Firmato digitalmente da:
Simone Di Girolamo
L'Aquila

# AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DELL'AQUILA

## DM 125/2022 – Lavori di messa in sicurezza del ponte al Km 15+226 della Sp 105 " Di Monte Cabbia"

CUP. F85F23000370001

ELABORATO:

Relazione Geologica

N° TAV.

05

DATA

LUGLIO 2026

AGG.

SCALA

IL DIRIGENTE DEL SETTORE VIABILITA'

Ing. Nicolino D'AMICO

RUP: Arch. Wanda Ilinca PAOLINI

IL PROGETTISTA : ING. DI GIROLAMO SIMONE
VIA DELL'ARINGO N° S6 - 67100 - PRETURO (AQ)
P. Iva n.01726030669 - C.F. DGRSMN80C03A34SV
ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI L'AQUILA 2328

***Geol. Debora Linda Di Candia***
Via Val di Foro 160 – 66010 Villamagna (CH)
P.Iva 02168880694
☏ 3477059743
deboralinda.dicandia@virgilio.it
deboralinda.dicandia@pec.epap.it

Committente:

**PROVINCIA DELL'AQUILA**
**Settore Viabilità**
**C.F. 80002370668**

Progetto:

# DM 125/2022 - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PONTE AL KM 15+226 DELLA SP 105 'DI MONTE CABBIA' - LUCE 14 MT.

**CUP: F85F23000370001 - CIG: B8E3C5BEC5**



Elaborato:

## RELAZIONE GEOLOGICA
## RELAZIONE SULLE INDAGINI E MODELLAZIONE SISMICA

| Data: | Tecnico: | Timbro e firma: |
|---|---|---|
| **Gennaio 2026** | **Geol. Debora Linda Di Candia** | Firmato digitalmente da: Di Candia Debora Linda<br>Firmato il 25/01/2026 19:46<br>Seriale Certificato: 4582077<br>Valido dal 30/05/2025 al 30/05/2028<br>InfoCamere Qualified Electronic Signature CA |
| Rev: | | |

# INDICE

**INTRODUZIONE** **3**
**1. RELAZIONE GEOLOGICA** **5**
**1.1** INQUADRAMENTO GEOGRAFICO 5
**1.2** INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA 7
**1.3** INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO 11
**1.4** ANALISI CARTOGRAFICA DEI VINCOLI 17
**1.5** SISMICITA' 22
**1.5.1** Sismicità storica 22
**1.5.2** Zonazione e classificazione sismica 24
**1.5.3** Sismo-tettonica e lineamenti sismici attivi 26
**1.6** MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO 28
**1.6.1** Successione litostratigrafica dei terreni rilevati nell'area 28
**1.6.2** Assetto idrogeologico locale 29
**2. RELAZIONE SULLE INDAGINI E MODELLAZIONE SISMICA** **30**
**2.1** CAMPAGNA INDAGINI GEOTECNICHE E GEOFISICHE IN SITO 30
**2.1.1** Prova penetrometrica dinamica DPSH 30
**2.1.2** Indagine sismica multicanale MASW 31
**2.1.3** Indagine di tomografia sismica 2D 33
**2.1.4** Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR 34
**2.2** MODELLAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEL SOTTOSUOLO 36
**2.3** MODELLAZIONE SISMICA 38
**2.3.1** Categorie di sottosuolo 38
**2.3.2** Condizioni topografiche 39
**2.3.3** Pericolosità sismica locale 40
**2.3.4** Risultati dell'analisi HVSR 42
**2.3.5** Microzonazione Sismica 42
**2.3.6** Stabilità nei confronti della liquefazione 43
**3. CONCLUSIONI** **49**
BIBLIOGRAFIA

## ALLEGATI

1) Report prove penetrometriche dinamiche DPSH
2) Report indagine sismica multicanale MASW
3) Report indagine di tomografia sismica 2D
4) Report indagini sismiche passive a stazione singola HVSR

## TAVOLE

1) Ubicazione delle indagini eseguite in sito, scala 1:300
2) Modello geologico-tecnico di sintesi del sottosuolo, scala 1:200

# INTRODUZIONE

Ad integrazione del progetto "**DM 125/2022 - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PONTE AL KM 15+226 DELLA SP 105 'DI MONTE CABBIA' - LUCE 14 MT. CUP: F85F23000370001 - CIG: B8E3C5BEC5**" nel territorio comunale di Montereale (AQ), è stato affidato alla sottoscritta da parte della **PROVINCIA DELL'AQUILA** *(Determinazione dirigenziale N. 467 del 31-10-2025)*, l'incarico professionale di redigere una Relazione geologica ed una Relazione sulle indagini e modellazione sismica.

Il presente lavoro è stato redatto in ottemperanza alle disposizioni contenute:

- NELLA LEGGE REGIONALE 03 GIUGNO 2020, N. 7
  *(Modifiche e integrazioni alla Legge Regionale 11 Agosto 2011, n. 28 "Norme per la riduzione del rischio sismico e modalità di vigilanza e controllo su opere e costruzioni in zone sismiche");*
- NELLA CIRCOLARE DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI 21 GENNAIO 2019, N. 7
  *(Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018);*
- NEL DECRETO MINISTERIALE DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI 17 GENNAIO 2018
  *(Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni");*
- NELLA LEGGE REGIONALE 11 AGOSTO 2011, N. 28
  *(Norme per la riduzione del rischio sismico e modalità di vigilanza e controllo su opere e costruzioni in zone sismiche);*
- NELL'ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 28 APRILE 2006, N. 3519
  *(Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone);*
- NELL'ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 20 MARZO 2003, N. 3274
  *(Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica).*

METODOLOGIA DI INDAGINE: al fine di pervenire alla definizione di un modello geologico basato sulla conoscenza delle peculiarità litostratigrafiche, strutturali, geomorfologiche ed idrogeologiche in cui si inserisce il sito di progetto, nonché caratterizzare sotto l'aspetto sismico l'area d'interesse, è stata adottata la seguente metodologia di indagine:

1. acquisizione di dati bibliografici e cartografici inerenti i terreni dell'area in esame;
2. rilevamento geologico e geomorfologico di superficie;
3. esecuzione di indagini geotecniche, consistenti in n. 2 prove penetrometriche dinamiche DPSH;
4. esecuzione di indagini geofisiche, consistenti in n. 1 indagine sismica multicanale MASW, n. 1 indagine di tomografia sismica 2D e n. 2 indagini sismiche passive a stazione singola HVSR;
5. elaborazione ed interpretazione dei dati ottenuti e scrittura della presente.

Il presente fascicolo riunisce, in accordo con la normativa vigente, due “Relazioni specialistiche sui risultati sperimentali” corrispondenti alle indagini ritenute necessarie alla realizzazione dell’intervento in oggetto, e si compone delle seguenti sezioni:

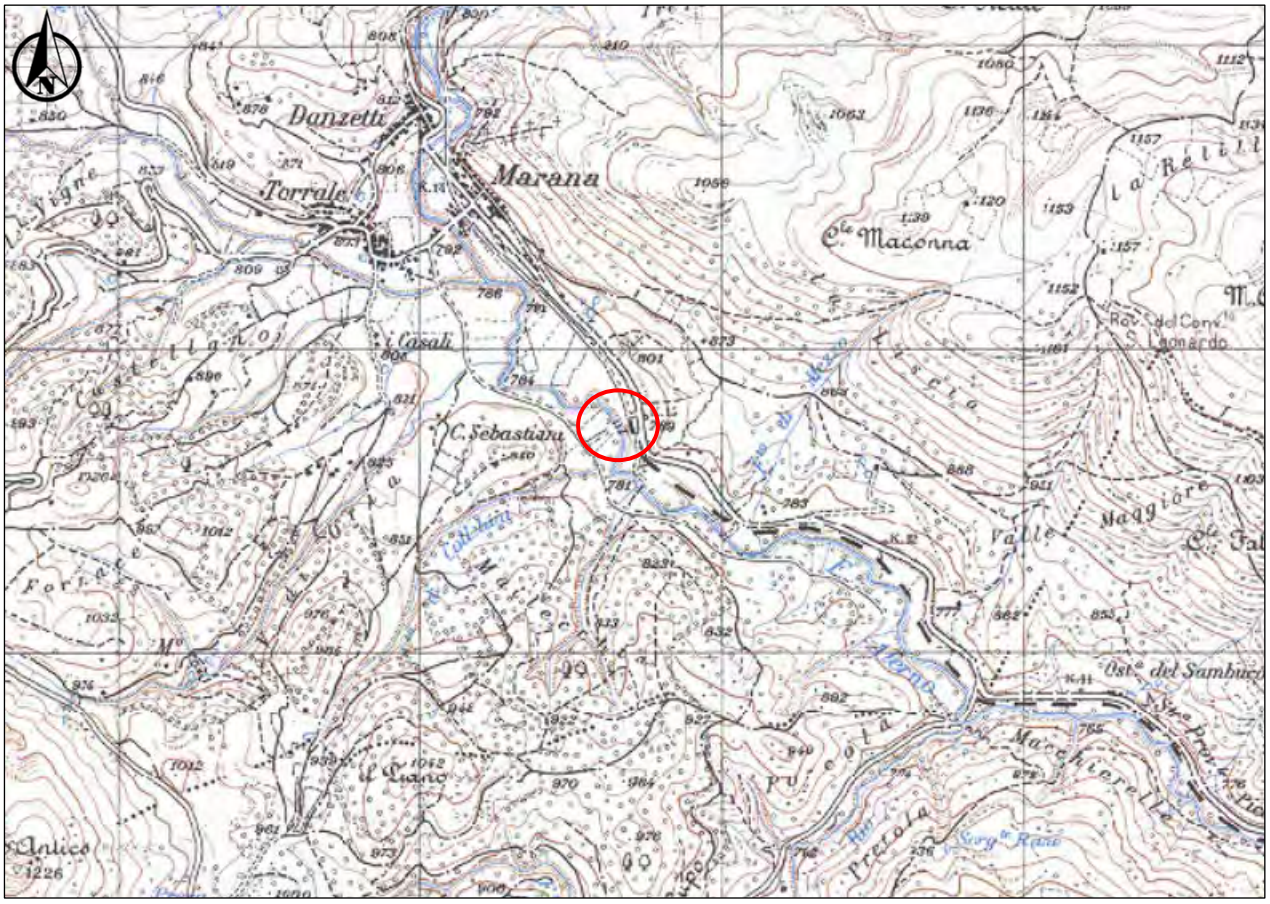
1. Relazione geologica;
2. Relazione sulle indagini e modellazione sismica;
3. Considerazioni conclusive.

# 1. RELAZIONE GEOLOGICA

## 1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto d'indagine è situata nel settore centrale della Regione Abruzzo all'interno del territorio comunale di Montereale, nella Provincia di L'Aquila. Nello specifico, l'area in esame si ubica nella frazione di Manara, ad una latitudine di 42.488769° e longitudine di 13.230828°.

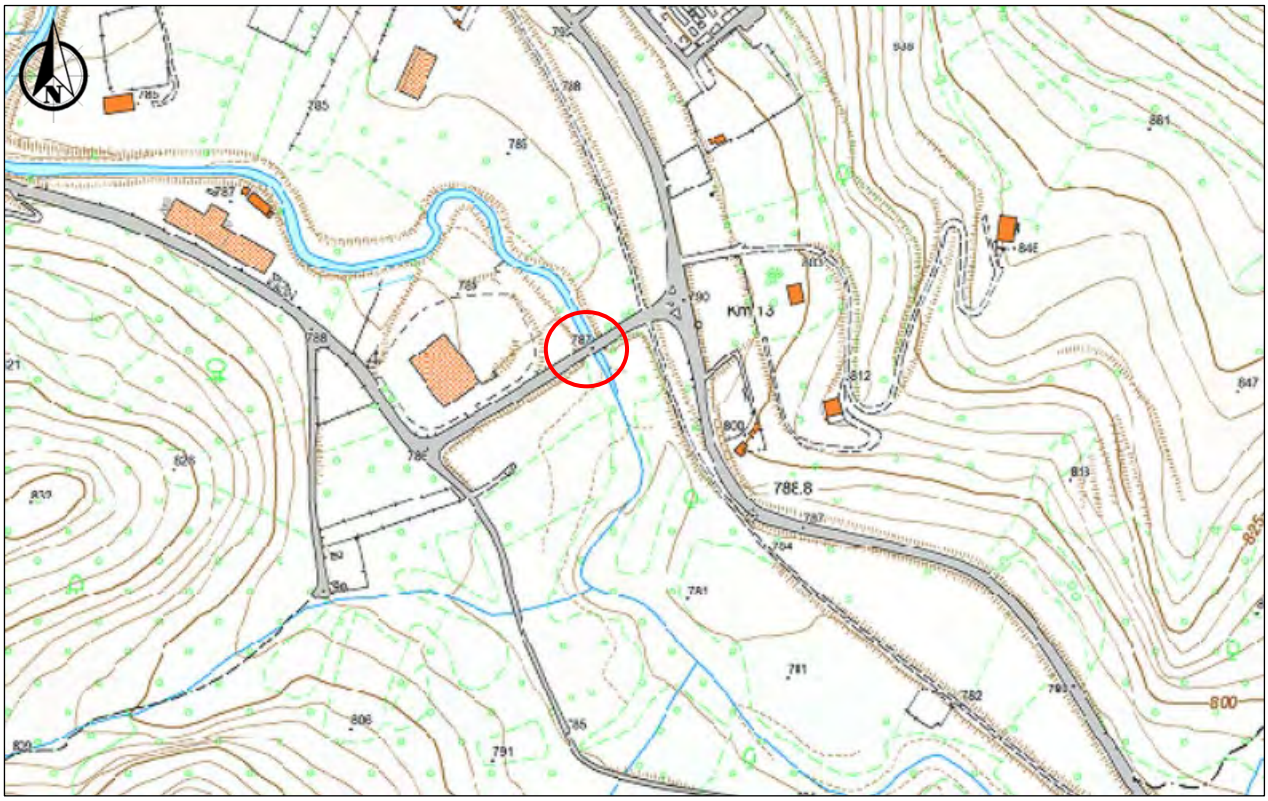
Dal punto di vista cartografico il sito ricade all'interno del Tavoletta 139 I SO "Montereale" della Carta Topografica dell'I.G.M. (Fig. 1), edita alla scala 1:25.000 (Fig. 2).




**LEGENDA**

Area in esame

*Fig. 1 - Stralcio della Carta Topografica dell'I.G.M., Tavoletta 139 I SO "Montereale", scala 1:25.000. Fonte: Servizio per l'Informazione Territoriale e la Telematica della Regione Abruzzo.*




**LEGENDA**

Area in esame

*Fig. 2 – Stralcio della Carta Tecnica Regionale dell'area in esame, scala 1:5.000. Fonte: Servizio per l'Informazione Territoriale e la Telematica della Regione Abruzzo.*

## 1.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

L'area abruzzese, dal punto di vista geologico, è il risultato della deformazione e del sollevamento plio-pleistocenico di differenti domini paleogeografici mesozoici, costituiti da potenti successioni carbonatiche, strutturatesi nel Neogene (tra il Miocene medio ed il Pliocene inferiore) come una serie di sovrascorrimenti a vergenza nord-orientale. Tale assetto deriva dall'evoluzione prevalentemente neogenica di un sistema orogenico catena-avanfossa-avampaese, migrante dai settori occidentali (peritirrenici) verso quelli orientali (area adriatica).

Le fasi tettoniche compressive sono accompagnate e poi seguite, a partire almeno dal Miocene superiore, da una tettonica distensiva anch'essa in migrazione da W verso E, e tuttora fortemente attiva nel settore assiale della catena appenninica (PATACCA & SCANDONE, 2007; COSENTINO *et al., 2010*).

L'emersione graduale della catena in formazione ha creato, infine, nel Plio-Pleistocene le condizioni per una importante fase di smantellamento subaereo, accompagnata dalla deposizione di una potente coltre di depositi detritici, alluvionali e anche lacustri, che colmano le aree depresse e ricoprono gran parte della fascia periadriatica (D'ALESSANDRO *et al.*, 2003b; ASCIONE *et al*., 2008).

Ha avuto così luogo la strutturazione, prima in ambiente sottomarino e poi subaereo, dell'area abruzzese articolata in un *settore di catena*, con dorsali quali Velino-Sirente, Marsica, Gran Sasso, Morrone, Maiella, e depressioni quali la Piana del Fucino, la Piana di Sulmona, la Conca Aquilana, un *settore pedemontano*, con rilievi collinari solcati da ampie vallate alluvionali, e una ristretta area di *piana costiera* (D'ALESSANDRO *et al.*, 2003b).

Nella cartografia geologica del Servizio Geologico d'Italia Progetto CARG (ISPRA, 2011), al Foglio 348 "*Antrodoco*" in scala 1:50.000, i terreni che affiorano nell'area in esame appartengono ai depositi continentali di origine alluvionale *(b)* dell'Olocene, costituiti da ghiaie sabbiose, ghiaie limose, sabbie, limi, limi sabbiosi e argille limose (Fig. 3).

Si mette in evidenza che l'area oggetto di studio si colloca all'interno di un contesto sismico di rilevante importanza, in quanto è diffusa la presenza di lineamenti tettonici costituiti da sovrascorrimenti, faglie e faglie dirette con andamento all'incirca NW-SE e W-E. In particolare, nelle vicinanze del sito in esame sono presenti graficismi lineari indicanti una faglia diretta ed una faglia sinsedimentaria.

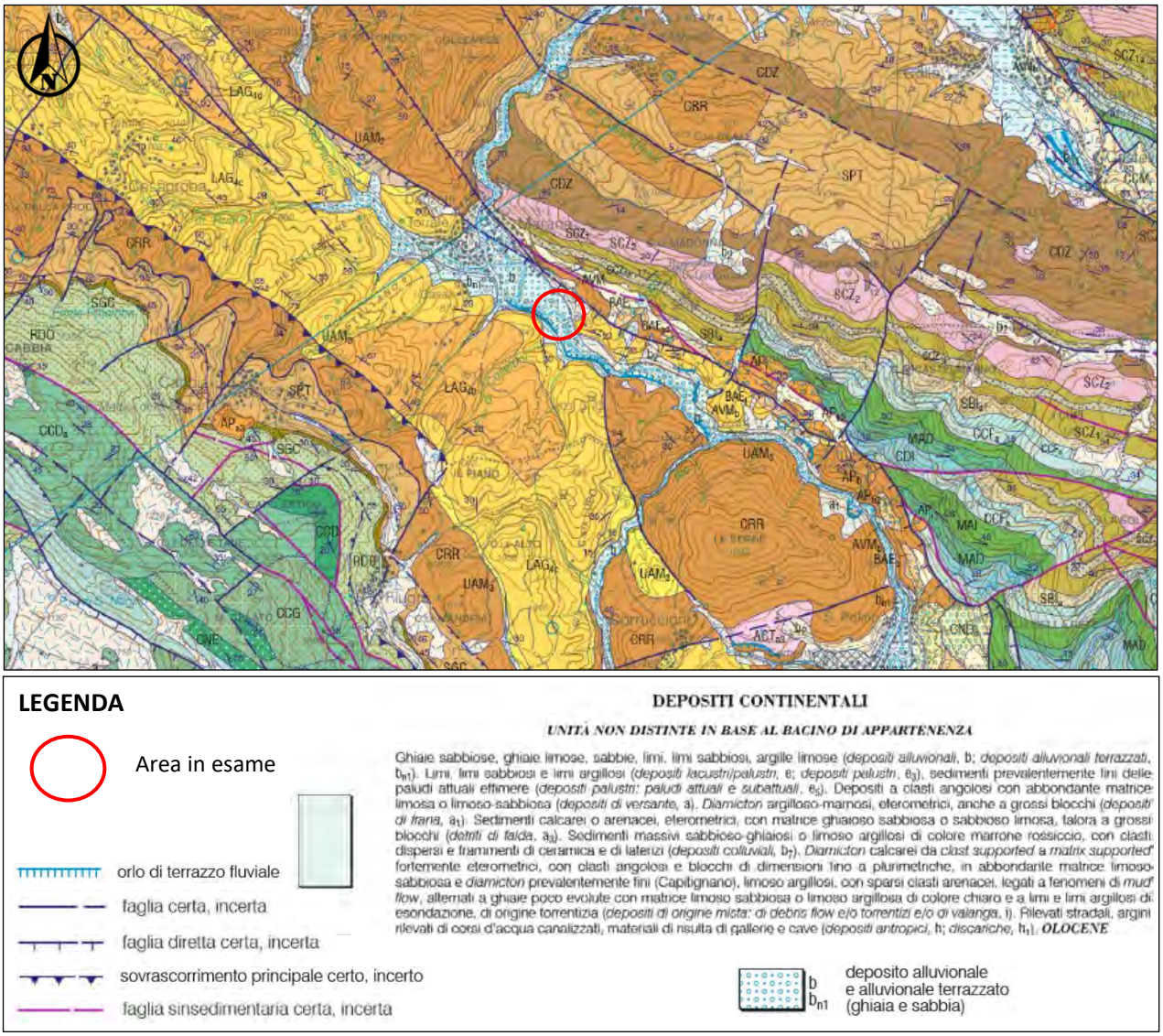



*Fig. 3 - Stralcio Carta Geologica d'Italia, Foglio 348 "Antrodoco", scala 1:50.000. Fonte: Servizio Geologico d'Italia Progetto CARG.*

Secondo la Carta geologico-tecnica (Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Montereale, TAV III, scala 1:5.000), nell'area in esame affiorano i terreni di copertura *(SWfl)* costituiti da sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose di origine lacustre glaciale (Fig. 4 - Fig. 5). Si mette in evidenzia che la struttura oggetto d'intervento, è situata nelle vicinanze di una faglia potenzialmente attiva e capace incerta.

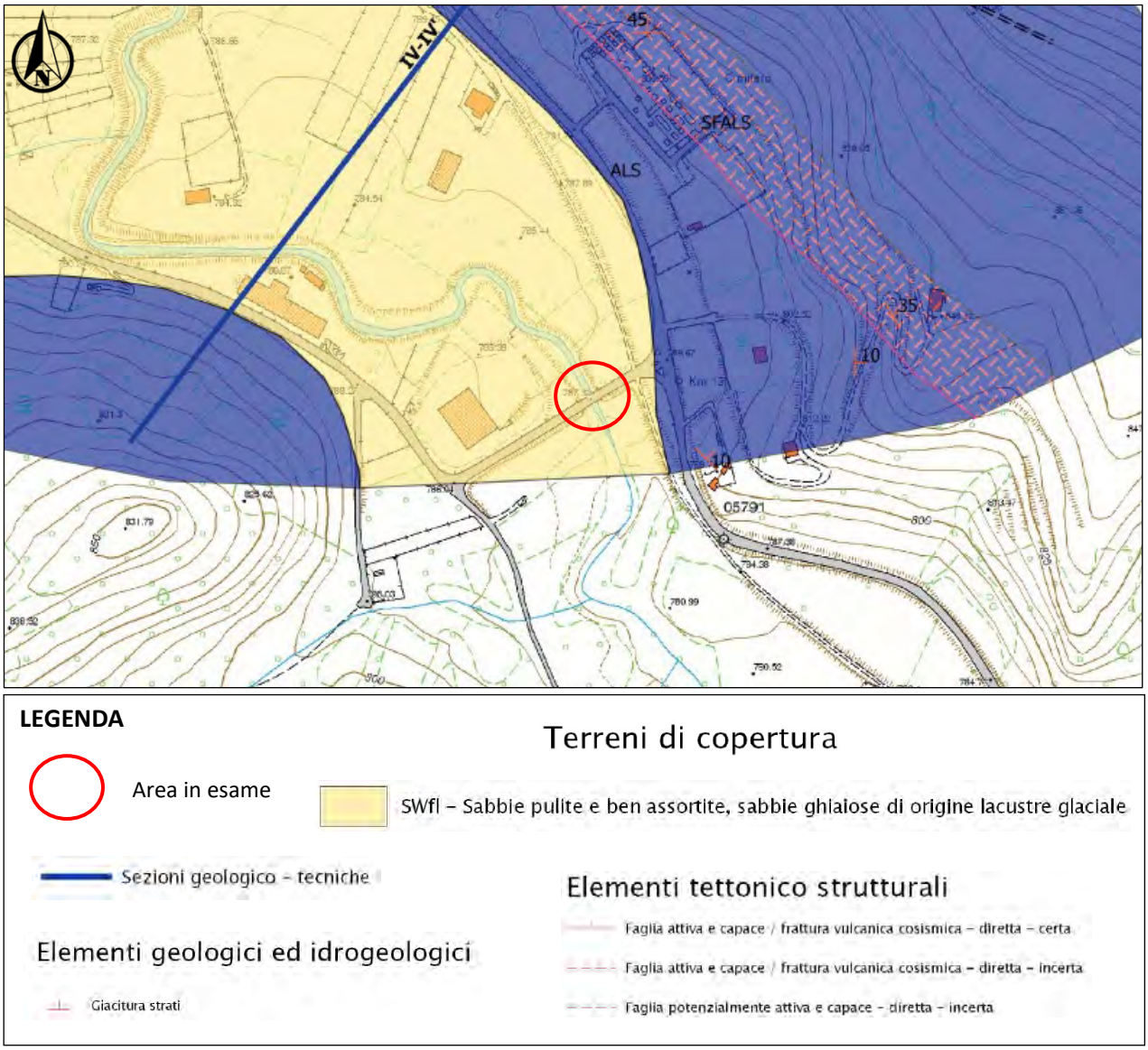



*Fig. 4 – Stralcio della Carta geologico-tecnica, scala 1:5.000. Fonte: Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Montereale, TAV III.*

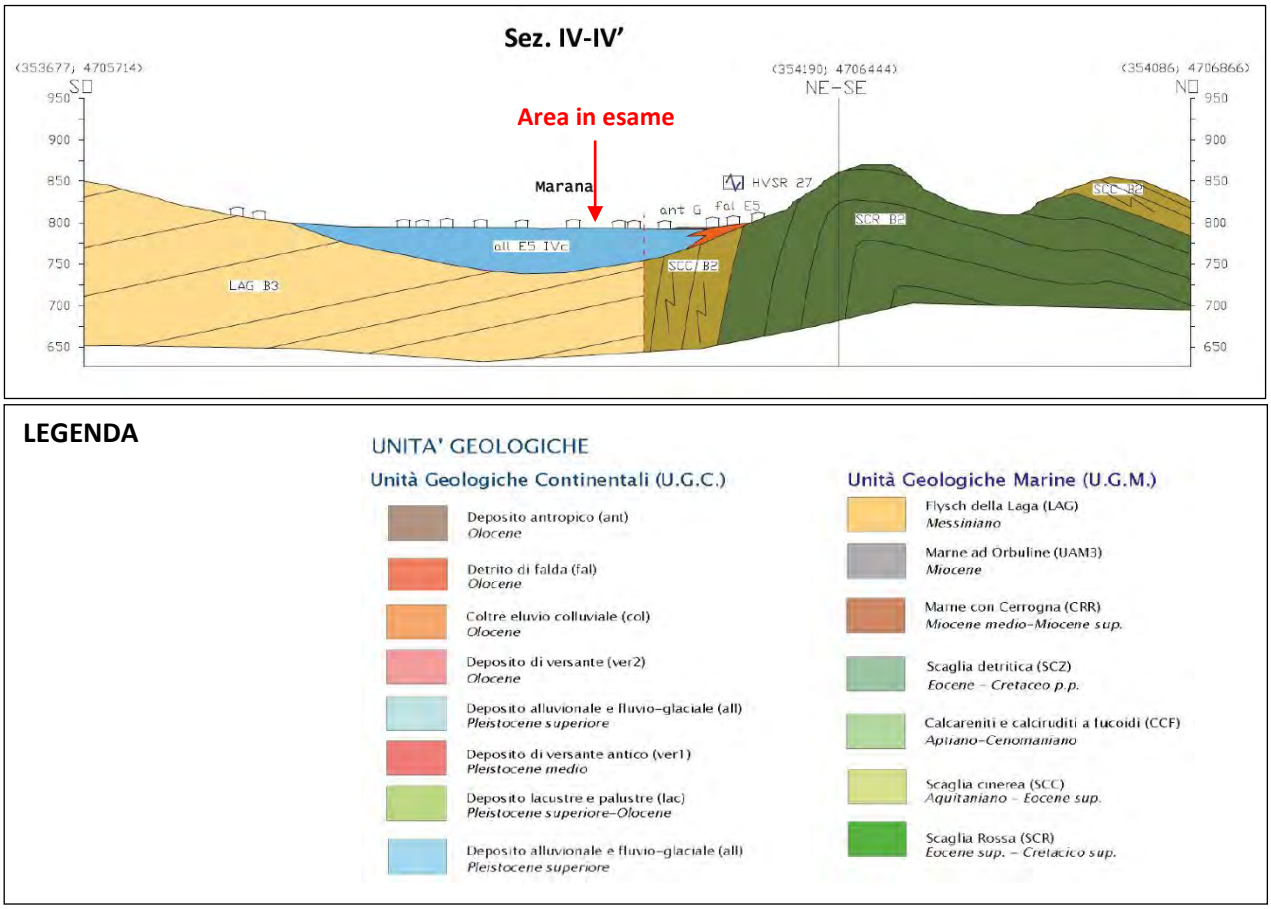



*Fig. 5 – Sezione IV-IV' della carta delle Sezioni geologico-tecniche. Fonte: Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Capitignano.*

## 1.3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

L'assetto geomorfologico locale risulta fortemente condizionato dall'attività delle dislocazioni tettoniche quaternarie oltre che dal diverso succedersi di processi di erosione e sedimentazione legati all'alternarsi delle fasi climatiche ed all'incisione valliva connessa con il rapido sollevamento regionale verificatosi a partire dalla fine del Pleistocene inferiore.

