



Comune di Tertenia

Provincia di Nuoro

Regione Sardegna



INTERVENTI DI DIFESA DA RISCHIO IDROGEOLOGICO
NEL COMUNE DI TERTENIA

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

OGGETTO

RELAZIONE GEOLOGICA

TIMBRI E FIRME

SRIA
s.r.l.

STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI

VIA ROSOLINO PILO N. 11 - 10143 - TORINO

VIA IS MAGLIAS N. 178 - 09122 - CAGLIARI

TEL. +39 011 43 77 242

studiorosso@legalmail.it

info@sria.it

www.sria.it

CONTROLLO QUALITA'

| DESCRIZIONE | EMISSIONE | |
|---------------|-----------|--|
| DATA | SET/2023 | |
| COD. LAVORO | 502/SR | |
| TIPOL. LAVORO | P | |
| SETTORE | G | |
| N. ATTIVITA' | 02 | |
| TIPOL. ELAB. | RS | |
| TIPOL. DOC. | E | |
| ID ELABORATO | 02 | |
| VERSIONE | 0 | |

REDATTO

geol. Francesca DEMURTAS

CONTROLLATO

ing. Mirko TONDI

APPROVATO

geol. Francesca DEMURTAS

ELABORATO

P.2.2



INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. PREMESSA | 2 |
| 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E NORMATIVO | 3 |
| 2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO | 3 |
| 2.2 INQUADRAMENTO NORMATIVO..... | 4 |
| 2.2.1 <i>Piano di Assetto Idrogeologico</i> | 4 |
| 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO..... | 6 |
| 3.1 CARATTERI GEOLOGICI GENERALI | 6 |
| 3.2 ASSETTO GEOLOGICO – STRUTTURALE | 7 |
| 3.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL’AREA IN STUDIO | 7 |
| 3.1 SITUAZIONE LITOSTRATIGRAFICA LOCALE | 8 |
| 3.1.1 <i>Criticità morfologiche relative al dissesto del versante</i> | 8 |
| 3.2 SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA | 11 |
| 4. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE | 12 |
| 4.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI E PROVE SPT | 14 |
| 4.2 POZZETTI STRATIGRAFICI | 15 |
| 4.2.1 <i>Caratteristiche stratigrafiche</i> | 15 |
| 4.3 INDAGINI SISMICHE..... | 15 |
| 4.3.1 <i>Indagine sismica a rifrazione</i> | 15 |
| 4.3.2 <i>Indagine MASW</i> | 19 |
| 4.4 ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO | 19 |
| 5. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO | 20 |
| 5.1 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO | 21 |

ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – Carta Geologica d'Italia F. 541 Jerzu – estratto non in scala
- ALLEGATO 2 – Relazione sulle indagini geognostiche



1. PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione geologica relativa al Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica dei lavori *“Interventi di difesa da rischio idrogeologico nel Comune di Tertenia (NU)”*, volto alla riduzione del rischio idrogeologico di un’area a monte del centro abitato.

Il progetto è stato affidato dal Coordinatore dell’Ufficio di supporto del Commissario di Governo per il contrasto del dissesto idrogeologico al raggruppamento Studio Rosso Ingegneri Associati S.r.l. e Opere Geotecniche S.r.l., con Determinazione n. 23 prot. N. 1963 del 25/10/2021, con convenzione sottoscritta tra gli scriventi e il Commissario in modalità elettronica in data 03/05/2022.

L’area oggetto di studio risulta individuata sui versanti prospicienti l’abitato di Tertenia ricompresi tra i Canali Funtana ‘e Si e Funtana Manna, soggetta a dissesti per la presenza lungo i versanti di materiali detritici amovibili in occasione di precipitazioni intense, e alla mancata regimazione idraulica dei bacini idrografici in esame.

La presente indagine riporta, oltre agli studi e ai rilievi geologici, morfologici e stratigrafici di dettaglio eseguiti dagli Scriventi, i risultati della campagna di indagine geognostica eseguita dalla ditta Opere Geotecniche srl nei mesi di maggio – giugno 2023, al fine di individuare le caratteristiche stratigrafiche e litologiche dei terreni ospitanti le opere di intervento proposte, necessari per le verifiche geotecniche degli interventi descritti nel presente progetto.

Lo studio è stato eseguito a norma delle NTA del PAI regionale e di quanto richiesto dal D.M. 17/01/2018 Testo Unico “Norme Tecniche per le Costruzioni”, e della Circolare n. 7 del 21/01/2019, del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici di cui al D.M. 17 gennaio 2018, “Istruzioni per l’applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni”, - C6.2.1 Caratterizzazione e modellizzazione geologica del sito.

Tali normative individuano le fasi riguardanti la caratterizzazione e modellazione geologica del sito, consistente nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e di pericolosità geologica e idraulica del territorio.



2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E NORMATIVO

2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Tertenia è il paese più meridionale dell'Ogliastra, regione storico-geografica situata nella Sardegna centro-orientale. Si trova ai piedi del monte Giuilèa, lungo la valle del Quirra, conta oltre 3800 abitanti e ha una quota media di 121 metri sul livello del mare. Il suo territorio si estende per circa 117 km², e confina a nord e ovest con i comuni di Gairo, Osini, Jerzu e Ulassai, a sud con le isole amministrative di Osini, Loceri, Lanusei mentre a est è limitato dal Tirreno con 12 km di costa.

L'abitato di Tertenia si sviluppa ai piedi della fascia di pendio in sponda destra del rio Quirra intersecando alcuni bacini scolanti di moderata estensione ed i relativi compluvi i quali attraversano l'abitato in direzione Ovest-Est per poi sversarsi nel rio Quirra.

Le aree interessate dal progetto sono relative a due dei suddetti compluvi di alcuni canali interni al centro urbano, in relazione al pericolo geomorfologico insistente sui versanti a monte delle aree urbane, in particolare riguardano il bacino del rio Funtana Manna e del rio Funtana 'e Si.

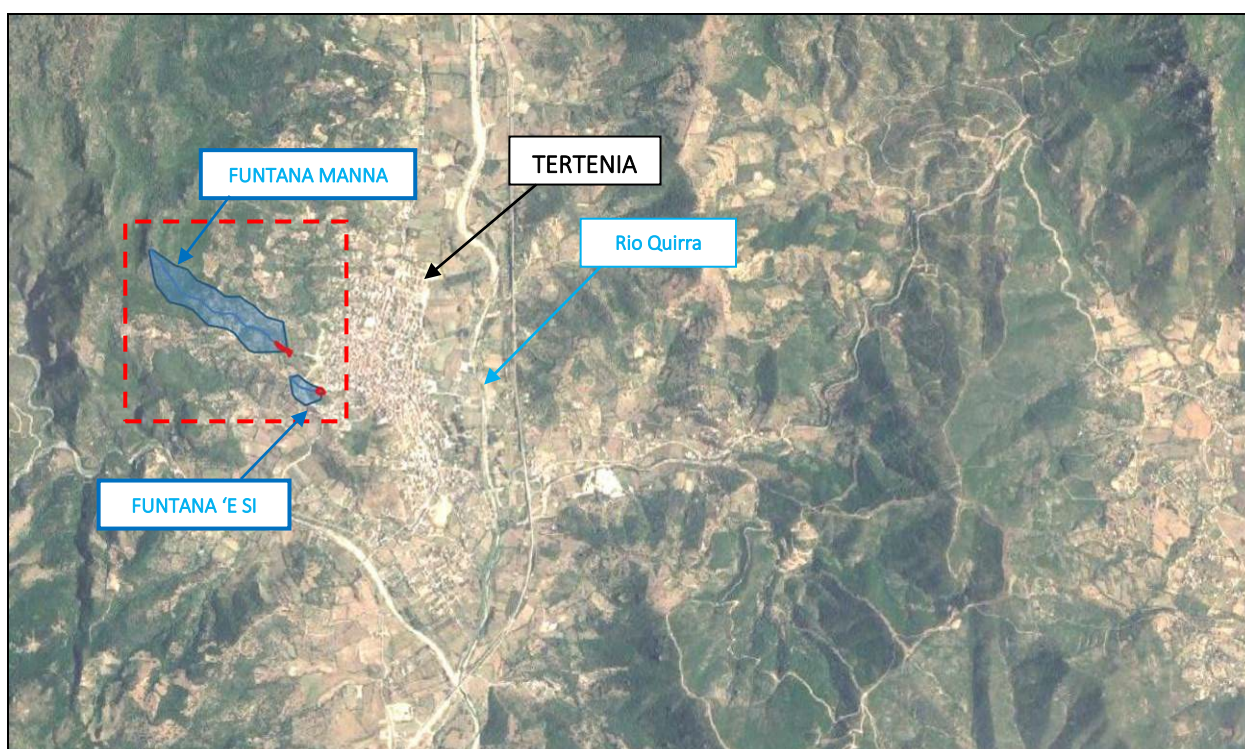


Figura 1 – Inquadramento geografico dell'area di intervento lungo il bacino Funtana Manna e Funtana 'e Si.



2.2 INQUADRAMENTO NORMATIVO

Lo studio geologico è stato eseguito a norma di quanto richiesto dal D.M. 17.01.18 Testo Unico *"Norme Tecniche Per Le Costruzioni"*. Tali norme individuano le fasi riguardanti la caratterizzazione e modellazione geologica del sito, consistente nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e di pericolosità geologica e idraulica del territorio.

Lo studio è stato svolto, inoltre, in ottemperanza a:

- Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI)- Interventi sulla rete idrografica e sui versanti. Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6, ter D.L. 180/98 e successive modifiche ed integrazioni.

Il settore è esterno invece alle aree del Piano stralcio fasce fluviali della regione Sardegna (PSFF 2015).

2.2.1 Piano di Assetto Idrogeologico

Per quanto riguarda il Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI)- *Interventi sulla rete idrografica e sui versanti, Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6, ter D.L. 180/98 e successive modifiche ed integrazioni*, entrambi i bacini nel settore di intervento presentano una classe di **pericolosità Hg3 "Aree a Pericolosità da frana elevata"** segnalata nelle Carte del PAI regionale, di seguito riportata.

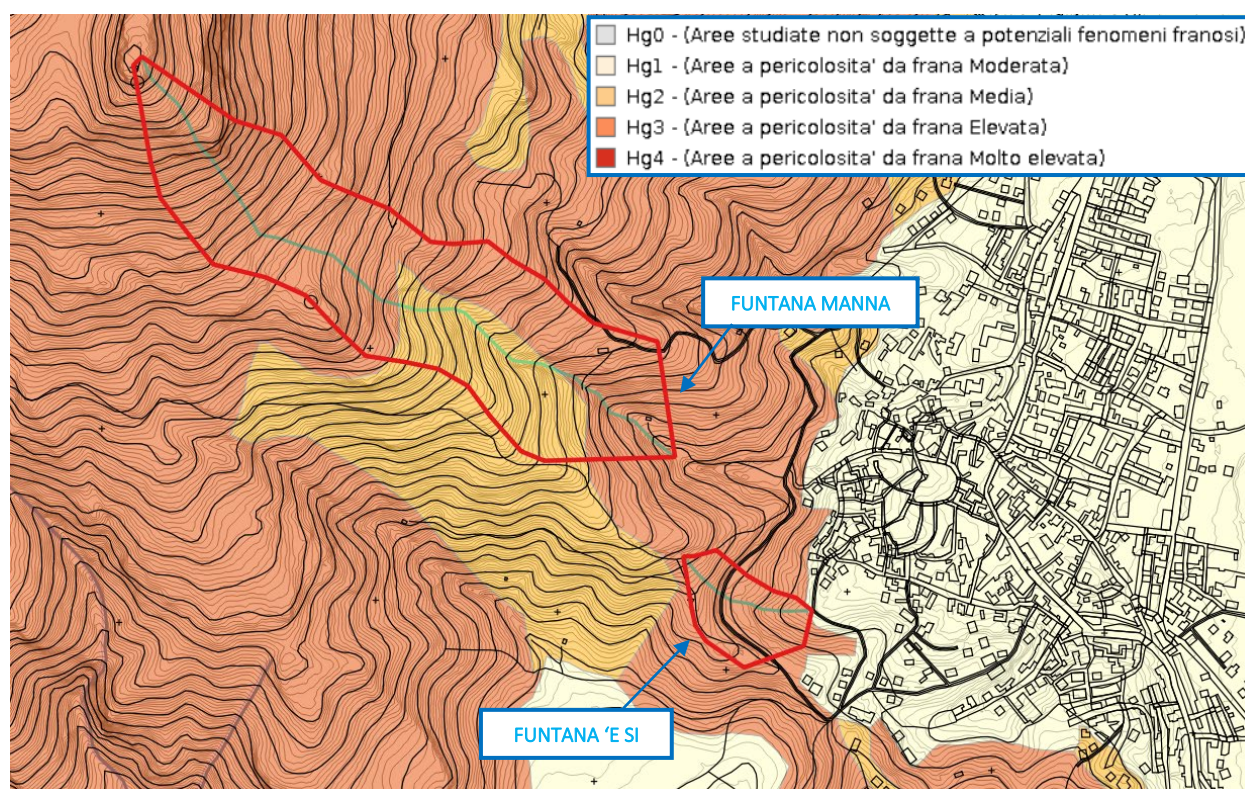


Figura 2 – Classificazione della Pericolosità da frana delle aree di intervento.



Per quanto riguarda invece la pericolosità idraulica, alcune aree dei bacini interessati dagli interventi risultano interessate da un livello di **pericolosità idraulica Hi4 – molto elevata**.

I bacini oggetto di intervento sono affluenti del Rio Quirra, denominato anche Flumini Durci per il toponomino del tratto focivo, i quali appartengono al Sub Bacino 06 Sud Orientale - bacino idrografico dei rii minori tra il Cedrino e il Flumendosa.

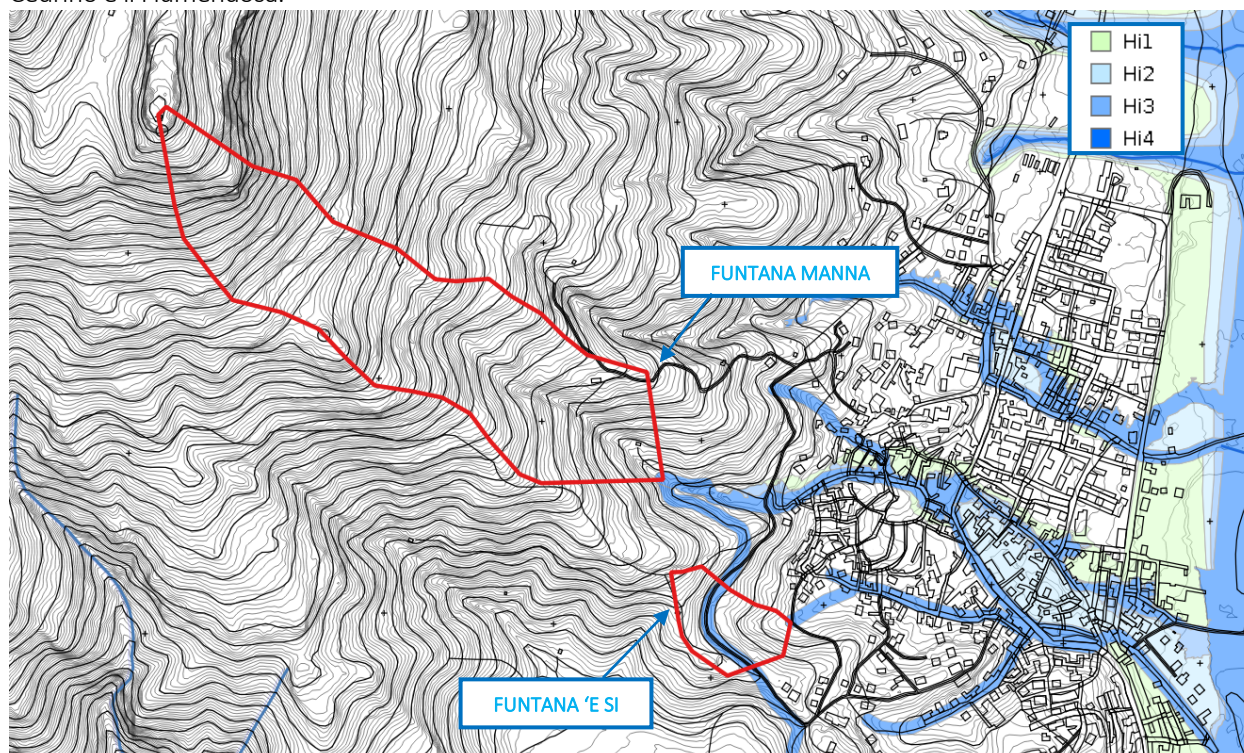


Figura 3 – Classificazione della Pericolosità idraulica delle aree di intervento (Revisione DIC_2022).

Entrambi i canali presentano un tratto tombato, più o meno lungo, nel tronco interessato dal passaggio attraverso l'abitato. Le aree di intervento sono relative alle aree a monte dei suddetti tratti.

In particolare, il canale Funtana Manna risulta regimato artificialmente nel tratto a valle della Chiesa di Santa Sofia con sezione interamente rivestita in malta e pietrame di dimensioni $L = 2,0$ m e $H = 1,6$ m. Lungo lo sviluppo di tale tratto, è stato realizzato un canale diversivo atto a deviare la portata in arrivo al di fuori del bacino idrografico di competenza allontanando le acque dal centro abitato.



3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 CARATTERI GEOLOGICI GENERALI

Il territorio in cui ricade il centro abitato di Tertenia è litologicamente rappresentato, in ordine cronologico dal più antico al più recente, dal substrato paleozoico, costituito da scisti e porfidi granitici, su cui poggia la copertura calcareo - dolomitica del mesozoico (Tacco di Tertenia) affiorante sulla sommità dei rilievi soprastanti l'abitato; lungo i versanti si rinvencono i detriti di falda e nel fondo valle i sedimenti alluvionali del quaternario antico e recente.

Il **basamento metamorfico Paleozoico**, largamente diffuso, è costituito da una successione terrigena potente, afferente a delle unità litostratigrafiche alloctone, trasposte e variate nei loro caratteri originari durante la fase orogenetica ercinica, che si presenta in affioramento molto fratturato e localmente intensamente alterato, in funzione della natura mineralogica e petrografica dei sedimenti. In particolare, esso viene distinto in:

- Unità tettonica di Meana Sardo, affiorante estesamente nel centro abitato e nei versanti oggetto di intervento, qui rappresentata da metavulcaniti a chimismo da acido a basico, metaepiclastiti, metarenarie feldspatiche e metaconglomerati a componente vulcanica (Formazione di Monte Santa Vittoria) e da un'alternanza irregolare di strati di metarenarie quarzoso micacee e sottili livelli di metapeliti con laminazioni piano parallele ed incrociate (Formazione delle Arenarie di San Vito).
- Unità tettonica della Barbagia, tale unità tettonica è presente in piccoli lembi del territorio in discordanza stratigrafica nel settore settentrionale del centro abitato, ed è rappresentata dalla un'irregolare alternanza di livelli da decimetrici a metrici di metarenarie quarzose e micacee, quarziti, filladi quarzose e filladi afferente alla "Formazione delle filladi grigie del Gennargentu" e costituite da un'alternanza di termini metarenacei quarzosi e metasiltiti e, Unità tettonica di Meana Sardo) . Il basamento metamorfico è individuato in questo studio come un unico complesso scistoso, intensamente fratturato e localmente intensamente alterato.

I **depositi quaternari continentali** sono presenti lungo le aste torrentizie, nelle aree di raccordo tra i rilievi e la pianura, e come depositi di versante, oltreché nella piana alluvionale. Lungo i versanti e nelle zone di testata dei corsi d'acqua indagati, si rinvencono i detriti di falda, formati in prevalenza per gravità ed erosione idrica superficiale delle rocce soprastanti e del basamento, costituiti da elementi litici di varia natura e struttura interna caotica, ricoprenti sia il basamento paleozoico sia i depositi quaternari antichi. È da evidenziare il deposito detritico presente alla base delle coperture mesozoiche a monte dell'abitato, esteso circa 2 km, con pendenza media del 40%, i cui spessori raggiungono i 12-13 m, che costituiscono le testate dei bacini idrografici in esame.

Lungo i versanti sono presenti, inoltre, i depositi colluviali e di versante, rappresentati da coperture detritiche costituite da elementi litici, in prevalenza spigolosi e eterometrici, in matrice limoso argillosa, debolmente cementata, provenienti dallo smantellamento e dall'alterazione del basamento paleozoico sottostante e mobilizzate da processi di versante



Lungo le aste e i compluvi montani sono presenti i depositi di trasporto fluvio torrentizio, poco elaborati, in matrice limoso - arenitica, sciolta, il cui trasporto è legato ad eventi pluviometrici intensi.

Nelle aree di fondovalle, principalmente lungo la piana alluvionale del Rio Quirra a valle del centro abitato ed esternamente all'area di intervento, sono presenti i depositi alluvionali antichi ed attuali, incisi dal corso d'acqua a più riprese in epoca quaternaria, e distinguibili morfologicamente in terrazzi di diversa gerarchizzazione.

