



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

STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA E  
GEOTECNICA

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](mailto:studiorosso@legalmail.it)  
[info@sria.it](mailto:info@sria.it)  
[www.sria.it](http://www.sria.it)

CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE	REVISIONE
DATA	SET/2023	OTT/2023
COD. LAVORO	502/SR	502/SR
TIPOL. LAVORO	P	P
SETTORE	G	G
N. ATTIVITA'	02	02
TIPOL. ELAB.	RS	RS
TIPOL. DOC.	T	T
ID ELABORATO	05	05
VERSIONE	0	1

REDATTO

geol. Francesca DEMURTAS

CONTROLLATO

ing. Mirko TONDI

APPROVATO

ing. Luca DEMURTAS

ELABORATO

P.2.5



## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. QUADRO NORMATIVO .....</b>	<b>4</b>
2.1 CRITERI DI RIFERIMENTO PER LA COMPATIBILITÀ GEOLOGICA - GEOTECNICA.....	5
2.2 INQUADRAMENTO NEL PIANO STRALCIO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO REGIONALE.....	5
<b>3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E NORMATIVO .....</b>	<b>8</b>
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	8
<b>4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....</b>	<b>9</b>
4.1 CARATTERI GEOLOGICI GENERALI .....	9
4.2 ASSETTO GEOLOGICO – STRUTTURALE .....	10
4.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA IN STUDIO .....	10
4.4 SITUAZIONE LITOSTRATIGRAFICA LOCALE .....	11
4.4.1 Criticità morfologiche relative al dissesto del versante.....	11
4.5 SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA .....	14
<b>5. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE .....</b>	<b>15</b>
5.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI E PROVE SPT.....	17
5.2 POZZETTI STRATIGRAFICI .....	18
5.2.1 Caratteristiche stratigrafiche .....	18
5.3 INDAGINI SISMICHE.....	18
5.3.1 Indagine sismica a rifrazione.....	18
5.3.2 Indagine MASW.....	22
5.4 ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO .....	22
<b>6. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>23</b>
6.1 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO .....	24
<b>7. DESCRIZIONE SINTETICA DEGLI INTERVENTI .....</b>	<b>24</b>
<b>8. MURO DI CONTENIMENTO IN C.A. SU MICROPALI.....</b>	<b>26</b>
8.1.1 Verifica di stabilità globale.....	27
8.1.2 Stratigrafia prevista nel modello di progetto .....	28
8.1.3 Risultati del calcolo.....	29
<b>9. DIMENSIONAMENTO DELLE BARRIERE FLESSIBILI DEBRIS FLOW.....</b>	<b>31</b>
9.1 COMPONENTI FUNZIONALI .....	32
9.1.1 Dissipatori di energia.....	32
9.1.2 Struttura d'intercettazione.....	32
9.1.3 Funi e collegamenti morsettati .....	33
9.1.4 Fondazioni delle funi di controvento .....	33
9.2 VERIFICA STRUTTURALE DELLA BARRIERA FLESSIBILE.....	33
9.2.1 Aspetti generali .....	33
9.2.2 Calcolo della spinta sulla barriera .....	34



---

9.2.3	Dimensionamento degli ancoraggi .....	35
9.3	VERIFICHE E CONTROLLI IN CORSO D'OPERA .....	36
9.3.1	Controlli sulle barriere flessibili e manutenzione.....	37
10.	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>38</b>

#### ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – Carta Geologica d'Italia F. 541 Jerzu – estratto non in scala
- ALLEGATO 2 – Relazione sulle indagini geognostiche
- ALLEGATO 3 – Verifica di stabilità globale muro di contenimento su micropali – Funtana Manna
- ALLEGATO 4 – Dimensionamento ancoraggi rete debris Funtana Manna
- ALLEGATO 5 – Dimensionamento rete debris Funtana Manna



## 1. PREMESSA

La presente relazione di compatibilità geologica e geotecnica supporta il 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.

L’indagine ha avuto lo scopo di analizzare gli aspetti geologici, morfologici, stratigrafici e geomeccanici dei terreni interessanti gli interventi di progetto, al fine di determinarne la compatibilità geologica e geotecnica in attuazione all’art. 25 della NTA del PAI regionale.

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. Si riportano inoltre le verifiche geotecniche finalizzate al dimensionamento degli interventi di 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. QUADRO NORMATIVO

Il riferimento normativo principale per il presente elaborato è costituito dal *"Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico del bacino unico della Regione Sardegna"*<sup>1</sup> redatto, adottato e approvato ai sensi delle seguenti leggi:

- L. 18.5.1989, n. 183, "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo",
- dell'articolo 1, commi 1, 4, 5 e 5-bis, del D.L. 11.6.1998, n. 180, *"Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania"*, convertito con modificazioni dalla legge 3.8.1998, n. 267;
- c. dell'articolo 1-bis, commi 1-4, del decreto legge 12.10.2000, n. 279, "Interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato e in materia di protezione civile, nonché a favore di zone colpite da calamità naturali", convertito con modificazioni dalla legge 11.12.2000, n. 365;
- D.P.C.M. 29 settembre 1998, "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180";
- L.R. 22.12.1989, n. 45, "Norme per l'uso e la tutela del territorio regionale", e s.m.i., tra cui quelle della legge regionale 15.2.1996, n.9.

Nelle aree di pericolosità da frana in particolare il PAI ha le finalità di:

- garantire nel territorio della Regione Sardegna adeguati livelli di sicurezza di fronte al verificarsi di eventi idrogeologici e tutelare quindi le attività umane, i beni economici ed il patrimonio ambientale e culturale esposti a potenziali danni;
- inibire attività ed interventi capaci di ostacolare il processo verso un adeguato assetto idrogeologico di tutti i sottobacini oggetto del piano;
- costituire condizioni di base per avviare azioni di riqualificazione degli ambienti fluviali e di riqualificazione naturalistica o strutturale dei versanti in dissesto;
- stabilire disposizioni generali per il controllo della pericolosità idrogeologica diffusa in aree non perimetrate direttamente dal piano;
- impedire l'aumento delle situazioni di pericolo e delle condizioni di rischio idrogeologico esistenti alla data di approvazione del piano;
- evitare la creazione di nuove situazioni di rischio attraverso prescrizioni finalizzate a prevenire effetti negativi di attività antropiche sull'equilibrio idrogeologico dato, rendendo compatibili gli usi attuali o programmati del territorio e delle risorse con le situazioni di pericolosità idraulica e da frana individuate dal piano;
- rendere armonico l'inserimento del PAI nel quadro della legislazione, della programmazione e della pianificazione della Regione Sardegna attraverso opportune previsioni di coordinamento;
- offrire alla pianificazione regionale di protezione civile le informazioni necessarie sulle condizioni di rischio esistenti;

<sup>1</sup> *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.*



- individuare e sviluppare il sistema degli interventi per ridurre o eliminare le situazioni di pericolo e le condizioni di rischio, anche allo scopo di costituire il riferimento per i programmi triennali di attuazione del PAI;
- creare la base informativa indispensabile per le politiche e le iniziative regionali in materia di delocalizzazioni e di verifiche tecniche da condurre sul rischio specifico esistente a carico di infrastrutture, impianti o insediamenti.

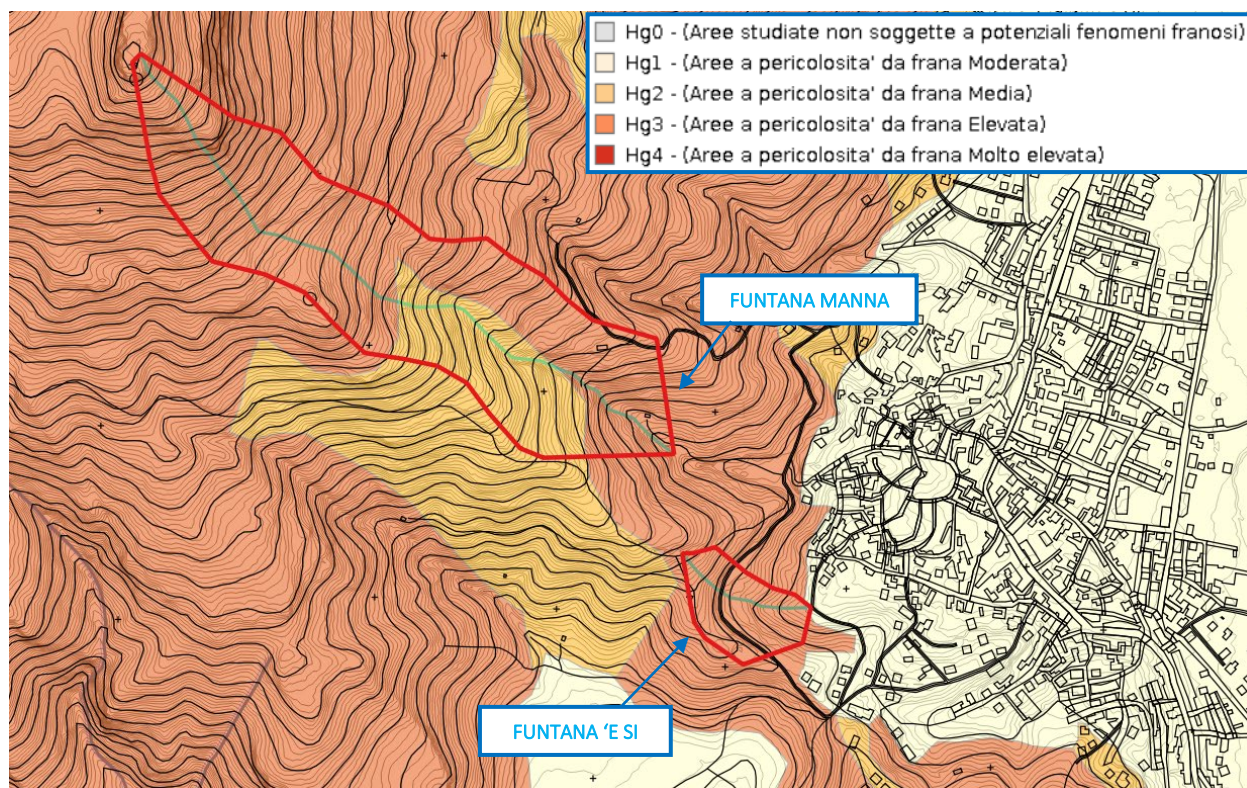
## **2.1 CRITERI DI RIFERIMENTO PER LA COMPATIBILITÀ GEOLOGICA - GEOTECNICA**

L'articolo 25 delle Norme di Attuazione dei PAI prescrive che i progetti proposti per l'approvazione nelle aree di pericolosità da frana molto elevata, elevata e media debbano essere accompagnati da uno studio di compatibilità geologica e geotecnica predisposto secondo i criteri indicati all'Allegato F delle NdA.

Lo studio di compatibilità geologica e geotecnica ha l'obiettivo di valutare il progetto con riferimento alla finalità ed agli effetti ambientali; analizza le relazioni tra le trasformazioni del territorio derivanti dalla realizzazione degli interventi proposti e le condizioni dei dissesti attivi o potenziali dell'area interessata, verifica e dimostra la coerenza del progetto con le previsioni e le norme del PAI, prevede adeguate misure di mitigazione e compensazione all'eventuale incremento del pericolo e del rischio sostenibile associato agli interventi in progetto. La compatibilità geologica e geotecnica degli interventi proposti è verificata in funzione dei dissesti in atto o potenziali che definiscono la pericolosità dell'area interessata in relazione alle destinazioni e alle trasformazioni d'uso del suolo collegate alla realizzazione dell'intervento stesso.

## **2.2 INQUADRAMENTO NEL PIANO STRALCIO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO REGIONALE**

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.

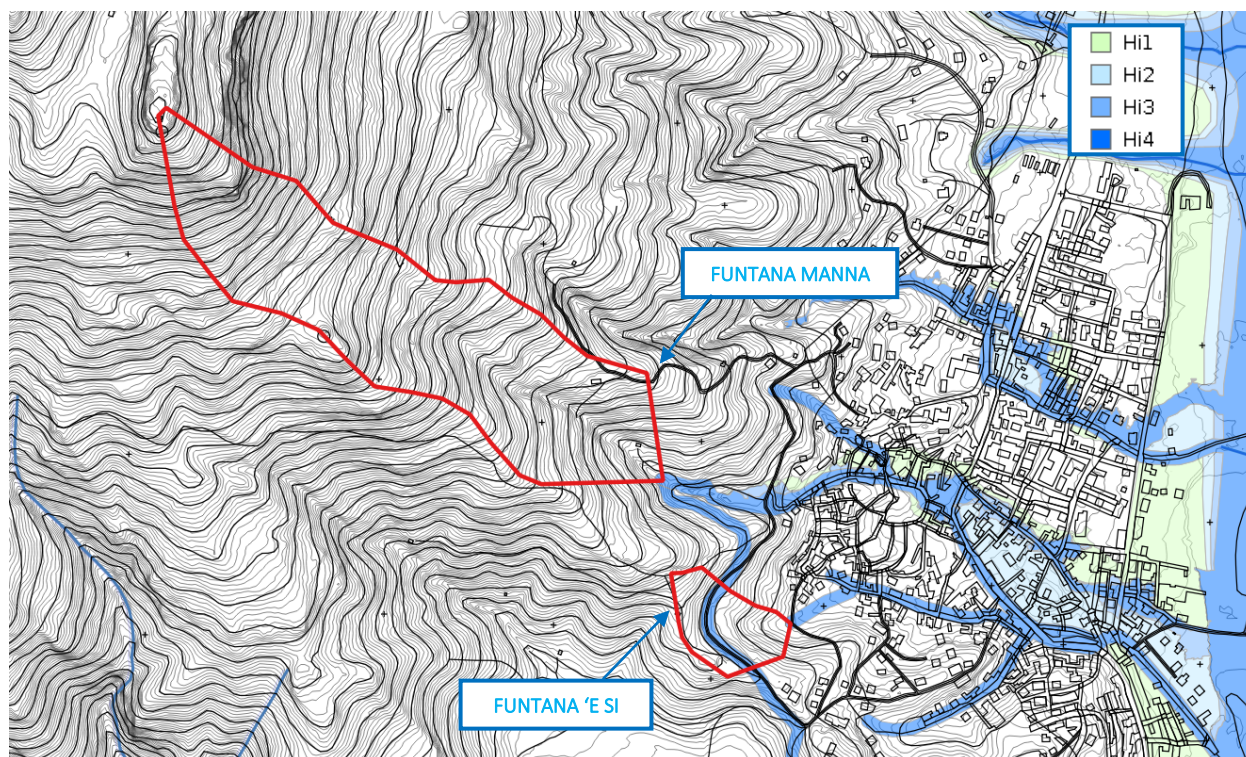


**Figura 1 – Classificazione della Pericolosità da frana delle aree di intervento.**

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 2 – 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.



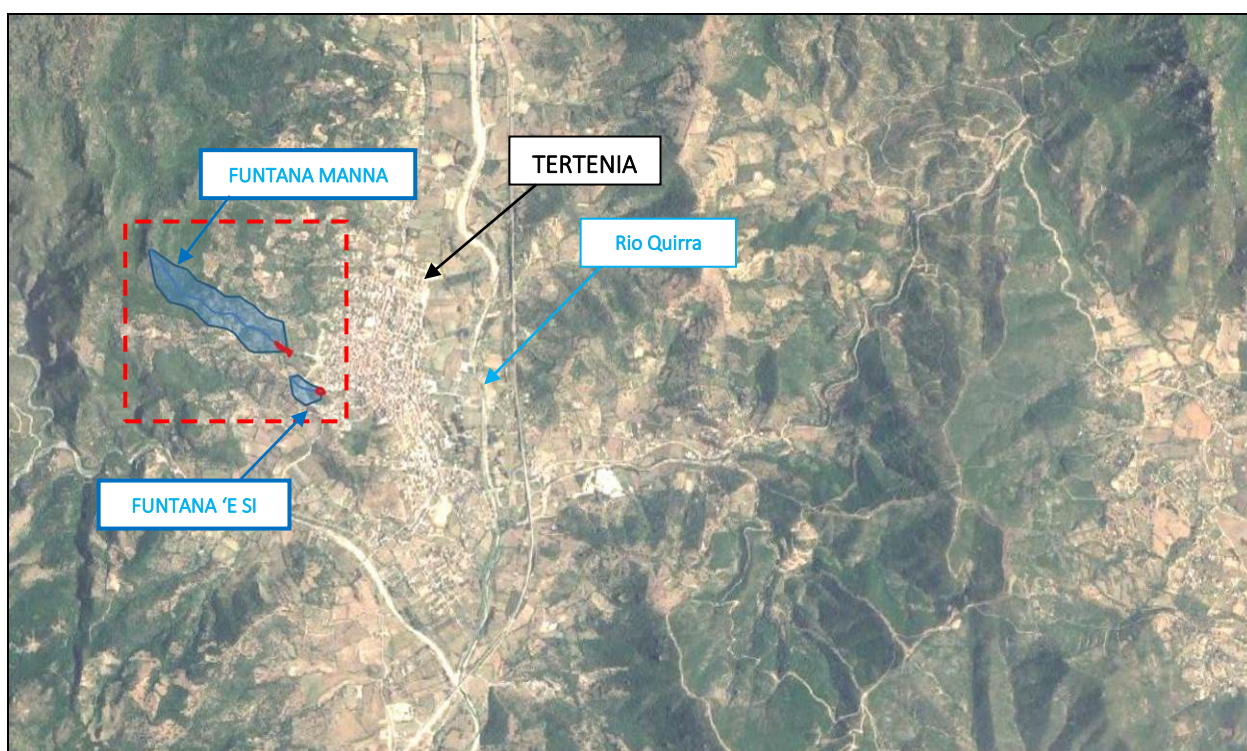
### 3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E NORMATIVO

#### 3.1 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 km<sup>2</sup>, 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 3 – Inquadramento geografico dell'area di intervento lungo il bacino Funtana Manna e Funtana 'e Si.*





## 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

### 4.1 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 da 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.

#### **4.2 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.

#### **4.3 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.

#### **4.4 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.

##### **4.4.1 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 m<sup>3</sup>, materiale potenzialmente mobilizzabile in occasione di eventi pluviometrici intensi.

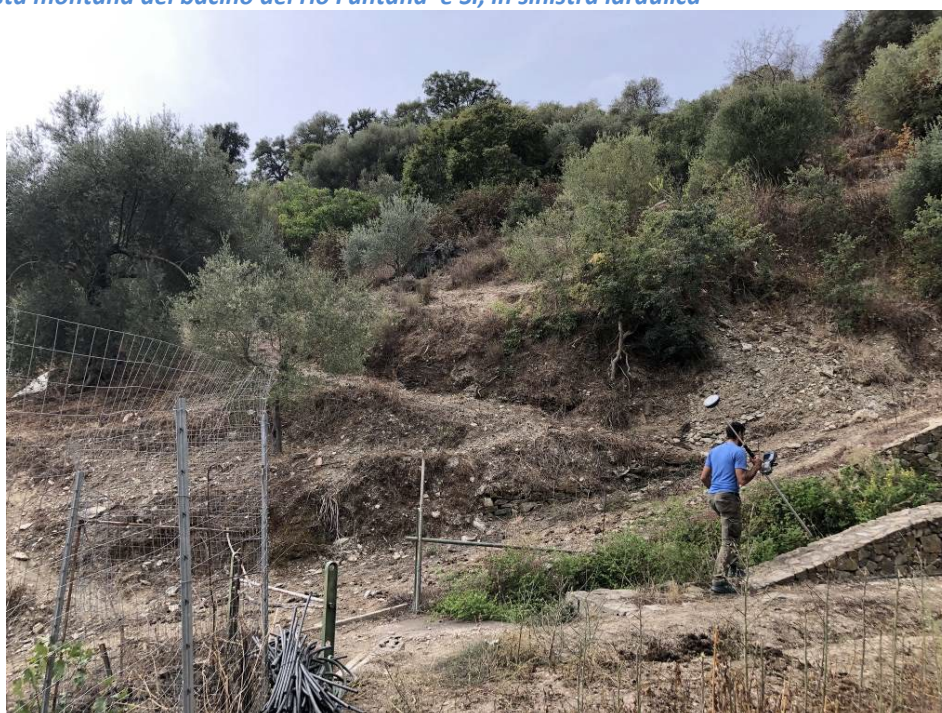


*Figura 4 – Differenti affioramenti del basamento paleozoico scistoso: nell'immagine in destra le facies metarenarie e quarzitiche, a reggipoggio, che presentano un grado di compattezza elevato, affioranti in dx idraulica del Funtana 'e Si; nell'immagine in sinistra le facies di filladi, argilloscisti 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.**

#### **4.5 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.

## **5. 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:

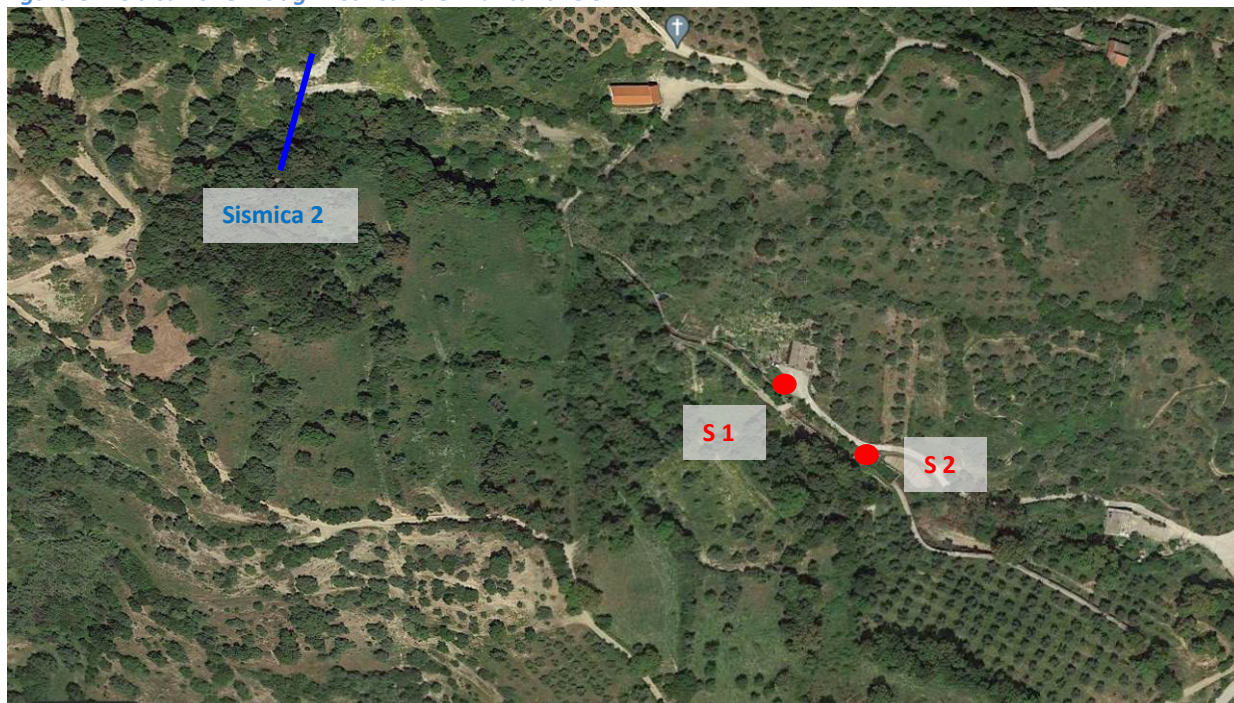
- n. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo
- n. 2 pozzetti di ispezione geognostica
- n. 1 indagine sismica MASW
- n. 2 indagine sismica a rifrazione
- n. 3 prove SPT
- Analisi geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi (Analisi granulometriche, determinazione limiti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



## 5.1 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

## 5.2 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.

### 5.2.1 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.

Durante le indagini geognostiche eseguite sono stati prelevati inoltre dei campioni per la caratterizzazione ambientale dei materiali, i cui risultati saranno riportati nelle successive fasi progettuali. Sono stati prelevati due campioni: uno in corrispondenza del sondaggio S1 sul Canale Funtana Manna, un secondo campione composito tra 0 e 1 m e tra 1 m e 1,60 m di profondità in corrispondenza dei pozzetti sul Canale Funtana 'e Si.