In generale, l'area aquilana risulta articolata da dorsali orientate in direzione appenninica e legate alla tettonica distensiva plio-quaternaria, le quali sono separate a quote comprese tra 500 m e 900 m, da una serie di depressioni morfologiche intro-appenniniche e piane, contigue o parzialmente coalescenti, allungate complessivamente per oltre 40 km in direzione prevalente da NW-SE e con un'ampiezza che non supera i 10 km, che costituiscono la Conca de L'Aquila.

Il centro abitato della frazione di Manara si ubica all'interno della zona di raccordo tra M. Castiglione ad est, M. Rotondo a nord e M. Gabbia ad ovest.

Nello specifico, l'area in esame, posta ad una quota altimetrica di circa 787 m s.l.m., è situata nella piana alluvionale del F. Aterno, ai piedi del versante sud-occidentale di Colle Maconna. Tale versante, caratterizzato da una conformazione topografica con pendenze accentuate e gradi di inclinazione di circa 18° che diminuiscono fino a pendenze pianeggianti nell'intorno del sito in esame, risulta inciso da numerosi fossi, che rappresentano le principali vie di drenaggio delle acque di ruscellamento superficiale e che confluiscono, verso SO, nel F. Aterno (Fig. 6).

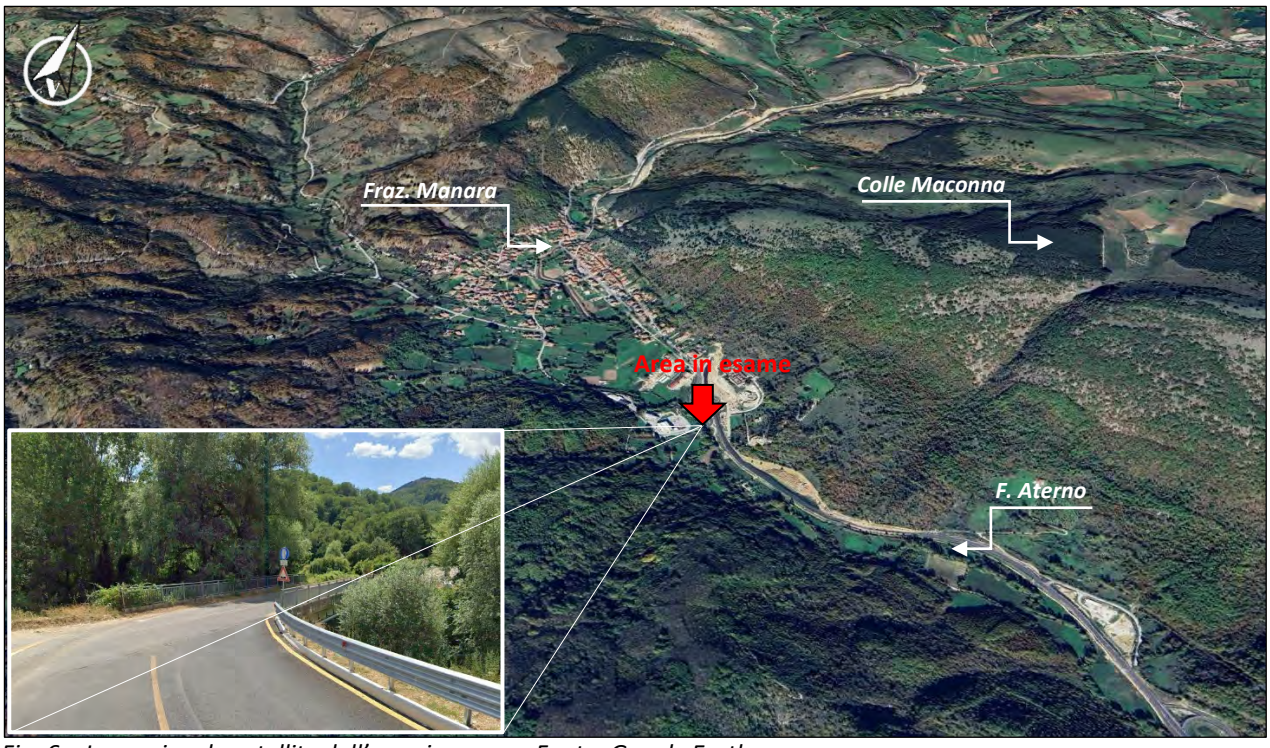



*Fig. 6 – Immagine da satellite dell'area in esame. Fonte: Google Earth.*

La lettura della Carta Geomorfologica (PAI Abruzzo-Sangro, Portale Webgis Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale), non evidenzia forme o processi legati a dissesti del terreno in corrispondenza dei lotti oggetto d'intervento (Fig. 7 - Fig. 8).




*Fig. 7 - Stralcio della Carta Geomorfologica sovrapposta a Google Satellite, scala 1:5.000. Fonte: PAI Abruzzo-Sangro, Portale Webgis Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale.*




*Fig. 8 – Stralcio della Mappa degli elementi geologico morfologici potenzialmente pericolosi sovrapposta a Google Satellite, scala 1:5.000. Fonte: PAI Distrettuale Frane, Portale Webgis Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale.*

Ciò trova conferma nella Carta dei Fenomeni Franosi del Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), che colloca il sito in esame all'esterno di aree indicanti movimenti gravitativi (Fig. 9).

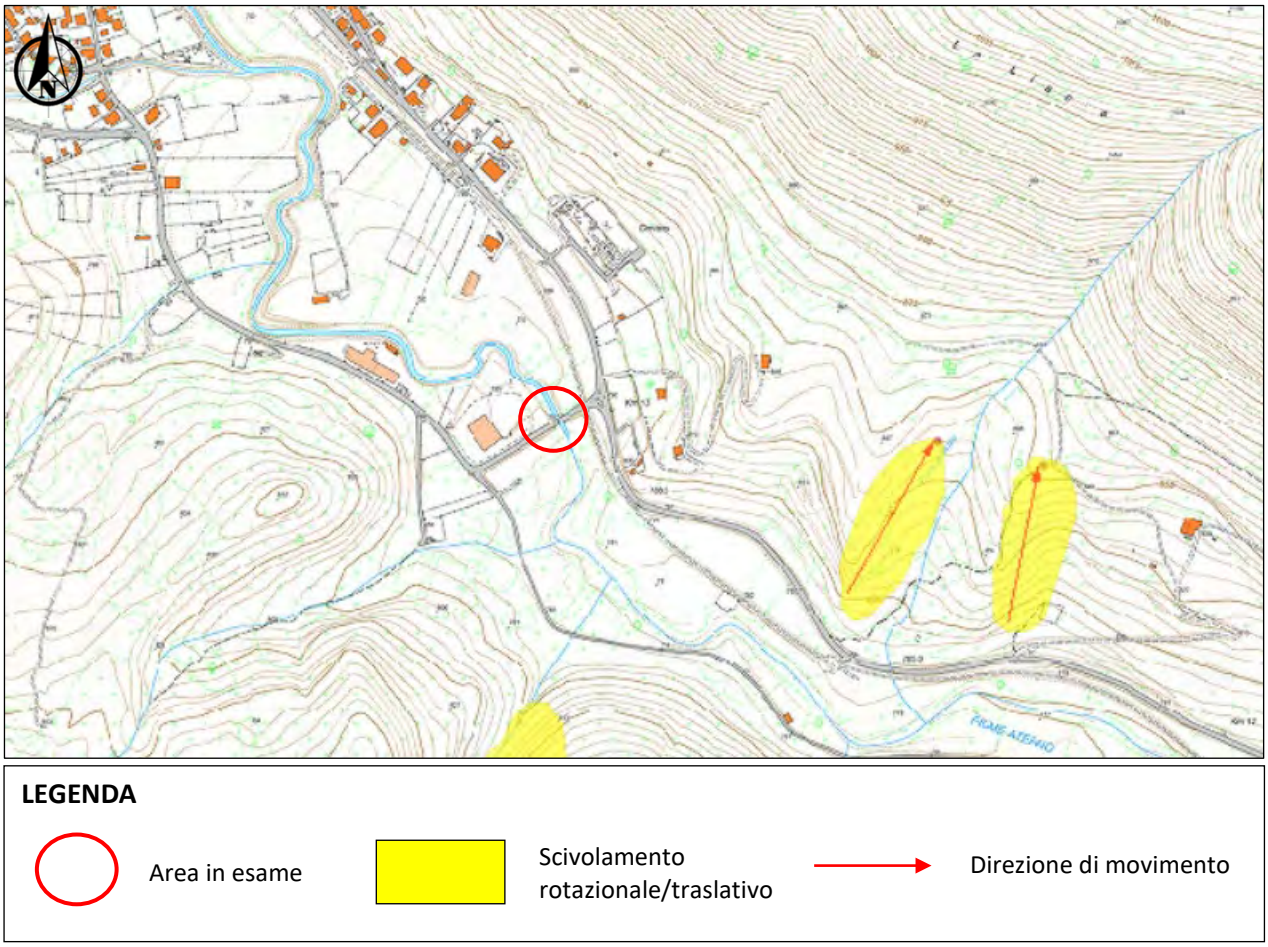



*Fig. 9 – Stralcio della Carta dei Fenomeni Franosi del Progetto IFFI sovrapposta a C.T.R., scala 1:10.000. Fonte: Servizio per l'Informazione Territoriale e la Telematica della Regione Abruzzo.*

L'analisi della Carta Aree Esondabili (digitalizzazione dei rilievi a terra effettuati dalla Protezione Civile nel corso dell'anno 1996) riporta come il sito in esame sia ubicato all'interno di un'*area a rischio di inondazione* (Fig. 10).

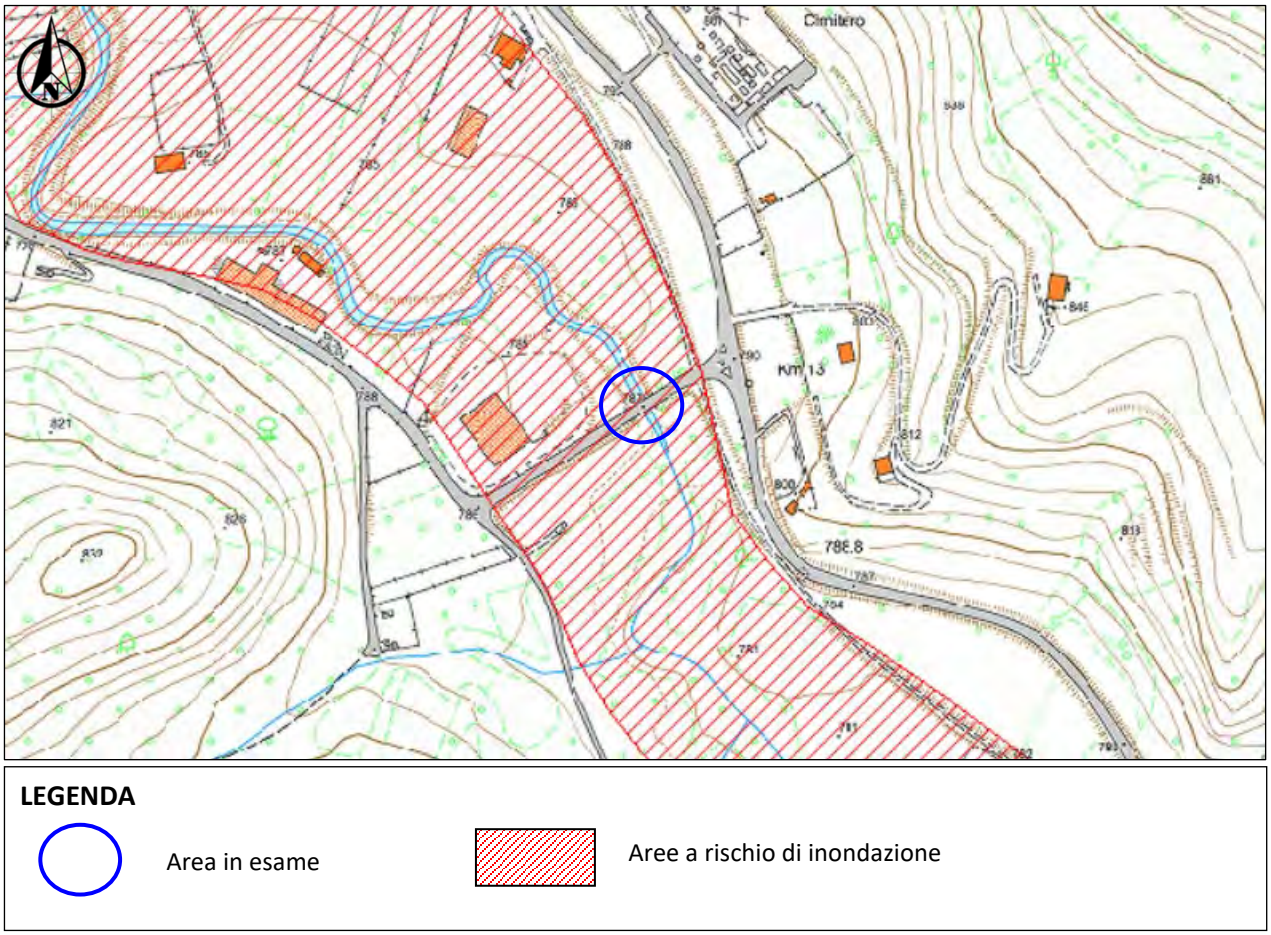



*Fig. 10 - Stralcio della Carta Aree Esondabili sovrapposta a C.T.R., scala 1:5.000. Fonte: Servizio per l'Informazione Territoriale e la Telematica della Regione Abruzzo.*

Le condizioni dell'idrogeologia del territorio sono molto mutevoli in rapporto alla variabilità delle caratteristiche litologiche, geomeccaniche e strutturali delle principali unità sedimentologiche affioranti.

Dalla consultazione della Carta dei Complessi Idrogeologici (Fig. 11), si evince che i terreni che affiorano nell'area in esame appartengono al *Complesso fluvio-lacustre (fl)*, costituito da depositi fluviali, anche terrazzati, e fluvio-glaciali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi, da depositi palustri e lacustri prevalentemente argilloso-limoso-sabbiosi e da travertini (Olocene – Pliocene). Questo complesso risulta permeabile per porosità ed è caratterizzato da un grado di "permeabilità relativa" medio, anche se in realtà e variabile, anche in modo sostanziale, da zona a zona in funzione della granulometria dei depositi.

La capacita ricettiva dell'acquifero fluvio-lacustre è complessivamente buona, sia nei confronti dell'alimentazione diretta (fenomeno, questo, molto facilitato dalla morfologia piatta degli affioramenti), sia nei confronti di quella indiretta proveniente dagli acquiferi adiacenti (solo nel caso in cui affiorano termini relativamente più permeabili).

A causa della sostanziale caoticità che caratterizza la giacitura dei vari litotipi (con lenti più o meno estese e tra loro interdigitate a depositi con differente grado di permeabilità), la circolazione idrica sotterranea è preferenzialmente basale e si esplica secondo "falde sovrapposte" (appartenenti, quasi sempre, ad un'unica circolazione).

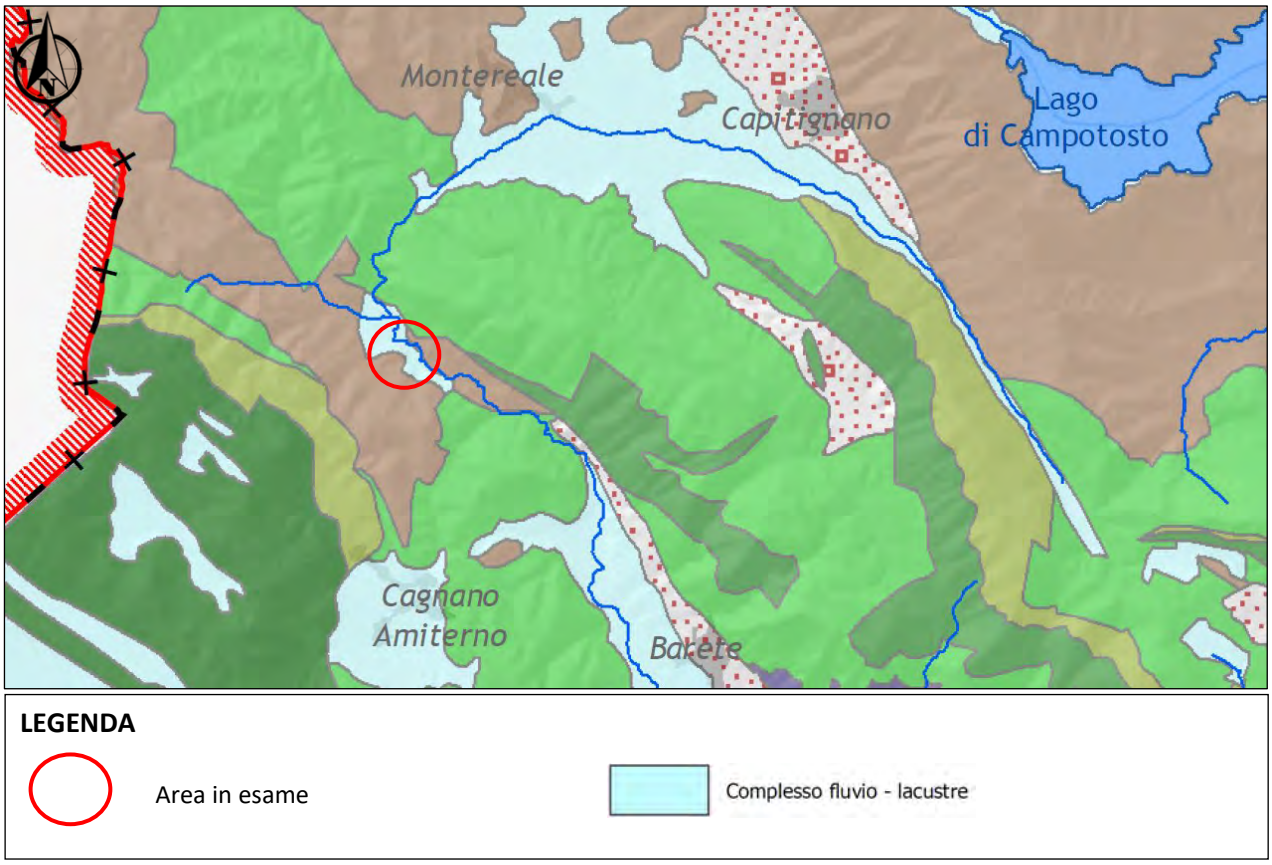



*Fig. 11 - Carta dei Complessi Idrogeologici. Fonte: Piano di Tutela delle Acque della Regione Abruzzo – Servizio Acque e Demanio Idrico.*

## 1.4. ANALISI CARTOGRAFICA DEI VINCOLI

La consultazione della Carta della Pericolosità da Frana (PAI Abruzzo-Sangro, Portale Webgis Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale), mostra come il sito in esame non sia perimetrato tra le aree definite pericolose (Fig. 12 - Fig. 13).

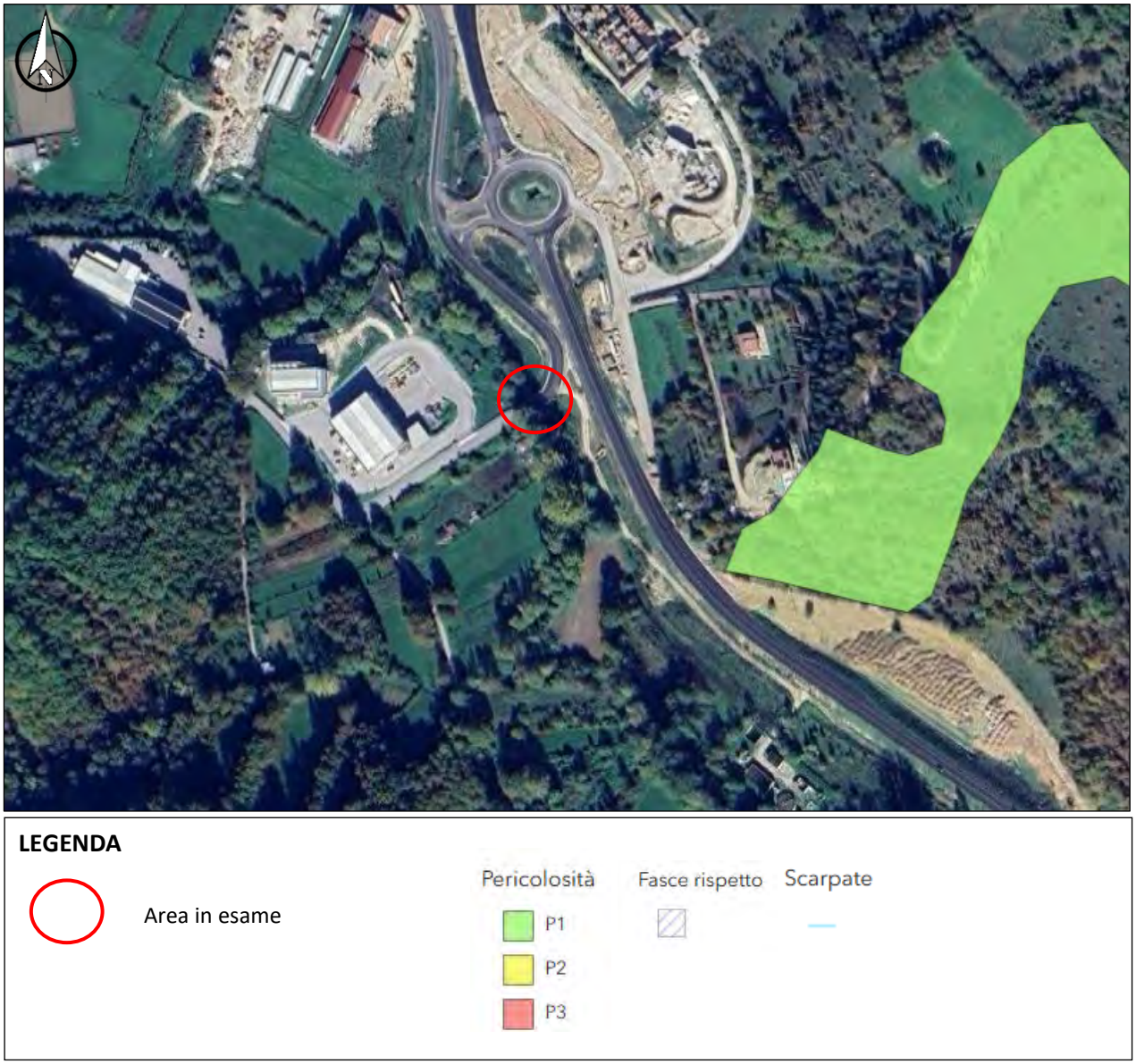



*Fig. 12 - Stralcio della Carta della Pericolosità da Frana sovrapposta a Google Satellite, scala 1:5.000. Fonte: Portale Webgis Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale.*




*Fig. 13 – Stralcio della Carta della Pericolosità da Frana sovrapposta a Google Satellite, scala 1:5.000. Fonte: PAI Distrettuale Frane, Portale Webgis Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale.*

Per quanto riguarda la pericolosità da inondazione, la lettura della Carta della Pericolosità Idraulica (PAI Abruzzo-Sangro, Portale Webgis Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale) colloca il sito in esame all'interno delle aree definite a *Pericolosità molto elevata*, a *Pericolosità elevata*, a *Pericolosità media* e a *Pericolosità moderata* (Fig. 14). Secondo la Carta della Pericolosità Alluvione fluviale (PROGETTO DI PIANO (Delibera CIP 57 del 31/07/2025 – G.U. n.194 del 22/08/2025), PAI Distrettuale Idraulico, Portale Webgis Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale), il sito in esame ricade anche all'interno delle *Aree a potenziale rischio significativo di alluvione* (Fig. 15)




*Fig. 14 - Stralcio della Carta della Pericolosità Idraulica sovrapposta a Google Satellite, scala 1:5.000. Fonte: PAI Abruzzo-Sangro, Portale Webgis Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale.*




*Fig. 15 – Stralcio della Carta della Pericolosità alluvione fluviale sovrapposta a Google Satellite, scala 1:5.000. Fonte: PAI Distrettuale Idraulico, Portale Webgis Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale.*

La consultazione della Carta del Vincolo Idrogeologico (Servizio per l'Informazione Territoriale e la Telematica della Regione Abruzzo) mostra come il sito d'interesse non sia compreso all'interno delle aree a Vincolo Idrogeologico (R.D. 30/12/23) (Fig. 16).

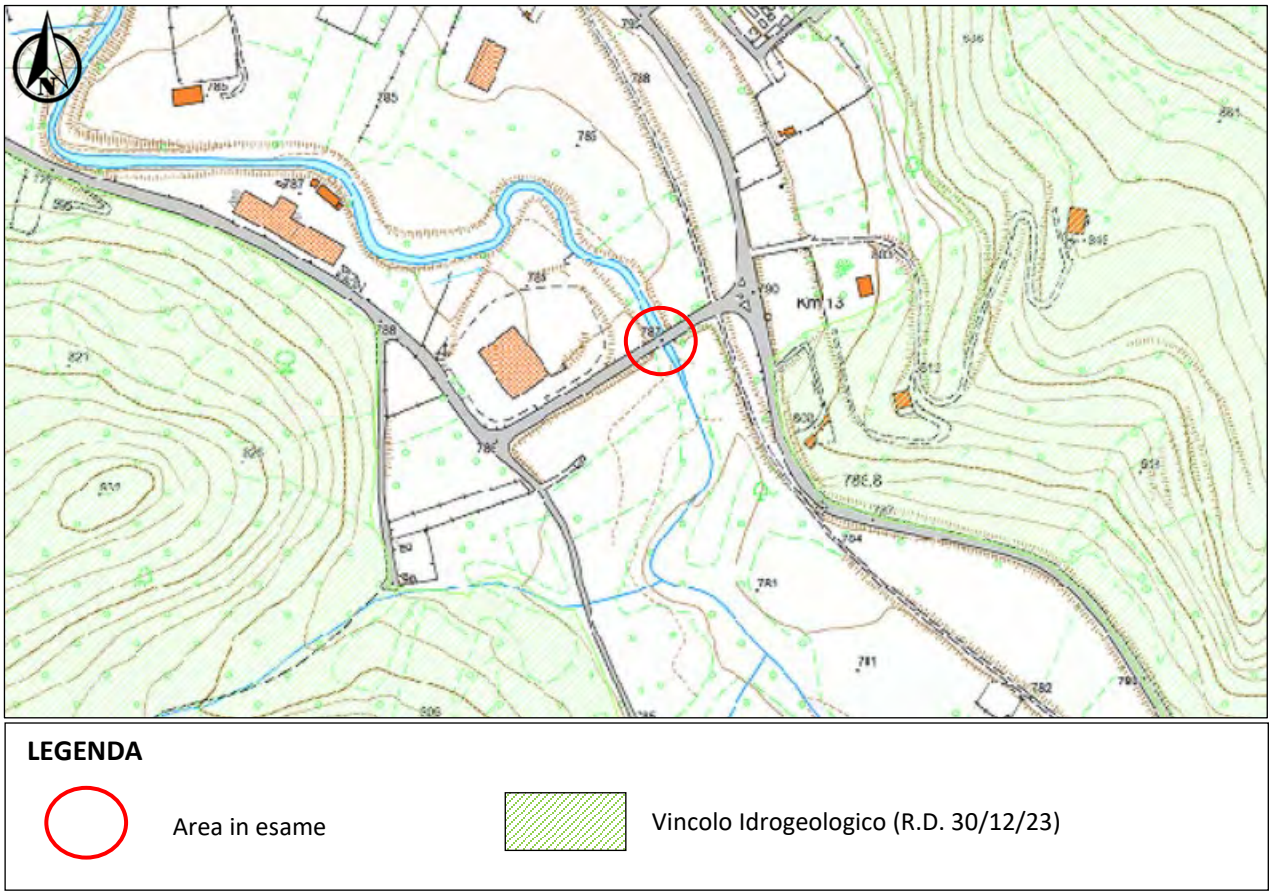



*Fig. 16 - Stralcio della Carta del Vincolo Idrogeologico sovrapposta a C.T.R., scala 1:5.000. Fonte: Servizio per l'Informazione Territoriale e la Telematica della Regione Abruzzo.*

## 1.5. SISMICITA'

La Regione Abruzzo è stata storicamente interessata da numerosi è spesso intensi fenomeni sismici, interconnessi con l'assetto geologico e l'evoluzione geodinamica del sistema appenninico in distensione, e la fascia costiera adriatica in compressione sulla piattaforma apulo-adriatica. Pertanto, dal punto di vista sismico, la regione è caratterizzata da una serie di distretti sismogenetici distribuiti su più fasce parallele procedendo dai rilievi interni alla catena appenninica verso la costa adriatica. I più importanti sono rappresentati dall'Alta Valle del Fiume Aterno, dalla Piana del Fucino e dalla zona del Parco Nazionale d'Abruzzo, per il settore più interno; verso l'esterno invece emergono il fronte del Gran Sasso d'Italia, i Monti della Laga e la struttura della Maiella.

