

Comune di Monterenzio

Provincia di Bologna
Area Servizi Tecnici
Piazza Guerrino De Giovanni, 1 40050 Monterenzio
telefono 051 929002 fax 051 929292
pec: comune.monterenzio@cert.provincia.bo.it

Regione Emilia Romagna
Area valutazione impatto ambientale e autorizzazioni
vipsa@postacert.regione.emilia-romagna.it

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica
Direzione generale valutazioni ambientali
Divisione V – Sistemi di valutazione ambientale
va@PEC.mite.gov.it

e p.c. Commissione Tecnica PNRR-PNIEC
COMPNIEC@PEC.mite.gov.it

EMILIA PRIME S.r.l.
emiliaprimesrl@pec.it

prot.n.3629
Monterenzio lì 08.04.24

Oggetto: procedura V.I.A. “Parco Eolico Emilia” da realizzarsi nei Comuni di Monterenzio, Casalfiumanese, Castel Del Rio, Castel San Pietro Terme. Progetto PNIEC. Osservazioni su integrazioni.

In relazione alle integrazioni presentate dalla società “Emilia Prime S.r.l.” e alla richiesta di contributo pervenuta dal competente servizio regionale prot.n.360196 del 04.04.24, si ritiene che la documentazione esaminata non risponda a quanto osservato dall'Amministrazione comunale con nota prot.2302 del 02.03.23; si evidenzia peraltro che gli aerogeneratori e la viabilità di servizio sono ancora collocati in zone critiche, sia sotto il profilo idrogeologico che paesaggistico, così come l'area di cantiere è collocata in un'area di frana attiva.

Di seguito si riportano comunque le considerazioni precedentemente espresse per le quali si richiede puntuale valutazione.

L'Amministrazione comunale con delibera del Consiglio comunale n.44 del 22.06.10 ha assunto specifico atto d'indirizzo finalizzato ad incentivare l'utilizzo di fonti energetiche naturali rinnovabili, e con delibera del Consiglio comunale n. 78 del 14.10.10 ha approvato lo schema di convenzione con la società Tecnoenergy s.r.l. per la diffusione di risorse energetiche prodotte da impianti eolici.

La convenzione sottoscritta, di durata triennale, prevede nella sostanza un impegno da parte dell'Amministrazione comunale a non compiere alcuna attività che possa risultare di intralcio alla esecuzione dei lavori e delle opere occorrenti alla realizzazione, alla gestione, alla manutenzione ed al funzionamento dell'impianto eolico previsto nelle aree indicate nella allegata planimetria, dal canto suo la società si è impegnata a versare i seguenti canoni:

- a un Canone una tantum di € 40.000,00 (più iva se dovuta) alla firma della presente convenzione;
- b un canone annuo pari al 3% (più iva se dovuta) dei ricavi della vendita dell'energia e dei certificati verdi, con un minimo garantito da fidejussione pari a € 3.000,00 a MW autorizzato, adeguato annualmente in base all'indice ISTAT dei prezzi al consumo per tutta la durata della convenzione.

Sotto il profilo normativo si evidenzia tuttavia che la DAL della Regione Emilia-Romagna 26 luglio 2011, n. 51 avente ad oggetto “Individuazione delle aree e dei siti per l'installazione di impianti di produzione di energia elettrica mediante l'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili eolica, da biogas, da biomasse e idroelettrica” al punto 2B definisce idonee all'installazione di impianti di produzione di energia eolica le sole aree del sistema collinare e dei crinali di altezza superiore a 1200 metri; ne consegue che le aree individuate non risulterebbero idonee, avendo un'altezza inferiore.

In merito al progetto del “Parco eolico Emilia”, fatte queste dovute premesse, si rileva che gli aerogeneratori previsti sono molto più grandi di quelli attualmente installati, con il rischio di un impatto “fuori scala paesaggistico”; in considerazione di quanto esposto si richiede pertanto una valutazione cumulativa dei due impianti, considerando altresì l'ipotesi di adeguare la dimensione dei nuovi aerogeneratori a quelli esistenti.

In generale si evidenzia comunque la vulnerabilità idrogeologica del territorio comunale - richiamate le ultime ordinanze che hanno istituito una zona rossa in prossimità del centro urbano di Villa Sassonero - che due dei rotori sono posizionate in aree del territorio comunale non idonee, ai sensi del PSAI e del PTM, la scarsa leggibilità degli elaborati per quanto concerne l'individuazione degli interventi da effettuarsi nel territorio comunale e che le relazioni non individuano il soggetto deputato all'attuazione delle procedure di esproprio; al fine di poter valutare nella sua interezza il progetto si richiede altresì la presentazione del piano economico finanziario dell'opera.

Per quanto concerne l'individuazione dei percorsi per il trasporto degli aerogeneratori si comunica che attualmente la SP 35 risulta impraticabile a causa di un rilevante movimento franoso in atto, che ha determinato anche la chiusura parziale della SP 21 all'intersezione con la stessa SP 35, e che qualora comunque la Valutazione di impatto ambientale avesse esito positivo, dovrà essere sottoscritta con la presente amministrazione apposito accordo regolante l'utilizzo e gli interventi sulla viabilità comunale.

Richiamando le disposizioni di cui al DM 10.09.10 qualora il progetto superasse il vaglio della Conferenza addivenendo al rilascio della autorizzazione unica ai sensi dell'art.12 del Dlgs 387/03, l'Amministrazione comunale è intenzionata a richiedere al proponente l'adozione di misure di compensazione e di riequilibrio ambientale e territoriale, ai sensi dell'allegato 2 al DM 10.09.10.

Distinti saluti

Il Responsabile dell'Area
Servizi Tecnici
Arch. Patrizio D'Errigo

*Documento informatico firmato digitalmente ai sensi del D.Lgs n. 82/2005
modificato ed integrato dal D.Lgs. n. 235/2010, del D.P.R. n.445/2000 e norme
collegate, il quale sostituisce il documento cartaceo e la firma autografa)*

Comune di Monterenzio

Provincia di Bologna
Area Servizi Tecnici
Piazza Guerrino De Giovanni, 1 40050 Monterenzio
telefono 051 929002 fax 051 929292
pec: comune.monterenzio@cert.provincia.bo.it

Regione Emilia Romagna
Area valutazione impatto ambientale e autorizzazioni
vipsa@postacert.regione.emilia-romagna.it

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica
Direzione generale valutazioni ambientali
Divisione V – Sistemi di valutazione ambientale
va@PEC.mite.gov.it

e p.c. Commissione Tecnica PNRR-PNIEC
COMPNIEC@PEC.mite.gov.it

EMILIA PRIME S.r.l.
emiliaprimesrl@pec.it

prot.n.3629
Monterenzio lì 08.04.24

Oggetto: procedura V.I.A. “Parco Eolico Emilia” da realizzarsi nei Comuni di Monterenzio, Casalfiumanese, Castel Del Rio, Castel San Pietro Terme. Progetto PNIEC. Osservazioni su integrazioni.

In relazione alle integrazioni presentate dalla società “Emilia Prime S.r.l.” e alla richiesta di contributo pervenuta dal competente servizio regionale prot.n.360196 del 04.04.24, si ritiene che la documentazione esaminata non risponda a quanto osservato dall'Amministrazione comunale con nota prot.2302 del 02.03.23; si evidenzia peraltro che gli aerogeneratori e la viabilità di servizio sono ancora collocati in zone critiche, sia sotto il profilo idrogeologico che paesaggistico, così come l'area di cantiere è collocata in un'area di frana attiva.

Di seguito si riportano comunque le considerazioni precedentemente espresse per le quali si richiede puntuale valutazione.

L'Amministrazione comunale con delibera del Consiglio comunale n.44 del 22.06.10 ha assunto specifico atto d'indirizzo finalizzato ad incentivare l'utilizzo di fonti energetiche naturali rinnovabili, e con delibera del Consiglio comunale n. 78 del 14.10.10 ha approvato lo schema di convenzione con la società Tecnoenergy s.r.l. per la diffusione di risorse energetiche prodotte da impianti eolici.

La convenzione sottoscritta, di durata triennale, prevede nella sostanza un impegno da parte dell'Amministrazione comunale a non compiere alcuna attività che possa risultare di intralcio alla esecuzione dei lavori e delle opere occorrenti alla realizzazione, alla gestione, alla manutenzione ed al funzionamento dell'impianto eolico previsto nelle aree indicate nella allegata planimetria, dal canto suo la società si è impegnata a versare i seguenti canoni:

- a un Canone una tantum di € 40.000,00 (più iva se dovuta) alla firma della presente convenzione;
- b un canone annuo pari al 3% (più iva se dovuta) dei ricavi della vendita dell'energia e dei certificati verdi, con un minimo garantito da fidejussione pari a € 3.000,00 a MW autorizzato, adeguato annualmente in base all'indice ISTAT dei prezzi al consumo per tutta la durata della convenzione.

Sotto il profilo normativo si evidenzia tuttavia che la DAL della Regione Emilia-Romagna 26 luglio 2011, n. 51 avente ad oggetto “Individuazione delle aree e dei siti per l'installazione di impianti di produzione di energia elettrica mediante l'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili eolica, da biogas, da biomasse e idroelettrica” al punto 2B definisce idonee all'installazione di impianti di produzione di energia eolica le sole aree del sistema collinare e dei crinali di altezza superiore a 1200 metri; ne consegue che le aree individuate non risulterebbero idonee, avendo un'altezza inferiore.

In merito al progetto del “Parco eolico Emilia”, fatte queste dovute premesse, si rileva che gli aerogeneratori previsti sono molto più grandi di quelli attualmente installati, con il rischio di un impatto “fuori scala paesaggistico”; in considerazione di quanto esposto si richiede pertanto una valutazione cumulativa dei due impianti, considerando altresì l'ipotesi di adeguare la dimensione dei nuovi aerogeneratori a quelli esistenti.

In generale si evidenzia comunque la vulnerabilità idrogeologica del territorio comunale - richiamate le ultime ordinanze che hanno istituito una zona rossa in prossimità del centro urbano di Villa Sassonero - che due dei rotori sono posizionate in aree del territorio comunale non idonee, ai sensi del PSAI e del PTM, la scarsa leggibilità degli elaborati per quanto concerne l'individuazione degli interventi da effettuarsi nel territorio comunale e che le relazioni non individuano il soggetto deputato all'attuazione delle procedure di esproprio; al fine di poter valutare nella sua interezza il progetto si richiede altresì la presentazione del piano economico finanziario dell'opera.

Per quanto concerne l'individuazione dei percorsi per il trasporto degli aerogeneratori si comunica che attualmente la SP 35 risulta impraticabile a causa di un rilevante movimento franoso in atto, che ha determinato anche la chiusura parziale della SP 21 all'intersezione con la stessa SP 35, e che qualora comunque la Valutazione di impatto ambientale avesse esito positivo, dovrà essere sottoscritta con la presente amministrazione apposito accordo regolante l'utilizzo e gli interventi sulla viabilità comunale.

Richiamando le disposizioni di cui al DM 10.09.10 qualora il progetto superasse il vaglio della Conferenza addivenendo al rilascio della autorizzazione unica ai sensi dell'art.12 del Dlgs 387/03, l'Amministrazione comunale è intenzionata a richiedere al proponente l'adozione di misure di compensazione e di riequilibrio ambientale e territoriale, ai sensi dell'allegato 2 al DM 10.09.10.

Distinti saluti

Il Responsabile dell'Area
Servizi Tecnici
Arch. Patrizio D'Errigo

*Documento informatico firmato digitalmente ai sensi del D.Lgs n. 82/2005
modificato ed integrato dal D.Lgs. n. 235/2010, del D.P.R. n.445/2000 e norme
collegate, il quale sostituisce il documento cartaceo e la firma autografa)*

Mitt. TAGLIAVINI ELISA

Regione Emilia-Romagna

Area valutazione impatto ambientale e autorizzazioni
vipsa@postacert.regione.emilia-romagna.it

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica

Direzione generale valutazioni ambientali
Divisione V – Sistemi di valutazione ambientale
va@PEC.mite.gov.it

e p.c. Commissione Tecnica PNRR-PNIEC

COMPNIEC@PEC.mite.gov.it

Comune di Monterenzio

comune.monterenzio@cert.provincia.bo.it

Oggetto: "Parco Eolico Emilia" da realizzarsi nei Comuni di Monterenzio (BO), Castel Del Rio (BO), Casalfiumanese (BO), Castel San Pietro Terme (BO). Progetto PNIEC. Codice pratica MYTERNA CP 202102219 - documentazione - Valutazioni e Autorizzazioni Ambientali – VAS – VIA – AIA.

