

STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E APPLICATA

GEOLOGO GAETANO SILVERIO DE RISIO

Via Ambrogio Carabba n° 35 – 86036 Montenero di Bisaccia (CB) - Telefono: 3384143025

E-mail: g.s.derisio@virgilio.it - PEC: gaetano.silverio.derisio@pec.ordinegeologimolise.it

Iscrizione Albo dei Geologi della Regione Molise n° 086 Sezione A

Codice Fiscale: DRSGNS58H20I520P – Partita IVA: 00855820700

REGIONE MOLISE

Comune di MONTENERO DI BISACCIA

(Provincia di Campobasso)

STUDIO GEOLOGICO

PROGETTO: Intervento di realizzazione di una strada di collegamento alla viabilità comunale in Contrada Valle Campanile

Committente: Comune di Montenero di Bisaccia

Località: Contrada Valle Campanile

Relazione geologica

Gennaio, 2026

Rif.: 239/26



INDICE

1. Premessa	Pag.	1
2. Riferimenti corografici e ubicazione del sito d'interesse	»	3
● Tavola 1 - Ubicazione geografica del sito in studio (ortofoto)	»	3
● Tavola 2 - Corografia: stralcio della Tavoletta N.O. I Quadrante del Foglio n° 154 della Carta d'Italia I.G.M. (scala 1:25.000)	»	4
● Tavola 3 - C.T.R. del Molise: stralcio dell'elemento n° 381024 "Pozzo Sterparo" (Montenero di Bisaccia) (scala 1:5.000)	»	5
● Tavola 4 - Ubicazione catastale: Stralcio del Foglio n° 41 del comune di Montenero di Bisaccia	»	6
● Tavola 5 - Stralcio del Piano Paesaggistico del comune di Montenero di Bisaccia	»	7
3. Inquadramento geologico e geomorfologico locale	»	8
3.1. Assetto geostrutturale generale	»	8
3.2. Situazione litostratigrafica locale	»	9
3.3. Lineamenti geomorfologici dell'area	»	10
● Figura 1 - Stralcio unione delle Carte di Pericolosità da frana e da valanga - Assetto di versante	»	11
3.4. Aspetti idrogeologici	»	12
4. Indagini geognostiche in sito	»	13
4.1. Sondaggi geognostici preesistenti	»	14
4.2. Prospezioni penetrometriche dinamiche continue preesistenti	»	15
4.3. Determinazioni penetrometriche dinamiche continue preesistenti	»	17
● Tabella 1 - Sintesi dei risultati delle prospezioni penetrometriche preesistenti	»	18
● Tavola 6 - Raffronto tra i grafici del n° dei colpi N delle prospezioni penetrometriche preesistenti	»	19
● Tavola 7 - Raffronto tra i grafici della resistenza dinamica delle prospezioni penetrometriche preesistenti	»	20
4.4. Caratteristiche litotecniche del terreno investigato	»	21
4.5. Indagine sismica di superficie di tipo M.A.S.W. all'uopo effettuata in sito ..	»	22
● Figura 2 - Ubicazione della prospezione sismica M.A.S.W.	»	23
4.6. Risultanze della prospezione sismica di tipo M.A.S.W.	»	24
● Tabella 2 - Unità sismo-stratigrafiche ottenute dall'indagine sismica	»	24
● Tabella 3 - Prospetto riassuntivo dei parametri meccanici elastici dinamici	»	26
5. Caratterizzazione geotecnica del terreno conseguita tramite le prospezioni penetrometriche dinamiche preesistenti	»	27
● Tabella 4 - Correlazioni geotecniche effettuate tramite le prospezioni penetrometriche dinamiche continue preesistenti	»	27

6. Pericolosità sismica	Pag.	28
6.1. Sismicità storica locale	»	28
6.2. Sismicità dell'area	»	29
• Figura 3 - Estratto della Mappa della pericolosità sismica (INGV)	»	31
• Figura 4 - Grafici di disaggregazione relativi ai nodi della griglia di riferimento del sito d'interesse (INGV)	»	32
6.3. Pericolosità sismica di base	»	33
• Tabella 5 - Parametri sismici per sito di riferimento rigido orizzontale	»	35
6.4. Risposta sismica locale	»	35
• Tabella 6 - Coefficienti sismici per categoria di sottosuolo C	»	39
7. Stabilità del sito nei confronti della liquefazione	»	40
8. Utilizzo del suolo e relative prescrizioni	»	43

Allegati in relazione

- **Allegato A:** Documentazione fotografica
- **Allegato B:** Stratigrafia dei sondaggi geognostici preesistenti
- **Allegato C:** Indagine penetrometrica dinamica continua effettuata in sito preesistente: tabelle e diagrammi dei valori di resistenza
- **Allegato D:** Relazione dell'indagine sismica di superficie M.A.S.W.

Allegati fuori relazione

- **Tavola 1:** Carta geologico-geomorfologica con ubicazione delle indagini di sito
- **Tavola 2:** Sezione geologica
- **Tavola 3:** Carta della microzonazione sismica
- **Tavola 4:** Carta d'uso del territorio

1. Premessa

Con Determinazione n° 103 del 31/12/2025, l'Amministrazione Comunale di Montenero di Bisaccia (CB) ha affidato allo scrivente l'incarico di **“servizi tecnici di relazione geologica e indagini in sito dell'intervento di realizzazione di una strada di collegamento alla viabilità comunale in Contrada Valle Campanile”**.

La strada di collegamento in progetto, con annessa pubblica illuminazione e marciapiedi, da realizzarsi in variante al P.R.G., coinvolge di fatto un tracciato in terra battuta e misto stabilizzato e strade di lottizzazione già presenti nell'area d'interesse, che risulta alquanto urbanizzata dall'insediamento di diversi nuclei famigliari.

Lo studio geologico dell'area di progetto è stato condotto con lo scopo di rilevarne i caratteri geologici, i lineamenti geomorfologici e gli aspetti idrogeologici direttamente connessi con la natura dei litotipi affioranti, nonché con quello di verificare eventuali problematiche geologiche e di caratterizzare il sottosuolo dal punto di vista sismico, nel rispetto della normativa tecnica di riferimento e, in particolare, delle prescrizioni di cui al ***D.M. 17/01/2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC/2018)***, così da ottemperare alla richiesta di integrazione documentale della Regione Molise, Area Terza Servizio Pianificazione e gestione territoriale e paesaggistica - Tecnico delle costruzioni.

All'uopo, il programma di studio e di indagine si è articolato complessivamente:

- in sopralluoghi e rilievi di superficie;
- nella realizzazione di una prospezione sismica di superficie di tipo M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*);
- nella consultazione di documentazione bibliografica e di studi geologici effettuati in loco;
- nell'utilizzo delle risultanze delle indagini effettuate sullo stesso sito nell'ambito dello studio geologico relativo al “Progetto di lottizzazione di un'area in località Valle Campanile” ⁽¹⁾, messe gentilmente a disposizione dall'Ufficio Tecnico comunale e

⁽¹⁾ Lo studio geologico è stato eseguito dal geologo Gianfranco Sabatino su incarico dei sig.ri Gentile Andrea, Gentile Simone, D'Ascenzo Patrizia, Caserio Nicola e D'Amore Rita (Gennaio 2004).

comprendenti:

- due sondaggi geognostici effettuati a rotazione e carotaggio continuo;
- quattro prove penetrometriche dinamiche continue di tipo medio;
- due esplorazioni sismiche a rifrazione.

Nella presente relazione si raccolgono tutte le risultanze dello studio geologico effettuato, compresi:

- l'**allegato A** (in relazione), relativo alla documentazione fotografica;
- l'**allegato B** (in relazione), relativo alle stratigrafie dei due sondaggi geognostici effettuati in sito preesistenti;
- l'**allegato C** (in relazione), comprendente le tabelle e i diagrammi dei valori di resistenza ottenuti attraverso l'indagine penetrometrica dinamica continua effettuata in sito preesistente;
- l'**allegato D** (in relazione), relativo all'indagine sismica di superficie M.A.S.W.;

e inoltre:

- l'**allegato E** (fuori relazione), relativo alla Carta Geologico-Geomorfologica, con ubicazione delle indagini di sito;
- l'**allegato F** (fuori relazione), relativo alla Sezione geologica;
- l'**allegato G** (fuori relazione), relativo alla Carta di Microzonazione sismica;
- l'**allegato H** (fuori relazione), relativo alla Carta d'Uso del Territorio.

A seguito della riclassificazione sismica dei Comuni della Regione Molise, il territorio di Montenero di Bisaccia appartiene alla **Zona sismica 3**.

2. Riferimenti corografici e ubicazione del sito d'interesse

L'area in studio è ubicata in Contrada Valle Campanile, a Nord dell'abitato di Montenero di Bisaccia. Nel P.R.G. essa ricade in parte in zona territoriale omogenea di Tipo "C" e in parte nella sottozona agricola "E2".

Il punto centrale del sito in studio è individuato all'incirca dalle seguenti coordinate geografiche (esprese in WGS84 e in ED50) (Tavola 1):

	In WGS84	In ED50
Latitudine	41.977310	41,978280
Longitudine	14.780940	14,781815

Tavola 1 - Ubicazione geografica del sito in studio

(Ortofoto)

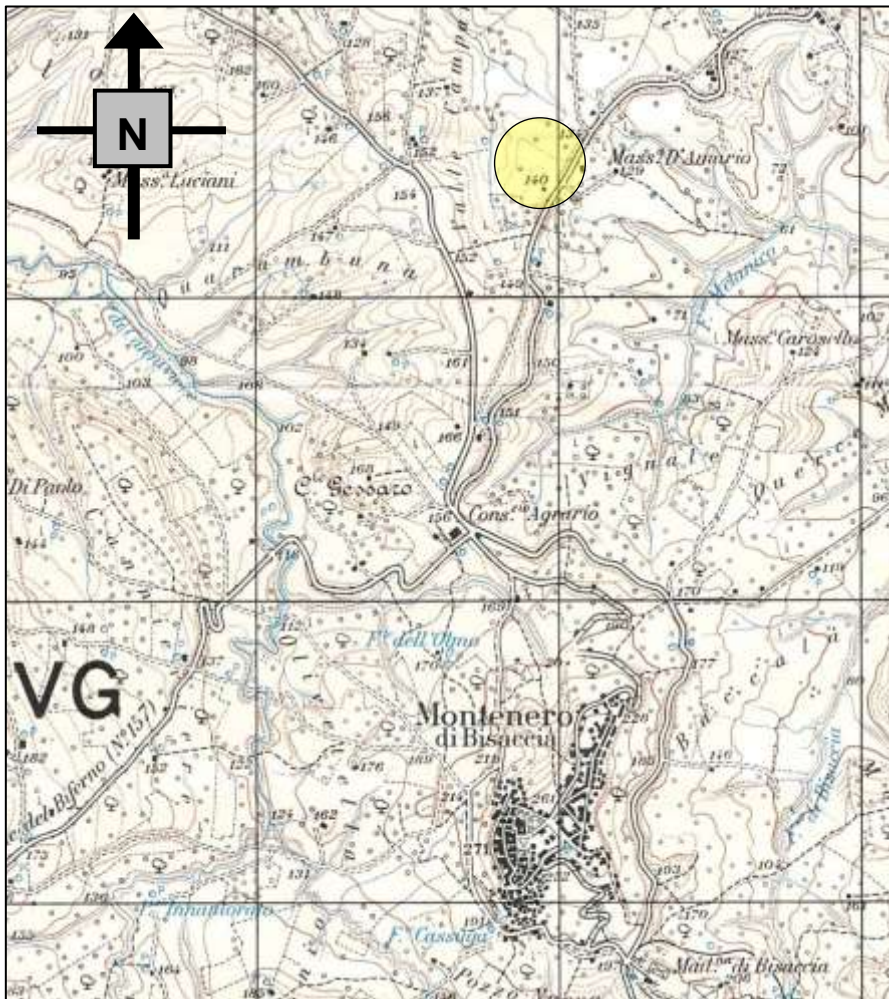


Individuazione dell'area d'interesse.

Come riferimento cartografico, sulla Carta d'Italia edita dall'I.G.M.I (con scala 1:25.000) l'area d'interesse è compresa nella Tavoletta N.O. "Montenero di Bisaccia", I Quadrante del Foglio n° 154 (Tavola 2).

Tavola 2 - Corografia, Carta d'Italia I.G.M.I.

Scala 1:25.000



Stralcio della Tavoletta N.O. "Montenero di Bisaccia", I Quadrante del Foglio n° 154.

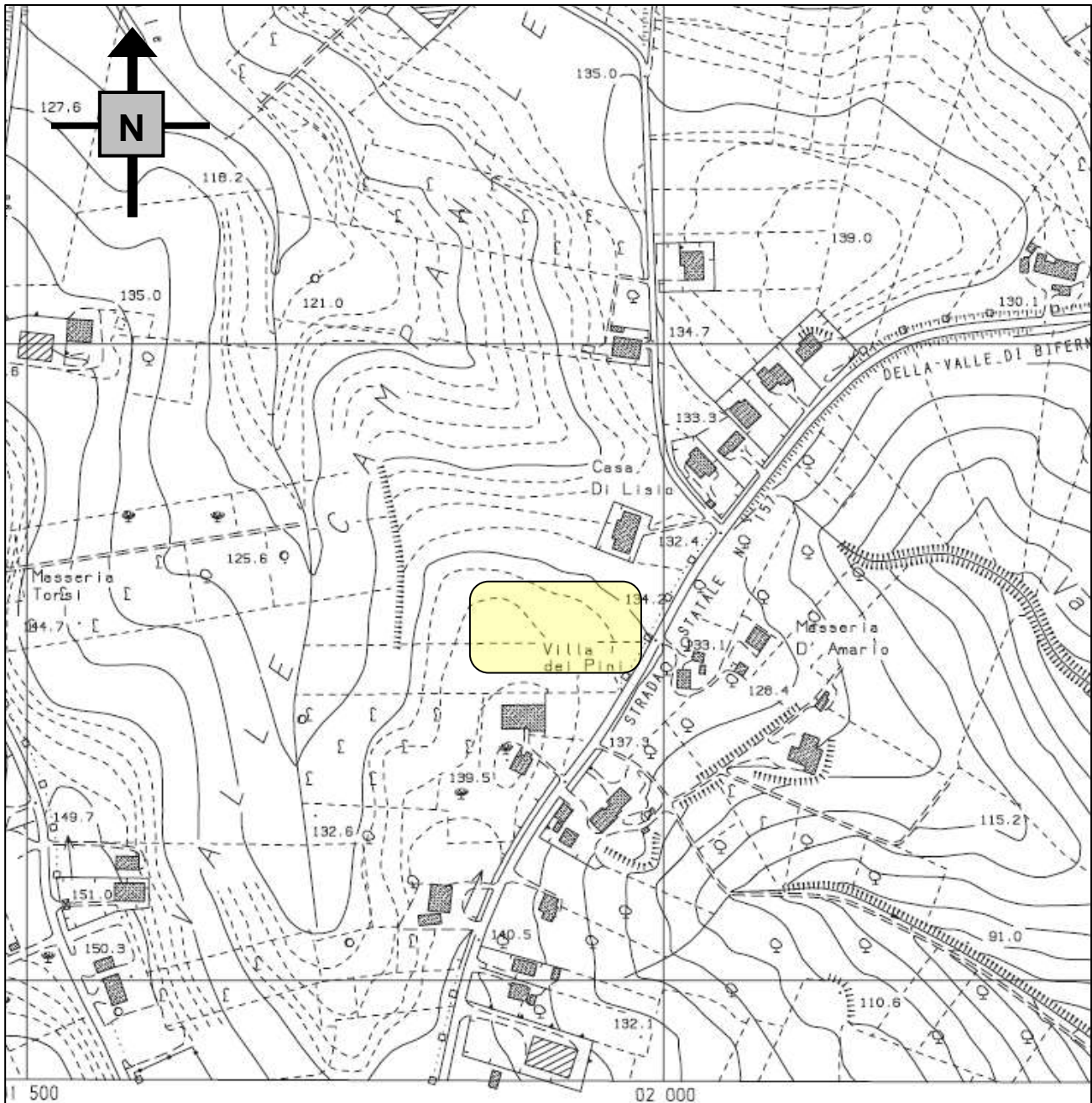


Individuazione dell'area in studio.

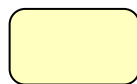
Nella Carta Tecnica Regionale del Molise (a scala 1:5.000) l'area è inclusa nell'Elemento n° 381024 "Pozzo Sterparo" (Tavola 3).

Tavola 3 - Carta Tecnica Regionale

Scala 1:5.000



Stralcio dell'Elemento n° 381024 "Pozzo Sterparo" (Montenero di Bisaccia).



Individuazione dell'area d'interesse.

Al Catasto, l'area d'interesse è individuata al Foglio n° 41 del comune di Montenero di Bisaccia (**Tavola 4**).

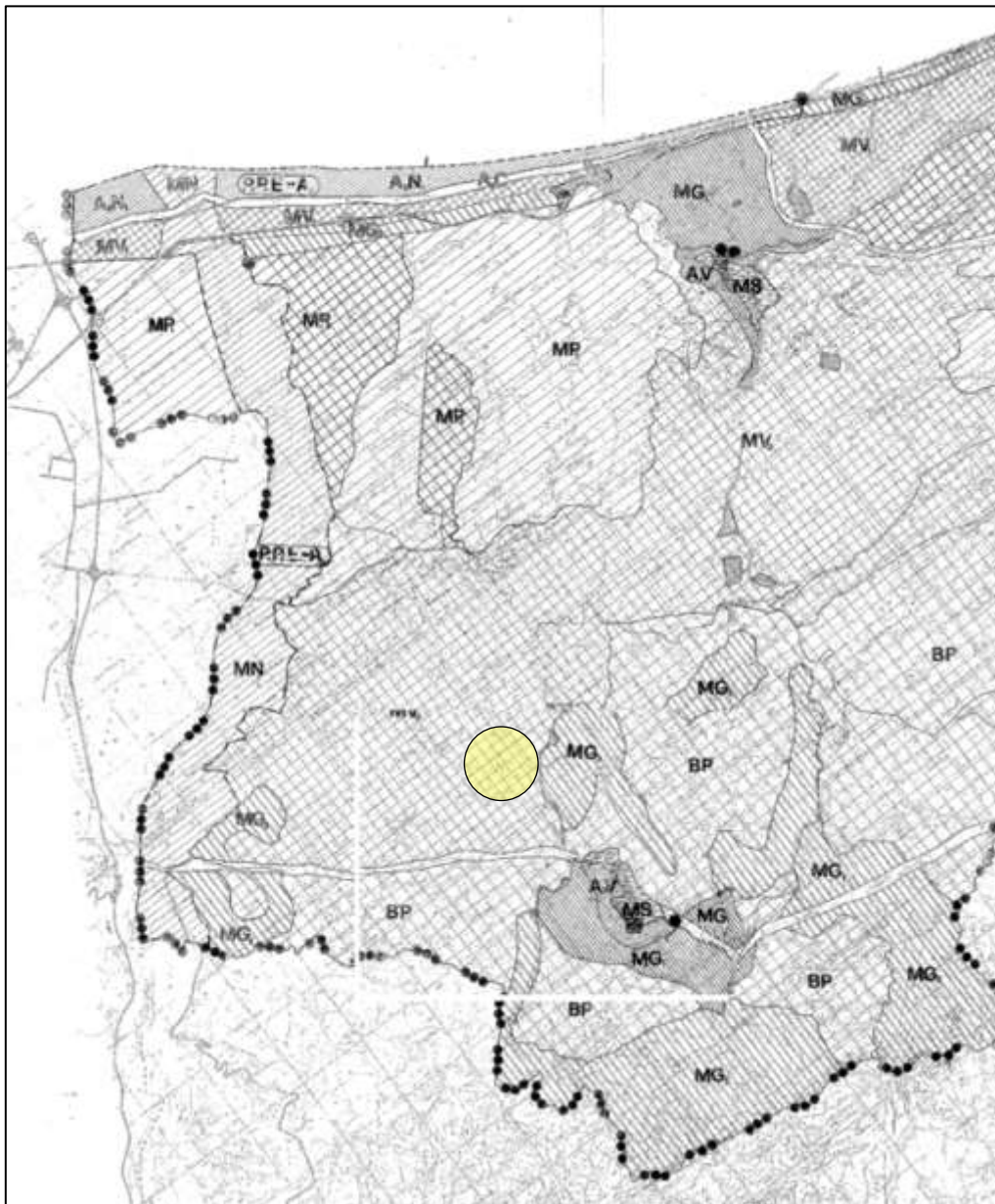
Tavola 4 - Ubicazione Catastale

Stralcio del Foglio n° 41 del Comune di Montenero di Bisaccia (CB).

 Strada di collegamento alla viabilità comunale in progetto.

Nel P.T.P.A.A.V. l'area d'interesse rientra nella perimetrazione MV₂, per le cui opere in progetto non è richiesta la verifica di ammissibilità geologica (**Tavola 5**).

Tavola 5 - Stralcio del Piano Paesaggistico del comune di Montenero di Bisaccia



Individuazione dell'area d'interesse.

3. Inquadramento geologico e geomorfologico locale

3.1. Assetto geostrutturale generale

Il territorio molisano è costituito unicamente da formazioni sedimentarie, gran parte delle quali sono di ambiente marino; sopra di esse si sono formate le più recenti formazioni di ambiente continentale. Le formazioni marine fanno parte di alcune unità litostratigrafiche, che fanno riferimento a diverse unità strutturali distinte per caratteri paleo-ambientali che si sono succedute nei tempi geologici, dando luogo all'attuale assetto tettonico-strutturale.

Le unità strutturali che riguardano direttamente il territorio locale sono:

- l'*Avanfossa adriatica*, corrispondente alla fascia costiera e al suo immediato retroterra, costituita da una profonda depressione allungata in senso NO-SE creatasi a partire dal Pliocene che, durante il sollevamento della Catena Appenninica, è stata sede di notevoli fenomeni di subsidenza;
- il *Bacino molisano*, caratterizzato dalla presenza di depositi torbiditici e argillitici (formazioni flyschoidi e argille scagliose varicolori).