### 1.6.1 Sismicità storica

I seguenti dati di sismicità storica per il territorio comunale di Montereale sono stati desunti dal database dell'I.N.G.V. DBMI15 (*Database Macrosismico Italiano utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15*).

| **Storia Sismica di Montereale [42.522; 13.246] Numero di eventi: 53** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Intensità** | **Anno Me Gi Ho Mi Se** | **Area epicentrale** | **NMDP** | **Io** | **Mw** |
| 7-8 | 1619 07 07 22 | Aquilano | 5 | 7-8 | 5.33 |
| 7-8 | 1639 10 07 | Monti della Laga | 39 | 9-10 | 6.21 |
| 7-8 | 1672 06 08 17 30 | Monti della Laga | 10 | 7-8 | 5.33 |
| 10 | 1703 01 14 18 | Valnerina | 197 | 11 | 6.92 |
| 7 | 1706 11 03 13 | Maiella | 99 | 10-11 | 6.84 |
| 3 | 1887 01 27 02 45 | Aquilano | 30 | 5 | 4.17 |
| 6 | 1893 08 02 00 59 | Valnerina | 84 | 5-6 | 4.55 |
| NF | 1895 06 30 03 48 50 | Poggio Picenze | 10 | 4-5 | 3.93 |
| NF | 1898 08 25 16 37 46 | Valnerina | 67 | 7 | 5.03 |
| NF | 1899 07 19 13 18 54 | Colli Albani | 122 | 7 | 5.10 |
| 3 | 1902 10 23 08 51 | Reatino | 77 | 6 | 4.74 |
| 4 | 1906 07 01 00 50 | Reatino | 41 | 5 | 4.29 |
| 4 | 1907 01 23 00 25 | Adriatico centrale | 93 | 5 | 4.75 |
| 2 | 1910 03 06 22 22 | Monti Reatini | 15 | 4-5 | 3.93 |
| NF | 1910 06 29 13 52 | Valnerina | 58 | 7 | 4.93 |
| 3-4 | 1910 12 26 16 30 | Monti della Laga | 50 | 5-6 | 4.56 |
| NF | 1911 09 09 11 32 | Aquilano | 13 | 5 | 4.36 |
| 7 | 1915 01 13 06 52 43 | Marsica | 1041 | 11 | 7.08 |
| NF | 1930 10 30 07 13 | Senigallia | 268 | 8 | 5.83 |
| 3 | 1933 09 26 03 33 29 | Maiella | 325 | 9 | 5.90 |
| 7-8 | 1950 09 05 04 08 | Gran Sasso | 386 | 8 | 5.69 |
| 6-7 | 1951 08 08 19 56 | Gran Sasso | 94 | 7 | 5.25 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 1956 10 07 19 12 41 | Aquilano | 19 | 5 | 4.46 |
| 2 | 1957 03 12 16 20 | Valnerina | 62 | 5 | 4.16 |
| 4 | 1958 06 24 06 07 | Aquilano | 222 | 7 | 5.04 |
| 4 | 1960 03 16 01 52 48 | Monti della Laga | 81 | 5 | 4.44 |
| 6 | 1979 09 19 21 35 37 | Valnerina | 694 | 8-9 | 5.83 |
| 3 | 1987 07 03 10 21 5 | Costa Marchigiana | 359 | 7 | 5.06 |
| NF | 1990 05 05 07 21 2 | Potentino | 1375 | | 5.77 |
| 5 | 1992 08 25 02 25 4 | Aquilano | 63 | 5 | 4.11 |
| 4 | 1992 10 24 18 44 0 | Monti della Laga | 32 | 5 | 4.08 |
| NF | 1993 06 05 19 16 1 | Valle del Topino | 326 | 6 | 4.72 |
| 4 | 1994 01 05 08 49 0 | Monti della Laga | 23 | 4-5 | 3.47 |
| 4 | 1994 06 02 16 41 2 | Aquilano | 60 | 4-5 | 3.99 |
| 4 | 1994 06 02 17 38 1 | Aquilano | 106 | 5 | 4.21 |
| 5 | 1996 10 20 19 06 5 | Appennino laziale-abruzzese | 100 | 5 | 4.36 |
| 4-5 | 1997 09 26 00 33 1 | Appennino umbro-marchigiano | 760 | 7-8 | 5.66 |
| 4-5 | 1997 09 26 09 40 0 | Appennino umbro-marchigiano | 869 | 8-9 | 5.97 |
| 3 | 1997 10 03 08 55 2 | Appennino umbro-marchigiano | 490 | | 5.22 |
| 3 | 1997 10 06 23 24 5 | Appennino umbro-marchigiano | 437 | | 5.47 |
| 3-4 | 1997 10 14 15 23 1 | Valnerina | 786 | | 5.62 |
| 3 | 1997 11 09 19 07 3 | Valnerina | 180 | | 4.87 |
| 2 | 1998 03 21 16 45 0 | Appennino umbro-marchigiano | 141 | | 5.00 |
| 3-4 | 1998 04 05 15 52 2 | Appennino umbro-marchigiano | 395 | | 4.78 |
| NF | 1998 08 15 05 18 0 | Reatino | 233 | 5-6 | 4.42 |
| 3-4 | 1999 10 10 15 35 5 | Alto Reatino | 79 | 4-5 | 4.21 |
| 2 | 1999 11 29 03 20 3 | Monti della Laga | 62 | 5-6 | 4.15 |
| 2-3 | 2000 11 15 21 33 2 | Aquilano | 8 | 5 | 3.22 |
| 2 | 2004 12 09 02 44 2 | Teramano | 213 | 5 | 4.09 |
| NF | 2005 12 15 13 28 3 | Val Nerina | 350 | 5 | 4.14 |
| 5 | 2009 04 06 01 32 0 | Aquilano | 316 | 9-10 | 6.29 |
| 5-6 | 2016 08 24 01 36 32 | Monti della Laga | 221 | 10 | 6.18 |
| 6 | 2017 01 18 10 14 9 | Aquilano | 280 | | 5.70 |

***Me**: mese; **Gi**: giorno; **Ho:** ora; **Mi:** minuto; **Se:** secondo; **NMDP**: numero di osservazioni macroscopiche; **Io**: intensità epicentrale; **Mw**: magnitudo momento.*

Sempre con riferimento al territorio comunale di Montereale il successivo diagramma illustra le intensità documentate e/o ricostruite per gli eventi sismici di maggior rilievo dall'anno 1000 all'anno 2017.

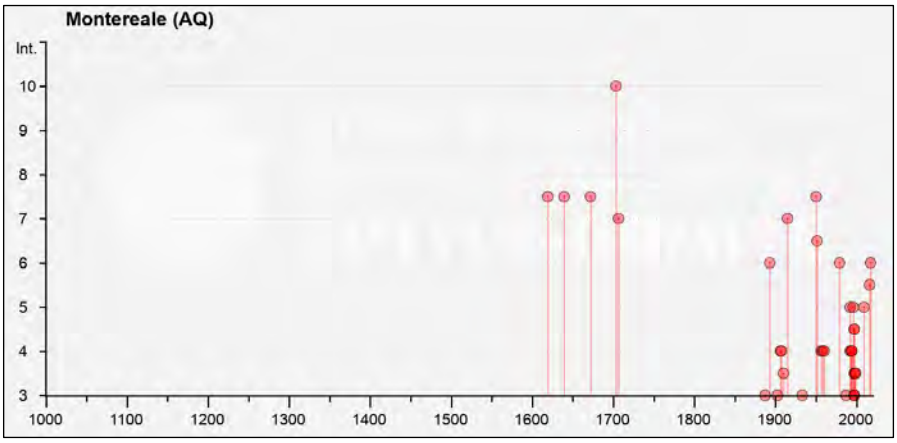



*Fig. 17 – Massime intensità sismiche del Comune di Montereale.*

### 1.6.2 Zonazione e classificazione sismica

La definizione della pericolosità sismica di base del territorio nazionale trae le sue origini dalla Carta delle Zone Sismogenetiche denominata ZS9 sono individuate 36 zone caratterizzate da diversi valori della Magnitudo momento massima ($Mw_{max}$).

La zonazione è stata effettuata tramite l'analisi cinematica degli elementi geologici cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale. Il confronto tra le informazioni che hanno portato alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la Carta Nazionale delle Zone Sismogenetiche. L'area in esame è situata all'interno dalla Zona Sismogenetica 923 "*Appennino Abruzzese*" alla quale è attribuito un valore di Magnitudo momento massima Mw di 7,06 (Fig. 18).

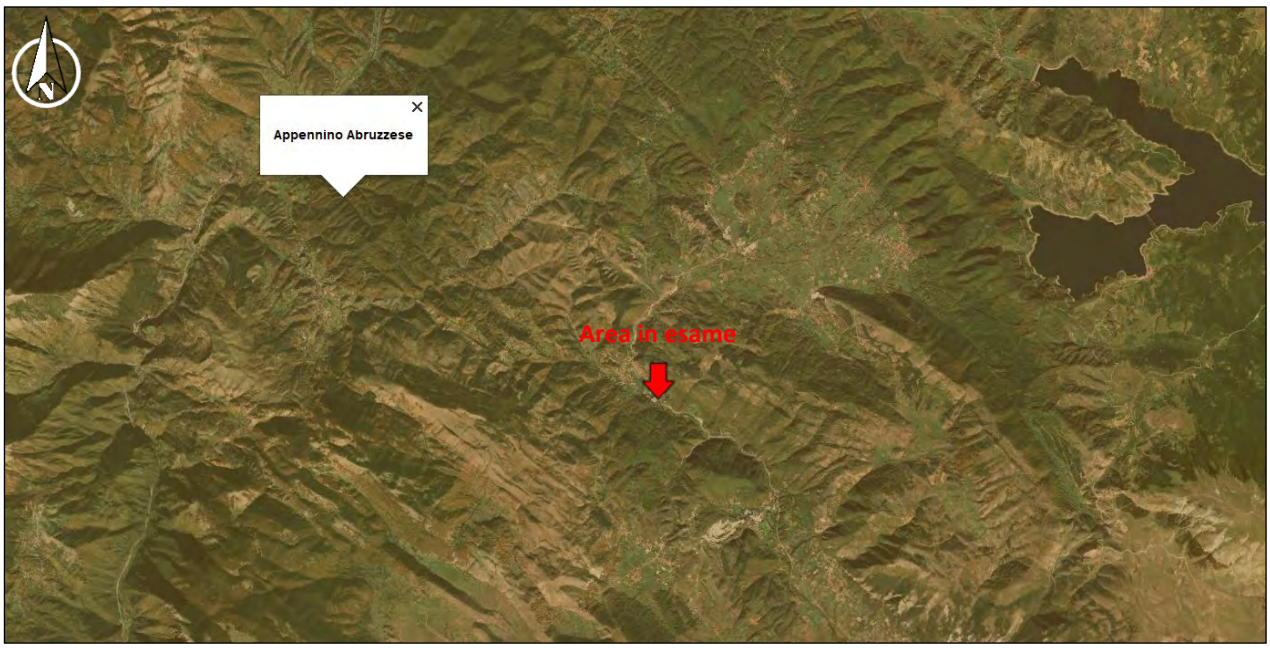



*Fig. 18 – Ubicazione dell'area in esame all'interno delle Zone Sismogenetiche (ZS9). Fonte: Google Earth.*

La "pericolosità simica di base" è fornita dai dati pubblicati sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (http://esse1-gis.mi.ingv.it/). In particolare, il sito in esame è compreso nel territorio del Comune di Montereale, il quale presenta valori di pericolosità sismica, espressi in termini di accelerazione massima del suolo ($a_g$), compresi tra 0,250 g e 0,275 g, con probabilità di eccedenza dello scuotimento del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($Vs_{30}$ > 800 m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005; Riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b) (Fig. 19).

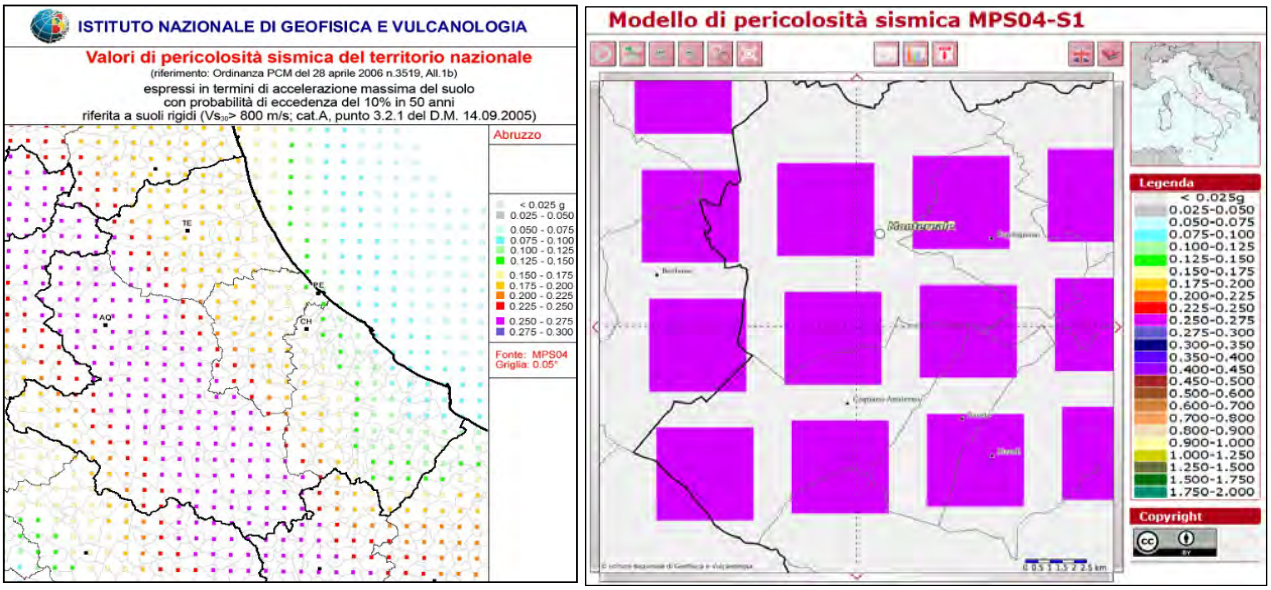



*Fig. 19 - Valori di pericolosità sismica, con indicata l'area in esame, espressi in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. Fonte: www.ingv.it.*

Di seguito, si riportano i dati di disaggregazione dei contributi alla pericolosità sismica per intervalli di magnitudo (Mw) e distanza epicentrale (R), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferiti al nodo della griglia (coordinate lat: 42.485, lon: 13.219 – id 25859) più prossimo al sito d'interesse (Fig. 20).

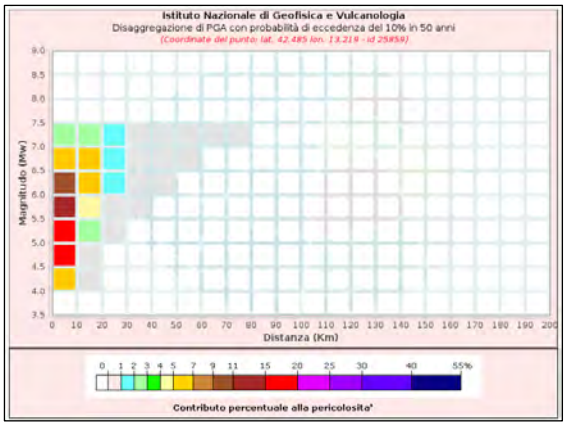



*Fig. 20 - Grafico e tabella dei valori di disaggregazione della pericolosità sismica, con i relativi parametri del terremoto di scenario Fonte: http://esse1-gis.mi.ingv.it/.*

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni
(Coordinate del punto: lat. 42.485 lon. 13.219 - id 25859)

| Distanza (Km) | Magnitudo (Mw) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3.5-4.0 | 4.0-4.5 | 4.5-5.0 | 5.0-5.5 | 5.5-6.0 | 6.0-6.5 | 6.5-7.0 | 7.0-7.5 | 7.5-8.0 | 8.0-8.5 | 8.5-9.0 |
| 0-10 | 0.0000 | 5.9300 | 17.0000 | 17.3000 | 14.5000 | 10.2000 | 6.1600 | 2.5000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 10-20 | 0.0000 | 0.0134 | 0.6330 | 2.3600 | 4.2500 | 5.2800 | 5.1300 | 2.9700 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 20-30 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0125 | 0.3870 | 1.1400 | 1.7200 | 1.3500 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 30-40 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0020 | 0.1350 | 0.3960 | 0.4120 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 40-50 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0039 | 0.0664 | 0.1070 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 50-60 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0055 | 0.0254 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 60-70 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0051 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 70-80 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 80-90 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 90-100 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 100-110 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 110-120 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 120-130 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 130-140 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 140-150 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 150-160 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 160-170 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 170-180 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 180-190 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 190-200 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

| Valori Medi | | |
|---|---|---|
| Magnitudo | Distanza | Epsilon |
| 5.72 | 7.88 | 0.973 |

Dalla sintesi di quanto precedentemente detto e in relazione al concetto di disaggregazione della pericolosità sismica, risulta che l'area è posizionata ad una distanza di 7.88 km dal probabile epicentro di un terremoto con una Magnitudo momento attesa, in funzione delle Stato Limite analizzato, pari a 5.72 (*terremoto di scenario*).

### 1.6.3 Sismo-tettonica e lineamenti sismici attivi

I terremoti dell'area appenninica abruzzese sono associabili a faglie quaternarie, normali o trastensive, osservabili in superficie, ben definibili in termini di lunghezza, giacitura e cinematica e spesso caratterizzate da evidenze di attività nel Pleistocene superiore - Olocene, talvolta con evidenze dirette di dislocazione co-sismica superficiale in occasione di forti terremoti (es. Avezzano 1915). Dalla consultazione del database dell'I.N.G.V. DISS 3.3.1 (*Database of Individual Seismogenetic Sources*), che fornisce un'istantanea della presenza di faglie considerate attive allo stato attuale, si evince che il sito in esame si ubica all'interno dalla "fascia" sismogenetica individuale ITIS015 "*Bacino di Montereale*", alla quale viene attribuito un valore di massima magnitudo Mw di 6.5 (Fig. 21).

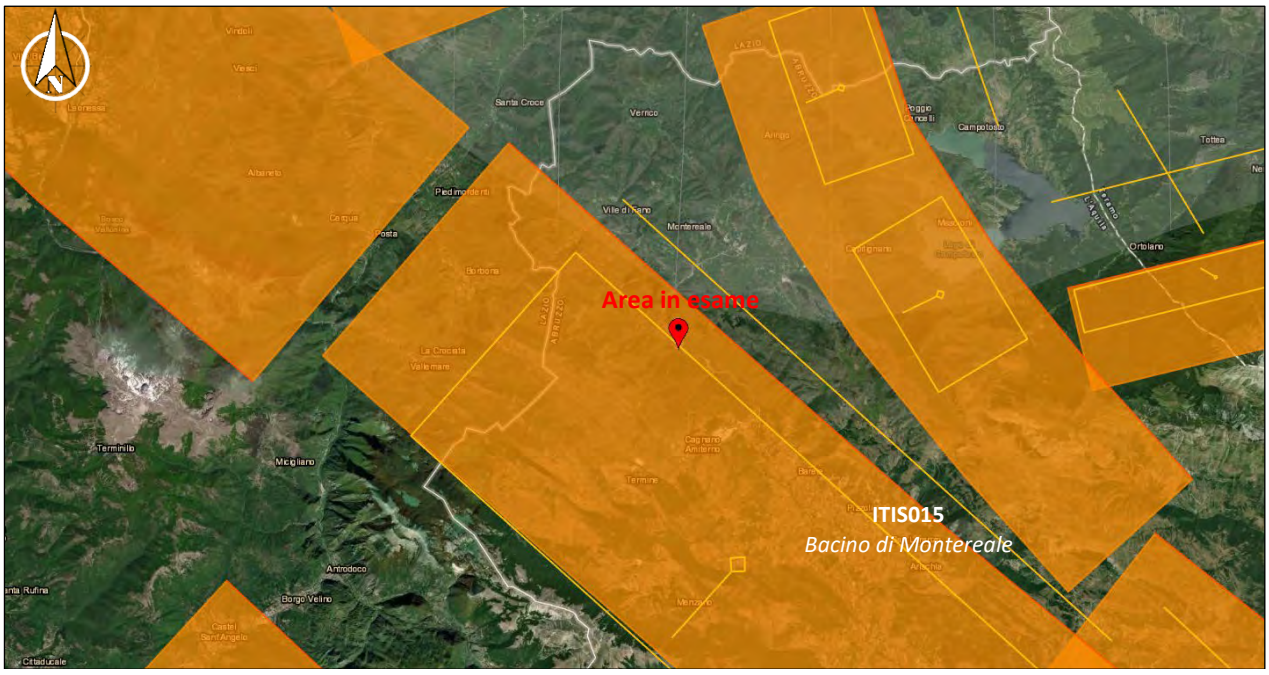



*Fig. 21 - Ubicazione del sito d'interesse rispetto alla fascia sismogenetica individuale ITIS015. Fonte DISS 3.3.1.*

Per quanto attiene alle faglie attive e capaci, che per definizione sono faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie, dall'interrogazione del database bibliografico del Servizio Geologico Italiano ITHACA (*Italy HAzard from CApable faults*), risulta come i siti in oggetto siano ricompreso in un settore di catena interessato dalla presenza di faglie considerate attive presenti nella Regione Abruzzo. Nello specifico, il sito in esame si ubica a circa 2.80 km a

nord-ovest dalla faglia attiva a carattere normale denominata *"Pizzoli – Barete"* e a circa 2.80 km/6.50 km a sud/sud-ovest dal sistema di faglie attive a carattere normale denominate "*Montereale Basin*" della Regione Abruzzo (Fig. 22).

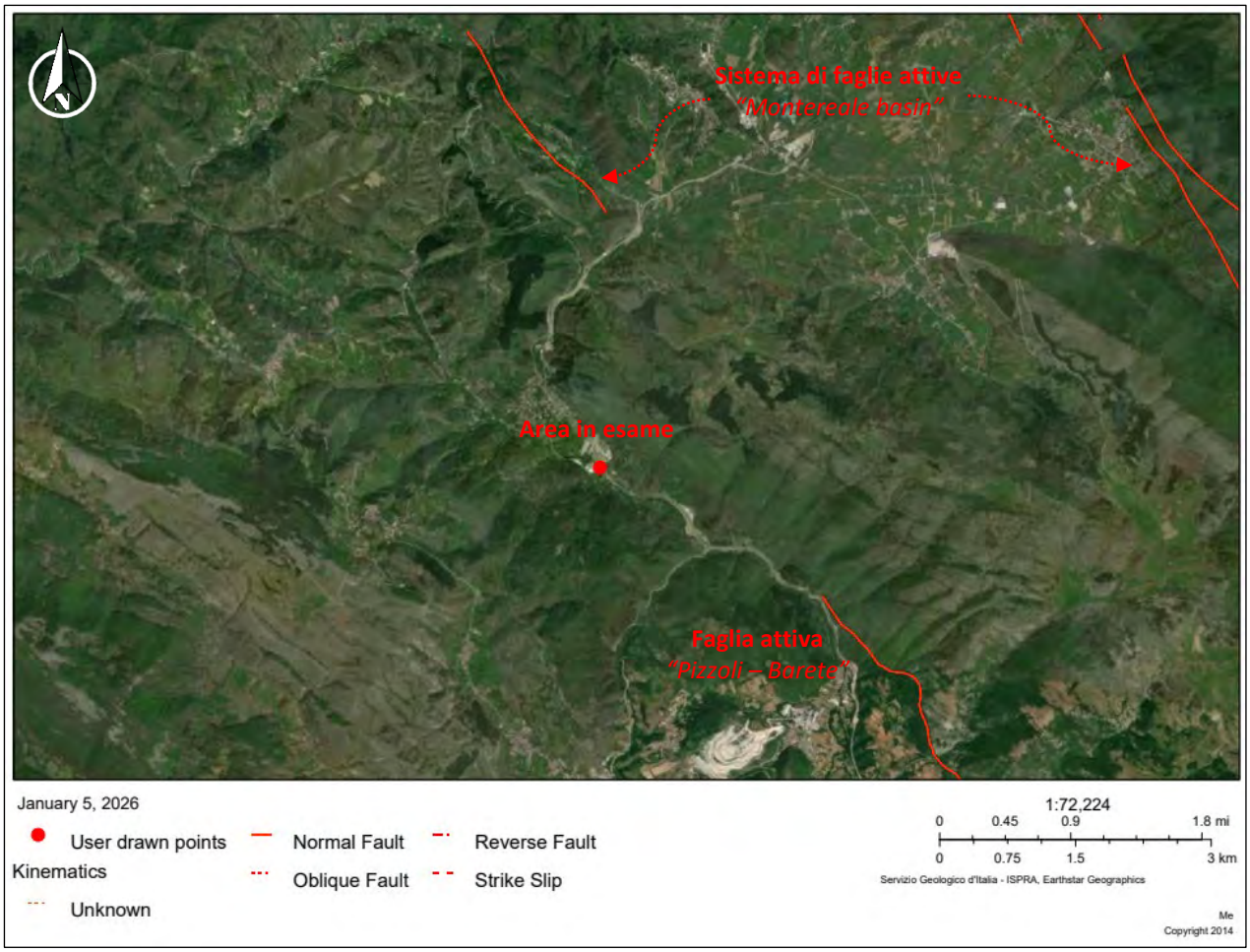


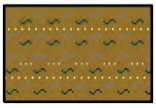

*Fig. 22 - Ubicazione del sito d'interesse rispetto alla distribuzione delle faglie capaci. Fonte: Servizio Geologico Italiano ITHACA.*

## 1.6. MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

### 1.7.1 Successione stratigrafica dei terreni rilevati nell'area

Le caratteristiche geologiche e stratigrafiche del sito in esame sono state desunte dalle informazioni di carattere stratigrafico ricavate dalla raccolta di dati bibliografici e cartografici, e dall'interpretazione dei risultati delle indagini realizzate. L'estrapolazione di tali dati ha permesso di schematizzare in modo esemplificativo le seguenti successioni stratigrafiche, distinte per le singole prove penetrometriche:

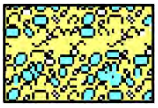
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 1**



**STRATO A – Terreno di riporto e/o rimaneggiato**

dal p.c. a 2,50 ÷ 3,00 m

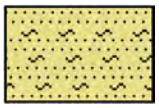
Tale strato, presente dal piano campagna attuale fino ad una profondità massima di circa 2,50 ÷ 3,00 m, rappresenta la porzione più superficiale della successione stratigrafica locale, ed è costituito da una coltre limosa sabbiosa di colore marrone scuro, con clasti inclusi.



**STRATO B – Ghiaia e sabbia con livelli limoso-sabbiosi**

da 2,50 ÷ 3,00 m a 4,50 ÷ 5,00 m

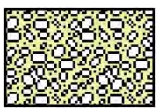
Tale strato, presente al di sotto dello strato di terreno di riporto e/o rimaneggiato fino ad una profondità massima di circa 4,50 ÷ 5,00 m dal locale piano campagna, risulta costituito da terreni appartenenti ai depositi continentali di origine alluvionale *(b)* dell'Olocene. Esso risulta caratterizzato, dal punto di vista granulometrico, da ghiaia e sabbia con livelli limoso-sabbiosi.



**STRATO C – Limo sabbioso argilloso**

da 4,50 ÷ 5,00 m a 7,50 ÷ 8,00 m

Tale strato, presente al di sotto dello strato di ghiaia e sabbia con livelli limoso-sabbiosi fino ad una profondità massima di circa 7,50 ÷ 8,00 m dal locale piano campagna, risulta costituito da terreni appartenenti ai depositi continentali di origine alluvionale *(b)* dell'Olocene. Esso risulta caratterizzato, dal punto di vista granulometrico, da limo sabbioso argilloso.

