dipende dalla persistenza (continuità) del giunto

V2 è un parametro che dipende dall'apertura del giunto

V3 è un parametro che dipende dalla rugosità del giunto

V4 è un parametro che dipende dal grado di alterazione delle pareti

V5 è un parametro che dipende dal materiale di riempimento presente

A1	A2	A3	A4	A5	A6
7.0000	19.6261	7.2500	13.0000	10.0000	-7.0000

A1 è un valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta

A2 è un valore numerico derivato dall'indice RQD

A3 è un valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità

A4 è un valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità

A5 è un valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche

A6 è un indice di correzione per la giacitura delle discontinuità

**Classificazione dell'ammasso roccioso**

RMRbase	RMRcorretto	Classe	Descrizione
56.8800	49.8800	Terza	Mediocre

**Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso**

Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strenght Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)
13.7600	56.8800	284.4000	33.4400	227.5200	27.7500

**Input dati per il calcolo di Slope Mass Rating (SMR)**

Rottura: ribaltamento

Parallelismo fra l'immersione dei giunti e quella del pendio: condizione sfavorevole (10°-5°)

Inclinazione dei giunti: condizione mediocre (30°-35°)

Relazione fra inclinazione del fronte e quella dei giunti: condizione mediocre (> 120°)

**Risultati relativi a Slope Mass Rating (SMR)****Fattori di aggiustamento**

F1	F2	F3	F4
0.850000023841858	1	-25	

F1 dipende dal parallelismo fra l'immersione del fronte e l'immersione dei giunti

F2 è riferito all'inclinazione del giunto

F3 mette in relazione l'inclinazione del fronte e quella dei giunti

F4 è legato al metodo di scavo

**CALCOLO DEI PARAMETRI DELLA CLASSIFICAZIONE DI BARTON****Input dati per la definizione di Q**

Numero medio di giunti per metro (n)=2

Una serie di discontinuità più quelle casuali

Spaziatura media della famiglia principale < 3 m

Giunti scabri o irregolari, ondulati

Zone o fasce di argilla limosa o sabbiosa non plastica

Acqua assente o scarsa, localmente venute < 5 l/min

Diverse zone di debolezza con argilla o roccia chimicamente disgregata, roccia circostante molto allentata

**Risultati per la definizione di Q**

Parametri

RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	JCS (Kg/cm <sup>2</sup> )
98.2477	3	3	5	1	765

Indice Q e classi di ammasso roccioso

Indice Q	Classe	Descrizione
1.965	VI	Scadente

Caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso

Componente attritiva FC (°)	Componente coesiva CC (MPa)	Modulo di deformazione statico (GPa)
30.96		



RMR 2



*Masso roccioso pericolante*



- **Dimensioni del masso = 1,50 m<sup>3</sup>**
- **Peso dell'unità di volume della roccia = 2345 Kg/m<sup>3</sup>**
- **Peso specifico di tale masso = 3518 Kg**
- **Inclinazione del giunto più pericoloso = 40° ÷ 45°**

**CALCOLO DEI PARAMETRI CARATTERISTICI DELL'AMMASSO****Input dati per il calcolo di Rock Mass Rating (RMR)**

Standard ISRM = La roccia si frattura dopo 2-3 colpi di martello

Numero medio di giunti per metro (n) =2

Spaziatura delle discontinuità (s)=1.5 m

Persistenza (continuità) del giunto = 1 - 3 m

Apertura del giunto > 5 mm

Giunto molto rugoso

Pareti mediamente alterate

Riempimento soffice > 5 mm

Roccia asciutta

Orientamento delle discontinuità applicato alle fondazioni

Orientamento mediocre

**Risultati relativi a Rock Mass Rating (RMR)**

Resistenza a compressione Su (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)
50	98.2477035522461