3.2 ASSETTO GEOLOGICO – STRUTTURALE

Da un punto di vista strutturale il settore di indagine è stato condizionato in modo predominante dalle fasi orogenetiche erciniche (Ordoviciano inf., Permiano), sia nella sua fase compressiva, con la formazione e la trasposizione delle unità tettoniche metamorfiche scistose, sia nelle fasi tardo e post orogenetiche, con l'apertura di due sistemi di frattura fondamentali, NO-SE e N-S, in prevalenza dirette, con immersione verso E, NE e rigetto elevato. A tali fratture sono associate una serie di fratture con dispersioni orientate in maniera concorde alle faglie principali. Successivamente nel terziario l'orogenesi alpina ha portato ad una nuova fase tettonica con scorrimenti plastici e alla riapertura delle fratture erciniche, causando un intenso disturbo strutturale ed un elevato grado di fratturazione del basamento, caratteristico di tutto il settore.

Le vicende tettoniche e strutturali hanno influenzato profondamente le caratteristiche meccaniche delle rocce, sia in affioramento che in profondità, e sia la conformazione morfologica del rio Quirra e l'idrografia superficiale e sotterranea. L'intensa fratturazione determina una notevole instabilità, causata da una maggiore scistosità della roccia prevalente e da una maggiore alterabilità, con fenomeni molto avanzati in giaciture sfavorevoli.

La piana alluvionale del rio Quirra si sviluppa su un'ampia direttrice tettonica con andamento prevalente N-S, parallela alla costa orientale, sino a deviare la sua direzione verso E in corrispondenza di una seconda direttrice tettonica ortogonale, in maniera quasi perpendicolare nell'ultimo tratto in prossimità della foce, nei pressi di Capo San Lorenzo; ha origine presso la cantoniera Genna 'e Cresia, dal versante sud del rilievo Pizzù e Monti (543 m), in comune di Jerzu, ed ha una lunghezza totale di 38 km. Complessivamente la superficie del bacino è di 347 kmq.

3.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA IN STUDIO

I bacini idrografici oggetto di studio si sviluppano lungo versanti con acclività del 25-30%, che indicano un ambiente morfologico tipico di montagna, per il loro carattere mediamente acclive con pendenze elevate. I corsi d'acqua si presentano in uno stadio evolutivo giovane, con strette valli a V incise e profonde, subrettilinee, di modesta lunghezza ed elevata acclività nella parte medio alta, la cui capacità di trasporto solido è dovuta ad una media erodibilità dei versanti ed alla elevata impermeabilità dei litotipi che li costituiscono.

La presenza lungo i versanti e sulle sponde dei canali di materiale detritico sciolto potenzialmente amovibile dalle acque di ruscellamento superficiale, in occasione di eventi di precipitazione particolarmente intensi, rappresenta un'ulteriore fonte di alimentazione del trasporto detritico dei corsi d'acqua del bacino.

I caratteri morfologici e strutturali del versante, unitamente alle caratteristiche litologiche giaciturali e stratigrafiche del substrato, della struttura e tessitura del suolo, determinano nei versanti a monte del centro



urbano di Tertenia le condizioni di pericolosità geomorfologica e da frana di elevata intensità, evidenziate anche nelle carte del PAI regionale, condizioni spesso scatenate da fattori legati alla distribuzione e concentrazione dell'intensità pluviometrica e alle acque superficiali, con formazione di solchi di erosione e forme attive generate dall'incanalamento delle acque con trasporto e movimentazione di materiale detritico verso valle.

3.1 SITUAZIONE LITOSTRATIGRAFICA LOCALE

L'ossatura dei bacini idrografici dei canali oggetto di sistemazione è caratterizzata essenzialmente dalle litologie metamorfiche sedimentarie paleozoiche, fortemente fratturate e argillificate per effetto dello stress tettonico subito durante le fasi deformative quaternarie.

Le differenze strutturali dei versanti dove si ha in affioramento lo scisto, hanno favorito l'instaurarsi di condizioni evolutive diverse: dove si hanno giaciture a reggipoggio i versanti si presentano più ripidi, al contrario in giaciture a franapoggio i versanti si presentano con acclività più basse che permettono l'accumulo dei detriti e la formazione di suolo.

Alla scala dell'affioramento, la giacitura degli strati è in prevalenza a reggipoggio, con due direzioni principali NW-SE e NW-SW, e inclinazione variabile da 10° a 45°, tuttavia, in base all'esposizione dei versanti e di alcune scarpate artificiali o dei canali di scolo, sono presenti situazioni a franapoggio, in corrispondenza degli assi di alcune pieghe che presentano in alcuni casi inclinazione di pochi gradi verso valle.

Alle fratture strutturali dell'ammasso roccioso sono spesso coniugate famiglie di discontinuità di origine tettonica associate a condizioni morfostrutturali di scarso confinamento litostatico laterale, che determinano aperture delle discontinuità e una risposta fragile delle facies più competenti (metarenarie). A causa di tali condizioni, le rocce in superficie si presentano spesso decolorate, con scarsa competenza e interessate da diffusi e disomogenei fenomeni di alterazione.

In generale, dai rilievi effettuati si evince una estrema variabilità delle caratteristiche geomeccaniche della roccia ove affiorante, funzione anche dell'esposizione dei versanti oltre che dalla composizione mineralogica (e del grado di alterazione) della roccia originaria. Lungo le aree di dispiuvio sono presenti facies più competenti, gli ammassi rocciosi si presentano complessivamente meno alterati e sono caratterizzati da un grado di fratturazione variabile e uno spessore di coltre detritica poco significativa, di spessore massimo di 30-50 cm, non sempre presente. Procedendo in profondità la roccia diviene da moderatamente a poco alterata, in facies semilapidea e lapidea, in cui è riconoscibile la struttura originaria della roccia. In generale alle facies più competenti sono associate le metarenarie e le quarziti, che presentano un grado di compattezza elevato, con elevata presenza di minerali e filoni di quarzo. Gli affioramenti di filladi, argilloscisti e metarenarie fini, quando intensamente fratturate, presentano scarsa competenza e sono interessate da fenomeni di alterazione spinta, che porta talvolta alla completa argillificazione degli strati più superficiali.

3.1.1 Criticità morfologiche relative al dissesto del versante

Entrambi i bacini in esame presentano acclività medie del 25-30%: la presenza dei materiali detritici lungo i versanti permette la percolazione delle acque di ruscellamento idrico in profondità, che favorisce fenomeni di



argillificazione dei livelli metapelitici e filladici. Il grado di alterazione di tali facies può arrivare a condizioni molto spinte, fino alla completa argillificazione della roccia originaria, che si incide con l'unghia o si sbriciola con le mani. Tali condizioni determinano un persistente distacco e rilascio di elementi litici di natura scistosa, andando ad aumentare i volumi di materiali detritici soggetti alla movimentazione lungo il versante in occasione di precipitazioni intense.

I depositi detritici pertanto si accumulano sulle aree di impluvio e in modo discontinuo sul pendio, sono caratterizzati da elementi litici centimetrici, poligenici, spigolosi, con abbondante matrice argilloso-limoso-sabbiosa, i cui termini variano da debolmente coerenti a incoerenti.

Da una analisi morfologica eseguita in situ e l'analisi aerofotogrammetrica, si è potuto stimare un quantitativo di materiale detritico presente sul bacino del Funtana Manna pari a circa 1.200 m³, materiale potenzialmente mobilizzabile in occasione di eventi pluviometrici intensi.



Figura 4 – Differenti affioramenti del basamento paleozoico scistoso: nell'immagine in destra le facies metarenarie e quarzitiche, a reggipoggio, che presentano un grado di compattezza elevato, affioranti in dx idraulica del Funtana 'e Si; nell'immagine in sinistra le facies di filladi, argillocisti e metarenarie fini, intensamente fratturate, e con scarsa competenza, affioranti a franapoggio in sx idraulica del Funtana 'e Si, predisponenti al rilascio di materiale detritico.



Figura 5 – Vista montana del bacino del rio Funtana ‘e Si, in sinistra idraulica

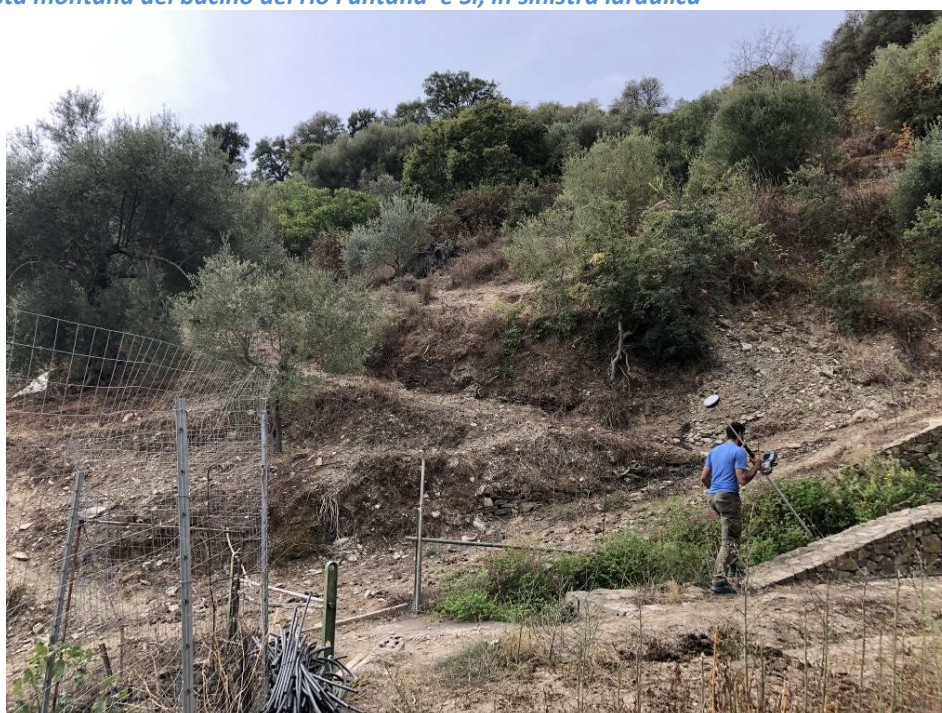


Figura 6 – Sedimenti detritici sciolti presenti sulla sponda in destra idraulica del Funtana Manna, dove verranno realizzate palificate semplici per la trattenuta del materiale, a monte dell’area dove verrà realizzato il muro a protezione dell’abitazione esistente.



Figura 7 – Sedimenti detritici sciolti in sponda sinistra del Funtana Manna, dove verranno realizzate palificate semplici per la trattenuta del materiale.

3.2 SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA

I bacini in esame confluiscono a valle nella destra idrografica del Fiume Quirra, ampia valle tettonica, ad andamento rettilineo. Il reticolo idrografico è rappresentato da modesti tributari prevalentemente di primo ordine, perpendicolari alla principale direzione del Quira N- S, con direzione strettamente condizionata dall'assetto tettonico del territorio, e secondariamente dalla diversa erodibilità e permeabilità dei litotipi affioranti.

Sia il Funtana Manna sia il Funtana 'e Sì presentano uno schema di tipo rettilineo, e si sviluppano su litologie prettamente impermeabili, ad elevata acclività e omogenee. Presentano un regime tipicamente torrentizio, con piene improvvise e di breve durata, deflusso superficiale nullo per la maggior parte del periodo dell'anno, ma con piene importanti in corrispondenza di precipitazioni intense, in quanto l'impermeabilità del substrato determina valori unitari alti dei coefficienti di deflusso.

Per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea, dal punto di vista idrogeologico le formazioni metamorfiche si presentano impermeabili, con locale permeabilità a seconda dei termini maggiormente fessurati, determinando solitamente acquiferi non rilevanti ed emergenze idriche in funzione dei rapporti di giacitura e alle caratteristiche litologiche.

La circolazione idrica sotterranea si fa più marcata nei depositi detritici di versante e fluvio torrentizi, caratterizzati da medio alti coefficienti di permeabilità per porosità, la cui variabilità è funzione della presenza di



sedimenti fini limo argillosi in matrice. I depositi del fondo valle sono caratterizzati da tale permeabilità, che permette una facile alimentazione degli acquiferi in essa contenuti, che coincidono spesso con la stessa falda in subalveo alimentata dalle acque fluviali.

4. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE

Sulla base del Piano esecutivo delle Indagini approvato con Prot. n. 2156 del 24/10/2022 è stata effettuata una campagna di indagini risultate necessarie ai fini di ricostruire un modello geologico e geotecnico delle aree di intervento, con particolare riguardo alla definizione delle aree di posa e di fondazione delle opere in progetto e la caratterizzazione dei terreni interessati.

Le indagini, eseguite tra maggio e giugno 2023 dalla ditta Opere Geotecniche srl, sono state le seguenti:

Le indagini eseguite sono state:

- n. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo
- n. 2 pozzetti di ispezione geognostica
- n. 1 indagine sismica MASW
- n. 2 indagine sismica a rifrazione
- n. 3 prove SPT
- Analisi geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi (Analisi granulometriche, determinazione limiti di Atterberg, peso di volume naturale, prove di taglio diretto)

La relazione tecnica sulle indagini è riportata nell'Allegato 2 alla presente relazione. Di seguito si descrivono i risultati che hanno permesso di definire il modello geologico del sito.



Figura 8 – Ubicazione indagini sul canale "Funtana 'e Si"

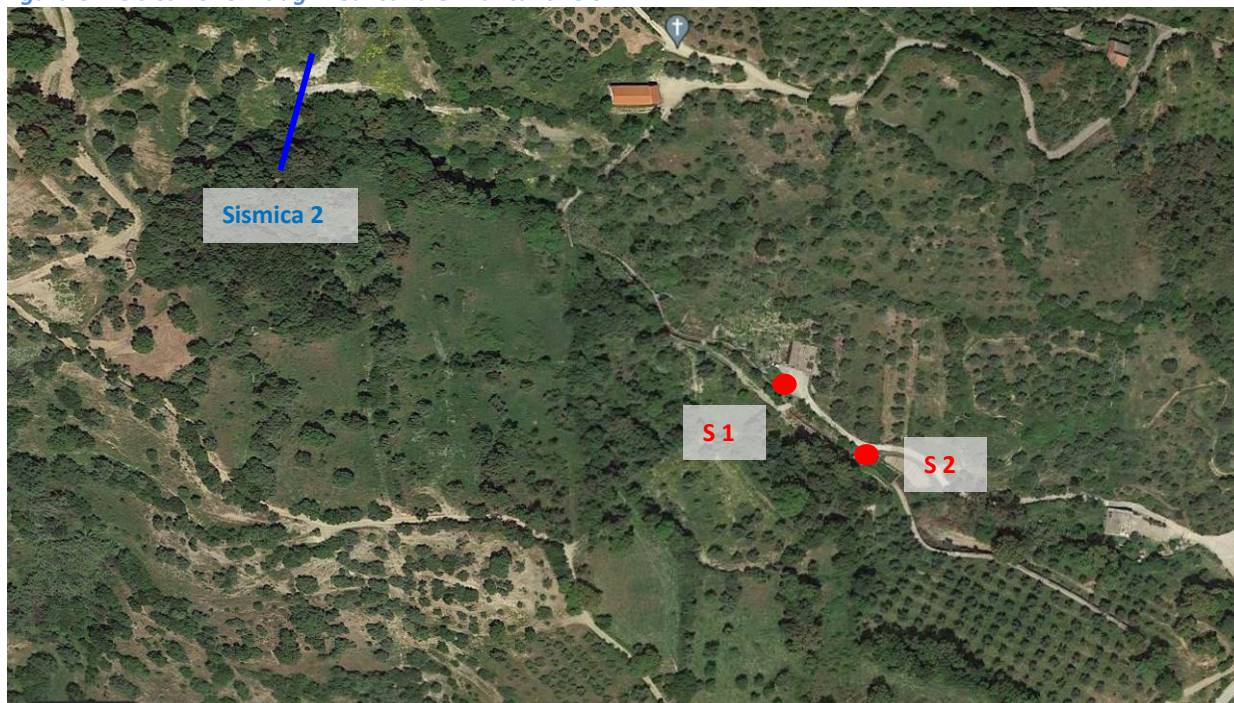


Figura 9 – Ubicazione indagini sul canale Funtana Manna (lato ovest)



4.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI E PROVE SPT

Sono stati eseguiti n. 3 sondaggi geognostici, spinti fino alla profondità di 10 m da p.c. finalizzati alla definizione delle stratigrafie e all'acquisizione di campioni di terreno da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico. Per quanto riguarda le modalità esecutive e la strumentazione utilizzata per la perforazione e la documentazione fotografica, si rimanda all'Allegato 2.

I sondaggi geognostici hanno riportato le seguenti stratigrafie:

Sondaggio 1

- 0,00 – 0,30 m Terreno vegetale sabbioso limoso (colore bruno)
- 0,30 – 1,40 m Filladi estremamente alterate (Ghiaia sabbiosa) color nocciola. La ghiaia si frantuma con una leggera pressione delle dita
- 1,40 – 10 m Filladi estremamente alterate e frantumate, grigie. Sabbie ben gradate con limo e ghiaia. Rari livelli di filladi poco alterate (2-3 cm). Alla profondità di -3 m è stata eseguita la prova SPT; a quota -4 m è stato prelevato il campione S1C1 per le indagini di laboratorio.

Sondaggio 2

- 0,00 – 0,30 m Terreno vegetale sabbioso limoso (colore bruno)
- 0,30 – 1,20 m Terreno di riporto sabbioso limoso colore bruno, sabbia limosa e ghiaia con elementi litici spigolosi. Alla quota -0,50 m è stato prelevato il campione S2C1 per le analisi di laboratorio.
- 1,20 – 3,60 m Filladi estremamente alterate (Ghiaia sabbiosa) color nocciola, molto plastiche, umide. Alla quota -2,00 m è stata effettuata la prova SPT in foro.
- 3,60 – 10,00 m Filladi estremamente alterate e frantumate, grigie (sabbie limose). Rari livelli di filladi poco alterate (2-3 cm)

Sondaggio 3

- 0,00 – 0,20 m Cemento (soletta stradale)
- 0,20 – 0,50 m Terreno di riporto sabbioso limoso colore nocciola, umido e plastico.
- 0,50 – 3,50 m Filladi estremamente alterate (Ghiaia sabbiosa) color nocciola, molto plastiche, umide. elementi litici di scisto spigolosi residui. Alla quota -2,00 m è stata effettuata la prova SPT in foro.
- 3,50 – 10,00 m Filladi estremamente alterate e frantumate, grigie (sabbie limose). Rari livelli di filladi poco alterate (2-3 cm). Alla quota -4,30 m è stato prelevato il campione S3C1 per le analisi di laboratorio.

Durante l'avanzamento dei sondaggi, ai fini della determinazione dello stato di addensamento dei terreni non lapidei, sono state eseguite n. 3 prove S.P.T. (Standard Penetration Test)



| Sondaggio | Profondità dal p.c. (m) | NSPT x 15 cm |
|-----------|-------------------------|--------------|
| S 1 | 3 | 3-45-R |
| S 2 | 2 | 10-19-29 |
| S 3 | 2 | 18-28-28 |

4.2 POZZETTI STRATIGRAFICI

I pozzetti stratigrafici sono stati eseguiti con lo scopo di definire la stratigrafia superficiale in corrispondenza dei versanti del Rio Funtana 'e Si. Gli scavi sono stati eseguiti mediante mini-escavatore con escavazione mediante benna a cucchiara rovescia.

Gli scavi sono stati eseguiti sino alle profondità di 1, 60 m rispetto al piano campagna.

4.2.1 Caratteristiche stratigrafiche

Pozzetto 1

- 0,00 – 0,80 m Terreno di riporto pedogenizzato, ghiaie in matrice sabbiosa limosa, con frammenti di ciottoli spigolosi, colore bruno.
- 0,80 – 1,60 m Filladi scistose in facies rocciosa, alterate e fratturate, colore grigio.

Pozzetto 2

- 0,00 – 0,70 m Terreno di riporto pedogenizzato, ghiaie in matrice sabbiosa limosa, con frammenti di ciottoli spigolosi, colore bruno.
- 0,70 – 1,10 m Filladi scistose in facies rocciosa, alterate e fratturate, colore grigio.

Dai pozzetti geognostici sono stati prelevati dei campioni ambientali. Sono stati prelevati due campioni: uno medio composito tra 0 e 1 m e tra 1 m e 1,60 m di profondità.