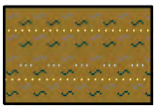


**STRATO D – Ghiaia e sabbia**

da 7,50 ÷ 8,00 m a 12,00 m

Tale strato, presente al di sotto dello strato di limo sabbioso argilloso, risulta costituito da terreni appartenenti ai depositi continentali di origine alluvionale *(b)* dell'Olocene. Esso risulta caratterizzato, dal punto di vista granulometrico, da ghiaia e sabbia.

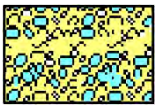
## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 2



**STRATO A – Terreno di riporto e/o rimaneggiato**

dal p.c. a 6,50 ÷ 7,00 m

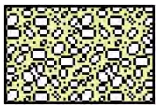
Tale strato, presente dal piano campagna attuale fino ad una profondità massima di circa 6,50 ÷ 7,00 m, rappresenta la porzione più superficiale della successione stratigrafica locale, ed è costituito da una coltre limosa sabbiosa di colore marrone scuro, con clasti inclusi.



**STRATO B – Ghiaia e sabbia con livelli limoso-sabbiosi**

da 6,50 ÷ 7,00 m a 11,00 ÷ 11,50 m

Tale strato, presente al di sotto dello strato di terreno di riporto e/o rimaneggiato fino ad una profondità massima di circa 11,00 ÷ 11,50 m dal locale piano campagna, risulta costituito da terreni appartenenti ai depositi continentali di origine alluvionale *(b)* dell'Olocene. Esso risulta caratterizzato, dal punto di vista granulometrico, da ghiaia e sabbia con livelli limoso-sabbiosi.



**STRATO C – Ghiaia e sabbia**

da 11,00 ÷ 11,50 m a 12,00 m

Tale strato, presente al di sotto dello strato di limo sabbioso argilloso, risulta costituito da terreni appartenenti ai depositi continentali di origine alluvionale *(b)* dell'Olocene. Esso risulta caratterizzato, dal punto di vista granulometrico, da ghiaia e sabbia.

### 1.6.2 Assetto idrogeologico locale

Durante la realizzazione delle indagini, in particolare delle prove penetrometriche, è stata riscontrata la presenza di acqua nel sottosuolo ad una profondità di circa 1,40 (DPSH 1) ÷ 5,60 (DPSH 2) m dal locale piano campagna nel sottosuolo investigato. Tuttavia, non si esclude la possibilità che tale livello possa subire delle variazioni verso l'alto, in occasione di eventi meteorici di particolare intensità e/o durata.

# 2. RELAZIONE SULLE INDAGINI E MODELLAZIONE SISMICA

## 2.1. CAMPAGNA INDAGINI GEOTECNICHE E GEOFISICHE IN SITO

Per la ricostruzione della successione litostratigrafica locale, con conseguente determinazione dei parametri geotecnici, e per caratterizzare sotto il profilo sismico i terreni ivi presenti, in accordo con il progettista, sono state eseguite, nel mese di dicembre 2025, sulla base delle esigenze logistiche dell'areale investigato, le seguenti categorie d'indagine *(Tavola 1)*:

- ☑ n. 2 prove penetrometriche dinamiche DPSH;
- ☑ n. 1 indagine sismica multicanale MASW;
- ☑ n. 1 indagine di tomografia sismica 2D;
- ☑ n. 2 indagini sismiche passive a stazione singola HVSR.

### 2.1.1 Prova penetrometrica dinamica DPSH

Nella presente campagna d'indagine sono state realizzate n. 2 prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH *(Allegato 1)*, spinte fino alla profondità massima di 8,20 m (DPSH 1) e di 12,00 m (DPSH 2) dal locale piano campagna. A tali profondità le prove si sono arrestate per rifiuto alla penetrazione della punta contraddistinto da N colpi ≥ 50 per un avanzamento della punta di 20 cm.

Per l'esecuzione delle prove è stato utilizzato un penetrometro dinamico mod. Pagani TG 63 – 100 kN di spinta, le cui caratteristiche tecniche sono riportate nella tabella seguente:

| **Dati tecnici penetrometro Pagani TG 63-100** | | | |
|---|---|---|---|
| Peso della massa battente | 63,5 Kg | Peso delle aste a metro | 6,31 Kg/m |
| Altezza di caduta del maglio | 0,75 m | Profondità giunzione prima asta | 0,40 m |
| Peso sistema di battuta | 0,63 Kg | Avanzamento punta | 0,20 m |
| Diametro della punta conica | 51,00 mm | Numero di colpi per punta | N(20) |
| Area di base della punta | 20,43 $cm^2$ | Angolo di apertura punta conica | 90° |
| Lunghezza delle aste | 1,00 m | Rivestimento/fanghi | Assente |

La prova consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta infissa a percussione da un maglio provvisto di un apposito dispositivo di sganciamento automatico.

La misura dei colpi viene effettuata ogni 20 cm di affondamento della punta e, successivamente, rappresentata in un diagramma continuo di penetrazione che fornisce un profilo di resistenza espresso in numero di colpi per 20 cm di avanzamento della punta. La penetrazione dinamica della punta battuta sul terreno consente la misurazione dello stato di addensamento o

consistenza dei litotipi attraversati tramite la determinazione della resistenza di rottura dinamica alla punta (Rpd):

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

dove:

e = infissione media per colpo ($\delta$/N); M = peso massa battente (altezza caduta H); P = peso totale aste e sistema battuta.

Per mezzo dell'andamento della misura di colpi N con la profondità è possibile individuare la costituzione litologica per omogeneità degli orizzonti costituenti il sottosuolo investigato.

I valori ottenuti dalla prova correlati in valori equivalenti di $N_{SPT}$ (attraverso il coefficiente teorico di energia $N_{SPT} = \beta_t$ N), consentono di risalire alla stima dei principali parametri geotecnici del terreno. Le prove eseguite presentano le caratteristiche elencate nella tabella seguente:

| ID Prova | Coordinate (WGS84) | | Quota (m s.l.m.) | Profondità (m dal p.c.) |
|---|---|---|---|---|
| | Latitudine | Longitudine | | |
| DPSH 1 | 42.488739° | 13.230969° | 781 | 8,20 |
| DPSH 2 | 42.488639° | 13.230669° | 786 | 12,00 |

## 2.1.2 Indagine sismica multicanale MASW

Per la determinazione delle Vs nella presente campagna di indagini si è scelto di adottare la metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves). Difatti con la tecnica della sismica attiva si possono ottenere buoni risultati in termini di acquisizione dati, fino a frequenze che si aggirano intorno ai 10-15 Hz riuscendo a "fittare" con un certo grado di precisione la curva sperimentale registrata. Pertanto, la metodologia d'indagine ha permesso di caratterizzare dal punto di vista geofisico i terreni oggetto del presente studio, basandosi sulla misurazione e sull'analisi delle onde di Rayleigh in un semispazio stratificato.

***Strumentazione utilizzata***

Per la realizzazione delle indagini sismiche MASW, è stata utilizzata una strumentazione le cui caratteristiche sono riportate di seguito:

- sismografo multicanale PASI GEA 24 con capacità di campionamento fino a 4000 microsec; sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break); filtri High Pass e Band Reject; "Automatic Gain Control"; convertitore A/D Sigma-Delta a 24 bit reali;
- 12 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;
- massa battente pesante di 8 Kg.

***Acquisizione dati e operazioni di campagna***

L'acquisizione MASW è stata condotta mediante uno stendimento lineare di geofoni superficiali. Dopo aver posizionato i geofoni sul terreno e dopo il collegamento di questi ultimi ai cavi elettrici, tramite appositi morsetti bipolari, si è proceduto all'acquisizione dei dati MASW. Sono state realizzati alcune energizzazioni di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione del sismografo in termini di determinazione del livello del rumore di fondo e taratura delle amplificazioni dei singoli canali di registrazione. Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alla prospezione sismica MASW in modo tale che, dopo ogni energizzazione (per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni) sul punto d'impatto prestabilito, si è acquisito e registrato il segnale sul sismografo per la successiva elaborazione. L'istante di tempo zero, ovvero il segnale d'inizio registrazione, è stato inviato allo strumento da uno shock-sensor (trigger) posto direttamente sul terreno. Gli impulsi sismici ricevuti dai geofoni posizionati sulla superficie topografica sono stati acquisiti dal sismografo tramite il quale, dopo una conversione analogico-digitale sono stati registrati nell'hard-disk del computer esterno al sismografo stesso.

***Elaborazione dati***

Per la caratterizzazione sismo-stratigrafica del sottosuolo i dati sperimentali acquisiti sono stati interpretati ed elaborati attraverso l'utilizzo di specifici programmi. L'analisi effettuata può essere ricondotta in quattro fasi:

1) trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza f – numero d'onda K;
2) individuazione delle coppie f - k cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano Vfase (m/sec) – frequenza (Hz);
3) calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, modificando opportunamente, alcuni dei parametri degli strati che costituiscono il modello del suolo;
4) modifica della curva teorica fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo.

Nello specifico è stata realizzata n. 1 prospezione sismica MASW *(Allegato 2)* le cui caratteristiche geometriche e di configurazione sono riportate nella tabella seguente:

| ID Linea | Passo geofonico (m) | Numero geofoni | Lunghezza (m) | Offset minimo (m) | Freq. camp. (Hz) | Lung. tracce (s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MW | 3,00 | 12 | 33,00 | 6,00 | 2000 | 1000 |

### 2.1.3 Indagine di tomografia sismica 2D

Per la ricostruzione bidimensionale di dettaglio del modello sismo-stratigrafico del sottosuolo, nonché evidenziare eventuali anomalie di velocità sismica dei terreni ivi presenti, è stato realizzato n. 1 profilo superficiale di sismica a rifrazione con tecnica tomografica *(Allegato 3)*.

**Strumentazione utilizzata**

La strumentazione utilizzata è la stessa impiegata per la realizzazione della prospezione sismica MASW.

**Acquisizione dati e operazioni di campagna**

L'acquisizione è stata condotta mediante uno stendimento lineare di geofoni superficiali. Dopo aver posizionato i geofoni sul terreno e dopo il collegamento di questi ultimi ai cavi elettrici, per ogni acquisizione sono stati realizzati alcune energizzazioni di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione del sismografo in termini di determinazione del livello del rumore di fondo e taratura delle amplificazioni dei singoli canali di registrazione. Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alla prospezione sismica in modo tale che, dopo ogni energizzazione (per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni) sul punto d'impatto prestabilito, si è acquisito e registrato il segnale sul sismografo per la successiva elaborazione. L'istante di tempo zero, ovvero il segnale d'inizio registrazione, è stato inviato allo strumento da uno shock-sensor (trigger) posto direttamente sul terreno.

**Elaborazione dati**

Le registrazioni sismiche acquisite sono state elaborate mediante l'utilizzo di specifici programmi. La procedura di interpretazione tomografica può essere suddivisa in 2 fasi:

- applicazione di una tecnica di pseudo-inversione bidimensionale che realizza per ogni geofono un profilo; continuo di velocità in funzione della profondità (metodo DELTA-T-V - GEBRANDE E MILLER, 1985), seguita dal calcolo di un profilo medio di "velocità-profondità" (media dei singoli profili di velocità alle profondità comuni) che, esteso lateralmente per tutta la lunghezza dello

stendimento, consente la stima di un modello continuo monodimensionale di velocità in funzione della profondità (gradiente monodimensionale di velocità sismica);

- assumendo come dato di partenza il modello di velocità valutato in precedenza, si avvia il processo di inversione iterativo utilizzando un algoritmo tomografico che permette la ricostruzione della propagazione del fronte d'onda sismica, in maniera fisicamente significativa, attraverso una modellazione che utilizza il percorso dei raggi sismici.

Il modello calcolato viene in seguito comparato con il modello sperimentale e se l'adattamento è considerato soddisfacente, tale risultato viene ufficializzato, rappresentando il modello attraverso una mappa della distribuzione della velocità in funzione della profondità.

Le cui caratteristiche geometriche e di configurazione sono riportate nella tabella seguente:

| ID Linea | Passo geofonico (m) | Numero geofoni | Lunghezza (m) | Numero energizzazioni |
|---|---|---|---|---|
| SRT | 3,00 | 12 | 36,00 | 3 |

### 2.1.4 Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR

La tecnica HVSR permette di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione.

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un sismografo VIBRALOG (prodotto dalla M.A.E. - Molisana Apparecchiature Elettroniche, Italia) con risoluzione a 24 bit a 3 canali e da un sistema di ricezione rappresentato da un geofono da superficie a 3 componenti, una verticale e due orizzontali sfasati di 90°, con frequenza propria a 2.0 Hz.

In fase operativa, si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti. Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce. Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione. Per

ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee. Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea. Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing. Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

Nello specifico sono state realizzate n. 2 postazioni HVSR *(Allegato 4)* le cui caratteristiche sono riportate di seguito:

| **ID Postazione** | **Durata registrazione** (sec) | **Coordinate (WGS84)** | | **Quota** (m s.l.m.) |
|---|---|---|---|---|
| | | **Latitudine** | **Longitudine** | |
| HVSR 1 | 1800 | 42.488719° | 13.230666° | 786 |
| HVSR 2 | 1800 | 42.488755° | 13.230934° | 781 |

## 2.2. MODELLAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEL SOTTOSUOLO

Le informazioni ricavate dall'interpretazione dei risultati delle indagini realizzate, ha permesso di caratterizzare il sottosuolo dell'area in esame in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico.

I valori caratteristici dei principali parametri geotecnici (coesione e angolo di attrito interno) riferiti alle unità litotecniche di riferimento sono stati determinati secondo il criterio di "stima ragionata e cautelativa" del valore del parametro dedotto dall'interpretazione dei risultati delle indagini effettuate. Nello specifico, tali valori sono stati definiti sulla base dell'approccio bayesiano, adottando la seguente espressione correttiva (CHERUBINI E ORR, 1999):

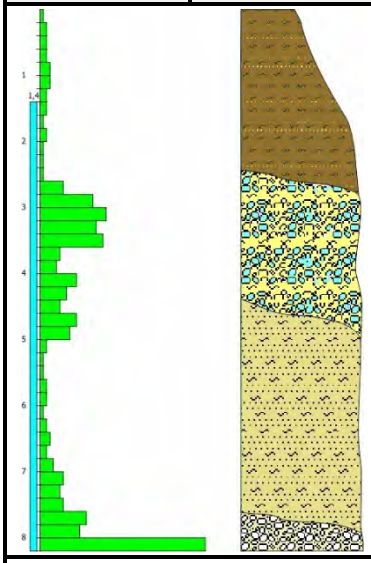
$$x_K = x_m * (1 – CV/2)$$

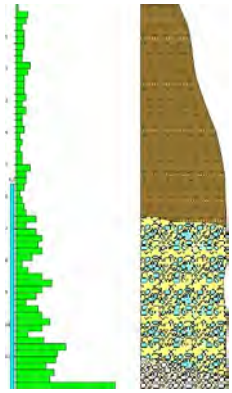
dove:

$x_m = (a + 4b + c) / 6$; $CV = (c – a) / (a + 4b + c)$;

a = valore minimo stimato; b = valore più probabile; c = valore massimo stimato.

Dalla sintesi dei dati ottenuti, si riportano di seguito i modelli geologico-tecnici del sottosuolo distinte per le singole prove penetrometriche:

| **MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DEL SOTTOSUOLO – DPSH 1** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Unità Litotecniche di riferimento** | | | | **Parametri geotecnici** | |
| **Grafico DPSH** | **Colonnina stratigrafica** | **Descrizione litologica** | **Profondità dal p.c.** (m) | **Valori medi** | **Valori caratteristici** |
|  | | A - Terreno di riporto e/o rimaneggiato | 2,50 ÷ 3,00 | Yn = 1,60 ÷ 1,70 t/m$^3$<br>Cu = 0,20 ÷ 0,40 kg/cm$^2$<br>Φ' = 20° ÷ 22°<br>Ed = 20 ÷ 40 kg/cm$^2$ | Cu$_K$ = 0,22 kg/cm$^2$<br>Φ'$_K$ = 20,2° |
| | | B - Ghiaia e sabbia con livelli limoso-sabbiosi | 4,50 ÷ 5,00 | Yn = 2,00 ÷ 2,05 t/m$^3$<br>Φ' = 27° ÷ 30°<br>Es = 70 ÷ 90 kg/cm$^2$ | Φ'$_K$ = 27,2° |
| | | C - Limo sabbioso argilloso | 7,50 ÷ 8,00 | Yn = 1,70 ÷ 1,75 t/m$^3$<br>Cu = 0,30 ÷ 0,50 kg/cm$^2$<br>Φ' = 21° ÷ 23°<br>Ed = 20 ÷ 40 kg/cm$^2$ | Cu$_K$ = 0,32 kg/cm$^2$<br>Φ'$_K$ = 21,2° |
| | | D - Ghiaia e sabbia | 12,00 | Yn = 2,05 ÷ 2,10 t/m$^3$<br>Φ' = 32° ÷ 34°<br>Es = 120 ÷ 150 kg/cm$^2$ | Φ'$_K$ = 32,2° |
| **Falda:** durante la realizzazione delle indagini, in particolare della prova penetrometrica DPSH 1, è stata riscontrata la presenza di acqua nel sottosuolo ad una profondità di circa 1,40 m dal locale piano campagna nel sottosuolo investigato. Tuttavia, non si esclude la possibilità che tale livello possa subire delle variazioni verso l'alto, in occasione di eventi meteorici di particolare intensità e/o durata. | | | | | |
| **Legenda:**<br>**Yn**: Peso di volume naturale di terreno; **Cu**: Coesione non drenata; **Φ'**: Angolo di resistenza al taglio; **Es**: Modulo elastico; **Ed**: Modulo edometrico; pedice **K**: indica i valori caratteristici. | | | | | |

| **MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DEL SOTTOSUOLO – DPSH 2** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Unità Litotecniche di riferimento** | | | | **Parametri geotecnici** | |
| **Grafico DPSH** | **Colonnina stratigrafica** | **Descrizione litologica** | **Profondità dal p.c.** (m) | **Valori medi** | **Valori caratteristici** |
|  | | A - Terreno di riporto e/o rimaneggiato | 6,50 ÷ 7,00 | $Yn = 1,70 \div 1,80$ t/m$^3$<br>$Cu = 0,30 \div 0,60$ kg/cm$^2$<br>$\Phi' = 21° \div 24°$<br>$Ed = 30 \div 60$ kg/cm$^2$ | $Cu_K = 0,33$ kg/cm$^2$<br>$\Phi'_K = 21,2°$ |
| | | B - Ghiaia e sabbia con livelli limoso-sabbiosi | 11,00 ÷ 11,50 | $Yn = 1,90 \div 2,05$ t/m$^3$<br>$\Phi' = 28° \div 32°$<br>$Es = 80 \div 120$ kg/cm$^2$ | $\Phi'_K = 28,3°$ |
| | | C - Ghiaia e sabbia | 12,00 | $Yn = 2,05 \div 2,10$ t/m$^3$<br>$\Phi' = 32° \div 34°$<br>$Es = 120 \div 150$ kg/cm$^2$ | $\Phi'_K = 32,2°$ |
| **Falda:** durante la realizzazione delle indagini, in particolare della prova penetrometrica DPSH 2, è stata riscontrata la presenza di acqua nel sottosuolo ad una profondità di circa 5,60 m dal locale piano campagna nel sottosuolo investigato. Tuttavia, non si esclude la possibilità che tale livello possa subire delle variazioni verso l'alto, in occasione di eventi meteorici di particolare intensità e/o durata. | | | | | |
| **Legenda:**<br>**Yn**: Peso di volume naturale di terreno; **Cu**: Coesione non drenata; **Φ'**: Angolo di resistenza al taglio; **Es**: Modulo elastico; **Ed**: Modulo edometrico; pedice **K**: indica i valori caratteristici. | | | | | |

Tuttavia, occorre sottolineare che i valori caratteristici dei parametri geotecnici riportati nelle sottostanti tabelle derivano dall'interpretazione, dello scrivente, dei risultati delle indagini eseguite in sito. Pertanto, non rappresentano un vincolo per il progettista, il quale potrà sempre individuare il valore che ritiene più opportuno in relazione alle scelte progettuali ed alle analisi e verifiche nei riguardi degli stati limite considerati.

## 2.3 MODELLAZIONE SISMICA

Per quel che riguarda la caratterizzazione sismica dell'area in esame, gli elementi fondamentali sono rappresentati dalla conoscenza accurata delle condizioni locali (caratteristiche stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera e/o condizioni topografiche del territorio) che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante (Categoria "suolo A" della norma nazionale e dell' Eurocodice 8), o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture. Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della risposta sismica locale.

### 2.3.3 Categoria di sottosuolo

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella tabella sottostante, si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, Vs.

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

Nel caso specifico, l'identificazione della categoria di sottosuolo è stata effettuata in base ai valori della velocità delle onde sismiche di taglio in relazione alla profondità (Vs-z), ottenuti dalla prova sismica multicanale MASW realizzata in sito. I risultati acquisiti sono riassunti nelle tabelle seguenti:

| MW | | | |
|---|---|---|---|
| **ID Sismo-strati** | **Profondità dal p.c.** (m) | **Spessore** (m) | **Velocità delle Vs** (m/sec) |
| 1 | 2.20 | 2.20 | 200 |
| 2 | 6.20 | 4.00 | 260 |
| 3 | 15.70 | 9.50 | 400 |
| 4 | 23.90 | 8.20 | 510 |
| 5 | ∞ | ∞ | 700 |

A partire dal modello sismo-stratigrafico monodimensionale ottenuto, verificata l'assenza di significative e nette inversioni di velocità, è possibile calcolare il valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $Vs_{,eq}$ (in m/s), mediante la seguente espressione riportata nel D.M. 17.01.2018 (Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"):

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

dove hi e $Vs_{,i}$ indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma<10\text{-}6$) dello strato i-esimo, per un totale di N strati.

La profondità del substrato H (in m) è definita come quella formazione costituita da roccia o da terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $Vs_{,eq}$ è definita dal parametro $Vs_{,30}$, ottenuta ponendo H = 30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a questa profondità.

Nello specifico, dato che la profondità H del substrato è superiore a 30 m, la velocità delle onde di taglio Vs è definita dal parametro $Vs_{,30}$. Poiché il valore della velocità media delle onde di taglio nei primi trenta metri del sottosuolo risulta pari a **400 m/sec**, il sito in esame ricade nella categoria di sottosuolo di tipo **B**.

### 2.3.4 Condizioni topografiche

Per la determinazione dell'azione sismica occorre considerare anche il contributo derivante dalla morfologia superficiale. Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
|---|---|
| T1 | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15° |
| T2 | Pendii con inclinazione media i > 15° |
| T3 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30° |
| T4 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30° |

Le supposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. Nello specifico, essendo l'area in esame caratterizzata da una superficie con inclinazione media i ≤ 15°, le condizioni topografiche sono riconducibili alla categoria **T1**.

### 2.3.5 Pericolosità sismica locale

Le azioni sismiche di progetto, in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa $a_g$ in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Se(T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza $PV_R$, nel periodo di riferimento $V_R$. Le forme spettrali sono definite, nei modi previsti dalle NTC, per ciascuna delle probabilità di superamento $PV_R$ nel periodo di riferimento $V_R$, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

**$a_g$** = accelerazione orizzontale massima al sito;

**Fo** = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

**Tc*** = valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

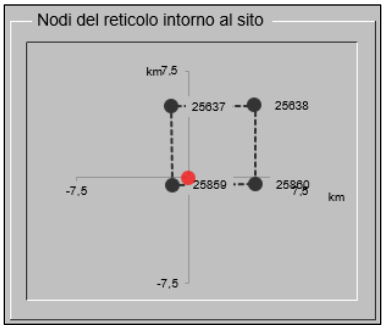
Come definito al § 3.2 delle NTC2018, per i valori **$a_g$**, **Fo** e **Tc***, necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n. 29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

Risulta chiaro che in funzione di differenti ipotesi progettuali e con conseguenti differenti dati di lavoro, anche i valori di pericolosità sismica saranno diversi.

| Sito in esame | Latitudine(*) | Longitudine(*) |
|---|---|---|
| Fraz. Marana - Montereale (AQ) | 42.489740° | 13.231746° |

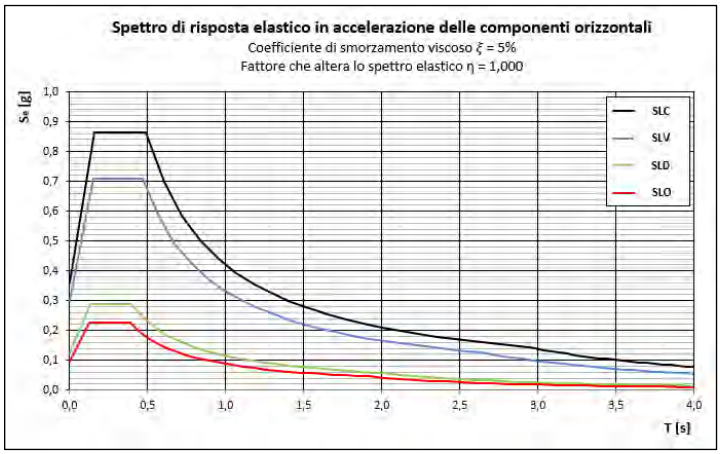
| Dati di lavoro | |
|---|---|
| Classe d'uso | II |
| Vita nominale ($V_N$) | 50 anni |
| Coefficiente d'uso ($C_U$) | 1,0 |
| Periodo di riferimento ($V_R$) | 50 anni |
| Categoria di sottosuolo | B |
| Categoria topografica | T1 |

**(*)** – Coordinate espresse in ED50.




I valori dei parametri degli spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali associati a ciascuno stato limite, determinati con il software "*Azioni sismiche – Spettri di risposta ver. 1.03*" disponibile sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (http://www.consigliosuperiorelavoripubblici.it), sono riassunti di seguito sia in formato tabellare sia in formato grafico.

| | | | Parametri indipendenti | | | | | | Parametri dipendenti | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Stato Limite** | **Prob. superame.** [%] | **Tr** [anni] | **$a_g$** [g] | **Fo** [-] | **Tc*** [s] | **Ss** [-] | **Cc** [-] | **ST** [-] | **S** [-] | **TB** [s] | **TC** [s] | **TD** [s] |
| SLO | 81 | 30 | 0,078 | 2,403 | 0,271 | 1,200 | 1,428 | 1,000 | 1,200 | 0,129 | 0,387 | 1,913 |
| SLD | 63 | 50 | 0,104 | 2,332 | 0,279 | 1,200 | 1,420 | 1,000 | 1,200 | 0,132 | 0,396 | 2,014 |
| SLV | 10 | 475 | 0,260 | 2,360 | 0,344 | 1,155 | 1,362 | 1,000 | 1,155 | 0,156 | 0,468 | 2,640 |
| SLC | 5 | 975 | 0,333 | 2,398 | 0,362 | 1,080 | 1,348 | 1,000 | 1,080 | 0,163 | 0,488 | 2,934 |




L'accelerazione massima attesa in superficie ($\mathbf{a_{max}}$) può essere valutata con la relazione proposta dal D.M. 17.01.2018 (Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»):

$$\mathbf{a_{max} = S \cdot a_g = (S_S \cdot S_T) \cdot a_g}$$

con S coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (Ss) e dell'amplificazione topografica ($S_T$), mentre $a_g$ è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido. Gli effetti topografici possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a 15°. Pertanto, per il sito in esame abbiamo i seguenti valori:

| Stato Limite | SLO | SLD | SLV | SLC |
|---|---|---|---|---|
| $a_{max}$ [g] | 0.094 | 0.125 | 0.300 | 0.360 |

### 2.3.6 Risultati dell'analisi HVSR

L'analisi delle curve spettrali, acquisite mediante la misura dei microtremori al suolo (HVSR), ha consentito di valutare la frequenza (o periodo) fondamentale di risonanza dei siti d'interesse. I rapporti H/V mostrano un picco principale di risonanza alla frequenza di 6.00 Hz nella postazione HVSR 1 e di 6.30 Hz nella postazione HVSR 2.

### 2.3.7 Microzonazione Sismica di Livello 1

Secondo la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Montereale, TAV III, scala 1:5.000), l'area in esame ricade all'interno della "Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali" identificata con il codice "2013", costituita da coperture sabbiose, sabbioso-ghiaiose e limose (Vs = 325 m/s; h = 15 m), che poggiano su un substrato stratificato con alternanza di litotipi (Fig. 23).

