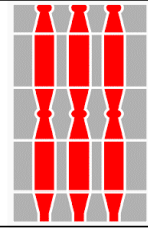




Comune di San Venanzo
Regione Umbria



**Finanziato
dall'Unione europea**
NextGenerationEU

"Interventi per la resilienza, la valorizzazione del territorio e l'efficienza energetica dei comuni – M2C4 – Investimento 2.2" nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), approvato con decisione del Consiglio ECOFIN del 13 luglio e notificato all'Italia dal Segretario generale del Consiglio, con nota del 14/07/2021.

Progetto Esecutivo per Opera Pubblica

**INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO
NELL'AREA A RISCHIO R4 DI ROTECASTELLO DEL COMUNE DI SAN VENANZO.
CUP E24H20000600001 – CIG 9179751A29**

**FASCIA DI INFLUENZA N°1 CON IL CENTRO STORICO
CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE DELLE MURA STORICHE DI SOSTEGNO E
CONTENIMENTO DELL'APPARATO GEOLOGICO – DA PROGETTO DI FATTIBILITÀ
TECNICO ECONOMICA DELIBERA G.C. 15.03.2021**

PROGETTO ESECUTIVO – PRIMO STRALCIO

Il Mandatario del RTP incaricato:
Ing. Arch. Massimo Mariani

Il Mandante del RTP incaricato:
Geol. Simone Zucconi

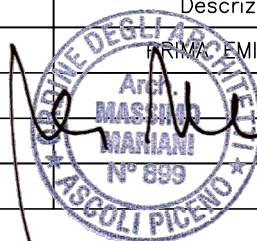
Il Mandante del RTP incaricato:
Geom. Norberto Magnanini



Titolo elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

Rev.	Data	Descrizione	ELABORATO
0	GIUGNO 2023	PRIMA EMISSIONE	
1			04/01
2			
3			



SOMMARIO

*Servizi di ingegneria ed architettura per progettazione definitiva ed esecutiva - direzione lavori – contabilità – accertamento regolare esecuzione per "interventi di mitigazione del dissesto idrogeologico nell'area a rischio R4 di Rotecastello" del comune di San Venanzo – finanziato con fondi PNRR.
CUP E24H20000600001 - CIG 9179751A29*

Comune di San Venanzo (TR)
Piazza Roma, 22 – 05010 San Venanzo (TR)
Tel. 075 875123 – 075 875386
info@comune.sanvenanzo.tr.it
PEC: comune.sanvenanzo@postacert.umbria.it
Partita IVA e Codice Fiscale: 00185990553

1	PREMESSA	1
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	2
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	3
3.1	GEOLOGIA E TETTONICA	3
3.2	GEOMORFOLOGIA ED IDROGEOLOGIA	6
3.3	DESCRIZIONE DEI DISSESTI INDIVIDUATI.....	9
4	VALUTAZIONE AREALE DEL RISCHIO.....	11
5	MODELLAZIONE GEOLOGICA LOCALE	16
5.1	INDAGINI GEOLOGICHE ESEGUITE.....	16
5.1.1	SONDAGGI GEOGNOSTICI	16
5.1.2	INDAGINI GEOFISICHE	17
5.1.3	INDAGINI GEOELETTRICHE	19
5.1.4	PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO	20
5.2	RILEVAMENTO GEOSTRUTTURALE E CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI NELL'AREA A RISCHIO DI FRANA VELOCE.....	21
5.2.1	RILEVAMENTO GEOSTRUTTURALE.....	22
5.2.2	CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI.....	25
5.2.3	VERIFICA DI STABILITÀ DEI CUNEI ROCCIOSI	35
6	RICOSTRUZIONE DELLA STRATIGRAFIA LOCALE	39
7	CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA.....	40
8	DEFINIZIONE DEGLI EVENTI SISMICI DI RIFERIMENTO E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	41
8.1	SISMICITÀ STORICA.....	41

Sommario

8.2 PERICOLOSITÀ DI BASE.....	44
9 CARATTERIZZAZIONE SISMICA LOCALE.....	49
10 TERRE E ROCCE DA SCAVO.....	52
11 CONCLUSIONI.....	54

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

1 PREMESSA

Il sottoscritto Dott. Geol. Simone Zucconi ha effettuato il presente studio specialistico in qualità di Tecnico Geologo Mandante del RTP incaricato dal Comune di San Venanzo (Mandatario Ing. Arch. Massimo Mariani) con determinazione n. 285 del 28/09/2022 del Responsabile del Servizio Lavori Pubblici per l'esecuzione dei servizi di ingegneria ed architettura per progettazione definitiva ed esecutiva - direzione lavori - contabilità - accertamento regolare esecuzione per "interventi di mitigazione del dissesto idrogeologico nell'area a rischio R4 di Rotecastello" del comune di San Venanzo – Fondi PNRR Next Generation EU relativi alla Missione M2C4 - Tutela del Territorio e della Risorsa Idrica – Inv. 2.2. Codice CUP E24H20000600001 - CIG 9179751A29.

Visto lo studio di fattibilità tecnico-economica redatto dallo scrivente nell'anno 2021 (approvato in linea tecnica con Deliberazione della G.C. n. 26 del 15-03-2021), va precisato che il contributo assegnato sarà impegnato per lavorazioni afferenti al 1° Stralcio Funzionale dei n. 4 previsti.

La frazione di Rotecastello risulta essere stata censita come Abitato Potenzialmente Instabile dal *Progetto S.C.A.I. (Studio dei Centri Abitati Instabili in Umbria, 1994)*, così come riportato dalla *Carta dell'Inventario dei Movimenti Franosi e dei Siti Storicamente Colpiti da Dissesto e Inondazioni – P.U.T. Regione Umbria*.

I versanti Ovest, Nord e Est del centro abitato di Rotecastello sono stati quindi inseriti in area a rischio R4 dal *Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere (2002)*.

La presente consulenza geologica si rende necessaria per l'approfondimento delle criticità idrogeologiche esistenti e censite, quindi utile per l'adozione degli accorgimenti da adottare nelle fasi progettuali.

A tale scopo è stato espletato il presente studio geologico, per mezzo del quale sono state individuate e ricostruite le condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche di base della zona in esame.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame è situata in località Rotecastello, il cui centro abitato è una frazione del comune di San Venanzo (TR) dal quale risulta essere distante in linea d'aria circa 2,5 Km più a NE.

L'abitato è collocato in adiacenza alla Strada Provinciale n° 61 “San Venanzo-Fratta Todina”, tracciato censito come rilevante ai fini del piano di emergenza provinciale di protezione civile per rischio sismico (v. Immagine n° 1):



1. Piano di emergenza provinciale - Rischio sismico (Assessorato alla Protezione Civile - Ufficio Protezione Civile - Provincia di Terni).

L'area è individuabile nella seguente cartografia (v. Allegati):

- Carta Topografica d'Italia del' *I.G.M.*, stralcio con sovrapposizione della Carta Vincolo Idrogeologico (*R.D. 30 dicembre 1923, n. 3267*) messa a disposizione dalla *Regione Umbria (Piano Urbanistico Territoriale L.R. N.27/2000 e s.m.i.)*;
- Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 della *Regione Umbria*, stralcio Sezione n° 322.120 “San Venanzo”;
- Carta Tecnica Regionale della *Regione Umbria* alla scala 1:5.000, stralcio Sezione n° 322.121 “Rotecastello”;
- Mappa Catastale del *comune di San Venanzo*, stralcio Foglio n° 54.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 GEOLOGIA E TETTONICA

La zona in oggetto risulta essere soggetta a Vincolo Idrogeologico ai sensi del *Regio Decreto n. 3267/23*, così come riportato dalla Carta dell'Inventario dei Movimenti Franosi e dei Siti Storicamente Colpiti da Dissesto e Inondazioni – *P.U.T. Regione Umbria e nel P.R.G. di San Venanzo (v. Allegati)*.

L'area in esame è individuabile nella carta geologica implementata sulla C.T.R. della *Regione Umbria*, Sezione n° 322.120 “San Venanzo”, rilevatore *Dott. Gianluigi Rosatelli (v. Allegati)*.

Il territorio comunale di San Venanzo è stato interessato da due successive fasi tettoniche, una prima a carattere compressivo e una seconda di tipo distensivo.

La fase compressiva (Tortoniano) è relativa all'accavallamento delle successioni affini a quelle del Dominio Toscano, “*Insieme varicolore*” (Eocene inf.-Cattiano inf.), su quelle di Dominio Umbro, rappresentate nell'area in questione dall'orizzonte del Bisciario.

Per le sensibili variazioni di spessore, di facies e di età, sono distinguibili una successione Toscana interna ed una esterna, di transizione al Dominio Umbro.

La formazione delle Argille Varicolori, (Eocene inf.-Oligocene sup.), appartiene, secondo vari autori, alla successione Toscana periferica interna e costituisce la base delle unità silicoclastiche Toscane sovrascorse sulla successione Umbra. L'età di questa formazione diminuisce progressivamente spostandoci da Ovest verso Est, questo indica probabilmente una migrazione verso E del depocentro del bacino di sedimentazione. La particolare geometria, unitamente all'estrema difficoltà di proporre datazioni relative accurate, ha determinato interpretazioni difformi (e tra loro contrastanti) circa il significato geologico. A tal riguardo si segnalano due modelli alternativi:

- l'elaborazione della Carta Geologica d'Italia (*A. Jacobacci et alii, 1970*), ha utilizzato un modello che ritiene che i “sedimenti policromi” costituiscano lenti di variabile potenza ed estensione, depositi episodicamente entro il “Macigno”;
- il secondo modello prevede gli “Scisti varicolore” stratigraficamente alla base del “Macigno” e che l'attuale assetto strutturale sia imposto da una tettonica compressiva, responsabile di sovrascorrimenti e quindi ripetizioni della successione stratigrafica (*P. Pazzini, 1959; M. Nocchi, 1961*).

Studi recenti hanno avvalorato la seconda ipotesi, che ben si inquadra nell'ambito dell'orogenesi appenninica (*A. Boscherini et alii, 1982; A.V. Damiani et alii, 1983, 1987, 1991; A.V. DAMiani & L. Pannuzi, 1985*).

Il campo di sforzi compressivo è inoltre evidenziato da strutture plicative (anticlinali e sinclinali) quale ad esempio la struttura geologica anticlinalica del Monte Peglia; lungo di essa si trovano affioranti, in finestra tettonica, unità carbonatiche cretaco-aquitaniane ed unità silico-clastiche burdigaliane della successione umbro-marchigiana, sovrascorse dalle unità silico-clastiche di età eocenico-oligocenica del dominio toscano erose in corrispondenza della struttura. Il campo di sforzi compressivo è inoltre testimoniato dall'esistenza di numerosi litons, vene calcitiche e piccole pieghe a chevron all'interno della Scaglia Variegata, Scaglia Cinerea e Bisciaro, oltre che ai frequenti strati ondulati presenti in tutto lo spessore della Scaglia Rossa.

Successiva alla precedente è la fase tettonica estensionale che ha condizionato l'attuale assetto generale della zona in oggetto (*C. Cattuto et alii, 1979*). Quest'ultima è rappresentata da un sistema di faglie dirette principali (fine Tortoniano) che si manifestano secondo due diverse direttrici (*A. Jacobacci et alii, 1970*). La prima direttrice è riferita ad una serie di faglie dirette con andamento appenninico che bordano la dorsale Monte Peglia - Monte S. Vito, mettendo in contatto sedimenti di età eocenica e miocenica con quelli di età cretacea. La stessa direttrice, alla quale è tra l'altro riconducibile l'apparato vulcanico di San Venanzo, ha dato inoltre origine a una serie di dislocazioni orientate NE-SW. La seconda direttrice, più recente, ha un andamento trasversale rispetto alla prima ed ha interessato gli stessi depositi continentali. L'attuale andamento del reticolo idrografico ricalca la direzione dell'ultima direttrice.

Tale sistema permette di individuare, ad Est della zona in cui i due diversi allineamenti di faglie si intercettano, un'area più ribassata.

Il sollevamento generale di questo territorio e di gran parte dell'Italia centrale (*P. Ambrosetti et alii, 1982*) e l'attività di faglie ad andamento appenninico hanno condizionato la geometria dei bacini lacustri di questa regione (Lago Tiberino) probabilmente fin dal Pliocene, ma i depositi più antichi rilevati sono stati attribuiti al Pleistocene inferiore.

Localmente, l'area oggetto di studio è caratterizzata dall'affioramento di banchi calcarenitici di spessore variabile, intercalati a strati marnosi ed argillosi di spessore non superiore ai 30 centimetri.

Tale successione stratigrafica è propria della Formazione della Scaglia Toscana ed in particolare della porzione inferiore della Litofacies di Poggioni (acronimo "STO4b"), ove a prevalere sono proprio gli strati calcarenitici.

Il rilevamento geologico ha evidenziato come il generale assetto geologico strutturale è riconducibile ad una struttura monoclinale immergente a Nord con una generale immersione della stratificazione verso Nord (da N15 a N350) con valori delle inclinazioni variabili tra 15 e 30 gradi; tuttavia è possibile misurare localmente giaciture con immersione opposta, talora contorte od ondulate, a testimonianza dell'intensa tettonizzazione subita dall'ammasso roccioso. Nei tratti di versante dove affiorano i banchi calcarenitici di maggior spessore è chiaramente visibile l'intensa fatturazione dei litotipi.

Nella porzione mediana ed inferiore del versante è possibile rilevate la presenza di deboli coltri detritiche di natura eluvio-colluviale.

Un'analisi fotogeologica del versante in esame ha evidenziato la presenza di chiare lineazioni tettoniche con andamento NS, alcune probabilmente connesse al contatto tra le formazioni dello Schlier e quella alloctona della Scaglia Toscana, altre interpretabili come dislocazioni distensive.

La consultazione della banca dati sulle faglie attive e capaci (FAC) e di quelle potenzialmente attive e capaci (FPAC) (*Servizio Geologico d'Italia – ISPRA*), anche in riferimento allo schema tettonico sopra descritto ed al *Database of Individual Seismogenetic Sources (DISS)*, comunque esclude che nell'area di studio siano presenti elementi disgiuntivi attivi e capaci o potenzialmente attivi e capaci (per approfondimenti v. Capitolo n° 6).

3.2 GEOMORFOLOGIA ED IDROGEOLOGIA

L'area in esame è individuabile nella carta geomorfologica implementata sulla C.T.R. della Regione Umbria, Sezione n° 322.120 "San Venanzo", rilevatore Dott. Gianluigi Rosatelli (*v. Allegati*).

La stabilità dell'area è valutabile dalla consultazione delle cartografie tematiche di riferimento (*v. Allegati*) e nello specifico:

- Progetto Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (I.F.F.I.) dell'*Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (I.S.P.R.A.)*;
- P.A.I. (Piano Assetto Idrogeologico) dell'*Autorità di Bacino del Fiume Tevere*, Carta inventario dei fenomeni franosi e rischio frana, Tavola n° 196 (anno 2002).

Il territorio del comune di San Venanzo ha un'estensione di circa 169 km² ed ha un aspetto generale di tipo collinare. Si distinguono due principali dorsali collinari: la più estesa ed elevata ha inizio con il rilievo del Monte Peglia e prosegue verso nord con i rilievi di Poggio Montanara, Poggio della Croce e Monte S. Vito culminando, in provincia di Perugia, con il rilievo di Monte Vergnano. Parallelamente a tale struttura, in posizione più orientale, è presente una seconda dorsale collinare, a quota più bassa, che ha origine nella località Civitella dei Conti e prosegue verso sud con i rilievi di Collelungo e Montecastello di Vibio. Da queste due principali strutture si generano una serie di rilievi collinari a prevalente sviluppo E-W, in una delle quali è localizzato il capoluogo comunale. I centri abitati compresi nel territorio comunale sono tutti localizzati lungo il crinale delle dorsali.

Tali strutture sono caratterizzate da creste strette ed allungate, versanti mediamente acclivi (con pendenze dipendenti dalle caratteristiche meccaniche delle formazioni affioranti e dall'evoluzione geomorfologia locale) e fondo valli stretti ed incisi. Nelle aree dove è prevalente la componente marnosa si osserva un reticolo di tipo dendritico, mentre nelle fasce a prevalente litologia calcarea il reticolo assume un aspetto rettangolare. Solo in prossimità della pianura alluvionale del Fiume Nestore o in corrispondenza di limitate depressioni tettoniche, si riscontra la presenza di aree pianeggianti di una certa estensione. Come accennato nel paragrafo precedente, il reticolo idrografico è condizionato dalla presenza di lineazioni riferibili all'ultima fase tettonica a carattere distensivo.

Le pendenze dei versanti sono mediamente comprese tra i 15 e i 30 gradi, con massimi che possono raggiungere e superare i 50 gradi di inclinazione in presenza di pareti rocciose prodotte da dislocazioni tettoniche, da incisioni torrentizie e da erosioni di sponda.

L'area di studio è caratterizzata da un colle isolato posto alla base del versante orientale di Poggio del Cerreto, ad una quota di 358 metri s.l.m. Il rilievo in oggetto presenta versanti acclivi con pendenze elevate (maggiori di 40°) nei settori settentrionale, orientale e meridionale dove sono presenti alcune pareti rocciose sub verticali. Il lato occidentale, su cui è posta l'unica via di accesso al paese, ha pendenze notevolmente inferiori e si congiunge tramite un crinale blandamente inclinato al versante orientale di Poggio del Cerreto.

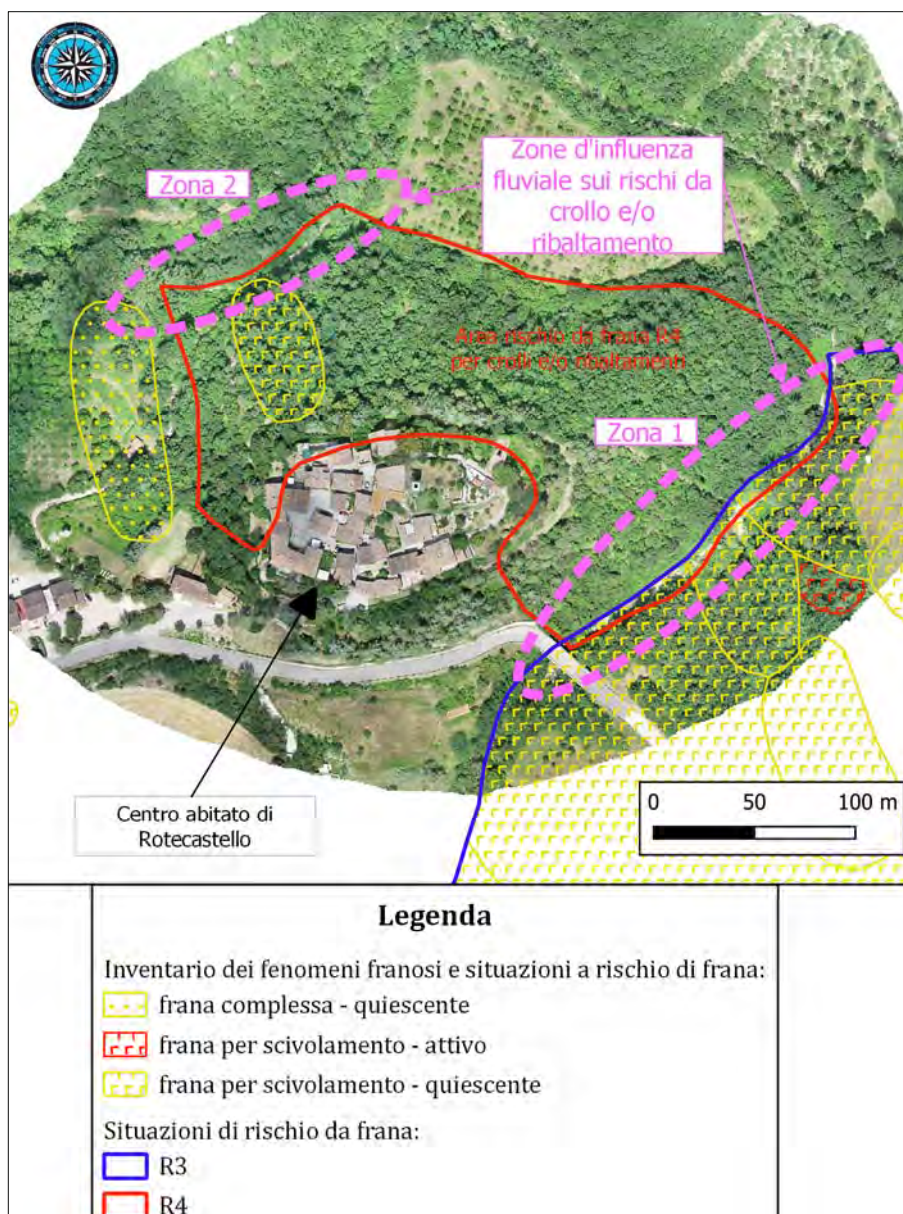
I sopralluoghi hanno permesso di riscontrare la presenza di crolli di materiale lapideo sia dagli affioramenti rocciosi immediatamente a valle della cinta muraria che il crollo di porzioni dell'antica e storica cinta muraria. Sono altresì confermati i n° 3 fenomeni franosi in stato di quiescenza indicati nella cartografia P.A.I., che interessano la porzione mediana ed inferiore del versante NW del colle di Rotecastello.

Dal punto di vista idrografico, l'area in oggetto ricade nell'Unità territoriale "Nestore", sottobacino idrografico n° 3 "Nestore e Trasimeno" (*Carta degli Ambiti Territoriali Omogenei e dei Sottobacini Idrografici del fiume Tevere - P.U.T. Regione Umbria*).

Dato lo sviluppo altimetrico del rilievo rispetto al fondovalle, il reticolo idrografico è definito da linee d'impluvio che drenano rapidamente le acque superficiali nel sottostante Torrente Calvana.

Vista la particolare configurazione morfologica, si esclude la possibilità che si verifichino allagamenti del centro abitato; tale conformazione tuttavia potrebbe favorire fenomeni d'instabilità dei versanti posti in sinistra idrografica, ovvero tra lo stesso alveo fluviale e l'abitato della frazione di Rotecastello.

Le zone ritenute d'interesse idraulico riguardano due tratti fluviali, laddove il naturale deflusso delle acque del Torrente Calvana tende inevitabilmente ad interferire con la stabilità dei versanti prospicienti allo stesso corso d'acqua (v. Immagine n° 2).



2. Ortofotocarta ad alta definizione dell'area di progetto (da rilievo S.A.P.R.) con sovrapposizione dell'Inventario dei fenomeni franosi e situazioni a rischio di frana (P.A.I. Autorità di Bacino del Fiume Tevere)

Tale occorrenza dovrà essere attentamente valutata con studi idrologici ed idraulici dedicati.

Dal punto di vista delle acque sotterranee, l'area in oggetto non rientra all'interno di un acquifero di rilevante interesse regionale (*Carta degli Ambiti di Rilevante Interesse Regionale e Punti di Approvvigionamento Idrico della Rete Acquedottistica Regionale - P.U.T. Regione Umbria*).

Le facies in affioramento sono state assegnate al Complesso Idrogeologico delle Successioni torbiditiche prevalentemente marnose (*Carta Idrogeologica della Regione Umbria - Regione Umbria*). Di fatto, le litologie in affioramento risultano essere

prevalentemente di tipo calcarenitico e quindi considerabili a medio-alta permeabilità. Di fatto, in tali depositi è residente una circolazione idrica costante e sostenuta.

Le intercalazioni marnose ed argillose agli strati prima detti, fungono in genere da battenti e guida per modeste venute d'acqua e/o stillicidi, le quali si manifestano in superficie attraverso le numerose fratturazioni che caratterizzano l'ammasso roccioso o nella porzione mediana ed inferiore del versante ove insistono deboli coltri detritiche di natura eluvio-colluviale.

3.3 DESCRIZIONE DEI DISSESTI INDIVIDUATI

La carta inventario dei movimenti franosi contenuta nel P.A.I., riporta nell'area di Rotecastello, crolli di blocchi di roccia, locali scorrimenti superficiali e colate di medio-piccole dimensioni. Accumuli lapidei derivanti da crolli sono diffusi lungo tutti i versanti del colle sui cui sorge l'abitato di Rotecastello; alcuni di questi crolli sono avvenuti a più riprese nel passato ed hanno coinvolto la strada presente alla base delle antica cinta muraria ed anche un breve tratto della Strada Provinciale n. 61 posta lungo la porzione inferiore del versante meridionale del rilievo collinare.

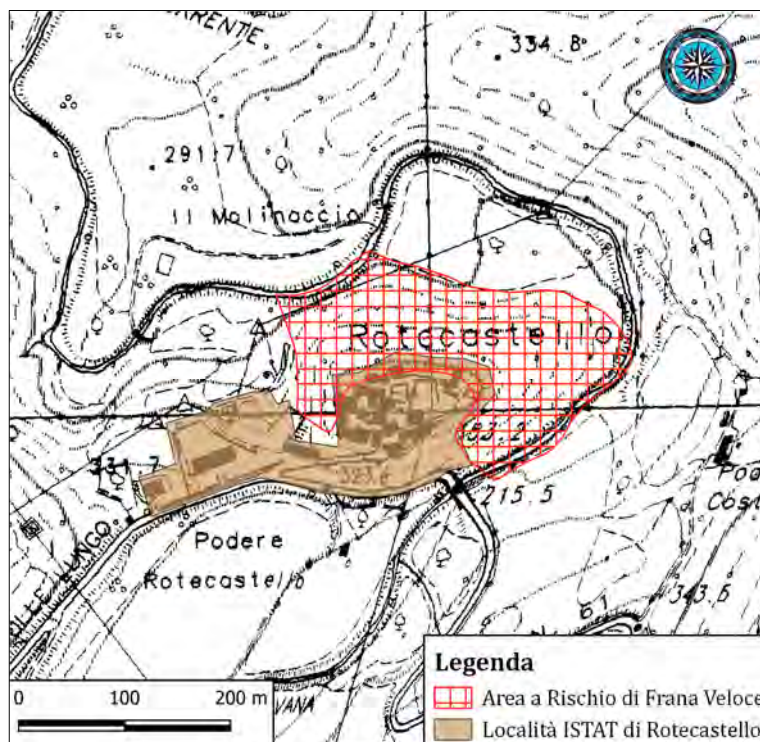
Scorrimenti superficiali di piccole e medie dimensioni sono riscontrabili lungo il versante nord-occidentale ed interessano le porzioni mediane ed inferiori del versante. La distribuzione degli scorrimenti mette in luce come la maggior parte dei dissesti coinvolga le coperture detritiche costituite sia dai blocchi lapidei provenienti dalla porzione superiore del versante sia dall'alterazione delle intercalazioni marnose della Formazione della Scaglia Toscana

Tali informazioni sono state già segnalate nel volume *Studio dei Centri Abitati Instabili dell'Umbria (Progetto SCAI, 1994)* edito dalla *Regione dell'Umbria*, e chiaramente segnalati, descritti e perimetrati nel PAI, redatto dall'*Autorità di Bacino del Fiume Tevere*.

A seguito del rilevamento geologico di superficie, si è evidenziato che le possibili sorgenti dalle quali possono originarsi pericoli per il centro abitato di Rotecastello sono distinguibili con due distinte tipologie:

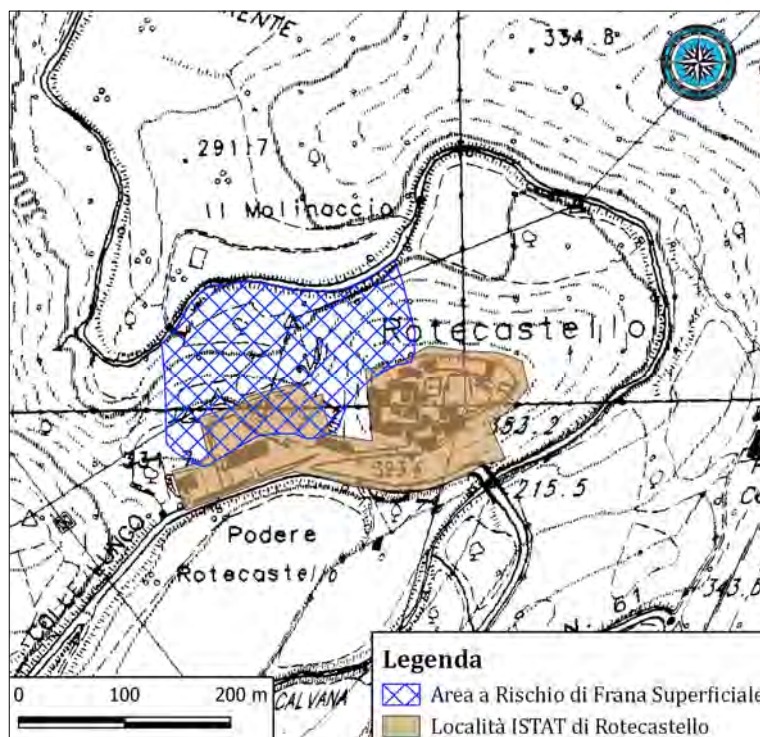
1. movimenti veloci di tipo crollo (v. Immagine n° 3), i quali attualmente coinvolgono:
 - 1.1. l'antica cinta muraria dell'abitato di Rotecastello che in alcuni tratti risulta instabile e/o crollata;
 - 1.2. affioramenti rocciosi immediatamente sottostanti la cinta muraria o localizzati lungo il tratto superiore e mediano dei versanti ispezionati;

1.3. alcuni muri a secco posti lungo il versante ed attualmente in precarie condizioni statiche.



3. Individuazione su CTR 10.000 dell'Area a Rischio di Frana Veloce.

2. frane superficiali in stato di cinematiso sia roto-traslattivo che complesso (*v. Immagine n° 4*), i quali attualmente risultano in stato di quiescenza.



4. Individuazione su CTR 10.000 dell'Area a Rischio di Frana Superficiale.

4 VALUTAZIONE AREALE DEL RISCHIO

La definizione della pericolosità è propedeutica alla valutazione del rischio secondo la nota formula:

$$R = P \times V, \text{ dove:}$$

il rischio R è il prodotto della pericolosità P e della vulnerabilità V.

La vulnerabilità misura il grado di perdita per un elemento o un insieme di elementi a rischio determinato dall'occorrenza di un fenomeno naturale di una certa intensità (Varnes e IAEG, 1984).

Per tale motivo "l'equazione del rischio" si trova spesso indicata come:

$$R = P \times V \times E.$$

Nei capitoli precedenti è stata definita la severità geometrica e meccanica dei fenomeni gravitativi potenzialmente distruttivi (cfr. Intensità o Magnitudo) che possono interessare l'abitato di Rotecastello.

Su tali aree, in considerazione della scala relativamente "piccola", è possibile associare percentuali di danno ad aree omogenee in funzione dell'uso del suolo, oltre che considerare l'intensità dei fenomeni e le tipologie di elementi a rischio.

In tale ottica è stata quindi innanzi tutto definita una carta dell'uso del suolo, integrando i dati messi a disposizione dall'I.S.P.R.A. (Corine Land Cover di 4° livello del 2018), dall'ISTAT (Sezioni Censuarie sui centri abitati, 2011), dal P.R.G. di San Venanzo.

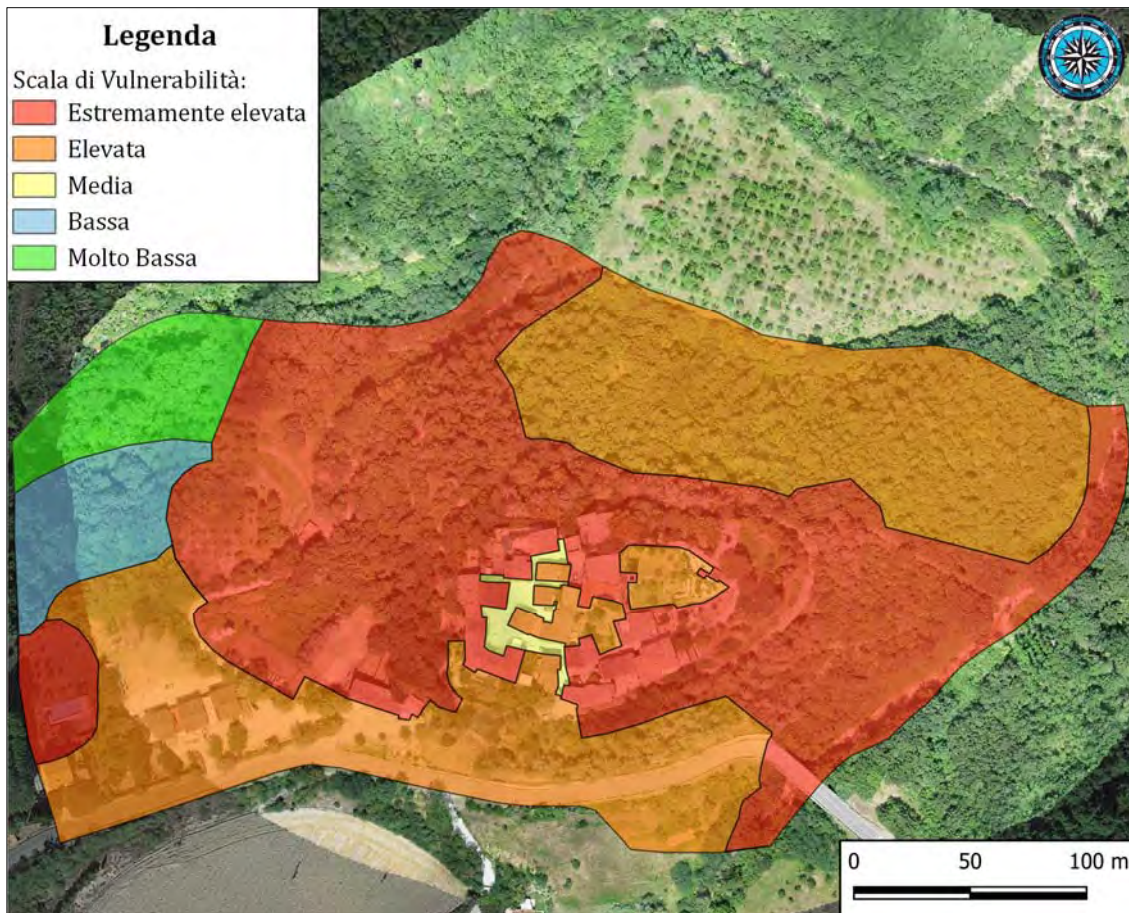
I sopralluoghi, i rilievi e le relative elaborazioni hanno inoltre permesso di determinare la potenziale influenza delle instabilità sui beni e le infrastrutture presenti.

Dalla sovrapposizione dei dati geologici raccolti, compresi quelli di tipo geomorfologico quali le pendenze e l'esposizione dei versanti, con quelli di uso del suolo, innanzi tutto è stata quindi determinata in via qualitativa una scala di vulnerabilità applicata alla zona indagata.

La scala di vulnerabilità utilizzata è la seguente:

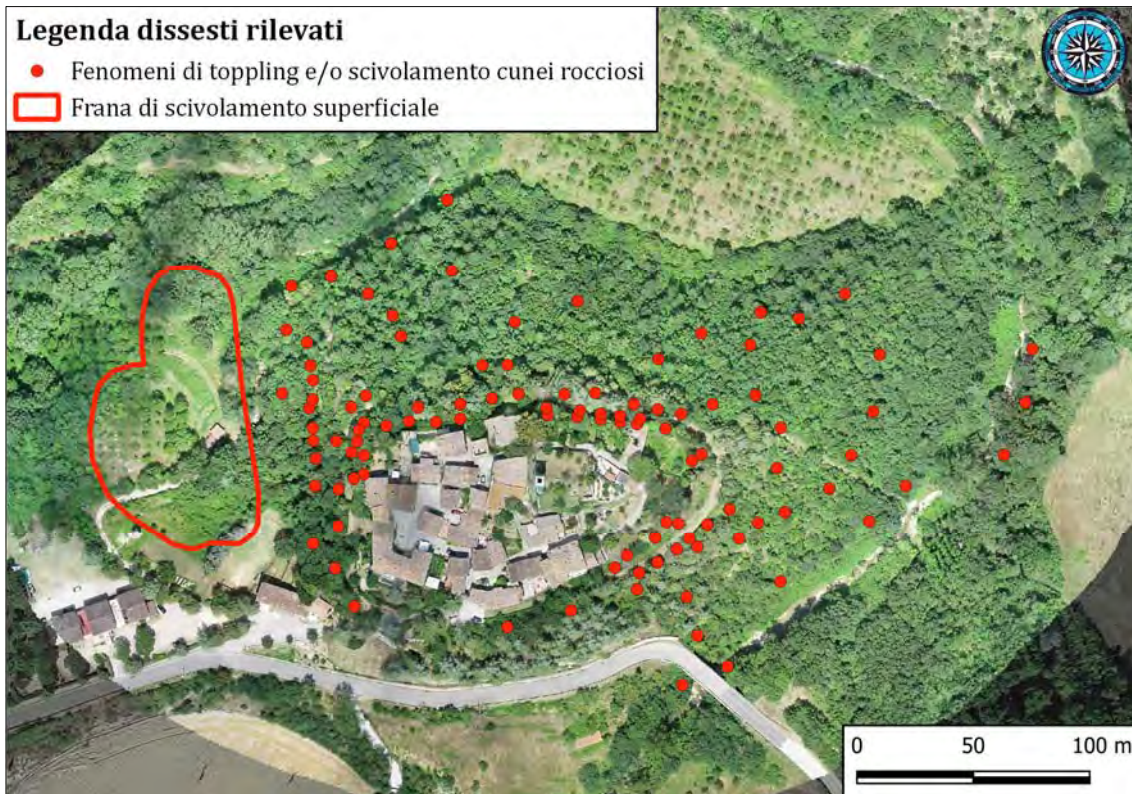
- estremamente elevata;
- elevata;
- media;
- bassa;
- molto bassa.

Di seguito viene quindi proposta una rappresentazione cartografica (v Immagine n° 5).



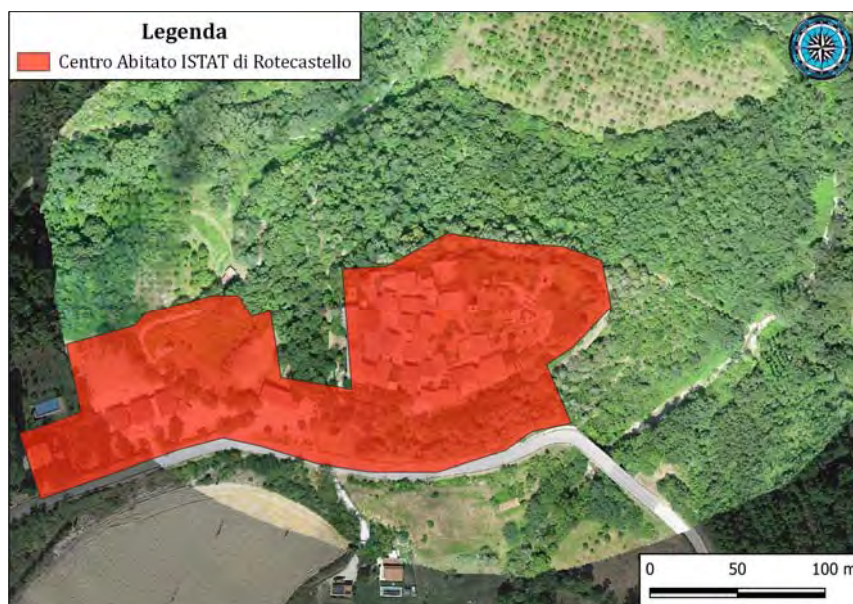
5. Carta di vulnerabilità dell'area indagata

I dissesti attualmente osservabili, sono stati mappati in una specifica carta (v Immagine n° 6).

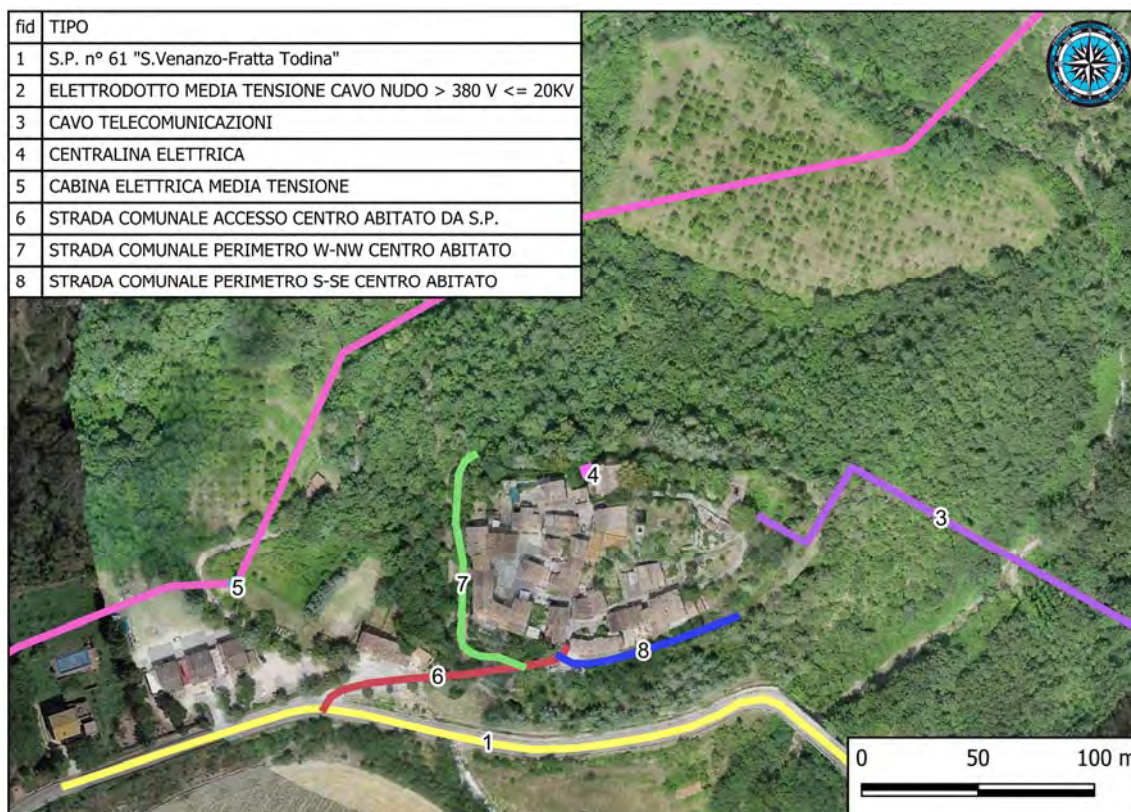


6. Carta dei dissesti rilevati (i fenomeni su roccia vengono riportati in modo puntuale in quanto non cartografabili in modo poligonale)

Alle informazioni raccolte e prima espone sono state quindi sovrapposti gli elementi a rischio (v Immagini n° 7 e 8).



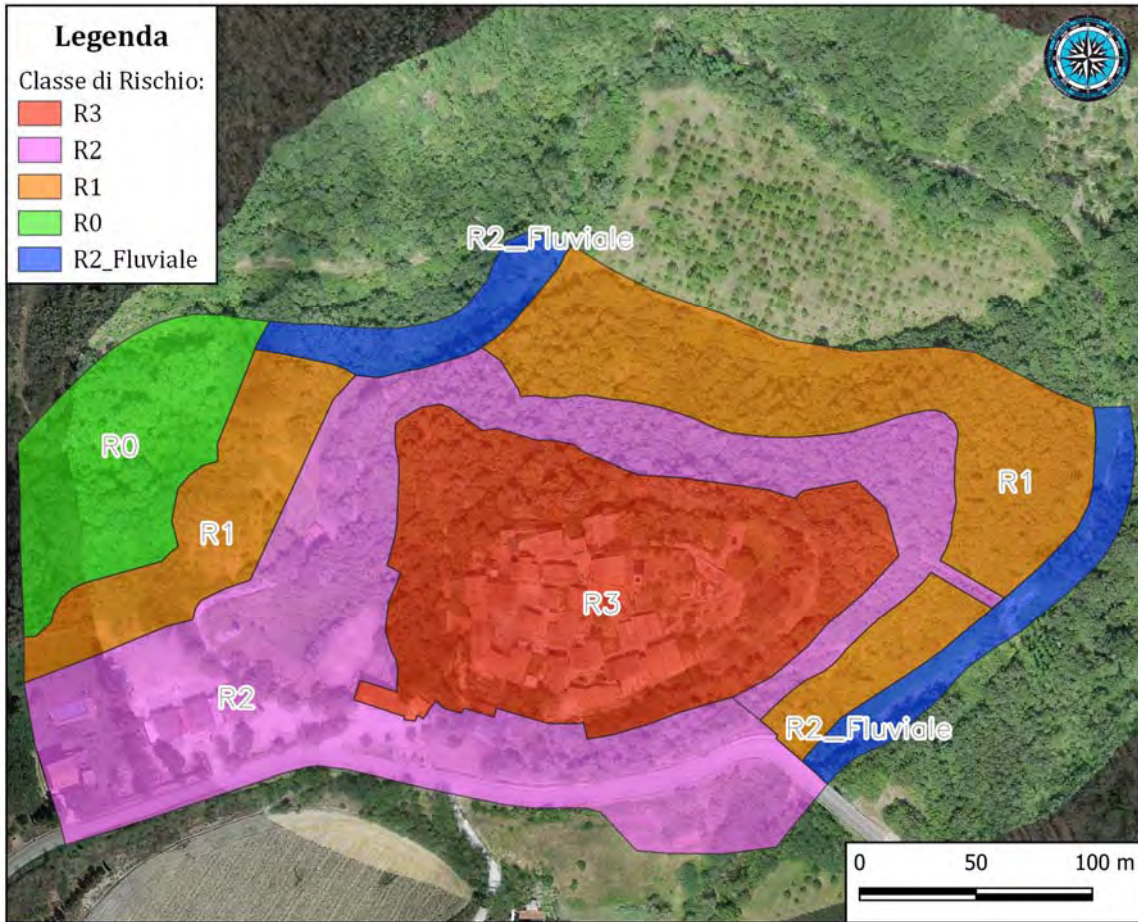
7. Mappatura del centro abitato di Rotecastello (poligono vettoriale ISTAT)



8. Infrastrutture sensibili rintracciate nell'area di studio

A questo punto è stato possibile definire il "rischio", ovvero il danno atteso per la pericolosità, il quale è stato quantitativamente suddiviso nelle seguenti classi (v Immagine n° 9):

- R0 → Basso o Nullo = Rischio trascurabile;
- R1 → Moderato = Rischio socialmente tollerabile; non sono necessarie attività di prevenzione;
- R2 → Alto = Rischio non socialmente tollerabile; sono necessarie attività di prevenzione;
- R3 → Molto Alto = Rischio di catastrofe; sono necessarie attività di prevenzione con assoluta priorità.



9. Infrastrutture sensibili rintracciate nell'area di studio (ISTAT)

In riferimento alla classe "R2_fluviale" va specificato che tali zone, pur nella considerazione di assenza locale di infrastrutture sensibili, sono inserite in tale classe tenendo conto di eventuali effetti che potrebbero generarsi dopo frane in alveo e che andrebbero a ripercuotersi inevitabilmente anche sulle infrastrutture poste più a valle rispetto a quelle della zona oggetto di studio (cfr. effetto sbarramento).

5 MODELLAZIONE GEOLOGICA LOCALE

Il primo stralcio funzionale prevede interventi di presidio alle instabilità dei pendii relativi alla fascia d'influenza n° 1 con il centro storico, ovvero:

- consolidamento strutturale delle mura storiche di sostegno e contenimento dell'apparato geologico;
- consolidamento dei versanti con pannelli in rete e/o implementazione di opere di sostegno del tipo gabbioni rinverdibili.

La modellazione geologica dei litotipi presenti nell'area in esame è stata operata quindi in funzione di tali lavorazioni e mediante l'incrocio di informazioni bibliografiche, dati conseguiti da una campagna di indagini geologiche in sito e di laboratorio geotecnico ed informazioni provenienti da un rilevamento geologico-geostrutturale.

5.1 INDAGINI GEOLOGICHE ESEGUITE

Il piano delle indagini geologiche da eseguire è stato proposto alla Stazione Appaltante dallo scrivente in qualità di Mandante del RTP incaricato.

Per l'esecuzione delle prove, il comune di San Venanzo con determinazione n. 375 del 14/12/2022 del Responsabile del Servizio Lavori Pubblici ha incaricato la ditta *Terra Snc* con sede in via V. Veneto 48 – 06055 Papiano di Marsciano (PG).

5.1.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI

I sondaggi geognostici eseguiti in data 16-18/01/2023 sono stati n° 3 (per l'ubicazione v. Allegati). Le perforazioni sono avvenute a carotaggio continuo e fino alle seguenti profondità.

1. S1 spinto fino alla profondità di m. 10,80 dal p.c. (lat. 42,8798 - long. 12,2947);
2. S2 spinto fino alla profondità di m. 10,00 dal p.c. (lat. 42,8791 - long. 12,2935);
3. S3 spinto fino alla profondità di m. 9,30 dal p.c. (lat. 42,8792 - long. 12,2938).

Nel corso delle attività di perforazione sono state eseguite delle prove penetrometriche dinamiche (SPT) in foro di sondaggio, le cui caratteristiche strumentali di seguito vengono riferite:

STANDARD PENETRATION TEST AGI 1977	
MODALITA' PROVE	
Data	16-18.01.2023
Perforazione	Carotaggio continuo
Diametro foro (mm)	127
Livello falda	-
Massa Aste (Kg/m)	10,0
Massa del maglio (Kg)	63,5
Altezza di caduta (m)	0,76

Le risultanze delle SPT vengono riferite nella tabella seguente:

SONDAGGIO N° 2				SONDAGGIO N° 3	
S.P.T. N° 1		S.P.T. N° 2		S.P.T. N° 1	
Profondità (m)	-3.00	Profondità (m)	-4.50	Profondità (m)	-2.50
Campionatore	Spt in foro	Campionatore	Spt in foro	Campionatore	Spt in foro
Punta	Aperta	Punta	Chiusa	Punta	Aperta
Valori		Valori		Valori	
N1 = 3	N2 = 5	N3 = 6	N1 = R	N2 = -	N3 = -
N1 = 3	N2 = 1	N3 = 3			

5.1.2 INDAGINI GEOFISICHE

Sono state eseguite (per l'ubicazione *v. Allegati*):

- n° 3 indagini sismiche attive con tecnica M.A.S.W. (Multi-channel Analysis of Surface Waves) ed in onde di Rayleigh componente verticale (definita convenzionalmente ZVF):

1. MASW n. 1:

- lunghezza totale stendimento pari a 43,00 m;
- utilizzati 12 trasduttori verticali aventi spaziatura di 3,00 m;

- shots sismici, utili alla generazione delle onde effettuati su piattello in polimero per la generazione delle onde di Rayleigh (componente ZVF), con distanza dal primo geofono della catena strumentale (offset minimo) pari a 5,00 m;
2. MASW n. 2:
- lunghezza totale stendimento pari a 43,00 m;
 - utilizzati 12 trasduttori verticali aventi spaziatura di 3,00 m;
 - shots sismici, utili alla generazione delle onde effettuati su piattello in polimero per la generazione delle onde di Rayleigh (componente ZVF), con distanza dal primo geofono della catena strumentale (offset minimo) pari a 5,00 m;
3. MASW n. 3:
- lunghezza totale stendimento pari a 43,00 m;
 - utilizzati 12 trasduttori verticali aventi spaziatura di 3,00 m;
 - shots sismici, utili alla generazione delle onde effettuati su piattello in polimero per la generazione delle onde di Rayleigh (componente ZVF), con distanza dal primo geofono della catena strumentale (offset minimo) pari a 5,00 m.
- n° 3 indagini sismiche passive a stazione singola con tecnica dei rapporti spettrali (H.V.S.R. di Nakamura):
 1. HVSR n. 1:
 - n° 1 valore, rispettivamente pari a:
 - $f_0 = 8,4 (\pm 6,2)$ Hz con $A = 2,7 (\pm 0,3)$ Hz;Il valore del picco risulta in accordo con 7 dei 9 criteri Sesame e per questo di medio-alta attendibilità.
 2. HVSR n. 2:
 - n° 2 valori, rispettivamente pari a:
 - $f_0 = 7,5 (\pm 2,9)$ Hz con $A = 2,9 (\pm 0,2)$ Hz;
 - $f_0 = 14,8 (\pm 4,5)$ Hz con $A = 3,9 (\pm 0,7)$ Hz.Il valore dei due picchi risulta rispettivamente in accordo con:
 - 7 dei 9 criteri Sesame e per questo di media-alta attendibilità;
 - 8 dei 9 criteri Sesame e per questo di alta attendibilità.

3. HVSR n. 3:

➤ n° 1 valore, rispettivamente pari a:

○ $f_0 = 11,5 (\pm 3,6)$ Hz con $A = 3,6 (\pm 0,5)$ Hz;

Il valore del picco risulta in accordo con 7 dei 9 criteri Sesame e per questo di medio-alta attendibilità.

5.1.3 INDAGINI GEOELETTRICHE

Le misure multielettrodo di resistività elettrica sono state eseguite in configurazioni di acquisizione di tipo Dipolo-dipolo e Wenner. In questo modo è stata privilegiata sia la profondità per ottenere informazioni relative al quadro geologico generale dell'area, sia il dettaglio in superficie per individuare eventuali spessori di terreni di copertura.

È stata realizzata una campagna di acquisizioni attraverso 5 Tomografie Elettriche (per l'ubicazione v. Allegati):

1. - ERT1: distanza elettrodo di 2.5 m, numero elettrodi utilizzati 32, lunghezza totale linea ml. 77,50;
2. - ERT2: distanza elettrodo di 2.0 m, numero elettrodi utilizzati 32, lunghezza totale linea ml. 62,00;
3. - ERT3: distanza elettrodo di 3.0 m, numero elettrodi utilizzati 32, lunghezza totale linea ml. 93,00;
4. - ERT4: distanza elettrodo di 2.0 m, numero elettrodi utilizzati 32, lunghezza totale linea ml. 62,00;
5. - ERT5: distanza elettrodo di 2.5 m, numero elettrodi utilizzati 32, lunghezza totale linea ml. 77,50.

5.1.4 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Le analisi geotecniche effettuate sono state certificate da laboratorio di prova di cui all'art. 59 del decreto del Presidente della Repubblica n. 380/2001. Nella tabella sottostante è riassunto l'elenco ed i risultati delle prove a cui sono stati sottoposti i campioni di roccia esaminati:

CAMPIONE	PROFONDITA' DAL P.C.	PROVE EFFETTUATE	PARAMETRO E VALORE
S1_C1	Da 7,20 m a 7,50 m	peso di volume allo stato naturale (C.N.R. B.U. XII n° 63)	γ (kN/m ³) = 24,5
		prova di compressione uniassiale (ASTM D 7012 C-D)	Resist. Compress. (MPa)= 46,26
S1_C2	Da 8,70 m a 9,00 m	peso di volume allo stato naturale (C.N.R. B.U. XII n° 63)	γ (kN/m ³) = 24,5
		prova di compressione uniassiale (ASTM D 7012 C-D)	Resist. Compress. (MPa)= 25,44
S1	Da 7,80 m a 8,50 m	Point Load Test (ASTM D 5731)	σ_c max (MPa)= 116,94 σ_c min (MPa)= 41,39 σ_c med (MPa)= 94,19
S1	Da 1,50 m a 1,80 m	prova di trazione indiretta "Brasiliana" (ASTM D 3967)	Resist.Traz. max (MPa) = 5,38 Resist.Traz. min (MPa) = 3,65 Resist.Traz. med (MPa) = 4,71
	Da 9,40 m a 9,70 m	prova di trazione indiretta "Brasiliana" (ASTM D 3967)	Resist.Traz. max (MPa) = 7,98 Resist.Traz. min (MPa) = 4,88 Resist.Traz. med (MPa) = 5,97
S2_C1	Da 4,80 m a 5,00 m	peso di volume allo stato naturale (C.N.R. B.U. XII n° 63)	γ (kN/m ³) = 24,2
		prova di compressione uniassiale (ASTM D 7012 C-D)	Resist. Compress. (MPa)= 19,58
S2_C2	Da 8,80 m a 9,20 m	peso di volume allo stato naturale (C.N.R. B.U. XII n° 63)	γ (kN/m ³) = 23,9
		prova di compressione uniassiale (ASTM D 7012 C-D)	Resist. Compress. (MPa)= 38,16
S2_C3	Da 9,70 m a 10,00 m	peso di volume allo stato naturale (C.N.R. B.U. XII n° 63)	γ (kN/m ³) = 24,1
		prova di compressione uniassiale (ASTM D 7012 C-D)	Resist. Compress. (MPa)= 33,54
S2	Da 8,60 m a 9,00 m	Point Load Test (ASTM D 5731)	σ_c max (MPa)= 112,54 σ_c min (MPa)= 51,26 σ_c med (MPa)= 89,29
S2	Da 9,40 m a 9,70 m	prova di trazione indiretta "Brasiliana" (ASTM D 3967)	Resist.Traz. max (MPa) = 4,12 Resist.Traz. min (MPa) = 2,74 Resist.Traz. med (MPa) = 3,22

S3_C1	Da 8,50 m a 8,65 m	peso di volume allo stato naturale (C.N.R. B.U. XII n° 63)	γ (kN/m ³) = 24,7
		prova di compressione uniassiale (ASTM D 7012 C-D)	Resist. Compress. (MPa)= 30,49
S3_C2	Da 9,00 m a 9,30 m	peso di volume allo stato naturale (C.N.R. B.U. XII n° 63)	γ (kN/m ³) = 24,8
		prova di compressione uniassiale (ASTM D 7012 C-D)	Resist. Compress. (MPa)= 27,24
S3	Da 5,50 m a 6,00 m	Point Load Test (ASTM D 5731)	σ_c max (MPa)= 107,88 σ_c min (MPa)= 64,36 σ_c med (MPa)= 83,63

5.2 RILEVAMENTO GEOSTRUTTURALE E CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI NELL'AREA A RISCHIO DI FRANA VELOCE

Al fine di effettuare la classificazione dell'ammasso roccioso e definire il grado di qualità dello stesso, si è eseguito un rilievo geologico e geostrutturale diffuso su tutta l'area utilizzando le metodologie dettate dallo standard I.S.R.M. Date le scadenti condizioni riscontrate sulla maggior parte degli affioramenti ispezionati, per la caratterizzazione si è scelto di selezionare i dati maggiormente indicativi.