## 5.3 INDAGINI SISMICHE

### 5.3.1 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 $\mu$ 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**

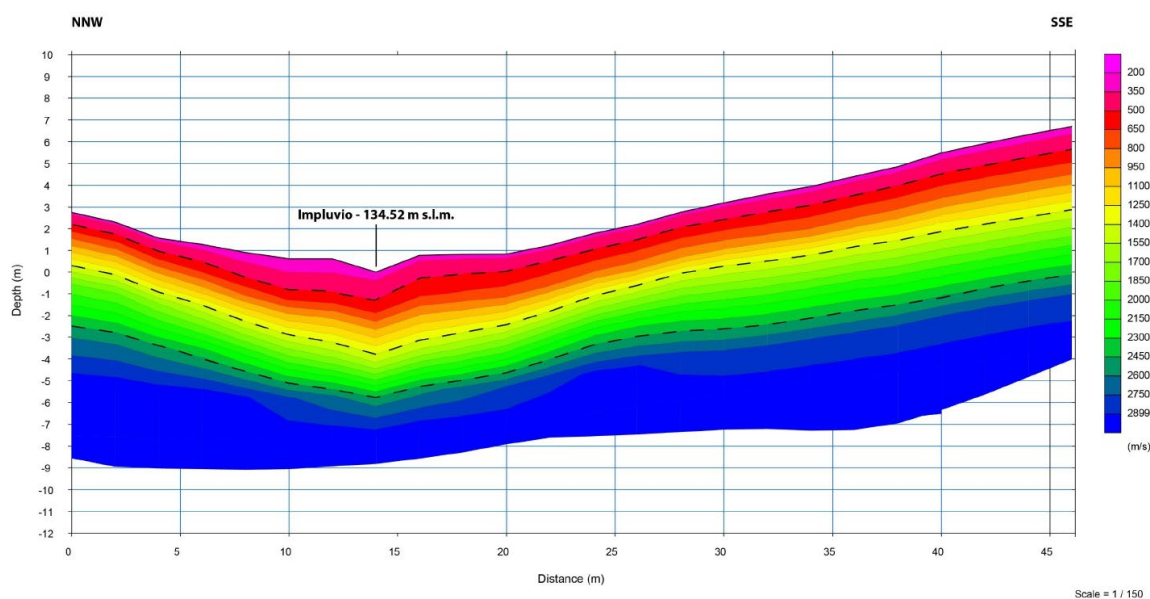
CONFIGURAZIONE STENDIMENTI	
Lunghezza dello stendimento	34,5 m
Distanza intergeofonica ( <i>group interval</i> )	1,5 m
Numero di canali/geofoni	24
Geofoni	verticali da 4,5 Hz
Distanza sorgente-primo geofono ( <i>Offset minimo</i> )	0,75 m
Distanza punti di energizzazione	3,0 m
Sorgente	maglio 8 Kg (forza verticale)
Intervallo di campionamento (dt)	125 $\mu$ 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**



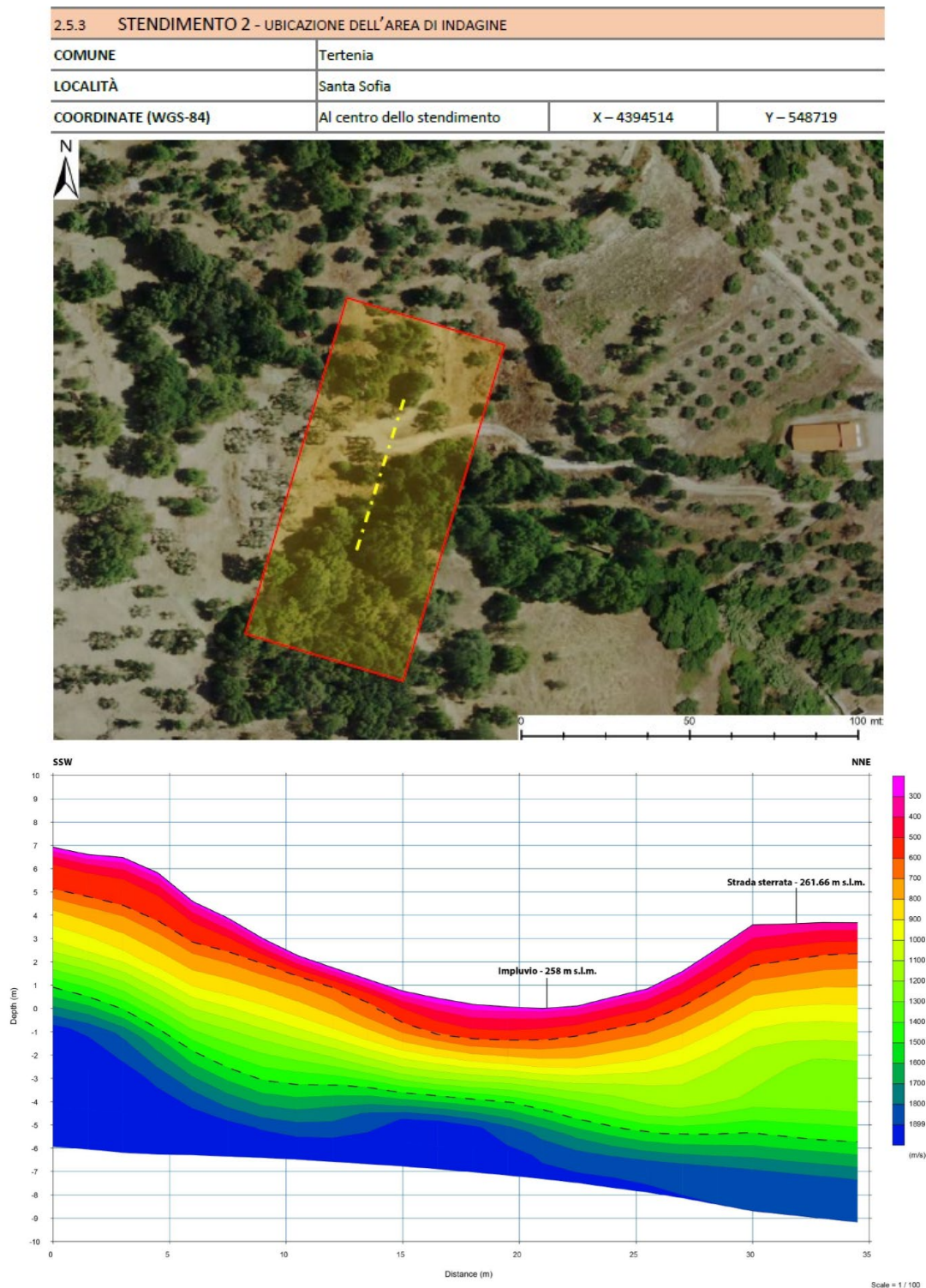
#### 2.5.1 STENDIMENTO 1 - UBICAZIONE DELL'AREA DI INDAGINE

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 progredizione 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.

### 5.3.2 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.

## 5.4 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): <b>A2-4</b> USCS: <b>Sabbia con ghiaia debolmente limosa</b>	5,6	28,19	-
S2	S2C1	0,50 m	Campione disturbato sciolto	CLASSE (UNI 10006): <b>A2-4</b> USCS: <b>Sabbia limosa con ghiaia</b>	18,8	28,74	2,079
S3	S3C1	4,30 m	Campione disturbato sciolto	CLASSE (UNI 10006): <b>A2-4</b> USCS: <b>Sabbia limoso argillosa con ghiaia</b>	13,3	28,88	-

In Allegato 2 sono riportati i certificati di prova.

## 6. 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*.



## 6.1 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

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

## 7. DESCRIZIONE SINTETICA DEGLI INTERVENTI

Vengono di seguito riportati in sintesi gli interventi in progetto relativi alle nuove opere da realizzarsi per la mitigazione del rischio idrogeologico nell'ambito urbano del Comune di Tertenia (NU) relativi ai rii:

### ➤ RIU FUNTANA MANNA

In particolare, gli interventi, da monte verso valle, previsti per la soluzione adottata sono:

- ✓ **Installazione di barriera flessibile di trattenuta di colata** detritica (rete debris-flow) di dimensioni preliminari  $L = 20,0$  m e  $H = 3,5$  m per la realizzazione di un'area di accumulo per un  $V \approx 800$  m<sup>3</sup> finalizzata alla trattenuta del materiale solido in arrivo da monte. Tale area, ubicata nell'area "Intervento di Monte", permetterà la difesa della presa acquedottistica situata più a valle lasciando defluire solo la quota parte di portata liquida e trattenendo il materiale solido in carico alla corrente di piena raccolto nel bacino di monte. L'intervento si conclude con il corazzamento del fondo alveo tramite la realizzazione di una soglia in massi cementati (12 m) lungo la sezione di installazione della rete e la realizzazione di una savanella in massi cementati (circa 10 m) a monte della rete stessa per il convogliamento delle portate.
- ✓ **Interventi di pulizia e manutenzione ordinaria** del canale esistente dall'ubicazione presunta della presa acquedottistica sino all'imbocco del canale diversivo a valle;
- ✓ **Regolarizzazione di versante tramite gradonatura e protezione antiersiva mediante palificate semplici** ("palizzate") in legno e geojuta a tergo su due aree relative al versante destro, per una superficie complessiva di  $\approx 400$  m<sup>2</sup> e sinistro per una superficie di  $\approx 200$  m<sup>2</sup>;
- ✓ **Realizzazione di muro in c.a. su pali** ( $L = 18,0$  m +  $7,0$  m di risvolto con  $H_{FUOTO} = 2,4$  m dallo spiccatto di fondazione e  $H_{fuori\ terra} = 2,0$  m in configurazione di progetto) a protezione dell'abitazione esistente e con la funzione di creare una vasca di accumulo per un volume complessivo di  $\approx 300$  m<sup>3</sup> finalizzato alla trattenuta del materiale solido in arrivo dal canale a seguito di un evento di debris flow o proveniente da fenomeni di soil slip lungo il versante sinistro. Per ottenere la chiusura lato valle della vasca di





accumulo è necessario risvoltare il muro a tergo della sponda sinistra del canale per circa 7,0 m (Figura 19). In tale intervento è prevista inoltre l'installazione di elementi metallici (*pettine*) posti verticalmente all'interno del canale per trattenere parte del materiale solido in arrivo da monte nel canale e permettere lo sfioro in sinistra all'interno della nuova area di accumulo. L'intervento si completa con la demolizione parziale della sponda sinistra per una lunghezza preliminare di  $\approx 4$  m, prevedendo la realizzazione di una gavèta per consentire lo sfioro delle portate di debris all'interno della in vasca, l'accumulo del deposito di materiale solido e la restituzione delle portate liquide in alveo;

- ✓ **Demolizione della vasca in c.a. esistente e realizzazione di nuova vasca di espansione ed accumulo** di parte delle portate solide in occasione di eventi di colate detritiche, al fine di evitare ostruzioni dell'imbocco del canale diversivo; anche per questo intervento si prevede l'installazione di elementi metallici (con giacitura planimetrica inclinata) posti verticalmente all'interno del canale per trattenere parte del materiale solido in arrivo da monte nel canale e permettere lo sfioro in sinistra, all'interno della nuova area di accumulo, delle portate della colata. Si completa l'intervento con la realizzazione di una gavèta per favorire l'immissione in vasca delle portate solide e la restituzione delle portate liquide in alveo.

#### ➤ **RIU FUNTANA 'E SÌ**

- ✓ **Regolarizzazione di versante tramite gradonatura e protezione antiersiva mediante palificate semplici** ("palizzate") in legno di castagno e geojuta a tergo sulle aree di monte del versante in oggetto per una superficie complessiva di  $\approx 700 \text{ m}^2$ ;
- ✓ **Realizzazione di canale in legname e pietrame** a forma trapezia per il collettamento e la regimazione delle acque meteoriche lungo l'incisione del corso d'acqua, funzionale inoltre a ridurre l'erosione di fondo e permettere la stabilizzazione del fondo alveo;
- ✓ **Realizzazione di nuova vasca di accumulo in massi cementati con briglia selettiva** a pettine appena a monte della sezione di imbocco del tratto tombato, al fine di scongiurare ostruzioni lungo tale tratto.

Tali interventi saranno pertanto funzionali alla mitigazione del rischio frana ed idrogeologico nel tratto relativo ai bacini idrografici in esame e nei confronti dell'abitato sito più a valle, poiché sono funzionali a:

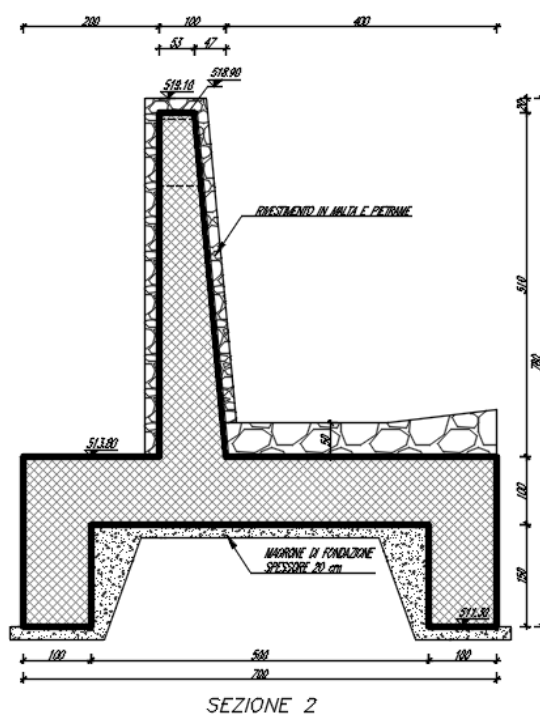
1. Spezzare la pendenza dei versanti evitando la mobilitazione di parte del materiale detritico presente;
2. Trattenere il materiale solido trasportato dalla corrente in piena e in occasione di eventi parossistici di colata di detrito prevedendo la realizzazione di diverse opere (rete debris; vasca di accumulo con briglia selettiva) col fine di scongiurare, in tale maniera, che materiale di questo genere possa andare a ostruire i tratti tombati dei canali in analisi posti più a valle.



## 8. MURO DI CONTENIMENTO IN C.A. SU MICROPALI

Per gli interventi sul rio Funtana Manna è prevista, sul terrazzamento immediatamente a monte dell’abitazione esistente in sinistra idrografica, la realizzazione di un muro di contenimento del potenziale debris flow, incanalato in sinistra attraverso gli interventi proposti in progetto (realizzazione pettine inclinato nel canale e gavete sulla parete sinistra, per deviare il flusso in sinistra e creare ulteriore vasca di accumulo).

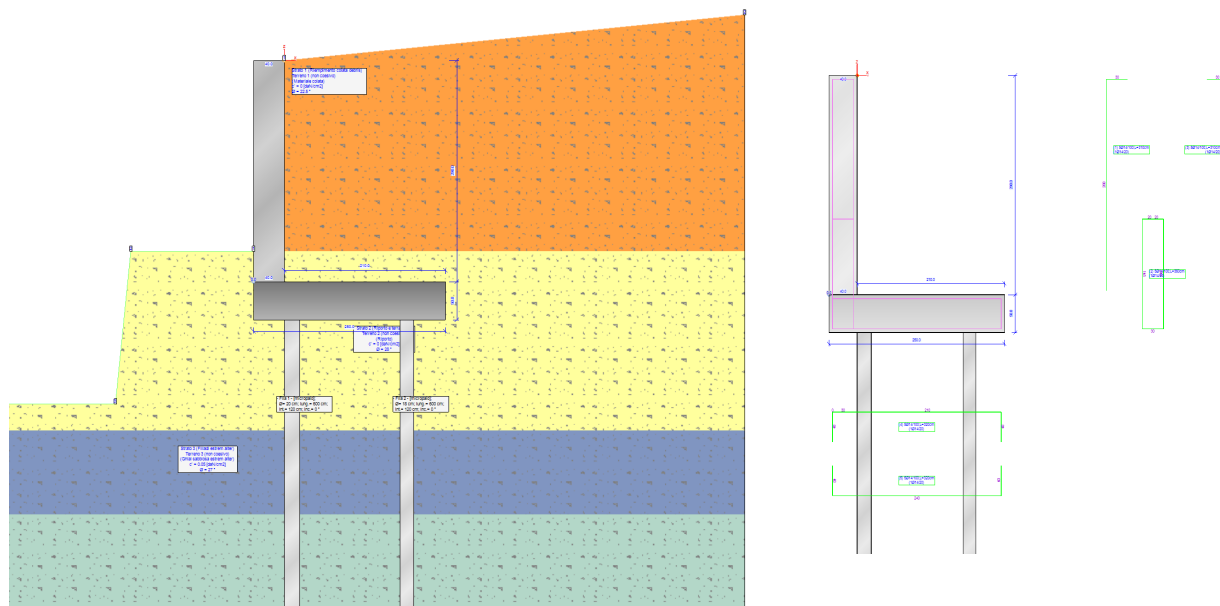
Il modello tridimensionale globale per la verifica preliminare del muro è stato sviluppato, a partire dalla reale configurazione geometrica prevista per il manufatto in progetto.



**Figura 14 – Planimetria, sezione trasversale e prospetto di riferimento per il dimensionamento delle opere**

In questa fase progettuale è stato quindi realizzato un modello *F.E.M.* rappresentativo di “muro contro terra” con relativa platea e micropali di fondazione, che simula la sezione peggiore (H Max 2,90m, di cui 2,00m fuori terra), in condizioni di completo interrimento, con conformazione geometrica (spessori, altezze ecc.) e materia riconducibile a quella reale.

Ciò comporta una rigorosa computazione sia per quanto riguarda i pesi propri degli elementi (automaticamente assegnati dal programma in funzione del materiale scelto e della sezione geometrica assegnata per ciascun elemento modellato) sia per quanto riguarda le effettive rigidezze.



**Figura 15 – Estratti del modello FEM realizzato per la schematizzazione del muro contro terra**

In prima approssimazione, il manufatto si configura come un muro di contenimento a sbalzo di altezza massima pari a 2.40m dallo spiccatto di fondazione (di cui solo 2.00m fuori terra nella configurazione finale di progetto) e spessore pari a 40cm, con platea di base si spessore di 50cm e lunghezza trasversale (in sezione) pari a 2.50m.