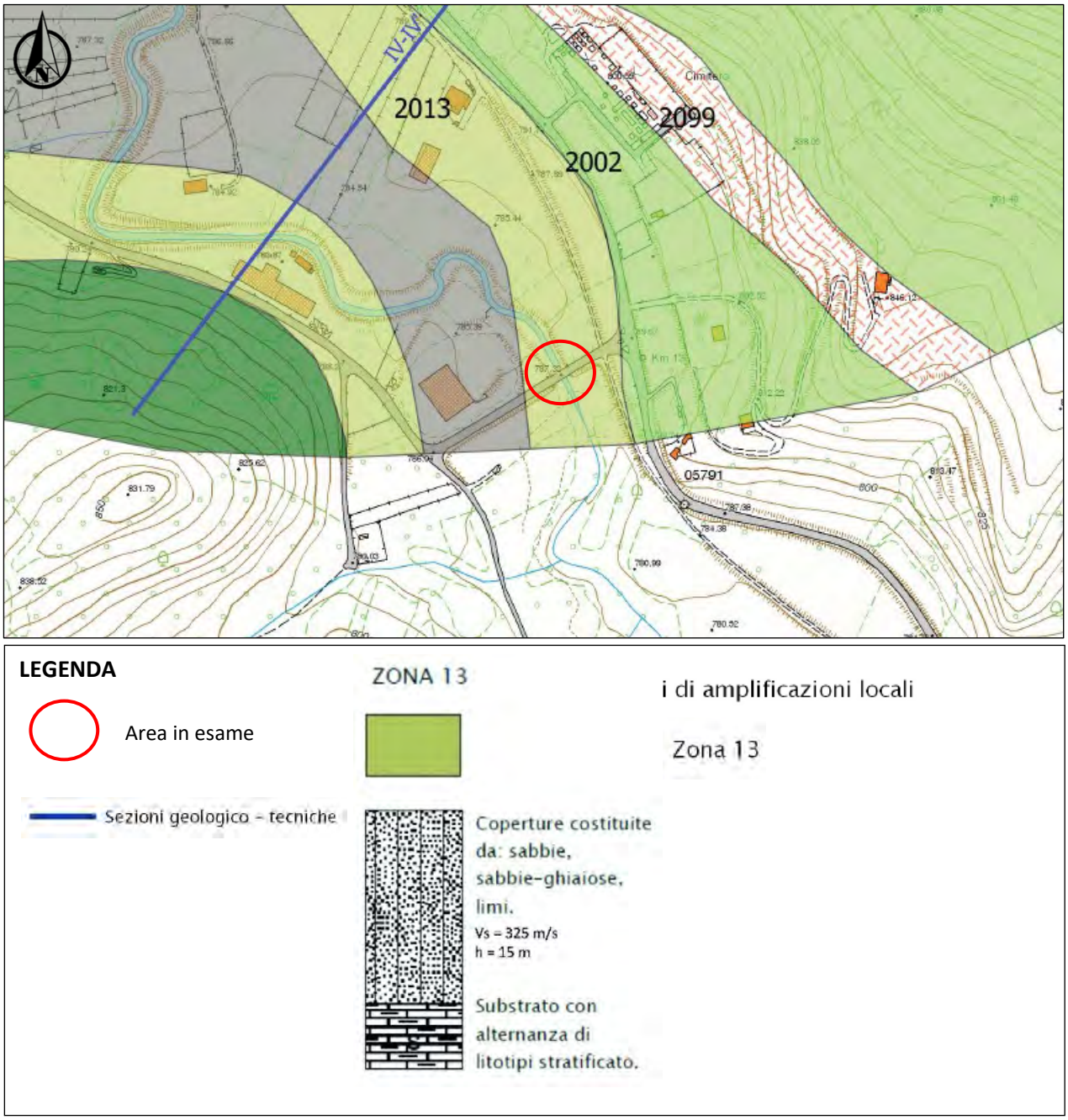



*Fig. 23 - Stralcio della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, scala 1:5.000. Fonte: Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Montereale, TAV III.*

## 2.3.8 Verifica a liquefazione

Il fenomeno della liquefazione dei terreni durante i terremoti, interessa in genere i depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi sciolti, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi. Durante una sollecitazione sismica, infatti, le sollecitazioni indotte dal terremoto possono determinare un aumento delle pressioni interstiziali fino ad eguagliare la pressione litostatica e la tensione di sconfinamento, annullando la resistenza al taglio e inducendo fenomeni di fluidificazione. I fenomeni di liquefazione dipendono principalmente da: proprietà geotecniche dei terreni, caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata, genesi e storia geologica dei

terreni. Nello specifico, è stata effettuata una verifica di stabilità dei terreni alla liquefazione adottando il metodo di calcolo semplificato proposto da Andrus e Stokoe (2000).

***Descrizione del metodo di calcolo utilizzato***

In generale i metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in sito.

La resistenza che un deposito sabbioso saturo oppone alla liquefazione viene definita da un fattore di sicurezza. Tale coefficiente di sicurezza (Fs) è definito dal rapporto tra la capacità di resistenza alla liquefazione (CRR), e la domanda di resistenza alla liquefazione (CSR):

$$\mathrm{Fs} = \frac{\mathrm{CRR}}{\mathrm{CSR}}$$

Pertanto, in un deposito, se la tensione tangenziale ciclica (CSR) prodotta da un sisma è maggiore della resistenza tangenziale del terreno (CRR), il fattore Fs definisce la propensione o meno del terreno sabbioso saturo a liquefare.

Nel metodo di Andrus e Stokoe (2000), la resistenza al taglio mobilitata (CRR), partendo dalla determinazione della velocità trasversale (Vs) ottenuta attraverso prove sismiche, viene stimata mediante la seguente espressione:

$$\mathrm{CRR} = 0.022 \cdot \left(\frac{K_C \cdot V_{S1}}{100}\right)^2 + \frac{2.8}{(V_{S1C} - K_C \cdot V_{S1})} - \frac{2.8}{V_{S1C}}$$

dove:

$\mathrm{K_C}$ = fattore di correzione per alti valori di $\mathrm{V_{S1}}$ causati da cementazione ed invecchiamento;
$\mathrm{V_{S1}}$ = valore della velocità delle onde S normalizzato rispetto alla tensione verticale efficace;
$\mathrm{V_{S1C}}$ = valore limite di $V_{S1}$ per il verificarsi di fenomeni di liquefazione, con:

- $\mathrm{V_{S1C}} = 215$ m/s per FC ≤ 5%;
- $\mathrm{V_{S1C}} = 215 - 0.5 \cdot (\mathrm{FC} - 5)$ m/s per 5% ≤ FC < 35%;
- $\mathrm{V_{S1C}} = 200$ m/s per FC ≥ 35%.

Invece il parametro CSR viene calcolato con la seguente espressione:

$$\mathrm{CSR} = \frac{\tau_{\mathrm{av}}}{\sigma'_{\mathrm{vo}}} = 0.65 \cdot \frac{\mathrm{a_{max}}}{\mathrm{g}} \cdot \frac{\sigma_{\mathrm{vo}}}{\sigma'_{\mathrm{vo}}} \cdot \mathrm{r_d} \cdot \frac{1}{\mathrm{MSF}}$$

dove:

$\tau_{av}$ = valore medio definito come 0.65 $\tau_{max}$; $a_{max}$ = accelerazione massima in superficie; g = accelerazione di gravità; $\sigma_{vo}$ = tensione verticale totale; $\sigma'_{vo}$ = tensione verticale efficace; $r_d$ = coefficiente di riduzione delle tensioni; MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma.

***Parametri di ingresso al metodo di calcolo – DPSH 1***

La verifica è stata effettuata considerando i seguenti parametri di ingresso al metodo di calcolo:

- Mw = 5,72 (Magnitudo media attesa definita dalla disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, calcolata sulla base della mappa della pericolosità sismica del territorio italiano dell'I.N.G.V. all'indirizzo http://esse1-gis.mi.ingv.it/);
- $a_{max}$ = 0,300 g (accelerazione sismica massima attesa al sito in funzione dello Stato Limite SLV);
- il modello di sottosuolo utilizzato è stato quello derivato dall'interpretazione dei risultati della prova penetrometrica dinamica DPSH 1 realizzata in sito;
- allo scopo di riprodurre un modello di calcolo nelle condizioni più sfavorevoli, a tutto vantaggio della stabilità e della sicurezza, si è considerato per gli intervalli analizzati un valore della percentuale della frazione di fino FC pari a 0%;
- falda acquifera a 1,00 m di profondità dall'attuale p.c..

| Strato | Descrizione | Profondità (m) | γ (g/cm$^3$) | Vs (m/sec) | FC (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| A | Terreno di riporto e/o rimaneggiato | 3.00 | 1.70 | 200 | 0 |
| B | Ghiaia e sabbia con livelli limoso-sabbiosi | 5.00 | 2.05 | 260 | |
| C | Limo sabbioso argilloso | 8.00 | 1.75 | 400 | |
| D | Ghiaia e sabbia | 12.00 | 2.10 | | |

***Parametri di ingresso al metodo di calcolo – DPSH 2***

La verifica è stata effettuata considerando i seguenti parametri di ingresso al metodo di calcolo:

- Mw = 5,72 (Magnitudo media attesa definita dalla disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, calcolata sulla base della mappa della

pericolosità sismica del territorio italiano dell'I.N.G.V. all'indirizzo http://esse1-gis.mi.ingv.it/);

- $a_{max}$ = 0,300 g (accelerazione sismica massima attesa al sito in funzione dello Stato Limite SLV);
- il modello di sottosuolo utilizzato è stato quello derivato dall'interpretazione dei risultati della prova penetrometrica dinamica DPSH 2 realizzata in sito;
- allo scopo di riprodurre un modello di calcolo nelle condizioni più sfavorevoli, a tutto vantaggio della stabilità e della sicurezza, si è considerato per gli intervalli analizzati un valore della percentuale della frazione di fino FC pari a 0%;
- falda acquifera a 5,00 m di profondità dall'attuale p.c..

| **Strato** | **Descrizione** | **Profondità** (m) | **γ** (g/cm³) | **Vs** (m/sec) | **FC** (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| A | Terreno di riporto e/o rimaneggiato | 2.20 | 1.80 | 200 | 0 |
| | | 7.00 | | 260 | |
| B | Ghiaia e sabbia con livelli limoso-sabbiosi | 11.50 | 2.05 | 400 | |
| D | Ghiaia e sabbia | 12.00 | 2.10 | | |

***Risultati della verifica***

Le calcolazioni sono state eseguite mediante il Software "Liquefaction of soil 2014 – versione excel 2003-2007", allegato al volume "Liquefazione dei terreni" EPC S.r.l..

Come risultati si ottengono il valore del fattore di sicurezza alla liquefazione FS, il rischio di liquefazione (Iwasaki et. al., 1978), la probabilità di liquefazione (Juang et. al., 2001) e la suscettibilità alla liquefazione (Juang et. al., 2001).

I risultati delle verifiche effettuate sono riassunti nella tabella seguente:

## VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(DA PROVE SISMICHE)

EPC EDITORE

METODO DI ANDRUS E STOKOE (2000)

FORMULE:

$$V_{s1} = V_s \cdot \left(\frac{1}{\sigma'_{vo}}\right)^{0,25}$$

$$CRR = 0,022 \cdot \left(\frac{K_c \cdot V_{s1}}{100}\right)^2 + \frac{2.8}{(V_{s1c} - K_c \cdot V_{s1})} - \frac{2.8}{V_{s1c}}$$

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

RISULTATI:

| | 1° STRATO | 2° STRATO | 3° STRATO | 4° STRATO |
|---|---|---|---|---|
| Spessore | 3 | 2 | 3 | 4 |
| $V_{S1}$ | 268,034 | 292,417 | 437,306 | 366,427 |
| CRR | 0,166 | 0,188 | 0,486 | 0,264 |
| CSR (Mw = 5,72) | 0,128 | 0,126 | 0,150 | 0,121 |
| $r_d$ | 0,98 | 0,96 | 0,94 | 0,86 |
| 1 < Fs = CRR/CSR (Mw = 5,72) Fs | 1,295 Verificato | 1,497 Verificato | 3,242 Verificato | 2,178 Verificato |
| 1,25 < Fs = CRR/CSR (Mw = 5,72) $Fs_{(NCT08)}$ | 1,295 Verificato | 1,497 Verificato | 3,242 Verificato | 2,178 Verificato |
| RISCHIO *di Liquefazione* (Iwasaki et.al.,1978) | Molto Basso | | | |
| PROBABILITA' *di Liquefazione* (Juang et. al., 2001) [$P_L$ (%)] | 0,12 | 0,08 | 0,01 | 0,02 |
| SUSCETTIBILITA' *di Liquefazione* (Juang et. al., 2001) | Liquef. incerta | Liquef. incerta | Liquef. incerta | Liquef. incerta |

**Committente:** PROVINCIA DELL'AQUILA
**Riferimento:** PONTE DELLA SP 105 'DI MONTE CABBIA' - DPSH 1
**Località:** MONTEREALE **Prov.:** AQ
**Oggetto:** VERIFICA A LIQUEFAZIONE

STRATIGRAFIA 4

## VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(DA PROVE SISMICHE)

EPC EDITORE

METODO DI ANDRUS E STOKOE (2000)

FORMULE:

$$V_{s1} = V_s \cdot \left(\frac{1}{\sigma'_{vo}}\right)^{0,25}$$

$$CRR = 0,022 \cdot \left(\frac{K_c \cdot V_{s1}}{100}\right)^2 + \frac{2.8}{(V_{s1c} - K_c \cdot V_{s1})} - \frac{2.8}{V_{s1c}}$$

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

RISULTATI:

| | 1° STRATO | 2° STRATO | 3° STRATO | 4° STRATO |
|---|---|---|---|---|
| Spessore | 2,2 | 4,8 | 4,5 | 0,5 |
| $V_{S1}$ | 252,119 | 256,240 | 349,921 | 344,383 |
| CRR | 0,051 | 0,359 | 0,639 | 0,415 |
| CSR (Mw = 5,72) | 0,078 | 0,090 | 0,096 | 0,095 |
| $r_d$ | 0,98 | 0,95 | 0,87 | 0,86 |
| 1 < Fs = CRR/CSR (Mw = 5,72) Fs | 0,655 Verificato | 4,003 Verificato | 6,673 Verificato | 4,395 Verificato |
| 1,25 < Fs = CRR/CSR (Mw = 5,72) $Fs_{(NCT08)}$ | 0,655 Verificato | 4,003 Verificato | 6,673 Verificato | 4,395 Verificato |
| RISCHIO *di Liquefazione* (Iwasaki et.al.,1978) | Basso | | | |
| PROBABILITA' *di Liquefazione* (Juang et. al., 2001) [$P_L$ (%)] | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SUSCETTIBILITA' *di Liquefazione* (Juang et. al., 2001) | Liquef. incerta | Liquef. incerta | Liquef. incerta | Liquef. incerta |

**Committente:** PROVINCIA DELL'AQUILA
**Riferimento:** PONTE DELLA SP 105 'DI MONTE CABBIA' - DPSH 2
**Località:** MONTEREALE **Prov.:** AQ
**Oggetto:** VERIFICA A LIQUEFAZIONE

STRATIGRAFIA 4

Dall'analisi dei risultati ottenuti secondo il metodo di calcolo proposto, si evidenziano Fattori di sicurezza Fs maggiori di 1,25, il Rischio di Liquefazione da "Basso" (DPSH 2) a "Molto Basso"

(DPSH 1) e la Probabilità di Liquefazione [$P_L$ (%)] risulta essere compresa tra 0,01 e 0.012 (DPSH 1) e di 0,00 (DPSH 2), per una Suscettibilità di Liquefazione che indica "Liquefazione incerta".

Occorre sottolineare che nelle verifiche è stato considerato un valore della percentuale della frazione di fino FC pari a 0% e la falda acquifera a 1,00 m (DPSH 1) e 5,00 m (DPSH 2) di profondità dall'attuale p.c., al fine di effettuare le calcolazioni nelle condizioni più sfavorevoli. Ciò viene fatto unicamente a scopo cautelativo a tutto vantaggio della stabilità e della sicurezza.

# 3. CONCLUSIONI

Le informazioni ricavate dall'analisi dei dati bibliografici e cartografici, unitamente a quelle acquisite attraverso il rilevamento geologico e geomorfologico di superficie e sulla scorta delle indagini realizzate hanno permesso di definire un modello geologico di riferimento del sito d'interesse, che può essere sintetizzato nei seguenti punti:

- i terreni che affiorano nell'area in esame appartengono ai depositi continentali di origine alluvionale *(b)* dell'Olocene, costituiti da ghiaie sabbiose, ghiaie limose, sabbie, limi, limi sabbiosi e argille limose;
- l'area oggetto di studio si colloca all'interno di un contesto sismico di rilevante importanza, in quanto è diffusa la presenza di lineamenti tettonici costituiti da sovrascorrimenti, faglie e faglie dirette con andamento all'incirca NW-SE e W-E. In particolare, nelle vicinanze del sito in esame sono presenti graficismi lineari indicanti una faglia diretta ed una faglia sinsedimentaria;
- dal punto di vista geomorfologico, l'analisi cartografica della pericolosità del P.A.I. mostra come l'area in esame non sia perimetrata tra quelle definite a pericolosità da frana, mentre, per quanto riguarda la pericolosità da inondazione, la lettura della Carta della Pericolosità Idraulica colloca il sito in esame all'interno delle aree definite a *Pericolosità molto elevata*, a *Pericolosità elevata*, a *Pericolosità media* e a *Pericolosità moderata* e la Carta della Pericolosità Alluvione fluviale, anche all'interno delle *Aree a potenziale rischio significativo di alluvione*. La Carta Aree Esondabili riporta come il sito in esame sia ubicato all'interno di un'*area a rischio di inondazione*;
- dal punto di vista dell'attività sismica l'area in esame è situata ad una distanza di 7,88 km dal probabile epicentro di un terremoto con una Magnitudo momento attesa, in funzione delle Stato Limite analizzato, pari a 5.72 (*terremoto di scenario*);
- per quanto riguarda la prova penetrometrica dinamica DPSH 1, un sottosuolo caratterizzato dalla presenza, a partire dal piano campagna, di uno strato superficiale, fino a circa 2,50 ÷ 3,00 m di profondità dall'attuale piano campagna, rappresentato da terreno di riporto e/o rimaneggiato dalle scadenti proprietà fisico-meccaniche, seguito, verso il basso, da uno strato di ghiaia e sabbia con livelli limoso-sabbiosi. Alla profondità di circa 4,50 ÷ 5,00 m dal locale piano campagna, è presente uno strato di limo sabbioso argilloso, seguito, verso il basso, fino a circa 7,50 ÷ 8,00 m di profondità dal locale piano campagna, da uno strato di

ghiaia e sabbia. L'intera successione risulta costituita da terreni appartenenti ai depositi continentali di origine alluvionale *(b)* dell'Olocene;

- per quanto riguarda la prova penetrometrica dinamica DPSH 2, un sottosuolo caratterizzato dalla presenza, a partire dal piano campagna, di uno strato superficiale, fino a circa 6,50 ÷ 7,00 m di profondità dall'attuale piano campagna, rappresentato da terreno di riporto e/o rimaneggiato dalle scadenti proprietà fisico-meccaniche, seguito, verso il basso, da uno strato di ghiaia e sabbia con livelli limoso-sabbiosi. Alla profondità di circa 11,00 ÷ 11,50 m dal locale piano campagna, è presente uno strato di ghiaia e sabbia. L'intera successione risulta costituita da terreni appartenenti ai depositi continentali di origine alluvionale *(b)* dell'Olocene;
- durante la realizzazione delle indagini, in particolare delle prove penetrometriche, è stata riscontrata la presenza di acqua nel sottosuolo ad una profondità di circa 1,40 (DPSH 1) ÷ 5,60 (DPSH 2) m dal locale piano campagna nel sottosuolo investigato. Tuttavia, non si esclude la possibilità che tale livello possa subire delle variazioni verso l'alto, in occasione di eventi meteorici di particolare intensità e/o durata;
- ai fini della definizione dell'azione sismica i risultati delle prove sismiche eseguite consentono di attribuire al suolo di fondazione la categoria di tipo **B**, mentre dalle analisi topografiche è possibile assegnare all'area una categoria topografica **T1**;
- i rapporti H/V delle analisi HVSR eseguite, mostrano un picco principale di risonanza a 6.00 Hz nella postazione HVSR 1 e a 6.30 Hz nella postazione HVSR 2;
- secondo la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, l'area in esame ricade all'interno della "Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali" identificata con il codice "2013";
- dall'analisi dei risultati ottenuti secondo il metodo di calcolo proposto per le verifiche a liquefazione, si evidenziano Fattori di sicurezza Fs maggiori di 1,25.

Si rimane a disposizione per eventuali chiarimenti.

Villamagna (CH), gennaio 2026

il tecnico incaricato

**Geol. Debora Linda Di Candia**

# BIBLIOGRAFIA

Aiello E. (2021) – *Ruolo, Competenze e Responsabilità professionali del Progettista Geologo - Evoluzione normativa e aspetti progettuali.*

Ascione A., Cinque A., Miccadei E., Villani F. (2008) – *The Plio-Quaternary uplift of the Apennine Chain: new data from the analysis of topography and river valleys in Central Italy.* Geomorphology, 102, pp. 105 – 118.

Centamore E., Adamoli L., Berti D., Bigi G., Bigi S., Casnedi R., Cantalamessa G., Fumanti F., Morelli C., Micarelli C., Ridolfi M. & Salvucci R. (1992) – *Carta geologica dei bacini della Laga e del Cellino e dei rilievi carbonatici circostanti (Marche meridionali, Lazio nord-orientale, Abruzzo settentrionale)*. S.E.L.C.A., Via R. Giuliani 153 – Firenze.

Cosentino D., Cipollari P., Marsili P., Scrocca D. (2010) – *Geology of the central Apennines: a regional review*. In Beltrando M., Peccerillo A., Mattei M., Conticelli S., Doglioni C. Eds. The Geology of Italy, Journal of the Virtual Explorer, Electronic Edition 36: paper 11.

D'Alessandro L., Miccadei E., Piacentini T. (2003b) – *Morphostructural elements of central-eastern Abruzzi: contributions to the study of the role of tectonic on the morphogenesis of the Appennine chain*. In "*Uplift and erosion: driving processes and resulting landforms"*, International workshop, Siena, September 20 – 21, 2001. Quaternary International, 101 - 102C, pp. 115 – 124, Elsevier Science Ltd and INQUA, Oxford U.K.

DISS Working Group (2021) – *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. http://diss.rm.ingv.it/diss/, © INGV 2010 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Gruppo di lavoro (2004) – *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003*. Rapporto Conclusivo del Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

ISPRA Servizio geologico d'Italia (2011) – *Cartografia Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Progetto GARG).* https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/348_ANTRODOCO/Foglio.html

ISPRA Servizio geologico d'Italia – *Dataset of the ITHACA (Italy HAzard from CApable faults) project.* http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/#

Patacca E., Scandone P. (2007) – *Geology of the Southern Apennines.* Boll. Soc. Geol. It. Spec Issue CROP-04, 7, pp. 75-119.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., Antonucci A., 2022. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).* https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4

# ALLEGATI

1) Report prove penetrometriche dinamiche DPSH
2) Report indagine sismica multicanale MASW
3) Report indagine di tomografia sismica 2D
4) Report indagini sismiche passive a stazione singola HVSR

# ALLEGATO 1

Report prove penetrometriche dinamiche DPSH

Committente: PROVINCIA DELL'AQUILA Settore Viabilità
Descrizione: PONTE AL KM 15+226 DELLA SP 105 'DI MONTE CABBIA'
Localita': Fraz. Marana - Montereale (AQ)

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-100 PAGANI

| | |
|---|---|
| Rif. Norme | DIN 4094 |
| Peso Massa battente | 63,5 Kg |
| Altezza di caduta libera | 0,75 m |
| Peso sistema di battuta | 0,63 Kg |
| Diametro punta conica | 51,00 mm |
| Area di base punta | 20,43 cm² |
| Lunghezza delle aste | 1 m |
| Peso aste a metro | 6,31 Kg/m |
| Profondità giunzione prima asta | 0,40 m |
| Avanzamento punta | 0,20 m |
| Numero colpi per punta | N(20) |
| Coeff. Correlazione | 1,47 |
| Rivestimento/fanghi | No |
| Angolo di apertura punta | 90 ° |

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

# PROVA DPSH 1

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-100 PAGANI
Prova eseguita in data 02/12/2025
Profondità prova 8,20 m
Falda rilevata
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

| Profondità (m) | Nr. Colpi | Calcolo coeff. riduzione sonda Chi | Res. dinamica ridotta (Kg/cm²) | Res. dinamica (Kg/cm²) | Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²) | Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,20 | 1 | 0,855 | 8,98 | 10,51 | 0,45 | 0,53 |
| 0,40 | 2 | 0,851 | 17,88 | 21,01 | 0,89 | 1,05 |
| 0,60 | 2 | 0,847 | 16,34 | 19,29 | 0,82 | 0,96 |
| 0,80 | 2 | 0,843 | 16,27 | 19,29 | 0,81 | 0,96 |
| 1,00 | 3 | 0,840 | 24,29 | 28,93 | 1,21 | 1,45 |
| 1,20 | 3 | 0,836 | 24,19 | 28,93 | 1,21 | 1,45 |
| 1,40 | 2 | 0,833 | 16,06 | 19,29 | 0,80 | 0,96 |
| 1,60 | 2 | 0,830 | 14,78 | 17,82 | 0,74 | 0,89 |
| 1,80 | 1 | 0,826 | 7,36 | 8,91 | 0,37 | 0,45 |
| 2,00 | 2 | 0,823 | 14,67 | 17,82 | 0,73 | 0,89 |
| 2,20 | 1 | 0,820 | 7,31 | 8,91 | 0,37 | 0,45 |
| 2,40 | 1 | 0,817 | 7,28 | 8,91 | 0,36 | 0,45 |
| 2,60 | 1 | 0,814 | 6,74 | 8,28 | 0,34 | 0,41 |
| 2,80 | 7 | 0,811 | 47,04 | 57,97 | 2,35 | 2,90 |
| 3,00 | 16 | 0,759 | 100,53 | 132,51 | 5,03 | 6,63 |
| 3,20 | 20 | 0,756 | 125,22 | 165,63 | 6,26 | 8,28 |
| 3,40 | 17 | 0,753 | 106,07 | 140,79 | 5,30 | 7,04 |
| 3,60 | 19 | 0,751 | 110,36 | 146,97 | 5,52 | 7,35 |
| 3,80 | 6 | 0,798 | 37,06 | 46,41 | 1,85 | 2,32 |
| 4,00 | 5 | 0,796 | 30,79 | 38,68 | 1,54 | 1,93 |
| 4,20 | 11 | 0,794 | 67,54 | 85,09 | 3,38 | 4,25 |
| 4,40 | 8 | 0,791 | 48,98 | 61,88 | 2,45 | 3,09 |
| 4,60 | 6 | 0,789 | 34,36 | 43,54 | 1,72 | 2,18 |
| 4,80 | 11 | 0,787 | 62,83 | 79,83 | 3,14 | 3,99 |
| 5,00 | 9 | 0,785 | 51,27 | 65,31 | 2,56 | 3,27 |
| 5,20 | 2 | 0,783 | 11,36 | 14,51 | 0,57 | 0,73 |
| 5,40 | 1 | 0,781 | 5,67 | 7,26 | 0,28 | 0,36 |
| 5,60 | 1 | 0,779 | 5,32 | 6,83 | 0,27 | 0,34 |
| 5,80 | 2 | 0,777 | 10,62 | 13,67 | 0,53 | 0,68 |
| 6,00 | 2 | 0,775 | 10,60 | 13,67 | 0,53 | 0,68 |
| 6,20 | 1 | 0,774 | 5,29 | 6,83 | 0,26 | 0,34 |
| 6,40 | 2 | 0,772 | 10,55 | 13,67 | 0,53 | 0,68 |
| 6,60 | 3 | 0,770 | 14,92 | 19,37 | 0,75 | 0,97 |
| 6,80 | 2 | 0,769 | 9,93 | 12,92 | 0,50 | 0,65 |
| 7,00 | 4 | 0,767 | 19,82 | 25,83 | 0,99 | 1,29 |
| 7,20 | 7 | 0,766 | 34,61 | 45,20 | 1,73 | 2,26 |
| 7,40 | 6 | 0,764 | 29,61 | 38,75 | 1,48 | 1,94 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 7,60 | 7 | 0,763 | 32,68 | 42,85 | 1,63 | 2,14 |
| 7,80 | 14 | 0,711 | 60,95 | 85,69 | 3,05 | 4,28 |
| 8,00 | 12 | 0,760 | 55,82 | 73,45 | 2,79 | 3,67 |
| 8,20 | 50 | 0,559 | 170,95 | 306,04 | 8,55 | 15,30 |

| Prof. Strato (m) | NPDM | Rd (Kg/cm²) | Coeff. di correlaz. con Nspt | NSPT | Descrizione |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,6 | 1,77 | 16,76 | 1,47 | 2 | Strato |
| 5 | 8,78 | 67,91 | 1,47 | 12 | Strato |
| 7,6 | 3,08 | 20,1 | 1,47 | 4 | Strato |
| 8,2 | 13 | 79,57 | 1,47 | 19 | Strato |

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA




Ubicazione prova penetrometrica dinamica DPSH 1.