Il rilievo è stato utile alla classificazione delle tre possibili cause prima citate, le quali sono alla base dei crolli riscontrabili (1. antica cinta muraria dell'abitato di Rotecastello; 2. affioramenti rocciosi immediatamente sottostanti la cinta muraria o localizzati lungo il tratto superiore e mediano dei versanti ispezionati; 3. alcuni muri a secco posti lungo il versante ed attualmente in precarie condizioni statiche).

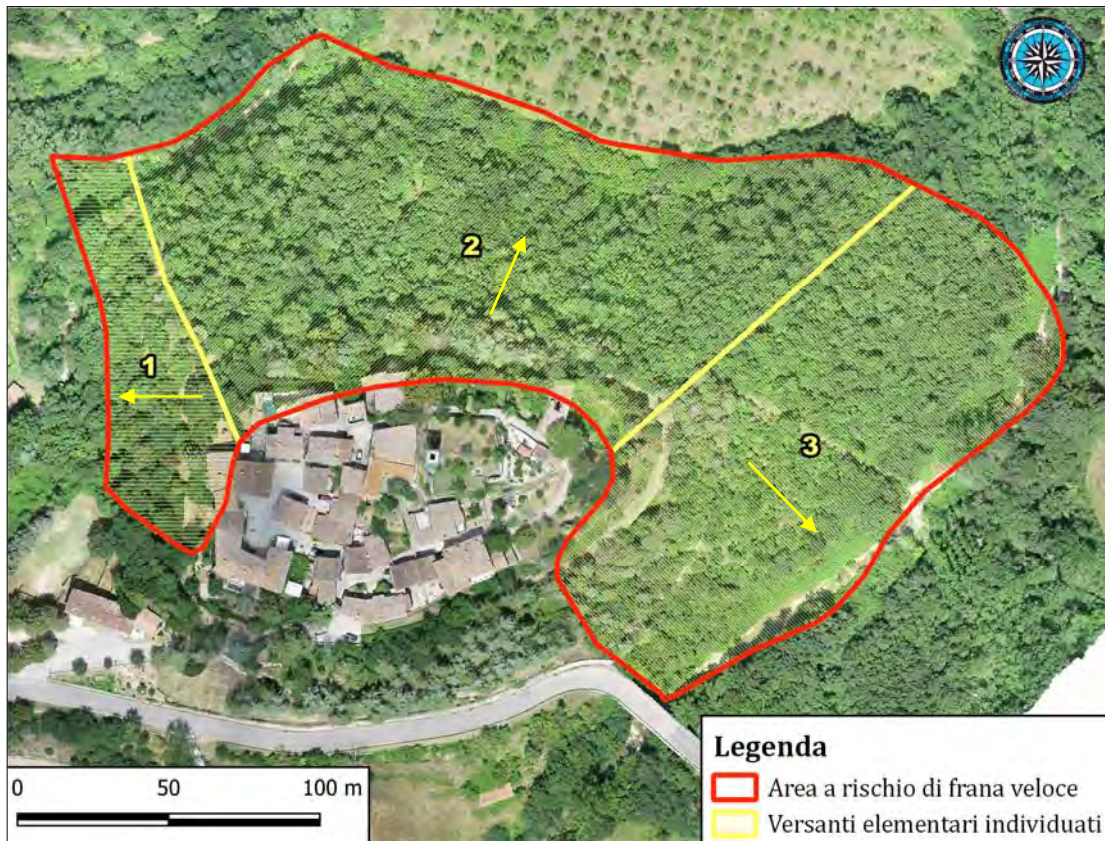
Nonostante la vastità dell'area indagata, che per tale ragione e come si vedrà più avanti è stata suddivisa in n° 3 versanti elementari, è stato possibile riscontrare una complessiva omogeneità qualitativa delle formazioni rocciose oggetto di osservazioni.

Di fatto è quindi possibile operare un'unica classificazione dell'ammasso roccioso, pur essendo presente un'intensa fratturazione nei litotipi in oggetto, la quale è chiaramente visibile nei tratti di versante dove affiorano i banchi calcarenitici di maggior spessore e frutto di un'intensa tettonizzazione che talora rende l'ammasso roccioso per giunta contorto od ondulato.

5.2.1 RILEVAMENTO GEOSTRUTTURALE

Al fine di effettuare la classificazione dell'ammasso roccioso e definire il grado di qualità dello stesso, si è eseguito un rilievo geostrutturale utilizzando le metodologie dettate dallo standard I.S.R.M.

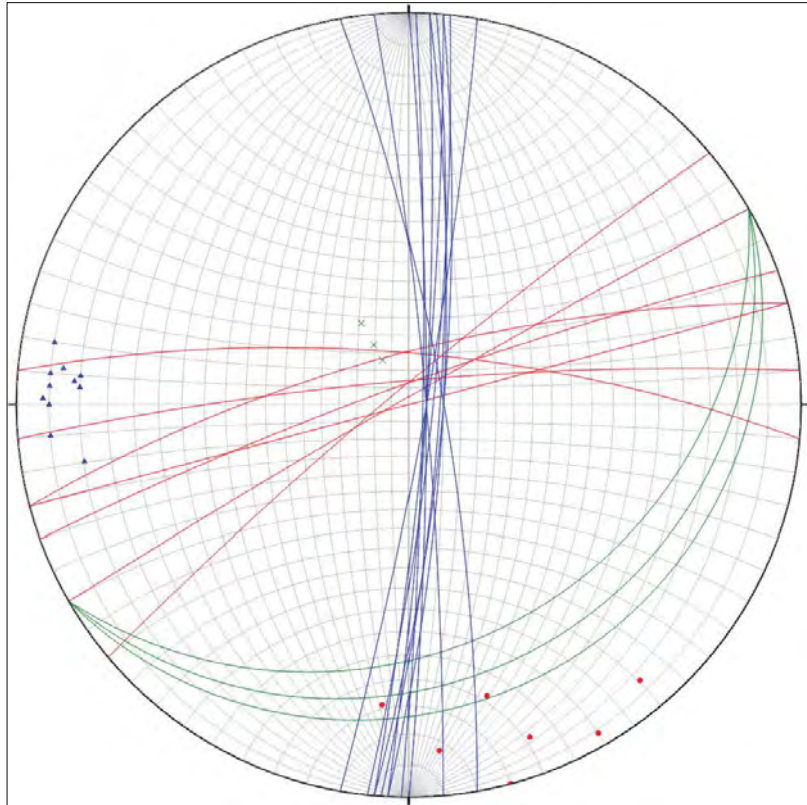
Come precedentemente accennato, l'area è stata suddivisa in n° 3 versanti elementari (v. Immagine n° 5).



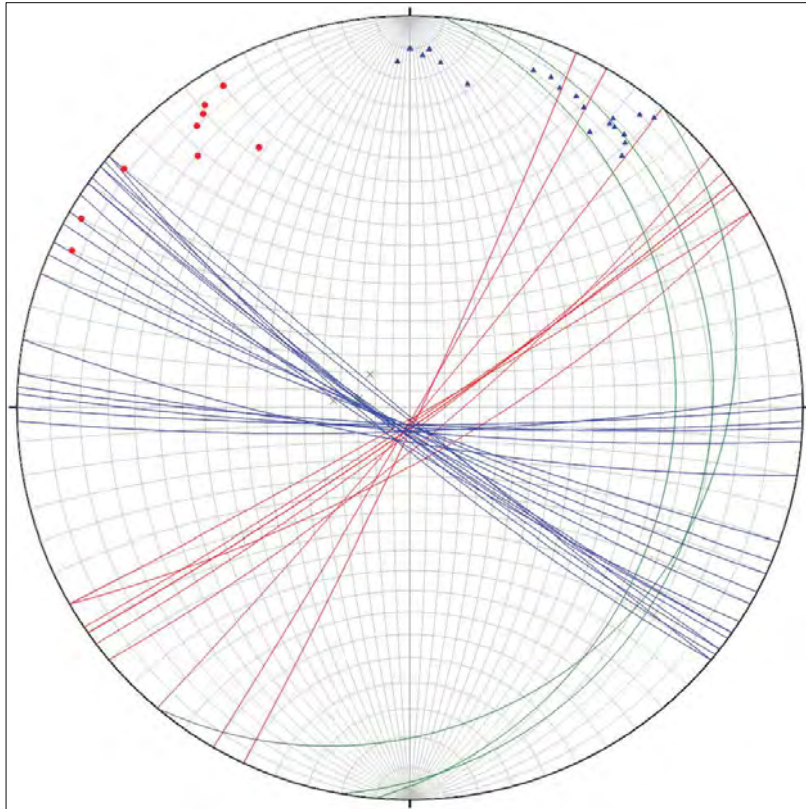
10. Individuazione su ortofotocarta dei 3 versanti elementari oggetto di rilievo geostrutturale.

In allegato alla presente vengono quindi proposte le foto ed i dati dei rilievi eseguiti su più stazioni di misura, i quali sono stati raggruppati per rispettivo versante elementare.

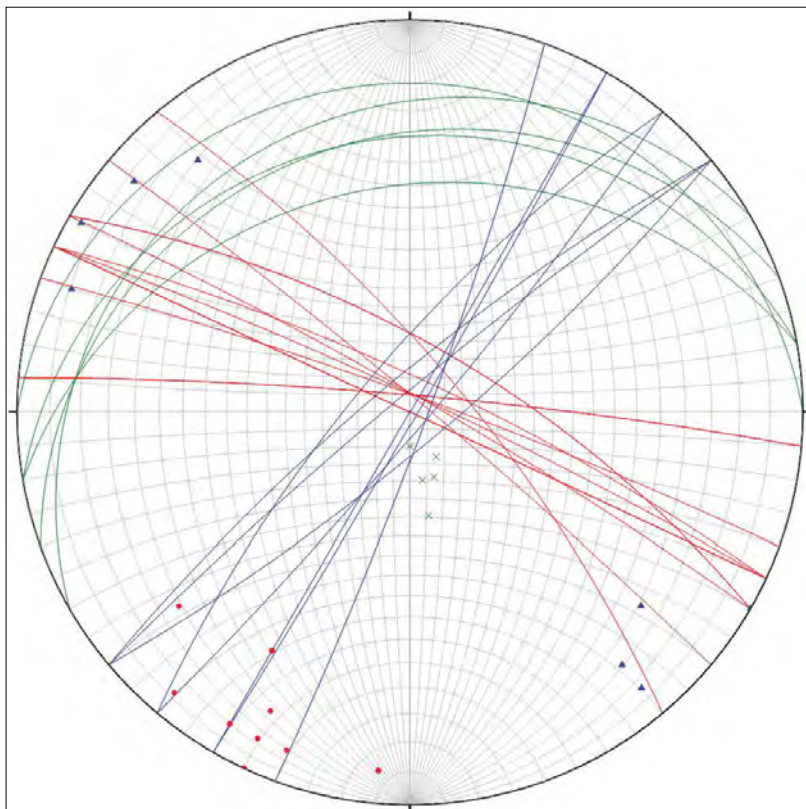
Di seguito (v. Immagini n° 6, 7 e 8) vengono invece proposti i dati strutturali raccolti in modo grafico e mediante la proiezione stereografica di Wulff (equatoriale, equiangolare); essi sono rappresentati in primo luogo dalla giacitura (immersione ed inclinazione) degli strati rocciosi (layer verde), in secondo luogo dai diffusi joints e clivaggi che hanno fratturato l'ammasso roccioso (n° 2 distinte famiglie riconoscibili e rappresentate dai layers rosso e blu).



11. VERSANTE ELEMENTARE n° 1: proiezione stereografica su reticolo di Wulff dei dati geostrutturali raccolti.



12. VERSANTE ELEMENTARE n° 2: proiezione stereografica su reticolo di Wulff dei dati geostrutturali raccolti.



13. VERSANTE ELEMENTARE n° 3: proiezione stereografica su reticolo di Wulff dei dati geostrutturali raccolti.

5.2.2 CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

Nel campo della progettazione di infrastrutture di ingegneria civile, siano esse legate alla stabilità di un versante o alla stabilità di un'opera in sotterraneo, difficilmente si possono avere informazioni dettagliate sulle caratteristiche di resistenza e di deformabilità dell'ammasso roccioso interessato alla progettazione. Allora diventa importante poter utilizzare uno schema che possa soddisfare le richieste, un metodo empirico che permetta di risolvere i problemi dovuti alla scarsa conoscenza o esperienza di una determinata area. Le classificazioni di *Beniawsky e Romana* (la seconda è derivata dalla prima, che risultava troppo "conservativa") consentono di soddisfare i quesiti richiesti e le problematiche che si presentano.

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

A1 = resistenza a compressione uniassiale;

A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);

A3 = spaziatura delle discontinuità;

A4 = condizioni delle discontinuità;

A5 = condizioni idrauliche;

A6 = orientamento delle discontinuità.

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

L'*RMR*, nella pratica, viene differenziato come:

$$RMR \text{ di base} = RMR_b = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$RMR \text{ corretto} = RMR_c = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$$

VALORE DI A1

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

La prova Point Load Test

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

$$S_u = K I_s$$

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

I_s (MPa)	K
< 3,5	14
3,5 – 6,0	16
6,0 – 10,0	20
> 10,0	25

Le prove sclerometriche

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

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

Standard ISRM

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

Dalla risposta della roccia si possono ricavare i seguenti valori:

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

Definita la resistenza a compressione S_u è possibile ricavare il valore del primo parametro A1.

Se si utilizzano prove Point Load o prove sclerometriche risulta più agevole, rispetto alle tabelle e ai grafici proposte da *Beniawsky*, ricavare il valore di A1 trasformando i grafici in forma di equazioni:

VALORE DI Su (MPa)	EQUAZIONE
<= 44,5	$A1 = \frac{4}{44,5} S_u + 1$
44,5 ÷ 93,75	$A1 = \frac{4}{49,25} S_u + 1,368$
93,75 ÷ 140	$A1 = \frac{3}{46,25} S_u + 2,919$
140 ÷ 180	$A1 = 0,0375 S_u + 6,75$
180 ÷ 240	$A1 = 0,025 S_u + 9$
> 240	$A1 = 15$

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

S _u (MPa)	> 200	100 - 200	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
Coefficiente A1	15	12	7	4	2	1	0

VALORE DI A2

Se si effettuano sondaggi è possibile ricavare il valore di RQD, da cui si ottiene il coefficiente A2, dal recupero di percentuale di carotaggio riferito alla somma degli spezzoni di carota con lunghezza maggiore o uguale a 100 mm:

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

dove:

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

L_t = lunghezza totale del tratto in cui si è misurata L_c.

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

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

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

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

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

con n numero medio di giunti per metro.

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

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

VALORE DI A3

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

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

VALORE DI A4

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

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

$$A4 = V1 + V2 + V3 + V4 + V5$$

I valori da assegnare sono:

V1 – Persistenza del giunto

PERSISTENZA (m)	V1
< 1	6
$1 \div 3$	4
$3 \div 10$	2
$10 \div 20$	1
> 20	0

V2 – Apertura del giunto

APERTURA (mm)	V2
Completamente chiuso	6
< 0,1	5
0,1 ÷ 1	4
1 ÷ 5	1
> 5	0

V3 – Rugosità del giunto

RUGOSITA'	V3
Molto Rugosa	6
Rugosa	5
Leggermente rugosa	3
Liscia	1
Levigata	0

V4 – Alterazione delle pareti

ALTERAZIONE	V4
Non alterate	6
Leggermente alterate	5
Mediamente alterate	3
Molto alterate	1
Decomposte	0

V5 – Riempimento delle discontinuità

RIEMPIMENTO (mm)	RIEMPIMENTO	V5
-	Assente	6
< 5	Compatto	4
> 5	Compatto	2

Relazione Geologica

< 5	Soffice	2
> 5	Soffice	0

VALORE DI A5

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

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

VALORE DI A6

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

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

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

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

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

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

Dal valore di RMR_b si derivano i parametri caratteristici dell'ammasso, che secondo Beniauskis assumono il valore:

$$\text{Coesione di picco } c_p \text{ (kPa)} = 5 \text{ RMR}_b$$

$$\text{Angolo di attrito di picco } f_p = 0,5 \text{ RMR}_b + 5$$

$$\text{Modulo di deformazione } E \text{ (GPa)} = 2 \text{ RMR}_b - 100$$

I valori della coesione residua e dell'angolo di attrito residuo si ricavano introducendo nelle formule sopra indicate un valore di RMR_b modificato secondo la:

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

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

$$E \text{ (GPa)} = 10^{(\text{RMR}_b - 10 / 40)}$$

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

$$\text{GSI} = \text{RMR} - 5$$

dove RMR viene calcolato tenendo conto dei punteggi assegnati ai primi quattro parametri e assumendo condizioni idrauliche asciutte ($A_5 = 15$). Tale relazione è da ritenersi valida per $\text{RMR} > 23$.

SLOPE MASS RATING (SMR, Romana 1985)

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

$$\text{SMR} = \text{RMR}_b + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

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

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

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

$F3$ mantiene le relazioni proposte da *Beniawsky* per l'inclinazione fra fronte e giunti.

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

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

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

CASO		Molto favorevole	Favorevole	Mediocre	Sfavorevole	Molto sfavorevole
Planare	$\alpha_j - \alpha_f$	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
Toppling	$\alpha_j - \alpha_f - 180^\circ$					
Cuneo	$\alpha_i - \alpha_f$					
	F1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00

Relazione Geologica

Planare Cuneo	β_j β_i	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
	F2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Toppling	F2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Planare Cuneo	$\beta_j - \beta_f$ $\beta_i - \beta_f$	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (- 10°)	< - 10°
Toppling	$\beta_j - \beta_f$	< 110°	110° - 120°	> 120°	-	-
	F3	0	- 6	- 25	- 50	- 60

dove:

α_j = immersione del giunto

α_i = immersione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo

α_f = immersione del fronte del versante

β_j = inclinazione del giunto

β_i = inclinazione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo

β_f = inclinazione del fronte

Il fattore F4 vale invece:

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

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

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

STABILIZZAZIONE	Nessuna	Occasionale	Sistematica	Estesa	Riprofilare la scarpata
-----------------	---------	-------------	-------------	--------	-------------------------

CALCOLO DEI PARAMETRI CARATTERISTICI DELL'AMMASSO

Input dati per il calcolo di Rock Mass Rating (RMR)

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

Numero di fratture per mc di roccia (J_v)= 10

Spaziatura delle discontinuità (s)= 0.7 m

Persistenza (continuità) del giunto = 1 - 3 m

Apertura del giunto > 5 mm

Giunto leggermente rugoso

Pareti molto alterate

Riempimento compatto > 5 mm

Roccia asciutta

Orientamento delle discontinuità applicato alle fondazioni

Orientamento mediocre

Risultati relativi a Rock Mass Rating (RMR)

Resistenza a compressione S_u (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)
50	82

V1	V2	V3	V4	V5
4	0	3	1	2

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

V2 è un parametro che dipende dall'apertura del giunto

V3 è un parametro che dipende dalla rugosità del giunto

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

V5 è un parametro che dipende dal materiale di riempimento presente

A1	A2	A3	A4	A5	A6
7	16,15	12,29	10	15	-7

A1 è un valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta

A2 è un valore numerico derivato dall'indice RQD

A3 è un valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità

A4 è un valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità

A5 è un valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche

A6 è un indice di correzione per la giacitura delle discontinuità

Classificazione dell'ammasso roccioso

RMRbase	RMRcorretto	Classe	Descrizione
60,45	53,45	Terza	Mediocre

Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strength Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)
20,9	55,45	302,25	35,23	241,8	29,18

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

Rottura: ribaltamento

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

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

Relazione fra inclinazione del fronte e quella dei giunti: condizione sfavorevole (--)

Metodo di scavo: Scarpata naturale

Risultati relativi a Slope Mass Rating (SMR)

Fattori di aggiustamento

F1	F2	F3	F4
0,7	1	-50	15

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

F2 è riferito all'inclinazione del giunto

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

F4 è legato al metodo di scavo

Classificazione corretta dell'ammasso roccioso

SMR	Classe	Descrizione
40,45	Quarta	Scadente

Grado di stabilità, tipo di cinematismo di rottura, eventuali interventi di stabilizzazione

Stabilità	Modo di rottura	Stabilizzazione
Instabile	Lungo piani o per cunei	Estesa

5.2.3 VERIFICA DI STABILITÀ DEI CUNEI ROCCIOSI

Per quantificare la possibilità della rottura di un cuneo di roccia nel quale lo scorrimento avviene lungo la linea di intersezione di due discontinuità planari è stato utilizzato il **test di Markland**.

Secondo questo metodo il fattore di sicurezza del pendio dipende dalla inclinazione della linea di intersezione, dalla resistenza a taglio della superficie della discontinuità e dalla geometria del cuneo. Il caso limite si verifica quando il cuneo degenera in un piano, cioè i due piani hanno inclinazione ed immersione coincidenti e quando la resistenza a taglio di questo piano è dovuta solo all'attrito. Lo scorrimento, in queste condizioni, si verifica quando l'inclinazione del piano è maggiore dell'angolo di attrito e si può eseguire una verifica di stabilità preliminare confrontando l'inclinazione della linea di intersezione dei due piani e l'angolo di attrito della superficie rocciosa: il pendio è potenzialmente instabile quando il punto, in un diagramma equi-areale, che definisce la linea di intersezione dei due piani cade all'interno dell'area delimitata dal grande cerchio che rappresenta il pendio ed il cerchio che rappresenta l'angolo di attrito.

Per effettuare la verifica di stabilità vengono inseriti i dati caratteristici del pendio, quali l'immersione in gradi del pendio, l'inclinazione in gradi del pendio e l'angolo di attrito del materiale. Inserendo i dati nel reticolo di *Wulff*, viene eseguita l'analisi di stabilità con il test di *Markland*; in questo test viene calcolata la linea di intersezione (plung, trend) dei piani presi a coppie (i,j) e si verifica se il punto che definisce la linea di intersezione I(i,j) cade dentro l'area ombreggiata, inclusa tra il grande cerchio che definisce il piano del pendio e il cerchio definito dall'angolo di attrito, in tal caso può esserci scivolamento lungo la linea di intersezione tra il piano i ed il piano j.

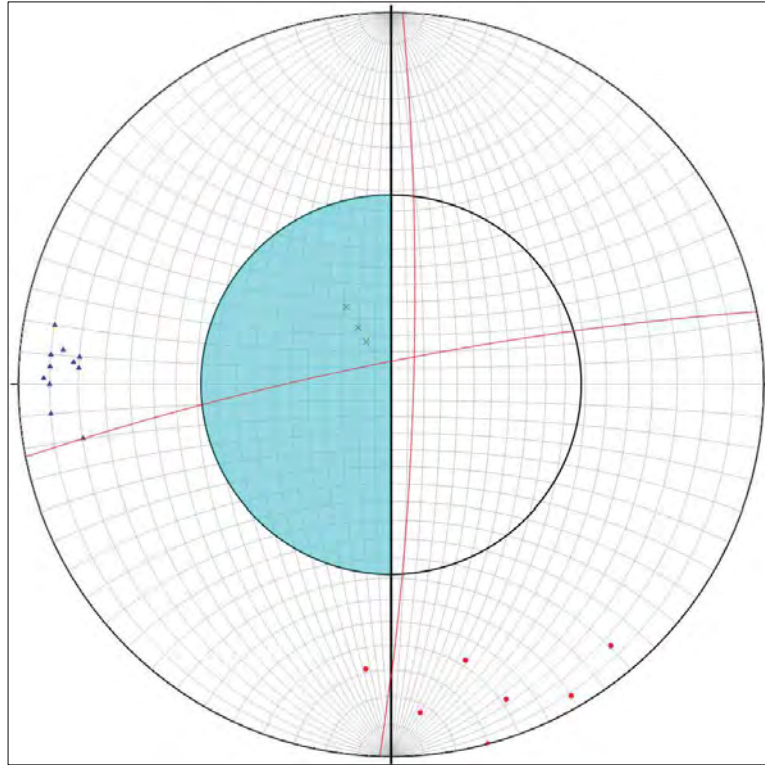
Per ogni versante elementare rilevato, dall'analisi dei dati strutturali acquisiti in campagna si evidenziano due famiglie principali di fatturazione di seguito indicate in termini di immersione ed inclinazione:

VERSANTE ELEMENTARE N° 1		
	IMMERSIONE	INCLINAZIONE
Discontinuità Famiglia n° 1	348,73	83,07
Discontinuità Famiglia n°2	91,7	83,21
Versante	270	85

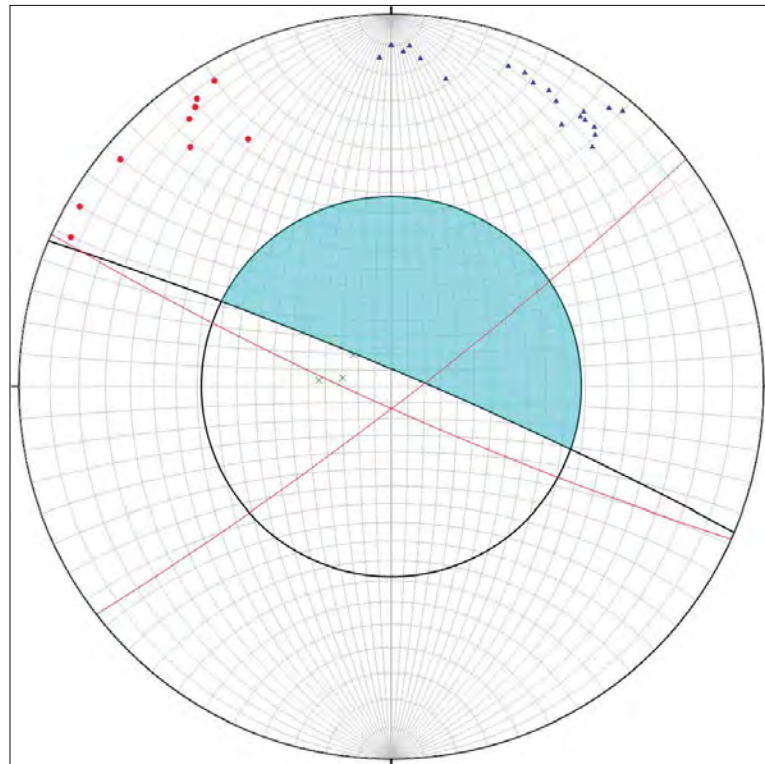
VERSANTE ELEMENTARE N° 2		
	IMMERSIONE	INCLINAZIONE
Discontinuità Famiglia n° 1	142,32	84,48
Discontinuità Famiglia n°2	204,12	83,76
Versante	23	85

VERSANTE ELEMENTARE N° 3		
	IMMERSIONE	INCLINAZIONE
Discontinuità Famiglia n° 1	29,61	82,94
Discontinuità Famiglia n°2	329,86	88,91
Versante	135	75

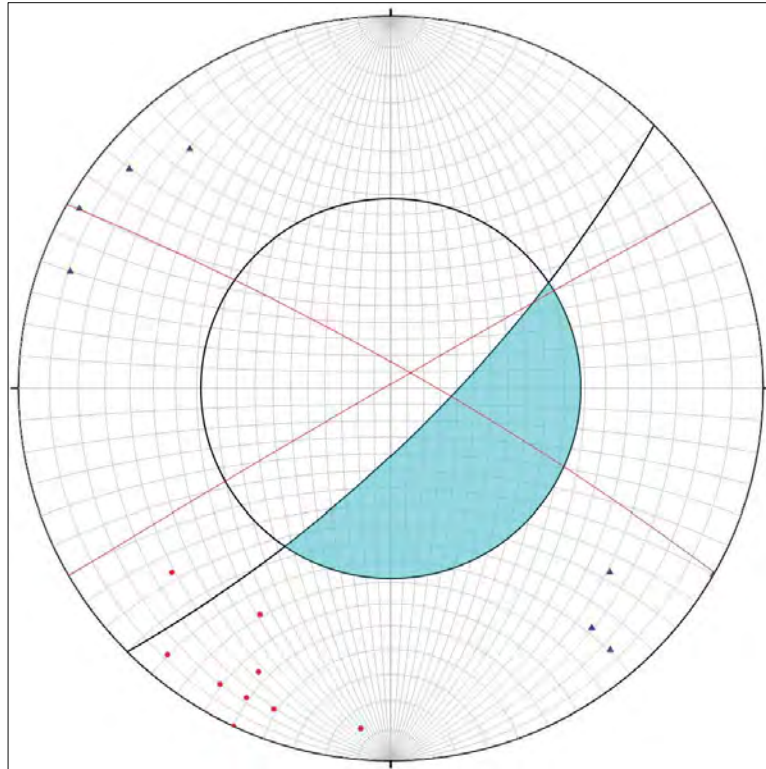
Dall'analisi dei risultati del test di *Markland* (*v Immagini n° 9, 10 e 11*), eseguito per ogni versante elementare investigato (*v Immagine n° 5*), risulta che gli ammassi rocciosi sono al limite della stabilità in quanto le intersezione tra le famiglie di piani sono molto prossime all'area "ombreggiata". Tali dati vanno interpretati in modo congiunto assieme al risultato precedentemente proposto sulla classificazione secondo lo Slope Mass Rating (SMR); l'interpolazione dei dati prima detti, suggerisce quindi la pronta attivazione di interventi estesi volti alla mitigazione di frane veloci, le quali potrebbero essere innescate da fattori di predisposizione e/o scatenanti.



14. VERSANTE ELEMENTARE N° 1: test di *Markland*.



15. VERSANTE ELEMENTARE N° 2: test di *Markland*.



16. VERSANTE ELEMENTARE N° 3: test di *Markland*.

6 RICOSTRUZIONE DELLA STRATIGRAFIA LOCALE

I risultati ottenuti con le prove geologiche eseguite, i dati reperiti grazie rilevamento geostrutturale, la loro elaborazione e interpretazione congiunta hanno permesso di proporre un modello geologico locale che è stato applicato a delle sezioni del sottosuolo di interesse.

La stratigrafia vede l'individuazione dei seguenti livelli litologici:

- **Livello 1** = terreni di riporto prevalentemente limo sabbioso argillosi con frammenti di laterizi e ciottoli;
- **Livello 2** = calcareniti fratturate ed alterate, talvolta in ghiaie con matrice limo argillosa.

La geometria e lo spessore dei suddetti può essere visualizzata nelle tavole dedicate (v. Allegati).

7 CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA

Il campo di oscillazione dei parametri viene fornito grazie all'analisi ed all'interpretazione dei dati derivanti da informazioni bibliografiche e dall'elaborazione dei dati ottenuti con le prove eseguite/reperate.

I parametri fisico-meccanici vengono forniti nei loro valori medi e minimi affinché, congruentemente a quanto previsto dalla Circolare n° 7 del 21.01.2019 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (Paragrafo C6.2.2. – Indagini, Caratterizzazione e Modellazione Geotecnica), il progettista possa pervenire ad una corretta scelta dei valori caratteristici.

Livello 1 = terreni di riporto prevalentemente limo sabbioso argillosi con frammenti di laterizi e ciottoli			
<i>PARAMETRI FISICO-MECCANICI</i>		<i>VALORI MINIMI</i>	<i>VALORI MEDI</i>
Φ'_p	Angolo di attrito efficace	27	27,5
C' [kN/m ²]	Coesione efficace	14,71	15,20
γ [kN/m ³]	Peso di volume	16,70	17,00
γ_{sat} [kN/m ³]	Peso di volume saturo	19,00	19,30
C_u [kN/m ²]	Coesione non drenata	19,6	24,5

Livello 2 = calcareniti fratturate ed alterate, talvolta in ghiaie con matrice limo argillosa			
<i>PARAMETRI FISICO-MECCANICI</i>		<i>VALORI MINIMI</i>	<i>VALORI MEDI</i>
Φ'_p	Angolo di attrito efficace	35,2	36
C' [kN/m ²]	Coesione efficace	294,3	294,5
γ [kN/m ³]	Peso di volume	23,90	24,40
E_s [kN/m ³]	Modulo di Young secante	7540	7660

8 DEFINIZIONE DEGLI EVENTI SISMICI DI RIFERIMENTO E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

8.1 SISMICITÀ STORICA

La zonazione sismogenetica del territorio nazionale (*Zonazione Sismogenetica ZS9 – INGV, 2004*), assegna l'Italia Centrale a più zone sismogenetiche.

Partendo dalle aree più ad ovest abbiamo la zona 921 “*Etruria*” che racchiude aree caratterizzate da elevato flusso di calore (*Mongelli e Zito, 1991*). L'intero settore è caratterizzato da una diffusa sismicità di energia moderata, con pochi eventi di magnitudo più elevata, responsabili di danni significativi su aree di limitata estensione anche per la superficialità degli ipocentri.

Spostandoci più verso l'entroterra abbiamo poi la zona 920 “*Val di Chiana-Ciociaria*”, essa coincide con il settore di distensione tirrenica definito nel modello sismotettonico di *Meletti et al. (2000)*. Anche questa zona è caratterizzata da una sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente elevati.

Entrando nella fascia orientale abbiamo quindi le zone 919 “*Appennino Umbro*” e 923 “*Appennino Abruzzese*”, esse vengono indicate come le aree con il maggior rilascio di energia dell'Appennino centro-settentrionale. Queste corrispondono al settore più interno della catena appenninica, generalmente interessato da importanti faglie primarie e relative sorgenti sismogenetiche. Tali faglie immergono verso NE nel settore compreso tra la Toscana settentrionale e l'Umbria settentrionale e verso SW nel settore che si estende dall'Umbria centrale fino a tutto l'Abruzzo (*Galadini et al., 2001; Valensise e Pantosti, 2001*). Questa lunga fascia include le sorgenti sismogenetiche responsabili dei terremoti di più elevata magnitudo che hanno caratterizzato l'arco appenninico settentrionale e centrale. Tali sorgenti hanno in genere espressioni superficiali che consentono la caratterizzazione e la quantificazione degli aspetti cinematici mediante i tradizionali approcci geomorfologici e paleosismologici. Proprio nella zona 923 sono presenti le sorgenti più estese ed i terremoti con magnitudo più elevata; in questa zona sono state comprese anche le aree dei terremoti del 1654 e del 1349, per i quali le indagini geologiche di superficie non sono ancora state in grado di definire sorgenti sismogenetiche.

Infine, una porzione orientale del Centro Italia ricade nella zona 918 “*Medio-Marchigiana/Abruzzese*”. In quest'ultima si verificano terremoti prevalentemente distensivi; altresì si possono avere meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture. L'intera fascia (compresa anche le zone 913 e 914)

è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo. Le profondità ipocentrali sono mediamente maggiori in questa fascia di quanto non siano nella fascia più esterna; lo testimoniano anche quegli eventi che hanno avuto risentimenti su aree piuttosto vaste (es., eventi del 1799 di Camerino, del 1873 delle Marche meridionali e del 1950 del Gran Sasso, zona 918). Alla zona 918 sono da riferire alcune sorgenti “silenti” (es. M.ti della Laga, Campo Imperatore) legate a fagliazione normale. Studi paleosismologici lungo le espressioni superficiali delle sorgenti suggeriscono una ripetuta attivazione nel corso dell'Olocene con magnitudo attese che, sulla base della lunghezza della rottura di superficie, vengono stimate tra 6.5 e 7.0 (*Galadini e Galli, 2000*).

Il sito in oggetto ricade all'interno di un'area sismogenetica succitata (*Mappa di zonazione sismogenetica ZS9 - Meletti e Valensise, 2004; Meletti et al., 2008*). Di fatto la carta è un modello sintetico che descrive la localizzazione delle sorgenti di futuri terremoti, la magnitudo massima che questi potranno raggiungere e i ratei di sismicità attesa zona per zona; eseguendo l'estrazione dei dati dalla *Tab. 6*, contenuta nel *Rapporto conclusivo, aprile 2004 del Gruppo di lavoro per la redazione della mappa sismica – INGV*, prendendo come riferimento la *magnitudo Momento (M_w) della colonna 8 relativa alla ZS di appartenenza di colonna 1* si può dedurre che l'area di studio ricade all'interno della **zona sismogenetica 920 “Val di Chiana-Ciocciaria”** che possiede una **Magnitudo Momento (M_w) pari a 6,14**.

Dal **Database Macrosismico Italiano dell'INGV** (*Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E., Antonucci A. - 2019. Database Macrosismico Italiano -DBMI15-, versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - INGV: <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.2>*) è consultabile la **storia sismica del comune di San Venanzo, nella quale sono riassunti 26 eventi a partire dall'anno 1954**.

In particolare si osserva che la massima intensità di sito (**Is**), è stata di **VIII gradi della scala Mercalli (MCS)**.

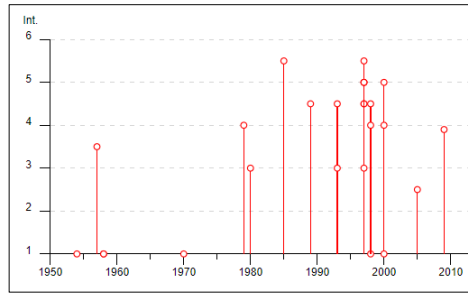
In particolare si osserva che la massima intensità di sito (**Is**), è stata di **V - VI gradi della scala Mercalli (MCS)**.

Gli eventi sismici più rilevati vengono riportati di seguito ed ordinati a seconda dell'intensità di sito, **Is** riscontrata:

Relazione Geologica

Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
5-6	1985 09 09 04 45 24.37	Orvietano	20	4-5	3,81
5-6	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5,97
5	1997 10 03 08 55 22.07	Appennino umbro-marchigiano	490	-	5,22
5	1997 10 06 23 24 53.29	Appennino umbro-marchigiano	437	-	5,47
5	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786	-	5,62
5	2000 04 01 18 08 03.68	Monte Amiata	68	6	4,52
4-5	1989 12 22 06 48 13.91	Valle Umbra	114	5	4,44
4-5	1993 06 04 21 36 50.60	Valle del Topino	90	5-6	4,39
4-5	1997 05 12 13 50 14.63	Monti Martani	57	6	4,72
4-5	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5,66
4-5	1998 03 26 16 26 17.03	Appennino umbro-marchigiano	409	-	5,26
4	1979 09 19 21 35 37.00	Valnerina	694	8-9	5,83
4	1998 04 05 15 52 21.01	Appennino umbro-marchigiano	395	-	4,78
4	2000 06 22 12 16 35.58	Bacino di Gubbio	107	5	4,47
3-4	1957 12 06 04 54	Orvietano	63	7	4,97
3	1980 11 23 18 34 52.00	Irpinia-Basilicata	1394	10	6,81
3	1993 06 05 19 16 17.02	Valle del Topino	326	6	4,72
3	1997 11 09 19 07 33.27	Valnerina	180	-	4,87
2-3	2005 12 15 13 28 39.59	Valnerina	350	5	4,14
NF	1954 03 23 17 55	Collestatte	20	5	4,16
NF	1958 05 30 06 26	Val di Paglia	18	5	4,05
NF	1958 06 24 06 07	Aquilano	222	7	5,04
NF	1970 05 25 12 56	Ternano	17	5	4,35
NF	1998 03 21 16 45 09.21	Appennino umbro-marchigiano	141	-	5
NF	2000 12 16 07 31 07.66	Ternano	129	5-6	4,29
F	2009 12 15 13 11 58.98	Valle del Tevere	26	7	4,23

A seguire vengono riportati su un diagramma (Tempo-Is) tutti gli eventi sismici afferenti il territorio comunale di **San Venanzo**.



17. Diagramma di tutti gli eventi sismici riguardanti il territorio comunale di San Venanzo (DBMI15 – INGV).

La sismicità dell'area di studio deve riferirsi inoltre agli eventi sismici recenti del Centro Italia, ovvero occorsi tra il 2016 e del 2017, definiti dall'I.N.G.V. sequenza sismica Amatrice-Norcia-Visso, che hanno avuto inizio ad agosto con epicentri situati tra l'alta valle del Tronto, i Monti Sibillini, i Monti della Laga e i Monti dell'Alto Aterno, e che vengono ripercorsi attraverso una sintesi reperita in rete. In base ai dati disponibili dall'INGV, nella sequenza sismica che ha interessato l'Italia centrale il numero di eventi registrati dal 24 agosto 2016 al 28 aprile 2017 è stato di circa 65500 (di cui 3500 con magnitudo uguale o superiore a 2,5), superando di gran lunga il numero medio di terremoti che si verificano in un anno in Italia, pari a circa 1700/2500 eventi di magnitudo uguale o superiore a 2,5.

Data	Ora locale (CEST/CET)	Magnitudo momento	Profondità ipocentro	Epicentro		
				Comune	Latitudine	Longitudine
24 agosto 2016	03:36:32	6,0	8 km	Accumoli	42,70 N	13,23 E
24 agosto 2016	03:37:26	4,5	9 km	Accumoli	42,71 N	13,25 E
24 agosto 2016	04:33:28	5,3	8 km	Norcia	42,79 N	13,15 E
24 agosto 2016	13:50:30	4,5	10 km	Norcia	42,82 N	13,16 E
26 agosto 2016	06:28:25	4,8	9 km	Amatrice	42,61 N	13,29 E
26 ottobre 2016	19:10:36	5,4	9 km	Castelsantangelo sul Nera	42,88 N	13,13 E
26 ottobre 2016	21:18:05	5,9	8 km	Ussita	42,91 N	13,13 E
26 ottobre 2016	23:42:01	4,5	10 km	Castelsantangelo sul Nera	42,86 N	13,12 E
30 ottobre 2016	07:40:17	6,5	9 km	Norcia	42,83 N	13,11 E
30 ottobre 2016	07:44:00	4,6	10 km	Norcia	42,85 N	13,07 E
30 ottobre 2016	08:13:00	4,5	10,8 km	Accumoli	42,69 N	13,23 E
30 ottobre 2016	13:07:00	4,5	10 km	Preci	42,84 N	13,08 E
1° novembre 2016	08:56:40	4,8	8 km	Acquacanina	42,99 N	13,13 E
3 novembre 2016	01:35:01	4,7	8 km	Pieve Torina	43,03 N	13,05 E
18 gennaio 2017	10:25:40	5,1	10 km	Montereale	42,55 N	13,28 E
18 gennaio 2017	11:14:09	5,5	10 km	Capitignano	42,53 N	13,28 E
18 gennaio 2017	11:15:33	4,7	9 km	Capitignano	42,53 N	13,29 E
18 gennaio 2017	11:16:39	4,6	8 km	Capitignano	42,54 N	13,27 E
18 gennaio 2017	11:25:23	5,4	9 km	Pizzoli	42,50 N	13,28 E
18 gennaio 2017	14:33:36	5,0	10 km	Cagnano Amaterno	42,47 N	13,28 E
10 aprile 2018	05:11:30	4,6	9 km	Muccia	43,07 N	13,04 E

8.2 PERICOLOSITÀ DI BASE

Come indicato dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della protezione civile - UFFICIO III – Attività Tecnico Scientifiche per la previsione e la prevenzione dei Rischi – Servizio Rischio Sismico, la classificazione sismica aggiornata al 31 gennaio 2019 e recepita dalla Regione Umbria con D.G.R. 1111 del 18 settembre 2012 (Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell'OPCM 20 marzo 2003, n. 3274), il **territorio comunale di San Venanzo (TR) è attualmente classificato come zona**

sismica 2 (zona con probabilità di superamento del valore dell'accelerazione orizzontale di riferimento del 10% in 50 anni compresa tra $0.15 < a_g \leq 0.25$).

Per quanto concerne la Pericolosità sismica di base, si è fatto riferimento alla vigente *Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale, INGV, 2004* e alla *Mappa interattiva di Pericolosità Sismica del progetto DPC - INGV S1* (consultabili al sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it>), entrambe analogamente espresse in termini di accelerazione massima al suolo (a_{max}), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s, Cat. A).



18. Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale – INGV (Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b) con individuazione del territorio comunale di interesse

La normativa vigente italiana (*D.M. del 17 gennaio 2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”*), la normativa tecnica europea (*Eurocodici EC 7 e EC 8*) e le più avanzate normative internazionali, attribuiscono la giusta importanza alla caratterizzazione sismica del terreno su cui dovranno essere realizzate opere di qualunque natura (edifici residenziali e industriali, opere di sostegno e di stabilizzazione di versanti, rilevati stradali, opere infrastrutturali, argini, dighe e opere idrauliche, gallerie, ponti e opere strutturali di grandi dimensioni). In particolare con l'entrata in vigore delle *N.T.C. 08*, il territorio Italiano è stato suddiviso in aree omogenee da un punto di vista di rischio sismico. Il criterio adottato per tale suddivisione non è più legato a rigidi confini amministrativi come accadeva in passato,

ma alla presenza di aree sismogenetiche attive. Sono stati così individuati 10751 nodi di riferimento. Ad ogni nodo è associato un valore di accelerazione massima attesa al suolo per un determinato periodo di ritorno. Dalla posizione relativa del sito in esame rispetto ai nodi di riferimento si risale alla accelerazione massima attesa per il sito stesso, effettuando una media pesata dei valori di a_g di ciascun nodo.

I dati relativi ai nodi di riferimento per i due siti in oggetto vengono riportati nelle tavole in allegato alla presente relazione (v. Allegati); a seguito di attività di sorgenti sismogenetiche limitrofe è stata effettuata la valutazione dei minimi e massimi valori di Magnitudo attesa per gli specifici siti progettuali, ovvero utilizzando i dati di disaggregazione del valore di a_g (McGuire, 1995; Bazzurro and Cornell, 1999) di cui alle *Mappe Interattive di Pericolosità Sismica del progetto DPC-INGV S1 (MPS consultabili al sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it>)*.

Per l'area in oggetto, il nodo del reticolo ritenuto più rappresentativo è quello con **ID 23848** per il quale la disaggregazione del valore di a_g (con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, corrisponde al Tr di un sisma a 475 ossia allo SLV) evidenzia, in funzione della distanza epicentrale, un valore medio di **M - D (Magnitudo-Distanza) pari a Magnitudo Locale Media (MI) 4,85 - Distanza 9,42 (km)**.

Oltre alle informazioni suddette, vengono di seguito proposte indicazioni estratte dal progetto *ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults)*, sviluppato dal Servizio Geologico d'Italia – ISPRA, il quale sintetizza le informazioni disponibili sulle faglie capaci che interessano il territorio italiano.

ITHACA è uno strumento fondamentale per: a) analisi di pericolosità ambientale e sismica, b) comprensione dell'evoluzione recente del paesaggio, c) pianificazione territoriale e d) gestione delle emergenze di Protezione Civile. Può essere inoltre di supporto alla ricerca scientifica nell'ambito dell'analisi dei processi geodinamici.

Le faglie capaci vengono mappate e caratterizzate in *ITHACA* sulla base dei dati disponibili in letteratura, dopo una attenta revisione critica. Ne consegue che *ITHACA*:

- è in continuo aggiornamento e non può mai considerarsi completo o definitivo;
- non rappresenta la totalità delle faglie capaci potenzialmente presenti sul territorio nazionale, ma solo quelle per le quali esiste uno studio, anche di livello minimo e quindi un riferimento bibliografico;
- non ha una copertura omogenea a livello nazionale. Il dettaglio è funzione della qualità delle indagini che sono state effettuate (rilevabile dal campo study quality) e della scala alla quale è stato pubblicato il dato, indicata nel campo mapping scale,

presente nella scheda descrittiva associata ad ogni faglia. A tal riguardo, la risoluzione massima cui poter utilizzare il dato non può in nessun caso essere superiore alla mapping scale.



19. Mappa ITHACA -Faglie Capaci nell'area d'interesse

Dal database è possibile dedurre che, anche se nessuna lineazione tettonica sembra interferire con l'area in oggetto, circa 3 Km in linea d'aria verso NE è censita una faglia attiva e capace secondaria di tipo normale denominata “6300-Marsciano”.

Va detto che nonostante le faglie capaci possano essere anche strutture sismogenetiche, il catalogo *ITHACA* non può essere utilizzato per una caratterizzazione della sorgente sismogenetica in termini di scuotimento. Per tali scopi si rimanda ad altre banche dati specifiche (ad esempio *DISS – Database of Individual Seismogenic Sources*).

Vengono quindi riportate le informazioni provenienti dal database sulle sorgenti sismogenetiche dell'*I.N.G.V.* e riguardanti l'area di studio (*DISS Working Group, 2018. Database of Individual Seismogenic Sources -DISS-, Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; doi:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1*).



20. Database Sorgenti Sismogenetiche per l'area d'interesse – Database of Individual Seismogenic Sources (DISS version 3.2.1 – INGV)

9 CARATTERIZZAZIONE SISMICA LOCALE

Prima di tutto è stata analizzata la pericolosità sismica in termini qualitativi.

A tal proposito in allegato viene proposta la cartografia della Regione Umbria nella quale sono indicate le diverse tipologie morfostratigrafiche in aree in cui ci si aspetta un'amplificazione delle forze sismiche generate dai terremoti.

Lo stralcio della sezione n°322.120 "San Venanzo" (*v. Allegati*), per l'area di interesse riporta una zona suscettibile di instabilità per area potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana, oltre che una potenziale amplificazione morfologica per cocuzzolo.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 delle NTC '18. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II delle NTC'18, 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 . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2 delle NTC'18.

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.

21. Tab. 3.2.II del D.M. 17/01/2018: categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

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 quanto riguarda le condizioni topografiche del sito, se esse risultano essere complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale mentre se esse sono chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.III delle NTC'18, si può fare riferimento a un approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

22. Tab. 3.2.III del D.M. 17/01/2018: categorie topografiche

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Per i siti in oggetto tali parametri sono stati determinati attraverso i dati risultanti dalle indagini geofisiche reperite per quanto riguarda la determinazione delle Vs, nonché con un rilievo morfologico di dettaglio per ciò che invece concerne la determinazione della topografia.

Di seguito vengono quindi proposti i parametri determinati.

Le coordinate ellissoidiche secondo il sistema di riferimento ED50 risultano essere le seguenti:

$$\text{Lat.} = 42,880632 [^\circ] \text{ N} \quad , \quad \text{Long.} = 12,294748 [^\circ] \text{ E.}$$

In base ai risultati della campagna d'indagine geofisiche eseguite dallo scrivente, la stima di Vs, **equivalente** alla **profondità media** di **6 m** dal piano d'imposta e/o la testa dell'opera di fondazione risulta pari a **360 m/s**; è quindi possibile inserire il sito in esame nella categoria di sottosuolo **"E"**.

Per quanto riguarda la **categoria topografica**, visto che la pendenza media del versante risulta pari a $22-25^\circ$ ed è riscontrabile una larghezza in cresta molto minore che alla base, è assegnabile una categoria **"T3"**.

La Sicurezza e le Prestazioni della struttura in progetto devono essere valutate in relazione agli Stati Limite che si possono verificare durante la Vita Nominale, che in entrambi i siti di progetto è stata valutata pari a 50 anni (Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o importanza normale).

Per la definizione del coefficiente di importanza le strutture in progetto sono state considerate quindi in una **Classe D'Uso II** (*Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti*).

Il **Coefficiente D'Uso (Cu)** in entrambi i siti di progetto è stato definito pari a **1,0**.

La **Vita di Riferimento (VR = VN * CU)** delle strutture sulle quali valutare le azioni sismiche di progetto risultano essere in entrambi i siti di progetto pari a **50 anni**.

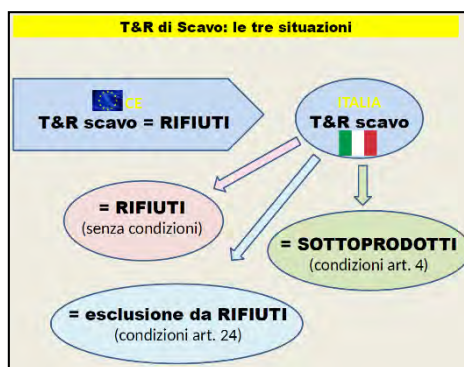
Il riassunto dei coefficienti sismici relativi ai due siti in oggetto è riportato nella tavole allegate; essi permetteranno al progettista strutturale di costruire gli spettri di risposta di base, di sito e di progetto per le verifiche geotecniche e strutturali.

10 TERRE E ROCCE DA SCAVO

Nonostante la vocazione ambientale dell'area è stato comunque eseguito un controllo su eventuale inserimento dell'area in elenchi di siti inquinati o potenzialmente tali. A tal proposito non vengono trovati riscontri della zona in oggetto nell'anagrafe dei siti oggetto di procedimento di bonifica (art.31 della Legge Regionale 13 maggio 2009, n.11, elenco aggiornato al 31.12.2021 con Deliberazione di Giunta Regionale n. 461/2022, ha aggiornato), né tantomeno tra i Siti di Interesse Nazionale da Bonificare (SIN) Il Ministero dell'Ambiente, ora Ministero della Transizione Ecologica.

In ogni caso, visto che durante i lavori sono prevedibili scavi dai quali saranno prodotti materiali di risulta, tutti gli interventi dovranno tenere conto delle disposizioni normative riportate nel D.Lgs.152/06 e s.m.i. e del D.P.R. 13 giugno 2017 n° 120, le quali forniscono dovute indicazioni per le attività di gestione ed utilizzo di eventuali materiali di risulta.

A tal proposito, se del caso, dovrà essere redatta un'apposita sezione sull'utilizzo del materiale proveniente dagli scavi, la quale ai sensi della normativa ambientale indicherà la tipologia di detto materiale e la tipologia dei possibili siti di destinazione, se non riutilizzabile in loco, sulla base delle risultanze delle analisi dei campioni che verranno fornite dalla Stazione Appaltante.



23. Terre e Rocce da Scavo: schematizzazione delle possibili situazioni di cantiere

Nel presente documento viene delineata la tipologia di cantiere di provenienza (opere soggette o non soggette a V.I.A.-A.I.A., provenienza da eventuali siti censiti come contaminati o con valori di fondo naturale superiore alle CSC o aree terremotate), al fine di inquadrare una corretta modalità di gestione delle terre e rocce da scavo (gestione semplice, complessa o speciale).



24. Terre e Rocce da Scavo: schematizzazione delle corrette modalità di gestione

Nel caso in cui dovesse essere previsto che il materiale proveniente dagli scavi dovrà essere trasportato in discarica, gli andrà preventivamente attribuito il codice CER (Elenco Europeo dei Rifiuti - EER).

11 CONCLUSIONI

Per quanto concerne le vulnerabilità riscontrabili nell'area a rischio di frana veloce, nell'ambito delle pareti esaminate l'assetto strutturale della roccia è piuttosto differenziato in quanto la deformazione tettonica comporta differenti strutture dell'ammasso con predisposizione sia al crollo per ribaltamento di blocchi sia allo scivolamento di cunei rocciosi.

Le cause predisponenti al dissesto, costituite dalla orientazione spaziale delle fratture rispetto alla giacitura delle scarpate, sono acuite dalla presenza di vegetazione che con gli apparati radicali tende a generare spinte in grado di rendere instabili blocchi rocciosi o porzioni di ammasso. Di fatto, anche la presenza di terreno vegetale all'interno delle fratture può rappresentare una causa di innesco dei meccanismi di crollo in quanto la materia organica presente nel terreno tende in occasione di piogge prolungate, a rigonfiare, con conseguente spinta di porzioni di ammasso roccioso.

I meccanismi di crollo osservati sono essenzialmente di due tipi:

- toppling che interessa prevalentemente singoli blocchi di piccole e medie dimensioni (max 1-1,5 m³);
- scivolamento di cunei rocciosi, che può coinvolgere anche blocchi di dimensioni massime stimate in 1-2 m³.

Lo studio geologico ha evidenziato che l'ammasso roccioso è instabile, che i meccanismi di rottura avvengono lungo piani o per cunei e per ribaltamento di blocchi e che è necessaria una stabilizzazione estesa.

Gli interventi proposti per la difesa da futuri rischi di crollo potenziale consistono essenzialmente nelle classiche tipologie applicazione di rete paramassi con reticolo di imbrigliamento e nella realizzazione di opere di sostegno quali primo presidio all'abitato ed alle infrastrutture presenti.

Le tipologie progettuali prevedono il disboscamento delle porzioni vegetate dell'area di intervento, la perlustrazione ed il disaggio dell'intera area di intervento, l'abbattimento di volumi rocciosi con resine espandenti o cariche nonex delle porzioni di ammasso caratterizzati dalla presenza di blocchi di elevate dimensioni e l'imbrigliamento delle pareti con rete paramassi e/o reticolo di funi.

La profondità dei perfori andrà opportunamente calcolata dal progettista a fronte di specifiche indagini.

Visto che in area a rischio veloce la cinematica prevalente dei dissesti riscontrata è quella di crollo e ribaltamento, va tenuto in debita considerazione che tra le cause determinanti di tali fenomeni vi sono: gli eventi meteorici intensi, le infiltrazioni d'acqua, lo scalzamento al piede dei versanti provocato dall'azione erosiva prodotta dalla corrente (ad esempio un corso d'acqua), l'ampliamento delle fessure dovuto a fenomeni crioclastici, termoclastici o all'effetto della crescita di radici, le sollecitazioni sismiche, le vibrazioni artificiali e le modifiche antropiche alla geometria del versante.

Per tali motivi risulta importante eseguire un intervento sulla regimazione delle acque reflue provenienti dal centro abitato, le quali attualmente in larga parte risultano disperdersi in modo disorganizzato al di sotto dell'area di sedime e lungo il perimetro dello stesso edificato.

A tal proposito si indica un'installazione a regola d'arte di sottoservizi utili a conseguire una captazione ed un recapito delle acque reflue attraverso un sistema di pozzetti e condotte interrate a tenuta. Tale intervento dovrà essere realizzato nel rispetto delle attuali normative tecniche ambientali.