V1	V2	V3	V4	V5
4	0	6	3	0

V1 è un parametro che dipende dalla persistenza (continuità) del giunto

V2 è un parametro che dipende dall'apertura del giunto

V3 è un parametro che dipende dalla rugosità del giunto

V4 è un parametro che dipende dal grado di alterazione delle pareti

V5 è un parametro che dipende dal materiale di riempimento presente

A1	A2	A3	A4	A5	A6
7.0000	19.6261	17.3930	13.0000	15.0000	-7.0000

A1 è un valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta

A2 è un valore numerico derivato dall'indice RQD

A3 è un valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità

A4 è un valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità

A5 è un valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche

A6 è un indice di correzione per la giacitura delle discontinuità



---

**Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)**


---

**Classificazione dell'ammasso roccioso**

RMRbase	RMRcorretto	Classe	Descrizione
72.0200	65.0200	Seconda	Buono

**Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso**

Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strength Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)
44.0400	67.0200	360.1000	41.0100	288.0800	33.8100

**Input dati per il calcolo di Slope Mass Rating (SMR)**

Rottura: ribaltamento

Parallelismo fra l'immersione dei giunti e quella del pendio: condizione mediocre (20°-10°)

Inclinazione dei giunti: condizione sfavorevole (35°-45°)

Relazione fra inclinazione del fronte e quella dei giunti: condizione mediocre (&gt; 120°)

**Risultati relativi a Slope Mass Rating (SMR)****Fattori di aggiustamento**

F1	F2	F3	F4
0.699999988079071	1	-25	

F1 dipende dal parallelismo fra l'immersione del fronte e l'immersione dei giunti

F2 è riferito all'inclinazione del giunto

F3 mette in relazione l'inclinazione del fronte e quella dei giunti

F4 è legato al metodo di scavo

Studio Geologico – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)

**CALCOLO DEI PARAMETRI DELLA CLASSIFICAZIONE DI BARTON****Input dati per la definizione di Q**

Numero medio di giunti per metro (n)=2

Una serie di discontinuità più quelle casuali

Spaziatura media della famiglia principale &lt; 3 m

Giunti scabri o irregolari, ondulati

Zone o fasce di argilla limosa o sabbiosa non plastica

Acqua assente o scarsa, localmente venute &lt; 5 l/min

Diverse zone di debolezza con argilla o roccia chimicamente disgregata, roccia circostante molto allentata

**Risultati per la definizione di Q**

Parametri

RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	JCS (Kg/cm <sup>2</sup> )
98.2477	3	3	5	1	1020

Indice Q e classi di ammasso roccioso

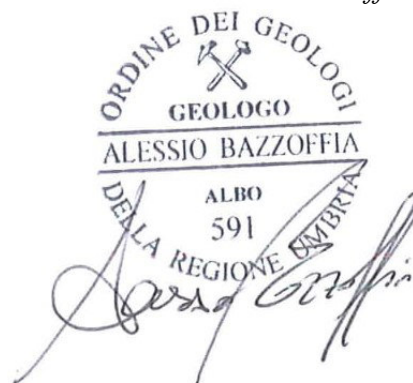
Indice Q	Classe	Descrizione
1.965	VI	Scadente

Caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso

Componente attritiva FC (°)	Componente coesiva CC (MPa)	Modulo di deformazione statico (GPa)
30.96		

Assisi, 21 novembre 2022

Il Responsabile Tecnico  
Dott. Geol. Alessio Bazzoffia



**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



*Inquadramento aereo dell'area oggetto d'intervento*





*Stendimento ed esecuzione prova sismica MASW 1 – porzione lungo strada*





*Stendimento ed esecuzione prova sismica MASW 2 – porzione alla base dell'affioramento roccioso*





*Acquisizione Sismica passiva HVSR*





*Esecuzione Prova Penetrometrica Dinamica – DPM 1*





*Esecuzione Prova Penetrometrica Dinamica – DPM 2*



**Studio Geologico** – Dott. Geol. Alessio Bazzoffia – Viale Vittorio Emanuele II, S.N.C. – 06081 Assisi (PG)

---

*Assisi, 21 novembre 2022*

Il Responsabile Tecnico  
*Dott. Geol Alessio Bazzoffia*