# PROVA DPSH 2

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-100 PAGANI
Prova eseguita in data 02/12/2025
Profondità prova 12,00 m
Falda rilevata
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

| Profondita' (m) | Nr. Colpi | Calcolo coeff. riduzione sonda Chi | Res. dinamica ridotta (Kg/cm²) | Res. dinamica (Kg/cm²) | Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²) | Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,20 | 1 | 0,855 | 8,98 | 10,51 | 0,45 | 0,53 |
| 0,40 | 6 | 0,851 | 53,64 | 63,04 | 2,68 | 3,15 |
| 0,60 | 5 | 0,847 | 40,84 | 48,22 | 2,04 | 2,41 |
| 0,80 | 3 | 0,843 | 24,40 | 28,93 | 1,22 | 1,45 |
| 1,00 | 4 | 0,840 | 32,39 | 38,57 | 1,62 | 1,93 |
| 1,20 | 4 | 0,836 | 32,26 | 38,57 | 1,61 | 1,93 |
| 1,40 | 4 | 0,833 | 32,13 | 38,57 | 1,61 | 1,93 |
| 1,60 | 3 | 0,830 | 22,18 | 26,73 | 1,11 | 1,34 |
| 1,80 | 3 | 0,826 | 22,09 | 26,73 | 1,10 | 1,34 |
| 2,00 | 7 | 0,823 | 51,35 | 62,38 | 2,57 | 3,12 |
| 2,20 | 6 | 0,820 | 43,85 | 53,47 | 2,19 | 2,67 |
| 2,40 | 4 | 0,817 | 29,13 | 35,64 | 1,46 | 1,78 |
| 2,60 | 4 | 0,814 | 26,97 | 33,13 | 1,35 | 1,66 |
| 2,80 | 4 | 0,811 | 26,88 | 33,13 | 1,34 | 1,66 |
| 3,00 | 5 | 0,809 | 33,49 | 41,41 | 1,67 | 2,07 |
| 3,20 | 3 | 0,806 | 20,03 | 24,85 | 1,00 | 1,24 |
| 3,40 | 5 | 0,803 | 33,27 | 41,41 | 1,66 | 2,07 |
| 3,60 | 3 | 0,801 | 18,59 | 23,21 | 0,93 | 1,16 |
| 3,80 | 3 | 0,798 | 18,53 | 23,21 | 0,93 | 1,16 |
| 4,00 | 4 | 0,796 | 24,63 | 30,94 | 1,23 | 1,55 |
| 4,20 | 2 | 0,794 | 12,28 | 15,47 | 0,61 | 0,77 |
| 4,40 | 3 | 0,791 | 18,37 | 23,21 | 0,92 | 1,16 |
| 4,60 | 2 | 0,789 | 11,45 | 14,51 | 0,57 | 0,73 |
| 4,80 | 3 | 0,787 | 17,14 | 21,77 | 0,86 | 1,09 |
| 5,00 | 3 | 0,785 | 17,09 | 21,77 | 0,85 | 1,09 |
| 5,20 | 7 | 0,783 | 39,78 | 50,80 | 1,99 | 2,54 |
| 5,40 | 5 | 0,781 | 28,34 | 36,28 | 1,42 | 1,81 |
| 5,60 | 5 | 0,779 | 26,62 | 34,17 | 1,33 | 1,71 |
| 5,80 | 4 | 0,777 | 21,25 | 27,34 | 1,06 | 1,37 |
| 6,00 | 2 | 0,775 | 10,60 | 13,67 | 0,53 | 0,68 |
| 6,20 | 3 | 0,774 | 15,86 | 20,50 | 0,79 | 1,03 |
| 6,40 | 4 | 0,772 | 21,10 | 27,34 | 1,06 | 1,37 |
| 6,60 | 5 | 0,770 | 24,87 | 32,29 | 1,24 | 1,61 |
| 6,80 | 10 | 0,769 | 49,64 | 64,58 | 2,48 | 3,23 |
| 7,00 | 5 | 0,767 | 24,77 | 32,29 | 1,24 | 1,61 |
| 7,20 | 10 | 0,766 | 49,44 | 64,58 | 2,47 | 3,23 |
| 7,40 | 13 | 0,714 | 59,95 | 83,95 | 3,00 | 4,20 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 7,60 | 11 | 0,763 | 51,35 | 67,33 | 2,57 | 3,37 |
| 7,80 | 13 | 0,711 | 56,60 | 79,57 | 2,83 | 3,98 |
| 8,00 | 8 | 0,760 | 37,21 | 48,97 | 1,86 | 2,45 |
| 8,20 | 3 | 0,759 | 13,93 | 18,36 | 0,70 | 0,92 |
| 8,40 | 6 | 0,757 | 27,81 | 36,73 | 1,39 | 1,84 |
| 8,60 | 13 | 0,706 | 53,39 | 75,62 | 2,67 | 3,78 |
| 8,80 | 18 | 0,705 | 73,79 | 104,71 | 3,69 | 5,24 |
| 9,00 | 13 | 0,703 | 53,20 | 75,62 | 2,66 | 3,78 |
| 9,20 | 10 | 0,752 | 43,76 | 58,17 | 2,19 | 2,91 |
| 9,40 | 5 | 0,751 | 21,85 | 29,09 | 1,09 | 1,45 |
| 9,60 | 11 | 0,750 | 45,72 | 60,97 | 2,29 | 3,05 |
| 9,80 | 13 | 0,699 | 50,35 | 72,05 | 2,52 | 3,60 |
| 10,00 | 17 | 0,698 | 65,74 | 94,22 | 3,29 | 4,71 |
| 10,20 | 13 | 0,697 | 50,19 | 72,05 | 2,51 | 3,60 |
| 10,40 | 6 | 0,746 | 24,79 | 33,25 | 1,24 | 1,66 |
| 10,60 | 14 | 0,694 | 51,45 | 74,09 | 2,57 | 3,70 |
| 10,80 | 25 | 0,643 | 85,13 | 132,31 | 4,26 | 6,62 |
| 11,00 | 21 | 0,642 | 71,39 | 111,14 | 3,57 | 5,56 |
| 11,20 | 20 | 0,691 | 73,17 | 105,85 | 3,66 | 5,29 |
| 11,40 | 15 | 0,690 | 54,80 | 79,39 | 2,74 | 3,97 |
| 11,60 | 19 | 0,689 | 66,31 | 96,21 | 3,32 | 4,81 |
| 11,80 | 17 | 0,688 | 59,25 | 86,09 | 2,96 | 4,30 |
| 12,00 | 50 | 0,537 | 136,02 | 253,19 | 6,80 | 12,66 |

| Prof. Strato (m) | NPDM | Rd (Kg/cm²) | Coeff. di correlaz. con Nspt | NSPT | Descrizione |
|---|---|---|---|---|---|
| 1,8 | 3,14 | 29,8 | 1,47 | 4 | Strato |
| 6,4 | 3,96 | 30,85 | 1,47 | 5 | Strato |
| 12 | 12,37 | 69,98 | 1,47 | 18 | Strato |

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



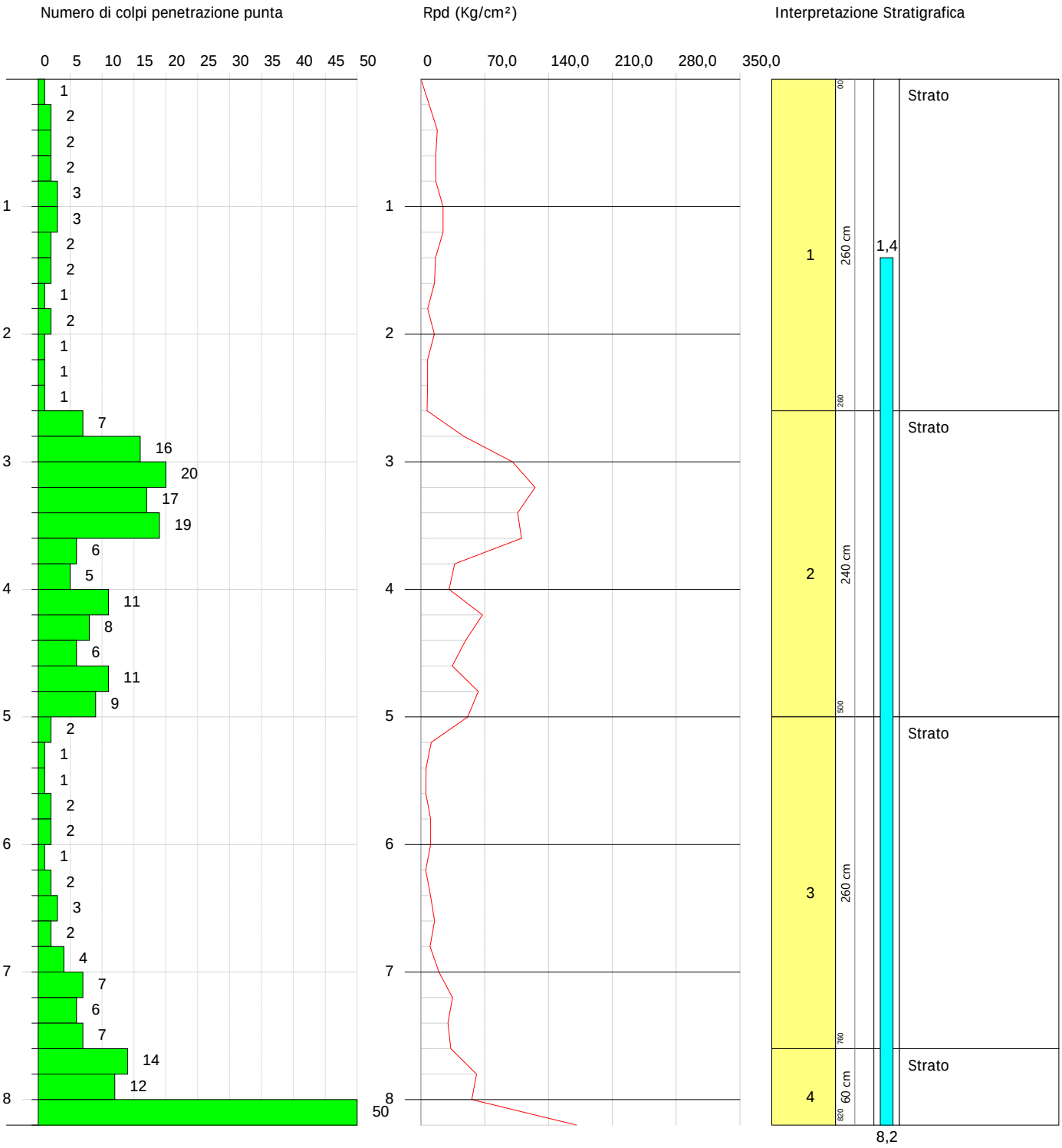

Ubicazione prova penetrometrica dinamica DPSH 2.

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 1**
**Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI**

Committente: PROVINCIA DELL'AQUILA Settore Viabilità
Descrizione: PONTE AL KM 15+226 DELLA SP 105 'DI MONTE CABBIA'
Localita': Fraz. Marana - Montereale (AQ)

02/12/2025

Scala 1:50

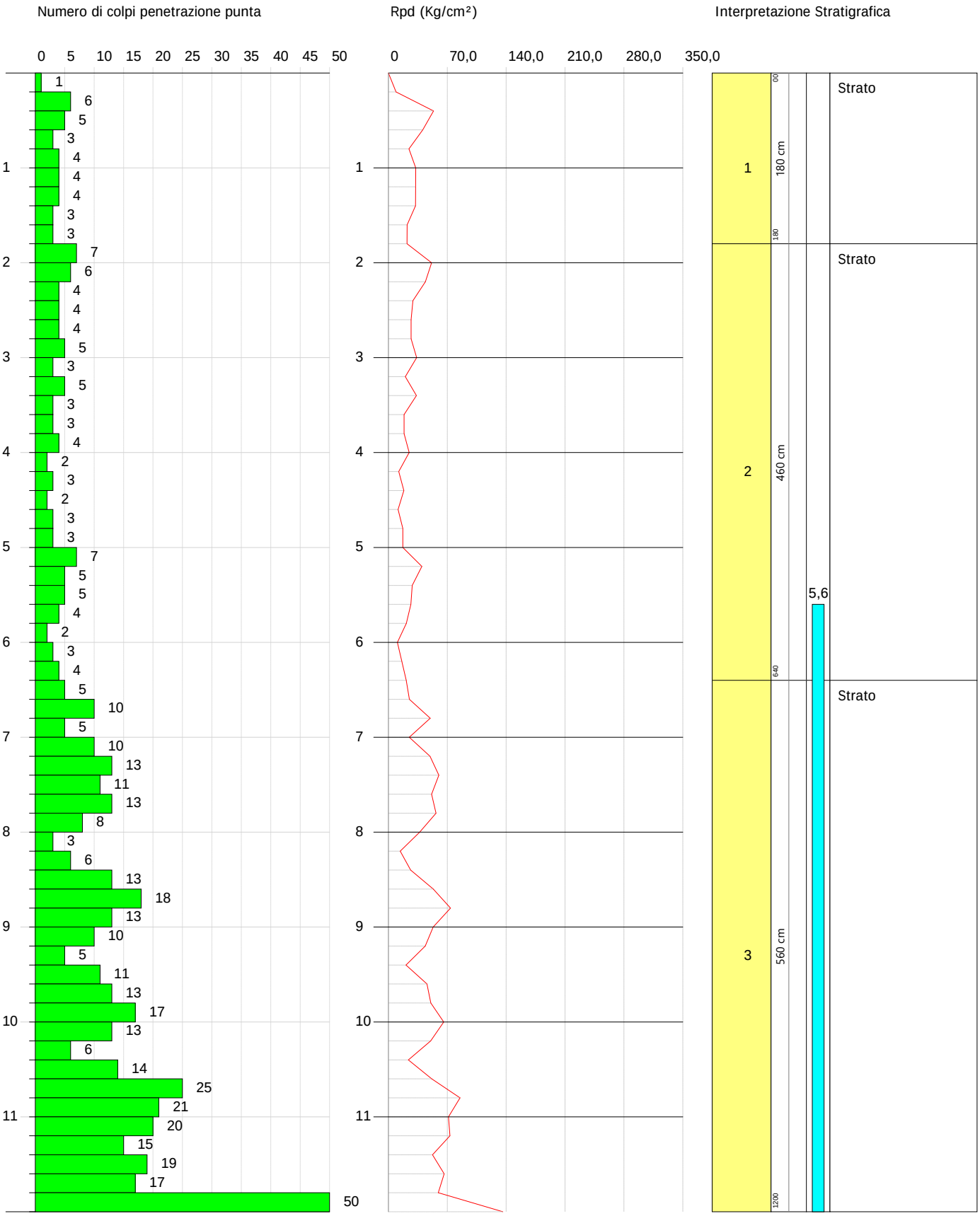


**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 2**
**Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI**

Committente: PROVINCIA DELL'AQUILA Settore Viabilità
Descrizione: PONTE AL KM 15+226 DELLA SP 105 'DI MONTE CABBIA'
Localita': Fraz. Marana - Montereale (AQ)

02/12/2025

Scala 1:62



# ALLEGATO 2

Report indagine sismica multicanale MASW

# PROSPEZIONE SISMICA MASW

| | | |
|---|---|---|
| **COMMITTENTE:** PROVINCIA DELL'AQUILA | Località | Fraz. Marana Montereale (AQ) |
| | Data acquisizione | 02/12/2025 |

## CENNI SULLA TEORIA MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

La metodologia **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves), è un tipo di indagine sismica attiva, non invasiva, finalizzata alla determinazione delle onde di taglio Vs attraverso la propagazione delle onde di superficie, ovvero le onde Love e le Rayleigh. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

La tecnica si basa sul principio secondo cui le varie componenti (frequenze) del segnale, viaggiano ad una velocità che dipende dalle caratteristiche del mezzo, ovvero il fatto che lunghezze d'onda diverse, viaggiano a velocità diversa. Nello specifico, le lunghezze d'onda più ampie sono influenzate dalla parte più profonda mentre le piccole lunghezze d'onda dipendono dalle caratteristiche della parte più superficiale. Questo comportamento viene definito dispersione in frequenza ed è alla base dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie, in quanto le diverse frequenze interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche degli strati attraversati. La curva di dispersione sperimentale rientra generalmente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30 – 50 m, in funzione della rigidezza del suolo stesso.

La tecnica consiste nella registrazione delle onde di Rayleigh formatesi successivamente all'impatto di una sorgente verticale, generalmente la classica martellata, o da un cannoncino. Tali onde vengono poi registrate tramite geofoni a componente verticale che invieranno il segnale al sismografo.

## STRUMENTI E METODOLOGIE

### SISMOGRAFO

Per l'acquisizione dati della presente indagine è stato utilizzato un sismografo modello *PASI GEA 24* le cui caratteristiche sono riportate di seguito:




- *Conversione dati:* Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali;
- *Intervallo campionamento:* -fino a 4000 microsec (250sps) con 24 can;
- *Lunghezza acquisizione:* 27500 campioni @ 24 can. (+aux);
- *Guadagno Preamp.:* 0/52 dB, selezionabile via software;
- *Stacking:* Numero di stacking illimitato;
- *Impedenza di ingresso:* 2MOhm // 22Nf;
- *Range Dinamico:* 144dB (sistema); >117db (istantaneo, misurato @1ksps);
- *Distorsione:* 0.007% @16kHz;
- *Trigger:* geofono starter, starter piezoelettrico. Sensibilità del trigger regolabile via software;
- *Interfaccia comunicazione:* 1x USB 2.0 per PC esterno
- *Formato Dati:* SEG2

### GEOFONI



- *Frequenza:* 4.5 Hz;
- *Tipo:* verticale;
- *Lunghezza cavo:* 1.00 m;
- *Puntale:* Acciaio da 75 mm;
- *Basetta:* Alluminio.

### SISTEMA ENERGIZZANTE

- Come sorgente energizzante è stata utilizzata una mazzetta da 8 kg battente direttamente su pavimentazione.

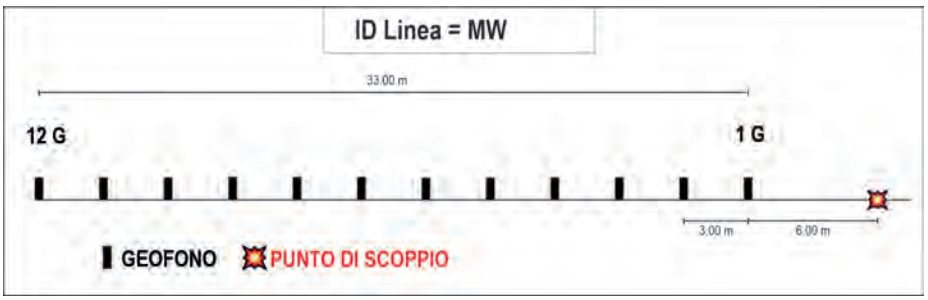
## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Ubicazione indagine sismica multicanale MASW (MW).

**PROCEDURE D'ACQUISIZIONE**

L'acquisizione è stata condotta tramite n. 1 stendimento lineare di 12 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz, spaziati 3,00 metri e con offset di 6,00 metri, per una lunghezza totale di 39,00 metri alla sorgente all'ultimo geofono.



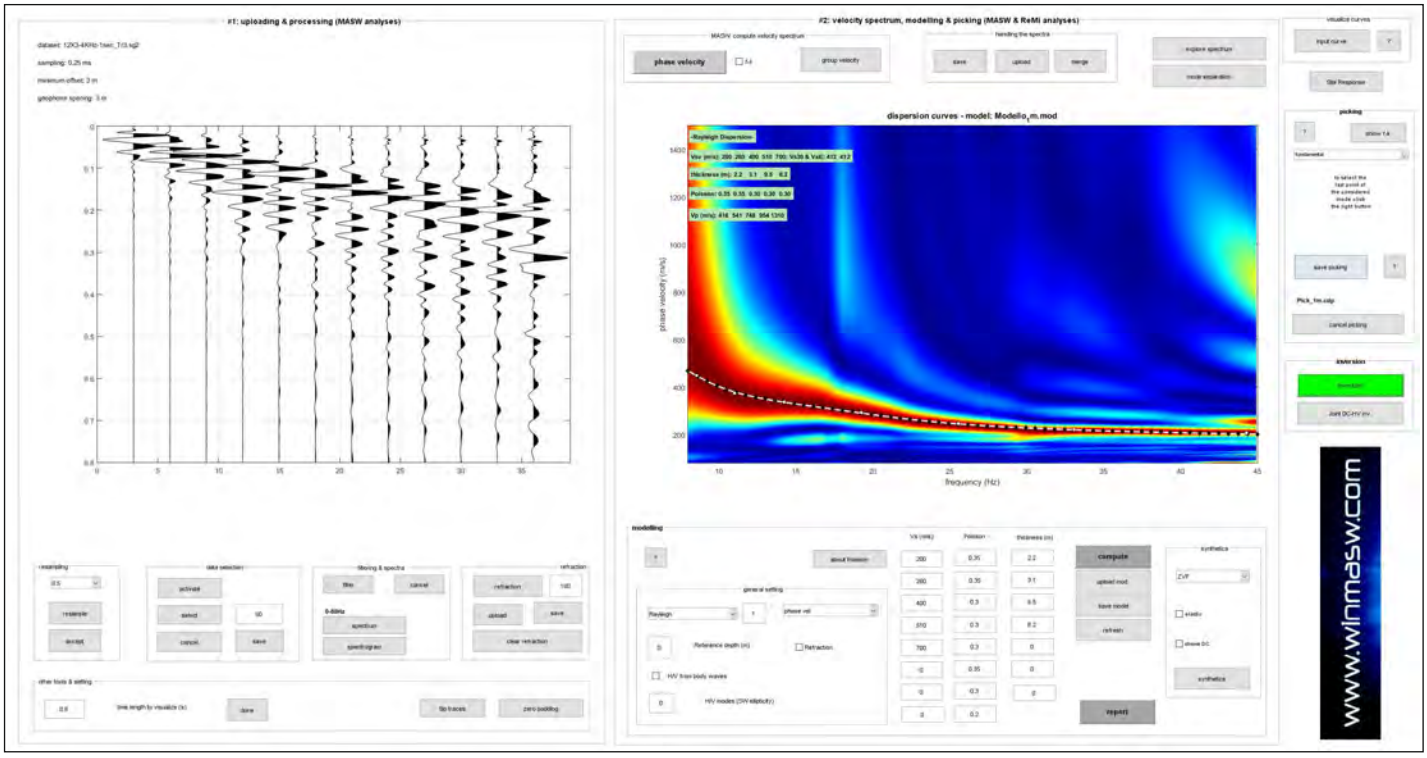

Geometria d'acquisizione

Effettuata la taratura dello strumento si è proceduto, tramite l'utilizzo di una massa battente dal peso di 10 kg, all'innesco del trigger che, nell'istante dello scoppio, ha iniziato a registrare. A seconda delle caratteristiche dei litotipi investigati si è proceduto con diversi stacking (sommatoria di più segnali) fino al raggiungimento del segnale desiderato.
Nello specifico non è stata utilizzata una piastra battente in quanto le caratteristiche del terreno di battuta consentivano una resa ottimale del segnale.

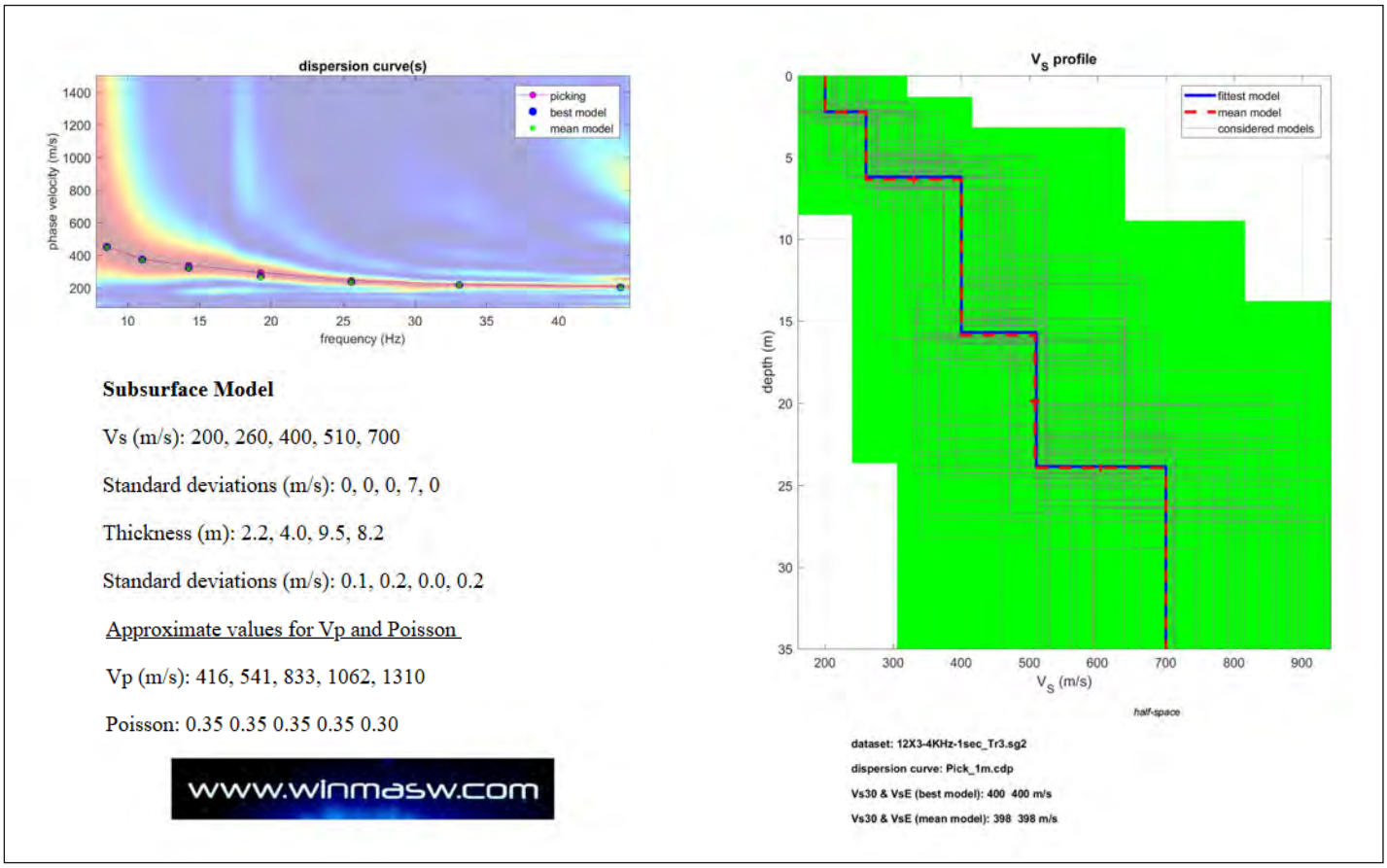
**Elaborazione**

Il trattamento e l'analisi dei dati ottenuti sono stati processati dalla procedura MASW, sono stati processati con il software WinMasw© della Eliosoft s.r.l. di Palmanova (UD), che applicando metodi di inversione matematica basati su algoritmi genetici, consente di ricavare il profilo verticale di velocità delle onde di taglio. Si riportano di seguito i risultati di tale analisi.

| | | |
|---|---|---|
| **COMMITTENTE:** PROVINCIA DELL'AQUILA | **Località** | Fraz. Marana<br>Montereale (AQ) |
| **ID LINEA:** MW | **Data acquisizione** | 02/12/2025 |




Tracce normalizzate, spettro delle velocità, modello sismostratigrafico di riferimento, relative curve di dispersione.



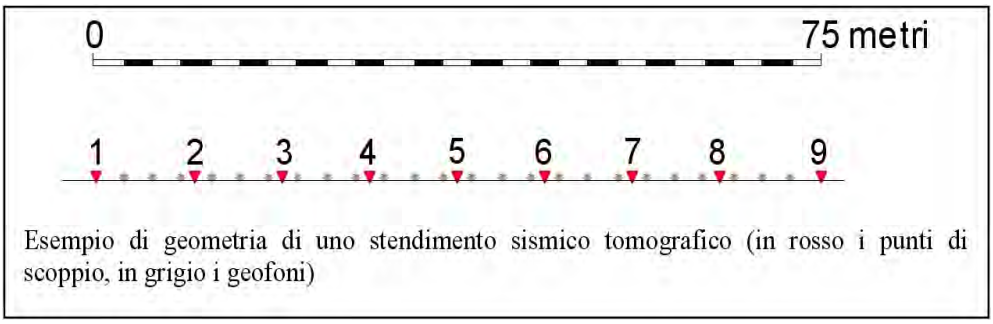

Spettro di velocità e relative curve di dispersione con indicato il picking (rosa), profilo verticale di Vs, modello di sottosuolo.