Nei tratti ove sono visibili le antiche mura medioevali non si riscontrano segni di deformazione riconducibili al ribaltamento degli stessi. Nella porzione crollata per degrado, il terreno è rimasto verticale da tempo quindi anche i materiali di riporto presenti in superficie posseggono coesione.

Per quanto concerne la vulnerabilità riscontrabile nell'area a rischio di frana superficiale, accertato il cinematismo delle frane e le dinamiche all'origine delle stesse, si ritiene opportuna una bonifica del versante attraverso un'appropriata sistemazione morfologica ed idrogeologica dello stesso.

Di fatto, le principali cause dei dissesti risultano essere rispettivamente la predisposizione geologica del versante, che tra l'altro possiede pendenze accentuate, e plausibilmente gli eventi meteorologici avversi, i quali determinano la sovraturazione dei depositi eluvio-colluviali.

Pertanto, si ritiene necessario realizzare un intervento areale al fine di ridurre il grado di saturazione del terreno e, in particolar modo, di incrementare le forze resistenti, oltre che una rettifica morfologica della zona.

A tal proposito si prescrivono opere integrate quali:

- drenaggi profondi del tipo trincee;

- rettifica morfologica del versante;
- drenaggi superficiali;
- eventuali opera di sostegno del tipo muro in gabbioni e/o terre rinforzate.

Infine, per quanto concerne le possibili interferenze tra il collettore fluviale denominato Torrente Calvana ed i fenomeni d'instabilità dei versanti posti in sinistra idrografica, ovvero tra lo stesso alveo fluviale e il versante sotteso all'abitato della frazione di Rotecastello, va considerata la possibilità dell'inserimento di opere volte a mitigare i dissesti, quali:

- briglie, al fine di diminuire la velocità del corso d'acqua nel tratto d'interesse e quindi l'aggressività erosiva delle acque, sia sui versanti che sulle infrastrutture;
- opere di difesa spondale ad esempio del tipo gabbioni e/o del tipo scogliera in blocchi ciclopici di pietra.

Marzo 2023

Il professionista Geologo Mandante del RTP incaricato

Geol Simone ZUCCONI



ALLEGATI:

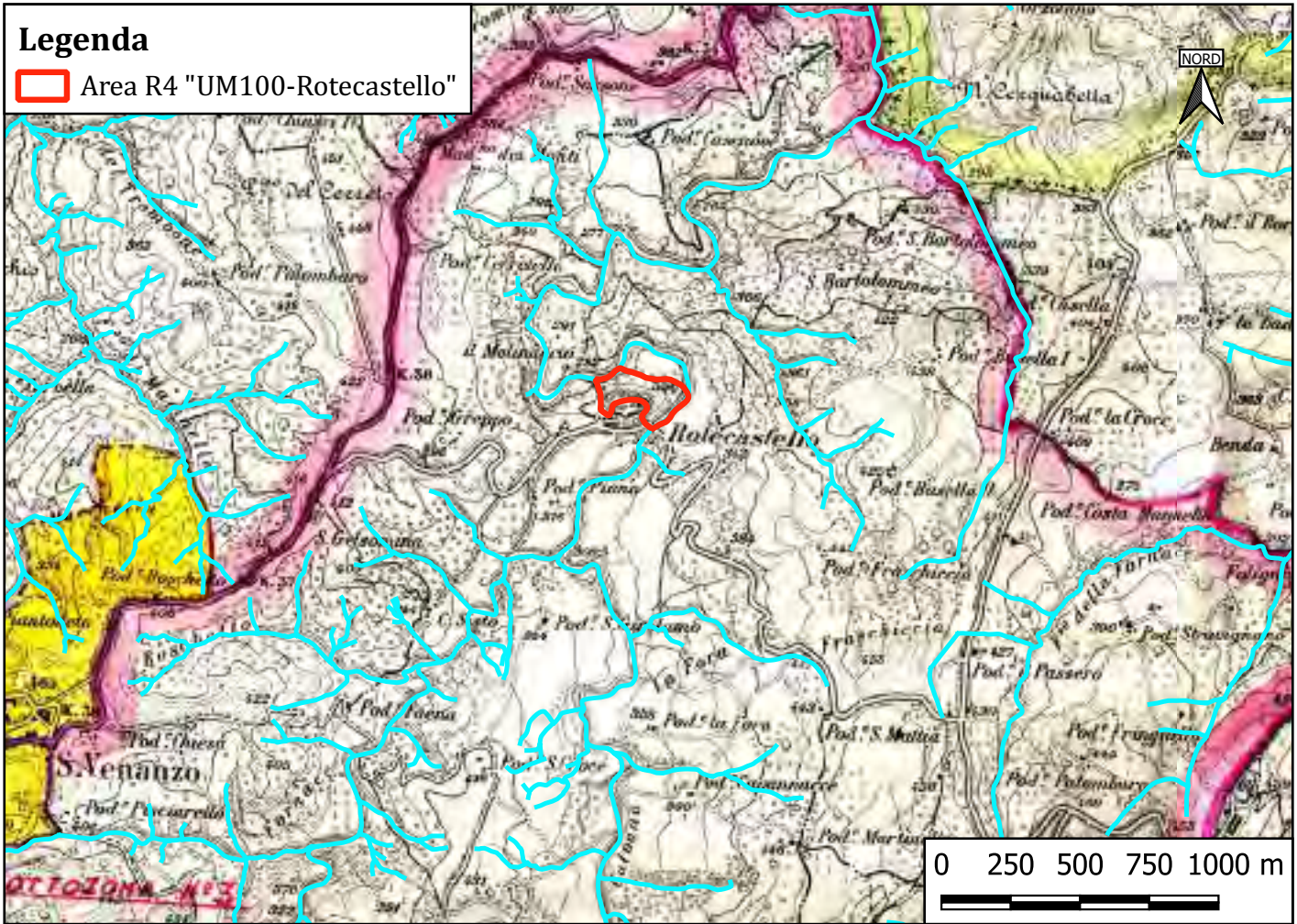
- Allegato 1 – Carta topografica d'Italia - *I.G.M.* con sovrapposta la Carta Vincolo Idrogeologico - *P.U.T. Regione Umbria*
- Allegato 2 – Carta Tecnica Regionale C.T.R. con evidenza dell'orografia, scala 1:10.000 - *Regione Umbria*
- Allegato 3 – Carta Tecnica Regionale C.T.R. con evidenza dell'orografia, scala 1:5.000 - *Regione Umbria*
- Allegato 4 – Estratto mappa catastale - *Agenzia del Territorio*
- Allegato 5 – Carta geologica - *Regione Umbria*
- Allegato 6 – Carta geomorfologica - *Regione Umbria*
- Allegato 7 – Carta Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (I.F.F.I.) dell'*Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (I.S.P.R.A.)*
- Allegato 8 – Carta inventario dei fenomeni franosi e rischio frana - *P.A.I. Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale (Bacino Interregionale del Fiume Tevere)*
- Allegato 9 – Fascicolo delle Indagini Geologiche Eseguite – *Terra Snc*
- Allegato 10 – Ortofoto con georeferenziazione dei punti di ripresa fotografici
- Allegato 11 – Report rilevamento geologico e geostrutturale in area a rischio di frana veloce con fotografie di alcune stazioni di misura
- Allegato 12 – Report fotografico rilevamento geologico in area a rischio di frana superficiale
- Allegato 13 – Report fotografico da rilievo aerofotogrammetrico con sistema A.P.R.
- Allegato 14 – Carta di pericolosità sismica locale - *Regione Umbria*
- Allegato 15 – Mappe interattive di pericolosità sismica - *I.N.G.V.*
- Allegato 16 – Parametri Sismici – Stabilità dei pendii
- Allegato 17 – Parametri Sismici – Muri di Sostegno
- Allegato 18 – Modelli Geologici applicati a Sezioni Rappresentative del sottosuolo

Cartografia topografica dell'Istituto Geografico Militare (I.G.M.)


con sovrapposta la Carta Vincolo Idrogeologico-R.D. 30 dicembre 1923, n. 3267





(Regione Umbria, Piano Urbanistico Territoriale L.R. N.27/2000 e s.m.i.)

scala 1 : 25.000



Legenda

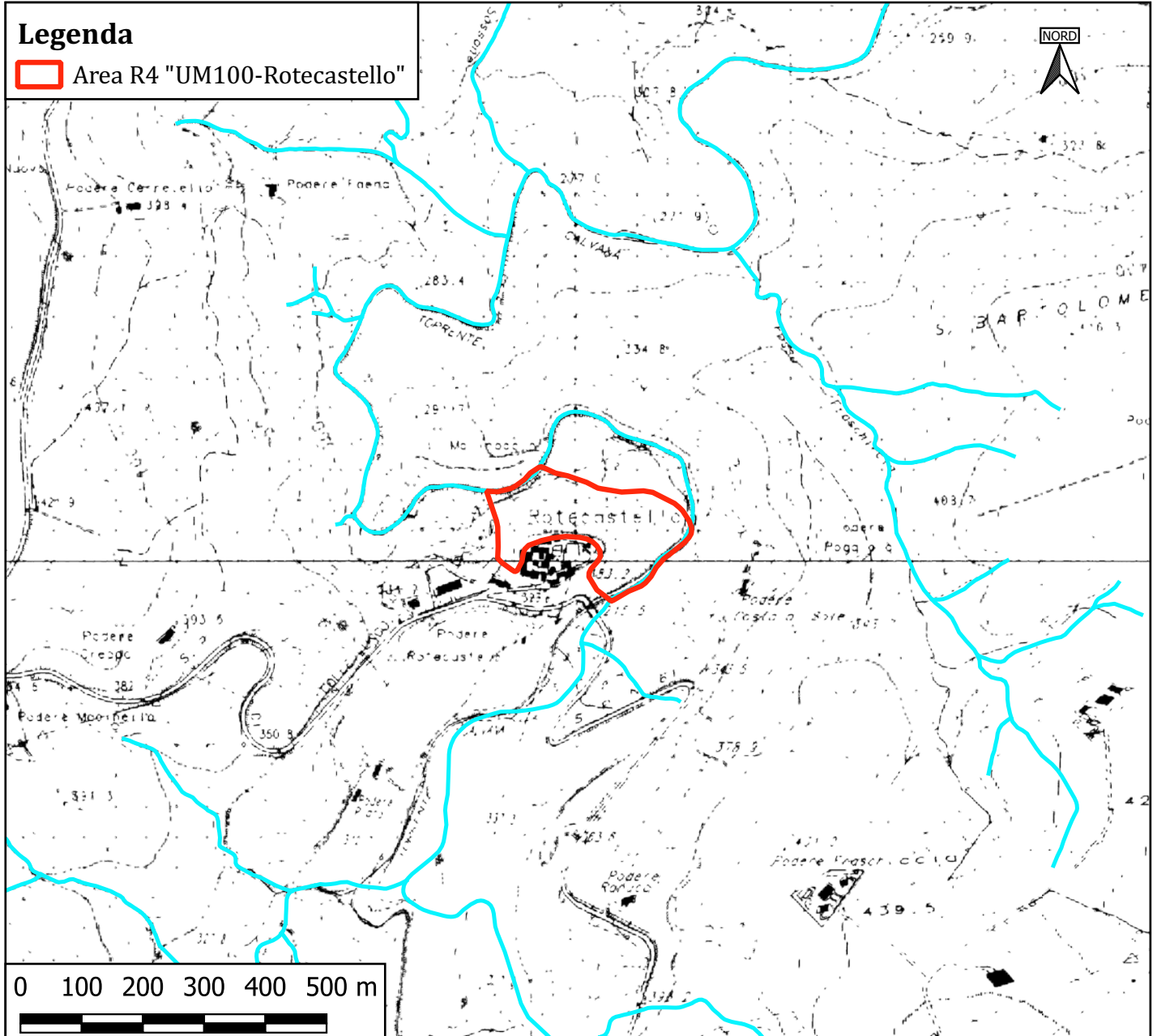
 Area R4 "UM100-Rotecastello"

-  Confine territoriale del Comune
-  Limite delle zone vincolate
-  Zone assoggettate a Vincolo
-  Terreni esclusi dal Vincolo

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

Cartografia Tecnica Regionale (C.T.R. Regione Umbria)
stralcio Sezione n° 322.120 con evidenza dell'orografia

scala 1 : 10.000

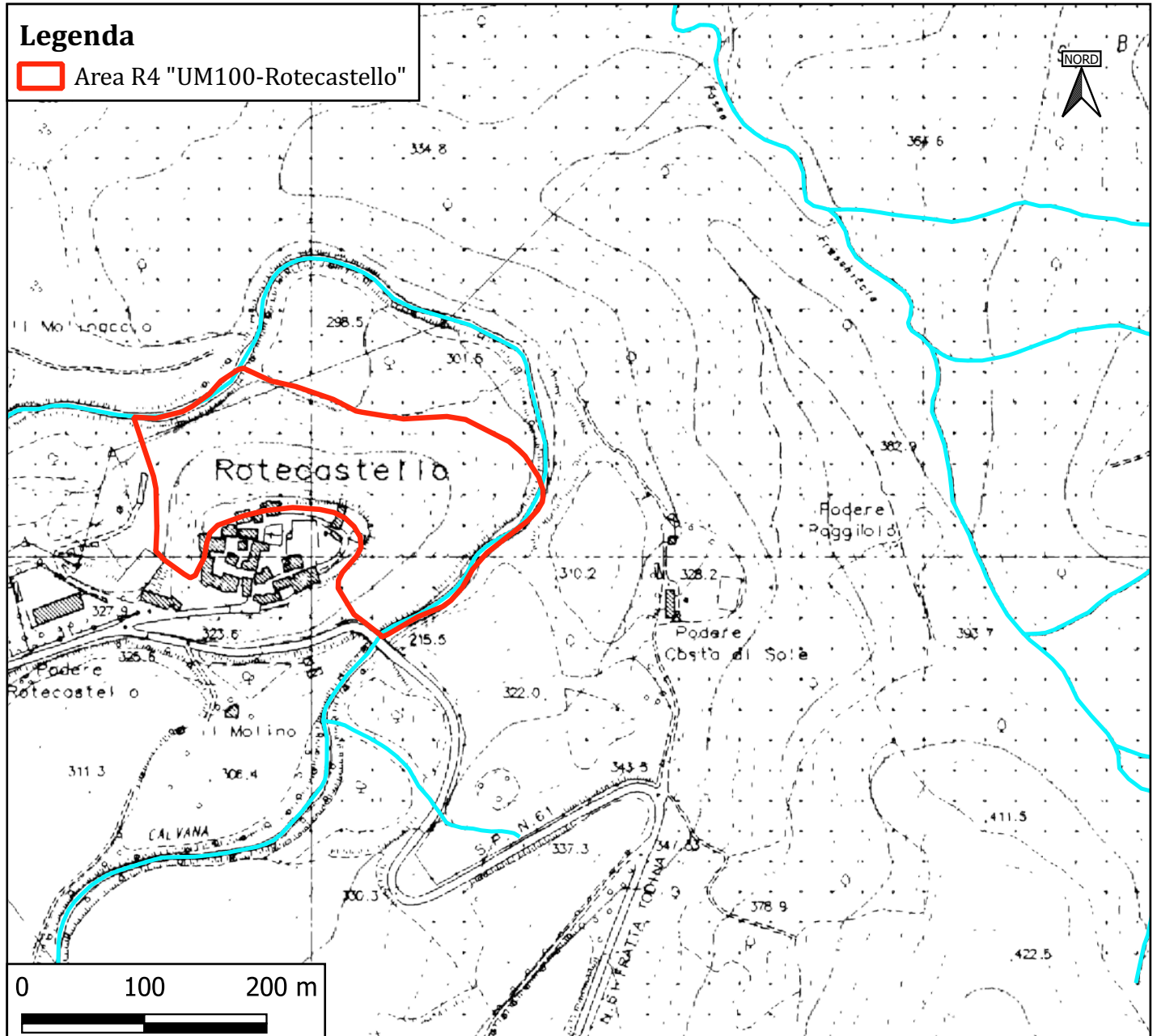


COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

Cartografia Tecnica Regionale (C.T.R. Regione Umbria)

stralcio Sezione n° 322.121 con evidenza dell'orografia

scala 1 : 5.000

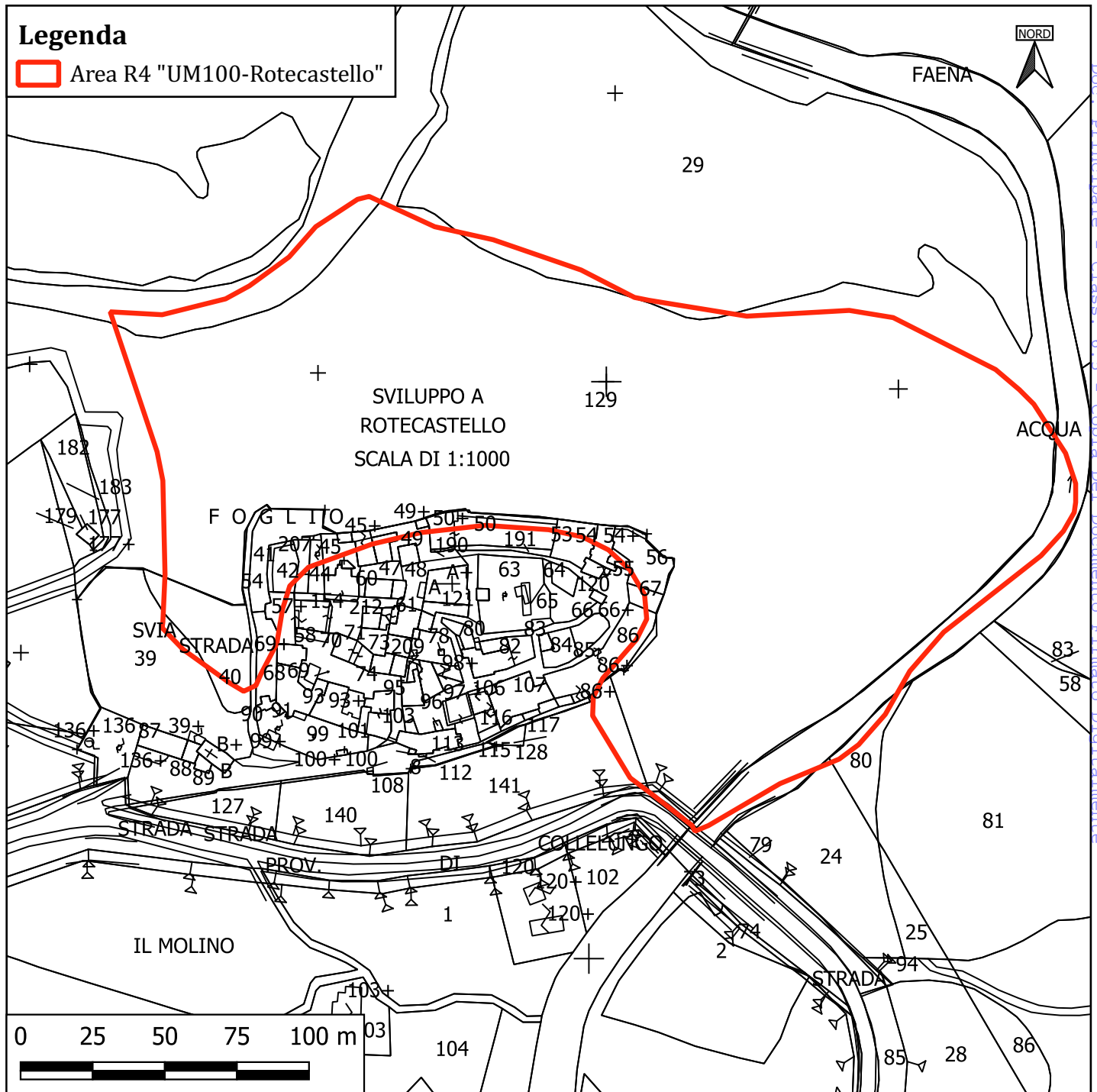


COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

Cartografia catastale (Agenzia del Territorio)

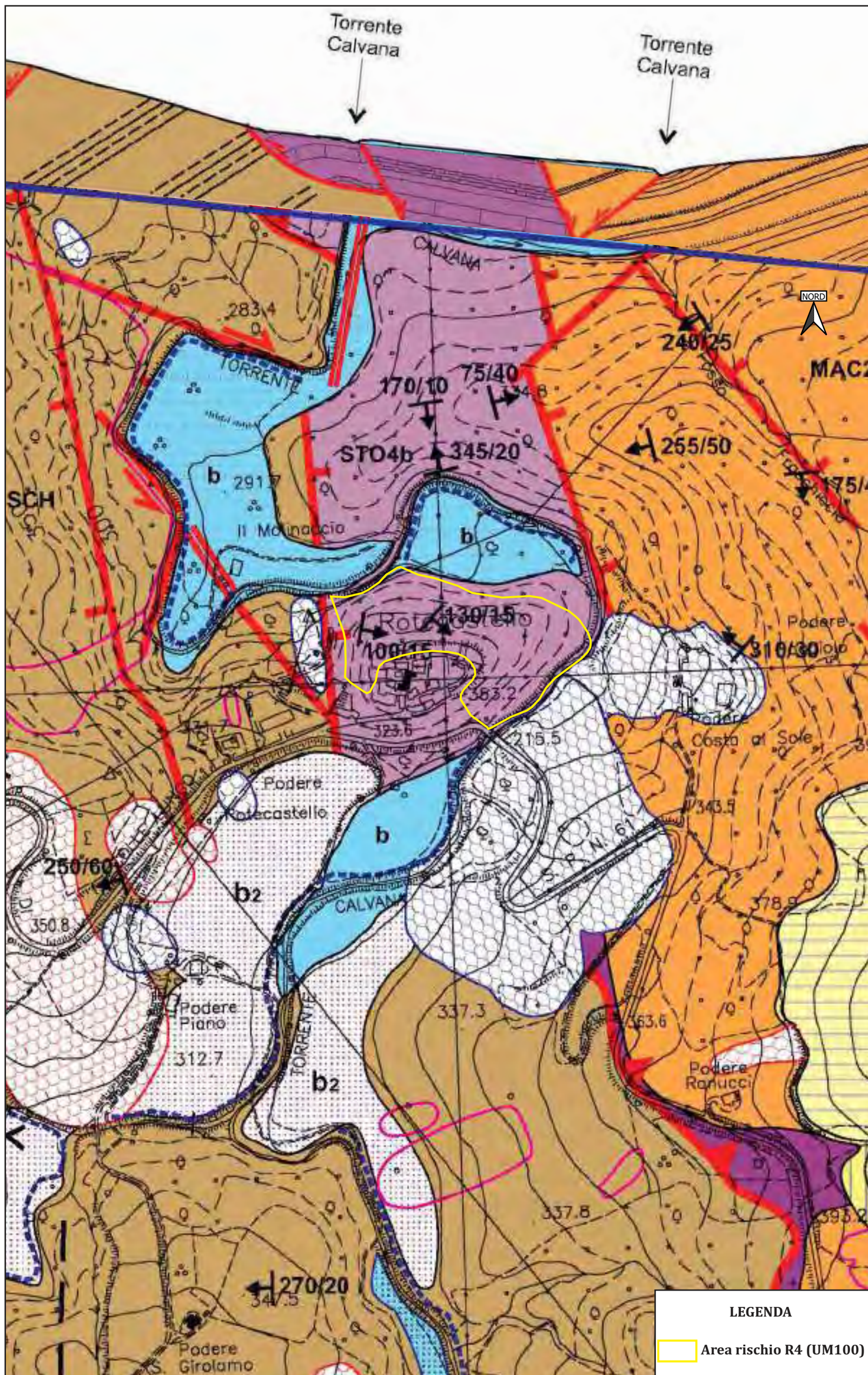
stralcio Fogli nn° 54, 55 e 65 del Comune di San Venanzo

scala 1 : 2.000



Carta Geologica - Regione Umbria

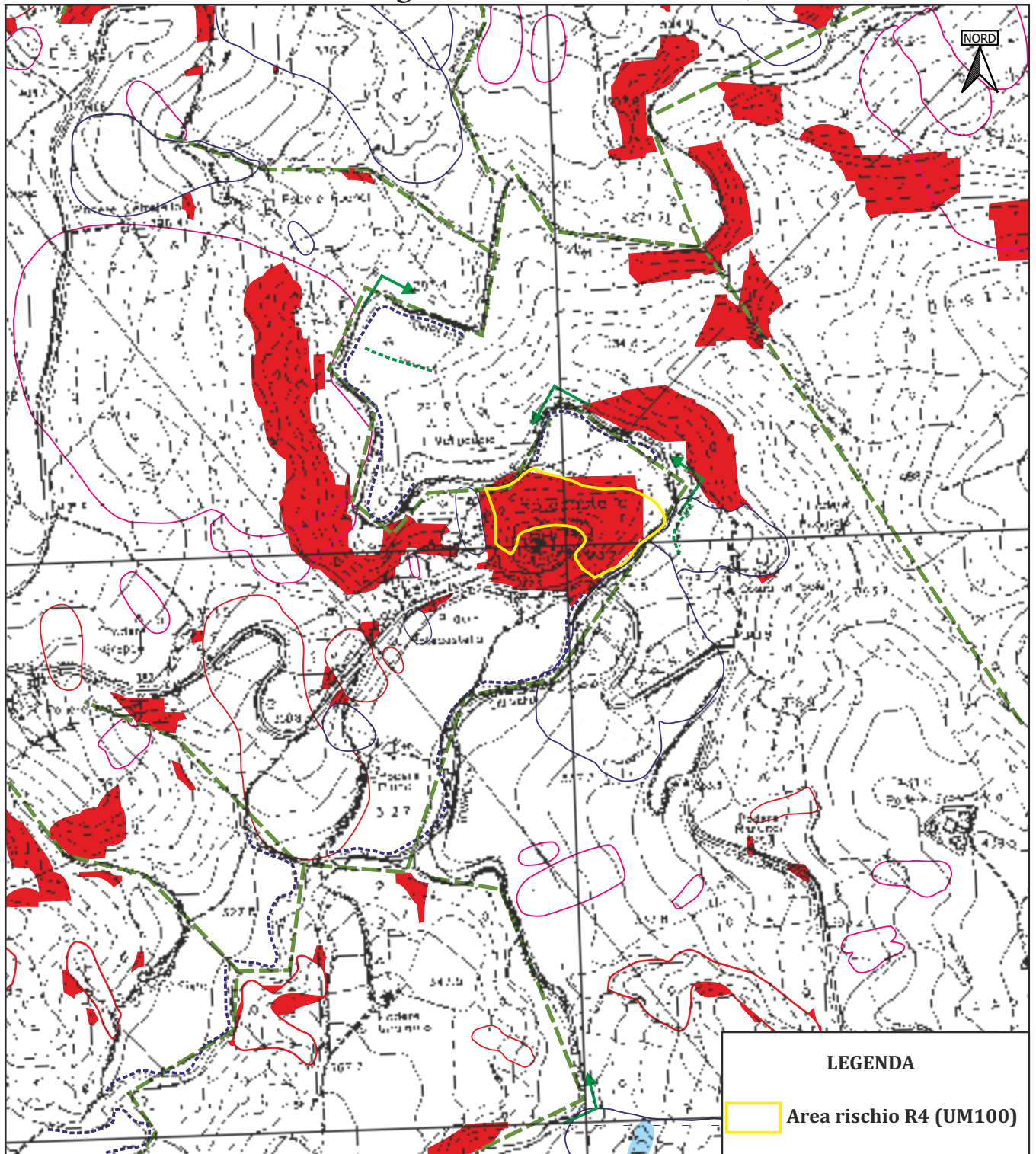
stralcio Sezione n° 322.120 «San Venanzo», resa alla scala 1:5.000



COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

Carta Geomorfologica - Regione Umbria

stralcio Sezione n° 322.120 «San Venanzo», scala 1:10.000



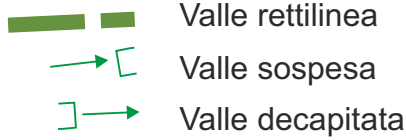
COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

Legenda Carta Geomorfologica - Regione Umbria

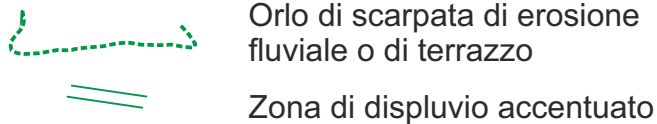
stralcio Sezione n° 322.120 «San Venanzo», scala 1:10.000

Elementi da geomorfologici

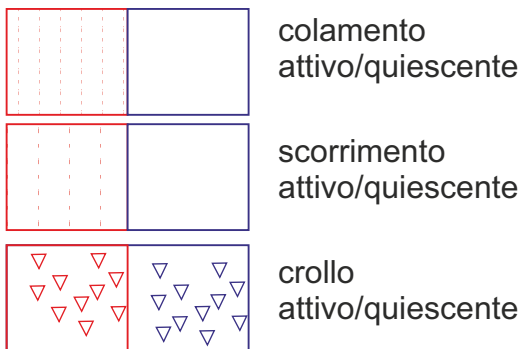
Forme Fluviali



Gomito fluviale



Forme legate alla gravità accumulo di frana



Frana non cartografabile

Frane del Catalogo IFFI

Forme legate all'erosione

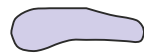


Calanchi: aree soggette a fenomeni di erosione a solchi ed incisione del versante con rapido arretramento delle testate

Acclività di versante



Aree con acclività maggiore del 40% (21.8°)



Coltre eluvio - colluviale

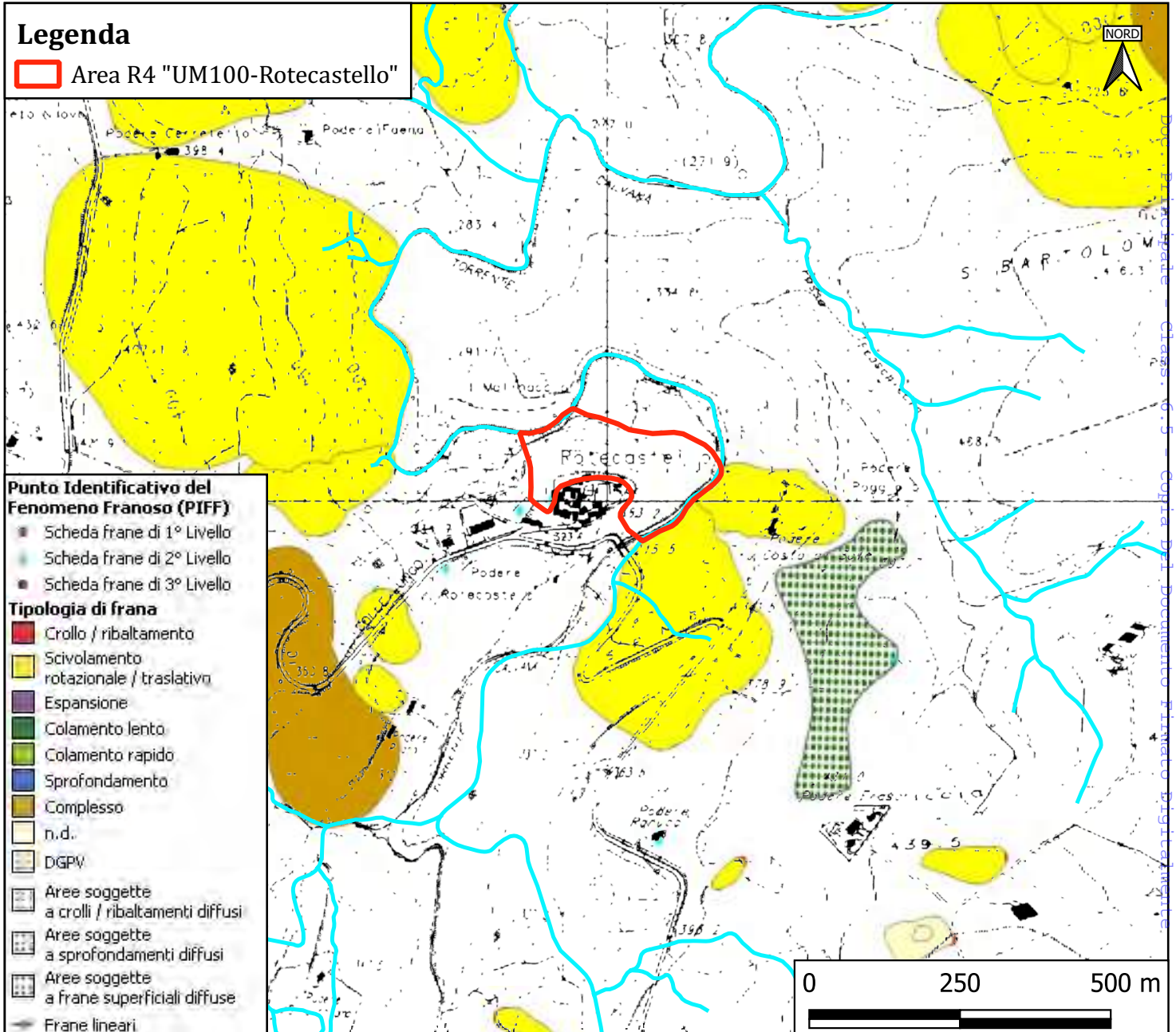
Depositi essenzialmente fini con clasti di varie dimensioni, provenienti dal disfacimento delle rocce del substrato, accumulati in posto (eluvium) o sedimentati sui versanti per trasporto in massa e/o ruscellamento diffuso (colluvium). Pleistocene - Olocene.

Direttore del Rilevamento: Dr. Amalia Sorrentino
Rilevatore: Dr. Gianluigi Rosatelli

Cartografia Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (I.F.F.I.)

dell' Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (I.S.P.R.A.)

scala 1 : 10.000



FASCICOLO DELLE INDAGINI GEOLOGICHE ESEGUITE

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

FASCICOLO SONDAGGI

Committente: Comune di San Venanzo (TR)	Sondaggio: S1
Riferimento: Mitigazione rischio idrogeologico area R4 Rotecastello	Data: 16-18/01/2023
Coordinate: lat. 42,8798 long. 12,2947	Quota: 340 m ss.l.m.
Perforazione: a carotaggio continuo	

LEGENDA STRATIGRAFIA

R v	φ mm	metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			Campioni	Cass.	
							m	S.P.T.	N			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

- 1) Rivestimento
- 2) Diametro del foro / Tipo di carotiere
- 3) Scala metrica con limiti delle battute (>)
- 4) Simbolo litologico
- 5) Profondità della base dello strato (m)
- 6) Descrizione della litologia dello strato
- 7) Percentuale di prelievo (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
- 8) Profondità di inizio della prova S.P.T.
- 9) Prova S.P.T.
- 10) Valore di N_{spt}
- 11) Campioni (numero, tipo, profondità testa e scarpa)
- 12) Simbolo del campione
- 13) Cassette catalogatrici

She = Shelby
Den = Denison
Ost = Osterberg
Maz = Mazier
Crp = Craps
nk3 = NK3
Ind = Indisturbato
Dis = Disturbato
SDi = Semi disturbato
SPT = SPT



Committente: Comune di San Venanzo (TR)	Sondaggio: S1
Riferimento: Mitigazione rischio idrogeologico area R4 Rotecastello	Data: 16-18/01/2023
Coordinate: lat. 42,8798 long. 12,2947	Quota: 340 m ss.l.m.
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :55

STRATIGRAFIA

Pagina 1/1

R v	ø mm	metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			Campioni	Cass.
							m	S.P.T.	N		
S				0.2	Terreno vegetale						
					Calcareniti molto fratturate						
	1			1.7	Calcareniti fratturate						
	2				Calcareniti fratturate						
	3				Calcareniti fratturate						
	4			3.8	Calcareniti molto fratturate						
				4.3	Calcareniti fratturate						
				4.5	Calcareniti molto fratturate						
	5			4.9	Calcareniti fratturate						
				5.7	Calcareniti molto fratturate						
D				6.0	Calcareniti fratturate						
				6.5	Calcareniti molto fratturate						
	6			6.7	Calcareniti fratturate						
				7.6	Calcareniti molto fratturate						
	7			8.0	Calcareniti fratturate						
					Calcareniti molto fratturate						
					Calcareniti fratturate						
	8				Calcareniti molto fratturate						
	9				Calcareniti fratturate						
	10			10.8	Calcareniti molto fratturate						
									S1C1) Ind < 7.20 7.50	2	
									S1C2) Ind < 8.70 9.00	3	

Committente: Comune di San Venanzo (TR)

Sondaggio: S1

Riferimento: Mitigazione rischio idrogeologico area R4 Rotecastello

Data: 16-18/01/2023

Fotografie - Pagina 1/3

Pagina 1



Piazzola S1



Committente: Comune di San Venanzo (TR)

Sondaggio: S1

Riferimento: Mitigazione rischio idrogeologico area R4 Rotecastello

Data: 16-18/01/2023

Fotografie - Pagina 2/3

Pagina 2



S1 da 0,0 a 5,0 m



S1 da 5,00 a 10,00 m

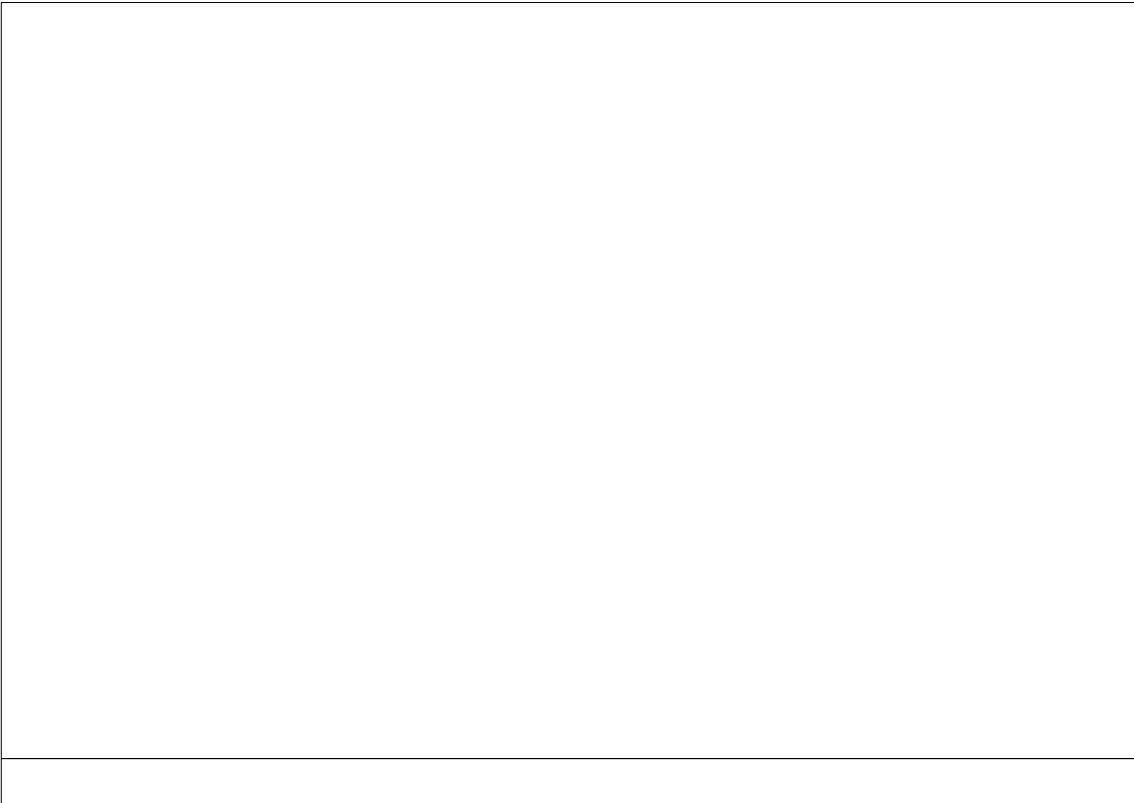
Committente: Comune di San Venanzo (TR)	Sondaggio: S1
Riferimento: Mitigazione rischio idrogeologico area R4 Rotecastello	Data: 16-18/01/2023

Fotografie - Pagina 3/3

Pagina 3



S1 da 10,0 a 10,80 m



Committente: Comune di San Venanzo (TR)

Sondaggio: S2

Riferimento: Mitigazione rischio idrogeologico area R4 Rotecastello

Data: 19/01/2023

Fotografie - Pagina 1/2

Pagina 1



Piazzola S2

Committente: Comune di San Venanzo (TR)

Sondaggio: S2

Riferimento: Mitigazione rischio idrogeologico area R4 Rotecastello

Data: 19/01/2023

Fotografie - Pagina 2/2

Pagina 2



S2 da 0,0 a 5,0 m



S2 da 5,0 a 10,0 m



Committente: Comune di San Venanzo (TR)	Sondaggio: S3
Riferimento: Mitigazione rischio idrogeologico area R4 Rotecastello	Data: 20/01/2023
Coordinate: lat. 42,8792 long. 12,2938	Quota: 340 m ss.l.m.
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :50

STRATIGRAFIA

Pagina 1/1

R v	Ø mm	metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			Campioni	Cass.
							m	S.P.T.	N		
S		1			Terreno di riporto costituito da frammenti litici e laterizzi in abbondante matrice limo sabbiosa e argillosa						
		2		2,2	Terreno di riporto prevalentemente limo sabbioso argilloso con piccoli frammenti di laterizio e ciottoli di dimensione millimetrica Calcarente molto fratturata						
		3		2,4							
		4		3,2	Frammenti di calcarenite in matrice limo argilloso di colore nocciola						
D		5			Calcarenti fratturate						
		6									
		7									
		8		8,0							
		9		9,3							
											S3C1) Ind < 8,50 > 8,65
											S3C2) She < 9,00 > 9,30

Committente: Comune di San Venanzo (TR)

Sondaggio: S3

Riferimento: Mitigazione rischio idrogeologico area R4 Rotecastello

Data: 20/01/2023

Fotografie - Pagina 1/2

Pagina 1



Piazzola S3

Committente: Comune di San Venanzo (TR)

Sondaggio: S3

Riferimento: Mitigazione rischio idrogeologico area R4 Rotecastello

Data: 20/01/2023

Fotografie - Pagina 2/2

Pagina 2



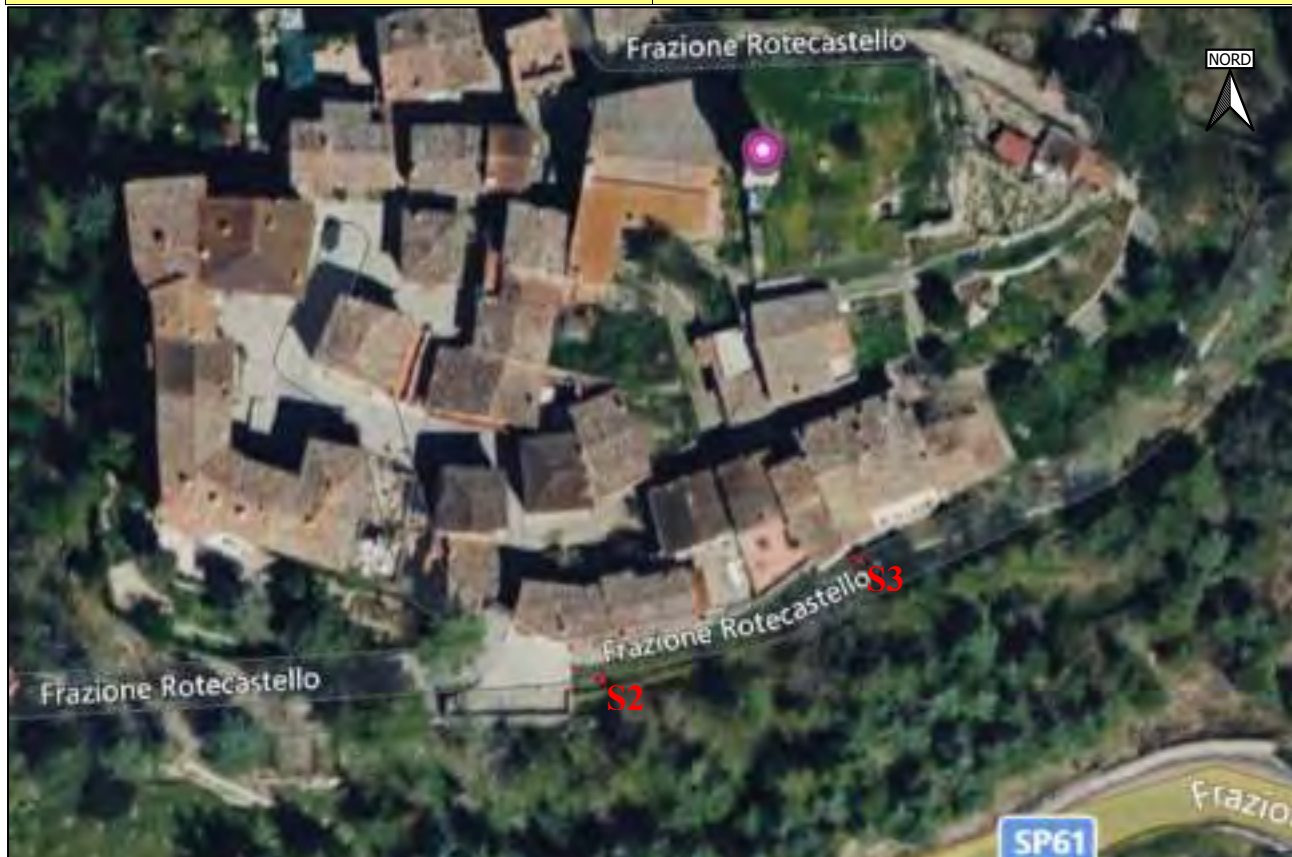
S3 da 0,0 a 5,0 m



S3 da 5,0 a 9,0 m

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE IN FORO DI SONDAGGIO

Committente: Comune di San Venanzo (TR) Descrizione: Interventi di mitigazione del dissesto idrogeologico nell'area a rischio R4 di Rotecastello" del comune di San Venanzo – finanziato con fondi PNRR. Localita': Rotecastello, San Venanzo (TR)	Codice commessa: CUP E24H20000600001 - CIG 9179751A29
---	---



Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: PROVE SPT IN FORO

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.76 m
Peso sistema di battuta	4.2 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	7 Kg/m
Profondita' giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.30 m
Numero colpi per punta	N(30)
Coeff. Correlazione	1
Rivestimento/fanghi	No

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'ingfiere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25

Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25
--------------------------------	------	-------------	----

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
 massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M peso massa battente.

M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
δ	passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

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

Rpd	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo (δ/N).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa} \quad (\text{Liao e Whitman 1986})$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
C_s	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
C_d	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
C_r	parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (- s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti**Liquefazione**

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.

- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito $< 38^\circ$.
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito $< 38^\circ$).
- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo $< 5\%$ a profondità < 5 m e con (%) di limo $> 5\%$ a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie D_r viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/s)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_0)

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u (min-max).
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (C_u - N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille** e **limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).

- Trofimencov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).

Modulo Di Young (E_Y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15 .
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

SONDAGGIO Nr.2

Strumento utilizzato...PROVE SPT IN FORO

Prova eseguita in data 19/01/2023

Quota 340.00 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi
3.15	3
3.30	5
3.45	6
4.65	50
4.80	0
4.95	0

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2**TERRENI COESIVI****Coesione non drenata (Kg/cm²)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terza ghi-Peck	Sanglerat	Terza ghi-Peck (1948)	U.S.D .M.S. M	Schmertmann (1975)	SUN DA (1983)	Fletcher (1965)	Houston (1960)	Shioi - Fukui (1982)	Bege mann	De Beer
[1] -	11	3.45	0.74	1.38	0.00	0.44	1.08	0.00	0.97	1.28	0.55	1.47	1.38

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] -	11	3.45	Robertson (1983)	22.00

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] -	11	3.45	50.47	--	113.99	110.00

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] -	11	3.45	106.10	110.00

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] -	11	3.45	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m ³)
[1] -	11	3.45	Meyerhof	1.99

Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)
[1] -	11	3.45	Meyerhof	2.19

Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] -	11	3.45		0

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	11	3.45	35.99	68.19	71.26	35.16
[2] -	0	4.95	0	0	0	6.23

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hans Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] -	11	3.45	11	30.14	23.14	31.08	31.21	34.05	37.55	<30	27.85	30.3	26.79	29.83
[2] -	0	4.95	0	27	20	28	0	29.47	0	<30	0	27	0	15

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appolonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] -	11	3.45	11	236.74	88.00	130.50	262.50	130.00
[2] -	0	4.95	0	---	---	---	---	---

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] -	11	3.45	11	66.00	50.06	78.10	87.06
[2] -	0	4.95	0	---	27.46	---	38.00

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	11	3.45	11	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[2] -	0	4.95	0	Classificazione A.G.I	SCIOLTO

Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m ³)
[1] -	11	3.45	11	Meyerhof et al.	1.76
[2] -	0	4.95	0	Meyerhof et al.	1.30

Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m ³)
[1] -	11	3.45	11	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.92
[2] -	0	4.95	0	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.86

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] -	11	3.45	11	(A.G.I.)	0.33
[2] -	0	4.95	0	(A.G.I.)	0.35

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] -	11	3.45	11	619.19	541.00
[2] -	0	4.95	0	---	---

Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] -	11	3.45	11	Ohta & Goto (1978) Limi	115.08
[2] -	0	4.95	0	Ohta & Goto (1978) Limi	0

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] -	11	3.45	11	Seed e Idriss (1971)	--
[2] -	0	4.95	0	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] -	11	3.45	11		---
[2] -	0	4.95	0		---

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] -	11	3.45	11		---
[2] -	0	4.95	0		---

SONDAGGIO Nr.3

Strumento utilizzato...PROVE SPT IN FORO

Prova eseguita in data 20/01/2023

Quota 340.00 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi
2.65	3
2.80	1
2.95	3

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.3

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terza ghi-Peck	Sanglerat	Terza ghi-Peck (1948)	U.S.D .M.S. M	Schmertmann 1975	SUN DA (1983)	Fletcher (1965)	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Bege mann	De Beer
[1] -	4	2.95	0.25	0.50	0.00	0.16	0.39	0.00	0.36	0.73	0.20	0.36	0.50

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] -	4	2.95	Robertson (1983)	8.00

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] -	4	2.95	18.35	60.00	42.59	50.00

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] -	4	2.95	25.60	40.00

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] -	4	2.95	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE

Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m ³)
[1] -	4	2.95	Meyerhof	1.70

Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)
[1] -	4	2.95	Meyerhof	1.87

Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] -	4	2.95		0

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	4	2.95	18.11	43.07	47.71	18.12

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malclev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977)	Mitchell & Katti (1981)	Shioini (1982)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] -	4	2.95	4	28.14	21.14	29.12	30.25	31.25	0	<30	22.75	28.2	23.3	23.94

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appolonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] -	4	2.95	4	---	32.00	---	---	---

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] -	4	2.95	4	---	35.68	28.40	55.84

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	4	2.95	4	Classificazione A.G.I	SCIOLTO

Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità' di Volume (t/m ³)
[1] -	4	2.95	4	Meyerhof et al.	1.49

Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità' Volume Saturo (t/m ³)
[1] -	4	2.95	4	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.88

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] -	4	2.95	4	(A.G.I.)	0.35

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] -	4	2.95	4	239.25	291.59

Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] -	4	2.95	4	Ohta & Goto (1978) Limi	93.72

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] -	4	2.95	4	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] -	4	2.95	4		---

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] -	4	2.95	4		---

FASCICOLO GEOFISICHE



TERRA S.n.c.
 Via Comandante Vittorio Veneto 48
 06055 Passignano (PG)
 Tel. 075 8089539 - 075 8795142
 info@laboratoriogeotecnico.it

AZIENDA CON
 SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ
 UNI EN ISO 9001:2015
 CERTIFICATO DA CERTQUALITY

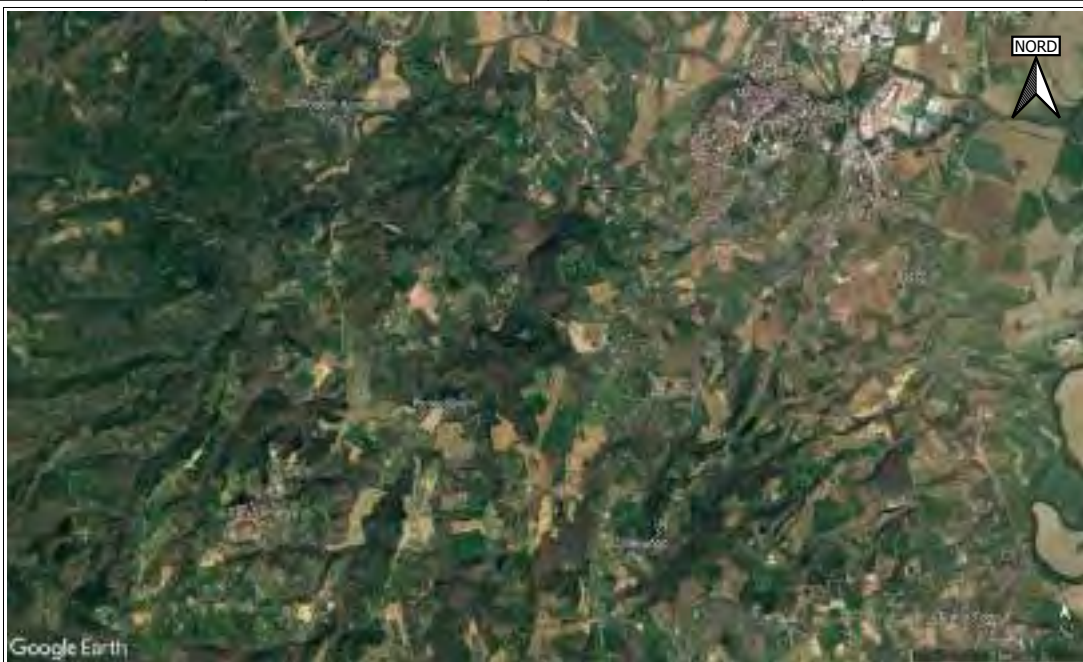
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
 Settore A (prove di laboratorio sui terreni con estensione carico su pali)
 D.M. n° 2612 del 26/05/2010 - Art. 3° DPR 390/2001 - Circolare 7438/STC/2010

RAPPORTO TECNICO SU INDAGINI GEOFISICHE

Analisi di prove M.A.S.W. ed H.V.S.R.

Inquadramento logistico cantiere

Regione:	Provincia:	Comune:	Località:
UMBRIA	TERNI	SAN VENANZO	ROTECASTELLO



COORDINATE GEOGRAFICHE DEL SITO (WGS84): LAT. 42.879660° LONG. 12.293793°

Riferimento:

INDAGINI GEOLOGICHE PER GLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO NELL'AREA A RISCHIO R4 DI ROTECASTELLO, IN ATTUAZIONE AL PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA – PNRR – MISSIONE 2, COMPONENTE 4, INVESTIMENTO 2.2 "INTERVENTI PER LA RESILIENZA, LA VALORIZZAZIONE DEL TERRITORIO E L'EFFICIENZA ENERGETICA DEI COMUNI"

Data:

GENNAIO 2023



TERRA S.N.C. SERVIZI AL TERRITORIO
 DI R. FICARÀ PAOLO BARTOCCHI S. C.
 VIA COMUNALE VITTORIO VENETO 48
 06055 Passignano (PG)
 TEL. 0758089539 - 0758795142 FAX 0757823100
 E-MAIL: INFO@LABORATORIOTECNICO.IT
 LABORATORIO AUT. CON D.M. N° 2612 DEL 26/05/10
 SETTORE A (PROVE DI LABORATORIO SUI TERRENI) CON
 ESTENSIONE PROVA DI CARICO SU PALI

Per presa visione del Tecnico Incaricato





TERRA S.n.c.
Via Comandante Vito Veneto 46
04035 Pomezia (PT)
Tel. 0773 9037507 - 0773 8795142
Info@abstrazionegeotecnica.it

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2015
CERTIFICATO DA CERTQUALITY

AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
Fattore A (prove di laboratorio sui terreni con estensione carico su pali)
D.M. n° 2612 del 26/05/2009 - Art. 34 DPR 180/2001 - Circolare 7435/STC/2010

Indice generale

1.0 – PREMESSA.....	1
2.0 - INQUADRAMENTO PLANIMETRICO E FOTOGRAFICO.....	2
3.0 - CARATTERISTICHE STRUMENTALI ED ESECUTIVE.....	6
3.1 - INDAGINE SISMICA ATTIVA CON TECNICA M.A.S.W.....	6
Caratteristiche specifiche delle indagini M.A.S.W. eseguite.....	8
3.2 - INDAGINE SISMICA PASSIVA CON TECNICA H.V.S.R.....	9
Caratteristiche specifiche delle indagini H.V.S.R. eseguite.....	9
4.0 - ANALISI DEI DATI ACQUISITI.....	10
4.1 - TECNICA M.A.S.W.....	10
4.2 - TECNICA H.V.S.R.....	10
5.0 - ELABORAZIONE DEI DATI ACQUISITI.....	13
5.1 - DATI M.A.S.W.	13
5.2 - DATI H.V.S.R.....	13
5.3 - FREQUENZA DI SITO.....	14
5.4 - MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO DI SITO.....	15

ALLEGATI:

Tavola 1	REPORT INDAGINI M.A.S.W. N. 1
Tavola 2	REPORT INDAGINI M.A.S.W. N. 2
Tavola 3	REPORT INDAGINI M.A.S.W. N. 3
Tavola 4	REPORT INDAGINI H.V.S.R. N. 1
Tavola 5	VALUTAZIONE QUALITÀ DELLE MISURE H.V.S.R. N. 1
Tavola 6	DATO DI CAMPAGNA MISURE H.V.S.R. N. 1
Tavola 7	REPORT INDAGINI H.V.S.R. N. 2
Tavola 8	VALUTAZIONE QUALITÀ DELLE MISURE H.V.S.R. N. 2
Tavola 9	DATO DI CAMPAGNA MISURE H.V.S.R. N. 2
Tavola 10	REPORT INDAGINI H.V.S.R. N. 3
Tavola 11	VALUTAZIONE QUALITÀ DELLE MISURE H.V.S.R. N.3

Tavola 12	DATO DI CAMPAGNA MISURE H.V.S.R. N. 3
Tavola 13	GRAFICO DI CORRELAZIONE FREQUENZA-EDIFICI
Tavole 14	MODELLAZIONE CONGIUNTA E DIRETTA DEI DATI ACQUISITI M.A.S.W. N. 1 E H.V.S.R. N. 1
Tavole 15	SISMOSTRATIGRAFIA MODELLO DA ELABORAZIONE CONGIUNTA M.A.S.W. N. 1 E H.V.S.R. N. 1
Tavole 16	MODELLAZIONE CONGIUNTA E DIRETTA DEI DATI ACQUISITI M.A.S.W. N. 2 E H.V.S.R. N. 2
Tavole 17	SISMOSTRATIGRAFIA MODELLO DA ELABORAZIONE CONGIUNTA M.A.S.W. N. 2 E H.V.S.R. N. 2
Tavole 18	MODELLAZIONE CONGIUNTA E DIRETTA DEI DATI ACQUISITI M.A.S.W. N. 3 E H.V.S.R. N. 3
Tavole 19	SISMOSTRATIGRAFIA MODELLO DA ELABORAZIONE CONGIUNTA M.A.S.W. N. 3 E H.V.S.R. N. 3



1.0 – PREMESSA

La presente consulenza specialistica riguarda interventi di mitigazione del dissesto idrogeologico nell'area a rischio R4 di Rotecastello, in attuazione al piano nazionale di ripresa e resilienza – PNRR – Missione 2, Componente 4, Investimento 2.2 "interventi per la resilienza, la valorizzazione del territorio e l'efficienza energetica dei comuni".