Spettabili Amministrazioni in indirizzo,

La sottoscritta Tagliavini Elisa, in qualità di Presidente del Comitato Frana Sassonero, residente in via Sillaro 47 a Monterenzio (BO) rappresenta che, l'opera di cui all'oggetto (doc.1) verrebbe realizzata in una zona altamente fragile ed instabile, in quanto franosa e ricca di falde e sorgenti acquifere, in particolare attraverso il passaggio di cavidotti lungo la strada provinciale sp35 proprio dove si è verificato un rilevante smottamento di versante.

Evidenza impone che una zona franosa come quella sopra descritta non sia il sito idoneo per effettuare interventi invasivi e problematici anzitutto sotto il profilo idrogeologico oltre che di impatto ambientale.

A tale riguardo, allego il parere espresso dall'Arch. D'Errigo Responsabile dell'Area Servizi Tecnici del Comune di Monterenzio (doc. 2).

Inoltre, rappresento che la documentazione fotografica allegata dal proponente (va.mite.gov.it) e relativa alle "opere di sostegno" risulta molto risalente (1988/2012) e non aggiornata (doc. 3 e 4) e ciò rileva grandemente in relazione ad una zona franosa ed interessata anche di recente da un esteso movimento franoso (6/02/2023).

In aggiunta, chiedo se la società proponente abbia offerto adeguate garanzie di solvibilità e di solidità dal punto di vista economico-patrimoniale e finanziario, sullo stato di attività dell'impresa, di un numero idoneo di dipendenti, di una data di cessazione dell'attività a copertura della dismissione degli impianti.

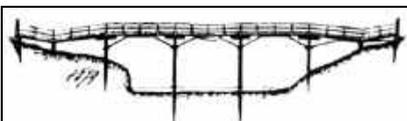
Di conseguenza, chiedo a tutte le amministrazioni coinvolte, per quanto di rispettiva competenza, di esprimere parere negativo ed ostativo alla realizzazione dell'opera in oggetto e, comunque, se siano state effettuate tutte le verifiche previste dalla vigente normativa, anche in ordine al possesso dei requisiti da parte della società proponente.

Distinti saluti

Dott.ssa Elisa Tagliavini

Presidente del Comitato Frana Sassonero

Consigliera Comune di Monterenzio



Studio Geologico
dott. Stefano Marabini
Via San Martino, 1
48018 FAENZA (RA)
tel. 348 2680965
e-mail: stemarabini@libero.it

COMITATO FRANA SASSONERO

RAPPORTO SUL RISCHIO DI FRANA RESIDUO NEL VERSANTE ORIENTALE DI VILLA SASSONERO (MONTERENZIO, BO)

(DOPO L'EVENTO FRANOSO DEL 6 FEBBRAIO 2023
E GLI EVENTI METEOROLOGICI DEL MAGGIO 2023)

- 1 - **PREMESSA.**
- 2 - **INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE
DELLA ZONA DI VILLA SASSONERO (a cura Prof. G. B. Vai).**
- 3 - **EVIDENZE GEOMORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE
NEL VERSANTE ORIENTALE DI VILLA SASSONERO.**
 - 3.1 Frana meridionale di *Villa Sassonero*
(= frana s. s.)
 - 3.2 Frana settentrionale di *Villa Sassonero*
(= pianoro di Prato degli Angeli)
- 4 - **CONCLUSIONI.**
 - 4.1 Suggestimenti per ulteriori interventi di studio geognostico
e mitigazione del rischio di frana.

allegati al testo:

- Scheda 53 PSAI - Rischio frana (anno 2002)
- ubicazione penetrometrie statiche CPT (sett. 2023)
- n. 3 grafici di penetrometrie statiche CPT (sett. 2023)

allegati RER a parte:

- RER - Perizia giustificativa dei lavori (2 marzo 2023)
- RER - Tavola interventi (marzo 2023)
- RER - Stratigrafie dei carotaggi (marzo 2023)
- RER - Relazione Indagini geofisiche (settembre 2023)
- RER - Lettera Giunta Regionale (a firma *Vicepresidente*)



Faenza, 6 febbraio 2024

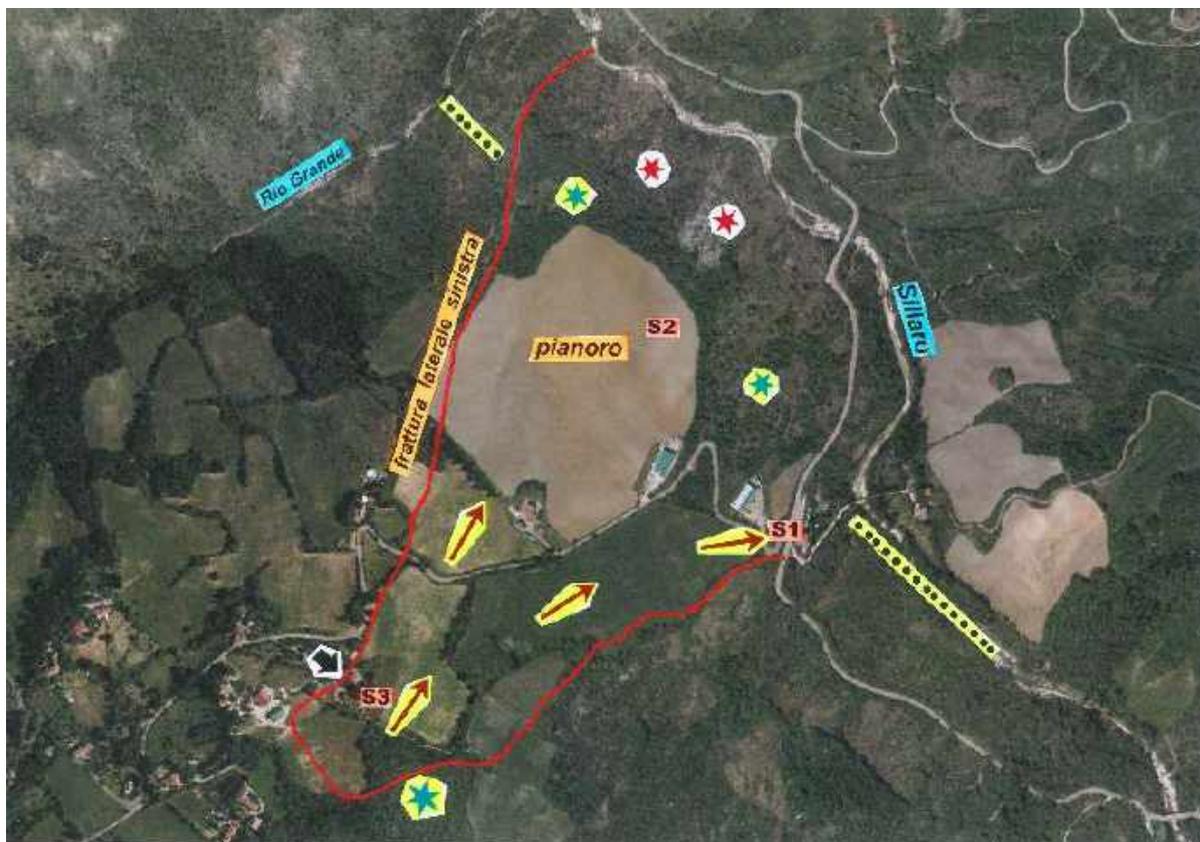


FIG. A – Perimetrazione della frana del 6 febbraio 2023 nel versante orientale di Villa Sassonero (da Perizia Regione Emilia-Romagna, 2 marzo 2023).

Sono ulteriormente evidenziati: l'ambito di frana meridionale (freccia rosse), i fabbriati fortemente danneggiati (freccia nera), la fascia di sorgenti abbandonate a monte (asterisco azzurro), i “rigonfiamenti morfologici” osservati con le immagini satellitari (asterischi rossi) e le sorgenti attive (asterischi azzurri) a valle del pianoro, un paio di lineamenti idrografici di fondovalle (linee punteggiate), e i siti dei n. 3 carotaggi della Regione E-R (S).

1 - PREMESSA.

Su incarico della **dott.ssa Elisa Tagliavini** per conto del **Comitato Frana Sassonero**, in data 27 luglio 2023 è stato attivato uno **studio di consulenza in merito al rischio di frana residuo nel versante orientale di Villa Sassonero a Monterenzio (Bo)**, interessato come noto da un **evento franoso parossistico in data 6 febbraio 2023** che ha causato notevoli danni materiali (**FIG. A**), e quindi subito dopo oggetto da parte della **Regione Emilia-Romagna** sia di interventi urgenti di consolidamento che di indagini geognostiche e di monitoraggio tuttora in corso (**v. allegati RER**).

Il 6 febbraio 2023, nelle prime ore del mattino, senza che fossero stati percepiti indizi premonitori nei giorni precedenti, si è determinato a partire dal piede del pianoro su cui poggia la *Chiesa di Villa Sassonero*, per un fronte di alcune centinaia di metri e su una lunghezza di oltre 1 km, un rapido movimento traslativo per alcuni metri verso valle del sottostante versante sin quasi all'alveo del *T. Sillaro* (v. FIG. A).

Il movimento franoso ha interessato, su un dislivello di oltre 150 metri, un'area complessiva di circa 40ha, danneggiando fortemente nella porzione superiore del versante una struttura agricola e un paio di fabbricati residenziali (*proprietà Casisi e Grillini*), e parzialmente nella porzione inferiore del versante un paio di altri fabbricati residenziali e un paio di capannoni produttivi. Inoltre il dissesto ha causato interruzioni in più tratti della viabilità pubblica, sia della *SP 21* di fondovalle che della *SP 35* per Monterenzio.

Da un punto di vista geologico e storico l'evento franoso del 6 febbraio 2023 non può tuttavia considerarsi un fenomeno del tutto inatteso, in quanto, ad esempio, il versante in oggetto era stato oggetto nel 2002 della **Scheda 53 – Rischio frana** del **Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI)** dell'**Autorità di Bacino del Reno** nella quale si indicava un rischio di frana molto elevato interferente con un abitato. Nella **Scheda 53 - PSAI**, una delle cui finalità era il recepimento nella **Pianificazione urbanistico-territoriale** (nel caso specifico nel **PSC del Comune di Monterenzio**), era descritta la presenza di "*estesi e ben noti accumuli franosi storici non stabilizzati*" e si suggeriva, per ridurre i rischi di dissesto, l'esecuzione di "*interventi di potenziamento delle opere di drenaggio superficiale e soprattutto sotterraneo, con particolare riguardo al censimento e alla captazione delle sorgenti abbondanti presenti nei pendii a monte e immediatamente a valle dell'abitato*" (v. allegato).

Nei giorni immediatamente successivi il 6 febbraio 2023, in considerazione di un rischio concreto per la pubblica incolumità e del timore che il movimento franoso potesse progredire sino ad interessare direttamente l'alveo del *T. Sillaro* (con pericolo idraulico per la zona a valle), la **Regione Emilia-Romagna** ha attivato sia interventi urgenti di regimazione idrica che, in collaborazione con il **Prof. Matteo Berti** dell'**Università di Bologna**, l'esecuzione di una campagna di indagini geognostiche e di monitoraggio.

In particolare, già nel marzo 2023 sono stati effettuati (v. allegati RER):

- estesi lavori di rimodellamento morfologico e taglio della vegetazione nelle porzioni di monte e meridionale del versante maggiormente "avvallate" dal movimento franoso, con pulizia e realizzazione di nuovi fossi e messa in opera di n. 7 setti drenanti subsuperficiali (per complessivi 624 ml !)
- n. 3 carotaggi geognostici (S) (sino a profondità massima di 70m!), e messa in opera sia di inclinometri che di piezometri.
- installazione di una stazione GPS e di una stazione totale robotizzata per la misurazione in continuo dei movimenti del suolo, dei fabbricati e delle strutture (tuttora in funzione).