Il contesto geologico-strutturale regionale risulta particolarmente complesso, in quanto notevolmente condizionato da enormi stress tettonici a carattere specialmente compressivo, che hanno prodotto una sequela di deformazioni, accavallamenti e traslazioni di masse rocciose, a volte di notevolissime proporzioni, verso l'Avampese, determinando una complessiva contrazione spaziale.

A partire dal Quaternario, e quindi dal momento del definitivo ritiro del mare, il modellamento superficiale è dovuto soprattutto all'attività delle acque di superficie, degli agenti meteorici e della gravità, causando la formazione di depositi alluvionali terrazzati e recenti, di depositi eluvio-colluviali e di quelli di piana costiera.

La configurazione attuale, pertanto, è il risultato complessivo della continua evoluzione paleogeografia e dei notevoli sconvolgimenti tettonici che a più riprese, ma in modo particolare nella fase parossistica dell'orogenesi appenninica (Miocene-Pleistocene), hanno deformato e disarticolato le unità strutturali preesistenti e, successivamente, hanno contribuito alla dislocazione dei diversi corpi geologici fino all'individuazione delle attuali unità morfologiche presenti sul territorio.

Lo schema tettonico regionale, proposto nella “Carta tettonica d’Italia” (CNR, 1980, “Progetto Finalizzato Geodinamica”), indica che il territorio molisano è attraversato da alcune importanti linee di dislocazione ad andamento appenninico (NO-SE), corrispondenti a fronti di sovrascorrimento che, durante l’orogenesi della catena appenninica, hanno prodotto la sovrapposizione dei sedimenti calcareo-dolomitici della Piattaforma abruzzese-campana sulle successioni calcareo-marnoso-selciose della Zona di transizione, che a loro volta si sono sovrapposte in contatto tettonico con i terreni flyschoidi alloctoni del complesso delle Argille scagliose varicolori e con quelli dei flysch tardorogenici del Bacino molisano; i terreni flyschoidi ricoprono in falda, almeno in parte, i più recenti sedimenti plio-pleistocenici dell’Avanfossa adriatica.

3.2. Situazione litostratigrafica locale

Nello specifico, l’area in studio è interessata dalla formazione sedimentaria delle **Argille di Montesecco (Argille azzurre)** (Pleistocene inferiore - Pliocene superiore).

Tale formazione rappresenta il prodotto della sedimentazione marina di materiali terrigeni all’interno di una fossa fortemente subsidente, avente direzione N.O-S.E., inclusa tra l’avampaese pugliese ad Est e le dorsali calcaree dell’Appennino ad Ovest. Essa è litologicamente costituita da argilla limosa e da argilla più o meno marnosa dal tipico colore grigio-azzurro (formazione di base), e da argilla limo-sabbiosa grigio-avana con presenza di materiale calcico e livelletti sabbiosi (al tetto della formazione). È caratterizzata da una spiccata sovraconsolidazione e si presenta ben stratificata, con strati di spessore variabile dal decimetro al metro; al suo interno si riscontrano frequenti e sottili intercalazioni sabbiose a grana molto fine, disposte parallelamente alla stratificazione, ma a volte irregolarmente distribuite con andamento ondulare.

A copertura delle formazioni presenti si riscontrano, spesso e soprattutto nelle zone vallive e di versante, coltri superficiali di materiali di disfacimento originatisi in posto (*colluviali*) e a volte risedimentati (*eluviali*), dovuti a processi di alterazione fisico-chimica, degradazione e disgregazione meccanica delle formazioni stesse ad opera degli agenti atmosferici. Il loro spessore è di solito alquanto variabile e a volte può raggiungere anche valori considerevoli.

Tali coltri di copertura, contraddistinte da un grado di alterazione piuttosto diversificato e che in genere si attenua con la profondità, assumono un ruolo rilevante nella caratterizzazione geotecnica di superficie in quanto si osserva, nella maggior parte dei casi, un marcato decadimento delle caratteristiche di resistenza rispetto alla roccia madre e, non di rado, spessori alquanto irregolari anche in zone circoscritte.

3.3. Lineamenti geomorfologici dell'area

Il sito in studio è posto ad una quota topografica di circa 137 metri sul livello medio del mare e si presenta pressoché sub-pianeggiante, con una modesta pendenza in direzione Nord-Ovest.

Il paesaggio locale mostra una tipica morfologia di medio-bassa collina, la cui configurazione geomorfologica risulta differenziata a seconda delle formazioni geologiche affioranti.

Dove affiorano le formazioni di natura sabbioso-arenacea dotati di buona consistenza, si hanno rilievi più pronunciati, con versanti più o meno acclivi e profili del pendio generalmente regolari.

Dove, invece, affiorano i litotipi di natura prevalentemente pelitica, si hanno in genere rilievi dolci e modellati, a luoghi caratterizzati da rigonfiamenti e avvallamenti, che dimostrano una evoluzione morfologica maggiormente plastica.

I terreni argillosi affioranti sono alquanto attaccabili dagli agenti atmosferici. In particolare, sui pendii con acclività più accentuata, data la scarsa permeabilità dei terreni, le acque di precipitazione generano fenomeni di ruscellamento superficiale diffuso e di dilavamento superficiale. Questi fenomeni si accentuano soprattutto in aree dove viene a mancare la fondamentale funzione regimante e antierosiva propria della copertura boschiva, a causa della scarsità o assenza del manto vegetale.

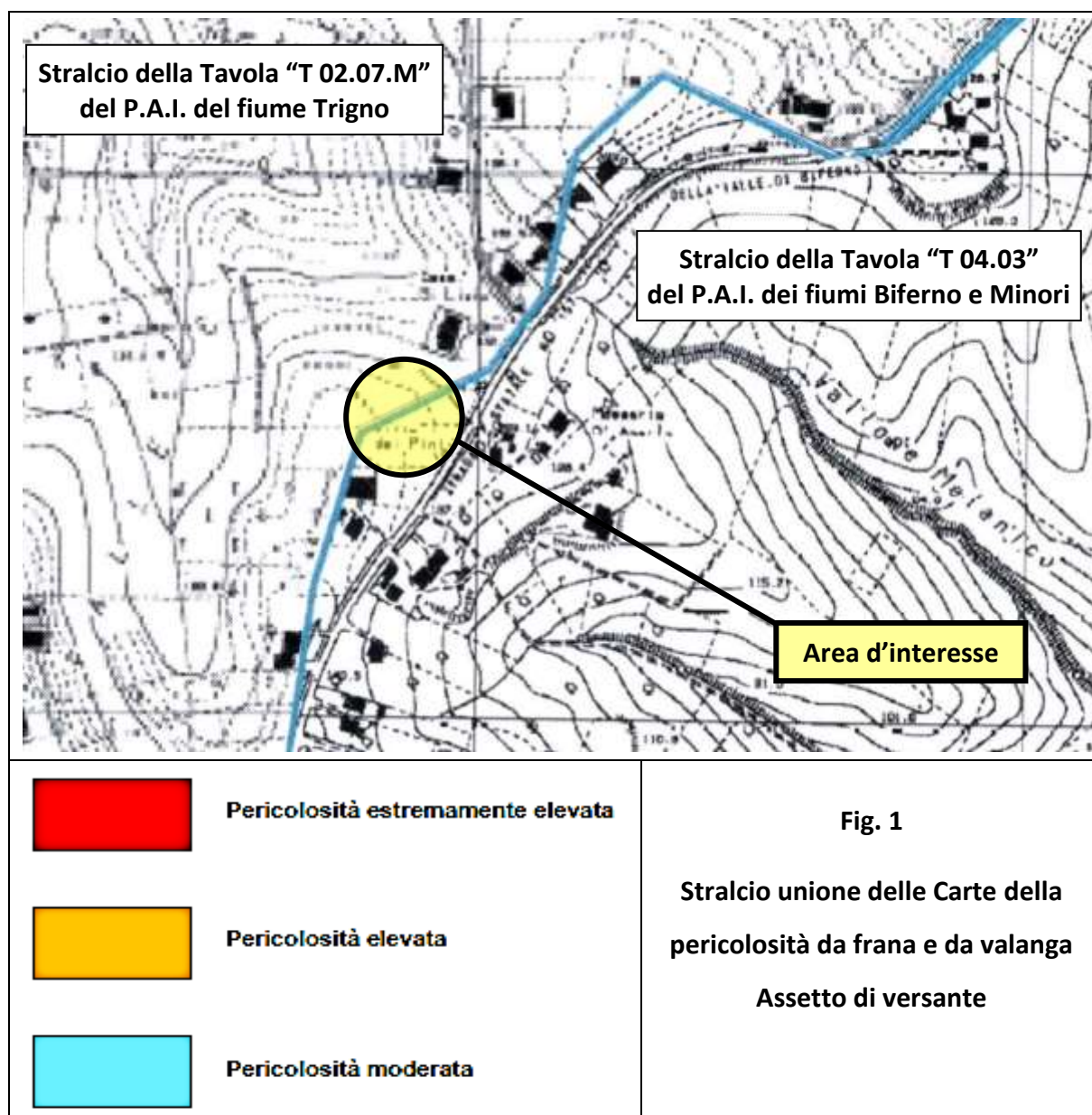
Inoltre, fenomeni di alterazione, di rigonfiamento e di essiccamento, legati soprattutto ai cambiamenti stagionali, favoriscono processi di degradazione fisico-meccanica progressiva dei terreni argillosi, che nel tempo possono causare ripercussioni negative sulla loro stabilità.

Nel territorio comunale, specialmente in corrispondenza delle formazioni argillose, si riscontrano numerose aree nelle quali si sviluppano fenomeni di soliflusso e fenomeni

franosì; questi ultimi, riferibili soprattutto a colate gravitative o secondariamente a scorrimenti rotazionali, interessano per lo più le coltri di copertura superficiale.

Nello specifico, limitatamente all'area in studio, non si riscontrano significative situazioni di precarietà delle condizioni statiche e/o di dissesto in atto o potenziali.

Al riguardo, nella cartografia del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Trigno e dei Fiumi Biferno e minori della Regione Molise, nell'area d'interesse non si rilevano dissesti in atto (Fig. 1).



3.4. Aspetti idrogeologici

L'idrografia dell'area è costituita principalmente dal Vallone Melanico, che scorre a Est dell'area in studio, avente carattere torrentizio; completano il reticolo idrografico altri fossi minori, alimentati dal deflusso naturale delle acque meteoriche, orientato in genere lungo le linee di massima pendenza.

A causa della loro scarsa permeabilità, i terreni di natura argillosa hanno una ridottissima capacità di trattenere le acque meteoriche, che pertanto defluiscono prevalentemente in superficie, favorendo spesso lo sviluppo di un reticolo idrografico alquanto articolato, con forma caratteristica di tipo dendritico e con pendenze d'asta anche alquanto marcate.

La circolazione idrica superficiale è condizionata essenzialmente dal regime delle precipitazioni meteoriche e, dal punto di vista idrogeologico, sulla base delle caratteristiche litologiche dei sedimenti che costituiscono il terreno in affioramento, i sedimenti della formazione delle Argille di Montesecco si possono considerare *praticamente impermeabili o scarsamente permeabili* ($K < 10^{-6}$ cm/s), ad eccezione delle coltri di copertura superficiali più allentate, che possono essere interessate da una eterogenea filtrazione e da una lenta circolazione ipodermica delle acque meteoriche nel periodo invernale, ed essere così a volte sede di sacche idriche di esigua entità.

4. Indagini geognostiche in sito

Come già detto in premessa, nel presente studio vengono utilizzate le risultanze delle indagini effettuate sullo stesso sito nell'ambito dello studio geologico relativo al "Progetto di lottizzazione di un'area in località Valle Campanile", messe gentilmente a disposizione dall'Ufficio Tecnico comunale, comprendenti:

- ✓ due sondaggi geognostici effettuati a rotazione e carotaggio continuo, denominate **S1** e **S2**;
- ✓ quattro prove penetrometriche dinamiche continue di tipo medio, denominate come **P1**, **P2**, **P3** e **P4**;
- ✓ due esplorazioni sismiche a rifrazione ⁽²⁾.

Per permettere, inoltre, la caratterizzazione del sottosuolo dal punto di vista sismico, nel rispetto della normativa tecnica di riferimento e, in particolare, delle prescrizioni di cui al **D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC/2018)**, in sito è stata realizzata una prospezione sismica di superficie di tipo M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).

L'ubicazione di tutte le indagini effettuate insito viene indicata nella **Carta Geologico-Geomorfologica** allegata fuori relazione (**Tavola 1**).

In allegato alla presente relazione vengono riportati:

- la documentazione fotografica dell'area d'interesse e della prospezione sismica M.A.S.W. (**Allegato A**);
- le stratigrafie dei due sondaggi geognostici preesistenti (**Allegato B**);
- le tabelle e i diagrammi dei valori di resistenza ottenuti attraverso le prospezioni penetrometriche dinamiche continue preesistenti effettuate in sito (**Allegato C**);
- la relazione dell'indagine sismica di superficie M.A.S.W. (**Allegato D**).

⁽²⁾ Si precisa che, in questa sede, non vengono presi in considerazione le risultanze delle due esplorazioni sismiche a rifrazione, in quanto, per la caratterizzazione sismica del sito, è stata all'uopo realizzata un'indagine sismica di superficie di tipo MASW.

4.1. Sondaggi geognostici preesistenti

Le perforazioni di sondaggio preesistenti eseguite in sito sono state realizzate a rotazione e carotaggio continuo, per mezzo di una sonda meccanica dotata di carotiere semplice, e sono state spinte fino alla profondità dal piano campagna di metri 12,00 in S1 e di metri 15,00 in S2.

La realizzazione dei sondaggi geognostici ha consentito l'esame litostratigrafico del sottosuolo, come descritto di seguito.

I due sondaggi, inoltre, hanno permesso anche la taratura delle prospezioni penetrometriche dinamiche effettuate in sito.

Sondaggio S1:

- terreno vegetale dello spessore di 1,00 metro;
- a seguire e fino alla profondità di 7,50 metri, limo argilloso di colore avano. Nel primo metro dell'orizzonte si osserva una significativa presenza di materiale calcico biancastro e successivamente la presenza di livelletti sabbiosi rossastri, quindi da circa -4,00 metri livelli grigiastri e da -5,00 metri aumenta la presenza di argilla grigia;
- a seguire e fino a fondo foro, argilla limosa grigia consistente o molto consistente, con livelletti sabbiosi.

Sondaggio S2:

- terreno vegetale dello spessore di 2,00 metri;
- a seguire e fino alla profondità di 13,00 metri, limo argilloso. Nel primo metro dell'orizzonte si osserva una tonalità di colore scuro, mentre successivamente il colore diviene avano e fino alla profondità di -5,00 metri è presente materiale calcico biancastro, successivamente si osservano livelletti sabbiosi rossastri e da circa -11,00 metri aumenta la presenza di argilla in cui si distinguono striature grigiastre;
- a seguire e fino a fondo foro, argilla limosa grigia consistente o molto consistente, con livelletti sabbiosi.

4.2. Prospezioni penetrometriche dinamiche continue preesistenti

La prova penetrometrica dinamica continua consiste nel conteggio del numero di colpi **N** necessari per infiggere nel terreno, mediante un maglio e per successive quantità costanti, una batteria di aste munita alla base di una punta conica a perdere. Tanto più numerosi sono i colpi richiesti per l'avanzamento della punta tanto maggiore è la resistenza del terreno.

Le prove penetrometriche dinamiche continue possono essere utilmente impiegate sia per il riconoscimento, nelle sue linee essenziali, della litologia del sottosuolo investigato, sia per la valutazione di alcune proprietà meccaniche dei terreni, specialmente riguardo ai terreni incoerenti, in cui è molto difficile, mediante tecniche usuali, prelevare campioni indisturbati di buona qualità da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio.

La penetrazione dinamica della punta nel terreno, infatti, consente di riconoscere la litologia del sottosuolo investigato attraverso l'esame dell'andamento morfologico degli istogrammi ottenuti dal numero di colpi **N** con la profondità, che dipende dalla natura litologica del terreno, permettendo così di differenziare, solitamente, i terreni coerenti da quelli incoerenti. In particolare, i terreni coerenti sono caratterizzati da una netta linearità degli istogrammi di **N**, in quanto tali valori risultano più costanti con la profondità. Di contro, gli istogrammi di **N** relativi a terreni essenzialmente granulari presentano un andamento frastagliato a picchi contrapposti, dovuto all'alternanza di elevati valori di **N** con valori più bassi, tanto più diversificati quanto più è elevata la densità del mezzo attraversato.

Le diversità morfologiche riscontrabili negli istogrammi, sono ricollegabili alle differenti modalità di rottura che caratterizzano i litotipi resistenti essenzialmente per coesione (i terreni coerenti), da quelli resistenti prevalentemente per attrito interno fra i granuli (i terreni incoerenti). Si precisa, comunque, che in presenza di terreni sabbiosi o sabbioso-limosi di scarsa densità, a più bassi valori di addensamento tra i granuli corrispondono una diminuzione e un appiattimento dei valori di **N**, tanto da fare assumere all'istogramma di **N** un andamento più lineare, simile a quello di terreni coesivi.

Le penetrometrie consentono anche di rilevare l'eventuale presenza di coltri di copertura superficiali di terreni allentati e/o alterati e, quindi, di quantificarne gli spessori.

L'esecuzione dei sondaggi penetrometrici permette di ricavare con continuità il valore di resistenza di rottura dinamica che il terreno oppone alla penetrazione della punta (**resistenza dinamica "Rd"**), una sorta di "radiografia" degli strati attraversati, che consente di osservare in modo continuo la resistenza del terreno alle varie profondità, nonché di analizzare il grado di omogeneità geomeccanica del sottosuolo.

La resistenza dinamica Rd è un parametro che caratterizza sia lo stato di addensamento di un terreno incoerente o granulare (sabbioso-ghiaioso), sia lo stato di consistenza di un terreno coesivo (argilloso-limoso), e consente quindi di effettuare una valutazione quali/quantitativa indicativa del comportamento geomeccanico del terreno attraversato.

Il numero dei colpi N e la resistenza dinamica, inoltre, permettono di effettuare, attraverso correlazioni empiriche, una stima orientativa di alcuni parametri geo-meccanici del terreno di interesse ingegneristico.

L'indagine in sito è stata effettuata con il penetrometro dinamico "DL030", avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- peso della massa battente a caduta libera kg 30,00 (**M**);
- aste in acciaio speciale con diametro di cm 2,00, lunghezza di m 1,00 e peso di kg 2,40 al metro lineare (**P**);
- altezza costante di caduta libera della massa battente pari a cm 20,00 (**h**);
- punta conica a perdere con area della punta di cm² 10,00 (**A**);
- conteggio del numero di colpi N ogni 10 cm di avanzamento della punta.

La resistenza dinamica **Rd** è direttamente ricavata tramite la "**Formola degli Olandesi**":

$$Rd = \frac{M^2 \cdot h \cdot \beta}{A \cdot e \cdot (M+P)}$$

nella quale:

- **β** è un coefficiente adimensionale peculiare del penetrometro DL030, tabulato in funzione della profondità;
- **e** è pari a 10/N, con N numero dei colpi per ogni 10 cm di approfondimento della punta conica a perdere.

4.3. Determinazioni penetrometriche dinamiche continue preesistenti

Le prove penetrometriche sono state sospese alle profondità dal piano campagna di metri 8,80 in P1, di metri 9,80 in P2, in P3 e in P4.

Un primo esame degli istogrammi penetrometrici ha permesso di differenziare il terreno investigato, nel complesso, in tre **orizzonti primari** indicati, dall'alto in basso, come:

- **T.V.**, il terreno vegetale di copertura;
- **A**, il successivo orizzonte di terreno più o meno alterato (presumibilmente il tetto della formazione delle Argille di Montesecco);
- **B**, l'orizzonte di terreno di base.

Un ulteriore esame degli istogrammi penetrometrici, condotto individuando **fasce maggiormente omogenee** dei valori di resistenza, ha permesso di individuare all'interno degli orizzonte di terreno A e B in alcuni **sub orizzonti**, denominati come:

- **A₁, A₂ e A₃**, quelli dell'orizzonte primario A;
- **B₁, B₂ e B₃**, quelli dell'orizzonte primario B.

La suddivisione del terreno in sub orizzonti ha permesso di determinare, per ciascuno di essi, i **valori medi** del n° di colpi N e della resistenza dinamica Rd.

Le risultanze dell'indagine penetrometrica vengono sintetizzate nella susseguente **Tabella 1**, nella quale, per ciascun sub orizzonte di terreno individuato, si riportano:

- ✓ le profondità
- ✓ gli spessori;
- ✓ il n° dei colpi N medio;
- ✓ la resistenza dinamica Rd media;
- ✓ nonché i valori del n° dei colpi di una prova penetrometrica di tipo SPT (*Standard Penetration Test*), stimati tramite una correlazione empirica con il n° dei colpi N (N_{SPT} medio).

Tabella 1		Sintesi dei risultati delle prospezioni penetrometriche preesistenti				
Sub orizzonte di terreno		Profondità (m)	Spessore (m)	N (n° dei colpi medi)	N _{SPT} (n° dei colpi medi)	Rd media (Kg/cm ²)
P1	T.V.	0,00 - 0,90	0,90	-	-	-
	A ₁	0,90 - 2,20	1,30	4,00	3,00	12,00
	A ₂	2,20 - 4,80	2,60	8,00	6,00	20,00
	B ₁	4,80 - 5,90	1,10	13,00	9,00	28,00
	B ₂	5,90 - 6,70	0,80	18,00	13,00	37,00
	B ₃	6,70 - 8,80	1,10	22,00	16,00	> 40,00
P2	T.V.	0,00 - 0,80	0,80	-	-	-
	A ₁	0,80 - 1,60	0,80	4,00	3,00	13,00
	A ₂	1,60 - 4,50	2,90	14,00	10,00	27,00
	A ₃	4,50 - 9,10	4,60	13,00	9,00	25,00
	B ₁	9,10 - 9,80	0,70	26,00	19,00	> 50,00
P3	T.V.	0,00 - 1,00	1,00	-	-	-
	A ₁	1,00 - 1,60	0,60	4,00	3,00	14,00
	A ₂	1,60 - 8,40	6,80	13,00	9,00	27,00
	B ₁	8,40 - 9,80	1,40	25,00	19,00	> 50,00
P4	T.V.	0,00 - 0,80	0,80	-	-	-
	A ₁	0,80 - 1,50	0,70	4,00	3,00	11,00
	A ₂	1,50 - 4,30	2,80	8,00	6,00	22,00
	A ₃	4,30 - 8,00	3,70	13,00	9,00	30,00
	B ₁	8,00 - 9,80	1,80	25,00	19,00	> 50,00

Per consentire una visione d'insieme delle resistenze ottenute nelle prove penetrometriche preesistenti, nelle successive **Tavola 6** e **Tavola 7** si riportano rispettivamente i grafici del numero dei colpi N e delle resistenze dinamiche Rd caratterizzanti gli orizzonti di terreno individuati.