4.3 INDAGINI SISMICHE

4.3.1 Indagine sismica a rifrazione

Sono stati eseguiti n. 2 stendimenti con lo scopo di interpretare la stratigrafia del sottosuolo. Il primo stendimento è stato eseguito in località Funtana 'e Si, mentre il secondo stendimento è stato eseguito in località Funtana Manna, nel settore di monte in corrispondenza dell'area di posa della rete debris in progetto. Di seguito si riportano i dati di configurazione e l'interpretazione tomografica dei dati a rifrazione acquisiti. Per maggiori dettagli si rimanda all'Allegato 1 alla presente relazione.



| CONFIGURAZIONE STENDIMENTI | |
|--|-------------------------------|
| Lunghezza dello stendimento | 46 m |
| Distanza intergeofonica (<i>group interval</i>) | 2 m |
| Numero di canali/geofoni | 24 |
| Geofoni | verticali da 4,5 Hz |
| Distanza sorgente-primo geofono (<i>Offset minimo</i>) | 1,0 m |
| Distanza punti di energizzazione | 4,0 m |
| Sorgente | maglio 8 Kg (forza verticale) |
| Intervallo di campionamento (dt) | 125 μ s |
| Frequenza di campionamento (fc) | 8000 Hz |
| Tempo di registrazione | 512 ms |
| Segnale registrato | onde P |

Tabella 1 – Configurazione dello stendimento Tomografia 1.

Figura 10 – Configurazione utilizzata per l'acquisizione dello stendimento 1

| CONFIGURAZIONE STENDIMENTI | |
|--|-------------------------------|
| Lunghezza dello stendimento | 34,5 m |
| Distanza intergeofonica (<i>group interval</i>) | 1,5 m |
| Numero di canali/geofoni | 24 |
| Geofoni | verticali da 4,5 Hz |
| Distanza sorgente-primo geofono (<i>Offset minimo</i>) | 0,75 m |
| Distanza punti di energizzazione | 3,0 m |
| Sorgente | maglio 8 Kg (forza verticale) |
| Intervallo di campionamento (dt) | 125 μ s |
| Frequenza di campionamento (fc) | 8000 Hz |
| Tempo di registrazione | 512 ms |
| Segnale registrato | onde P |

Figura 11 – Configurazione utilizzata per l'acquisizione dello stendimento 2



2.5.1 STENDIMENTO 1 - UBICAZIONE DELL'AREA DI INDAGINE

| | | | |
|---------------------|-----------------------------|-------------|------------|
| COMUNE | Tertenia | | |
| LOCALITÀ | Abitato | | |
| COORDINATE (WGS-84) | Al centro dello stendimento | X – 4394125 | Y – 549166 |

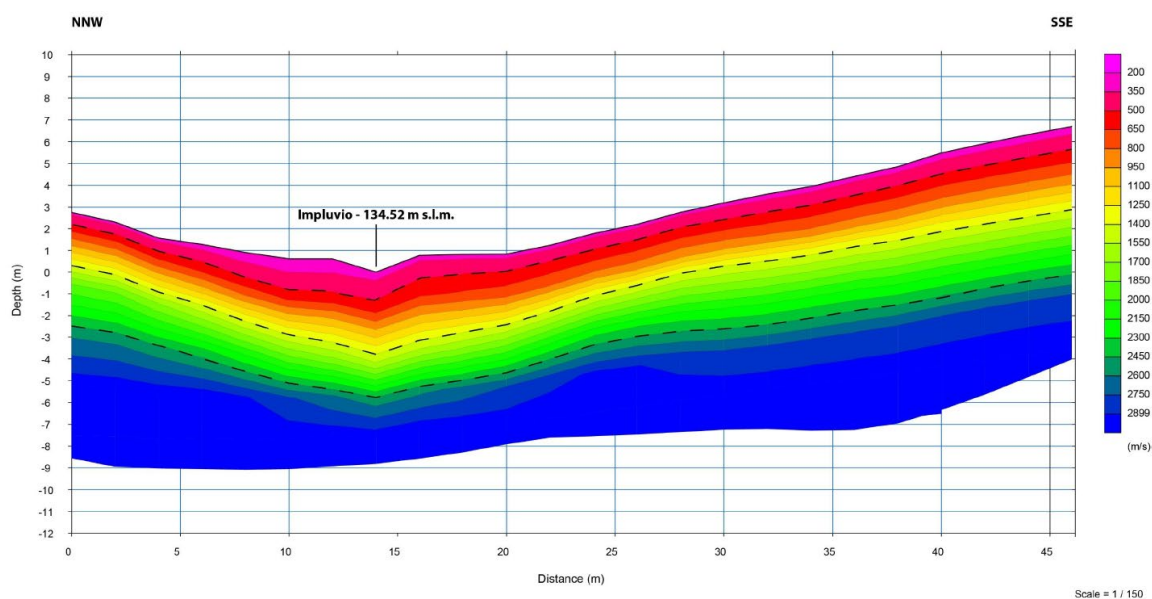


Figura 12 –Ubicazione e interpretazione tomografica dei dati a rifrazione acquisiti lungo lo stendimento 1

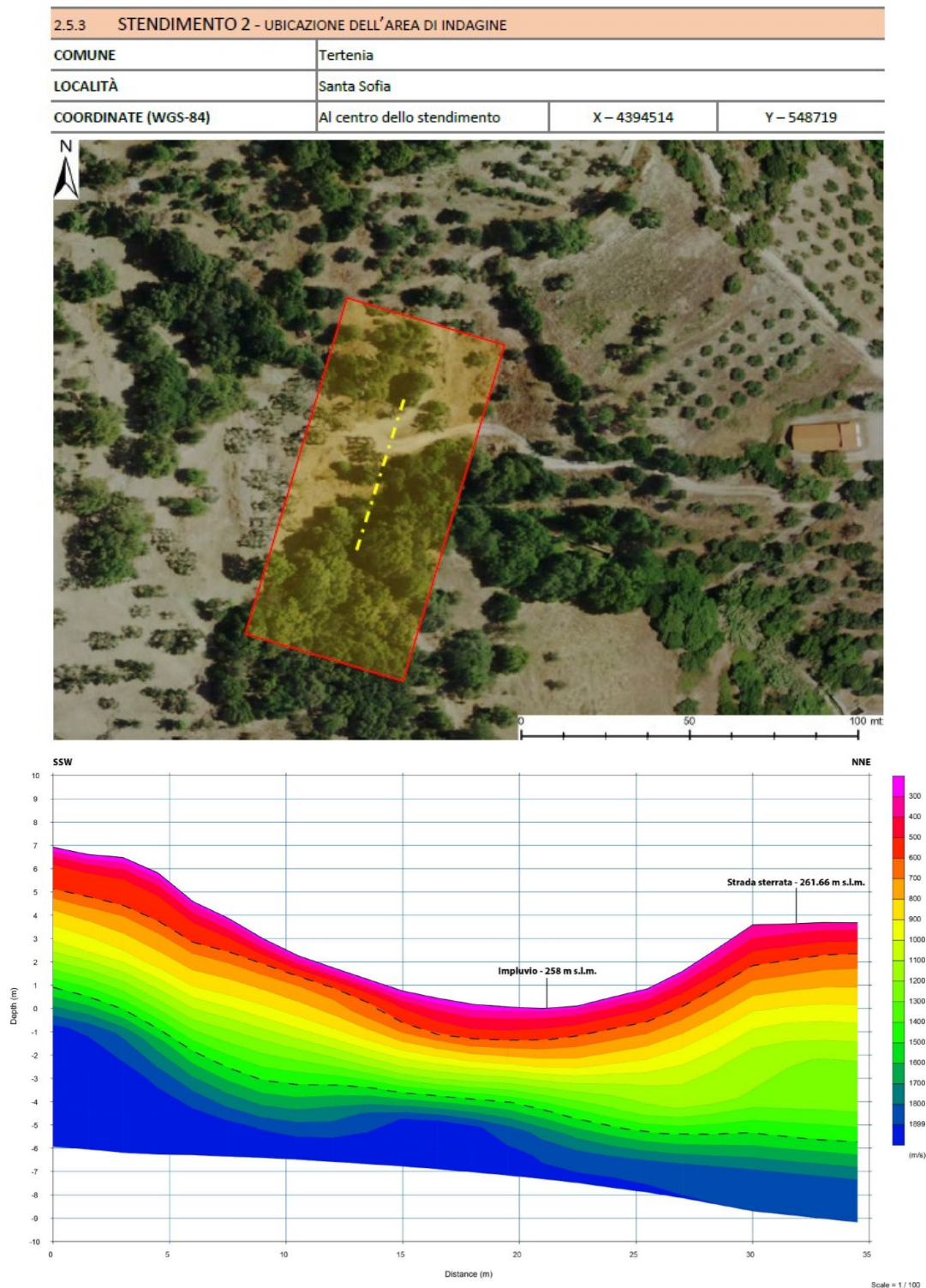


Figura 13 –Ubicazione e interpretazione tomografica dei dati a rifrazione acquisiti lungo lo stendimento 2



Entrambi gli stendimenti mostrano una regolare progredazione dei valori di velocità delle onde P con l'aumentare della profondità, interpretabili come la presenza di 3 sismostrati principali, di seguito descritti:

- una prima zona con valori di velocità delle onde P tra 200 e 600 m/s, ascrivibile ad un primo strato superficiale più aerato (riporto e/o coltre detritica superficiale) con spessore costante massimo 2 m;
- una zona con valori di velocità delle onde P tra 600 e 1500 m/s, caratterizzato da una velocità media più elevata e rappresentante il substrato metamorfico fratturato;
- una terza zona con valori di velocità tra 1500 e 2000 m/s, rappresentante il substrato metamorfico lapideo in facies compatta.

4.3.2 Indagine MASW

L'indagine geofisica mediante metodologia MASW è stata eseguita al fine di una classificazione sismica del sottosuolo in funzione dei valori di propagazione delle onde di taglio Vs, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto così come richiesto dalle NTC 2018 approvate con D.M. 17 gennaio 2018.

L'elaborazione dei dati scaturiti dalle indagini riportate nell'Allegato alla presente relazione (Allegato 2) ha permesso di calcolare un valore della velocità equivalente delle onde di taglio Vs eq, a partire da p.c. pari a:

$$V_{s\text{ eq}} = 575 \text{ m/s}$$

tale valore determina una classificazione di sottosuolo di riferimento relativa alla **Categoria 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”**.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
|-----------|--|
| 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. |

4.4 ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO

In ciascun sondaggio sono stati prelevati dei campioni per eseguire le analisi geotecniche di laboratorio al fine di caratterizzare e definire i parametri fisici e geotecnici dei materiali interessati dalle opere di fondazione degli interventi di progetto, per un totale di n. 3 campioni.



| Sondaggio | Nome Campione | Profondità | Tipologia | Analisi granulometrica | Coesione (kPa) | Angolo di resistenza al taglio (°) | Peso di Volume (g/cmc) |
|-----------|---------------|------------|-----------------------------|---|----------------|------------------------------------|------------------------|
| S1 | S1C1 | 4,00 m | Campione disturbato sciolto | CLASSE (UNI 10006): A2-4 USCS: Sabbia con ghiaia debolmente limosa | 5,6 | 28,19 | - |
| S2 | S2C1 | 0,50 m | Campione disturbato sciolto | CLASSE (UNI 10006): A2-4 USCS: Sabbia limosa con ghiaia | 18,8 | 28,74 | 2,079 |
| S3 | S3C1 | 4,30 m | Campione disturbato sciolto | CLASSE (UNI 10006): A2-4 USCS: Sabbia limoso argillosa con ghiaia | 13,3 | 28,88 | - |

In Allegato 2 sono riportati i certificati di prova.

5. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Gli interventi di progetto interessano per lo più i versanti montani del centro abitato di Tertenia, insistente su litologie paleozoiche a diversi gradi di scistosità, la cui compattezza presenta una grande variabilità in base al grado di alterazione della roccia e della scistosità.

Il complesso basale paleozoico è rappresentato da un substrato scistoso caratterizzato da una irregolare alternanza di livelli da decimetrici a metrici di metarenarie quarzose e micacee, metapeliti, filladi quarzose, filladi e quarziti. Le caratteristiche geotecniche dunque variano in funzione della fratturazione, della alterazione della roccia e della foliazione e della scistosità. Più è spinto il grado di metamorfismo tanto più le superfici di scistosità sono coerenti, e quindi la roccia assume delle discrete caratteristiche geotecniche, che tendono a diminuire in presenza della foliazione, potendole definire come rocce semicoerenti o incoerenti.

Dai sondaggi geognostici e dalle analisi geotecniche di laboratorio è stato possibile determinare i parametri geotecnici dei materiali che costituiscono il basamento delle opere di progetto, che hanno permesso di definire un modello geologico, così come definito dalle NTC 2018, a cui fare riferimento per le verifiche geotecniche, in funzione delle opere previste e riportate nell'Elaborato P.2.3 *Relazione geotecnica*.



5.1 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

| Litologia | Profondità | Peso di Volume (kg/m ³) | Peso di Volume sat (kg/m ³) | Coesione (kg/cm ²) | Angolo di attrito (°) |
|---|------------|-------------------------------------|---|--------------------------------|-----------------------|
| Coperture superficiali: (Sabbie limose e ghiaiose incoerenti) | 0 – 1,40 m | 2.079 | 2.200 | 0.19 | 28 |
| Filladi molto alterate (sabbia con ghiaia debolmente limosa) | 1,4 – 10 m | 1.850 | 2.000 | 0.05 | 28 |



COMMISSARIO DI GOVERNO CONTRO IL DISSESTO IDROGEOLOGICO
NELLA REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

decreto-legge n. 133 del 12 settembre 2014 art. 7, comma 2

REGIONE AUTONOMA DI SARDEGNA

“INTERVENTI DI DIFESA DA RISCHIO IDROGEOLOGICO NEL COMUNE DI TERTENIA”.

Progetto di fattibilità tecnica ed economica

SRIA
S.r.l.
STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI

ALLEGATI



COMMISSARIO DI GOVERNO CONTRO IL DISSESTO IDROGEOLOGICO
NELLA REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

decreto-legge n. 133 del 12 settembre 2014 art. 7, comma 2

REGIONE AUTONOMA DI SARDEGNA

“INTERVENTI DI DIFESA DA RISCHIO IDROGEOLOGICO NEL COMUNE DI TERTENIA”.

Progetto di fattibilità tecnica ed economica

SRIA
S.r.l.
STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI

ALLEGATO 1

Carta Geologica d'Italia F. 541 Jerzu – estratto non in scala



COMMISSARIO DI GOVERNO CONTRO IL DISSESTO IDROGEOLOGICO
NELLA REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

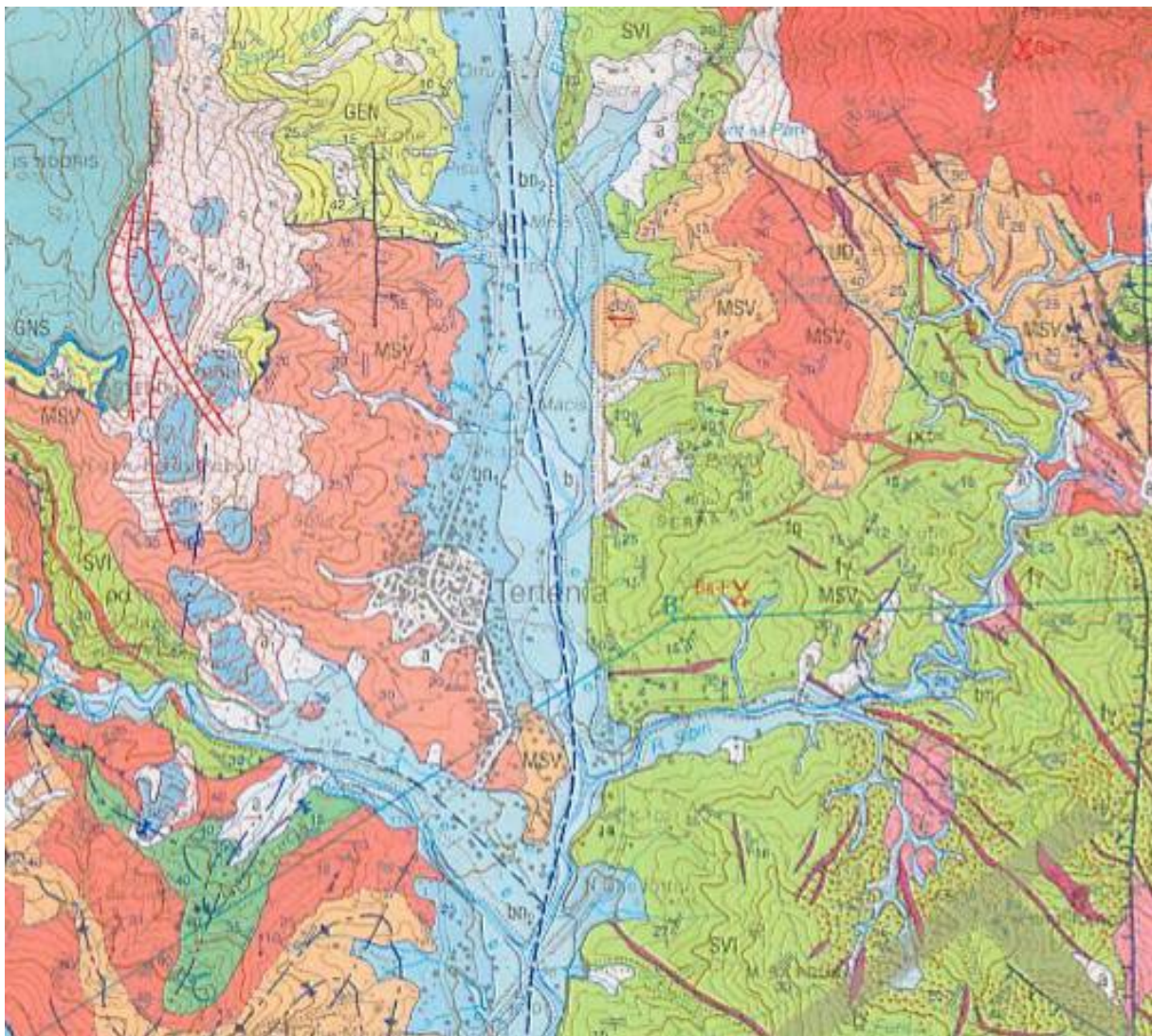
decreto-legge n. 133 del 12 settembre 2014 art. 7, comma 2

REGIONE AUTONOMA DI SARDEGNA

"INTERVENTI DI DIFESA DA RISCHIO IDROGEOLOGICO NEL COMUNE DI TERTENIA".

Progetto di fattibilità tecnica ed economica

SRIA
s.r.l.
STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI



LEGENDA: b) Depositi alluvionali in evoluzione (Olocene); bn₂) Depositi alluvionali dei terrazzi del II ordine (Olocene); bn₁) Depositi alluvionali dei terrazzi del I ordine e conoidi reicise (Pleistocene); a₁) Frane in evoluzione (Olocene); a) Depositi colluviali e di versante (Olocene); GNS) Deposizione sedimentaria mesozoica (Giurassico); MSV, MSVa, MSVb, GEN, SVI) Basamento metamorfico ercinico (Cambriano-Ordoviciano).



COMMISSARIO DI GOVERNO CONTRO IL DISSESTO IDROGEOLOGICO
NELLA REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

decreto-legge n. 133 del 12 settembre 2014 art. 7, comma 2

REGIONE AUTONOMA DI SARDEGNA

“INTERVENTI DI DIFESA DA RISCHIO IDROGEOLOGICO NEL COMUNE DI TERTENIA”.

Progetto di fattibilità tecnica ed economica

SRIA
S.r.l.
STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI

ALLEGATO 2

– Relazione sulle indagini geognostiche



Comune di Tertenia

Provincia di Nuoro

Regione Sardegna



INTERVENTI DI DIFESA DA RISCHIO IDROGEOLOGICO
NEL COMUNE DI TERTENIA

INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE

OGGETTO

RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

TIMBRI E FIRME

SRIA
s.r.l.

STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI

VIA ROSOLINO PILO N. 11 - 10143 - TORINO
VIA IS MAGLIAS N. 178 - 09122 - CAGLIARI
TEL. +39 011 43 77 242
studiorosso@legalmail.it
info@sria.it
www.sria.it

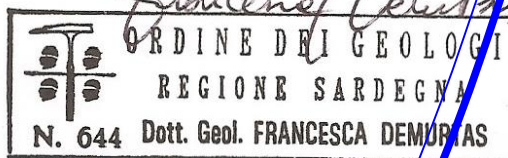


**OPERE
GEOTECNICHE**

Impresa esecutrice
Opere Geotecniche srl

Via San Gemiliano sn - 09023 Monastir (Cagliari)
Tel. (+39) 070 9165242
e-Mail: ufficiotecnico@operegeotecniche.it

dott. geol. Francesca DEMURTAS
Ordine dei Geologi Regione Sardegna
Posizione n.644
Cod. Fisc. DMR FNC 79S55 E441X



CONTROLLO QUALITA'

| DESCRIZIONE | EMISSIONE | |
|---------------|-----------|--|
| DATA | GIU/2023 | |
| COD. LAVORO | 502/SR | |
| TIPOL. LAVORO | I | |
| SETTORE | G | |
| N. ATTIVITA' | 01 | |
| TIPOL. ELAB. | RS | |
| TIPOL. DOC. | E | |
| ID ELABORATO | 01 | |
| VERSIONE | 0 | |

REDATTO

geol. Francesca DEMURTAS

CONTROLLATO

geol. Francesca DEMURTAS

APPROVATO

geol. Francesca DEMURTAS

ELABORATO

1



INDICE

| | |
|---|----------|
| 1. PREMESSA | 2 |
| 2. METODOLOGIE DI RILIEVO | 3 |
| 2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 3 |
| 2.2 UBICAZIONE DELLE INDAGINI | 4 |
| 2.3 SONDAGGI GEOGNOSTICI E SPT | 5 |
| 2.3.1 <i>Caratteristiche stratigrafiche</i> | 5 |
| 2.3.2 <i>Prove SPT</i> | 11 |
| 2.4 POZZETTI STRATIGRAFICI | 12 |
| 2.4.1 <i>Caratteristiche stratigrafiche</i> | 12 |
| 2.5 INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE | 13 |
| 2.5.1 <i>STENDIMENTO 1</i> | 13 |
| 2.5.2 <i>STENDIMENTO 2</i> | 15 |
| 2.6 INDAGINE SISMICA MEDIANTE METODOLOGIA MASW..... | 17 |
| 2.6.1 <i>Calcolo della velocità equivalente</i> | 18 |
| 2.7 CAMPIONAMENTO DEI MATERIALI E ANALISI GEOTECNICHE | 20 |

ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – Relazione alle indagini sismiche –
- ALLEGATO 2 – Certificati di laboratorio –



1. PREMESSA

Il presente elaborato riferisce i risultati delle indagini geognostiche e geotecniche effettuate nell'ambito del progetto *"Interventi di difesa del rischio idrogeologico nel comune di Tertenia"*.

