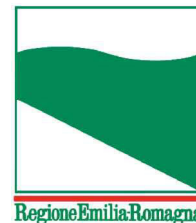


REGIONE EMILIA-ROMAGNA

IL RICHIEDENTE:

COMUNE DI LIZZANO IN BELVEDERE (BO)



Procedura di verifica di assoggettabilità a V.I.A. per il progetto della nuova seggiovia quadriposto ad ammortamento automatico "*Polla - Lago Scaffaiolo*"

RELAZIONE GEOLOGICA



Viale F. Crispi, 19 b 67100 L'Aquila
Via Zavatti, 3 62012 Civitanova Marche
DIRETTORE TECNICO: ing. Marco Cordeschi
tel: 0862 451184 - info@altevie.eu



GRUPPO DI LAVORO

Progettazione e coordinamento:

| | |
|--------------------------|--------------------------|
| ing. Marco Cordeschi | (Direttore Tecnico) |
| ing. Marco Rinaldi | |
| arch. Antonietta Cellini | (Resp. Ufficio Progetti) |
| ing. Doriana Febo | (Ufficio Progetti) |
| ing. Nicola Ranieri | (Ufficio Progetti) |
| ing. Matteo Ciammetti | (Ufficio Progetti) |
| geom. Giuliano Ciccone | (Ufficio Progetti) |
| geom. Giorgio Stringini | (Ufficio Cantieri) |

Collaborazioni Specialistiche:

dott. Agostino Barbieri
dott.ssa. Giovanna Giordani

Direzione dei lavori:

| | | | |
|---|--|--|---------------------------------|
| data 23.11.2020 | ident. committente 093_CORNO_ALLE_SCALE | eseguito: dott.ssa. Giovanna Giordani | ELABORATO : H.INT |
| revisione 1. 17.01.2020 2. 03.03.2020 3. 29.07.2020 4. 22.10.2020 | codice commessa 01_19_S093_VA | controllato: arch. Antonietta Cellini | |
| | codice elaborato F_INT | approvato: ing. Marco Cordeschi | |
| Questo elaborato è di proprietà della Altevie srl e pertanto non può essere riprodotto né integralmente, né in parte, senza l'autorizzazione della stessa. Da non utilizzare per scopi diversi da quello per cui è stato fornito. | | | scala: |

PARERI / NULLA OSTA

Regione Emilia Romagna

Comune di Lizzano in Belvedere

Comune di Fanano

Comune di Lizzano in Belvedere (BO) e Fanano (MO)

STUDIO GEOLOGICO-TECNICO DEI TERRENI DEL PRIMO SOTTOSUOLO DI UN'AREA SITA IN LOCALITA' "POLLE - LAGO SCAFFAILOLO", IN RELAZIONE ALLA PROCEDURA DI VERIFICA DI ASSOGGETTABILITA' A V.I.A. PER IL PROGETTO DELLA NUOVA SEGGIOVIA QUADRIPOSTO AD AMMORSAMENTO AUTOMATICO.



13 Novembre 2020

INDICE

| | |
|--|---------|
| 1. PREMESSA | pag. 3 |
| 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO | pag. 5 |
| 3. SITUAZIONE MORFOLOGICA E GEO-LITOLOGICA GENERALE | pag. 6 |
| 4. IRILEVAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA | pag. 18 |
| 5. RILEVAMENTO GEO-MECCANICO DELL'AREA E CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO | pag. 23 |
| 6. INDAGINE SISMICA | pag. 39 |
| 7. ANALISI DI LABORATORIO DI TIPO GEOTECNICO | pag. 46 |
| 8. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DEI TERRENI DEL PRIMO SOTTOSUOLO | pag. 49 |
| 9. LAVORI IN PROGETTO | pag. 51 |
| 10. MODALITA' DI GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO | pag. 55 |
| 11. PERICOLOSITA' E CLASSIFICAZIONE SISMICA | pag. 57 |
| 12. MODELLAZIONE SISMICA | pag. 59 |
| 13. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI | pag. 64 |
| 14. CONCLUSIONI | pag. 65 |

ALLEGATI:

- *indagine sismica mediante MASW;*
- *indagine sismica mediante tomografia sismica;*
- *analisi di laboratorio di tipo geotecnico.*

1. PREMESSA

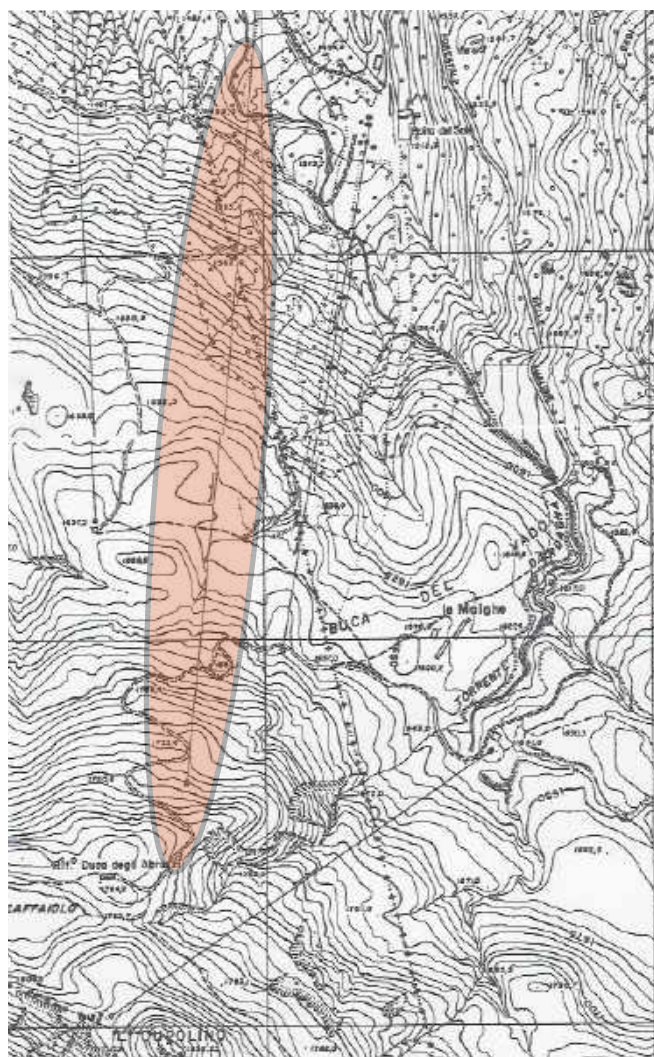
A seguito dell'incarico ricevuto dalla ditta Altevie S.r.l. Società di Ingegneria, si trasmette, in conformità con le normative vigenti, la seguente relazione geologico-tecnica riguardante lo studio dei terreni del primo sottosuolo di un'area sulla quale viene richiesta la verifica di assoggettabilità a V.I.A. per il progetto della nuova seggiovia quadriposto ad immersione automatico.

L'area in esame si ubica in località "Polle - Lago Scaffaiolo", in comune di Lizzano in Belvedere (BO) e Fanano (MO) (TAV. 1: estratto C.T.R. Scala 1:5.000; elemento n. 251061 e 251062 – rispettivamente Madonna dell'Acero e Corno alle Scale), coord. ED50: Lat 44.123268 - Lng 10.816372 circa.

Il presente studio è stato articolato nei seguenti punti:

- analisi e descrizione della situazione morfologica e geo-litologica generale;
- determinazione della natura dei terreni costituenti il primo sottosuolo;
- determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche degli stessi;
- caratterizzazione e modellazione geologica e geotecnica del sito;
- modellazione sismica dei terreni di fondazione;
- prescrizioni a carattere geologico e geotecnico per le opere di progetto.

TAV. 1 - UBICAZIONE AREA IN ESAME



Area in esame

Scala 1:10.000

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della seguente relazione è stata compiuta in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento di seguito elencate:

- "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". D.M. 11 Marzo 1988.
- Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". Circ. Min. LL. PP. n. 30483, 24 Settembre 1988.
- D.M. 14/01/2018 Norme Tecniche per le costruzioni
- AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977.
- AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio, Maggio 1990 (edizione provvisoria).
- Eurocodice Ec7 per l'ingegneria geotecnica, Settembre 1988.
- ISRM International Society for Rock Mechanics: Rock characterization testing and monitoring suggested methods - Commission on Testing Methods; 1981.
- Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna progr. n. 1661/2009 del 2 Novembre 2009.
- Ordinanza del Commissario Delegato per la Ricostruzione n. 70 del 13/11/2012
- "Raccomandazioni per la Redazione della Relazione Geologica ai sensi delle N.T.C." a cura del centro studi del C.N.G..
- D.Lgs. 152/2006 del 3 aprile 2006, Norme in materia ambientale
- D.P.R. 13 giugno 2017, n. 120 Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164

3. SITUAZIONE MORFOLOGICA E GEO-LITOLOGICA GENERALE

L'area in esame è situata in prossimità del confine e dello spartiacque fra Emilia Romagna e Toscana, in una fascia caratterizzata da altitudini prossime ai 2.000 m s.l.m. e compresa nella porzione sommitale dell'Appennino Tosco Emiliano; detta catena montuosa risulta generalmente orientata in direzione WNW-ESE, e generatasi a causa della collisione fra zolla sardo-corsa e la microplacca Padano-Adriatica, a partire dal Cretacico e proseguendo secondo fasi successive fino al quaternario, coinvolgendo in tale movimento tettonico i depositi dei differenti domini paleogeografici meso-cenozoici ivi compresi.

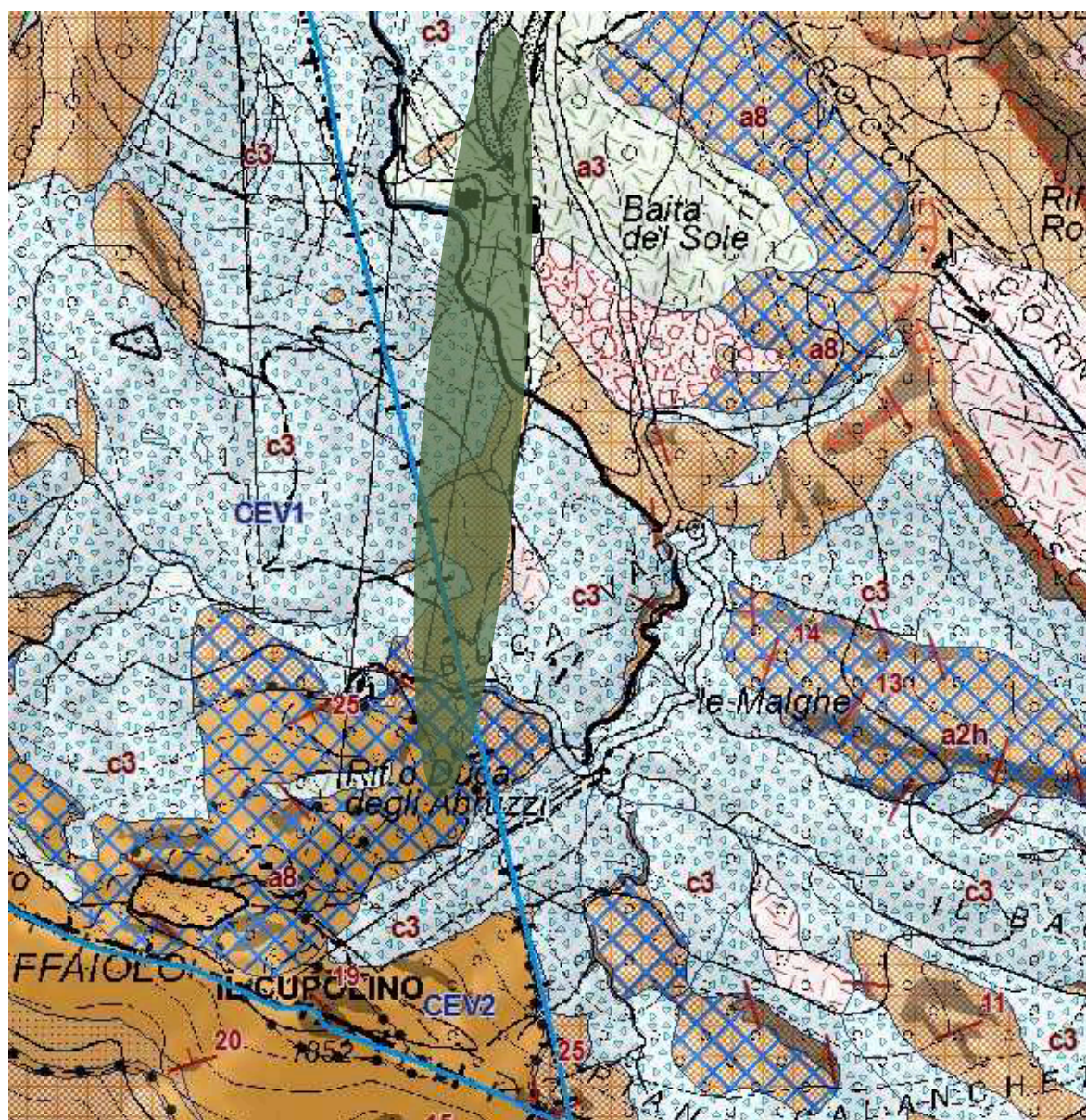
Più esattamente si ubica ad una quota compresa mediamente fra 1.490,00 m e 1.780,00 m s.l.m., lungo un versante di esposizione Nord/NordEst (avente orientamento, rispetto al Nord, di 5-6° in senso orario verso Est), di gradiente topografico generalmente dell'ordine del 28%, corrispondente a 15-16° circa, con le zone a maggiore acclività poste a Sud, immediatamente a valle del rifugio Duca degli Abruzzi, e la porzione posta a valle della isoipsa 1.575,00 m; nella fascia compresa fra le quote di 1.600,00 m e 1.6750,00 m, l'acclività risulta più contenuta, ovvero dell'ordine del 20%, corrispondente a 11° circa.

La litologia del primo sottosuolo, come segnalato nella Carta Geologica della Regione Emilia - Romagna (di cui di seguito in TAV. 2 si riporta uno stralcio), è rappresentata prevalentemente dalla Unità Toscana, ovvero da depositi torbiditici di ambiente deposizionale di avanfossa, in particolare dalle Arenarie di Cervarola, membro del Torrente Dardagna (**CEV1**), costituiti da ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con livelli lapidei prevalenti: rapporto L/P > 3. A quote topograficamente superiori, sono presenti i terreni appartenenti al membro del torrente Fellicarolo (**CEV2**) della stessa Formazione, ma con strati torbiditici generalmente più sottili e fini, a base arenitica medio-fine e tetto marnoso plurimetrico, con frequenti intervalli ricchi di liste di selce nera e orizzonti da centimetrici a decimetrici di argilliti scure.

I membri rocciosi suddetti risultano ricoperti da depositi glaciali e periglaciali (**c3**) di epoca Wurmiana, ovvero da accumuli detritici deposti per azione di avanzamento e arretramento di ghiacciai, e caratterizzati dalla presenza di detrito sciolto a struttura caotica con clasti eterometrici inglobati in matrice limoso-sabbiosa o limo-argillosa e con stratificazione mal visibile, con locali massi erratici.

Altri terreni di copertura di epoca quaternaria sono rappresentati da depositi di deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV, **a8**), costituiti da masse di dimensioni più o meno rilevanti di roccia che, pur scivolando lungo una o più superfici di scorrimento, traslativa e/o rotazionale, conservano al loro interno la coerenza stratigrafica della roccia di provenienza e caratterizzati da movimenti molto lenti nel tempo; secondariamente altri depositi di copertura sono rappresentati da depositi gravitativi (**a1g**, **a4** e **a3**), in ogni caso ubicati al di fuori dell'intorno dell'area di intervento.

TAV. 2 - CARTA GEO-LITOLOGICA



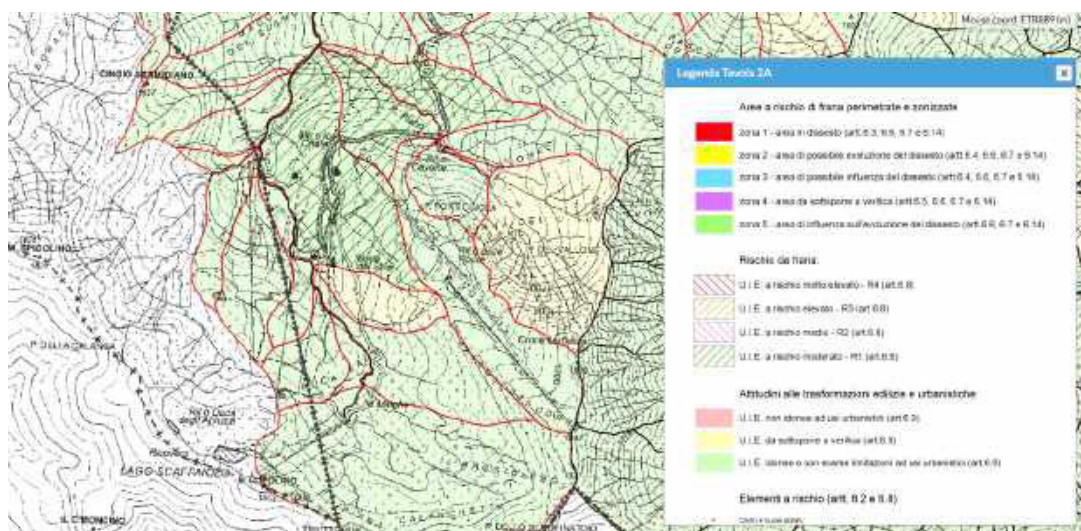
Area in esame

- c3** depositi glaciali e periglaciali;
- a8** terreni di copertura di epoca quaternaria da deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV);
- CEV1** Arenarie di Cervarola, membro del Torrente Dardagna (Unità Toscane);
- CEV2** Arenarie di Cervarola, membro del Torrente Fellicarolo (Unità Toscane).

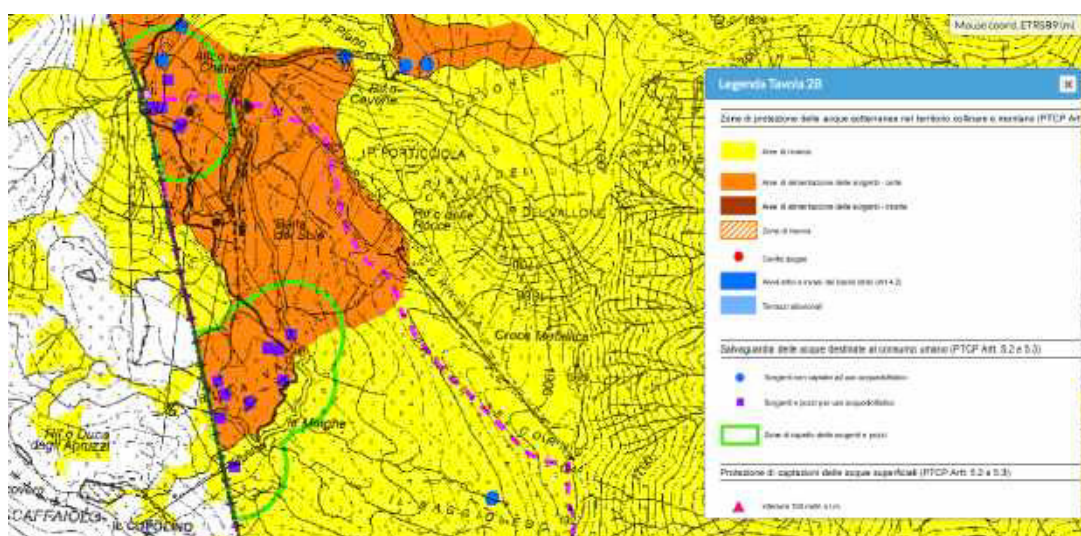
Relativamente alle tavole del P.T.C.P. della Provincia di Bologna, nella TAV. 2A "Rischio da frana, assetto versanti e gestione delle acque meteoriche" l'area in esame, per l'intero tracciato, risulta compresa in una "U.I.E. idonea o con scarse limitazioni ad usi urbanistici", e quindi soggetta all'art. 6.9.

Nella TAV. 2B relativa alla "Tutela delle acque superficiali e sotterranee", l'area in esame ricade parzialmente in "area di ricarica" e verso valle sono presenti locali zone di "alimentazione di sorgenti - certe", mentre verso Est, nella fascia posta in prossimità della sorgente del Torrente Dardagna, sono presenti "sorgenti e pozzi ad uso acquedottistico".

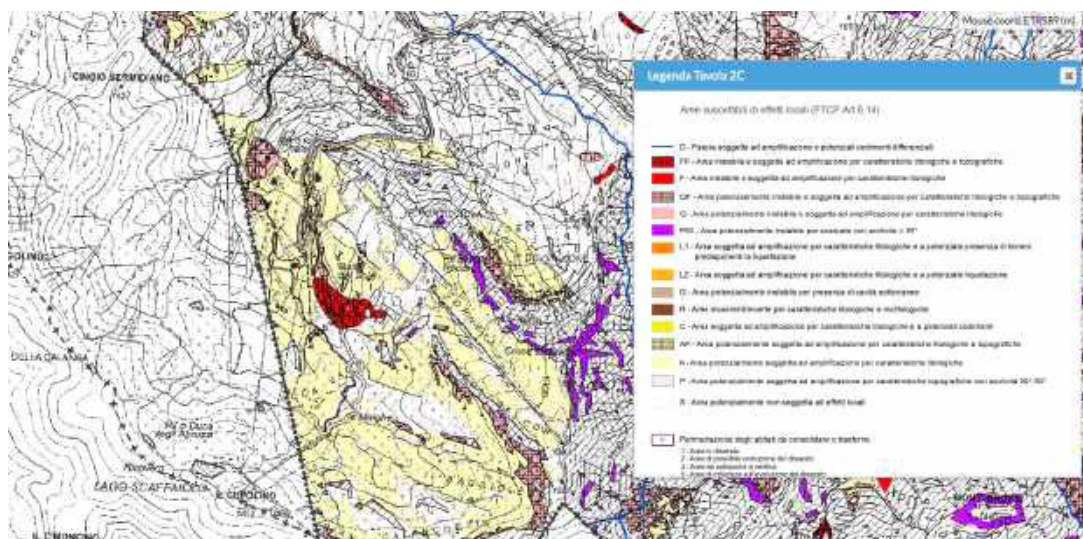
Infine, nella TAV. 2C relativa al "Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali", risulta come classificata prevalentemente come area "A", potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e localmente come area "AP", area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche.



Estratto TAV. 2A del P.T.C.P. della Provincia di Bologna

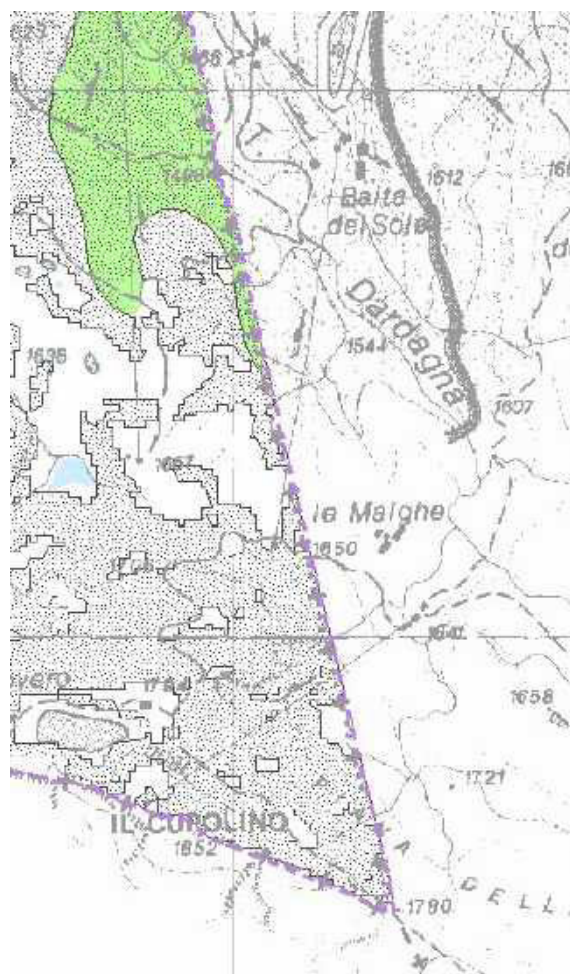


Estratto TAV. 2B del P.T.C.P. della Provincia di Bologna



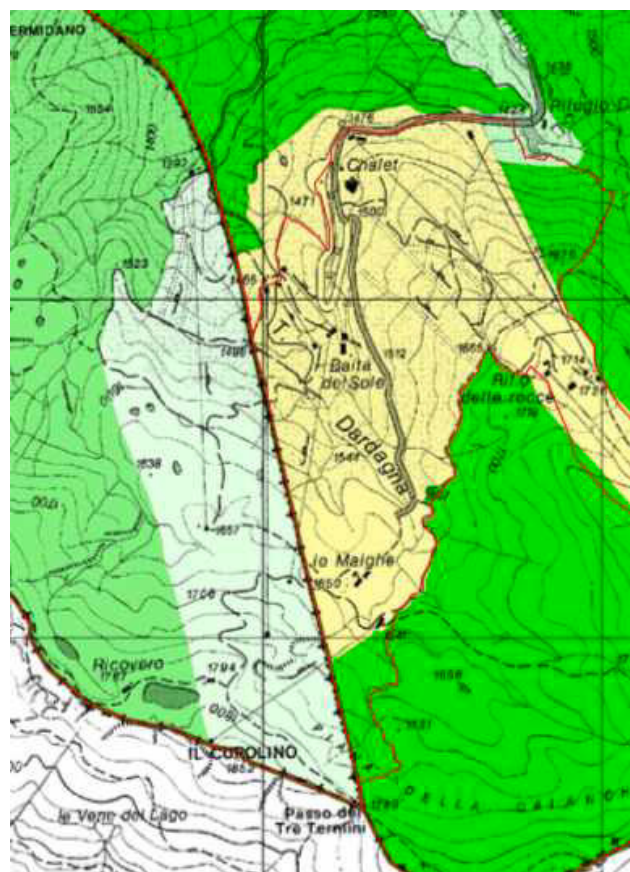
Estratto TAV. 2C del P.T.C.P. della Provincia di Bologna

Il P.T.C.P. della provincia di Modena indica per un breve tratto una zona di rischio sismico come suscettibile per effetti locali come da estratto sotto riportato (verde).



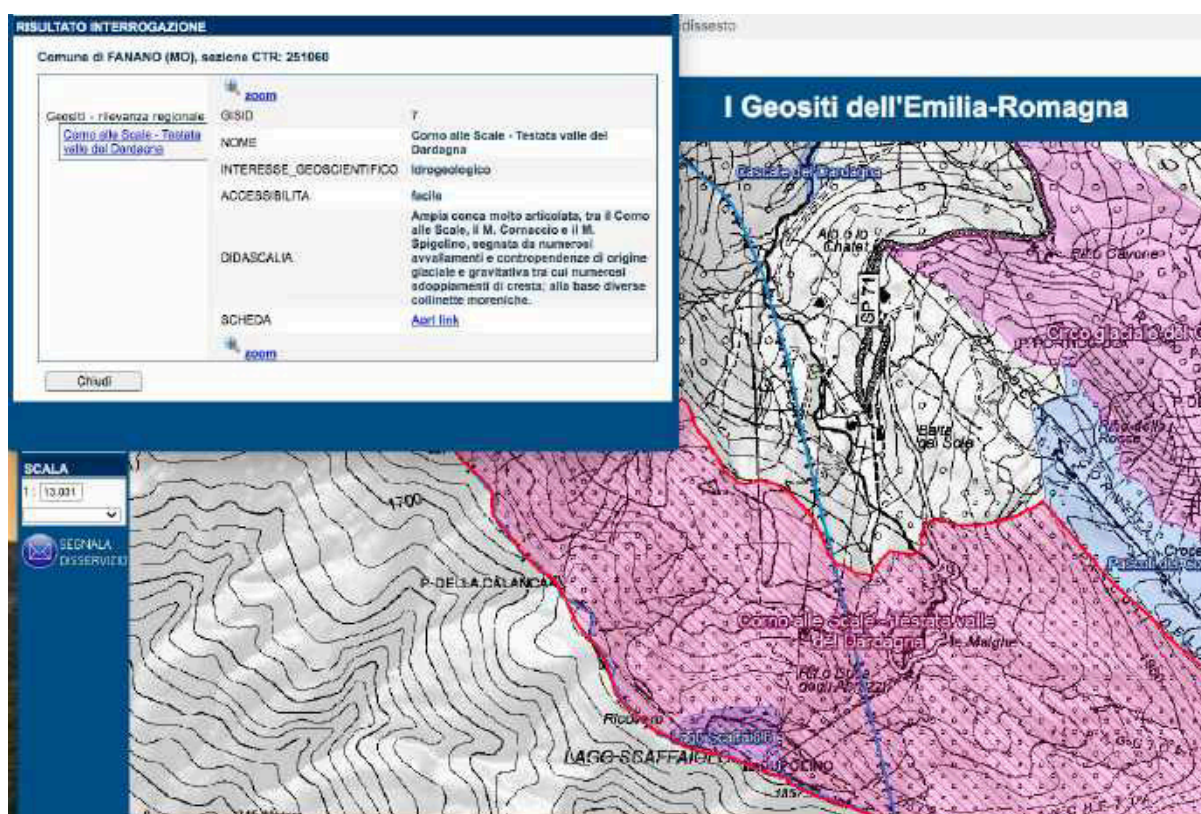
Estratto TAV. 2C del P.T.C.P. della Provincia di Modena Carta delle aree suscettibili di effetti locali

Sulla base della cartografia relativa al Piano Territoriale del Parco Regionale del Corno Alle Scale, come visibile sotto, l'area oggetto di intervento ricade prevalentemente in zona "C" e verso la fascia di valle risulta classificata come "area contigua"; l'area "C" definisce la zona di protezione e riqualificazione ambientale finalizzata alla fruizione turistica e pertanto sottoposta all'art. 7 del suddetto piano.



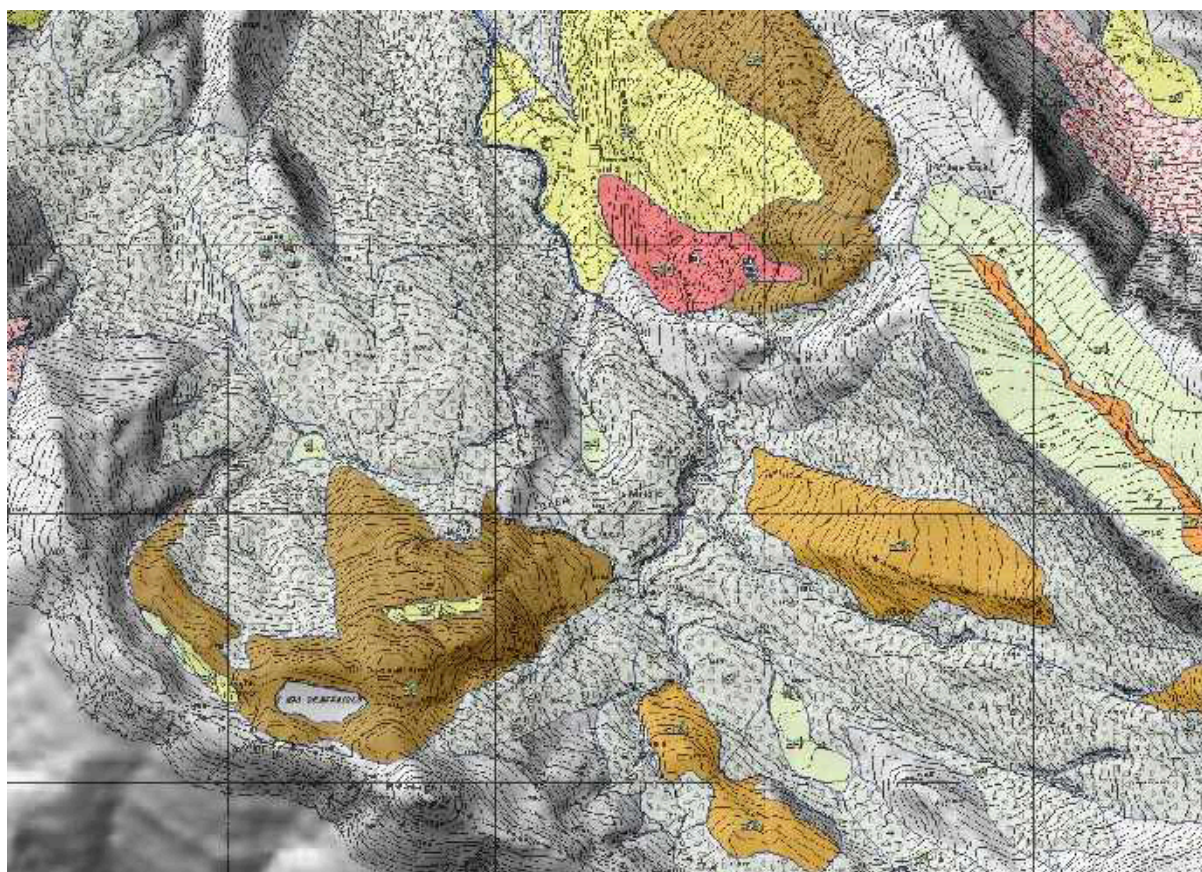
Relativamente alla mappatura dei geositi della Regione Emilia Romagna, la tavola relativa evidenzia la zona compresa fra il Monte Cupolino e il Corno alle Scale, ovvero la sorgente del Torrente Dardagna, ampia conca articolata e caratterizzata da numerosi impluvi e ampi catini derivanti da fenomeni di erosione glaciale; non infrequenti anche i depositi morenici a formare collinette e contropendenze, ricoperte dalle forme di più recenti movimenti gravitativi, caratterizzati da avvallamenti allungati lungo la linea di massima pendenza.

Da segnalare infine, ed è il caso del Lago Scaffaiolo, geosito posto a monte dell'area oggetto di studio, le varie forme di sdoppiamento di cresta, ovvero da avvallamenti creati da movimenti franosi profondi, con movimenti di grande lentezza, e che interessano grossi volumi di materiale roccioso.

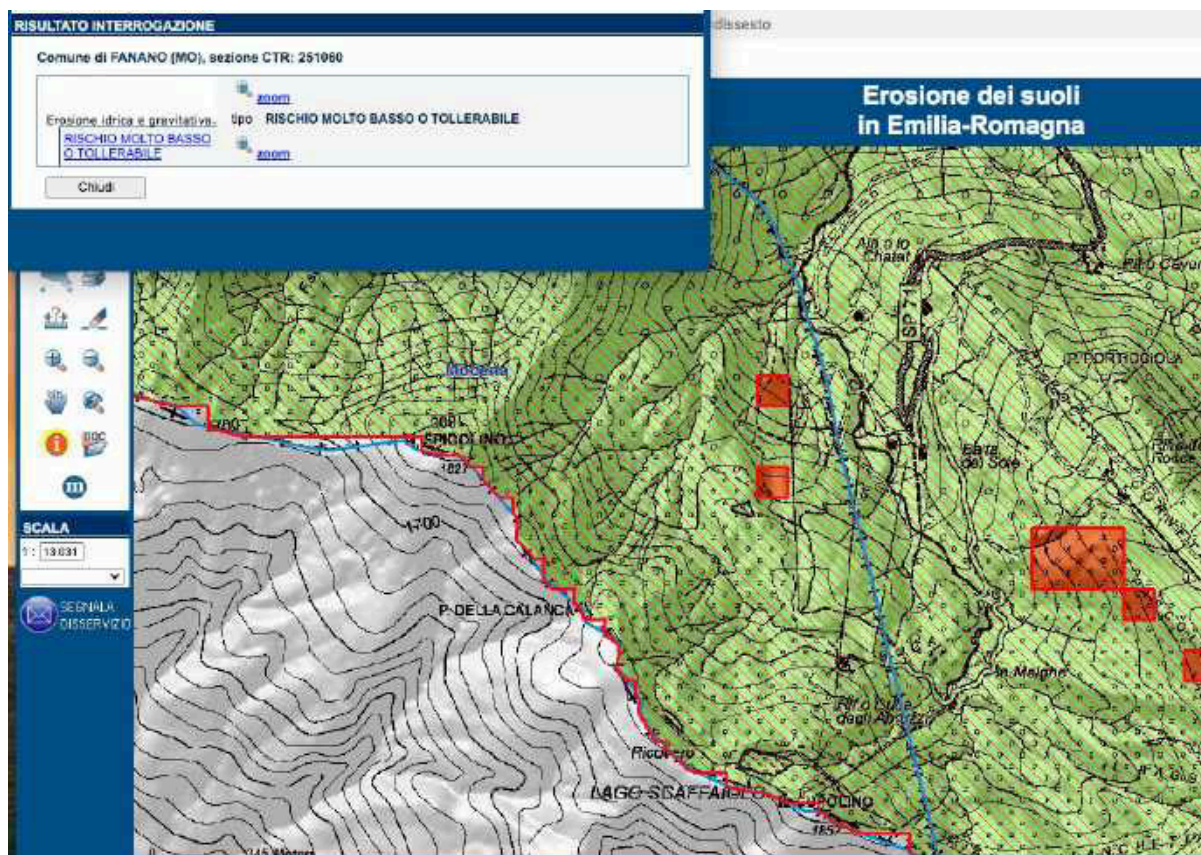


Secondo la carta dell'inventario delle frane della Regione Emilia Romagna, come sotto riportato, e come anche confermato dalla carta geologica della Regione Emilia Romagna di cui alla TAV. 2, l'area oggetto di intervento ricade in corrispondenza di un movimento franoso profondo (Deformazione Gravitativa Profonda di Versante - DGPV, colore nocciola). Tali movimenti, caratterizzati da uno scivolamento in blocco di masse di dimensioni più o meno rilevanti di roccia, coinvolgono interi versanti senza che sia presente in profondità una superficie di rottura pienamente definita. Questi conservano al loro interno la coerenza stratigrafica della roccia di provenienza e sono in grande prevalenza in stato di attività quiescente o soggette a movimenti estremamente lenti.

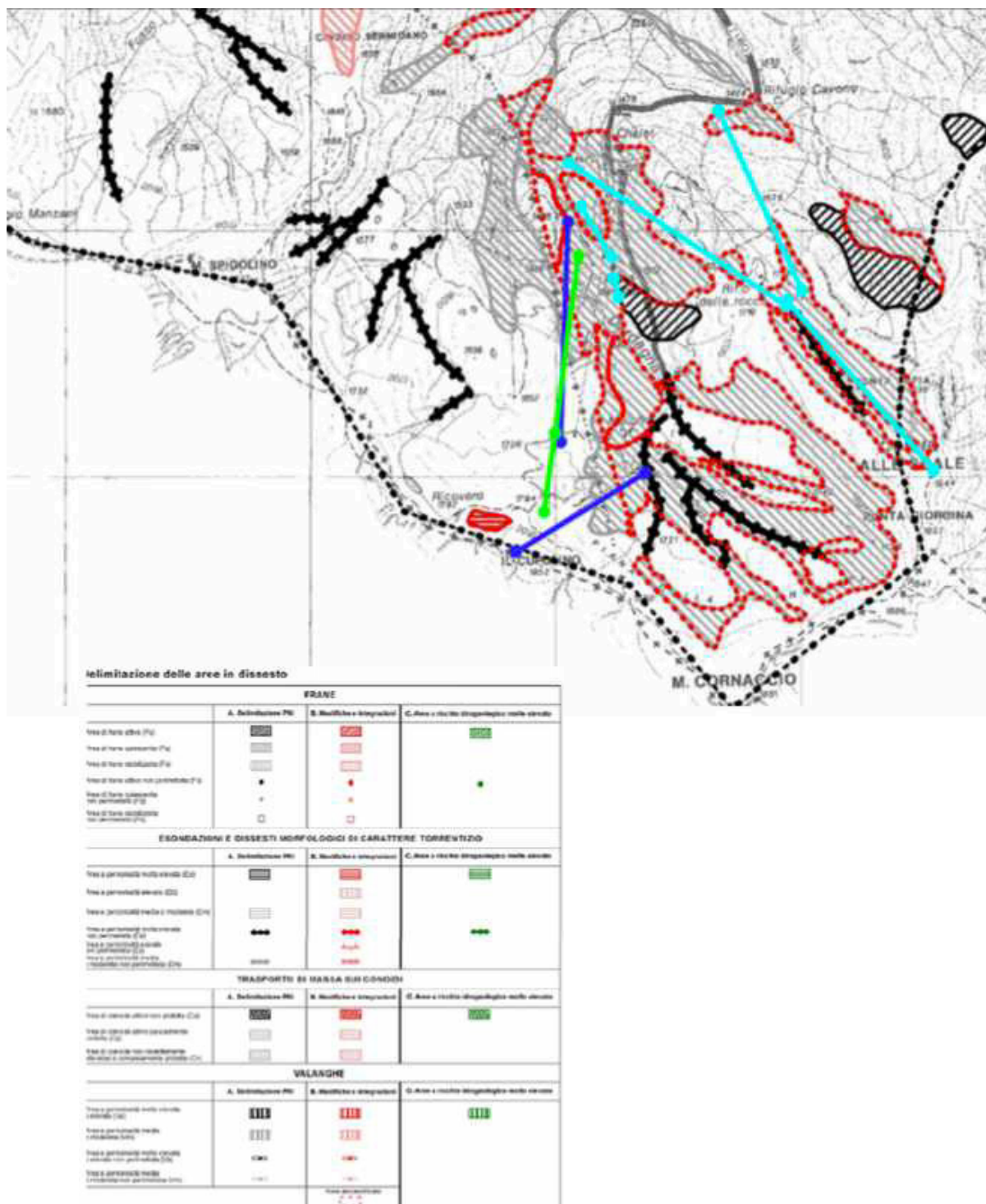
Nella porzione di valle, si intercetta una zona (indicata con il colore giallo) classificata come a3 - Deposito di versante s.l., ovvero deposito di genesi incerta. Non si esclude che esso possa essere attribuito a una frana, tuttavia mancano, almeno in parte, i caratteri morfologici tipici delle frane stesse. Solo una indagine più approfondita potrebbe chiarire la natura dei processi che hanno generato l'accumulo e la sua attribuzione a altre categorie (oltre a depositi di frana anche, eolici, glaciali o periglaciali e soprattutto eluvio-colluviali). Generalmente l'accumulo è costituito da materiale prevalentemente fine, pelitico e/o sabbioso con inclusi lapidei più o meno abbondanti.