La larghezza totale (in pianta) del manufatto è pari a circa 24.00 m con geometria ad L (lato lungo 18m circa), ed è posizionato in sinistra del canale in C.A. del rio Funtana Manna, subito a monte di una abitazione esistente.

Per quanto riguarda le verifiche strutturali dell'opera si rimanda interamente all'Elaborato P.1.2\_Relazione tecnica; di seguito vengono esposte le verifiche geotecniche di sicurezza del sistema opera – terreno, così come richiesto dalle NTC 2018.

### 8.1.1 Verifica di stabilità globale

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno – terreno è stata effettuata, analogamente a quanto previsto dalle norme NTC 2018 secondo l'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici.

#### - Approccio 2

Coeff. sulle azioni	Coeff. proprietà terreno	Coeff. resistenze
- permanenti/favorevole = 1		- Capacità portante = 1.4
- permanenti/sfavorevole = 1.3	- Coesione = 1	- Scorrimento = 1.1
- permanenti non strutturali/favorevole = 0.8	- Angolo di attrito = 1	- Resistenza terreno a valle = 1.4
- permanenti non strutturali/sfavorevole = 1.5	- Resistenza al taglio non drenata = 1	- Ribaltamento = 1.15
- variabili/favorevole = 0		- Capacità portante (sisma) = 1.2
- variabili/sfavorevole = 1.5		- Scorrimento (sisma) = 1
		- Resistenza terreno a valle (sisma) = 1.2
		- Ribaltamento (sisma) = 1



- combinazione 2 per stabilità globale -

Combinazione 2		
Coeff. sulle azioni	Coeff. proprietà terreno	Coeff. resistenze
- permanenti/favorevole = 1 - permanenti/sfavorevole = 1 - permanenti non strutturali/favorevole = 0.8 - permanenti non strutturali/sfavorevole = 1.3 - variabili/favorevole = 0 - variabili/sfavorevole = 1.3	- Coesione = 1.25 - Angolo di attrito = 1.25 - Resistenza al taglio non drenata = 1.4	- Stabilità globale = 1.1 - Stabilità globale (sisma) = 1.2

Le ipotesi di calcolo alla base di questo modello risultano estremamente cautelative, poiché schematizzano l'ipotesi che la vasca di accumulo a monte del muro sia completamente interrita ed anche in concomitanza di sisma.

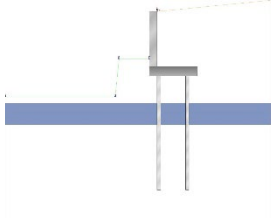
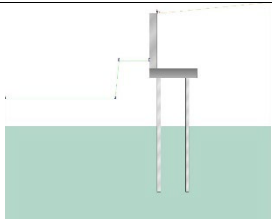
Tale ipotesi, apparente molto cautelativa, si fonda sull'ipotesi che il materiale possa non essere immediatamente rimosso nella vasca a seguito di una colata, e quindi risulta lecito immaginare che il sisma possa essere "concomitante" alla presenza di materiale derivante da altro evento parossistico, non già per la remota ipotesi di accadimento contemporaneo ma proprio per la possibile latenza del materiale a tergo dell'opera per un tempo difficilmente stimabile.

Il modello, inoltre, non tiene in conto dell'ulteriore effetto fortemente stabilizzante derivante dall'ammorsamento laterale in sinistra nel versante esistente ne a destra della conformazione ad L del muro.

### 8.1.2 Stratigrafia prevista nel modello di progetto

strato e terreno	dati inseriti	disegno strato	coord. (x;z)
- STRATO 1 - Strato 1 (Riempimento colata debris) Terreno 1 (non coesivo) (Materiale colata) $c' = 0$ [daN/cm <sup>2</sup> ] $g = 18$ [kN/m <sup>3</sup> ] $j = 22.5^\circ$	$h = 0$ $i = 0^\circ$		1 (600;-250)[cm] 2 (600;60)[cm] 3 (0;0)[cm] 4 (0;-250)[cm]
- STRATO 2 - Riporto e terrapieno Terreno 2 (non coesivo) (Riporto) $c' = 0$ [daN/cm <sup>2</sup> ] $g = 18.6$ [kN/m <sup>3</sup> ] $j = 28^\circ$	$h = -250$ $i = 0^\circ$		1 (600;-485)[cm] 2 (600;-250)[cm] 3 (0;-250)[cm] 4 (0;-290)[cm] 5 (210;-290)[cm] 6 (210;-340)[cm] 7 (-40;-340)[cm] 8 (-40;-290)[cm] 9 (-40;-250)[cm] 10 (-200;-250)[cm] 11 (-220;-450)[cm] 12 (-800;-450)[cm] 13 (-800;-485)[cm] 14 (0;-485)[cm]



- STRATO 3 - (Filladi estrem alter) Terreno 3 (non coesivo) (Ghiai sabbiosa estrem alter) $c' = 0.05$ [daN/cm <sup>2</sup> ] $g = 18$ [kN/m <sup>3</sup> ] $j = 27^\circ$	$h = -485$ $i = 0^\circ$		1 (600;-595)[cm] 2 (600;-485)[cm] 3 (0;-485)[cm] 4 (-800;-485)[cm] 5 (-800;-595)[cm] 6 (0;-595)[cm]
- STRATO 4 - (Filladi estrem alter e fratt) Terreno 4 (non coesivo) (Ghiai sabbiosa estrem alter fratt) $c' = 0.03$ [daN/cm <sup>2</sup> ] $g = 18$ [kN/m <sup>3</sup> ] $j = 25^\circ$	$h = -595$ $i = 0^\circ$		1 (600;-1140)[cm] 2 (600;-595)[cm] 3 (0;-595)[cm] 4 (-800;-595)[cm] 5 (-800;-1140)[cm]

### 8.1.3 Risultati del calcolo

La verifica di stabilità globale viene eseguita secondo la teoria degli SLU con i metodi di Fellenius e Bishop semplificato, utilizzando il coefficiente di sicurezza minore.

Il calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti dell'opera viene svolto con il metodo degli elementi finiti (FEM). Gli elementi schematizzanti il muro hanno peso e caratteristiche meccaniche proprie dei materiali di cui è costituito. Il terreno spingente (a monte) è rappresentato per mezzo di azioni distribuite applicate sugli elementi. Il terreno di fondazione è rappresentato per mezzo di elementi finiti non-lineari (con parzializzazione), con opportuno coefficiente di reazione alla Winkler in compressione.

- lunghezze aste elevazione = 20 [cm]
- lunghezze aste fondazione = 10 [cm]
- coefficiente di reazione del terreno (Winkler) = 5 [daN/cm<sup>3</sup>]

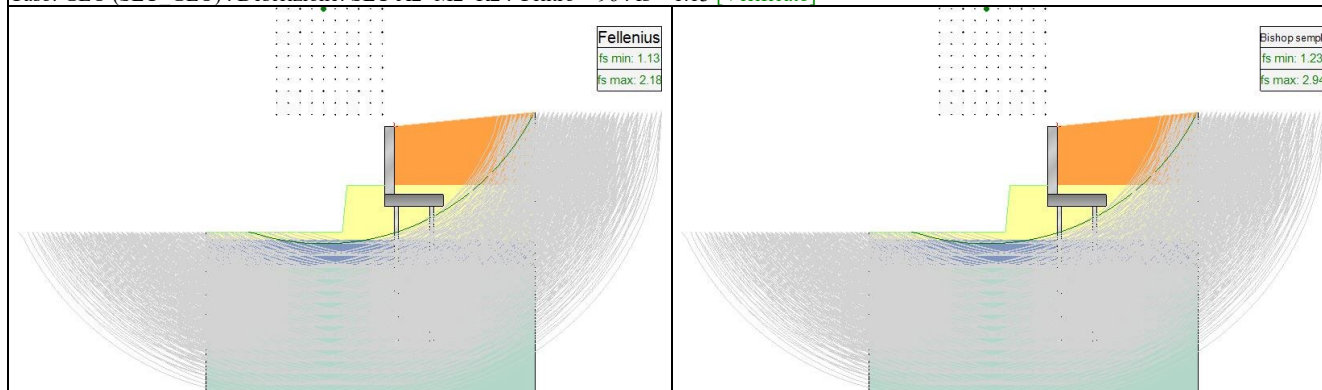
Il modello di calcolo è stato effettuato attraverso il software IS Muri di CDM Dolmen, che ha determinato dei valori dei Fattori di sicurezza superiori a 1.1, verificando la condizione

$$Ed \leq Rd \quad \text{verificata}$$

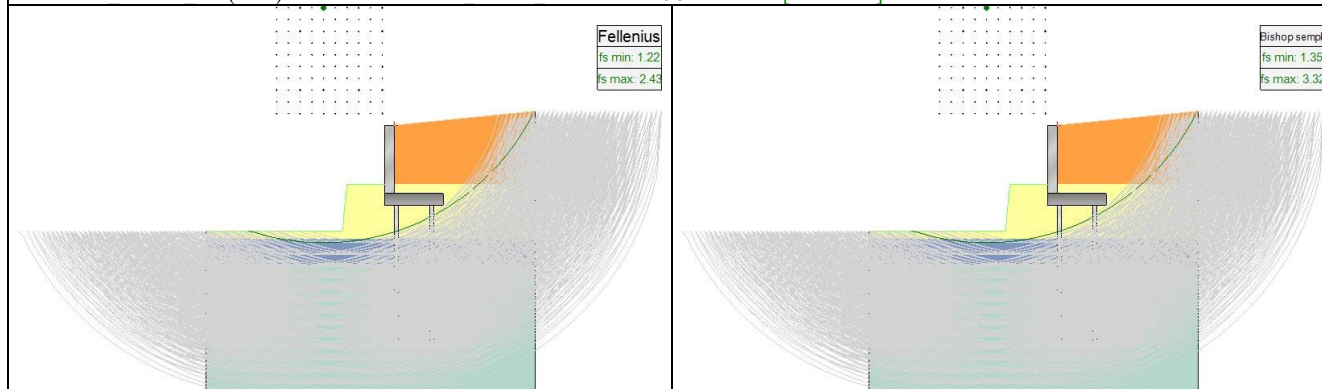
di seguito si riportano le superfici di rottura calcolate con i vari metodi di calcolo, a seguire, la tabella riassuntiva delle verifiche effettuate con e senza sisma per il manufatto in progetto:



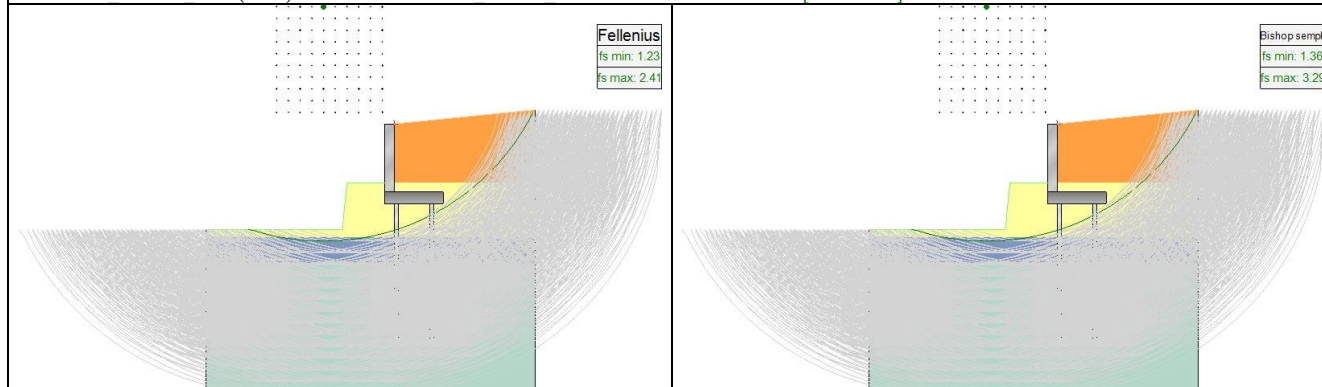
Caso: GEO (SLU GEO) . Descrizione: SLU A2+M2+R2 . Centro = 96 . fs = 1.13 [Verificato]



Caso: SLV SISMA SU (SLV) . Descrizione: Sisma 1+1+R Su . Centro = 96 . fs = 1.22 [Verificato]



Caso: SLV SISMA GIU (SLV) . Descrizione: Sisma 1+1+R Giu . Centro = 96 . fs = 1.23 [Verificato]



Dettaglio della verifica di stabilità globale.

Per la lettura delle verifiche effettuate in questa fase si rimanda invece al seguente *ALLEGATO 1 – Verifica preliminare muro di contenimento su micropali – Funtana Manna* –





## 9. DIMENSIONAMENTO DELLE BARRIERE FLESSIBILI DEBRIS FLOW

Il progetto in esame prevede la realizzazione di n. 1 barriera flessibile di contenimento di fenomeni di colate di detrito da installarsi lungo il rio Funtana Manna di altezza pari a 3.5 m e larghezza di 20 m avente una resistenza alla pressione dinamica non inferiore a 100 kN/m<sup>2</sup>;

In linea generale, la barriera metallica flessibile è costituita da un insieme di reti metalliche dispiegate sui versanti, sostenute da elementi rigidi denominati montanti, vincolati o ad appoggiati al terreno, e da elementi flessibili (tipicamente funi), che sono vincolati al terreno mediante opere di fondazione.

La progettazione delle barriere metalliche flessibili richiede che queste vengano posizionate sulle pareti in modo tale da intercettare le colate od i massi in movimento ed arrestarli, creando un bacino di deposito a monte. L'arresto nel caso specifico della colata comporta che la barriera possa deformarsi in modo da dissipare, con un adeguato margine di sicurezza, l'energia cinetica della massa impattante.

La barriera sarà composta indicativamente dai seguenti componenti:

- struttura di intercettazione principale in rete d'acciaio: ha la funzione di sostenere direttamente l'urto diretto della colata e di trasmettere le conseguenti sollecitazioni alle strutture di supporto e di fondazione; essa è costituita da una o più reti metalliche sovrapposte, in cui la rete principale è formata da cavi o fili metallici di differente tipologia connessi in vari modi: per esempio rete in maglia di fune connesse da borchie o rete ad anelli reciprocamente interconnessi;
- montanti di sostegno in acciaio;
- dissipatori di energia in tubo d'acciaio manicottato o altri sistemi equivalenti;
- funi di supporto e controventatura in acciaio zincato ad anima metallica, quattro per lato, per un totale di otto ancoraggi.



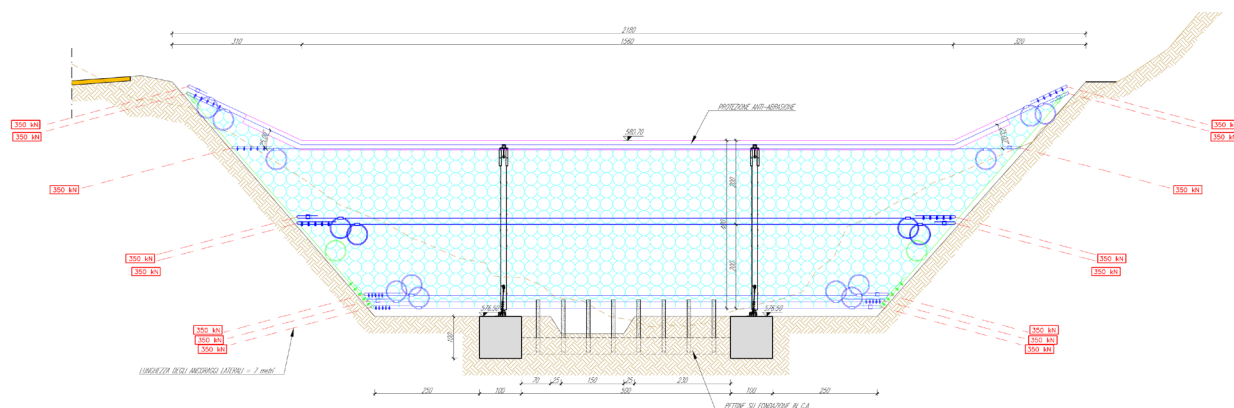
**Figura 16 – Esempio di barriera debris flow in fase di realizzazione ed esempio di barriera interessata da evento.**





## 9.1 COMPONENTI FUNZIONALI

Il presente paragrafo descrive i principali componenti funzionali di una barriera flessibile in rete metallica, secondo lo schema rappresentato nella figura seguente.



**Figura 17 – Vista frontale e particolari della barriera flessibile. Sezione tipologica**

### 9.1.1 Dissipatori di energia

Con il termine “*dissipatori di energia*” o “*freni*” si intendono elementi tecnologici installati sulle funi progettati per deformarsi in modo controllato sotto l’azione di una forza. Questi elementi consentono, pertanto, sia di dissipare parte dell’energia posseduta dalla colata impattante, sia di favorire la deformazione della barriera. Le tipologie di dissipatori maggiormente utilizzate nella pratica sono quelle in cui si ha la deformazione plastica del materiale costituente e quelle in cui si ha reciproco scorrimento tra gli elementi costituenti. Usualmente quest’ultima tipologia è ottenuta facendo in modo che un sistema di funi sia costretto a scorrere tra piastre metalliche serrate con bulloni o morsetti. In linea generale il comportamento di un dissipatore di energia è descritto dal diagramma spostamento-forza applicata, dall’energia che il dissipatore può assorbire durante lo spostamento, rappresentata dall’area sottesa alla curva spostamento-forza applicata e dal massimo allungamento consentito.

### 9.1.2 Struttura d’intercettazione

La superficie di intercettazione è costituita da una rete metallica ad anelli, che ha la funzione di sostenere la forza trasmessa dalla colata alla rete durante l’impatto. I pannelli di rete saranno incatenati tra loro in almeno 6 punti e connessi mediante l’ausilio di grilli. Essi avranno diametro non maggiore di 350 mm e saranno collegati tra loro con una o più funi metalliche intermedie e con funi di rinforzo superiori ed inferiori, dimensionate in modo da trasmettere correttamente le forze applicate, senza costituire un elemento di irrigidimento o di debolezza. La maglia della fune sarà non superiore a  $400\text{ cm}^2$ , ed il diametro sarà non inferiore a 11 mm.

Le reti ad anelli hanno un comportamento che è regolato dallo scorrimento reciproco degli anelli tra di loro, nonché dalla deformabilità e dalla resistenza degli anelli stessi: tali caratteristiche sono legate alla tipologia di assemblaggio dell’anello e al diametro del filo elementare che lo costituisce.



### 9.1.3 Funi e collegamenti morsettati

Le funi che costituiscono la struttura di connessione sono essenzialmente funi spiroidali ad anima metallica con fili protetti contro la corrosione mediante zincatura (UNI EN 10244-2).

La scelta della tipologia di protezione deve essere adeguata alle condizioni ambientali: è infatti molto importante per garantire la durabilità dell'opera nel tempo.

I collegamenti tra le funi sono usualmente realizzati mediante morsetti: la connessione deve garantire una resistenza ultima superiore al carico limite a rottura della fune.

### 9.1.4 Fondazioni delle funi di controvento

Le fondazioni della barriera sono le strutture che trasmettono al terreno le forze, che si ripartiscono sulla struttura di connessione durante l'impatto. Le fondazioni devono essere dimensionate sulla base delle forze di trazione da supportare e delle caratteristiche geotecniche delle formazioni geologiche sulla quali devono operare, sia in termini di diametro di perforazione che di lunghezza del tratto cementato.

## 9.2 VERIFICA STRUTTURALE DELLA BARRIERA FLESSIBILE

### 9.2.1 Aspetti generali

Per il dimensionamento delle lunghezze di ancoraggio dei sistemi proposti si fa riferimento generalmente a tre verifiche, in particolare:

- Si verifica la resistenza della fune;
- Si verifica l'interfaccia malta – acciaio;
- Si verifica l'interfaccia malta – terreno.

I dati necessari riguardano le azioni che vengono scaricate sugli ancoraggi e le caratteristiche del terreno. Le azioni trasmesse sugli ancoraggi sono state calcolate all'interno dei paragrafi successivi.

Per quanto riguarda la barriera paramassi si hanno a disposizione le registrazioni delle celle di carico installate in corrispondenza degli ancoraggi durante i test di omologazione in campo prove, quindi in ambiente controllato. Questi valori possono essere considerati come valori di progetto, in quanto sono i valori indotti da un impatto ad energia pari a quella per cui è certificata la barriera.

Per quanto riguarda la barriera debris-flow, si ha una situazione leggermente diversa: si utilizzano dei metodi empirici per il calcolo delle energie coinvolte. Dal punto di vista teorico si ha che per una barriera debris-flow si osservano carichi localizzati minori rispetto a quelli che si hanno in una barriera paramassi e si osserva una fase di rallentamento meno repentina (le velocità d'impatto sono inferiori), mentre si ha un peso maggiore dei carichi dinamici. Nel calcolo della struttura occorre tenere conto del carico limite dell'elemento che potrebbe andare in crisi, in particolare le funi, e stimare l'azione delle forze che agiscono su ciascun ancoraggio.



Note le forze agenti sugli ancoraggi si fanno le verifiche già presentate, osservando che la verifica più severa, e comunque quella che nella totalità delle volte (per terreno come quelli nel caso in esame) risulta essere quella critica, è la verifica sull'interfaccia tra malta e terreno. In particolare si verifica che gli sforzi agenti all'interfaccia considerata non siano maggiori di quelli che possono essere sopportati dall'interfaccia stessa.