Si presentano le indagini geognostiche ritenute necessarie per la ricostruzione del modello geologico e geotecnico nelle aree di intervento, con particolare riferimento allo spessore dei depositi detritici di versante, alla profondità del basamento scistoso in facies rocciosa e alla caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dallo sviluppo delle opere di progetto.

Le indagini eseguite sono state:

- n. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo
- n. 2 pozzetti di ispezione geognostica
- n. 1 indagine sismica MASW
- n. 2 indagine sismica a rifrazione
- n. 3 prove SPT
- n. 3 Analisi granulometrica per vagliatura
- n. 3 determinazione limiti di Atterberg
- n. 1 peso di volume naturale
- n. 3 prove di taglio diretto



2. METODOLOGIE DI RILIEVO

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le operazioni d'indagine rispondono alla normativa tecnica ufficialmente riconosciuta, e in particolare fanno riferimento: alle Raccomandazioni A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana), ed alle norme dell'A.N.I.S.I.G. (Associazione Nazionale delle Imprese Specializzate nelle Indagini Geognostiche).

L'indagine ha consentito di accertare le caratteristiche geotecniche e stratigrafiche dei terreni di sedime delle strutture in progetto. I lavori sono stati eseguiti dall'Impresa specializzata OPERE GEOTECNICE Snc

Le operazioni in sito sono state svolte tra la fine del mese di Maggio e i primi del mese di Giugno 2023.

La normativa di riferimento è la seguente:

Decreto Ministeriale 14.01.2008: Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007

Eurocodice 8 (1998): Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

Eurocodice 7.1 (1997): Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali. - UNI

Eurocodice 7.2 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI

Eurocodice 7.3 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI

Decreto Ministeriale 17.01.2018: Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».



2.2 UBICAZIONE DELLE INDAGINI



Figura 1 – Ubicazione indagini sul canale "Funtana 'e Si"



Figura 2 – Ubicazione indagini sul canale Funtana Manna (lato ovest)

2.3 SONDAGGI GEOGNOSTICI E SPT

Sono stati eseguiti n. 3 sondaggi geognostici, ubicati come da planimetria allegata. I sondaggi consentono una valutazione della variabilità areale della successione stratigrafica.

Le carote, una volta estratte, sono state riposte in apposite cassette catalogatrici in polietilene, contenenti 5 m lineari di campione e fotografate.

| <i>Sondaggio</i> | <i>Quota</i> | <i>Coordinate geografiche</i> <i>WGS84 - UTM ZONE 32N</i> |
|------------------|--------------|--|
| Sondaggio 1 | 195 m slm | E: 548888, N: 4394486 |
| Sondaggio 2 | 180 m slm | E: 548937, N: 4394449 |
| Sondaggio 3 | 160 m slm | E: 549163, N: 4394193 |

2.3.1 Caratteristiche stratigrafiche

L'indagine ha evidenziato i seguenti livelli litologici:



Sondaggio 1:

- 0,00 – 0,30 m Terreno vegetale sabbioso limoso (colore bruno)
- 0,30 – 1,40 m Filladi estremamente alterate (Ghiaia sabbiosa) color nocciola. La ghiaia si frantuma con una leggera pressione delle dita
- 1,40 – 10 m Filladi estremamente alterate e frantumate, grigie. Sabbie ben gradate con limo e ghiaia. Rari livelli di filladi poco alterate (2-3 cm). Alla profondità di -3 m è stata eseguita la prova SPT; a quota - 4 m è stato prelevato il campione S1C1 per le indagini di laboratorio.

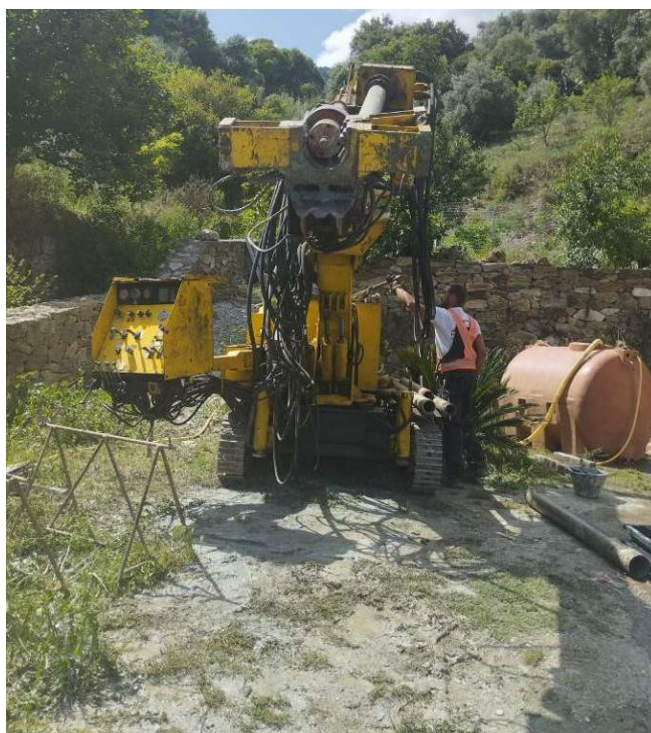


Figura 3 – Posizionamento Sondaggio n. 1



Figura 4 – Materiali estratti dal sondaggio n. S 1



Sondaggio 2

- 0,00 – 0,30 m Terreno vegetale sabbioso limoso (colore bruno)
- 0,30 – 1,20 m Terreno di riporto sabbioso limoso colore bruno, sabbia limosa e ghiaia con elementi litici spigolosi. Alla quota -0,50 m è stato prelevato il campione S2C1 per le analisi di laboratorio.
- 1,20 – 3,60 m Filladi estremamente alterate (Ghiaia sabbiosa) color nocciola, molto plastiche, umide. Alla quota -2,00 m è stata effettuata la prova SPT in foro.
- 3,60 – 10,00 m Filladi estremamente alterate e frantumate, grigie (sabbie limose). Rari livelli di filladi poco alterate (2-3 cm)



Figura 5 – Posizionamento sondaggio S 2



Figura 6 – Stratigrafie riscontrate nel Sondaggio S 2



Sondaggio 3

- 0,00 – 0,20 m Cemento (soletta stradale)
- 0,20 – 0,50 m Terreno di riporto sabbioso limoso colore nocciola, umido e plastico.
- 0,50 – 3,50 m Filladi estremamente alterate (Ghiaia sabbiosa) color nocciola, molto plastiche, umide. elementi litici di scisto spigolosi residui. Alla quota -2,00 m è stata effettuata la prova SPT in foro.
- 3,50 – 10,00 m Filladi estremamente alterate e frantumate, grigie (sabbie limose). Rari livelli di filladi poco alterate (2-3 cm). Alla quota -4,30 m è stato prelevato il campione S3C1 per le analisi di laboratorio.

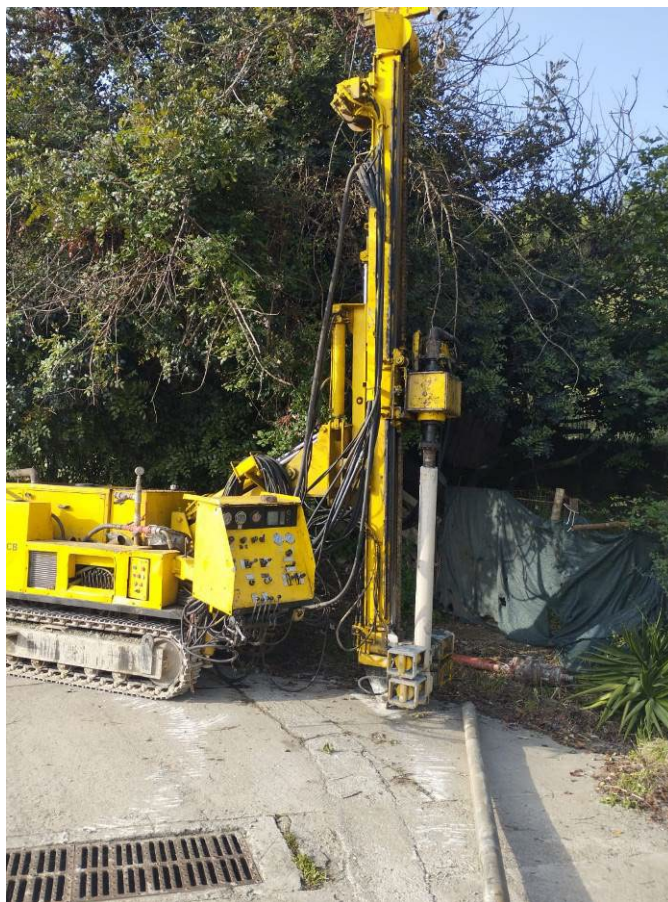


Figura 7 – Posizionamento Sondaggio S 3



Figura 8 – Stratigrafie riscontrate nel sondaggio S 3

2.3.2 Prove SPT

Durante l'avanzamento dei sondaggi, ai fini della determinazione dello stato di addensamento dei terreni non lapidei, sono state eseguite n. 3 prove S.P.T. (Standard Penetration Test).



Relazione tecnica sulle indagini

Per l'esecuzione della prova si utilizza un'attrezzatura automatica, mediante la quale per battitura (massa battente, altezza di caduta del maglio, peso delle aste, apertura della punta, etc., sono standardizzati) s'infigge nel terreno, a fondo foro, il campionatore Raymond (o una punta conica nei terreni ghiaiosi); viene rilevato il numero di colpi necessario per l'infissione di 3 tratte pari a 15 cm/cad.

La somma del numero dei colpi relativo alla seconda e terza tratta forniscono NSPT = X colpi/30 cm. Attraverso varie correlazioni si risale al valore dei parametri geotecnici del tratto testato. Compatibilmente con le caratteristiche granulometriche dei terreni intercettati, le prove sono state eseguite nel totale rispetto delle normative precedentemente citate.

| Sondaggio | Profondità dal p.c. (m) | NSPT x 15 cm |
|-----------|-------------------------|--------------|
| S 1 | 3 | 3-45-R |
| S 2 | 2 | 10-19-29 |
| S 3 | 2 | 18-28-28 |

2.4 POZZETTI STRATIGRAFICI

I pozzetti stratigrafici sono stati eseguiti con lo scopo di definire la stratigrafia superficiale in corrispondenza dei versanti del Rio Funtana 'e Si. Gli scavi sono stati eseguiti mediante mini-escavatore con escavazione mediante benna a cucchiaia rovescia.

Gli scavi sono stati eseguiti sino alle profondità di 1, 60 m rispetto al piano campagna.

2.4.1 Caratteristiche stratigrafiche

Pozzetto 1

- 0,00 – 0,80 m Terreno di riporto pedogenizzato, ghiaie in matrice sabbiosa limosa, con frammenti di ciottoli spigolosi, colore bruno.
- 0,80 – 1,60 m Filladi scistose in facies rocciosa, alterate e fratturate, colore grigio.

Pozzetto 2

- 0,00 – 0,70 m Terreno di riporto pedogenizzato, ghiaie in matrice sabbiosa limosa, con frammenti di ciottoli spigolosi, colore bruno.
- 0,70 – 1,10 m Filladi scistose in facies rocciosa, alterate e fratturate, colore grigio.

Dai pozzetti geognostici sono stati prelevati dei campioni ambientali. Sono stati prelevati due campioni: uno medio composito tra 0 e 1 m e tra 1 m e 1,60 m di profondità.



2.5 INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE

Le indagini sismiche a rifrazione hanno come obiettivo l'interpretazione della stratigrafia del sottosuolo utilizzando il principio fisico della rifrazione totale delle onde sismiche. Questo fenomeno si verifica quando un'onda sismica incide su una discontinuità tra due corpi con proprietà meccaniche diverse, noto come orizzonte rifrattorio. La sismica a rifrazione consente di individuare e caratterizzare tali discontinuità, fornendo informazioni sulla struttura del sottosuolo e la disposizione degli strati geologici.

Compatibilmente con la logistica delle aree di indagine le acquisizioni sono state realizzate adottando uno stendimento lineare con *group interval* pari a 1,5 e 2,0 m, con un numero di energizzazioni (*shot*) pari a 12, applicando la tecnica di acquisizione degli scoppi coniugati. Per ogni punto sorgente l'acquisizione è stata ripetuta in maniera da realizzare il cosiddetto *stacking* del segnale, che attraverso la sommatoria delle diverse registrazioni (mantenendo invariata la geometria sorgente-ricevitori) consente di incrementare il rapporto segnale/rumore (S/N), ottimizzando il dataset acquisito.

Le acquisizioni sono state effettuate utilizzando la seguente configurazione:

2.5.1 STENDIMENTO 1

Lo stendimento 1 è stato eseguito in Località Funtana 'e Si. Di seguito si riportano i dati di configurazione e l'interpretazione tomografica dei dati a rifrazione acquisiti. Per maggiori dettagli si rimanda all'Allegato 1 alla presente relazione.

| CONFIGURAZIONE STENDIMENTI | |
|---|-------------------------------|
| Lunghezza dello stendimento | 46 m |
| Distanza intergeofonica (<i>group interval</i>) | 2 m |
| Numero di canali/geofoni | 24 |
| Geofoni | verticali da 4,5 Hz |
| Distanza sorgente-primo geofono (<i>Offset</i> minimo) | 1,0 m |
| Distanza punti di energizzazione | 4,0 m |
| Sorgente | maglio 8 Kg (forza verticale) |
| Intervallo di campionamento (dt) | 125 μ s |
| Frequenza di campionamento (fc) | 8000 Hz |
| Tempo di registrazione | 512 ms |
| Segnale registrato | onde P |

Tabella 1 – Configurazione dello stendimento Tomografia 1.

Figura 9 – Configurazione utilizzata per l'acquisizione dello stendimento 1



2.5.1 STENDIMENTO 1 - UBICAZIONE DELL'AREA DI INDAGINE

| | | | |
|---------------------|-----------------------------|-------------|------------|
| COMUNE | Tertenia | | |
| LOCALITÀ | Abitato | | |
| COORDINATE (WGS-84) | Al centro dello stendimento | X – 4394125 | Y – 549166 |

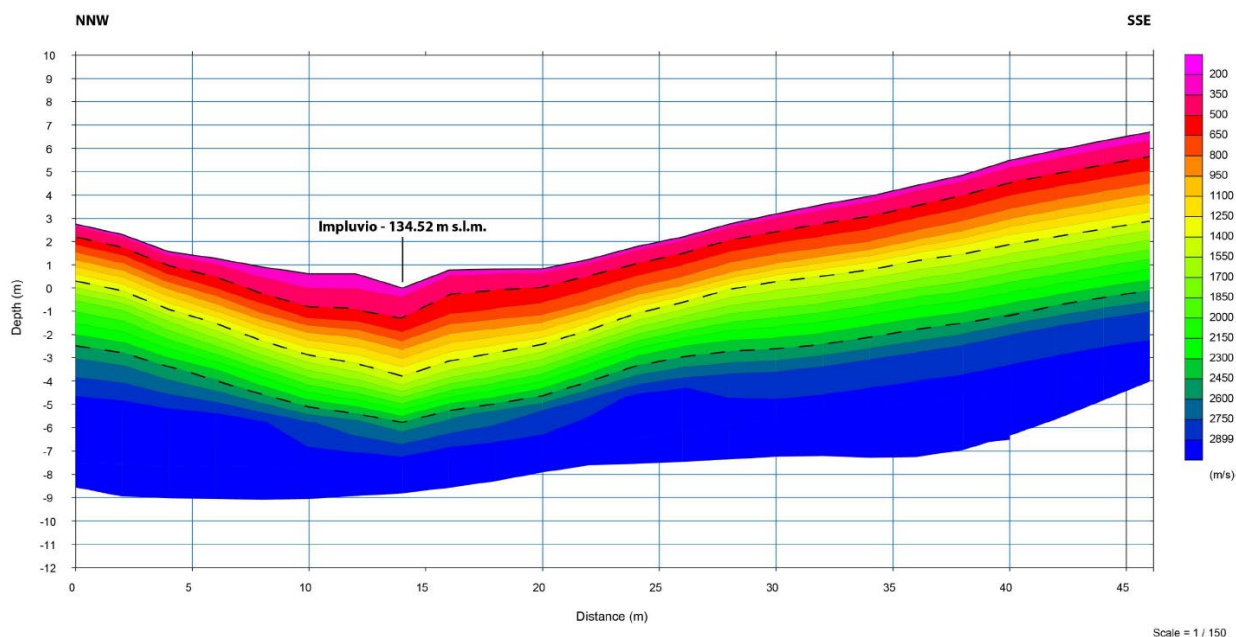




Figura 10 – Ubicazione e interpretazione tomografica dei dati a rifrazione acquisiti lungo lo stendimento 1

2.5.2 STENDIMENTO 2

Lo stendimento 2 è stato eseguito in Località Funtana Manna. Di seguito si riportano i dati di configurazione e l'interpretazione tomografica dei dati a rifrazione acquisiti. Per maggiori dettagli si rimanda all'Allegato 1 alla presente relazione.

| CONFIGURAZIONE STENDIMENTI | |
|--|-------------------------------|
| Lunghezza dello stendimento | 34,5 m |
| Distanza intergeofonica (<i>group interval</i>) | 1,5 m |
| Numero di canali/geofoni | 24 |
| Geofoni | verticali da 4,5 Hz |
| Distanza sorgente-primo geofono (<i>Offset minimo</i>) | 0,75 m |
| Distanza punti di energizzazione | 3,0 m |
| Sorgente | maglio 8 Kg (forza verticale) |
| Intervallo di campionamento (dt) | 125 μ s |
| Frequenza di campionamento (fc) | 8000 Hz |
| Tempo di registrazione | 512 ms |
| Segnale registrato | onde P |

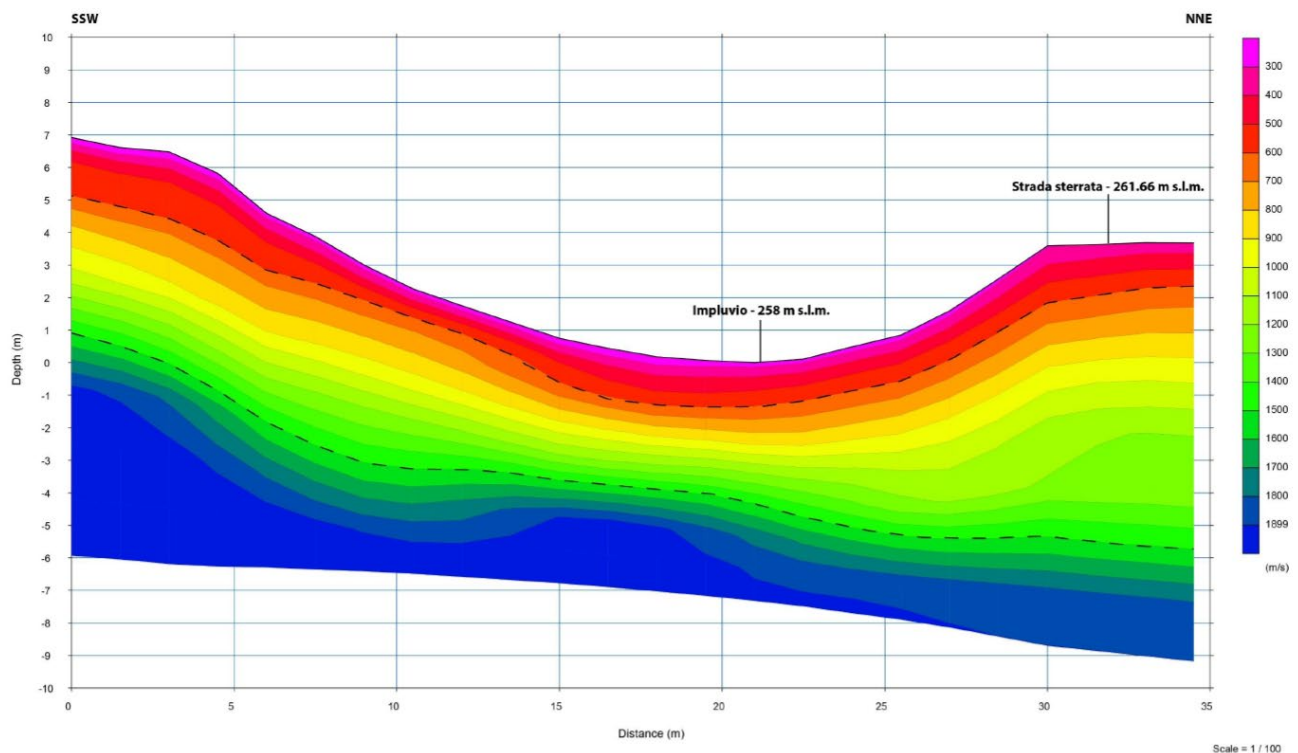
Figura 11 – Configurazione utilizzata per l'acquisizione dello stendimento 2



2.5.3 STENDIMENTO 2 - UBICAZIONE DELL'AREA DI INDAGINE

| | | | |
|---------------------|-----------------------------|-------------|------------|
| COMUNE | Tertenia | | |
| LOCALITÀ | Santa Sofia | | |
| COORDINATE (WGS-84) | Al centro dello stendimento | X – 4394514 | Y – 548719 |





2.6 INDAGINE SISMICA MEDIANTE METODOLOGIA MASW

L'indagine sismica con il metodo MASW è un'indagine non invasiva che si basa sulla misura della velocità di dispersione delle onde di superficie V_s . Attraverso la definizione delle V_s dei singoli sismostrati si calcola il parametro V_{seq} che in riferimento alla Tabella 3.2.II, delle NTC 2018 consente di definire la categoria di sottosuolo indagata. Nelle pagine seguenti sono descritte le attività e le metodologie impiegate nella campagna investigativa.