Per quanto riguarda il rischio di erosione dei suoli, la carta della Regione Emilia Romagna relativa, come sotto evinto, classifica l'intera zona di intervento come a rischio molto basso o tollerabile.

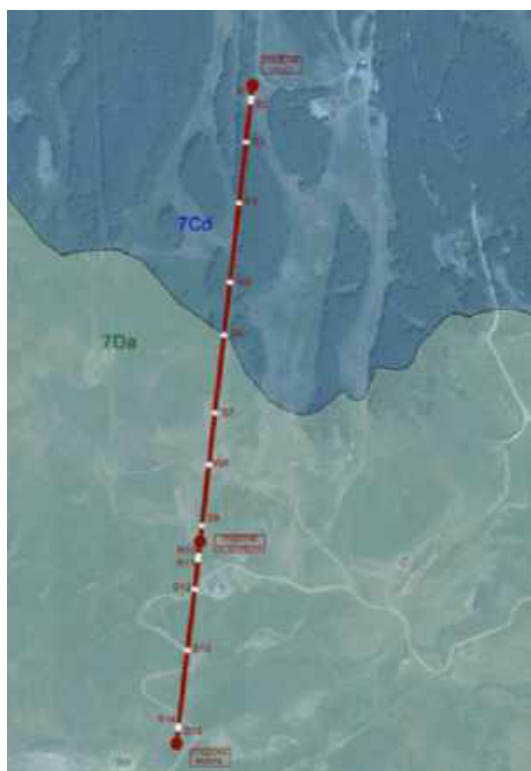


Secondo quanto riportato dal P.A.I., Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, l'area ricade in parte all'interno di un'area interessata da una frana quiescente, come peraltro già evidenziato negli estratti cartografici precedentemente illustrati. Si tratta infatti di Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (DGPV), con le caratteristiche di modestissima velocità di movimento verso valle.



Relativamente ai suoli presenti, la Regione Emilia Romagna, come riportato in figura sotto, classifica l'area oggetto di studio come caratterizzata, nella fascia di valle, da suoli di tipo "7C d", ovvero di pendenza tipica del 25-60%, molto profondi; a tessitura franco sabbiosa, a buona disponibilità di ossigeno, moderatamente o debolmente acidi, la cui genesi risulta da rocce arenacee; inoltre, a altitudini maggiori, sono presenti suoli "7D a", ovvero di elevata - media ripidezza, tipicamente da 25 a 80%; di tipologia pietrosa o molto pietrosa, a tessitura media, ciottolosi, con buona disponibilità di ossigeno; di moderata o alta acidità, negli orizzonti profondi. Presentano inoltre un'elevata variabilità in funzione della profondità (superficiali, profondi, o molto profondi), della rocciosità (molto rocciosi o non rocciosi). Localmente sono molto ciottolosi nel substrato, fortemente acidi.

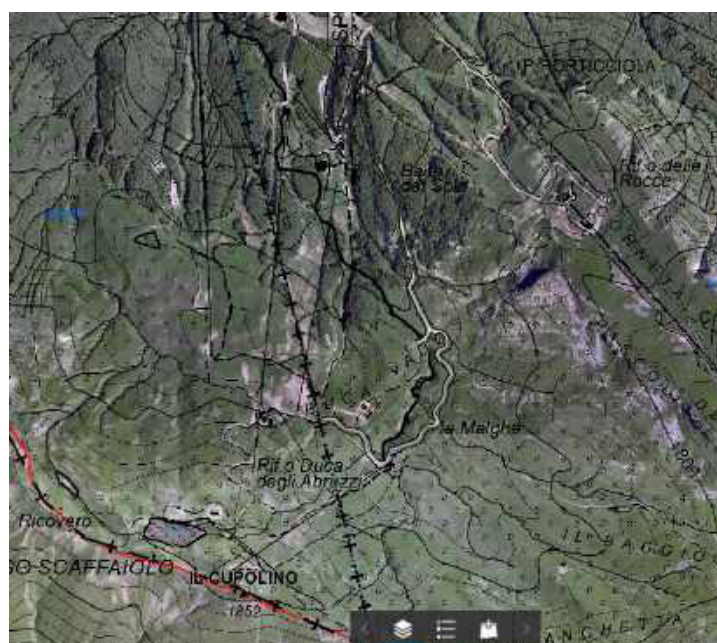
Questi suoli si sono formati in depositi morenici e a partire da rocce stratificate arenacee, subordinatamente arenaceo-pelitiche (Macigno, Arenarie di M. Cervarola, Arenarie di Monte Modino), con alterazione biochimica a forte acidificazione e con orizzonti superficiali resi scuri dal materiale organico incorporato. Essi hanno spesso una forte differenziazione del profilo e rientrano negli Humic Cambisols, secondo la Legenda FAO; sono diffusi anche suoli con basso grado di differenziazione del profilo, i quali rientrano negli Umbric Leptosols, secondo la Legenda FAO. Sono circoscritti in aree limitate, spesso su depositi morenici, suoli a forte differenziazione del profilo; la loro evoluzione è caratterizzata dall'intensa percolazione e dalla formazione e mobilitazione di complessi organo-metallici negli orizzonti superficiali, insolubilizzati ed accumulati negli orizzonti profondi. Questi suoli rientrano negli Haplic Podzols, secondo la Legenda FAO. L'uso attuale dei suoli è in prevalenza a pascolo, per fini turistico-ricreativi o di conservazione dell'ambiente.



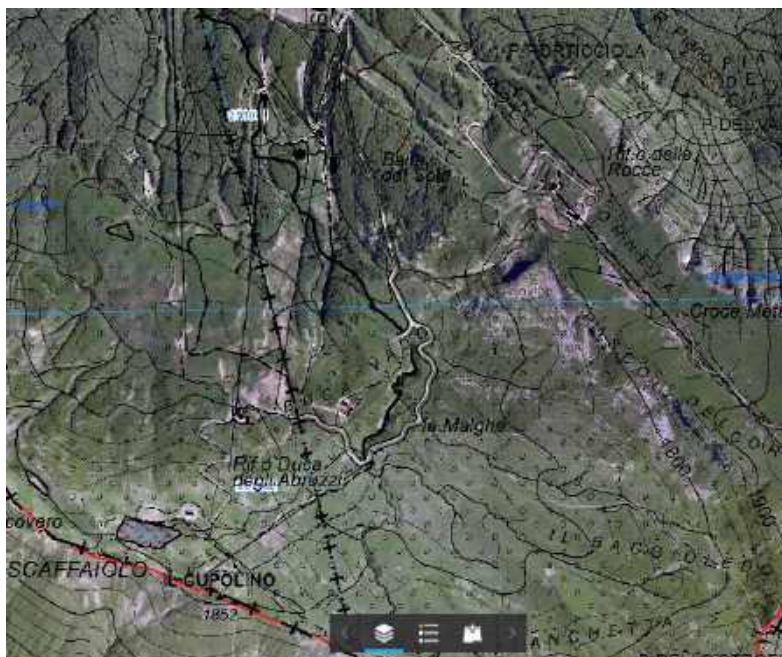
Per quanto concerne la consultazione delle ortofoto dell'area in oggetto, presenti nel sito della Regione Emilia-Romagna, si sottolinea che esse sono state scattate negli anni 2008, 2011 e 2014, e non mostrano particolari modificazioni della evoluzione erosiva negli anni: si evidenzia una zona interessata da fenomeni erosivi, peraltro segnalata anche sulla Carta Tecnica Regionale, posta a Sud/Est del Rifugio Duca degli Abruzzi, ad una distanza di almeno 200 m in linea d'aria e comunque al di fuori del tracciato della seggiovia in progetto.



ortofoto 2008



ortofoto 2011



ortofoto 2014

L'elemento principale che caratterizza l'idrografia superficiale è il Torrente Dardagna, la cui sorgente è posta nella fascia Est dell'area in esame, ad una quota di circa 1.640,00 m s.l.m. ed il suo percorso procede verso valle in affluenza al Panaro; altro elemento caratterizzante l'assetto idrografico è il Lago Scaffaiolo, posto a monte del tracciato di progetto ad alimentazione prevalentemente sotterranea.

4. RILEVAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Come visto in precedenza, l'area oggetto di studio si ubica ad una quota compresa mediamente fra 1.490,00 m e 1.780,00 m s.l.m., lungo un versante immergente Nord/NordEst (avente orientamento, rispetto al Nord, di 5-6° in senso orario verso Est), con gradiente topografico generalmente dell'ordine del 28%, corrispondente a 15-16° circa, con le zone a maggiore acclività poste a Sud, immediatamente a valle del rifugio Duca degli Abruzzi, e la porzione di valle, a valle della isoipsa 1.575,00 m; nella fascia compresa fra le quote di 1.600,00 m e 1.6750,00 m, l'acclività risulta più contenuta, ovvero dell'ordine del 20%, corrispondente a 11° circa.

I litotipi rocciosi prevalenti sono rappresentati prevalentemente da alternanze tra arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc. e livelli pelitici con prevalente percentuale arenitica; localmente gli strati torbiditici assumono una composizione prettamente siltosa, più fine, e risultano maggiormente marnosi, a distinguere un diverso membro della formazione del Cervarola. La giacitura degli strati è variabile, nell'intorno dell'area oggetto di studio, pertanto le stratificazioni risultano trovarsi in posizioni variabili dal franappoggio al reggipoggio in ragione della topografia locale. Generalmente gli strati rocciosi risultano sub-orizzontali, e mostrano inclinazioni comprese fra circa 10°-20°.

L'azione di gelo/disgelo e delle notevoli escursioni termiche dell'area in esame (in funzione dell'altitudine) sono responsabili della locale intensa fratturazione della roccia in situ (foto 1), di forme di dilavamento superficiali e di erosione selettiva a formare sporgenze e rientranze in funzione della litologia prevalente.



foto 1: fratture nelle rocce in situ

Il membro del torrente Fellicarolo, come detto in precedenza, a granulometria più fine e di natura marnosa rispetto al membro del Torrente Dardagna, affiora lungo il sentiero che porta al Rifugio Duca degli Abruzzi, ad una quota topografica di poco inferiore a quest'ultimo. Risulta collocato lungo un versante che nel tratto considerato presenta una acclività dell'ordine del 33%, corrispondente a 18°, con stratificazione a reggipoggio rispetto al versante, e risulta intensamente fratturato. Al momento attuale non si segnalano particolari segni di instabilità superficiale, tuttavia si dovrà tenere in considerazione la sistemazione finale a seguito delle lavorazioni in progetto in relazione alla tipologia del litotipo roccioso presente.

Le formazioni rocciose suddette, in epoca wurmiana, sono state profondamente interessate dall'azione di ghiacciai che hanno agito lasciando tracce sulla morfologia dell'area, quali, alle quote topograficamente superiori, circhi glaciali, strutture a forma di anfiteatro circondate su tre lati da una corona di creste (foto 2).



foto 2: circo glaciale

Le forme di deposito glaciali risultano rappresentate da depositi morenici, ovvero ciottoli spigolosi

di diametro eterogeneo, ammassati caoticamente senza alcun cenno di stratificazione in una matrice generalmente limosa e/o sabbiosa, derivanti in parte da processi di esarazione e in parte da crolli dai versanti sul ghiacciaio. Questi depositi sono facilmente intercettabili su gran parte del versante oggetto di studio, secondo un gradiente topografico nettamente più contenuto rispetto alle zone caratterizzate dagli affioramenti rocciosi, e a formare collinette generalmente di forma arrotondata (foto 2 e 3).



foto 2 e 3: depositi morenici

Nel capitolo precedente si è evidenziata la presenza di zone interessate da deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV), particolare categoria di movimenti di massa, generalmente lenti, che interessano grandi quantità di materiale e la profondità della deformazione è di alcune decine o centinaia di metri.

Le evidenze morfologiche per riconoscere un versante interessato da D.G.P.V.. sono ad esempio, gli sdoppiamenti di cresta, come sotto riportato, e come intercettato sul fianco Sud e Noprd/Est del Lago Scaffaiolo (foto 4,5 e 6).

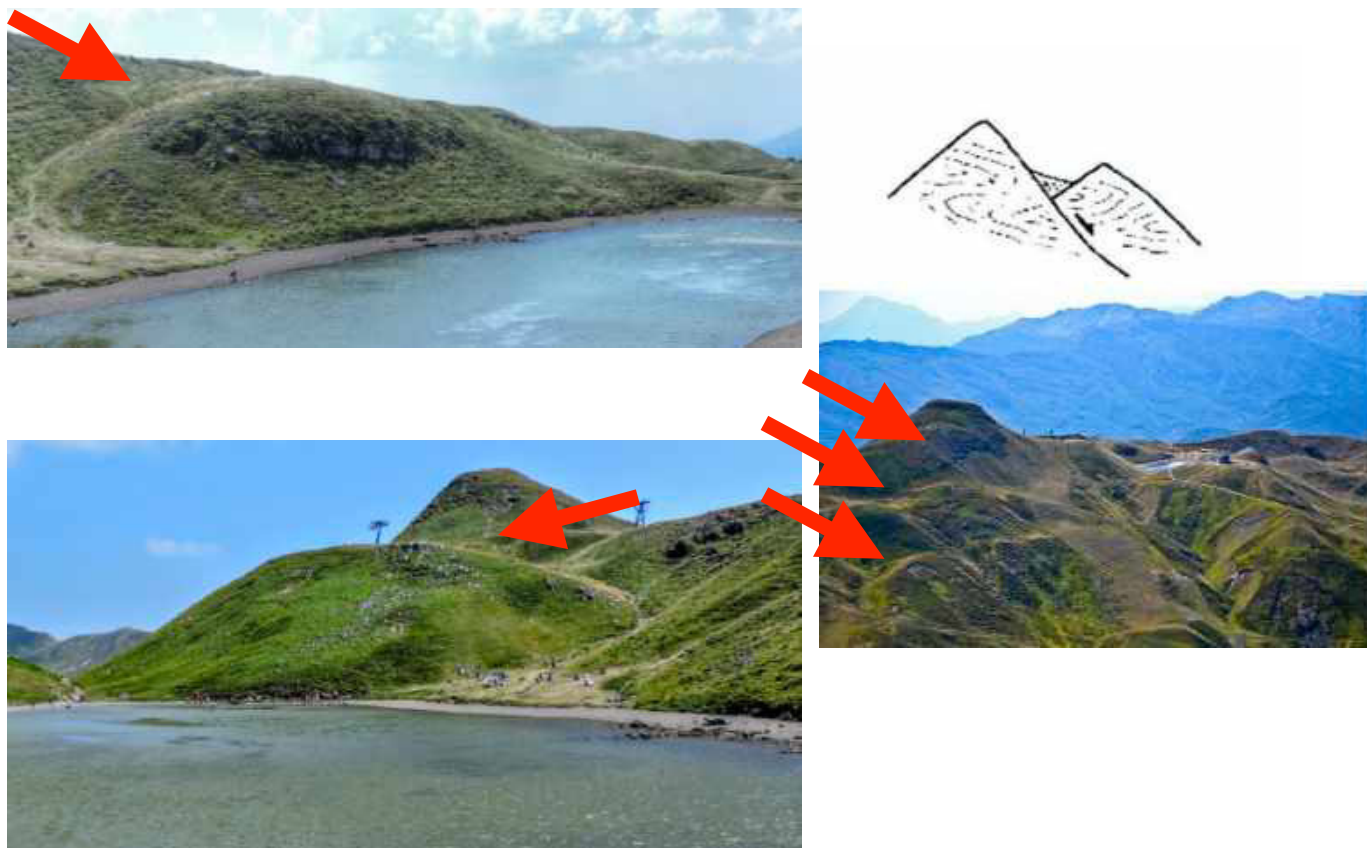


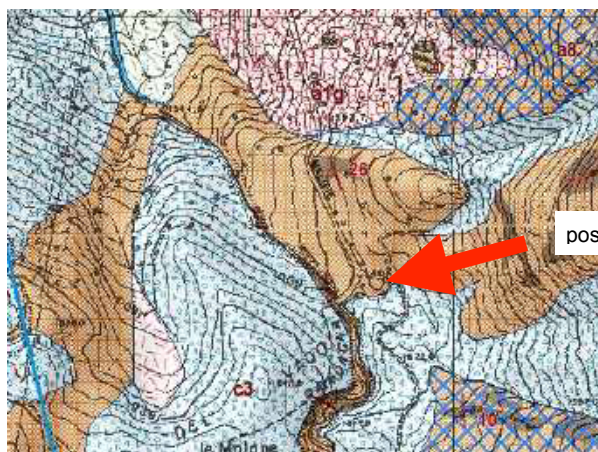
foto 4, 5 e 6: sdoppiamento di cresta

Relativamente alle acque sotterranee, l'area in esame risulta ricadere per gran parte della superficie, all'interno di aree di alimentazione delle sorgenti certe, ed è interessata da sorgenti e pozzi per uso acquedottistico posti in prossimità del rifugio Le Malghe e a valle della "Baita del Sole".

Inoltre lungo il sentiero forestale che dal toponimo "Baita Del Sole" sale verso il Rifugio Duca degli Abruzzi è stata individuata un'opera di captazione, segnalata anche sulla carta geologica della Regione Emilia Romagna, che fa defluire le acque verso valle, lungo il versante, tramite un tubo di piccolo diametro (foto 7 e 8).



foto 7 e 8: opera di captazione e suo deflusso verso valle



posizione opera di captazione

Responsabili di queste venute idriche sono le bancate arenitiche poste a franappoggio, che veicolano deboli deflussi di acqua, come nella posizione poco oltre procedendo verso monte rispetto al punto di captazione di cui sopra (foto 9).



foto 9: venute idriche sulle bancate arenitiche a franappoggio

Relativamente alla idrografia superficiale, il Lago Scaffaiolo risulta ubicato in prossimità dello spartiacque che segna il confine fra Emilia Romagna e Toscana, ad una quota topografica di circa 1.790 m s.l.m.; di forma allungata e di dimensioni pari a circa 170 m x 65 m, è prevalentemente alimentato dalle acque piovane, dalla fusione delle nevi e da una falda ubicata in prossimità del monte Cupolino.

Il Torrente Dardagna è principale collettore, con le sue sorgenti poste ad una quota di circa 1.640,00 m s.l.m., a Sud/est del Rifugio Le Malghe, per poi svilupparsi verso valle, dapprima formando un primo



specchio d'acqua, e poi seguendo una traiettoria di alveo dapprima di direzione Nord/Est, e poi virando Nord/Ovest successivamente al l'ostacolo rappresentato dal toponimo "Buca del Vado".

Frequenti sono i salti idrografici in questo primo tratto, prevalentemente dovuti alla presenza di banchi arenitici a basso gradiente di inclinazione e alla loro resistenza nei confronti dell'erosione delle acque correnti (foto 10).

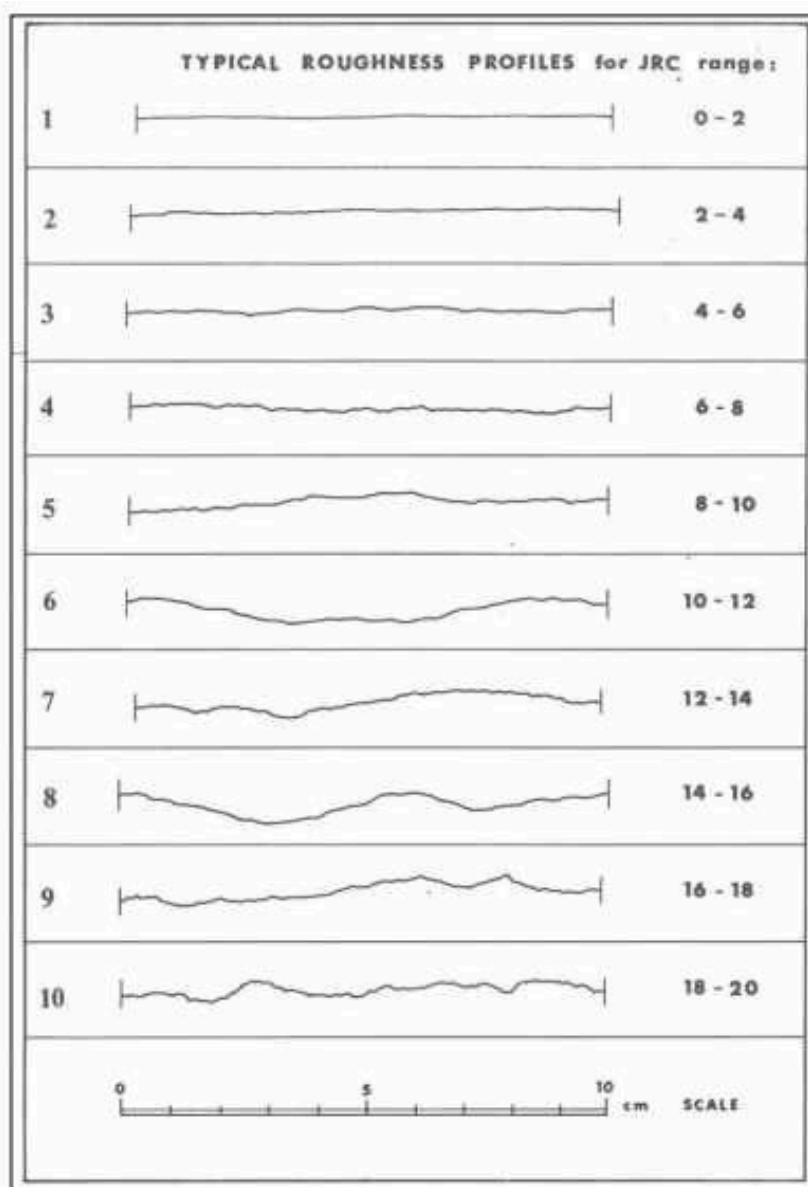
foto 10: Torrente Dardagna nel primo tratto

5. RILEVAMENTO GEO-MECCANICO DELL'AREA E CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

La procedura di indagine adottata, in funzione della emergenza sanitaria in corso a causa del virus Covid-19 e della difficoltà riscontrata nell'individuazione di ditte determinate a realizzare una campagna geognostica mediante sondaggi a carotaggio continuo nelle tempistiche stabilite e in condizioni meteorologiche variabili quali quelle autunnali, ha determinato la necessità di estrapolare dati geo-meccanici della roccia in situ affiorante mediante metodologie alternative, ma ugualmente significative e affidabili in funzione delle litologie presenti.

Pertanto si è provveduto alla realizzazione di n. 2 rilievi geo-meccanici standard, in corrispondenza dei litotipi rocciosi ritenuti significativi, secondo quanto proposto dall'ISRM (International Society for Rock Mechanics). Tali rilievi permettono di stimare i parametri di resistenza meccanica della roccia tramite procedure standardizzate, a partire da alcune grandezze rilevabili sull'ammasso, di seguito elencate.

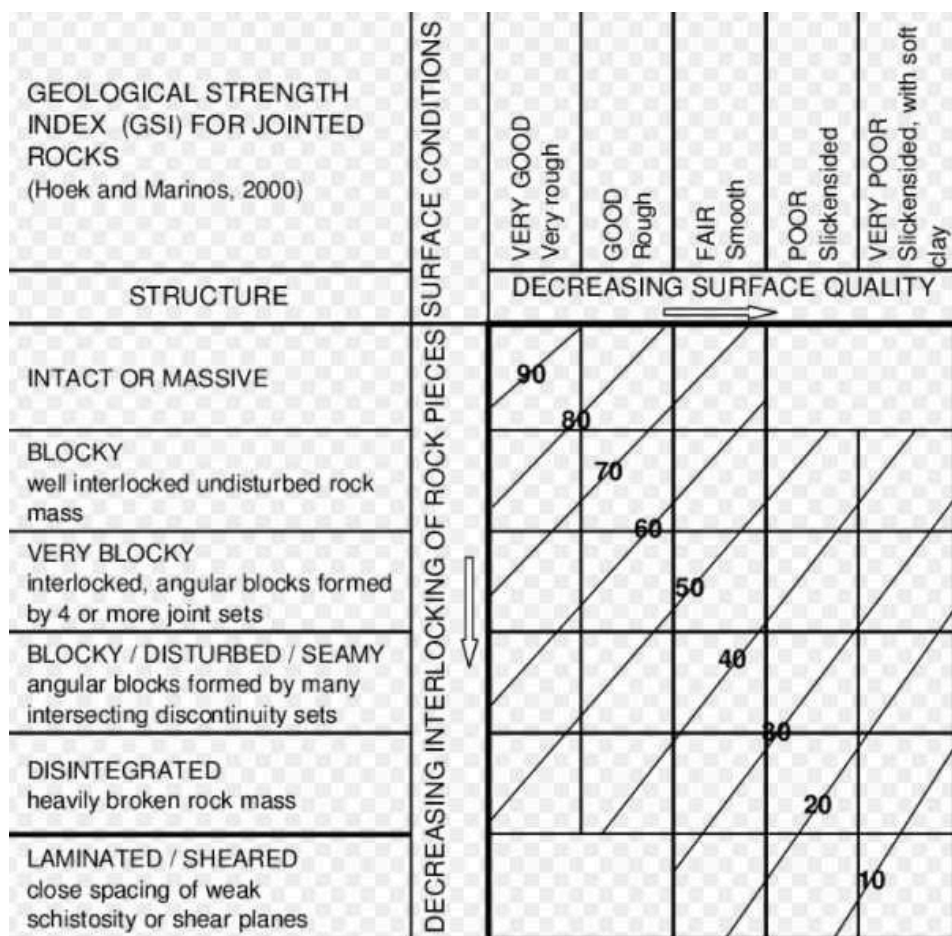
- Giacitura del fronte: la giacitura del versante in analisi deve essere espressa mediante il valore dell'azimut della linea di massima pendenza (immersione, dip direction) e dell'inclinazione di questa rispetto all'orizzontale (inclinazione, dip);
- Spaziatura: individuazione di tutte le discontinuità (joints) costituenti “famiglie” di fratture, e i relativi valori d'immersione e inclinazione. Le giaciture delle superfici dei giunti sono descritte attraverso l'inclinazione rispetto all'orizzontale e la direzione d'immersione della linea di massima pendenza, misurata in senso orario partendo dal Nord; inoltre viene misurata la distanza fra fessura e fessura della stessa famiglia;
- Riempimento: tipo di riempimento di discontinuità aperte;
- Condizioni di umidità: eventuale presenza d'acqua all'interno del giunto;
- Irregolarità delle discontinuità: la rugosità delle pareti delle discontinuità è una caratteristica importante per la valutazione delle resistenze disponibili lungo il piano stesso secondo Barton e Choubey, 1977. In genere, essa è caratterizzata da ondulazione a grande scala e da rugosità vera e propria (o irregolarità della superficie) a scala minore. L'ondulazione a grande scala è difficilmente apprezzabile in affioramento (a meno di manifestazioni macroscopiche) e si fanno osservazioni qualitative (superfici planari, regolari, ondulate, seghettate) mentre la rugosità è valutabile secondo il metodo proposto da Barton e Choubey (1977) per mezzo di un profilometro (Shape Tracer o pettine di Barton), quest'ultimo in grado di riprodurre il profilo delle pareti delle discontinuità lungo un tratto di 10 cm. Tale profilo può essere confrontato con quelli riportati in una tabella di dieci profili standard. A ciascuno dei dieci profili standard corrisponde un indice di rugosità (JRC – Joint Roughness Coefficient) variabile tra 0 (superficie perfettamente liscia) a 20 (superficie estremamente rugosa).



Profili di scabrezza secondo Barton (1974)

- **Compattezza:** è la resistenza a compressione uniassiale delle pareti delle discontinuità, può essere stimata tramite prove sclerometriche, eseguite in campagna sugli affioramenti di roccia attraverso l'utilizzo dello sclerometro o "Martello di Schmidt", costituito da un cilindro con punta rientrante, misura l'altezza di rimbalzo di una massa nota sulle pareti di roccia delle discontinuità. L'altezza di rimbalzo è definita per mezzo di un indice che è proporzionale alla resistenza a compressione della roccia. Misurando il rimbalzo della massa battente dopo un urto, si è in grado di stimare l'assorbimento anelastico della roccia e quindi la sua resistenza all'urto.
- **G.S.I. (Geological Strength Index):** è uno dei tanti indici usati per caratterizzare un ammasso roccioso. Viene valutato mediante un grafico (di seguito riportato) dove le caratteristiche strutturali dell'ammasso in termini di grado di fratturazione e disturbo tettonico sono intercorrelate con le caratteristiche della superficie delle discontinuità in termini di rugosità, alterazione e riempimento della frattura. Una volta definite queste due

caratteristiche, viene assegnato all'affioramento un valore numerico o meglio un'area all'interno della quale il valore ricade, per tenere conto della variabilità intrinseca della roccia.



La classificazione di Bienawski 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 il Rock Mass Rating (RMR, Bienawski) e, con le dovute correzioni apportate da Romana nel 1985, lo Slope Mass Rating (SMR).

Il Rock Mass Rating, nella pratica, viene differenziato come:

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

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

• **A1 resistenza a compressione uniassiale:**

Si può ricavare sia da prove di laboratorio (Point Load Test), sia da prove di campagna mediante sclerometro. La prova Point Load ha il vantaggio di essere portatile; da essa si deriva l'indice di carico puntuale Is_{50} che viene correlato alla resistenza alla compressione uniassiale S_u mediante la relazione:

$$S_u = K \cdot Is$$

dove K è un coefficiente come da tabella sotto

| I_p (MPa) | K |
|-------------|-----|
| < 3,5 | 14 |
| 3,5 – 6,0 | 16 |
| 6,0 – 12,0 | 20 |
| > 12,0 | 25 |

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):

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

La risposta della roccia è ricavabile, in mancanza di dati da sclerometro, anche mediante la risposta della roccia alla percussione con il martello da geologo secondo la tabella sotto riportata.

| | |
|--|---------------|
| 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 |

Definito S_u , si può ricavare il parametro A_1 , che tramite i valori desunti dalla prova sclerometrica, si determinano dalla tabella sotto riportata (dove i grafici proposti da Bienawski vengono trasformati più semplicemente in forma di equazioni).

| VALORE DI S_u (MPa) | EQUAZIONE |
|-----------------------|-------------------------------------|
| $\leq 44,5$ | $A_1 = \frac{4}{44,5} S_u + 1$ |
| $44,5 \div 93,75$ | $A_1 = \frac{4}{49,25} S_u + 1,368$ |
| $93,75 \div 140$ | $A_1 = \frac{3}{46,25} S_u + 2,919$ |
| $140 \div 180$ | $A_1 = 0,0375 S_u + 6,75$ |
| $180 \div 240$ | $A_1 = 0,025 S_u + 9$ |
| > 240 | $A_1 = 15$ |

Utilizzando lo Standard ISRM, si usa la tabella proposta da Bienawski dell'ultima versione (1989)

| S_u (MPa) | > 200 | 100 - 200 | 50 - 100 | 25 - 50 | 5 - 25 | 1 - 5 | < 1 |
|--------------------|-------|-----------|----------|---------|--------|-------|-----|
| Coefficiente A_1 | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 |

• **A2 Rock Quality Designation Index (Indice RQD):**

Si può ricavare dal valore di RQD (Rock Quality Design) a sua volta desunto da sondaggi a carotaggio continuo, misurando la somma degli spezzoni di carota con lunghezza maggiore o uguale a 100 mm:

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

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, come nel nostro caso, 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 A_2 tramite le seguenti equazioni:

| VALORE DI RQD % | EQUAZIONE |
|-----------------|------------------------------------|
| $\leq 26,5$ | $A_2 = \frac{3}{26,6} RQD + 3$ |
| $26,5 \div 39$ | $A_2 = \frac{2}{12,4} RQD + 1,71$ |
| $39 \div 76,6$ | $A_2 = \frac{7}{37,6} RQD + 0,739$ |
| $> 76,6$ | $A_2 = \frac{5}{23,4} RQD - 1,367$ |

• A_3 = spaziatura delle discontinuità

Una volta calcolata la spaziatura media, cioè la distanza media tra due discontinuità adiacenti, è possibile ricavare il valore del coefficiente A_3 , mediante le seguenti relazioni:

| SPAZIATURA (m) | EQUAZIONE |
|------------------|------------------------|
| $\leq 0,2$ | $A_3 = 15 s + 5$ |
| $0,2 \div 0,4$ | $A_3 = 10 s + 6$ |
| $0,4 \div 0,66$ | $A_3 = 7,752 s + 5,9$ |
| $0,66 \div 0,94$ | $A_3 = 7,067 s + 7,35$ |
| $0,94 \div 1,6$ | $A_3 = 6,07 s + 8,288$ |
| $1,6 \div 2,0$ | $A_3 = 5 s + 10$ |
| $> 2,0$ | $A_3 = 20$ |

• A_4 = condizioni delle discontinuità;

Determinare dalle tavole di classificazione di Bienawski il valore numerico relativo alla condizione delle discontinuità, invece, risulta molto soggettivo. Perciò per valutare correttamente A_4 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, secondo la:

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

I valori da assegnare sono:

V1 – Persistenza del giunto

| PERSISTENZA (m) | V1 |
|-----------------|----|
| < 1 | 6 |
| 1 ÷ 3 | 4 |
| 3 ÷ 10 | 2 |
| 10 ÷ 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 |
| < 5 | Soffice | 2 |
| > 5 | Soffice | 0 |

• **A5 = condizioni idrauliche**

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 | Umidità | Bagnata | Deboli venute | Forti venute |
| Coefficiente A5 | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 |

• **A6 = orientamento delle discontinuità**

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 Bieniawski risulta troppo "conservativo" e pertanto nel calcolo di RMR si utilizza la metodologia proposta da Romana. 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 Bieniawski assumono il valore:

$$\text{coesione } c \text{ (kPA)} = 5 \text{ RMRb}$$

$$\text{angolo di attrito } \varphi = 0,5 \text{ RMRb} + 5$$

$$\text{modulo di deformazione } E \text{ (GPa)} = 2 \text{ RMRb} - 100$$

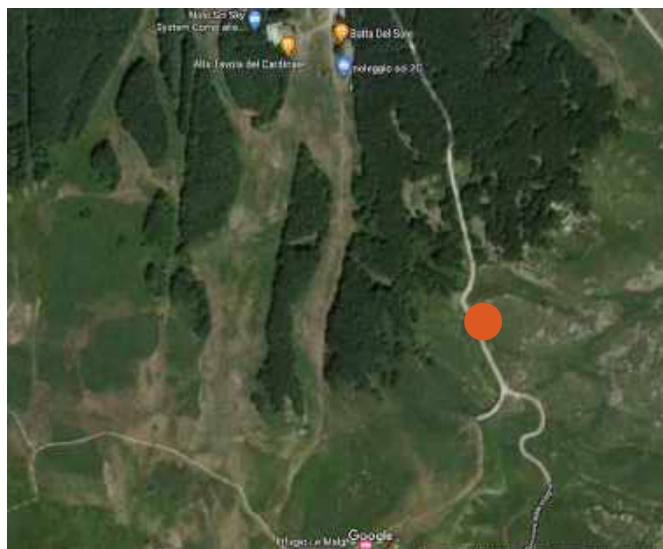
La formula di E è però da considerare valida per valori di RMR superiori di 50, mentre per valori inferiori si utilizza la formula di Serafim e Pereira (1983):

$$E = 10^{(RMRc - 10)/40}$$

Sulla base dei parametri sopra riportati, è stato possibile determinare la “Classificazione di Bienawski” su due affioramenti rocciosi appartenenti, secondo la carta geologica delle Regione Emilia Romagna, alla Formazione di Cervarola, rispettivamente membro del Torrente Dardagna (CEV1) e membro del Torrente Fellicarolo (CEV2).

Rilievo geomeccanico n. 1

Il primo rilievo, con un fronte esplorato di 10,00 m, è stato eseguito lungo il sentiero forestale alle coordinate ED50: Lat 44.125553 - Lng 10.817416, ad una quota topografica di circa 1.600 m s.l.m., su un affioramento da carta geologica della Regione Emilia Romagna del membro del Torrente Dardagna (CEV1) avente una giacitura di 255N/17° e posto a franappoggio rispetto al versante.



punto di rilievo ED50: Lat 44.125553 - Lng 10.817416

La litologia prevalente risulta di una arenite di colore beige, contenente mica, ad alto grado di cementazione, con blocchi di forma tabulare (secondo la stratificazione primaria) e con una famiglia predominante di giunti paralleli, associata ad altri giunti non persistenti, spessore dei blocchi molto inferiore alla larghezza o alla lunghezza.

L'ammasso presenta una alterazione superficiale prevalentemente a causa dell'azione gelo/disgelo e delle condizioni climatiche e meteorologiche, classificabile come di grado II delle raccomandazioni IRSM ovvero di tipo "leggermente alterata", con una decolorazione ad indicare l'alterazione della roccia e delle superfici di discontinuità, con le porzioni poste all'esterno meno resistenti della roccia fresca all'interno.




foto 11: panoramica del fronte di rilevamento geo-meccanico n. 1

Sono state individuate 7 famiglie (K1-K7) di discontinuità principali lungo il tratto di affioramento scelto, sulle quali sono state determinate le seguenti caratteristiche:

- giacitura del giunto mediante immersione (dip direction) e inclinazione (dip);
- scabrezza della superficie della discontinuità mediante analisi comparativa con i profili di scabrezza di Barton (1974);
- spaziatura;
- eventuale larghezza di apertura del giunto, suo eventuale riempimento, di quale materiale e eventuale presenza di acqua all'interno del giunto;

- misura della compattezza o resistenza a compressione uniassiale mediante sclerometro o Martello di Schmidt;
- determinazione del G.S.I. (geologica stringhi index) secondo lo schema sotto riportato (vedasi indicatore rosso)

| GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000) | | SURFACE CONDITIONS | | | | |
|---|--|---|--|---|--|--|
| STRUCTURE | | DECREASING SURFACE QUALITY → | | | | |
|  <p>INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities</p> <p>BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</p> <p>VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets</p> <p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity</p> <p>DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</p> <p>LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</p> | <p>DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES</p> <p>↓</p> | VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces | GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces | FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces | POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments | VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings |
| | | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 |
| | | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 |
| | | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 |
| | | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 |
| | | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |

La roccia indagata presenta un GSI dell'ordine di 40-50.