L'azione agente è quella di progetto, mentre l'azione resistente è quella data dall'integrale degli sforzi limite sull'interfaccia agente. Per quanto riguarda l'interfaccia malta – terreno, a favore di sicurezza, si considera che la superficie dell'interfaccia sia costituita dal cilindro corrispondente alla perforazione; questa assunzione è a favore di sicurezza, in quanto è lecito aspettarsi che ci sia un minimo di compenetrazione tra malta e terreno sulla superficie laterale del foro, ottenendo così un cilindro più largo.

**Le barriere dovranno essere collaudate e certificate mediante prove sul campo su larga scala.**

L'identificazione delle caratteristiche del sistema assemblato che siano rilevanti per la sua idoneità all'uso mediante:

- Assorbimento d'energia del sistema assemblato;
- Classificazione dei sistemi assemblati;
- Caratteristiche di deformazione dei sistemi assemblati;
- Azioni sulle fondazioni del sistema assemblato.

Inoltre, deve essere valutata ed attestata la conformità e marcatura CE della struttura. La barriera da predisporre per l'intervento in esame deve quindi essere certificata per impatti secondo le indicazioni di crash test contenute nella direttiva e secondo la spinta di progetto.

### 9.2.2 Calcolo della spinta sulla barriera

Nel calcolo della spinta massima che si può avere sulla barriera, si ricorre alla seguente relazione (PWRI 1984):

$$P_D = k \left( \sigma \frac{U^2}{g} \right) \frac{B}{B_d}$$

dove:

- $P_D$  è la forza d'impatto per unità di superficie;
- $\sigma$  è la densità del miscuglio (nel caso in esame cautelativamente 22 kN/m<sup>3</sup>);
- $U$  è la velocità della colata in arrivo,
- $G$  è l'accelerazione di gravità (9,82 m/s<sup>2</sup>);





- $B$  e  $B_d$  sono rispettivamente la larghezza del rio e della barriera; cautelativamente il loro rapporto è stato considerato pari a 1.
- $K$  = coefficiente sperimentale.

Per quello che riguarda la velocità della colata detritica, si fa riferimento allo studio cinematico sul debris flow e il calcolo della forza massima di impatto della colata detritica è quindi :

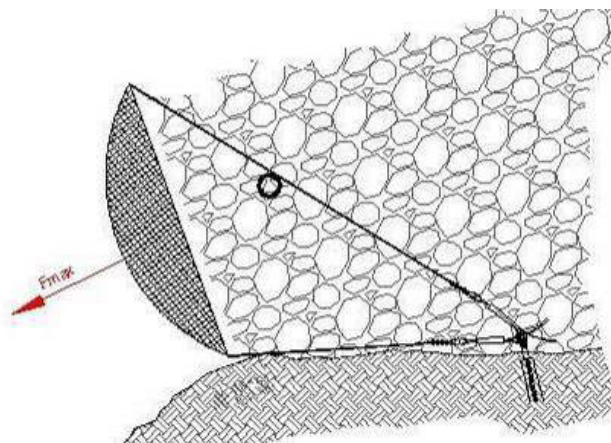
$$F_{max} = P_D A$$

dove  $A$  è la superficie della barriera metallica.

Considerando la pendenza dell'alveo a monte delle barriere previste in progetto, l'ampiezza dell'alveo, la portata di progetto per l'evento di debris flow di TR 200 anni e differenti ipotesi di velocità di impatto e opportuni fattori di sicurezza, sono state definite le seguenti caratteristiche di resistenza alla pressione dinamica:

- Funtana Manna →  $H=3.5$  m. Resistenza alla pressione dinamica:  $100 \text{ kN/m}^2$ ;

Le verifiche di dimensionamento della resistenza alla pressione dinamica della barriera sono state affrontate con apposito software di calcolo, i cui risultati sono riportati in ALLEGATO 2.



**Figura 18 - Forza di spinta nel caso di colata detritica.**

Per calcolare la tensione che sollecita il singolo ancoraggio, si può considerare che ogni lato della rete è fissato su quattro ancoraggi laterali (vedi tavole di progetto). In favore di sicurezza si applica al singolo ancoraggio un carico, quindi, pari a poco più di un sesto di quello massimo.

### 9.2.3 Dimensionamento degli ancoraggi

Gli ancoraggi più utilizzati sono sia in roccia che in terreno, fissati con malta di cemento. In questo tipo di ancoraggi la zona attiva può variare da un minimo di 1,00 m ad oltre 10,0 m, con carichi specifici sul terreno



estremamente limitati che li rendono utilizzabili anche su terreni sciolti. Utilizzando il carico di progetto P per il dimensionamento degli ancoraggi, è sufficiente determinare la lunghezza L della zona attiva.

Nel caso in esame si prevedono preliminarmente i seguenti ancoraggi per la tipologia di barriera prevista:

Barriera	Descrizione	Tipologia	Lunghezza [m]
H=3.5 m Res=100 kN/m <sup>2</sup>	Ancoraggio laterale	GA – 7016 / 400	7,00
	Ancoraggio monte		7,00
	Fondazione montanti	GEWI d=32 mm	4,00

Per le verifiche di dimensionamento degli ancoraggi si rimanda all'ALLEGATO 2.

### 9.3 VERIFICHE E CONTROLLI IN CORSO D'OPERA

Le verifiche in corso d'opera rivestono, nel caso delle barriere flessibili a rete, un carattere di assoluta importanza, in quanto il Direttore dei Lavori deve accertarsi che la barriera scelta risponda in modo corretto alle condizioni progettuali.

In particolare occorre verificare che:

- la barriera sia stata sottoposta a prove in vera grandezza che rispettino la normativa vigente (ETA);
- l'altezza di montaggio sia tale da rispettare le condizioni di intercettazione previste;
- la geometria di montaggio in sito sia stata verificata strutturalmente mediante un calcolo strutturale se questa è molto differente dalla geometria della barriera durante la prova;
- il dimensionamento delle fondazioni della barriera tenga conto delle risultanze dei calcoli strutturali, delle prove di certificazione sulle barriere, delle indagini geotecniche sui materiali di fondazione e delle prove di trazione in sito sulle fondazioni;
- il montaggio della barriera abbia rispecchiato esattamente il manuale di montaggio del produttore;
- i materiali e le tipologie dei componenti strutturali siano quelli previsti del produttore;
- il numero e le caratteristiche dei morsetti siano conformi con quanto previsto dal produttore e che questi siano stati adeguatamente serrati.



### 9.3.1 Controlli sulle barriere flessibili e manutenzione

L'opera di protezione è inevitabilmente sottoposta ad eventi come piene, trasporto solido o colate di detrito di magnitudo variabile, avverse condizioni atmosferiche, crollo di alberi, azione delle vegetazione ed incendi, che ne possono pregiudicare il comportamento nel tempo.

Per fronteggiare queste situazioni, che hanno come conseguenza il degrado strutturale dell'opera e che possono rendere inefficace il sistema di protezione, il progettista deve indicare la frequenza di controlli periodici che il committente dovrà eseguire nonché le tipologie di verifica per accertare l'efficacia della barriera e gli eventuali e necessari interventi di manutenzione.

Saranno previsti interventi manutentivi periodici, finalizzati alla rimozione di eventuale materiale depositosi a monte della barriera, in particolare a seguito di eventi pluviometrici di particolare intensità o evidenza di accumulo di sedimenti a monte della stessa. Il piano di monitoraggio deve prevedere controlli regolari e periodici, concentrati a seguito di abbondanti piogge e distacco ed accumulo di materiale.





## 10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione è stata redatta a supporto della progettazione di Fattibilità Tecnica ed Economica dei lavori *"Interventi di difesa da rischio idrogeologico nel Comune di Tertenia"*.

Gli interventi di progetto sono previsti al fine di ampliare e migliorare le condizioni strutturali e di sicurezza attuali dei bacini montani di due corsi d'acqua che attraversano il centro abitato, e comprendono essenzialmente opere atte a mitigare e mettere in sicurezza i versanti prospicienti i canali, ai fini di contenere gli effetti legati alle dinamiche e di dissesto morfologiche e idrauliche potenziali sul versante.

La presente compatibilità geologica e geotecnica è stata redatta in quanto gli interventi ricadono in aree a pericolosità da frana mappate dal PAI: i bacini dei canali in questione, il Funtana Manna più a nord e il Funtana 'e Sù più a meridione ricadono infatti in prevalenza in aree a Pericolosità elevata da frana (Hg3), dovuta essenzialmente alle caratteristiche litologiche del versante per la presenza di depositi detritici sciolti, coltri detritiche di alterazione del substrato, ed alle caratteristiche morfologiche e alle elevate pendenze delle zone di testata dei bacini in esame.

Gli interventi in progetto sono stati analizzati in riferimento alle finalità ed agli effetti ambientali del sito, in funzione delle trasformazioni del territorio ed alle condizioni dei dissesti attivi e/o potenziali dell'area interessata.

Dall'analisi effettuata essi si ritengono compatibili con la pericolosità geologica e geotecnica gravante sul territorio, in quanto:

- sono atti a migliorare in modo significativo le condizioni di funzionalità del regime idraulico del reticolo idrografico lungo il versante, riducendo le cause di pericolosità e di danno potenziale del territorio;
- non aumentano il livello di pericolosità e di rischio esistente;
- non precludono la possibilità di eliminare o ridurre le condizioni di pericolosità e rischio;
- migliorano in modo significativo o comunque non peggiorare le condizioni di equilibrio statico dei versanti e di stabilità dei suoli.

Pertanto, in seguito alla valutazione del progetto in riferimento alle finalità ed agli effetti attesi, viene verificata la coerenza del progetto con le previsioni e le norme del PAI, e si evince la compatibilità geologica e geotecnica delle opere previste in progetto.



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***



**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

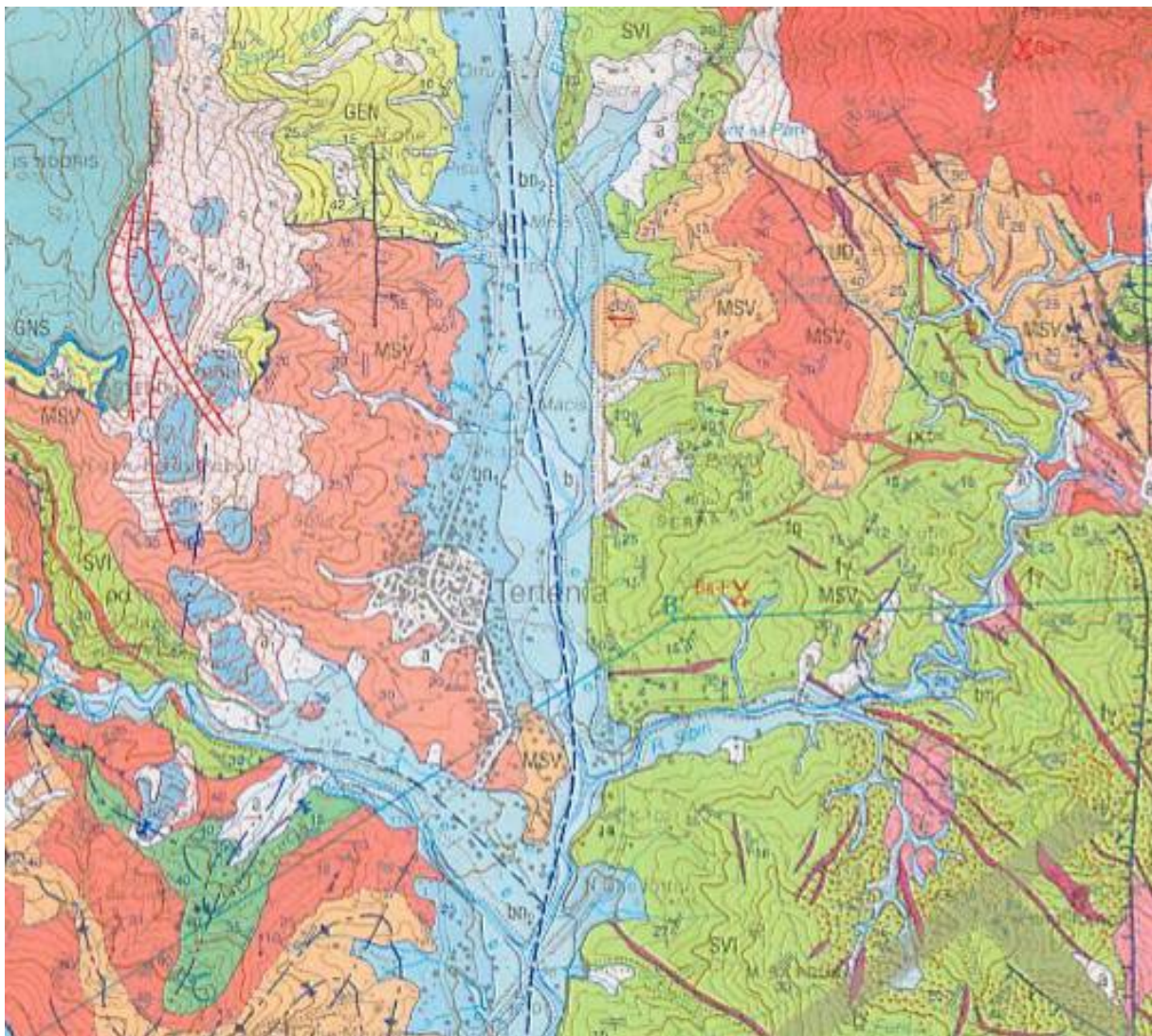
decreto-legge n. 133 del 12 settembre 2014 art. 7, comma 2

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); bn<sub>2</sub>) Depositi alluvionali dei terrazzi del II ordine (Olocene); bn<sub>1</sub>) Depositi alluvionali dei terrazzi del I ordine e conoidi reincise (Pleistocene); a<sub>1</sub>) 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***



## 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](mailto:studiorosso@legalmail.it)  
[info@sria.it](mailto:info@sria.it)  
[www.sria.it](http://www.sria.it)

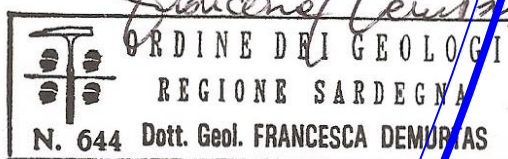


**OPERE  
GEOTECNICHE**

Impresa esecutrice  
**Opere Geotecniche srl**

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

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



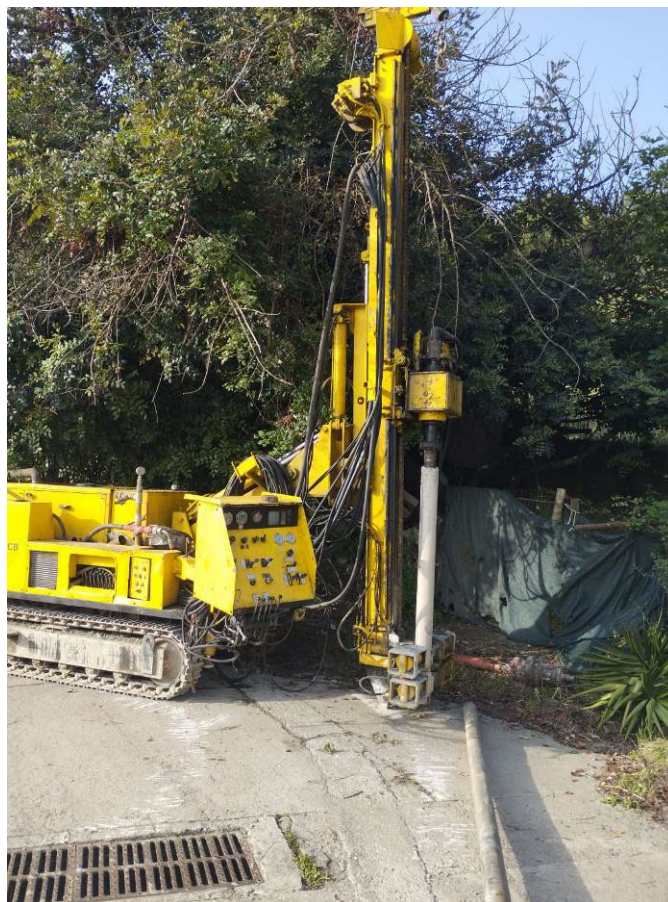


**Figura 6 – Stratigrafie riscontrate nel Sondaggio S 2**



### **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 $\mu$ s
Frequenza di campionamento (fc)	8000 Hz
Tempo di registrazione	512 ms
Segnale registrato	onde P

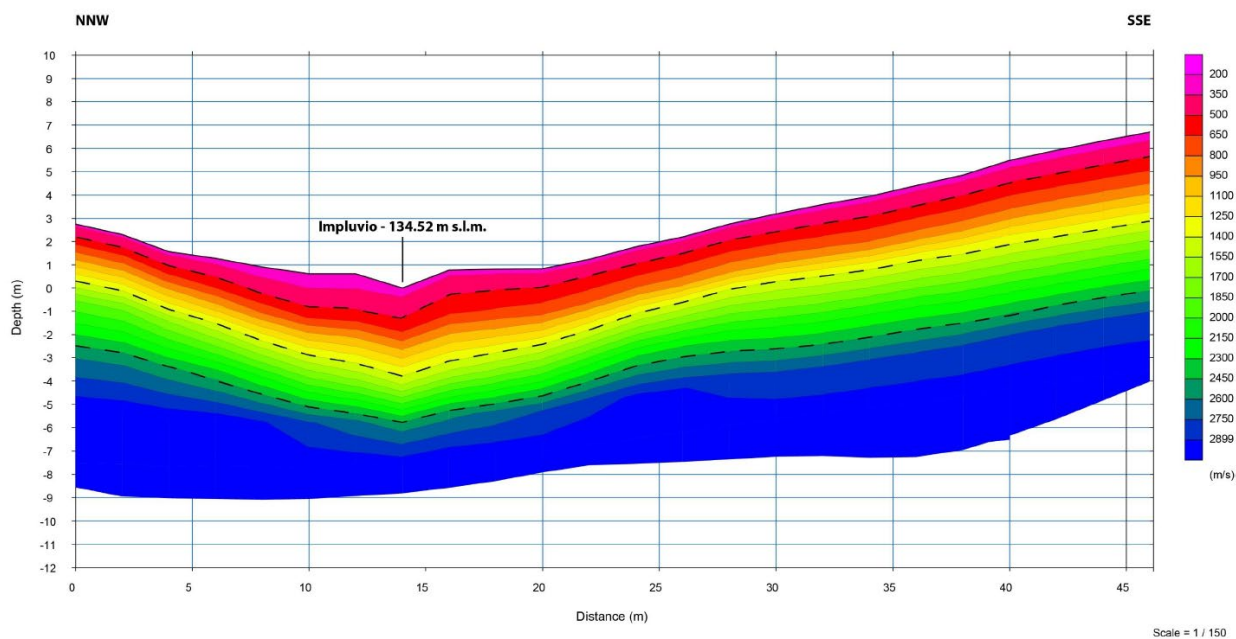
Tabella 1 – Configurazione dello stendimento Tomografia 1.