La tecnica consiste nella registrazione multicanale di segnali sismici generati da sorgenti impulsive all'interfaccia della superficie libera del terreno. Si tratta di una prova non invasiva basata sulla propagazione di onde di superficie (Rayleigh e Love) per la stima del profilo di velocità delle onde di taglio V_s , nell'ipotesi di semispazio monodimensionale, caratterizzato da legame costitutivo (visco-) elastico lineare. Le indagini che si basano sulle onde di superficie sfruttano le caratteristiche dispersive dei mezzi stratificati, in altre parole, in presenza di un mezzo multistrato, la velocità di fase e di gruppo del segnale risulta dipendente dalla frequenza di eccitazione. Per questo motivo, le componenti spettrali ad alta frequenza forniscono informazioni sugli strati più superficiali, perché caratterizzate da una minor capacità penetrativa, a causa della maggiore attenuazione subita durante il percorso all'interno del mezzo di propagazione. Viceversa, le componenti a grande lunghezza d'onda e bassa frequenza permettono di ricavare informazioni circa le proprietà dei terreni più profondi, così come schematizzato in Figura 4. Il profilo di velocità $V_s(z)$ in funzione della profondità z viene determinato attraverso la soluzione di un problema inverso. L'analisi MASW dei segnali sismici può essere sintetizzata in alcuni passi fondamentali: la prima fase consiste nell'estrazione, mediante *picking*, della curva di dispersione sperimentale a



partire dall'analisi spettrale del segnale nel dominio di Fourier. In altre parole, dopo aver selezionato l'intervallo caratterizzato da massima ampiezza nello spettro f-k (frequenza-numero d'onda) o f-V (frequenza-velocità) si ricostruisce la curva V(f) (velocità – frequenza) o S=S(f) (lentezza – frequenza). La seconda fase di elaborazione consiste nella soluzione del problema inverso. Solitamente si parte da un modello di partenza con un numero prestabilito di strati sovrapposti, ciascuno caratterizzato da un proprio valore di velocità Vs.

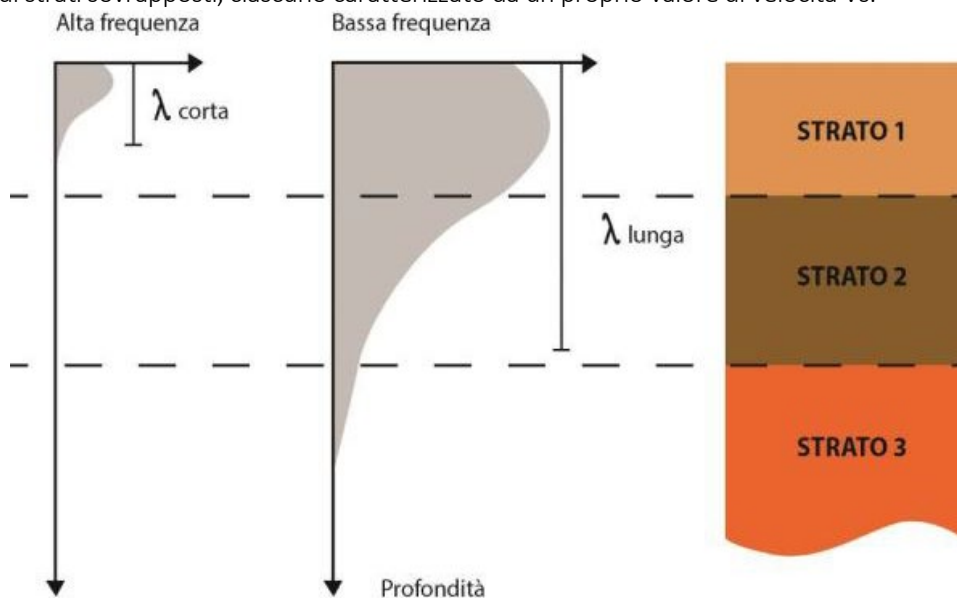


Figura 12 - Rappresentazione schematica di due componenti di un'onda di superficie che consentono porzioni diverse del terreno; la componente ad alta frequenza (piccola lunghezza d'onda) sente solamente la parte più superficiale, mentre la componente a bassa frequenza (grande lunghezza d'onda) arriva a maggiore profondità.

2.6.1 Calcolo della velocità equivalente

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è necessario classificare i terreni compresi tra il piano di imposta delle fondazioni (delle opere in progetto) ed un substrato rigido di riferimento (bedrock).

L'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, in alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tabella 3, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s). Per velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio si intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione, secondo la relazione: definita dall'espressione:

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

con:



Relazione tecnica sulle indagini

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

ottenendo:

| | | |
|-----------------------------------|--------|----------------------------------|
| NUMERO DI STRATI CONSIDERATI | 11 | V_6: 575 m/s |
| PIANO DI IMPOSTA DELLE FONDAZIONI | 0 m | |
| BEDROCK SISMICO | 6,20 m | |

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, il profilo stratigrafico dell'area in esame risulta compreso nella categoria di **sottosuolo B**, in riferimento alle indicazioni riportate in questo elaborato, che definisce in riferimento alla Tabella 3.2.II, delle NTC 2018 (Tabella 3), la CATEGORIA DI SOTTOSUOLO per ogni singola area indagata, la scelta della corretta categoria di sottosuolo spetta al Progettista sulla base delle proprie conoscenze e valutazioni geologiche del sito.

| CATEGORIA | CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA |
|-----------|---|
| A | <i>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.</i> |
| B | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i> |
| C | <i>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.</i> |
| D | <i>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.</i> |
| E | <i>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.</i> |

Per ulteriori chiarimenti sull'indagine eseguita si rimanda interamente alla relazione alle indagini sismiche riportata nell'Allegato 1.



2.7 CAMPIONAMENTO DEI MATERIALI E ANALISI GEOTECNICHE

In ciascun sondaggio sono stati prelevati dei campioni per eseguire le analisi geotecniche di laboratorio al fine di caratterizzare e definire i parametri fisici e geotecnici dei materiali interessati dalle opere di fondazione degli interventi di progetto, per un totale di n. 3 campioni.

| Sondaggio | Nome Campione | Profondità | Tipologia | Prove |
|-----------|---------------|------------|--------------------------------|--|
| S1 | S1C1 | 4,00 m | Campione disturbato sciolto | Classificazione, Analisi granulometrica e limiti, Taglio |
| S2 | S2C1 | 0,50 m | Campione disturbato sciolto | Classificazione, Analisi granulometrica e limiti, Taglio Peso di Volume |
| S3 | S3C1 | 4,30 m | Campione disturbato sciolto | Classificazione, Analisi granulometrica e limiti, Taglio |

In Allegato 2 i certificati di prova.



ALLEGATI



ALLEGATO 1

– Relazione alle indagini sismiche –

"INTERVENTI DI DIFESA DA RISCHIO IDROGEOLOGICO NEL COMUNE DI TERTENIA"



SOCIETÀ INCARICATA



SEDE OPERATIVA:
VIA TEMPIO N.3, 09023, MONASTIR (SU)
TEL. 070-4619002
INFO@GEOLOGIKA.EU - GEOLOGIKA@PEC.IT

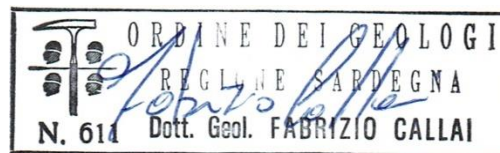
GEOLOGIKA srls
Sede Legale: Via Cuba, 20 - 09038 Serramanna (VS)
Sede Operativa: Via Tempio, 3 - 09023 Monastir (CA)
Tel. 348 5425302 - 328 1699466
C.F. P.IVA 03612320923

ISO 9001
BUREAU VERITAS
Certification



PROFESSIONISTI

GEOL. FABRIZIO CALLAI



GEOL. FABIO FANELLI



COMMITENTE

STUDIO ROSSO INGEGNERIA ASSOCIATI
VIA ROSOLINO PILO, 11,
10143 TORINO (TO)

OPERE GEOTECNICHE
VIA SAN GEMILIANO,
09023 MONASTIR (SU)

PROGETTISTA

STUDIO ROSSO INGEGNERIA ASSOCIATI
VIA ROSOLINO PILO, 11,
10143 TORINO (TO)

RIF. INTERNO

TITOLO ELABORATO

14/2023

RELAZIONE ILLUSTRATIVA ALLE INDAGINI

| | | | | | |
|-----|-----------------|------------|-----------|------------|-----------|
| | | | | | |
| 0 | PRIMA EMISSIONE | 15/06/2023 | CALLAI F. | FANELLI F. | CALLAI F. |
| REV | DESCRIZIONE | DATA | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |

INDICE

| | | |
|--------|---|---|
| 1 | GENERALITÀ | 2 |
| 1.1 | NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 2 |
| 2 | INDAGINE SISMICA | 3 |
| 2.1 | APPARECCHIATURA UTILIZZATA..... | 3 |
| 2.2 | INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE..... | 3 |
| 2.3 | GEOMETRIA DI ACQUISIZIONE | 3 |
| 2.3.1 | STENDIMENTO 1 | 4 |
| 2.3.2 | STENDIMENTO 2 | 4 |
| 2.4 | ELABORAZIONE TOMOGRAFICA..... | 5 |
| 2.5 | RISULTATI DELLE INDAGINI..... | 6 |
| 2.5.1 | STENDIMENTO 1 - UBICAZIONE DELL'AREA DI INDAGINE..... | 6 |
| 2.5.2 | INTERPRETAZIONE STENDIMENTO 1..... | 1 |
| 2.5.3 | STENDIMENTO 2 - UBICAZIONE DELL'AREA DI INDAGINE | 2 |
| 2.5.4 | INTERPRETAZIONE STENDIMENTO 2..... | 1 |
| 2.6 | INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW | 2 |
| 2.7 | METODO MASW (<i>MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES</i>) | 2 |
| 2.8 | GEOMETRIA DI ACQUISIZIONE | 3 |
| 2.9 | ELABORAZIONE DEL DATO ACQUISITO | 4 |
| 2.10 | CALCOLO DELLA VELOCITÀ EQUIVALENTE | 4 |
| 2.11 | RISULTANZE DELL'INDAGINE | 6 |
| 2.11.1 | MASW - UBICAZIONE DELL'AREA DI INDAGINE..... | 6 |

1 GENERALITÀ

La **STUDIO ROSSO INGEGNERI ASSOCIATI S.R.L.** con sede in Via Rosolino Pilo n. 11, Torino, in R.T.I. con la società **OPERE GEOTECNICHE S.N.C.**, con sede in Via San Gemiliano, Monastir, ha conferito alla società **GEOLOGIKA S.R.L.S.** con sede operativa in Via Tempio n.3 Monastir (SU), C.F. e P.IVA 03612320923, l'incarico per l'esecuzione dell'indagine sismica, a supporto del progetto denominato "INTERVENTI DI DIFESA DA RISCHIO IDROGEOLOGICO NEL COMUNE DI TERTENIA".

1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente lavoro è stato redatto con esplicito riferimento alla seguente normativa:

NORME TECNICHE

- **Cir. C.S.LL.PP n. 7 del 21 gennaio 2019** - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- **D.M. 17.01.2018** - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»;
- **UNI 11531-1 aprile 2014** - Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture.

INDAGINI SUI TERRENI

- **ASTM D5777 18** - Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation;
- **UNI EN 1997 1:2013** - Eurocodice 7 - "Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali";
- **UNI EN 1997 1:2007** - Eurocodice 7 - "Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo";
- **A.G.I. 1994** - "Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio";
- **D.M. LL.PP. 11.03.1988** - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- **A.G.I. 1977** - "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".

2 INDAGINE SISMICA

L'indagine sismica è un metodo non invasivo che si basa sull'analisi della propagazione delle onde sismiche rifratte e/o di superficie per ottenere informazioni sulle caratteristiche del terreno. Questo tipo di indagine fornisce indicazioni sulla velocità di propagazione delle onde sismiche e sulla geometria degli strati geologici presenti nel sottosuolo.

Nello specifico vengono di seguito riportate le risultanze dell'indagine sismica a rifrazione e dell'indagine MASW, realizzate a supporto del progetto "INTERVENTI DI DIFESA DA RISCHIO IDROGEOLOGICO NEL COMUNE DI TERTENIA".

2.1 APPARECCHIATURA UTILIZZATA

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è quella classica, costituita da un sistema digitale di acquisizione dotato di sismometri (geofoni), amplificatori, filtri, convertitore A/D e supporto di visualizzazione e memorizzazione dei dati in formato digitale.

In particolare, è stato utilizzato il sismografo PASI con 24 canali di acquisizione, dotato di filtri analogici e digitali, filtro *notch* a 50 Hz, AGC, con dinamica di base a 24 bit. Le registrazioni vengono acquisite tramite PC esterno collegato direttamente allo strumento. I sensori di ricezione, utilizzati per la misura, sono 24 geofoni verticali di tipo elettromagnetico a bobina mobile con frequenza propria di 4.5 Hz, connessi tramite cavo alla centralina di acquisizione. La sorgente di onde sismiche è costituito da una grave (maglio) di 8 kg lasciato cadere sul terreno. Il sistema di trigger utilizza un sensore (geofono starter) posizionato in prossimità del punto energizzato.

2.2 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE

NORMA DI RIFERIMENTO: ASTM D5777 - 18

Le indagini sismiche a rifrazione hanno come obiettivo l'interpretazione della stratigrafia del sottosuolo utilizzando il principio fisico della rifrazione totale delle onde sismiche. Questo fenomeno si verifica quando un'onda sismica incide su una discontinuità tra due corpi con proprietà meccaniche diverse, noto come orizzonte rifrattorio. La sismica a rifrazione consente di individuare e caratterizzare tali discontinuità, fornendo informazioni sulla struttura del sottosuolo e la disposizione degli strati geologici.

2.3 GEOMETRIA DI ACQUISIZIONE

Compatibilmente con la logistica delle aree di indagine le acquisizioni sono state realizzate adottando uno stendimento lineare con *group interval* pari a 1,5 e 2,0 m, con un numero di energizzazioni (*shot*) pari a 12, applicando la tecnica di acquisizione degli scoppi coniugati. Per ogni punto sorgente l'acquisizione è stata ripetuta in maniera da realizzare il cosiddetto *stacking* del segnale, che attraverso la sommatoria

delle diverse registrazioni (mantenendo invariata la geometria sorgente-ricevitori) consente di incrementare il rapporto segnale/rumore (S/N), ottimizzando il *dataset* acquisito.

Le acquisizioni sono state effettuate utilizzando la seguente configurazione:

2.3.1 STENDIMENTO 1

| CONFIGURAZIONE STENDIMENTI | |
|--|-------------------------------|
| Lunghezza dello stendimento | 46 m |
| Distanza intergeofonica (<i>group interval</i>) | 2 m |
| Numero di canali/geofoni | 24 |
| Geofoni | verticali da 4,5 Hz |
| Distanza sorgente-primo geofono (<i>Offset minimo</i>) | 1,0 m |
| Distanza punti di energizzazione | 4,0 m |
| Sorgente | maglio 8 Kg (forza verticale) |
| Intervallo di campionamento (dt) | 125 μ s |
| Frequenza di campionamento (fc) | 8000 Hz |
| Tempo di registrazione | 512 ms |
| Segnale registrato | onde P |

Tabella 1 – Configurazione dello stendimento Tomografia 1.

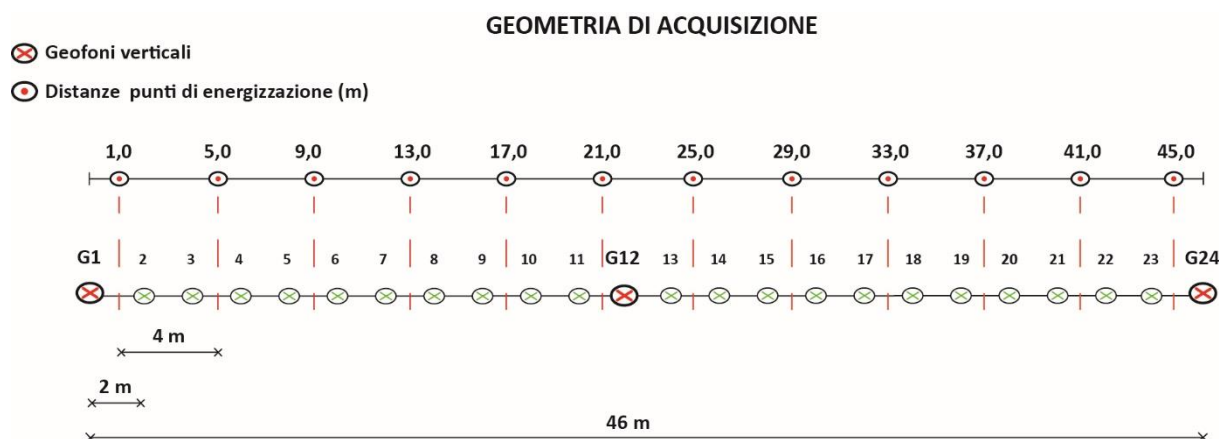


Figura 1 – Geometria di acquisizione con distanze relative tra geofonie e punti di energizzazione.

2.3.2 STENDIMENTO 2

| CONFIGURAZIONE STENDIMENTI | |
|--|-------------------------------|
| Lunghezza dello stendimento | 34,5 m |
| Distanza intergeofonica (<i>group interval</i>) | 1,5 m |
| Numero di canali/geofoni | 24 |
| Geofoni | verticali da 4,5 Hz |
| Distanza sorgente-primo geofono (<i>Offset minimo</i>) | 0,75 m |
| Distanza punti di energizzazione | 3,0 m |
| Sorgente | maglio 8 Kg (forza verticale) |
| Intervallo di campionamento (dt) | 125 μ s |
| Frequenza di campionamento (fc) | 8000 Hz |
| Tempo di registrazione | 512 ms |
| Segnale registrato | onde P |

Tabella 2 – Configurazione dello stendimento Tomografia 2.

GEOMETRIA DI ACQUISIZIONE

⊗ Geofoni verticali

⊙ Distanze punti di energizzazione (m)

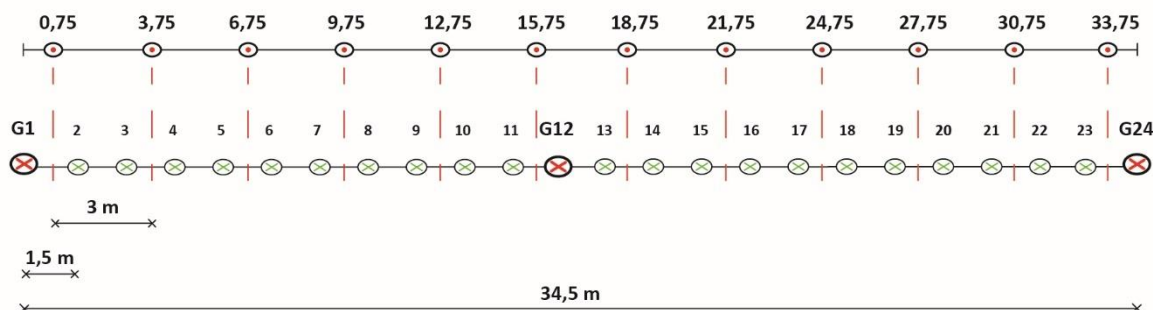


Figura 2 – Geometria di acquisizione con distanze relative tra geofonie e punti di energizzazione.