Tavola 6 - Raffronto tra i grafici del n° dei colpi N delle prove penetrometriche

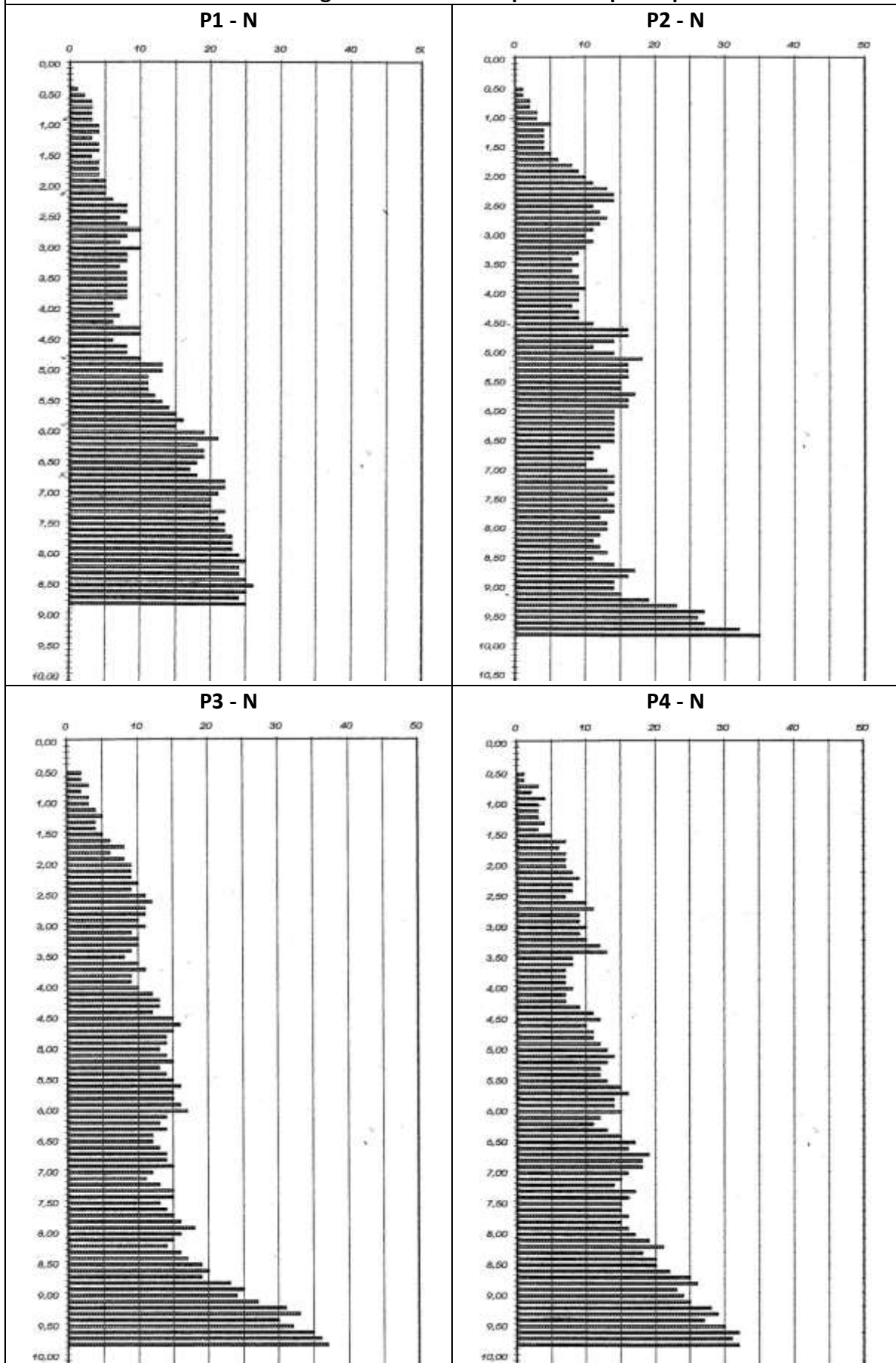
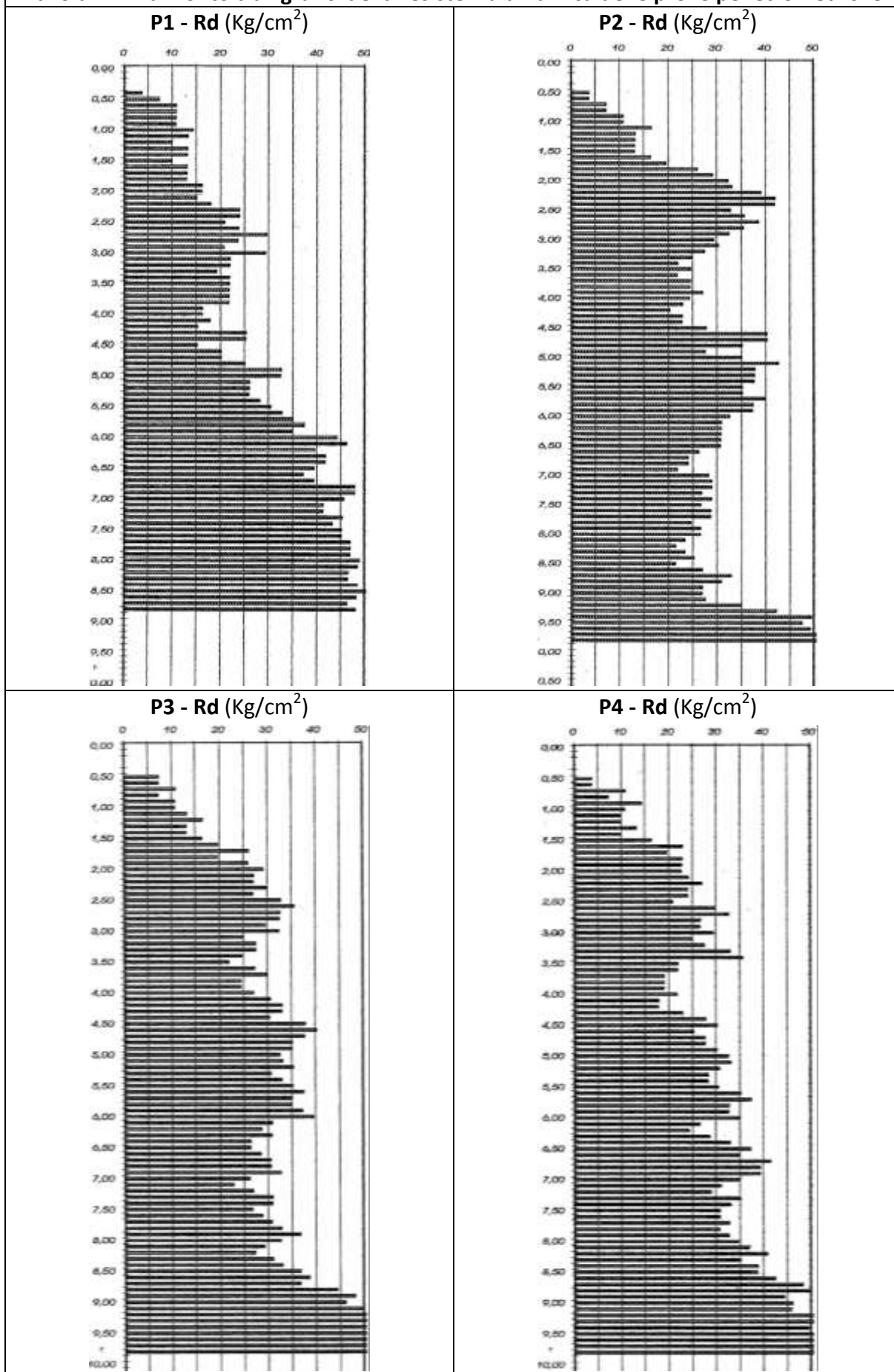


Tavola 7 - Raffronto tra i grafici della resistenza dinamica delle prove penetrometriche



4.4. Caratteristiche litotecniche del terreno investigato

Gli istogrammi del numero di colpi N con la profondità delle prove penetrometriche evidenziano, complessivamente, un andamento morfologico alquanto lineare, caratteristico di terreni aventi natura essenzialmente argilloso-limosa, pertanto il comportamento geomeccanico del terreno può fondamentalmente considerarsi di tipo coesivo.

Sulla base del numero di colpi N_{SPT} medi è possibile indicare la seguente valutazione dello stato di compattezza del terreno:

Sub orizzonte di terreno		Profondità (m)	Spessore (m)	N_{SPT} medio (terreno coesivo)	Valutazione indicativa dello stato di compattezza del terreno (A.G.I., 1977)
P1	T.V.	0,00 - 0,90	0,90	-	-
	A ₁	0,90 - 2,20	1,30	3,00	Poco consistente
	A ₂	2,20 - 4,80	2,60	6,00	Moderatamente consistente
	B ₁	4,80 - 5,90	1,10	9,00	Consistente
	B ₂	5,90 - 6,70	0,80	13,00	Consistente
	B ₃	6,70 - 8,80	1,10	16,00	Molto consistente
P2	T.V.	0,00 - 0,80	0,80	-	-
	A ₁	0,80 - 1,60	0,80	3,00	Poco consistente
	A ₂	1,60 - 4,50	2,90	10,00	Consistente
	A ₃	4,50 - 9,10	4,60	9,00	Consistente
	B ₁	9,10 - 9,80	0,70	19,00	Molto consistente
P3	T.V.	0,00 - 1,00	1,00	-	-
	A ₁	1,00 - 1,60	0,60	3,00	Poco consistente
	A ₂	1,60 - 8,40	6,80	9,00	Consistente
	B ₁	8,40 - 9,80	1,40	19,00	Molto consistente
P4	T.V.	0,00 - 0,80	0,80	-	-
	A ₁	0,80 - 1,50	0,70	3,00	Poco consistente
	A ₂	1,50 - 4,30	2,80	6,00	Moderatamente consistente
	A ₃	4,30 - 8,00	3,70	9,00	Consistente
	B ₁	8,00 - 9,80	1,80	19,00	Molto consistente

Sotto l'aspetto della variazione laterale del terreno investigato, raffrontando i risultati delle resistenze penetrometriche, si osserva una certa diversità laterale dei valori di resistenza del terreno investigato, in special modo per i primi 4,00-5,00 metri di terreno.

4.5. Indagine sismica di superficie di tipo M.A.S.W. all'uopo effettuata in sito

L'indagine sismica di superficie di tipo M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), ha avuto la finalità di individuare il profilo di velocità V_s del sottosuolo necessario per la determinazione del parametro V_s **equivalente** ($V_{s,eq}$) e la definizione della categoria sismica del suolo di fondazione, così da consentire la valutazione dell'effetto della risposta sismica locale ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, come richiesto dal D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" (**NTC/2018**).

L'indagine sismica, oltre alla caratterizzazione dinamica delle prime decine di metri del sottosuolo, identificando le principali unità geofisiche e le relative velocità delle onde di taglio V_s , ha permesso di valutare anche alcuni parametri meccanici elastici dinamici, quali: il peso di volume, il coefficiente di Poisson, il modulo di deformazione al taglio, il modulo edometrico, il modulo di compressibilità volumetrica e il modulo di Young ⁽³⁾.

La prospezione sismica è stata effettuata con metodologia attiva, in quanto le onde sono state generate sulla superficie del suolo tramite energizzazioni prodotte ad hoc con una mazza battente. Nella metodologia attiva, l'applicazione di una sollecitazione dinamica al terreno produce vibrazioni che si trasmettono sotto forma di onde sismiche dirette, di onde sismiche riflesse e di onde sismiche rifratte.

Il campo delle vibrazioni può contenere componenti che si trasmettono all'interno del terreno (*onde di compressione e di taglio*) e lungo la sua superficie (*onde di Rayleigh e di Love*). La distinzione tra i differenti tipi di onde viene svolta in base alla loro direzione di propagazione e a quella del moto degli elementi di volume da esse investiti.

La metodologia M.A.S.W. è una tecnica di indagine sismica attiva non invasiva, che consente di definire il profilo verticale di velocità delle onde di taglio V_s , basandosi sulla misurazione e sull'analisi delle onde superficiali in un semispazio stratificato; le misure sono eseguite in corrispondenza di diversi ricevitori (geofoni verticali) posti sulla superficie del suolo.

⁽³⁾ Si fa presente, al riguardo, che i parametri meccanici stimati sono riferiti a moduli dinamici e, di conseguenza, sono validi per piccolissime deformazioni nel tratto lineare elastico (deformazioni tangenziali inferiori alla soglia elastica, indicativamente dell'ordine di 10^{-2} - 10^{-4} %).

Il contributo preponderante alle onde superficiali è determinato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

L'indagine M.A.S.W. fornisce informazioni sulla parte superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30-50 metri, in funzione della rigidità del terreno e delle caratteristiche della sorgente; le informazioni sono rappresentative dell'estensione di terreno interessata dallo stendimento, con la migliore definizione al centro dello stendimento stesso.

La variazione di velocità a diverse frequenze (dispersione) delle onde di Rayleigh è attribuibile prevalentemente alla stratificazione geologica. Una particolare *analisi spettrale* permette di distinguere il modo fondamentale da quelli superiori per ottenere la curva di dispersione e il profilo delle velocità delle onde di taglio V_s per successiva inversione.

La procedura di indagine sismica M.A.S.W. prevede sinteticamente tre fasi:

- 1) acquisizione e registrazione dei dati di campagna;
- 2) processing, che consente di calcolare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto, ossia la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza;
- 3) inversione numerica della curva di dispersione, per ottenere il profilo verticale delle velocità V_s che descrive la variazione di V_s con la profondità.

La prospezione sismica tipo M.A.S.W. è stata eseguita lungo lo stendimento $A_1 - A_{24}$ della lunghezza di 46 metri lineari, con 24 geofoni (ad asse verticale e aventi periodo proprio di 4,5 Hz) disposti con una distanza interasse costante di 2 metri (**Figura 2**).



Figura 2

Ubicazione della prospezione sismica di superficie M.A.S.W. riportata sull'ortofoto, con indicazione del primo (G1) e ultimo geofono (G24).

Come sorgente è stato impiegato un martello di massa pari a 8 Kg e l'energizzazione è stata effettuata a varie distanze (3, 5 e 7 metri dal primo e dall'ultimo geofono) e con varie ripetizioni; per ciascuna energizzazione è stata eseguita la registrazione ai geofoni dei tempi di arrivo degli impulsi sismici, utilizzando un sismografo a 24 canali MAE A6000S con acquisizione computerizzata dei dati.

Nel paragrafo seguente vengono sintetizzati i risultati della prospezione sismica effettuata, mentre per la descrizione dettagliata della stessa si rimanda al relativo allegato in relazione (**Allegato D**).

4.6. Risultanze della prospezione sismica di tipo M.A.S.W.

La prospezione sismica effettuata ha permesso di distinguere nel terreno investigato 9 unità sismo-stratigrafiche, ognuna caratterizzata da specifici valori medi di velocità delle onde di taglio (V_s), di densità (γ) e di rigidità (R)⁽⁴⁾, espressi come valori mediati lungo tutto il profilo dello stendimento (**Tabella 2**).

Tabella 2 - Unità sismo-stratigrafiche ottenute dall'indagine sismica					
Sismostrato	Profondità	Spessore	Velocità delle onde di taglio V_s	Densità γ	Rigidità R
	m	m	m/s	KN/m ³	m/s*Kg/m ³
1	0,00 - 2,06	2,06	151,31	16,00	242.096,00
2	2,06 - 4,49	2,43	203,42	16,00	325.472,00
3	4,49 - 7,93	3,44	219,21	16,50	361.696,50
4	7,93 - 11,12	3,19	310,08	16,50	511.632,00
5	11,12 - 14,82	3,70	377,49	17,00	641.733,00
6	14,82 - 19,49	4,67	478,78	18,00	861.804,00
7	19,49 - 24,84	5,35	493,26	18,00	887.868,00
8	24,84 - 32,23	7,39	617,99	19,00	1.174.181,00
9	32,23 -	702,90	20,00	1.405.800,00

⁽⁴⁾ La **rigidità** sismica del terreno (R) è legata alla velocità delle onde di taglio (V_s) e alla densità del terreno (γ) dalla relazione: $R = V_s * \gamma$

Dall'analisi dei risultati scaturiti dall'indagine sismica si evince quanto segue:

- 1) fino alla profondità di circa 2,00 metri dal piano campagna si ha uno strato scarsamente rigido, la cui velocità delle onde di taglio è pressoché di 151 m/s (**sismostrato 1**), dato dal terreno di copertura superficiale;
- 2) a seguire e fino alla profondità di circa 4,50 metri dal p.c., si ha uno strato in cui la rigidezza aumenta leggermente (**sismostrato 2**), con un valore di V_s pari a circa 203 m/s;
- 3) a seguire e fino alla profondità di circa 7,90 metri dal p.c., si osserva ancora un leggero aumento della rigidezza (**sismostrato 3**), con V_s pari a circa 219 m/s;
- 4) a seguire e fino alla profondità di circa 11,10 metri dal p.c., si ha uno strato in cui la rigidezza aumenta significativamente (**sismostrato 4**), con V_s pari a circa 310 m/s;
- 5) a seguire e fino alla profondità di circa 14,80 metri dal p.c., si ha uno strato in cui la rigidezza aumenta ulteriormente (**sismostrato 5**), il cui valore della velocità delle onde di taglio è pari a circa 377 m/s;
- 6) a seguire e fino alla profondità di circa 19,50 metri dal p.c., si ha uno strato in cui la rigidezza aumenta in modo cospicuo (**sismostrato 6**), con un valore di V_s pari a circa 479 m/s;
- 7) a seguire e fino alla profondità di circa 24,80 metri dal p.c., si ha uno strato in cui aumenta di poco la rigidezza (**sismostrato 7**), il cui valore di V_s è di circa 493 m/s;
- 8) a seguire e fino alla profondità di circa 32,20 metri dal p.c., si ha uno strato in cui la rigidezza aumenta considerevolmente (**sismostrato 8**), il cui valore di V_s è di circa 618 m/s;
- 9) a seguire, la velocità delle onde di taglio e la rigidezza del terreno continuano a crescere con l'aumentare della profondità, in cui la velocità delle onde di taglio assume un valore maggiore di 700 m/s.

Nella successiva **Tabella 3** si riportano, infine, i valori dei parametri meccanici elastici dinamici stimati attraverso l'indagine sismica di superficie eseguita in sito.

Tabella 3		Prospetto riassuntivo dei parametri meccanici elastici dinamici							
Sismostrato	Profondità	Spessore	Velocità delle onde di taglio V_s	Parametri meccanici elastici dinamici					
				γ	ν	G0	Ed	M0	Ey
	m	m	m/s	KN/m ³	-	MPa	MPa	MPa	MPa
1	0,00 - 2,06	2,06	151,31	16,00	0,30	36,63	128,21	79,37	95,24
2	2,06 - 4,49	2,43	203,42	16,00	0,30	66,20	231,72	143,44	172,13
3	4,49 - 7,93	3,44	219,21	16,50	0,30	79,29	277,51	171,79	206,15
4	7,93 - 11,12	3,19	310,08	16,50	0,30	158,65	555,27	343,74	412,48
5	11,12 - 14,82	3,70	377,49	17,00	0,30	242,24	847,85	524,86	629,83
6	14,82 - 19,49	4,67	478,78	18,00	0,30	412,62	1.444,17	894,01	1.072,81
7	19,49 - 24,84	5,35	493,26	18,00	0,30	437,96	1.532,85	948,91	1.138,69
8	24,84 - 32,23	7,39	617,99	19,00	0,30	725,64	2.539,73	1.572,22	1.886,66
9	32,23 -	702,90	20,00	0,30	988,10	3,458,35	2.140,88	2.569,06
Simbologia									
γ = Peso di volume					ν = Coefficiente di Poisson				
G0 = Modulo di deformazione al taglio					Ed = Modulo edometrico				
M0 = Modulo di compressibilità volumetrica					Ey = Modulo di Young				

5. Caratterizzazione geotecnica del terreno conseguita tramite le prove penetrometriche dinamiche preesistenti

Tramite correlazioni empiriche, indicate dalla letteratura tecnica specifica e ampiamente utilizzate in campo professionale, dai risultati delle prospezioni penetrometriche è possibile stimare i valori di alcuni parametri geotecnici del terreno investigato.

Nel nostro caso, per ciascun sub orizzonte di terreno, sono stati stimati i valori del peso di volume e della coesione non drenata, di cui alla seguente **Tabella 4**.