Le tabelle di seguito riportano i risultati del rilievo geomeccanico n. 1 eseguito.

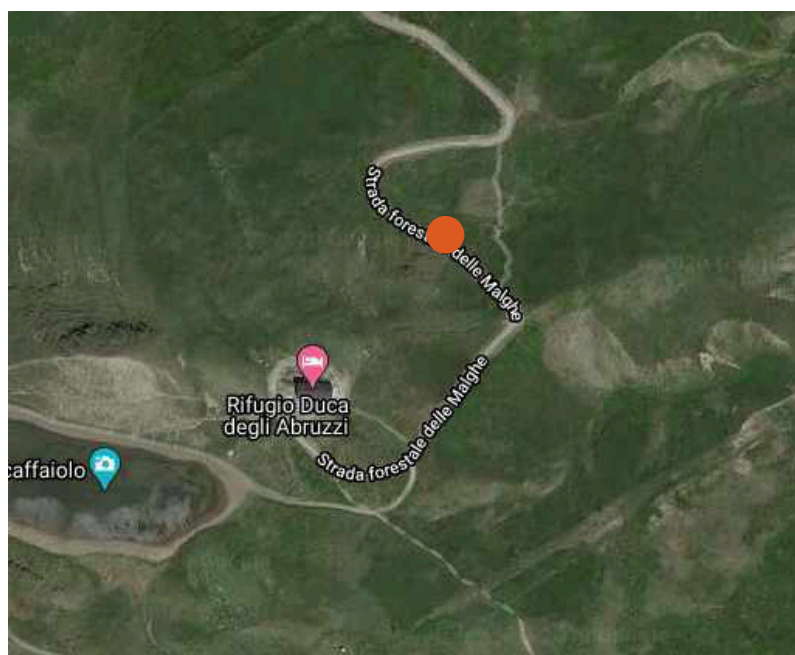
Le tabelle di seguito riportano i risultati del rilievo geomeccanico n. 1 eseguito.

| Rilievo Geomeccanico 1 affioramento 255/17° - 265/14° | | | | | | | |
|---|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Misurazioni | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 |
| dip direction/dip | 255/17 | 218/75 | 275/95 | 314/95 | 144/82 | 208/102 | 193/110 |
| | 265/14 | 205/86 | 290/115 | 314/100 | 145/85 | 205/98 | 190/110 |
| | 258/10 | 220/76 | 275/100 | 314/100 | 135/107 | | |
| | 258/10 | 217/76 | | 322/81 | 147/82 | | |
| | 245/15 | 209/87 | | | | | |
| | 282/9 | 227/80 | | | | | |

| Rilievo Geomeccanico 1 | | | | | | | |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| famiglia | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 |
| A1 | 4,00 | 6,00 | 5,74 | 5,80 | 5,86 | 5,10 | 5,86 |
| A2 | 3,00 | 3,00 | 3,15 | 3,12 | 3,12 | 3,10 | 3,20 |
| A3 | 6,50 | 9,50 | 10,55 | 17,00 | 12,00 | 20,00 | 8,20 |
| A4 | 7,00 | 4,00 | 7,00 | 11,00 | 11,00 | 12,00 | 11,00 |
| A5 | 10,00 | 10,00 | 15,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 |
| A6 | -25,00 | -25,00 | -25,00 | -25,00 | -25,00 | -25,00 | -25,00 |
| | | | | | | | |
| RMR asciutto | 20,50 | 22,50 | 26,44 | 36,92 | 31,98 | 40,20 | 28,26 |
| RMR base | 30,50 | 32,50 | 41,44 | 46,92 | 41,98 | 50,20 | 38,26 |
| RMR corretto | 5,50 | 7,50 | 16,44 | 21,92 | 16,98 | 25,20 | 13,26 |
| | | | | | | | |
| c (KPa) | 152,50 | 162,50 | 207,20 | 234,60 | 209,90 | 251,00 | 191,30 |
| phi ° | 20,25 | 21,25 | 25,72 | 28,46 | 25,99 | 30,10 | 24,13 |
| E (GPa) | 1,09 | 1,22 | 1,44 | 1,94 | 1,48 | 2,40 | 1,20 |

Rilievo geomeccanico n. 2

Il secondo rilievo, con un fronte esplorato di 5,00 m a causa dello scarso sviluppo areale, è stato eseguito lungo il sentiero forestale alle coordinate ED50: Lat 44.125553 - Lng 10.817416, ad una quota topografica di circa 1.760 m s.l.m., su un affioramento da carta geologica della Regione Emilia Romagna del membro del Torrente Fellicarolo (CEV2), posto a reggipoggio rispetto al versante. La litologia prevalente risulta di una calcilutite di colore nocciola e marrone, con letti di sedimentazione ravvicinati fra loro a formare la famiglia predominante di giunti paralleli, fessurazione ad alta densità, a formare blocchi di piccole dimensioni e prevalentemente di forma tabulare (secondo la stratificazione primaria e secondaria), spessore dei blocchi molto inferiore alla larghezza o alla lunghezza.



punto di rilievo ED50: Lat 44.120788 - Lng 10.811135

L'ammasso presenta una alterazione superficiale prevalentemente a causa dell'azione gelo/disgelo e delle condizioni climatiche e meteorologiche, di grado II o grado III delle raccomandazioni IRSM ovvero di tipo rispettivamente "leggermente alterata" con una decolorazione ad indicare l'alterazione della roccia e delle superfici di discontinuità, con le porzioni poste all'esterno meno resistenti della roccia fresca all'interno o in alternativa "moderatamente alterata", ovvero "meno della metà del materiale è decomposto e/o disgregato come un terreno, la roccia fresca è presente come uno scheletro continuo o all'interno dei singoli blocchi".



foto 12: panoramica del fronte di rilevamento geo-meccanico n. 2

Sono state individuate 6 famiglie (K1-K6) di discontinuità principali lungo il tratto di affioramento scelto, sulle quali sono state determinate anche in questo caso le seguenti caratteristiche:

- giacitura del giunto mediante immersione (dip direction) e inclinazione (dip);
- scabrezza della superficie della discontinuità mediante analisi comparativa con i profili di scabrezza di Barton (1974);
- spaziatura;
- eventuale larghezza di apertura del giunto, suo eventuale riempimento, di quale materiale e eventuale presenza di acqua all'interno del giunto;
- misura della compattezza o resistenza a compressione uniassiale mediante sclerometro o Martello di Schmidt;
- determinazione del G.S.I. (geologica stringhi index) secondo lo schema sotto riportato (vedasi indicatore rosso)

| GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000) | | SURFACE CONDITIONS | | | | |
|--|--|---|--|---|--|--|
| STRUCTURE | | SURFACE CONDITIONS | | | | |
| | | DECREASING SURFACE QUALITY → | | | | |
| | | VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces | GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces | FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces | POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments | VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings |
| STRUCTURE | INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities | 90 | 80 | 70 | N/A | N/A |
| | BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets | 80 | 70 | 60 | | |
| | VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets | 70 | 60 | 50 | | |
| | BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity | 60 | 50 | 40 | 30 | |
| | DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |
| | LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes | N/A | N/A | | | |

La roccia indagata presenta un GSI variabile da 10 a 20.

Le tabelle di seguito riportano i risultati del rilievo geomeccanico n. 2 eseguito.

| Rilievo Geomeccanico 2 affioramento 240/10 | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| Misurazioni | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 |
| dip direction/dip | 240/10 | 290/84 | 310/43 | 23/85 | 332/83 | 89/77 |

| Rilievo Geomeccanico 2 | | | | | | |
|------------------------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|
| famiglia | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 |
| A1 | 1,89 | 1,44 | 1,44 | 1,44 | 4,72 | 1,89 |
| A2 | 3 | 3 | 3,1 | 3,17 | 3,3 | 3,2 |
| A3 | 5,1 | 14 | 6,55 | 8,5 | 8,9 | 9,38 |
| A4 | 11 | 12 | 4 | 8 | 5 | 3 |
| A5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| A6 | -15 | -15 | -15 | -15 | -15 | -15 |
| | | | | | | |
| RMR asciutto | 20,99 | 30,44 | 15,09 | 21,11 | 21,92 | 17,47 |
| RMR base | 30,99 | 40,44 | 25,09 | 31,11 | 31,92 | 27,47 |
| RMR corretto | 15,99 | 25,44 | 10,09 | 16,11 | 16,92 | 12,47 |
| | | | | | | |
| c (KPa) | 154,95 | 202,2 | 125,45 | 155,55 | 159,6 | 137,35 |
| phi ° | 20,495 | 25,22 | 17,545 | 20,555 | 20,96 | 18,735 |
| E (GPa) | 1,38 | 2,39 | 1,00 | 1,41 | 1,47 | 1,14 |

La TAV. 4 riporta l'ubicazione dei rilievi geomeccanici eseguiti.

6. INDAGINE SISMICA

Nell'area oggetto di intervento sono state eseguite n. 2 indagini sismiche di diversa tipologia, ovvero una prova sismica a shot singolo con metodo MASW e tre prove a rifrazione tomografica; di entrambi di seguito si riportano le tipologie realizzative i parametri sismici desunti, mentre si rimanda alla TAV. 3 per le sezioni sismostratigrafiche e alla TAV. 4 per l'ubicazione dei vari stendimenti.

• MASW

Il metodo MASW (Multichannel Acquisition Surf Wave) ha come obiettivo quello di ricostruire il profilo sismostratigrafico di un sito, valutando in particolare la distribuzione della velocità delle onde "S", sia per la ricostruzione del profilo del sottosuolo che per la definizione in situ della Vseq.

Il metodo MASW prevede la costruzione di una curva di dispersione per le onde di superficie, attraverso l'elaborazione di un'immagine di dispersione derivata dall'analisi della propagazione delle onde di Rayleigh e, quando necessario, delle onde di Love.

La tecnica di prospezione MASW utilizza quindi un'immagine rappresentativa delle frequenze delle onde superficiali, espressa in funzione della velocità di fase delle stesse. Nell'immagine di dispersione (Over Tone Image) viene inoltre enfatizzata cromaticamente l'ampiezza delle vibrazioni evidenziando così le aree corrispondenti al miglior rapporto segnale/disturbo.

Una volta individuata la sequenza di frequenze e velocità di fase corrispondenti alla più probabile distribuzione della dispersione nel sottosuolo esaminato (analisi della curva di dispersione) si procede alla ricostruzione delle stratigrafia rappresentativa della distribuzione delle velocità delle onde S tramite l'utilizzo di un algoritmo di inversione.

La tecnica di prospezione MASW può essere così schematizzata:

- acquisizione delle onde superficiali;
- - costruzione delle curve di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- - inversione delle curve di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Le indagini MASW vengono eseguite disponendo sul terreno almeno 24 sensori (geofoni), posti ad intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive ad alta frequenza in corrispondenza di un punto prestabilito lungo il profilo (punto di scoppio): nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (trigger). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con intervallo di campionamento pari a 0.25 ms e tempo di registrazione pari ad almeno 1 secondo. Ogni scoppio ed ogni registrazione per ogni distanza di offset se necessario vengono ripetuti tre volte.

Lo strumento utilizzato è il sismografo digitale X610S-S di produzione M.A.E. s.r.l. ad acquisizione digitale con dinamica a 24 bit, mentre gli impulsi sismici sono stati generati con l'utilizzo di una massa battente da 10.0 Kg.

Le immagini di dispersione rappresentano, in forma grafica, lo spettro di dispersione delle onde di Rayleigh che si propagano nel sottosuolo dell'area indagata. Le immagini illustrano la dispersione vera e propria intesa come variazione della velocità di fase in funzione delle frequenze dello spettro. Evidenziano inoltre l'ampiezza delle vibrazioni (energia associata) utilizzando variazioni di toni di colori.

L'obiettivo dell'analisi dell'immagine di dispersione è l'individuazione del "tono fondamentale" della vibrazione (fundamental mode), distinguendolo da tutti gli ipertoni associati (higher tone) e dai rumori di fondo (noise). L'individuazione del "tono fondamentale" permette di giungere alla principale chiave di lettura della prospezione cioè all'individuazione della "curva di dispersione" e quindi, tramite inversione, alla ricostruzione della sequenza sismostratigrafica del sito indagato.

Il profilo delle Vs è determinato sulla base di un algoritmo iterativo di inversione che utilizza i dati ottenuti dallo studio della curva di dispersione. L'interpretazione è stata effettuata per entrambi i metodi di filtrazione adottati. L'algoritmo si basa sulle seguenti considerazioni:

- la frequenza è direttamente legata alla profondità di indagine (basse frequenze alte profondità);
- la velocità di fase dipende essenzialmente dalle proprietà elastiche dei materiali interessati dal propagarsi della perturbazione.

L'algoritmo di inversione tiene inoltre conto della necessità di soddisfare la seguente relazione:

$$z_f = a \lambda f$$

dove:

z_f = profondità di propagazione della frequenza f ;

a = coefficiente adimensionale;

λf = lunghezza d'onda corrispondente alla frequenza f .

Sulla base di quanto sopra, è stato possibile determinare il seguente profilo stratigrafico da prova sismica MASW:

| Strato | Spessore medio (m) | Vs (m/s) |
|--------|--------------------|----------|
| 1 | 1.19 | 241.26 |
| 2 | 1.49 | 159.39 |
| 3 | 1.86 | 242.73 |
| 4 | 2.33 | 456.10 |
| 5 | 2.91 | 460.21 |
| 6 | 3.63 | 366.03 |
| 7 | 4.54 | 537.27 |
| 8 | 5.68 | 657.92 |
| 9 | 7.10 | 434.61 |
| 10 | 7.68 | 555.16 |

Utilizzando le metodologie e le formule di cui al paragrafo relativo alla metodologia MASW e seguendo le prescrizioni del D.M. 17.01.2018 la determinazione della V_{seq} è stata ottenuta utilizzando la formula:

dove:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

h_{strato} = spessore dello strato iesimo;

V_s strato = Velocità onde di taglio dello strato iesimo;

N = numero degli strati;

H = profondità del substrato (H = 30 m nel caso di substrato a profondità maggiore di 30 m)

La V_{seq} , senza specifiche indicazioni dei progettisti, è calcolata per ogni shot di ogni linea sismica MASW eseguita a partire dal piano di campagna.

Nel nostro caso V_{seq} è pari a 399,84 m/sec.

Relativamente ai parametri geofisici dei terreni del primo sottosuolo, possiamo fornire i seguenti parametri:

| Prova Masw | | | | | |
|------------|----------|----------|-------------------------------------|---------|----------|
| Profondità | Vp (m/s) | Vs (m/s) | γ_{din} (kN/m ³) | E (Mpa) | G0 (Mpa) |
| 1.19 | 590.97 | 241.26 | 16.81 | 279.45 | 99.80 |
| 2.68 | 390.43 | 159.39 | 15.54 | 112.73 | 40.26 |
| 4.54 | 594.56 | 242.73 | 16.83 | 283.18 | 101.14 |
| 6.86 | 1594.48 | 456.10 | 20.30 | 1206.00 | 430.71 |
| 9.77 | 1389.40 | 460.21 | 19.78 | 1243.50 | 427.19 |
| 13.40 | 1304.49 | 366.03 | 19.54 | 768.13 | 267.01 |
| 17.94 | 2159.36 | 537.27 | 21.51 | 1845.20 | 633.10 |
| 23.62 | 2801.91 | 657.92 | 22.60 | 2926.77 | 997.53 |
| 30.71 | 2038.66 | 434.61 | 21.27 | 1205.38 | 409.77 |
| 38.39 | 1930.77 | 555.16 | 21.06 | 1953.73 | 661.75 |

con:

γ_{din} = Densità Dinamica (KN/m³)

E =Modulo di Young (MPa)

G0 = modulo di taglio dinamico (MPa).

• RIFRAZIONE TOMOGRAFICA

Il metodo sismico a rifrazione è un metodo non invasivo che si basa sulla misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche (P o S) generate in superficie da una sorgente sismica e captate da ricevitori, anch'essi in superficie, disposti su un allineamento a diverse distanze dalla sorgente. I tempi di primo arrivo, correlati alle diverse distanze sorgente-ricevitore, permettono la stima (calcolo) delle geometrie del sottosuolo (topografia o disposizione morfologica delle interfacce) e delle velocità di propagazione delle onde sismiche.

Le indagini sismiche a rifrazione effettuate con modalità tomografica vengono eseguite sistemando sul terreno un numero di geofoni non inferiore a 12 ed eseguendo energizzazioni nel terreno ad intervalli di spazio regolari.

L'indagine sismica a rifrazione è stata effettuata utilizzando uno stendimento di 24 geofoni di frequenza pari a 10 Hz. La distanza, che viene tenuta fissa, tra un geofono e l'altro definisce l'intera geometria dello stendimento, (nel caso specifico pari a 4 m).

I treni di onde P sono generati tramite l'uso di un cannoncino sismico in grado di fare esplodere cartucce per uso tecnico cal. 8 Kiln.

Il posizionamento planoaltimetrico di tutti gli shots eseguiti e dei geofoni è stato effettuato attraverso l'esecuzione di un rilievo GPS con strumentazione Leica serie 1200 RX 1250.

L'analisi delle immagini tomografiche evidenziano in tutte le linee eseguite la presenza di tre zone omogenee (sismostrati):

1. Sismostrato 1: presenza di una zona superficiale (colore azzurro blu e verde), caratterizzata da bassi valori di V_p (minori di 1000 m/s); i terreni che costituiscono questo sismostrato sono i terreni di alterazione, pedogenizzati e sono caratterizzati da scarse proprietà geotecniche; tale strato si evidenzia dal p.c. attuale sino alla profondità mediamente di 3,00-5,00 m dal p.c. attuale, con anche locali approfondimenti sino a 7,00-10,00 m in corrispondenza dello stendimento n. 1.
2. Sismostrato 2: presenza di un orizzonte intermedio individuabile per velocità di propagazione delle onde P comprese tra di 1000 m/s e 2000 m/s (colore da giallo ad arancione) interpretabile come formazione alterata e detensionata; lo spessore del suddetto sismostrato risulta dell'ordine di 3,50-4,50 m in corrispondenza della fascia di valle mentre verso monte risulta maggiore, dell'ordine di 6,00-9,70 m.
3. Sismostrato 3: presenza di un ulteriore sismostrato individuabile per velocità di propagazione delle onde P maggiori di 2000 m/s (colore da arancione a rosso) che corrisponde alla formazione inalterata e il cui tetto risulta ubicato alla profondità di circa 10,00-15,00 m dal p.c. attuale e localmente a 20,00 m in corrispondenza dello stendimento sismico n. 2.

La tabella di seguito riporta uno schema di quanto sopra descritto, mentre la TAV. 3 di pag. 45 illustra in modo grafico gli spessori e gli andamenti delle velocità delle onde P nei terreni del primo sottosuolo.

| Sismostrato | descrizione | Vp (m/sec) | da (m) | a (m) |
|-------------|----------------------------------|----------------|-------------|-------------|
| 1 | depositi detritici sciolti | <1.000 | 0,00 | 3,00-5,00 |
| 2 | roccia detensionata e/o alterata | 1.000<Vp<2.000 | 3,00-5,00 | 10,00-20,00 |
| 3 | roccia inalterata | >2.000 | 10,00-20,00 | Semispaio |

Oltre ad indicazioni rispetto agli spessori dei sismostrati derivati dagli stendimenti a tomografia sismica, l'indagine sismica, in particolare la MASW, permette una correlazione con i parametri geotecnici necessari alla progettazione di quanto previsto, secondo una correlazione fra Vs alla qc secondo la relazione di Prakoso (2010), ovvero:

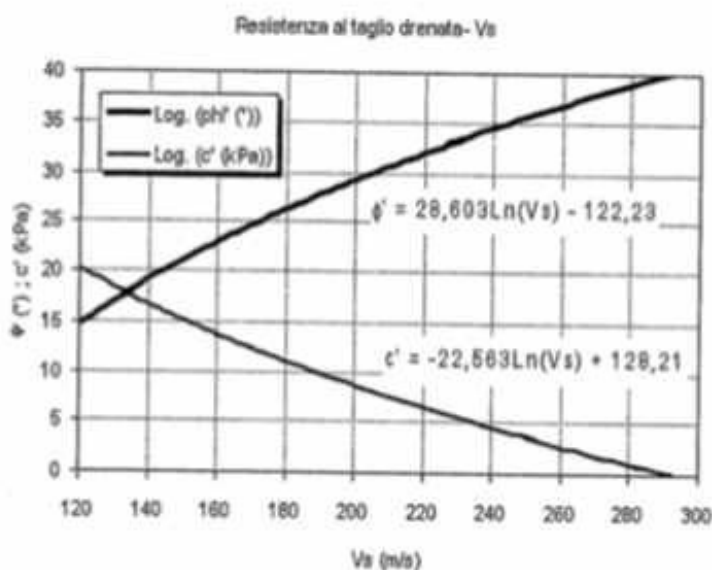
$$q_c = \left(\frac{V_s}{111,21} \right)^{1/0,37}$$

Da questa, tramite le seguenti equazioni logaritmiche (valide per valori Vs < 300 m/s), è possibile correlare la coesione drenata c' (kPa) e l'angolo d'attrito efficace ϕ' (°) con i valori di Vs misurati.

$$\phi' = 28,603 \cdot \ln(V_s) + 122,23$$

$$c' = 128,21 - 22,563 \cdot \ln(V_s)$$

Secondo l'abaco di correlazione c' e ϕ' con Vs di cui sotto:

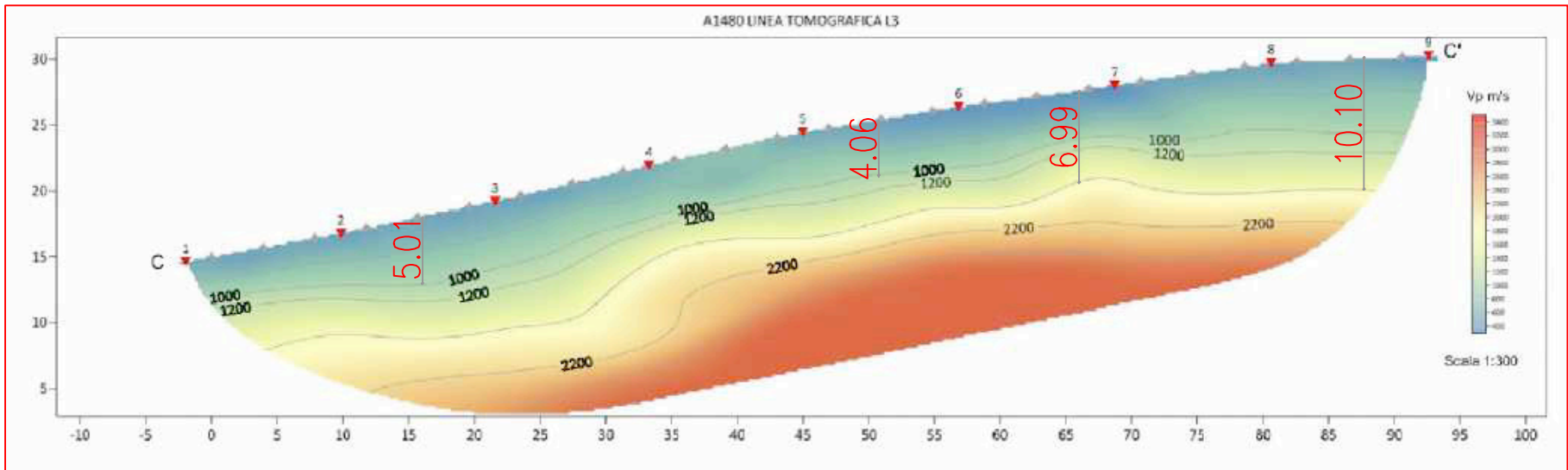
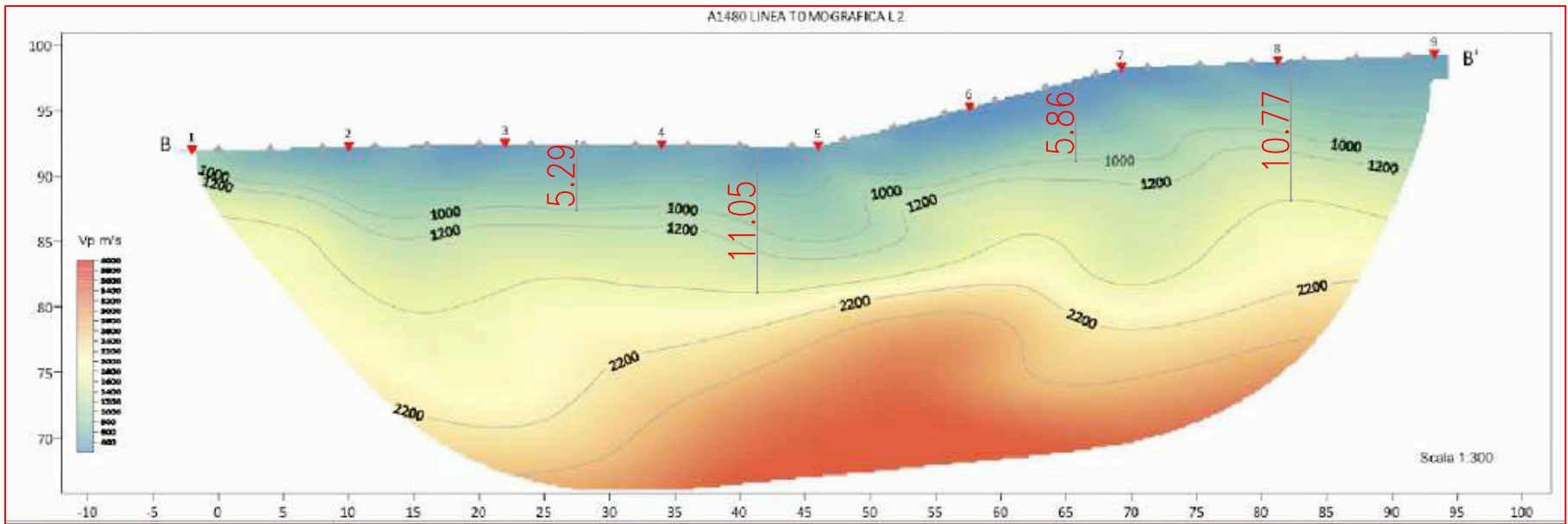
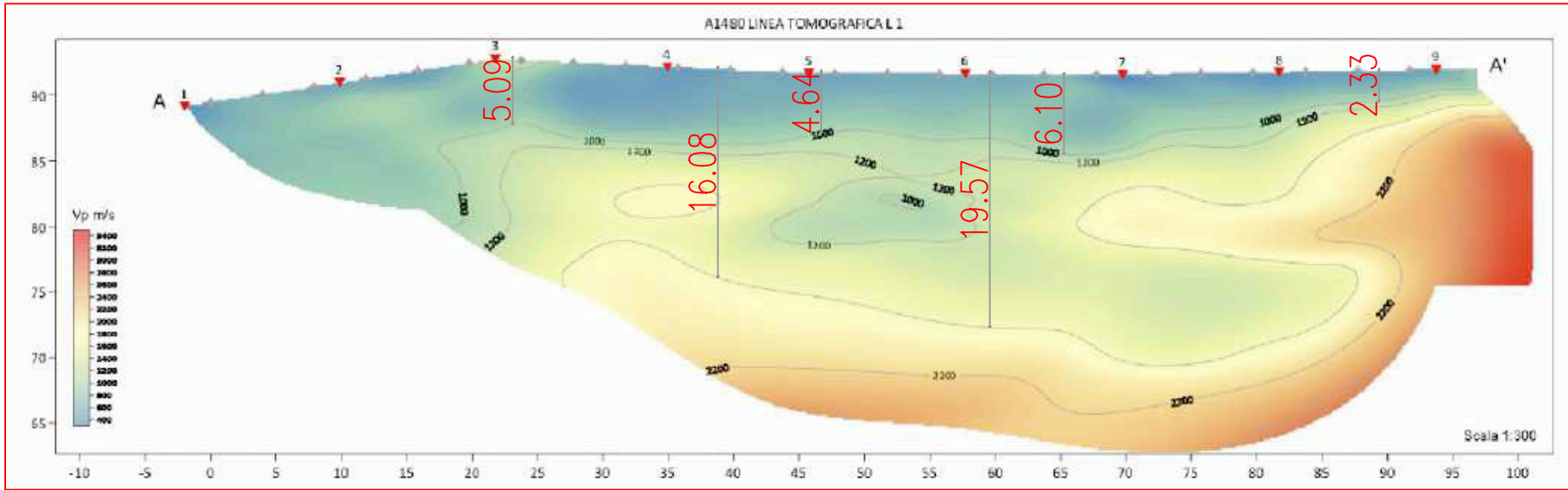


Nel nostro caso, per il solo orizzonte di terreno superficiale, si ottiene:

| Prova MASW | | | | | | Spessori | GEOTECNICA | | |
|------------|-------------|-------------|------------------------------------|-----------|-------------|----------|------------|-----------|-------|
| Profondità | V_p (m/s) | V_s (m/s) | γ_{40} (kN/m ³) | E (Mpa) | G_0 (Mpa) | | Z | φ | c' |
| 1.19 | 590.97 | 241.26 | 16.81 | 279.45 | 99.80 | 1.19 | 1.19 | 34.68 | 4.43 |
| 2.68 | 390.43 | 159.39 | 15.54 | 112.73 | 40.26 | 1.49 | 2.68 | 22.83 | 13.78 |
| 4.54 | 594.56 | 242.73 | 16.83 | 283.18 | 101.14 | 1.86 | 4.54 | 34.86 | 4.30 |

Tabella n° 7 – Parametri geotecnici

Per un maggior dettaglio delle modalità esecutive e di calcolo, si rimanda agli allegati delle relazioni sismiche negli apposti moduli.



7. ANALISI DI LABORATORIO DI TIPO GEOTECNICO

Allo scopo di caratterizzare i terreni di origine glaciale e periglaciale e dei depositi quaternari in generale (rispettivamente “c3” e “a3” della carta geologica della Regione Emilia Romagna), è stato prelevato, mediante sondaggio con pala meccanica, un campione di terreno superficiale, posto al disotto dell’orizzonte vegetale esistente, precisamente alla profondità indicativa di 1,50-1,60 m dal p.c. attuale; l’ubicazione del sondaggio viene riportata di seguito in TAV. 4.

Lo stesso campione, di tipo disturbato, è stato selezionato eliminando già in campagna i frammenti rocciosi più grossolani ivi compresi e successivamente, presso il laboratorio “Geo Tea” di San Lazzaro di Savena (BO), dapprima setacciandolo opportunamente per eliminare la porzione di materiale trattenuto al setaccio superiore ai 2 mm, e poi provvedendo alla sua ricompattazione e consolidamento direttamente in scatola di taglio, come di seguito descritto.

In prima battuta il campione di terreno prelevato dallo scavo è stato diviso in due porzioni equivalenti in peso e l’analisi granulometrica eseguita ha determinato le percentuali di ghiaia, sabbia, limo e argilla sotto riportate:

| campione n. | Ghiaia (%) | Sabbia (%) | Limo (%) | Argilla (%) | D₁₀ (mm) | D₆₀ (mm) |
|--------------------|-------------------|-------------------|-----------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 50,42 | 41,64 | 7,54 | 0,40 | 0,097 | 6,223 |
| 2 | 38,65 | 44,62 | 15,91 | 0,82 | 0,020 | 1,85 |

Risultandone, per il campione 1, una ghiaia con sabbia limosa e per il campione 2 una sabbia con ghiaia limosa.

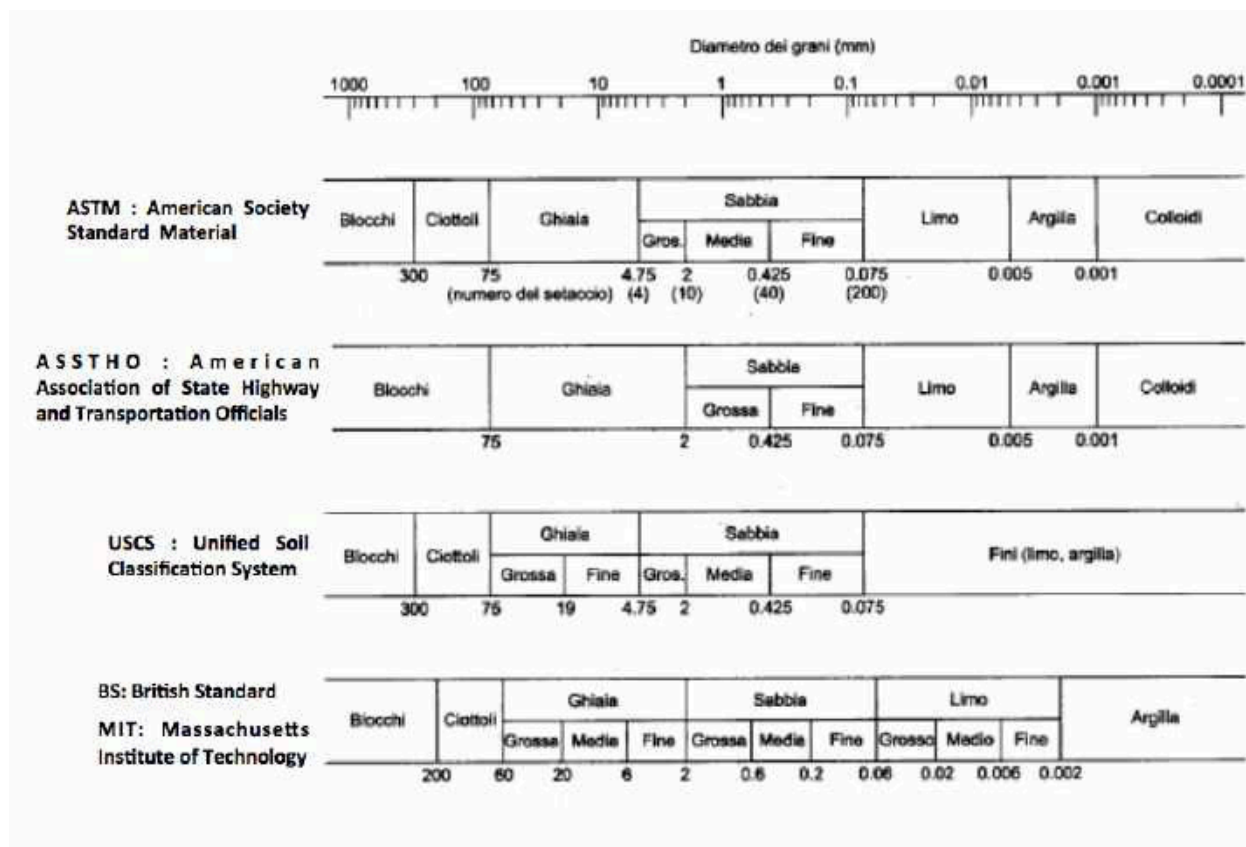
Sulla base del D₁₀ e D₆₀ (diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa) è stato possibile determinare il coefficiente di uniformità, $U = D_{60}/D_{10}$ che è risultato in entrambi i casi >15, pertanto si tratta di terreni “decisamente ben gradati”.

Sugli stessi la determinazione dei Limiti di Atterberg non è stata possibile, in quanto la porzione argillosa e il contenuto in acqua erano troppo scarsi per poterli calcolare.

L’analisi granulometrica eseguita sui campioni di terreno al passante 2 mm, pertanto al disotto della frazione ghiaiosa, ha invece determinato le seguenti proporzioni sul peso totale dei campioni di terreno:

| campione n. | passante 2 mm (%) diametro inferiore a ghiaia | passante 0,42 mm (%) diametro inferiore a sabbia | passante 0,075 mm (%) diametro inferiore a argilla |
|--------------------|--|---|---|
| 1 | 49,58 | 41,64 | 7,54 |
| 2 | 61,35 | 41,24 | 18,31 |

Ciò significa che per entrambi i campioni la frazione argillosa risulta variabile fra il 7,5% e il 18,30% del peso totale, mentre la frazione limosa è dell'ordine del 41% ed infine la frazione sabbiosa risulta variabile da 49 a 61 % circa, consentendo di classificare tali campioni come sabbia con limo debolmente argillosa e sabbia con limo argillosa. Dove il diametro dei granuli è classificato come di seguito:



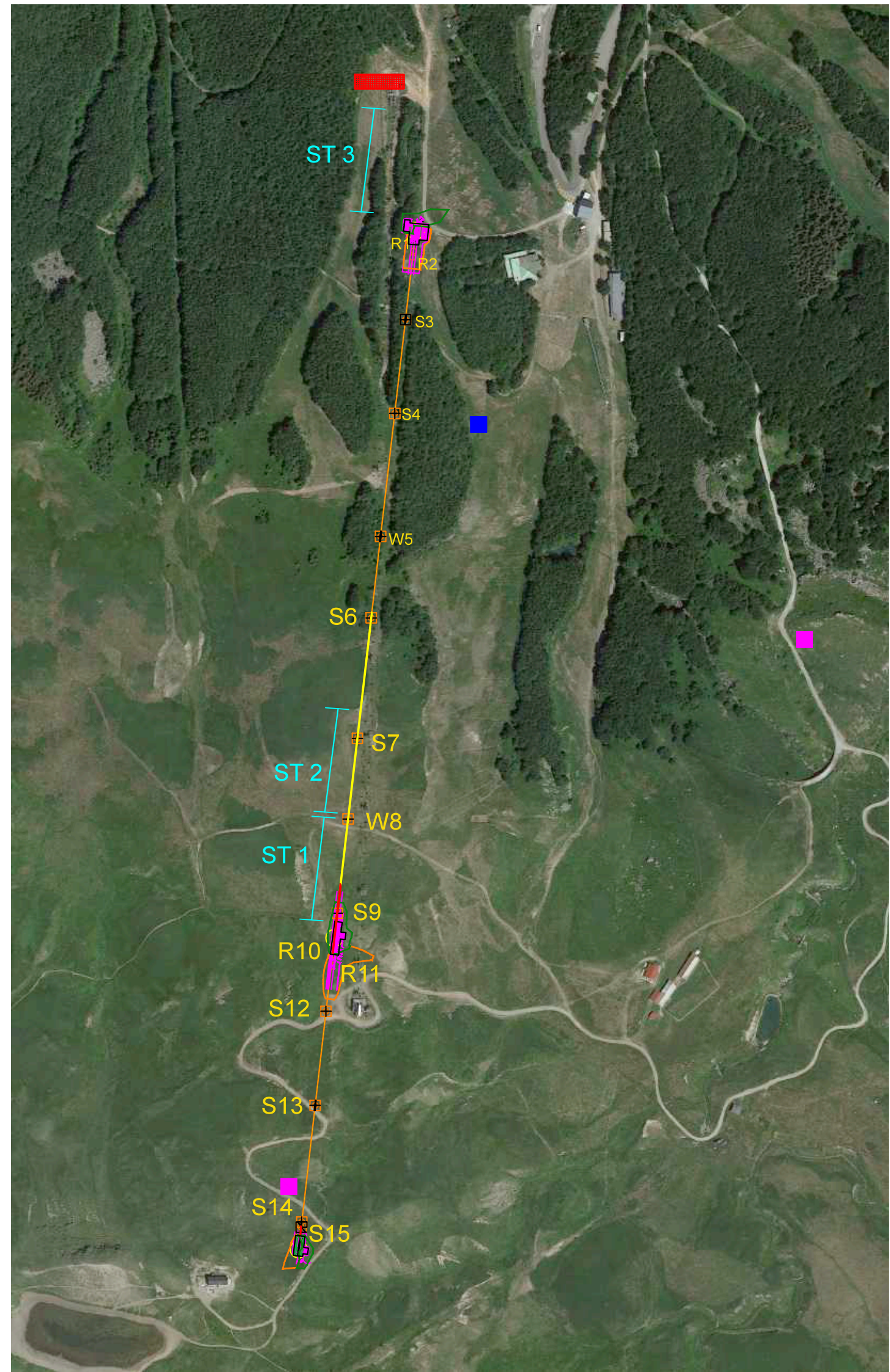
L'indice di gruppo, secondo l'U.S.C.S., ha determinato come i campioni siano classificabili "A1-a" e "A1-b", ovvero materiali rocciosi e terreni granulari più o meno di grossa pezzatura, pressoché insensibili all'azione dell'acqua e del gelo.