Nello specifico sono state eseguite:

- n. 3 indagine sismica attiva con tecnica M.A.S.W. (Multi-channel Analysis of Surface Waves) ed in onde di Rayleigh componente verticale (definita convenzionalmente ZVF);
- n. 3 indagini sismiche passive a stazione singola con tecnica dei rapporti spettrali (H.V.S.R. di Nakamura).

Le prove sismiche sono finalizzate:

- a ricostruire l'assetto sismostratigrafico dei livelli più superficiali del terreno per fornire il parametro $V_{s,eq}$ così come indicato dalle N.T.C. 2018 (D.M. 17/01/2018):

$$V_{s,eq} = H / \sum_{i=1,N} h_i / V_{s,i} \quad \text{dove:}$$

- 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 V_s non inferiore a 800 m/s. Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. 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.
- a stimare, sempre che risulti possibile, la profondità del bedrock sismico locale ed ottenere una sismostratigrafia profonda in modo da poter effettuare il calcolo delle V_{SH} (velocità equivalente delle onde di taglio "S" dei terreni di copertura presenti sopra al bedrock), dato utile per studi di Risposta Sismica Locale di II° Livello e III° Livello (DGR Umbria 377/2010, ICMS della Protezione Civile).



TERRA S.n.c.
Via Costanza Viterbo Viale 48
01030 Fregene (VT)
Tel: 072 1007501 - 072 179 51 82
Info@laboratoriogeotecnicisrl.it

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2015
CERTIFICATO DA CERTQUALITY

AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
Fattore A (prove di laboratorio sui terreni con consistenze medio e forti)
D.M. n° 2412 del 26/05/2008 - Art. 3° DPR 380/2001 - Circolare 7435/STC/2010

2.0 - INQUADRAMENTO PLANIMETRICO E FOTOGRAFICO

L'inquadratura di dettaglio dell'area investigata e l'ubicazione delle relative indagini è visualizzabile dalle immagini satellitari e le fotografie riportate di seguito:



PLANIMETRIA DI DETTAGLIO DELL'AREA INDAGATA CON INDICAZIONE ED UBICAZIONE DELLE PROVE ESEGUITE

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



TERRA S.n.c.
Via Cassanda Viterbo Verso 48
01040 Fregene (VT)
Tel: 0761 8087501 - 0761 8795142
Info@laboratoriogeotecnicosrl.it

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2015
CERTIFICATO DA CERTQUALITY

AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
Fattore A (prove di laboratorio sui terreni con oscillazione carico su pali)
D.M. n° 2412 del 26/05/2008 - Art. 3° DPR 380/2001 - Circolare 7435/STC/2010



STENDIMENTO GEOFONI E PUNTO BATTUTA PER ACQUISIZIONE MASW N° 1 IN ONDE DI RAYLEIGH (COMPONENTE VERTICALE-ZVF)



POSIZIONAMENTO GEOBOX PER PROVA H.V.S.R. N° 1

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



TERRA S.n.c.
Via Casaranda Viterbo Veneto 48
04040 Fregene (PG)
Tel: 075 3007501 - 075 379 51 82
Info@laboratoriogeotecnica.it

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2015
CERTIFICATO DA CERTQUALITY

AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
Fattore A (prove di laboratorio sui terreni con oscillazione carico su pali)
D.M. n° 2412 del 26/09/2009 - Art. 3° DPR 380/2001 - Circolare 7435/STC/2010



STENDIMENTO GEOFONI E PUNTO BATTUTA PER ACQUISIZIONE MASW N° 2 IN ONDE DI RAYLEIGH (COMPONENTE VERTICALE-ZVF)



POSIZIONAMENTO GEOBOX PER PROVA H.V.S.R. N° 2

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



TERRA S.n.c.
Via Casaranda Viterbo Veneto 48
04040 Fregene (VT)
Tel: 0761 8087501 - 0761 8795142
Info@laboratoriogeotecnica.it

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2015
CERTIFICATO DA CERTQUALITY

AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
Fattore A (prove di laboratorio sui terreni con oscillazione casale su pali)
D.M. n° 2412 del 26/05/2008 - Art. 3° DPR 380/2001 - Circolare 7435/STC/2010



STENDIMENTO GEOFONI E PUNTO BATTUTA PER ACQUISIZIONE MASW N° 3 IN ONDE DI RAYLEIGH (COMPONENTE VERTICALE-ZVF)



POSIZIONAMENTO GEOBOX PER PROVA H.V.S.R. N° 3

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

3.0 - CARATTERISTICHE STRUMENTALI ED ESECUTIVE

3.1 - INDAGINE SISMICA ATTIVA CON TECNICA M.A.S.W.

L'indagine sismica attiva con tecnica M.A.S.W. viene condotta mediante sismografo a trasmissione digitale DoReMi a 16 Bit, prodotto dalla Ditta SARA Electronic Instruments S.r.l.

Il sismografo DoReMi è uno strumento che distribuisce lungo il cavo di stendimento l'elettronica necessaria alla registrazione del segnale sismico.

Ogni canale che compone il cavo è esso stesso un piccolo sismografo e più canali in serie collegati vanno a formare una sorta di microrete.

Il sistema è pertanto completamente modulare e può essere gestito utilizzando il numero di canali di cui effettivamente si ha bisogno (da 1 ad N) in funzione del tipo di indagine sismica da effettuare.

Ad ogni canale (digitalizzatore) viene collegato un geofono per formare la microrete di acquisizione.

Il sismografo viene collegato al PC (dotato di software dedicato di acquisizione dei segnali sismici) con porta USB o RS232, tramite una speciale interfaccia di comunicazione (unità di testa del DoReMi) che ha la funzione di:

- provvedere energia elettrica al sismografo,
- collegare la rete dati dei canali (RS485),
- accettare il segnale di trigger,
- avviare con precisione la registrazione,
- segnalare all'operatore lo stato del sistema.

Le caratteristiche specifiche dell'apparecchiatura vengono di seguito riportate:

Caratteristiche tecniche	
Classe strumentale:	sismografo multicanale per geofisica
Topologia:	rete differenziale RS485 half-duplex multipunto
Lunghezza max rete:	virtualmente illimitata con l'uso di ripetitori
N. max canali per tratta:	255
Dimensioni elemento:	80x55x18 mm
Peso:	250 g (per elemento con cavo di 5 metri)
Cavo:	per geofisica 1x2x0.5 + 1x2x0.25 schermata
Memoria:	60 kbytes (30000 campioni)
Frequenze selezionabili:	da 500 a 20000 Hz (da 2 to 0.05 ms)
Convertitore:	tipo SAR a 16 bit (96 dB)
Amplificatore:	Ultra-low noise con ingresso differenziale
Banda passante:	2Hz - 200Hz
Reiezione modo comune:	>80dB
Distorzione (crosstalk):	zero, la trasmissione è digitale
Dinamica del sistema	
Risoluzione:	7.6 µV @ 27dB; 0.075 µV @ 60dB
Dinamica di base:	96dB (16 bit)
S/N ratio fra 0.5 e 30Hz:	>94dB (> 130dB con l'uso del PGA)
Alimentazione	
Alimentazione:	batteria ricaricabile interna operativa 10-15Vdc
Consumo di energia:	Interfaccia 80 mA, canale 30mA per una stringa da 12 canali: < 500mA



Il sistema di registrazione è attivato da un geofono di start, chiamato “*geofono trigger*”, il quale nell'istante dell'energizzazione sismica permette che vengano lasciati aperti i canali di acquisizione per una durata in genere pari a 1,0 - 2,0 s.

Alla microrete vengono collegati dei trasduttori di movimento che possono essere di due differenti tipologie:

- verticali e non polarizzati (“geofoni per acquisizione onde P”) da 4,5 Hz, in modo da poter acquisire la componente verticale delle onde Rayleigh con sorgente ad impatto verticale rappresentata da una mazza da demolizione su shot plate in polimero da 250 mm di spessore (ZVF);
- orizzontali e polarizzati (“geofoni per acquisizione di onde S”) da 4,5 Hz, che a seconda del tipo di sorgente e della loro stessa orientazione rispetto alla linea di stendimento possono essere utili per acquisire due differenti tipi di onda, ovvero:
 1. se viene applicata una sorgente ad impatto verticale e l'asse dei geofoni è radiale (orizzontale) rispetto alla linea di stendimento verrà registrata la componente orizzontale delle onde di Rayleigh (RVF),
 2. se viene applicata una sorgente di taglio e l'asse dei geofoni è trasversale (perpendicolare) rispetto alla linea di stendimento verranno registrate le onde di Love (THF).

A ciascun canale viene assegnato un guadagno costante (stesso valore), senza applicazione di filtri né guadagno automatico ai singoli canali.

La determinazione della velocità delle onde di taglio V_s tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).

Le prospezioni sismiche M.A.S.W. forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto della VS, parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione dal punto di vista dinamico di un sito.

Infatti, mentre la velocità delle onde P misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde S è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde P, risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle V_s , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati. Analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde



di taglio con la profondità tramite processo di inversione e/o modellazione diretta dello spettro per mezzo dell'immissione di un modello sismostratigrafico noto.

La velocità delle onde di Rayleigh (VR) è pari a circa il 90% delle onde di taglio (VS).

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede 3 passi fondamentali:

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in polimero), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni;
2. Estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione);
3. Inversione delle curve di dispersione e/ o modellazione diretta dello spettro per ottenere profili verticali 1D delle Vs.

Caratteristiche specifiche delle indagini M.A.S.W. eseguite

Il sito per caratteristiche ambientali e di estensione ha reso possibile l'esecuzione di n° 3 stendimenti sismici aventi le seguenti caratteristiche:

- MASW n. 1:
 - lunghezza totale stendimento pari a 43,00 m;
 - utilizzati 12 trasduttori verticali aventi spaziatura di 3,00 m;
 - shots sismici, utili alla generazione delle onde effettuati su piattello in polimero per la generazione delle onde di Rayleigh (componente ZVF), con distanza dal primo geofono della catena strumentale (offset minimo) pari a 5,00 m;
- MASW n. 2:
 - lunghezza totale stendimento pari a 43,00 m;
 - utilizzati 12 trasduttori verticali aventi spaziatura di 3,00 m;
 - shots sismici, utili alla generazione delle onde effettuati su piattello in polimero per la generazione delle onde di Rayleigh (componente ZVF), con distanza dal primo geofono della catena strumentale (offset minimo) pari a 5,00 m;
- MASW n. 3:
 - lunghezza totale stendimento pari a 43,00 m;
 - utilizzati 12 trasduttori verticali aventi spaziatura di 3,00 m;
 - shots sismici, utili alla generazione delle onde effettuati su piattello in polimero per la generazione delle onde di Rayleigh (componente ZVF), con distanza dal primo geofono della catena strumentale (offset minimo) pari a 5,00 m.

Al fine di valutare eventuali variazioni laterali di tipo sismostartigrafico, per ogni linea sismica sono state eseguite n° 2 acquisizioni in corrispondenza di entrambe le estremità dello stesso stendimento. Il numero di battute per ogni acquisizione è pari a n° 6, ciò al fine di ottenere tracce sismiche di qualità superiore tramite media delle stesse.



I dataset finali sono stati restituiti sotto forma di file in formato *.seg2*, per successive interpretazioni ed elaborazioni tramite software dedicato.

I risultati finali vengono riportati nella tavola allegata alla presente relazione.

3.2 - INDAGINE SISMICA PASSIVA CON TECNICA H.V.S.R.

L'indagine sismica passiva a stazione singola con metodo di Nakamura e sul rapporto spettrale HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) viene realizzata con ausilio di un tromometro SR04 a 3 canali e 24 bit (frequenza di risonanza 4,5 Hz). Lo strumento in oggetto è appunto in grado di acquisire il segnale sismico per misure sismologiche, geofisiche nonché per l'esecuzione di prove HVSR (Nakamura).

Lo strumento racchiude al suo interno n. 3 velocimetri elettrodinamici a 4,5 Hz (1 per ogni canale) e ortogonali tra di loro, ad alta definizione.

Il Geobox è gestito dal modulo software LOG-MT di SEISMOWIN attraverso il quale si può trasformare un comune Notebook in una stazione sismica che permette di eseguire sia elaborazioni vibrometriche che spettrometriche (in accordo alle norme UNI 9916 o 9614).

Le caratteristiche specifiche dell'apparecchiatura vengono di seguito riportate:

Caratteristiche tecniche generali	
Alimentazione:	10-16Vdc o da batteria interna < 1W
Numero canali:	3 a 24 bit (Δ)
Range dinamico:	124dB (144dB, 24 bit effettivi [enob], fra 0.1 e 10Hz)
Campionamento:	simultaneo sui tre canali
Sampling rates:	da 10-600 Hz
Real Time Clock:	+/-10ppm (-20/+50°C)
Sincronizzazione :	GPS via PPS modulato (su richiesta)
Precisione rispetto a UTC:	< 50µs
Interfaccia dati sismici:	RS232, cavo USB in dotazione
Formato dati:	protocollo binario SADC20HS
Velocità:	115200 baud
Contenitore:	Monoblocco in alluminio IP66
Temperatura operativa:	-30/+60°C
Dimensioni e peso:	155x140x110 mm
Peso:	3.1kg con sensori da 4.5Hz; 4.4kg con sensori da 2Hz
Conformità:	CE (EN55022, EN55011)

Caratteristiche specifiche delle indagini H.V.S.R. eseguite

Nel sito d'interesse sono state eseguite n° 3 acquisizioni.

Collegato il sismografo al Notebook è stato lanciato il software di acquisizione LOG-MT sono state avviate la registrazioni dei segnali per una durata temporale rispettivamente pari a 20 minuti (1200 secondi) ciascuna. I segnali acquisiti nel tempo dalla terna di velocimetri vengono convertiti in file di testo con estensione *.saf*.



4.0 - ANALISI DEI DATI ACQUISITI

4.1 - TECNICA M.A.S.W.

Il legame velocità (di fase) - frequenza è detto spettro di dispersione.

La curva di dispersione individuata nel dominio f-v è detta curva di dispersione sperimentale e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Partendo da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle onde P, è possibile simulare la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione: $v = \lambda \times v$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni (modi) di vibrazione del terreno.

I modi per le onde di superficie possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Le onde di superficie inoltre decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda.

Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

4.2 - TECNICA H.V.S.R.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremiti.

La forma di un'onda registrata in un sito "X" da uno strumento dipende:

- dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s,
- dal percorso dell'onda dalla sorgente "s" al sito "X" (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda),
- dalla risposta dello strumento.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio succede per le esplosioni della sismica attiva.

Nel tragitto dalla sorgente "s" al sito "X" le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione



relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però “sepolta” all’interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSr (tecnica di Nakamura) che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli, informazione di notevole importanza nell’ingegneria sismica.

Il progetto SESAME (Site EffectS Assessment using AMbient Excitations, 2005) si è occupato di stabilire delle linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola e array. Le ipotesi alla base della tecnica sono di analisi sono:

- i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano “stabili” ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato (TIME HISTORY),
- gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati (sorgenti uniformemente distribuite intorno alla stazione di rilievo) ovvero non ci siano state sorgenti “dominanti” (specie nelle alte frequenze),
- la misura non contenga errori sistematici (per es. dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate. Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x, y, z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l’eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione. Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest’ultimo viene sottoposto a tapering e/o liscio secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all’uopo idonee. Si esegue un’operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari a 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre che sono sincronizzate fra le tracce.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.



Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia.

Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio (curva sperimentale), in cui la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito (nel caso che almeno 5 dei 6 criteri di verifica dell'attendibilità del picco di cui al progetto SESAME siano verificate).

Come per la tecnica M.A.S.W. è possibile anche "determinare" la velocità delle onde di taglio tramite utilizzo di un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (H.V.S.R.) basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). Il codice può elaborare modelli con qualsiasi numero di strati, in qualsiasi intervallo di frequenze e in un qualsiasi numero di modi (fondamentale e superiori). Tale operazione, detta inversione, si realizza mediante costruzione di un modello teorico H.V.S.R. avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita. Successivamente, tramite uno specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale (registrata); in questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde Vs. Al fine di ottenere un profilo sismostratigrafico altamente attendibile è evidente che la conoscenza della stratigrafia del sito di registrazione risulta molto importante ed eseguire un processo di modellazione invece che di mera inversione.



5.0 - ELABORAZIONE DEI DATI ACQUISITI

Tramite l'utilizzo del software Winmasw Academy della Eliosoft i dati (dataset) acquisiti con le indagini M.A.S.W. ed H.V.S.R. sono stati analizzati in modo congiunto cercando di trovare il modello geologico-tecnico di sito che meglio si adattasse alle curve sperimentali registrate in campagna.

I grafici relativi alle interpretazioni oltre alle metodologie utilizzate sono consultabili alle tavole allegate al presente rapporto.

5.1 - DATI M.A.S.W.

Il dataset delle tracce registrate (**STEP A – Tavole 1, 2 e 3**), ovvero i segnali riferibili alla componente verticale delle onde di Rayleigh (ZVF), sono stati elaborati con analisi spettrale 2D (**STEP B – Tavole 1, 2 e 3**) al fine di identificare i massimi della curva di dispersione sperimentale (registrata).

5.2 - DATI H.V.S.R.

I segnali registrati dalla terna di velocimetri nelle tre direzioni ortogonali tra loro (**STEP 1 – Tavole 4, 7 e 10**), per tutta la durata temporale delle registrazioni (20 minuti) sono stati prima di tutto "ripuliti" dai transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Si è poi proceduto al calcolo degli spettri medi e del rapporto spettrale medio H/V (e relativa deviazione standard (**STEP 2 – Tavole 4, 7 e 10**)).

Come previsto poi dalle "*Linee guida per la misura del rumore di fondo del terreno con stazione singola mediante il metodo HVSR*" proposte dal Consiglio dell'Ordine dei Geologi della Regione Umbria con *delibera n° 2/15 del 28/01/2015*, è stata quindi valutata la qualità tecnica delle misure HVSR acquisite secondo la *classificazione proposta da Albarello et alii, 2010 e Albarello & Castellaro, 2011*.

Nello specifico è stato esaminato lo spettro della curva H/V compreso nel range tra 0,2 e 40 Hz.

Individuato un valore massimo di frequenza (f_0) della curva (picco) tra 0.00-20.0 Hz, si è verificato che lo stesso sia in conformità al rispetto dei criteri SESAME (**STEP 3 – Tavole 5, 8 e 11**) e all'effettivo contrasto di rigidità tra copertura e bedrock sismico sottostante.

L'analisi globale dei parametri proposti dalle suddette linee guida, compresi la stazionarietà (**STEP 4 – Tavole 5, 8 e 11**) e l'omogeneità (**STEP 5 – Tavole 5, 8 e 11**), per l'indagine in oggetto suggerisce una **classe B1**.



5.3 - FREQUENZA DI SITO

Per la valutazione della frequenza naturale di vibrazione del sito indagato sono stati identificati i valori delle n° 2 indagini H.V.S.R. rispettivamente:

HV.S.R. N. 1

n° 1 valore, rispettivamente pari a:

- $f_0 = 8,4 (\pm 6,2)$ Hz con $A = 2,7 (\pm 0,3)$ Hz;

Il valore del picco risulta in accordo con 7 dei 9 criteri Sesame e per questo di medio-alta attendibilità.

HV.S.R. N. 2

n° 2 valori, rispettivamente pari a:

- $f_0 = 7,5 (\pm 2,9)$ Hz con $A = 2,9 (\pm 0,2)$ Hz;
- $f_0 = 14,8 (\pm 4,5)$ Hz con $A = 3,9 (\pm 0,7)$ Hz.

Il valore dei due picchi risulta rispettivamente in accordo con:

- 7 dei 9 criteri Sesame e per questo di media-alta attendibilità;
- 8 dei 9 criteri Sesame e per questo di alta attendibilità.

HV.S.R. N. 3

n° 1 valore, rispettivamente pari a:

- $f_0 = 11,5 (\pm 3,6)$ Hz con $A = 3,6 (\pm 0,5)$ Hz;

Il valore del picco risulta in accordo con 7 dei 9 criteri Sesame e per questo di medio-alta attendibilità.

Tali dati dovranno essere correlati dal progettista strutturale con la frequenza propria dei fabbricati esistenti ed in progetto, per evitare effetti di doppia risonanza in fase sismica; in via esemplificativa si riporta una tabella speditiva di confronto tra altezza edifici e frequenza propria (**Tavola 13**).

La curva H/V risulta comunque efficace ed indispensabile per la modellazione sismica congiunta di sito.



5.4 - MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO DI SITO

Per la determinazione di un modello sismostratigrafico di sito si è proceduto quindi ad una:

1. modellazione diretta e congiunta dei dati forniti dalle indagini M.A.S.W. con i risultati della prova H.V.S.R. (**Tavole 14, 16 e 18**).

Le analisi sono consistite in modellazioni dirette dei dati sperimentali registrati in campagna; ciò ha permesso la determinazione di modelli geologico-tecnici sintetici.

Per quanto la determinazione di un modello sismostratigrafico di sito si è proceduto alla ricerca della migliore sovrapposizione delle contour lines derivanti da sismogrammi sintetici e/o alla migliore sovrapposizione di una curva effettiva al di sopra dello spettro di campagna.

In pratica partendo da un modello geologico-tecnico, caratterizzato da spessore degli strati, coefficiente di Poisson, velocità delle onde, si è cercato di ricostruire delle curve di dispersione sintetiche ed effettive che meglio approssimino e ricalchino le curve sperimentali registrate.

E' stato pertanto determinato l'assetto dei livelli più superficiali del terreno per fornire il parametro $V_{s,eq}$ (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio "S") così come indicato dalle N.T.C. 2018 (**Tavole 15, 17 e 19**).

Terra S.n.c.

Gennaio 2023

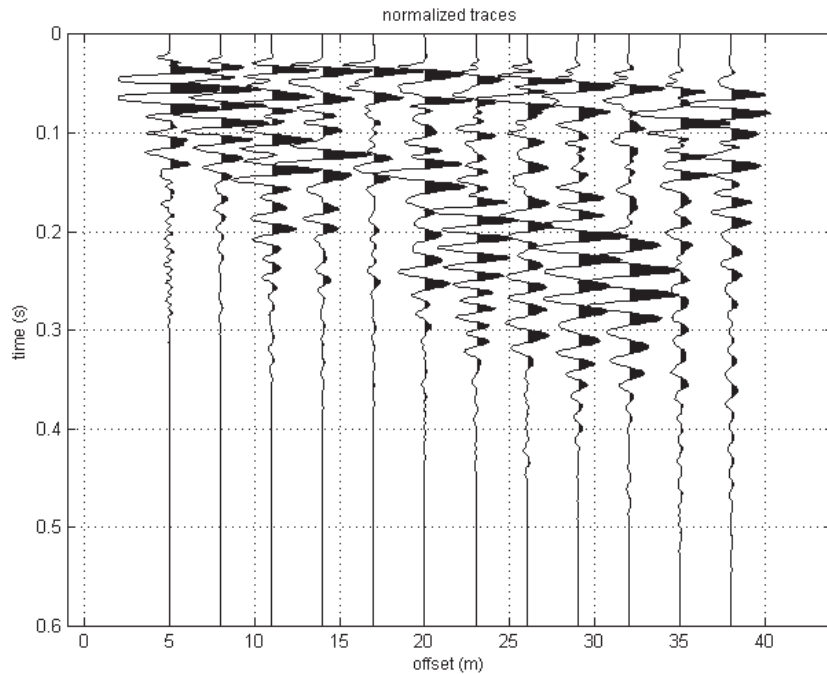
**INDAGINE SISMICA ATTIVA DEL TIPO M.A.S.W. n. 1
 IN ONDE DI RAYLEIGH (componente verticale - ZVF)**

STEP A *TRACCE DEI SEGNALI ACQUISITI*

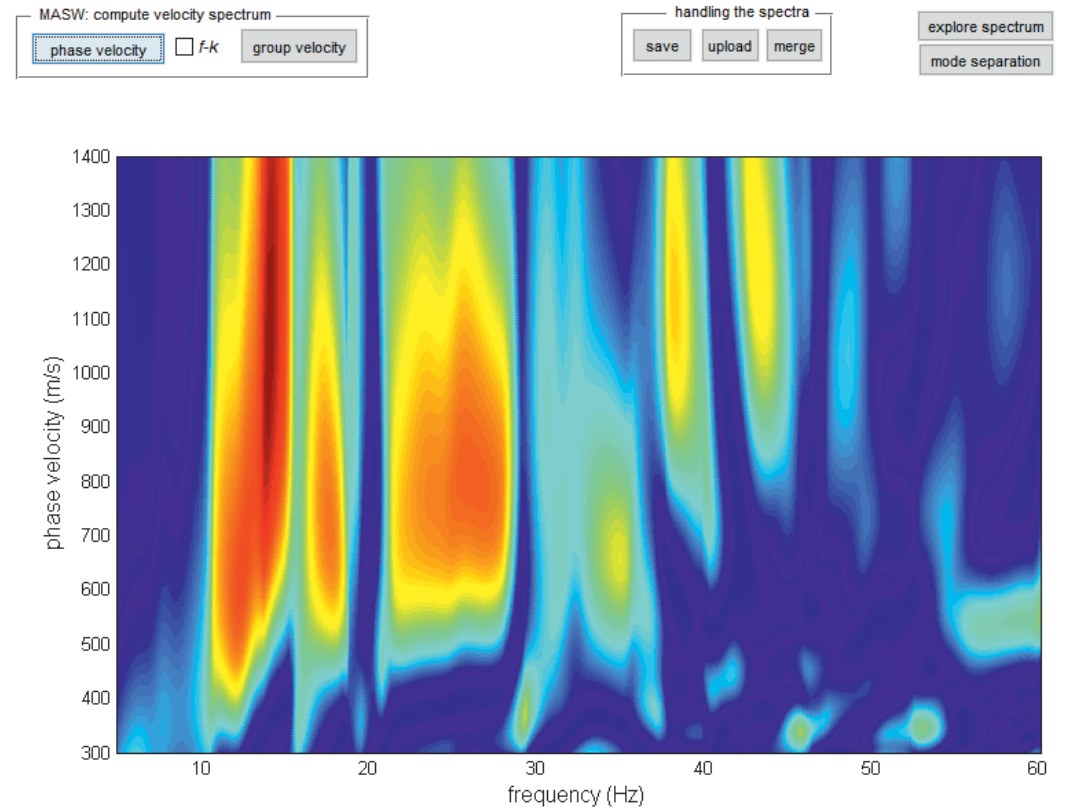
STEP B *CURVE DI DISPERSIONE SPERIMENTALI*

#1: data uploading & processing

dataset: 2022-12-21_09-24-39_1000_0200_12_s_tckAv.dat
 sampling: 1ms [1000Hz] - 2000 samples
 minimum offset: 5 m
 geophone spacing: 3 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

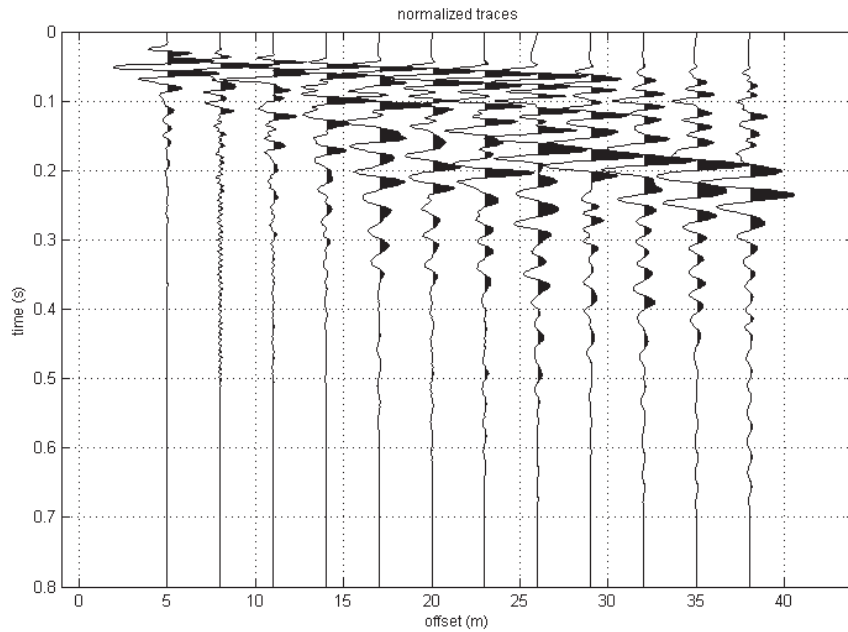


**INDAGINE SISMICA ATTIVA DEL TIPO M.A.S.W. n. 2
 IN ONDE DI RAYLEIGH (componente verticale - ZVF)**

STEP A TRACCE DEI SEGNALI ACQUISITI

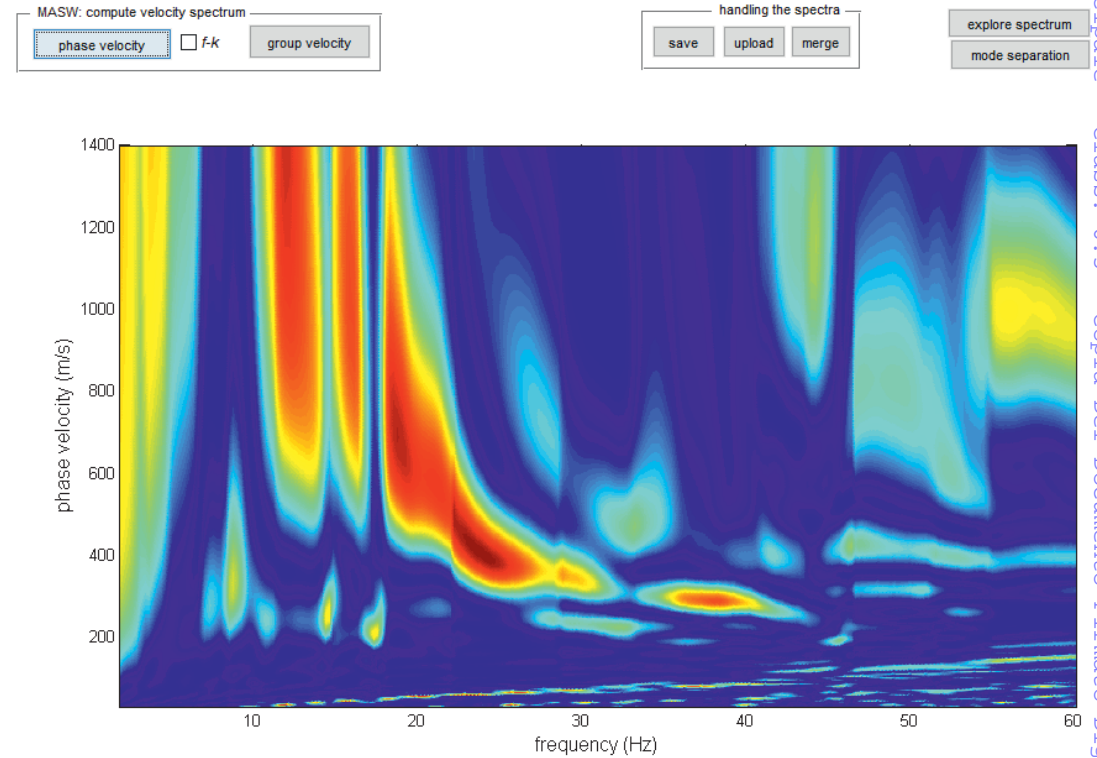
#1: data uploading & processing

dataset: 2022-12-21_09-55-46_1000_0200_12_s_tckAv.dat
 sampling: 1ms [1000Hz] - 2000 samples
 minimum offset: 5 m
 geophone spacing: 3 m



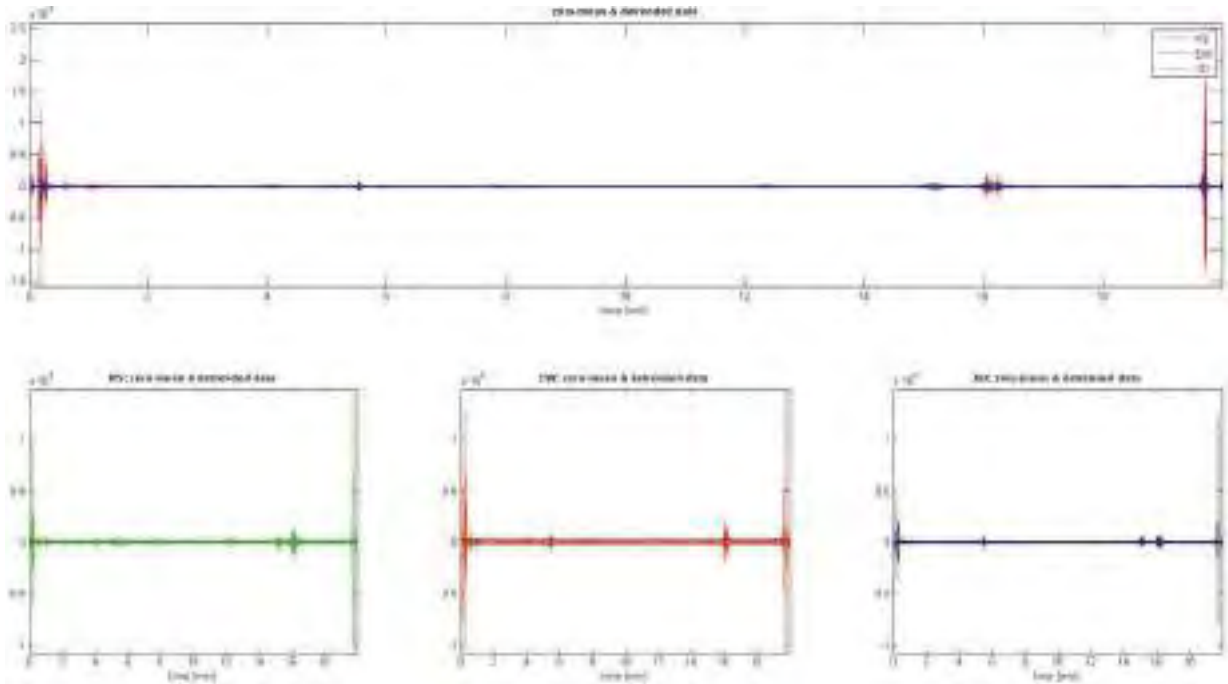
STEP B CURVE DI DISPERSIONE SPERIMENTALI

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

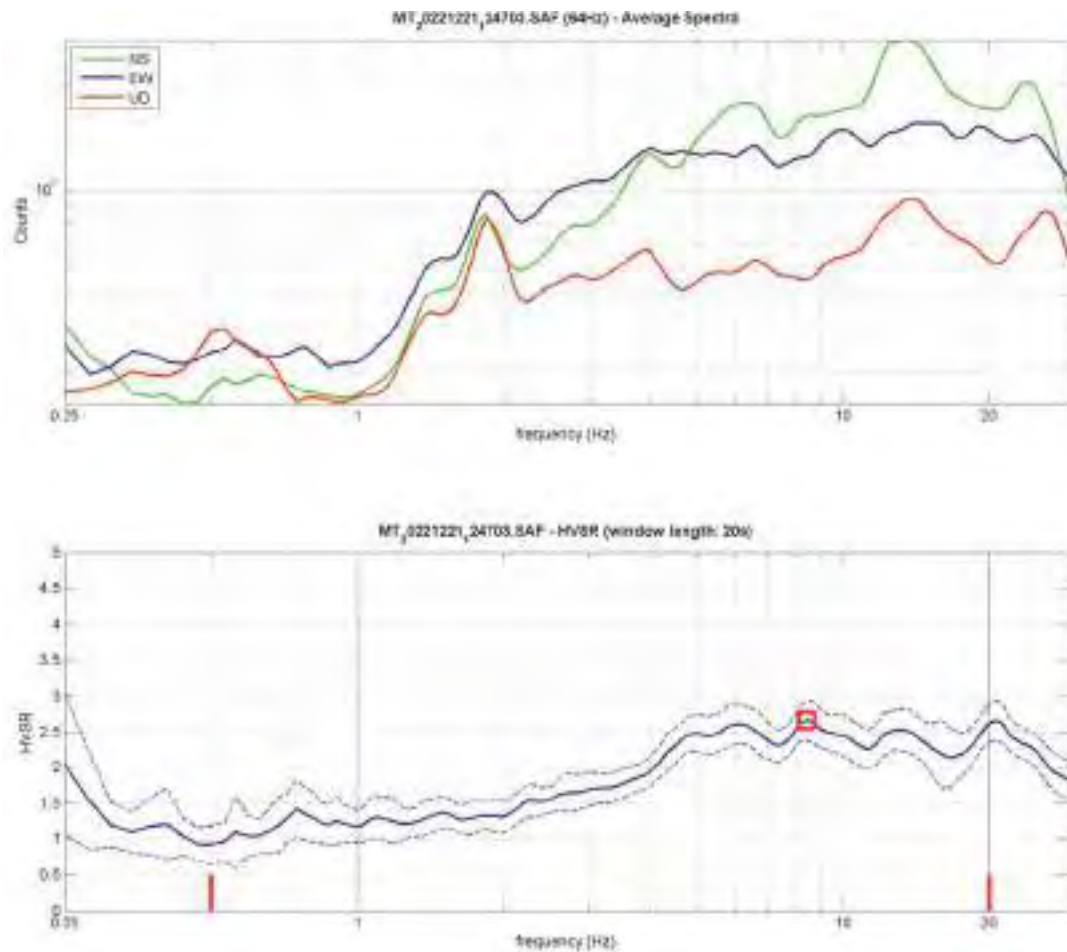


INDAGINE SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA - H.V.S.R. n° 1

STEP 1 DATI CAMPAGNA ACQUISITI DA TERNA VELOCIMETRI 4,5 Hz



STEP 2 CALCOLO RAPPORTO SPETTRALE H/V E VALUTAZIONE PICCHI DI AMPLIFICAZIONE



COMUNE DI SAN VENANZO
 Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
 Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

STEP 3 VALUTAZIONE DEI CRITERI DI SESAME - H.V.S.R. n° 1

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 8.4 (a6.2)

Peak HVSR value: 2.7 (a0.3)

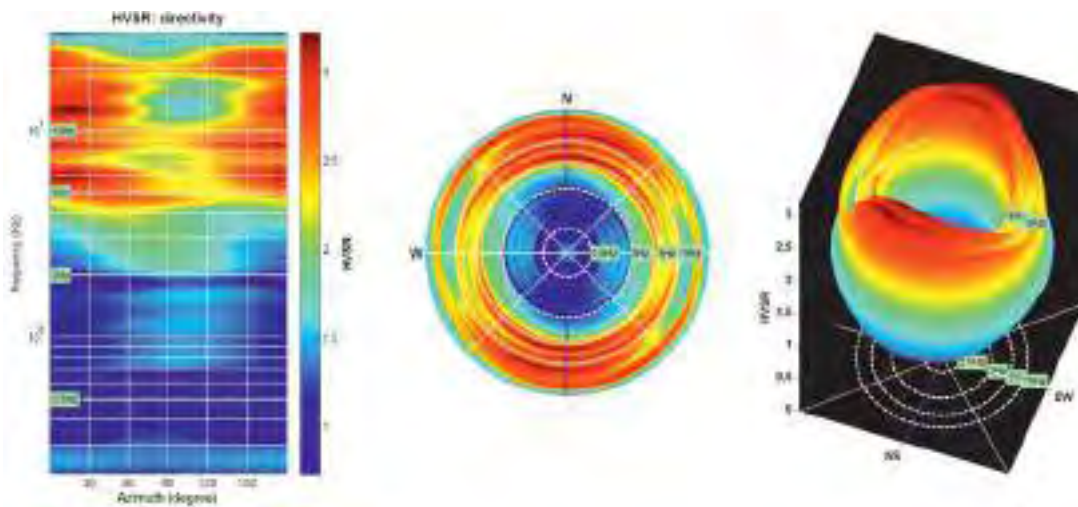
==== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [f0 > 10/Lw]: 8.414 > 0.5 (OK)
- #2. [nc > 200]: 18512 > 200 (OK)
- #3. [f0 > 0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

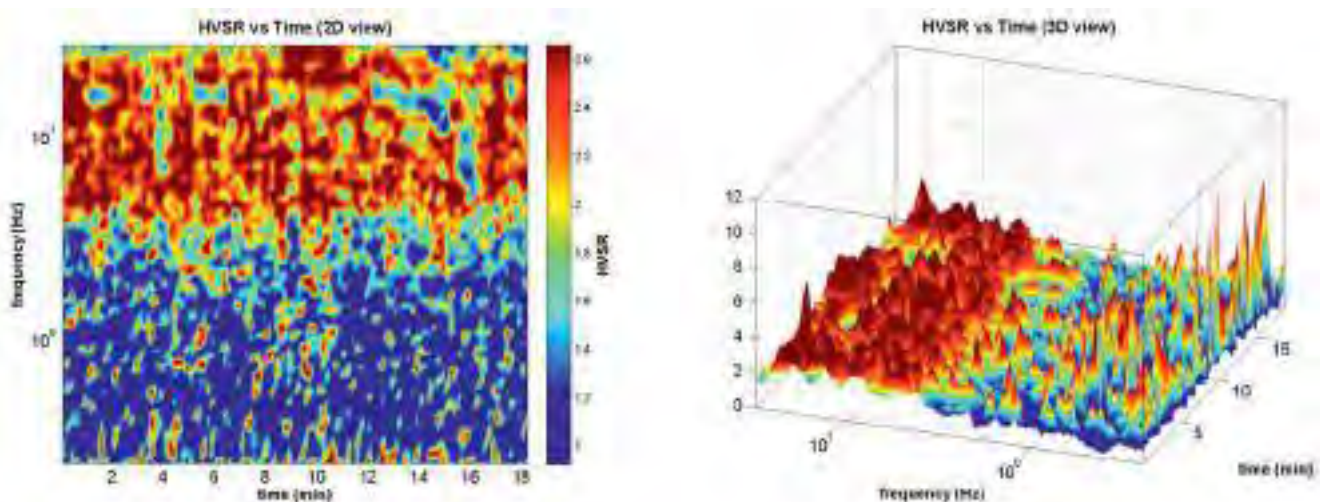
==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency 2.1Hz (OK)
- #2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: (NO)
- #3. [A0 > 2]: 2.7 > 2 (OK)
- #4. [fpeak[Ah/v(f) a sigmaA(f)] = f0 a 5%]: (OK)
- #5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 6.161 > 0.421 (NO)
- #6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.279 < 1.58 (OK)

STEP 4 DIREZIONALITÀ - H.V.S.R. n° 1



STEP 5 SERIE TEMPORALE - H.V.S.R. n° 1

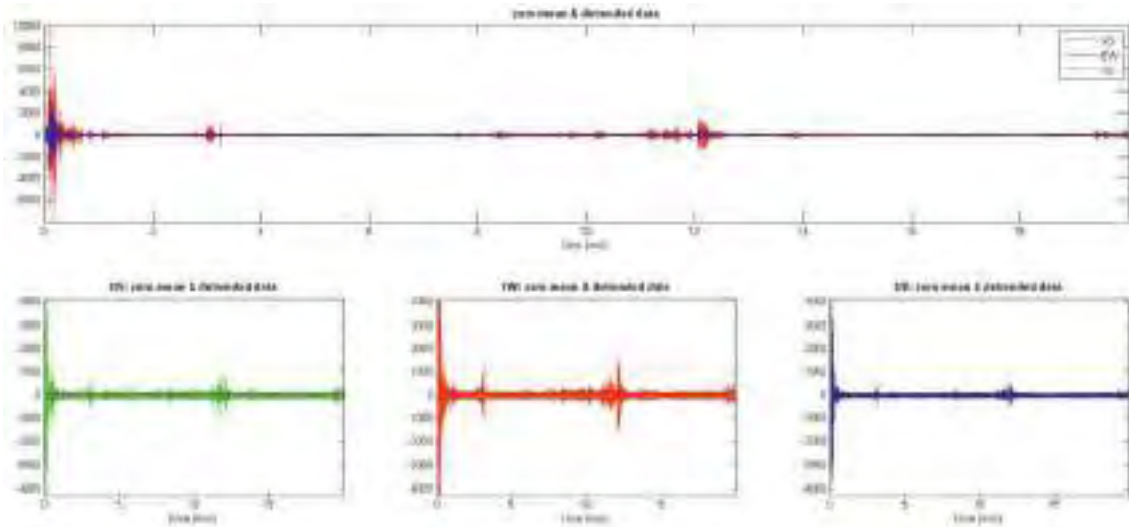


RIFERIMENTO ARCHIVIO:		SITO: <u>ROTECASTELLO - 1</u>		ORA: <u>13:07</u>	<u>24/12/22</u>	
OPERATORE: DOTT. GEOL. SIMONE ZUCCONI			GPS - Sistema di rif.:			
LATITUDINE: <u>42,879625</u>		LONGITUDINE: <u>12,294672</u>		ALTITUDINE:		
TIPO DI STAZIONE SINGOLA HVSR		TIPO DI SENSORE GEOBOX SR04		NOTE VARIE:		
STAZIONE n. <u>1</u>		SENSORE n.				
NOME DEL FILE:				PUNTO:		
FREQUENZA DI CAMP. (Hz): 300		INTERVALLO DI CAMP. (ms): 5		DURATA ACQUISIZIONE (s): <u>1200</u>		
CONDIZIONI METEO	VENTO		<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole <5 m/s	<input type="checkbox"/> medio	<input type="checkbox"/> forte
	PIOGGIA		<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> media	<input type="checkbox"/> forte
	Temperatura (°C)		<u>12</u>	Note:		
TIPO SUOLO	<input type="checkbox"/> argilla	<input type="checkbox"/> sabbia	<input checked="" type="checkbox"/> ghiaia	<input checked="" type="checkbox"/> roccia	<input type="checkbox"/> erba	<input checked="" type="checkbox"/> base <input type="checkbox"/> alta
	<input type="checkbox"/> asfalto	<input type="checkbox"/> cemento	<input type="checkbox"/> pavimentazione altro _____			
	<input type="checkbox"/> terreno asciutto	<input checked="" type="checkbox"/> terreno bagnato		NOTE: _____		
ACCOPPIAMENTO ARTIFICIALE SENSORE-TERRENO			<input checked="" type="checkbox"/> no	<input type="checkbox"/> si, tipo _____		
PRESENZA EDIFICI			<input type="checkbox"/> nessuno	<input checked="" type="checkbox"/> rari	<input type="checkbox"/> molti	altro, tipo _____
TRANSIENTI	nessuno	pochi	moderati	molti	moltoissimi	direzione / distanza (mf.)
	auto	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<u>200</u>
	camion	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<u>200</u>
	pedoni	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<u>100</u>
	altro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
SORGENTI DI RUMORE MONOCROMATICO (pompe, industrie ecc.)						
			<input checked="" type="checkbox"/> no	<input type="checkbox"/> si, tipo <u>ALMENO APPARENTEMENTE</u>		
STRUTTURE NELLE VICINANZE (alberi, infrastrutture, ponti ecc.)						
Descrizione, altezza e distanza: <u>ALBERI ALTI 6 m A CIRCO 10-15m</u>						

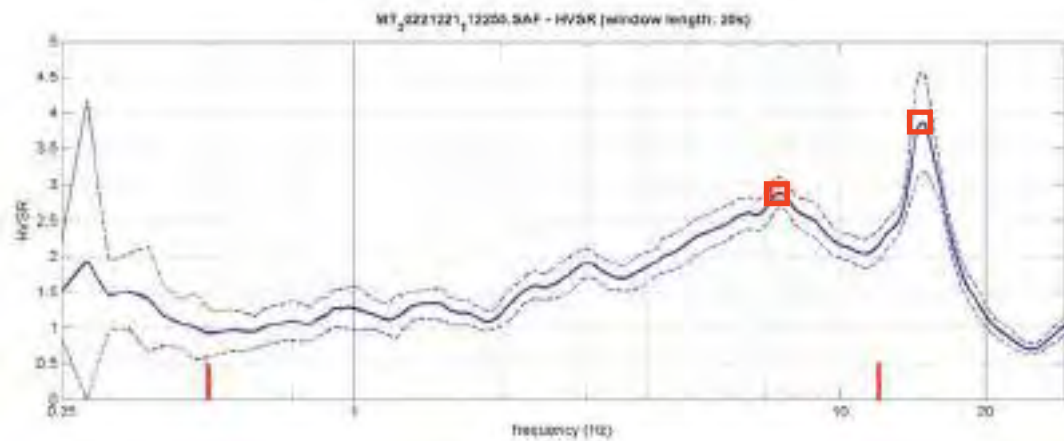
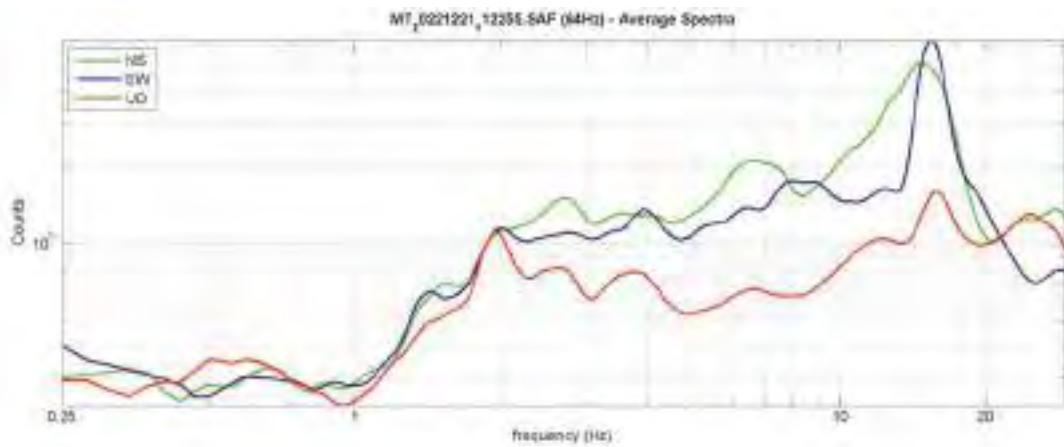
COMUNE DI SAN VENANZO
 Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
 Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

INDAGINE SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA - H.V.S.R. n° 2

STEP 1 DATI CAMPAGNA ACQUISITI DA TERNA VELOCIMETRI 4,5 Hz



STEP 2 CALCOLO RAPPORTO SPETTRALE H/V E VALUTAZIONE PICCHI DI AMPLIFICAZIONE



STEP 3 VALUTAZIONE DEI CRITERI DI SESAME - H.V.S.R. n° 2

In the following the results considering the data in the 0.5-12.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 7.5 (a2.9)
 Peak HVSR value: 2.9 (a0.2)

==== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. $[f_0 > 10/Lw]: 7.476 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]: 13158 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] | AH/V(f^-) < A_0/2]:$ yes, at frequency 1.9Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] | AH/V(f^+) < A_0/2]:$ (NO)
- #3. $[A_0 > 2]: 2.9 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f)] \text{ a } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ a } 5\%]:$ (OK)
- #5. $[\sigma_{\text{max}} < \epsilon(f_0)]: 2.905 > 0.374$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]: 0.218 < 1.58$ (OK)

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 14.8 (a4.5)
 Peak HVSR value: 3.9 (a0.7)

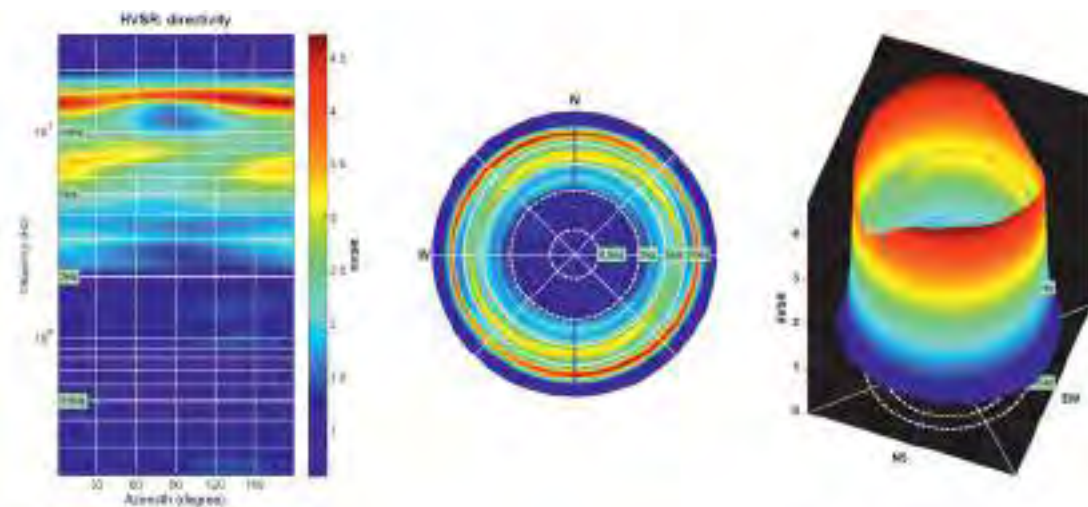
==== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. $[f_0 > 10/Lw]: 14.827 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]: 26095 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

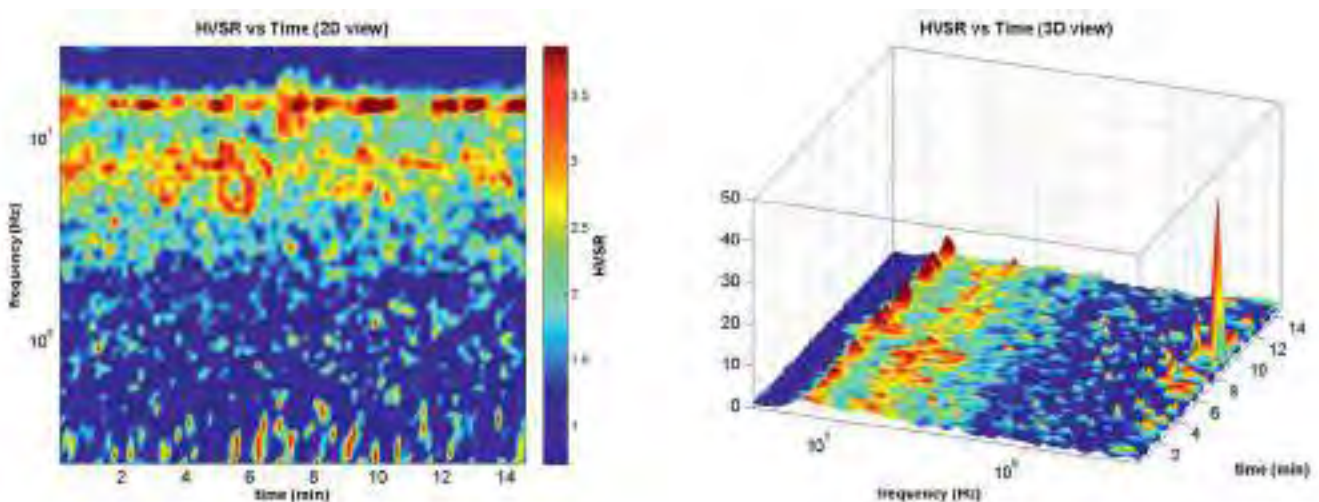
==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====


- #1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] | AH/V(f^-) < A_0/2]:$ yes, at frequency 3.7Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] | AH/V(f^+) < A_0/2]:$ yes, at frequency 17.5Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]: 3.9 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f)] \text{ a } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ a } 5\%]:$ (OK)
- #5. $[\sigma_{\text{max}} < \epsilon(f_0)]: 4.524 > 0.741$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]: 0.694 < 1.58$ (OK)