Tabella 4		Correlazioni geotecniche effettuate tramite le prospezioni penetrometriche dinamiche continue effettuate in sito preesistenti				
Sub orizzonte di terreno		Profondità (m)	Spessore (m)	N _{SPT} (n° dei colpi medi)	γ (t/m ³)	Cu (Kg/cm ²)
P1	T.V.	0,00 - 0,90	0,90	-	-	-
	A ₁	0,90 - 2,20	1,30	3,00	1,80	0,20
	A ₂	2,20 - 4,80	2,60	6,00	1,80	0,50
	B ₁	4,80 - 5,90	1,10	9,00	1,90	0,90
	B ₂	5,90 - 6,70	0,80	13,00	1,90	1,30
	B ₃	6,70 - 8,80	1,10	16,00	1,95	> 1,50
P2	T.V.	0,00 - 0,80	0,80	-	-	-
	A ₁	0,80 - 1,60	0,80	3,00	1,80	0,30
	A ₂	1,60 - 4,50	2,90	10,00	1,80	1,00
	A ₃	4,50 - 9,10	4,60	9,00	1,85	1,00
	B ₁	9,10 - 9,80	0,70	19,00	1,90	> 1,50
P3	T.V.	0,00 - 1,00	1,00	-	-	-
	A ₁	1,00 - 1,60	0,60	3,00	1,80	0,30
	A ₂	1,60 - 8,40	6,80	9,00	1,80	1,00
	B ₁	8,40 - 9,80	1,40	19,00	1,90	> 1,50
P4	T.V.	0,00 - 0,80	0,80	-	-	-
	A ₁	0,80 - 1,50	0,70	3,00	1,80	0,20
	A ₂	1,50 - 4,30	2,80	6,00	1,80	0,60
	A ₃	4,30 - 8,00	3,70	9,00	1,85	1,00
	B ₁	8,00 - 9,80	1,80	19,00	1,90	> 1,50

6. Pericolosità sismica

6.1. Sismicità storica locale

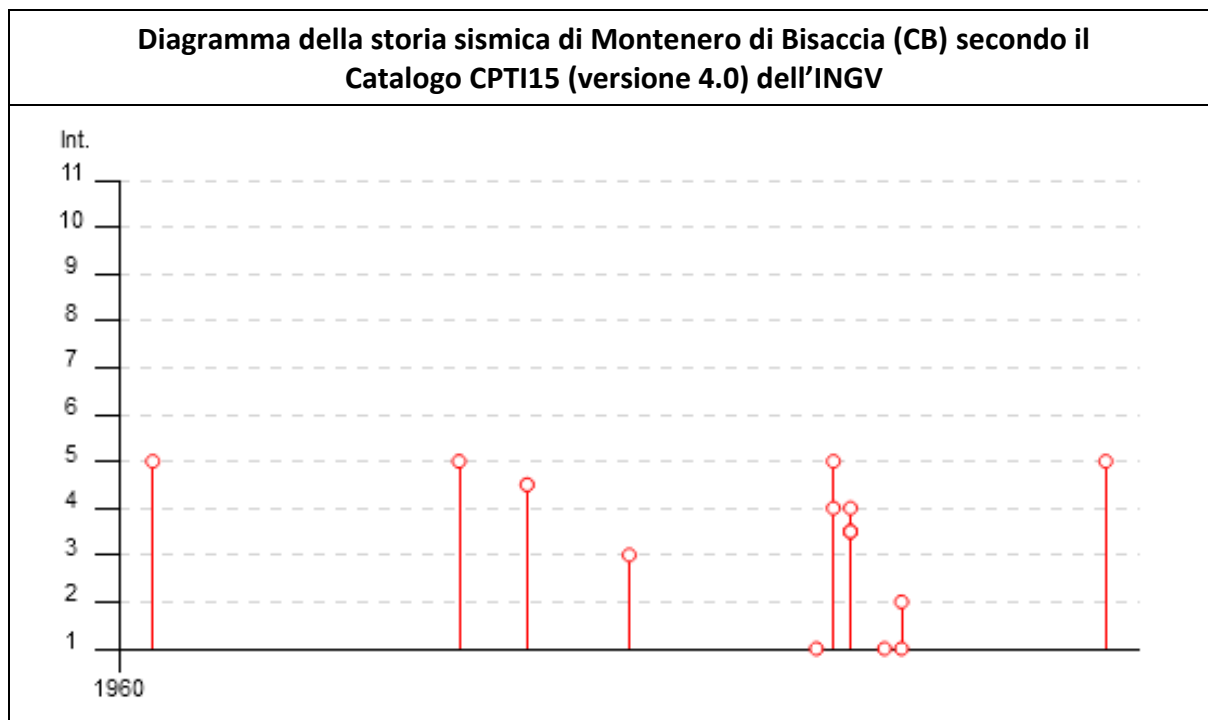
Si riportano di seguito, gli eventi sismici che hanno interessato Montenero di Bisaccia. I dati riportati sono tratti dal “*Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 (versione 4.0)*” dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ⁽⁵⁾. Il Catalogo CPTI15 copre l’intero territorio italiano e raccoglie i terremoti nell’intervallo temporale 1000-2020.

Osservazioni sismiche per Montenero di Bisaccia (CB) secondo il Catalogo CPTI15 dell’INGV						
Effetti	In occasione del terremoto del:					
Int.	Anno/Me/Gi	Ore:Mi	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1962 08 21	18 19	Irpinia	562	9	6.15
5	1980 11 23	18 34	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
4-5	1984 05 07	17 50	Monti della Meta	911	8	5.86
4-5	1984 05 11	10 41	Monti della Meta	342	7	5.47
3	1990 05 05	07 21	Potentino	1375		5.77
NF	2001 07 02	10 04	Tavoliere delle Puglie	60	5	4.26
5	2002 11 01	15 09	Molise	638	7	5.72
4	2002 11 12	09 27	Molise	174	5-6	4.57
3-4	2003 01 27	04 03	Molise	60	5	3.84
3-4	2003 03 29	17 42	Adriatico centrale	68		5.43
4	2003 06 01	15 45	Molise	501	5	4.44
3-4	2003 12 30	05 31	Molise	326	4-5	4.53
NF	2005 03 01	05 41	Molise	136	4	3.68
2	2006 05 29	02 20	Gargano	384		4.64
NF	2006 10 04	17 34	Adriatico centrale	98	4-5	4.30
5	2018 08 16	18 19	Molise	15	5	5.29

- Int.: intensità al sito (MCS).
- NMDP: numero di osservazioni macroscopiche del terremoto CPTI15.
- Io: intensità epicentrale (MCS).
- Mw: Magnitudo momento.

⁽⁵⁾ 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>.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., 2020. The Italian earthquake catalogue CPTI15. *Bulletin of Earthquake Engineering* 18, 2953-2984; <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>.



Dai dati su riportati, per il comune di Montenero di Bisaccia, si evince che non ci sono eventi sismici storici in cui sono state registrate intensità massime al sito \geq del 6° grado della Scala MCS (nella scala MCS il grado 6 indica l'inizio del danneggiamento leggero, ma diffuso) e, complessivamente, sono 4 gli eventi sismici in cui sono state registrate intensità massime al sito pari al 5° grado della Scala MCS e precisamente: 1962 (Irpinia), con Magnitudo epicentrale di 6.15; 1980 (Irpinia-Basilicata), con Magnitudo epicentrale di 6.81; 2002 (Molise), con Magnitudo epicentrale di 5.72; 2018 (Molise), con Magnitudo epicentrale di 5.29.

6.2. Sismicità dell'area

La classificazione sismica del territorio nazionale, di cui all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 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", individua quattro zone sismiche (Zone sismiche 1, 2, 3 e 4), caratterizzate da diversi valori di accelerazione (a_g) orizzontale massima convenzionale su suolo di tipo A, ai quali ancorare lo spettro di risposta elastico.

Ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi pianeggianti caratterizzati da $V_{S30} > 800$ m/s, per un periodo di ritorno di 475 anni:

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (a_g)	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g)
1	$0,250 < a_g \leq 0,350$ g	0,350 g
2	$0,150 < a_g \leq 0,250$ g	0,250 g
3	$0,050 < a_g \leq 0,150$ g	0,150 g
4	$\leq 0,050$ g	0,050 g

Le zone sismiche 1, 2 e 3 possono essere a loro volta suddivise in sottozone caratterizzate da valori intermedi rispetto a quelli indicati e intervallati da valori non minori di 0,025 g.

Sulla base di tale classificazione, il comune di Montenero di Bisaccia viene classificato in **Zona sismica 3**.

L'individuazione di un'area sismica specifica si effettua facendo riferimento alla **Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale MPS04** (prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e adottata come mappa di riferimento per il territorio nazionale ai sensi dell'OPCM 3519/2006 Allegato 1b.

In tale mappa, la pericolosità è espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_g), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi caratterizzati da V_{S30} maggiori 800 m/s (ovvero di categoria A), i cui valori di a_g sono calcolati su una specifica griglia di punti (**reticolo di riferimento**).

Nodi del reticolo di riferimento della Mappa della pericolosità sismica per il sito di progetto				
Nodo	ID (identificativo)	Latitudine (in ED50)	Longitudine (in ED50)	Distanza dal sito (m)
4	27880	42.0279	14.7691	5.619,293
3	27881	42.0272	14.8364	7.065,371
2	28103	41.9772	14.8354	4.432,861
1	28102	41.9779	14.7682	1.127,773

Per il sito di progetto, Latitudine 41.978280 e Longitudine 14.781815 del punto medio (esprese in ED50), la Mappa della pericolosità sismica indica un intervallo di accelerazione a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni pari a **0,100 - 0,125 g (Fig. 3)**.

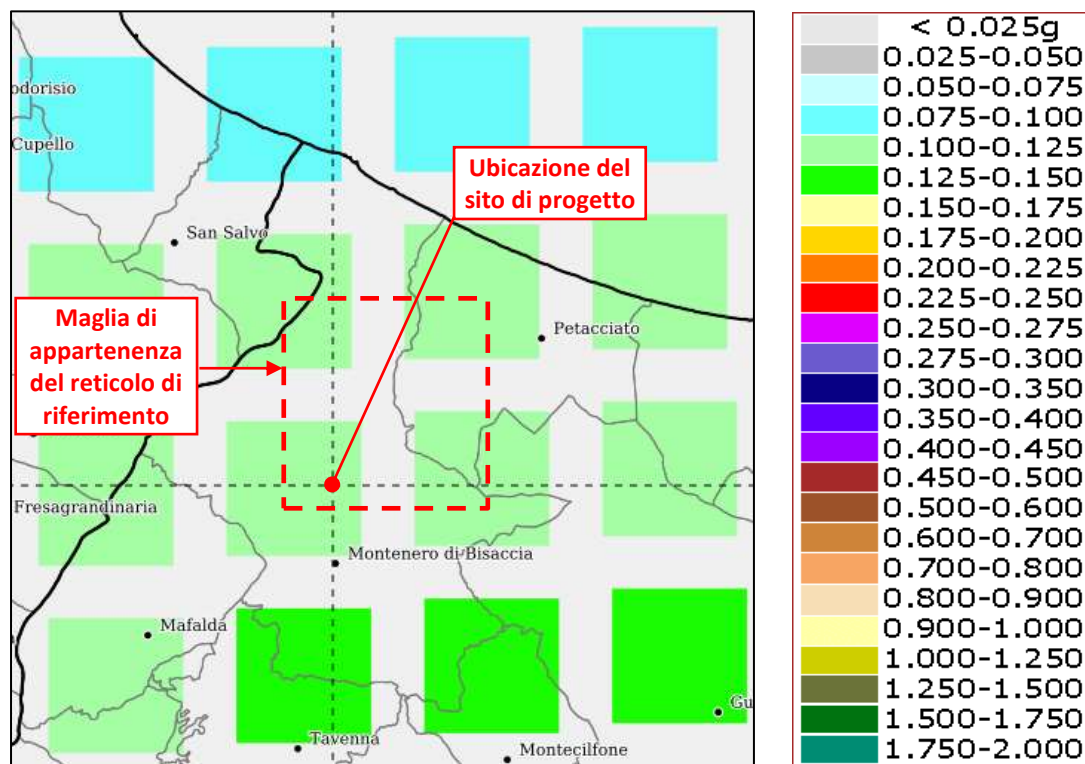


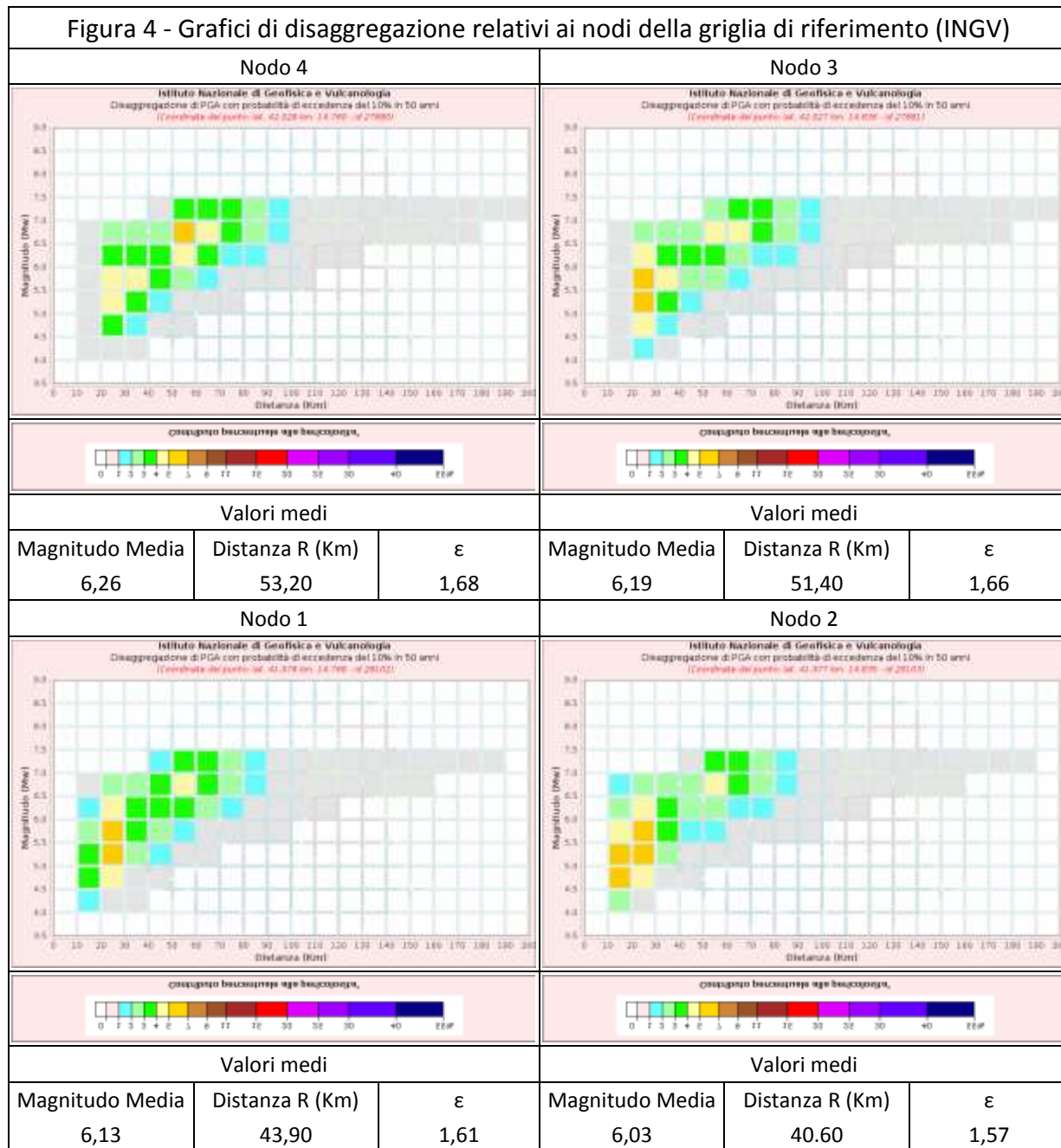
Fig. 3 - Estratto della Mappa della pericolosità sismica (INGV)

Per il sito d'interesse, inoltre, viene stimata la magnitudo attesa, dedotta dall'analisi di disaggregazione della pericolosità sismica del territorio nazionale (in **M-R- ϵ**) svolta dall'INGV. Il processo di disaggregazione fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario), inteso come l'evento di magnitudo **M** a distanza **R** dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso, dove **ϵ** rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M e R.

L'analisi di disaggregazione è importante, nell'ambito dello studio della pericolosità sismica di un sito, dal momento che studi di microzonazione, analisi di liquefazione, analisi di risposta sismica locale, studi di stabilità dei versanti necessitano la conoscenza dei parametri del terremoto di scenario.

Di seguito si riportano i grafici di disaggregazione, tratti dalle Mappe interattive di Pericolosità Sismica dell'INGV, relativi ad un tempo di ritorno T_r di 475 anni (10% di superamento in 50 anni), riguardanti i 4 nodi della griglia di riferimento del sito di progetto.

Figura 4 - Grafici di disaggregazione relativi ai nodi della griglia di riferimento (INGV)



Dai grafici di disaggregazione si evince che, per il sito di progetto, la Magnitudo attesa varia tra 4,0 e 7,5 (con un valore massimo della *Magnitudo Media* pari a 6,26), cui corrispondono distanze epicentrali variabili tra 10 e 100 Km.

6.3. Pericolosità sismica di base

Con l'entrata in vigore delle NTC/2018, le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire da una “**pericolosità sismica di base**” del sito di costruzione, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica di base viene successivamente modificata in considerazione della “**risposta sismica locale**”, ossia degli effetti di amplificazione sismica del sito, funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche sito-specifiche.

La pericolosità sismica è espressa attraverso forme spettrali definite a partire dai valori dei parametri sismici relativi al sito di riferimento rigido orizzontale, quali:

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

I suddetti valori, necessari per la determinazione delle azioni sismiche e relativi alla *pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento*, sono forniti nell'Allegato B alle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. del 14/01/2008 (NTC/2008) e sono definiti in corrispondenza dei punti i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (NTC/2008, Allegato A). Gli stessi, inoltre, devono essere espressi in rapporto a ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R in funzione dello stato limite considerato:

Stati Limite		P_{VR}
Stati limite di esercizio	Stato Limite di Operatività (SLO)	81%
	Stato Limite di Danno (SLD)	63%
Stati limite ultimi	Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)	10%
	Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)	5%

Il periodo di riferimento V_R , in relazione al quale vengono valutate le azioni sismiche sulle costruzioni da adottare nelle verifiche di progetto, si ricava per ciascun tipo di costruzione attraverso la relazione (*formula 2.4.1 delle NTC/2018*):

$$V_R = V_N * C_U$$

nella quale V_N è la vita nominale di progetto per i diversi tipi di costruzione e C_U è il coefficiente d'uso definito sulla base della classe d'uso delle costruzioni.

Nel nostro caso, considerando per l'opera in progetto i seguenti dati di input:

- vita nominale di progetto V_N della costruzione pari a 50 anni (*costruzioni con livelli di prestazioni ordinari, Tab. 2.4.I delle NTC/2018*):

Tipi di costruzioni		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

- Classe d'uso III (§ 2.4.2. delle NTC/2018):

Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
-----------	---

- coefficiente d'uso C_U pari a 1,5 (*Tab. 2.4.II delle NTC/2018*):

Valori del coefficiente d'uso C_U				
Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

si ottiene il valore del periodo di riferimento, da considerarsi nella valutazione delle azioni sismiche di progetto:

$$V_R = V_N * C_U = 50 * 1,0 = 50 \text{ anni.}$$

Per il sito in esame, quindi, in relazione al reticolo di riferimento (Fig. 3) e sulla base del valore del periodo di riferimento V_R pari a 50 anni, si ottengono i seguenti valori dei parametri sismici per sito di riferimento rigido orizzontale ⁽⁶⁾:

⁽⁶⁾ I parametri sismici sono stati determinati attraverso il software "GeoStru PS" (<https://geoapp.eu/parametrisimici2018/>) secondo le NTC/2018, con interpolazione a media ponderata.

Tabella 5	Parametri sismici per sito di riferimento rigido orizzontale				
Stati limite	Pv_R (%)	T_R (anni)	a_g (g)	F_o (-)	T_c^* (s)
Stato Limite di Operatività (SLO)	81	30	0,040	2,486	0,294
Stato Limite di Danno (SLD)	63	50	0,049	2,504	0,334
Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)	10	475	0,111	2,615	0,428
Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)	5	975	0,137	2,675	0,448
Pv_R : probabilità di superamento nel periodo di riferimento; T_R : periodi di ritorno; a_g : accelerazione orizzontale massima al sito; F_o : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T_c^* : valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.					

6.4. Risposta sismica locale

L'azione sismica risentita sulla superficie di un sito viene modificata dalle condizioni topografiche e dalle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera. La **risposta sismica locale** è proprio il risultato di tali modifiche (in ampiezza, durata e contenuto in frequenza) sull'azione sismica.

Le modifiche anzidette sono dovute sia ad **effetti stratigrafici** (legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido e i terreni sovrastanti e alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno), sia ad **effetti topografici** (legati alla configurazione topografica del piano campagna). Alla scala della singola opera, quindi, l'analisi della risposta sismica locale consente di definire le modifiche che il segnale sismico d'ingresso subisce a causa dei fattori sito-specifici.

Nel presente studio, in conformità con quanto previsto dalle NTC/2018, la valutazione della risposta sismica locale, utile per la definizione dell'azione sismica di progetto, è effettuata attraverso l'approccio semplificato.

Le NTC/2018 prevedono, infatti, la possibilità di fare riferimento, nel caso che *“le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II”*, ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

Nell'approccio semplificato è possibile valutare il **coefficiente sismico di amplificazione S**, occorrente per definire l'azione sismica, attraverso la relazione:

$$S = S_s * S_T$$

nella quale:

- S_s è il **Coefficiente di amplificazione stratigrafico**, definito in funzione delle **categorie di sottosuolo** di riferimento (*Tabella 3.2.II delle NTC/2018*):

Tabella 3.2.II - Categorie di 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 superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 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

- S_T è il **Coefficiente di amplificazione topografico**, definito in funzione delle **categorie topografiche** (*Tabella 3.2.III delle NTC/2018*):

Tabella 3.2.III - Categorie topografiche	
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Nell'approccio semplificato, la valutazione della risposta sismica locale consiste nella modifica dello spettro di risposta in accelerazione del moto sismico di riferimento relativo all'affioramento della formazione rocciosa (categoria di sottosuolo A) su superficie

orizzontale (categoria topografica T1). La classificazione del terreno in una delle categorie di sottosuolo di riferimento si effettua determinando il valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (in m/s) attraverso la seguente espressione:

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

nella quale:

- h_i = spessore (in m) dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$ = velocità (in m/s) delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N = numero degli strati;
- H = profondità (in metri) del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$ ottenuto ponendo H = 30 metri e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Una volta individuata la categoria di sottosuolo, è possibile calcolare, mediante espressioni fornite dalla normativa stessa (Tab. 3.2.IV delle NTC/2018), il valore del **coefficiente sismico S_s di amplificazione stratigrafica** da assegnare al terreno e il valore del **coefficiente C_c** che modifica il valore del periodo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico:

Tab. 3.2.IV - Espressioni di S_s e di C_c		
Categoria di sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 * F_o * a_g / g \leq 1,20$	$1,10 * (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 * F_o * a_g / g \leq 1,50$	$1,05 * (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 * F_o * a_g / g \leq 1,80$	$1,25 * (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 * F_o * a_g / g \leq 1,60$	$1,15 * (T_c^*)^{-0,40}$

Nel nostro caso, dal momento che il valore di 800 m/s non viene raggiunto entro i primi 30 metri di profondità a partire dai plausibili piani di fondazione, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$.