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 $\mu$ 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*



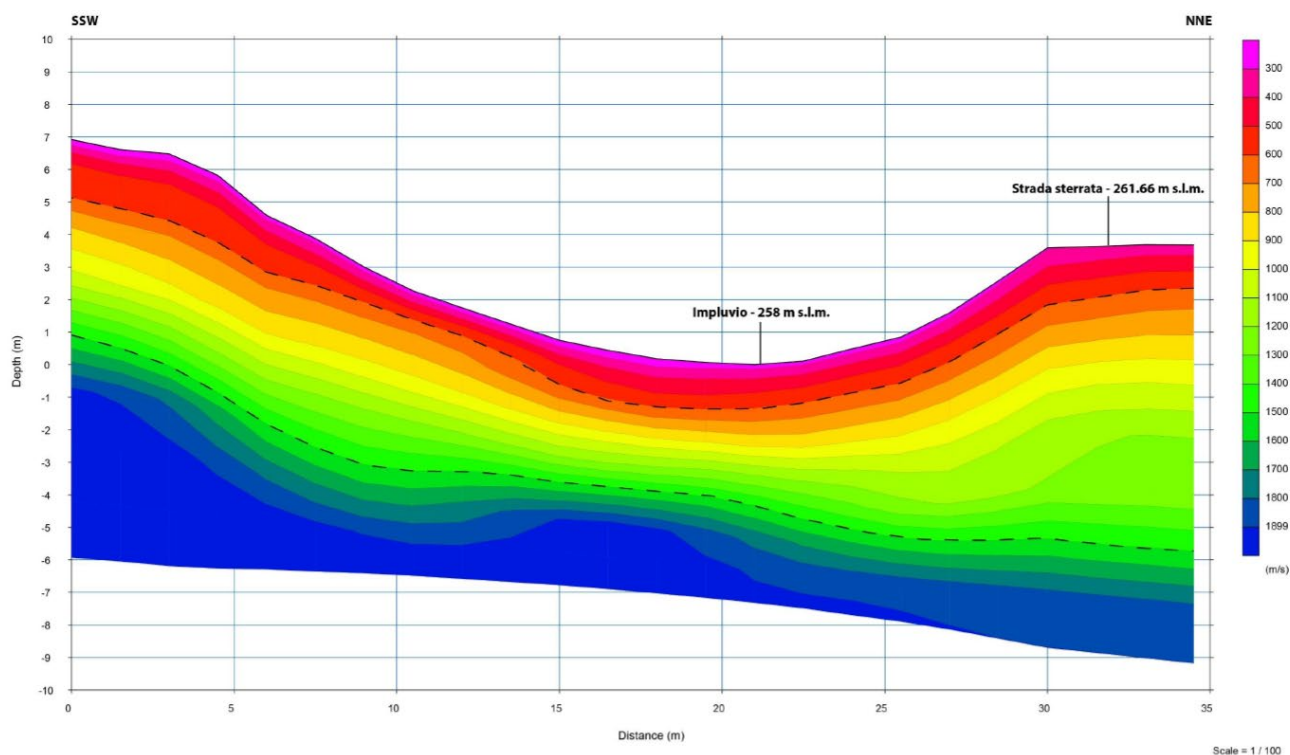


**2.5.3 STENDIMENTO 2 - UBICAZIONE DELL'AREA DI INDAGINE**

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







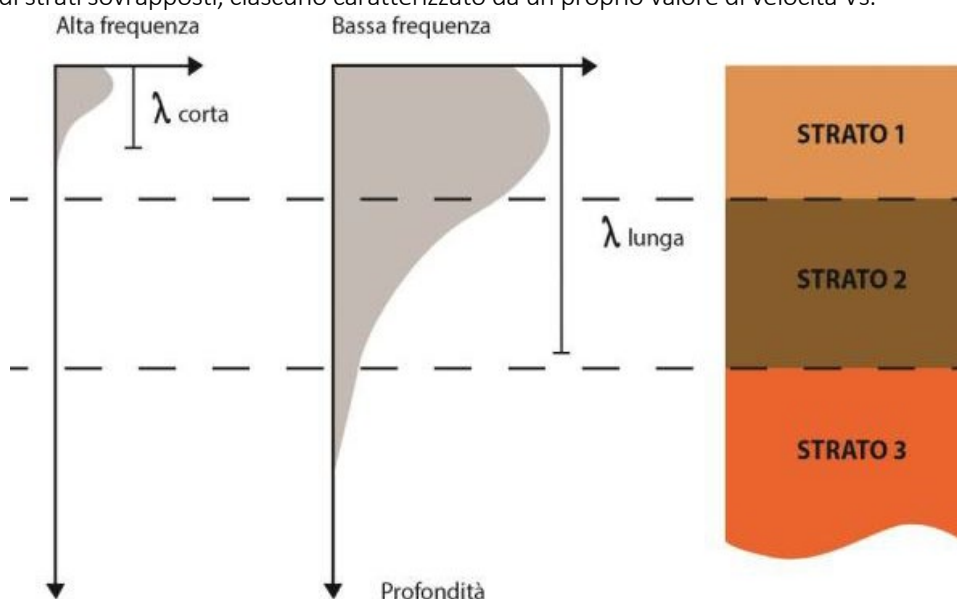
## 2.6 INDAGINE SISMICA MEDIANTE METODOLOGIA MASW

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	<b><math>V_6</math>: 575 m/s</b>
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
<b>A</b>	<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>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
<b>C</b>	<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>
<b>D</b>	<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>
<b>E</b>	<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		PROFESSIONISTI		COMMITENTE	
<div><p>territorio - ambiente - servizi</p></div> <div>SEDE OPERATIVA: Via TEMPIO N.3, 09023, MONASTIR (SU) TEL. 070-4619002 INFO@GEOLOGIKA.EU - GEOLOGIKA@PEC.IT</div> <div><p>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</p></div>		<div>GEOL. FABRIZIO CALLAI</div> <div></div>		<div>STUDIO ROSSO INGEGNERIA ASSOCIATI</div> <div>VIA ROSOLINO PILO, 11, 10143 TORINO (TO)</div> <div>OPERE GEOTECNICHE</div> <div>VIA SAN GEMILIANO, 09023 MONASTIR (SU)</div>	
		<div>GEOL. FABIO FANELLI</div> <div></div>		<div>PROGETTISTA</div> <div>STUDIO ROSSO INGEGNERIA ASSOCIATI</div> <div>VIA ROSOLINO PILO, 11, 10143 TORINO (TO)</div>	
		<div></div>			
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 $\mu$ s
Frequenza di campionamento (fc)	8000 Hz
Tempo di registrazione	512 ms
Segnale registrato	onde P

Tabella 1 – Configurazione dello stendimento Tomografia 1.

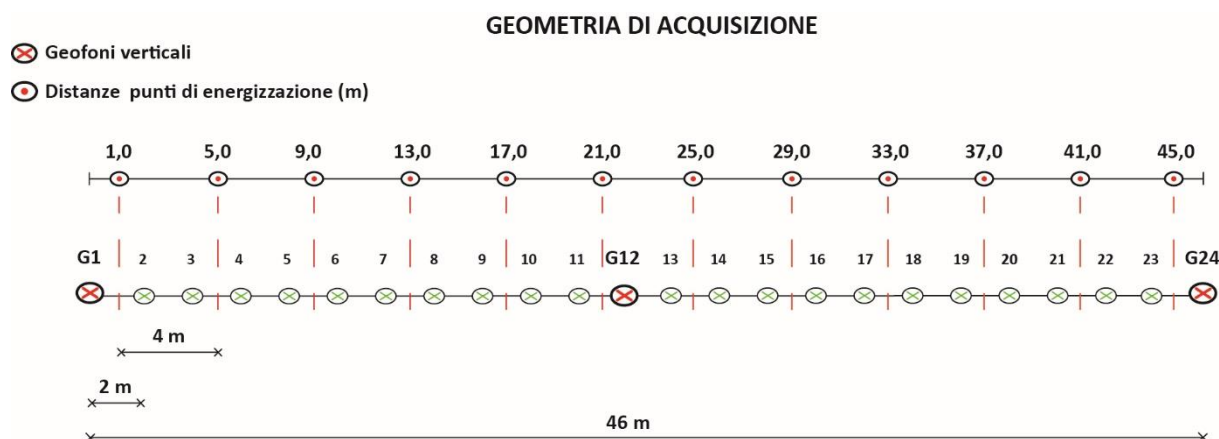


Figura 1 – Geometria di acquisizione con distanze relative tra geofonie e punti di energizzazione.

### 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 $\mu$ 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)

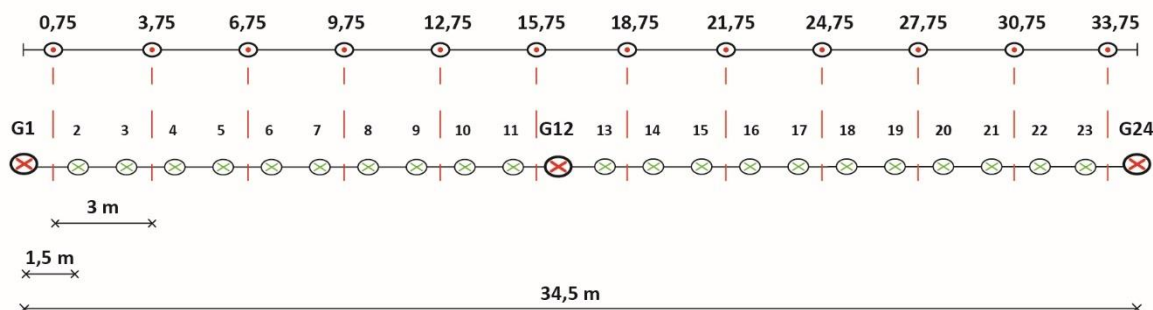


Figura 2 – Geometria di acquisizione con distanze relative tra geofonie e punti di energizzazione.

## 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





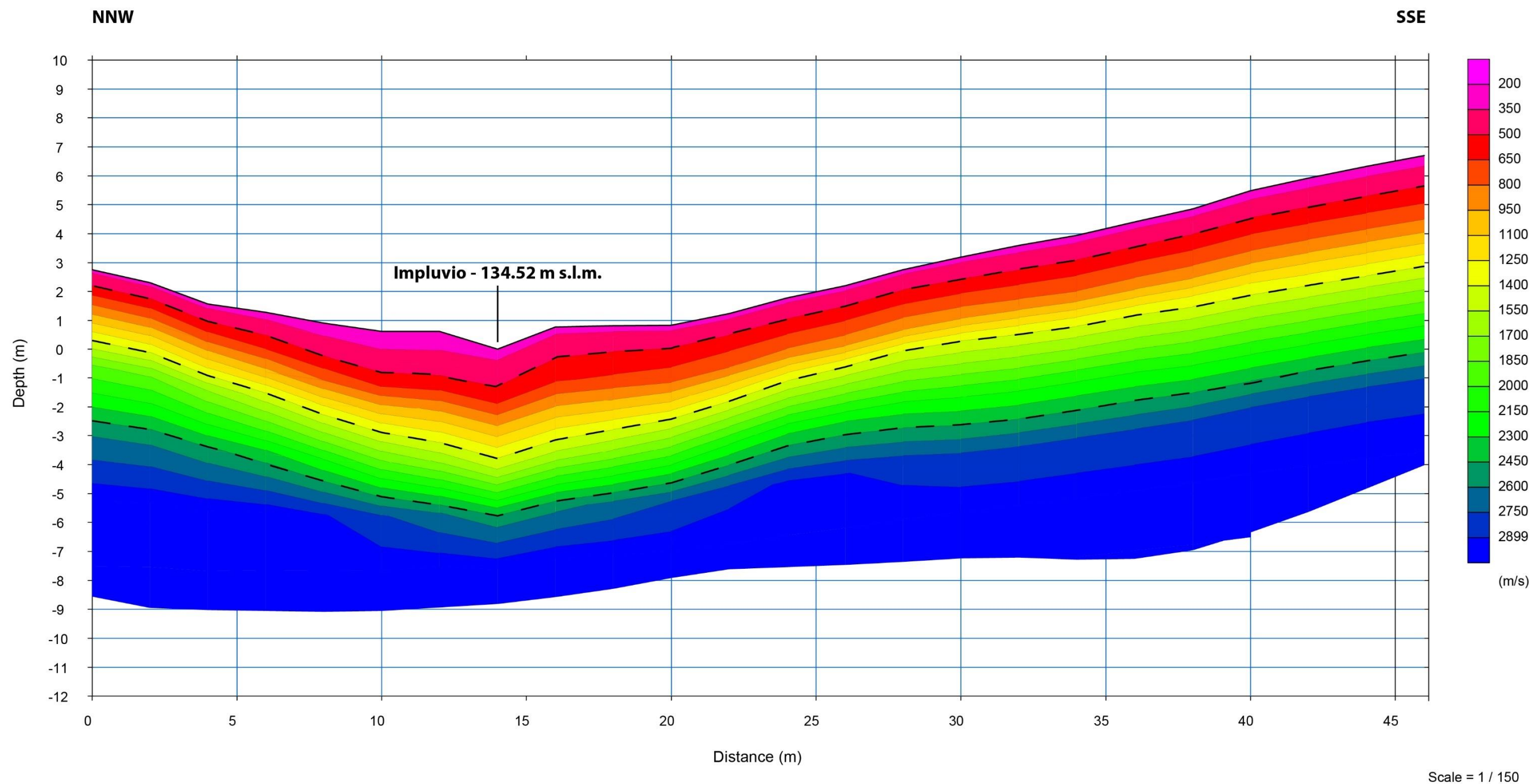


Figura 3 – Interpretazione tomografica dei dati a rifrazione acquisiti lungo lo stendimento 1.

#### 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

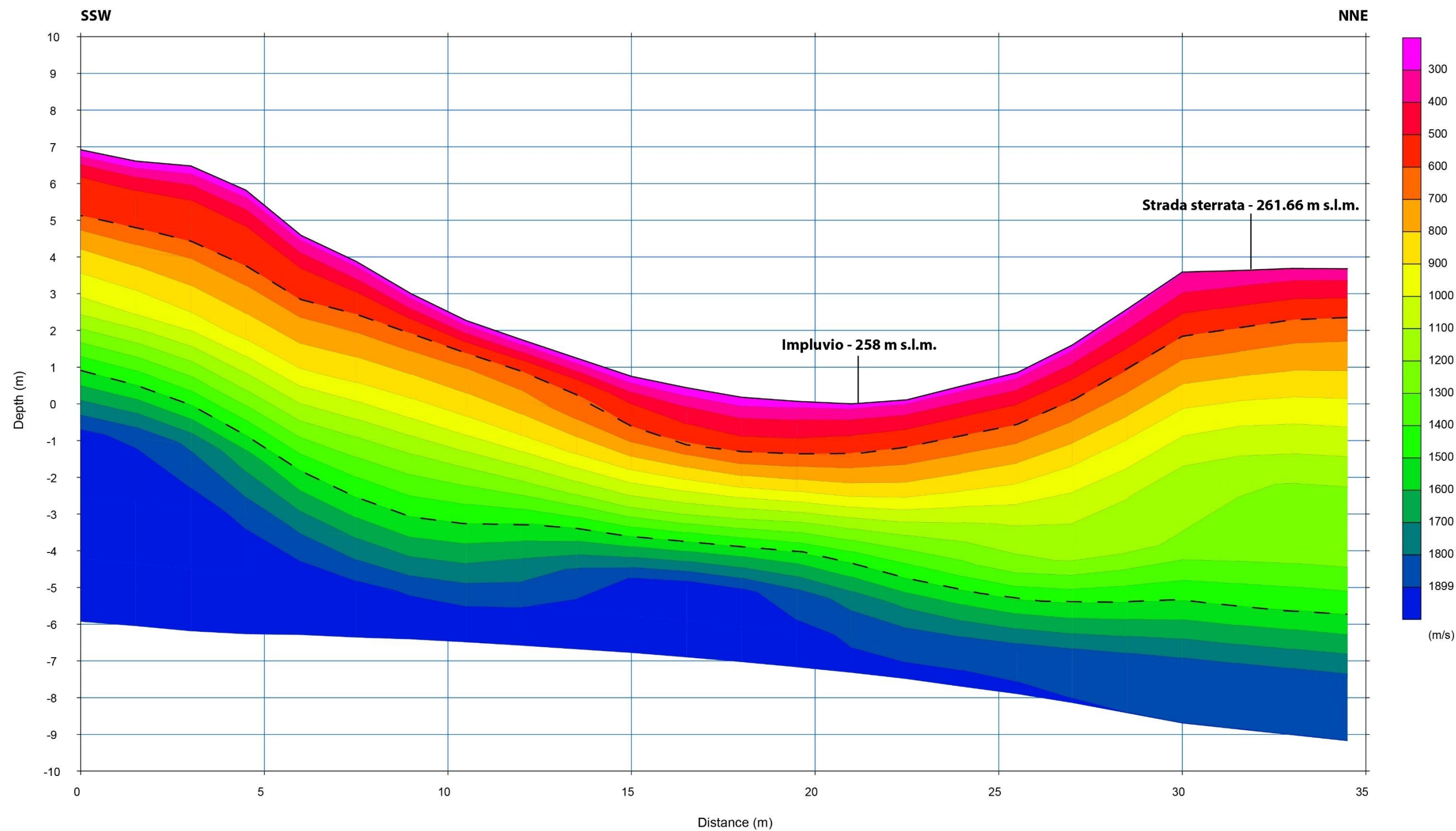
COMUNE	Tertenia		
LOCALITÀ	Santa Sofia		
COORDINATE (WGS-84)	Al centro dello stendimento	X – 4394514	Y – 548719



FOTO







Scale = 1 / 100

**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.

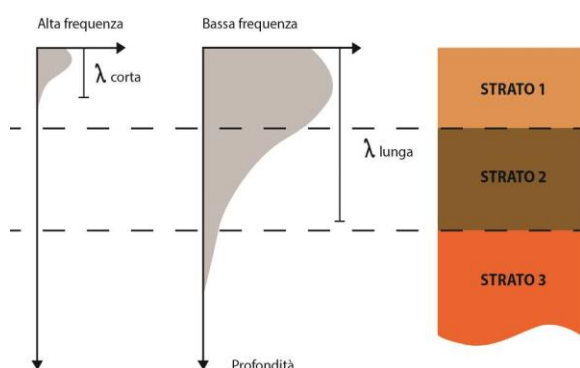
Fermo restando le indicazioni riportate in questo elaborato la definizione dell'assetto litostratigrafico locale spetta al Progettista, che si baserà sulle proprie conoscenze e valutazioni geologiche del sito, nonché su eventuali indagini supplementari effettuate.

## 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  $V_s$ .



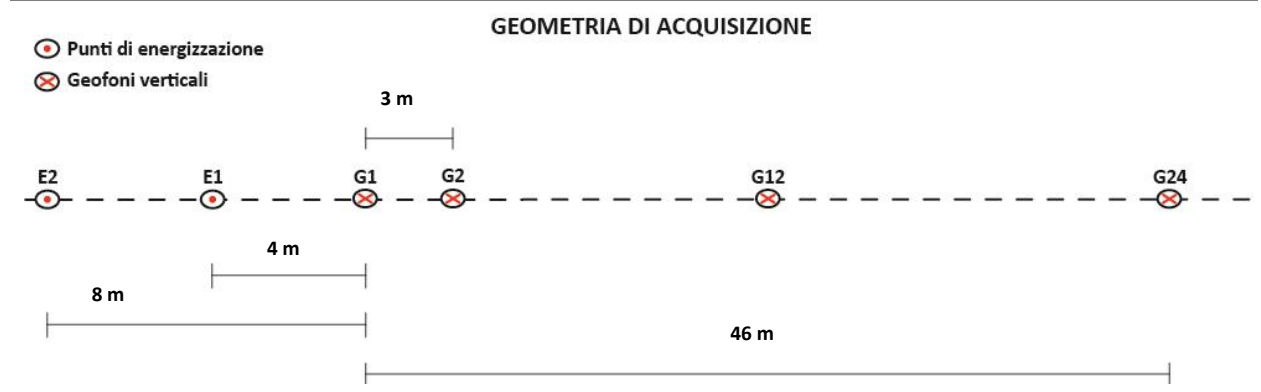
**Figura 5 – Rappresentazione schematica di due componenti di un'onda di superficie che consentono porzioni diverse del terreno; la componente ad alta frequenza (piccola lunghezza d'onda) sente solamente la parte più superficiale, mentre la componente a bassa frequenza (grande lunghezza d'onda) arriva 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
<b>A</b>	<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>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
<b>C</b>	<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>
<b>D</b>	<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>
<b>E</b>	<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