STEP 4 DIREZIONALITÀ - H.V.S.R. n° 2



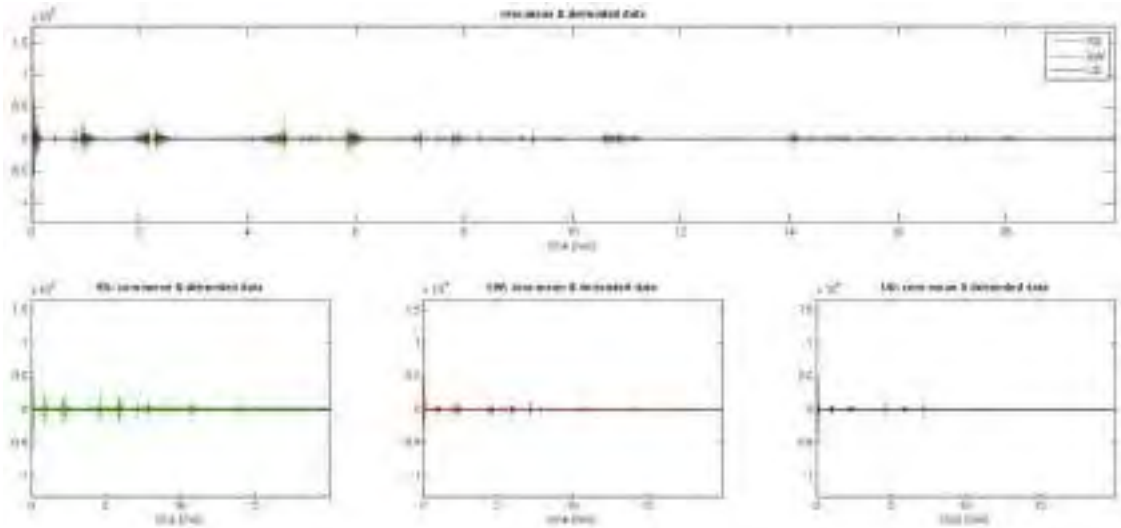
STEP 5 SERIE TEMPORALE - H.V.S.R. n° 2



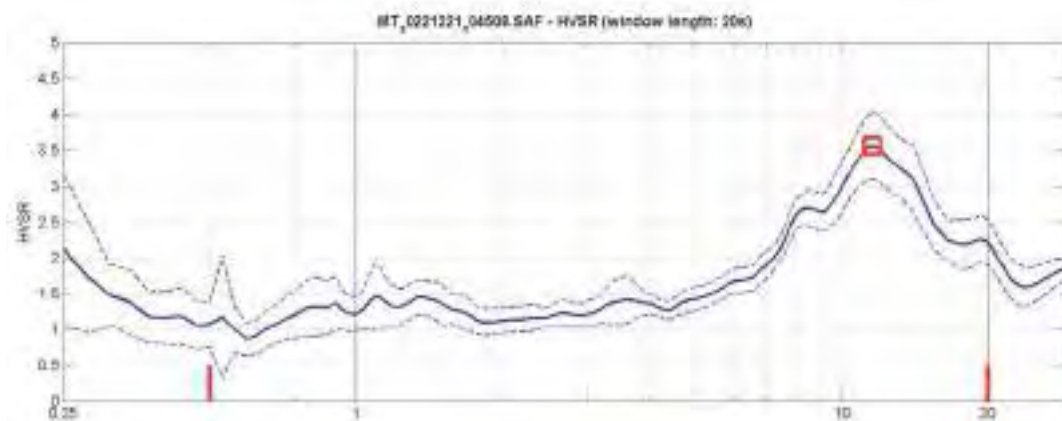
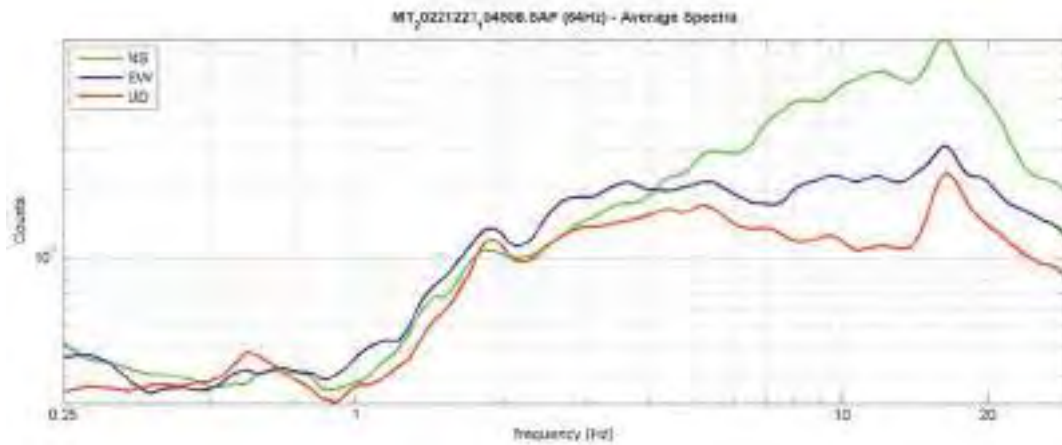
RIFERIMENTO ARCHIVIO:		SITO: ROTECASTELLO_2		ORA: 11:42 21/12/22		
OPERATORE: DOTT. GEOL. SIMONE ZUCCONI			GPS - Sistema di rif.:			
LATITUDINE: 42,87 99728		LONGITUDINE: 12,840002		ALTITUDINE:		
TIPO DI STAZIONE SINGOLA HVSR		TIPO DI SENSORE GEOBOX SR04		NOTE VARIE:		
STAZIONE n. 2		SENSORE n.				
NOME DEL FILE:				PUNTO:		
FREQUENZA DI CAMP. (Hz): 300		INTERVALLO DI CAMP. (ms): 5		DURATA ACQUISIZIONE (s): 1200		
CONDIZIONI METEO	VENTO		<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole <5 m/s	<input type="checkbox"/> medio <input type="checkbox"/> forte	
	PIOGGIA		<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> media <input type="checkbox"/> forte	
	Temperatura (°C) 10		Note:			
TIPO SUOLO	<input type="checkbox"/> argilla	<input type="checkbox"/> sabbia	<input checked="" type="checkbox"/> ghiaia	<input checked="" type="checkbox"/> roccia	<input type="checkbox"/> erba = <input checked="" type="checkbox"/> bassa <input type="checkbox"/> alta	
	<input type="checkbox"/> asfalto	<input type="checkbox"/> cemento	<input type="checkbox"/> pavimentazione altro _____			
	<input type="checkbox"/> terreno asciutto	<input checked="" type="checkbox"/> terreno bagnato	NOTE: _____			
ACCOPPIAMENTO ARTIFICIALE SENSORE-TERRENO			<input checked="" type="checkbox"/> no	<input type="checkbox"/> sì, tipo _____		
PRESENZA EDIFICI			<input type="checkbox"/> nessuno	<input checked="" type="checkbox"/> rari	<input type="checkbox"/> molti altro, tipo _____	
TRANSIENTI	nessuno	pochi	moderati	molti	moltoissimi	direzione / distanza (mt.)
	auto	<input checked="" type="checkbox"/>				300
	camion	<input checked="" type="checkbox"/>				300
	pedoni	<input checked="" type="checkbox"/>				
	altro					
SORGENTI DI RUMORE MONOCROMATICO (pompe, industrie ecc.)						
<input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> sì, tipo ALMENO APPARENTEMENTE						
STRUTTURE NELLE VICINANZE (alberi, infrastrutture, ponti ecc.)						
Descrizione, altezza e distanza: ALBERI ALTI 6M A LIRCA 5-10M						

INDAGINE SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA - H.V.S.R. n° 3

STEP 1 DATI CAMPAGNA ACQUISITI DA TERNA VELOCIMETRI 4,5 Hz



STEP 2 CALCOLO RAPPORTO SPETTRALE H/V E VALUTAZIONE PICCHI DI AMPLIFICAZIONE



STEP 3 VALUTAZIONE DEI CRITERI DI SESAME - H.V.S.R. n° 3

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency rang

Peak frequency (Hz): 11.5 (a3.6)

Peak HVSR value: 3.6 (a0.5)

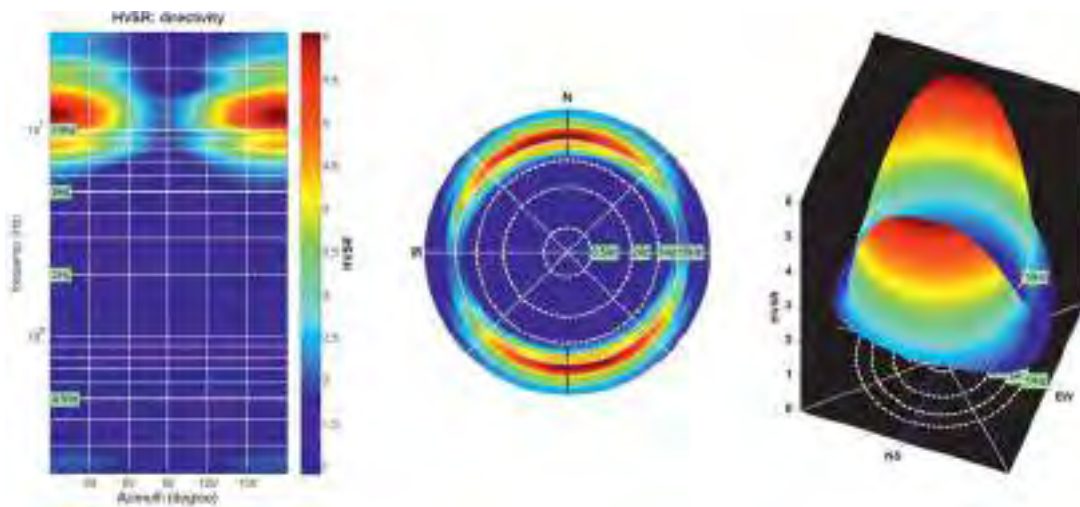
==== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [f0 > 10/Lw]: 11.543 > 0.5 (OK)
- #2. [nc > 200]: 25394 > 200 (OK)
- #3. [f0 > 0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

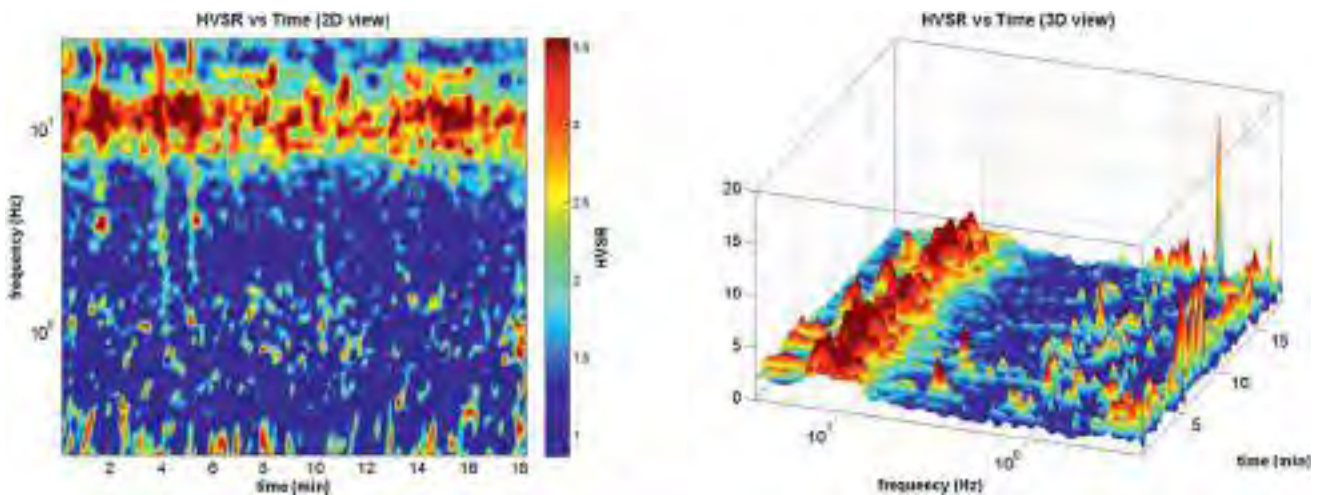
==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 2.9Hz (OK)
- #2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: (NO)
- #3. [A0 > 2]: 3.6 > 2 (OK)
- #4. [fpeak[Ah/v(f) a sigmaA(f)] = f0 a 5%]: (OK)
- #5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 3.553 > 0.577 (NO)
- #6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.465 < 1.58 (OK)

STEP 4 DIREZIONALITÀ - H.V.S.R. n° 3



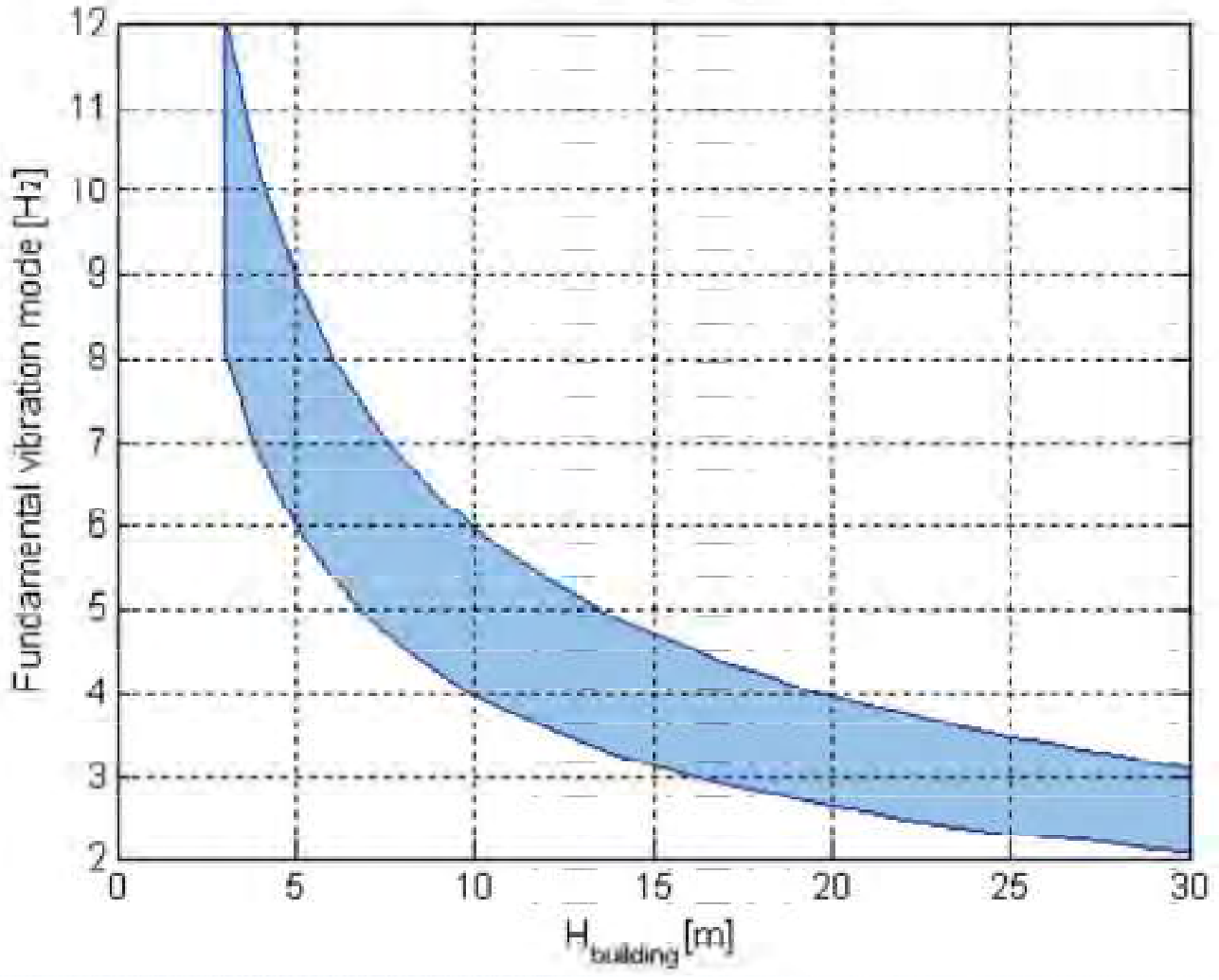
STEP 5 SERIE TEMPORALE - H.V.S.R. n° 3



RIFERIMENTO ARCHIVIO:		SITO: ROTECASTELLO 3		ORA: 11:05 21/12/20		
OPERATORE: DOTT. GEOL.SIMONE ZUCCONI			GPS - Sistema di rif.:			
LATITUDINE: 42,8794596		LONGITUDINE: 12,2927352		ALTITUDINE:		
TIPO DI STAZIONE SINGOLA HVSR		TIPO DI SENSORE GEOBOX SR04		NOTE VARIE:		
STAZIONE n. 3		SENSORE n.				
NOME DEL FILE:				PUNTO:		
FREQUENZA DI CAMP. (Hz): 300		INTERVALLO DI CAMP. (ms): 5		DURATA ACQUISIZIONE (s): 1200		
CONDIZIONI METEO	VENTO		<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole <5 m/s)	<input type="checkbox"/> medio	<input type="checkbox"/> forte
	PIOGGIA		<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> media	<input type="checkbox"/> forte
	Temperatura (°C)		8 Note:			
TIPO SUOLO	<input type="checkbox"/> argilla	<input type="checkbox"/> sabbia	<input checked="" type="checkbox"/> ghiaia	<input checked="" type="checkbox"/> roccia	<input type="checkbox"/> erba	<input checked="" type="checkbox"/> bassa <input type="checkbox"/> alta
	<input type="checkbox"/> asfalto	<input type="checkbox"/> cemento	<input type="checkbox"/> pavimentazione altro _____			
	<input type="checkbox"/> terreno asciutto	<input checked="" type="checkbox"/> terreno bagnato		NOTE: _____		
ACCOPPIAMENTO ARTIFICIALE SENSORE-TERRENO			<input checked="" type="checkbox"/> no	<input type="checkbox"/> si, tipo _____		
PRESENZA EDIFICI			<input type="checkbox"/> nessuno	<input checked="" type="checkbox"/> rari	<input type="checkbox"/> molti	altro, tipo _____
TRANSIENTI	nessuno	pochi	moderati	molti	molto/molti	direzione /distanza (mt.)
	auto	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	200
	camion	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	200
	pedoni	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	altro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
SORGENTI DI RUMORE MONOCROMATICO (pompe, industrie ecc.)						
<input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> si, tipo ALMENO APPARENZIENTE						
STRUTTURE NELLE VICINANZE (alberi, infrastrutture, ponti ecc.)						
Descrizione, altezza e distanza: ALBERI ALTI 5 m A CIRCA 10-15 m						

COMUNE DI SAN VENANZO
 Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
 Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

GRAFICO SPEDITIVO DI CORRELAZIONE TRA FREQUENZA PROPRIA ED ALTEZZA EDIFICI



**MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO DA MODELLAZIONE CONGIUNTA
 TRAMITE DATI MASW n° 1 ED HVSR n° 1**

Model

Vs (m/s): 470 1230 1280 1880 1400

Thickness (m): 5.5 12.3 37.0 25.0

Model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)
1	470	5.5000
2	1230	12.3000
3	1280	37
4	1880	25
5	1400	0

Density (gr/cm3): 2.06 2.28 2.29 2.37 2.31

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 456 3454 3756 8394 4536

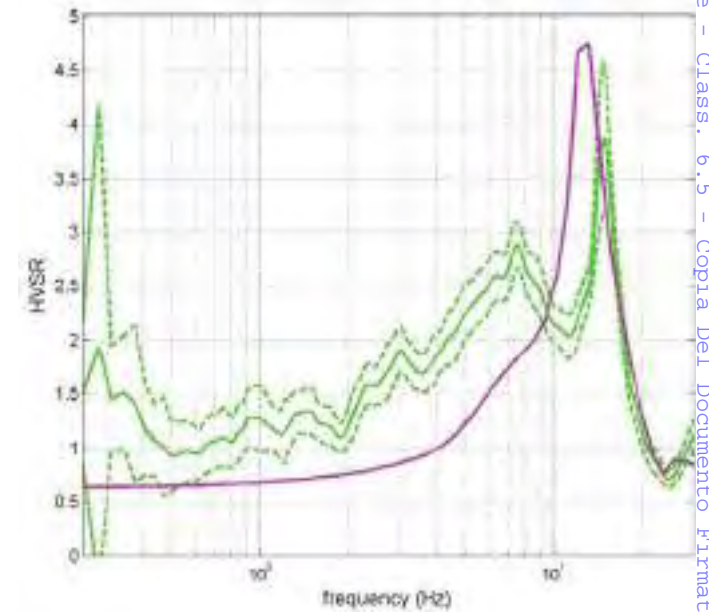
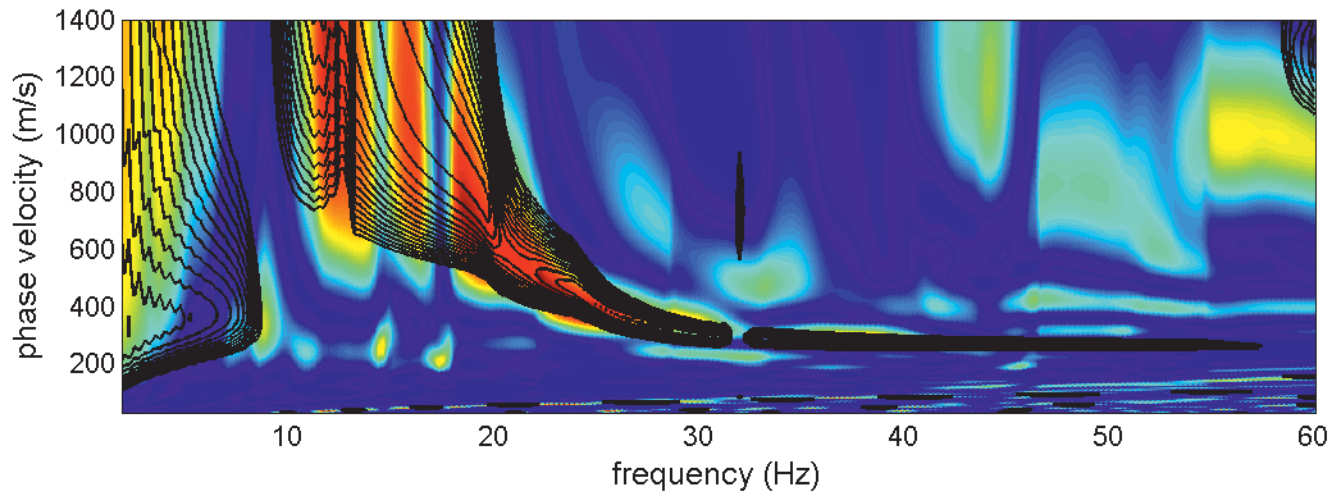
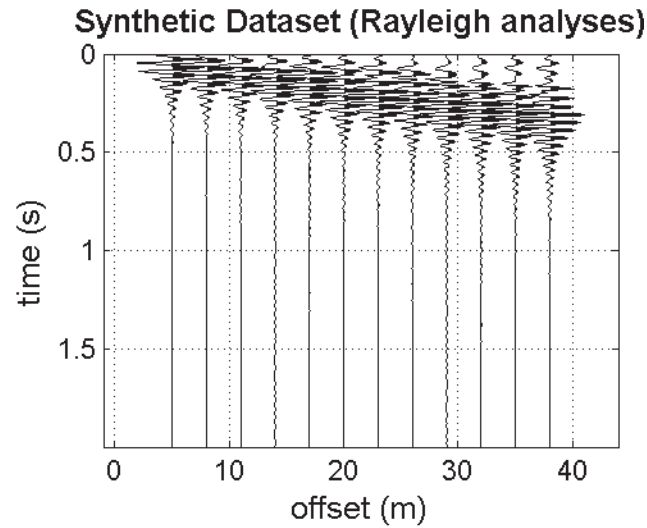
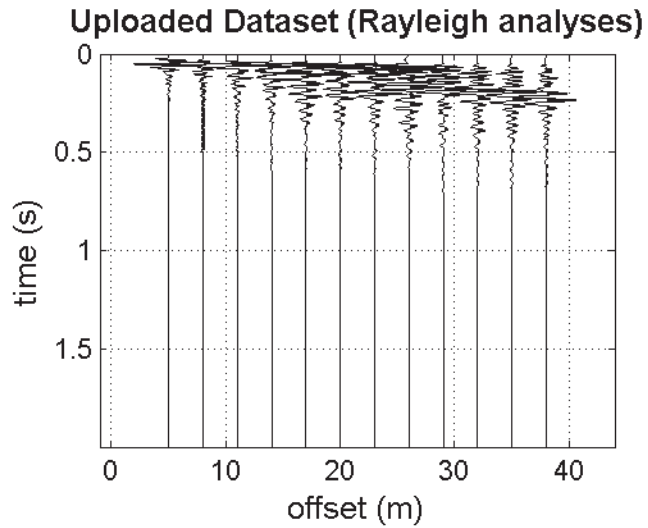
Estimated static shear modulus (MPa): 0 1258 1151 600 917

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 1035 2561 2665 3732 2914

Poisson: 0.37 0.35 0.35 0.33 0.35

MODELLAZIONE DIRETTA E CONGIUNTA TRAMITE DATI MASW n° 2 ED HVSR n° 2



**MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO DA MODELLAZIONE CONGIUNTA
 TRAMITE DATI MASW n° 2 ED HVSR n° 2**

Model

Vs (m/s): 270 1150 1300 1910 1500

Thickness (m): 5.2 11.3 39.8 26.5

Model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)
1	270	5.2000
2	1150	11.3000
3	1300	39.8000
4	1910	26.5000
5	1500	0

Density (gr/cm3): 1.93 2.27 2.30 2.38 2.33

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 141 2997 3881 8678 5245

Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 1110 632 754

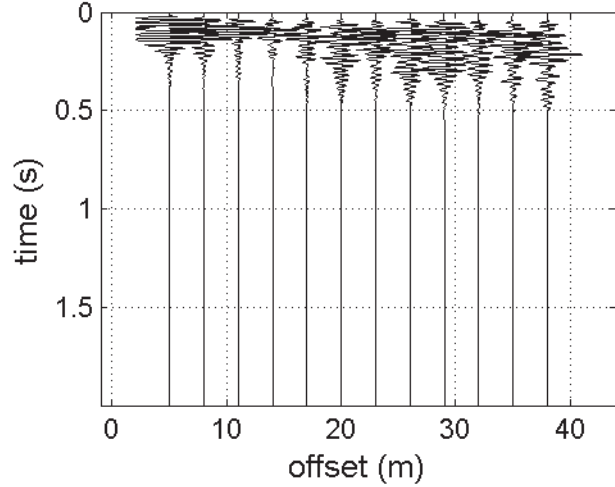
Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 594 2395 2706 3792 3122

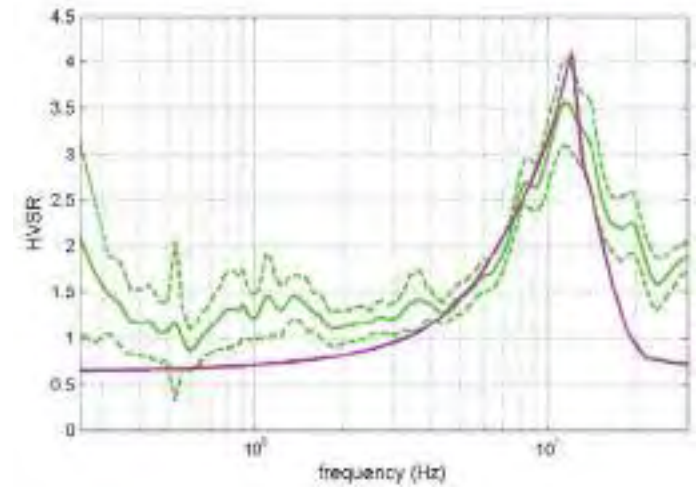
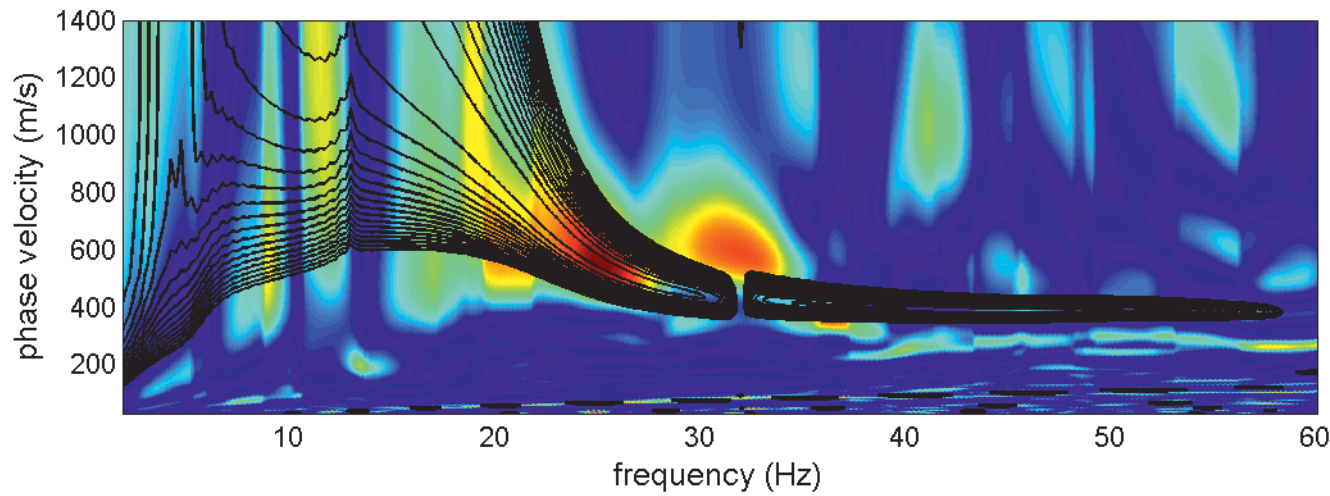
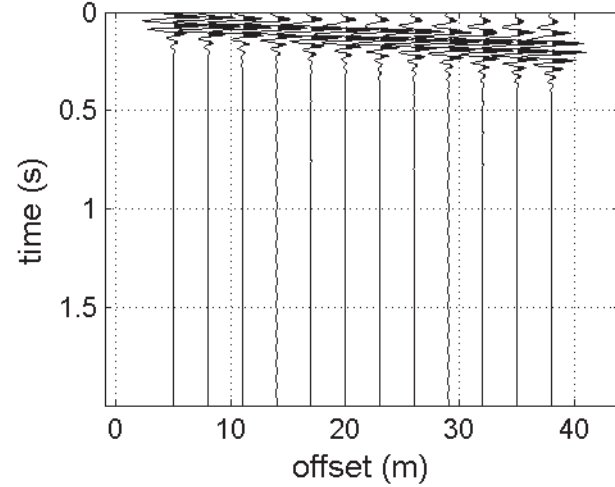
Poisson: 0.37 0.35 0.35 0.33 0.35

MODELLAZIONE DIRETTA E CONGIUNTA TRAMITE DATI MASW n° 3 ED HVSR n° 3

Uploaded Dataset (Rayleigh analyses)



Synthetic Dataset (Rayleigh analyses)



**MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO DA MODELLAZIONE CONGIUNTA
 TRAMITE DATI MASW n° 3 ED HVSR n° 3**

Model

Vs (m/s): 400 950 1490 1850 1620

Thickness (m): 7.2 11.0 40.0 28.0

Model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)
1	400	7.2000
2	950	11
3	1490	40
4	1850	28
5	1620	0

Density (gr/cm3): 2.02 2.22 2.32 2.37 2.34

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 323 2003 5159 8114 6152

Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 771 576 614

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 855 1978 3026 3673 3290

Poisson: 0.36 0.35 0.34 0.33 0.34

D.M 17/01/2018

Per quanto riguarda l'approccio semplificato, 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), definita dall'espressione:

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

con:

h_i = spessore dello strato infinitesimo

$V_{s,i}$ = 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 V_s non inferiore a 800 m/sec

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni supali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. 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.

Viene eliminata la possibilità di ricavare la categoria di sottosuolo mediante $NSPT_{30}$ o Cu_{30}

Per quanto riguarda le categorie di sottosuolo, vengono eliminate le categorie S1 ed S2, mentre con l'utilizzo della V_s equivalente, le categorie di sottosuolo B, C e D vengono ampliate inglobando alcune configurazioni che rientravano in S2, quando il bedrock sismico si posizionava tra i 3 ed i 25 metri dal piano di riferimento. Inoltre la Categoria di sottosuolo D (che nelle NTC 08 erano definite con $V_{s,30} < 180$ m/sec) viene classificata con valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 100 e 180 m/sec.

Tab. 3.2.11 - Categoria di sottosuolo che permette l'utilizzo dell'approccio semplificato

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Alveoli naturali affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, essenzialmente corrispondenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 7 m.
B	Depositi e depositi di terreni a grana grossolana sabbiosi e terreni a grana fine molto sabbiosi, 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 grossolana sabbiosi e terreni a grana fine sabbiosi compattati con profondità del substrato superiore 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 grossolana sabbiosi e di terreni a grana fine sabbiosi compattati 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 equivalenti corrispondenti a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

MASW1 + HVSR 1		
PROF. FONDAZIONE =	0	0
FONDAZIONE →	SENZA	CON
STRATO 1 h in m =	5,5	5,5
STRATO 1 Vs in m/s =	470	470
STRATO 2 h in m =	12,3	12,3
STRATO 2 Vs in m/s =	1230	1230
STRATO 3 h in m =	37	37
STRATO 3 Vs in m/s =	1280	1280
STRATO 4 h in m =	25	25
STRATO 4 Vs in m/s =	1880	1880
STRATO 5 h in m =	-	-
STRATO 5 Vs in m/s =	1400	1400

SENZA FONDAZIONE			
Vs,eq, m	30	=	960,5 m/s
Vs,eq, m	30	=	960,5 m/s
CON FONDAZIONE (ipotizzata)			
Vs,eq, m	5,5	=	470,0 m/s
Vs,eq, m	5,5	=	470,0 m/s

MASW 2 + HVSR 2		
PROF. FONDAZIONE =	0	0
FONDAZIONE →	SENZA	CON
STRATO 1 h in m =	5,2	5,2
STRATO 1 Vs in m/s =	270	270
STRATO 2 h in m =	11,3	11,3
STRATO 2 Vs in m/s =	1150	1150
STRATO 3 h in m =	39,8	39,8
STRATO 3 Vs in m/s =	1300	1300
STRATO 4 h in m =	26,5	26,5
STRATO 4 Vs in m/s =	1910	1910
STRATO 5 h in m =	-	-
STRATO 5 Vs in m/s =	1500	1500

SENZA FONDAZIONE			
Vs,eq, m	30	=	760,1 m/s
Vs,eq, m	5,2	=	270,0 m/s
CON FONDAZIONE (ipotizzata)			
Vs,eq, m	30	=	760,1 m/s
Vs,eq, m	5,2	=	270,0 m/s

MASW 3 + HVSR 3		
PROF. FONDAZIONE =	0	0
FONDAZIONE →	SENZA	CON
STRATO 1 h in m =	7,2	7,2
STRATO 1 Vs in m/s =	400	400
STRATO 2 h in m =	11	11
STRATO 2 Vs in m/s =	950	950
STRATO 3 h in m =	40	40
STRATO 3 Vs in m/s =	1490	1490
STRATO 4 h in m =	28	28
STRATO 4 Vs in m/s =	1850	1850
STRATO 5 h in m =	-	-
STRATO 5 Vs in m/s =	1620	1620

SENZA FONDAZIONE			
Vs,eq, m	30	=	800,0 m/s
Vs,eq, m	30	=	800,0 m/s
CON FONDAZIONE (ipotizzata)			
Vs,eq, m	7,2	=	400,0 m/s
Vs,eq, m	7,2	=	400,0 m/s

FASCICOLO INDAGINI GEOELETTRICHE



TERRA S.p.A.
 Via Comandante Vercelli 44
 09100 Agrigento (AG)
 tel. 0923 4009427 - 0923 4910142
 info@terracorsicagetelecom.it

AZIENDA CON
 SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ
 UNI EN ISO 9001:2015
 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
 Settore A (prove di laboratorio) del 18/04/2011 con modificazioni (del 04/04/11)
 D.M. n° 2487 del 26/02/2010 - Art. 59 DPR 340/2001 - Circolare 2418/577/2010

METODI GEOELETTRICI

Report Tecnico

OGGETTO:

INDAGINI GEOLOGICHE PER GLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO NELL'AREA A RISCHIO R4 DI ROTECASTELLO, IN ATTUAZIONE AL PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA - PNRR - MISSIONE 2, COMPONENTE 4, INVESTIMENTO 2.2 "INTERVENTI PER LA RESILIENZA, LA VALORIZZAZIONE DEL TERRITORIO E L'EFFICIENZA ENERGETICA DEI COMUNI"

Risultati delle prospezioni geoelettriche effettuate mediante profili di resistività 2D



GENNAIO 2023



TERRA S.p.A. SERVIZIO AL TERRITORIO
 Dr. F. FIDANI, Paolo Bernocchini - C.
 Via Comandante Vercelli 44
 09100 PAPIANO (PG)
 TEL. 0758080530 - 0758795142 FAX 0757823018
 E-MAIL: info@terracorsicagetelecom.it
 Laboratorio aut. (DM D.M. n° 2487 del 26/02/10)
 SETTORE 4 (PROVE DI LABORATORIO SU TERRENI - CON
 ESTENSIONE PROVA DI CARICO SU PAI)

INDICE

1	Premessa e quadro geologico	2
2	Principi del metodo geoelettrico (resistività).....	3
3	Quadro d'unione delle indagini	8
4	Obiettivi del lavoro svolto	9
5	Metodologia	9
6	Dettagli tecnici delle indagini geoelettriche	9
6.1	<i>Misure di resistività elettrica – Array Dipolo-Dipolo</i>	9
6.2	<i>Misure di resistività elettrica – Array Wenner.....</i>	11
7	Risultati delle indagini geoelettriche.....	12
7.1	<i>Misure di resistività elettrica – Array Dipolo-Dipolo.....</i>	13
7.2	<i>Misure di resistività elettrica – Array Wenner.....</i>	16
8	Analisi dei risultati e commenti.....	20
9	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA.....	32

1 Premessa e quadro geologico

La presente relazione sintetizza le risultanze di indagini geoelettriche effettuate in data 22 Dicembre 2022, nell'ambito del progetto di inquadramento idrogeologico di un'area sita nel Comune di San Venanzo- Fraz. Rotecastello, al fine di inquadrare l'area dal punto di vista geologico e idrogeologico.

Con questo tipo di prospezioni geofisiche si intende effettuare una ricostruzione di insieme delle caratteristiche di resistività del terreno secondo profili bidimensionali, potendo pertanto ricollegare le variazioni di resistività rilevate con le variazioni litologiche e di porosità/alterazione/saturazione e fatturazione del terreno.

In relazione alla logistica del sito e agli obiettivi da raggiungere sono state pianificate n°5 prospezioni geoelettriche, costituite da profili di resistività elettrica 2D.

Le fasi di acquisizione dati, elaborazione ed interpretazione sono effettuate con georesistivimetro MAE A6000E.

L'area di studio è collocata a SW del capoluogo di comune. Il borgo si sviluppa su un crinale orientato in direzione E-W, dove alle pendici scorre il Torrente Calvana.

Dal punto di vista geologico, l'area insiste sul substrato torbiditico, appartenente alla Formazione dello **Schlier** (Serravalliano inferiore - Langhiano).

Questa formazione si presenta nell'area con facies localmente differenziate, a secondo del prevalere dei litotipi marnoso-siltosi o arenaceo - marnosi, con intercalazioni calcarenitiche in strati e banchi di differente spessore.

Localmente al di sopra del substrato roccioso poggiano i depositi di copertura, costituiti prevalentemente da livelli argillo-siltosi, contenenti pezzi di marna e arenaria sparsi di varia pezzatura.

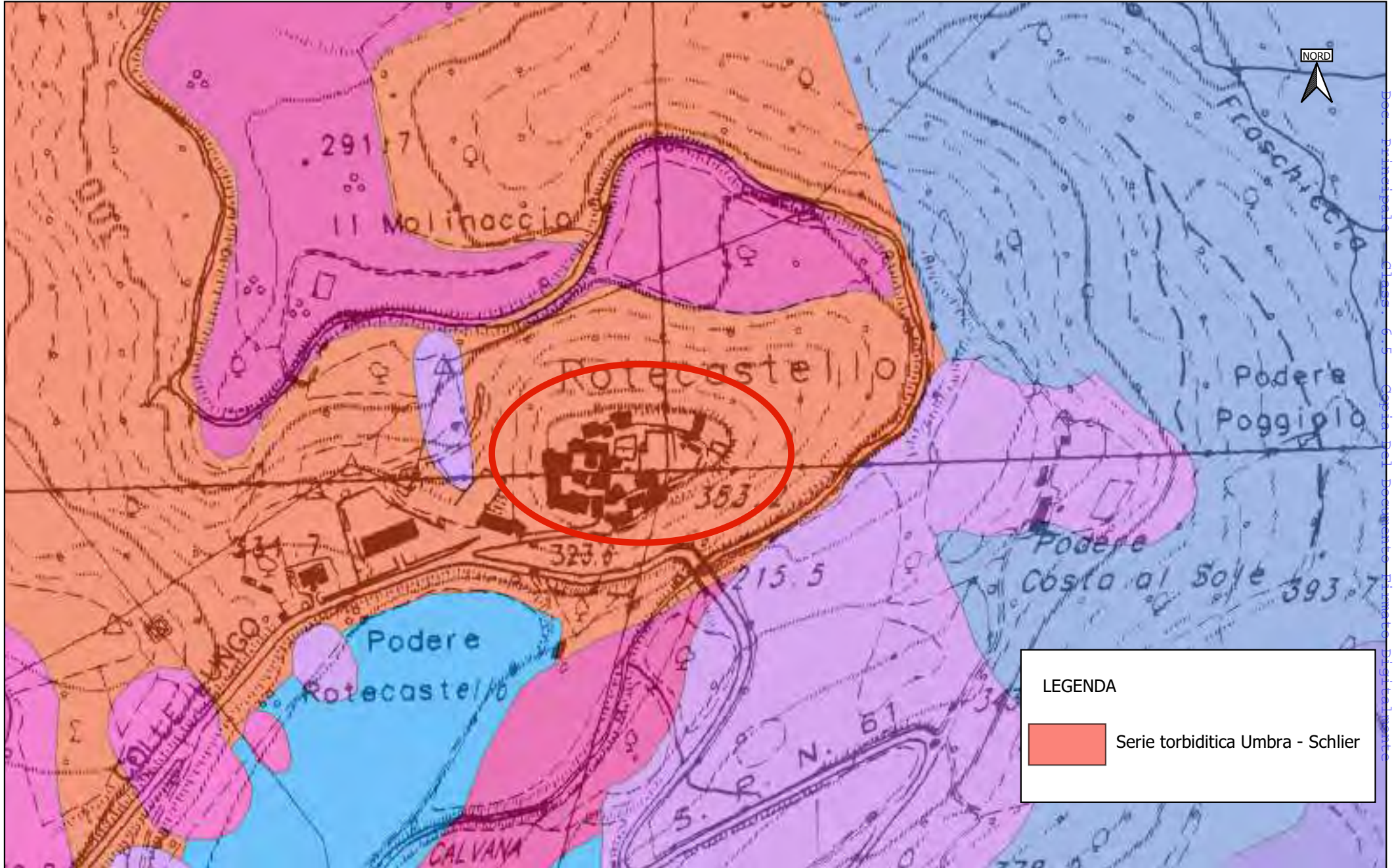
In generale, vista la presenza di una certa componente argillosa, non sono da escludere potenziali variazioni volumetriche dei terreni più superficiali, a seguito dell'applicazione di carichi troppo elevati e/o a variazioni dell'indice di umidità.

Vista la natura geologica dei terreni in esame si può dire che i litotipi marnoso-siltosi, a secondo della loro prevalenza nei termini a diversa competenza, presentano caratteristiche diverse: i rilievi sono più accentuati se prevale l'arenaria, al contrario dove affiorano facies con alto contenuto di argilla l'erosione si fa più selettiva con superfici meno ripide, creste più arrotondate, rilievi più dolci ed in generale una morfologia meno accidentata.

Quindi il rapporto arenaria-marna è il fattore che controlla maggiormente l'evoluzione dei versanti.

Di seguito è riportato uno stralcio della Carta Geologica:

STRALCIO CARTA GEOLOGICA DELL'UMBRIA



COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale Class. 6.5 Copia Del Documento Firmato Digitalmente

2 Principi del metodo geoelettrico (resistività)

Lo scopo delle prospezioni geoelettriche è quello di ricavare informazioni relative al sottosuolo mediante una serie di misurazioni effettuate in superficie. I "metodi geoelettrici" comprendono in realtà numerose metodologie di indagine che, in sintesi, si dividono in due categorie principali:

- i metodi passivi, che sfruttano le correnti naturali presenti nel sottosuolo;
- i metodi attivi, che utilizzano correnti elettriche artificialmente immesse nel terreno.

Il metodo di resistività è quello più comunemente utilizzato. Esso prevede, in sostanza, lo studio del campo elettrico che si crea nel terreno in seguito all'immissione di una corrente, di solito continua o alternata a bassa frequenza; in questo caso la distribuzione della corrente può ritenersi regolata dalla legge di Ohm.

Se consideriamo il campo elettrico dovuto a due elettrodi di immissione di corrente, A (positivo) e B (negativo), collegati mediante un generatore di corrente continua, è possibile calcolare la differenza di potenziale che viene a determinarsi in due punti M ed N per effetto delle sorgenti A e B, e quindi la differenza di potenziale ΔV complessiva tra M ed N che deriva dal fluire della corrente da A a B.

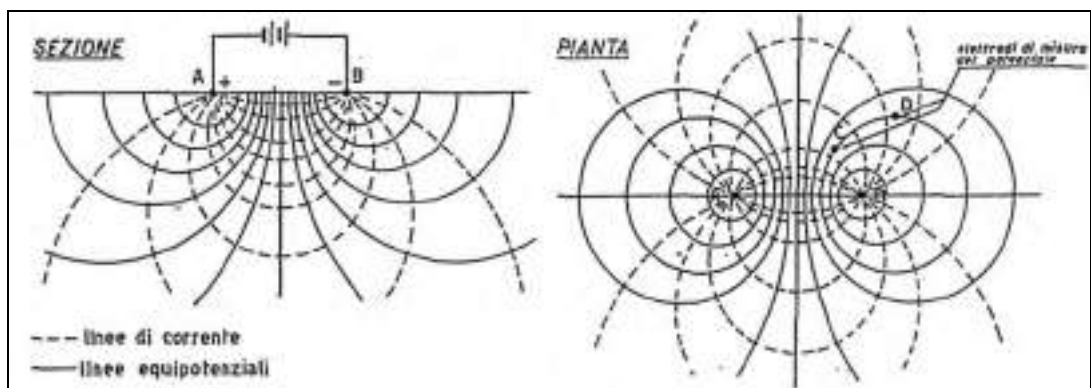


Figura 1 – Schematizzazione delle linee di corrente e delle linee equipotenziali.

La differenza di potenziale complessiva fra M ed N è data da:

$$\Delta V = \Delta V_{MN}^A - \Delta V_{MN}^B = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)$$

In base a questa relazione è possibile calcolare la resistività ρ :

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} 2\pi \frac{1}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}}$$

e, inserendo il coefficiente geometrico K, si ha:

$$\rho = (\Delta V/I) K$$

Se la differenza di potenziale ΔV viene misurata in Volt, la Corrente I in Ampere e le varie distanze r_i in metri, la resistività ρ è in Ωm .

Dato che il sottosuolo non è in genere elettricamente omogeneo ed isotropo, il valore di ρ che si determina è condizionato dalla distribuzione del potenziale, che risulta diversa rispetto a quanto si avrebbe per terreno omogeneo.

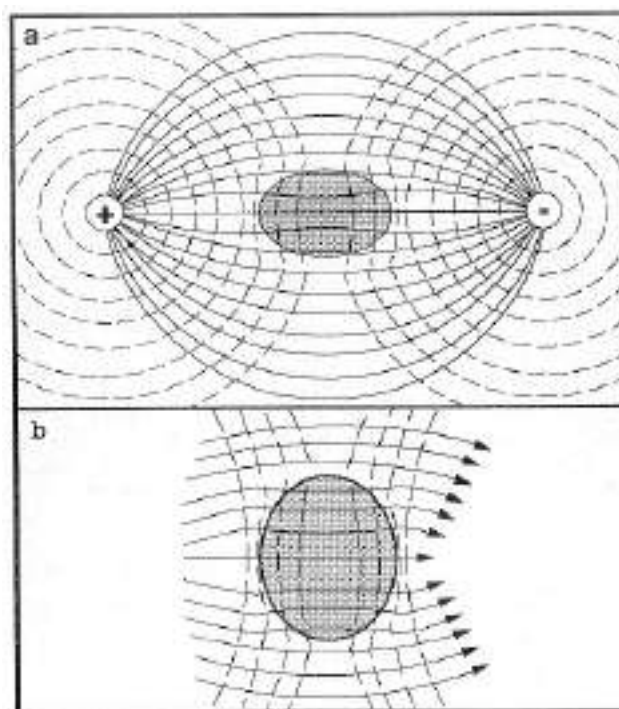


Figura 2 - Terreno non omogeneo ed isotropo in relazione alle linee di corrente ed alle linee equipotenziali.

Nelle rocce e nei terreni i valori di resistività sono influenzati da vari parametri come temperatura, porosità, la compattezza o il grado di litificazione, tessitura, il grado di alterazione e/o fratturazione, la composizione mineralogica, la presenza di fluidi e il grado di saturazione. A questi fattori è legato l'ampio campo di variabilità di valori di resistività riscontrato in bibliografia. Nella Figura seguente sono riportati i valori di resistività per singole classi di terreni, incontrati nell'area di studio, ricavati da ricerca bibliografica.

Acqua di mare	$< 0,2$
Acqua con il 20% di Na Cl	$3 \cdot 10^{-2}$
Acqua pura	$10^2 + 3 \cdot 10^3$
Calcari e dolomie	$100 + 5000$
Arenarie	$60 + 10^4$
Argille (acqua dolce)	$10 + 120$
Argille (acqua salata)	$1 + 10$
Marne	$2 + 50$
Sabbia (da bagnata ad asciutta)	$100 + 1000$
Graniti	$300 + 10^4$ ed oltre
Basalti	$10 + 10^3$
Quarziti	$2 \cdot 10^4$ ed oltre
Pirite	$10^{-4} + 10$
Galena	$10^{-2} + 300$
Grafite	$10^{-3} + 1$
Bauxite	$200 + 6000$

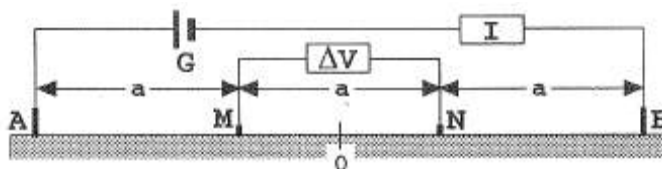
Figura 3 - Terreno non omogeneo ed isotropo in relazione alle linee di corrente ed alle linee equipotenziali (Norinelli, 1996).

Il valore di resistività misurato in campagna è la resistività apparente (ρ_a). Il passaggio dalla resistività apparente a quella reale del terreno è il processo di inversione, cioè la determinazione di

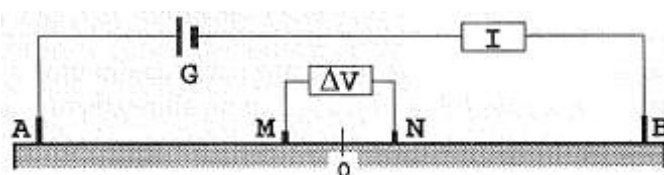
un modello del terreno coerente con le misurazioni sperimentali. Tale processo è quindi di fondamentale importanza nell'elaborazione di una prospezione geoelettrica.

A partire dalla relazione con la quale si calcola la resistività apparente per la disposizione generica di 4 elettrodi sul terreno, si perviene a formule più schematiche se andiamo a considerare particolari disposizioni elettrodiche, di solito simmetriche.

Fra le disposizioni più utilizzate, si hanno l'array Wenner:



e l'array Schlumberger:



La seguente figura riporta le configurazioni elettrodiche di uso più comune, con i relativi coefficienti geometrici.

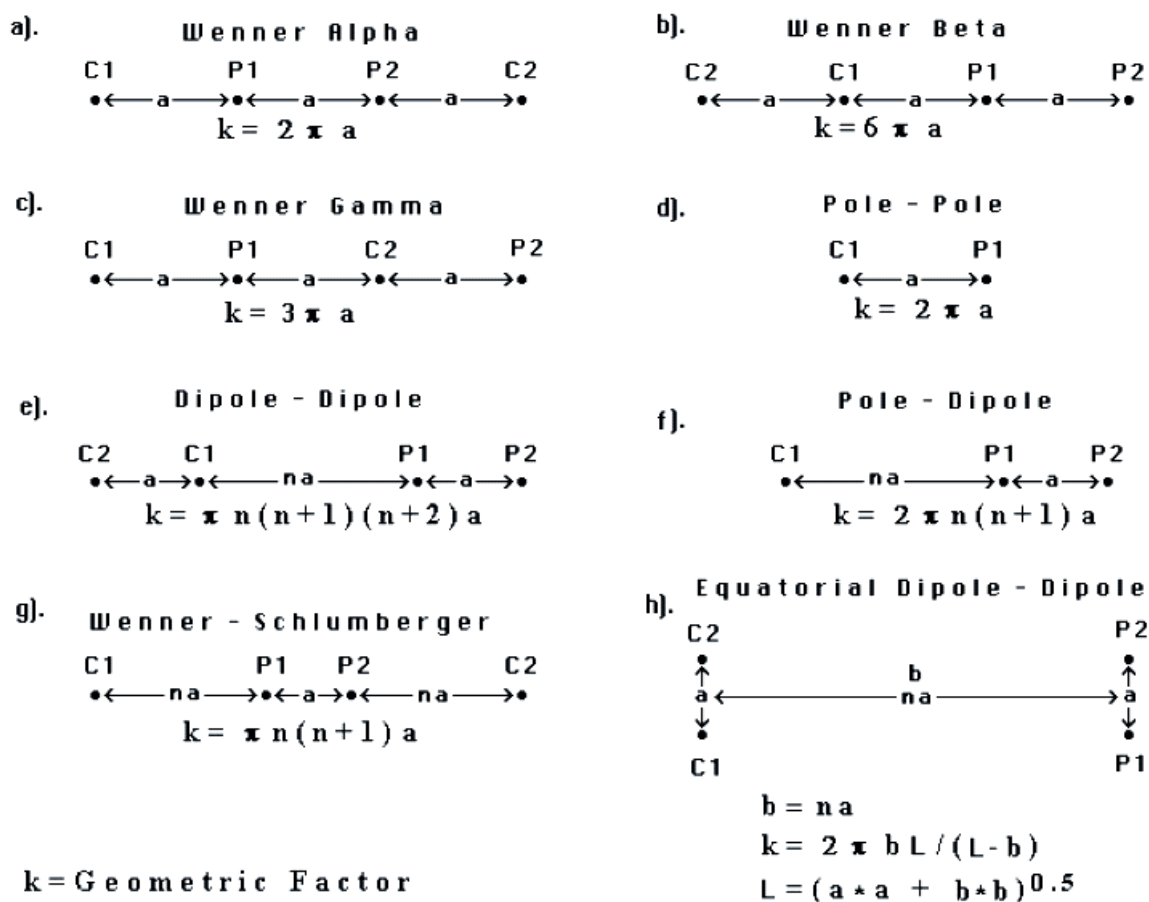


Figura 4 – Principali configurazioni elettrodiche.

Le moderne metodologie di prospezione ed elaborazione dei dati consentono di effettuare prospezioni geoelettriche 2D e 3D, utilizzando anche configurazioni elettrodiche complesse. In

questi casi si possono ricavare modelli bidimensionali, nei quali possono apprezzarsi variazioni di resistività non solo in senso verticale (come nei SEV), ma anche lungo il profilo di sondaggio (caso 2D), o modelli tridimensionali che permettono di valutare le variazioni di resistività in un volume di terreno.

Queste prospezioni geoelettriche vengono eseguite effettuando numerose misurazioni di resistività apparente mediante quadripoli disposti lungo profili (2D) o aree di indagine (3D), utilizzando un certo numero di elettrodi (di solito almeno 32, ma in diversi casi 48, 64 o anche più) di solito equi-spaziati lungo la linea di indagine, che possono essere comandati da un georesistivimetro programmabile, in modo che gli stessi possano di volta in volta operare in immissione di corrente (A, B) o in misurazione del potenziale (M, N).

Il seguente è lo schema di una prospezione geoelettrica 2D eseguita utilizzando 20 elettrodi, mediante il dispositivo Wenner (tratto da M.H. Loke - 1997/2001).

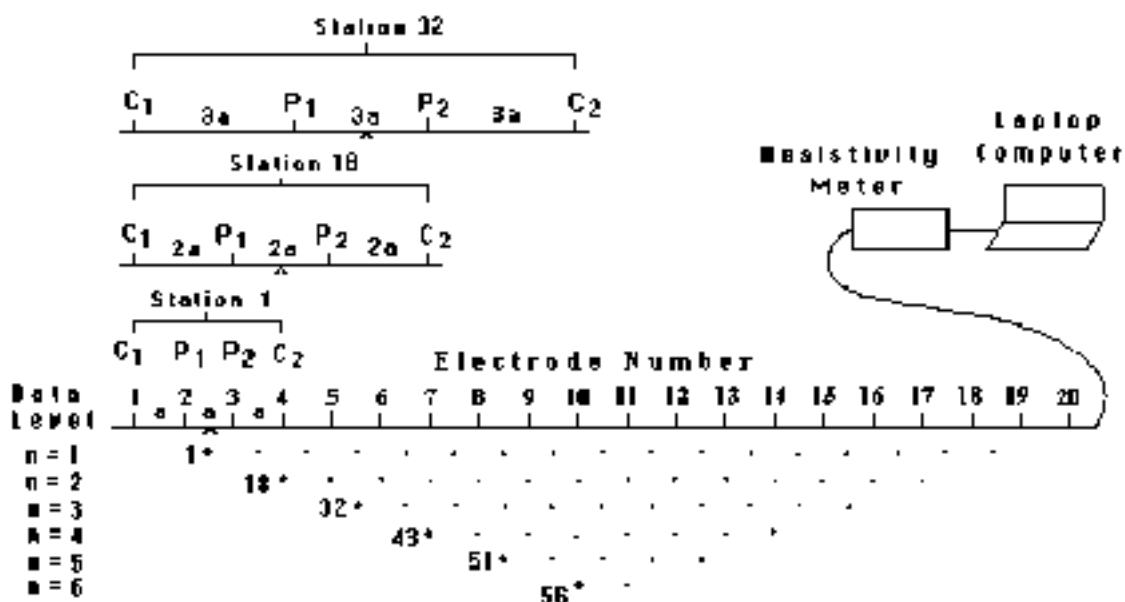


Figura 5 - Sequenza di misure per la costruzione di una pseudo-sezione.