Sulla scorta dei valori di $V_{S,30}$ ricavati attraverso la prospezione sismica M.A.S.W. $A_1 - A_{24}$ all'uopo effettuata in sito si ottiene la seguente classificazione del terreno:

Profondità dal p.c.	$V_{S,30}$	Categoria di sottosuolo
0,00 m	332,22 m/s	C
- 1,00 m	351,65 m/s	C

Il terreno, quindi, può essere classificato nella **Categoria di sottosuolo C** (caratterizzata da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s).

Per quel che concerne l'amplificazione sismica dovuta alle condizioni della superficie topografica, a seconda della categoria topografica e in base all'ubicazione dell'opera o dell'intervento, le norme indicano quattro diversi valori massimi del **coefficiente di amplificazione topografica S_T** , variabili tra 1 e 1,4 (Tab. 3.2.V delle NTC/2018):

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Nel caso in esame, considerata la locale condizione topografica del sito in studio, il cui versante d'interesse presenta una pendenza media inferiore a 15°, la categoria topografica di riferimento può essere ricondotta alla categoria **T1**, alla quale non è attribuita alcuna amplificazione sismica di tipo topografico ($S_T = 1$).

In definitiva, per quanto suddetto, è possibile indicare, per la categoria di sottosuolo C individuata, i seguenti coefficienti sismici ⁽⁷⁾ di risposta sismica locale:

Tabella 6		Coefficienti sismici per categoria di sottosuolo C e categoria topografica T1						
Stati limite		S_S	C_C	S_T	K_h	K_v	a_{max}	β
di Operatività (SLO)		1,500	1,570	1,000	0,012	0,006	0,600	0,200
di Danno (SLD)		1,500	1,510	1,000	0,012	0,006	0,600	0,200
di salvaguardia della Vita (SLV)		1,500	1,390	1,000	0,015	0,007	0,600	0,240
di prevenzione del Collasso (SLC)		1,480	1,370	1,000	0,015	0,007	0,600	0,240

- S_S: coefficiente di amplificazione stratigrafica;
- C_C: coefficiente che modifica il valore del periodo T_C;
- S_T: coefficiente di amplificazione topografica;
- K_h: coefficiente sismico orizzontale;
- K_v: coefficiente sismico verticale;
- a_{max}: accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- β: coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

⁽⁷⁾ I coefficienti sismici sono stati determinati attraverso il software "GeoStru PS" (<https://geoapp.eu/parametrisimici2018/>), con interpolazione a *media ponderata* e in riferimento a *stabilità dei pendii e fondazioni*.

7. Stabilità del sito nei confronti della liquefazione

In seguito ad un terremoto, oltre agli effetti diretti, che comportano la deformazione del suolo nella faglia che ha originato il sisma, si possono avere anche effetti secondari indotti dalla propagazione delle onde sismiche, quali ad esempio liquefazione del terreno, frane sismoindotte, cedimenti dovuti a compattazione di terreni granulari poco addensati e di terreni coesivi poco consolidati, cedimenti differenziali in terreni con significative variazioni laterali delle caratteristiche meccaniche.

In particolare, riguardo il fenomeno della liquefazione, le NTC/2018 prescrivono una specifica verifica per valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione nel caso in cui il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda potenzialmente liquefacibili.

Con il termine **liquefazione** si intende genericamente una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall'incremento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo (sabbia, ghiaia, limo non plastico) durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni plastiche permanenti significative o persino da eguagliare le tensioni normali efficaci, annullando così le resistenze di taglio del terreno e innescando un vero e proprio fenomeno di transizione dallo stato solido granulare a quello fluido viscoso. In tali situazioni è possibile avere anche la totale perdita di resistenza al taglio del terreno, che può quindi colare come un fluido anche su pendenze molto modeste, o avere cedimenti assoluti e/o differenziali anche di notevole entità con gravi ripercussioni alle strutture poste in superficie. Il fenomeno della liquefazione interessa, in genere, essenzialmente depositi di terreni incoerenti (soprattutto terreni sabbiosi sciolti o poco/scarsamente addensati) o debolmente coerenti, in presenza di falda acquifera, e dipende principalmente:

- dalle proprietà geotecniche dei terreni,
- dalle caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata,
- dalla genesi e storia geologica dei terreni.

La liquefazione in un sito è influenzata, infatti, dalla combinazione di:

- **fattori predisponenti**, legati alla natura e alle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, quali:

- lo stato di addensamento (un terreno incoerente, a parità di altri fattori, è più esposto al fenomeno della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa);
 - la distribuzione granulometrica;
 - il grado di uniformità;
 - la forma delle particelle;
 - la storia tensionale del deposito OCR;
 - il grado di saturazione;
 - le condizioni di drenaggio;
 - l'età del deposito (i depositi sabbiosi con maggiore potenziale di liquefazione sono i più recenti, infatti a parità di altri fattori un deposito, se più antico, avrà solitamente sviluppato legami intergranulari e cementazioni più forti con il tempo), ecc.;
- **fattori scatenanti**, legati all'entità dell'azione sismica, in termini di magnitudo, ampiezza e durata.

Nei depositi, la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre diminuisce l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma; la resistenza alla liquefazione è, quindi, maggiore con la profondità. Inoltre, maggiore è l'ampiezza della vibrazione e della deformazione indotta, tanto minore è il numero di cicli occorrenti per giungere a tale condizione.

La liquefazione avviene quando sono verificate contemporaneamente le seguenti condizioni:

1) fattori predisponenti:

- a. profondità dello strato liquefacibile minore di 15 ÷ 20 metri dal piano campagna;
- b. profondità della falda minore di 15 metri dal piano campagna;
- c. densità relativa $D_r < 60\%$;
- d. distribuzione granulometrica (diametro medio D_{50} delle particelle di terreno compreso tra 0.02 e 2 mm e frazione di particelle fini (diametro < 0.005 mm) minore del 15%;

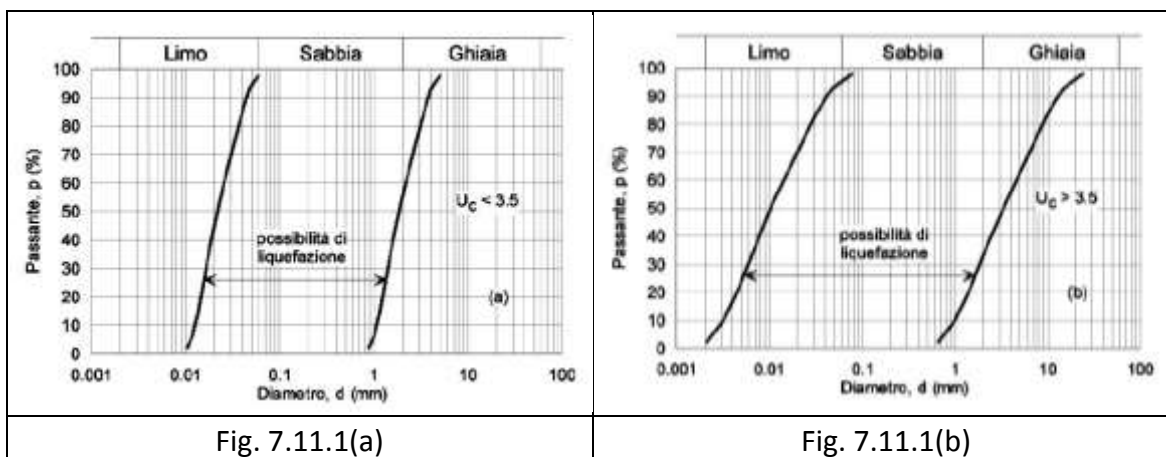
2) fattori scatenanti:

- a. magnitudo maggiore di 5;

- b. valore massimo di accelerazione del suolo attesa maggiore di 0,1 g;
- c. durata maggiore di 15 ÷ 20 secondi.

Le NTC/2018 fissano anche i casi in cui è possibile omettere la verifica nei confronti della liquefazione. L'esecuzione di tale verifica può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti quattro condizioni (§ 7.11.3.4.2 delle NTC/2018):

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) entrambi normalizzati ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



Nel nostro caso, considerata la presenza nel sottosuolo di terreni prevalentemente coesivi, costituiti essenzialmente da argilla con limo debolmente sabbiosa, quindi non suscettibili di liquefazione, si ritiene di omettere la verifica a liquefazione.

8. Utilizzo del suolo e relative prescrizioni

Il sito in studio è ubicato in Contrada Valle Campanile, a Nord dell'abitato di Montenero di Bisaccia. Esso è posto ad una quota topografica di circa 137 metri sul livello medio del mare e si presenta pressoché sub-pianeggiante, con una modesta pendenza in direzione Nord-Ovest.

Nel P.R.G. il sito ricade in parte in zona territoriale omogenea di Tipo "C" e in parte nella sottozona agricola "E2".

Dal punto di vista litostratigrafico, l'area d'interesse è interessata dalla formazione delle Argille di Montesecco (*Argille azzurre*), litologicamente costituita al tetto da argilla limo-sabbiosa grigio-avana e da materiale calcico in presenza variabile, successivamente da argilla limosa e da argilla più o meno marnosa, dal tipico colore grigio-azzurro (formazione di base). Le formazione risulta caratterizzata, complessivamente, da una spiccata sovraconsolidazione e si presenta ben stratificata, con strati di spessore variabile dal decimetro al metro; al suo interno si riscontrano frequenti e sottili intercalazioni sabbiose a grana molto fine, disposte parallelamente alla stratificazione, ma a volte irregolarmente distribuite con andamento ondulare.

Le indagini di sito, nell'insieme, hanno indicato che la formazione di base è posta a una profondità variabile tra -5,00 metri e -13,00 metri circa dal piano campagna.

Dal punto di vista idrogeologico, sulla base delle caratteristiche litologiche dei sedimenti che costituiscono la formazione delle Argille di Montesecco, essa si può considerare nel complesso *praticamente impermeabile* o *scarsamente permeabile* ($K < 10^{-6}$ cm/s), ad eccezione delle coltri di copertura superficiali più allentate, che possono essere interessate da una eterogenea filtrazione e da una lenta circolazione ipodermica delle acque meteoriche, ed essere così a volte sede di sacche idriche di esigua entità.

Le indagini geognostiche effettuate in sito non hanno rilevato la presenza di acqua nel terreno investigato.

Relativamente alle condizioni di stabilità del sito in studio, non si riscontrano situazioni di precarietà delle condizioni statiche e/o di dissesto in atto o potenziali. Al riguardo, anche la

cartografia del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Trigno e dei Fiumi Biferno e minori della Regione Molise, non indica dissesti in atto nell'area d'interesse.

Relativamente alle peculiarità di resistenza del terreno di sedime, la cui natura è essenzialmente argilloso-limosa, il comportamento geomeccanico può fundamentalmente considerarsi di tipo coesivo.

Le risultanze delle prove penetrometriche dinamiche preesistenti evidenziano una certa variazione laterale delle resistenze del terreno investigato. Infatti, valori di resistenza medio-bassi ($R_d \leq 20 \text{ Kg/cm}^2$), dove lo stato di consistenza del terreno può stimarsi "*poco consistente*" o "*moderatamente consistente*", nelle prove P1 e P4 si riscontrano nei primi 4,5 metri di profondità, mentre nelle prove P2 e P3 si riscontrano fino alla profondità di -1,50 metri; successivamente, i valori di resistenza aumentano e lo stato di consistenza del terreno può stimarsi "*consistente*" o "*molto consistente*".

In rapporto ai valori dei parametri geotecnici da utilizzarsi per le verifiche progettuali, considerata la variabilità laterale delle resistenze del terreno, si suggerisce di impiegare valori maggiormente cautelativi tra quelli indicati e/o utilizzare appropriati coefficienti di sicurezza.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, con riferimento alle NTC/2018, per il sito d'interesse è possibile indicare le seguenti prerogative sismiche:

- un intervallo di accelerazione a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni pari a 0,100 - 0,125 g, con riferimento alla Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale MPS04 (prodotta dall'INGV), adottata come mappa di riferimento per il territorio nazionale;
- Magnitudo attese che variano tra 4,0 e 7,5 (con un valore massimo della Magnitudo media pari a 6,26), cui corrispondono distanze epicentrali variabili tra 00 e 100 Km, valori desunti dai grafici di disaggregazione tratti dalle Mappe di Pericolosità Sismica del territorio nazionale MPS04;
- relativamente alla pericolosità sismica di base, i seguenti valori dei parametri sismici per sito di riferimento rigido orizzontale, ottenuti in relazione al reticolo di riferimento del

sito di progetto e sulla base del valore del periodo di riferimento V_R pari a 50 anni (vita nominale di progetto V_N della costruzione pari a 50 anni, Classe d'uso II e coefficiente d'uso C_u pari a 1,0):

Stati limite	Pv_R (%)	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
Stato Limite di Operatività (SLO)	81	30	0,040	2,486	0,294
Stato Limite di Danno (SLD)	63	50	0,049	2,504	0,334
Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)	10	475	0,111	2,615	0,428
Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)	5	975	0,137	2,675	0,448

- in riferimento all'amplificazione stratigrafica, attraverso i risultati dell'indagine sismica M.A.S.W. all'uopo effettuata in sito, il terreno di sedime può essere identificato nella Categoria di sottosuolo C (valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s);
- relativamente alla condizione topografica del sito di progetto, il cui versante di appartenenza presenta una pendenza media inferiore a 15° e per questo configurabile nella Categoria topografica T1, il coefficiente di amplificazione topografica S_T può essere assunto pari a 1;
 - relativamente alla risposta sismica locale, i seguenti coefficienti sismici, per categoria di sottosuolo C e categoria topografica T1:

Stati limite	S_S (-)	C_C (-)	S_T (-)	K_h (-)	K_v (-)	a_{max} (m/s ²)	β_s (-)
di Operatività (SLO)	1,500	1,570	1,000	0,012	0,006	0,600	0,200
di Danno (SLD)	1,500	1,510	1,000	0,012	0,006	0,600	0,200
di salvaguardia della Vita (SLV)	1,500	1,390	1,000	0,015	0,007	0,600	0,240
di prevenzione del Collasso (SLC)	1,480	1,370	1,000	0,015	0,007	0,600	0,240

S_S : coefficiente di amplificazione stratigrafica;

C_C : coefficiente che modifica il valore del periodo T_C ;

S_T : coefficiente di amplificazione topografica;

K_h : coefficiente sismico orizzontale;

K_v : coefficiente sismico verticale;

a_{max} : accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

β_s : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

In caso di sisma, si esclude il fenomeno della liquefazione poiché le litologie componenti il terreno di sedime del sito di progetto non risultano suscettibili di liquefazione.

Alla luce delle risultanze emerse dallo studio eseguito, non si evincono specifiche problematiche di carattere geologico ostative rispetto alla realizzazione della strada di collegamento alla viabilità comunale di cui a progetto.

Le opere in parola, pertanto, si ritengono compatibili rispetto all'utilizzo del suolo, con le seguenti prescrizioni:

- ◆ data la natura argilloso-limosa del terreno, si ritiene opportuno limitare allo stretto necessario scavi e movimenti di terra, fornendo alle relative scarpate adeguate pendenze di sicurezza, nonché realizzare le strutture in elevazione nel più breve tempo possibile dopo i lavori di sbancamento e di scavo, per minimizzare eventuali rilasci tensionali del terreno;
- ◆ considerato che il terreno di sedime del sito in studio presenta una certa variazione laterale delle resistenze, si ritiene inoltre necessario effettuare specifici studi geologici a corredo di eventuali progetti di nuove costruzioni;
- ◆ si raccomanda, infine, di non trascurare la regimazione delle acque meteoriche superficiali. A tale riguardo, si ritiene opportuno che le acque di ruscellamento superficiale e quelle raccolte artificialmente vengano adeguatamente convogliate e smaltite, evitandone la dispersione non controllata.

Si resta a disposizione per ulteriori chiarimenti e/o approfondimenti.

Montenero di Bisaccia, lì Gennaio 2026.

GEOLOGO SPECIALISTA

Dr. Gaetano SILVERIO DE RIZIO



Gaetano Silverio De Rizio

ALLEGATO A

Documentazione fotografica dei tratti di strada in progetto
e della prospezione sismica di superficie M.A.S.W.



Punti di scatto delle foto



Foto 1 - Tratto di strada in progetto A-B visto da A



Foto 2 - Tratto di strada in progetto A-B visto da B



Foto 3 - Tratto di strada in progetto B-C visto da B



Foto 4 - Tratto di strada in progetto B-C visto da C



Foto 5 - Tratto di strada in progetto C-D visto da C



Foto 6 - Tratto di strada in progetto C-D visto da D



Foto 7 - Stesa sismica M.A.S.W. vista da A

ALLEGATO B

Stratigrafia dei due sondaggi geognostici preesistenti

STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA
Dott. Geol. Gianfranco SABATINO

COMMITTENTE: GENTILE, D'ASCENZO ED ALTRI
LOCALITA': MONTENERO DI B. - VALLE CAMPANILE
CANTIERE: LOTTIZZAZIONE
PERFORAZIONE: carotaggio continuo
QUOTA: piano di campagna

SONDAGGIO S1

Data: GENN. 04

Foglio 1/1

PROSPETTO STRATIGRAFICO

Scala 1:100

Profondità ml.	SPESSORE ml.	SIMBOLOGIA	L I T O L O G I A	ϕ	FALDA	SPT N°	Carotaggio %
1.0	1.0	↓ ↓ ↓ ↓	TERRENO VEGETALE				
2		-----	LIMO ARGILLOSO AVANA, NELLA PRIMO METRO PRESENZA DI MATERIALE CALCICO SUCCESSIVAMENTE SI HANNO LIVELLETTI SABBIOSI ROSSATRI E GRIGI DA CIRCA -5.0 M AUMENTA LA COMPONENTE ARGILLOSA E LA TONALITA' GRIGIA				
3		-----					
4		-----					
5		-----					
6		-----					
7		-----					
7.5	6.5	-----					
8		=====	ARGILLA LIMOSA GRIGIA CON LIVELLETTI SABBIOSI				
9		=====					
10		=====					
11		=====					
12		=====					
13		=====					
14		=====					
15		=====					
16		=====					
17		=====					
18		=====					
19		=====					
20		=====					

STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA Dott. Geol. Gianfranco SABATINO	COMMITTENTE: GENTILE, D'ASCENZO ED ALTRI	SONDAGGIO S2
	LOCALITA': MONTENERO DI B. - VALLE CAMPANILE CANTIERE: LOTTIZZAZIONE	Data: GENN. 04
	PERFORAZIONE: carotaggio continuo QUOTA: piano di campagna	Foglio 1/1

PROSPETTO STRATIGRAFICO	Scala 1:100
-------------------------	-------------

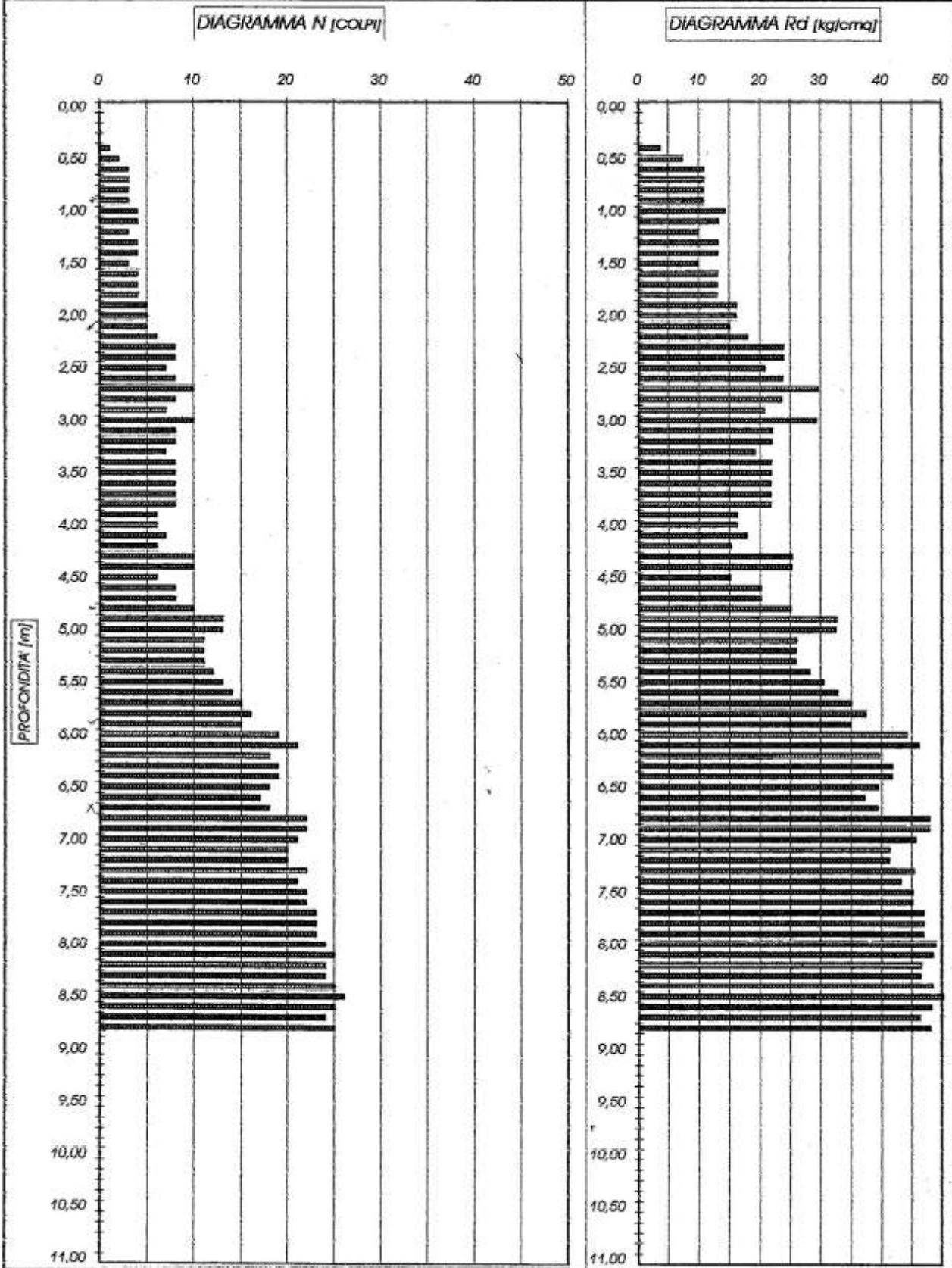
Profondità ml.	SPESSORE ml.	SIMBOLOGIA	L I T O L O G I A	ϕ	FALDA	SPT N°	Carotaggio %
1		↓ ↓ ↓ ↓ ↓	TERRENO VEGETALE				
2.0	2.0	↓ ↓ ↓ ↓ ↓					
3		- - - - -	LIMO ARGILLOSO. NEL PRIMO METRO TONALITA' SCURE SUCCESSIVAMENTE IL COLORE DIVIENE AVANA E FINO A -5.0 M PRESENZA DI MATERIALE CALCICO. OLTRE COMPAGNONO LIVELLETTI SABBIOSI ROSSASTRI E STRIATURE GRIGIE				
4		- - - - -					
5		- - - - -					
6		- - - - -					
7		- - - - -					
8		- - - - -					
9		- - - - -					
10		- - - - -					
11		- - - - -					
12		- - - - -					
13.0	11.0	- - - - -	DAGLI 11.0 M AUMENTO DEL CONTENUTO ARGILLOSO E DELLE TONALITA' GRIGIE				
14		- - - - -	ARGILLA LIMOSA GRIGIA CON LIVELLETTI SABBIOSI				
15		- - - - -					
16		- - - - -					
17		- - - - -					
18		- - - - -					
19		- - - - -					
20		- - - - -					