# ALLEGATO 3

Report indagine di tomografia sismica 2D

## INDAGINI DI TOMOGRAFIA SISMICA 2D

Per una ricostruzione bidimensionale di dettaglio delle caratteristiche meccanico-elastiche del sottosuolo e con lo scopo di evidenziare eventuali anomalie di velocità sismica dei terreni possono essere acquisiti profili superficiali di sismica a rifrazione con tecnica tomografica. Al fine di procedere ad elaborazione dati di tipo tomografico è necessario utilizzare numerosi punti di energizzazione.




Esempio di geometria di uno stendimento sismico tomografico (in rosso i punti di scoppio, in grigio i geofoni)

Le registrazioni sismiche vengono elaborate mediante un processo d'inversione per la ricostruzione della propagazione del fronte d'onda sismica. La procedura di interpretazione tomografica viene suddivisa in 2 fasi:

- applicazione di una tecnica di pseudo-inversione bidimensionale che realizza per ogni geofono un profilo continuo di velocità in funzione della profondità (metodo Delta-t-v - Gebrande e Miller, 1985), seguita dal calcolo di un profilo medio di "velocità-profondità" (media dei singoli profili di velocità alle profondità comuni), che, esteso lateralmente per tutta la lunghezza dello stendimento, consente la stima di un modello continuo monodimensionale di velocità in funzione della profondità (gradiente monodimensionale di velocità sismica);
- assumendo come dato di partenza il modello di velocità valutato in precedenza, si avvia il processo di inversione iterativo utilizzando un algoritmo tomografico che permette la ricostruzione della propagazione del fronte d'onda sismica, in maniera fisicamente significativa, attraverso una modellazione che utilizza il percorso dei raggi sismici.

Tale procedura consente di manipolare parecchie situazioni geologiche reali, quali distribuzioni discontinue della velocità sismica con brusche variazioni dei gradienti di velocità sia in senso verticale che laterale causate da zone di deformazione.

Il modello calcolato viene in seguito comparato con il modello sperimentale e se l'adattamento è considerato soddisfacente, sia dal punto di vista dell'errore matematico (residui temporali) sia considerando eventuali informazioni note riguardo le caratteristiche fisiche del sottosuolo indagato (dati geologici,

geognostici o di precedenti indagini geofisiche), tale risultato viene ufficializzato, rappresentando il modello attraverso una mappa della distribuzione della velocità in funzione della profondità.

Il controllo di qualità dei modelli sismostratigrafici è eseguito dalla diretta comparazione grafica tra i tempi di percorso valutati sperimentalmente e quelli calcolati dalla soluzione del modello. Per fornire informazioni sull'affidabilità del modello di velocità, viene anche considerata la copertura dei raggi sismici con la profondità lungo la sezione indagata.

RAPPORTO DI TOMOGRAFIA SISMICA 2D

Di seguito si riportano i dati e le elaborazioni dell'indagine sismica a rifrazione condotta in sito.

*Dati generali**:***

La base sismica condotta a corredo del presente studio è lunga 36.00 m, composta da n. 12 geofoni verticali con frequenza di 4.5 Hz e distanza intergeofonica di 3.0 m.

Per eseguire l'indagine in oggetto sono state effettuate n. 3 energizzazioni sia all'interno che all'esterno della linea sismica, mezzo massa battente del peso di 8 Kg.

I segnali sono stati registrati da un sismografo mod. PASI GEA 24 con le seguenti caratteristiche tecniche:

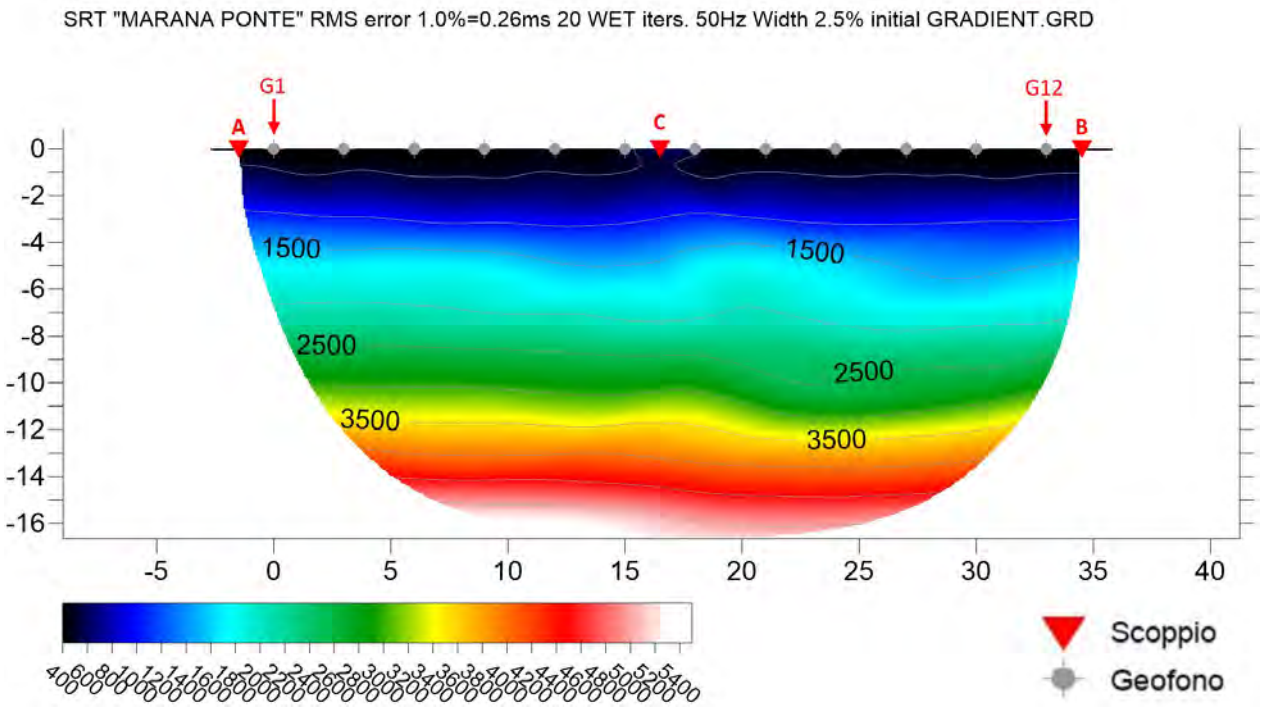
- ✓ capacità di campionamento dei segnali fino a 4000 microsec;
- ✓ filtri High Pass e Band Reject;
- ✓ "Automatic Gain Control";
- ✓ convertitore A/D a 24 bit reali;
- ✓ passo di campionatura pari a 2000 Hz.






*Interpretazione tomografica con software Rayfract version 3.35*

Di seguito è riportato un modello bidimensionale che rappresenta il risultato finale dello studio condotto rappresentato dalla relativa sezione sismo-stratigrafica ottenuta con la metodologia di inversione tomografica Smooth Inversion:




## *Documentazione fotografica*



Ubicazione indagine di tomografia sismica 2D (SRT)

# ALLEGATO 4

Report indagini sismiche passive a stazione singola HVSR

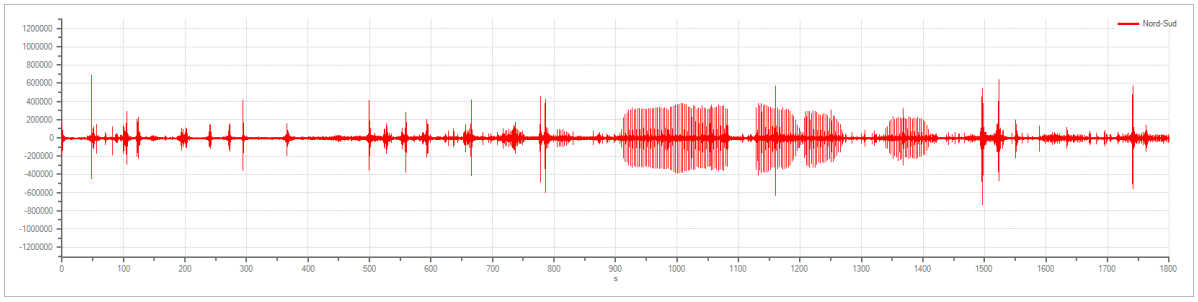
# HVSR 1

## Tracce in input

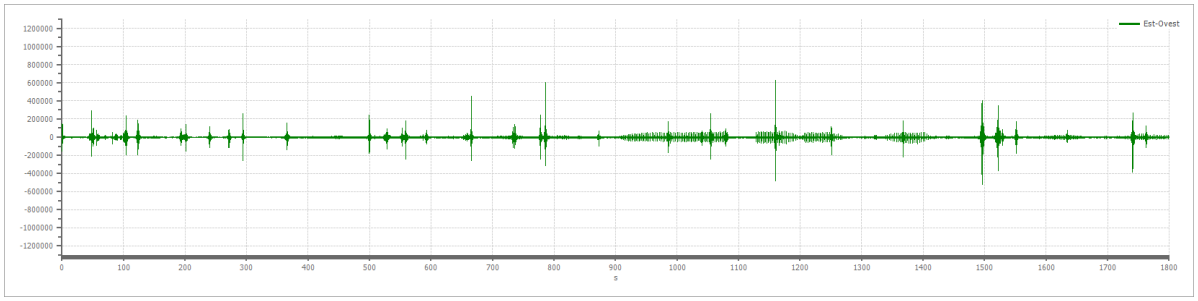
*Dati riepilogativi:*

| | |
|---|---|
| Numero tracce: | 3 |
| Durata registrazione: | 1800 s |
| Frequenza di campionamento: | 250.00 Hz |
| Numero campioni: | 450001 |
| Direzioni tracce: | Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale. |

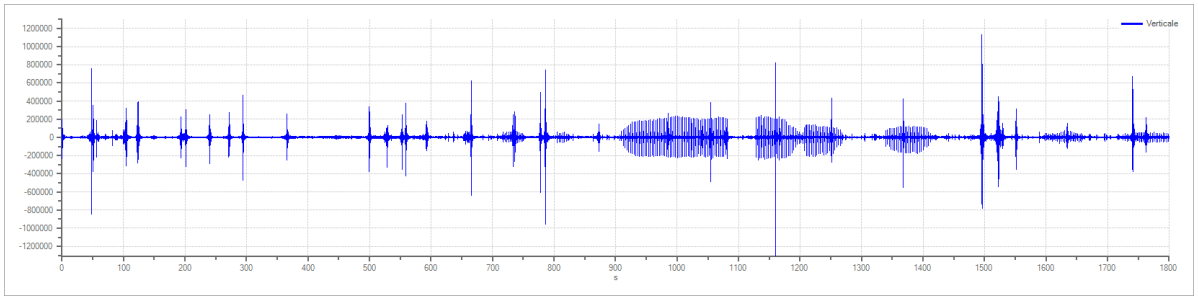
*Grafici tracce:*




Traccia in direzione Nord-Sud




Traccia in direzione Est-Ovest




Traccia in direzione Verticale

# Finestre selezionate

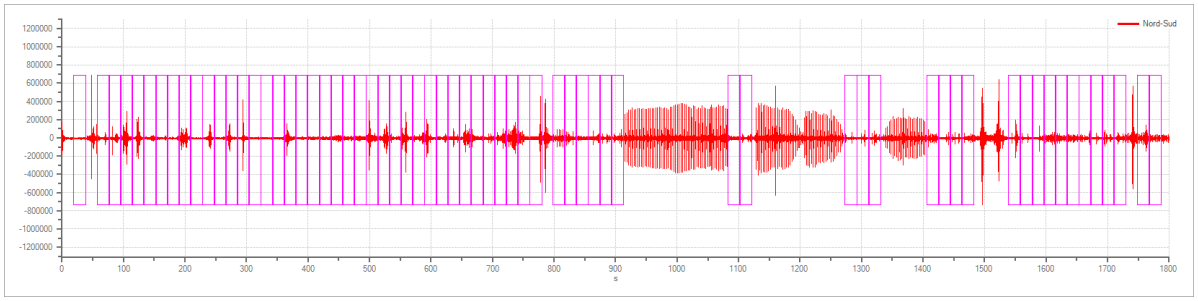
*Dati riepilogativi:*
Numero totale finestre selezionate: 66
Numero finestre incluse nel calcolo: 55
Dimensione temporale finestre: 20.000 s
Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento: 10.00 %
Coefficiente di banda: 40.00

*Tabella finestre:*

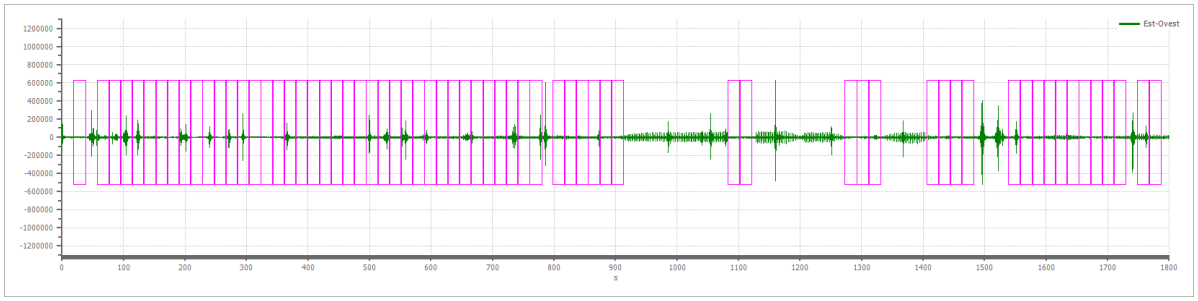
| Numero finestra | Istante iniziale | Istante finale | Selezione |
|---|---|---|---|
| 1 | 19 | 39 | Inclusa |
| 2 | 57 | 77 | Inclusa |
| 3 | 76 | 96 | Inclusa |
| 4 | 95 | 115 | Inclusa |
| 5 | 114 | 134 | Inclusa |
| 6 | 133 | 153 | Esclusa |
| 7 | 152 | 172 | Esclusa |
| 8 | 171 | 191 | Inclusa |
| 9 | 190 | 210 | Esclusa |
| 10 | 209 | 229 | Inclusa |
| 11 | 228 | 248 | Inclusa |
| 12 | 247 | 267 | Inclusa |
| 13 | 266 | 286 | Inclusa |
| 14 | 285 | 305 | Esclusa |
| 15 | 304 | 324 | Esclusa |
| 16 | 323 | 343 | Inclusa |
| 17 | 342 | 362 | Inclusa |
| 18 | 361 | 381 | Inclusa |
| 19 | 380 | 400 | Inclusa |
| 20 | 399 | 419 | Inclusa |
| 21 | 418 | 438 | Inclusa |
| 22 | 437 | 457 | Inclusa |
| 23 | 456 | 476 | Inclusa |
| 24 | 475 | 495 | Inclusa |
| 25 | 494 | 514 | Inclusa |
| 26 | 513 | 533 | Inclusa |
| 27 | 532 | 552 | Inclusa |
| 28 | 551 | 571 | Inclusa |
| 29 | 570 | 590 | Inclusa |
| 30 | 589 | 609 | Inclusa |
| 31 | 608 | 628 | Inclusa |
| 32 | 627 | 647 | Inclusa |
| 33 | 646 | 666 | Inclusa |
| 34 | 665 | 685 | Inclusa |
| 35 | 684 | 704 | Inclusa |
| 36 | 703 | 723 | Inclusa |
| 37 | 722 | 742 | Inclusa |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 38 | 741 | 761 | Inclusa |
| 39 | 760 | 780 | Inclusa |
| 40 | 798 | 818 | Inclusa |
| 41 | 817 | 837 | Inclusa |
| 42 | 836 | 856 | Inclusa |
| 43 | 855 | 875 | Esclusa |
| 44 | 874 | 894 | Esclusa |
| 45 | 893 | 913 | Esclusa |
| 46 | 1083 | 1103 | Inclusa |
| 47 | 1102 | 1122 | Inclusa |
| 48 | 1273 | 1293 | Inclusa |
| 49 | 1292 | 1312 | Inclusa |
| 50 | 1311 | 1331 | Inclusa |
| 51 | 1406 | 1426 | Inclusa |
| 52 | 1425 | 1445 | Inclusa |
| 53 | 1444 | 1464 | Inclusa |
| 54 | 1463 | 1483 | Inclusa |
| 55 | 1539 | 1559 | Inclusa |
| 56 | 1558 | 1578 | Inclusa |
| 57 | 1577 | 1597 | Inclusa |
| 58 | 1596 | 1616 | Inclusa |
| 59 | 1615 | 1635 | Inclusa |
| 60 | 1634 | 1654 | Esclusa |
| 61 | 1653 | 1673 | Esclusa |
| 62 | 1672 | 1692 | Inclusa |
| 63 | 1691 | 1711 | Inclusa |
| 64 | 1710 | 1730 | Inclusa |
| 65 | 1748 | 1768 | Esclusa |
| 66 | 1767 | 1787 | Inclusa |

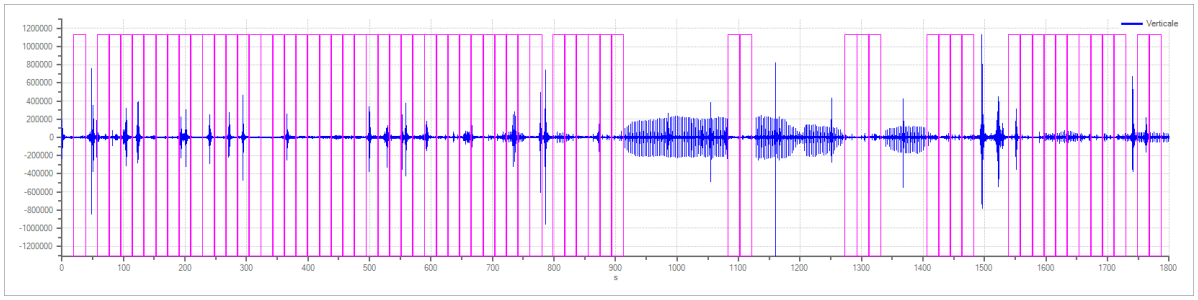
*Grafici tracce con finestre selezionate:*




Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

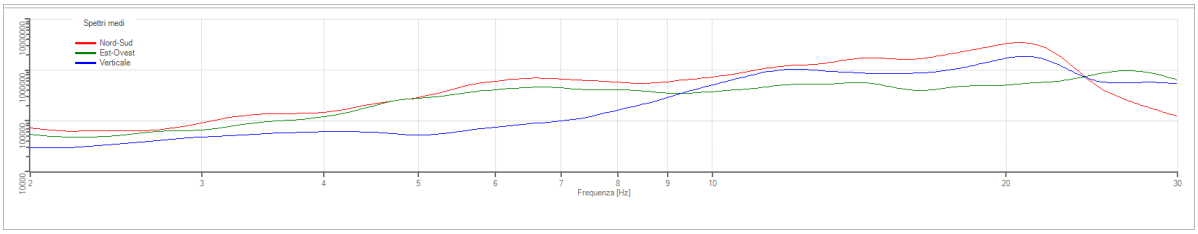



Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

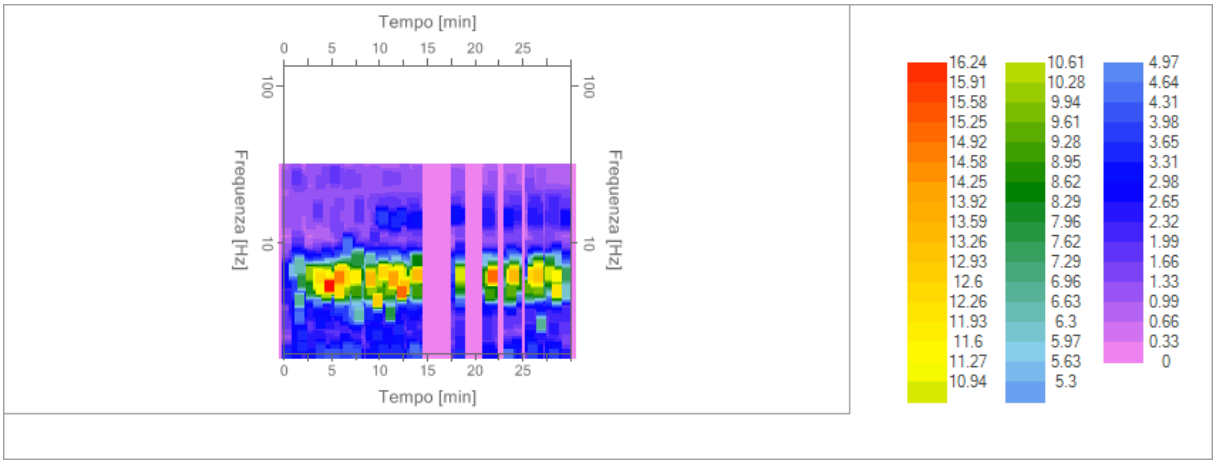



Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

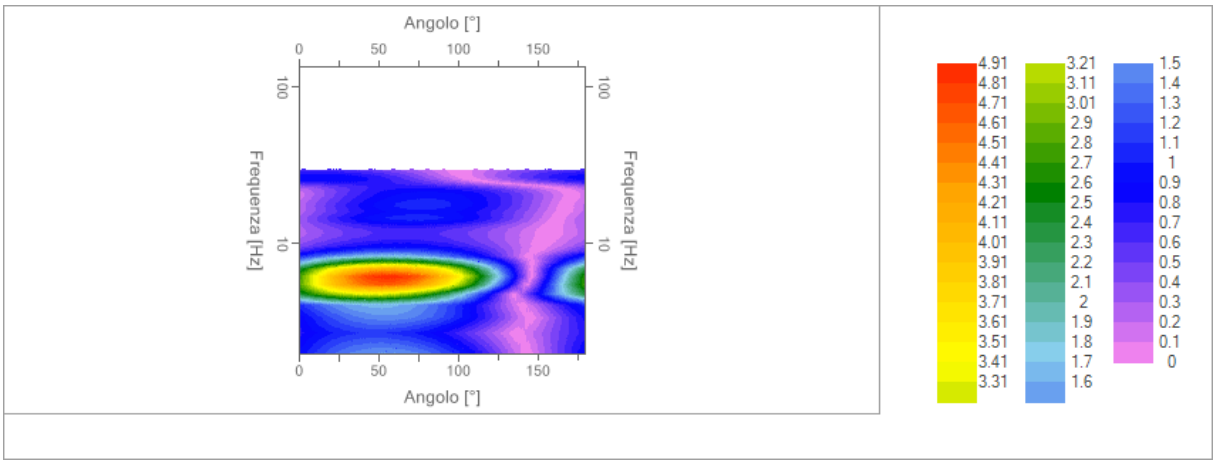
*Grafici degli spettri:*




Spettri medi nelle tre direzioni




Mappa della stazionarietà degli spettri




Mappa della direzionalità degli spettri

# Rapporto spettrale H/V

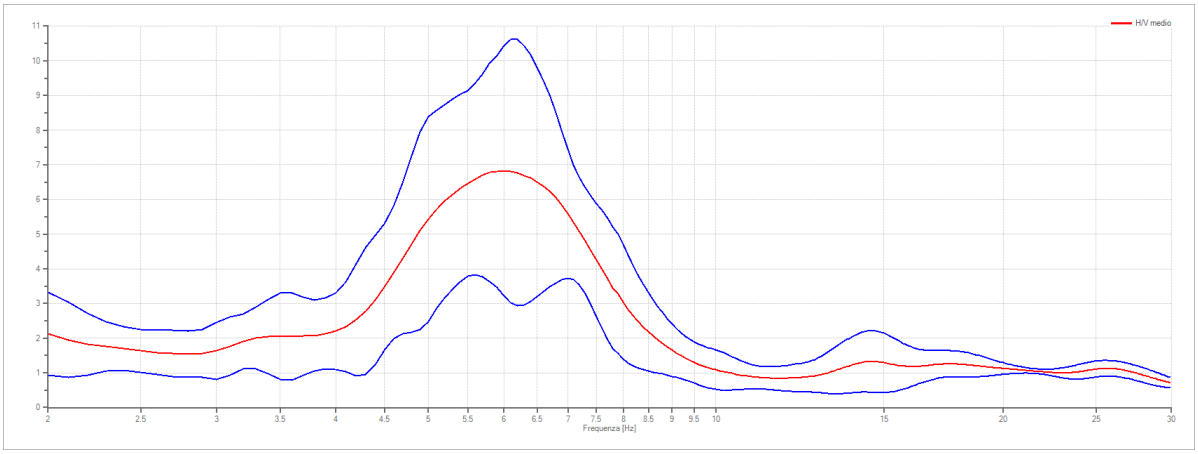
*Dati riepilogativi:*

| | |
|---|---|
| Frequenza massima: | 30.00 Hz |
| Frequenza minima: | 2.00 Hz |
| Passo frequenze: | 0.10 Hz |
| Tipo lisciamento: | Konno & Ohmachi |
| Percentuale di lisciamento: | 10.00 % |
| Tipo di somma direzionale: | Media aritmetica |

*Risultati:*

Frequenza del picco del rapporto H/V: 6.00 Hz ±0.53 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 |
| $\sigma_A(f) < 2 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 > 0.5H$ | Ok |
| $\sigma_A(f) < 3 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 < 0.5H$ | 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 |
| $\sigma_f < \varepsilon(f)$ | Ok |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | Ok |

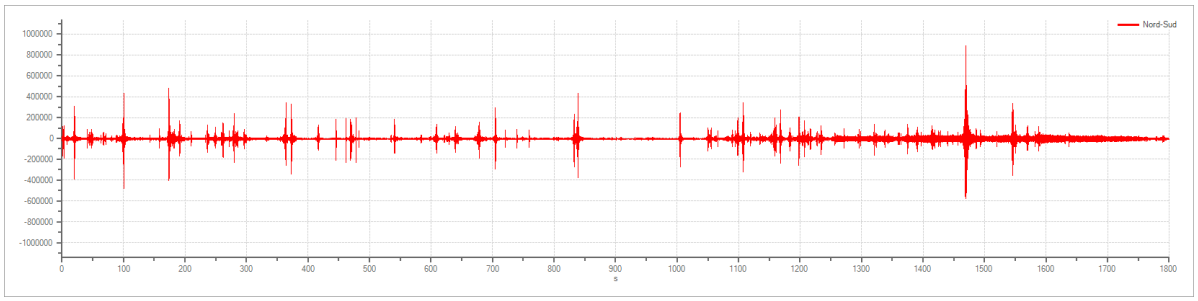
# HVSR 2

## Tracce in input

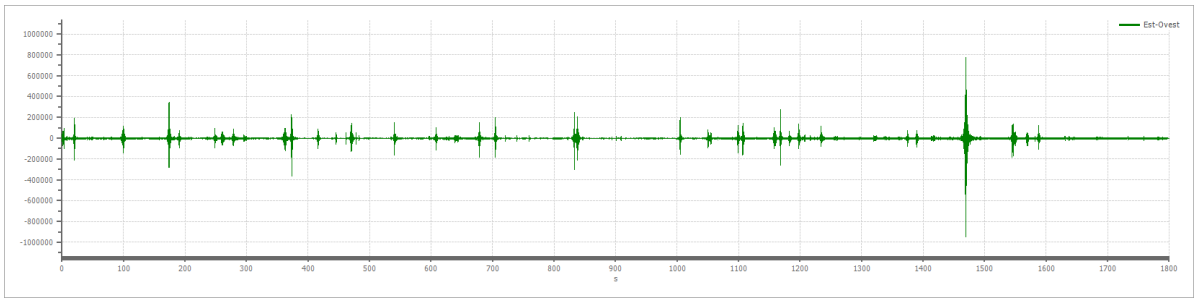
*Dati riepilogativi:*

| | |
|---|---|
| Numero tracce: | 3 |
| Durata registrazione: | 1800 s |
| Frequenza di campionamento: | 250.00 Hz |
| Numero campioni: | 450001 |
| Direzioni tracce: | Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale. |