2.4 ELABORAZIONE TOMOGRAFICA

I dati ottenuti dall'elaborazione dei sismogrammi rappresentano le registrazioni dei primi tempi d'arrivo degli impulsi sismici longitudinali, che corrispondono alle onde di compressione, rilevate dai geofoni posizionati lungo il profilo. Per analizzare in modo accurato le variazioni laterali della velocità delle onde sismiche lungo il profilo, è stato impiegato un metodo di interpretazione di tipo tomografico. Il processo di elaborazione dei dati è stato realizzato con il supporto del software SeisImager/2D, appositamente sviluppato per il trattamento di profili sismici a rifrazione con ampie coperture. La tecnica di inversione tomografica è stata adottata per calcolare le traiettorie dell'onda (*wavepath*) utilizzando soluzioni basate sulle differenze finite dell'*eikonal equation*, che descrive la propagazione delle onde in un mezzo isotropo. Per rappresentare la propagazione dell'onda, viene utilizzato il concetto di "volume di Fresnel". Il volume di Fresnel è definito come l'insieme delle onde sismiche che presentano tempi di percorrenza differenziali di al massimo mezzo periodo. Questo concetto permette di identificare le regioni nello spazio in cui le onde sismiche si sovrappongono e interferiscono tra loro.

Per ottenere una soluzione ottimale, il software esegue calcoli iterativi e aggiorna il modello di velocità ripetendo gli step definiti fino a raggiungere la convergenza. L'algoritmo di inversione tomografica all'interno del software determina la soluzione ottimale basata sui dati acquisiti. La qualità del modello dipende da vari fattori, tra cui la geometria del profilo, le distribuzioni di velocità nel sottosuolo e la posizione e il numero di punti di emissione dell'energia (*shots*).

I risultati dell'elaborazione sono presentati graficamente in un modello di velocità che rappresenta il risultato ottimale ottenuto. Questo modello mostra le velocità delle onde di compressione in scala cromatica, con valori compresi tra il minimo e il massimo determinati durante l'analisi. Per garantire una precisa ricostruzione del profilo topografico associato al modello di velocità, la posizione dei geofoni lungo il profilo è stata attentamente rilevata utilizzando il GPS differenziale.

2.5 RISULTATI DELLE INDAGINI

Nelle pagine seguenti vengo discusse per ciascuno stendimento le risultanze delle interpretazioni derivanti dall'inversione tomografica.

2.5.1 STENDIMENTO 1 - UBICAZIONE DELL'AREA DI INDAGINE

| | | | |
|---------------------|-----------------------------|-------------|------------|
| COMUNE | Tertenia | | |
| LOCALITÀ | Abitato | | |
| COORDINATE (WGS-84) | Al centro dello stendimento | X – 4394125 | Y – 549166 |



FOTO



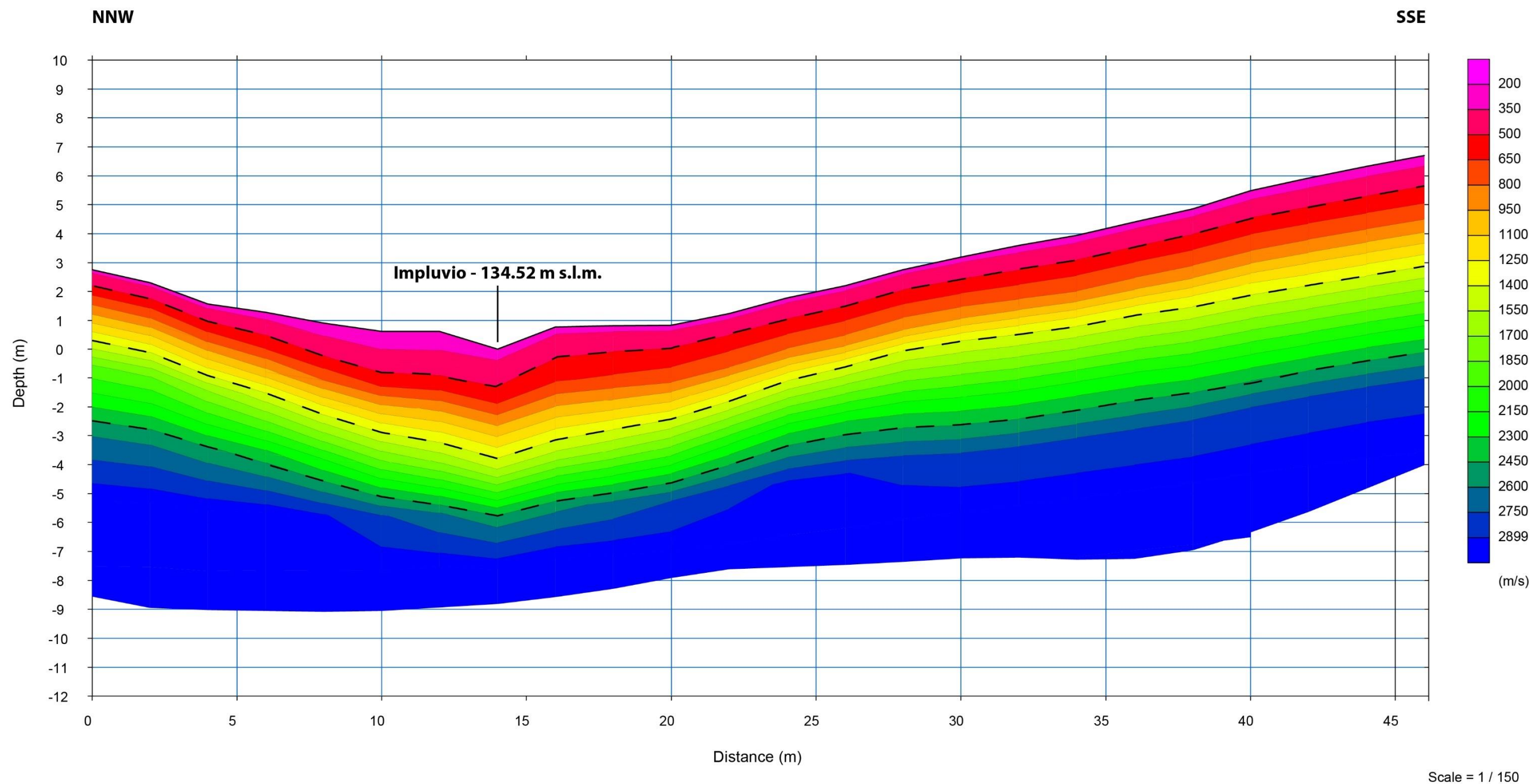


Figura 3 – Interpretazione tomografica dei dati a rifrazione acquisiti lungo lo stendimento 1.

2.5.2 INTERPRETAZIONE STENDIMENTO 1

Il modello di velocità ottenuto dall'inversione delle onde P evidenzia un gradiente verticale della velocità in progressivo aumento fino agli strati più profondi investigati.

In superficie la velocità delle onde Vp, nell'intervallo di 200÷350 m/s, descrivono in modo chiaro i terreni di ricoprimento e/o di riporto, che si estendono su tutta l'area di sedime, definendone per questa unità uno spessore massimo, riferito all'area più depressa, di circa 1,0 metro.

Il terreno presente fino alla profondità di circa 2,0 metri, è caratterizzato da un intervallo di velocità di 350÷650 m/s, che descrive un terreno di probabile genesi eluvio-colluviale, eterogeneo e dotato di un buon grado di addensamento.

La velocità delle onde Vp aumenta progressivamente, raggiungendo valori compresi nell'intervallo 650÷2300 m/s fino alla profondità massima di 5,0 metri. Tali velocità sono compatibili con la presenza di un basamento roccioso fortemente alterato (650÷1400 m/s), le cui caratteristiche meccaniche migliorano rapidamente con l'aumentare della profondità fino a raggiungere una velocità delle onde Vp di circa 2300 m/s alla profondità di circa 5,0 metri.

Il miglioramento delle caratteristiche fisico-meccaniche del basamento roccioso con l'aumento della profondità è attestato dall'incremento delle velocità delle onde Vp, che alla profondità massima di indagine di circa 9,0 metri raggiungono la velocità di 2700÷2800 m/s, tipiche di una roccia fratturata da poco a moderatamente alterata.

2.5.3 STENDIMENTO 2 - UBICAZIONE DELL'AREA DI INDAGINE

| | | | |
|---------------------|-----------------------------|-------------|------------|
| COMUNE | Tertenia | | |
| LOCALITÀ | Santa Sofia | | |
| COORDINATE (WGS-84) | Al centro dello stendimento | X – 4394514 | Y – 548719 |



FOTO



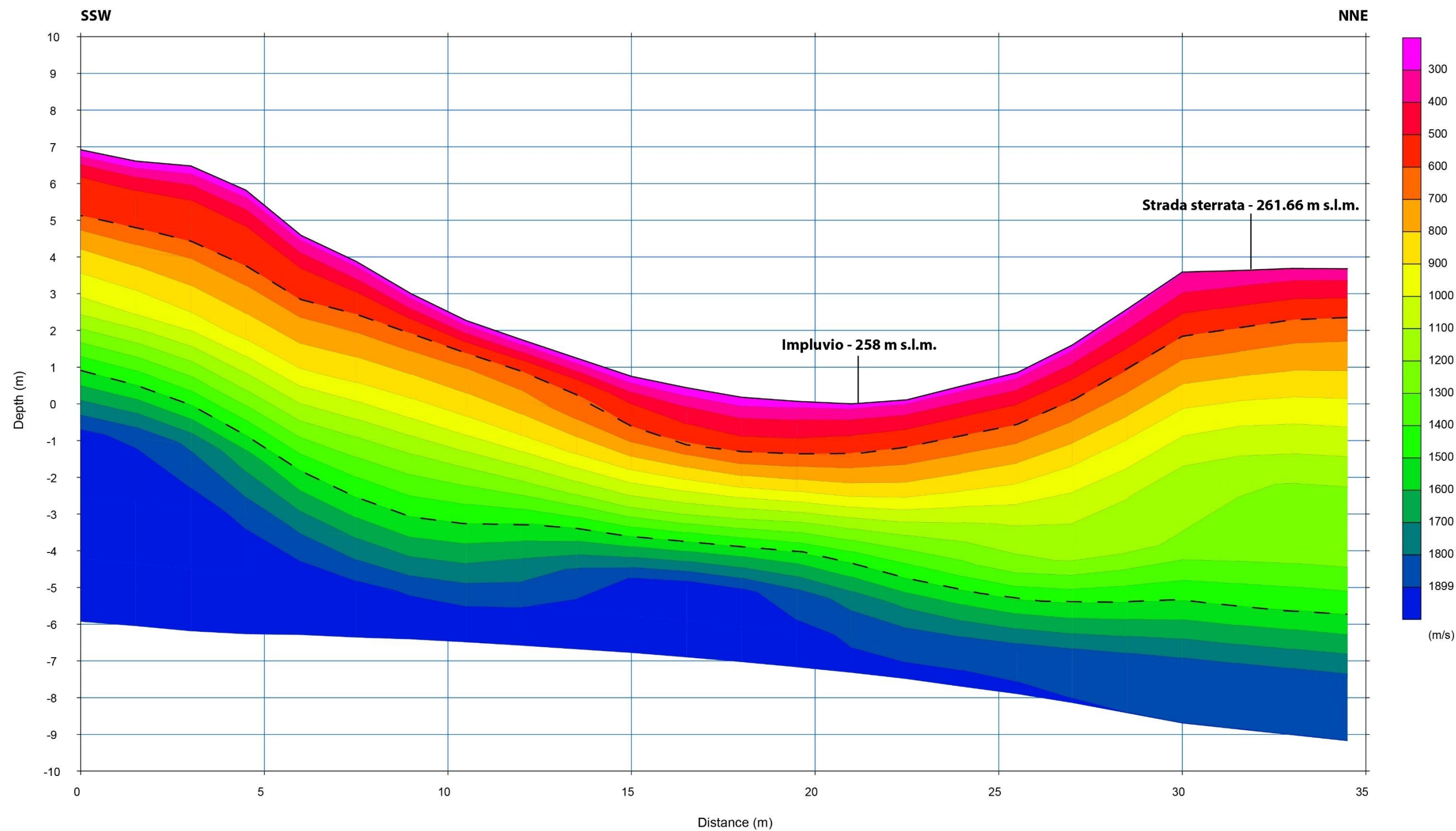


Figura 4 – Interpretazione tomografica dei dati a rifrazione acquisiti lungo lo stendimento 2.

2.5.4 INTERPRETAZIONE STENDIMENTO 2

Il modello di velocità ottenuto dall'inversione delle onde P evidenzia un gradiente verticale della velocità in progressivo aumento fino agli strati più profondi investigati.

In superficie la velocità delle onde Vp, nell'intervallo di 300÷600 m/s, descrivono in modo chiaro i terreni di ricoprimento superficiali più areati, che si estendono su tutta l'area di sedime, definendone per questa unità uno spessore massimo, riferito all'area più depressa, di circa 1,30 metri.

Il terreno presente fino alla profondità di circa 3,5÷ 4,0 metri, è caratterizzato da un intervallo di velocità che va da 600 a 1400 m/s, che descrive un terreno eterogeneo di genesi alluvio-colluviale, dotato di un buon grado di addensamento e di uno spessore massimo, localmente variabile di circa 4,0 metri.

La velocità delle onde Vp aumenta progressivamente, raggiungendo valori compresi tra 1400 e 1900 m/s fino alla profondità massima investigata di circa 6,0 metri. Tali velocità sono compatibili con la presenza di un basamento roccioso fortemente alterato, fratturato, areato, le cui caratteristiche meccaniche migliorano con l'aumentare della profondità fino a raggiungere una velocità delle onde Vp di circa 1900 m/s, sempre rappresentativa di un basamento dalle scarse caratteristiche meccaniche.

Fermo restando le indicazioni riportate in questo elaborato la definizione dell'assetto litostratigrafico locale spetta al Progettista, che si baserà sulle proprie conoscenze e valutazioni geologiche del sito, nonché su eventuali indagini supplementari effettuate.

2.6 INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW

L'indagine sismica con il metodo MASW è un'indagine non invasiva che si basa sulla misura della velocità di dispersione delle onde di superficie V_s . Attraverso la definizione delle V_s dei singoli sismostrati si calcola il parametro V_{seq} che in riferimento alla Tabella 3.2.II, delle NTC 2018 consente di definire la categoria di sottosuolo indagata. Nelle pagine seguenti sono descritte le attività e le metodologie impiegate nella campagna investigativa.

2.7 METODO MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

La tecnica consiste nella registrazione multicanale di segnali sismici generati da sorgenti impulsive all'interfaccia della superficie libera del terreno. Si tratta di una prova non invasiva basata sulla propagazione di onde di superficie (Rayleigh e Love) per la stima del profilo di velocità delle onde di taglio V_s , nell'ipotesi di semispazio monodimensionale, caratterizzato da legame costitutivo (visco-) elastico lineare. Le indagini che si basano sulle onde di superficie sfruttano le caratteristiche dispersive dei mezzi stratificati, in altre parole, in presenza di un mezzo multistrato, la velocità di fase e di gruppo del segnale risulta dipendente dalla frequenza di eccitazione. Per questo motivo, le componenti spettrali ad alta frequenza forniscono informazioni sugli strati più superficiali, perché caratterizzate da una minor capacità penetrativa, a causa della maggiore attenuazione subita durante il percorso all'interno del mezzo di propagazione. Viceversa, le componenti a grande lunghezza d'onda e bassa frequenza permettono di ricavare informazioni circa le proprietà dei terreni più profondi, così come schematizzato in Figura 4. Il profilo di velocità $V_s(z)$ in funzione della profondità z viene determinato attraverso la soluzione di un problema inverso. L'analisi MASW dei segnali sismici può essere sintetizzata in alcuni passi fondamentali: la prima fase consiste nell'estrazione, mediante *picking*, della curva di dispersione sperimentale a partire dall'analisi spettrale del segnale nel dominio di Fourier. In altre parole, dopo aver selezionato l'intervallo caratterizzato da massima ampiezza nello spettro $f-k$ (frequenza-numero d'onda) o $f-V$ (frequenza-velocità) si ricostruisce la curva $V(f)$ (velocità – frequenza) o $S=S(f)$ (lentezza – frequenza). La seconda fase di elaborazione consiste nella soluzione del problema inverso. Solitamente si parte da un modello di partenza con un numero prestabilito di strati sovrapposti, ciascuno caratterizzato da un proprio valore di velocità V_s .

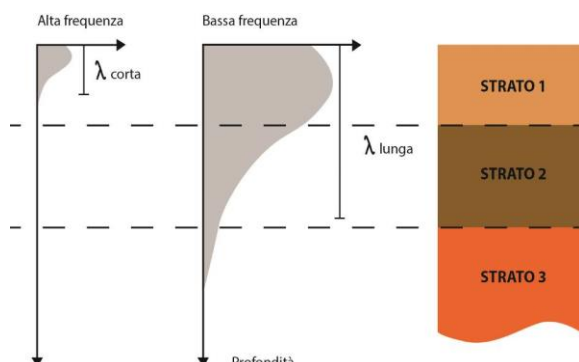


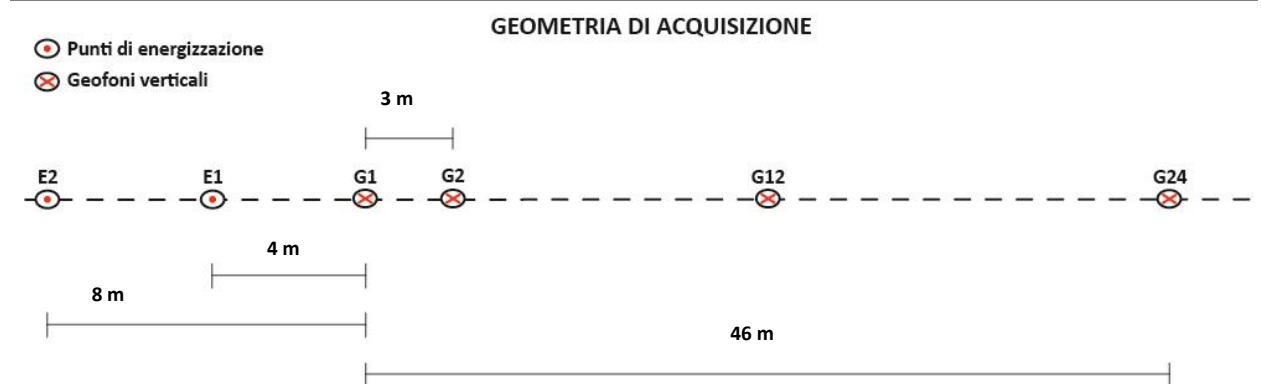
Figura 5 – Rappresentazione schematica di due componenti di un'onda di superficie che consentono porzioni diverse del terreno; la componente ad alta frequenza (piccola lunghezza d'onda) sente solamente la parte più superficiale, mentre la componente a bassa frequenza (grande lunghezza d'onda) arriva a maggiore profondità.

2.8 GEOMETRIA DI ACQUISIZIONE

Compatibilmente con la logistica dell'area in studio le acquisizioni possono essere realizzate adottando uno stendimento con *group interval* (distanza intergeofonica) compreso tra 1,5 e 5,0 m, configurazioni ritenute ottimali per l'acquisizione delle onde di superficie. Il numero di energizzazioni (*shot*) è pari a 4, queste vengono condotte secondo il metodo diretto-inverso, che consiste nell'energizzare il terreno in 2 differenti punti su entrambe le estremità dello stendimento. La distanza delle due energizzazioni dal primo e/o dall'ultimo geofono viene definita in funzione *group interval* scelto. L'acquisizione su più punti dello stendimento (diretta-inversa), consente di ridurre la mancanza di unicità delle soluzioni che caratterizza la procedura di inversione della curva di dispersione sperimentale, agevolando l'estrazione della curva di dispersione sperimentale. Inoltre, questa procedura permette di valutare la presenza di rilevanti scostamenti dalle ipotesi di semispazio unidimensionale, assunte per l'analisi dei risultati. Per attenuare il rumore incoerente, l'acquisizione viene fatta mediante uno *stacking* verticale, operazione che consente di sommare più acquisizioni pertinenti esattamente allo stesso stendimento (distanza intergeofonica e offset minimo invariati), che in funzione della strumentazione può essere settato da un minimo di 2 fino ad un massimo di 10. L'analisi spettrale dei dati sismici e il processo di inversione sono stati eseguiti con l'ausilio del software SWAN® (*Surface Waves Analysis*).