ALLEGATO C

Indagine penetrometrica dinamica continua preesistente:

tabelle e diagrammi dei valori di resistenza

Committente: GENTILE D'ASCENZO ED ALTRI Penetrometro dinamico leggero DL030
 Località: MONTENERO DI BIS (CB) Quota di inizio prova: p.c.
 Cantiere: LOTTIZZAZIONE Quota di fine prova: 8,80 m
 Data: GENNAIO 2003 Profondità della falda: 3,0 m



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LEGGERA N° 1

TABELLA DEI VALORI DI RESISTENZA

Committente: GENTILE D'ASCENZO ED ALTRI
 Cantiere : LOTTIZZAZIONE
 Località : MONTENERO DI BIS. (CB)
 Data : GENNAIO 2003

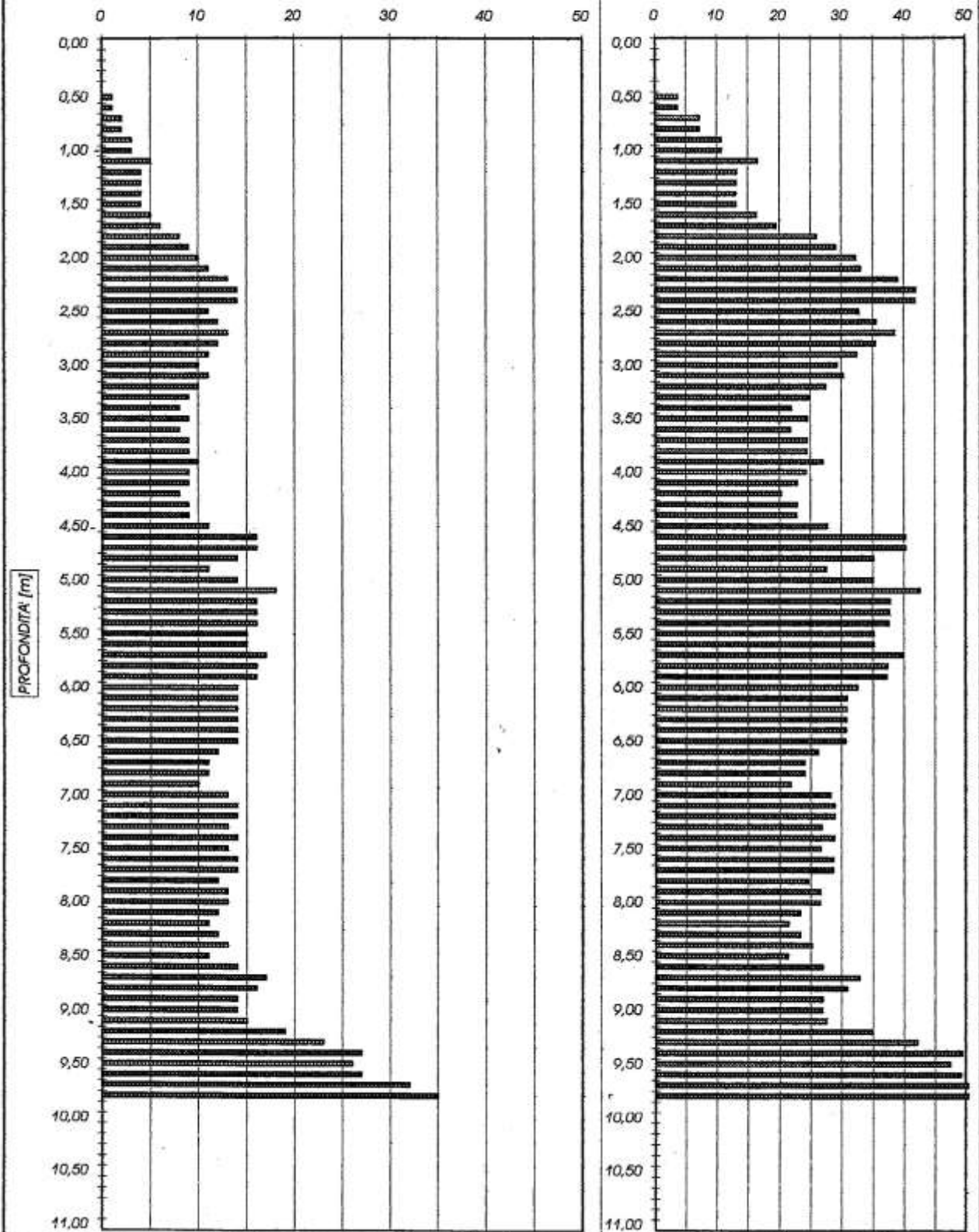
Penetrometro dinamico leggero DL030
 Quota di inizio prova : p.c.
 Quota di fine prova : 8,80 m
 Profondità della falda : 3,0 m

ASTE	Prof. [m]	NUM. COLPI	Rd [Kgl/cm ²]		ASTE	Prof. [m]	NUM. COLPI	Rd [Kgl/cm ²]
	0,10	0	0,00			5,10	11	25,95
	0,20	0	0,00			5,20	11	25,91
	0,30	0	0,00			5,30	11	25,86
	0,40	1	3,64			5,40	12	28,16
	0,50	2	7,25			5,50	13	30,46
	0,60	3	10,85			5,60	14	32,75
	0,70	3	10,81			5,70	15	35,03
	0,80	3	10,77			5,80	16	37,30
	0,90	3	10,73			5,90	15	34,91
1	1,00	4	13,28		6	6,00	19	40,15
	1,10	4	13,24			6,10	21	44,31
	1,20	3	9,90			6,20	18	37,93
	1,30	4	13,16			6,30	19	39,98
	1,40	4	13,12			6,40	19	39,92
	1,50	3	9,80			6,50	18	37,76
	1,60	4	13,04			6,60	17	35,62
	1,70	4	13,00			7,70	18	37,66
	1,80	4	12,96			6,80	22	45,96
	1,90	5	16,16			6,90	22	62,92
2	2,00	5	15,65		7	7,00	21	43,41
	2,10	5	15,03			7,10	20	41,28
	2,20	6	17,99			7,20	20	41,22
	2,30	8	23,93			7,30	22	45,28
	2,40	8	23,86			7,40	21	43,16
	2,50	7	20,83			7,50	22	45,14
	2,60	8	23,74			7,60	22	45,08
	2,70	10	29,60			7,70	23	47,06
	2,80	8	23,62			7,80	23	46,99
	2,90	7	20,61			7,90	23	46,92
3	3,00	10	27,59		8	8,00	24	46,63
	3,10	8	22,02			8,10	25	48,50
	3,20	8	21,97			8,20	24	46,51
	3,30	7	19,18			8,30	24	46,46
	3,40	8	21,86			8,40	25	48,35
	3,50	8	21,82			8,50	26	50,23
	3,60	8	21,77			8,60	25	48,25
	3,70	8	21,73			8,70	24	46,27
	3,80	8	21,68			8,80	25	48,15
	3,90	6	16,23					
4	4,00	6	15,27					
	4,10	7	17,78					
	4,20	6	15,21					
	4,30	10	25,30					
	4,40	10	25,25					
	4,50	6	15,12					
	4,60	8	20,12					
	4,70	8	20,09					
	4,80	10	25,07					
	4,90	13	32,53					
5	5,00	13	30,72					

Committente: GENTILE D'ASCENZO ED ALTRI Penetrometro dinamico leggero DL030
 Località: MONTENERO DI BIS (CB) Quota di inizio prova: p.c.
 Cantiere: LOTTIZZAZIONE Quota di fine prova: 9,80 m
 Data: GENNAIO 2003 Profondità della falda: ///

DIAGRAMMA N [COLPI]

DIAGRAMMA Rd [kg/cm²]



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LEGGERA N° 2

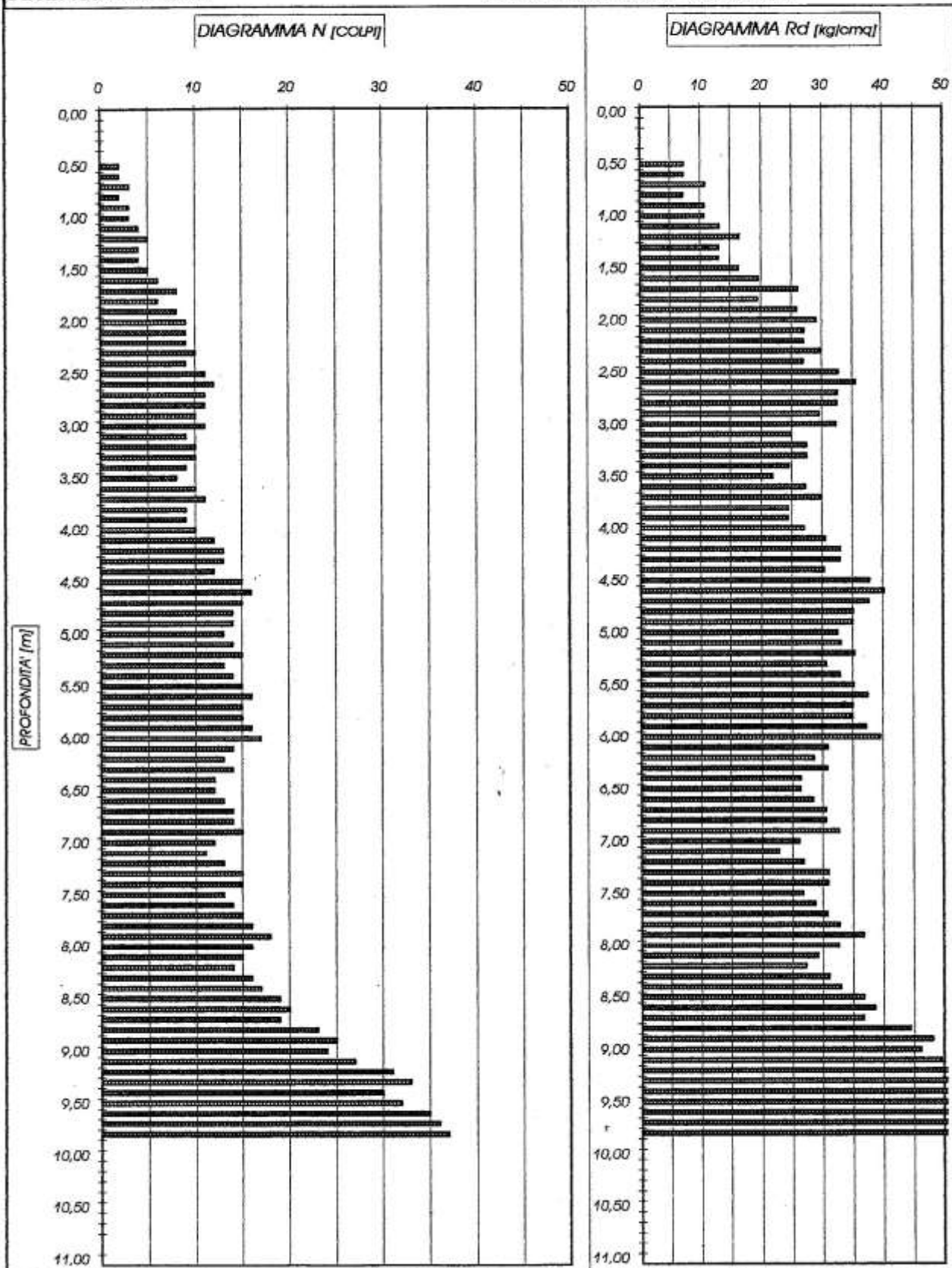
TABELLA DEI VALORI DI RESISTENZA

Committente: GENTILE D'ASCENZO ED ALTRI
 Cantiere : LOTTIZZAZIONE
 Località : MONTENERO DI BIS. (CB)
 Data : GENNAIO 2003

Penetrometro dinamico leggero DL030
 Quota di inizio prova : p.c.
 Quota di fine prova : 9,80 m
 Profondità della falda : ///

ASTE	Prof. [m]	NUM. COLPI	Rd [Kgl/cmq]		ASTE	Prof. [m]	NUM. COLPI	Rd [Kgl/cmq]
	0,10	0	0,00			5,10	18	42,46
	0,20	0	0,00			5,20	16	37,68
	0,30	0	0,00			5,30	16	37,62
	0,40	0	0,00			5,40	16	37,55
	0,50	1	3,63			5,50	15	35,15
	0,60	1	3,62			5,60	15	35,09
	0,70	2	7,21			5,70	17	39,70
	0,80	2	7,18			5,80	16	37,30
	0,90	3	10,73			5,90	16	37,23
1	1,00	3	9,96		6	6,00	14	29,58
	1,10	5	16,55			6,10	14	29,54
	1,20	4	13,20			6,20	14	29,50
	1,30	4	13,16			6,30	14	29,46
	1,40	4	13,12			6,40	14	29,41
	1,50	4	13,07			6,50	14	29,37
	1,60	5	16,30			6,60	12	25,14
	1,70	6	19,50			6,70	11	23,01
	1,80	8	25,93			6,80	11	22,98
	1,90	9	29,08			6,90	10	28,60
2	2,00	10	31,30		7	7,00	13	26,87
	2,10	11	33,07			7,10	14	28,90
	2,20	13	38,99			7,20	14	28,85
	2,30	14	41,87			7,30	13	26,75
	2,40	14	41,76			7,40	14	28,77
	2,50	11	32,73			7,50	13	26,68
	2,60	12	35,62			7,60	14	28,69
	2,70	13	38,48			7,70	14	28,64
	2,80	12	35,42			7,80	12	24,52
	2,90	11	32,38			7,90	13	26,52
3	3,00	10	27,59		8	8,00	13	25,26
	3,10	11	30,27			8,10	12	23,28
	3,20	10	27,46			8,20	11	21,32
	3,30	9	24,66			8,30	12	23,23
	3,40	8	21,86			8,40	13	25,14
	3,50	9	24,54			8,50	11	21,25
	3,60	8	21,77			8,60	14	27,02
	3,70	9	24,44			8,70	17	32,78
	3,80	9	24,39			8,80	16	30,82
	3,90	10	27,05			8,90	14	26,94
4	4,00	9	22,91		9	9,00	14	25,70
	4,10	9	22,86			9,10	15	27,51
	4,20	8	20,28			9,20	19	34,81
	4,30	9	22,77			9,30	23	42,09
	4,40	9	22,73			9,40	27	49,36
	4,50	11	27,72			9,50	26	47,48
	4,60	16	40,24			9,60	27	49,25
	4,70	16	40,18			9,70	32	58,30
	4,80	14	35,10			9,80	35	63,70
	4,90	11	27,52					
5	5,00	14	33,08					

Committente: GENTILE D'ASCENZO ED ALTRI Penetrometro dinamico leggero DL030
 Località: MONTENERO DI BIS (CB) Quota di inizio prova: p.c.
 Cantiere: LOTTIZZAZIONE Quota di fine prova: 8,80 m
 Data: GENNAIO 2003 Profondità della falda: ///



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LEGGERA N° 3

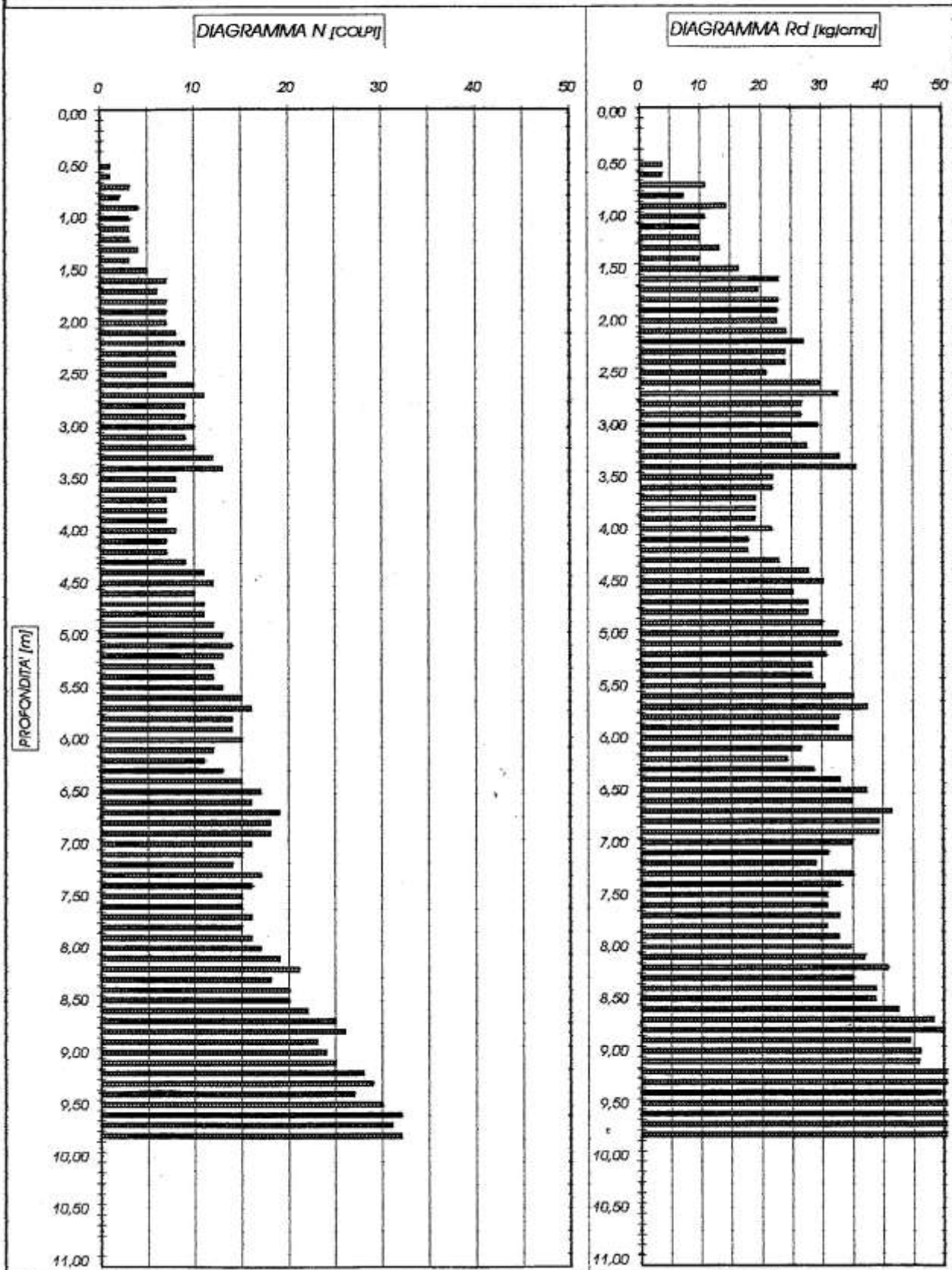
TABELLA DEI VALORI DI RESISTENZA

Committente: GENTILE D'ASCENZO ED ALTRI
 Cantiere: LOTTIZZAZIONE
 Località: MONTENERO DI BIS. (CB)
 Data: GENNAIO 2003

Penetrometro dinamico leggero DL030
 Quota di inizio prova : p.c.
 Quota di fine prova : 9,80 m
 Profondità della falda : ///