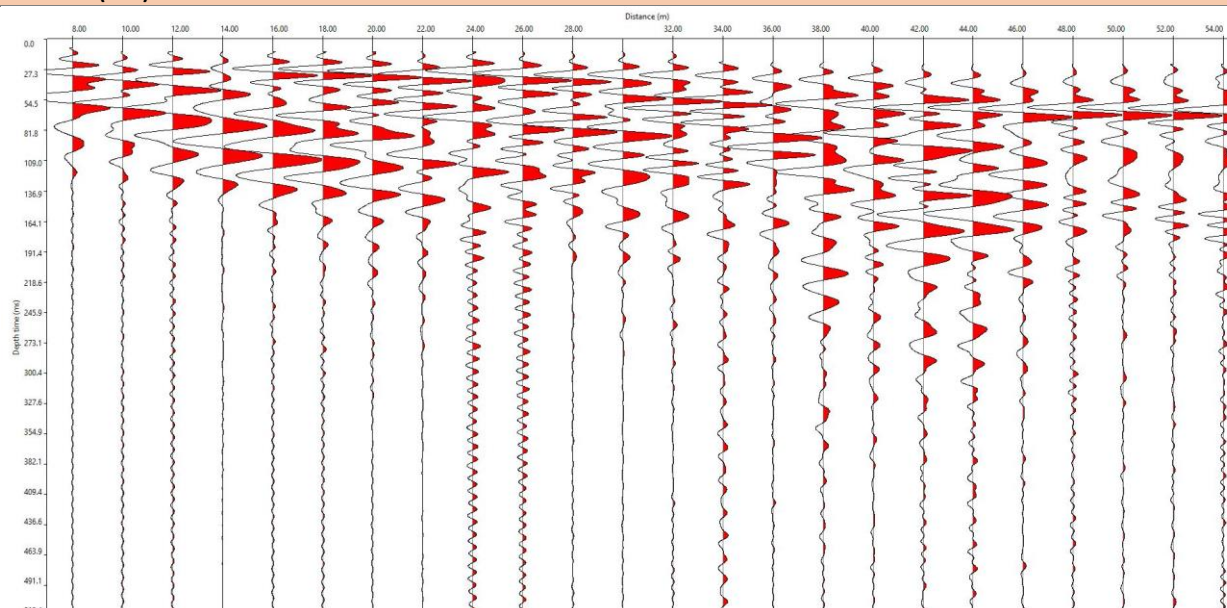


FOTO

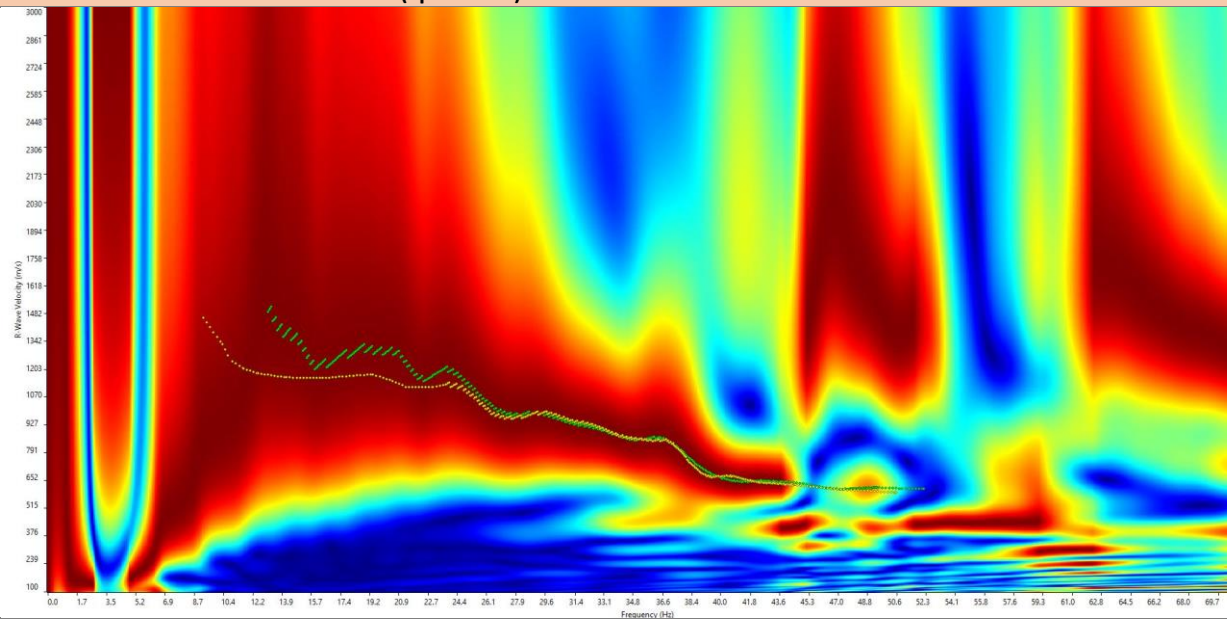




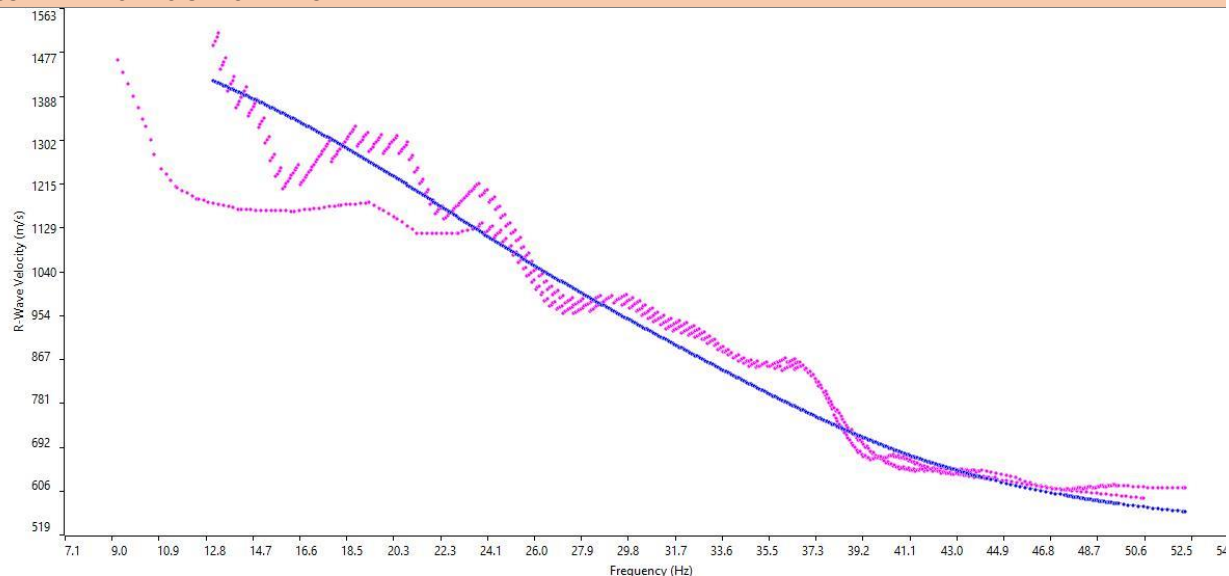
### DATASET (ZVF) DELLE ONDE DI RAYLEIGH



### CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE (Spettro f-v)

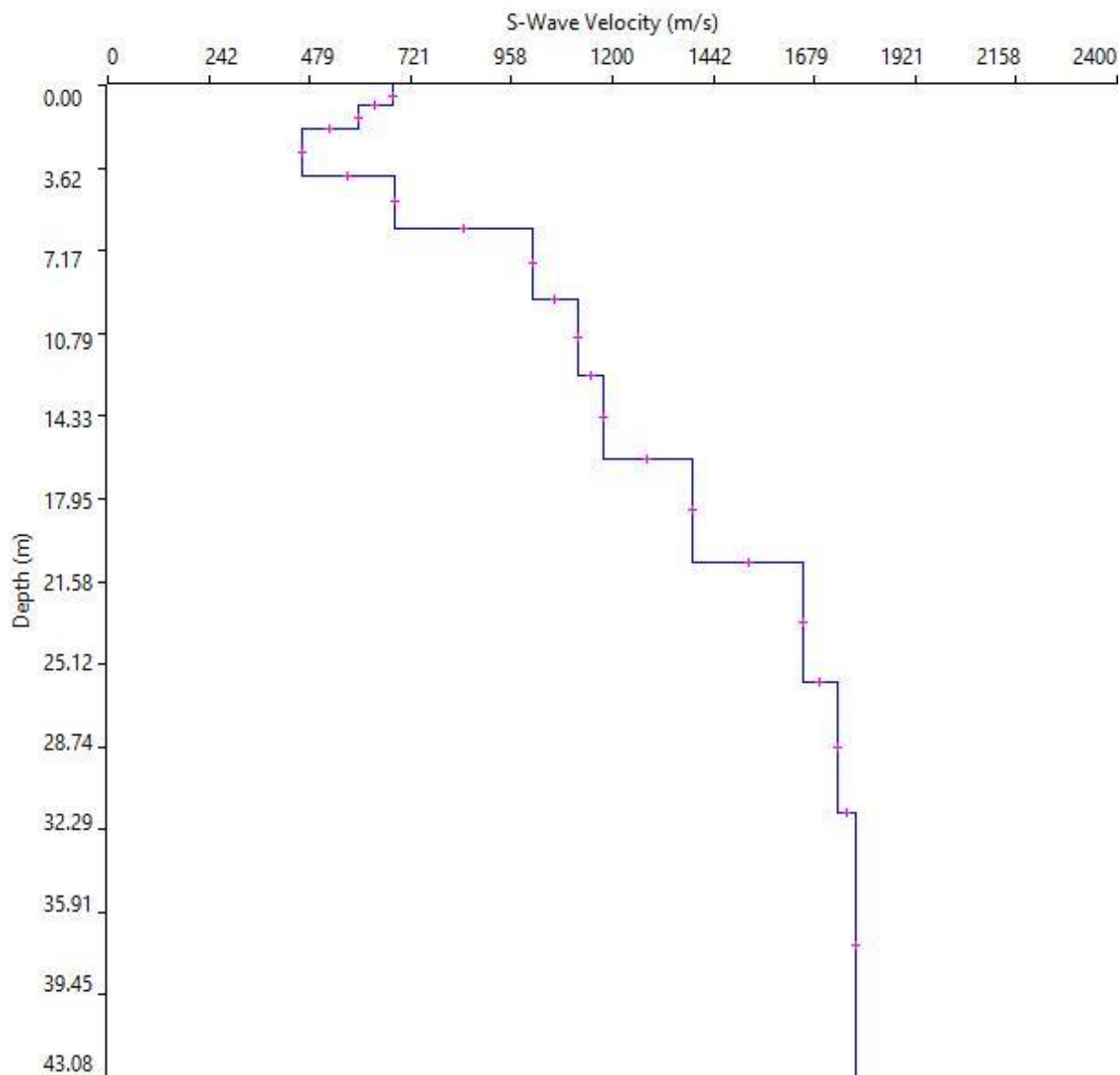


### CURVA DI DISPERSIONE SINTETICA





NUMERO DI STRATI CONSIDERATI	11	<b>V<sub>6</sub>: 575 m/s</b>
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

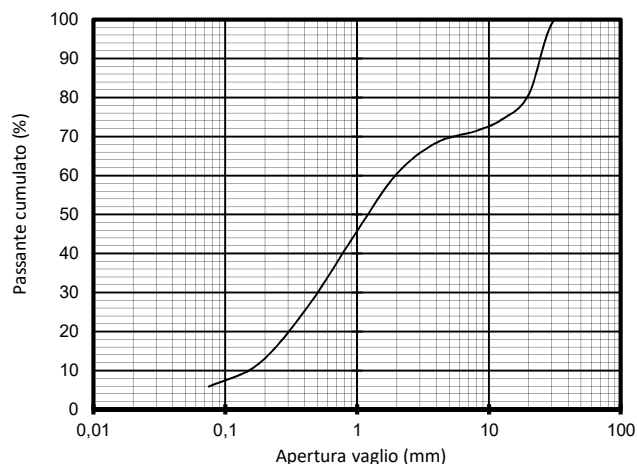
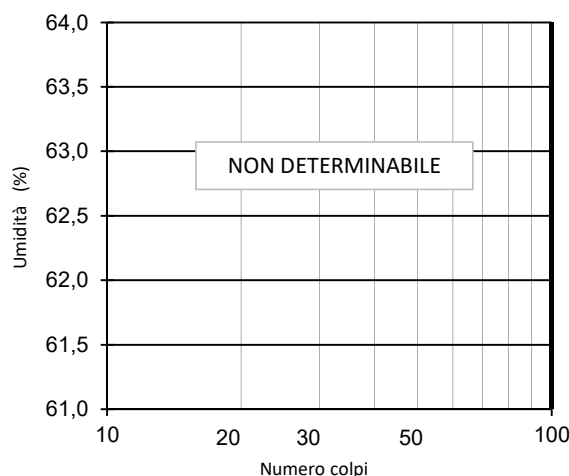
**Classi granulometriche (ASTM)**

Contenuto in ciottoli (&gt; 75 mm) : % 0

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

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

Contenuto in limo + argilla (&lt;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 : -

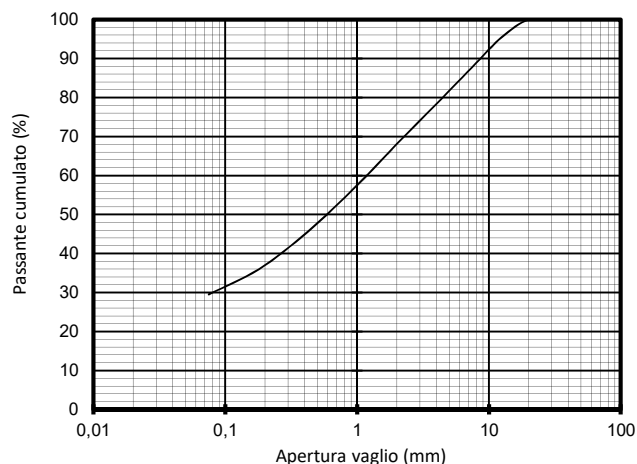
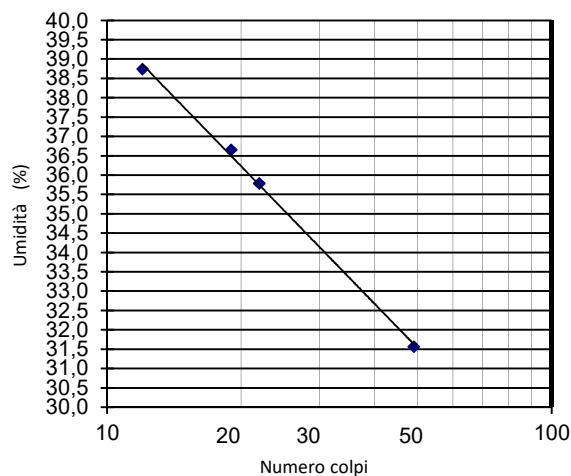
**Limiti di consistenza***Limite di liquidità* : % 35,1*Limite di plasticità* : % 26,4*Indice di plasticità* : % 8,7**Classi granulometriche (ASTM)**

Contenuto in ciottoli (&gt; 75 mm) : % 0

Contenuto in ghiaia (4,75-75 mm) : % 19

Contenuto in sabbia (0,075-4,75 mm) : % 52

Contenuto in limo + argilla (&lt;0,075mm): % 29

**CLASSE (UNI 10006):** A2-4**CLASSE (ASTM - USCS):** SMDescrizione 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

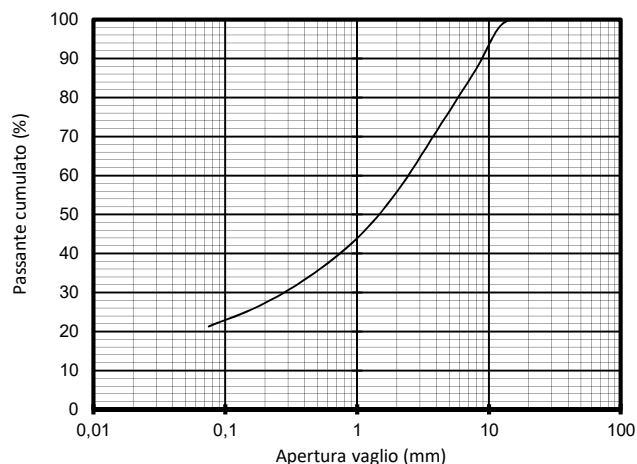
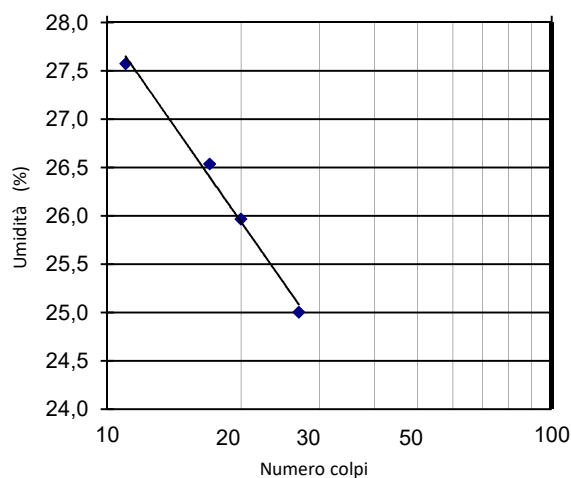
**Umidità :** % 1,8**Indice di consistenza :** -**Limiti di consistenza****Limite di liquidità :** % 25,3**Limite di plasticità :** % 18,8**Indice di plasticità :** % 6,5**Classi granulometriche (ASTM)**

Contenuto in ciottoli (&gt; 75 mm) : % 0

Contenuto in ghiaia (4,75-75 mm) : % 19

Contenuto in sabbia (0,075-4,75 mm) : % 52

Contenuto in limo + argilla (&lt;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 PROVA**Data 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:

**2,079**Data: 21-giu-23

**DOCUMENTO DI PROVA**

Rif. Lab. : 14400 /23

Committente: Opere Geotecniche sncData consegna campione: 06/06/23Provenienza campione : Interventi di difesa da rischio idrogeologico nel Comune di TerteniaSigla 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, saturaCaratteristiche della prova : Consolidata drenata su provini ricostruiti con rimozione dei clasti > 5 mmImmersione in acqua del provino durante la consolidazione e la fase di taglio : 

si	no
----	----

**Caratteristiche del provino**

Caratteristiche del provino	Provino n°	1	2	3
Contenuto d'acqua iniziale	%	#DIV/0!		
Peso di volume umido iniziale	g/cmc	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 PICCO**ANGOLO DI RESISTENZA AL  
TAGLIO**28,19 °**

COESIONE

**5,6 kPa**

Data : 21/06/2023

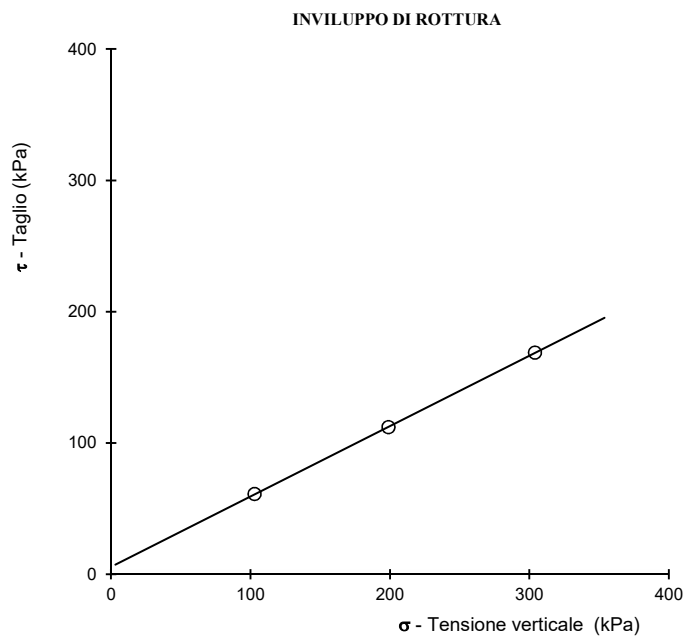
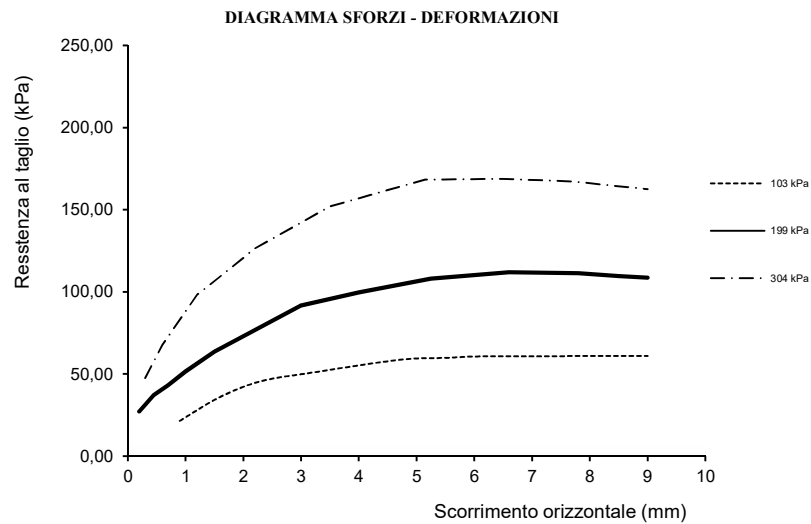
Pag. : 1/2

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**

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 PICCO**ANGOLO DI RESISTENZA AL  
TAGLIO**28,74 °**

COESIONE

**18,8 kPa**

Data : 21/06/2023

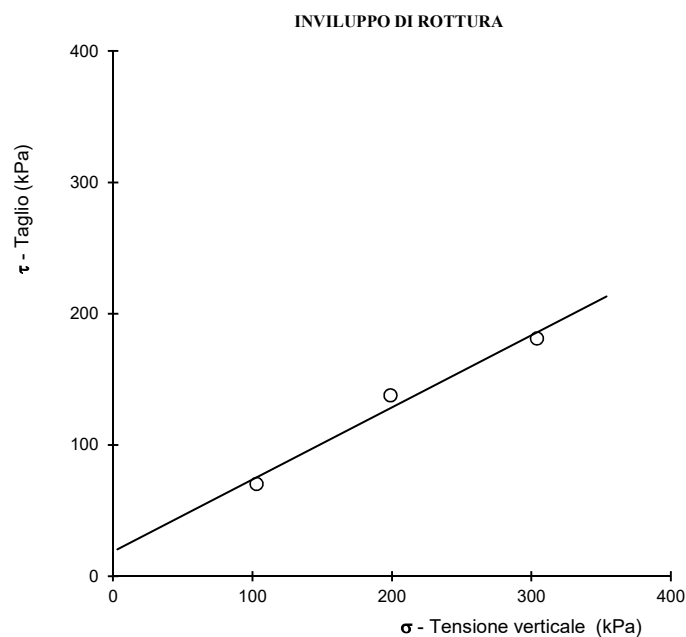
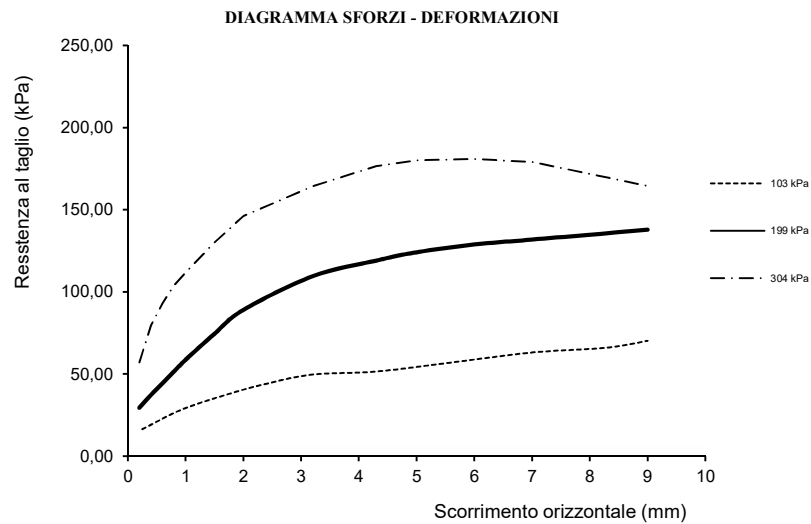
Pag. : 1/2