A fine luglio 2023 i risultati acquisiti con il monitoraggio risultavano così sintetizzabili sulla base di quanto gentilmente trasmesso dal *dr. geol. G. Caputo* della *Regione Emilia-Romagna* (v. **allegati**):

- Gli **inclinometri S1, S3** installati nelle porzioni di monte e meridionale della frana, quelle con maggiori iniziali evidenze di dissesto in superficie, documentavano un **residuo movimento dei terreni verso valle dell'ordine di 1,5mm/mese con piano di scivolamento a profondità di -13/-18m** (senza comunque un evidente riflesso in superficie).
- **L'inclinometro S2** installato nel **pianoro di Prato degli Angeli**, sebbene il confronto tra le immagini satellitari prima e dopo l'evento avessero evidenziato un rigonfiamento della scarpata a valle tale da supporre che l'intero pianoro fosse traslato in occasione dell'evento del 6 febbraio di **1,5/2m verso valle** (comunicazione verbale del *Prof. Berti*), non evidenziava alcun movimento nel sottosuolo.

Alla luce di questi risultati, che sostanzialmente evidenziavano due distinti ambiti di dinamica franosa (**Frana meridionale s.s.** e **pianoro di Prato degli Angeli**), pur non chiarendone in maniera chiara connessioni ed evoluzione, i *Tecnici* della *Regione Emilia-Romagna* hanno ritenuto opportuna (giustamente!) l'esecuzione nel settembre 2023 di una campagna geofisica nel pianoro (**n. 3 profili di tomografia elettrica, n. 1 profilo di sismica a rifrazione, n. 1 profilo di sismica riflessione**) al fine appunto di meglio documentare il **modello geologico strutturale del sottosuolo** (v. **allegati RER**). I pur importanti dati geofisici tuttavia, come si discuterà in seguito, non consentono ancora a mio avviso una "interpretazione definitiva" dell'**evento franoso del 6 febbraio 2023** che possa, come dire, "tranquillizzare per il futuro".

Nel presente **Rapporto**, per il quale si è potuto tener conto della documentazione ufficiale fornita gentilmente dalla *Regione Emilia-Romagna* (oltre che di proficui scambi di idee informali con il *Prof. Berti* e con il *dr. geol. Caputo*), si argomenta quindi, per conto del *Comitato Frana Sassonero*, la **necessità che gli interventi di studio e di mitigazione del rischio di frana residuo vengano proseguiti sino a quando non sia documentato un accettabile grado di stabilizzazione del versante**. In tale prospettiva di approfondimento degli studi, su incarico della *dott.ssa Elisa Tagliavini* sono stati nel settembre 2023 effettuati **n. 3 sondaggi penetrometrici CPT** in posizione centrale del **pianoro di Prato degli Angeli**, dei cui risultati si discuterà brevemente in seguito.

In conclusione, ritenendosi comunque accertato che l'**evento franoso del 6 febbraio 2023** non può ascriversi semplicemente ad eccesso di infiltrazioni e ristagni nel sottosuolo di acque meteoriche, come indirettamente suggerisce il fatto che nei mesi precedenti non si erano verificate piogge più intense che negli anni precedenti, si prospetta anche l'**ipotesi di lavoro** che il rischio di frana del versante orientale di *Villa Sassonero* sia connesso in parte, e forse prioritariamente, a "**cause geologiche profonde**", cioè di "**tettonica attiva s.l.**" (v. **il successivo capitolo di inquadramento geologico generale redatto per gentilezza dal Prof. Gian Battista Vai, Emerito Benedetto (Università di Bologna)**). In ogni caso si avanzano suggerimenti preliminari per ulteriori interventi di studio geognostico e di mitigazione del rischio di frana residuo.

Inoltre, in relazione a tale ipotesi di lavoro si prospetta teoricamente di adeguatamente considerare la possibilità che l'evento franoso del 6 febbraio 2023, per il fatto di esser stato anche motivo di parziale riequilibrio geostatico del versante prima degli eventi meteorologici del maggio 2023 (grazie anche agli interventi di consolidamento effettuati dalla **Regione Emilia-Romagna**), abbia paradossalmente “disinnescato” il rischio che un paio di mesi dopo si verificasse un evento franoso ben più disastroso.

In pratica, sulla base di tale quadro interpretativo generale si ritiene senz'altro legittima la richiesta per adeguati ristori economici da parte dei cittadini danneggiati da una “*calamità naturale*” come è indubbiamente configurabile l'evento franoso del 6 febbraio 2023, per analogia con quanto è stato appunto previsto successivamente dalle Ordinanze del Commissario Governativo per i danneggiati dagli eventi meteorologici del maggio 2023.

2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE DELLA ZONA DI VILLA SASSONERO (a cura Prof. G. B. Vai).

Villa Sassonero si trova in uno dei punti critici della geologia dell'Appennino Settentrionale: il cosiddetto *Arco Trasversale del Sillaro* (o “*Linea del Sillaro*”), che caratterizza la zona di transizione attuale fra il (*semi*)*Autoctono* o *Paleoautoctono* della *Culminazione Strutturale Romagnola* a Est, e l'*Alloctono* dell'Appennino Bolognese e Emiliano a Ovest (*Falde Toscana e Liguri*, con *Coperture Semialloctone* discontinue). La “*Linea del Sillaro*” va visualizzata come una fascia laterale di faglie rovesce e oblique rispetto al movimento. Dove l'*Alloctono* è a contatto con il *Paleoautoctono*, le faglie rappresentano l'intersezione fra la superficie di sovrascorrimento del *Liguride* e la superficie topografica. La stessa fascia è stata poi ed è ancora sede di tettonica di smembramento estensivo.

L'*Autoctono Romagnolo* è formato da Marnoso-arenacea (MA), Peliti Eusiniche, Gessosa Solfifera, Colombacci, Argille Azzurre, e Sabbie Gialle in ordine stratigrafico. I vari membri della MA sono delimitati da strati guida di valore cronologico. Entro la MA sono interstratificati gli olistostromi bacinali chilometrici di Casaglia e di Visignano, che contengono anche olistoliti come quelli che si trovano al piede della fascia di accavallamento Liguride.

L'*Alloctono Bolognese* è formato da Ofioliti, Diaspri, Calcari a Calpionella, Argilliti a Palombini, Argilliti Varicolori (genericamente Argille Scagliose), Flysch a Elmintoidi (qui in particolare Monte Venere e Monghidoro); il tutto a tratti coperto in discordanza dal *Semialloctono* satellite con Loiano, Ranzano, Antognola, Bismantova, Termina, Gessosa Solfifera interna, Pliocene Intrappenninico Bolognese, Sabbie Gialle (**Fig. 1**). Olistoliti marnosi e arenacei Oligo-Miocenici,

franati in ambiente sottomarino dalle formazioni semialloctone, si trovano nella fascia di olistostroma al piede della zona di sovrascorrimento del Liguride.

Nell'ambito della tettonica a coltri e accavallamenti vergenti a NE (Fig. 2b2), la struttura dell'area dell'alto Sillaro mostra una generale immersione a NW della potente MA al di sotto del Liguride che le è sovrascorso (Fig. 2c).

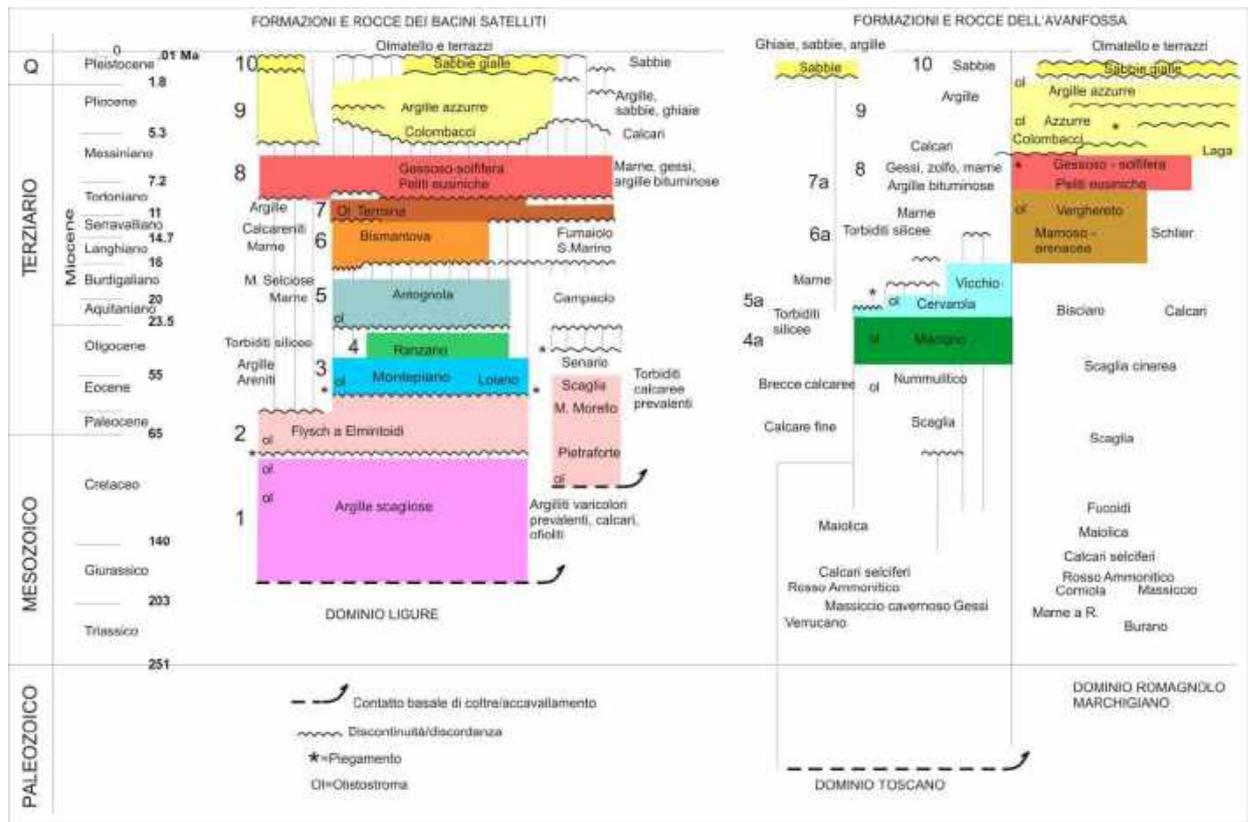


Fig. 1 – Quadro di correlazione cronologica delle formazioni e rocce principali della montagna bolognese (Vai, 2015).

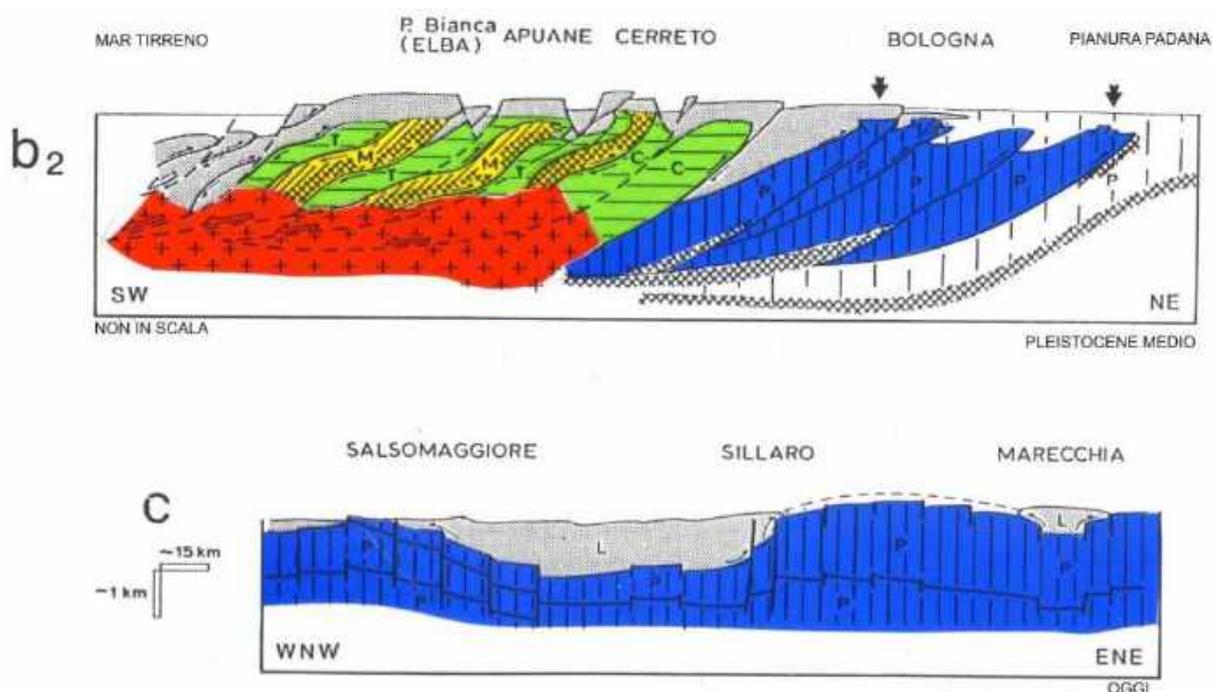


Fig. 2 – Sezioni geologiche trasversale e longitudinale dell'Appennino Settentrionale. La sezione *b₂* al Pleistocene medio mostra le relazioni geometriche delle coltri Metamorfiche (M), Toscanidi (T, C), e Liguridi con il Paleoauctono o Semiautoctono Romagnolo (in bleu a destra); i graniti (in rosso a sinistra). La sezione *c* alle condizioni attuali mostra l'imponente spessore della coltre Liguride (L) nell'Appennino Emiliano rispetto a quello minore dell'area del Marecchia e a quella esile della Culsminazione Romagnola e di Salsomaggiore; in bleu le varie scaglie di Paleoauctono (P) alcune scollate entro il basamento Paleozoico (quadrettato) /da Vai 1988).