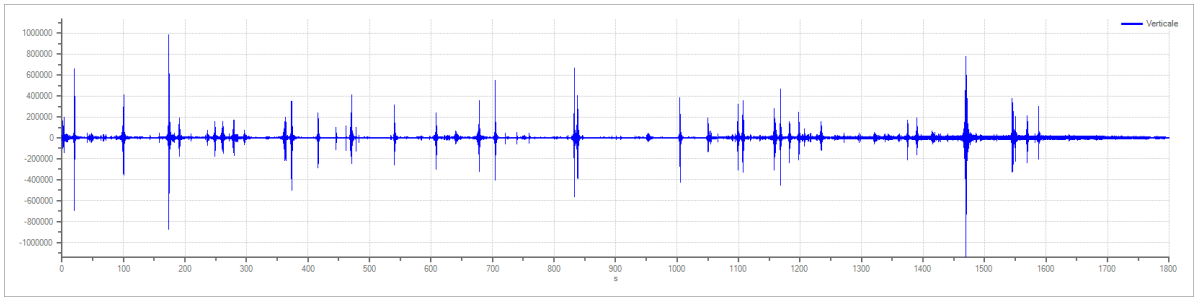
*Grafici tracce:*




Traccia in direzione Nord-Sud




Traccia in direzione Est-Ovest




Traccia in direzione Verticale

# Finestre selezionate

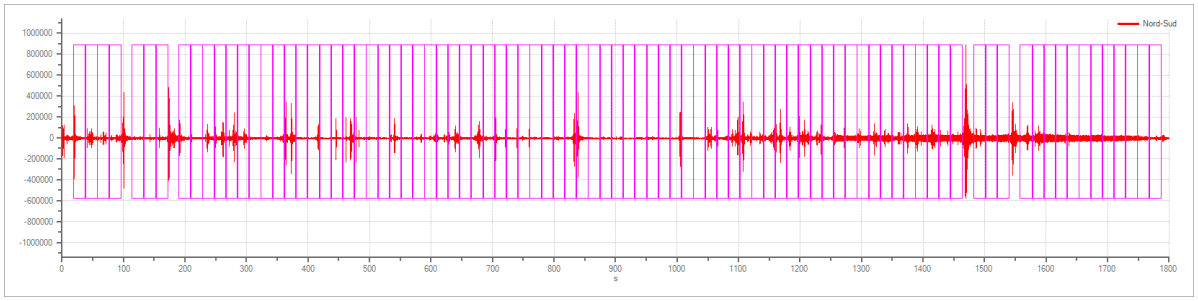
*Dati riepilogativi:*
Numero totale finestre selezionate: 89
Numero finestre incluse nel calcolo: 81
Dimensione temporale finestre: 20.000 s
Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento: 10.00 %
Coefficiente di banda: 40.00

*Tabella finestre:*

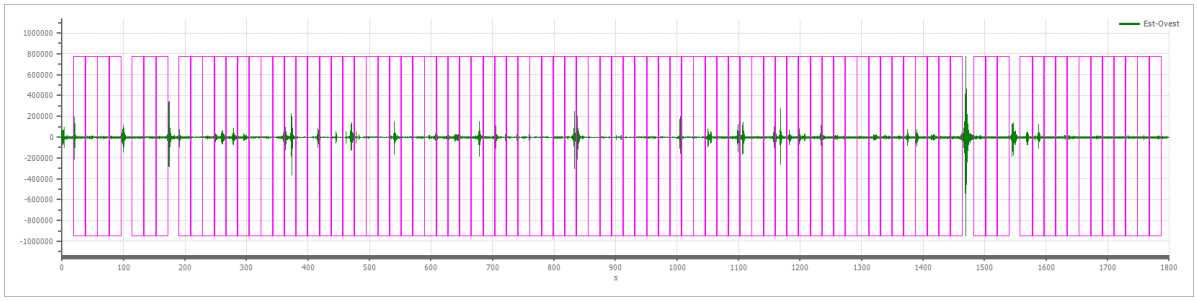
| Numero finestra | Istante iniziale | Istante finale | Selezione |
|---|---|---|---|
| 1 | 19 | 39 | Esclusa |
| 2 | 38 | 58 | Inclusa |
| 3 | 57 | 77 | Inclusa |
| 4 | 76 | 96 | Inclusa |
| 5 | 114 | 134 | Inclusa |
| 6 | 133 | 153 | Esclusa |
| 7 | 152 | 172 | Inclusa |
| 8 | 190 | 210 | Inclusa |
| 9 | 209 | 229 | Inclusa |
| 10 | 228 | 248 | Inclusa |
| 11 | 247 | 267 | Inclusa |
| 12 | 266 | 286 | Inclusa |
| 13 | 285 | 305 | Inclusa |
| 14 | 304 | 324 | Inclusa |
| 15 | 323 | 343 | Inclusa |
| 16 | 342 | 362 | Inclusa |
| 17 | 361 | 381 | Inclusa |
| 18 | 380 | 400 | Inclusa |
| 19 | 399 | 419 | Inclusa |
| 20 | 418 | 438 | Inclusa |
| 21 | 437 | 457 | Inclusa |
| 22 | 456 | 476 | Inclusa |
| 23 | 475 | 495 | Inclusa |
| 24 | 494 | 514 | Inclusa |
| 25 | 513 | 533 | Inclusa |
| 26 | 532 | 552 | Inclusa |
| 27 | 551 | 571 | Inclusa |
| 28 | 570 | 590 | Inclusa |
| 29 | 589 | 609 | Inclusa |
| 30 | 608 | 628 | Inclusa |
| 31 | 627 | 647 | Inclusa |
| 32 | 646 | 666 | Inclusa |
| 33 | 665 | 685 | Inclusa |
| 34 | 684 | 704 | Inclusa |
| 35 | 703 | 723 | Inclusa |
| 36 | 722 | 742 | Inclusa |
| 37 | 741 | 761 | Inclusa |
| 38 | 760 | 780 | Inclusa |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 39 | 779 | 799 | Inclusa |
| 40 | 798 | 818 | Esclusa |
| 41 | 817 | 837 | Inclusa |
| 42 | 836 | 856 | Inclusa |
| 43 | 855 | 875 | Inclusa |
| 44 | 874 | 894 | Inclusa |
| 45 | 893 | 913 | Inclusa |
| 46 | 912 | 932 | Inclusa |
| 47 | 931 | 951 | Inclusa |
| 48 | 950 | 970 | Inclusa |
| 49 | 969 | 989 | Esclusa |
| 50 | 988 | 1008 | Esclusa |
| 51 | 1007 | 1027 | Esclusa |
| 52 | 1026 | 1046 | Inclusa |
| 53 | 1045 | 1065 | Inclusa |
| 54 | 1064 | 1084 | Inclusa |
| 55 | 1083 | 1103 | Inclusa |
| 56 | 1102 | 1122 | Inclusa |
| 57 | 1121 | 1141 | Inclusa |
| 58 | 1140 | 1160 | Esclusa |
| 59 | 1159 | 1179 | Inclusa |
| 60 | 1178 | 1198 | Inclusa |
| 61 | 1197 | 1217 | Inclusa |
| 62 | 1216 | 1236 | Inclusa |
| 63 | 1235 | 1255 | Inclusa |
| 64 | 1254 | 1274 | Inclusa |
| 65 | 1273 | 1293 | Inclusa |
| 66 | 1292 | 1312 | Inclusa |
| 67 | 1311 | 1331 | Inclusa |
| 68 | 1330 | 1350 | Inclusa |
| 69 | 1349 | 1369 | Inclusa |
| 70 | 1368 | 1388 | Inclusa |
| 71 | 1387 | 1407 | Inclusa |
| 72 | 1406 | 1426 | Inclusa |
| 73 | 1425 | 1445 | Inclusa |
| 74 | 1444 | 1464 | Esclusa |
| 75 | 1482 | 1502 | Inclusa |
| 76 | 1501 | 1521 | Inclusa |
| 77 | 1520 | 1540 | Inclusa |
| 78 | 1558 | 1578 | Inclusa |
| 79 | 1577 | 1597 | Inclusa |
| 80 | 1596 | 1616 | Inclusa |
| 81 | 1615 | 1635 | Inclusa |
| 82 | 1634 | 1654 | Inclusa |
| 83 | 1653 | 1673 | Inclusa |
| 84 | 1672 | 1692 | Inclusa |
| 85 | 1691 | 1711 | Inclusa |
| 86 | 1710 | 1730 | Inclusa |
| 87 | 1729 | 1749 | Inclusa |
| 88 | 1748 | 1768 | Inclusa |
| 89 | 1767 | 1787 | Inclusa |

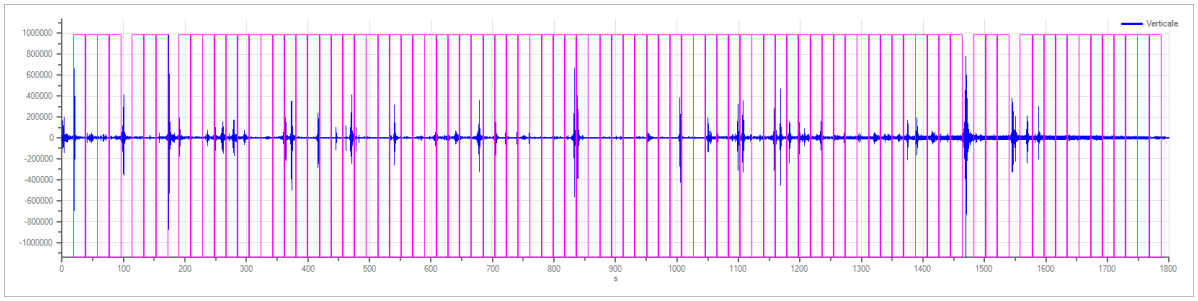
*Grafici tracce con finestre selezionate:*




Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

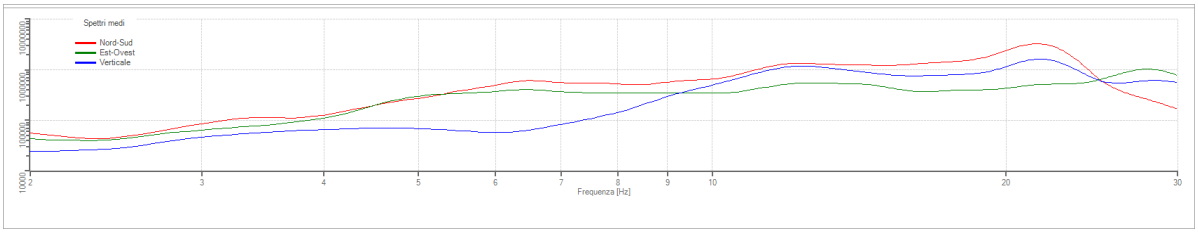



Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

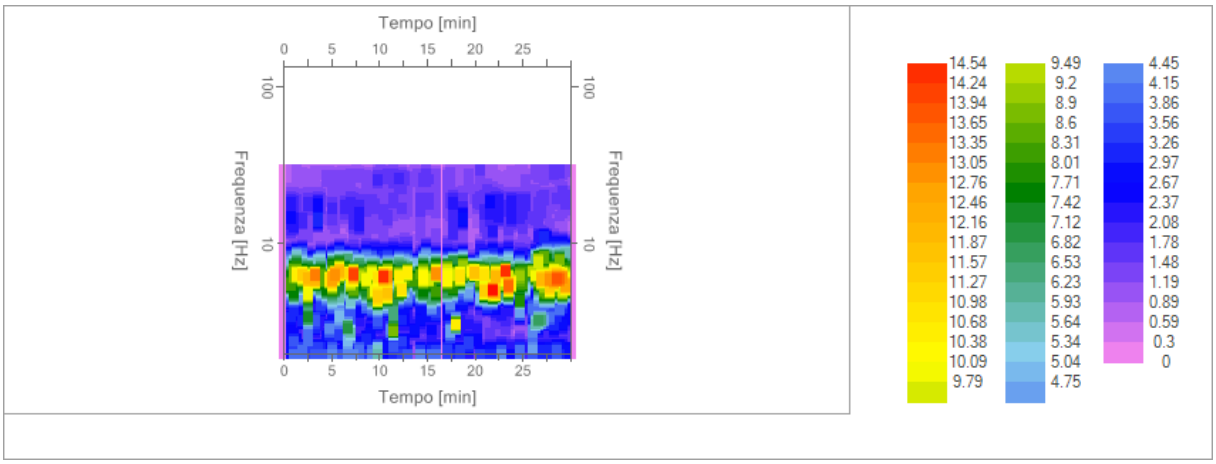



Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

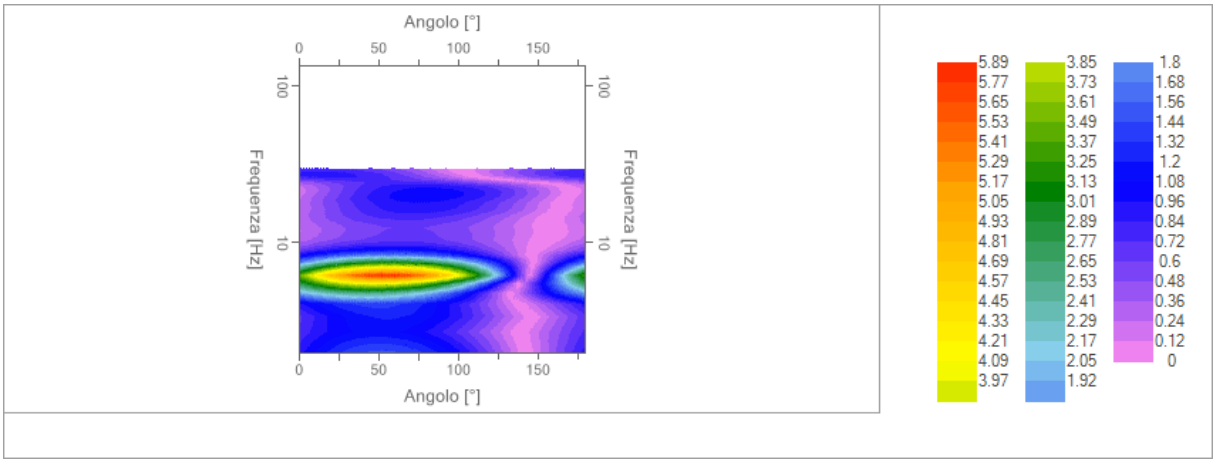
*Grafici degli spettri:*




Spettri medi nelle tre direzioni




Mappa della stazionarietà degli spettri




Mappa della direzionalità degli spettri

# Rapporto spettrale H/V

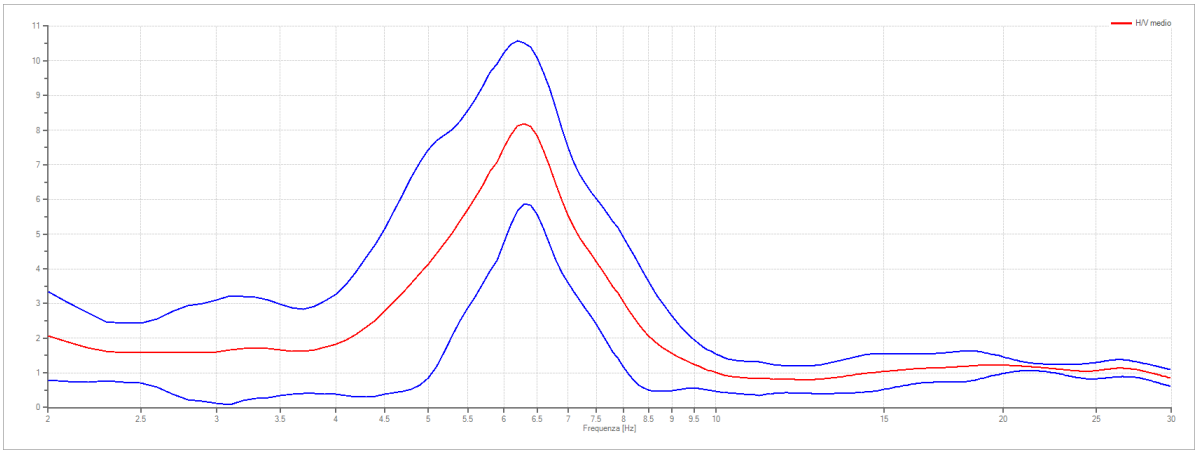
*Dati riepilogativi:*

| | |
|---|---|
| Frequenza massima: | 30.00 Hz |
| Frequenza minima: | 2.00 Hz |
| Passo frequenze: | 0.10 Hz |
| Tipo lisciamento: | Konno & Ohmachi |
| Percentuale di lisciamento: | 10.00 % |
| Tipo di somma direzionale: | Media aritmetica |

*Risultati:*

Frequenza del picco del rapporto H/V: 6.30 Hz ±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 |
| $\sigma_A(f) < 2 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 > 0.5Hz$ | Ok |
| $\sigma_A(f) < 3 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 < 0.5Hz$ | 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 |
| $\sigma_f < \varepsilon(f)$ | Ok |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | Ok |

# DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Ubicazione indagine sismica passiva a stazione singola HVSR 1.



Ubicazione indagine sismica passiva a stazione singola HVSR 2.

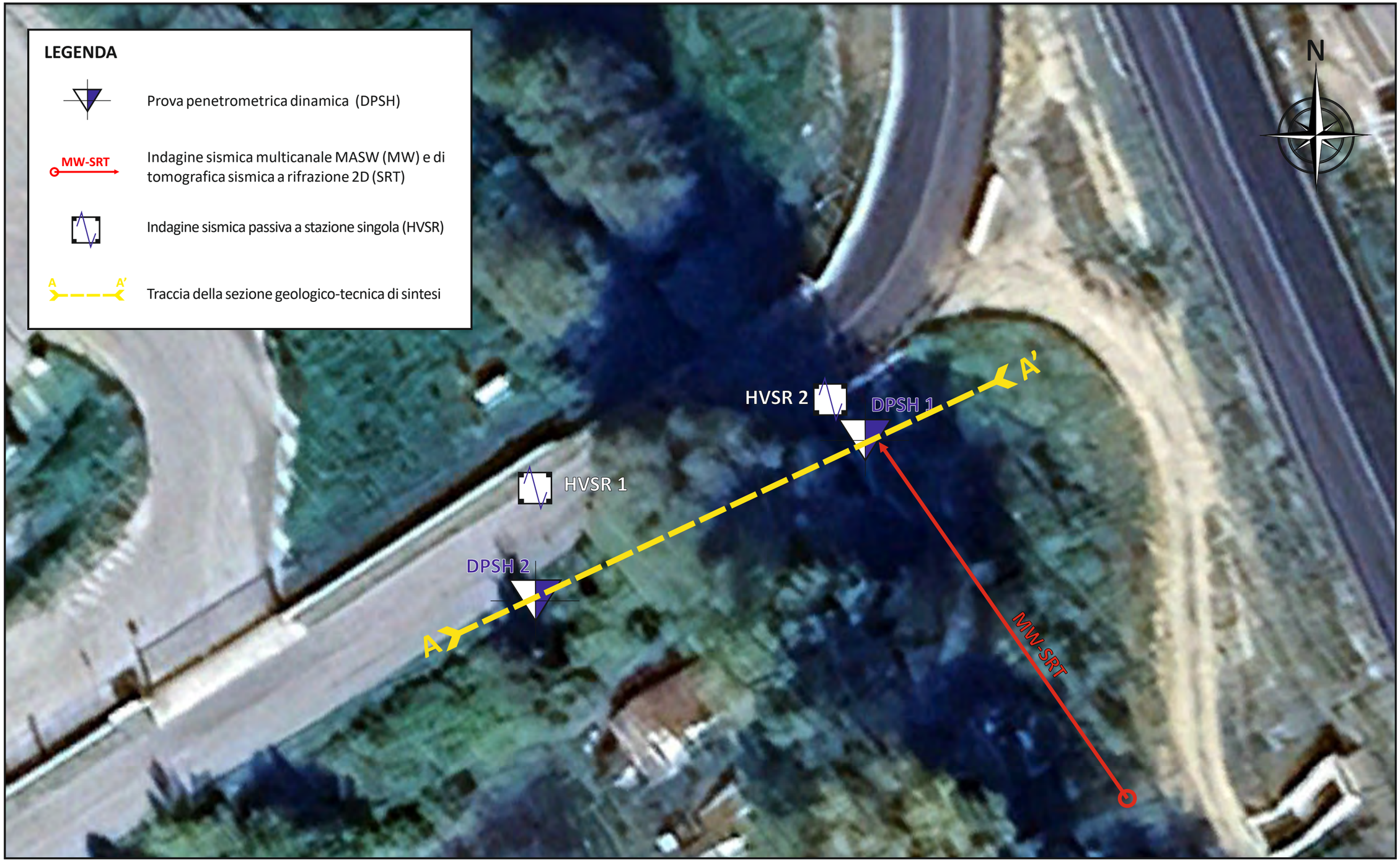
# TAVOLE

1) Ubicazione delle indagini eseguite in sito, scala 1:300
2) Modello geologico-tecnico di sintesi del sottosuolo, scala 1:200

# TAVOLA 1

Ubicazione delle indagini eseguite in sito, scala 1:300

# UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE IN SITO - Scala 1:300



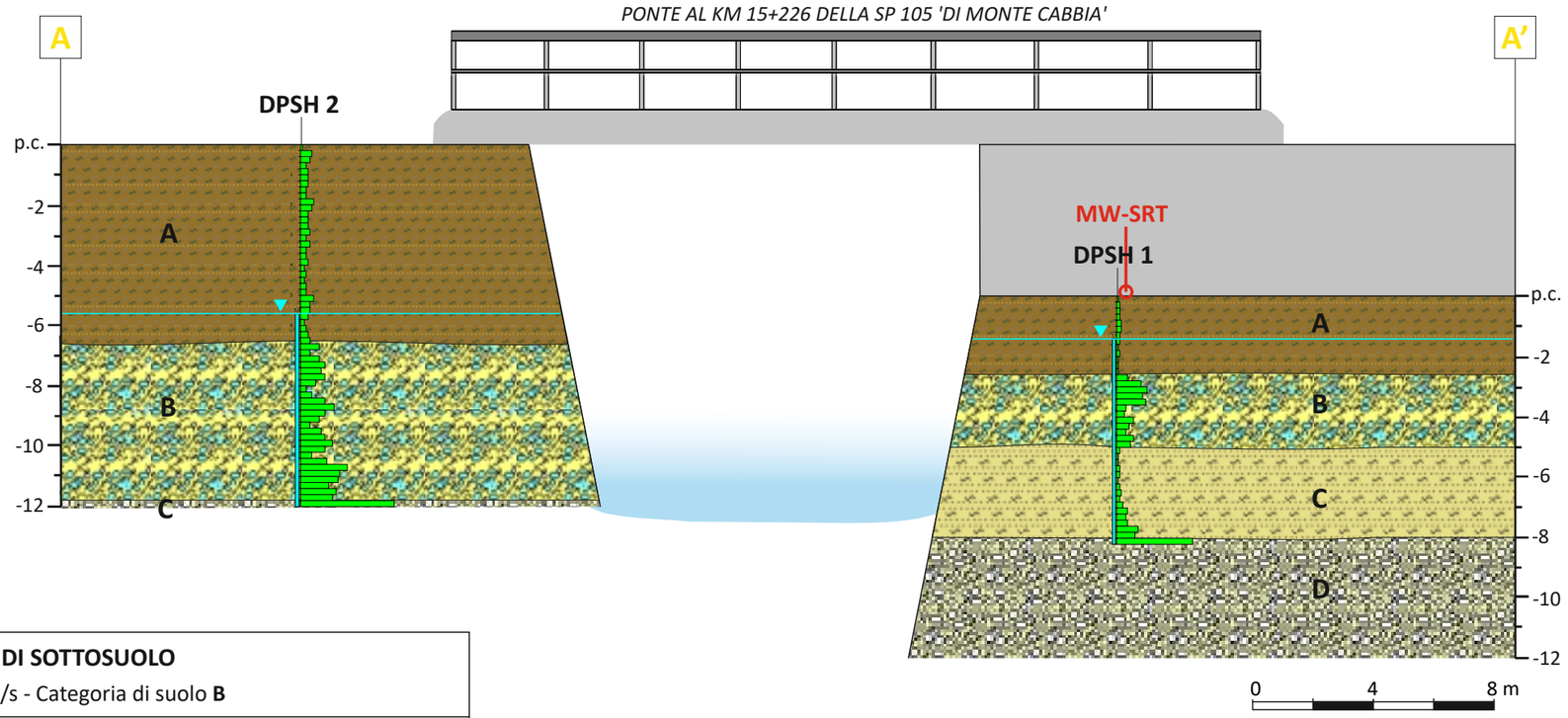
# TAVOLA 2

Modello geologico-tecnico di sintesi del sottosuolo, scala 1:200

# MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DI SINTESI DEL SOTTOSUOLO - Scala 1:200

**LEGENDA**

- Grafico penetrometrica dinamica con profondità della falda (DPSH)
- MW-SRT — Stendimento di sismica multicanale MASW (MW) e di tomografica sismica a rifrazione 2D (SRT)
- Livello falda




**ASSETTO IDROGEOLOGICO LOCALE**

Durante la realizzazione delle indagini, in particolare delle prove penetrometriche, è stata riscontrata la presenza di acqua nel sottosuolo ad una profondità di circa 1,40 (DPSH 1) ÷ 5,60 (DPSH 2) m dal locale piano campagna nel sottosuolo investigato. Tuttavia, non si esclude la possibilità che tale livello possa subire delle variazioni verso l'alto, in occasione di eventi meteorici di particolare intensità e/o durata.

**CATEGORIA DI SOTTOSUOLO**

$Vs_{,eq}$ = 400 m/s - Categoria di suolo **B**

**CONDIZIONI TOPOGRAFICHE**

Categoria topografica = **T1**

Coefficiente di amplificazione topografico $S_T$ = **1.000**

**CONDIZIONI TOPOGRAFICHE**

HVSR 1 = 6.00 Hz
HVSR 2 = 6.30 Hz

**PROVA PENETROMETRICA DPSH 2**

| UNITA' LITOTECNICHE | | | PARAMETRI GEOTECNICI | |
|---|---|---|---|---|
| **Unità** | **Descrizione litologica** | **Profondità** | **Valori medi** | **Valori caratteristici** |
| A | Terreno di riporto e/o rimaneggiato | 6,50 ÷ 7,00 | Yn = 1,70 ÷ 1,80 t/m³<br>Cu = 0,30 ÷ 0,30 kg/cm²<br>Φ' = 21° ÷ 24°<br>Ed = 30 ÷ 60 kg/cm² | $Cu_k$ = 0,33 kg/cm²<br>$\Phi'_k$ = 21,2° |
| B | Ghiaia e sabbia con livelli limoso-sabbiosi | 11,00 ÷ 11,50 | Yn = 1,90 ÷ 2,05 t/m³<br>Φ' = 28° ÷ 32°<br>Es = 80 ÷ 120 kg/cm² | $\Phi'_k$ = 28,3° |
| C | Ghiaia e sabbia | 12,00 | Yn = 2,05 ÷ 2,10 t/m³<br>Φ' = 32° ÷ 34°<br>Es = 120 ÷ 150 kg/cm² | $\Phi'_k$ = 32,2° |

**Yn**: Peso di volume naturale di terreno; **Cu**: Coesione non drenata; **Φ'**: Angolo di resistenza al taglio; **Es**: Modulo elastico; **Ed**: Modulo edometrico; pedice **K**: indica i valori caratteristici.

**PROVA PENETROMETRICA DPSH 1**

| UNITA' LITOTECNICHE | | | PARAMETRI GEOTECNICI | |
|---|---|---|---|---|
| **Unità** | **Descrizione litologica** | **Profondità** | **Valori medi** | **Valori caratteristici** |
| A | Terreno di riporto e/o rimaneggiato | 2,50 ÷ 3,00 | Yn = 1,60 ÷ 1,70 t/m³<br>Cu = 0,20 ÷ 0,40 kg/cm²<br>Φ' = 20° ÷ 22°<br>Ed = 20 ÷ 40 kg/cm² | $Cu_k$ = 0,22 kg/cm²<br>$\Phi'_k$ = 20,2° |
| B | Ghiaia e sabbia con livelli limoso-sabbiosi | 4,50 ÷ 5,00 | Yn = 2,00 ÷ 2,05 t/m³<br>Φ' = 27° ÷ 30°<br>Es = 70 ÷ 90 kg/cm² | $\Phi'_k$ = 27,2° |
| C | Limo sabbioso argilloso | 7,50 ÷ 8,00 | Yn = 1,70 ÷ 1,75 t/m³<br>Cu = 0,30 ÷ 0,50 kg/cm²<br>Φ' = 21° ÷ 23°<br>Ed = 20 ÷ 40 kg/cm² | $Cu_k$ = 0,32 kg/cm²<br>$\Phi'_k$ = 21,2° |
| D | Ghiaia e sabbia | 12,00 | Yn = 2,05 ÷ 2,10 t/m³<br>Φ' = 32° ÷ 34°<br>Es = 120 ÷ 150 kg/cm² | $\Phi'_k$ = 32,2° |

**Yn**: Peso di volume naturale di terreno; **Cu**: Coesione non drenata; **Φ'**: Angolo di resistenza al taglio; **Es**: Modulo elastico; **Ed**: Modulo edometrico; pedice **K**: indica i valori caratteristici.