Alla prova di taglio diretto C.D. eseguita secondo le norme CNR-UNIUSCS, i provini hanno evidenziato i seguenti valori di c' (coesione, KPa) e angolo di attrito interno (ϕ'):

| campione n. | c' (KPa) | ϕ' (°) |
|-------------|------------|-------------|
| 1 | 1,40 | 34,56 |
| 2 | 3,52 | 34,14 |

Detti parametri risultano decisamente confrontabili e dello stesso ordine di grandezza rispetto a quanto desunto dai valori di c' e ϕ' derivati tramite correlazioni empiriche dalla velocità delle onde S dell'indagine sismica MASW (pag. 44 del presente elaborato).

I risultati delle analisi di laboratorio vengono riportate in allegato negli appositi moduli.



LEGENDA

-  rilievo geo-meccanico
-  sondaggio con pala meccanica
-  ST 1
tomografia sismica
-  MASW

8. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DEI TERRENI DEL PRIMO SOTTOSUOLO

Sulla base dei rilievi geomeccanici, sui risultati dell'indagine sismica e sulle analisi di laboratorio di tipo geotecnico eseguiti, possiamo descrivere e parametrizzare il seguente modello geologico e geotecnico relativo alle formazioni geologiche interagenti con le opere in progetto, allo scopo di fornire strumenti di dimensionamento delle opere di fondazione in funzione delle caratteristiche intrinseche dei terreni del primo sottosuolo e della loro collocazione geografica.

L'area oggetto di intervento, volendo descriverne il modello geologico, e sulla base delle litologie riscontrate sulla carta geologica della Regione Emilia Romagna, risulta prevalentemente costituita da:

1. depositi sciolti (glaciali e periglaciali e depositi di versante s.l.):

- rappresentati da masse caotiche di ciottoli rocciosi immersi in matrice sabbioso limosa e/o raramente argillosa, approssimativamente simili per tessitura e composizione granulometrica;
- sono caratterizzati da valori di V_p inferiori a 1.000 m/sec e parametri geotecnici dell'ordine di 1,4-3,5 KPa di coesione c' e di circa 34° di angolo di attrito interno ϕ' ; si sottolinea che dall'analisi delle Vs (MASW) e la relativa correlazione per la determinazione dei parametri geotecnici ha evidenziato la presenza di uno spessore caratterizzato da un angolo di attrito di 22° e una coesione c' pari a 13,78 KPa.
- il sismostrato relativo si attesta, a partire dal piano campagna, sino alla profondità media di 3,00-5,00 m dal p.c. attuale, solo localmente sino a 7,00-10,00 m.

2. litotipi rocciosi alterati e detensionati:

- costituiti dal substrato roccioso, di qualsivoglia tipologia, ma alterato e detensionato a causa di fenomeni tettonici, di alterazione superficiale e di fenomeni erosivi subiti a causa dei movimenti del ghiacciaio in attività durante il periodo wurmiano;
- non risultano affioranti ma la loro presenza è desunta dall'indagine sismica eseguita;
- i parametri sismici peculiari di tale unità geologica sono caratterizzati da valori di V_p compresa fra 1.000 e 2.000 m/sec, con spessori medi di dell'ordine di 3,50-4,50 m in corrispondenza della fascia di valle mentre verso monte risulta maggiore, dell'ordine di 6,00-9,70 m.

3. Litotipi rocciosi costituenti il substrato:

- risultano affioranti in corrispondenza della fascia di monte e ad Est dell'area oggetto di intervento, a loro volta suddivisi fra Membro del Torrente Dardagna, con facies francamente arenitica caratterizzata da bancate di relativamente potente spessore con giacitura a franappoggio in corrispondenza del rilievo geomeccanico, n. 1 e Membro del Torrente Fellicarolo, caratterizzato da facies siltosa, a letti di sedimentazione più sottili e a giacitura a reggiappoggio in corrispondenza del rilievo geomeccanico n. 2;
- il tetto di tale litotipo risulta ubicato alla profondità di circa 10,00-15,00 m dal p.c. attuale e localmente a 20,00 m in corrispondenza dello stendimento sismico n. 2.

Dal punto di vista geotecnico, sulla base delle indagini eseguite, è possibile indicare per ogni unità geologica sopra descritta, i seguenti parametri, sottolineando che si tratta di parametri di massima:

| Unità geotecnica (U.G.) | profondità (m) da | profondità (m) a | c' (KPa) | ϕ' (°) | Cu (KPa) | E (GPa) |
|---|---------------------|---------------------|-----------------|---------------|----------|-------------------|
| 1 (depositi glaciali e periglaciali, depositi di versante s.l., terreni granulari sciolti) | 0,00 | 3,00 - 10,00 | 1,40-3,52 | 34 | — | — |
| 2 substrato roccioso alterato | 3,00 - 10,00 | 10,00 - 20,00 | — | — | — | — |
| 3a Substrato roccioso (Dardagna) | 10,00 - 20,00 | >50,00? | 152 - 251 | 20 - 30 | — | 1,00 - 2,40 |
| 3b Substrato roccioso (Fellicarolo) | 10,00 - 20,00 | >50,00? | 125 - 200 | 17 - 25 | — | 1,00 - 2,39 |

Si sottolinea che i parametri derivati dalla classificazione di Beniaowski di cui al parametro relativo sono caratteristici della roccia intatta e non di quella alterata e detensionata evidenziata dall'indagine sismica.

Inoltre si evidenzia come i parametri derivanti dalle analisi di laboratorio di tipo geotecnico siano in linea con quanto determinato mediante le correlazioni che dal parametro Vs determinano i valori geomeccanici c' e ϕ' , confermandone il dato e la validità.

9. LAVORI IN PROGETTO

Si tratta del progetto per la nuova seggiovia quadriposto ad ammorsamento automatico posta fra la località "Polle" e la fascia a Nord/Est del "Rifugio Duca degli Abruzzi", avente uno sviluppo in pianta della lunghezza di circa 1.030 m circa, a coprire un dislivello di quota di circa 300,00 m; il progetto di nuova edificazione seguirà la demolizione degli impianti "Direttissima" e "Cupolino" esistenti e obsoleti.

Si sottolinea che le indicazioni riportate di seguito, sulla base dell'ipotesi da parte dai Progettisti dell'impianto, risultano del tutto preliminari, in quanto le fondazioni delle strutture e più in generale quanto in progetto dovrà, in ogni caso, essere progettato e dimensionato anche in ragione dell'esito dello studio geologico di cui al presente documento, secondo quanto previsto dalla Normativa in Materia di costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018.

Il nuovo impianto determina la realizzazione di n. 3 stazioni, denominate da progetto valle, intermedia e monte, dove la prima risulta attestata alla quota di 1.487,38 m s.l.m., e si estende complessivamente su una superficie di 395 mq, mentre quella intermedia, posta alla quota di 1.669,00 m s.l.m. copre un'area in pianta di 274 mq, ed infine la stazione di monte è ubicata alla quota di 1.782,60 m s.l.m. ad occupare un'area di 208 mq.

E' in progetto inoltre la posa in opera di n. 15 tralicci di sostegno in acciaio zincato, aventi una altezza massima di 15 m fuori terra, poggianti su plinti opportunamente dimensionati e disposti su un piccolo strato di calcestruzzo magro dello spessore indicativo pari a 10 cm. Per questo aspetto di seguito saranno fornite alcune indicazioni che dovranno essere recepite in fase di progettazione esecutiva degli interventi.

In corrispondenza delle stazioni sono previste opere di rimodellamento della morfologia originaria, con la realizzazione di sbancamenti e riporti di terreno, con spessori indicativi in sezione come da tabella di seguito riportata:

| Stazione | Area in pianta interessata dai riporti di terreno (mq) | Area in pianta interessata dagli sbancamenti di terreno (mq) | Spessore massimo riporto (m) | Spessore massimo sbancamento (m) |
|------------|--|--|------------------------------|----------------------------------|
| valle | 605,00 | 780,00 | 2,40 | 3,80 |
| intermedia | 835,00 | 1.064,00 | 7,80 | 3,30 |
| monte | 305,00 | 355,00 | 4,20 | 2,20 |

Un breve tratto della strada forestale posto in prossimità della stazione di valle sarà oggetto di riprofilatura per consentire l'accesso dei mezzi di cantiere, senza sostanziali movimentazioni di terreno.

In considerazione della caratterizzazione geo-litologica, sismica e geotecnica eseguita sui terreni interessati dalle lavorazioni, e della tipologia di intervento, si ritiene che quanto in progetto potrà ritenersi valido a meno di alcune prescrizioni di carattere geologico e geotecnico.

Le fondazioni previste, siano quelle relative alle stazioni che quelle dei plinti dei sostegni, dovranno essere dimensionate e poste a profondità adeguate in funzione della litologia localmente presente, e della eterogeneità dal punto di vista dei parametri geotecnici che la contraddistinguono.

In ogni caso il piano di posa delle fondazioni, qualora il progettista valutasse l'opportunità di adottare fondazioni di tipo superficiale alla base delle strutture aventi carichi strutturali contenuti, dovrà attestarsi comunque ad una profondità di almeno 1,20-1,40 m dal p.c. attuale, allo scopo di superare i terreni di alterazione superficiale ed evitare che i terreni di fondazione risentano eccessivamente delle variazioni climatiche stagionali. Qualora all'ipotizzato piano di posa di qualsivoglia tipologia di fondazione dovessero evidenziarsi terreni di caratteristiche fisico meccaniche scarse, si renderà necessario approfondire maggiormente il piano di posa, o in alternativa prevedere una bonifica locale mediante l'asportazione dell'orizzonte di terreno scadente e la loro sostituzione con magrone.

Nel caso in cui le sollecitazioni rappresentate dalle strutture in elevazione, in particolare dicasi per i tralicci di sostegno della seggiovia posizionati lungo il percorso di progetto, e l'eventuale presenza di carichi eccentrici (in base anche ai venti predominanti caratterizzanti l'area di crinale), non risultassero compatibili con le caratteristiche geomeccaniche dei terreni ospitanti le fondazioni superficiali, si dovrà prevedere la realizzazione di fondazioni profonde, adeguatamente ammorsate all'interno del substrato roccioso inalterato, allo scopo di evitare risposte insufficienti da parte dei terreni di fondazione e, non secondariamente, alterazioni del grado di stabilità del pendio dovute ai sovraccarichi imposti dalle strutture in progetto.

Durante gli scavi potrebbe inoltre insorgere la necessità di abbassare temporaneamente il livello statico di eventuali circolazioni idriche sotterranee, qualora le stesse interagissero con gli scavi e risultassero di portata tale da non consentire le opportune lavorazioni.

Tutti gli scavi previsti dovranno essere tenuti aperti per il minimo tempo indispensabile al cantiere, ed eventualmente essere ricoperti con teli impermeabili che ne impediscano il dilavamento superficiale, specie a seguito di precipitazioni particolarmente copiose e persistenti.

I movimenti di terreno mediante riporti dovranno essere eseguiti in modo da non pregiudicare la stabilità dell'area e predisponendo opportune opere idrauliche atte alla regimentazione delle acque di circolazione idrica superficiale e del primo sottosuolo; inoltre sarà necessario provvedere all'asportazione dello strato superficiale di origine vegetale, per spessori di almeno 40 cm, e la conformazione del piano di posa a gradoni facendo in modo che la pendenza trasversale non superi il 5%.

Per quanto riguarda il terreno da utilizzare, se per opere di scarsa entità, potrà essere utilizzato quanto ricavato dagli sbancamenti, avendo sempre la massima cura di scartare i litotipi che includono sostanze vegetali o di alterazione più scadenti. Il materiale dovrà essere steso per strati dello spessore massimo di 30 cm, opportunamente rullati e compattati.

Come angolo di pendio per i terreni di riporto, se opportunamente compattati, drenati e ricoperti in fase di fine lavori da manto erboso (previa necessaria idrosemina in funzione della altitudine del sito di indagine), potrà essere adottato per i terreni di copertura un valore dell'ordine di 30° (3/5).

Qualora detto angolo non fosse compatibile con le opere previste, si renderà necessaria la realizzazione di opere di ingegneria naturalistica di rinforzo quali ad esempio “terre rinforzate”, che consentono di adottare angoli di scarpa in facciata dell'ordine di 60-70° e consentono di sopportare anche carichi normalmente agenti.

I vantaggi delle terre rinforzate risiedono nel fatto che, anche per altezze verticali ragguardevoli, la maggior parte degli sforzi viene assorbita dalle geogriglie presenti all'interno del terreno, con aumento della resistenza alle sollecitazioni strutturali e di tipo sismico, ed evitando movimenti laterali e assestamenti non uniformi; inoltre viene ad aumentare la stabilità del pendio su cui viene posta la terra armata, in quanto le geogriglie consentono di approfondire il cerchio critico; dal punto di vista economico, l'impiego di terreno prelevato in loco dagli scavi previsti abbassa notevolmente il costo dell'opera rispetto a un tradizionale muro di sostegno, e non ultimo, le fasi costruttive risultano relativamente veloci.

Infine l'impatto ambientale risulta minimo, con una facciata, al termine dei lavori, trattata con idrosemina, che consente l'inerbimento e il completo occultamento visivo dell'opera strutturale.

I terreni costituenti il rilevato dovranno essere di natura granulare, drenante e con elevato angolo di attrito, e comunque appartenenti ai gruppi A1, A2, A3, A4 secondo la classificazione delle terre CRN-UNI 10006, mentre il terreno di fondazione dovrà essere realizzato utilizzando terreni appartenenti ai gruppi A1 e A3 in accordo alla classificazione delle terre CNR-UNI 10006, disposti in strati di spessore massimo di 30 cm; eventualmente trattati mediante stabilizzazione della base, o mediante la posa di massi ciclopici e strati drenanti in ghiaia grossolana.

Tali parametri rientrano nella classificazione desunta dalle analisi di laboratorio di tipo geotecnico eseguite sui campioni di terreno prelevato, ai sensi della classificazione UNI 10006.

All'interno delle terre rinforzate potrà rendersi necessaria la posa in opera di tubi drenanti onde evitare l'insorgenza di pressioni interstiziali nel terreno, mentre a valle e a monte delle stesse si renderà necessaria la posa in opera di canalette di raccolta delle acque superficiali.

Relativamente agli sbancamenti previsti, si ritiene debba essere adottato prudenzialmente un angolo di scarpa dell'ordine di 40-45° rispetto all'orizzontale; eventualmente, dove gli spessori sono maggiori, si potrà sagomare il terreno a “gradoni” per altezze massime di 1,50 m, o in caso di terreni particolarmente scadenti superficialmente, eseguendo opere di sostegno superficiale e antidilavamento mediante terre rinforzate o mediante la realizzazione di barriere con massi ciclopici, come già adottato in zona nel caso dell'attuale stazione di monte dell'impianto esistente.

Il progetto di sistemazione finale dovrà prevedere la posa in opera di canalette superficiali adeguatamente posizionate (secondo le isoipse di progetto) e dimensionate, ad evitare il ruscellamento incontrollato in caso di precipitazioni meteoriche e il loro allontanamento verso i collettori predisposti.

La realizzazione delle opere in progetto non inficerà sul regime sotterraneo delle falde freatiche alimentanti il Lago Scaffaiolo e il Torrente Dardagna, in quanto questi ultimi posti a considerevole distanza dall'intorno delle opere in progetto e grazie anche alla temporaneità degli scavi previsti; in particolare la realizzazione della stazione di monte risulta ad una quota di circa 1.780 m s.l.m. mentre la quota di pelo libero del lago risulta ad una quota di circa 1.790 m s.l.m., e ad una distanza in linea d'aria di circa 150,00 m.

Le forme erosive eventualmente presenti lungo il tracciato o nelle sue vicinanze determinano la necessità di una progettazione specifica, allo scopo di scongiurare l'evoluzione in negativo, e ci si riferisce in particolar modo alla zona presente a valle del Rifugio Duca degli Abruzzi; eventualmente, anche in questo caso, previa la riprofilatura del versante e il distacco di blocchi rocciosi instabili, potrà essere valutare la possibilità di porre in opera sistemi di mitigazione dell'erosione superficiale e realizzare interventi di ingegneria naturalistica, poco impattanti visivamente ma decisamente efficaci.

10. MODALITA' DI GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO

Il riferimento normativo per la gestione delle terre e rocce da scavo risulta essere il D.P.R. 120 del 13/06/2017, che ne disciplina le modalità operative e il loro eventuale riutilizzo in loco.

Le opere di progetto, come visto nel capitolo relativo, determinano che i volumi interessati da movimentazioni mediante riporti e sbancamenti di terreno risultano superiori a 6.000 mc, ricadendo pertanto nella categoria dei "cantieri di grandi dimensioni".

Detti spessori, ai sensi della normativa, devono essere sottoposti alla caratterizzazione ambientale ai sensi degli allegati 1 e 2 e devono soddisfare i requisiti di qualità ambientale previsti dall'allegato 4 per le modalità di utilizzo specifico.

Qualora nelle terre e rocce da scavo le concentrazioni dei parametri di cui all'allegato 4 non superassero le concentrazioni soglia di contaminazione di ciò alle colonne A e B della tabella 1, Allegato 5, al titolo V della parte IV del D. Lgs. 152/2006, con riferimento alla specifica destinazione d'uso urbanistica del sito di produzione e del sito di destinazione indicati nel piano di utilizzo, quest'ultimo potrà essere predisposto secondo le modalità di cui all'art. 9 del D.P.R. in oggetto e trasmesso alle autorità competenti, ovvero all'Agenzia di Protezione Ambientale territorialmente competente almeno 90 giorni prima dell'inizio lavori, con indicazione della durata del piano stesso; allo scadere dei termini la qualifica di sottoprodotto per le terre e rocce da scavo viene a cadere, con conseguente obbligo di gestire le stesse come rifiuti.

Eventuali modifiche sostanziali al piano di utilizzo, quali aumento del volume in banco superiore al 20% delle terre e rocce da scavo oggetto del piano, o destinazione a un sito di deposito o di destinazione diverso da quanto in origine, o ancora eventuali modifiche delle tecnologie di scavo, devono essere trasmesse alle autorità competenti mediante un piano di utilizzo aggiornato.

Eventuali proroghe rispetto alla data di inizio lavori o di durata del piano di utilizzo, possono essere richieste una sola volta e per una durata massima di due anni.

Il campionamento, la cui procedura viene inserita nel piano di utilizzo, viene eseguito preferibilmente mediante scavi esplorativi limitando eventuali contaminazioni degli strati, e secondariamente mediante sondaggi a carotaggio; la densità dei punti di indagine e la loro ubicazione vengono programmati preliminarmente in numero non inferiore a tre e secondo la dimensione dell'area coinvolta; i requisiti minimi sono i seguenti:

| Dimensione dell'area | Punti di prelievo |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Inferiore a 2.500 metri quadri | 3 |
| Tra 2.500 e 10.000 metri quadri | 3 + 1 ogni 2.500 metri quadri |
| Oltre i 10.000 metri quadri | 7 + 1 ogni 5.000 metri quadri |

Nel caso di opere infrastrutturali lineari, il campionamento viene effettuato ogni 500 m lineari, e comunque è previsto un campionamento ogni variazione significativa della litologia.

La profondità di indagine è funzione della profondità degli scavi, ma in numero almeno di 3 per ogni scavo, ovvero un campione prelevato fra 0,00 e 1,00 m di profondità, un campione nella zona di fondo scavo e un campione intermedio; per scavi superficiali di profondità inferiore a 2 m, i campioni da sottoporre ad analisi chimico fisiche sono almeno due, uno per ciascun metro di profondità.

In presenza di orizzonti saturi, per ogni sondaggio, dovrà essere prelevato un campione di acque sotterranee da sottoporre a caratterizzazione chimico fisica.

Su ciascun campione di terreno (o acqua) prelevato nel corso della campagna di prelievo, saranno effettuate le determinazioni dei seguenti parametri chimici (set analitico minimale, tabella 4.1):

| |
|--|
| Arsenico |
| Cadmio |
| Cobalto |
| Nichel |
| Piombo |
| Rame |
| Zinco |
| Mercurio |
| Idrocarburi C _{>12} |
| Cromo totale |
| Cromo VI |
| Amianto |
| BTEX (*) |
| IPA (*) |
| (*) Da eseguire nel caso in cui l'area da scavo si collochi a 20 m di distanza da infrastrutture viarie di grande comunicazione e ad insediamenti che possono aver influenzato le caratteristiche del sito mediante ricaduta delle emissioni in atmosfera. Gli analiti da ricercare sono quelli elencati alle colonne A e B, Tabella 1, Allegato 5, Parte Quarta, Titolo V, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. |

Dette concentrazioni verranno confrontate con le concentrazioni soglia di contaminazione di cui alla colonna B della Tabella 1, allegato 5, al titolo V della parte IV del D. Lgs. 152/2006 con riferimento alla destinazione urbanistica relativa, e qualora risultassero inferiori alle concentrazioni soglia, le terre e rocce da scavo potranno essere utilizzate per rinterri, riempimenti e rimodellazioni della superficie topografica.

11. PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA

La pericolosità e il rischio sismico del territorio nazionale sono stati affrontati dal Servizio Sismico Nazionale utilizzando il calcolo probabilistico di Cornell, in grado di considerare tutte le possibili sorgenti influenzanti di un sisma.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni ideali di sito di riferimento con superficie topografica orizzontale di categoria A.

I Comuni di Lizzano in Belvedere e Fanano (TAV. 5 – Mappa di pericolosità sismica) presenta un'accelerazione al suolo tipo A con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni $PGA = 0,175 - 0,200g$ e relativamente all'intensità macrosismica, per Lizzano in Belvedere $MCS = 7$, mentre per Fanano $MCS = 8$.

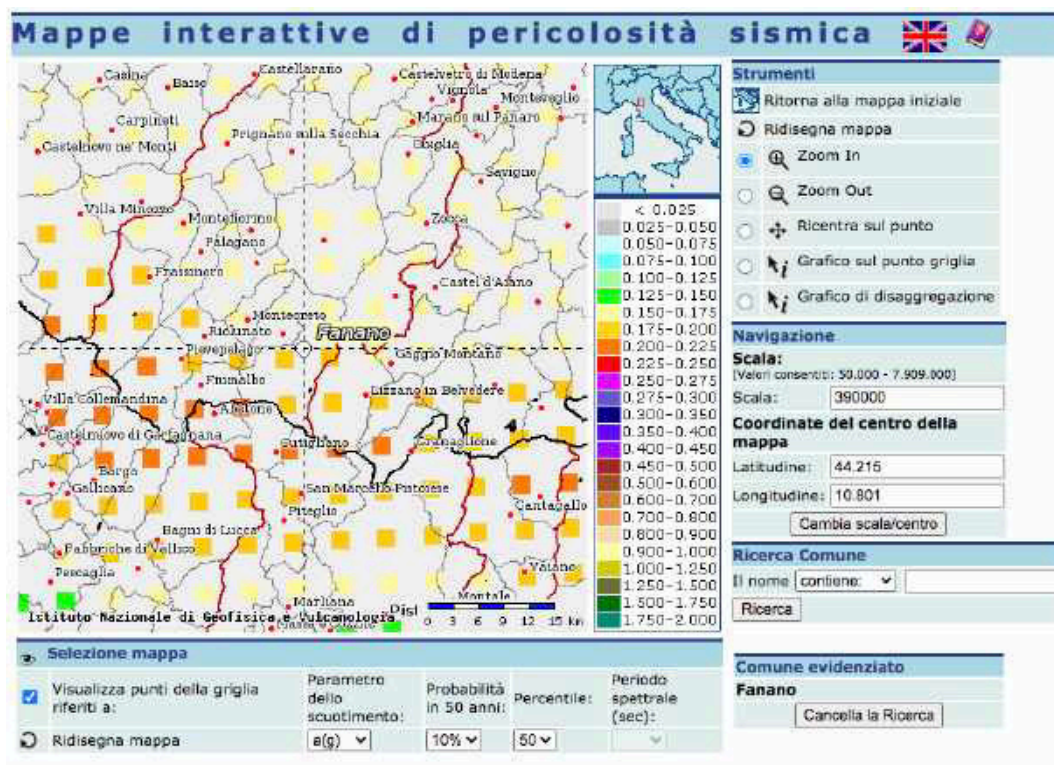
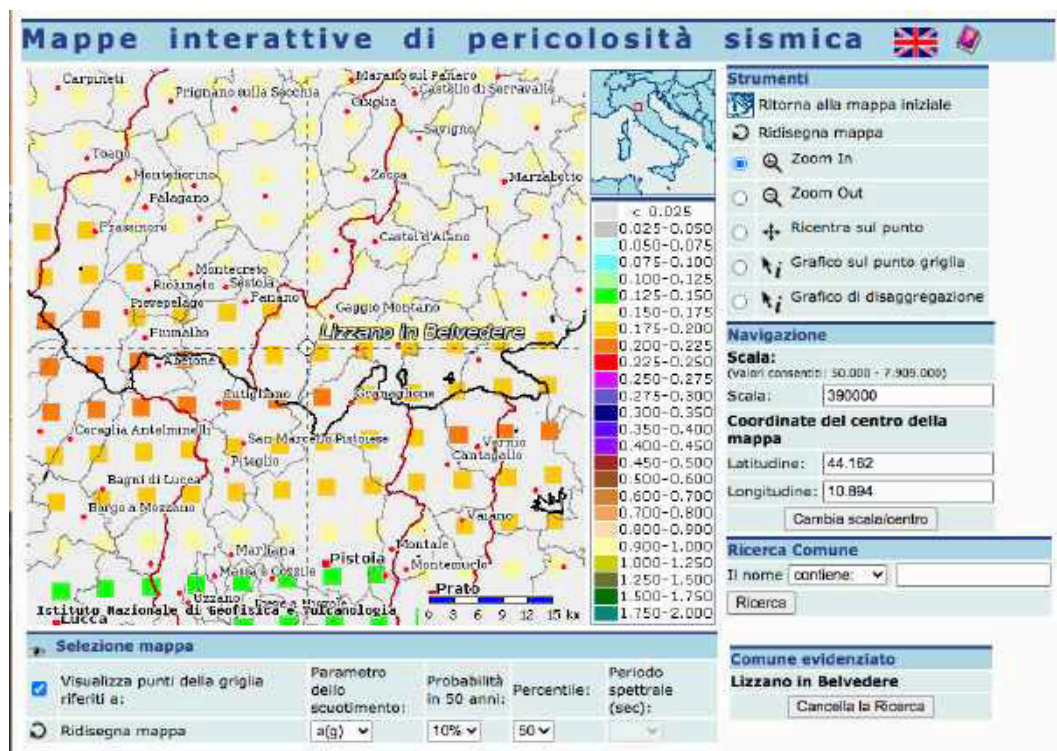
La Magnitudo dell'area si ottiene sulla base della seguente relazione proposta dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT):

$$M = \frac{1,93 + MCS}{1,78} \quad \begin{array}{l} = 5 \text{ (Lizzano in Belvedere)} \\ = 6 \text{ (Fanano)} \end{array}$$

La pericolosità sismica in un generico sito viene definita in termini di valori di accelerazione orizzontale massima e di spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale, in corrispondenza dei punti di un reticolo e per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presenti nel sito in esame e della morfologia di superficie.

TAV. 5 – MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA



12. MODELLAZIONE SISMICA

12.1. Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale (V_n) è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La vita nominale delle diverse tipologie di opere è riportata nella seguente tabella.

Tabella 2.4.I

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_n di progetto per i diversi tipi di costruzioni

| TIPI DI COSTRUZIONI | | Valori minimi di V_n (anni) |
|---------------------|---|-------------------------------|
| 1 | Costruzioni temporanee e provvisorie | 10 |
| 2 | Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari | 50 |
| 3 | Costruzioni con livelli di prestazioni elevati | 100 |

Nell'area in esame sono ipotizzate dalla scrivente opere tipo "2" "per le quali si prevede una vita nominale $V_n = 50$ anni.

12.2. Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso distinte nel modo seguente:

2.4.2. CLASSI D'USO

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

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

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Ad ogni classe d'uso è associato un coefficiente come da tabella seguente:

Tabella 2.4.II

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

| CLASSE D'USO | I | II | III | IV |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|
| COEFFICIENTE C_U | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

L'opera da realizzare nell'area in esame è relativa alla Classe II, pertanto alla stessa è associato un coefficiente d'uso pari a $C_U = 1,0$; qualora il progettista della stazione appaltante definisse una classe d'uso diversa da quanto ipotizzato nel presente documento, anche le successive elaborazioni per la definizione dell'azione sismica, dovranno essere adeguatamente ricalcolate.

12.3. Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale Vn per il coefficiente d'uso C_U :

$$VR = Vn \cdot C_U$$

Per il sito in esame il periodo di riferimento è pari a VR = 50 anni.

12.4. Azione sismica

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente S(T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ag = accelerazione orizzontale massima al sito;
- Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- Tc* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nella seguente tabella vengono riportati i suddetti parametri elaborati per il sito in esame (coord. ED50: Lat 44.123268 - Lng 10.816372 circa), considerando un periodo di riferimento per l'azione sismica (VR) di 50 anni, in relazione al periodo di ritorno e agli stati limite di esercizio e agli stati limite ultimi e relative probabilità di superamento.

| Stato limite | | PVR (%) | TR (anni) | ag (g) | Fo (-) | Tc* (s) |
|---------------------------|-----|---------|-----------|--------|--------|---------|
| Stati limite di esercizio | SLO | 81 | 30 | 0,062 | 2,445 | 0,252 |
| | SLD | 63 | 50 | 0,079 | 2,446 | 0,258 |
| Stati limite ultimi | SLV | 10 | 475 | 0,200 | 2,388 | 0,285 |
| | SLC | 5 | 975 | 0,256 | 2,395 | 0,288 |

12.5. Categoria di sottosuolo

La nuova Normativa per gli effetti locali identifica cinque categorie di sottosuolo (A+E) suddivisi sulla base dei valori di velocità equivalente $V_{s,eq}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

Categorie di sottosuolo

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

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

Come evidenziato dall'indagine sismica di tipo MASW eseguita nella fascia di valle, i terreni del primo sottosuolo presentano una $V_{s,eq}$ compresa fra 399 e 424 m/sec (rispettivamente per l'orizzonte compreso fra 0,00 e 30,00 m dal p.c. attuale e 2,00-32,00 m), in ogni caso ricadono nella Categoria B, che comprende "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 $V_{s,eq}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

12.6. Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale mentre per configurazioni semplici può essere adottata la seguente tabella.

Tabella 3.2.IV

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
|-----------|---|
| T1 | Superficie pianeggiante 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 $i > 30^\circ$ |

Ad ogni categoria topografica è associato un coefficiente di amplificazione topografica come da tabella seguente:

Tabella 3.2.VI

| CATEGORIA | T1 | T2 | T3 | T4 |
|--------------------|----|-----|-----|-----|
| COEFFICIENTE S_t | 1 | 1,2 | 1,2 | 1,4 |

L'area in esame si pone prevalentemente in un settore di acclività mediamente superiore a 15° , perciò si configura una categoria topografica tipo T2 cui è associato un coefficiente di amplificazione topografica pari a 1,2; nella parte sommitale dell'impianto, ovvero a valle del Rifugio Duca degli Abruzzi, l'acclività risulta mediamente superiore ai 30° , pertanto per le strutture ricadenti in questo tratto di versante la categoria topografica da considerare dovrà essere T4.

12.7. Amplificazione stratigrafica

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

| Categoria sottosuolo | S_s | C_c |
|----------------------|---|------------------------------|
| A | 1,00 | 1,00 |
| B | $1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$ | $1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$ |
| C | $1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$ | $1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,13}$ |
| D | $0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$ | $1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$ |
| E | $1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$ | $1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$ |

Per il sito in esame otteniamo:

| | SLO | SLD | SLV | SLC |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| SS Amplificazione stratigrafica | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,15 |
| CC Coeff. funz categoria | 1,45 | 1,44 | 1,41 | 1,41 |
| ST Amplificazione topografica | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

⇔ 0.6

Zone caratterizzate da coefficiente topografico T2

| | SLO | SLD | SLV | SLC |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| SS Amplificazione stratigrafica | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,15 |
| CC Coeff. funz categoria | 1,45 | 1,44 | 1,41 | 1,41 |
| ST Amplificazione topografica | 1,40 | 1,40 | 1,40 | 1,40 |

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

⇔ 0.6

Zone caratterizzate da coefficiente topografico T4

12.8 Accelerazione massima al sito

L'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$$

Nel nostro caso per i parametri considerati in precedenza e per lo stato limite SLV si ottiene un valore pari a 2,820 m/sec² per le zone caratterizzate da coefficiente topografico T2 e pari a 3,290 m/sec² per le zone caratterizzate da coefficiente topografico T4.

12.9 Coefficiente sismico orizzontale e verticale

Il coefficiente sismico orizzontale si ottiene mediante la relazione:

$$k_h = \frac{\beta_s \times a_{\max}}{g}$$

dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ricavabile dalla sottostante tabella.

| | Categoria di sottosuolo | |
|--------------------------|-------------------------|------------|
| | A | B, C, D, E |
| | β_s | β_s |
| $0,2 < a_g (g) \leq 0,4$ | 0,30 | 0,28 |
| $0,1 < a_g (g) \leq 0,2$ | 0,27 | 0,24 |
| $a_g (g) \leq 0,1$ | 0,20 | 0,20 |

Nel nostro caso assumendo un valore di β_s pari a 0,24, si ottiene un coefficiente sismico orizzontale (k_h) pari a 0,0069 per le zone caratterizzate da coefficiente topografico T2 e pari a 0,081 m/sec² per le zone caratterizzate da coefficiente topografico T4.

Il coefficiente sismico verticale (k_v) risulta, mediante la relazione:

$$k_v = 0,5 k_h = 0,035 \text{ (zone a coeff. topografico T2)}$$

$$k_v = 0,5 k_h = 0,040 \text{ (zone a coeff. topografico T4)}$$

Dott. Geol. Giovanna Giordani - viale G. Gozzadini, 11/2 40124 Bologna

tel. 335 6562298 P.I. 02320801208 c.f. GRDGNN74D59A944K

geol.giovanna.giordani@gmail.com

www.giovannagiordani.it

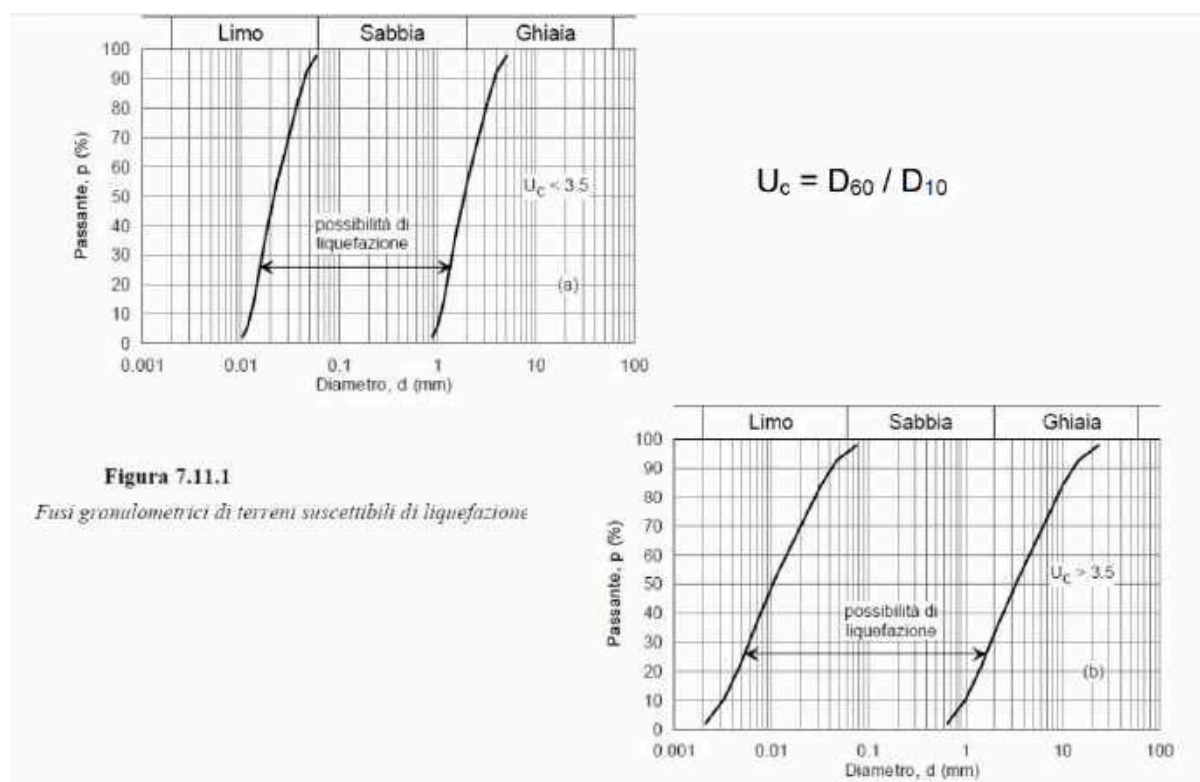
13. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Secondo le NTC 2018, si può omettere la verifica al rischio di liquefazione dei terreni del primo sottosuolo qualora sia soddisfatta almeno una delle seguenti condizioni:

7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

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



Nell'area in esame i depositi di versante e i depositi di origine glaciale sono totalmente eterogenei dal punto di vista granulometrico e costituiti da ciottoli, sabbie, e limi, pertanto l'estrema variabilità del deposito permette di escludere a nostro avviso la suscettibilità ai fenomeni di liquefazione in caso di sisma.

14. CONCLUSIONI

Sulla base degli esiti e dei risultati delle indagini e dei rilievi effettuati, si ritiene che non sussistano condizioni di impedimento di carattere geologico alla realizzazione delle opere in progetto, fermo restando il rispetto di tutte le prescrizioni e le indicazioni di carattere geologico e geotecnico contenute nel presente documento.

Il progettista delle opere dovrà quindi adottare soluzioni progettuali tali da rispettare le condizioni di sicurezza sia durante la fase di cantiere, sia in condizioni di esercizio delle opere, tenendo in considerazione le caratteristiche geomorfologiche, geologiche e geotecniche dei terreni presenti sulle aree di alloggiamento dell'impianto di progetto.

In fase di progetto esecutivo, dovrà essere redatta da parte del progettista una specifica relazione geotecnica corredata dalle necessarie verifiche numeriche di sicurezza relative alle interazioni delle strutture in progetto con i terreni presenti, secondo quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.

L'indagine di cui al presente documento ha permesso di ricostruire il modello geologico dell'area interessata dal progetto *"allo scopo di costituire un utile elemento di riferimento per il progettista al fine di inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle eventuali indagini geotecniche integrative"* (par. 6.2.1, DM 17/01/2018).

Qualora il progettista valutasse la necessità di integrare le indagini geotecniche finora realizzate, si dovrà predisporre un apposito programma finalizzato a fornire i dati ritenuti necessari.

Bologna, 13 Novembre 2020

A L L E G A T I

Indagine sismica mediante MASW



Studio Tecnico Associato di Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa

Via E. Fermi n° 11/A – 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Tel. +39 051 6871113 FAX +39 051 6874328

C.F. e Partita IVA 04112290376

Email: cgastudio@cgastudio.eu

| | |
|--------------|-------------------------------|
| Committente: | Dott. Geol. Giovanna Giordani |
| Prova: | MASW 24 ch |
| Località: | Seggiovia Corno alle Scale |
| Data: | 11 novembre 2020 |
| Certificato: | A 1480 - GF 736 - Masw |



SOMMARIO

| | |
|--|-----------|
| SOMMARIO | 2 |
| INTRODUZIONE | 3 |
| METODOLOGIA D'INDAGINE | 4 |
| INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW | 4 |
| MODALITÀ ESECUTIVE | 4 |
| ELABORAZIONE DATI | 6 |
| SISMICA CON METODOLOGIA MASW | 6 |
| <i>Analisi delle immagini di dispersione</i> | <i>6</i> |
| <i>Interpretazione</i> | <i>6</i> |
| Densità Dinamica: | 7 |
| Modulo di taglio: | 7 |
| Modulo di Young: | 7 |
| PRESENTAZIONE DEI RISULTATI | 8 |
| SISMOSTRATIGRAFIA | 8 |
| DETERMINAZIONE DELLA V_{sEQ} | 8 |
| PROPRIETÀ GEOFISICHE DEI TERRENI | 9 |
| PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVA MASW | 9 |
| APPENDICE 1 | 11 |



INTRODUZIONE

Su incarico della Dott. Geol. Giovanna Giordani è stato redatto questo rapporto di prova relativo all'esecuzione di una prova sismica MASW a uno shot presso la Seggiovia Corno alle Scale.