Nell'alto Sillaro il sovrascorrimento del Liguride è avvenuto sopra membri sempre più recenti della MA paleoauctona andando da SW a NE, con una traiettoria discontinua a gradini (rampa e piano). Questo testimonia che il sovrascorrimento della coltre Liguride è stato sindeposizionale con la MA (**Fig. 4 a sinistra**). La coltre Toscana invece si è accavallata sulla MA già coperta dal Liguride nel Langhiano superiore– Pliocene inferiore. Quindi il Liguride deve aver iniziato il sovrascorrimento sulla Coltre Toscana e le Unità Romagnole interne prima del Langhiano superiore.

Inizialmente il Liguride copriva l'area della futura Culsminazione Romagnola, come mostrano ciottoli di diaspro e ofioliti nelle evaporiti messiniane a Brisighella. Ma la differenza di spessore fra la Coltre Liguride Emiliana e la coltre Liguride del Marecchia, mi fa ritenere che l'area romagnola fosse già allora più alta di quella emiliana (**Fig. 2c**).

Infine la tettonica di smembramento estensivo delle zone interne della catena e la migrazione verso E dell'estensione Plio-Quaternaria Tirrenica ha intersecato ogni altro elemento tettonico precedente. Questo si evidenzia in due sistemi di faglie prevalenti orientati NW-SE (con frequenti abbassamenti a SW) e NE-SW, che segnano anche i tratti del corso montano del Sillaro.

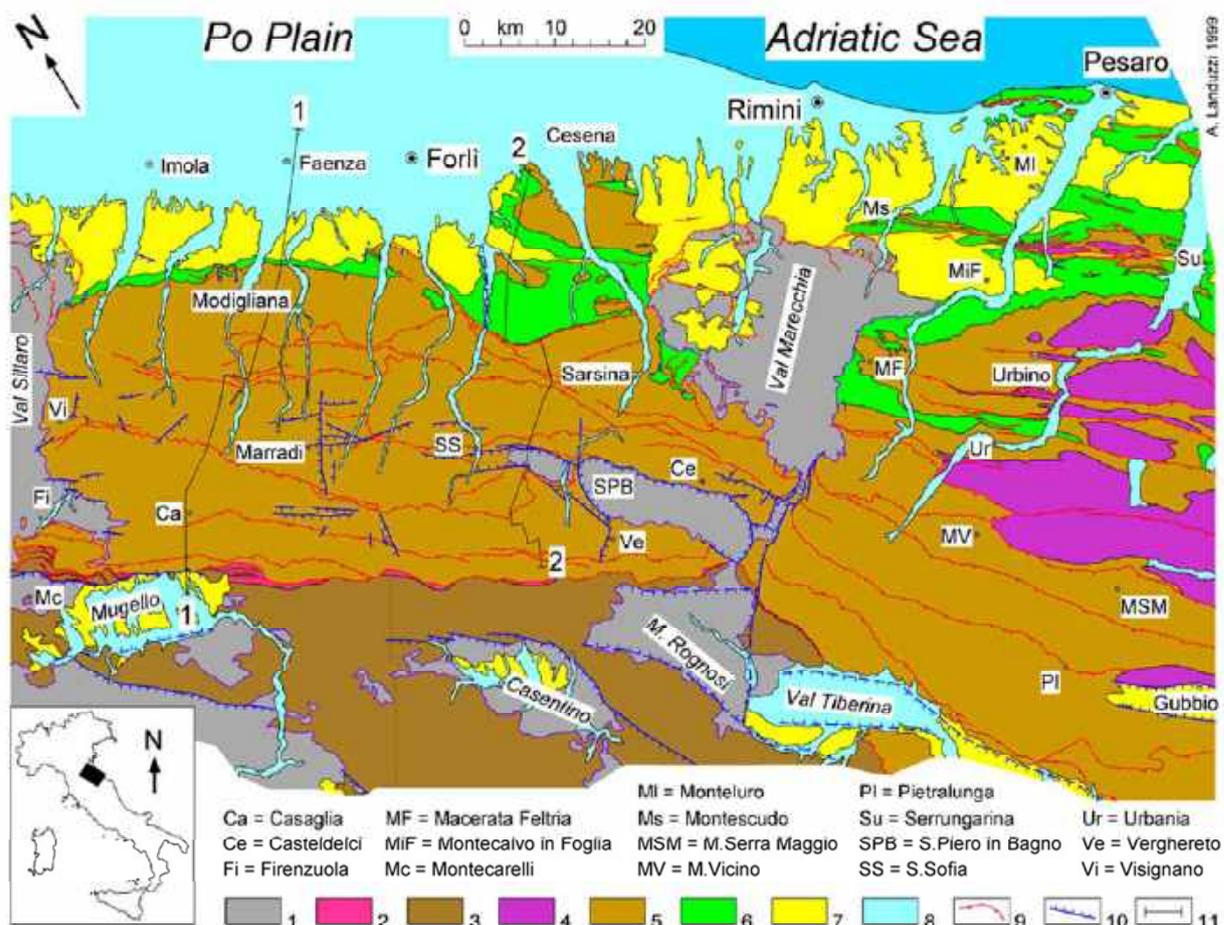


Fig. 3a – Schema geologico strutturale della Culsminazione Romagnola fra le coltri Liguridi dell’ Emilia fino al Sillaro e del Marecchia prima delle pieghe marchigiane, con i bacini estensivi a depositi quaternari (Mugello, Casentino, Val Tiberina, Gubbio) e le depressioni post-compressive al loro fronte (M. Rognosi e S. Piero in Bagno). Faglie compressive in rosso, faglie estensive in bleu (da Landuzzi 1999; Achilli et al. 1990).

È seguita poi la deformazione polifasica compressiva intra-Messiniana e Pliocenica inferiore con le pieghe-faglie (o pieghe per propagazione di faglia) ben distanziate della Romagna, che andando verso il Sillaro passano a pieghe aperte con assi immergenti a W (**Fig. 3a**). Nel Liguride, con placche di Epiligure sovrastanti e fascia di olistostromi al fronte di sovrascorrimento (**Fig. 3c**), la contrazione si esplica in una serie di semiarchi laterali transpressivi obliqui in quante a scaglioni (**Fig. 3a, 3b**).

E' seguita ancora l'inclinazione regionale a NW della fascia del Sillaro nel contesto della crescita della Culminazione Strutturale Romagnola che ha subito un'accelerazione nel Pliocene superiore e Quaternario. Per questo nel Pleistocene Superiore gran parte della Culminazione Romagnola era già stata privata della sottile Coltre di Liguridi per erosione, come provano ciottoli di sola MA nei terrazzi medi del Faentino (**Fig. 2c, 3a**).

Queste faglie, forse anche segnate troppo numerose nel Foglio 238 Castel S. Pietro Terme della carta Geologica d'Italia al 50.000, curiosamente non sono state commentate affatto nelle relative Note Illustrative (2009). Esse sono invece molto importanti ai fini della sismicità e dell'evoluzione geomorfologica e quindi della stabilità dell'area, in quanto alcune di esse sono ancora attive e capaci non solo in Garfagnana, Mugello, e Casentino, ma anche nell'alto Bolognese, alti Faentino e Forlivese e del Marecchia (**Figg. 3a, 3b**).

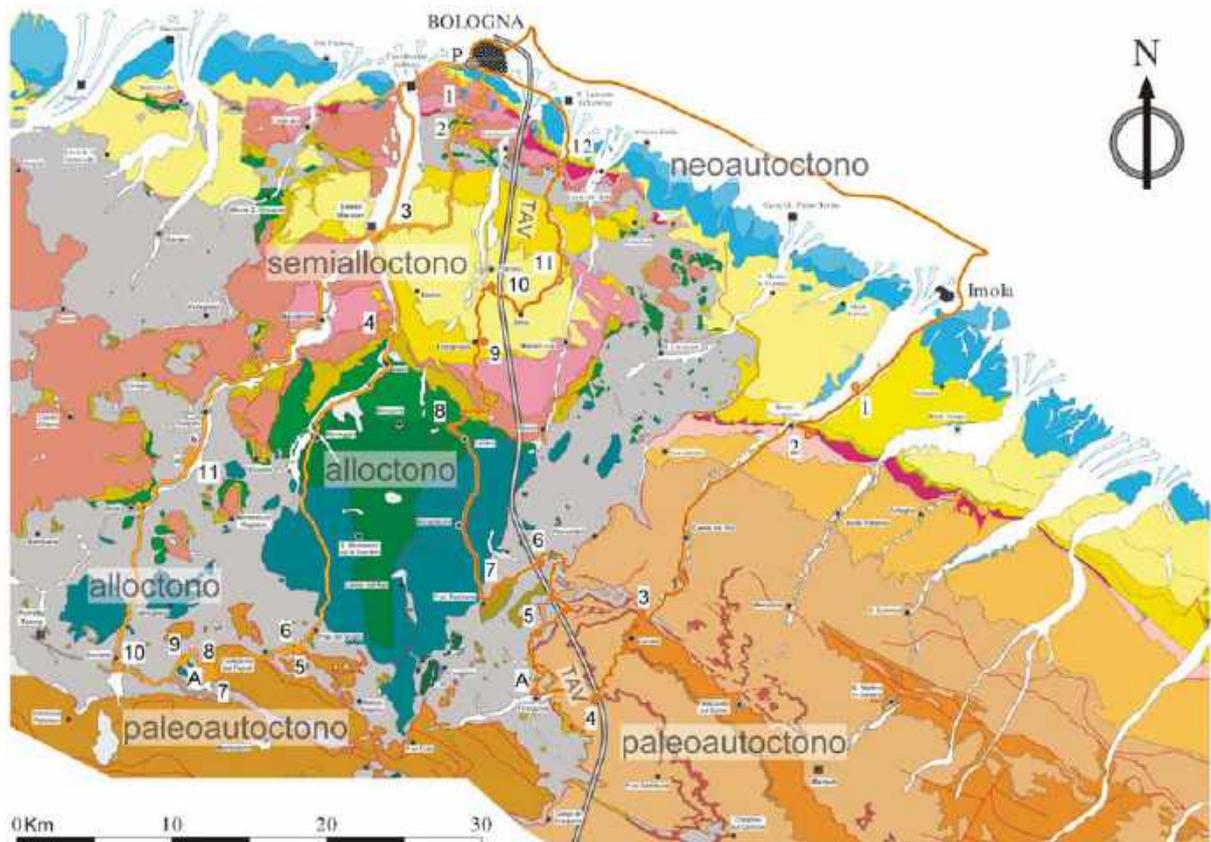


Fig. 3b – Carta Geologica dell'Arco del Sillaro, con Alloctono Liguride (con Semialloctono Epiligure sovrapposto) a W e Paleoautoctono della Culminazione Romagnola a E. La doppia linea nera meridiana che attraversa la fascia del Sillaro è la traccia della Alta Velocità Bologna-Firenze (da Bernagozzi, Landuzzi & Vai 2005).