Le acquisizioni sono state effettuate utilizzando la seguente configurazione:

| CONFIGURAZIONE STENDIMENTO | |
|--|---------------------------------------|
| Lunghezza dello stendimento | 46,0 m |
| Distanza intergeofonica (<i>group interval</i>) | 2,0 m |
| Numero di canali/geofoni | 24 |
| Geofoni | verticali da 4,5 Hz |
| Distanza sorgente-primi geofoni (<i>Offset minimo</i>) | 4÷8 m |
| Acquisizione | diretta/inversa |
| Sorgente | maglio 8 Kg (forza verticale) |
| Intervallo di campionamento (dt) | 125 µs |
| Tempo di registrazione | 1024 ms |
| Segnale registrato | componente verticale onde di Rayleigh |



2.9 ELABORAZIONE DEL DATO ACQUISITO

I dati acquisiti nel dominio del tempo relativi al *dataset* sismico, da cui è possibile osservare la separazione delle onde superficiali in funzione della frequenza di propagazione del segnale nel terreno, vengono elaborati mediante la trasformata di Fourier, nel dominio frequenza-velocità (*f-v*), da cui si possono ricavare le proprietà dispersive del segnale registrato.

Dallo spettro *f-v* si estrae mediante *picking* la curva di dispersione sperimentale che viene individuata sui massimi dello spettro. Il *picking* tiene conto delle massime ampiezze spettrali, nell'ipotesi che siano correlate principalmente all'energia associata alle onde di superficie (circa il 67% dell'energia elastica è infatti trasportata da queste fasi).

Identificata la curva di dispersione sperimentale che descrive il modo fondamentale del terreno, si procede con l'inversione del dato. In questa fase si studia e si ricerca il modello sintetico della stratigrafia del terreno che più si avvicina alla curva di dispersione teorica che deve descrivere con una buona approssimazione la curva di dispersione sperimentale definita sullo spettro *f-v*. Dal *fitting* tra le due curve dispersione (sperimentale e teorica) si ottiene un profilo monodimensionale di velocità delle onde di taglio (*V_s*).

2.10 CALCOLO DELLA VELOCITÀ EQUIVALENTE

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è necessario classificare i terreni compresi tra il piano di imposta delle fondazioni (delle opere in progetto) ed un substrato rigido di riferimento (*bedrock*).

L'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, in alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tabella 3, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, *V_s*.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, *V_{s,eq}* (in m/s). Per velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio si intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione, secondo la relazione: definita dall'espressione:

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

con:

- **h_i** = spessore dell'*i*-esimo strato;
- **V_{s,i}** = velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;
- **N** = numero di strati;

- **H** = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato (H) è riferita al piano di imposta delle stesse.

Fermo restando le indicazioni riportate in questo elaborato, che definisce in riferimento alla Tabella 3.2.II, delle NTC 2018 (Tabella 3), la CATEGORIA DI SOTTOSUOLO per ogni singola area indagata, la scelta della corretta categoria di sottosuolo spetta al Progettista sulla base delle proprie conoscenze e valutazioni geologiche del sito.

| CATEGORIA | CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA |
|-----------|---|
| A | <i>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.</i> |
| B | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i> |
| C | <i>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.</i> |
| D | <i>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.</i> |
| E | <i>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.</i> |

Tabella 3 - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato (Tab. 3.2.II, delle NTC 2018).

2.11 RISULTANZE DELL'INDAGINE

Nelle pagine seguenti vengono riportate le risultanze dell'elaborazione dei dati sismici acquisiti e sviluppati secondo il metodo MASW, per la definizione della $V_{s,eq}$ (m/s).

2.11.1 MASW - UBICAZIONE DELL'AREA DI INDAGINE

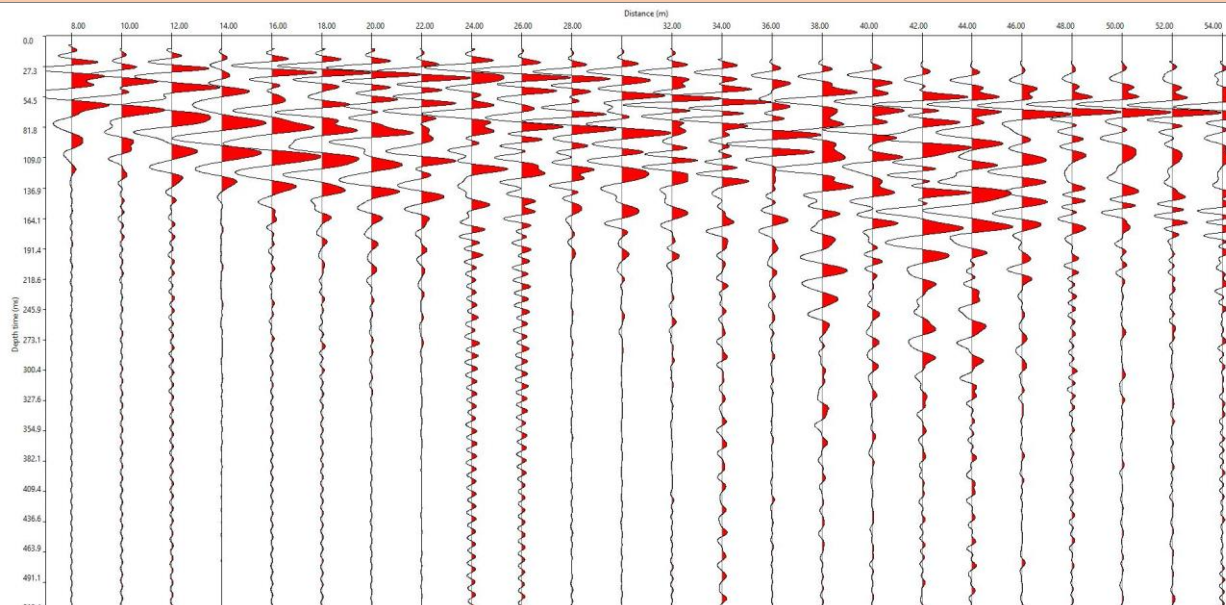
| | | | |
|---------------------|-----------------------------|-------------|------------|
| COMUNE | Tertenia | | |
| LOCALITÀ | Abitato | | |
| COORDINATE (WGS-84) | Al centro dello stendimento | X – 4394125 | Y – 549166 |



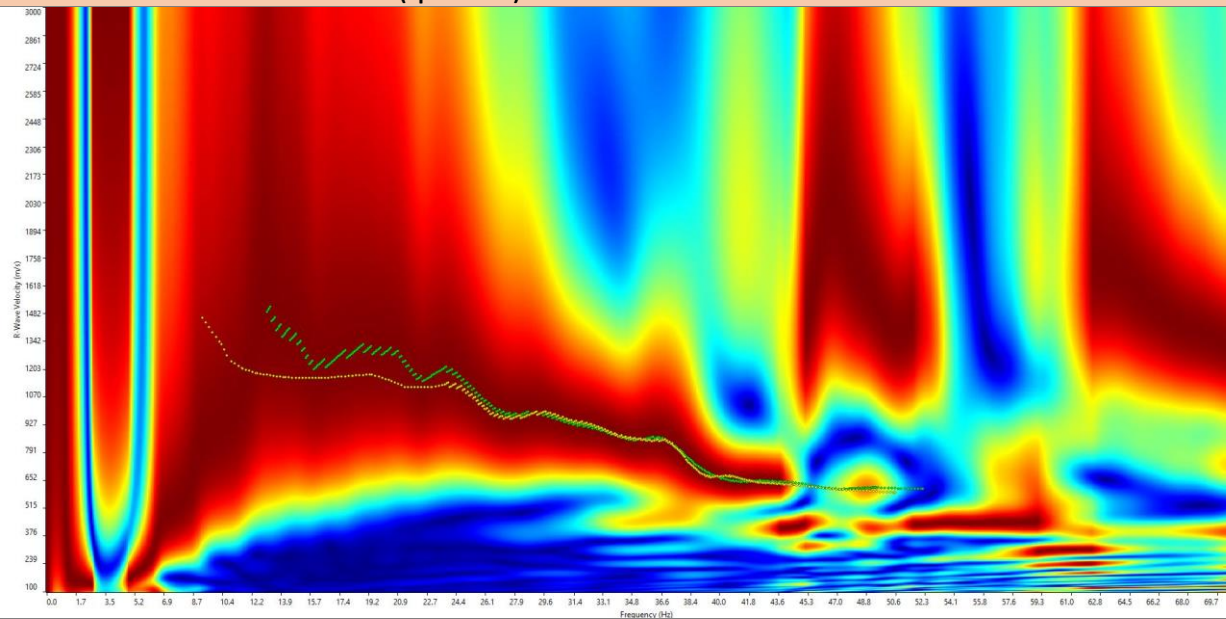
FOTO



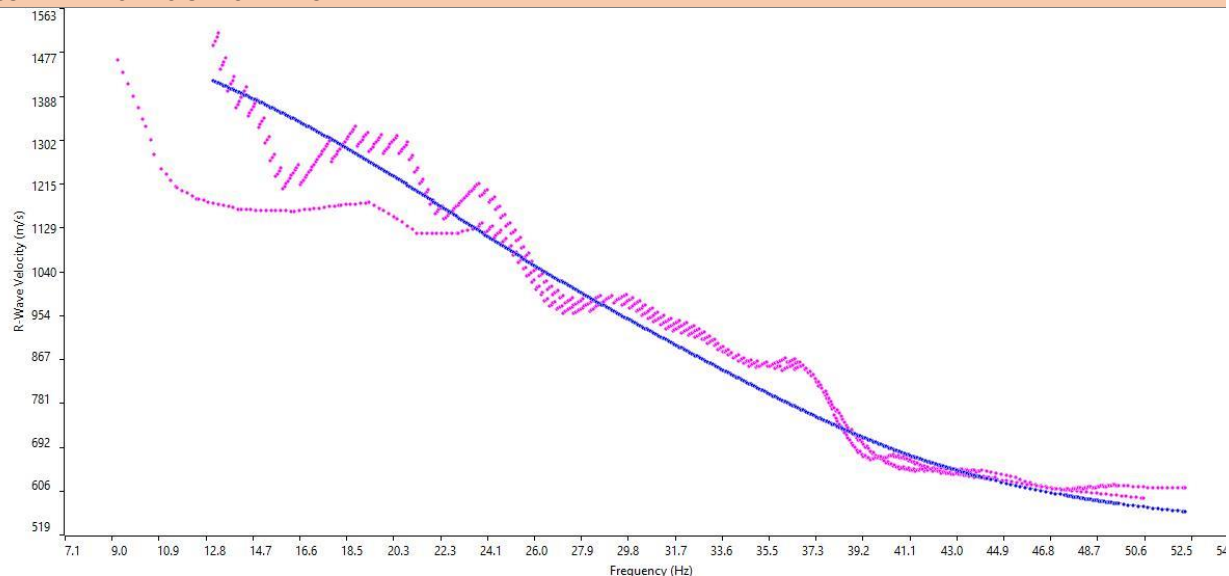
DATASET (ZVF) DELLE ONDE DI RAYLEIGH



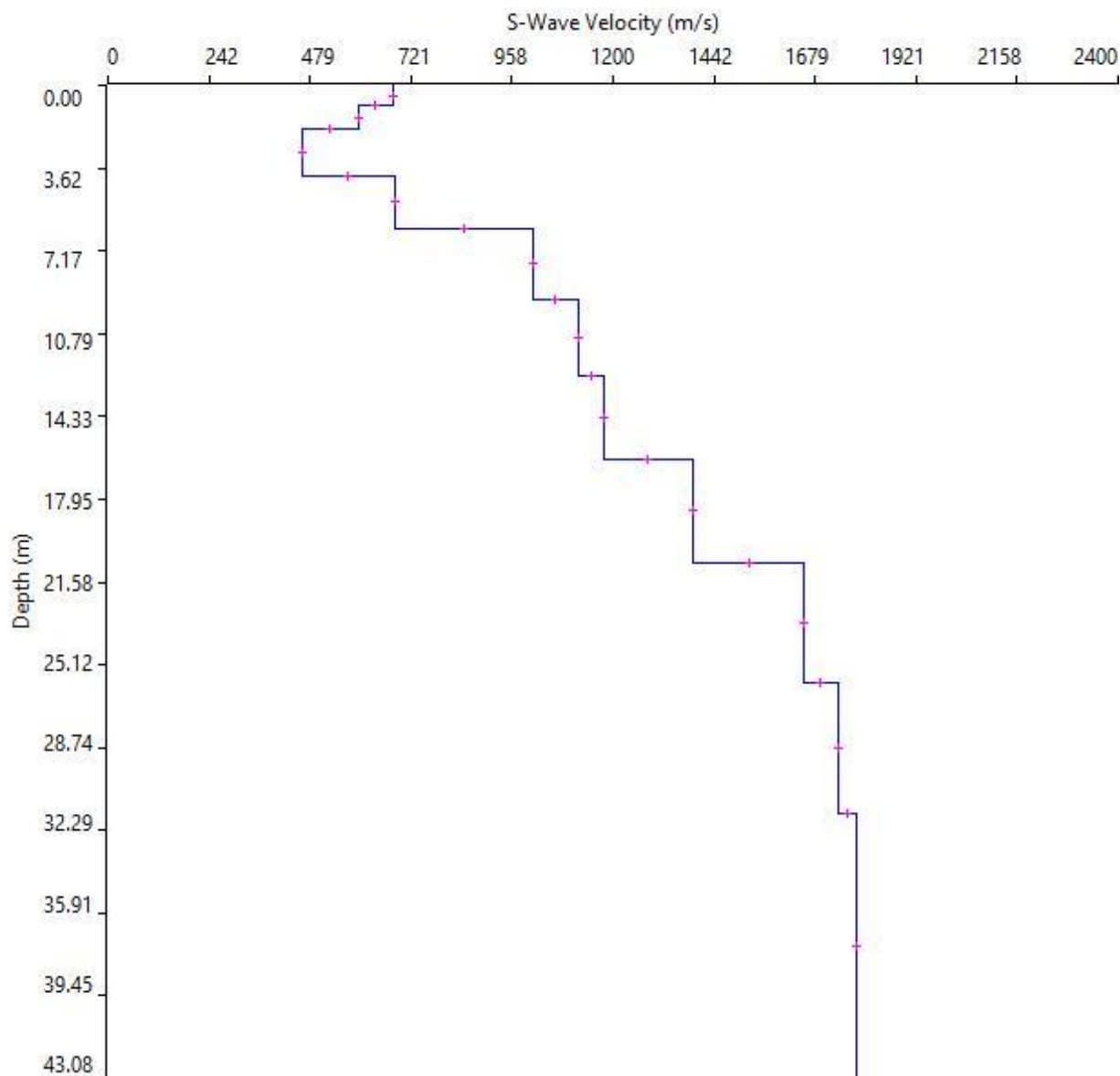
CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE (Spettro f-v)



CURVA DI DISPERSIONE SINTETICA



| | | |
|-----------------------------------|--------|-------------------------------|
| NUMERO DI STRATI CONSIDERATI | 11 | V₆: 575 m/s |
| PIANO DI IMPOSTA DELLE FONDAZIONI | 0 m | |
| BEDROCK SISMICO | 6,20 m | |



CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

B



ALLEGATO 2

- Certificati delle analisi di laboratorio -

DOCUMENTO DI PROVA

Certificato n° : 14397 /23

Committente: Opere Geotecniche snc**Data consegna campione:** 06/06/23**Opera:** Interventi di difesa da rischio idrogeologico nel Comune di Tertenia**Sigla:** S1

Provenienza: Loc. "Funtana Manna"

Profondità (m dal p.c.): 4,00**ANALISI GRANULOMETRICA - LIMITI DI ATTERBERG - CLASSIFICAZIONE**

ASTM D421 D422 D2217 - ASTM 4318 - CNR BU N°23 - CNR UNI 10014 - CNR UNI 10006

Analisi granulometrica eseguita per setacciatura (via umida)

| Aperture mm | Pass.cum. % |
|----------------|----------------|
| 200,0 | 100,0 |
| 75,0 | 100,0 |
| 63,0 | 100,0 |
| 31,5 | 100,0 |
| 20,0 | 80,7 |
| 12,5 | 74,4 |
| 8,0 | 71,4 |
| 4,00 | 68,4 |
| 2,00 | 60,4 |
| 1,000 | 45,8 |
| 0,425 | 26,5 |
| 0,18 | 11,7 |
| 0,075 | 5,9 |

Umidità : % 16,1

Indice di consistenza : -

Limiti di consistenza

Limite di liquidità : % ND

Limite di plasticità : % ND

Indice di plasticità : % non plastico

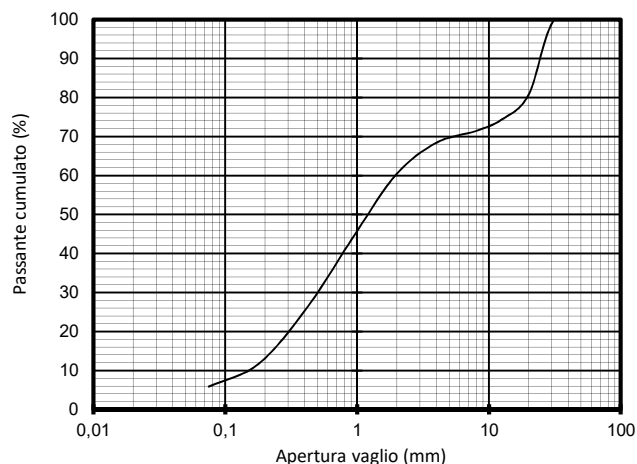
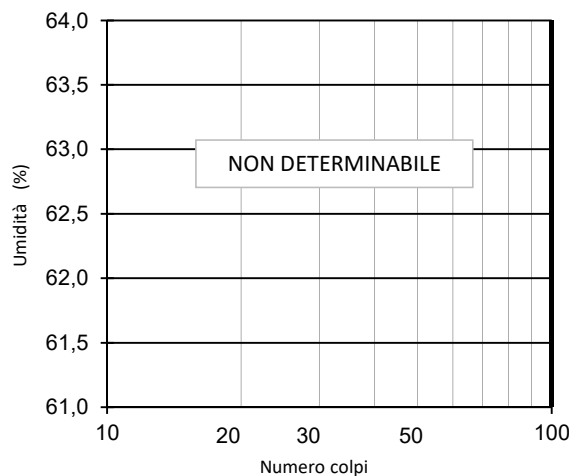
Classi granulometriche (ASTM)

Contenuto in ciottoli (> 75 mm) : % 0

Contenuto in ghiaia (4,75-75 mm) : % 32

Contenuto in sabbia (0,075-4,75 mm) : % 62

Contenuto in limo + argilla (<0,075mm) : % 6

CLASSE (UNI 10006): A2-4**CLASSE (ASTM - USCS):** SW-SMDescrizione tecnica
(USCS)**Sabbia ben
gradata con limo
e ghiaia****Curva granulometrica****Limite di liquidità**

DATA: 21-giu-23



DOCUMENTO DI PROVA

Certificato n° : 14398 /23

Committente: **Opere Geotecniche snc**

Data consegna campione: 06/06/23

Opera: **Interventi di difesa da rischio idrogeologico nel Comune di Tertenia**Sigla: **S2**

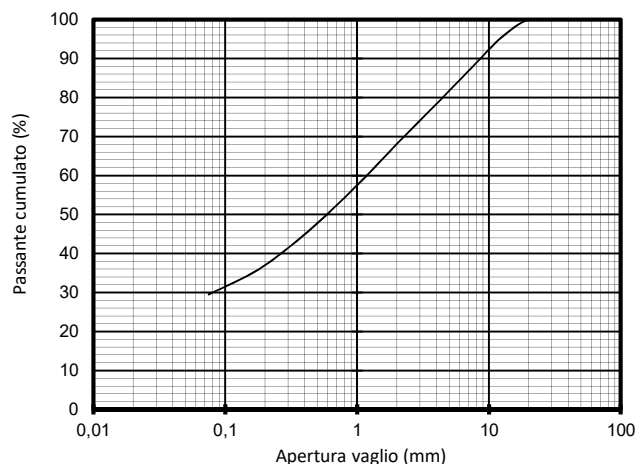
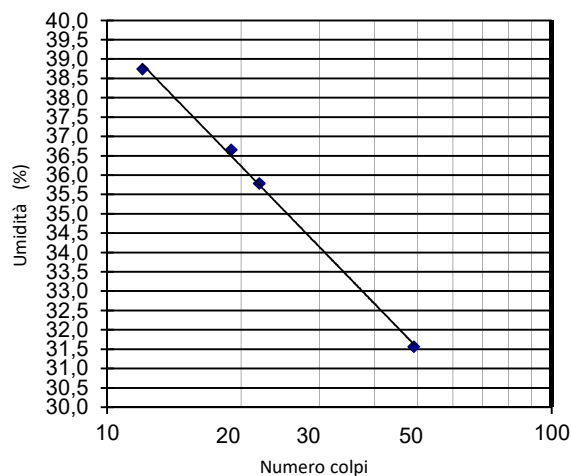
Provenienza: Loc. "Funtana Manna"

Profondità (m dal p.c.): **0,50 - 1,0****ANALISI GRANULOMETRICA - LIMITI DI ATTERBERG - CLASSIFICAZIONE**