La sequenza e lo schema delle misurazioni dipende dal tipo di dispositivo utilizzato. Traslando il dispositivo lungo la linea di sondaggio si effettuano tutte le misurazioni relative a una distanza interelettrodica "a", poi quelle relative a "2a", "3a", e così via fino a completare tutte le possibili misurazioni, il cui numero è tanto maggiore, per una data lunghezza totale di stendimento, quanto più il passo "a" è piccolo.

Al termine l'insieme dei valori di resistività apparente ottenuti viene diagrammato in "pseudosezioni". Nel "contouring" delle pseudosezioni, di solito il punto in cui viene proiettato il valore di resistività apparente corrisponde, orizzontalmente, al punto centrale del set di elettrodi cui si riferisce la misura stessa; verticalmente il punto è proiettato, convenzionalmente, a una distanza proporzionale alla distanza tra gli elettrodi, tenendo presente anche il dispositivo elettrodico impiegato e la relativa funzione di sensibilità.

La pseudosezione fornisce un'immagine approssimata e distorta della resistività del terreno. Con l'ausilio di appositi software di inversione è possibile, a partire dall'insieme di dati ottenuti, ricavare un modello di resistività reale. Il software utilizzato in questo caso è il RES2DINV della Geotomo Software; esso è in grado di determinare un modello di resistività bidimensionale per il terreno a partire dai dati ottenuti da un profilo di resistività.

Elaborando i valori di resistività apparente calcolati viene tracciata una pseudosezione; la routine di inversione è poi condotta mediante un metodo di ottimizzazione ai minimi quadrati, non lineare, in cui si può intervenire operando su diversi parametri, in modo da ottimizzare l'interpretazione alla situazione reale e al tipo di dati ottenuti. E' possibile operare sul dataset eliminando i dati affetti da errore, sia a monte del procedimento di inversione sia successivamente alla stessa. Il modello 2D utilizzato dal programma di inversione è costituito da un certo numero di blocchi rettangolari, la disposizione dei quali è strettamente legata alla distribuzione dei punti di misura nella pseudosezione.

Per effettuare le misure di resistività nell'area oggetto di questo lavoro è stato impiegato il Georesistivimetro MAE A6000E (Figura 6), che consente di effettuare misure di resistività completamente in automatico. E' uno strumento progettato per esplorazioni intensive del sottosuolo, utilizzando metodi elettrici in corrente continua o a basse frequenze. Consente di registrare le variazioni di resistività in relazione alla profondità (per esempio sondaggi elettrici verticali), la variazione laterale osservata lungo un profilo (profilo elettrico 2D) ed inoltre di misurare la caricabilità dei terreni (polarizzazione indotta).

Il Georesistivimetro è dotato di un sistema di gestione automatica di 32 elettrodi, in grado cioè di commutare gli elettrodi disposti lungo la sezione da investigare in elettrodi di immissione di corrente (punti di energizzazione del terreno) e in elettrodi di misura del potenziale elettrico con tutte le possibili combinazioni quadripolari.



Figura 6 – Georesistivimetro impiegato per le prospezioni geoelettriche.

3 Quadro d'unione delle indagini

Per il raggiungimento degli obiettivi preposti è stata realizzata una campagna di acquisizioni attraverso 5 Tomografie Elettriche:

- ERT1: distanza elettrodica di 2.5 m
- ERT2: distanza elettrodica di 2.0 m
- ERT3: distanza elettrodica di 3.0 m
- ERT4: distanza elettrodica di 2.0 m
- ERT5: distanza elettrodica di 2.5 m

In questo modo è stata privilegiata sia la profondità per ottenere informazioni relative al quadro geologico generale dell'area, sia il dettaglio in superficie per individuare eventuali spessori di terreni di copertura.

Le misure multielettrodo di resistività elettrica sono state eseguite in configurazioni di acquisizione di tipo **Dipolo-dipolo** e **Wenner**.

Ricapitolando:

TOMOGRAFIE ELETTRICHE 2D				
Linea elettrica	Array resistività (ERT)	Elettrodi	Distanza interelettrodica (m)	Lunghezza linea (m)
ERT1	Dipolo/Wenner	32	2.50	77.50
ERT2	Dipolo/Wenner	32	2.00	62.00
ERT3	Dipolo/Wenner	32	3.00	93.00
ERT4	Dipolo/Wenner	32	2.00	62.00
ERT5	Dipolo/Wenner	32	2.50	77.50

Nella figura seguente sono riportate in pianta le tracce degli stendimenti geoelettrici:

PLANIMETRIA INDAGINI GEOELETTRICHE ERT



COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

4 Obiettivi del lavoro svolto

Nel sito in esame sono state realizzate indagini geoelettriche con lo scopo di inquadrare dal punto di vista geologico l'area, individuando eventuali depositi di copertura superficiali e possibili fratture all'interno del bed-rock. Il contesto ambientale è caratterizzato da un crinale e la geologia dell'area è rappresentata da un substrato torbiditico.

Grazie anche ai risultati di altre indagini geofisiche, eseguite nel sito di interesse, è stato possibile realizzare una revisione critica dello studio che comunque si è rivelato efficace per gli scopi prefissati.

5 Metodologia

La fase di interpretazione ha previsto un accurato studio degli spessori indagati con particolare attenzione a possibili discontinuità presenti nel substrato torbiditico.

Il risultato delle misure di resistività permetterà di valutare l'integrità del substrato roccioso e la presenza di eventuali depositi di copertura superficiali (naturali e/o antropici).

6 Dettagli tecnici delle indagini geoelettriche

6.1 Misure di resistività elettrica – Array Dipolo-Dipolo

Di seguito sono riportati i dettagli tecnici delle indagini geoelettriche eseguite.

ERT 1			
Dato tecnico	UM	Valore	
lunghezza	m	77.50	
num. elettrodi	cad	32	
passo elettrodico	m	2.50	
num. letture	cad	311	
Larghezza dei blocchi	m	1.25	
model blocks	cad	567	
model layers	cad	15	
punti utilizzati per l'inversione	cad	307	
pseudodepth	m	Min. 1.04	Max.15.9
Numero iterazioni	cad	4	
errore sull'inversione	%	26.1	
range ρ	Ωm	Min.7.31	Max. 765.57

ERT 2		
Dato tecnico	UM	Valore
lunghezza	m	62
num. elettrodi	cad	32
passo elettrodico	m	2.00

num. letture	cad	311	
Larghezza dei blocchi	m	1.0	
model blocks	cad	568	
model layers	cad	15	
punti utilizzati per l'inversione	cad	311	
pseudodepth	m	Min. 0.83	Max.12.7
Numero iterazioni	cad	5	
errore sull'inversione	%	8.2	
range ρ	Ωm	Min.31.81	Max. 1984.30

ERT 3

Dato tecnico	UM	Valore	
lunghezza	m	93	
num. elettrodi	cad	32	
passo elettrodico	m	3.0	
num. letture	cad	311	
Larghezza dei blocchi	m	1.5	
model blocks	cad	568	
model layers	cad	15	
punti utilizzati per l'inversione	cad	311	
pseudodepth	m	Min. 1.25	Max.19.1
Numero iterazioni	cad	5	
errore sull'inversione	%	4.6	
range ρ	Ωm	Min.42.93	Max. 989.18

ERT 4

Dato tecnico	UM	Valore	
lunghezza	m	62	
num. elettrodi	cad	32	
passo elettrodico	m	2.0	
num. letture	cad	311	
Larghezza dei blocchi	m	1.0	
model blocks	cad	568	
model layers	cad	15	
punti utilizzati per l'inversione	cad	311	
pseudodepth	m	Min. 0.83	Max.12.7
Numero iterazioni	cad	5	
errore sull'inversione	%	3.5	
range ρ	Ωm	Min.43.60	Max. 242.95

ERT 5

Dato tecnico	UM	Valore	
lunghezza	m	77.50	
num. elettrodi	cad	32	
passo elettrodico	m	2.50	
num. letture	cad	311	
Larghezza dei blocchi	m	1.25	
model blocks	cad	550	

model layers	cad	14	
punti utilizzati per l'inversione	cad	266	
pseudodepth	m	Min. 1.04	Max.14.60
Numero iterazioni	cad	4	
errore sull'inversione	%	16.2	
range ρ	Ωm	Min.18.18	Max.738

6.2 Misure di resistività elettrica – Array Wenner

ERT 1			
Dato tecnico	UM	Valore	
lunghezza	m	77.50	
num. elettrodi	cad	32	
passo elettrodico	m	2.50	
num. letture	cad	155	
Larghezza dei blocchi	m	1.25	
model blocks	cad	508	
model layers	cad	13	
punti utilizzati per l'inversione	cad	155	
pseudodepth	m	Min. 1.28	Max.12.8
Numero iterazioni	cad	4	
errore sull'inversione	%	8.9	
range ρ	Ωm	Min.19.25	Max. 527.92

ERT 2			
Dato tecnico	UM	Valore	
lunghezza	m	62	
num. elettrodi	cad	32	
passo elettrodico	m	2.00	
num. letture	cad	155	
Larghezza dei blocchi	m	1.0	
model blocks	cad	508	
model layers	cad	13	
punti utilizzati per l'inversione	cad	155	
pseudodepth	m	Min. 1.02	Max.10.2
Numero iterazioni	cad	4	
errore sull'inversione	%	9.4	
range ρ	Ωm	Min.82.72	Max. 1094.64

ERT 3			
Dato tecnico	UM	Valore	
lunghezza	m	93	
num. elettrodi	cad	32	
passo elettrodico	m	3	
num. letture	cad	155	

Larghezza dei blocchi	m	1.5	
model blocks	cad	508	
model layers	cad	13	
punti utilizzati per l'inversione	cad	155	
pseudodepth	m	Min. 1.54	Max.15.4
Numero iterazioni	cad	4	
errore sull'inversione	%	3.6	
range ρ	Ωm	Min.110.87	Max. 667.36

ERT 4			
Dato tecnico	UM	Valore	
lunghezza	m	62	
num. elettrodi	cad	32	
passo elettrodico	m	2	
num. letture	cad	155	
Larghezza dei blocchi	m	1	
model blocks	cad	508	
model layers	cad	13	
punti utilizzati per l'inversione	cad	155	
pseudodepth	m	Min. 1.02	Max.10.2
Numero iterazioni	cad	4	
errore sull'inversione	%	2.8	
range ρ	Ωm	Min.59.24	Max. 203.77

ERT 5			
Dato tecnico	UM	Valore	
lunghezza	m	77.50	
num. elettrodi	cad	32	
passo elettrodico	m	2.50	
num. letture	cad	155	
Larghezza dei blocchi	m	1.25	
model blocks	cad	508	
model layers	cad	13	
punti utilizzati per l'inversione	cad	155	
pseudodepth	m	Min. 1.28	Max.13.8
Numero iterazioni	cad	4	
errore sull'inversione	%	4.8	
range ρ	Ωm	Min.37	Max.517.36

7 Risultati delle indagini geoelettriche

In questo capitolo si riportano i grafici delle pseudosezioni e dei modelli di resistività, ottenuti tramite il processo di inversione per i profili 2D.

Per il profilo tomografico ERT4 è stata effettuata la correzione topografica del modello, in modo da avere una sezione elettro-stratigrafica aderente alla morfologia locale.

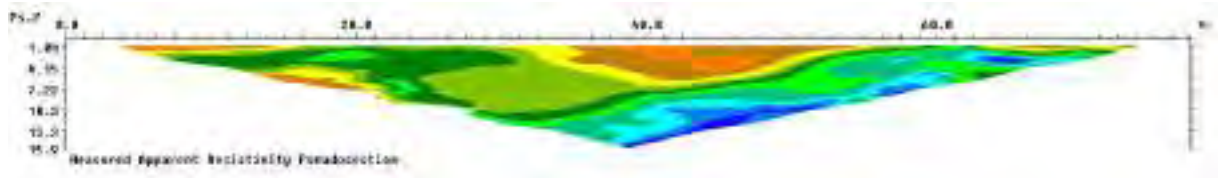
Tali grafici si riferiscono in particolare a:

- a) pseudosezione di resistività apparente rilevata dai dati di campagna;
- b) pseudosezione di resistività calcolata;
- b) modello di resistività reale del terreno ottenuto dall'inversione.

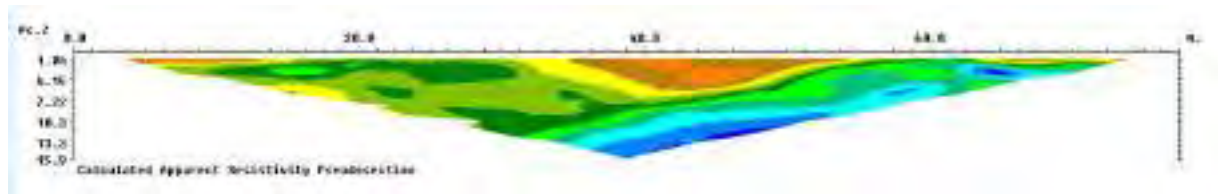
7.1 Misure di resistività elettrica – Array Dipolo-Dipolo

ERT1

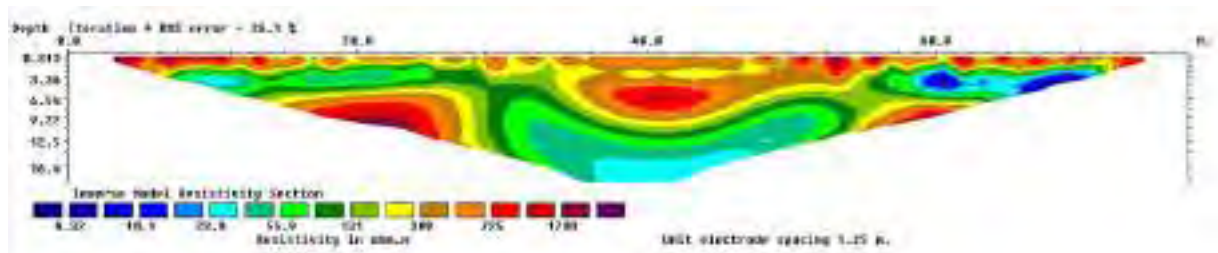
Pseudo-sezione di resistività apparente misurata



Pseudo-sezione di resistività apparente calcolata

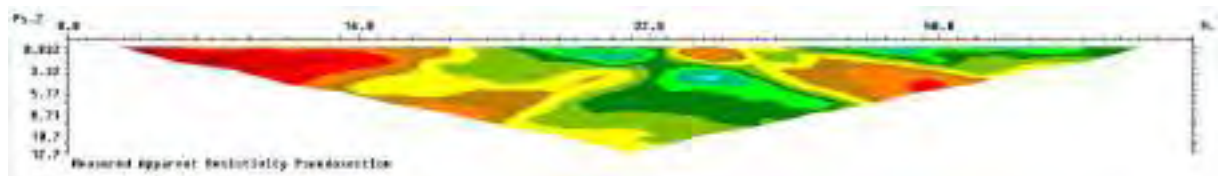


Sezione di resistività reale

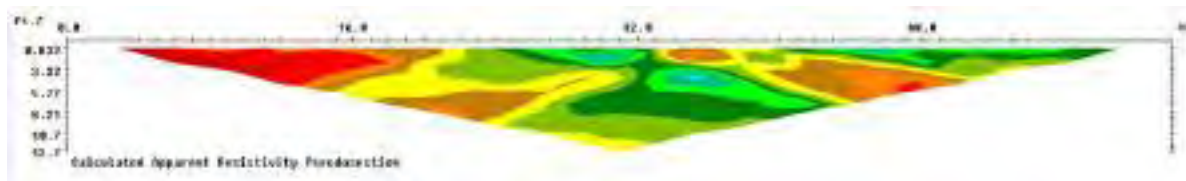


ERT2

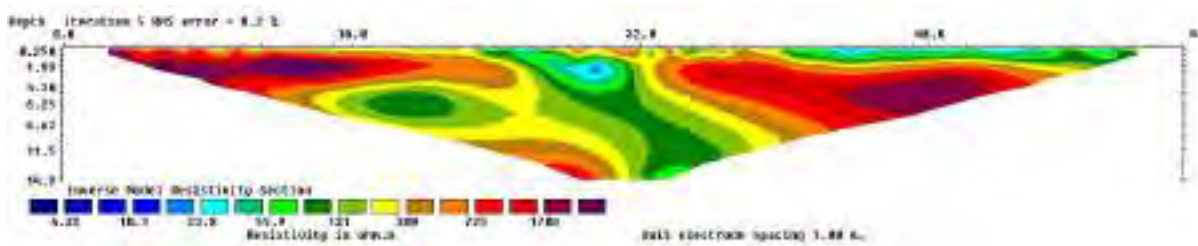
Pseudo-sezione di resistività apparente misurata



Pseudo-sezione di resistività apparente calcolata

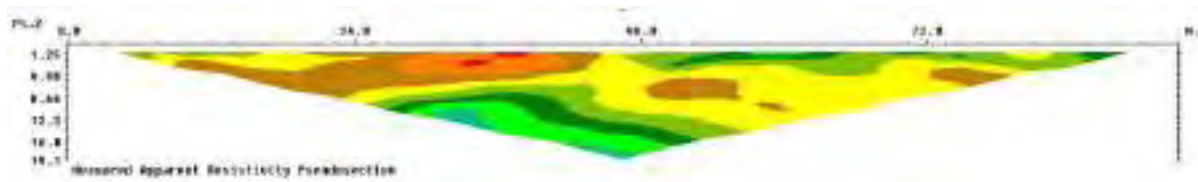


Sezione di resistività reale

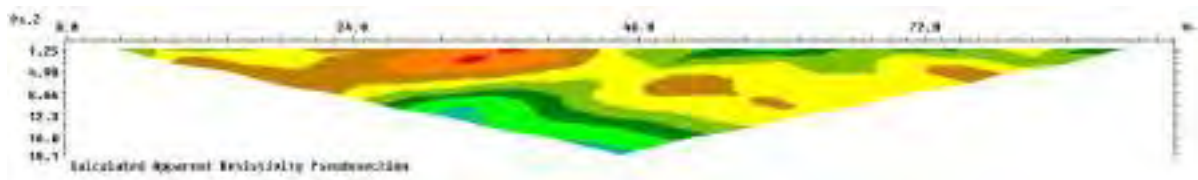


ERT3

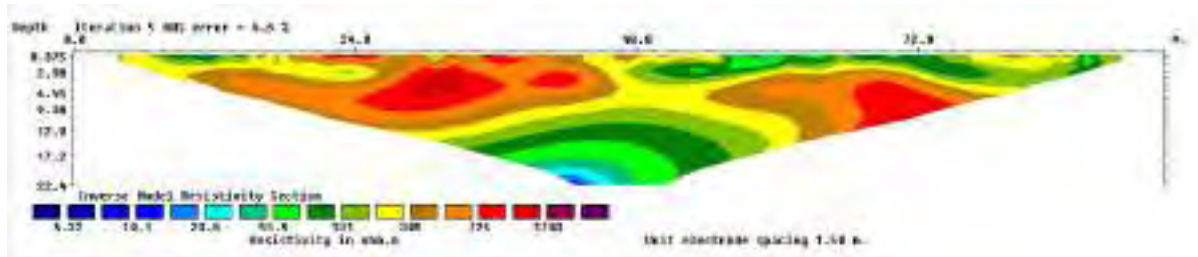
Pseudo-sezione di resistività apparente misurata



Pseudo-sezione di resistività apparente calcolata

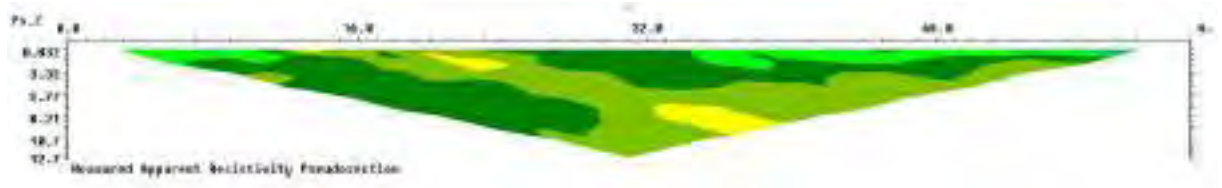


Sezione di resistività reale

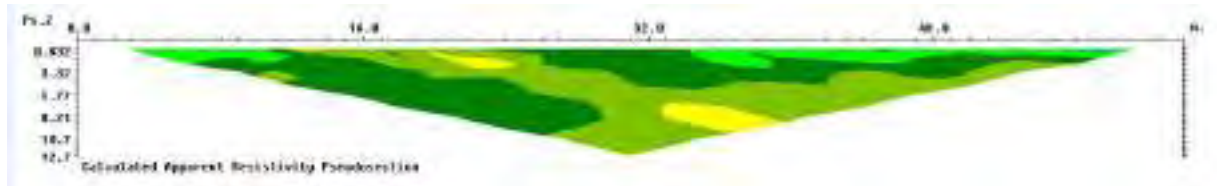


ERT4

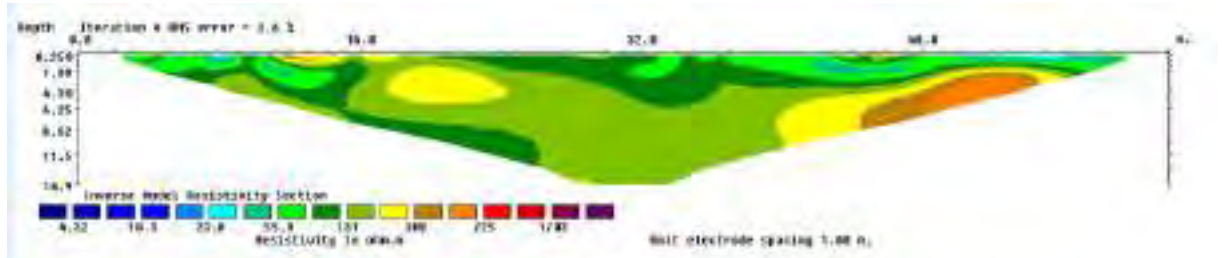
Pseudo-sezione di resistività apparente misurata



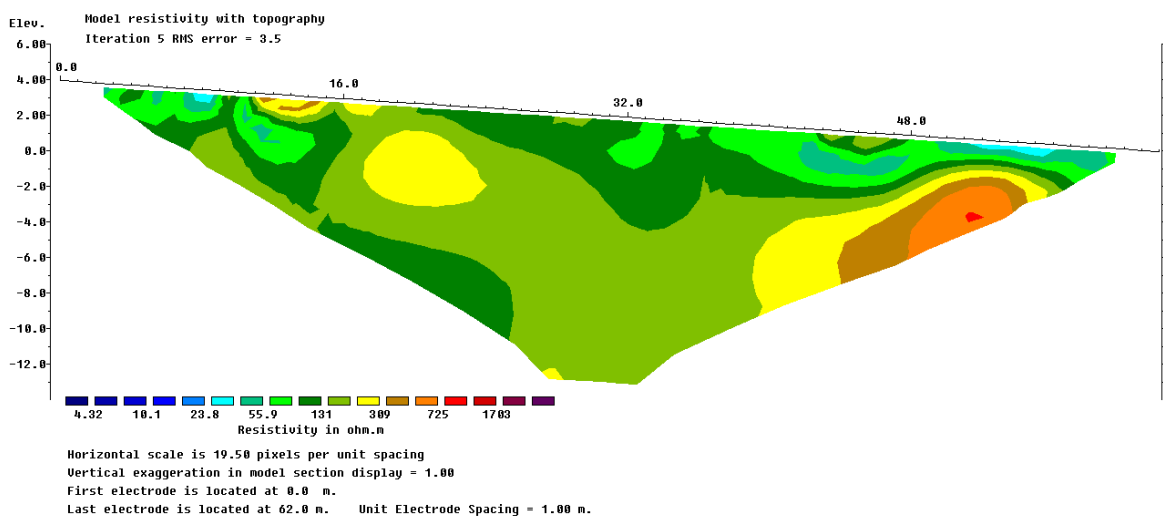
Pseudo-sezione di resistività apparente calcolata



Sezione di resistività reale

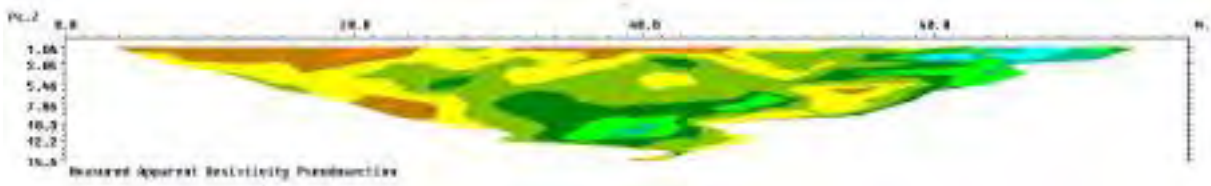


Sezione di resistività reale con correzione topografica

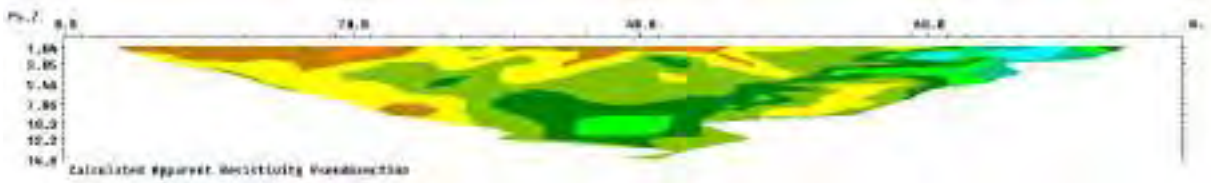


ERT5

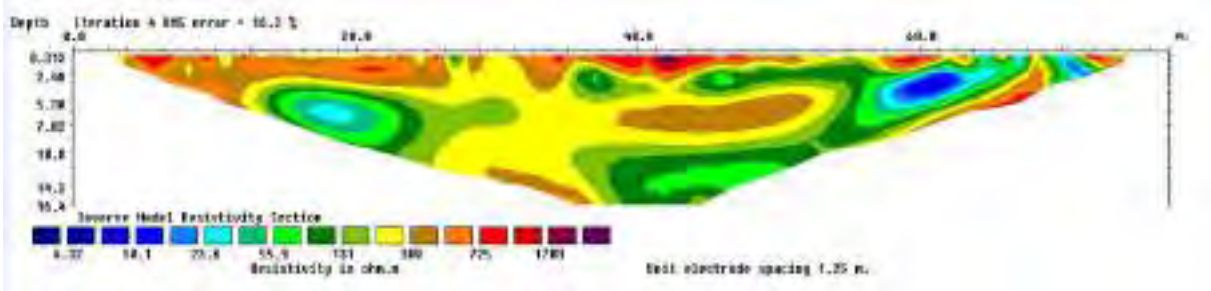
Pseudo-sezione di resistività apparente misurata



Pseudo-sezione di resistività apparente calcolata



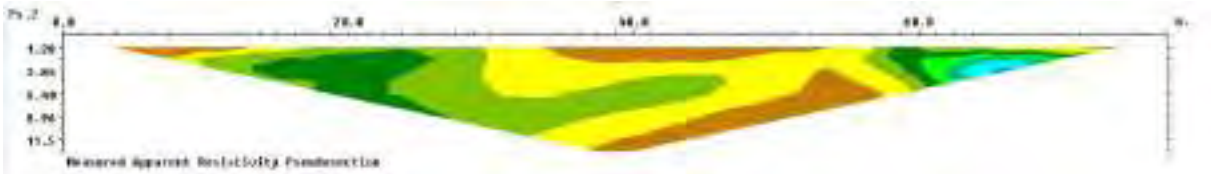
Sezione di resistività reale



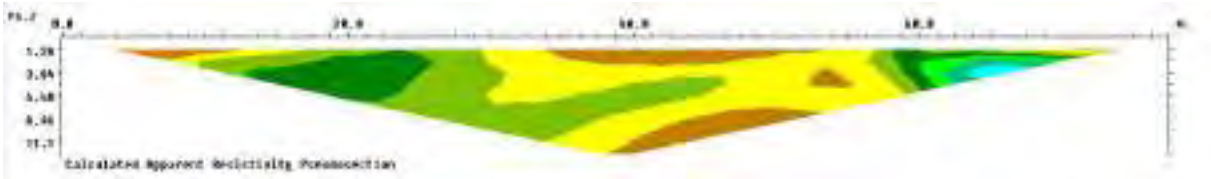
7.2 Misure di resistività elettrica – Array Wenner

ERT1

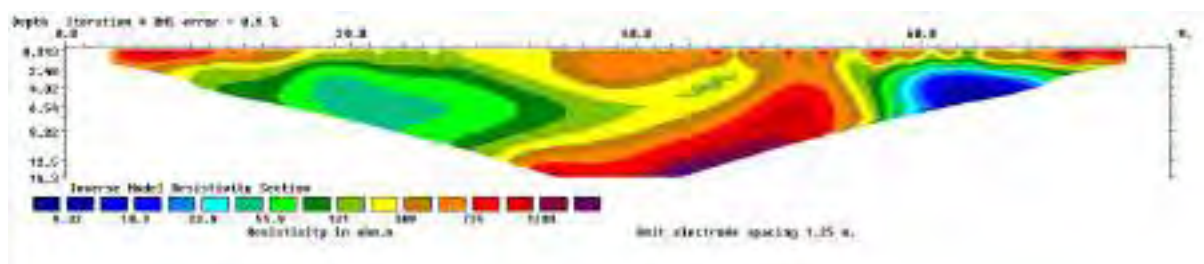
Pseudo-sezione di resistività apparente misurata



Pseudo-sezione di resistività apparente calcolata

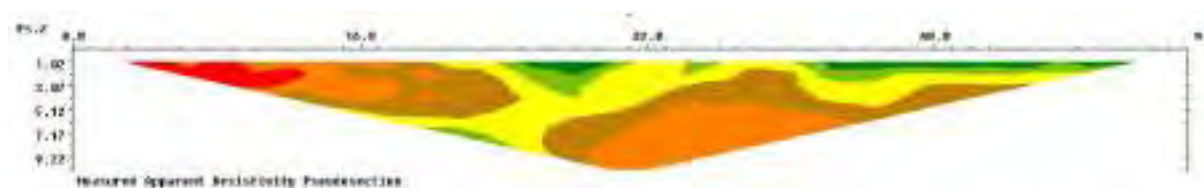


Sezione di resistività reale

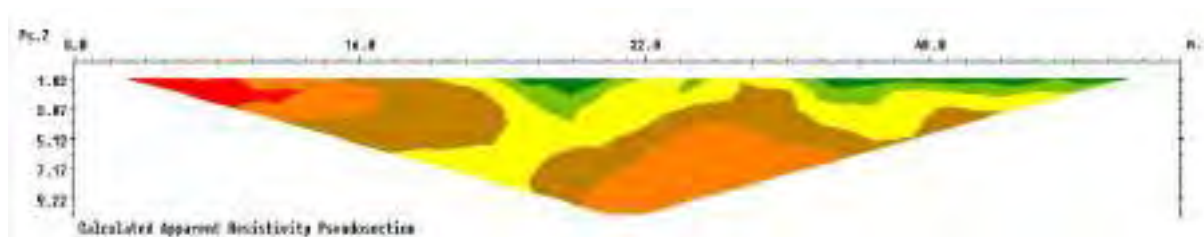


ERT2

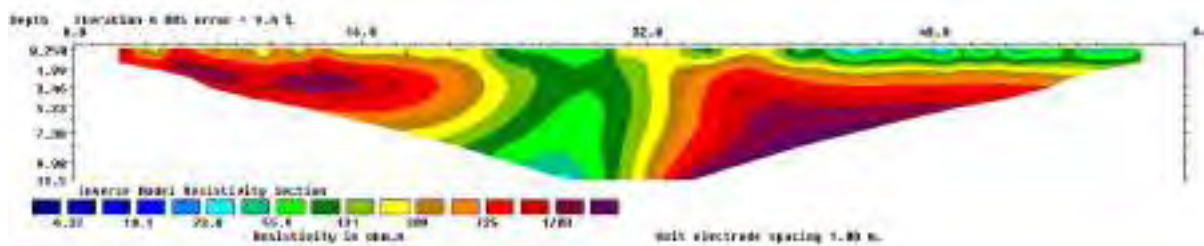
Pseudo-sezione di resistività apparente misurata



Pseudo-sezione di resistività apparente calcolata

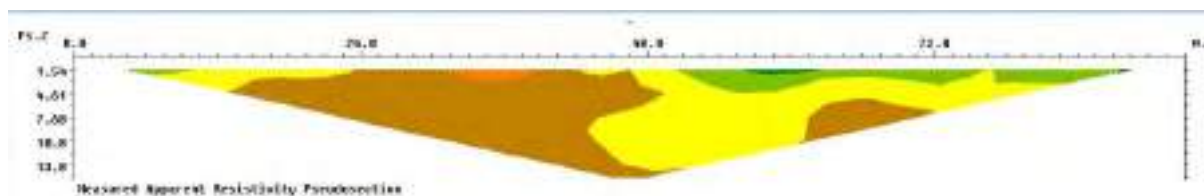


Sezione di resistività reale

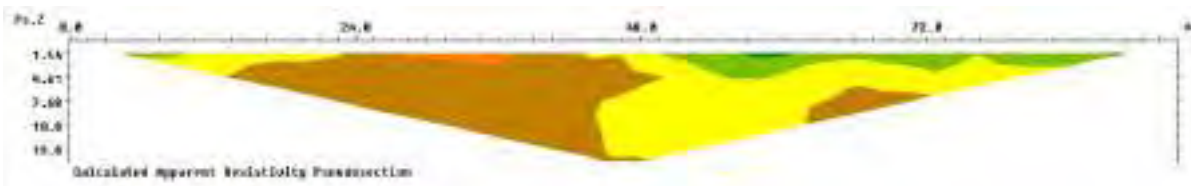


ERT3

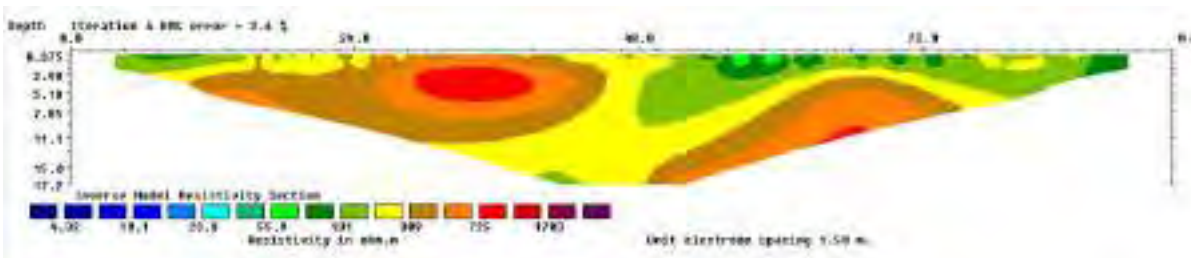
Pseudo-sezione di resistività apparente misurata



Pseudo-sezione di resistività apparente calcolata

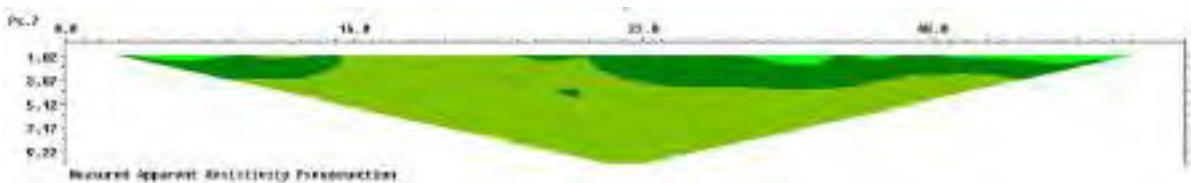


Sezione di resistività reale



ERT4

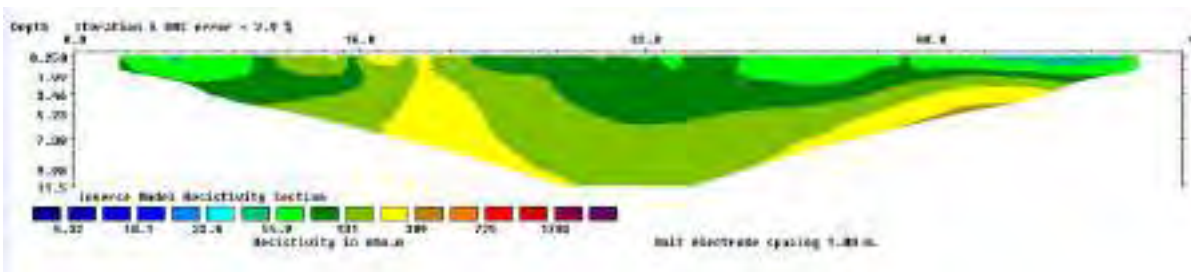
Pseudo-sezione di resistività apparente misurata



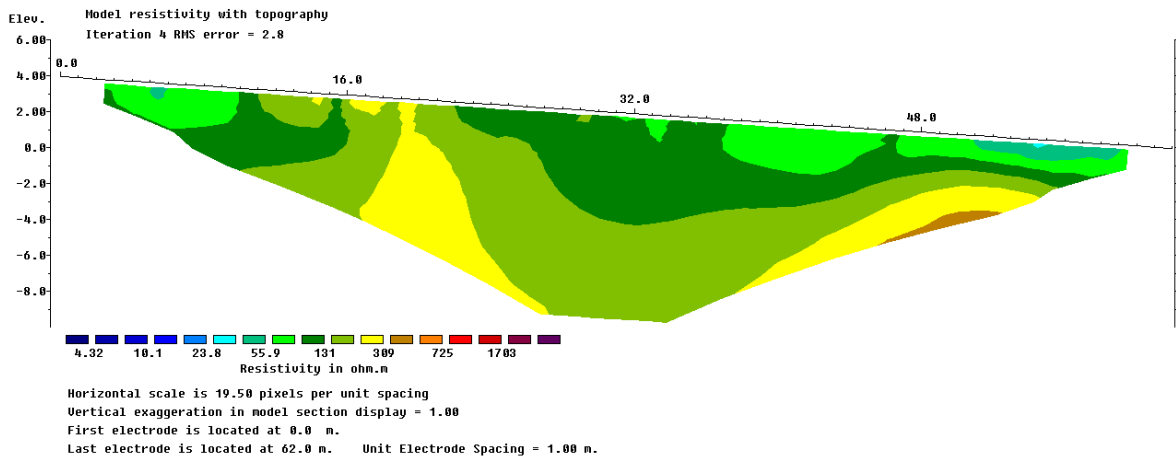
Pseudo-sezione di resistività apparente calcolata



Sezione di resistività reale

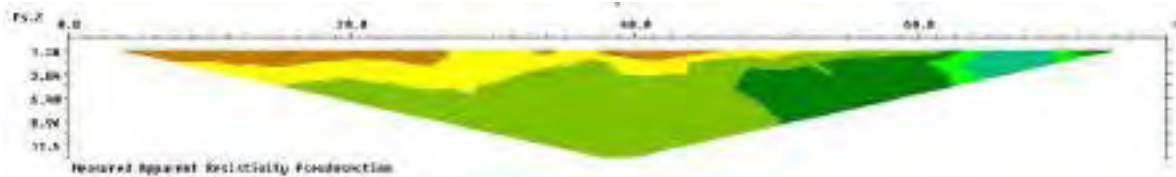


Sezione di resistività reale con correzione topografica

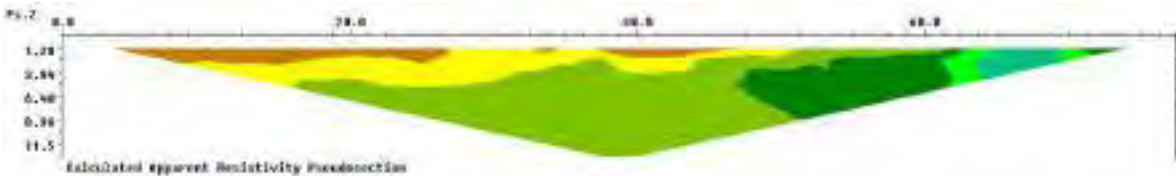


ERT5

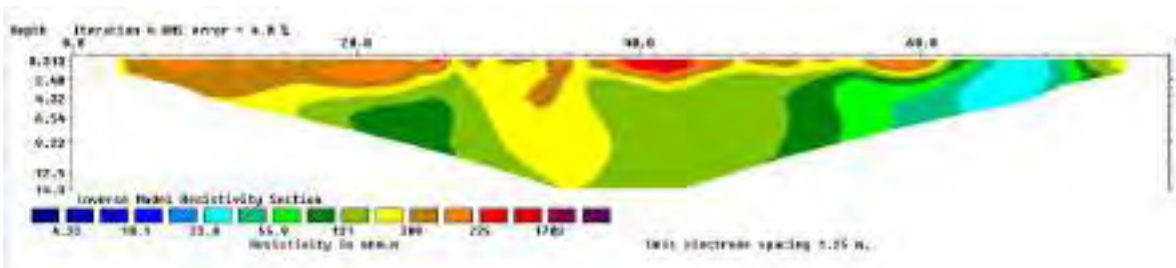
Pseudo-sezione di resistività apparente misurata



Pseudo-sezione di resistività apparente calcolata



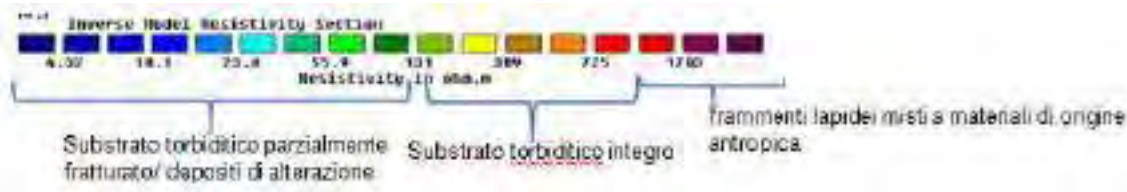
Sezione di resistività reale



8 Analisi dei risultati e commenti

Analisi della scala interpretativa

La scala dei valori di resistività (Ωm), utilizzata per le singole classi di terreni individuati, è di tipo logaritmica ed è di seguito riportata:



Tali valori hanno permesso di discriminare terreni aventi caratteristiche diverse e appartenenti ai seguenti range di resistività:

- **$4 < \rho < 130$** : substrato torbiditico con abbondanti livelli argillosi e/o parzialmente fratturato;
- **$131 < \rho < 700$** : substrato torbiditico più compatto
- **$\rho > 701$** : substrato torbiditico compatto e/o frammenti lapidei misti a materiale antropico incoerente.

Interpretazione dei principali elettrostrati rilevati nell'area

ERT1

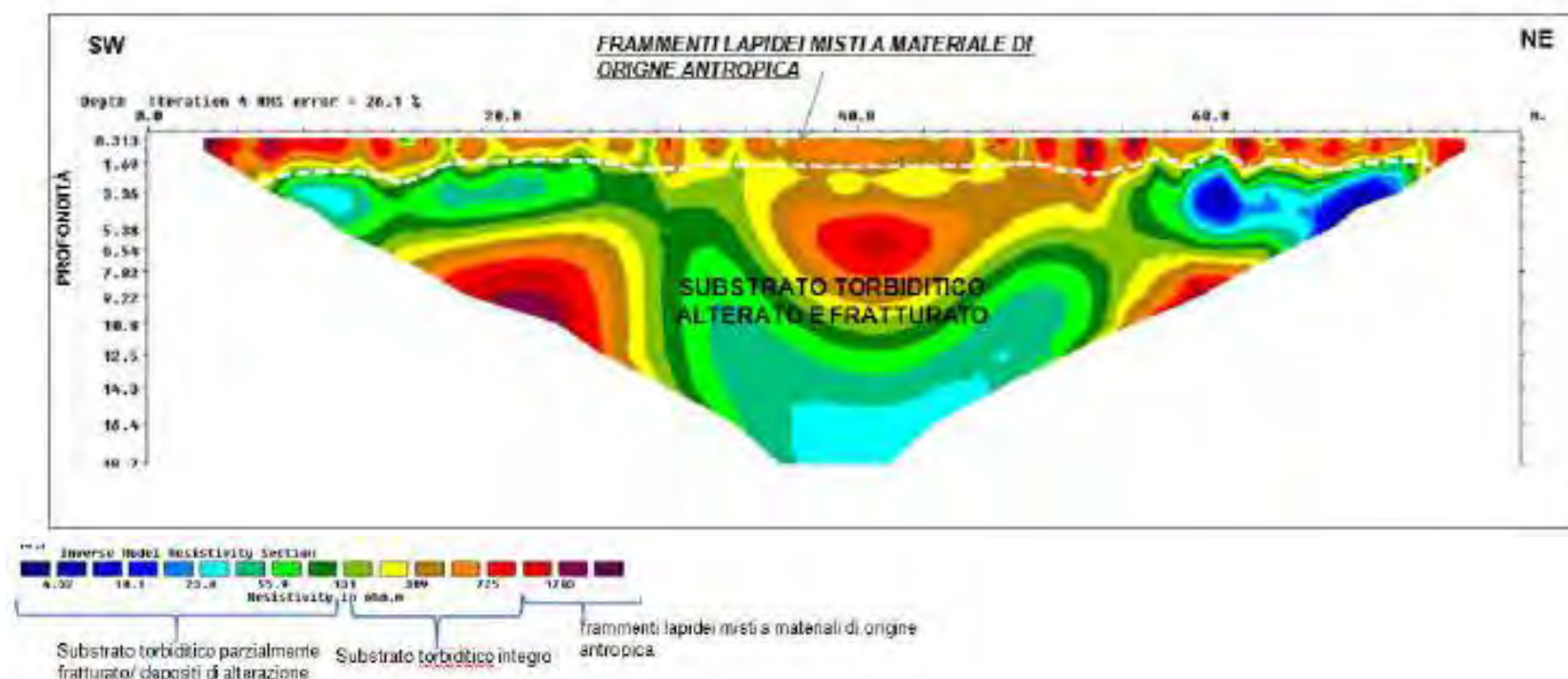
Il modello di resistività elettrica **ERT1** mostra, sotto una copertura con spessori variabili da 1.5m a 3.0m circa, un andamento delle iso-resistive con medio-bassi valori di resistività 50-130Ωm, correlabili al bed-rock torbiditico alterato e fratturato. All'interno di questo substrato sono presenti porzioni più resistive (di circa 700Ωm, in rosso in sezione) attribuibili ai terreni più compatti.

In superficie i materiali alto-resistivi >700Ωm sono associabili a frammenti lapidei misti e materiale antropico incoerente e rimaneggiato.

Sono, inoltre, osservabili nuclei conduttivi (vedi iso-resistive in celeste/blu). I bassi valori di resistività possono essere associati a variazioni del contenuto di argilla e/o allo stato di umidità o saturazione dei terreni torbiditici.

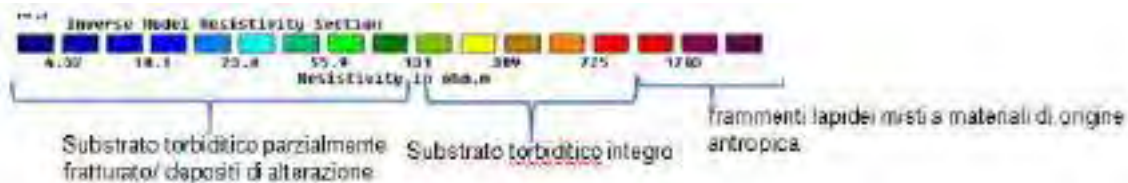
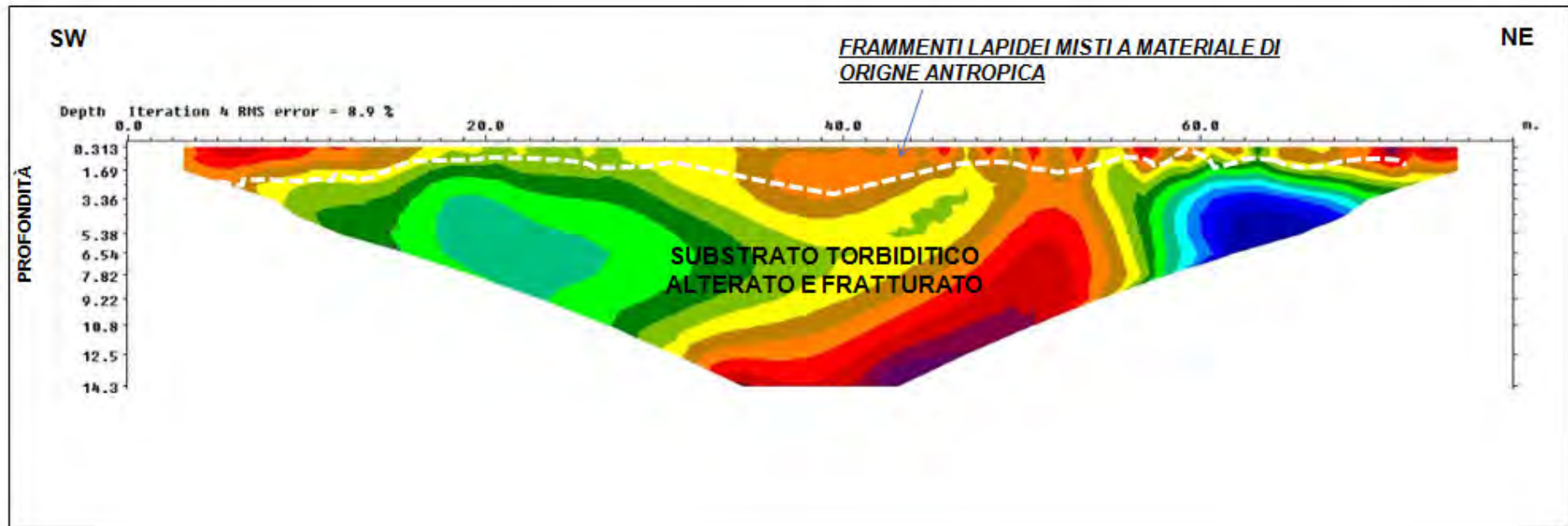
Tomografia di resistività elettrica ERT1

Array Dipolo - Dipolo



Tomografia di resistività elettrica ERT1

Array Wenner



ERT2

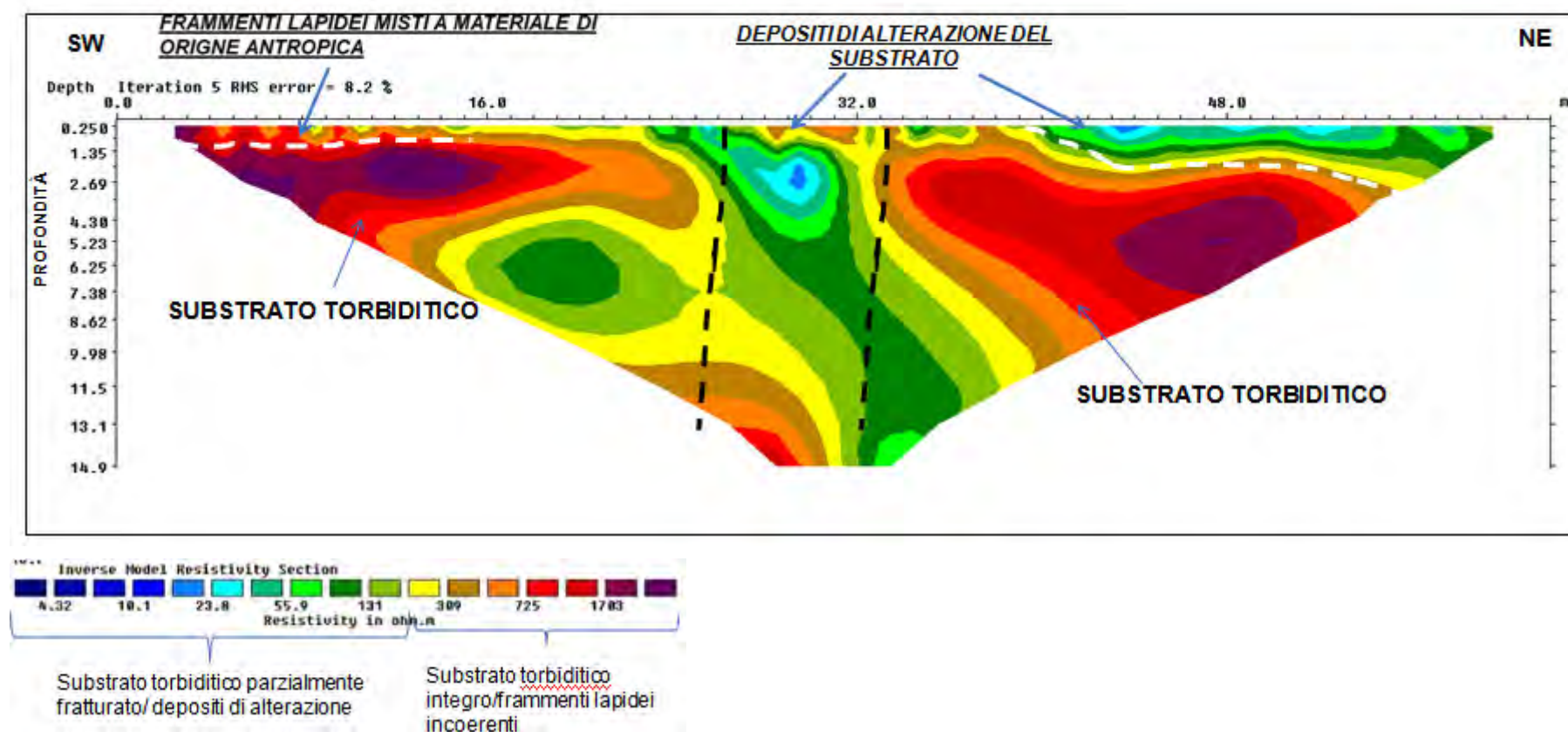
La sezione risultante dal profilo geoelettrico n.2 (**ERT2**) evidenzia nella porzione centrale della sezione tomografica iso-resistive con valori compresi tra 50-130 Ωm . Tali valori sono riconducibili a terreni prevalentemente argillo-siltosi e l'andamento delle iso-resistive è attribuibile alla presenza di potenziali fratture all'interno del bed-rock.

Dalla progressiva che va da 0 m a 16 m circa sono presenti per uno spessore di circa 1,30 m frammenti lapidei incoerenti e rimaneggiati.

Le iso-resistive con valori di circa 700 Ωm sono attribuibili molto probabilmente ai terreni torbiditici più compatti.