ASTE	Prof. [m]	NUM. COLPI	Rd [Kgl/omq]		ASTE	Prof. [m]	NUM. COLPI	Rd [Kgl/omq]
	0,10	0	0,00			5,10	14	33,03
	0,20	0	0,00			5,20	15	35,33
	0,30	0	0,00			5,30	13	30,56
	0,40	0	0,00			5,40	14	32,86
	0,50	2	7,25			5,50	15	35,15
	0,60	2	7,23			5,60	16	37,42
	0,70	3	10,81			5,70	15	35,03
	0,80	2	7,18			5,80	15	34,97
	0,90	3	10,73			5,90	16	37,23
1	1,00	3	9,96		6	6,00	17	35,92
	1,10	4	13,24			6,10	14	29,54
	1,20	5	16,50			6,20	13	27,39
	1,30	4	13,16			6,30	14	29,46
	1,40	4	13,12			6,40	12	25,21
	1,50	5	16,34			6,50	12	25,18
	1,60	6	19,55			6,60	13	27,24
	1,70	8	26,00			7,70	14	29,29
	1,80	6	19,45			6,80	14	29,25
	1,90	8	25,85			6,90	15	42,90
2	2,00	9	28,17		7	7,00	12	24,80
	2,10	9	27,05			7,10	11	22,70
	2,20	9	26,99			7,20	13	26,79
	2,30	10	29,91			7,30	15	30,87
	2,40	9	26,85			7,40	15	30,83
	2,50	11	32,73			7,50	13	26,68
	2,60	12	35,62			7,60	14	28,69
	2,70	11	32,56			7,70	15	30,69
	2,80	11	32,47			7,80	16	32,69
	2,90	10	29,44			7,90	18	36,72
3	3,00	11	30,35		8	8,00	16	31,09
	3,10	9	24,77			8,10	15	29,10
	3,20	10	27,46			8,20	14	27,13
	3,30	10	27,40			8,30	16	30,98
	3,40	9	24,60			8,40	17	32,88
	3,50	8	21,82			8,50	19	36,71
	3,60	10	27,21			8,60	20	38,60
	3,70	11	29,88			8,70	19	36,63
	3,80	9	24,39			8,80	23	44,30
	3,90	9	24,35			8,90	25	48,10
4	4,00	10	25,45		9	9,00	24	44,06
	4,10	12	30,48			9,10	27	49,52
	4,20	13	32,96			9,20	31	56,79
	4,30	13	32,89			9,30	33	60,39
	4,40	12	30,30			9,40	30	54,84
	4,50	15	37,80			9,50	32	58,43
	4,60	16	40,24			9,60	35	63,84
	4,70	15	37,67			9,70	36	65,59
	4,80	14	35,10			9,80	37	67,34
	4,90	14	35,03					
5	5,00	13	30,72					

Committente: GENTILE D'ASCENZO ED ALTRI Penetrometro dinamico leggero DL030
 Località: MONTENERO DI BIS (CB) Quota di inizio prova: p.c.
 Cantiere: LOTTIZZAZIONE Quota di fine prova: 8,80 m
 Data: GENNAIO 2003 Profondità della falda: ///



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LEGGERA N° 4

TABELLA DEI VALORI DI RESISTENZA

Committente: GENTILE D'ASCENZO ED ALTRI
 Cantiere : LOTTIZZAZIONE
 Località : MONTENERO DI BIS. (CB)
 Data : GENNAIO 2003

Penetrometro dinamico leggero DL030
 Quota di inizio prova : p.c.
 Quota di fine prova : 9,80 m
 Profondità della falda : ///

ASTE	Prof. [m]	NUM. COLPI	Rd [kg/cm ²]	ASTE	Prof. [m]	NUM. COLPI	Rd [kg/cm ²]
	0,10	0	0,00		5,10	14	33,03
	0,20	0	0,00		5,20	13	30,62
	0,30	0	0,00		5,30	12	28,21
	0,40	0	0,00		5,40	12	28,16
	0,50	1	3,63		5,50	13	30,46
	0,60	1	3,62		5,60	15	35,09
	0,70	3	10,81		5,70	16	37,36
	0,80	2	7,18		5,80	14	32,63
	0,90	4	14,31		5,90	14	32,58
1	1,00	3	9,96	6	6,00	15	31,70
	1,10	3	9,93		6,10	12	25,32
	1,20	3	9,90		6,20	11	23,18
	1,30	4	13,16		6,30	13	27,35
	1,40	3	9,84		6,40	15	31,52
	1,50	5	16,34		6,50	17	35,67
	1,60	7	22,81		6,60	16	33,52
	1,70	6	19,50		6,70	19	39,75
	1,80	7	22,69		6,80	18	37,60
	1,90	7	22,62		6,90	18	51,48
2	2,00	7	21,91	7	7,00	16	33,07
	2,10	8	24,05		7,10	15	30,96
	2,20	9	26,99		7,20	14	28,85
	2,30	8	23,93		7,30	17	34,99
	2,40	8	23,86		7,40	16	32,88
	2,50	7	20,83		7,50	15	30,78
	2,60	10	29,68		7,60	15	30,74
	2,70	11	32,56		7,70	16	32,74
	2,80	9	26,57		7,80	15	30,65
	2,90	9	26,50		7,90	16	32,64
3	3,00	10	27,59	8	8,00	17	33,03
	3,10	9	24,77		8,10	19	36,86
	3,20	10	27,46		8,20	21	40,70
	3,30	12	32,88		8,30	18	34,85
	3,40	13	35,53		8,40	20	38,68
	3,50	8	21,82		8,50	20	38,64
	3,60	8	21,77		8,60	22	42,46
	3,70	7	19,01		8,70	25	48,20
	3,80	7	18,97		8,80	26	50,08
	3,90	7	18,94		8,90	23	44,25
4	4,00	8	20,36	9	9,00	24	44,06
	4,10	7	17,78		9,10	25	45,85
	4,20	7	17,75		9,20	28	51,30
	4,30	9	22,77		9,30	29	53,07
	4,40	11	27,78		9,40	27	49,36
	4,50	12	30,24		9,50	30	54,78
	4,60	10	25,15		9,60	32	58,37
	4,70	11	27,62		9,70	31	56,48
	4,80	11	27,58		9,80	32	58,24
	4,90	12	30,02				
5	5,00	13	30,72				

ALLEGATO D

Relazione dell'indagine sismica di superficie M.A.S.W.

Regione Molise 	COMUNE DI MONTENERO DI BISACCIA 	Provincia Campobasso 
--	---	--

Titolo elaborato:

CERTIFICATO MODELLAZIONE SISMICA

“INDAGINE SISMICA M.A.S.W.”

Titolo Progetto:	Intervento di realizzazione di una strada di collegamento alla viabilità comunale in Contrada Valle Campanile
-------------------------	---

Committente:	Geol. Gaetano Silverio de Risio
---------------------	---------------------------------

	GEO Solution Studio di Geologia di Dott. Geologo Gianluca Taddei Via del Porto 100/u 66054 – Vasto (CH) Cell. 3478523830 www.geosolutionvasto.it taddeigian@gmail.com	Relatore Dott. Geologo Gianluca Taddei 
---	--	---

Luogo	Vasto	
Data	15 Gennaio 2026	
Documento:	REL masw valle campanile gen2026	Gennaio 2026
Visto:	Dott. Geol. Gianluca Taddei	Gennaio 2026
Approvazioni:	Dott. Geol. Gianluca Taddei	Gennaio 2026
Revisioni:	Rev.0	

Pagine totali elaborato:	10
Firma	

Indice

1. Premessa.....	2
2. Prospezione Sismica Multicanale m. a. s. w.	3
3. Risultati m. a. s. w.....	5

N.B. Ai sensi della normativa vigente (L. n. 633 del 22.04.1941 “Protezione del diritto d'autore e di altri diritti connessi al suo esercizio” – art. 99 e ss. mm. ii. e R. D. n. 262 del 16.03.1942 “Codice civile” e ss. mm. ii.) il presente elaborato non potrà essere riprodotto né ceduto a terzi, né tanto meno utilizzato per scopi diversi da quello di destinazione. Il relatore ne detiene la proprietà e tutte le autorizzazioni per l'utilizzo.

1. Premessa

Su incarico ricevuto dal Geol. Gaetano Silverio de Risio è stato redatto uno studio atto ad accertare le caratteristiche sismiche del sottosuolo per i lavori in oggetto, con coordinate del punto medio del sito Lat. 41° 58' 37.60" N Long 14° 46' 51.20"E, ed una quota altimetrica di circa 137.00 m s.l.m. (figura 1).

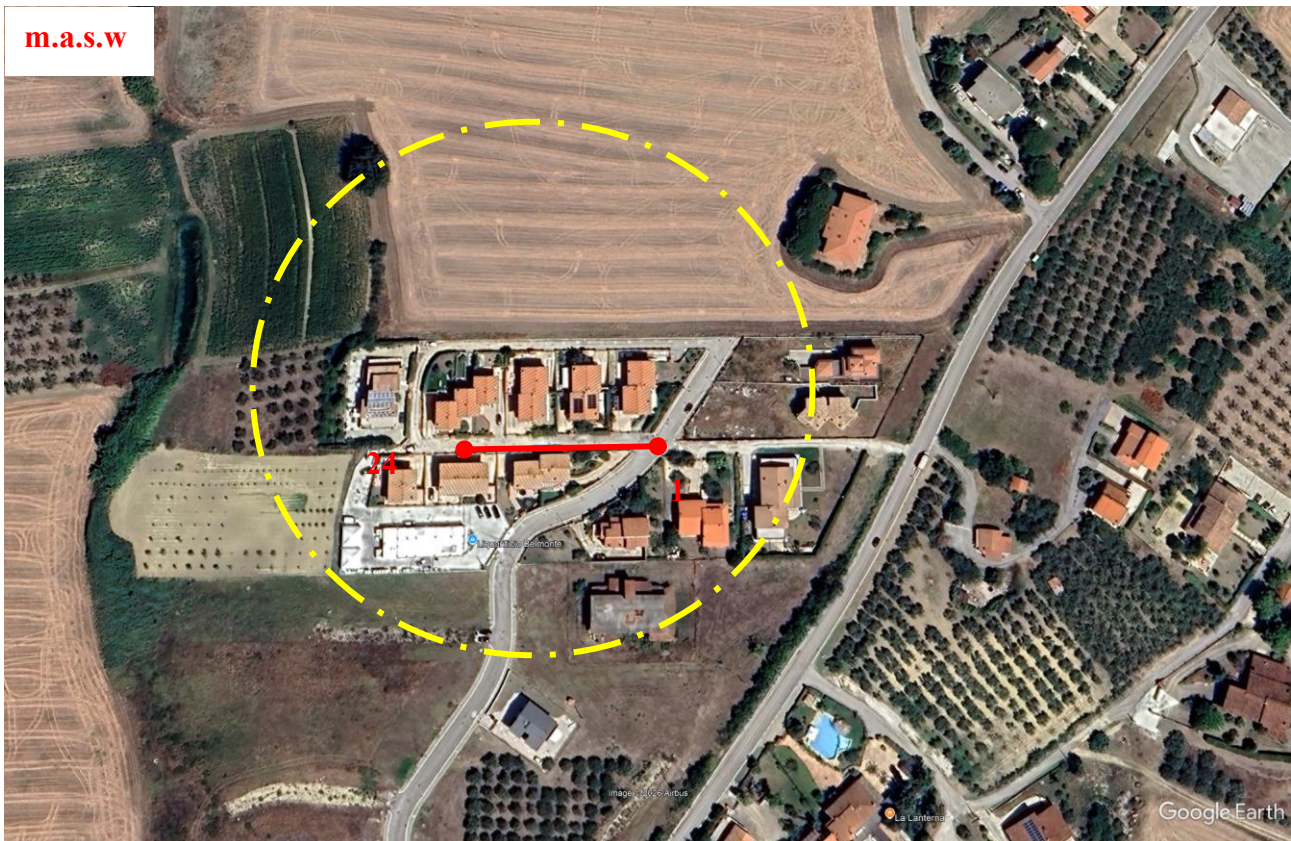


Figura 1: Immagine satellitare con l'ubicazione dell'indagine.

L'indagine geofisica, in particolare è consistita in:

- n. 1 profilo sismico ed elaborazione dati con metodologia d'indagine m. a. s. w. di ml 46.00 con n.24 geofoni, con n. 12 end - shots ad una distanza di - 3.00 m, - 5.00 m, - 7.00 m dal primo e dall'ultimo geofono, per la determinazione del parametro V_{s30} /equivalente; con l'obiettivo di determinare i principali parametri elastomeccanici dei terreni costituenti il piano di sedime dalle opere in progetto.

2. Prospezione Sismica Multicanale m. a. s. w.

Per il caso oggetto di studio è stata realizzata una prova sismica attiva del tipo m. a. s. w. (Multichannel Analysis of Surface Waves), la quale si basa sulla misurazione e sull'analisi delle onde di Rayleigh in un semispazio stratificato.

Per ciò che riguarda l'elaborazione dei dati sono stati utilizzati i seguenti software: "Easy m. a. s. w." della Geostru Software e "Geopsy" sviluppato dall'Università "Joseph Fourier (France) - Liegi (Belgium)".

Le prove m. a. s. w. consentono di ricavare il parametro V_{s30} /equivalente, richiesto dalla nuova normativa sismica NTC 2018, tramite la misura delle velocità sismiche delle onde superficiali dette di Rayleigh (VR) a diverse frequenze. La variazione di velocità a diverse frequenze (dispersione) è imputabile prevalentemente alla stratificazione geologica, i cui valori sono ricavabili da un successivo processo di inversione numerica.

Strumentazione e configurazione geometrica utilizzata

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale M. A. E. A6000S, avente le seguenti caratteristiche tecniche (figura 2):

- capacità di campionamento dei segnali tra 0.002 e 0.00005 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break);
- filtri High Pass e Band Reject;
- Automatic Gain Control;
- convertitore A/D a 24 bit;
- 24 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4,5 Hz;
- massa battente pesante di 8 Kg.

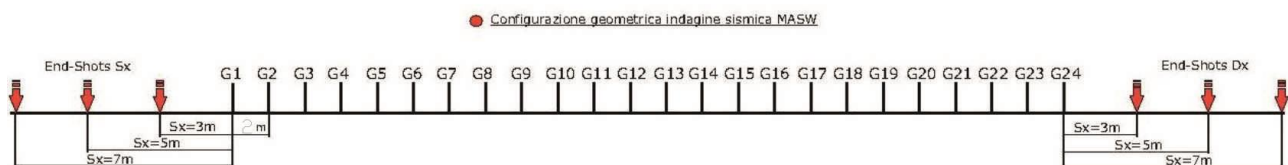


Figura 2: Configurazione utilizzata per la prova m. a. s. w..

La configurazione spaziale in sito è equivalente ad un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "base distante in linea". In particolare, è stato utilizzato il seguente set - up:

- 24 geofoni con interspazio (Gx) di 2.00 metri;
- guadagno costante (stesso valore per tutti i canali), nessun AGC (Automatic Gain Control), nessun filtro, guadagno impostato sui 30 dB in modo da evitare saturazione nelle tracce più vicine allo shot e non perdendo troppo segnale alle tracce più lontane;
- n. 12 energizzazioni con n. 2 shots cadauno ad offset (Sx - Dx) -3.00 m; -5.00 m; -7.00 m dal primo geofono e dall'ultimo geofono;
- frequenza di campionamento pari a 1000 campioni secondo;
- tempo di registrazione 2.048 m/s;
- numero di campioni 2048;
- frequenza minima di elaborazione 1 Hz;
- frequenza massima di elaborazione 60 Hz;
- velocità minima di elaborazione 1 m/s;
- velocità massima di elaborazione 800 m/s;
- intervallo di velocità 20 m/s.

Tale configurazione ha consentito di mitigare gli effetti near - field dovuti alle onde di volume.

Elaborazione dati

L'analisi m. a. s. w. effettuata può essere ricondotta in quattro fasi:

- la prima fase prevede la trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza f – numero d'onda K ;
- la seconda fase consiste nella individuazione delle coppie f - k cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) consentendo di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano Velocità di fase (m/sec)–frequenza (Hz) o lentezza (sec/m)–frequenza (Hz) (figura 4 e 5);
- la terza fase consiste nel calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p , la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo;
- la quarta fase consiste nella modifica della curva teorica fino ad ottenere una sovrapposizione ottimale tra velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo (figura 6 e 7).

3. Risultati m. a. s. w.

Di seguito è riportato il relativo grafico del sismogramma e della densità spettrale ottenuto per il relativo punto di indagine (figura 3).

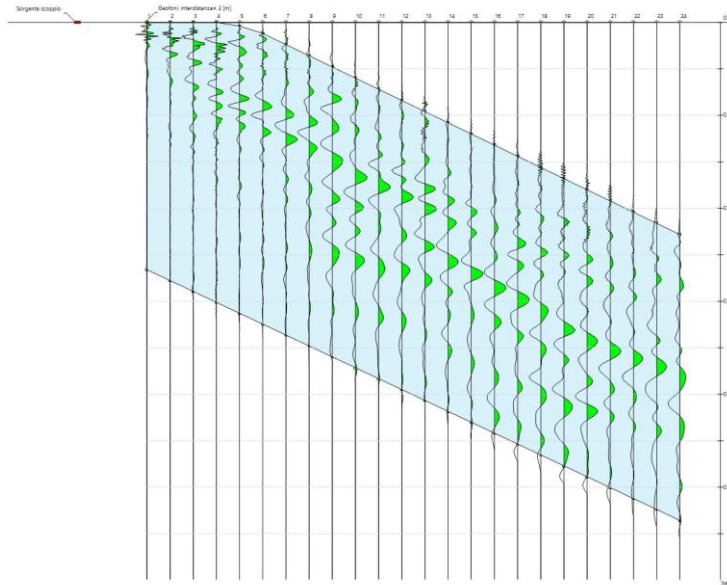


Figura 3: Sismogramma ottenuto.

Nel grafico della densità spettrale, la velocità di fase risulta dispersa nel piano velocità (m/sec) - frequenza (Hz) in un intervallo di frequenza compreso tra 1 Hz e 60 Hz (figura 4 e 5).

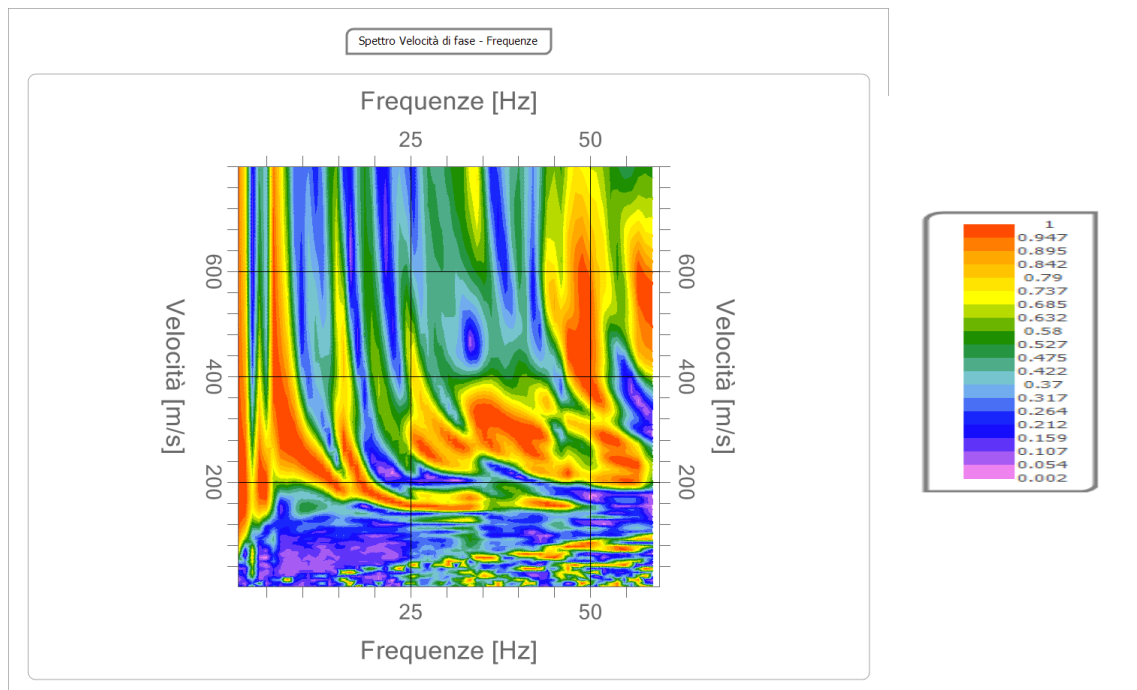


Figura 4: Spettro 2D velocità di fase – frequenze.

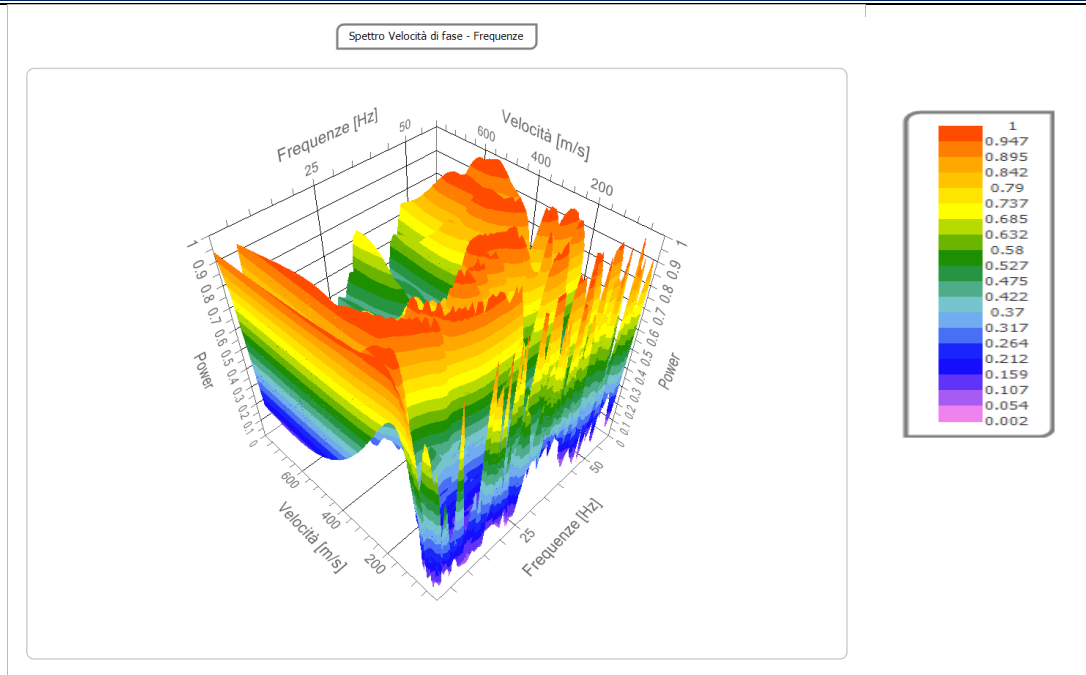


Figura 5: Spettro 3D velocità di fase – frequenza.

La curva di dispersione teorica calcolata attraverso l’inversione del modello di velocità evidenzia un buon accordo con la curva di dispersione sperimentale, con una percentuale d’errore che si attesta sullo 0.001% ed un disadattamento dalla soluzione dello 0.005 (figura 11).