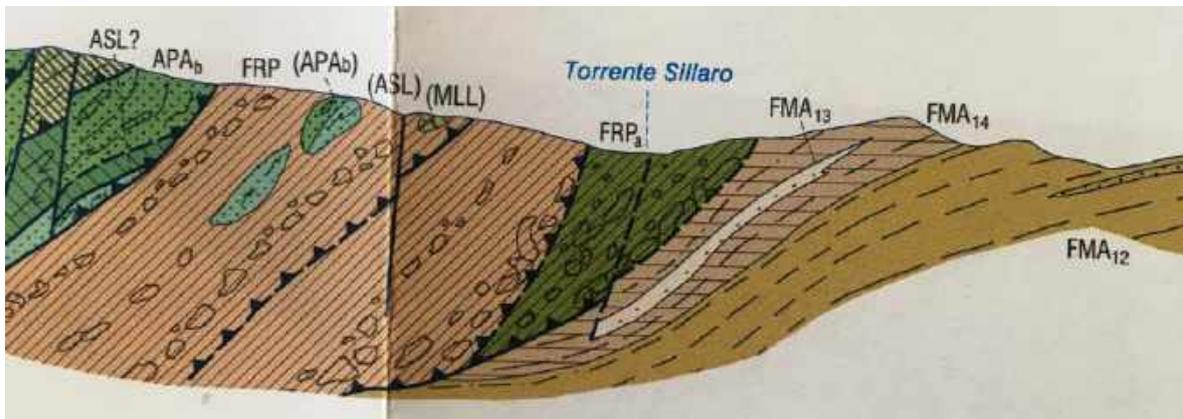


Fig. 3c – Stralcio di sezione geologica E-W in cui da sinistra (W) il Liguride con Argilliti a Palombini (APAb) si accavalla su e coinvolge in parte nel movimento olistostromi epiliguri Oligo-Miocenici con olistoliti più antichi (FRP e FRPa) per risalire sul Paleautoctono della Marnosa Arenacea (FMA) verso E (Foglio 238 Castel S. Pietro della Carta Geologica d'Italia al 50.000, 2009).

La fascia di olistostroma (FPR e FPRa) con olistoliti epiliguri (APAc, ASL, MILL), di cui si è detto sopra, è ben visibile in **Fig. 3c** al piede del sovrascorrimento Liguride

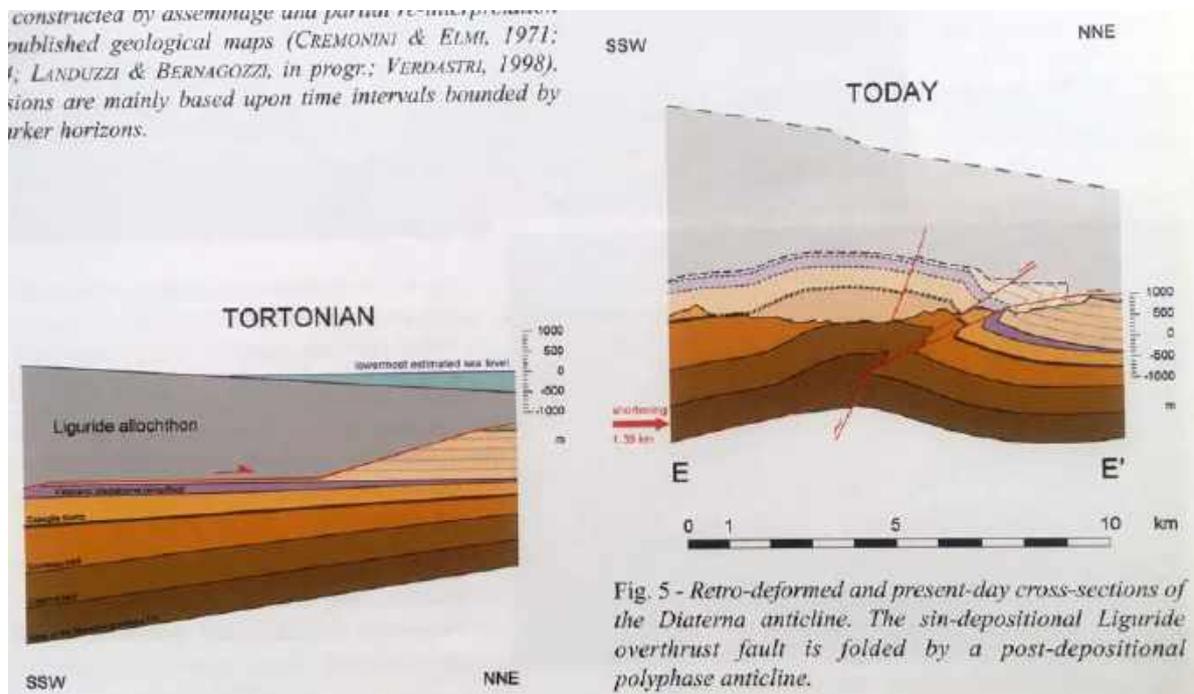
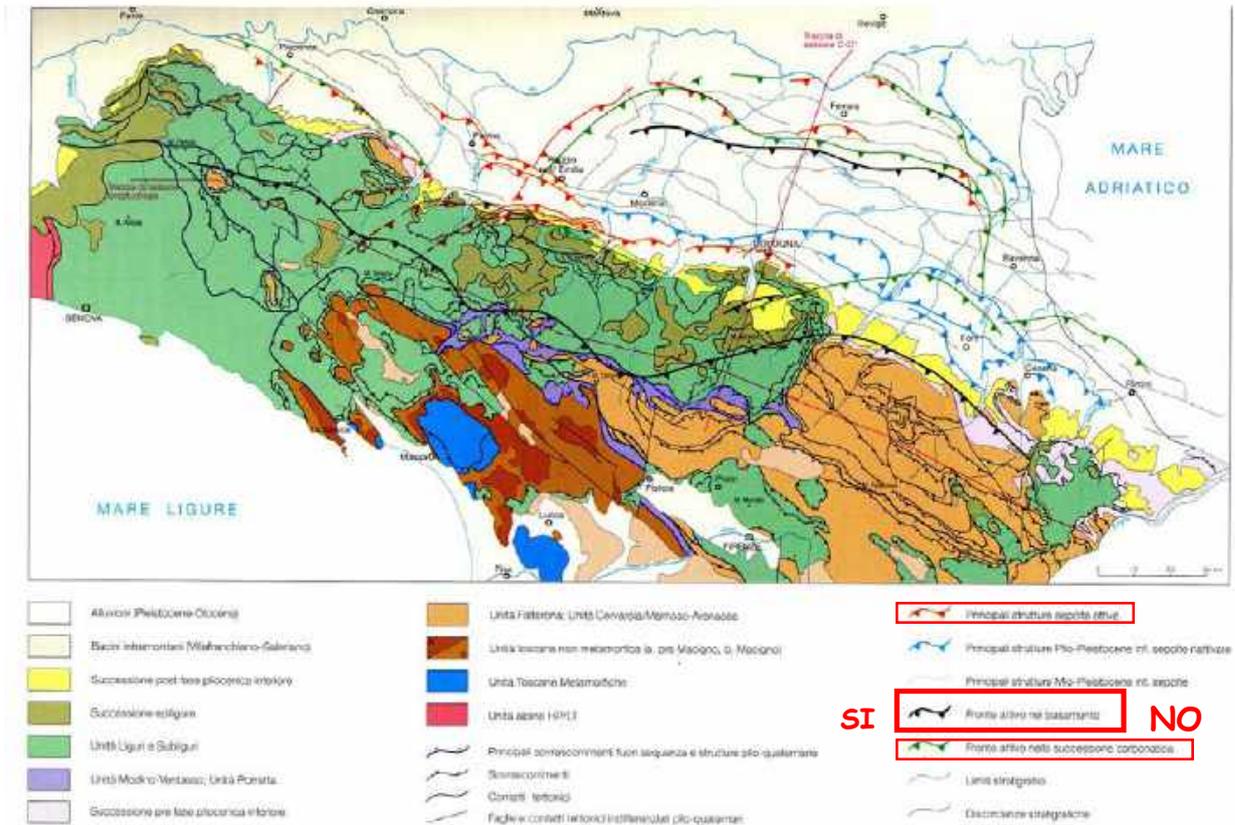


Fig. 4 – Ricostruzione sindeposizionale pretettonica al Tortoniano per retro deformazione (sinistra), e assetto deformato attuale (in basso) e pre-erosivo (recente) di una anticlinale asimmetrica poco ad Est dell'alto Sillaro (da Landuzzi 2004).

I geologi usualmente si dedicavano alla documentazione cartografica e cronologica della tettonica compressiva, lasciando a geomorfologi quaternaristi lo studio della tettonica di smembramento estensiva tardiva (Fig. 5). Questa invece è molto importante perché condiziona stabilità e sismicità dei territori (Fig. 6, 7, 8) e va quindi seriamente considerata.



E le faglie estensive attive in catena esposta??

Boccaletti et al. 2004

Fig. 5 – Esempio di carta strutturale che trascura la tettonica estensiva

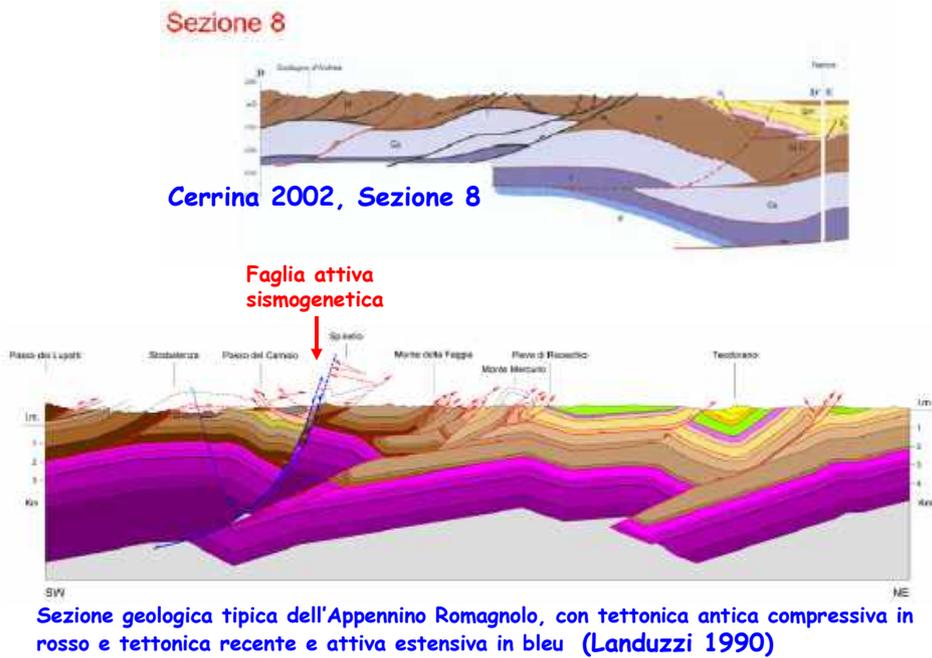
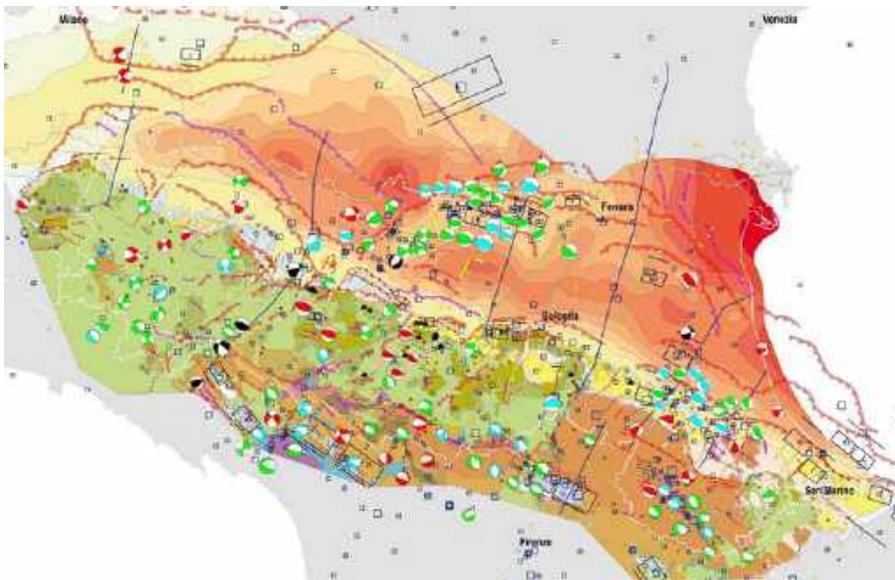


Fig. 6 – Sezione geologica nord appenninica compressiva in alto comparata con una equivalente compressiva e estensiva in basso



Martelli et al. 2017

Fig. 7 – Carta Sismotettonica della RER con soluzioni focali dei terremoti recenti e faglie estensive nelle zone più interne.