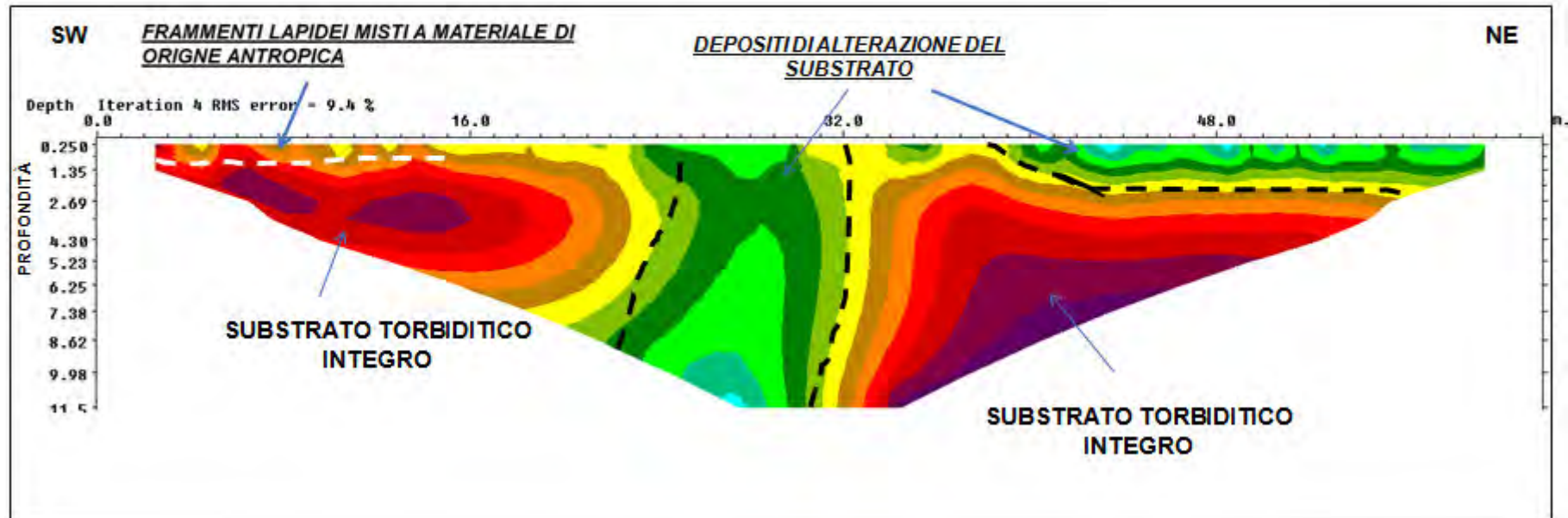
Tomografia di resistività elettrica ERT2

Array Dipolo - Dipolo



Tomografia di resistività elettrica ERT2

Array Wenner



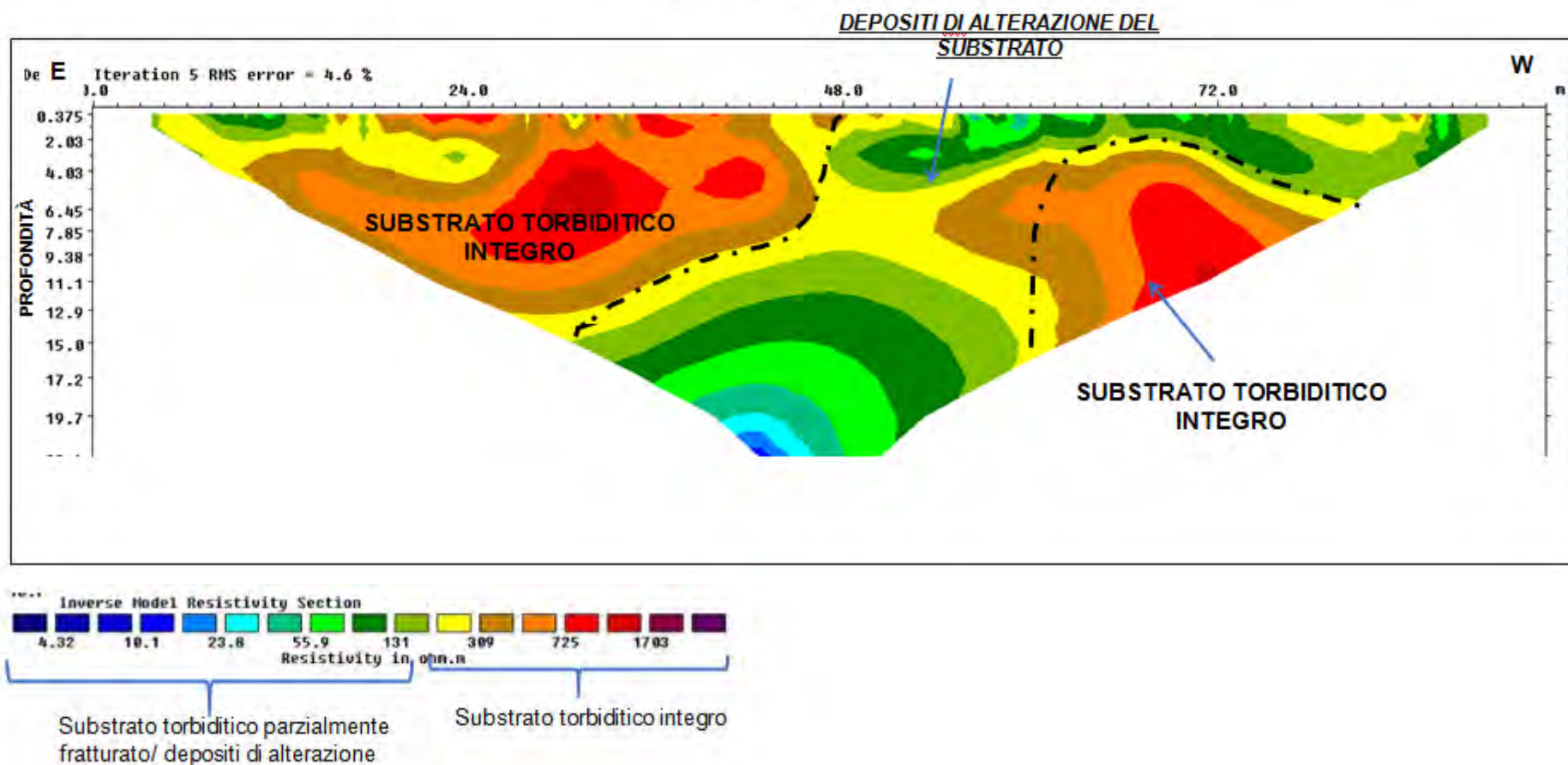
ERT3

La situazione elettro-stratigrafica del profilo n 3 (**ERT3**) evidenzia dalla progressiva che va da 40 m a 70 m circa orizzonti di terreni conduttivi (50-130 Ω m), che si estendono anche in profondità e sono attribuibili a potenziali depositi di alterazioni del substrato.

Nella sezione sono osservabili iso-resistive con valori intorno a 700 Ω m, da attribuire alla presenza di un bed-rock torbiditico più integro.

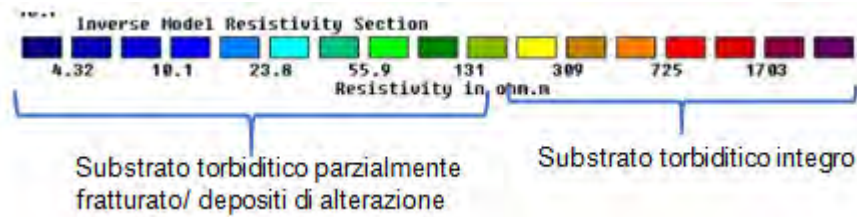
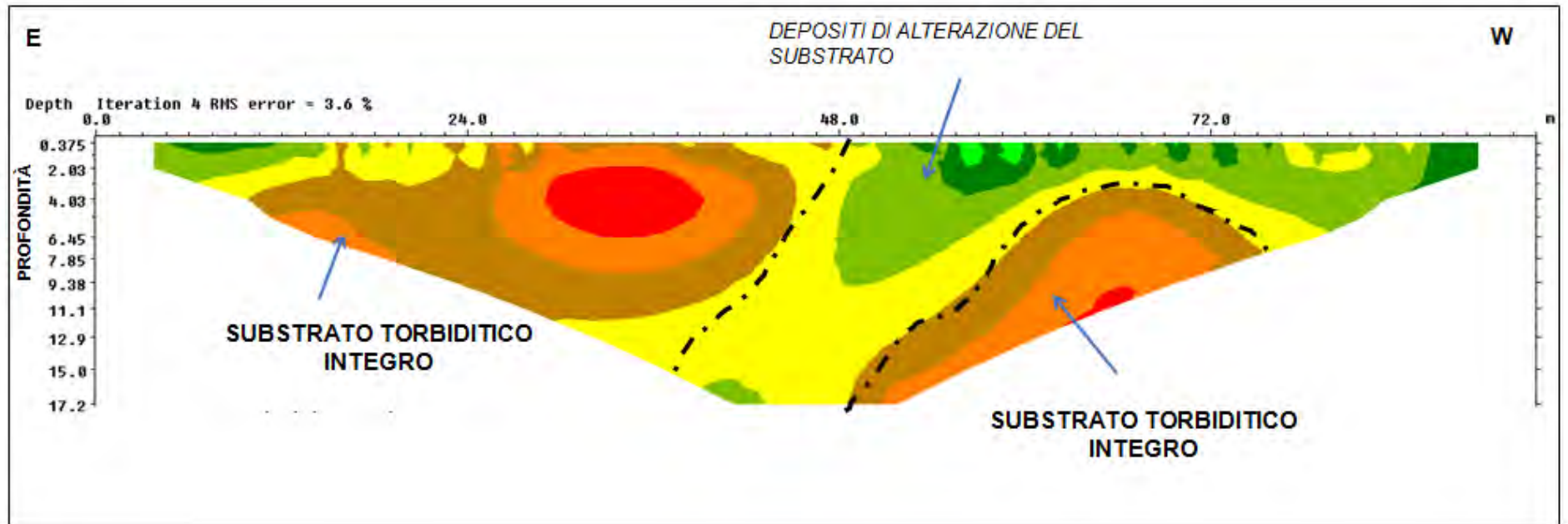
Tomografia di resistività elettrica ERT3

Array Dipolo - Dipolo



Tomografia di resistività elettrica ERT3

Array Wenner



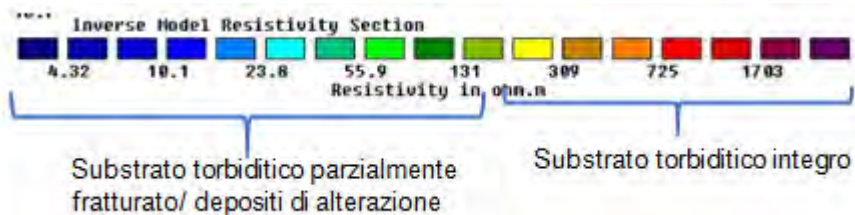
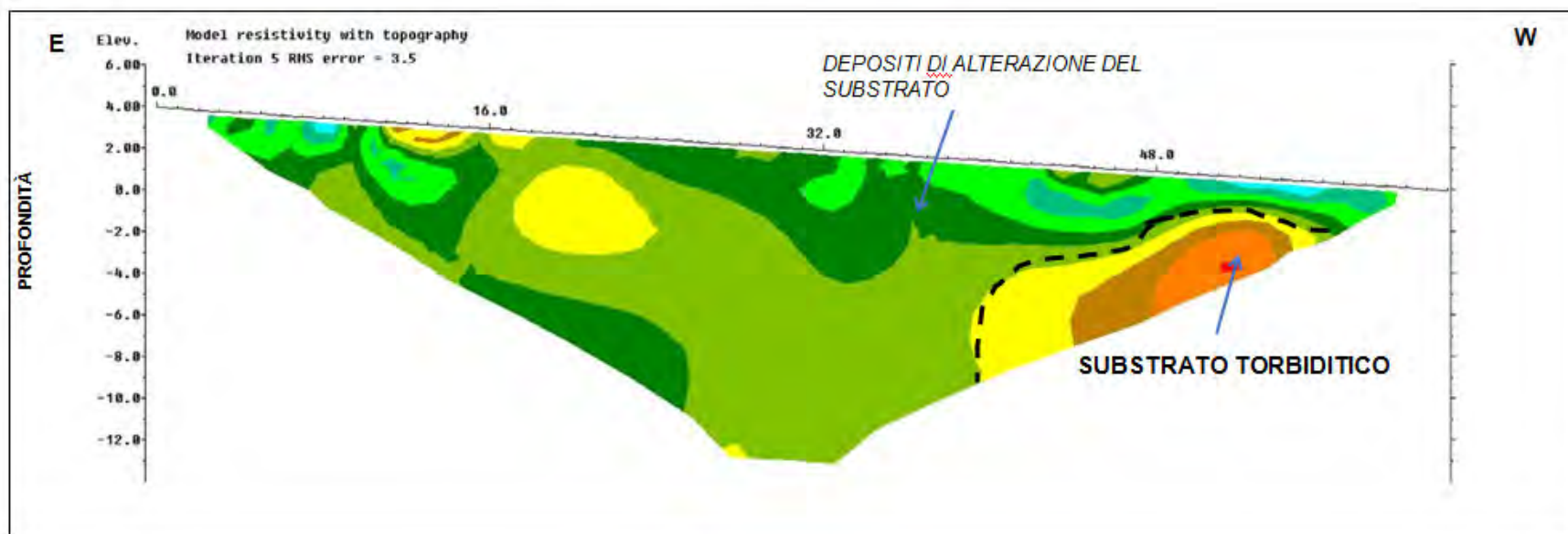
ETR4

In questo caso le iso-resistive del profilo n 4 (ERT4) evidenziano orizzonti di terreni basso-resistivi ($50-130\Omega m$) fino ad una profondità di circa 15m, all'interno dei quali sono presenti porzioni più resistive (Vedi sezione sottostante).

La presenza di materiali poco resistivi può essere associata ad un alto contenuto di terreni argillo-siltosi, mentre i materiali più resistivi ($200-700\Omega m$) sono attribuibili ad un substrato più compatto e integro.

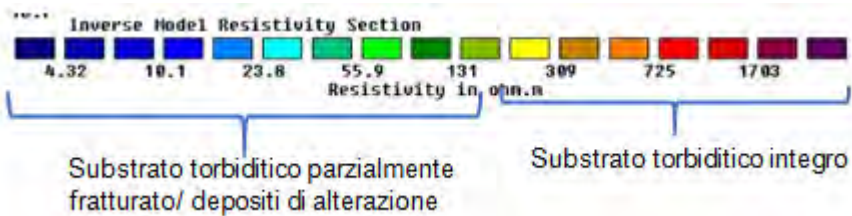
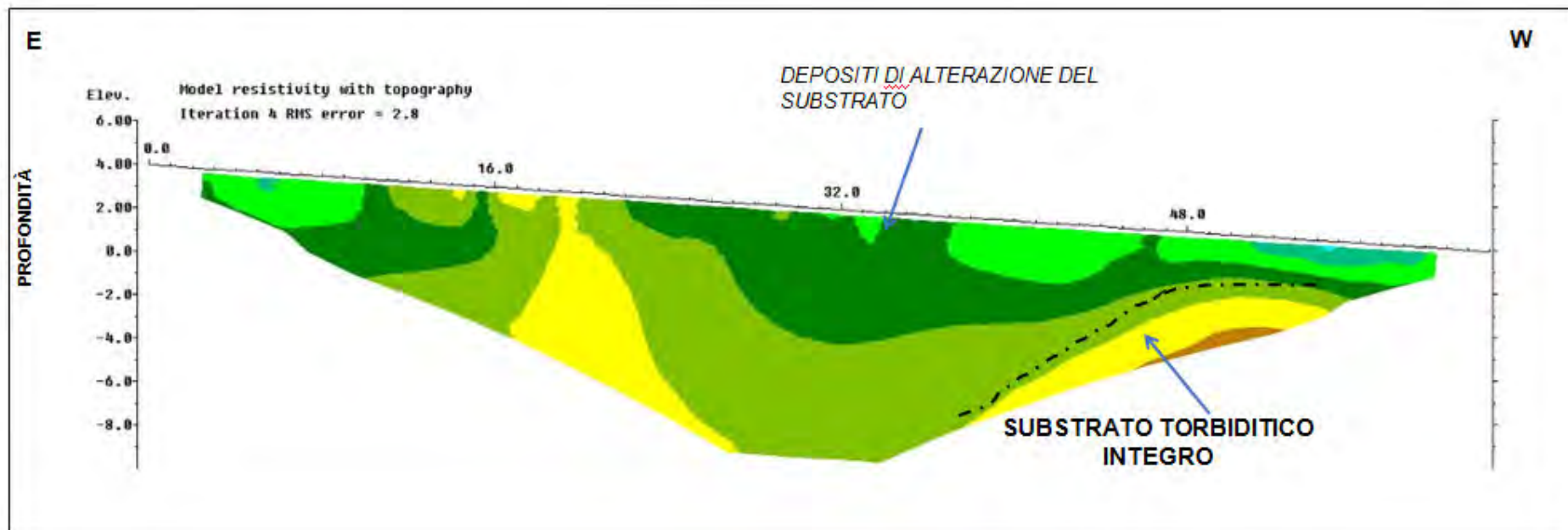
Tomografia di resistività elettrica ERT4

Array Dipolo - Dipolo



Tomografia di resistività elettrica ERT4

Array Wenner

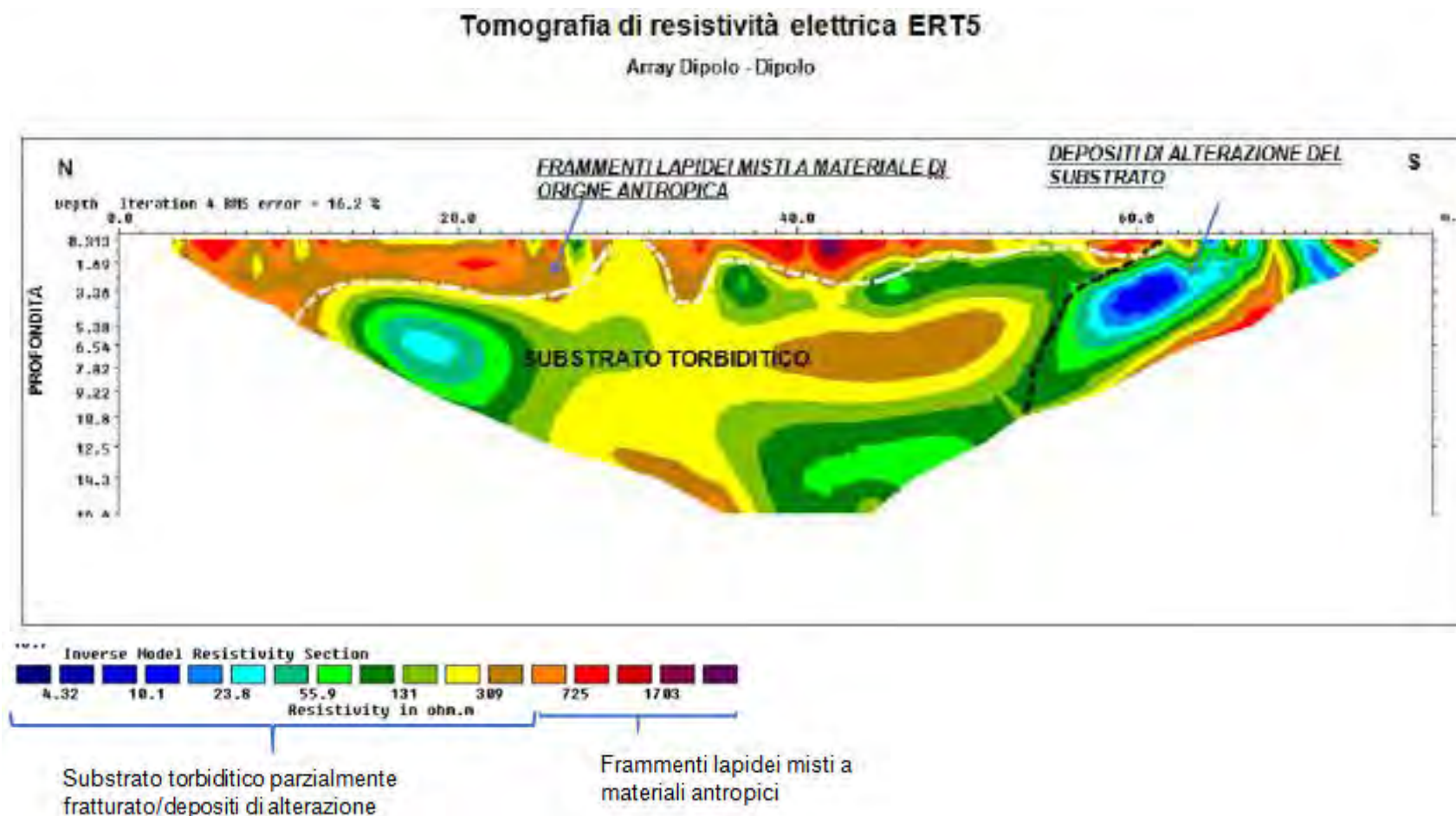


ETR5

Lungo il profilo di resistività n°5 (**ERT5**) si evidenziano orizzonti superficiali con valori di resistività $>$ di $700 \Omega\text{m}$, associabili a frammenti lapidei misti a materiali di origine antropica.

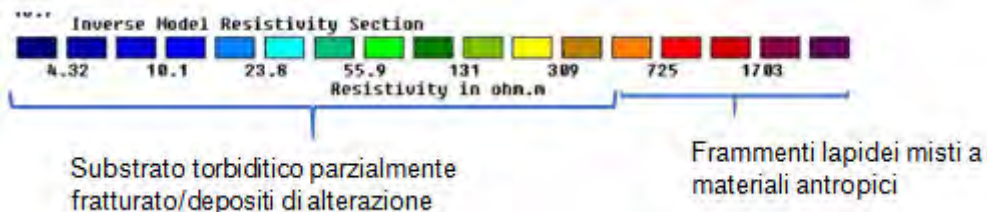
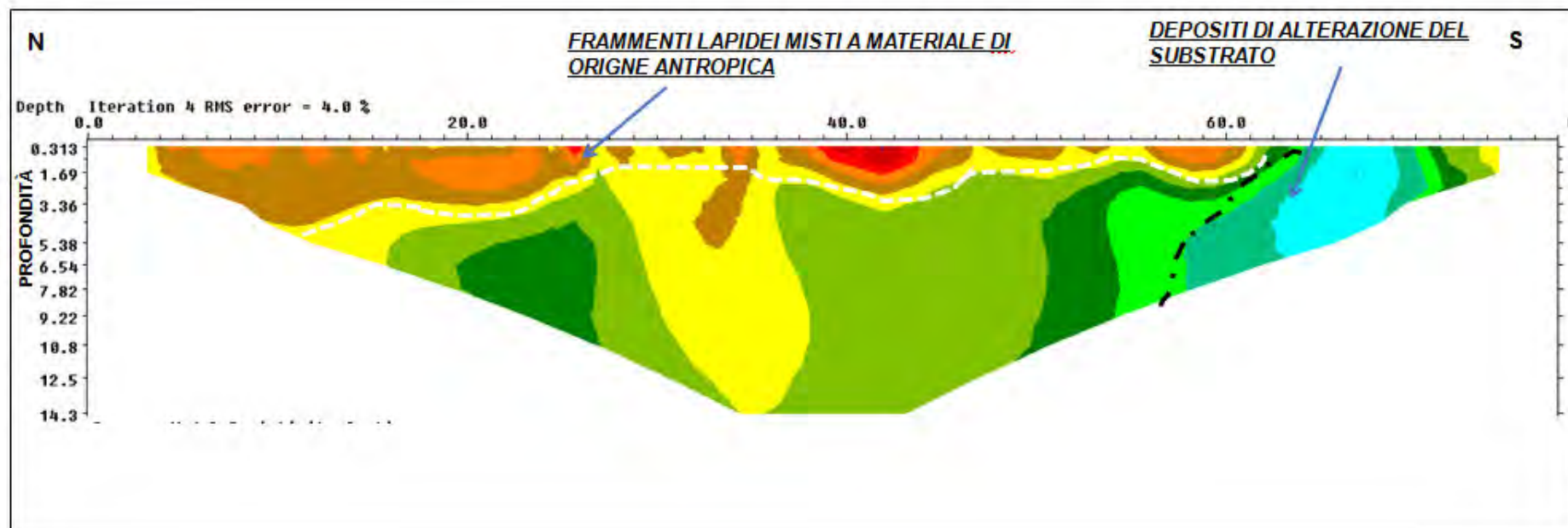
Al di sotto di questi terreni sono presenti orizzonti con valori che vanno da 55 a $400 \Omega\text{m}$, attribuibili al substrato torbiditico alterato e fratturato.

All'interno del substrato sono presenti nuclei conduttivi (vedi iso-resistive in celeste - blu nella sezione tomografica). In questo caso i bassi valori di resistività (anomalie conduttive) possono essere associati sia a variazioni del contenuto di argilla e/o allo stato di umidità, sia alla presenza di potenziali materiali antropici conduttivi.



Tomografia di resistività elettrica ERT5

Array Wenner



I profili di resistività, ottenuti usando i diversi dispositivi elettrodi, sono in perfetto accordo con la geologia locale; nelle configurazioni dipolo-dipolo emergono maggiormente le variazioni orizzontali di resistività.

Dai risultati di tali indagini è emerso che il sito di interesse è collocato su terreni torbitici con alto contenuto di argilla e con possibile presenza di terreni umidi o saturi. Sono, inoltre, osservabili potenziali porzioni di discontinuità del substrato torbiditico entro le profondità investigate.

In superficie generalmente sono osservabili nelle sezioni orizzonti costituiti da depositi di alterazione del substrato o da frammenti lapidei incoerenti.

L'andamento dei profili geoelettrici dovrà essere avvalorato da sondaggi geognostici. Le indagini di geofisica applicata (nella fattispecie le indagini geoelettriche) costituiscono solo un aspetto di un approccio multi fase e sequenziale dell'esecuzione del progetto in esame. Le osservazioni e le misure dirette, di tipo geologico, non sono sostituibili da prove geofisiche indirette: i sondaggi in situ permetteranno di confermare e calibrare i risultati geofisici e migliorare l'accuratezza delle interpretazioni.

9 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

PROFILO ERT1

Stendimento multielettrodo in configurazione di acquisizione
Dipolo-Dipolo, effettuato con 32 elettrodi di misura, spaziatura
2.5m. Lunghezza stendimento 77.50 m.





PROFILO ERT2

Stendimento multielettrodo in configurazione di acquisizione Dipolo-Dipolo, effettuato con 32 elettrodi di misura, spaziatura 2.0m. Lunghezza stendimento 62 m.





PROFILO ERT3

Stendimento multielettrodo in configurazione di acquisizione Dipolo-Dipolo, effettuato con 32 elettrodi di misura, spaziatura 3.0m. Lunghezza stendimento 93 m.





PROFILO ERT4

Stendimento multielettrodo in configurazione di acquisizione Dipolo-Dipolo, effettuato con 32 elettrodi di misura, spaziatura 2.0m. Lunghezza stendimento 62 m.





PROFILO ERT5

Stendimento multielettrodo in configurazione di acquisizione
Dipolo-Dipolo, effettuato con 32 elettrodi di misura, spaziatura
2.5m. Lunghezza stendimento 77.50 m.







Gennaio 2023

FASCICOLO PROVE DI LABORATORIO



TERRA S.n.c.

Via Comunale Vittorio Veneto 48
06055 Papiano (PG)
tel: 075 8089539 - 075 8795142
info@laboratoriogeotecnico.it

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'
UNI EN ISO 9001:2015
CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
Settore A (prove di laboratorio sui terreni con estensione carico su pali)
D.M. n° 2612 del 26/03/2010 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC/2010

COMMITTENTE: Comune di SAN VENANZO

RIFERIMENTO: Rotecastello, San Venanzo (TR)

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 7.20 - 7.50

MODULO RIASSUNTIVO

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Peso di volume (kN/m³):

24,5

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE

Resistenza a compressione (MPa):

46,26

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

**TERRA S.n.c.**Via Comunale Vittorio Veneto 48
06055 Papiano (PG)
tel: 075 8089539 - 075 8795142
info@laboratoriogeotecnico.itAZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'
UNI EN ISO 9001:2015
CERTIFICATO DA CERTIQUALITYAUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
Settore A (prove di laboratorio sui terreni con estensione carico su pali)
D.M. n° 2612 del 26/03/2010 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC/2010

COMMITTENTE: Comune di SAN VENANZO

RIFERIMENTO: Rotecastello, San Venanzo (TR)

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: C2

PROFONDITA': m 8.70 - 9.00

MODULO RIASSUNTIVO**PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE**Peso di volume (kN/m³):

24,5

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE

Resistenza a compressione (MPa):

25,44

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



CERTIFICATO DI PROVA N°: 0016 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE 26/01/23	Inizio analisi: 26/01/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 23/014 del 25/01/23	Apertura campione: 26/01/23	Fine analisi: 26/01/23

COMMITTENTE: Comune di SAN VENANZO		
RIFERIMENTO: Rotecastello, San Venanzo (TR)		
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C2	PROFONDITA': m 8.70 - 9.00

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 7012 C-D

Provino n°:	1
Velocità di deformazione (MPa/sec):	0,20
Altezza (cm):	11,83
Diametro (cm):	5,00
Sezione (cm ²)	19,63
Peso di volume (kN/m ³):	24,5
Resistenza a compressione (MPa):	25,44



COMUNE DI SAN VENANZO
 Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
 Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



RAPPORTO DI PROVA N°: 0018	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE 27/01/23	Inizio analisi: 26/01/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 23/014 del 25/01/23		Apertura campione: 26/01/23	Fine analisi: 26/01/23

COMMITTENTE: Comune di SAN VENANZO			
RIFERIMENTO: Rotecastello, San Venanzo (TR)			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	1.50-1.80

PROVA DI TRAZIONE INDIRECTA «BRASILIANA»

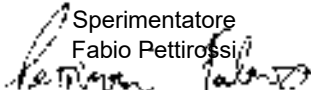
Modalità di prova: Norma ASTM D 3967

Numero di provini:	6	Resistenza a trazione media (MPa):	4,71
Resistenza a trazione minima (MPa):	3,65	Deviazione standard:	0,69
Resistenza a trazione massima (MPa):	5,38	Coefficiente di variazione:	0,15

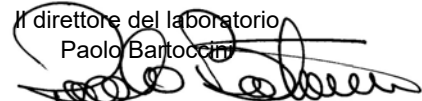
CARATTERISTICHE DEI PROVINI

n°	Spessore mm	Diametro mm	Carico a rottura N	Resist. a rottura MPa
1	21,0	50,0	7609,0	4,61
2	22,0	50,0	8875,0	5,14
3	18,7	50,0	7901,0	5,38
4	31,0	50,0	11569,0	4,75
5	25,5	50,0	7318,0	3,65
6	28,0	50,0	9504,0	4,32

Sperimentatore
Fabio Pettirossi



Il direttore del laboratorio
Paolo Bartocci



**TERRA S.n.c.**Via Comunale Vittorio Veneto 48
06055 Papiano (PG)
tel: 075 8089539 - 075 8795142
info@laboratoriogeotecnico.itAZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'
UNI EN ISO 9001:2015
CERTIFICATO DA CERTIQUALITYAUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
Settore A (prove di laboratorio sui terreni con estensione carico su pali)
D.M. n° 2612 del 26/03/2010 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC/2010

COMMITTENTE: Comune di SAN VENANZO

RIFERIMENTO: Rotecastello, San Venanzo (TR)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 4.80 - 5.00

MODULO RIASSUNTIVO**PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE**Peso di volume (kN/m³):

24,2

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE

Resistenza a compressione (MPa):

19,58

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



RAPPORTO DI PROVA N°: 0020	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE 26/01/23	Inizio analisi: 26/01/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 23/014 del 25/01/23		Apertura campione: 26/01/23	Fine analisi: 26/01/23

COMMITTENTE: Comune di SAN VENANZO		
RIFERIMENTO: Rotecastello, San Venanzo (TR)		
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m 4.80 - 5.00

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 7012 C-D

Provino n°:	1
Velocità di deformazione (MPa/sec):	0,20
Altezza (cm):	8,73
Diametro (cm):	5,00
Sezione (cm ²):	19,63
Peso di volume (kN/m ³):	24,2
Resistenza a compressione (MPa):	19,58



COMUNE DI SAN VENANZO
 Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
 Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

Sperimentatore
Fabio Pettirossi

Il direttore del laboratorio
Paolo Bartocci



TERRA S.n.c.

Via Comunale Vittorio Veneto 48
06055 Papiano (PG)
tel: 075 8089539 - 075 8795142
info@laboratoriergeotecnico.it

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'
UNI EN ISO 9001:2015
CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
Settore A (prove di laboratorio sui terreni con estensione carico su pali)
D.M. n° 2612 del 26/03/2010 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC/2010

COMMITTENTE: Comune di SAN VENANZO

RIFERIMENTO: Rotecastello, San Venanzo (TR)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C2

PROFONDITA': m 8.80 - 9.20

MODULO RIASSUNTIVO

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Peso di volume (kN/m³):

23,9

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE

Resistenza a compressione (MPa):

38,16

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



RAPPORTO DI PROVA N°: 0021	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE 26/01/23	Inizio analisi: 26/01/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 23/014 del 25/01/23		Apertura campione: 26/01/23	Fine analisi: 26/01/23

COMMITTENTE: Comune di SAN VENANZO		
RIFERIMENTO: Rotecastello, San Venanzo (TR)		
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: C2	PROFONDITA': m 8.80 - 9.20

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 7012 C-D

Provino n°:	1
Velocità di deformazione (MPa/sec):	0,20
Altezza (cm):	11,78
Diametro (cm):	5,00
Sezione (cm ²):	19,63
Peso di volume (kN/m ³):	23,9
Resistenza a compressione (MPa):	38,16



**TERRA S.n.c.**Via Comunale Vittorio Veneto 48
06055 Papiano (PG)
tel: 075 8089539 - 075 8795142
info@laboratoriogeotecnico.itAZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'
UNI EN ISO 9001:2015
CERTIFICATO DA CERTIQUALITYAUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
Settore A (prove di laboratorio sui terreni con estensione carico su pali)
D.M. n° 2612 del 26/03/2010 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC/2010

COMMITTENTE: Comune di SAN VENANZO

RIFERIMENTO: Rotecastello, San Venanzo (TR)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C3

PROFONDITA': m 9.70 - 10.00

MODULO RIASSUNTIVO**PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE**Peso di volume (kN/m³):

24,1

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE

Resistenza a compressione (MPa):

33,54

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



RAPPORTO DI PROVA N°: 0023	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE 27/01/23	Inizio analisi: 26/01/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 23/014 del 25/01/23		Apertura campione: 26/01/23	Fine analisi: 26/01/23

COMMITTENTE: Comune di SAN VENANZO		
RIFERIMENTO: Rotecastello, San Venanzo (TR)		
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE:	PROFONDITA': m 8.60 - 9.00

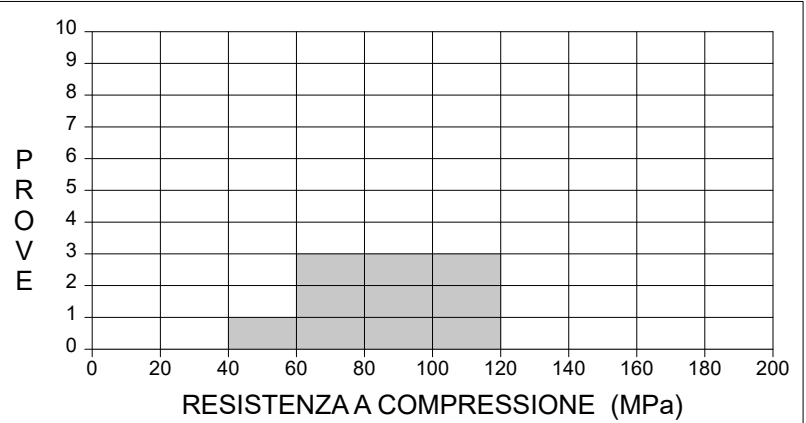
POINT LOAD TEST

Modalità di prova: Norma ASTM D 5731

RESISTENZA A COMPRESSIONE

$$\sigma = F \times I_s(50)$$

Prove eseguite:	10
Valore massimo	112,54
Valore medio *	89,29
Valore minimo	51,26



CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale (%)	0,1
Peso di volume (kN/m³):	24,2

Prova n°	Forma Rottura	Piani di debolezza	Altezza mm	Larghezza mm	Carico kN	Indice I _s MPa	Indice I _s (50) MPa	F	Resist. a compr. MPa
1	A	A	19,5	28,6	5,57	7,844	5,910	17,3	102,53
2	A	A	20,0	42,3	7,00	6,499	5,377	17,4	93,78
3	A	A	14,0	24,5	4,45	10,190	6,881	16,4	112,54
4	A	A	22,5	40,8	7,00	5,989	5,047	17,9	90,31
5	A	A	22,0	30,5	5,95	6,964	5,470	17,8	97,37
6	A	A	26,0	41,5	4,35	3,166	2,767	18,5	51,26
7	A	A	17,0	28,6	3,63	5,864	4,283	16,9	72,38
8	A	A	14,6	36,1	4,35	6,482	4,822	16,5	79,38
9	A	A	17,0	36,8	4,21	5,285	4,086	16,9	69,05
10	A	A	15,5	32,1	5,36	8,461	6,213	16,6	103,29

* Vengono esclusi dal calcolo del valore medio i due valori maggiori e i due valori minori

Forma del provino e tipo di rottura

- A - Blocco
- B - Cilindrico - rottura diametrale
- C - Cilindrico - rottura assiale
- D - Informe

Posizione dei piani di debolezza

- A - Assenti
- B - Perpendicolari alla direzione del carico
- C - Paralleli alla direzione del carico
- D - In direzioni varie

Sperimentatore
Fabio Pettrucci

Il direttore del laboratorio
Paolo Bartocci

**TERRA S.n.c.**Via Comunale Vittorio Veneto 48
06055 Papiano (PG)
tel: 075 8089539 - 075 8795142
info@laboratoriergeotecnico.itAZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'
UNI EN ISO 9001:2015
CERTIFICATO DA CERTIQUALITYAUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
Settore A (prove di laboratorio sui terreni con estensione carico su pali)
D.M. n° 2612 del 26/03/2010 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC/2010

COMMITTENTE: Comune di SAN VENANZO

RIFERIMENTO: Rotecastello, San Venanzo (TR)

SONDAGGIO: S3

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 8.50 - 8.65

MODULO RIASSUNTIVO**PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE**Peso di volume (kN/m³):

24,7

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE

Resistenza a compressione (MPa):

30,49

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



RAPPORTO DI PROVA N°: 0025	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE 26/01/23	Inizio analisi: 26/01/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 23/014 del 25/01/23		Apertura campione: 26/01/23	Fine analisi: 26/01/23

COMMITTENTE: Comune di SAN VENANZO			
RIFERIMENTO: Rotecastello, San Venanzo (TR)			
SONDAGGIO: S3	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	8.50 - 8.65

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 7012 C-D

Provino n°:	1
Velocità di deformazione (MPa/sec):	0,20
Altezza (cm):	10,90
Diametro (cm):	5,00
Sezione (cm ²)	19,63
Peso di volume (kN/m ³):	0,0
Resistenza a compressione (MPa):	30,49





TERRA S.n.c.

Via Comunale Vittorio Veneto 48
06055 Papiano (PG)
tel: 075 8089539 - 075 8795142
info@laboratoriergeotecnico.it

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'
UNI EN ISO 9001:2015
CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
Settore A (prove di laboratorio sui terreni con estensione carico su pali)
D.M. n° 2612 del 26/03/2010 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC/2010

COMMITTENTE: Comune di SAN VENANZO

RIFERIMENTO: Rotecastello, San Venanzo (TR)

SONDAGGIO: S3

CAMPIONE: C2

PROFONDITA': m 9.00 - 9.30

MODULO RIASSUNTIVO

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Peso di volume (kN/m³):

24,8

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE

Resistenza a compressione (MPa):

27,24

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



TERRA S.n.c.

Via Comunale Vittorio Veneto 48
06055 Papiano (PG)
tel: 075 8089539 - 075 8795142
info@laboratoriogeotecnico.it

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'
UNI EN ISO 9001:2015
CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
Settore A (prove di laboratorio sui terreni con estensione carico su pali)
D.M. n° 2612 del 26/03/2010 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC/2010

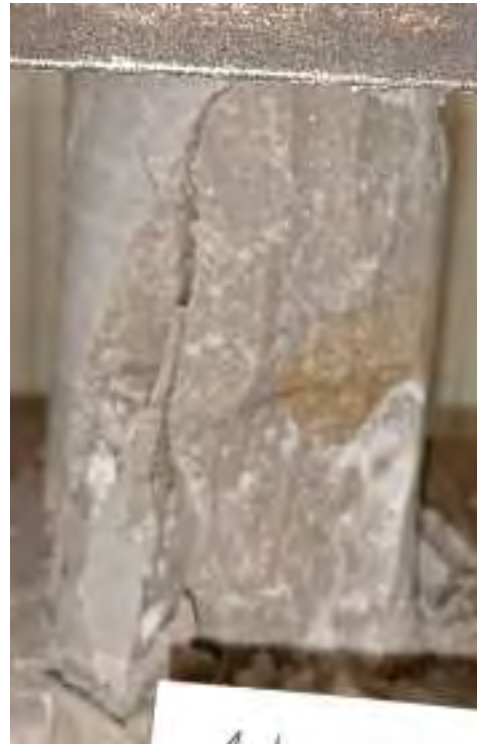
RAPPORTO DI PROVA N°: 0026	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE 26/01/23	Inizio analisi: 26/01/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 23/014 del 25/01/23		Apertura campione: 26/01/23	Fine analisi: 26/01/23

COMMITTENTE: Comune di SAN VENANZO		
RIFERIMENTO: Rotecastello, San Venanzo (TR)		
SONDAGGIO: S3	CAMPIONE: C2	PROFONDITA': m 9.00 - 9.30

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 7012 C-D

Provino n°:	1
Velocità di deformazione (MPa/sec):	0,20
Altezza (cm):	9,97
Diametro (cm):	5,00
Sezione (cm ²)	19,63
Peso di volume (kN/m ³):	24,8
Resistenza a compressione (MPa):	27,24



Sperimentatore
Fabio Pettrossi

Il direttore del laboratorio
Paolo Bartocci



RAPPORTO DI PROVA N°: 0027	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE 27/01/23	Inizio analisi: 26/01/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 23/014 del 25/01/23		Apertura campione: 26/01/23	Fine analisi: 26/01/23

COMMITTENTE: Comune di SAN VENANZO (TR)			
RIFERIMENTO: Rotecastello, San Venanzo (TR)			
SONDAGGIO: S3	CAMPIONE:	PROFONDITA': m 5.50 - 6.00	

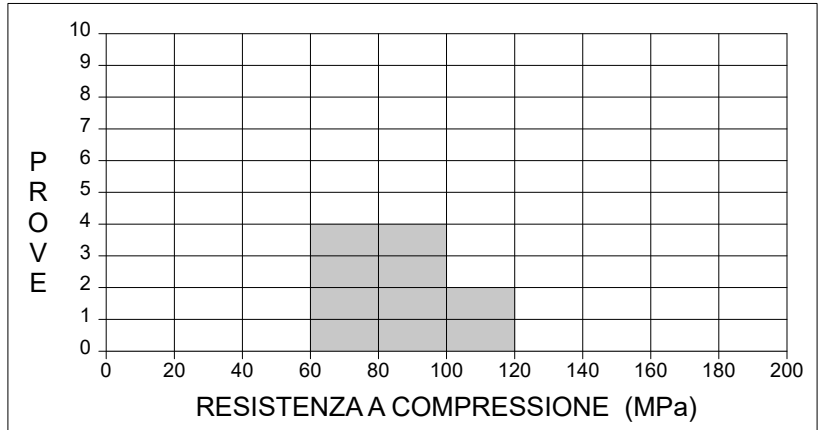
POINT LOAD TEST

Modalità di prova: Norma ASTM D 5731

RESISTENZA A COMPRESSIONE

$$\sigma = F \times I_s(50)$$

Prove eseguite:	10
Valore massimo	107,88
Valore medio *	83,63
Valore minimo	64,36



CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale (%)	0,1
Peso di volume (kN/m³):	24,7

Prova n°	Forma Rottura	Piani di debolezza	Altezza mm	Larghezza mm	Carico kN	Indice I _s MPa	Indice I _s (50) MPa	F	Resist. a compr. MPa
1	C	A	21,0	39,1	5,72	5,471	4,497	17,6	79,24
2	A	A	23,0	39,6	8,27	7,131	5,999	18,0	107,88
3	A	A	19,5	33,8	3,98	4,743	3,710	17,3	64,36
4	A	A	17,5	32,2	3,66	5,101	3,852	17,0	65,44
5	A	A	27,0	48,5	10,30	6,178	5,639	18,7	105,49
6	A	A	26,5	43,2	8,27	5,674	5,025	18,6	93,54
7	A	A	33,5	49,1	7,25	3,462	3,327	19,9	66,14
8	A	A	27,3	58,5	9,28	4,564	4,356	18,8	81,73
9	A	A	37,5	48,5	11,31	4,884	4,801	20,6	98,91
10	A	A	17,5	44,3	5,94	6,018	4,882	17,0	82,94

* Vengono esclusi dal calcolo del valore medio i due valori maggiori e i due valori minori

Forma del provino e tipo di rottura

- A - Blocco
- B - Cilindrico - rottura diametrale
- C - Cilindrico - rottura assiale
- D - Informe

Posizione dei piani di debolezza

- A - Assenti
- B - Perpendicolari alla direzione del carico
- C - Paralleli alla direzione del carico
- D - In direzioni varie

Sperimentatore
Fabio Pettrossi

Il direttore del laboratorio
Paolo Bartocci

Ortofoto con georeferenziazione dei punti di ripresa fotografica



COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

REPORT

RILEVAMENTO GEOLOGICO E GEOSTRUTTURALE

IN AREA A RISCHIO DI FRANA VELOCE

CON FOTOGRAFIE DI ALCUNE STAZIONI DI MISURA

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

Versante Elementare n° 1



COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Costa Del Documento Firmato Digitalmente

Versante Elementare n° 1



Versante Elementare n° 1

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

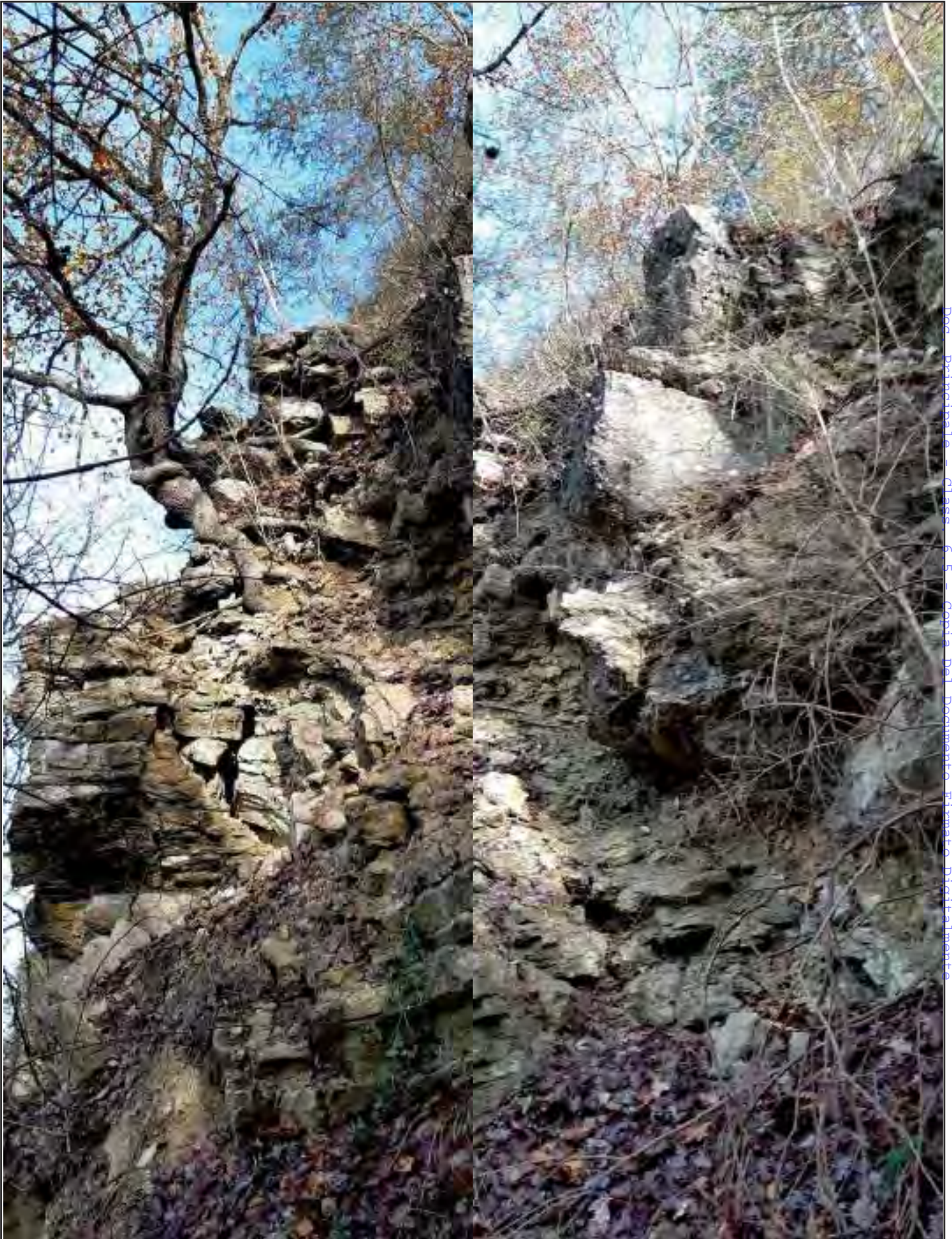


Versante Elementare n° 1



COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Costa Del Documento Firmato Digitalmente

Versante Elementare n° 1



Versante Elementare n° 2

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

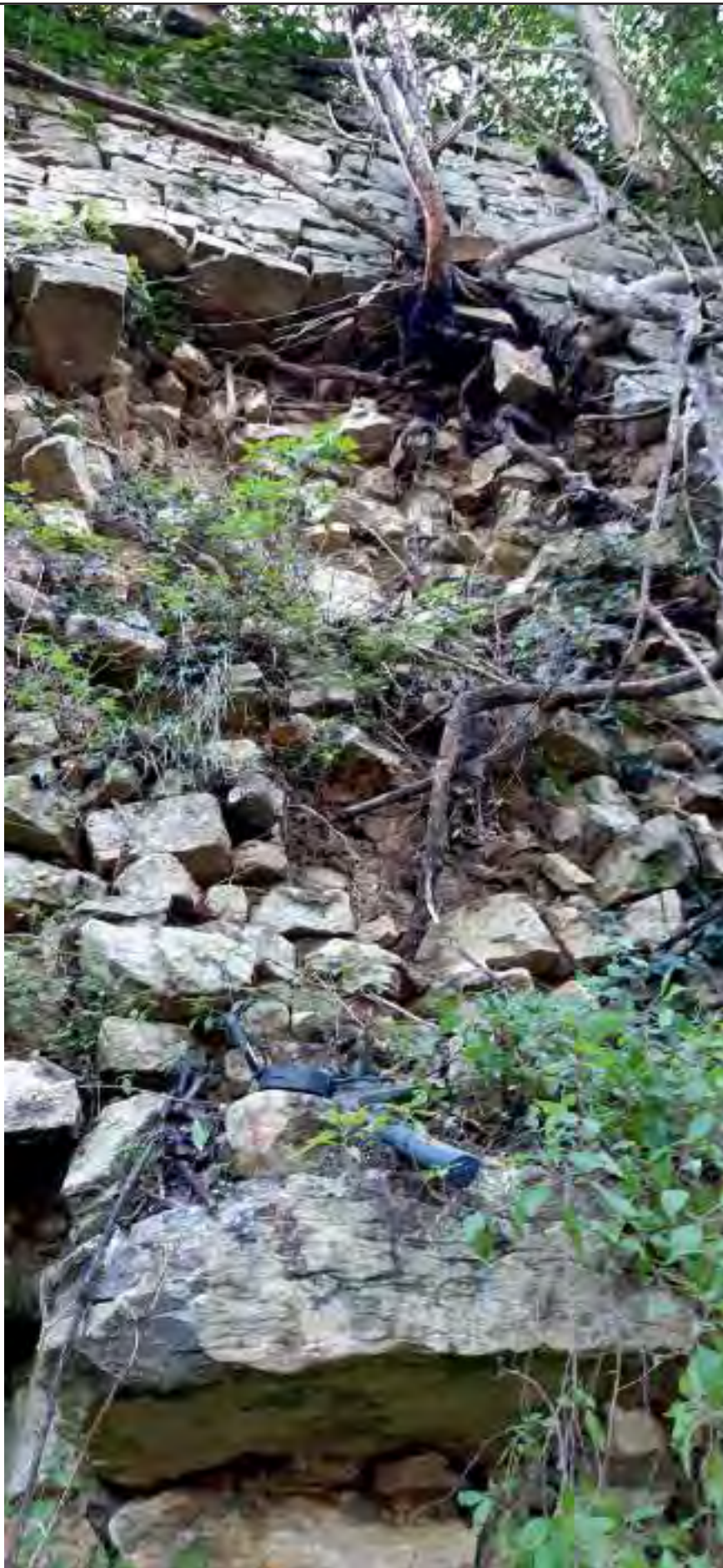


COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Costa Del Documento: Firmato Digitalmente

Versante Elementare n° 2



Versante Elementare n° 2



Versante Elementare n° 2



Versante Elementare n° 2



COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6-5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

Versante Elementare n° 2



Versante Elementare n° 2



COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Costa Del Documento Firmato Digitalmente

Versante Elementare n° 3



Versante Elementare n° 3



Versante Elementare n° 3

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Versante Elementare n° 3

REPORT FOTOGRAFICO
RILEVAMENTO GEOLOGICO IN AREA A RISCHIO DI FRANA
SUPERFICIALE

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Versante esposto a Rischio di Frana Superficiale



Versante esposto a Rischio di Frana Superficiale



FOTO
n° 19

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

Versante esposto a Rischio di Frana Superficiale

Dott. Geol. Simone Zucconi
Albo Geologi Regione Umbria
Sez. A n° 518

Fraz. Ripalvella, 84 - 05010 San Venanzo - TR
Cell.: (+39) 339 1632427
e-mail: simone.zucconi@gmail.com



COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

Versante esposto a Rischio di Frana Superficiale

**REPORT FOTOGRAFICO
DA RILIEVO AEROFOTOGRAMMETRICO
CON SISTEMA A.P.R.**

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



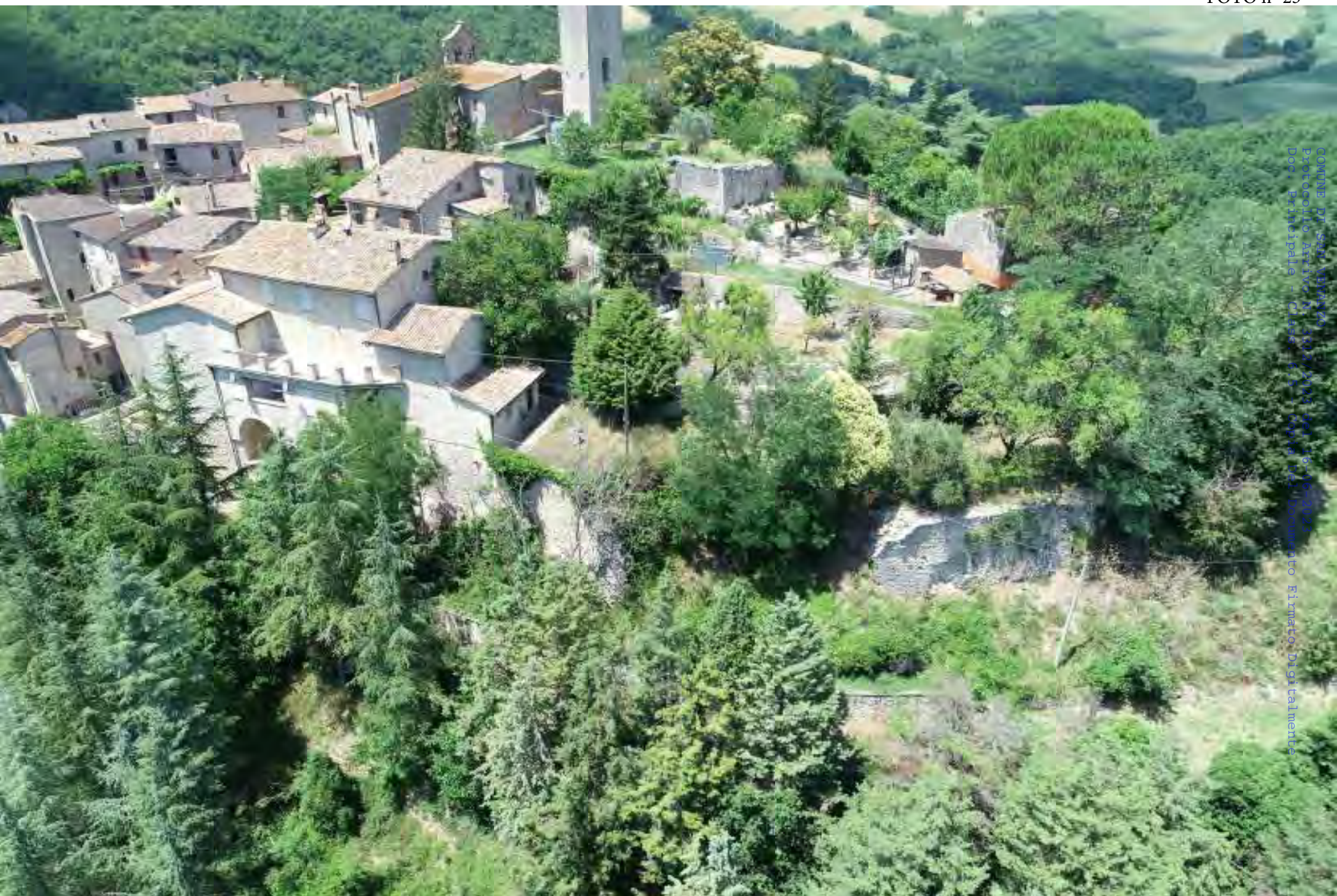




COMUNE DI SASSOFERRATO
Protocollo Attivo N. 3514/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Classe 4,5 - Copia del Documento Firmato Digitalmente



FRANCESCO DI SAN VENANZO
PROTOCOLLO Attivo n° 3342/2021 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - copia Del Documento Firmato Digitalmente





COMUNE DI S.S. VENANZO
Protocollo Archivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Princesse - Classi 6.45 - Copia del documento Firmata Elettronica







COMUNE DI SAN VENERANDO
Protocollo Arrivo di. 5312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Classe. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



COMUNE DI SAN VIGILIO
PROMOSSO ANTONIO M. 12/12/2023 del 16-06-2023
Esp. Principale - Class. 6/7 - copia del Documento Firmato digitalmente



COMUNE DI SAN VENANZO
PROTOCOLLO ARRIVO N. 33/20/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6,5 - Copia Del Documento Firmata Digitalmente