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

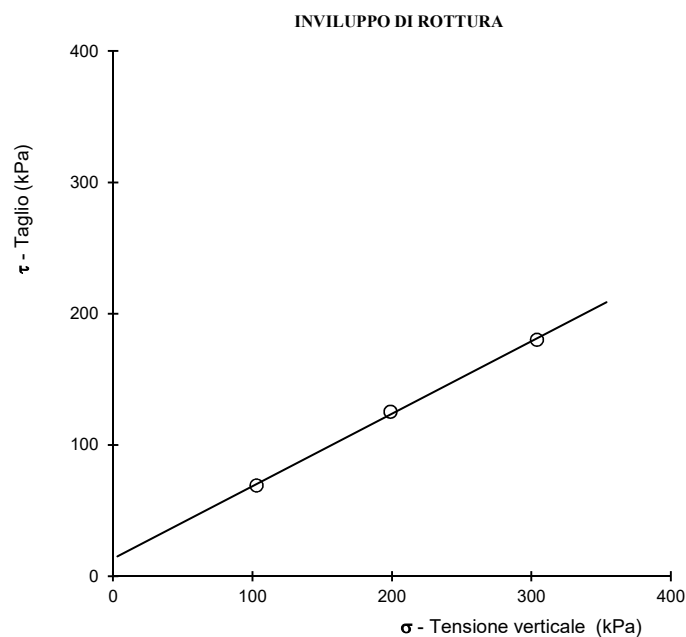
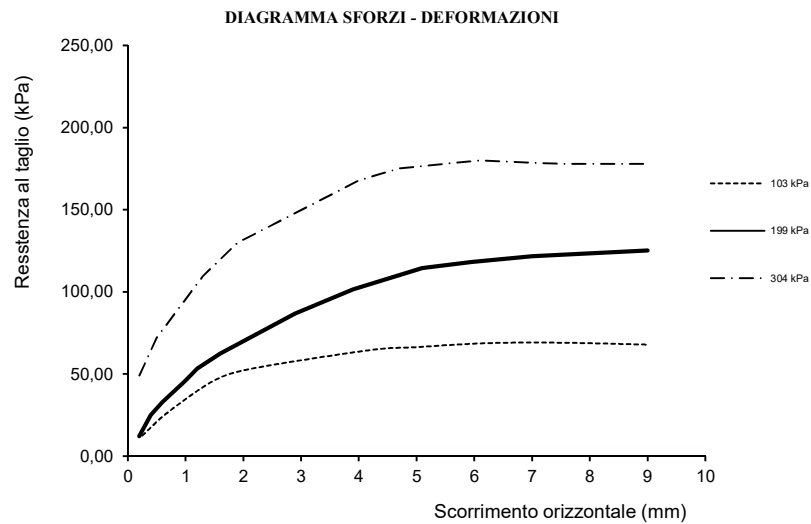
Pag. : 1/2

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





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”.*

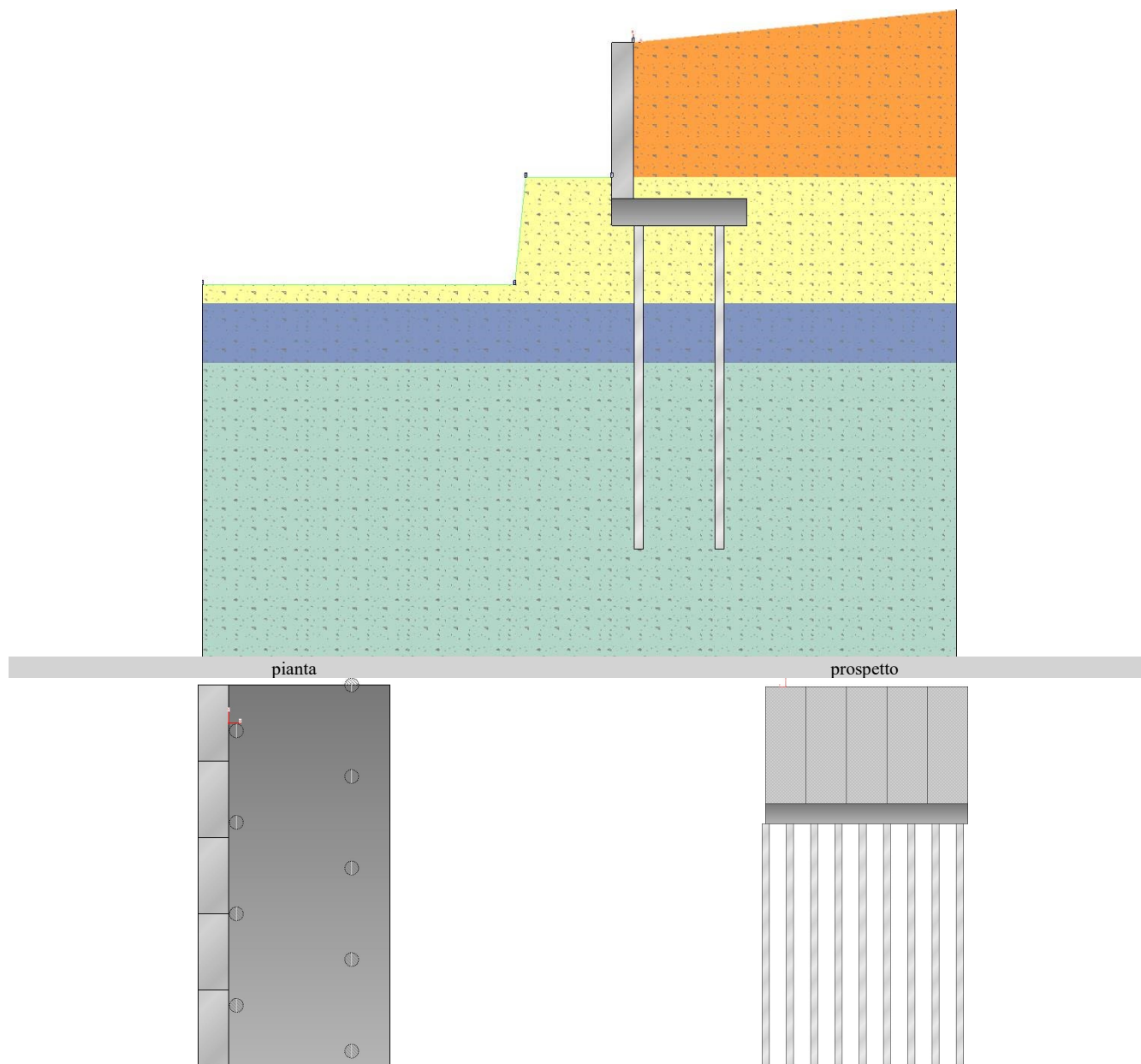
***Progetto di fattibilità tecnica ed economica***

**SRIA**  
S.r.l.  
**STUDIO ROSSO**  
INGEGNERI ASSOCIATI

## **ALLEGATO 3**

**Verifica di stabilità globale sul muro di contenimento con micropali – Funtana Manna**

## - Verifica di stabilità globale MURO CONTRO TERRA -



### ***Riassunto verifiche***

Di seguito viene riportata la tabella riassuntiva con i fattori di sicurezza minimi (= rapporto  $R_d/E_d$  o  $C_d/E_d$ ) calcolati per tutte le verifiche.

La verifica si intende superata se il valore del rapporto è maggiore o uguale a 1.0.

Le caselle con i trattini indicano che la verifica corrispondente non va svolta per il relativo Caso di

## Carico.

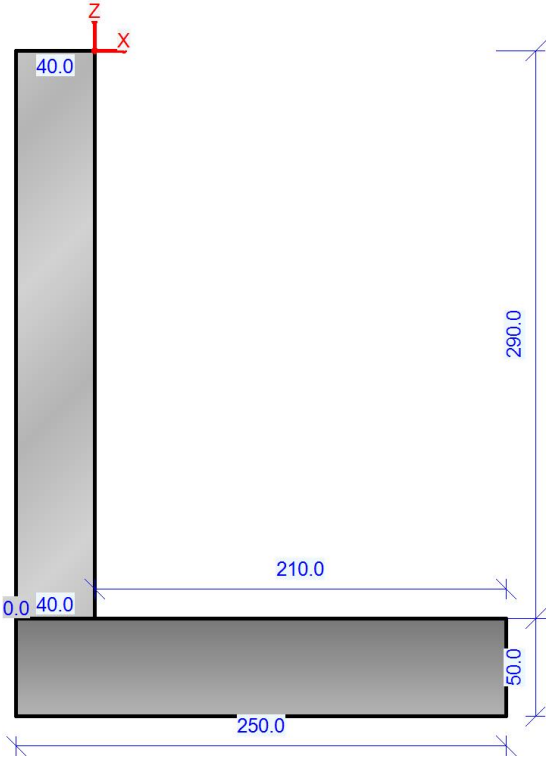
caso di carico	resistenza assiale	resistenza trasversale	stabilità globale	FS strutturale Fusto(pressoflessione)	FS strutturale Fusto(taglio)	FS strutturale Fusto(tensione cls)	FS strutturale Fusto(tensione acciaio)	FS strutturale Fusto(apertura fessure)	FS strutturale Fondazione(flessione)	FS strutturale Fondazione(taglio)	FS strutturale Fondazione(tensione cls)	FS strutturale Fondazione(tensione acciaio)	FS strutturale Fondazione(apertura fessure)	FS strutturale Pali(tens.d.)
1 - STR(SLU)	1.02	7.35	---	3.38	3.89	---	---	---	1.83	1.53	---	---	---	1.27
2 - GEO(SLU_GEO)	---	---	1.13	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3 - SLV_SISMA_SU(SLV)	1.17	6.22	1.22	2.55	3.4	---	---	---	1.6	1.63	---	---	---	1.2
4 - SLV_SISMA_GIU(SLV)	1.03	5.7	1.23	2.31	3.13	---	---	---	1.44	1.45	---	---	---	1.09
5 - SLD_SISMA_SU(SLD)	1.28	8.11	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
6 - SLD_SISMA_GIU(SLD)	1.21	7.73	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
7 - RARA(RARA)	---	---	---	---	---	22.84	3.63	---	---	---	16.83	1.85	---	---
8 - FREQ(FREQUENTE)	---	---	---	---	---	---	---	3.5	---	---	---	---	1.34	---
9 - Q.PERM.(QUASI_PERM)	---	---	---	---	---	17.13	---	2.63	---	---	12.63	---	1.01	---

**Muro Verificato!**

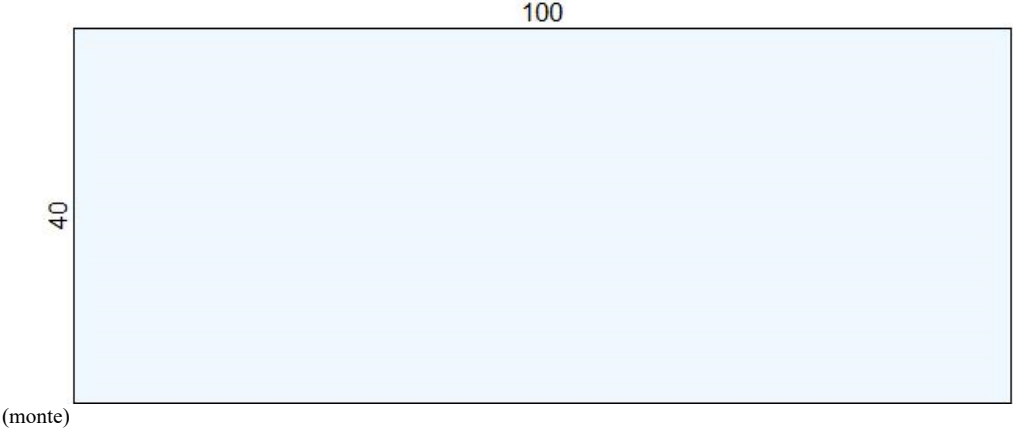
**[Verifiche Superate]**

**- Elementi strutturali**

- Muro e fondazione



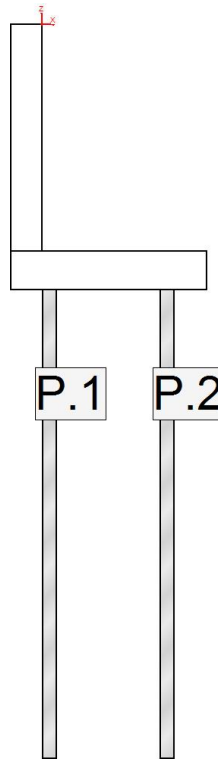
Sezione 1:  
(valle)



Sezione n. 1:
Area [cm2]: 4 000.0
Jz,g [cm4]: 533 333
Jy,g [cm4]: 3 333 333
Zg [cm]: 0.0
Yg [cm]: 20.0



## - Pali



Fila 1:

- lunghezza = 600 [cm]
- interasse = 120 [cm]
- scostamento iniziale = 60 [cm]
- dist. bordo fondazione = 50 [cm]
- inclinazione = 0 °
- tipo = micropalo
- vincolo = incastro
- Ø interno micropalo = 9.8 [cm]
- Ø esterno micropalo = 11.4 [cm]
- Ø perforazione = 18 [cm]

Fila 2:

- lunghezza = 600 [cm]
- interasse = 120 [cm]
- scostamento iniziale = 0 [cm]
- dist. bordo fondazione = 200 [cm]
- inclinazione = 0 °
- tipo = micropalo
- vincolo = incastro
- Ø interno micropalo = 9.8 [cm]
- Ø esterno micropalo = 11.4 [cm]
- Ø perforazione = 18 [cm]

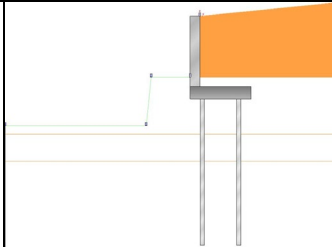
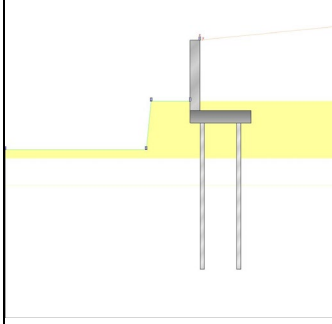
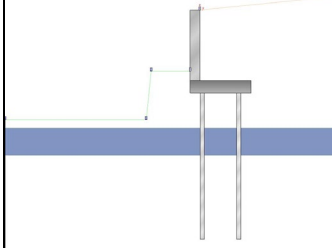
## - Terreno

## - Profili di Monte e Valle

MONTE				VALLE		
punto	x [cm]	z [cm]		punto	x [cm]	z [cm]
1	0	0		1	-40	-250
2	600	60		2	-200	-250
				3	-220	-450
				4	-800	-450

Coordinate vertici profilo di monte e di valle.

## - Strati

strato e terreno	dati inseriti	disegno strato	coord. (x;z)
- 1 - Strato 1 (Riempimento colata debris) Terreno 1 (non coesivo) (Materiale colata) $c' = 0$ [daN/cm <sup>2</sup> ] $\gamma = 18$ [kN/m <sup>3</sup> ] $\varphi = 22.5^\circ$	$h = 0$ $i = 0^\circ$		1 (600;-250)[cm] 2 (600;60)[cm] 3 (0;0)[cm] 4 (0;-250)[cm]
- 2 - Strato 2 (Riporto e terrapieno) Terreno 2 (non coesivo) (Riporto) $c' = 0$ [daN/cm <sup>2</sup> ] $\gamma = 18.6$ [kN/m <sup>3</sup> ] $\varphi = 28^\circ$	$h = -250$ $i = 0^\circ$		1 (600;-485)[cm] 2 (600;-250)[cm] 3 (0;-250)[cm] 4 (0;-290)[cm] 5 (210;-290)[cm] 6 (210;-340)[cm] 7 (-40;-340)[cm] 8 (-40;-290)[cm] 9 (-40;-250)[cm] 10 (-200;-250)[cm] 11 (-220;-450)[cm] 12 (-800;-450)[cm] 13 (-800;-485)[cm] 14 (0;-485)[cm]
- 3 - Strato 3 (Filladi estrem alter) Terreno 3 (non coesivo) (Ghiaia sabbiosa estrem alter) $c' = 0.05$ [daN/cm <sup>2</sup> ] $\gamma = 18$ [kN/m <sup>3</sup> ] $\varphi = 27^\circ$	$h = -485$ $i = 0^\circ$		1 (600;-595)[cm] 2 (600;-485)[cm] 3 (0;-485)[cm] 4 (-800;-485)[cm] 5 (-800;-595)[cm] 6 (0;-595)[cm]

- 4 - Strato 4 (Filladi estrem alter e fratt) Terreno 4 (non coesivo) (Ghiaia sabbiosa estrem alter fratt) $c' = 0.03$ [daN/cm <sup>2</sup> ] $\gamma = 18$ [kN/m <sup>3</sup> ] $\varphi = 25^\circ$	$h = -595$ $i = 0^\circ$		1 (600;-1140)[cm] 2 (600;-595)[cm] 3 (0;-595)[cm] 4 (-800;-595)[cm] 5 (-800;-1140)[cm]
---	-----------------------------	--	--

Stratigrafia.

## - Normativa, materiali e modello di calcolo

### - Norme Tecniche per le Costruzioni 17/01/2018

#### - Approccio 2

Coeff. sulle azioni	Coeff. proprietà terreno	Coeff. resistenze
- permanenti/favorevole = 1 - permanenti/sfavorevole = 1.3 - permanenti non strutturali/favorevole = 0.8 - permanenti non strutturali/sfavorevole = 1.5 - variabili/favorevole = 0 - variabili/sfavorevole = 1.5	- Coesione = 1 - Angolo di attrito = 1 - Resistenza al taglio non drenata = 1	- Capacità portante = 1.4 - Scorrimento = 1.1 - Resistenza terreno a valle = 1.4 - Ribaltamento = 1.15 - Capacità portante (sisma) = 1.2 - Scorrimento (sisma) = 1 - Resistenza terreno a valle (sisma) = 1.2 - Ribaltamento (sisma) = 1

#### - combinazione 2 per stabilità globale -

Combinazione 2		
Coeff. sulle azioni	Coeff. proprietà terreno	Coeff. resistenze
- permanenti/favorevole = 1 - permanenti/sfavorevole = 1 - permanenti non strutturali/favorevole = 0.8 - permanenti non strutturali/sfavorevole = 1.3 - variabili/favorevole = 0 - variabili/sfavorevole = 1.3	- Coesione = 1.25 - Angolo di attrito = 1.25 - Resistenza al taglio non drenata = 1.4	- Stabilità globale = 1.1 - Stabilità globale (sisma) = 1.2

### - Dati di progetto dell'azione sismica:

L'analisi è stata eseguita in condizioni sismiche; parametri scelti :

- località = TERTENIA [39.69751800,9.57606600]
- vita nominale = 50 anni
- classe d'uso = II
- SLU = SLV
- SLE = SLD
- categoria di sottosuolo = cat B
- categoria topografica = categoria T2
- $ag$  (SLV) =  $1.0378 \text{ m/s}^2$
- $F_0$  (SLV) = 2.4981
- $ag$  (SLD) =  $0.3906 \text{ m/s}^2$
- $F_0$  (SLD) = 2.5703

- beta m (SLV)= 1
- beta m (SLD)= 1
- beta r (SLV)= 1
- beta s (SLV)= 0.38
- beta s (SLV)= 0.47
- > kh (muro,SLV) = 0.1523
- > kv (muro,SLV) = 0.0762
- > kh (muro,SLD) = 0.0573
- > kv (muro,SLD) = 0.0287
- > kh (ribaltamento,SLV) = 0.1523
- > kv (ribaltamento,SLV) = 0.0762
- > kh (pendio,SLV) = 0.0579
- > kv (pendio,SLV) = 0.0289
- > kh (pendio,SLD) = 0.0269
- > kv (pendio,SLD) = 0.0135

#### - Caratteristiche dei materiali:

Calcestruzzo	Acciaio
- Descrizione = C28/35	- Descrizione = B450C
- $f_{ck} = 290.5$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	- $E = 2100000$ [daN/cm <sup>2</sup> ]
- $\gamma_c = 1.5$	- $f_{yk} = 4500$ [daN/cm <sup>2</sup> ]
- $f_{cd} = 164.62$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	- $f_{tk} = 5175$ [daN/cm <sup>2</sup> ]
- $E_{cm} = 325881.08$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	- $\epsilon_{yd} = 0.1863$ %
- $\alpha_{cc} = 0.85$	- $\epsilon_{ud} = 6.7500$ %
- $\epsilon_{c2} = 0.2000$ %	- $\gamma_s = 1.15$
- $\epsilon_{cu2} = 0.3500$ %	- $f_{yd} = 3913.04$ [daN/cm <sup>2</sup> ]
- $\gamma$ (p.vol.) = 25 [kN/m <sup>3</sup> ]	- $f_{ud} = 4439.81$ [daN/cm <sup>2</sup> ]

Condizioni ambientali (fusto, monte) = ordinario (X0, XC1, XC2, XC3).