L'ubicazione della zona di indagine è rappresentata in figura n° 1.

Lo studio ha seguito il seguente sviluppo:

- esecuzione di n° 1 prova sismica a shot singolo con metodo MASW;
- elaborazione dei dati raccolti.



METODOLOGIA D'INDAGINE

INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

Il metodo MASW (*Multichannel Acquisition Surf Wave*) ha come obiettivo quello di ricostruire il profilo sismostratigrafico di un sito, valutando in particolare la distribuzione della velocità delle onde "S" sia per la ricostruzione del profilo del sottosuolo che per la definizione *in situ* della V_{s30} .

Al fine di migliorare il rapporto segnale disturbo per ogni punto di offset vengo eseguiti, in modalità iterativa, tre shots.

Il metodo MASW prevede la costruzione di una curva di dispersione per le onde di superficie, attraverso l'elaborazione di un'immagine di dispersione derivata dall'analisi della propagazione delle onde di Rayleigh e, quando necessario, delle onde di Love.

La tecnica di prospezione MASW utilizza quindi un'immagine rappresentativa delle frequenze delle onde superficiali, espressa in funzione della velocità di fase delle stesse. Nell'immagine di dispersione (*Over Tone Image*) viene inoltre enfatizzata cromaticamente l'ampiezza delle vibrazioni evidenziando così le aree corrispondenti al miglior rapporto segnale/disturbo.

Una volta individuata la sequenza di frequenze e velocità di fase corrispondenti alla più probabile distribuzione della dispersione nel sottosuolo esaminato (analisi della curva di dispersione) si procede alla ricostruzione delle stratigrafia rappresentativa della distribuzione delle velocità delle onde S tramite l'utilizzo di un algoritmo di inversione.

La tecnica di prospezione MASW può essere così schematizzata:

- acquisizione delle onde superficiali;
- costruzione delle curve di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- inversione delle curve di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

MODALITÀ ESECUTIVE

Le indagini MASW vengono eseguite disponendo sul terreno almeno 24 sensori (geofoni), posti ad intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive ad alta frequenza in corrispondenza di un punto prestabilito lungo il profilo (*punto di scoppio*): nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (*trigger*). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con intervallo di campionamento pari a 0.25 ms e tempo di registrazione pari ad almeno 1 secondo.

Ogni scoppio ed ogni registrazione per ogni distanza di offset se necessario vengono ripetuti tre volte.



Lo strumento utilizzato è il sismografo digitale X610S-S di produzione M.A.E. s.r.l. ad acquisizione digitale con dinamica a 24 bit.

Gli impulsi sismici sono stati generati con l'utilizzo di una massa battente da 10.0 Kg.

Nel caso specifico la geometria dell'array di indagine è riassunta nella seguente tabella:

| MASW | n° geofoni | Spacing [m] | Offset [m] | Lunghezza array [m] |
|------|------------|-------------|------------|---------------------|
| L1 | 24 | 1.00 | 7.00 | 30.00 |

Tabella n° 1 - Array dello stendimento MASW.

Le caratteristiche del sismografo e dei geofoni utilizzati sono di seguito sinteticamente riassunte:

SISMOGRAFO M.A.E. X610-S

| |
|---|
| Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta |
| Range dinamico: 144 dB (teorico) |
| Numero di campioni per evento: impostabile da 1024 a 21800 con incrementi di 512 |
| Interfacce disponibili: LAN, USB, VGA |
| Auto-calibrazione interna dei convertitori prima di ogni acquisizione |
| Intervali di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms |
| Archiviazione dati: in memoria FLASH interna (fino a 3GB disponibili) e/o su USB pen-drive rimovibile |
| Alimentazione: 12V DC con assorbimento medio di 1.5A |
| Display: LCD 12.2" con touch-screen integrato optical bonding |
| Dimensioni e peso: 46x32,7x17 cm, 8 Kg (cavi e sensori esclusi) |
| Condizioni ambientali: -20/80°C |

Tabella n° 2 - Tabella delle caratteristiche del sismografo utilizzato.

GEOFONI GEOSPACE GS-11D

| | |
|--|----------------------|
| Natural Frequency | 4,5 ± 0,75 Hz |
| Coil Resistance @ 25°C ± 5% | 380 Ohms |
| Intrinsic Voltage Sensitivity with 380 Ohm Coil ± 10% | 0,32 V/cm/s |
| Normalized Transduction Constant (V/in/sec) | 0,42 (sq.root of Rc) |
| Open Circuit Damping | 0,34 ± 20% |
| Damping Constant with 380 Ohm Coil | 762 |
| Optional Coil Resistances ± 5% | 56,16 Ohms |
| Moving Mass ± 5% | 23,6 g |
| Typical Case to Coil Motion P-P | 0,18 cm |
| Harmonic Distortion with Driving Velocity of 0.7 in/sec (1.8 cm/sec) P-P | N/S |

Dimensioni

| | |
|--------------------------|---------|
| Height (less terminals*) | 3,35 cm |
| Diameter | 3,18 cm |
| Weight | 111 g |

* terminal height is 0,3429 cm

Tabella n° 3 - Tabella delle caratteristiche dei geofoni utilizzati.



ELABORAZIONE DATI

SISMICA CON METODOLOGIA MASW

ANALISI DELLE IMMAGINI DI DISPERSIONE

Le immagini di dispersione rappresentano, in forma grafica, lo spettro di dispersione delle onde di Rayleigh che si propagano nel sottosuolo dell'area indagata.

Le immagini illustrano la dispersione vera e propria intesa come variazione della velocità di fase in funzione delle frequenze dello spettro. Evidenziano inoltre l'ampiezza delle vibrazioni (energia associata) utilizzando variazioni di toni di colori.

L'obiettivo dell'analisi dell'immagine di dispersione è l'individuazione del "tono fondamentale" della vibrazione (fundamental mode), distinguendolo da tutti gli ipertoni associati (higher tone) e dai rumori di fondo (noise).

L'individuazione del "tono fondamentale" permette di giungere alla principale chiave di lettura della prospezione cioè all'individuazione della "curva di dispersione" e quindi, tramite inversione, alla ricostruzione della sequenza sismostratigrafica del sito indagato.

INTERPRETAZIONE

Il profilo delle V_s è determinato sulla base di un algoritmo iterativo di inversione che utilizza i dati ottenuti dallo studio della curva di dispersione. L'interpretazione è stata effettuata per entrambi i metodi di filtrazione adottati.

L'algoritmo si basa sulle seguenti considerazioni:

- la frequenza è direttamente legata alla profondità di indagine (basse frequenze alte profondità);
- la velocità di fase dipende essenzialmente dalle proprietà elastiche dei materiali interessati dal propagarsi della perturbazione.

L'algoritmo di inversione tiene inoltre conto della necessità di soddisfare la seguente relazione:

$$z_f = a \lambda_f$$

dove:

z_f = profondità di propagazione della frequenza f ;

a = coefficiente adimensionale;

λ_f = lunghezza d'onda corrispondente alla frequenza f .

Le iterazioni necessarie per l'elaborazione in precedenza descritta avvengono tramite l'utilizzo di un programma di calcolo specifico (*Surfseis 6.7* del *Kansas Geological Survey*).



In Appendice 1 sono riportati sia i sismogrammi che le immagini di dispersione (*Over Tone Image*) relative alla somma di ogni shot effettuato, con relative curve di dispersione.

Per quanto concerne il calcolo dei parametri elastici sono state utilizzate le seguenti formule:

Densità Dinamica:

$$\gamma = 0.51V_p^{0.19}$$

Dove:

γ = densità del mezzo attraversato;

V_p = velocità onde di compressione;

Modulo di taglio:

$$G = \rho V_s^2$$

Dove:

ρ = massa volumica (γ/g);

γ = densità del mezzo attraversato;

g = accelerazione di gravità;

V_s = velocità onde di taglio;

Modulo di Young:

$$E = 2G(1 + \nu)$$

Dove:

G = modulo di taglio;

ν = Coefficiente di Poisson.



PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

I certificati delle indagini sismiche MASW eseguite sono riportate in appendice 1.

SISMOSTRATIGRAFIA

La stratigrafia sismica delle singole prove è riportata nelle seguenti tabelle:

| Strato | Spessore medio (m) | Vs (m/s) |
|--------|--------------------|----------|
| 1 | 1.19 | 241.26 |
| 2 | 1.49 | 159.39 |
| 3 | 1.86 | 242.73 |
| 4 | 2.33 | 456.10 |
| 5 | 2.91 | 460.21 |
| 6 | 3.63 | 366.03 |
| 7 | 4.54 | 537.27 |
| 8 | 5.68 | 657.92 |
| 9 | 7.10 | 434.61 |
| 10 | 7.68 | 555.16 |

Tabella n° 4 – Stratigrafia da prova sismica e velocità di propagazione dell'onda sismica Linea L1

DETERMINAZIONE DELLA $V_{s\text{eq}}$

Utilizzando le metodologie e le formule di cui al paragrafo relativo alla metodologia MASW e seguendo le prescrizioni del D.M. 17.01.2018 la determinazione della $V_{s\text{eq}}$ è stata ottenuta utilizzando la formula:

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

dove:

h_i = spessore dello strato iesimo;

$V_{s,i}$ = Velocità onde di taglio dello strato iesimo;

N = numero degli strati;

H = profondità del substrato (H = 30 m nel caso di substrato a profondità maggiore di 30 m)

La $V_{s\text{eq}}$, senza specifiche indicazioni dei progettisti, è calcolata per ogni shot di ogni linea sismica MASW eseguita a partire dal piano di campagna.



| | |
|------------------|---------------|
| Veq [m/s] | 399.84 |
|------------------|---------------|

Tabella n° 5 – Valore calcolato di $V_{s\ eq}$ Linea L1

PROPRIETÀ GEOFISICHE DEI TERRENI

In Appendice 1 sono rappresentate graficamente le colonne sismostratigrafiche relative ai parametri geofisici, di seguito riassunti in forma tabellare:

| Prova Masw | | | | | |
|------------|----------|----------|-------------------------------------|---------|----------|
| Profondità | Vp (m/s) | Vs (m/s) | γ_{din} (kN/m ³) | E (Mpa) | G0 (Mpa) |
| 1.19 | 590.97 | 241.26 | 16.81 | 279.45 | 99.80 |
| 2.68 | 390.43 | 159.39 | 15.54 | 112.73 | 40.26 |
| 4.54 | 594.56 | 242.73 | 16.83 | 283.18 | 101.14 |
| 6.86 | 1594.48 | 456.10 | 20.30 | 1206.00 | 430.71 |
| 9.77 | 1389.40 | 460.21 | 19.78 | 1243.50 | 427.19 |
| 13.40 | 1304.49 | 366.03 | 19.54 | 768.13 | 267.01 |
| 17.94 | 2159.36 | 537.27 | 21.51 | 1845.20 | 633.10 |
| 23.62 | 2801.91 | 657.92 | 22.60 | 2926.77 | 997.53 |
| 30.71 | 2038.66 | 434.61 | 21.27 | 1205.38 | 409.77 |
| 38.39 | 1930.77 | 555.16 | 21.06 | 1953.73 | 661.75 |

Tabella n° 6 – Parametri geofisici

PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVA MASW

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni sulla base della prova MASW, si è utilizzata la seguente procedura:

partendo dalla correlazione q_c e V_s proposta da Prakoso (2010):

$$q_c = \left(\frac{V_s}{111.21} \right)^{1/0.37}$$

sviluppate per inversione, in modo da calcolare q_c in funzione di V_s , tramite le seguenti equazioni logaritmiche (valide per valori $V_s < 300$ m/s):

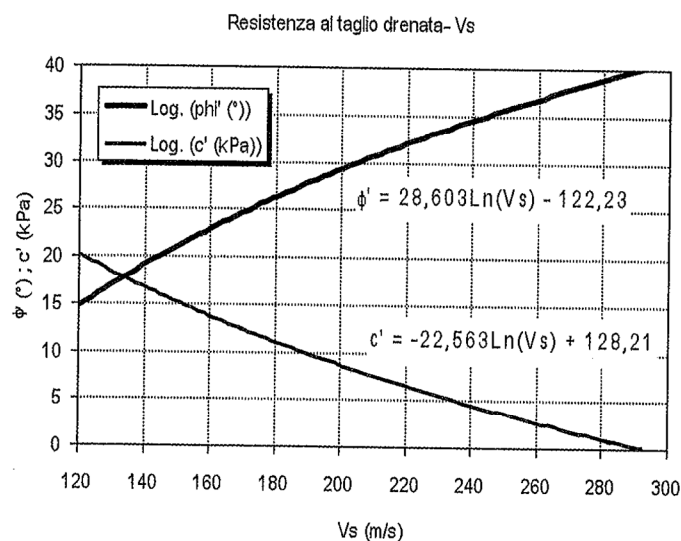
$$\varphi' = 28.603 * \ln(V_s) + 122.23$$

$$c' = 128.21 - 22.563 * \ln(V_s)$$

è possibile correlare la coesione drenata c' (kPa) e l'angolo d'attrito efficace φ' (°) con i valori di V_s misurati.



Di seguito si riporta l'abaco di correlazione tra c' e ϕ' con V_s



Utilizzando la metodologia precedentemente descritta si sono calcolati i parametri geotecnici dei terreni, che di seguito riassunti in forma tabellare:

| Prova Masw | | | | | | Spessori | GEOTECNICA | | | |
|------------|-------------|-------------|-------------------------------------|---------|-------------|----------|------------|--------|-------|-------|
| Profondità | V_p (m/s) | V_s (m/s) | γ_{din} (kN/m ³) | E (Mpa) | G_0 (Mpa) | | Z | ϕ | c' | Cu |
| 1.19 | 590.97 | 241.26 | 16.81 | 279.45 | 99.80 | 1.19 | 1.19 | 34.68 | 4.43 | 85.08 |
| 2.68 | 390.43 | 159.39 | 15.54 | 112.73 | 40.26 | 1.49 | 2.68 | 22.83 | 13.78 | 53.95 |
| 4.54 | 594.56 | 242.73 | 16.83 | 283.18 | 101.14 | 1.86 | 4.54 | 34.86 | 4.30 | 85.64 |

Tabella n° 7 – Parametri geotecnici

Trattandosi di dati derivanti da correlazioni, si raccomanda di verificarne l'attendibilità tramite l'esecuzione di prove di laboratorio.

San Giovanni in Persiceto, 11 novembre 2020

I Geologi :





APPENDICE 1

Figure ed elaborati grafici





COMMITTENTE: Dott. Geol. Giovanna Giordani

CANTIERE: Seggiovìa Corno alle Scale

PROVA: MASW a 1 Shot

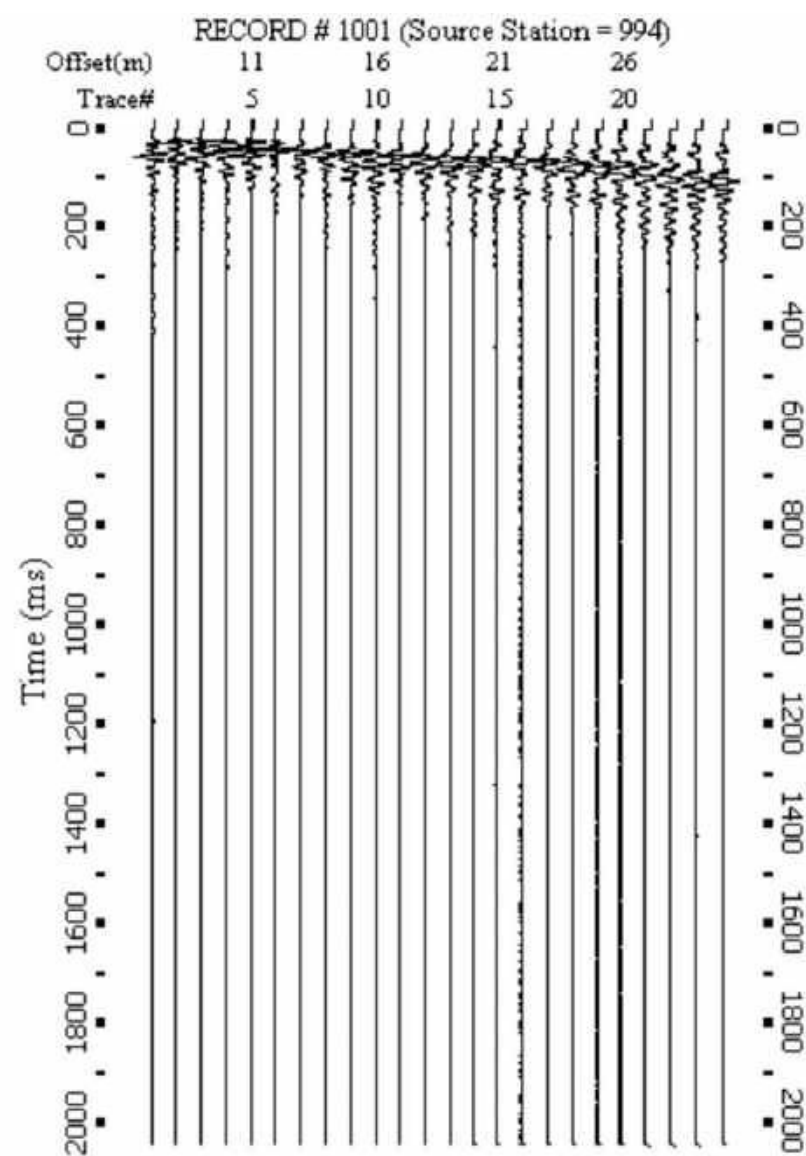
CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

DATA DI ESECUZIONE: 11/11/2020

CERTIFICATO N°: A 1480 - GF 736 - Masw

0 500 1000 1500 2000 2500 3000 0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 0 5 10 15 20 25 0 500 1000 1500 2000 2500 3000 35000 200 400 600 800 1000 1200

Vs e Vp (m/s) Poisson γ din. (kN/mc) E (MPa) G0 (MPa)



Sismogrammi A 1480 - GF 736 - Masw

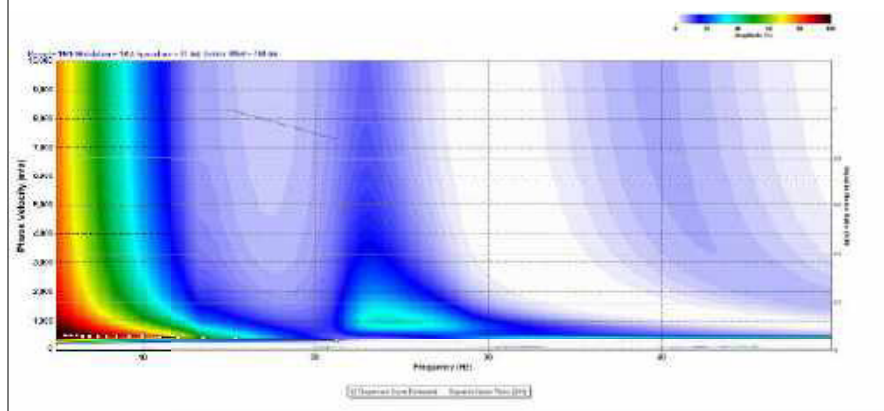
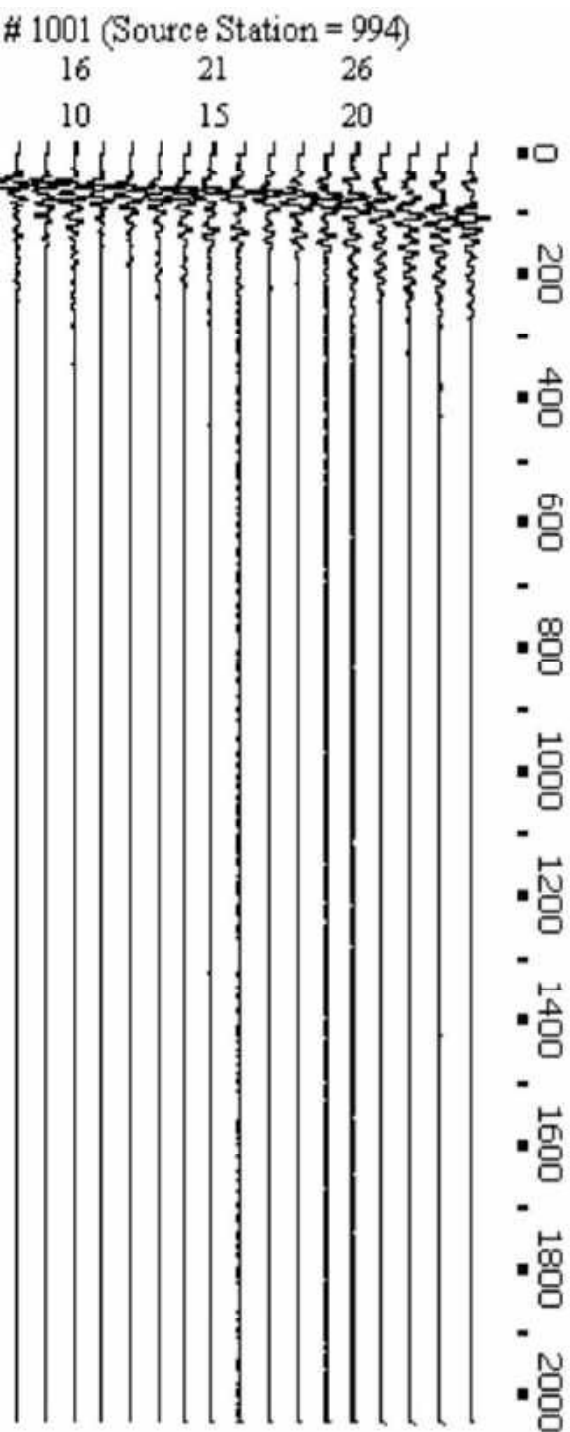


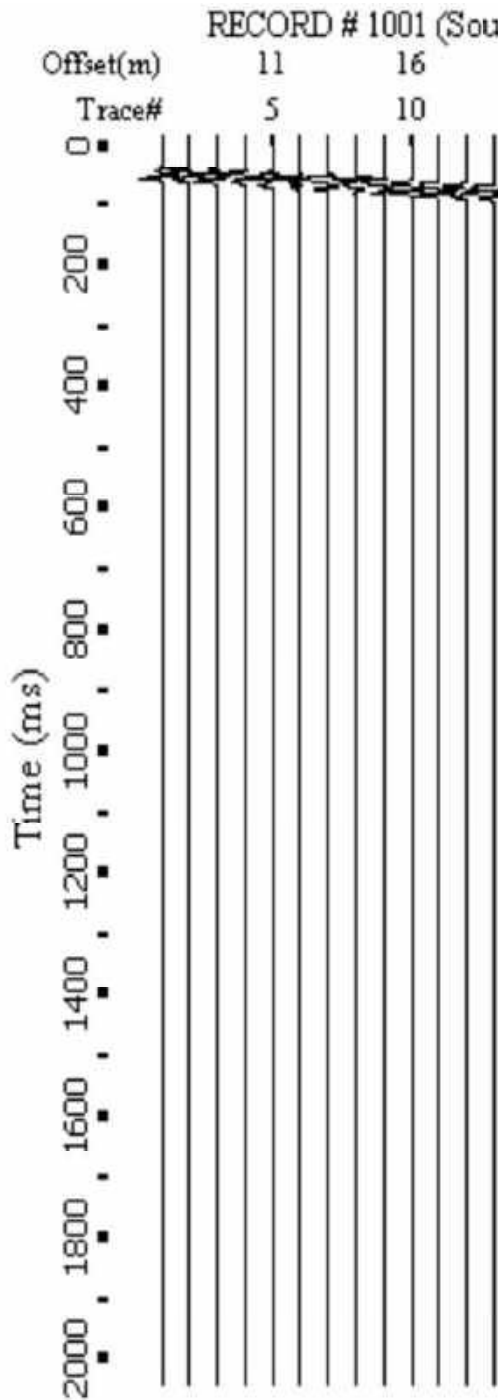
Immagine di dispersione A 1480 - GF 736 - Masw

0 10 20 30



Mute Top (L:\2020\A 1480 - GF 736 - Dott. Giordani - Geofisica
- Corno alle Scale\A1480IntMasw\A1480Masw1.dat)
Mute Velocity: 395 m/s
Tapering (ms): 4.065
Mute Start: Trace No.1 at time38.733 ms
Mute End: Trace No.24 at time257.688 ms
Mute Bottom (L:\2020\A 1480 - GF 736 - Dott. Giordani - Geofisica
- Corno alle Scale\A1480IntMasw\A1480Masw1.dat)
Mute Velocity: 368 m/s
Tapering (ms): 4.065
Mute Start: Trace No.1 at time57.568 ms
Mute End: Trace No.24 at time292.39 ms

Filtro utilizzato





COMMITTENTE: Dott. Geol. Giovanna Giordani
CANTIERE: Seggiovia Corno alle Scale
PROVA: MASW a 1 Shot
DATA DI ESECUZIONE: 11/11/2020

REPERTORIO FOTOGRAFICO



Indagine sismica mediante tomografia sismica



Studio Tecnico Associato di Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa
Via E. Fermi n° 11/A – 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Tel. +39 051 6871113 FAX +39 051 6874328
C.F. e Partita IVA 04112290376
Email: cgastudio@cgastudio.eu

| | |
|--------------|---|
| Committente: | Dott. Geol. Giovanna Giordani |
| Prova: | Prove sismiche a rifrazione tomografica in onde P |
| Progetto: | Seggiovia Corno alle Scale |
| Data: | 13-nov-20 |
| Certificato: | A 1480 - GF 736 - Rifrazioni |

I Geologi :





SOMMARIO

| | |
|---|-----------|
| SOMMARIO | 2 |
| INTRODUZIONE | 3 |
| METODOLOGIA D'INDAGINE | 4 |
| RIFRAZIONE SISMICA CON METODO TOMOGRAFICO | 4 |
| <i>Array di indagine e strumentazione utilizzata</i> | <i>4</i> |
| PROCEDURE E CODICI DI CALCOLO | 7 |
| RIFRAZIONE SISMICA CON METODO TOMOGRAFICO - | 7 |
| <i>Picking dei segnali e determinazione del travel time.....</i> | <i>7</i> |
| <i>Elaborazione con metodologia tomografica</i> | <i>7</i> |
| <i>Costruzione del modello iniziale con i metodi Smooth inversion (Rayfract 4.01) e Plus Minus (Hagedoorn,1959)</i> | <i>8</i> |
| SMOOTH INVERSION(RAYFRACT 4.01)..... | 8 |
| PLUS MINUS (HAGEDOORN,1959) | 9 |
| Verifica del modello iniziale | 9 |
| WET INVERSION E COSTRUZIONE DEL MODELLO INTERPRETATO..... | 10 |
| PRESENTAZIONE DEI RISULTATI | 11 |



INTRODUZIONE

Su incarico della Dott. Geol. Giovanna Giordani, è stata redatto questo rapporto di prova relativo all'esecuzione di tre prove a rifrazione tomografica - Corno alle Scale - Lizzano in Belvedere (BO) .

Lo studio ha seguito il seguente sviluppo:

- a) esecuzione di 3 linee sismica a rifrazione tomografica in onde P;
- b) Interpretazione dei dati rilevati.

L'ubicazione delle prove è rappresentata in appendice 1.



METODOLOGIA D'INDAGINE

RIFRAZIONE SISMICA CON METODO TOMOGRAFICO

Tutte le procedure di cantiere, interpretazione e calcolo utilizzate in questo lavoro fanno riferimento alla norma ASTM D5777 - 00(2011)e1:

“Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation”.

ARRAY DI INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le indagini sismiche a rifrazione effettuate con modalità tomografica vengono eseguite sistemando sul terreno un numero di geofoni non inferiore a 12 ed eseguendo energizzazioni nel terreno ad intervalli di spazio regolari.

L'indagine sismica a rifrazione è stata effettuata utilizzando uno stendimento di 24 geofoni di frequenza pari a 10 Hz.

Di seguito un'illustrazione schematica degli array di indagine utilizzati per tutte le prove eseguite:

| Station n° | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 6.5 | 7.0 | 8.0 | 9.0 | 9.5 | 10.0 | 11.0 | 12.0 | 12.5 | 13.0 | 14.0 | 15.0 | 15.5 | 16.0 | 17.0 | 18.0 | 18.5 | 19.0 | 20.0 | 21.0 | 21.5 | 22.0 | 23.0 | 24.0 | 24.5 |
|--------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Shot/reciever | S1 | G1 | G2 | G3 | S2 | G4 | G5 | G6 | S3 | G7 | G8 | G9 | S4 | G10 | G11 | G12 | S5 | G13 | G14 | G15 | S6 | G16 | G17 | G18 | S7 | G19 | G20 | G21 | S8 | G22 | G23 | G24 | S9 |
| Distanza da G1 (m) | 2.00 | 0.00 | 4.00 | 8.00 | 10.00 | 12.00 | 16.00 | 20.00 | 22.00 | 24.00 | 28.00 | 32.00 | 34.00 | 36.00 | 40.00 | 44.00 | 46.00 | 48.00 | 52.00 | 56.00 | 58.00 | 60.00 | 64.00 | 68.00 | 70.00 | 72.00 | 76.00 | 80.00 | 82.00 | 84.00 | 88.00 | 92.00 | 94.00 |

Tabella n° 2 - Array degli stendimenti

La distanza, che viene tenuta fissa, tra un geofono e l'altro definisce l'intera geometria dello stendimento, (nel caso specifico pari a 4 m).

I treni di onde P sono generati tramite l'uso di un cannoncino sismico in grado di fare esplodere cartucce per uso tecnico cal. 8 Kiln.

Le caratteristiche del sismografo e dei geofoni utilizzati sono di seguito sinteticamente riassunte:

| SISMOGRAFO M.A.E. X610-S |
|---|
| Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta |
| Range dinamico: 144 dB (teorico) |
| Numero di campioni per evento: impostabile da 1024 a 21800 con incrementi di 512 |
| Interfacce disponibili: LAN, USB, VGA |
| Auto-calibrazione interna dei convertitori prima di ogni acquisizione |
| Intervali di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms |
| Archiviazione dati: in memoria FLASH interna (fino a 3GB disponibili) e/o su USB pen-drive rimovibile |
| Alimentazione: 12V DC con assorbimento medio di 1.5A |
| Display: LCD 12.2" con touch-screen integrato optical bonding |
| Dimensioni e peso: 46x32,7x17 cm, 8 Kg (cavi e sensori esclusi) |
| Condizioni ambientali: -20/80°C |



| GEOFONI GEOSPACE GS-11D | |
|--|------------------------------------|
| Natural Frequency | 4.5 ± 0.75 Hz |
| Coil Resistance @ 25°C ± 5% | 380 Ohms |
| Isomeric Voltage Sensitivity with 380 Ohm Coil ± 10% | 0.32 V/cm/s |
| Normalized Transduction Constant (V in/sec) | 0.42 (sq. root of R _c) |
| Open Circuit Damping | 0.34 ± 20% |
| Damping Constant with 380 Ohm Coil | ~62 |
| Optional Coil Resistance ± 5% | 56.16 Ohms |
| Moving Mass ± 5% | 25.6 g |
| Typical Case to Coil Motion P-P | 0.18 cm |
| Harmonic Distortion with Driving Velocity of 0.1 in/sec (2.5 cm/sec) P-P | ≤ 5 |
| Dimensioni | |
| Height (less terminals*) | 3.35 cm |
| Diameter | 3.18 cm |
| Weight | 111 g |

* terminal height is 0.5429 cm.

Tabella n° 3 - Tabella delle caratteristiche del sismografo e dei geofoni utilizzati.

Il posizionamento planoaltimetrico di tutti gli shots eseguiti e dei geofoni è stato effettuato attraverso l'esecuzione di un rilievo GPS con strumentazione Leica serie 1200 RX 1250.

Di seguito si riportano le quote degli shot riferite al livello del mare per ogni linea eseguita:

RIFRAZIONE L1 – QUOTE SHOT

| Shot n. | Quota (m) |
|---------|-----------|
| S1 | 1643.00 |
| S2 | 1644.80 |
| S3 | 1646.60 |
| S4 | 1646.00 |
| S5 | 1645.50 |
| S6 | 1645.45 |
| S7 | 1645.40 |
| S8 | 1645.60 |
| S9 | 1645.80 |



RIFRAZIONE L2 – QUOTE SHOT

| Shot n. | Quota (m) |
|---------|-----------|
| S1 | 1645.80 |
| S2 | 1646.05 |
| S3 | 1646.30 |
| S4 | 1646.20 |
| S5 | 1646.10 |
| S6 | 1649.10 |
| S7 | 1652.10 |
| S8 | 1652.60 |
| S9 | 1653.10 |

RIFRAZIONE L3 - – QUOTE SHOT

| Shot n. | Quota (m) |
|---------|-----------|
| S1 | 1472.95 |
| S2 | 1475.10 |
| S3 | 1477.53 |
| S4 | 1480.27 |
| S5 | 1482.82 |
| S6 | 1484.72 |
| S7 | 1486.37 |
| S8 | 1488.08 |
| S9 | 1488.60 |



PROCEDURE E CODICI DI CALCOLO

RIFRAZIONE SISMICA CON METODO TOMOGRAFICO -

PICKING DEI SEGNALI E DETERMINAZIONE DEL TRAVEL TIME

Al fine di procedere all'interpretazione utilizzando il software **Rayfract 4.01** è necessario determinare il travelttime di ogni raggio d'onda, tale operazione viene fatta tramite la determinazione dei tempi dei primi arrivi delle onde rifratte (picking) e l'individuazione geometrica dei percorsi seguiti dai raggi stessi.

Per quanto concerne le onde P il picking è stato effettuato utilizzando il modulo apposito contenuto nel pacchetto software Rayfract 4.01.

ELABORAZIONE CON METODOLOGIA TOMOGRAFICA

L'elaborazione tomografica si basa sul concetto che la propagazione di un'onda reale è influenzata non solo dalle variazioni delle proprietà del mezzo lungo il percorso del raggio ma anche dalle strutture che si trovano nella vicinanze (Zona di Fresnel).

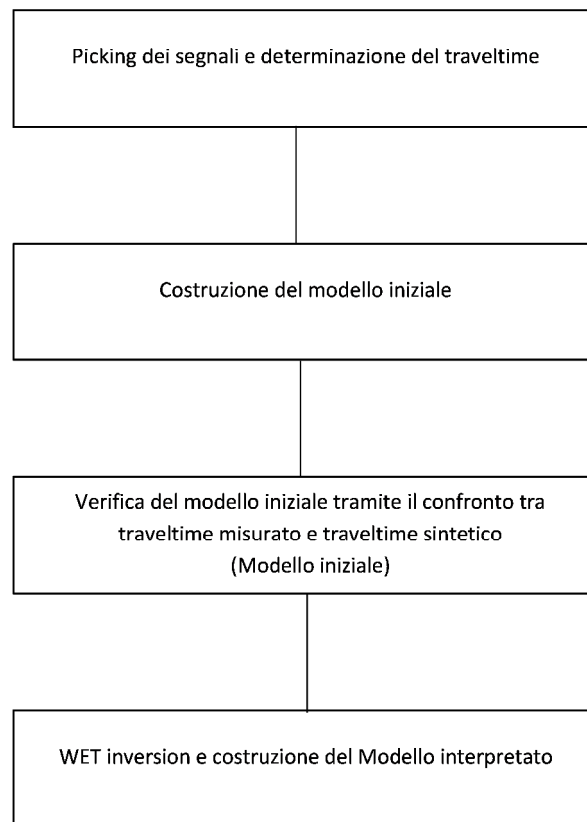
L'area di influenza sulla propagazione del raggio d'onda a determinata banda di frequenza è definita e controllata dalla frequenza dominante del segnale.

Il metodo più realistico di rappresentare la propagazione del raggio d'onda è quello di considerare il percorso del raggio non costituito da una linea ma come un fascio di spessore ben definito.

Tale metodo si basa sull'utilizzo del volume di Fresnel: il volume di Fresnel è l'insieme di tutti i raggi con un ritardo sul più breve travelttime minore di metà del periodo d'onda.

In pratica i raggi contenuti nel volume di Fresnel si sommano in modo costruttivo per formare il primo arrivo dei treni d'onda. L'inversione dei volumi di Fresnel definiti tramite la determinazione dei travelttime rappresenta l'immagine tomografica.

In estrema sintesi la rifrazione tomografica si basa sul seguente diagramma di flusso:



L'interpretazione è stata eseguita utilizzando il software Rayfract 4.01.

Partendo dai tempi di picking, ottenuti con la metodologia precedentemente descritta, si procede alla determinazione del modello iniziale.

Costruzione del modello iniziale con i metodi Smooth Inversion (Rayfract 4.01) e Plus Minus (Hagedorn, 1959)

Smooth Inversion (Rayfract 4.01)

La velocità di propagazione delle onde P all'interno dei rifrattori è determinata utilizzando l'algoritmo Smooth Inversion che crea automaticamente un modello monodimensionale basato sul codice di calcolo Δ , t , V .

Il codice di calcolo Δ , t , V necessita dei seguenti dati di ingresso:

i dati sismografici completati dalla geometria di acquisizione;

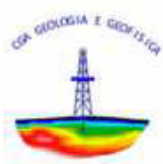
i tempi di picking (tempi dei primi arrivi).

Nel calcolo l'algoritmo prende in considerazione le seguenti grandezze:

Δ = offset verticale;

Revisione 00

Pagina 8 di 13



$t =$ travel time;

$V =$ velocità apparente.

Tali grandezze permettono di utilizzare le seguenti relazioni matematiche:

$$\Delta(V) = \frac{2}{a} \sqrt{V^2 - v_1^2}$$

$$t(V) = \frac{2}{a} \arccos\left(\frac{V}{v_1}\right)$$

Dove :

$$a = \frac{d_v}{d_z} \quad (\text{gradiente di velocità});$$

$v_1 =$ velocità del primo strato.

Noti i valori di cui sopra è possibile determinare la profondità del primo strato utilizzando la seguente relazione:

$$Z(V) = \frac{\Delta}{2} \sqrt{\frac{V - v_1}{V + v_1}}$$

I calcoli vengono poi eseguiti per tutti i livelli successivi omogenei per velocità.

Sulla base del modello iniziale, il codice di calcolo determina i tempi di picking sintetici, cioè relativi ad un sottosuolo sismico come quello rappresentato nel modello iniziale.

PLUS MINUS (HAGEDOORN, 1959)

Noti i valori di velocità è possibile definire la profondità dei rifrattori al di sotto di ogni geofono, il metodo utilizzato si basa sulla determinazione dei “tempi intercetti” per le dromocrone delle onde rifratte e dei “tempi di ritardo” per ogni geofono dello stendimento.

L'applicazione del calcolo permette la definizione della morfologia dei rifrattori al di sotto di ogni geofono, ricostruendo quindi la geometria dell'intera sezione indagata.

VERIFICA DEL MODELLO INIZIALE

La verifica del modello iniziale viene effettuata sia confrontando i tempi di picking osservati con quelli sintetici sia i travel time di campagna con quelli determinati sulla base del Modello Iniziale.

Il Modello iniziale viene accettato quando l'errore (RMS) è inferiore al 10%.



WET INVERSION E COSTRUZIONE DEL MODELLO INTERPRETATO

La realizzazione della sezione tomografica, partendo dal modello iniziale precedentemente determinato, viene effettuata utilizzando il metodo WET tomography (Wavepath Eikonal Traveltime tomography).

Tale metodo di calcolo tomografico utilizza l'algoritmo di Eikonal e considera il fascio di onde determinato dal volume di Fresnel (Fat rays).

Dopo la determinazione del traveltime effettuata con il picking sui sismogrammi (t_{rs}^{obs}) i procedimenti di calcolo possono essere così sintetizzati:

- c) costruzione di un modello iniziale della slowness ($1/v$), e soluzione dell'equazione di Eikonal tramite il metodo delle differenze finite ottenendo t_{xs} e t_{xr} (Volume di Fresnel), calcolo del traveltime residuo $\Delta t = t_{rs} - t_{rs}^{obs}$;
- d) sommatoria delle sorgenti di sparo e dei ricevitori così da generare un sistema virtuale a sorgenti e ricevitori multipli;
- e) aggiornare tramite iterazioni il modello slowness sino a raggiungere la convergenza.



PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

Le prove eseguite sono riportate graficamente in appendice 1.

L'analisi delle immagini tomografiche evidenziano in tutte le linee eseguite la presenza di tre zone omogenee (sismostrati):

- a) presenza di una zona superficiale (colore azzurro blu e verde), caratterizzata da bassi valori di V_p (minori di 1000 m/s); i terreni che costituiscono questo sismostrato sono i terreni di alterazione, pedogenizzati e sono caratterizzati da scarse proprietà geotecniche- Sismostrato 1;
- b) presenza di un orizzonte intermedio individuabile per velocità di propagazione delle onde P comprese tra di 1000 m/s e 2000 m/s (colore da giallo ad arancione) interpretabile come formazione alterata e detensionata- Sismostrato 2;
- c) presenza di un ulteriore sismostrato individuabile per velocità di propagazione delle onde P maggiori di 2000 m/s (colore da arancione a rosso) che corrisponde alla formazione inalterata – Sismostrato 3.

LINEA TOMOGRAFICA L1

La linea L1 presenta una coltre di terreni superficiali con V_p inferiore a 1000 m/s (sismostrato 1) con spessore mediamente attorno ai 5 metri, che può approfondirsi fino a 7/10 m.

La zona del sismostrato 2, corrispondente alla formazione detensionata, presenta una disomogeneità tra gli shots 5 e 6 fino a profondità di circa a 20 m, con valori di V_p anche inferiori a 1000 m/s: tale disomogeneità è probabilmente imputabile al detensionamento e fratturazione della formazione, che risultano particolarmente pronunciati, con evidenti ricadute negative sulle proprietà geotecniche dei terreni.

Il substrato della formazione inalterata (sismostrato 3) si trova a profondità generalmente di circa 20 m dal piano di campagna.

LINEA TOMOGRAFICA L2

La linea 2 evidenzia sempre la copertura di materiali teneri per uno spessore di circa 5 m, ma presenta un substrato molto meno tormentato, rispetto alla linea 1, con la presenza di formazione inalterata a partire da 10-15 m dal piano di campagna.



LINEA TOMOGRAFICA L3

In corrispondenza della linea 3 lo spessore di materiali teneri di copertura è variabile fra 3 m e 5 m circa, con il substrato della formazione inalterata che non va oltre i 10 m di profondità dal piano di campagna.

San Giovanni in Persiceto, 13-nov-20

I Geologi :





APPENDICE 1

Figure ed elaborati grafici



Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 24

Committente: Dottorssa Giovanna Giordani

Località: Nuova Seggivia Corno Alle Scale - Lizzano in Belvedere (BO)

Data: 11 ottobre 2020

UBICAZIONE LINEE SISMICHE





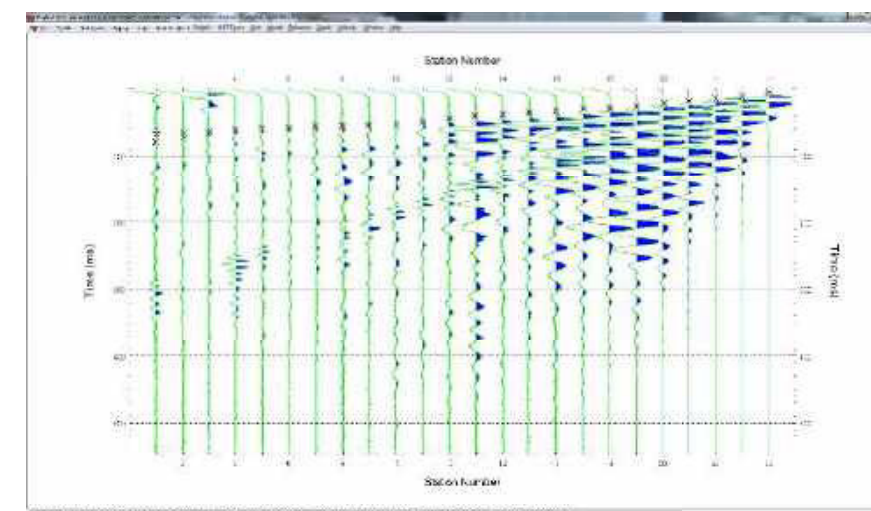
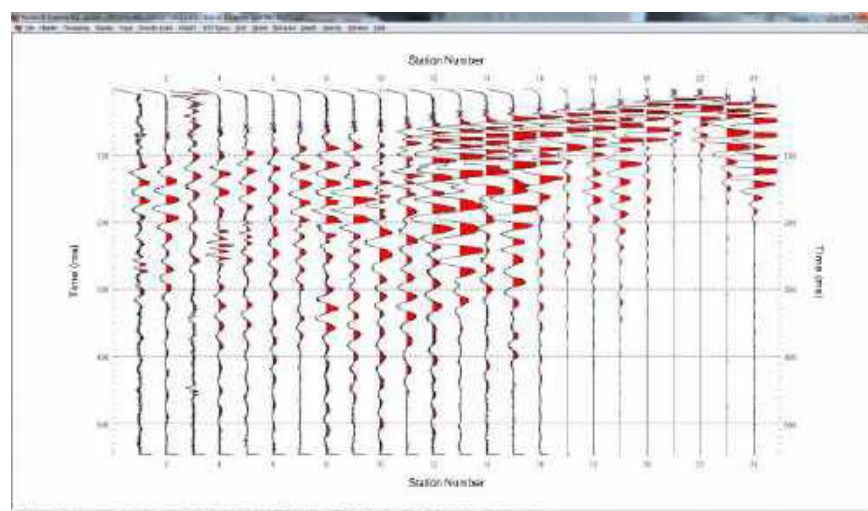
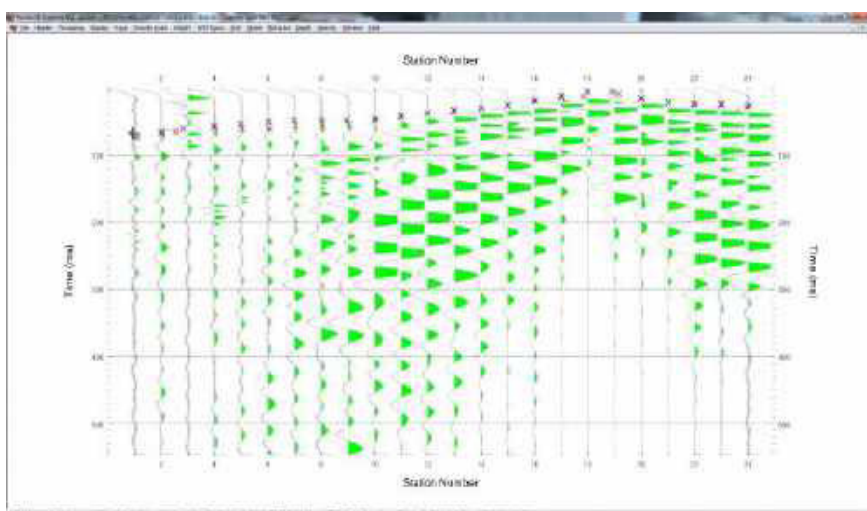
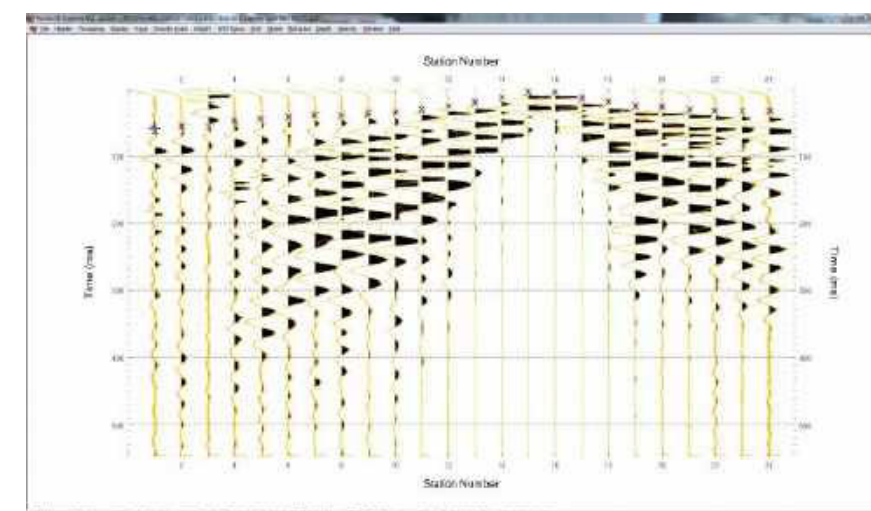
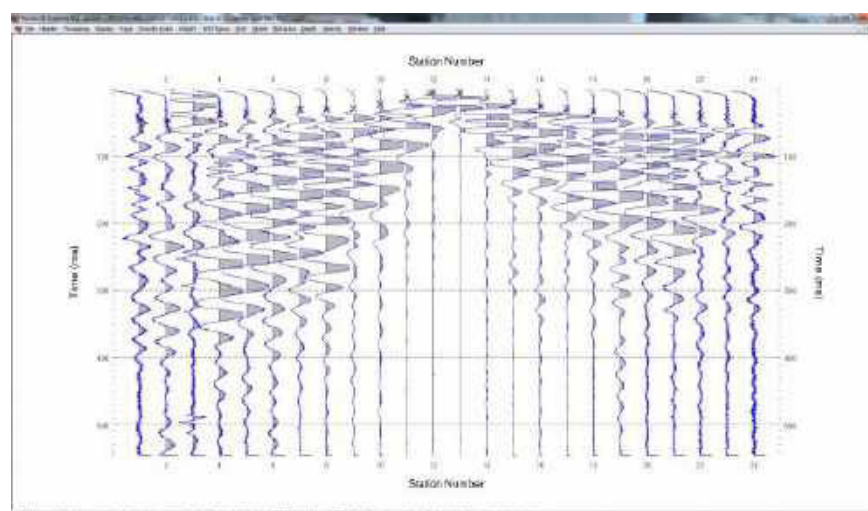
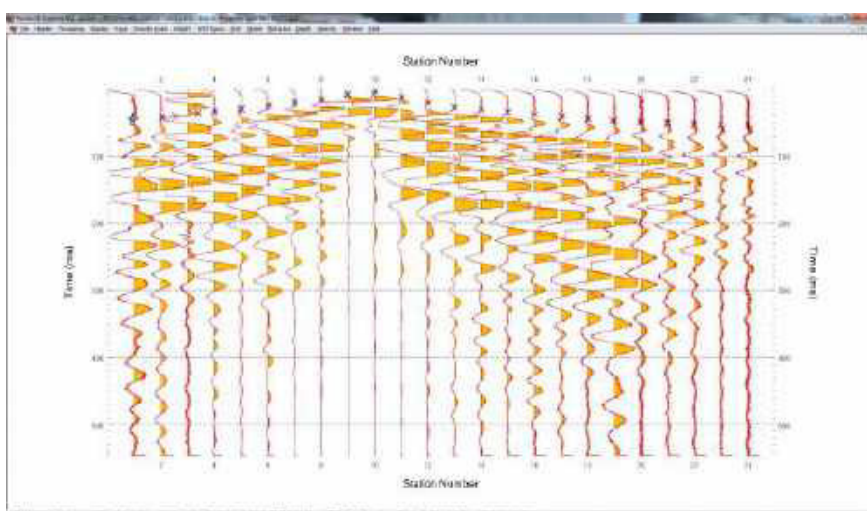
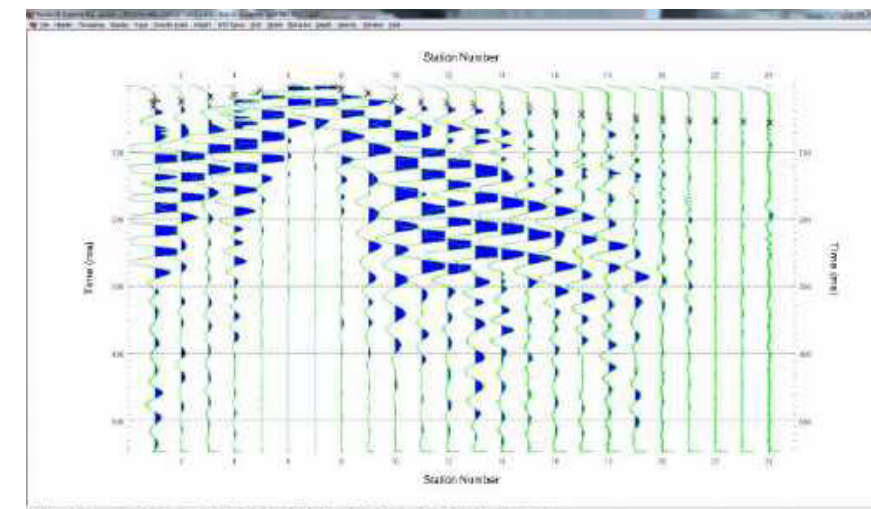
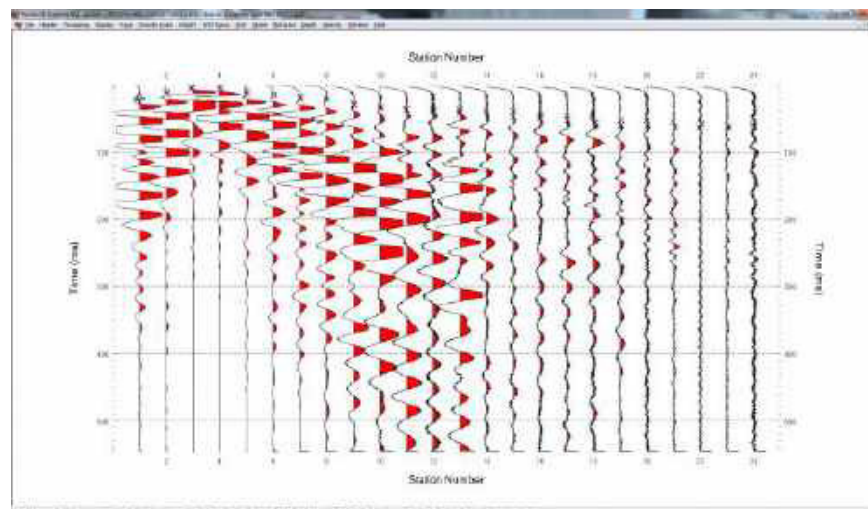
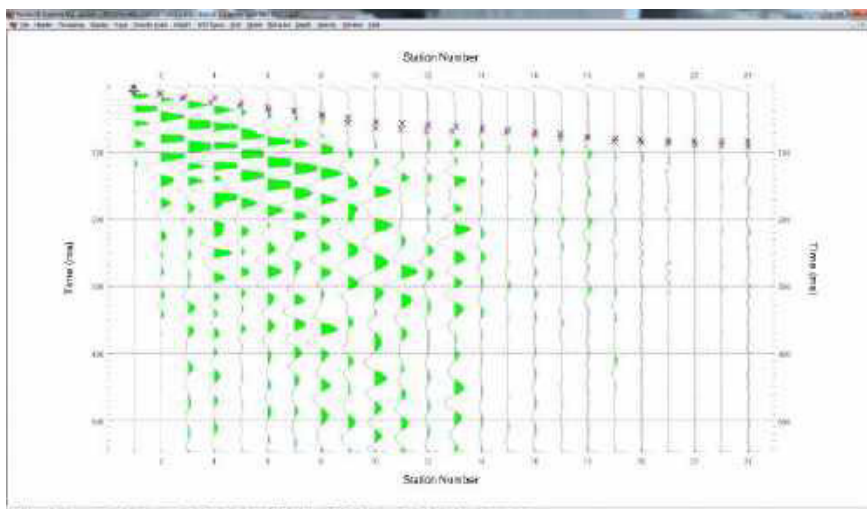
Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 24

Committente: Dottorssa Giovanna Giordani

Progetto: Nuova Seggivia Corno Alle Scale - Lizzano in Belvedere (BO)

Data: 11 ottobre 2020

SISMOGRAMMI LINEA SISMICAL1





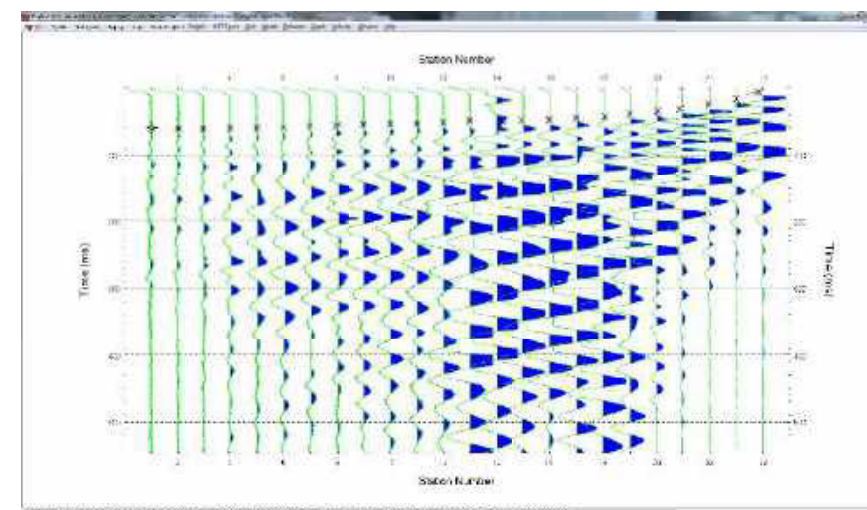
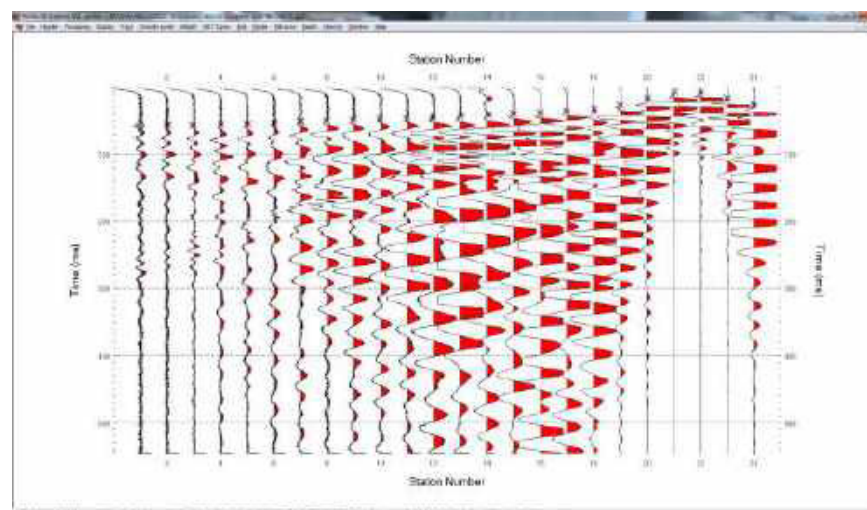
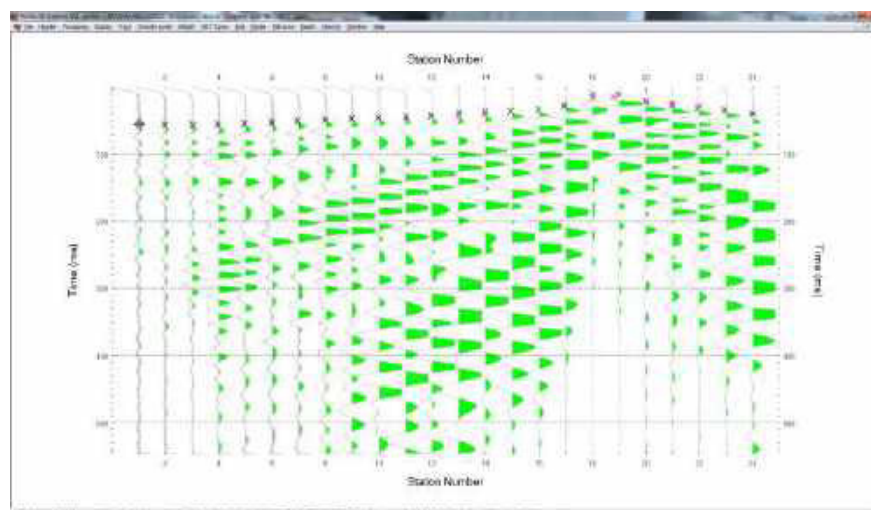
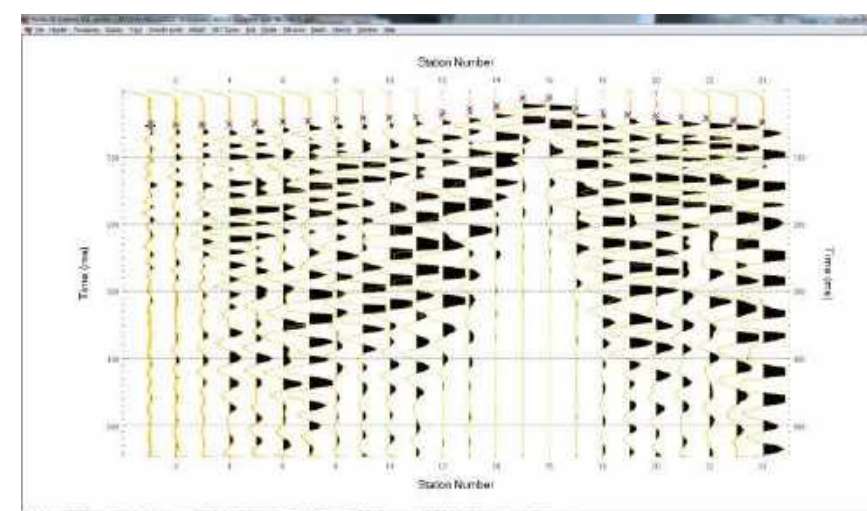
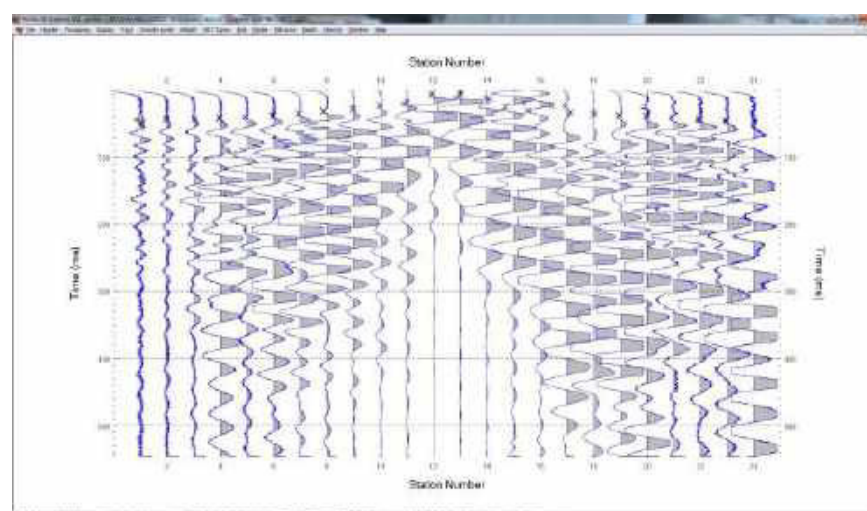
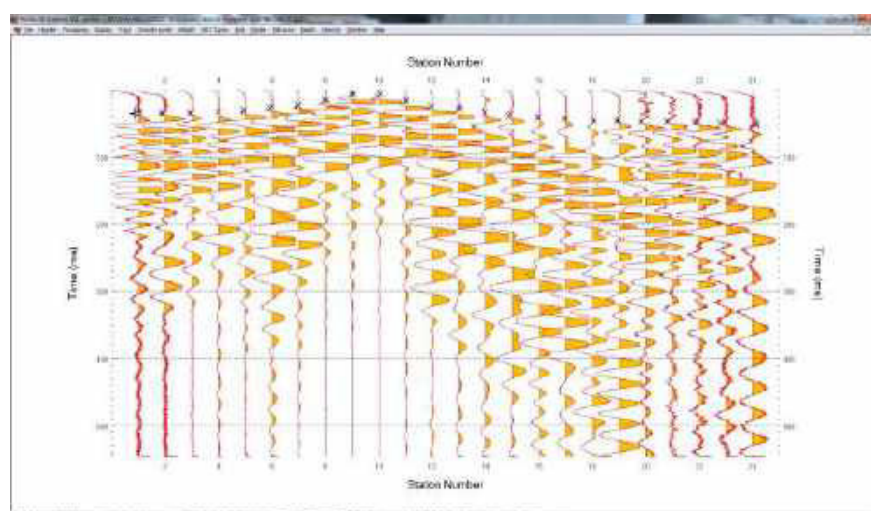
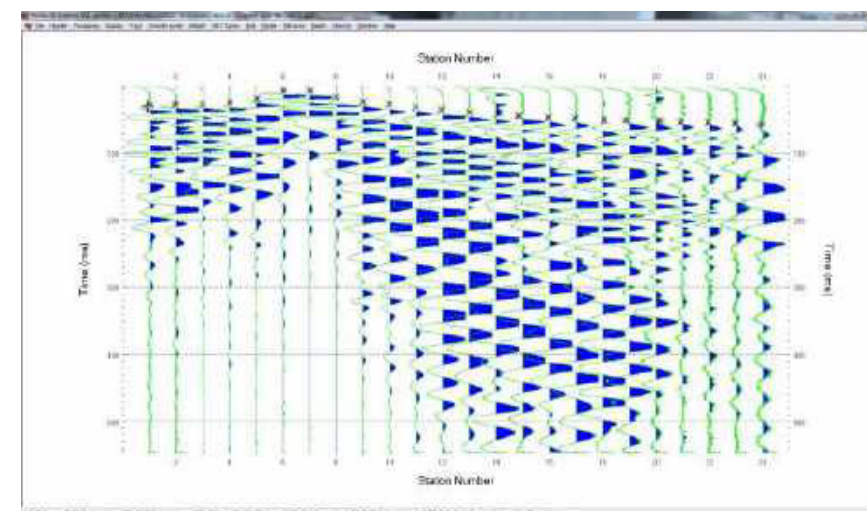
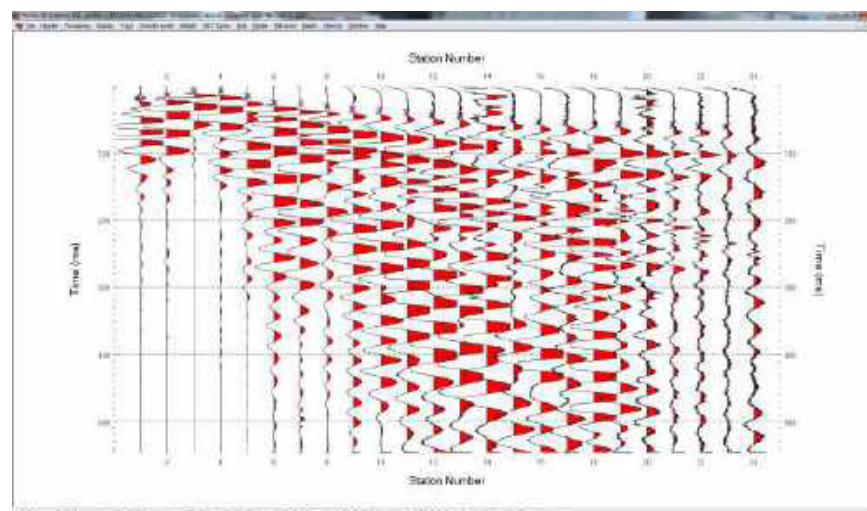
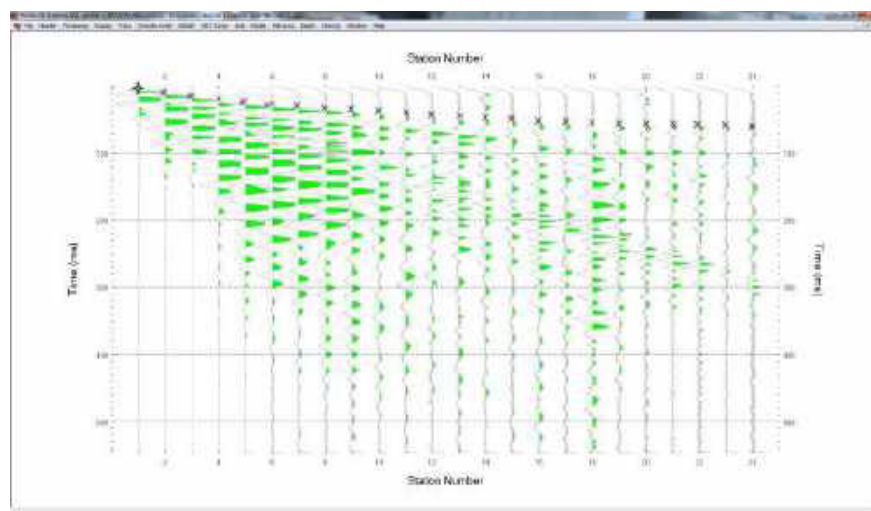
Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 24

Committente: Dottoressa Giovanna Giordani

Progetto: Nuova Seggivia Corno Alle Scale - Lizzano in Belvedere (BO)

Data: 11 ottobre 2020

SISMOGRAMMI LINEA SISMICAL2





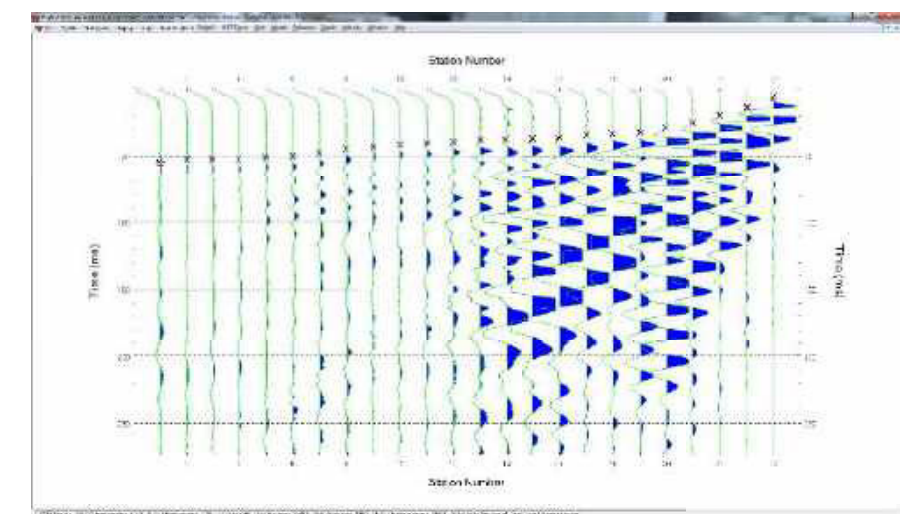
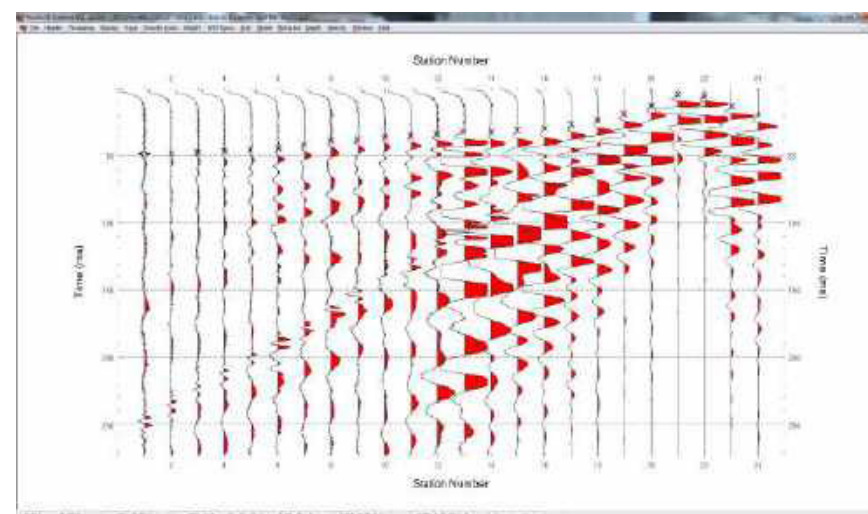
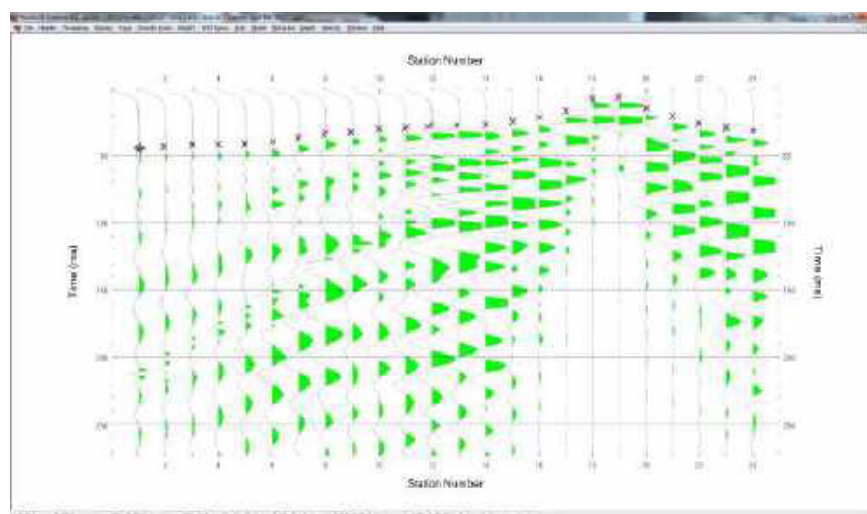
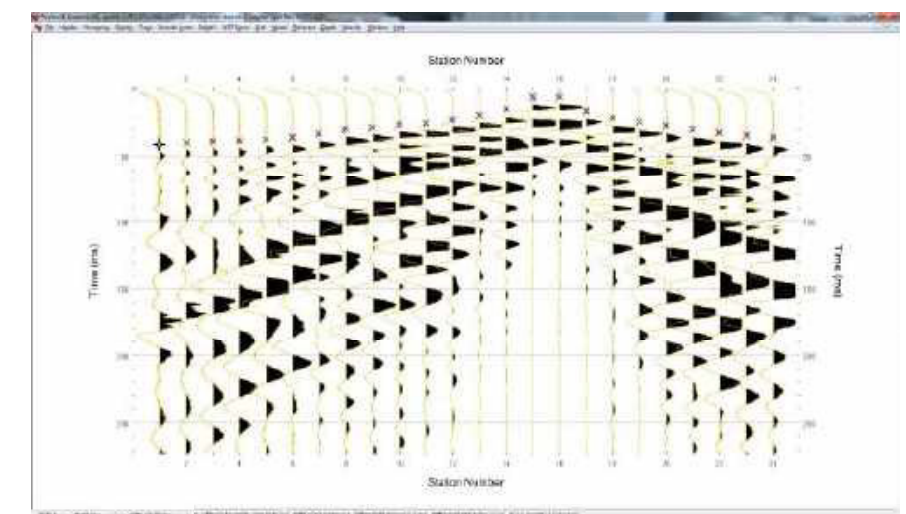
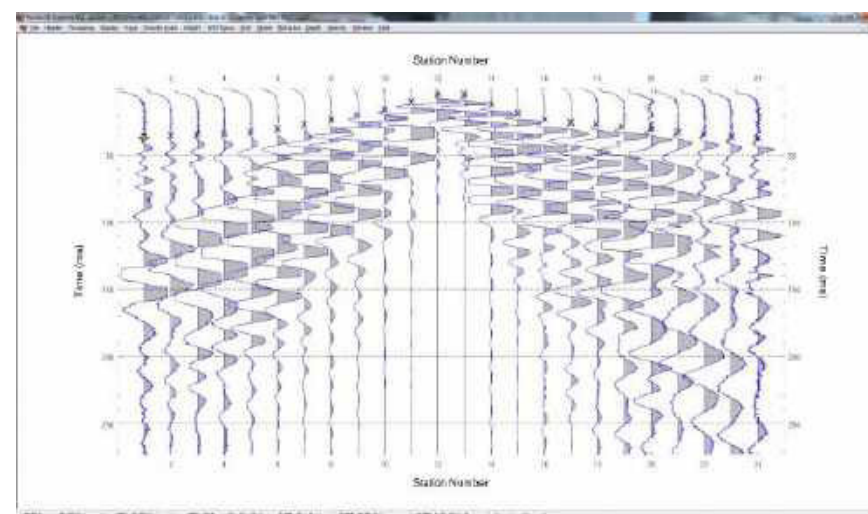
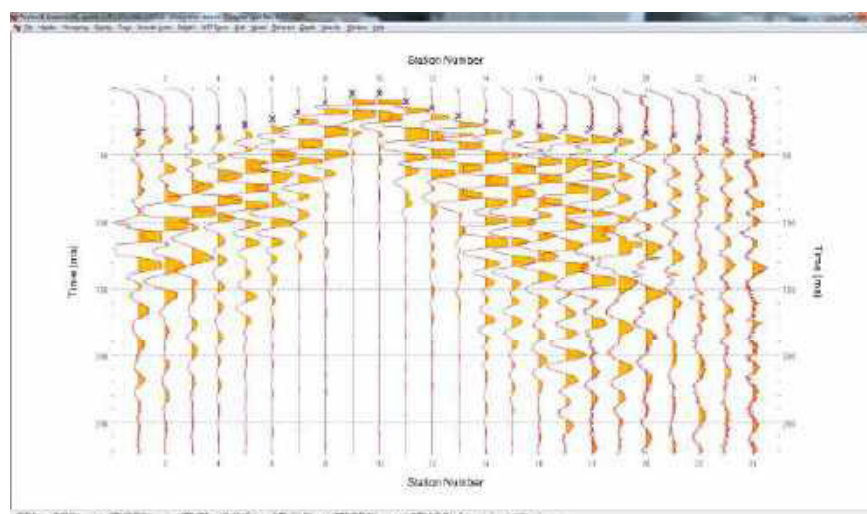
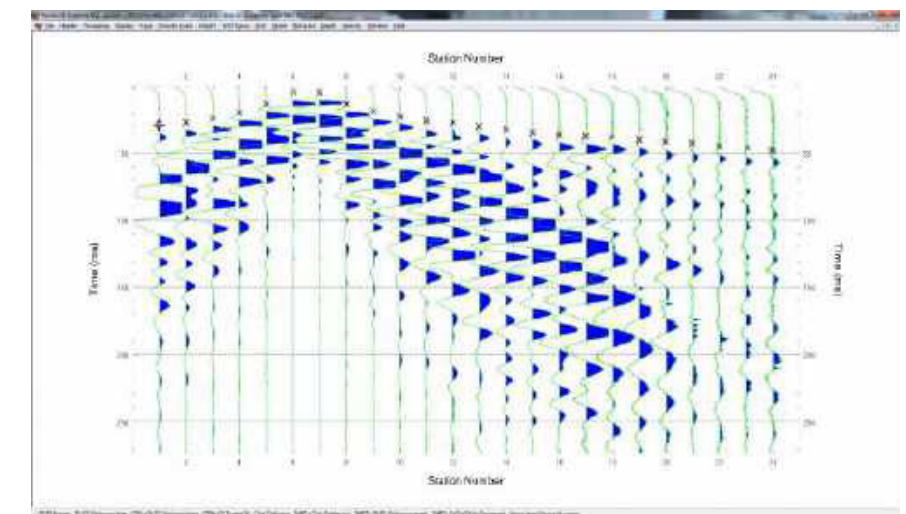
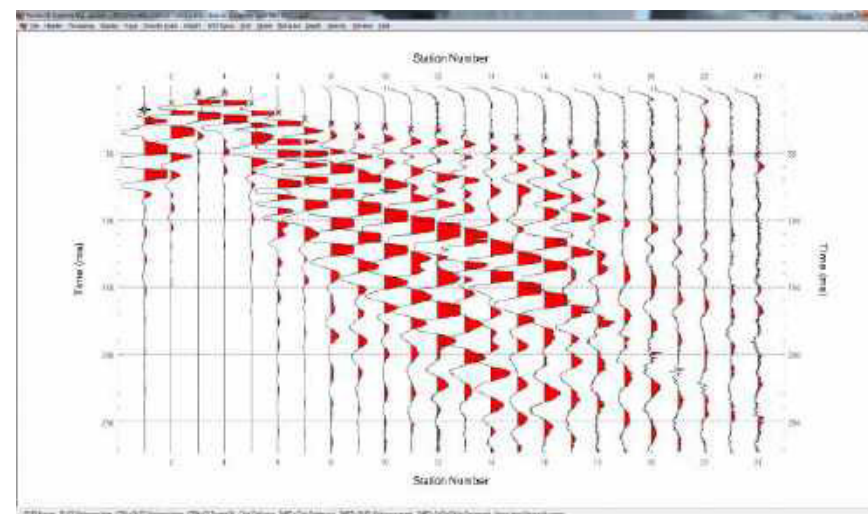
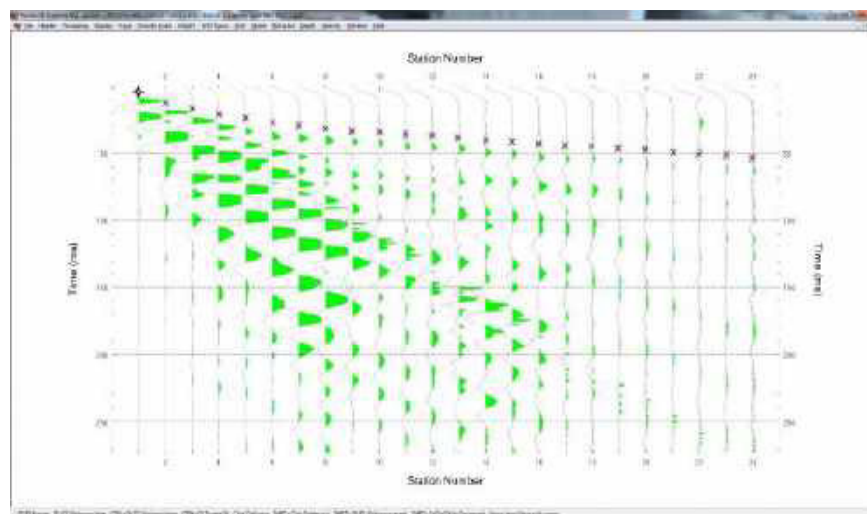
Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 24