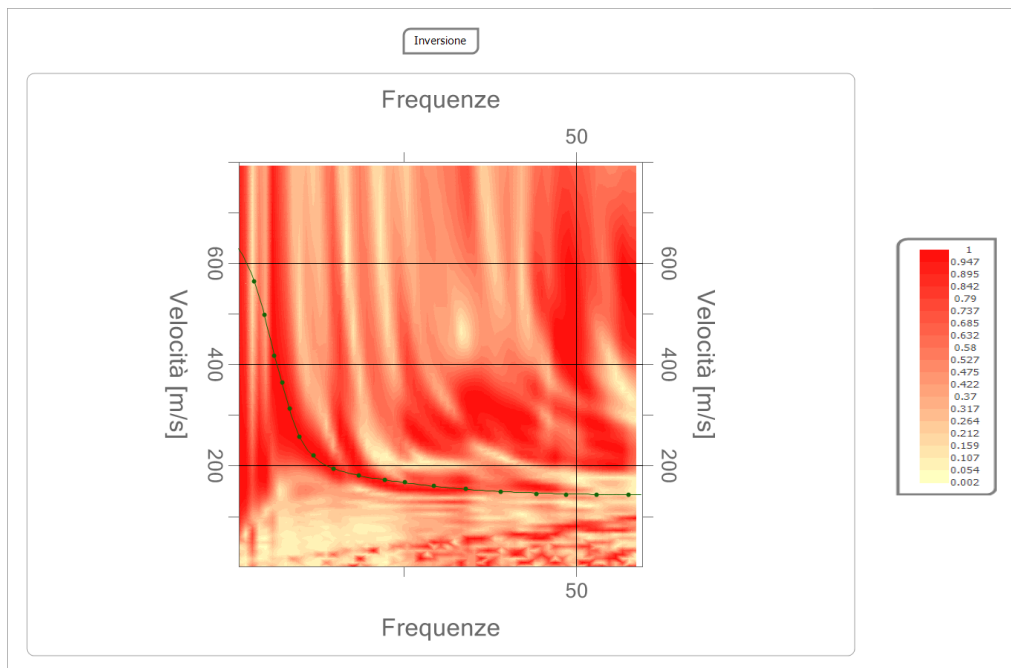


Figura 6: Processo di inversione e fitting curva sperimentale - curva calcolata.

Vs30/Equivalent = 332.25 m/s a 0.0 m da p.c.

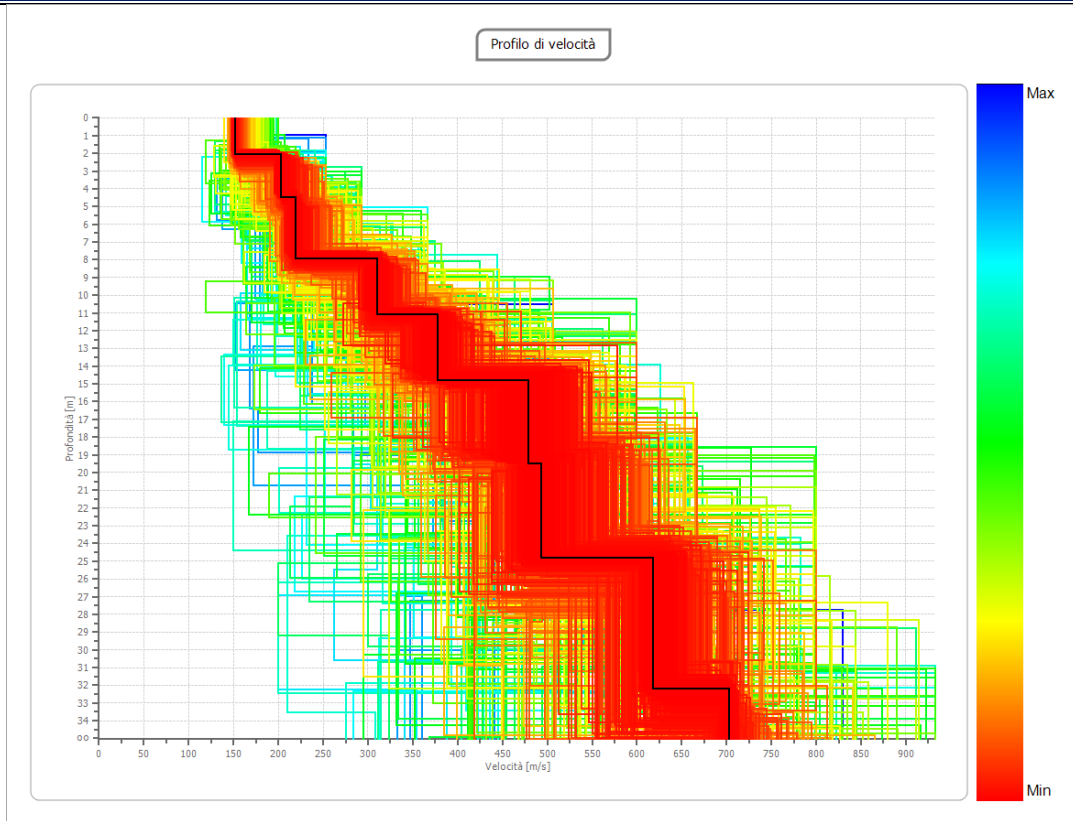


Figura 7: Modello di velocità del sottosuolo Vs – Profondità.

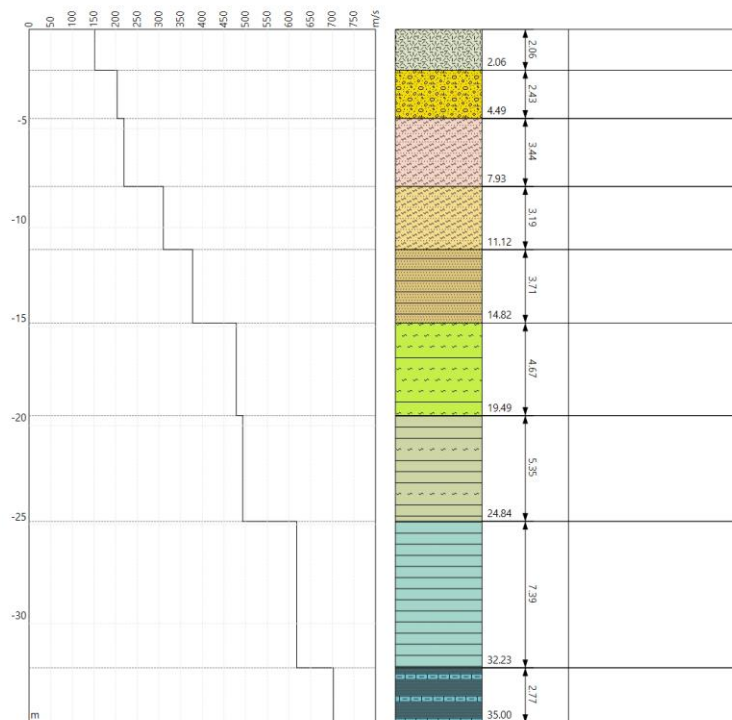


Figura 8: Modello di velocità del sottosuolo Vs – Stratigrafia ipotetica.

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	3.3	564.3	0
2	4.8	497.6	0
3	6.2	417.5	0
4	7.3	364.2	0
5	8.4	313.8	0
6	9.8	257.5	0
7	11.9	220.4	0
8	14.8	193.7	0
9	18.5	180.4	0
10	22.3	171.5	0
11	25.1	167.0	0
12	29.3	159.6	0
13	34.0	153.7	0
14	39.0	149.2	0
15	44.2	144.8	0
16	48.5	143.3	0
17	53.0	143.3	0
18	57.5	143.3	0

Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Vs [m/sec]
1	2.06	2.06	1600.0	0.30	151.3
2	4.49	2.43	1600.0	0.30	203.4
3	7.93	3.44	1650.0	0.30	219.2
4	11.12	3.19	1650.0	0.30	310.1
5	14.82	3.71	1700.0	0.30	377.5
6	19.49	4.67	1800.0	0.30	478.8
7	24.84	5.35	1800.0	0.30	493.3
8	32.23	7.39	1900.0	0.30	618.0
9	oo	oo	2000.0	0.30	702.9

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	2.06	2.06	151.31	1600.00	0.30	36.63	128.21	79.37	95.24
2	4.49	2.43	203.42	1600.00	0.30	66.20	231.72	143.44	172.13
3	7.93	3.44	219.21	1650.00	0.30	79.29	277.51	171.79	206.15
4	11.12	3.19	310.08	1650.00	0.30	158.65	555.27	343.74	412.48
5	14.82	3.71	377.49	1700.00	0.30	242.24	847.85	524.86	629.83
6	19.49	4.67	478.78	1800.00	0.30	412.62	1444.17	894.01	1072.81
7	24.84	5.35	493.26	1800.00	0.30	437.96	1532.85	948.91	1138.69
8	32.23	7.39	617.99	1900.00	0.30	725.64	2539.73	1572.22	1886.66
9	2.06	2.06	151.31	2000.00	0.30	988.10	3458.35	2140.88	2569.06

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young.



Figura 9: esecuzione profilo Masw.

Vasto, 15 Gennaio 2026

Firma

Il geologo senior

(Dott. Geol. Gianluca Taddei)

STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E APPLICATA

GEOLOGO GAETANO SILVERIO DE RISIO

Via Ambroglio Carabba n° 35 - 86036 Montenero di Bisaccia (CB) - Telefono 3384143025
E-mail: g.s.derisio@virgilio.it - PEC: gaetano.silverio.derisio@pec.onlinegeologimolise.it
Iscrizione Albo dei Geologi della Regione Molise n° 086 Sezione A
Codice Fiscale: DRSGNSS81201520P - Partita IVA: 09855820700

REGIONE MOLISE

Comune di MONTENERO DI BISACCIA

(Provincia di Campobasso)

STUDIO GEOLOGICO

PROGETTO: Intervento di realizzazione di una strada di collegamento alla viabilità comunale in Contrada Valle Campanile

Committente: Comune di Montenero di Bisaccia

Località: Contrada Valle Campanile

Carta Geologico-Geomorfologica con ubicazione delle indagini di sito (Scala 1:500)

Tavola 1

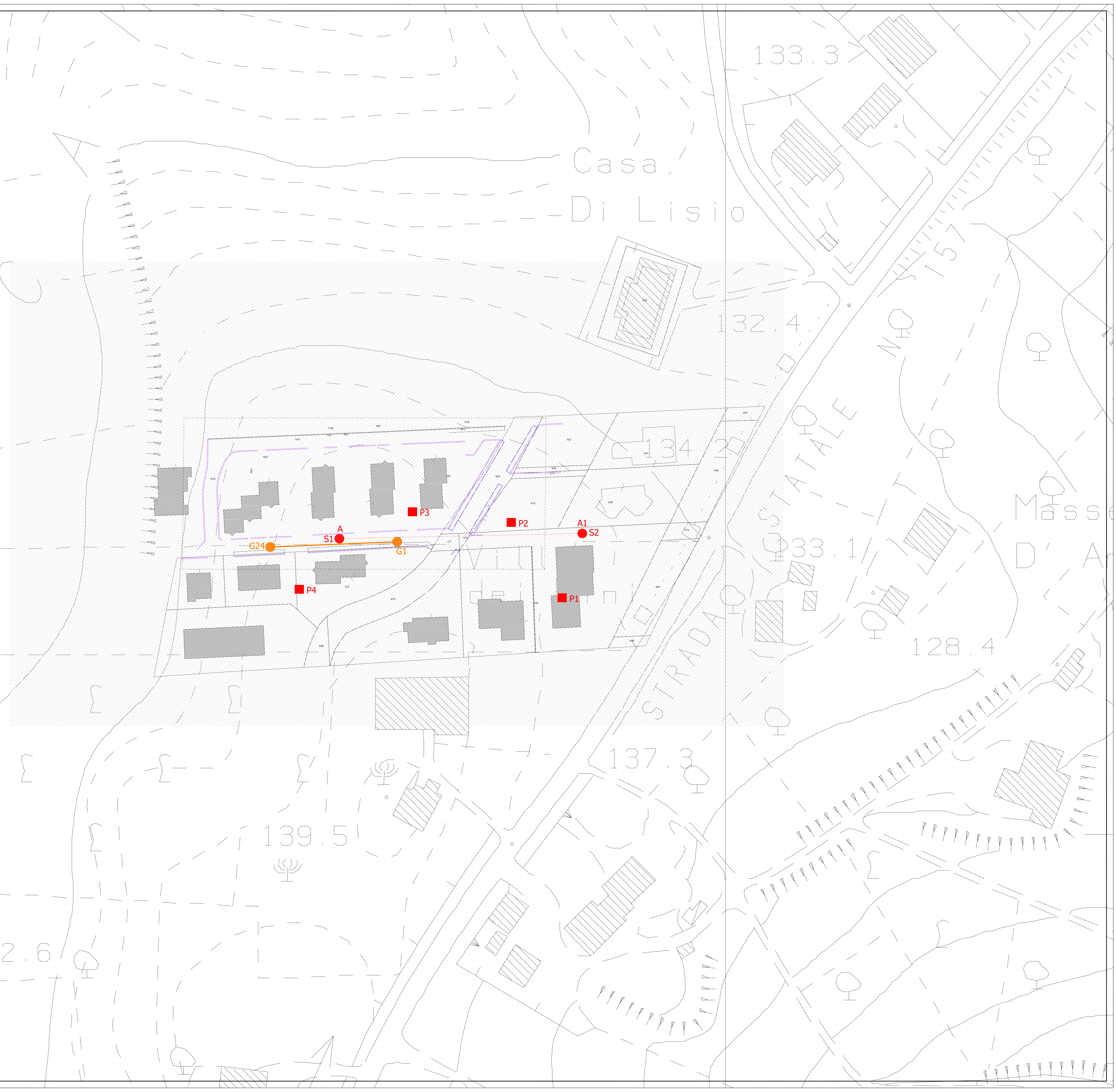


Gennaio, 2026
Rif.: 239/26

Proprietà riservata, sono vietate riproduzioni non autorizzate

LEGENDA

- Argille di Montesecco (Argille azzurre) (Pleistocene inferiore - Pliocene superiore).
- Argilla limosa e argilla più o meno marnosa dal tipico colore grigio-azzurro (formazione di base), e argilla limo-sabbiosa grigio-avana con presenza di materiale calcico e livelletti sabbiosi (al tetto della formazione).
È caratterizzata da una spiccata sovraconsolidazione e si presenta ben stratificata, con strati di spessore variabile dal decimetro al metro; al suo interno si riscontrano frequenti e sottili intercalazioni sabbiose a grana molto fine, disposte parallelamente alla stratificazione, ma a volte irregolarmente distribuite con andamento ondulare.
- S_n Sondaggio geognostico preesistente e suo numero identificativo.
- P_n Prova penetrometrica dinamica continua preesistente e suo numero identificativo.
- Stendimento della prospezione sismica di superficie di tipo MASW all'uopo effettuata in sito con indicazione del primo e ultimo geofono.
- A₁—A₂ Traccia della sezione geologica
- ▭ Individuazione dell'area d'interesse.



STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E APPLICATA

GEOLOGO GAETANO SILVERIO DE RISIO

Via Ambrogio Carabba n° 35 – 86036 Montenero di Bisaccia (CB) - Telefono: 3384143025

E-mail: g.s.derisio@virgilio.it - PEC: gaetano.silverio.derisio@pec.ordinegeologimolise.it

Iscrizione Albo dei Geologi della Regione Molise n° 086 Sezione A

Codice Fiscale: DRSGNS58H20I520P – Partita IVA: 00855820700

REGIONE MOLISE

Comune di MONTENERO DI BISACCIA

(Provincia di Campobasso)

STUDIO GEOLOGICO

PROGETTO: Intervento di realizzazione di una strada di collegamento alla viabilità comunale in Contrada Valle Campanile

Committente: Comune di Montenero di Bisaccia

Località: Contrada Valle Campanile

Tavola 2

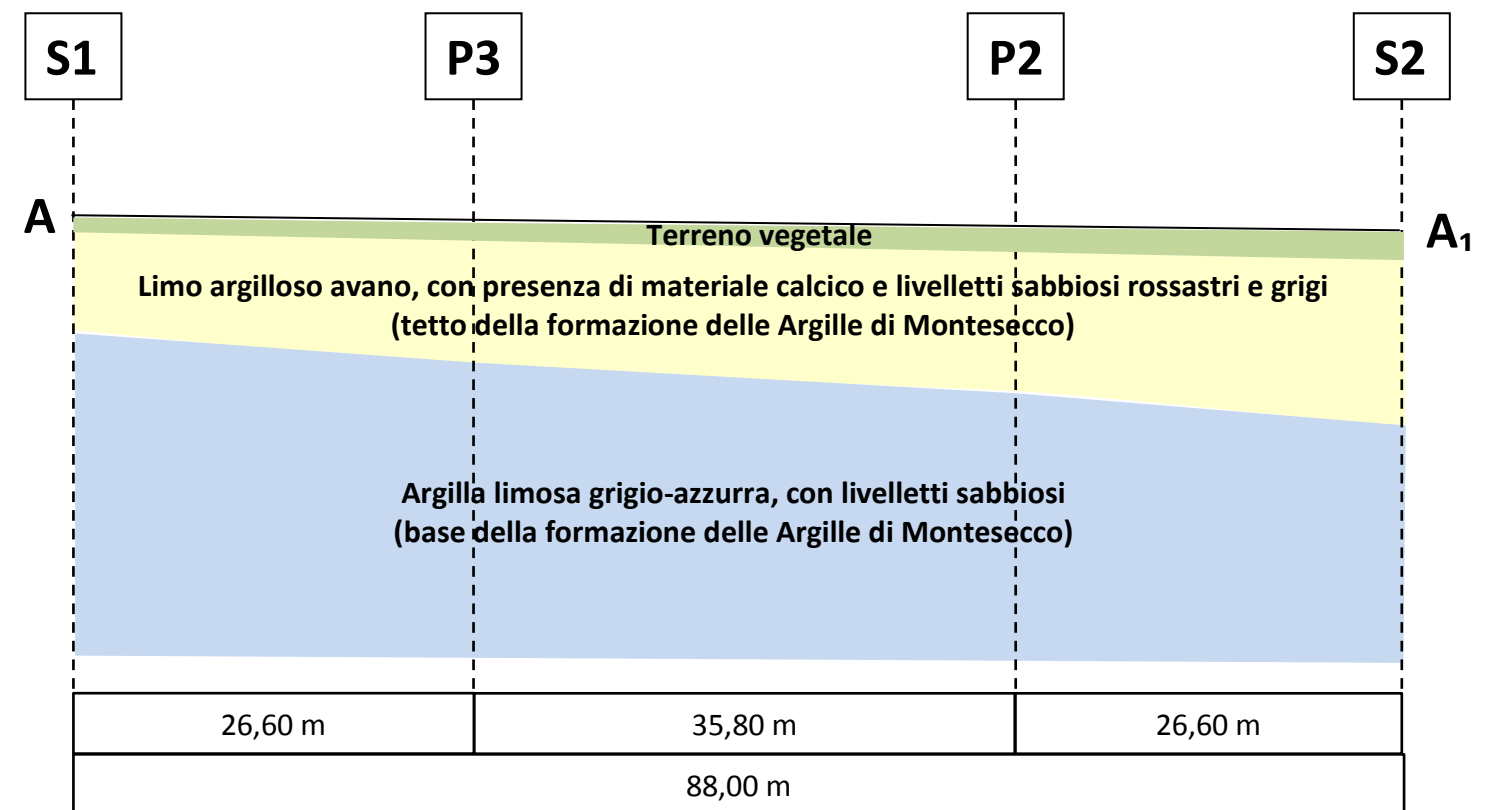
Sezione Geologica
(Scala 1:500)

Gennaio, 2026

Rif.: 239/26



Sezione geologica A – A₁



Legenda

- Sn Sondaggio geognostico preesistente e suo numero identificativo.
- Pn Prova penetrometrica dinamica continua preesistente e suo numero identificativo.

STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E APPLICATA

GEOLOGO GAETANO SILVERIO DE RISIO

Via Ambrogio Carabba n° 35 - 86036 Montenero di Bisaccia (CB) - Telefono: 3384143023
E-mail: g.silverio@virgilio.it - PEC: gaetano.silverio.derisio@pec.ordinegeologi.molise.it
Iscrizione Albo dei Geologi della Regione Molise n° 086 Sezione A
Codice Fiscale: DR50NS581201520P - Partita IVA: 00855820700

REGIONE MOLISE

Comune di MONTENERO DI BISACCIA

(Provincia di Campobasso)

STUDIO GEOLOGICO

PROGETTO: Intervento di realizzazione di una strada di collegamento alla viabilità comunale in Contrada Valle Campanile

Committente: Comune di Montenero di Bisaccia

Località: Contrada Valle Campanile

Tavola 4 Carta d'Uso del Territorio (Scala 1:500)

Gennaio, 2026
Rif: 239/26



Proprietà riservata, sono vietate riproduzioni non autorizzate

LEGENDA

Area d'interesse

L'area in studio non presenta specifiche problematiche di carattere geologico ostative rispetto alla realizzazione della strada di collegamento alla viabilità comunale di cui a progetto.

Le opere in parola, pertanto, si ritengono compatibili rispetto all'utilizzo del suolo, con le seguenti prescrizioni:

- data la natura argilloso-limoso del terreno, si ritiene opportuno inoltre limitare allo stretto necessario scavi e movimenti di terra, fornendo alle relative scarpate adeguate pendenze di sicurezza, nonché realizzare le strutture in elevazione nel più breve tempo possibile dopo i lavori di sbancamento e di scavo, per minimizzare eventuali rilasci tensionali del terreno;
- considerato che il terreno di sedime del sito in studio presenta una certa variabilità laterale delle resistenze, si ritiene necessario effettuare specifici studi geologici a corredo di eventuali progetti di nuove costruzioni;
- si raccomanda, infine, di non trascurare la regimazione delle acque meteoriche superficiali. A tale riguardo, si ritiene opportuno che le acque di ruscellamento superficiale e quelle raccolte artificialmente vengano adeguatamente convogliate e smaltite, evitandone la dispersione non controllata.