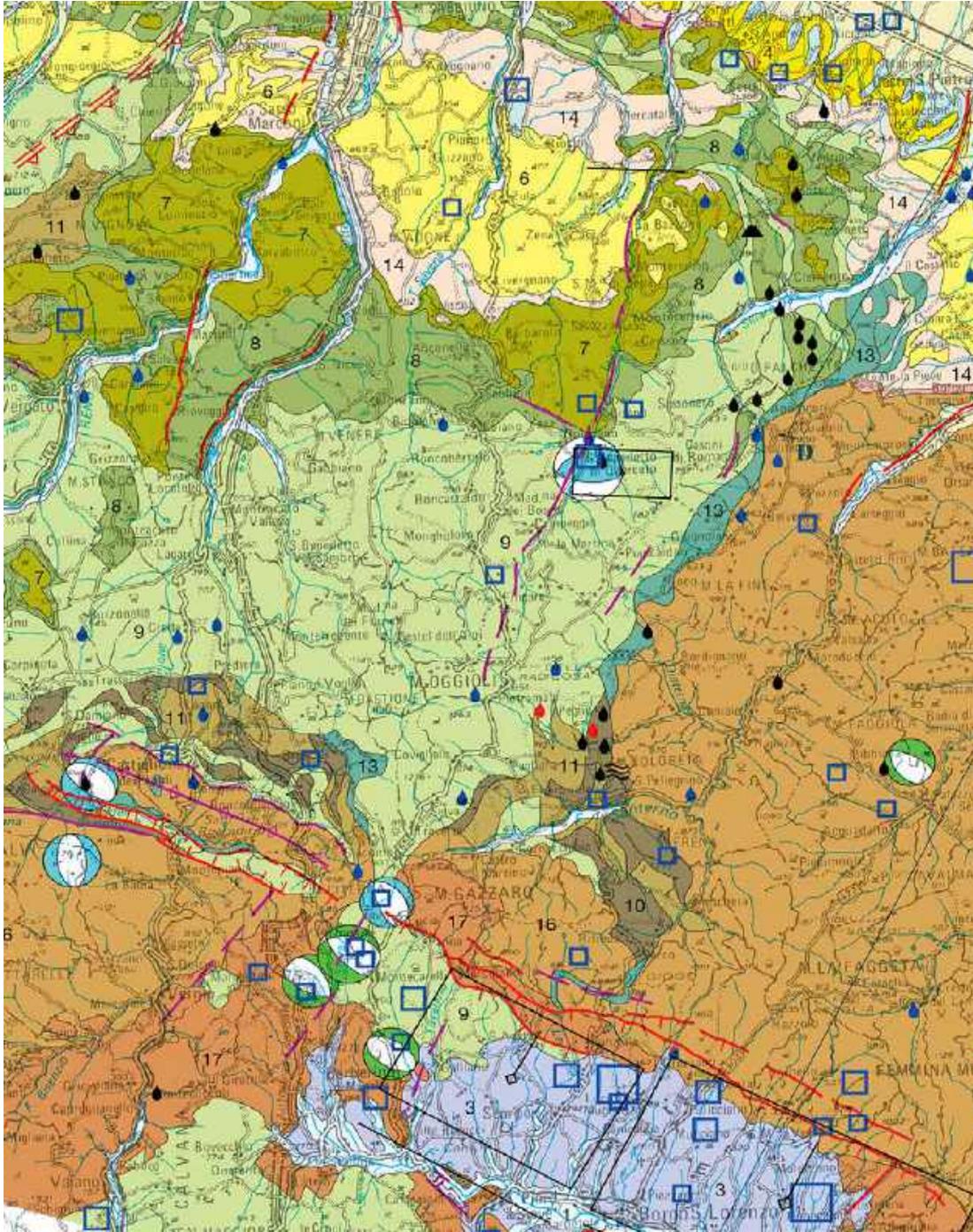


Fig. 8 – Stralciamento dalla Carta Sismotettonica della RER 2017, con venute di gas, olio, e gas/olio (gocce colorate), e con faglie dirette improbabili e altre importanti ben documentate trascurate

Passando a considerare il versante orientale in frana di *Villa Sassonero*, non si può non notare, a proposito dei rapporti tra tettonica e geomorfologia, la presenza di una struttura “*non comune*” nel paesaggio dell’Appennino Settentrionale e assolutamente meritevole di attenzione.

Si tratta di una struttura geomorfologica marcatamente subcircolare in pianta, di circa 300 m di diametro, a forma di depressione scodellare piatta, in contropendenza con margine a valle (NE) più alto fino a circa 7 m rispetto al suo asse, e blandamente incisa secondo il pendio circostante (**Fig. 9a, 9b, 9d**). La depressione contraddistingue il vasto pianoro poco a N e al piede dell’*Agriturismo Prato degli Angeli (Prata* nella mappa topografica), e si sviluppa all’interno di un più vasto affioramento di Argilliti Varicolori (AVT). Il microrilievo mostra più chiaramente che la depressione è ellittica e bilobata con asse orientato WNW-ESE, molto prossimo alla direzione della faglia diretta, immergente a SW, che corre appena a N lungo il corso del Sillaro, secondo la carta geologica al 50.000 della RER (Fig. 9c).

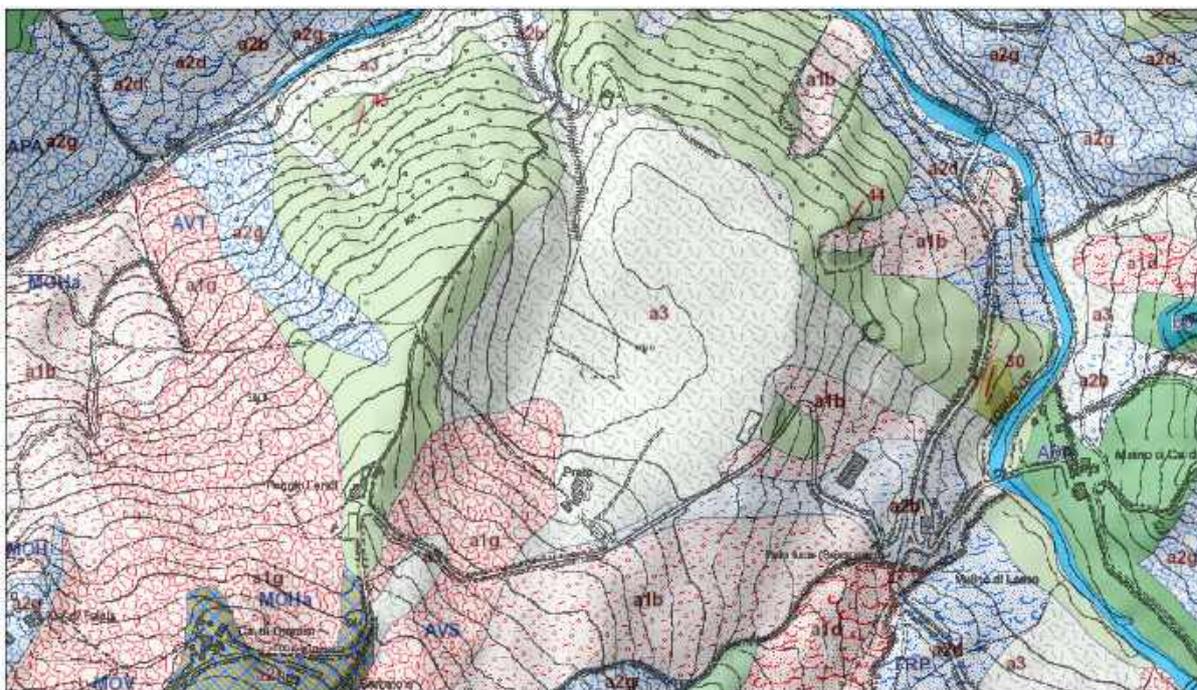


Fig. 9a – Stralcio al 5.000 dalla Cartografia Geologica Interattiva RER (cons. 28.12.2023).

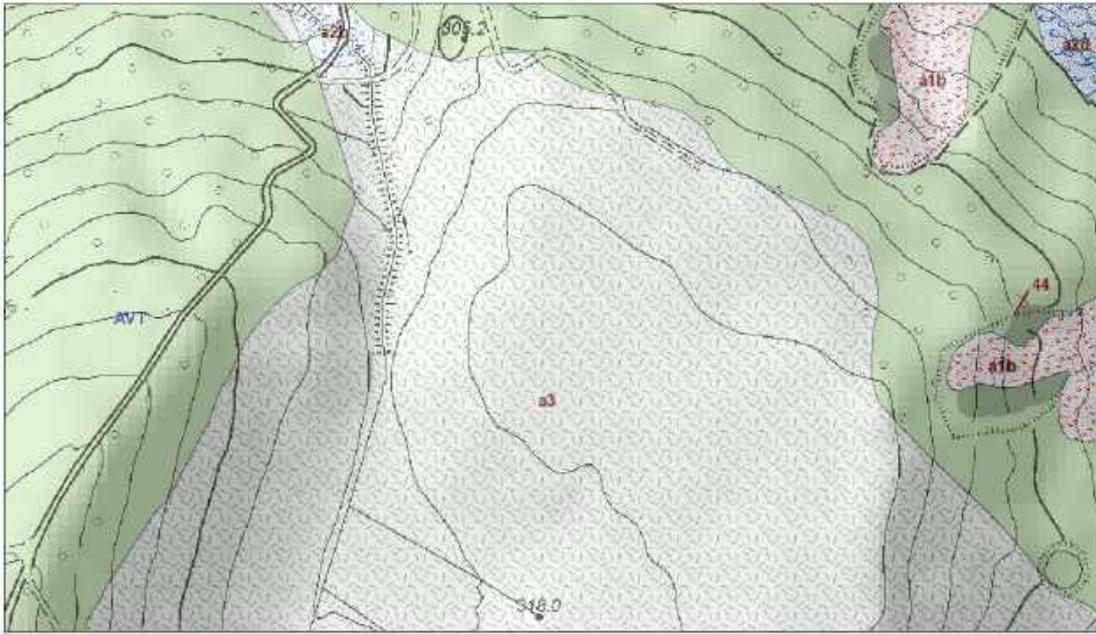


Fig. 9b – Stralcio al 2.000 dalla Cartografia Geologica Interattiva RER (cons. 29.12.2023).

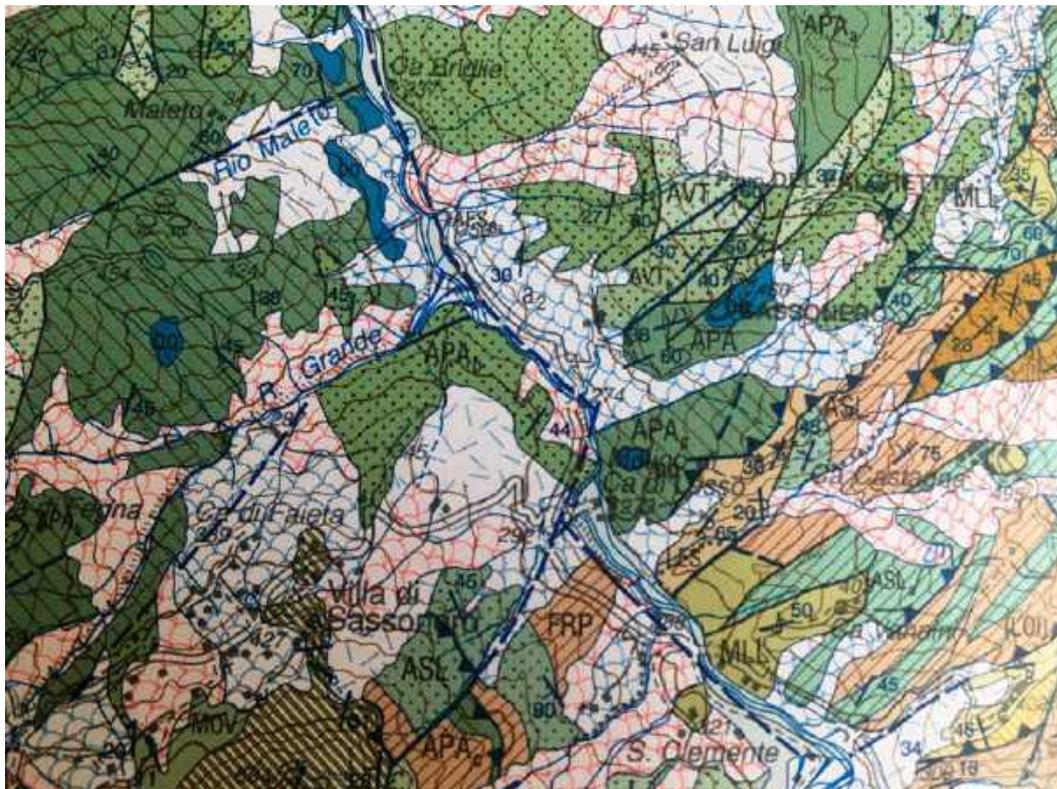


Fig. 9c – Stralcio dalla Carta Geologica d'Italia al 50.000, F 238 Castel S. Pietro (2009) RER

La faglia segmentata di smembramento estensivo che poco a NE di Villa Sassonero corre lungo il Sillaro in direzione NW-SE (**Fig. 9c**) fa parte della nota fascia di faglie estensive che da Castel d'Elci, via S. Sofia-Marradi-Piancaldoli (*Achilli et al. 1990*), si estende anche a Villa Sassonero e oltre, e è responsabile di molti terremoti a soluzione focale estensiva e trascorrente dell'alto Cesenate, Forlivese e Bolognese (**Figg. 3a, 7, 8**). Nello stesso F. 238 (2009) della Carta Geologica d'Italia lo Schema Tettonico-Strutturale al 200.000 indica che questa faglia lungo Sillaro ribassa e estende la struttura del Liguride verso SW, come avviene anche nel Paleoautoctono della MA presso Sassoleone e Castel del Rio.