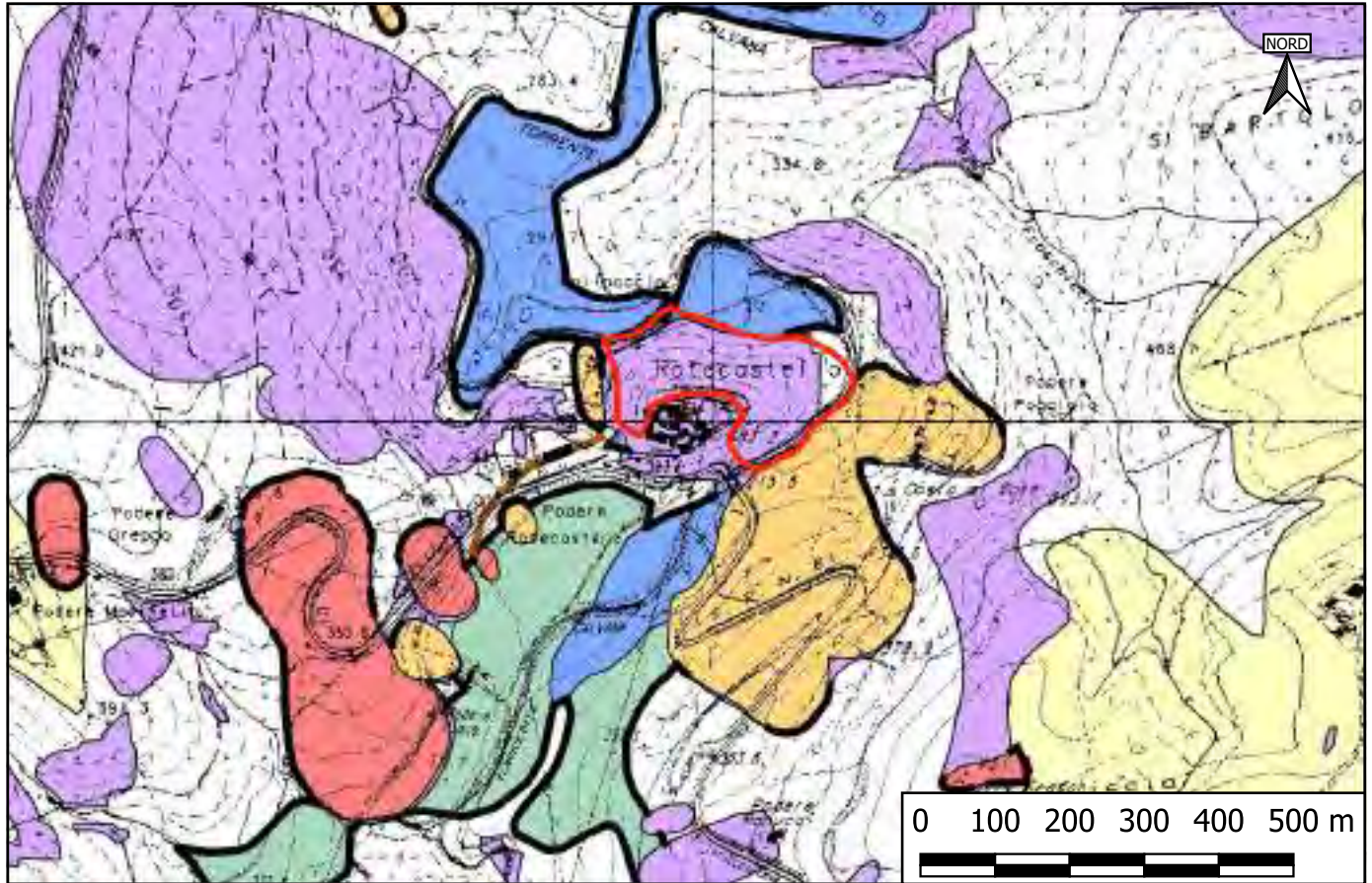


GIUNTA DI SAN MARINO
PROFESSORATO AGRARIO N. 3312/2022 DEL 16-06-2023
BOG. ENTOMOLOGICA - CLASSE 6/D - SCOPA DEL DOCUMENTO RILEVATO RUPH/ADM/2023



Cartografia di pericolosità sismica (Regione Umbria), stralcio

Sezione n° 322.120, scala 1 : 10.000



Legenda

 Area R4 "UM100-Rotecastello"

Pericolosità Sismica

Elementi lineari:

- 10_Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali - Linea di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse
- 11_Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali - Linea di ciglio con H>10 m (scarpata con parete subverticale)
- 77_Linea di contorno delle microzone a comportamento omogeneo

Elementi puntuali:

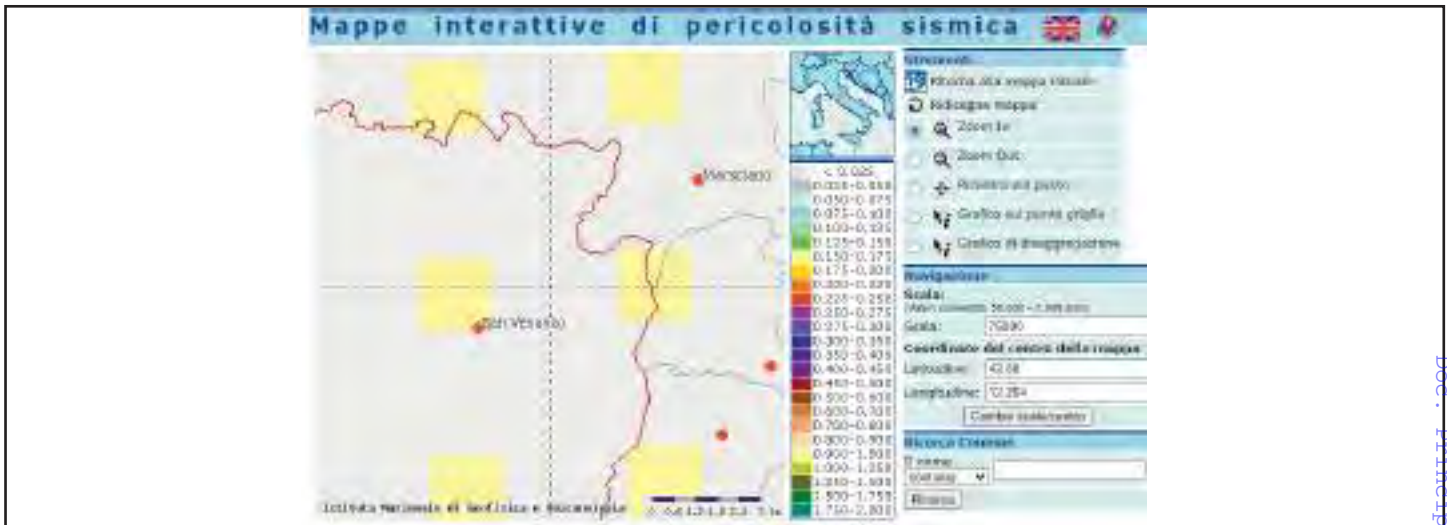
- ★ 13_Zona suscettibile di amplificazioni - Cocuzzolo

Elementi areali:

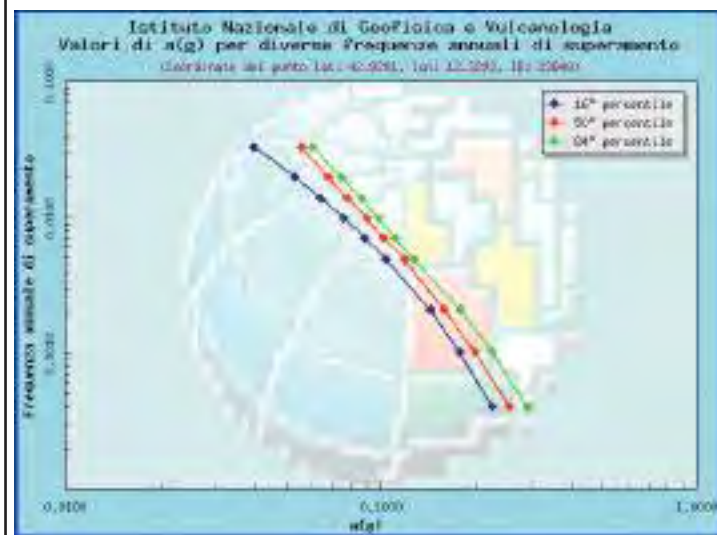
- 1_Zone suscettibili di instabilità - Aree caratterizzate da movimenti franosi attivi
- 2_Zone suscettibili di instabilità - Aree caratterizzate da movimenti franosi quiescenti
- 3_Zone suscettibili di instabilità - Aree potenzialmente franose o esposte a rischio di frana
- 6_Zone suscettibili di amplificazioni locali - Aree di fondovalle con depositi alluvionali
- 7_Zone suscettibili di amplificazioni locali - Aree pedemontane di falda di detrito o cono di deiezione
- 9_Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali - Aree dei depositi delle unità sintemiche non diversamente classificate
- 14_Zone stabili

COMUNE DI SAN VENANZO
 Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
 Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

Mappe interattive di pericolosità sismica

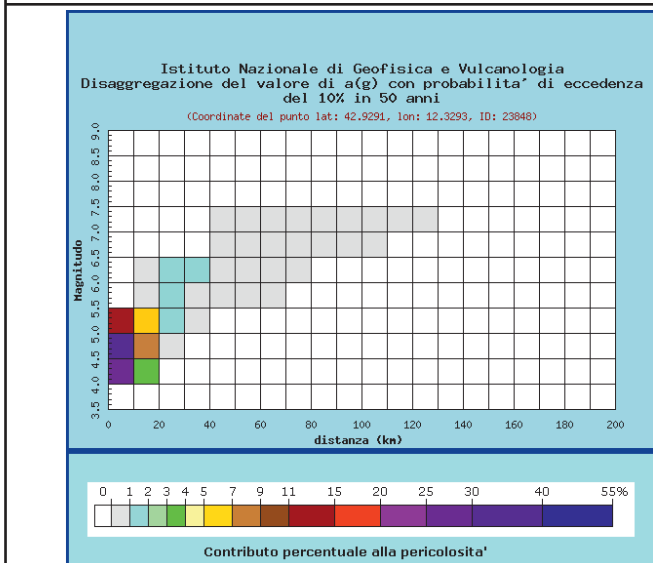


INQUADRAMENTO GEOGRAFICO SITO CON RELATIVO GRIGLIATO - parametro dello scuotimento a(g)



Frequenza annuale di superamento	a(g) (Coordinate del punto lat: 42.9291, lon: 12.3293, ID: 23848)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.2234	0.2550	0.2897
0.0010	0.1769	0.1972	0.2239
0.0021	0.1424	0.1581	0.1772
0.0050	0.1029	0.1185	0.1260
0.0071	0.0881	0.1015	0.1105
0.0099	0.0757	0.0899	0.0977
0.0139	0.0639	0.0777	0.0860
0.0200	0.0532	0.0680	0.0746
0.0333	0.0394	0.0556	0.0600

GRAFICO DEL PUNTO GRIGLIA POSTO PIÙ VICINO AL SITO D'INTERESSE



Vettore sismico	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 42.9291, lon: 12.3293, ID: 23848)										
	3.5-4.0	4.1-4.5	4.6-5.0	5.1-5.5	5.6-6.0	6.1-6.5	6.6-7.0	7.1-7.5	7.6-8.0	8.1-8.5	8.6-9.0
0-10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

GRAFICO DI DISAGGREGAZIONE DEL PUNTO GRIGLIA POSTO PIÙ VICINO AL SITO D'INTERESSE

COMUNE DI SAN VENANZO
 Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
 Doc. Principale Class. 6.5 Copia Del Documento Firmato Digitalmente

PARAMETRI SISMICI
Stabilità dei Pendii

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

Parametri sismici

determinati con **GeoStru PS**

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 42,880632 [°]

longitudine: 12,294748 [°]

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

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	24069	42,878360	12,261970	2682,7
Sito 2	24070	42,879070	12,330190	2893,1
Sito 3	23848	42,929060	12,329290	6075,6
Sito 4	23847	42,928340	12,260990	5975,1

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: E

Categoria topografica: T3

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,054	2,531	0,262
Danno (SLD)	63	50	0,066	2,538	0,275
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,155	2,466	0,297
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,194	2,464	0,309

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,600	1,960	1,200	0,021	0,010	1,024	0,200
SLD	1,600	1,930	1,200	0,025	0,013	1,249	0,200
SLV	1,580	1,870	1,200	0,071	0,035	2,884	0,240
SLC	1,470	1,840	1,200	0,082	0,041	3,356	0,240

Geostru

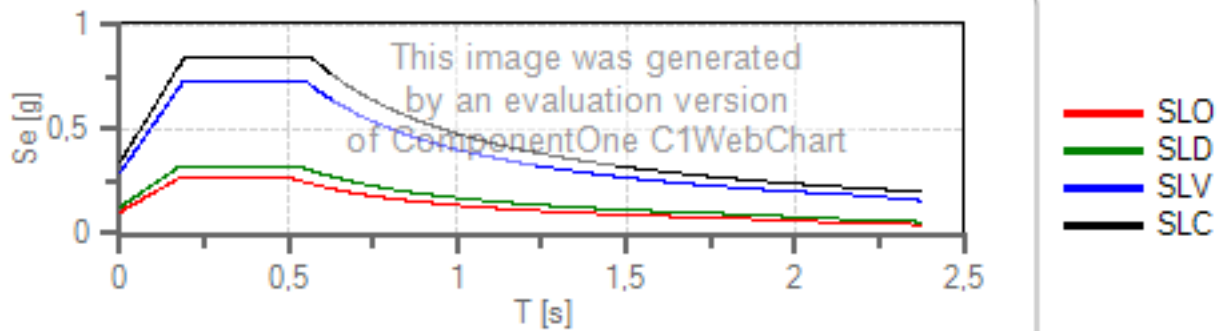
Spettri di risposta

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso = 5 %

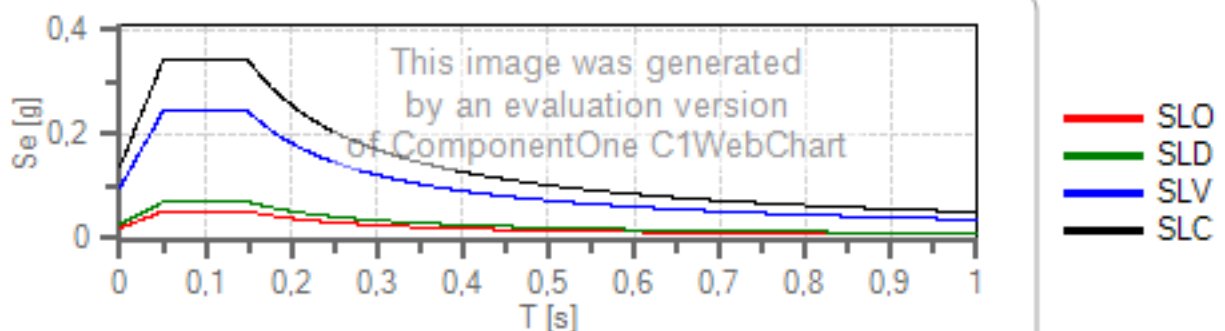
Fattore che altera lo spettro elastico = 1,000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,054	2,531	0,262	1,600	1,960	1,200	1,920	1,000	0,171	0,514	1,817
SLD	1	0,066	2,538	0,275	1,600	1,930	1,200	1,920	1,000	0,177	0,531	1,865
SLV	1	0,155	2,466	0,297	1,580	1,870	1,200	1,896	1,000	0,185	0,556	2,220
SLC	1	0,194	2,464	0,309	1,470	1,840	1,200	1,764	1,000	0,190	0,569	2,376

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,054	2,531	0,262	1,000	1,960	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1	0,066	2,538	0,275	1,000	1,930	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1	0,155	2,466	0,297	1,000	1,870	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1	0,194	2,464	0,309	1,000	1,840	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000

Spettro di progetto

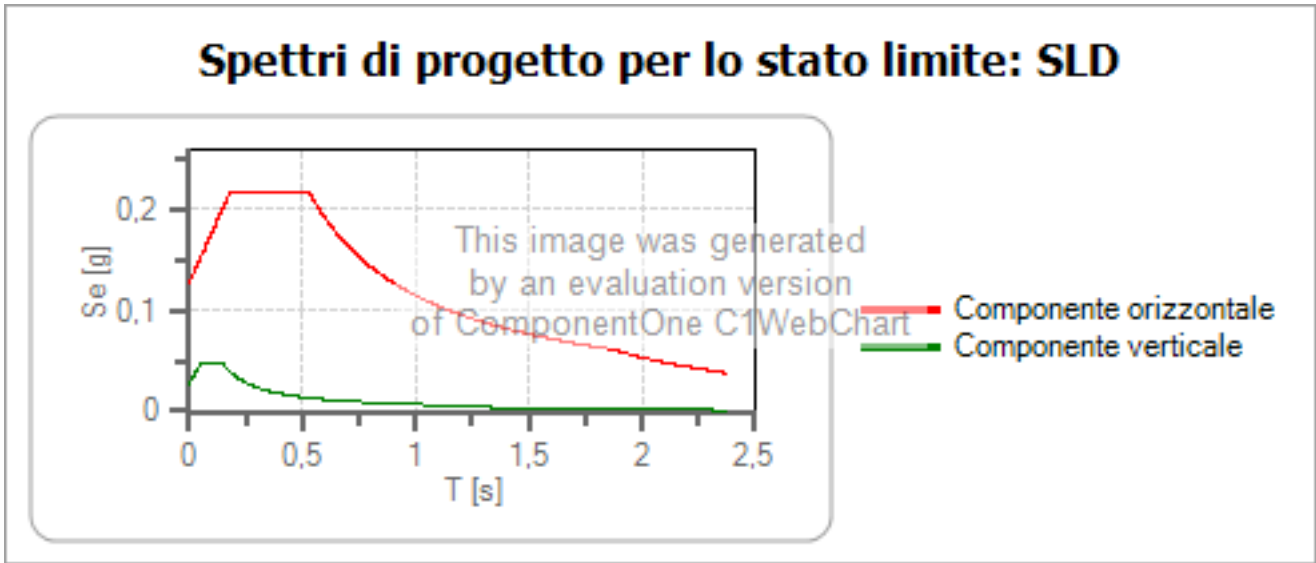
Coefficiente di struttura q per lo spettro orizzontale = 1.5

per lo spettro orizzontale = 0,667

Coefficiente di struttura q per lo spettro verticale = 1.5

per lo spettro verticale = 0,667

Stato limite: SLD



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLD orizzontale	1	0,066	2,538	0,275	1,600	1,930	1,200	1,920	1,500	0,177	0,531	1,865
SLD verticale	1	0,066	2,538	0,275	1,600	1,930	1,200	1,200	1,500	0,050	0,150	1,000

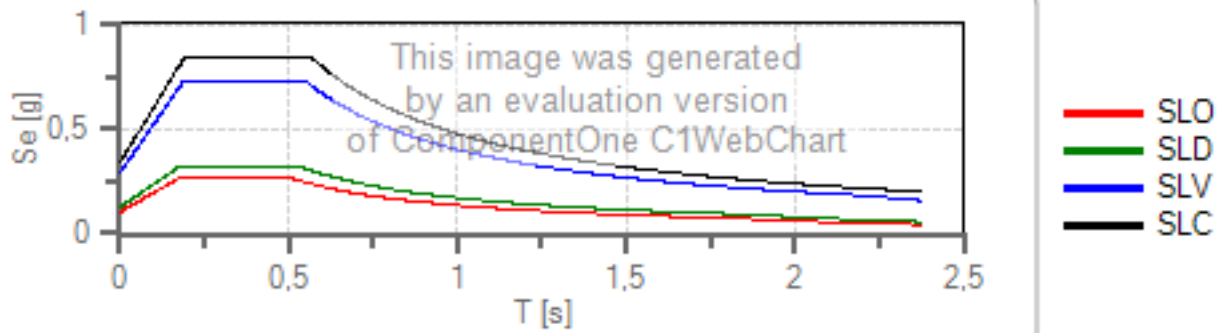
Spettri di risposta

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso = 5 %

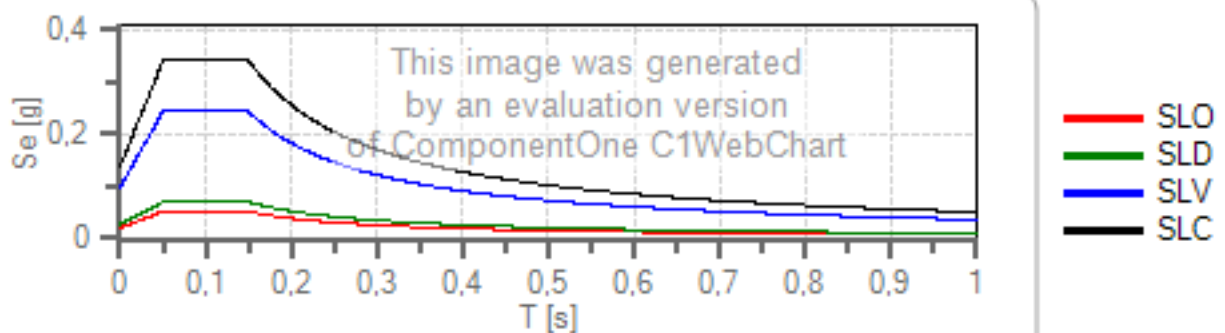
Fattore che altera lo spettro elastico = 1,000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,054	2,531	0,262	1,600	1,960	1,200	1,920	1,000	0,171	0,514	1,817
SLD	1	0,066	2,538	0,275	1,600	1,930	1,200	1,920	1,000	0,177	0,531	1,865
SLV	1	0,155	2,466	0,297	1,580	1,870	1,200	1,896	1,000	0,185	0,556	2,220
SLC	1	0,194	2,464	0,309	1,470	1,840	1,200	1,764	1,000	0,190	0,569	2,376

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,054	2,531	0,262	1,000	1,960	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1	0,066	2,538	0,275	1,000	1,930	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1	0,155	2,466	0,297	1,000	1,870	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1	0,194	2,464	0,309	1,000	1,840	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000

Spettro di progetto

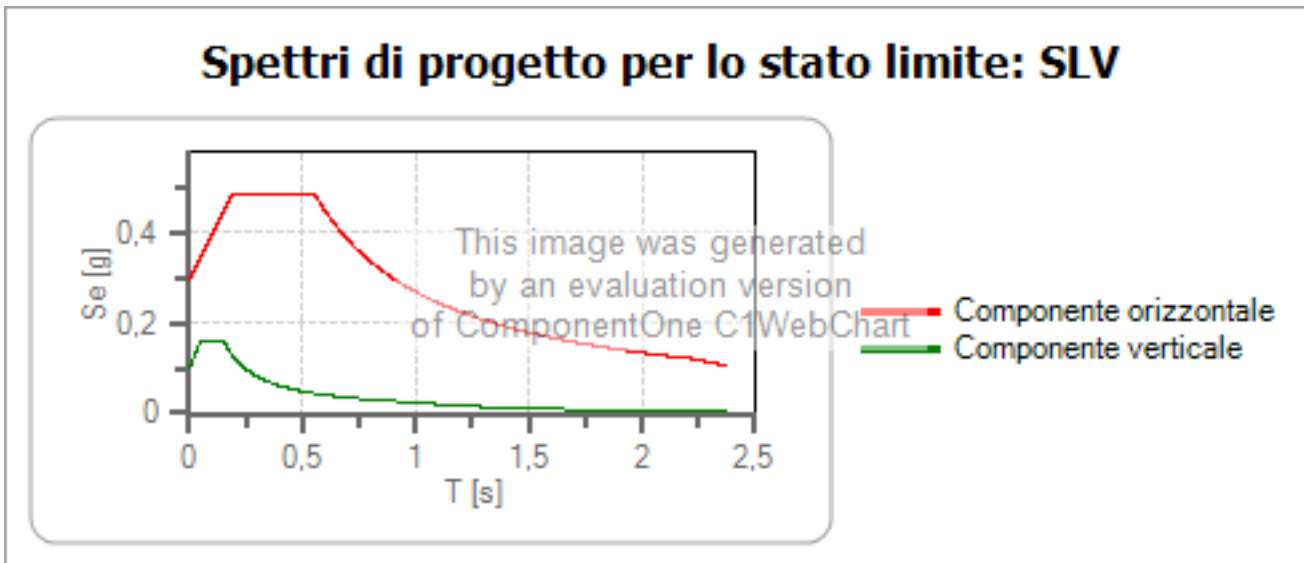
Coefficiente di struttura q per lo spettro orizzontale = 1.5

per lo spettro orizzontale = 0,667

Coefficiente di struttura q per lo spettro verticale = 1.5

per lo spettro verticale = 0,667

Stato limite: SLV



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLV orizzontale	1	0,155	2,466	0,297	1,580	1,870	1,200	1,896	1,500	0,185	0,556	2,220
SLV verticale	1	0,155	2,466	0,297	1,580	1,870	1,200	1,200	1,500	0,050	0,150	1,000

PARAMETRI SISMICI
Muri di Sostegno

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

Parametri sismici

determinati con **GeoStru PS**

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: Opere di sostegno NTC 2018

Sito in esame.

latitudine: 42,880632 [°]

longitudine: 12,294748 [°]

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

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	24069	42,878360	12,261970	2682,7
Sito 2	24070	42,879070	12,330190	2893,1
Sito 3	23848	42,929060	12,329290	6075,6
Sito 4	23847	42,928340	12,260990	5975,1

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: E

Categoria topografica: T3

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,054	2,531	0,262
Danno (SLD)	63	50	0,066	2,538	0,275
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,155	2,466	0,297
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,194	2,464	0,309

Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2018

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,600	1,960	1,200	0,000	--	1,024	--
SLD	1,600	1,930	1,200	0,060	0,030	1,249	0,470
SLV	1,580	1,870	1,200	0,112	0,056	2,884	0,380
SLC	1,470	1,840	1,200	0,000	--	3,356	--

Geostru

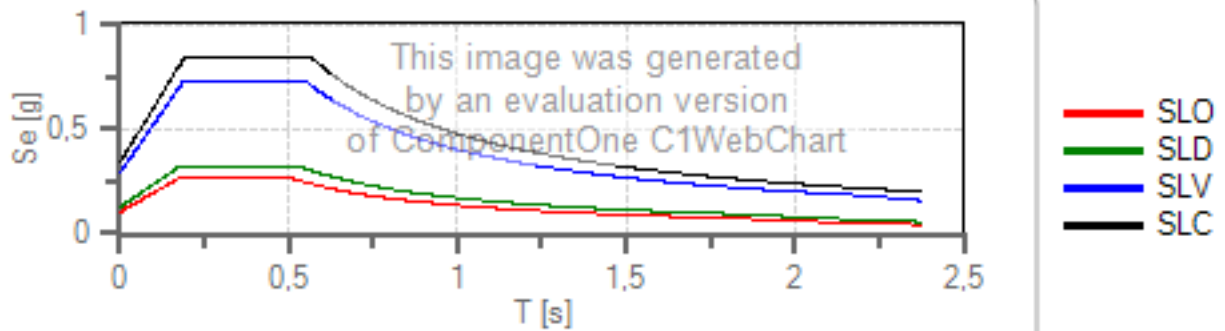
Spettri di risposta

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso = 5 %

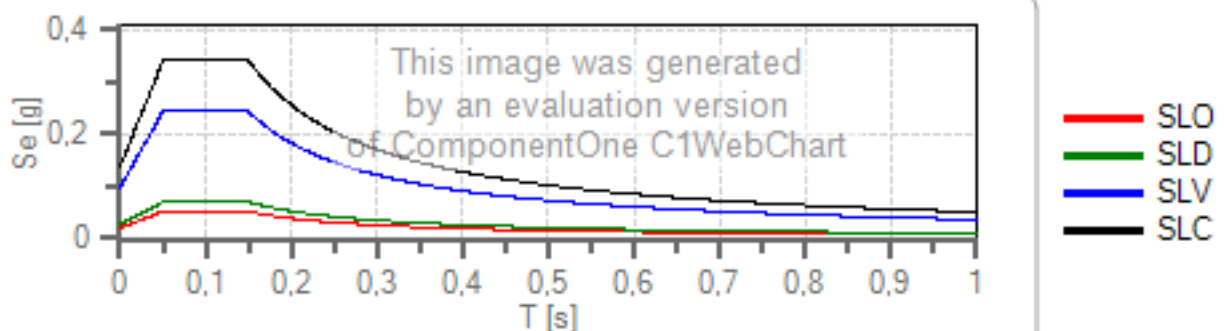
Fattore che altera lo spettro elastico = 1,000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,054	2,531	0,262	1,600	1,960	1,200	1,920	1,000	0,171	0,514	1,817
SLD	1	0,066	2,538	0,275	1,600	1,930	1,200	1,920	1,000	0,177	0,531	1,865
SLV	1	0,155	2,466	0,297	1,580	1,870	1,200	1,896	1,000	0,185	0,556	2,220
SLC	1	0,194	2,464	0,309	1,470	1,840	1,200	1,764	1,000	0,190	0,569	2,376

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,054	2,531	0,262	1,000	1,960	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1	0,066	2,538	0,275	1,000	1,930	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1	0,155	2,466	0,297	1,000	1,870	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1	0,194	2,464	0,309	1,000	1,840	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000

Spettro di progetto

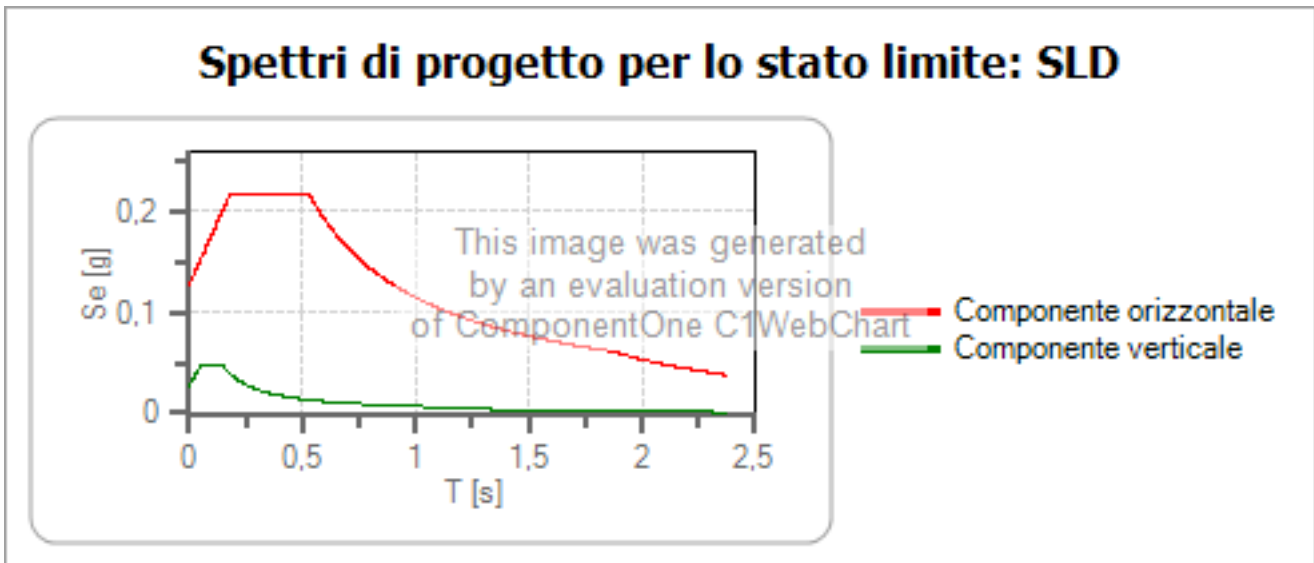
Coefficiente di struttura q per lo spettro orizzontale = 1.5

per lo spettro orizzontale = 0,667

Coefficiente di struttura q per lo spettro verticale = 1.5

per lo spettro verticale = 0,667

Stato limite: SLD



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLD orizzontale	1	0,066	2,538	0,275	1,600	1,930	1,200	1,920	1,500	0,177	0,531	1,865
SLD verticale	1	0,066	2,538	0,275	1,600	1,930	1,200	1,200	1,500	0,050	0,150	1,000

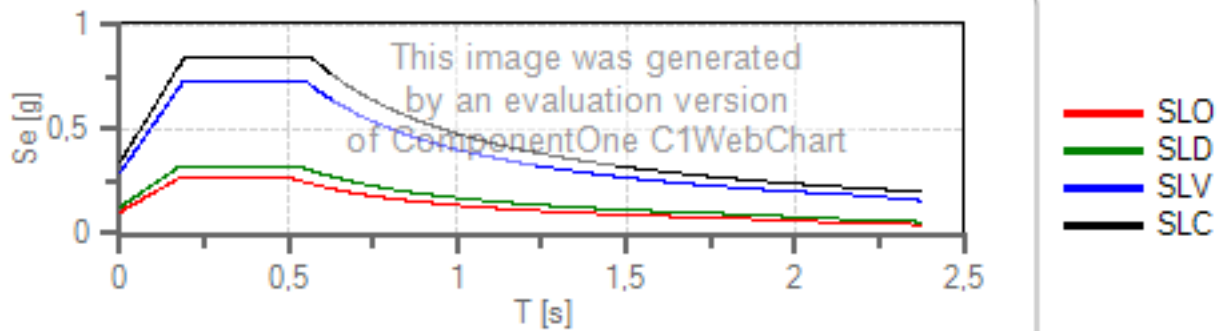
Spettri di risposta

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso = 5 %

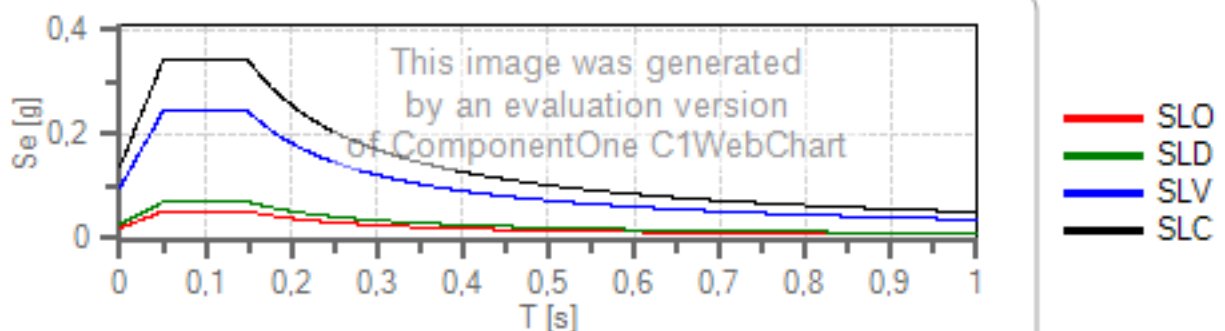
Fattore che altera lo spettro elastico = 1,000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,054	2,531	0,262	1,600	1,960	1,200	1,920	1,000	0,171	0,514	1,817
SLD	1	0,066	2,538	0,275	1,600	1,930	1,200	1,920	1,000	0,177	0,531	1,865
SLV	1	0,155	2,466	0,297	1,580	1,870	1,200	1,896	1,000	0,185	0,556	2,220
SLC	1	0,194	2,464	0,309	1,470	1,840	1,200	1,764	1,000	0,190	0,569	2,376

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,054	2,531	0,262	1,000	1,960	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1	0,066	2,538	0,275	1,000	1,930	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1	0,155	2,466	0,297	1,000	1,870	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1	0,194	2,464	0,309	1,000	1,840	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000

Spettro di progetto

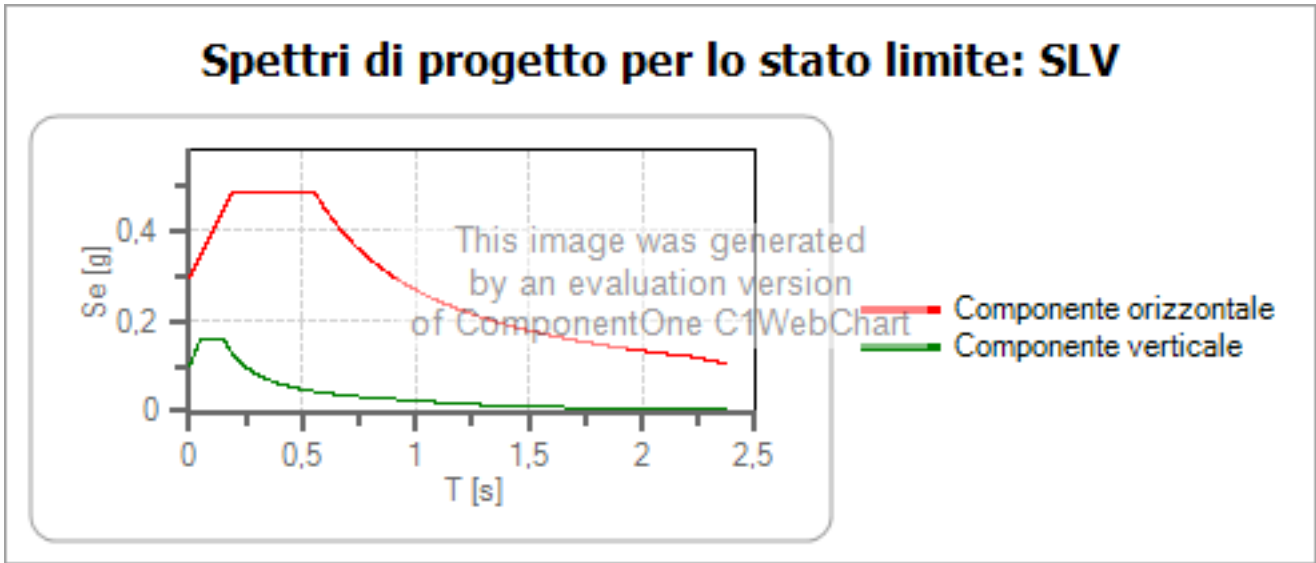
Coefficiente di struttura q per lo spettro orizzontale = 1.5

per lo spettro orizzontale = 0,667

Coefficiente di struttura q per lo spettro verticale = 1.5

per lo spettro verticale = 0,667

Stato limite: SLV

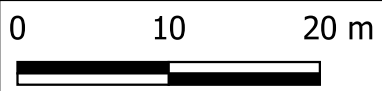
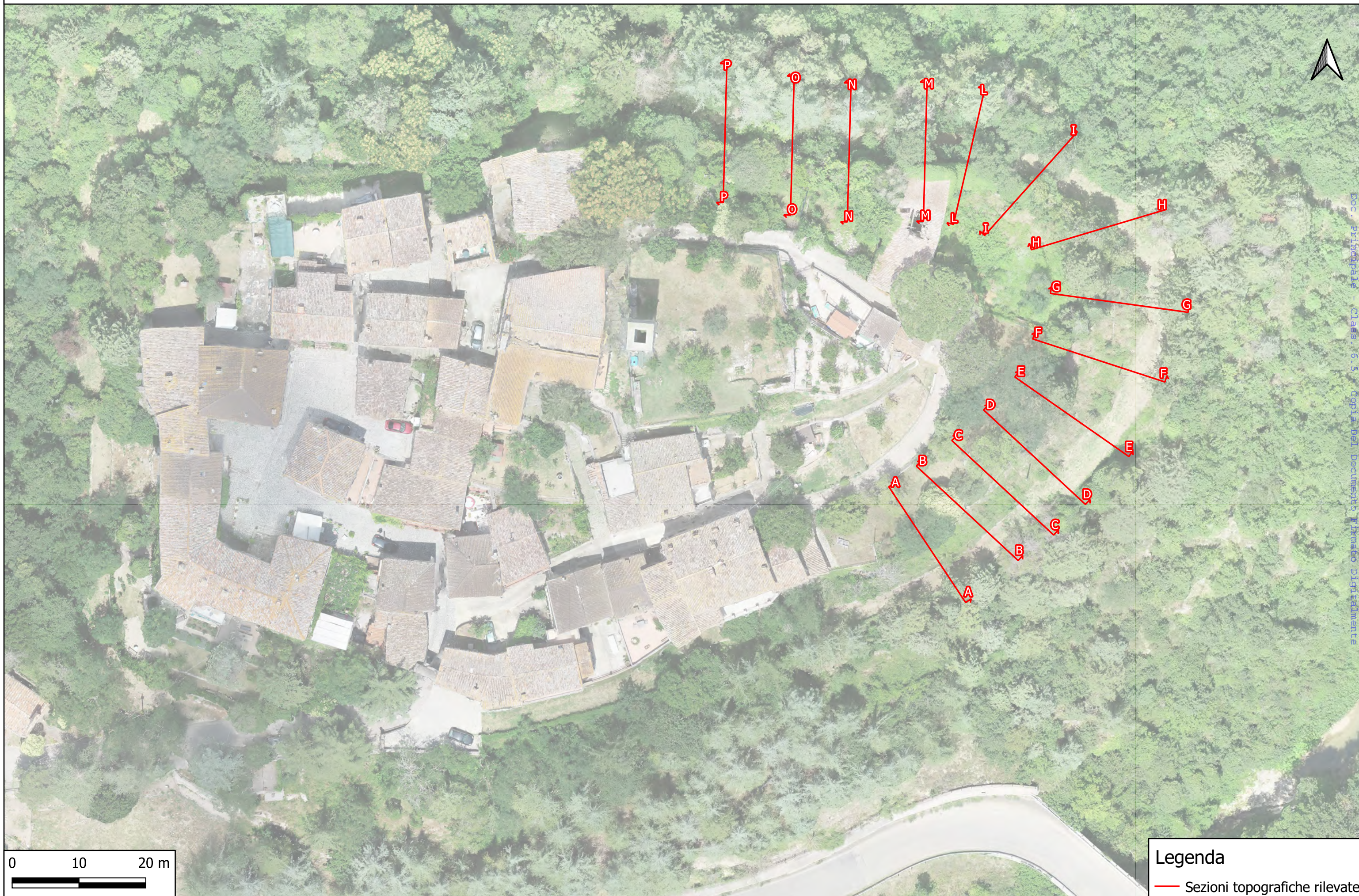


	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLV orizzontale	1	0,155	2,466	0,297	1,580	1,870	1,200	1,896	1,500	0,185	0,556	2,220
SLV verticale	1	0,155	2,466	0,297	1,580	1,870	1,200	1,200	1,500	0,050	0,150	1,000

**MODELLI GEOLOGICI APPLICATI A SEZIONI
RAPPRESENTATIVE DEL SOTTOSUOLO**

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arrivo N. 3312/2023 del 16-06-2023
Doc. Principale - Class. 6.5 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

ORTOFOTOCARTA DA RILIEVO SAPR
CON INDICAZIONE DELLE SEZIONI TOPOGRAFICHE RILEVATE

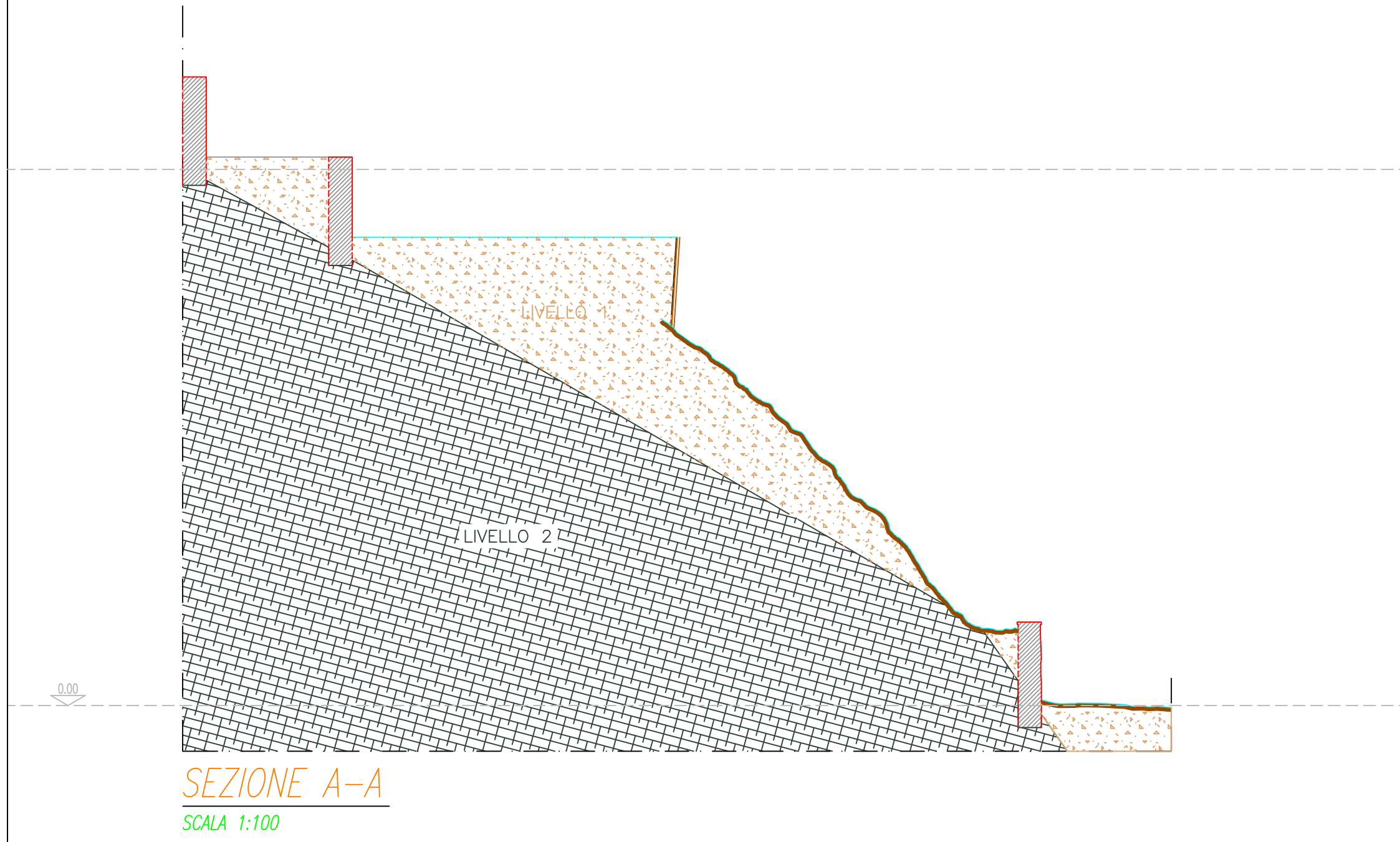


Legenda
— Sezioni topografiche rilevate

COMUNE DI SAN VENANZO
Protocollo Arancio N. 3112/2023 del 14-06-2023
Doc. Pr.Indipale - Class. 6.5 - Copia del Documento Digitalmente

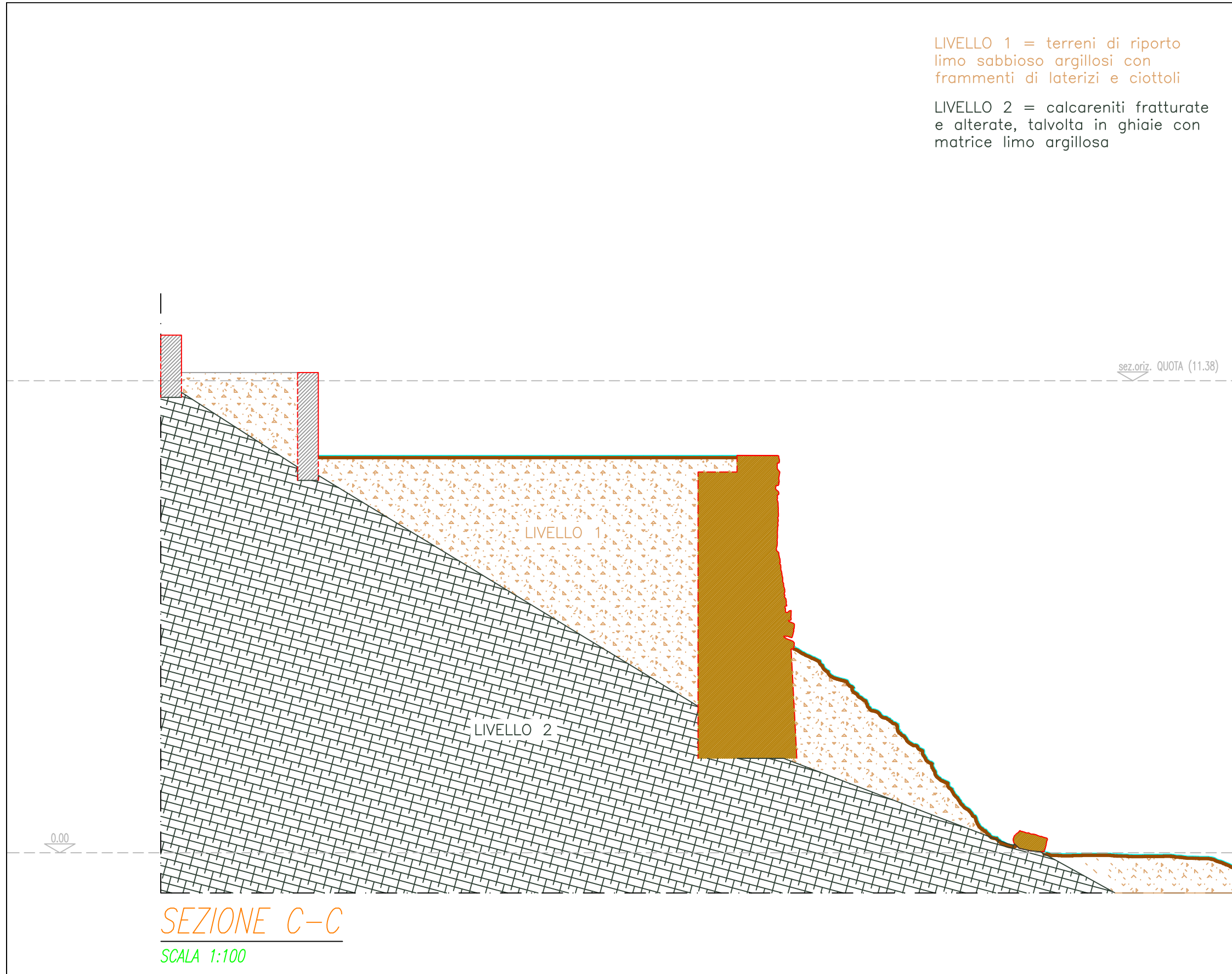
LIVELLO 1 = terreni di riporto
limo sabbioso argillosi con
frammenti di laterizi e ciottoli

LIVELLO 2 = calcareniti fratturate
e alterate, talvolta in ghiaie con
matrice limo argillosa



LIVELLO 1 = terreni di riporto
limo sabbioso argillosi con
frammenti di laterizi e ciottoli

LIVELLO 2 = calcareniti fratturate
e alterate, talvolta in ghiaie con
matrice limo argillosa

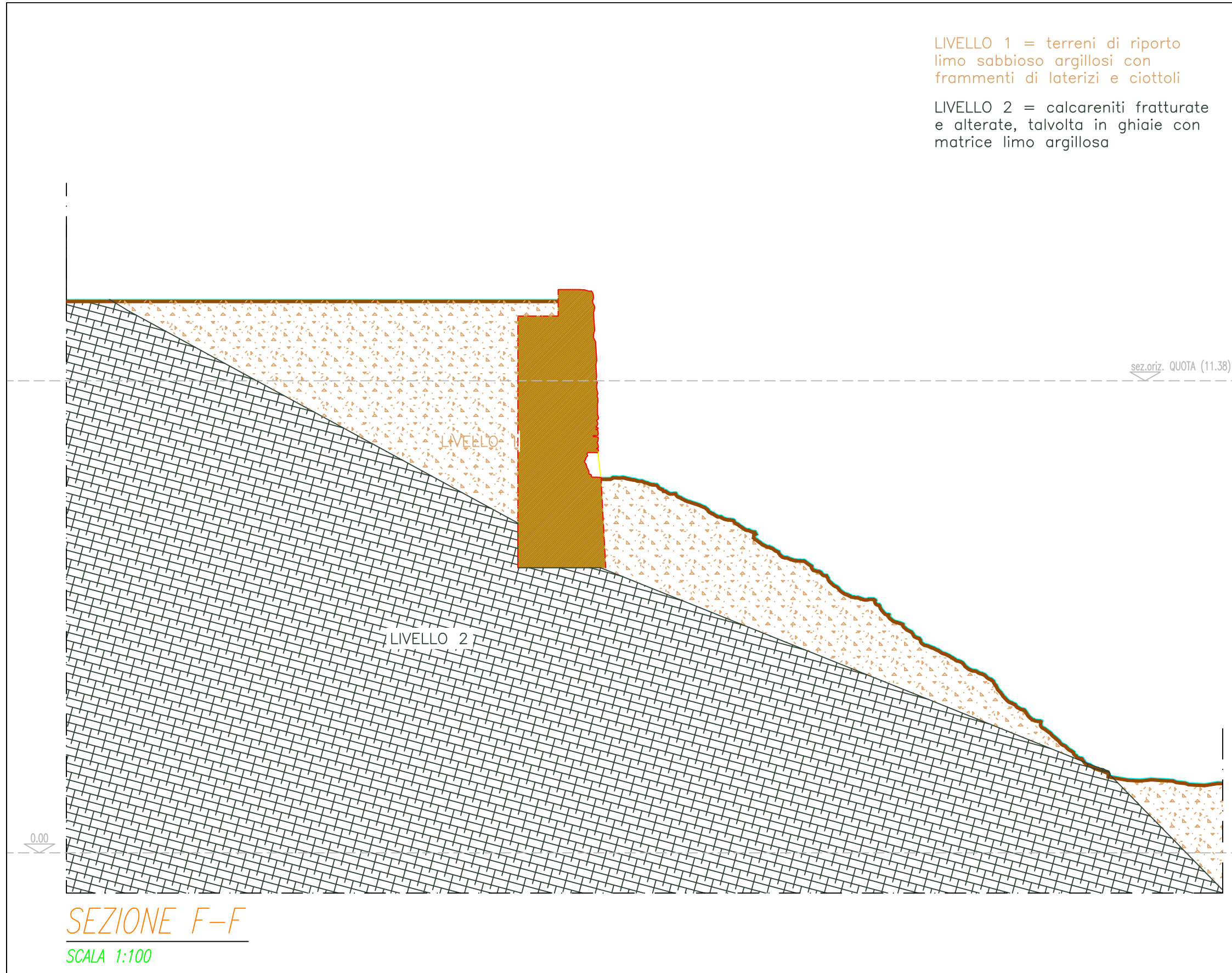


SEZIONE C-C

SCALA 1:100

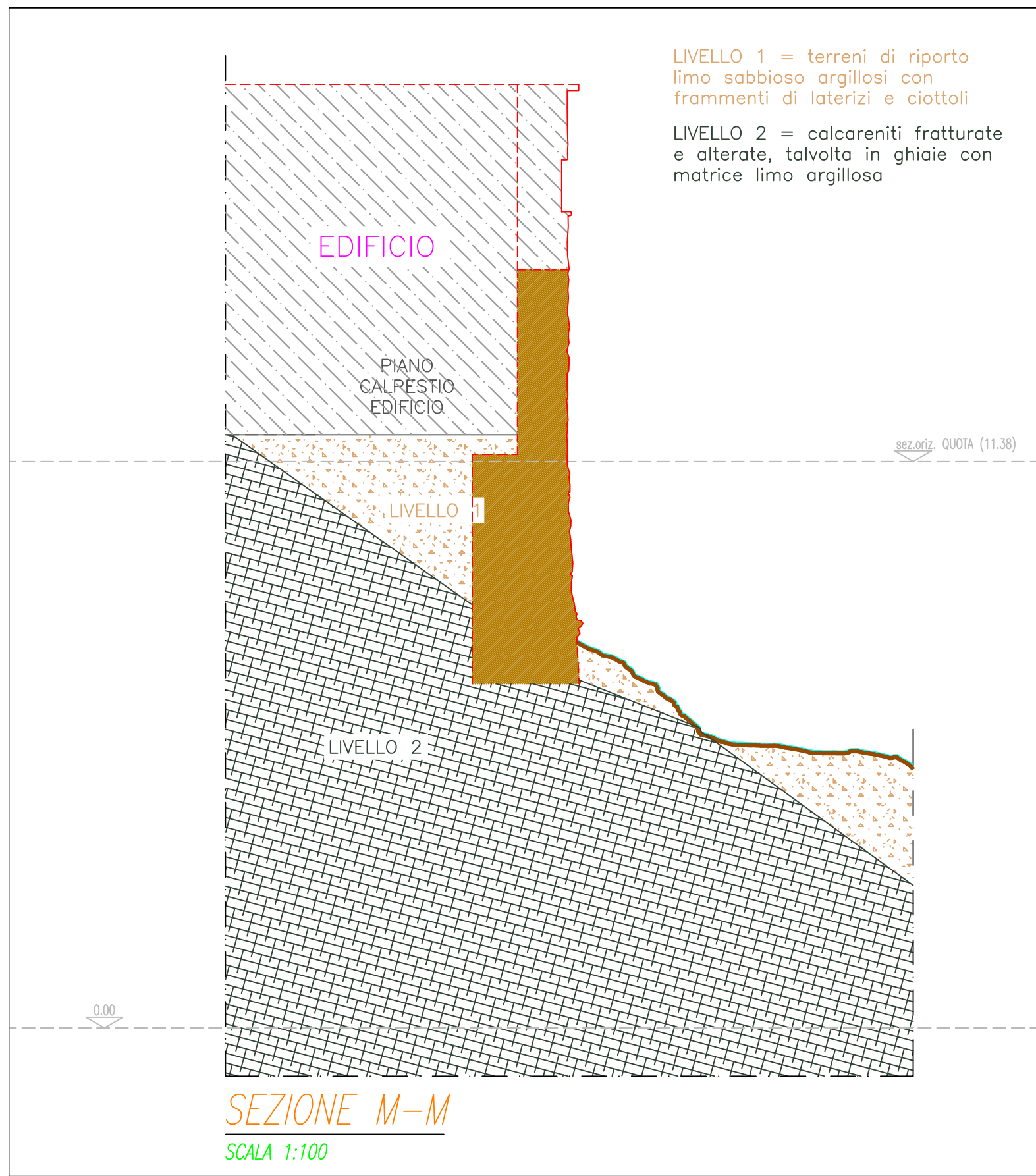
LIVELLO 1 = terreni di riporto
limo sabbioso argillosi con
frammenti di laterizi e ciottoli

LIVELLO 2 = calcareniti fratturate
e alterate, talvolta in ghiaie con
matrice limo argillosa



SEZIONE F-F

SCALA 1:100



LIVELLO 1 = terreni di riporto
limo sabbioso argillosi con
frammenti di laterizi e ciottoli

LIVELLO 2 = calcareniti fratturate
e alterate, talvolta in ghiaie con
matrice limo argillosa