Committente: Dottoressa Giovanna Giordani

Progetto: Nuova Seggivia Corno Alle Scale - Lizzano in Belvedere (BO)

Data: 11 ottobre 2020

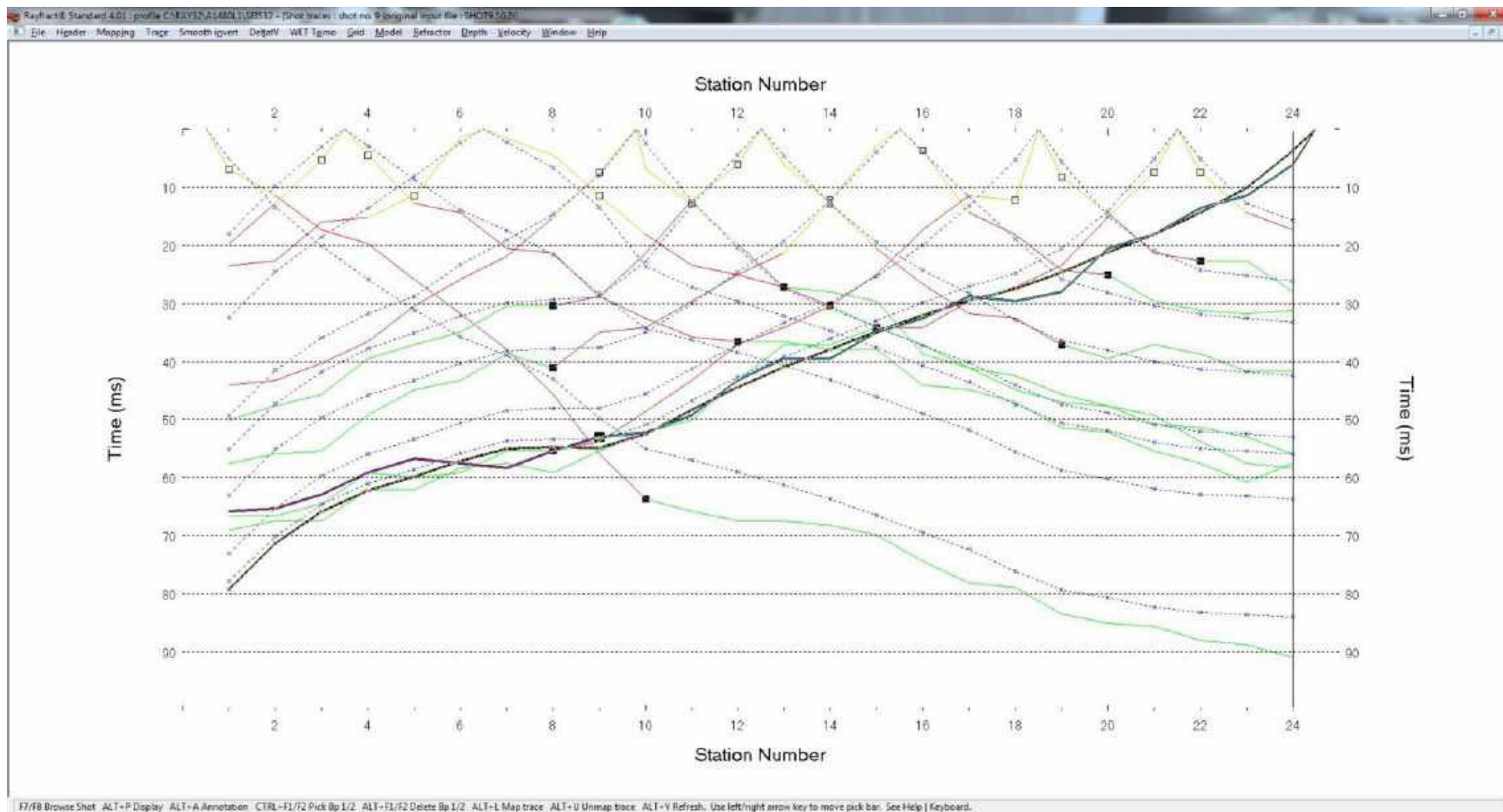
SISMOGRAMMI LINEA SISMICA L3





Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 24 Committente: Dottoressa Giovanna Giordani Località: Nuova Seggivia Corno Alle Scale - Lizzano in Belvedere (BO) Data: 11 ottobre 2020

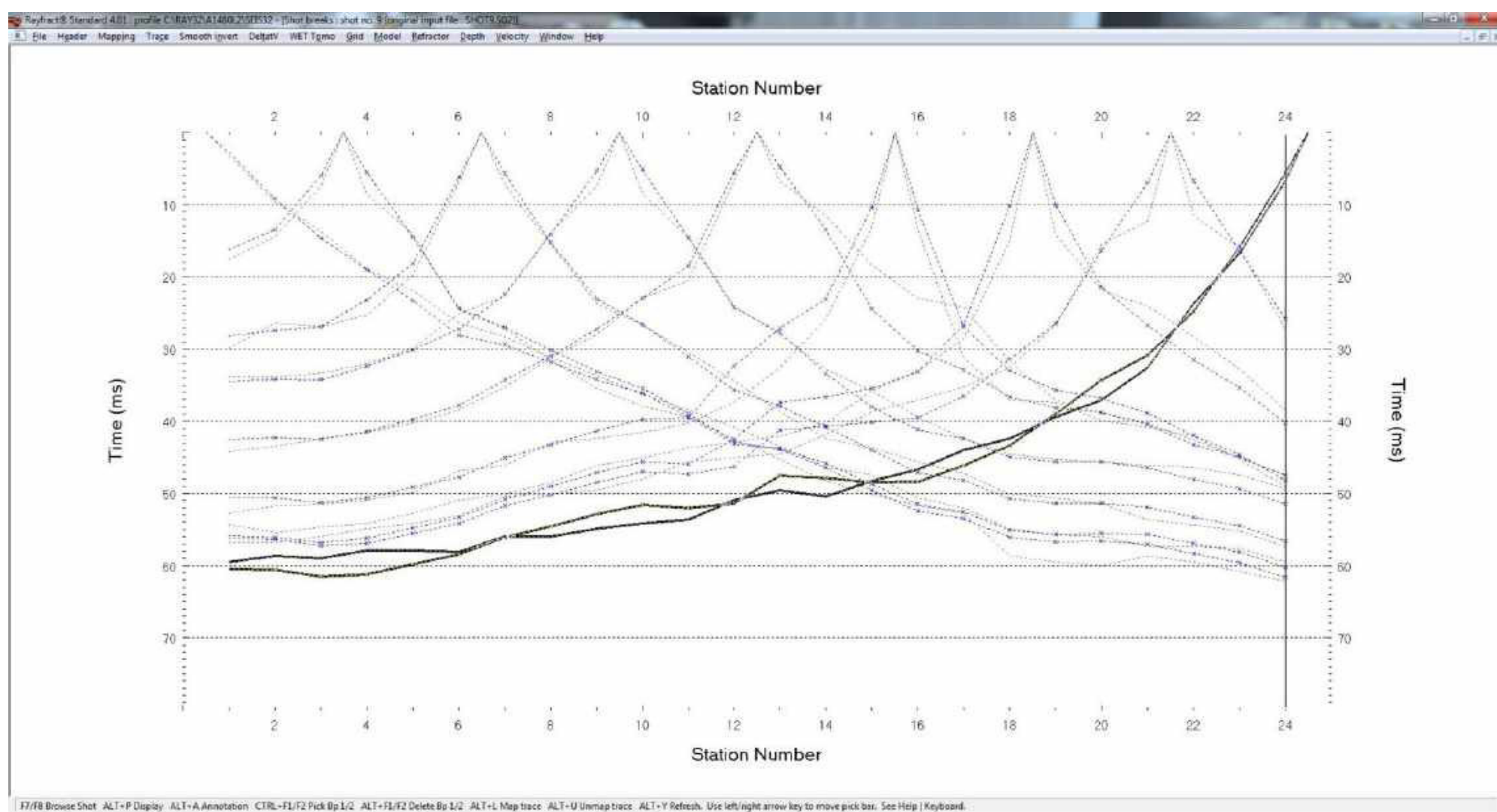
DROMOCRONE LINEA SISMICA L1





Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 24 Committente: Dottoressa Giovanna Giordani Località: Nuova Seggivia Corno Alle Scale - Lizzano in Belvedere (BO) Data: 11 ottobre 2020

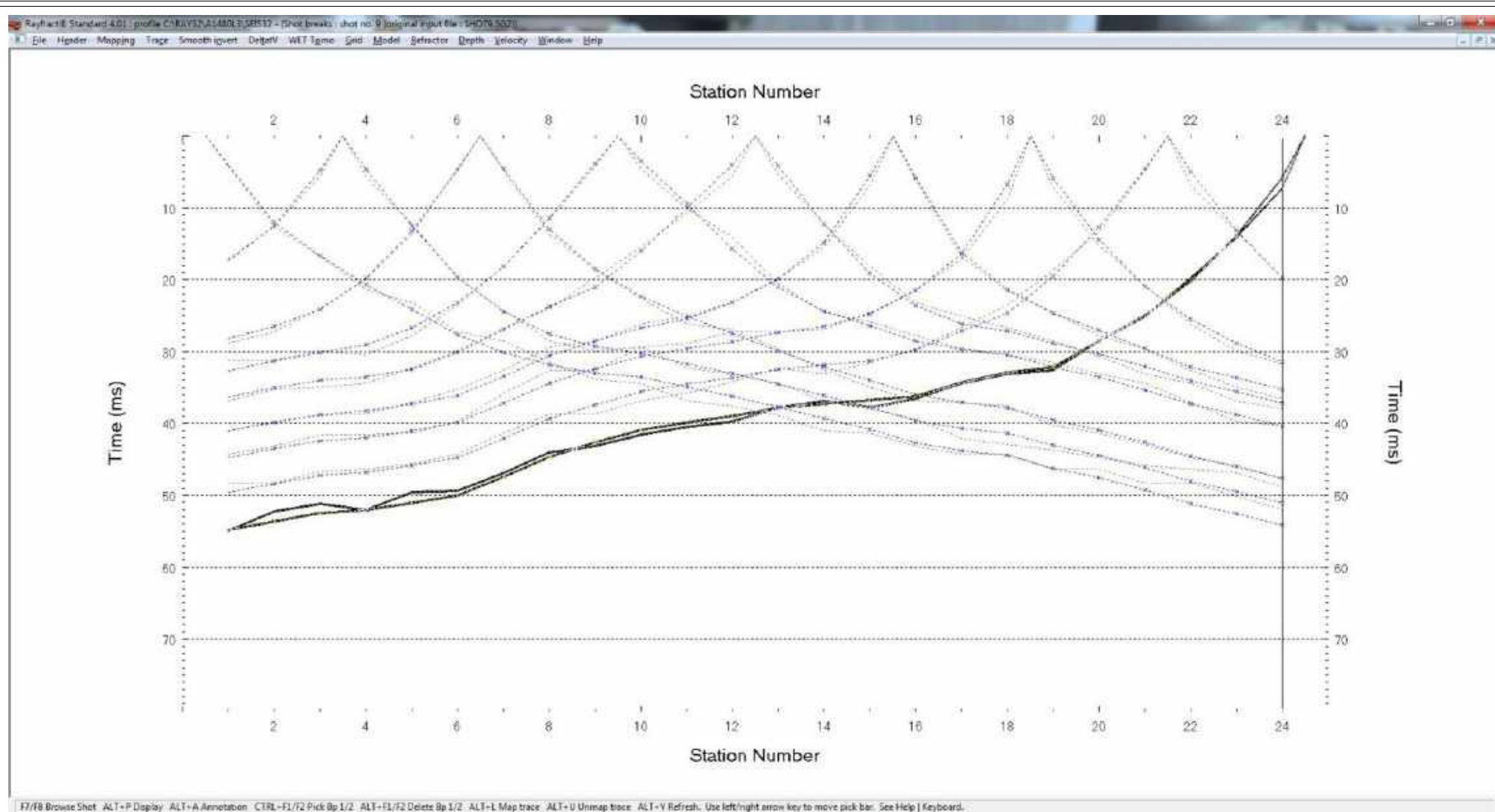
DROMOCRONE LINEA SISMICA L2





Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 24 Committente: Dottoressa Giovanna Giordani Località: Nuova Seggivia Corno Alle Scale - Lizzano in Belvedere (BO) Data: 11 ottobre 2020

DROMOCRONE LINEA SISMICA L3





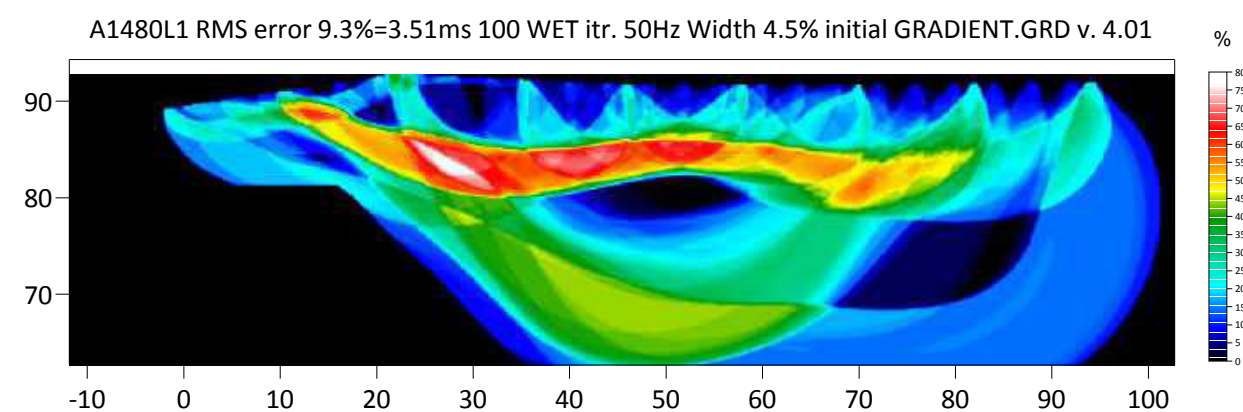
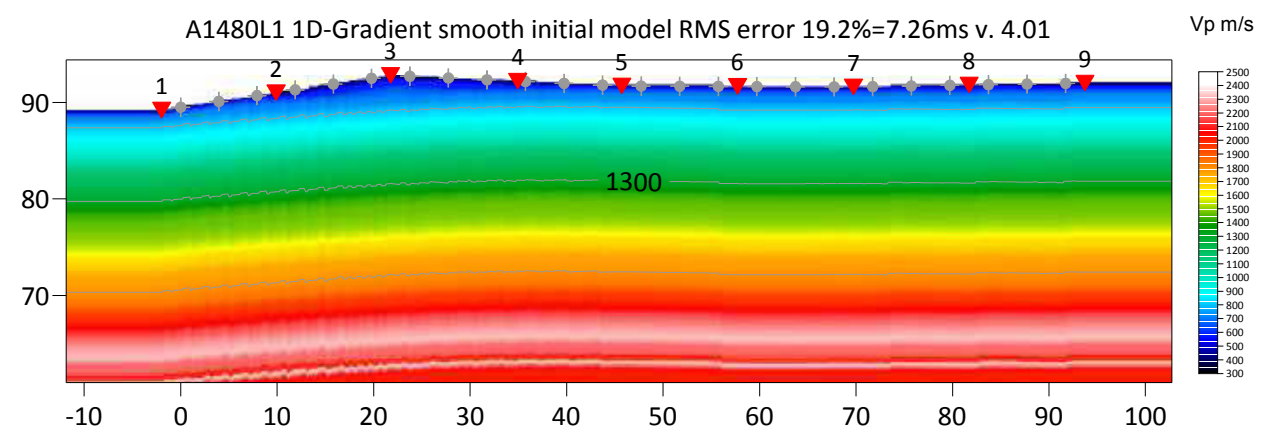
Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 24

Committente: Dottoressa Giovanna Giordani

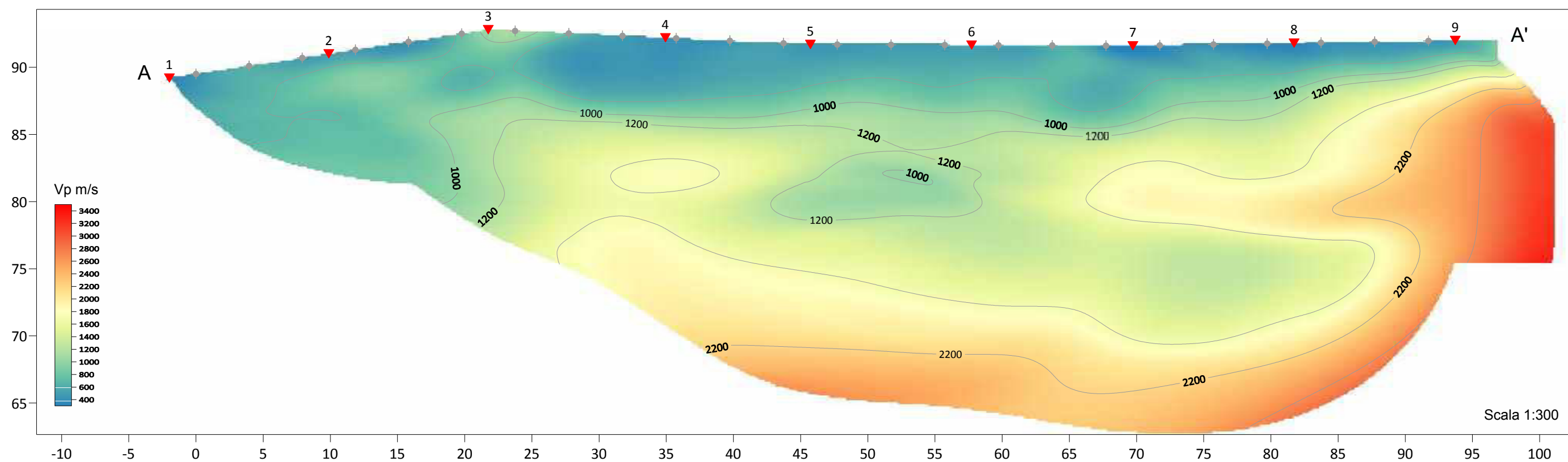
Progetto: Nuova Seggivia Corno Alle Scale - Lizzano in Belvedere (BO)

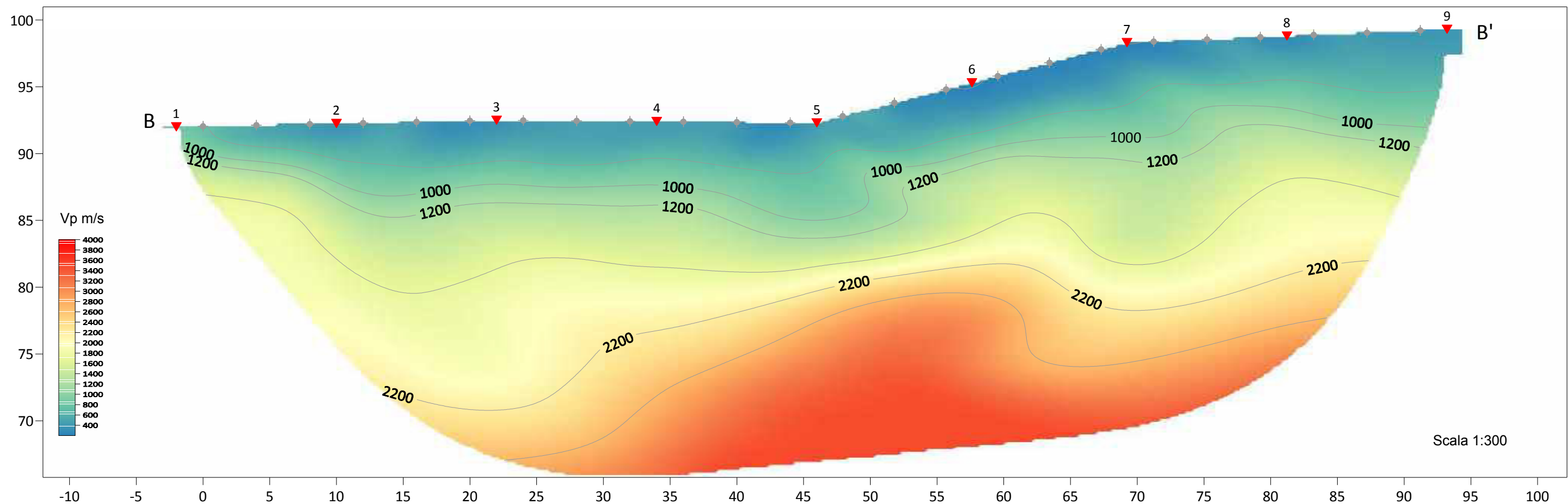
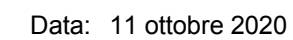
Data: 11 ottobre 2020

RESTITUZIONE TOMOGRAFICA LINEA SISMICA L1



A1480 LINEA TOMOGRAFICA L 1







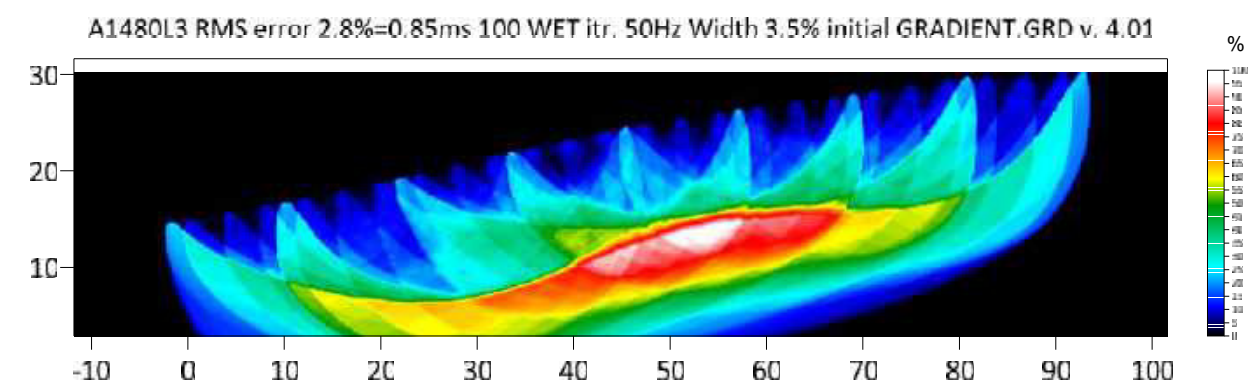
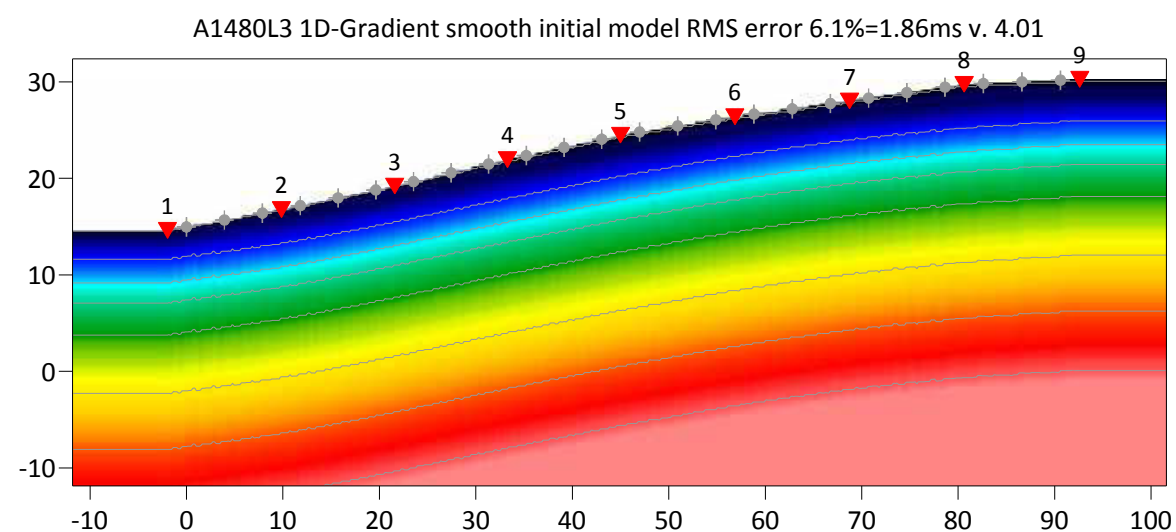
Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 24

Committente: Dottoressa Giovanna Giordani

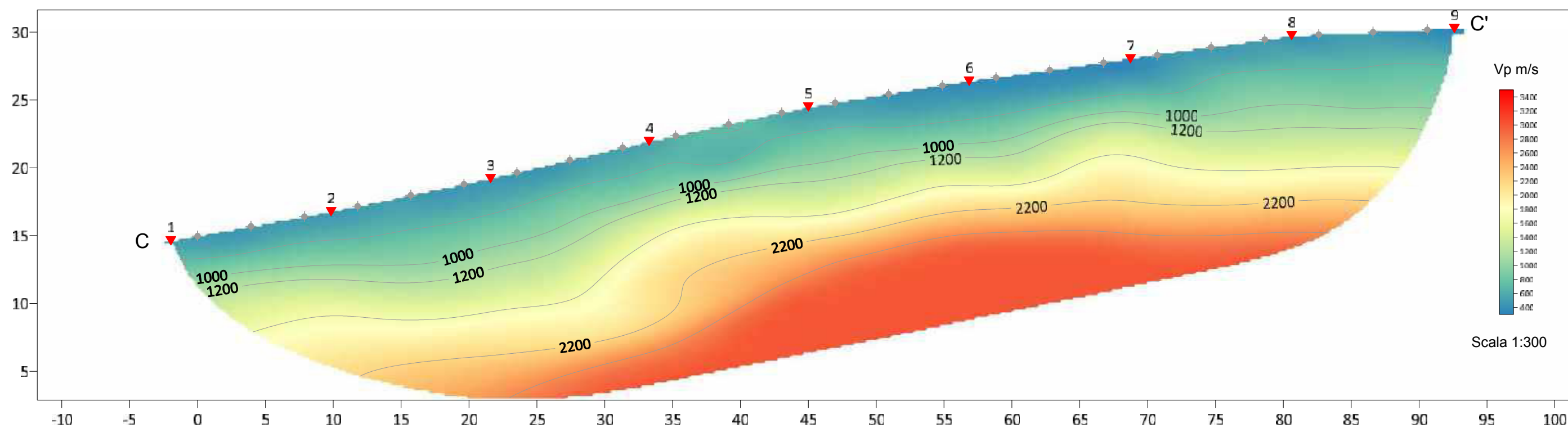
Progetto: Nuova Seggivia Corno Alle Scale - Lizzano in Belvedere (BO)

Data: 11 ottobre 2020

RESTITUZIONE TOMOGRAFICA LINEA SISMICA L3



A1480 LINEA TOMOGRAFICA L3





Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 24

Committente: Dottoressa Giovanna Giordani

Località: Nuova Seggivia Corno Alle Scale - Lizzano in Belvedere (BO)

Data: 11 ottobre 2020

REPERTORIO FOTOGRAFICO



Posizionamento L1



Panoramica L1 e L2



Panoramica



Posizionamento L3

Analisi di laboratorio di tipo geotecnico



GEOTEA s.r.l.

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

CERTIFICATO DI PROVA TEST REPORT

1684

20.367

000

pagine del documento - document pages

11

Verbale - *Acceptance report*
Committente - *Commissioner*
Località - *Locality*
Cantiere - *Investigation site*

1684
GIORDANI GEOL. GIOVANNA
CORNO ALLE SCALE (BO)
RIFACIMENTO IMPIANTO SEGGIOVIA

DATI IDENTIFICATIVI DEI CAMPIONI E PROVE ESEGUITE

Samples identification and performed tests

| Sondaggio <i>Borehole</i> | Campione <i>Sample</i> | Profondità <i>Depth</i> | Prove eseguite - <i>Performed tests</i> |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------|--|
| - | C1 | 1.50 m | Granulometria meccanica e con il metodo del densimetro, limiti di Atterberg, classificazione di una terra, taglio diretto CD in scatola di Casagrande. |
| - | C2 | 1.50 m | Granulometria meccanica e con il metodo del densimetro, limiti di Atterberg, classificazione di una terra, taglio diretto CD in scatola di Casagrande. |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Note - Remarks:

Il nostro laboratorio esegue le prove commissionate secondo le norme di riferimento riportate su ogni certificato; il laboratorio segue inoltre le raccomandazioni contenute nella norma UNI EN 17025 "Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura". Questi risultati sono per uso esclusivo del cliente per il quale sono stati ottenuti. Essi sono applicabili solamente ai campioni testati e non sono indicativi di campioni apparentemente simili.
These results are for the exclusive use of the client for whom they were obtained. They apply only to the tested samples and are not indicative of apparently identical samples.

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre





PARTICLE SIZE ANALYSIS

Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-4 CNR UNI A. V n° 23

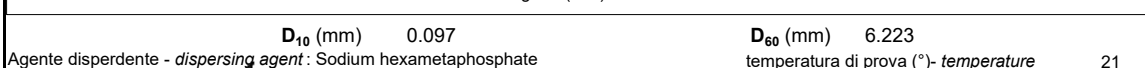
Technical specification

Data apertura campione - *Sample opening date*

02/11/2020

| | |
|---|-------|
| Massa campione (g) - <i>Specimen weight</i> | 40.26 |
|---|-------|

| | | | | | | | | |
|---|------------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|--------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|
| Granulometria A.G.I. <i>PSD</i> | Ghiaia (%) <i>Gravel</i> | 50.42 | Sabbia (%) <i>Sand</i> | 41.64 | Limo (%) <i>Silt</i> | 7.54 | Argilla (%) <i>Clay</i> | 0.40 |
|---|------------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|--------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|



Sperimentatore Technician

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre



GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO
9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY
LABORATORIO ACCREDITATO DAL CONSIGLIO LAVORI
PUBBLICI SETTORE TERRE.

LIMITI DI ATTERBERG

ATTERBERG LIMITS

Normativa di riferimento: UNI EN ISO/TS 17892-12

Technical specification

Certificato - *Test report*

Verbale - *Acceptance report*

Committente - *Commissioner*

Località - *Locality*

Cantiere - *Site*

Sondaggio - *Borehole*

Campione - *Sample*

Profondità - *Depth*

Data ricevimento - *Receiving date*

Data inizio prove - *Test starting date*

Data fine prove - *Test ending date*

Data certificazione - *Report date*

Data apertura campione - *Sample opening date*

Classe campione - *Sample quality*

1684 - 20.367 - 002

1684

GIORDANI GEOL. GIOVANNA

CORNO ALLE SCALE (BO)

RIFACIMENTO IMPIANTO SEGGIOVIA

-

C1

1.50 m

02/11/2020

02/11/2020

10/11/2020

10/11/2020

02/11/2020

Q1

Penetrazione del cono (mm) - *Cone penetration*

Massa tara (g) - *Tara weight*

Massa campione umido + tara (g)

Moist specimen + tara

Massa campione secco + tara (g)

Dried specimen + tara

Contenuto in acqua (%) - *Moisture content*

Provino 1 - *Specimen 1*

-

Provino 2 - *Specimen 2*

-

Provino 3 - *Specimen 3*

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

Limite liquido (%) - *Liquid limit*

N.D.

Massa tara (g) - *Tara weight*

Moist specimen + tara

Massa campione secco + tara (g)

Dried specimen + tara

Limite plastico (%) - *Plastic limit*

Limite plastico (%) - *Plastic limit*

-

-

-

-

-

-

-

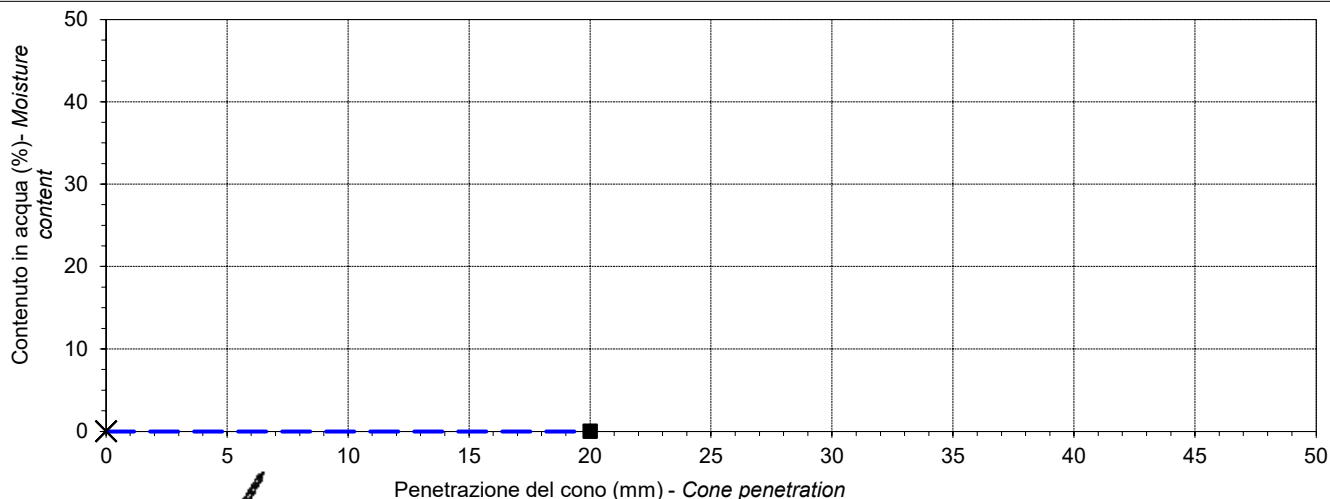
-

N.P.

N.P.

differenza percentuale -

N.P.



Note - *Remarks*

Direttore

Manager

Sperimentatore

Technician

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre

**GEOTEA s.r.l.**

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

CLASSIFICAZIONE DI UNA TERRA**IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION OF SOIL****Normativa di riferimento: CNR-UNI USCS****Technical specification**

Certificato - *Test report*
Verbale - *Acceptance report*
Committente - *Commissioner*
Località - *Locality*
Cantiere - *Site*
Sondaggio - *Borehole*
Campione - *Sample*
Profondità - *Depth*
Data ricevimento - *Receiving date*
Data inizio prove - *Test starting date*
Data fine prove - *Test ending date*
Data certificazione - *Report date*
Data apertura campione - *Sample opening date*

1684 - 20.367 - 003
1684
GIORDANI GEOL. GIOVANNA
CORNO ALLE SCALE (BO)
RIFACIMENTO IMPIANTO SEGGIOVIA
-
C1
1.50 m
02/11/2020
02/11/2020
10/11/2020
10/11/2020
02/11/2020

Analisi granulometrica 3 setacci**Particle size analysis 3 sieves**Peso campione (g) - *Specimen weight*

setaccio 2 mm - *sieve*
setaccio 0,42 mm - *sieve*
setaccio 0,075 mm - *sieve*

578.38

Pesate (g) - *Weight*

291.64
134.74
101.93

Passante (%) - *% finer than D*

49.58
26.28
8.66

Limiti di Atterberg - Atterberg limitsNumero colpi - *Number of blows*Massa tara (g) - *Tara weight*

Massa campione umido + tara (g)

Moist specimen + tara

Massa campione secco + tara (g)

*Dried specimen + tara***Limite liquido (%) - Limit liquid**Massa tara (g) - *Tara weight*

Massa campione umido + tara (g)

Moist specimen + tara

Massa campione secco + tara (g)

*Dried specimen + tara***Limite plastico (%) - Plastic limit**Indice plastico - *Plastic index***Classificazione CNR-UNI****Classification of soil according to CNR-UNI**Indice di Gruppo - *Group index***Classificazione USCS****Classification of soil according to USCS**

N.D.

N.P.

A1 - a
0

-

Note - *Remarks*Direttore *Manager*Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre

**GEOTEA s.r.l.**AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO
9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY**TAGLIO DIRETTO****DIRECT SHEAR TEST****Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10****Technical specification**

| | |
|---|--------------------------------|
| Certificato - <i>Test report</i> | 1684 - 20.367 - 004 |
| Verbale - <i>Acceptance report</i> | 1684 |
| Committente - <i>Commissioner</i> | GIORDANI GEOL. GIOVANNA |
| Località - <i>Locality</i> | CORNO ALLE SCALE (BO) |
| Cantiere - <i>Site</i> | RIFACIMENTO IMPIANTO SEGGIOVIA |
| Sondaggio - <i>Borehole</i> | - |
| Campione - <i>Sample</i> | C1 |
| Profondità - <i>Depth</i> | 1.50 m |
| Data ricevimento - <i>Receiving date</i> | 02/11/2020 |
| Data inizio prove - <i>Test starting date</i> | 02/11/2020 |
| Data fine prove - <i>Test ending date</i> | 10/11/2020 |
| Data certificazione - <i>Report date</i> | 10/11/2020 |
| Data apertura campione - <i>Sample opening date</i> | 02/11/2020 |
| Classe del campione - <i>Sample quality</i> | Q1 |

| | | | | |
|---|-------------------|-------|-------|-------|
| Umidità iniziale - <i>Initial water content</i> | % | 8.29 | | |
| Densità naturale iniziale - <i>Initial wet density</i> | kg/m ³ | - | | |
| Densità secca iniziale - <i>Initial dry density</i> | kg/m ³ | - | | |
| Provino - <i>Specimen id</i> | n° | 1 | 2 | 3 |
| Lato - <i>Specimen side</i> | mm | 60.0 | 60.0 | 60.0 |
| Altezza iniziale - <i>Initial specimen height</i> | mm | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| Velocità di taglio utilizzata - <i>Strain rate</i> | mm/min | 0.006 | 0.006 | 0.006 |
| Press. di consolidazione <i>Consolidation pressure</i> | kPa | 98.1 | 196.1 | 294.2 |
| Umidità finale - <i>Final water content</i> | % | 22.29 | 21.07 | 19.53 |

| Fase di consolidazione - <i>Consolidation test</i> | Note - <i>Remarks</i> |
|--|--|
| | Provini ricostituiti in scatola di taglio con materiale passante al setaccio 2 mm. |
| | Pocket Penetrometer - kg/cm ² |
| | Tor Vane - kg/cm ² |

| | |
|---|---|
| | |
| <p>Direttore <i>Manager</i></p> <p>Grado di incertezza delle misure degli strumenti di forza: ± 0,15%</p> <p>Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO) Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378 e-mail laboratorio.geotea@database.it Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori</p> | <p>Sperimentatore <i>Technician</i></p> |

IOP DE 3.5 - MOD PROD 11 B31 REV2



GEOTE A s.r.l.