Un regime tettonico estensivo e/o trascorrente, a seconda dei tempi e delle posizioni, appare quindi acclarato e caratteristico per l'area dell'alto Sillaro da un certo momento del Pleistocene medio fino ad oggi. È ovvio che la storia deformativa, delineata qui per sommi capi, e l'abbondanza di argilliti molto fratturate e di argille, accoppiata alla sismicità, influenzino la stabilità dei versanti e favoriscano attivazione e riattivazione di frane.

In sostanza, in un tale campo di sforzi tettonici una struttura geomorfologica persistente piatta e subcircolare come quella del *pianoro di Prato degli Angeli* è meno problematica da inquadrare, seppur in un contesto non privo di incertezze e difficoltà.

In primo luogo, il pianoro è rivestito di depositi di versante (a3) eluviali e colluviali del substrato circostante formato da *Argilliti Varicolori* (AVT) (**Fig. 9b**). Questo è importante perché farebbe escludere che il pianoro sia un lembo relitto di terrazzo alluvionale antico del Sillaro, lembi peraltro mancanti in tutto l'alto Sillaro fino alla Bella Romagnola di fronte al Villaggio della Salute.

In prima istanza, la struttura sub-circolare concava del pianoro farebbe pensare a un processo verticale di collasso gravitativo nel substrato, ammesso che questo sia granulare e permeabile a fluidi gassosi che liberandosi verso l'alto provocherebbero il collasso. Le Argilliti Varicolori intensamente tettonizzate dalla precedente tettonica contrazionale e poi fratturate in ambiente fragile estensivo recente possono essere assimilate a un mezzo granulare. Risalite e dispersione aerea di fluidi prevalentemente gassosi sono comuni lungo faglie beanti della catena nord appenninica sia nelle Liguridi che nella Marnosa Arenacea fino al margine della Pianura Padana. Fuochi fatui e salse studiate fin dal Settecento con Marsili, e più recentemente strutture sedimentarie tipo *pock marks* dei margini continentali marini, trovate nei depositi limosi della Pianura Romagnola (*Curzi et al. 1988; Marabini et al. 1988*), documentano l'abbondanza di queste emissioni di fluidi gassosi nel nostro Appennino (**Fig. 8**).

In particolare non va dimenticato che il petrolio, il bitume e il metano di Pietramala (con le prime captazioni operative dello stesso Alessandro Volta che diede il nome di metano al gas delle paludi e al corrispettivo fossile di Pietramala) si trovano a meno di 20 km dal *Prato degli Angeli*,

lungo la stessa zona di faglia del Sillaro (**Figg. 7, 8**). E salse sono frequenti anche a N dell'area. La struttura del pianoro, pur senza idrocarburi evidenti, potrebbe avere una genesi in parte analoga.

Naturalmente, rimane da risolvere il problema di come un lembo inclinato di versante, una volta innescato il processo di risalita di fluidi e relativi ripetuti collassi, abbia assunto l'attuale assetto a pianoro concavo, e, nonostante le frane circostanti, lo abbia potuto mantenere fino ad oggi. A tale scopo, potranno essere senz'altro utili anche le indagini geofisiche in merito alla stratigrafia del pianoro (copertura e substrato) ad opera della **Regione Emilia-Romagna**.



Fig. 9d – Pianoro di Prato degli Angeli in vista zenitale). Il Rio Grande (sin) confluisce nel Sillaro (dex) subparallelo alla strada di fondovalle.

È interessante infine un cenno di raffronto critico con una struttura geomorfologica subcircolare, per certi versi analoga e dimensioni triple, presente a **Puianello** fra le omonime salse e il Santuario della Beata Vergine, in comune di Castelvetro di Modena, che ci è stata segnalata a questo scopo dal **Prof. Berti** e dal **dr. geol. Caputo** che stanno studiando la frana di **Villa Sassonero** per conto della **Regione Emilia-Romagna**. La struttura di **Puianello** però non costituisce un pianoro ma è più inclinata e profondamente incisa verso SW rispetto al **pianoro del Prato degli Angeli**. Nella cartografia geologica interattiva della RER essa appare ubicata nell'Olistostroma Tiepido-Canossa e al centro sarebbe rivestita da “deposito di frana quiescente complessa”. Subito a NW le salse si trovano in una “zona soggetta a sprofondamento quiescente”.



Fig. 10a – Struttura geomorfologica di Puianello in vista zenitale da Google Earth.

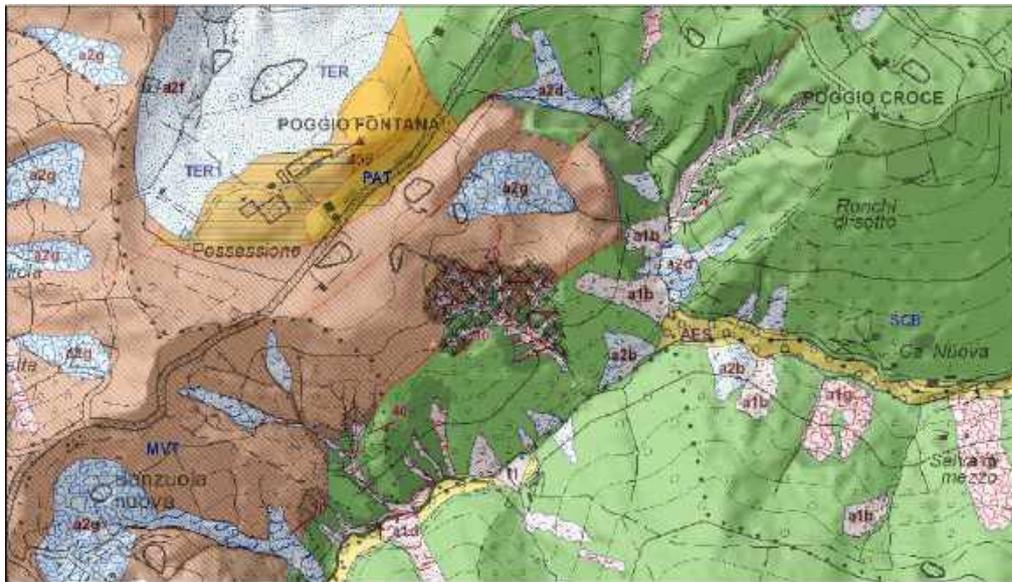


Fig. 10b – La struttura geomorfologica di Puianello nella Cartografia Geologica interattiva della RER). Nella carta si vede a NW della struttura di Puianello la zona soggetta a sprofondamento quiescente (in chiaro) e a SW altre strutture sub circolari analoghe (in particolare quella di Banzuola nuova).

Opere citate:

Achilli V., Arca S., Baldi P., Chiggio R., Landuzzi A., Marabini S., Mularghia F., Tinti S. & Vai G.B., 1990. Studio sismotettonico dell'Appennino Forlivese: il progetto GEOSIS. Boll. Geodesia e Sc. aff., IGM, 49, 4, 319-361.

Bernagozzi G., Landuzzi A., Vai G.B., 2005. I percorsi nascosti. Il tracciato alta velocità Bologna-Firenze. In: G. Vianello (cur), Valli di Zena, Idice e Sillaro, Bologna, Gruppo Studi Savena Setta Sembro, 324-342.

Curzi P., Lenaz R., Marabini S. & Vai G. B. , 1988. Mesostrutture deformative tipo pockmark in un paleosuolo olocenico di Romagna. Rend. Soc. Geol. It., 10 (1987), 38-40.

Landuzzi A. 2004. Syn-depositional emplacement of the Liguride allochthon in the Miocene foredeep of the Western Romagna Apennines. In: G. Pasquarè & C. Venturini (eds), Mapping Geology in Italy, Selca, Firenze, 219-226.

Marabini S., Lenaz R. & Vai G. B., 1988. Pleistocene superiore e Olocene del margine pedeappenninico romagnolo: rapporto preliminare. Rend. Soc. Geol. It., 10 (1987), 33-37.

3 - EVIDENZE GEOMORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE NEL VERSANTE ORIENTALE DI VILLA SASSONERO.

Nell'ambito dello studio di consulenza in oggetto, tenendo conto sia delle informazioni geognostiche e testimonianze complessivamente disponibili che anche, in particolare, del quadro geologico generale della zona (v. **Cap. 2**), sono stati effettuati dopo il luglio 2023 vari sopralluoghi sul terreno per verificare le evidenze geomorfologiche e idrogeologiche residue dell'evento franoso del 6 febbraio 2023.

Alla luce di quanto criticamente acquisito ed osservato, si ritiene innanzitutto utile, al fine di semplificare la descrizione delle complesse problematiche di rischio di frana del versante orientale di *Villa Sassonero*, la seguente distinzione schematica (**FIG. A**):

- **Frana meridionale di Villa Sassonero (= frana s.s.)**

Si tratta dell'ambito in cui nella **Scheda 53 - PSAI** furono principalmente perimetrare "aree in dissesto" (**ZONA 1**), ed in cui si sono in effetti palesati nel febbraio 2023 con maggior evidenza crepacciature e ondulazioni morfologiche del suolo per effetto del movimento franoso traslativo verso valle, quello che ha determinato in pratica i danni principali per fabbricati e infrastrutture.

È in tale ambito che si sono concentrati gli interventi urgenti di consolidamento e le indagini geognostiche e di monitoraggio da parte della **Regione Emilia-Romagna**.

- **Frana settentrionale di Villa Sassonero (= pianoro di Prato degli Angeli)**

Si tratta dell'ambito corrispondente con la struttura geomorfologica piana e caratterizzata da una depressione centrale subcircolare già citata al **Cap.2**, e che nella **Scheda 53 - PSAI** fu

principalmente perimetrata come “area di influenza” (**ZONA 5**). In questa area l’evento franoso del febbraio 2023 si è manifestato fisicamente principalmente con una evidente “*frattura laterale sinistra*” (**FIG. A**) e secondariamente con più modeste fratture centrali di parziale assestamento “retrogrado” (cioè con rigetto verso monte) (**FOTO 1**). In tale ambito gli interventi da parte della **Regione Emilia-Romagna** sono al momento consistiti esclusivamente in indagini geognostiche/geofisiche e di monitoraggio.

Va ribadito che tale distinzione è da considerarsi, allo stato attuale delle conoscenze, di significato comunque relativo, se non altro per la continuità evidenziata sul terreno dalla “*frattura laterale sinistra*” trascorrente sul lato occidentale di ambedue gli ambiti per un tratto di oltre 1km. Per inciso, è a cavallo di questa “dislocazione” che, nella porzione superiore del versante, si trovano i fabbricati maggiormente danneggiati (*proprietà Casisi e Grillini*) (**FIG. A**).