ASTM D421 D422 D2217 - ASTM 4318 - CNR BU N°23 - CNR UNI 10014 - CNR UNI 10006

Analisi granulometrica eseguita per setacciatura (via umida)

| Aperture mm | Pass.cum. % |
|----------------|----------------|
| 200,0 | 100,0 |
| 75,0 | 100,0 |
| 63,0 | 100,0 |
| 31,5 | 100,0 |
| 20,0 | 100,0 |
| 12,5 | 95,5 |
| 8,0 | 88,8 |
| 4,00 | 78,4 |
| 2,00 | 68,1 |
| 1,000 | 57,5 |
| 0,425 | 45,7 |
| 0,18 | 36,0 |
| 0,075 | 29,5 |

Umidità : % **18,5**Indice di consistenza : **-****Limiti di consistenza***Limite di liquidità* : % **35,1***Limite di plasticità* : % **26,4***Indice di plasticità* : % **8,7****Classi granulometriche (ASTM)**Contenuto in ciottoli (> 75 mm) : % **0**Contenuto in ghiaia (4,75-75 mm) : % **19**Contenuto in sabbia (0,075-4,75 mm) : % **52**Contenuto in limo + argilla (<0,075mm): % **29****CLASSE (UNI 10006):** **A2-4****CLASSE (ASTM - USCS):** **SM**Descrizione tecnica
(USCS)**Sabbia limosa
con ghiaia****Curva granulometrica****Limite di liquidità**

DATA: 21-giu-23



DOCUMENTO DI PROVA

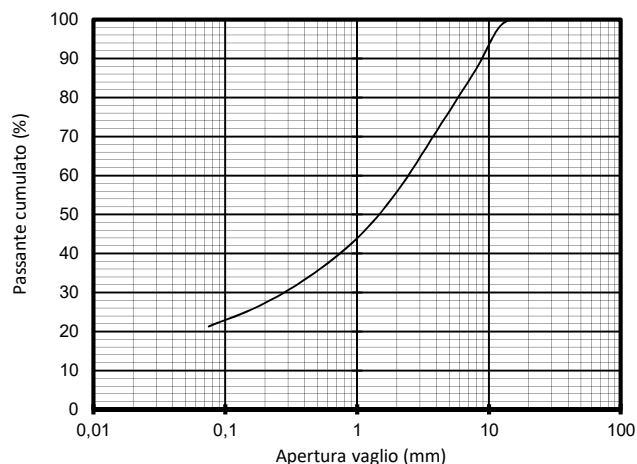
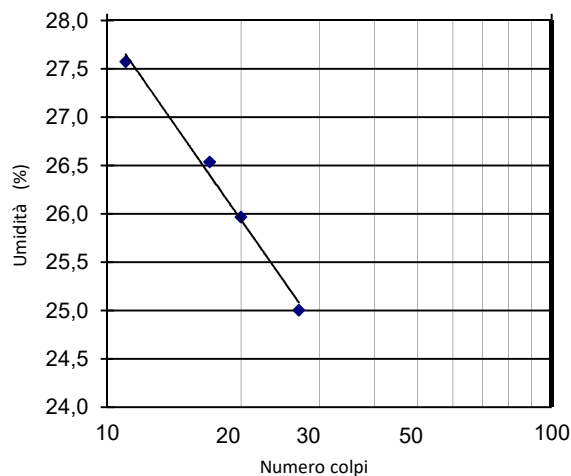
Certificato n° : 14399 /23

Committente: Opere Geotecniche snc**Data consegna campione:** 06/06/23**Opera:** Interventi di difesa da rischio idrogeologico nel Comune di Tertenia**Sigla:** S3**Provenienza:** Loc. "Funtana'e Si"**Profondità (m dal p.c.):** 4,00 - 4,30**ANALISI GRANULOMETRICA - LIMITI DI ATTERBERG - CLASSIFICAZIONE**

ASTM D421 D422 D2217 - ASTM 4318 - CNR BU N°23 - CNR UNI 10014 - CNR UNI 10006

Analisi granulometrica eseguita per setacciatura (via umida)

| Aperture mm | Pass.cum. % |
|----------------|----------------|
| 200,0 | 100,0 |
| 75,0 | 100,0 |
| 63,0 | 100,0 |
| 31,5 | 100,0 |
| 20,0 | 100,0 |
| 12,5 | 98,7 |
| 8,0 | 87,3 |
| 4,00 | 71,3 |
| 2,00 | 55,8 |
| 1,000 | 43,9 |
| 0,425 | 33,9 |
| 0,18 | 26,5 |
| 0,075 | 21,3 |

Umidità : % 1,8**Indice di consistenza :** -**Limiti di consistenza****Limite di liquidità :** % 25,3**Limite di plasticità :** % 18,8**Indice di plasticità :** % 6,5**Classi granulometriche (ASTM)****Contenuto in ciottoli (> 75 mm) :** % 0**Contenuto in ghiaia (4,75-75 mm) :** % 19**Contenuto in sabbia (0,075-4,75 mm) :** % 52**Contenuto in limo + argilla (<0,075mm):** % 21**CLASSE (UNI 10006):** A2-4**CLASSE (ASTM - USCS):** SC-SMDescrizione tecnica
(USCS)**Sabbia limoso-
argillosa con
ghiaia****Curva granulometrica****Limite di liquidità****DATA:** 21-giu-23

DOCUMENTO DI PROVAData consegna (6-giu-23)Certificato n° : 14403/23COMMITTENTE : Opere Geotecniche sncProvenienza campione : Interventi di difesa da rischio idrogeologico nel Comune di TerteniaProvenienza: Loc. "Funtana Manna"Profondità (m dal p.c.): 0,50 - 1,0**PESO DI VOLUME**

METODO DELLA PESATA IDROSTATICA

| Sigla | Provino | Profondità prelievo <i>m da p.c.</i> | Caratteristiche del provino | | Peso di volume <i>g/cmc</i> |
|-------|---------|--|--------------------------------|------------------|-----------------------------------|
| | | | Volume <i>cmc</i> | Peso <i>g</i> | |
| S2 | 1 | 0,50 - 1,00 | 218,9 | 459,1 | 2,097 |
| | 2 | | 390,0 | 805,9 | 2,061 |

Peso di volume medio:

2,079Data: 21-giu-23

DOCUMENTO DI PROVA

Rif. Lab. : 14400 /23

Committente: **Opere Geotecniche snc**

Data consegna campione: 06/06/23

Provenienza campione : Interventi di difesa da rischio idrogeologico nel Comune di Tertenia

Sigla campione: **S1**

Provenienza: Loc. "Funtana Manna"

Profondità (m dal p.c.): **4,0****PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

(Direct Shear Test Under Consolidated Drained Conditions)

ASTM D 3080 - 98 / UNI CEN ISO/TS 17892-10

Descrizione visiva del campione : Ghiaia sabbiosa ad elementi clastici di natura scistosa, satura

Caratteristiche della prova : **Consolidata drenata** su provini ricostruiti con rimozione dei clasti > 5 mm

Immersione in acqua del provino durante la consolidazione e la fase di taglio :

**Caratteristiche del provino**

Provino n° 1 2 3

Contenuto d'acqua iniziale

g/cmc % #DIV/0!

Peso di volume umido iniziale

1,941 1,944 1,938

DATI DELLA CURVA DI CONSOLIDAZIONE

Provino n° 1 2 3

Tempo al 100% della consolidazione primaria

min 4,0

Tempo minimo di durata della prova

min 50,8

Velocità massima di esecuzione calcolata

mm/min 0,1378

TAGLIO

Tensione verticale applicata

kPa 103 199 304

Resistenza massima al taglio

kPa 61,0 111,9 168,7

Deformazione orizzontale alla rottura

% 13,2 13,0 10,8

Velocità di prova

mm/min 0,1000

PARAMETRI DI RESISTENZA DI PICCOANGOLO DI RESISTENZA AL
TAGLIO**28,19 °**

COESIONE

5,6 kPa

Data : 21/06/2023

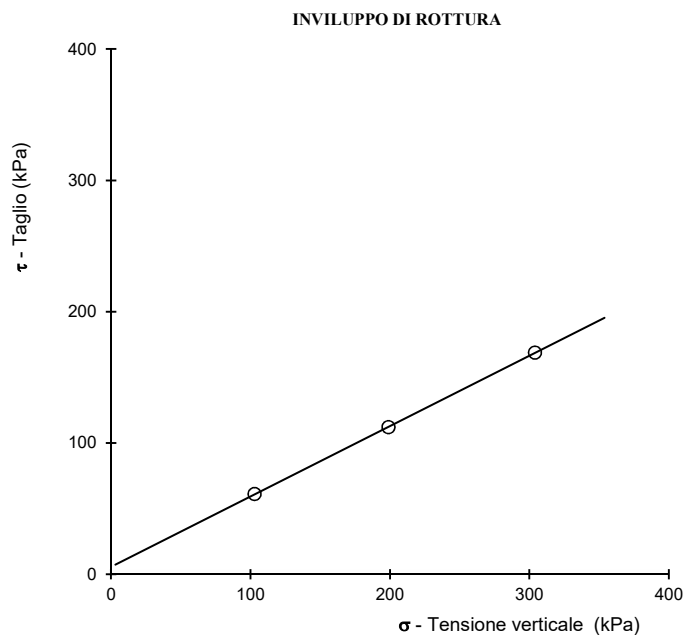
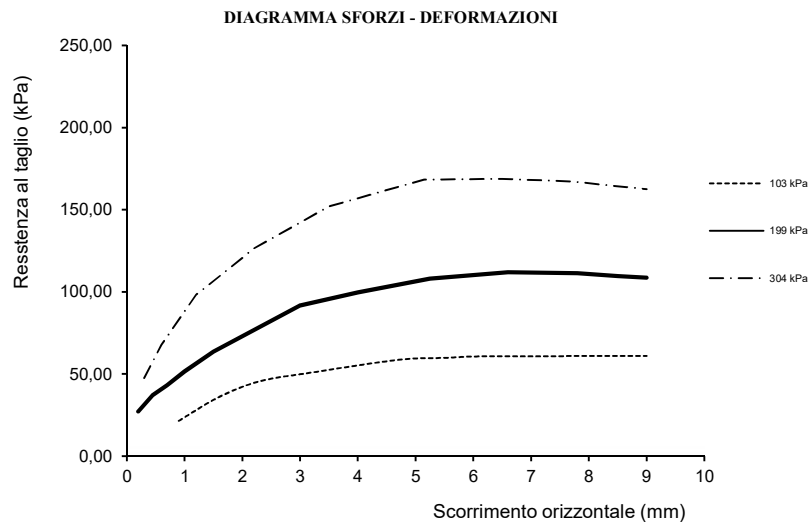
Pag. : 1/2

Rif. Lab. : 14400 /23

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

ASTM D 3080 - 98

(Direct Shear Test Under Consolidated Drained Conditions)



Data : 21/06/2023

Pag. : 2/2



DOCUMENTO DI PROVA

Rif. Lab. : 14401 /23

Committente: **Opere Geotecniche snc**

Data consegna campione: 06/06/23

Provenienza campione : Interventi di difesa da rischio idrogeologico nel Comune di Tertenia

Sigla campione: **S2**

Provenienza: Loc. "Funtana Manna"

Profondità (m dal p.c.): **0,50 - 1,0****PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

(Direct Shear Test Under Consolidated Drained Conditions)

ASTM D 3080 - 98 / UNI CEN ISO/TS 17892-10

Descrizione visiva del campione : Sabbia e ghiaia limosa costituita da frammenti di roccia scistosa, satura

Caratteristiche della prova : **Consolidata drenata** su provini non ricostruiti prelevati da zolle

Immersione in acqua del provino durante la consolidazione e la fase di taglio :

**Caratteristiche del provino**

| Provino n° | 1 | 2 | 3 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Contenuto d'acqua iniziale | % | | |
| | 18,5 | | |
| Peso di volume umido iniziale | g/cmc | | |
| | 1,955 | 2,011 | 1,998 |

DATI DELLA CURVA DI CONSOLIDAZIONE

| Provino n° | 1 | 2 | 3 |
|---|--------|---|---|
| Tempo al 100% della consolidazione primaria | min | | |
| | 2,3 | | |
| Tempo minimo di durata della prova | min | | |
| | 28,6 | | |
| Velocità massima di esecuzione calcolata | mm/min | | |
| | 0,2100 | | |

TAGLIO

| | | | | |
|---------------------------------------|--------|--------|-------|-------|
| Tensione verticale applicata | kPa | 103 | 199 | 304 |
| Resistenza massima al taglio | kPa | 70,2 | 137,8 | 180,9 |
| Deformazione orizzontale alla rottura | % | 14,9 | 14,9 | 9,9 |
| Velocità di prova | mm/min | 0,2000 | | |

PARAMETRI DI RESISTENZA DI PICCOANGOLO DI RESISTENZA AL
TAGLIO**28,74 °**

COESIONE

18,8 kPa

Data : 21/06/2023

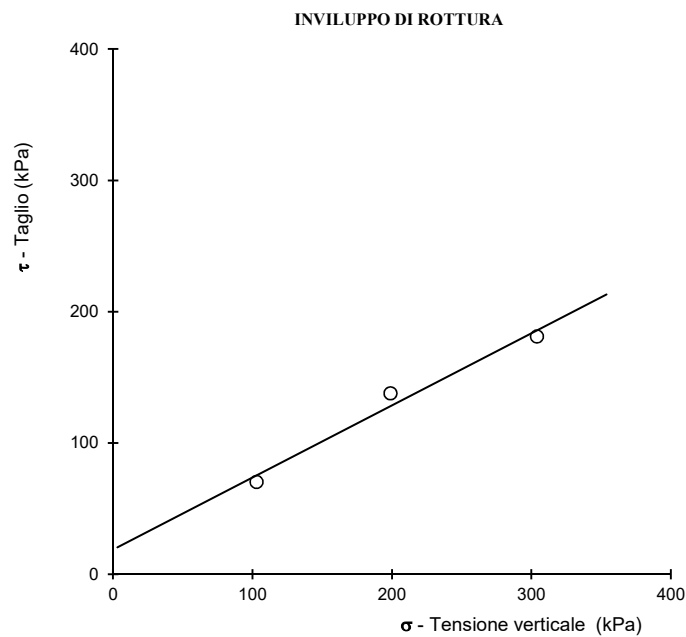
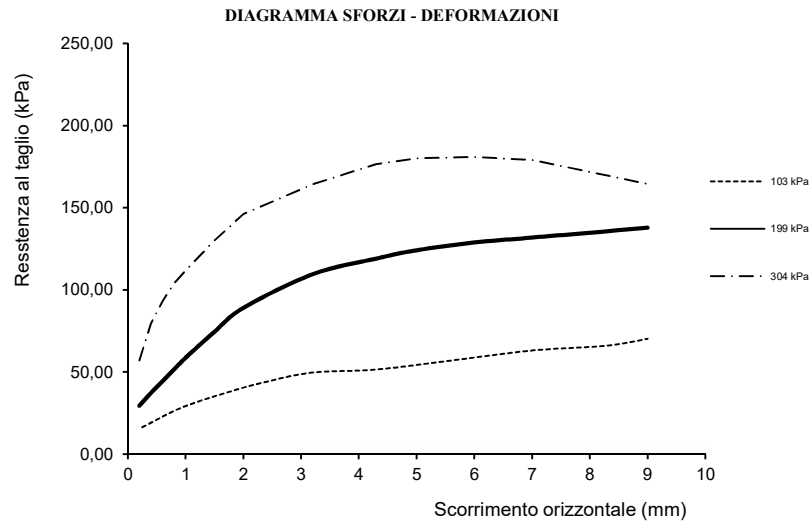
Pag. : 1/2

Rif. Lab. : 14401 /23

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

ASTM D 3080 - 98

(Direct Shear Test Under Consolidated Drained Conditions)



Data : 21/06/2023

Pag. : 2/2

soiltech s.n.c.
Laboratorio prove geotecniche
Il Responsabile della Sperimentazione
Dott. Geol. Paolo Caula

DOCUMENTO DI PROVA

Rif. Lab. : 14402 /23

Committente: **Opere Geotecniche snc**

Data consegna campione: 06/06/23

Provenienza campione : Interventi di difesa da rischio idrogeologico nel Comune di Tertenia

Sigla campione: **S3**

Provenienza: Loc. "Funtana'e Sì"

Profondità (m dal p.c.): **4,00 - 4,30****PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

(Direct Shear Test Under Consolidated Drained Conditions)

ASTM D 3080 - 98 / UNI CEN ISO/TS 17892-10

Descrizione visiva del campione : Sabbia a ghiaia fine, limosa, asciutta

Caratteristiche della prova : **Consolidata drenata** su provini ricostruiti

Immersione in acqua del provino durante la consolidazione e la fase di taglio :

**Caratteristiche del provino**

| Provino n° | 1 | 2 | 3 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Contenuto d'acqua iniziale | % | | |
| | 1,8 | | |
| Peso di volume umido iniziale | g/cmc | 1,853 | 1,859 |
| | | 1,827 | |

DATI DELLA CURVA DI CONSOLIDAZIONE

| Provino n° | 1 | 2 | 3 |
|---|--------|--------|---|
| Tempo al 100% della consolidazione primaria | min | 8,4 | |
| Tempo minimo di durata della prova | min | 106,8 | |
| Velocità massima di esecuzione calcolata | mm/min | 0,0562 | |

TAGLIO

| | | | | |
|---------------------------------------|--------|--------|-------|-------|
| Tensione verticale applicata | kPa | 103 | 199 | 304 |
| Resistenza massima al taglio | kPa | 69,0 | 125,3 | 180,0 |
| Deformazione orizzontale alla rottura | % | 12,4 | 14,9 | 10,1 |
| Velocità di prova | mm/min | 0,0500 | | |

PARAMETRI DI RESISTENZA DI PICCO**ANGOLO DI RESISTENZA AL
TAGLIO****28,88 °****COESIONE****13,3 kPa**

Data : 21/06/2023

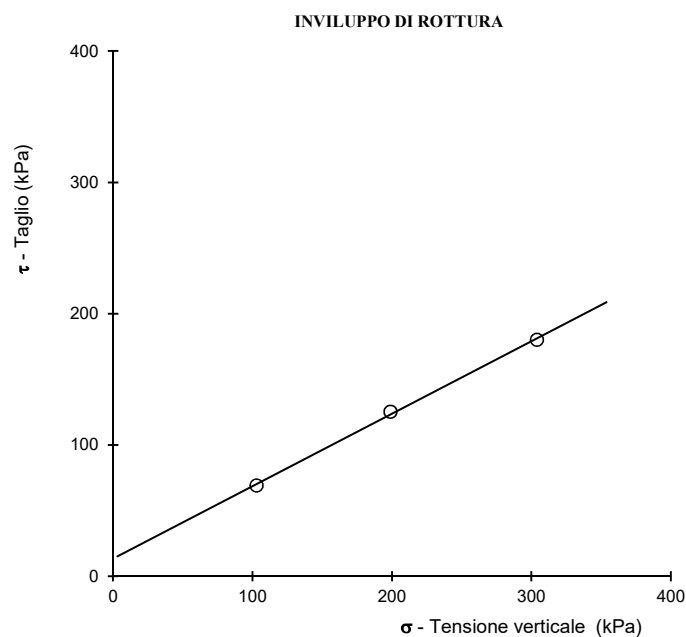
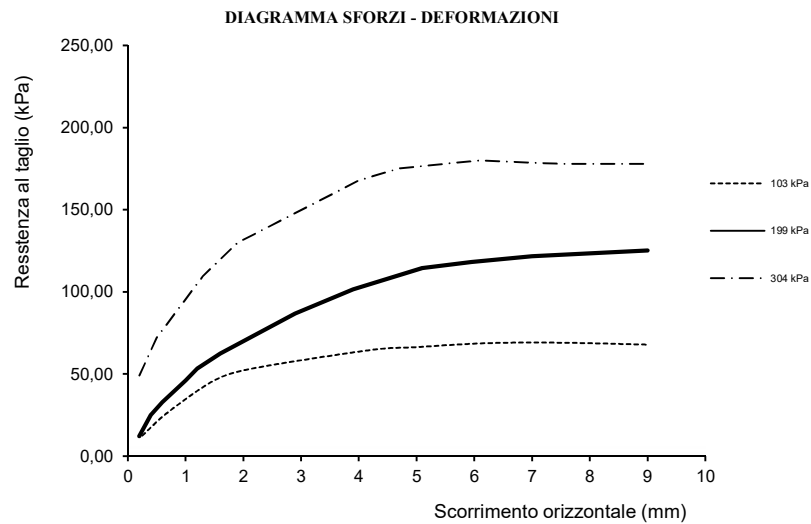
Pag. : 1/2

Rif. Lab. : 14402 /23

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

ASTM D 3080 - 98

(Direct Shear Test Under Consolidated Drained Conditions)



Data : 21/06/2023

Pag. : 2/2

soiltech s.n.c.
Laboratorio prove geotecniche
Il Responsabile della Sperimentazione
Dott. Geol. Paolo Caula