Condizioni ambientali (fusto, valle) = ordinario (X0, XC1, XC2, XC3).

Condizioni ambientali (fondazione) = ordinario (X0, XC1, XC2, XC3).

#### - Opzioni di calcolo

**La verifica di stabilità globale** viene eseguita con i metodi di Fellenius e Bishop semplificato, utilizzando il coefficiente di sicurezza minore.

- Attrito stab. globale /  $\phi'$  o  $C_u = 1$

**Il calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti** dell'opera viene svolto con il metodo degli elementi finiti (FEM). Gli elementi schematizzanti il muro hanno peso e caratteristiche meccaniche proprie dei materiali di cui è costituito. Il terreno spingente (a monte) è rappresentato per mezzo di azioni distribuite applicate sugli elementi. Il terreno di fondazione è rappresentato per mezzo di elementi finiti non-lineari (con parzializzazione), con opportuno coefficiente di reazione alla Winkler in compressione.

- lunghezze aste elevazione = 20 [cm]
- lunghezze aste fondazione = 10 [cm]
- coefficiente di reazione del terreno (Winkler) = 5 [daN/cm<sup>3</sup>]



## - Carichi

## - Carichi sulla Struttura

Considera come carico principale variabile (per coeff. psi [NTC18 2.5.3]) i casi di tipo: tutti

### - Casi di Carico

caso	coefficienti per i carichi
STR (SLU) descr. = SLU A1+M1+R3 coeff. = 1.3(pp.), 1.3(ter.m.), 1.3(fld.m.)1.3(ter.cs.), 1.3(fld.cs.)	nessun carico
GEO (SLU_GEO) descr. = SLU A2+M2+R2 coeff. = 1(pp.), 1(ter.m.), 1(fld.m.)1(ter.cs.), 1(fld.cs.)	nessun carico
SLV_SISMA_SU (SLV) descr. = Sisma_1+1+R_Su coeff. = 1(pp.), 1(ter.m.), 1(fld.m.)1(ter.cs.), 1(fld.cs.)	nessun carico
SLV_SISMA_GIU (SLV) descr. = Sisma_1+1+R_Giu coeff. = 1(pp.), 1(ter.m.), 1(fld.m.)1(ter.cs.), 1(fld.cs.)	nessun carico
SLD_SISMA_SU (SLD) descr. = Sisma_1+1+R_Su coeff. = 1(pp.), 1(ter.m.), 1(fld.m.)1(ter.cs.), 1(fld.cs.)	nessun carico
SLD_SISMA_GIU (SLD) descr. = Sisma_1+1+R_Giu coeff. = 1(pp.), 1(ter.m.), 1(fld.m.)1(ter.cs.), 1(fld.cs.)	nessun carico
RARA (Caratteristica) descr. = SLE caratteristica (rara) coeff. = 1(pp.), 1(ter.m.), 1(fld.m.)1(ter.cs.), 1(fld.cs.)	nessun carico
FREQ. (Frequente) descr. = SLE frequente coeff. = 1(pp.), 1(ter.m.), 1(fld.m.)1(ter.cs.), 1(fld.cs.)	nessun carico
Q.PERM. (Quasi_Perm) descr. = SLE quasi permanente coeff. = 1(pp.), 1(ter.m.), 1(fld.m.)1(ter.cs.), 1(fld.cs.)	nessun carico

Casi di Carico

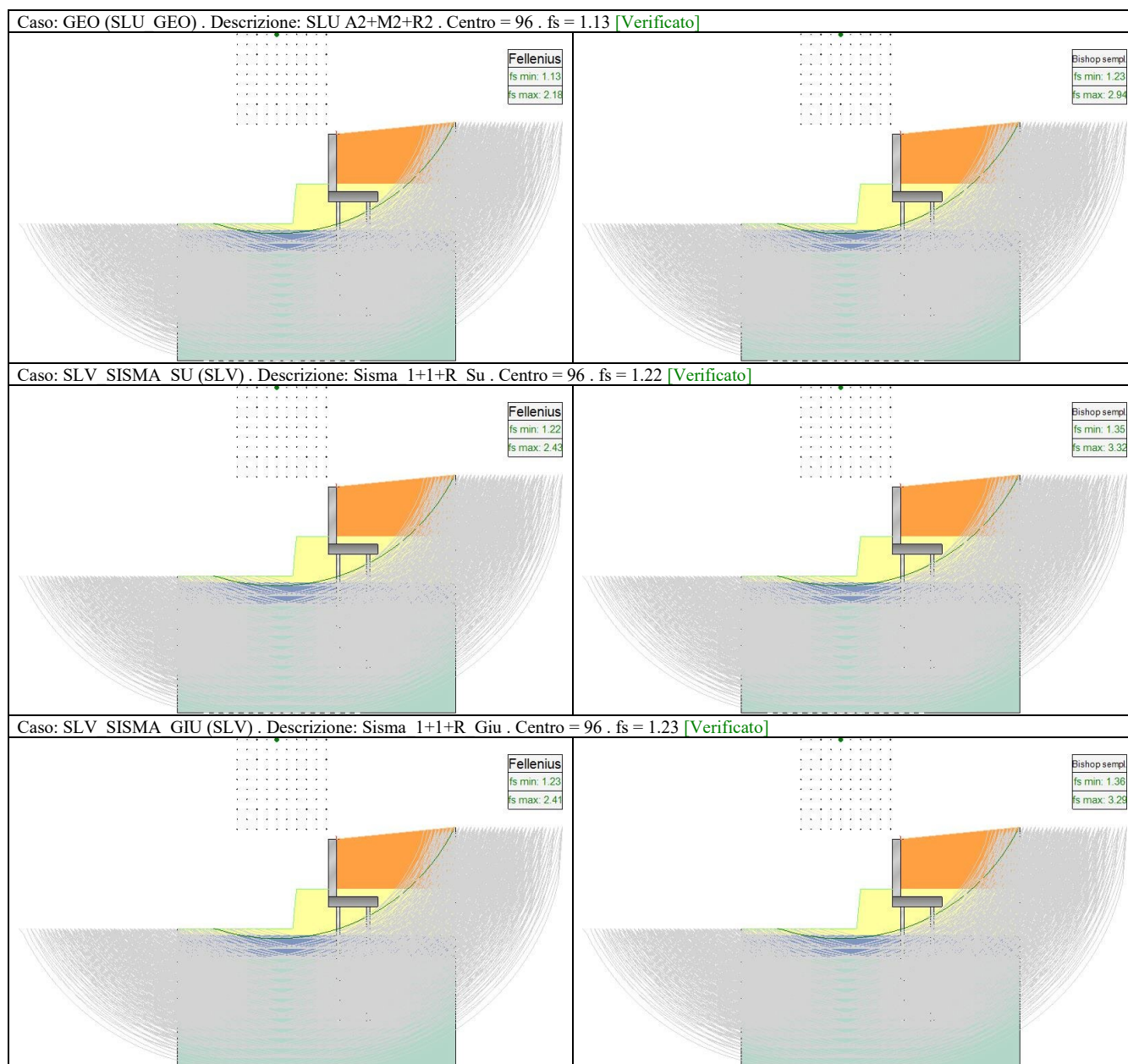
## - Verifiche Geotecniche

Viene valutata la portata di ogni singolo palo :

caso di carico	palo (n° fila)	N [kN] -	Qtc [kN] (compressione)	fs >1;<1	Qtt [kN] (trazione)	fs >1;<1	T [kN] -	Rtr [kN] (trasversale)	fs >1;<1
1 - STR (SLU)	1	-224.9047	229.6764	1.02	-147.9116	-	34.4946	264.4374	7.67
1 - STR (SLU)	2	-77.5075	229.6764	2.96	-147.9116	-	35.997	264.4374	7.35
3 - SLV_SISMA_SU (SLV)	1	-196.8222	229.6764	1.17	-147.9116	-	40.6178	264.4374	6.51
3 - SLV_SISMA_SU (SLV)	2	-25.1757	229.6764	9.12	-147.9116	-	42.5412	264.4374	6.22
4 - SLV_SISMA_GIU (SLV)	1	-222.8291	229.6764	1.03	-147.9116	-	44.242	264.4374	5.98
4 -	2	-33.2574	229.6764	6.91	-147.9116	-	46.3599	264.4374	5.7

SLV_SISMA_GIU (SLV)									
5 - SLD_SISMA_SU (SLD)	1	-180.0002	229.6764	1.28	-147.9116	-	31.2199	264.4374	8.47
5 - SLD_SISMA_SU (SLD)	2	-48.256	229.6764	4.76	-147.9116	-	32.6196	264.4374	8.11
6 - SLD_SISMA_GIU (SLD)	1	-190.2638	229.6764	1.21	-147.9116	-	32.7137	264.4374	8.08
6 - SLD_SISMA_GIU (SLD)	2	-50.8988	229.6764	4.51	-147.9116	-	34.1972	264.4374	7.73

Portate dei singoli pali.



Dettaglio della verifica di stabilità globale.



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 4**

**– Dimensionamento ancoraggi rete debris Funtana Manna**

## Dimensionamento degli ancoraggi flessibili e delle barre di fondazione

Di seguito si definiscono le caratteristiche delle fondazioni e degli ancoraggi delle barriere contro le colate detritiche in oggetto.

Di seguito vengono ripresi nuovamente i parametri necessari per il dimensionamento, riassumendo i valori utilizzati nei calcoli.

1)  $F_d$  azione di progetto;

Ancoraggi flessibili = 350 kN

Barre di ancoraggio = 200 kN

2)  $R_d$  resistenza di progetto ancoraggi (già ridotta di un fattore pari a 1.15);

Ancoraggi flessibili GA-7016 / 400 = 400 kN

Ancoraggi in barra GEWI 32 mm = 349 kN

3)  $\tau_{a-m}$  adesione acciaio-malta;

Dalla formulazione d), considerando un valore di  $f_{ck}$  pari a 20 N/mm<sup>2</sup>, si ottiene  $\tau_{a-m} = 2.32$  N/mm<sup>2</sup>.

4)  $\gamma_M$  fattore parziale per l'adesione malta – acciaio

Pari a 1,5.

5)  $S_{Lat}$  è la superficie effettiva di contatto malta – acciaio

$S_{Lat}$  ancoraggi flessibili GA-7016 / 400 = 119.7 mm

$S_{Lat}$  barre GEWI 32 mm = 60.5 mm

6)  $R_{ac}$  valore massimo di resistenza a sfilamento

Calcolato con la formula g) e dipendente dai seguenti parametri 7), 8), 9), 10):

---



7)  $D_s$  è il diametro reale del bulbo considerando un coefficiente maggiorativo ( $\alpha_s$ )

$D_d$  [diametro di perforazione] = 90 mm

$\alpha_s = 1$ , secondo tabelle Raccomandazioni AICAP, nel caso di iniezione globale con processo di messa in pressione unico (IGU).

8)  $L$ , lunghezza degli ancoraggi

9)  $\xi_a$  fattore parziale sulla determinazione di  $q_s$

$\xi_a$  pari a 1,8 per gli ancoraggi flessibili, equiparati a tiranti di ancoraggio e pari a 1,7 per le barre di ancoraggio.

Tali valori sono i valori massimi possibili in quanto non presenti prove di estrazione da cui ricavare un parametro di aderenza malta-substrato.

10)  $q_s$  è la resistenza unitaria limite allo scorrimento

La resistenza unitaria viene ricavata valutando le caratteristiche litologiche del substrato e da queste tramite riferimenti bibliografici (AICAP 2012) si è ricavato il valore di resistenza unitaria che risulta essere pari a 0,4 N/mm<sup>2</sup>. Tale valore è valido per un substrato costituito da grana mista.

11)  $\gamma_R$  fattore di sicurezza parziale per ancoraggi permanenti

Pari a 1,2 per gli ancoraggi flessibili.

Pari a 1,3 per gli ancoraggi in barra

### ***Ancoraggi flessibili (lateralali e di monte) Barriera H=3.5 m – Resistenza alla pressione di impatto di 100 kN/m<sup>2</sup>***

#### Verifica della sezione di acciaio:

$$350 \text{ kN} \leq 400 \text{ kN} \quad [\text{soddisfatto}]$$

#### Verifica sfilamento acciaio – malta

$$L_1 \geq \frac{\gamma_M \cdot F_D}{s_{lat} \cdot \tau_{acciaio-malta}} = \frac{1.5 \cdot 350000}{\pi \cdot 38.1 \cdot 2.32} = 1891 \text{ mm}$$

---

### Verifica sfilamento malta di iniezione - substrato

$$L_2 \geq \frac{\gamma_R \cdot \xi_a \cdot F_D}{\pi \cdot D_s \cdot \tau_{\text{substrato-malta}}} = \frac{1.2 \cdot 1.8 \cdot 350000}{\pi \cdot 90 \cdot 0.4} = 6687 \text{ mm}$$

**Considerando il massimo valore tra le due verifiche ed approssimando all'unità superiore, la lunghezza degli ancoraggi di monte e laterali diviene pari a 7.0 m.**

## **Barre per la fondazione dei montanti**

### Verifica della sezione di acciaio:

$$200 \text{ kN} \leq 349 \text{ kN}$$

soddisfatta

### Verifica sfilamento acciaio-malta

$$L_1 \geq \frac{S_{\text{lat}} \cdot \tau_{\text{acciaio-malta}}}{\gamma_M \cdot F_D} = \frac{1.5 \cdot 200000}{\pi \cdot 38.1 \cdot 2.32} = 1080 \text{ mm}$$

### Verifica sfilamento malta di iniezione-substrato

$$L_2 \geq \frac{\gamma_R \cdot \xi_a \cdot F_D}{\pi \cdot D_s \cdot \tau_{\text{substrato-malta}}} = \frac{1.3 \cdot 1.7 \cdot 200000}{\pi \cdot 90 \cdot 0.4} = 3910 \text{ mm}$$

**Considerano la lunghezza massima tra le due verifiche ed approssimando all'unità superiore si ottiene una lunghezza delle barre sotto i montanti pari a 4.0 m.**

## **Conclusioni**

Alla luce dalle nuove Norme Tecniche, sono state verificate le sezioni di acciaio e le lunghezze di ancoraggio del sistema di fondazioni delle barriere contro le colate detritiche in oggetto. La scelta delle barriere suddette è motivata dal fatto che esse sono le uniche barriere testate in vera grandezza e appositamente studiate per questo tipo di fenomeno naturale.

Di seguito si illustra il riassunto dei risultati:

Barriera	Descrizione	Tipologia	Lunghezza [m]
FUNTANA MANNA H=3.5 m Res=100 kN/m <sup>2</sup>	Ancoraggio laterale	GA – 7016 / 400	7,00
	Ancoraggio monte		7,00
	Fondazione montanti	GEWI d=32 mm	4,00

**Tabella 1. Riepilogo della lunghezza degli ancoraggi**



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 5**

- **Verifica dimensionamento rete debris Funtana Manna**

VERIFICHE DI DIMENSIONAMENTO DELLA RETE DEBRIS – FUNTANA MANNA

Nome 502\_Tertenia  
progetto  
Data/Autore SRIA

Tipo e densità della colata detritica				
		Carichi 1	Carichi 2	Carichi 3
Tipo di colata detritica (granulare o colata di fango)	Tipo	granulare	colata di fango	caso senza carico
Densità del materiale della colata detritica	$\rho =$	2050	2000	kg/m <sup>3</sup>
Peso specifico del materiale della colata detritica	$\gamma =$	20.1	19.6	kN/m <sup>3</sup>
Contenuto di acqua	$W =$	0.36	0.39	-

Volume della colata detritica e numero di ondate				
		Carichi 1	Carichi 2	Carichi 3
Volume totale della colata detritica (incl. acqua)	$V_{tot} =$	1300	1300	m <sup>3</sup>
Numero di ondate	$N =$	1	1	
Volume di ogni ondata (medio)	$V_N =$	1,300	1,300	m <sup>3</sup>
Volume della prima ondata (consigliato)	$V_{N1,rec} =$	1,300	1,300	m <sup>3</sup>
Volume della prima ondata (scelto)	$V_{N1} =$	1300	1300	m <sup>3</sup>

Portata di picco				
		Carichi 1	Carichi 2	Carichi 3
Portata di picco (in acc. a Rickenmann)	$Q_{N,rec} =$	36.2	36.2	m <sup>3</sup> /s
Portata di picco (scelta)	$Q_p =$	5.6	5.6	m <sup>3</sup> /s

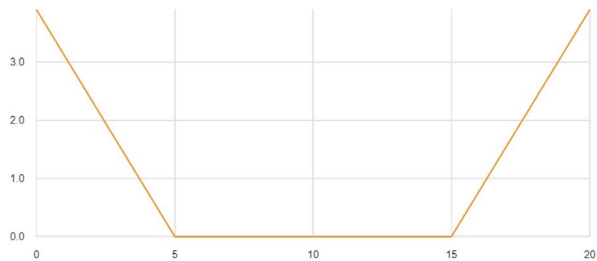
Fattore di sicurezza				
Fattore di sicurezza globale	$SF =$	1		-

Riepilogo dei risultati				
Sistema di protezione multilivello contro le colate detritiche	No.	Fattore di sicurezza	Verifica	Volume contenuto
GEOBRUGG UX100-H4	No. 1 Debris	2.12	verificato !	875.9 m <sup>3</sup>

Volume contenuto				
Volume contenuto totale	$V_{t,tot} =$	876	m <sup>3</sup>	
Volume contenuto richiesto	$V_{tot,max} =$	800	m <sup>3</sup>	
Differenza	$V_{r,reserve} =$	76	m <sup>3</sup>	
Verifica del volume contenuto		verificato !		
Verifica del sistema generale		verificato !		



Posizione della barriera no. 1			
Altezza sistema	$H_{0,1} =$	4	m
Larghezza dell'alveo a livello delle funi di supporto superiori	$b_{0,1} =$	20	m
Larghezza dell'alveo a livello delle funi di supporto inferiore	$b_{u,1} =$	10	m
Distanza dalla barriera successiva a monte	$L_{0,1} =$	500	m



Inclinazione dell'alveo e volume contenuto			
Altezza del sistema con la barriera riempita	$H_{1,1} =$	3.0	m
Inclinazione media dell'alveo a monte della barriera	$i_{s,1} =$	30	%
Inclinazione dei depositi della barriera riempita (in acc. a Rickenmann)	$i'_{s,1,rec} =$	20.0	%
Inclinazione dei depositi della barriera riempita (scelta)	$i'_{s,1} =$	22	%
Angolo tra la rete ad anelli e l'alveo del fiume		78.3	°
Lunghezza del materiale depositato dietro la barriera	$L_1 =$	39.8	m
Volume contenuto	$V_{c,1} =$	875.9	m <sup>3</sup>

Velocità del fronte e altezza del flusso				
		Carichi 1	Carichi 2	Carichi 3
Velocità del fronte (in acc. a Rickenmann)	$v_{1,base} =$	3.0	3.0	m/s
Velocità del fronte in accordo a Strickler ( $v_1 > v_{str}$ )	$v_{str} =$	2.3	2.3	m/s
Velocità di impatto sulla barriera (scelta, massimo valore- $v$ )	$v_1 =$	3	1.8	m/s
Altezza di flusso	$h_{0,1} =$	0.2	0.3	m
Massima altezza di apertura dalla base dell'alveo raccomandata (in acc. a Wendeler)	$h_{d,1} =$	0.1		m

Sistema di protezione contro le colate detritiche flessibile e permeabile			
Tipo di sistema	Tipo	GEOBRUGG UX100-H4	
Altezza massima del sistema	$H_{0,max} =$	4	m
Larghezza massima del sistema in sommità	$b_{0,max} =$	25	m
Larghezza massima del sistema alla base	$b_{d,max} =$	10	m
Verifica dell'altezza e della larghezza del sistema		verificato!	

Verifica del massimo carico dinamico (arresto)

		Carichi 1	Carichi 2	Carichi 3
Fattore di larghezza (larghezza della barriera rispetto alla larghezza standard)	$BF_1 =$	0.86		
Carico dinamico (Pressione e impulso in acc. a Wendeler)	$MD_{dyn,1} =$	7	3	$\text{kN/m} \cdot h_n$
Resistenza contro il carico dinamico	$RD_{dyn,1} =$	22	36	$\text{kN/m} \cdot h_n$
Fattore di sicurezza	$SF_{dyn,1} =$	3.01	12.24	
Verifica del massimo carico dinamico		verificato !	verificato !	

Verifica del massimo carico statico (straripamento)

		Carichi 1	Carichi 2	Carichi 3
Fattore di riduzione della pressione idrostatica (Permeabilità)	$HF =$	1.0		
Carico statico (pressione idrostatica in acc. a Wendeler)	$MD_{stat,1} =$	54	55	$\text{kN/m}^2$
Resistenza contro il carico statico	$RD_{stat,1} =$	117	117	$\text{kN/m}^2$
Fattore di sicurezza	$SF_{stat,1} =$	2.16	2.12	
Verifica del massimo carico statico		verificato !	verificato !	
Verifica barriera 1				verificato !