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

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10

Technical specification

Certificato - Test report 1684 - 20.367 - 004
Verbale - Acceptance report 1684


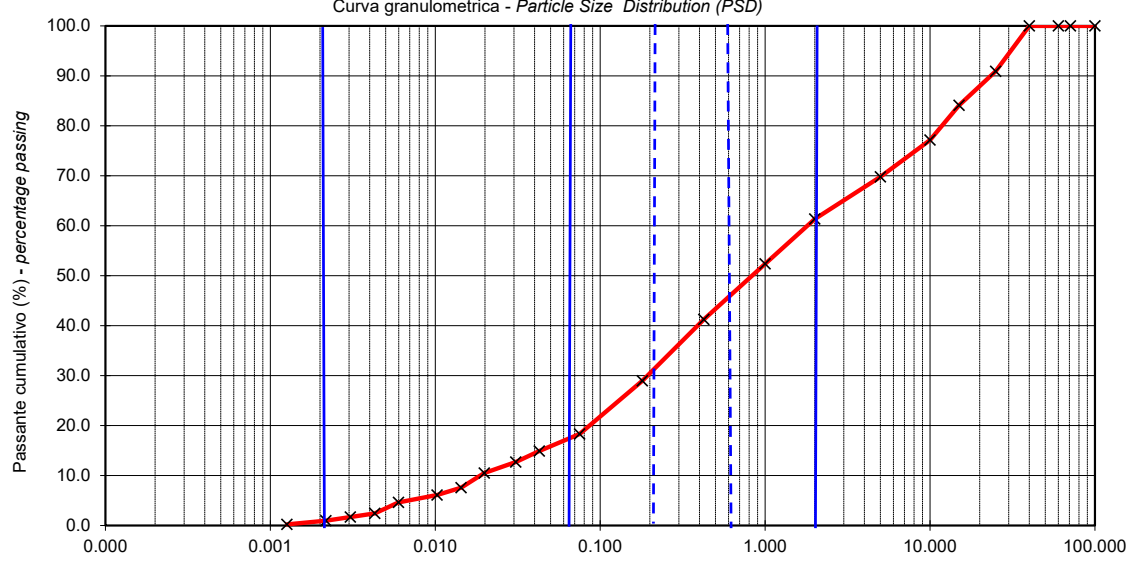
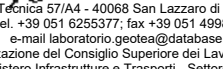


| Consolidation test (0-100 kPa) | | Provino 1 - Specimen 1 | | | Provino 2 - Specimen 2 | | | Provino 3 - Specimen 3 | | |
|--------------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------|------------------------|-------------|--------------------|------------------------|-------------|--------------------|
| time (s) | def. ↓ (mm) | def. → (mm) | def. ↓ (mm) | shear stress (kPa) | def. → (mm) | def. ↓ (mm) | shear stress (kPa) | def. → (mm) | def. ↓ (mm) | shear stress (kPa) |
| 1 | - | 0.06 | 0.03 | 27.78 | 0.06 | 0.07 | 24.77 | 0.02 | 0.04 | 37.33 |
| 6 | - | 0.12 | 0.04 | 34.85 | 0.07 | 0.07 | 26.16 | 0.07 | 0.06 | 61.83 |
| 12 | - | 0.19 | 0.05 | 37.12 | 0.07 | 0.07 | 25.93 | 0.13 | 0.08 | 76.42 |
| 24 | - | 0.26 | 0.07 | 40.40 | 0.07 | 0.07 | 25.69 | 0.19 | 0.09 | 88.96 |
| 30 | - | 0.33 | 0.08 | 43.18 | 0.07 | 0.07 | 25.46 | 0.25 | 0.10 | 99.46 |
| 60 | - | 0.41 | 0.09 | 44.70 | 0.07 | 0.08 | 25.23 | 0.32 | 0.12 | 105.58 |
| 90 | - | 0.48 | 0.10 | 46.97 | 0.07 | 0.08 | 25.23 | 0.39 | 0.13 | 110.54 |
| 120 | - | 0.54 | 0.11 | 47.98 | 0.07 | 0.08 | 24.77 | 0.46 | 0.14 | 116.38 |
| 180 | - | 0.62 | 0.12 | 48.48 | 0.07 | 0.08 | 24.31 | 0.53 | 0.15 | 121.92 |
| 240 | - | 0.69 | 0.12 | 49.24 | 0.08 | 0.09 | 31.02 | 0.60 | 0.16 | 126.58 |
| 300 | - | 0.76 | 0.13 | 50.76 | 0.14 | 0.10 | 43.29 | 0.67 | 0.17 | 130.67 |
| 360 | - | 0.83 | 0.14 | 51.52 | 0.20 | 0.12 | 51.16 | 0.74 | 0.17 | 134.17 |
| 420 | - | 0.92 | 0.15 | 51.77 | 0.27 | 0.14 | 56.94 | 0.81 | 0.18 | 137.08 |
| 480 | - | 0.99 | 0.15 | 52.53 | 0.33 | 0.16 | 61.81 | 0.89 | 0.19 | 138.83 |
| 540 | - | 1.06 | 0.16 | 53.28 | 0.41 | 0.18 | 66.20 | 0.96 | 0.20 | 141.17 |
| 600 | - | 1.14 | 0.16 | 54.29 | 0.48 | 0.19 | 69.44 | 1.04 | 0.21 | 143.79 |
| 900 | - | 1.22 | 0.17 | 54.80 | 0.55 | 0.21 | 72.45 | 1.11 | 0.21 | 146.71 |
| 1200 | - | 1.30 | 0.17 | 55.05 | 0.63 | 0.23 | 75.69 | 1.18 | 0.22 | 149.04 |
| 1500 | - | 1.37 | 0.18 | 55.56 | 0.70 | 0.24 | 78.70 | 1.25 | 0.22 | 151.67 |
| 1800 | - | 1.67 | 0.20 | 57.07 | 0.77 | 0.25 | 80.79 | 1.32 | 0.23 | 154.00 |
| 2100 | - | 1.97 | 0.22 | 58.33 | 0.85 | 0.27 | 83.10 | 1.62 | 0.25 | 162.75 |
| 2400 | - | 2.26 | 0.24 | 58.84 | 0.92 | 0.28 | 84.95 | 1.92 | 0.27 | 166.25 |
| 2700 | - | 2.57 | 0.44 | 62.12 | 0.99 | 0.29 | 87.27 | 2.21 | 0.29 | 168.88 |
| 3000 | - | 2.87 | 0.46 | 64.90 | 1.06 | 0.30 | 89.12 | 2.50 | 0.30 | 173.25 |
| 3300 | - | 3.16 | 0.47 | 66.41 | 1.13 | 0.31 | 90.97 | 2.81 | 0.32 | 177.92 |
| 3600 | - | 3.46 | 0.48 | 67.17 | 1.21 | 0.32 | 92.36 | 3.10 | 0.34 | 183.75 |
| 4200 | - | 3.76 | 0.48 | 67.42 | 1.27 | 0.33 | 94.44 | 3.39 | 0.36 | 187.54 |
| 4800 | - | 4.07 | 0.49 | 67.17 | 1.35 | 0.34 | 96.30 | 3.70 | 0.37 | 189.00 |
| 5400 | - | 4.36 | 0.50 | 66.92 | 1.65 | 0.38 | 100.93 | 4.00 | 0.38 | 190.17 |
| 6000 | - | 4.67 | 0.50 | 67.42 | 1.95 | 0.41 | 105.56 | 4.30 | 0.40 | 194.25 |
| 7200 | - | 4.97 | 0.51 | 68.43 | 2.24 | 0.44 | 109.26 | 4.59 | 0.41 | 197.75 |
| 8400 | - | 5.26 | 0.52 | 68.94 | 2.54 | 0.47 | 111.57 | 4.90 | 0.43 | 200.96 |
| 9600 | - | 5.57 | 0.53 | 69.70 | 2.84 | 0.49 | 115.28 | 5.19 | 0.44 | 203.58 |
| 10800 | - | 5.87 | 0.53 | 69.95 | 3.13 | 0.52 | 117.59 | 5.49 | 0.45 | 205.04 |
| 12000 | - | 6.17 | 0.54 | 69.95 | 3.43 | 0.54 | 119.91 | 5.80 | 0.46 | 204.46 |
| 13200 | - | | | | 3.73 | 0.57 | 123.38 | 6.10 | 0.47 | 204.17 |
| 14400 | - | | | | 4.03 | 0.59 | 125.00 | | | |
| 16800 | - | | | | 4.32 | 0.61 | 127.08 | | | |
| 19200 | - | | | | 4.63 | 0.63 | 129.40 | | | |
| 21600 | - | | | | 4.93 | 0.64 | 130.79 | | | |
| 28800 | - | | | | 5.22 | 0.65 | 132.87 | | | |
| 36000 | - | | | | 5.52 | 0.66 | 133.56 | | | |
| 45600 | - | | | | 5.82 | 0.67 | 134.49 | | | |
| 54000 | - | | | | 6.12 | 0.68 | 134.26 | | | |
| 72000 | - | | | | | | | | | |
| 79200 | - | | | | | | | | | |
| 82800 | - | | | | | | | | | |
| 86400 | - | | | | | | | | | |

Note - Remarks

Direttore Manager

Sperimentatore Technician

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori

| | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--------------|--------------------------------|--------------|-----------------------------------|-------------|
|  GEOTEA s.r.l. <small>AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY</small> | ANALISI GRANULOMETRICA PARTICLE SIZE ANALYSIS Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-4 CNR UNI A. V n° 23 Technical specification | | | | | | | |
| Certificato - <i>Test report</i> Verbale - <i>Acceptance report</i> Committente - <i>Commissioner</i> Località - <i>Locality</i> Cantiere - <i>Site</i> Sondaggio - <i>Borehole</i> Campione - <i>Sample</i> Profondità - <i>Depth</i> Data ricevimento - <i>Receiving date</i> Data inizio prove - <i>Test starting date</i> Data fine prove - <i>Test ending date</i> Data certificazione - <i>Report date</i> Data apertura campione - <i>Sample opening date</i> | 1684 - 20.367 - 005 1684 GIORDANI GEOL. GIOVANNA CORNO ALLE SCALE (BO) RIFACIMENTO IMPIANTO SEGGIOVIA - C2 1.50 m 02/11/2020 02/11/2020 10/11/2020 10/11/2020 02/11/2020 | | | | | | | |
| SETACCIATURA - SIEVES TEST Massa campione (g) - <i>Specimen weight</i> 589.87 | | SEDIMENTAZIONE - HYDROMETER TEST Massa campione (g) - <i>Specimen weight</i> 40.57 | | | | | | |
| Setaccio (mm) <i>Sieve diameter</i> 100 71 60 40 25 15 10 5 2 1 0.425 0.18 0.075 | Peso (g) <i>Mass retained</i> 0.00 0.00 0.00 0.00 53.63 40.12 40.98 43.46 49.81 52.94 65.66 72.45 62.80 | Passante (%) <i>Percentage passing</i> 100.00 100.00 100.00 100.00 90.91 84.11 77.16 69.79 61.35 52.37 41.24 28.96 18.31 | | | | | | |
| Diametro (mm) <i>Particle size</i> 0.043 0.031 0.020 0.014 0.010 0.006 0.004 0.0031 0.0022 0.0013 | Letture <i>Data</i> 24.0 21.0 18.0 14.0 12.0 10.0 7.0 6.0 5.0 4.0 | Passante (%) <i>Percentage passing</i> 14.90 12.70 10.50 7.56 6.09 4.62 2.42 1.69 0.95 0.22 | | | | | | |
| Granulometria A.G.I. <i>PSD</i> | Ghiaia (%) <i>Gravel</i> | 38.65 | Sabbia (%) <i>Sand</i> | 44.62 | Limo (%) <i>Silt</i> | 15.91 | Argilla (%) <i>Clay</i> | 0.82 |
| <p align="center">Curva granulometrica - Particle Size Distribution (PSD)</p>  <p align="center">Diametro dei grani (mm) - Particle size</p> | | | | | | | | |
| D₁₀ (mm) 0.020 | | | D₆₀ (mm) 1.850 | | | | | |
| Agente disperdente - <i>dispersing agent</i> : Sodium hexametaphosphate temperatura di prova (°) - <i>temperature</i> 21 | | | | | | | | |
| Note - <i>Remarks</i> | | | | | | | | |
| Direttore <i>Manager</i>  | | | Sperimentatore <i>Technician</i>  | | | | | |
| Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO) Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378 e-mail laboratorio.geotea@database.it Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre | | |  | | | | | |
| IOP DE 3.5 - MOD PROD 11 B19b REV2 | | | | | | | | |



GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO
9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY
LABORATORIO ACCREDITATO DAL CONSIGLIO LAVORI
PUBBLICI SETTORE TERRE.

LIMITI DI ATTERBERG

ATTERBERG LIMITS

Normativa di riferimento: UNI EN ISO/TS 17892-12

Technical specification

Certificato - *Test report*

Verbale - *Acceptance report*

Committente - *Commissioner*

Località - *Locality*

Cantiere - *Site*

Sondaggio - *Borehole*

Campione - *Sample*

Profondità - *Depth*

Data ricevimento - *Receiving date*

Data inizio prove - *Test starting date*

Data fine prove - *Test ending date*

Data certificazione - *Report date*

Data apertura campione - *Sample opening date*

Classe campione - *Sample quality*

1684 - 20.367 - 006

1684

GIORDANI GEOL. GIOVANNA

CORNO ALLE SCALE (BO)

RIFACIMENTO IMPIANTO SEGGIOVIA

-

C2

1.50 m

02/11/2020

02/11/2020

10/11/2020

10/11/2020

02/11/2020

Q1

Penetrazione del cono (mm) - *Cone penetration*

Massa tara (g) - *Tara weight*

Massa campione umido + tara (g)

Moist specimen + tara

Massa campione secco + tara (g)

Dried specimen + tara

Contenuto in acqua (%) - *Moisture content*

Provino 1 - *Specimen 1*

-

Provino 2 - *Specimen 2*

-

Provino 3 - *Specimen 3*

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

Limite liquido (%) - *Liquid limit*

N.D.

Massa tara (g) - *Tara weight*

-

-

Moist specimen + tara

-

-

Massa campione secco + tara (g)

-

-

Dried specimen + tara

-

-

Limite plastico (%) - *Plastic limit*

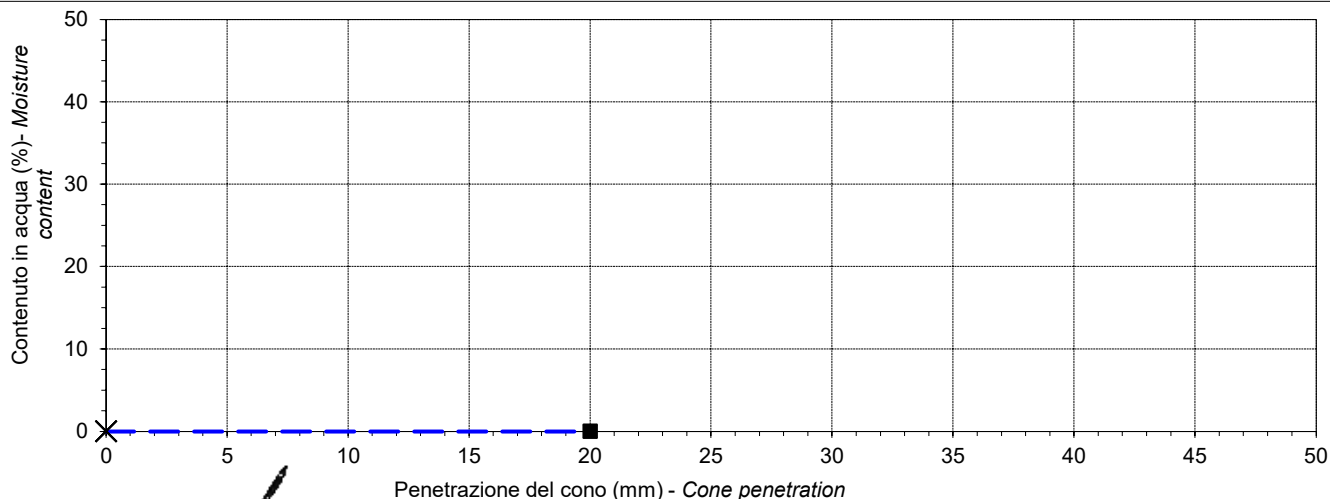
N.P.

N.P.

differenza percentuale -

Limite plastico (%) - *Plastic limit*

N.P.



Note - *Remarks*

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre

**GEOTEA s.r.l.**

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

CLASSIFICAZIONE DI UNA TERRA**IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION OF SOIL****Normativa di riferimento: CNR-UNI USCS****Technical specification**

Certificato - *Test report*
Verbale - *Acceptance report*
Committente - *Commissioner*
Località - *Locality*
Cantiere - *Site*
Sondaggio - *Borehole*
Campione - *Sample*
Profondità - *Depth*
Data ricevimento - *Receiving date*
Data inizio prove - *Test starting date*
Data fine prove - *Test ending date*
Data certificazione - *Report date*
Data apertura campione - *Sample opening date*

1684 - 20.367 - 007
1684
GIORDANI GEOL. GIOVANNA
CORNO ALLE SCALE (BO)
RIFACIMENTO IMPIANTO SEGGIOVIA
-
C2
1.50 m
02/11/2020
02/11/2020
10/11/2020
10/11/2020
02/11/2020

Analisi granulometrica 3 setacci**Particle size analysis 3 sieves**Peso campione (g) - *Specimen weight*

setaccio 2 mm - *sieve*
setaccio 0,42 mm - *sieve*
setaccio 0,075 mm - *sieve*

589.87

Pesate (g) - *Weight*

228.00
118.60
135.25

Passante (%) - *% finer than D*

61.35
41.24
18.31

Limiti di Atterberg - Atterberg limitsNumero colpi - *Number of blows*Massa tara (g) - *Tara weight*

Massa campione umido + tara (g)

Moist specimen + tara

Massa campione secco + tara (g)

*Dried specimen + tara***Limite liquido (%) - Limit liquid**Massa tara (g) - *Tara weight*

Massa campione umido + tara (g)

Moist specimen + tara

Massa campione secco + tara (g)

*Dried specimen + tara***Limite plastico (%) - Plastic limit**Indice plastico - *Plastic index***Classificazione CNR-UNI****Classification of soil according to CNR-UNI**Indice di Gruppo - *Group index***Classificazione USCS****Classification of soil according to USCS**

N.D.

N.P.

A 1-b
0

-

Note - *Remarks*Direttore *Manager*Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 57/A - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre



GEOTEA s.r.l.

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

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10

Technical specification

| | |
|---|--------------------------------|
| Certificato - <i>Test report</i> | 1684 - 20.367 - 008 |
| Verbale - <i>Acceptance report</i> | 1684 |
| Committente - <i>Commissioner</i> | GIORDANI GEOL. GIOVANNA |
| Località - <i>Locality</i> | CORNO ALLE SCALE (BO) |
| Cantiere - <i>Site</i> | RIFACIMENTO IMPIANTO SEGGIOVIA |
| Sondaggio - <i>Borehole</i> | - |
| Campione - <i>Sample</i> | C2 |
| Profondità - <i>Depth</i> | 1.50 m |
| Data ricevimento - <i>Receiving date</i> | 02/11/2020 |
| Data inizio prove - <i>Test starting date</i> | 02/11/2020 |
| Data fine prove - <i>Test ending date</i> | 10/11/2020 |
| Data certificazione - <i>Report date</i> | 10/11/2020 |
| Data apertura campione - <i>Sample opening date</i> | 02/11/2020 |
| Classe del campione - <i>Sample quality</i> | 00/01/1900 |

| | | | | |
|--|-------------------|-------|-------|-------|
| Umidità iniziale - <i>Initial water content</i> | % | 8.91 | | |
| Densità naturale iniziale - <i>Initial wet density</i> | kg/m ³ | - | | |
| Densità secca iniziale - <i>Initial dry density</i> | kg/m ³ | - | | |
| Provino - <i>Specimen id</i> | n° | 1 | 2 | 3 |
| Lato - <i>Specimen side</i> | mm | 60.0 | 60.0 | 60.0 |
| Altezza iniziale - <i>Initial specimen height</i> | mm | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| Velocità di taglio utilizzata - <i>Strain rate</i> | mm/min | 0.006 | 0.006 | 0.006 |
| Press. di consolidazione - <i>Consolidation pressure</i> | kPa | 98.1 | 196.1 | 294.2 |
| Umidità finale - <i>Final water content</i> | % | 21.17 | 19.34 | 18.97 |

| Fase di consolidazione - <i>Consolidation test</i> | Note - <i>Remarks</i> |
|--|--|
| | Provini ricostituiti in scatola di taglio con materiale passante al setaccio 2 mm. |
| | Pocket Penetrometer - kg/cm ² |
| | Tor Vane - kg/cm ² |

| | |
|--------------------------|----------------------------------|
| | |
| Direttore <i>Manager</i> | Sperimentatore <i>Technician</i> |

Grado di incertezza delle misure degli strumenti di forza: ± 0,13%

Via della Technica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori



GEOTEA s.r.l.

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

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10

Technical specification

Certificato - Test report 1684 - 20.367 - 008
Verbale - Acceptance report 1684

| Consolidation test (0-100 kPa) | | Provino 1 - Specimen 1 | | | Provino 2 - Specimen 2 | | | Provino 3 - Specimen 3 | | |
|--------------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------|------------------------|-------------|--------------------|------------------------|-------------|--------------------|
| time (s) | def. ↓ (mm) | def. → (mm) | def. ↓ (mm) | shear stress (kPa) | def. → (mm) | def. ↓ (mm) | shear stress (kPa) | def. → (mm) | def. ↓ (mm) | shear stress (kPa) |
| 1 | - | 0.12 | -0.02 | 5.75 | 0.13 | -0.05 | 9.94 | 0.13 | -0.07 | 10.90 |
| 6 | - | 0.24 | 0.00 | 6.40 | 0.25 | -0.06 | 15.41 | 0.24 | -0.08 | 15.41 |
| 12 | - | 0.36 | -0.01 | 8.65 | 0.36 | -0.07 | 8.01 | 0.35 | -0.09 | 17.99 |
| 24 | - | 0.47 | -0.01 | 10.58 | 0.47 | -0.08 | 17.67 | 0.45 | -0.09 | 25.71 |
| 30 | - | 0.58 | -0.02 | 13.16 | 0.57 | -0.10 | 22.17 | 0.57 | -0.11 | 23.78 |
| 60 | - | 0.68 | -0.06 | 7.68 | 0.69 | -0.10 | 27.00 | 0.68 | -0.11 | 32.47 |
| 90 | - | 0.79 | -0.07 | 6.72 | 0.82 | -0.12 | 32.47 | 0.81 | -0.13 | 40.84 |
| 120 | - | 0.91 | -0.07 | 17.34 | 0.94 | -0.13 | 37.94 | 0.92 | -0.14 | 43.09 |
| 180 | - | 1.04 | -0.08 | 21.85 | 1.06 | -0.15 | 42.45 | 1.05 | -0.16 | 52.42 |
| 240 | - | 1.16 | -0.10 | 25.39 | 1.18 | -0.17 | 46.95 | 1.17 | -0.18 | 60.47 |
| 300 | - | 1.29 | -0.11 | 28.29 | 1.31 | -0.19 | 51.14 | 1.30 | -0.20 | 67.22 |
| 360 | - | 1.41 | -0.13 | 30.54 | 1.44 | -0.21 | 55.64 | 1.43 | -0.22 | 74.62 |
| 420 | - | 1.54 | -0.15 | 33.12 | 1.57 | -0.22 | 59.18 | 1.56 | -0.25 | 81.70 |
| 480 | - | 1.67 | -0.17 | 35.05 | 1.70 | -0.24 | 63.36 | 1.68 | -0.28 | 88.13 |
| 540 | - | 1.80 | -0.19 | 36.98 | 1.83 | -0.26 | 66.58 | 1.81 | -0.30 | 93.59 |
| 600 | - | 1.92 | -0.20 | 38.59 | 1.96 | -0.29 | 69.80 | 1.94 | -0.32 | 99.70 |
| 900 | - | 2.05 | -0.21 | 40.52 | 2.08 | -0.31 | 72.69 | 2.06 | -0.34 | 103.88 |
| 1200 | - | 2.18 | -0.22 | 42.77 | 2.19 | -0.33 | 74.30 | 2.17 | -0.37 | 108.38 |
| 1500 | - | 2.30 | -0.23 | 44.38 | 2.31 | -0.35 | 76.55 | 2.29 | -0.39 | 113.84 |
| 1800 | - | 2.41 | -0.24 | 45.99 | 2.43 | -0.36 | 78.80 | 2.41 | -0.40 | 118.99 |
| 2100 | - | 2.53 | -0.25 | 47.60 | 2.55 | -0.38 | 80.73 | 2.52 | -0.42 | 123.17 |
| 2400 | - | 2.64 | -0.26 | 49.21 | 2.65 | -0.39 | 82.98 | 2.61 | -0.45 | 126.70 |
| 2700 | - | 2.76 | -0.27 | 50.49 | 2.77 | -0.41 | 85.55 | 2.72 | -0.47 | 131.20 |
| 3000 | - | 2.86 | -0.30 | 51.46 | 2.88 | -0.43 | 87.16 | 2.84 | -0.49 | 134.09 |
| 3300 | - | 2.98 | -0.30 | 53.39 | 3.00 | -0.44 | 89.09 | 2.95 | -0.49 | 138.27 |
| 3600 | - | 3.09 | -0.31 | 54.68 | 3.11 | -0.46 | 91.02 | 3.07 | -0.51 | 142.12 |
| 4200 | - | 3.22 | -0.32 | 55.96 | 3.23 | -0.47 | 93.27 | 3.19 | -0.52 | 145.98 |
| 4800 | - | 3.32 | -0.32 | 56.93 | 3.35 | -0.48 | 94.88 | 3.30 | -0.52 | 149.51 |
| 5400 | - | 3.45 | -0.33 | 57.89 | 3.47 | -0.49 | 97.13 | 3.42 | -0.54 | 152.72 |
| 6000 | - | 3.57 | -0.33 | 58.54 | 3.59 | -0.50 | 98.74 | 3.53 | -0.55 | 155.61 |
| 7200 | - | 3.69 | -0.33 | 59.50 | 3.71 | -0.51 | 100.99 | 3.65 | -0.56 | 158.51 |
| 8400 | - | 3.81 | -0.34 | 60.15 | 3.83 | -0.52 | 102.59 | 3.77 | -0.57 | 160.11 |
| 9600 | - | 3.92 | -0.34 | 60.79 | 3.95 | -0.53 | 104.20 | 3.89 | -0.58 | 163.96 |
| 10800 | - | 4.05 | -0.34 | 61.75 | 4.08 | -0.54 | 105.81 | 4.01 | -0.58 | 166.53 |
| 12000 | - | 4.17 | -0.34 | 62.40 | 4.19 | -0.56 | 107.74 | 4.13 | -0.59 | 168.78 |
| 13200 | - | 4.30 | -0.34 | 63.36 | 4.31 | -0.58 | 109.34 | 4.25 | -0.61 | 170.71 |
| 14400 | - | 4.41 | -0.34 | 64.00 | 4.43 | -0.60 | 110.95 | 4.37 | -0.62 | 173.28 |
| 16800 | - | 4.53 | -0.35 | 64.65 | 4.55 | -0.60 | 112.24 | 4.49 | -0.62 | 175.20 |
| 19200 | - | 4.65 | -0.35 | 64.97 | 4.68 | -0.61 | 113.52 | 4.61 | -0.63 | 177.45 |
| 21600 | - | 4.77 | -0.35 | 65.61 | 4.80 | -0.62 | 114.81 | 4.72 | -0.64 | 180.34 |
| 28800 | - | 4.85 | -0.36 | 66.26 | 4.89 | -0.63 | 116.10 | 4.82 | -0.64 | 181.62 |
| 36000 | - | 4.99 | -0.36 | 66.90 | 5.00 | -0.63 | 117.06 | 4.93 | -0.65 | 183.55 |
| 45600 | - | 5.10 | -0.36 | 67.22 | 5.10 | -0.64 | 118.02 | 5.03 | -0.66 | 186.44 |
| 54000 | - | 5.21 | -0.37 | 67.87 | 5.21 | -0.66 | 119.31 | 5.14 | -0.67 | 188.04 |
| 72000 | - | 5.33 | -0.37 | 69.15 | 5.34 | -0.68 | 122.84 | 5.25 | -0.67 | 188.69 |
| 79200 | - | 5.46 | -0.37 | 69.47 | 5.46 | -0.68 | 122.84 | 5.38 | -0.66 | 196.07 |
| 82800 | - | 5.58 | -0.37 | 69.47 | 5.58 | -0.69 | 122.84 | 5.50 | -0.66 | 196.07 |
| 86400 | - | 5.64 | -0.37 | 69.47 | 5.65 | -0.69 | 123.49 | 5.62 | -0.66 | 196.07 |
| | | 5.75 | -0.37 | 70.12 | 5.77 | -0.70 | 124.45 | 5.74 | -0.69 | 195.43 |
| | | 5.87 | -0.37 | 70.12 | 5.88 | -0.71 | 125.73 | 5.82 | -0.69 | 195.43 |
| | | 5.99 | -0.37 | 70.12 | 6.01 | -0.71 | 126.38 | 5.94 | -0.70 | 196.07 |
| | | 6.10 | -0.37 | 70.76 | 6.13 | -0.72 | 127.34 | 6.06 | -0.71 | 198.96 |
| | | 6.22 | -0.38 | 71.40 | 6.26 | -0.73 | 128.63 | 6.18 | -0.71 | 200.88 |
| | | 6.35 | -0.38 | 71.73 | 6.38 | -0.73 | 129.27 | 6.31 | -0.71 | 202.49 |
| | | 6.47 | -0.38 | 72.37 | 6.49 | -0.73 | 130.24 | 6.43 | -0.72 | 203.77 |
| | | 6.60 | -0.38 | 72.69 | 6.62 | -0.73 | 131.20 | 6.55 | -0.72 | 205.38 |
| | | | | | | | | 6.66 | -0.73 | 205.70 |

Direttore Manager

Sperimentatore Technician

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel: +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre

TAGLIO DIRETTO

Committente: GIORDANI GEOL. GIOVANNA

Sondaggio: -

Località: CORNO ALLE SCALE (BO)

Campione: C1

Cantiere: RIFACIMENTO IMPIANTO SEGGIOVIA

Profondità: 1.50 m

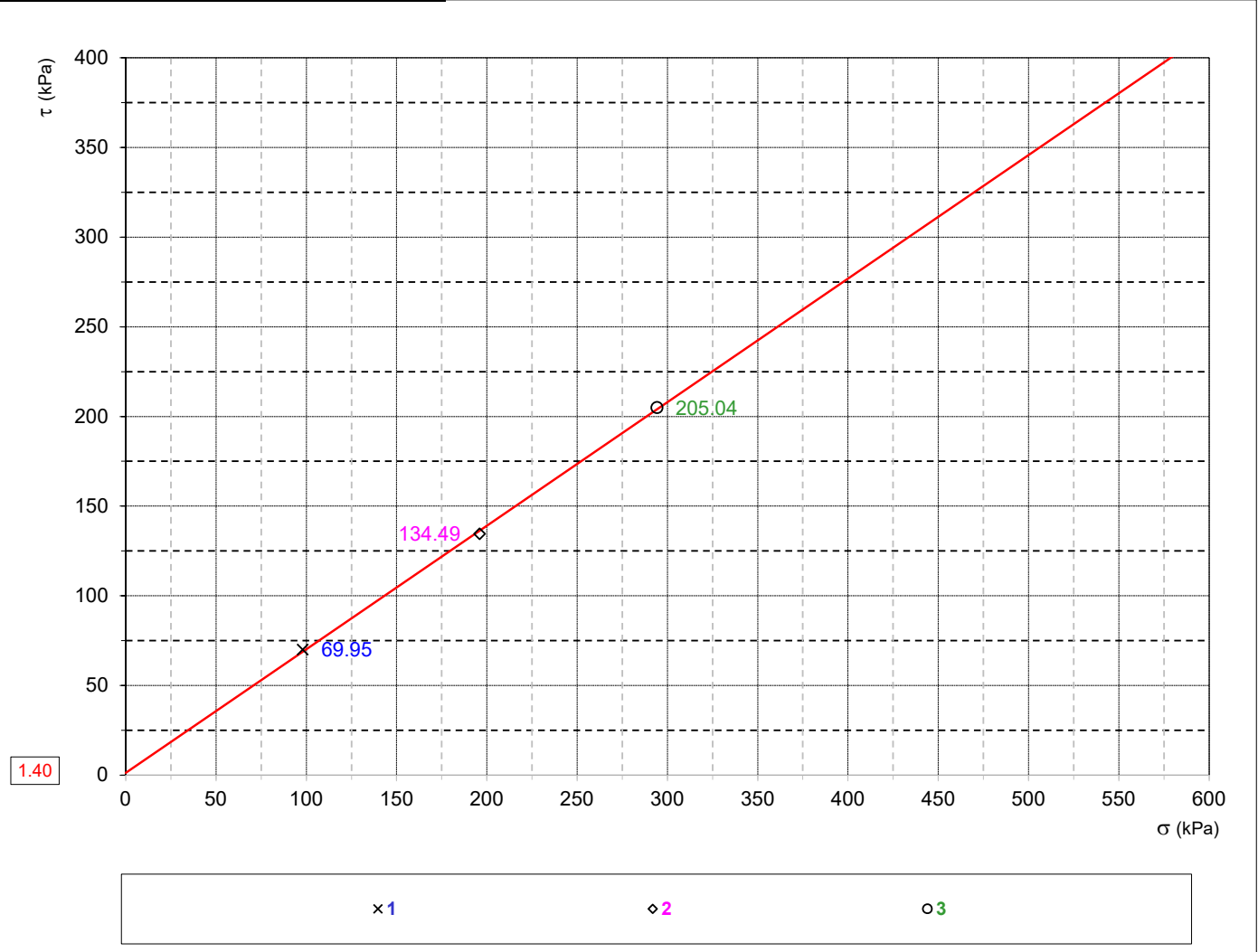
REGRESSIONE LINEARE DEI TRE VALORI DI SFORZO MASSIMO

| | | |
|------------------|-------|----|
| Lato provino | 60.00 | mm |
| Altezza iniziale | 20.00 | mm |

Provini ricostituiti in scatola di taglio con materiale passante al setaccio 2 mm.

| Valori dei provini a rottura | | | | |
|------------------------------|--------|-------|--------|--------|
| Provino | n° | 1 | 2 | 3 |
| Sforzo a rottura | kPa | 69.95 | 134.49 | 205.04 |
| Intercetta C' | KPa | 1.40 | | |
| ϕ' | ° sess | 34.56 | | |

Velocità di prova
0.006
mm/min



La coesione efficace e l'angolo di resistenza al taglio si riferiscono alla elaborazione della prova di taglio diretto eseguita mediante una semplice regressione lineare sui tre punti di sforzo massimo e per il campo tensionale nel quale i vari provini sono stati sottoposti a taglio.

TAGLIO DIRETTO

Committente: GIORDANI GEOL. GIOVANNA

Sondaggio: -

Località: CORNO ALLE SCALE (BO)

Campione: C2

Cantiere: RIFACIMENTO IMPIANTO SEGGIOVIA

Profondità: 1.50 m

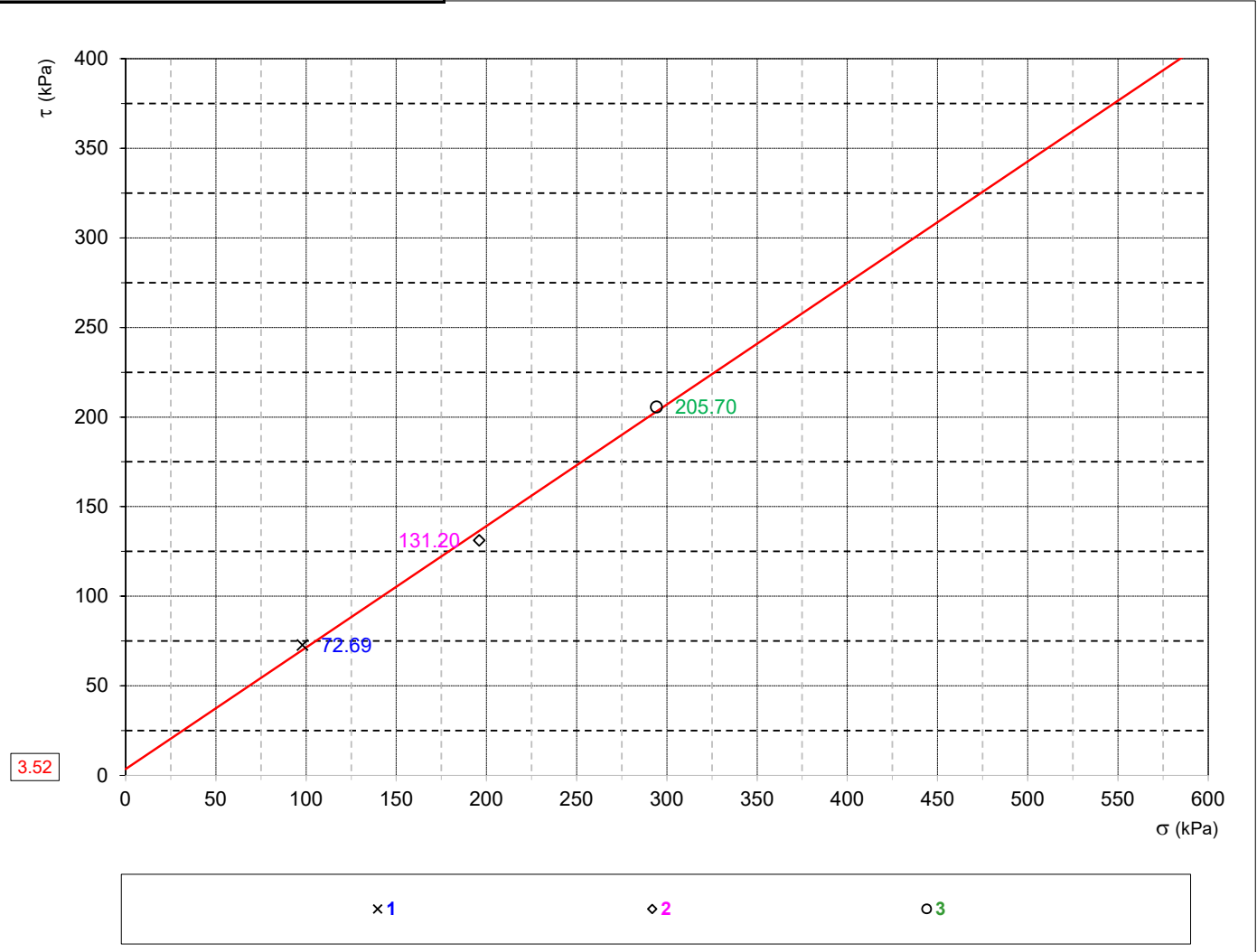
REGRESSIONE LINEARE DEI TRE VALORI DI SFORZO MASSIMO

| | | |
|------------------|-------|----|
| Lato provino | 60.00 | mm |
| Altezza iniziale | 20.00 | mm |

Provini ricostituiti in scatola di taglio con
materiale passante al setaccio 2 mm.

| Valori dei provini a rottura | | | | |
|------------------------------|--------|-------|--------|--------|
| Provino | n° | 1 | 2 | 3 |
| Sforzo a rottura | kPa | 72.69 | 131.20 | 205.70 |
| Intercetta C' | KPa | 3.52 | | |
| ϕ' | ° sess | 34.14 | | |

Velocità di prova
0.006
mm/min



La coesione efficace e l'angolo di resistenza al taglio si riferiscono alla elaborazione della prova di taglio diretto eseguita mediante una semplice regressione lineare sui tre punti di sforzo massimo e per il campo tensionale nel quale i vari provini sono stati sottoposti a taglio.