FOTO 1 - Panoramica del versante orientale di Villa Sassonero dal ciglio esterno del pianoro di Prato degli Angeli. La fascia di aratura in primissimo piano corrisponde con il livellamento di una frattura di assestamento con rigetto decimetrico retrogrado (cioè verso monte). Sullo sfondo a sinistra il rilievo di Cà del Monte costituito da litotipi arenacei permeabili (F.ne Monghidoro) la cui permeabilità favorisce l’alimentazione delle sorgenti presenti nella scarpata boscata (=paleonicchia di frana) a valle dell’abitato di Villa Sassonero.

3.1 Frana meridionale di Villa Sassonero (= frana s.s.).

Questa porzione della frana si attivò il 6 febbraio a partire dal piede della ripida scarpata trasversale arcuata posta a valle del pianoro di *Villa Sassonero* (**FIG. A** e **FOTO 1**), la quale è attendibilmente interpretabile come la paleonicchia di distacco di numerosi dissesti del passato,

e grosso modo corrisponde con il contatto tettonico tra sovrastanti litotipi arenacei permeabili (*F. Monghidoro*) e sottostanti litotipi argillitici semimpermeabili (*Argille scagliose s. I*). Questa scarpata è contrassegnata dalla presenza di varie sorgenti (di trabocco), le quali erano ben curate fino a qualche decennio fa e oggi invece sono disperse e semisepolte, cosicché le acque sorgive si infiltrano in buona parte negli accumuli detritici di paleofrana del versante.

Nella porzione superiore di questo ambito, che è stato oggetto primario degli interventi urgenti di livellamento e regimazione idrica da parte della da parte della *Regione Emilia-Romagna*, è stato perforato il carotaggio S3 in prossimità dei fabbricati *Casisi* e *Giorgini*, i cui risultati sono così sintetizzabili:

- superficie di scivolamento della frana a profondità di circa -13m, all'interno della porzione sommitale "allentata" del "*substrato argillitico*".
- livello delle acque sotterranee oscillante a profondità tra -8/-10m (aprile/agosto 2023)



FOTO 2 – Il “*piede*” del ramo sinistro della *Frana meridionale* all'altezza di *Prato degli Angeli* (in primo piano).

Verso valle la *Frana meridionale* si dirama ed esaurisce a sinistra sino all'altezza di *Prato degli Angeli* (**FOTO 2**), mentre a destra si “incanala” nell'impluvio del ramo settentrionale del *Rio delle Lavine* (nome che è un tutto programma!) (**FOTO A**), avendo lambito e danneggiando parzialmente il fabbricato orientale di *Prato degli Angeli*, ed essendosi arrestata nel fondovalle dopo aver parzialmente danneggiato il fabbricato di *Pineta* in fregio alla **SP 21**.

Una cinquantina di metri a monte del fabbricato di *Pineta* è stato perforato il carotaggio S1, i cui risultati sono così sintetizzabili:

- superficie di scivolamento della frana a profondità di circa -18m all'interno del "*substrato argillitico*".
- livello delle acque sotterranee stabilizzatosi a profondità tra -7/-8m nel periodo maggio/agosto 2023.

È importante considerare che nel fosso stradale della **SP 21**, un centinaio di metri a nord del fabbricato di *Pineta*, fu osservato per alcuni giorni dopo il 6 febbraio 2023 un abbondante deflusso di acque emergenti nel bosco soprastante in un punto oggi non più individuabile.

In sostanza, l'ambito della *Frana meridionale* presenta caratteristiche geologiche e idrogeologiche che si possono definire "classiche" per un contesto franoso superficiale su "*substrato argillitico*", le quali sono quindi compatibili da un lato con la riattivazione/ampliamento di antichi accumuli di frana in situazione temporanea di insufficiente drenaggio sotterraneo, e dall'altro con il ripristino di condizioni di "*quiescenza*" allorché il movimento franoso ha indotto un riequilibrio del drenaggio sotterraneo.



FOTO 3 - *Panoramica da monte del pianoro di Prato degli Angeli con la sua evidente depressione morfologica centrale. Al limite superiore della fascia arativa sullo sfondo si è manifestata la "frattura laterale sinistra" (poi livellata).*

3.2 Frana settentrionale di Villa Sassonero (=pianoro di Prato degli Angeli).

Si tratta di una porzione a quota inferiore del versante orientale di *Villa Sassonero* nella quale l'evento franoso del febbraio 2023 è stato percepito marginalmente in superficie, in pratica solo per il manifestarsi della evidente "*frattura laterale sinistra*" (trascorrente per un paio di metri) e per più modeste fratture centrali di parziale assestamento "retrogrado" (cioè con rigetto verso monte).

In merito alle fratture superficiali "retrograde" va considerato che appaiono compatibili sia con uno sprofondamento della depressione morfologica centrale del pianoro, sia con uno spostamento laterale verso valle del ciglio esterno del pianoro. La prima possibilità è coerente con una attendibile testimonianza in merito ad un effettivo abbassamento graduale del fondo

della depressione di alcuni decimetri verificatosi nell'ultimo decennio; la seconda possibilità è invece coerente con il confronto di immagini satellitari prima e dopo l'evento che hanno evidenziato un rigonfiamento della scarpata a valle tale da supporre che l'intero pianoro sia traslato in occasione dell'evento del 6 febbraio di **1,5/2m verso valle** (comunicazione verbale del *Prof. Berti*).

Per una verifica diretta del sottosuolo è stato perforato in prossimità del ciglio esterno del pianoro il **carotaggio S2**, i cui risultati sono così sintetizzabili:

- **l'inclinometro messo in opera** sino a profondità di -70m entro il "*substrato argillitico*" subaffiorante non ha evidenziato a tutt'oggi alcun movimento nel sottosuolo (!).
- **livello delle acque sotterranee inizialmente a profondità di circa -15m** (aprile 2023), che è poi risalito dopo le piogge di maggio 2023 sin quasi alla superficie (!).

Successivamente, per meglio inquadrare arealmente i risultati del carotaggio, a cura dei *Tecnici della Regione Emilia-Romagna* è stata eseguita una estesa campagna geofisica nel pianoro (**n. 3 profili di tomografia elettrica e n. 1 profilo di sismica a rifrazione lunghi 340m/cd trasversali al pianoro, n. 1 profilo di sismica riflessione longitudinale lungo 530m**), i cui risultati sono al momento così sinteticamente interpretati (**v. allegati RER**):

- Il sottosuolo è suddivisibile in due orizzonti distinti, di cui il superiore (ritenuto correlabile con un corpo di frana) ha spessore variabile da circa 20m nella zona a monte a oltre 40m nella porzione centrale del pianoro, e quello inferiore corrisponde con un substrato abbastanza omogeneo, senza che si percepiscano "nette strutture di discontinuità per elementi tettonici".



FOTO 4 - Esecuzione della CPT 1 sul fondo della depressione morfologica centrale del pianoro di Prato degli Angeli. A quota intermedia rispetto al ciglio rialzato di valle del pianoro si percepisce la presenza di un modesto ripiano morfologico caratterizzato in superficie da un suolo bruno evoluto.

Inoltre, nella prospettiva di futuri approfondimenti di studio, su incarico della *dott.ssa Elisa Tagliavini* sono state nel settembre 2023 effettuati **n. 3 sondaggi penetrometrici CPT** in posizione centrale del **pianoro di Prato degli Angeli** sino a profondità di circa -12m, i cui risultati sono così preliminarmente riassumibili dall'alto verso il basso (**v. grafici allegati**):

- **orizzonte superficiale**, spesso 6/8m costituito da terreni tendenzialmente fini, mediamente compatti e coesivi ($R_p = 20/30$ kg/cmq), corrispondenti ragionevolmente con depositi recenti di tipo colluviale.
- **orizzonte subsuperficiale**, a partire da profondità di 6/8m e penetrabile con difficoltà a partire da -11m, costituito da terreni più compatti ($R_p >30/40$ kg/cmq), potenzialmente corrispondenti con litotipi "allentati" (o rimaneggiati per frana) del "**substrato argillitico**". Assolutamente peculiare, e da indagare ulteriormente, il rifiuto all'infissione registrato in CPT 2 a fondo foro pur in corrispondenza di terreni di non elevata resistenza alla punta. E' esperienza dello scrivente di un caso analogo, nella valle del Santerno, in cui successivamente dal foro risalirono in superficie fango e fluidi in pressione (!).

In sostanza, si può ragionevolmente confermare che l'ambito del **pianoro di Prato degli Angeli** (= ***Frana settentrionale***) presenta caratteristiche geologiche e idrogeologiche peculiari, tali che appare un po' semplicistico riferire il suo "coinvolgimento franoso" solo a riattivazione/ampliamento di antichi accumuli di frana in situazione di insufficiente drenaggio sotterraneo come per la **Frana meridionale**, ma che piuttosto inducono a non escludere un controllo strutturale più profondo di tipo tettonico come suggerisce il quadro geologico generale (**v. Cap.2**).

4 - CONCLUSIONI

Sulla base delle considerazioni critiche in merito alle informazioni geologiche generali e specifiche al momento disponibili, le quali oggettivamente lasciano aperti molti dubbi interpretativi in merito all' evento franoso del 6 febbraio 2023, e che ben giustificano il fatto che sono tuttora in corso approfondimenti di studio da parte della Regione Emilia-Romagna, si ritiene comunque utile di schematizzare una valutazione provvisoria del rischio residuo di frana del versante orientale di Villa Sassonero nei seguenti due scenari alternativi tra loro.

Va ovviamente anche premesso che, sino a quando non verranno sufficientemente chiariti i citati dubbi interpretativi, non sarà neppure possibile esprimere giudizi definitivi di tipo tecnico in merito alle varie esigenze pratiche (e ancora disattese da parte Istituzionale) dei residenti (quali il dilemma tra demolizione e/o recupero dei fabbricati lesionati, ...).

SCENARIO DI RISCHIO DI FRANA A)

Questo scenario consegue all'interpretazione che l'evento franoso del febbraio 2023 sia riconducibile essenzialmente ad eccesso di accumulo di acque sotterranee nel sottosuolo del versante, e che il movimento traslativo della *Frana meridionale e del pianoro di Prato degli Angeli* sia stato sia contemporaneo che unitario. Questo scenario comporta in sostanza che, in corrispondenza del pianoro, il movimento franoso traslativo abbia interessato solamente lo “*strato geofisico*” superficiale spesso poche decine di metri e quindi rigonfiato la scarpata a valle (**FIG. A**).

Considerando che l'aspetto attuale dell'area di frana è rimasto sostanzialmente immutato dopo i lavori urgenti di sistemazione, e confidando che i terreni del corpo di frana per effetto della fratturazione indotta dallo scivolamento gravitativo abbiano acquistato un buon equilibrio idrogeologico in termini di drenaggio interno, questo scenario porta quindi a pensare ad una situazione attuale di “*frana quiescente*” paragonabile a quella precedente l'evento franoso.

In sostanza sulla base di questo scenario il rischio residuo di frana del versante di *Villa Sassonero* non sarebbe tale da prevedere in tempi brevi la riattivazione di un parossismo come quello del febbraio 2023, ma in ogni caso tale da giustificare ancor più le prescrizioni di cui **Scheda 53 – PSAI**.



FOTO 5 - Panoramica del ciglio esterno del pianoro di Prato degli Angeli. La fascia di aratura lineare corrisponde con il livellamento di una frattura di assestamento con rigetto decimetrico retrogrado (cioè verso monte) che ben si allinea con un paio di lineamenti idrografici di fondovalle esterni all'ambito di frana a SE e a NO (FIG. A**).**

31780001	2023-01-02T13:12:48.660000	44.2415	11.6403	9.1	SURVEY-INGV	ML	1.8	--	2 km NE Casola Valsenio (RA)
33819441	2023-01-06T15:10:57.210000	44.1903	11.4642	33.4	SURVEY-INGV	ML	1.6	--	4 km SW Castel del Rio (BO)
33899421	2023-01-16T07:48:39.810000	44.3167	11.4333	24.6	SURVEY-INGV	ML	1.5	--	2 km E Monterenzio (BO)
33998561	2023-01-29T07:24:50.590000	44.1862	11.4598	22.9	SURVEY-INGV	ML	1.8	--	5 km SW Castel del Rio (BO)
33998621	2023-01-29T07:29:16.220000	44.1678	11.4568	20.3	SURVEY-INGV	ML	2.0	--	6 km SW Castel del Rio (BO)
34033581	2023-02-04T00:38:12.850000	44.1265	11.2823	12.4	SURVEY-INGV	ML	1.5	--	8 km W Firenzuola (FI)
34130861	2023-02-16T06:55:50.910000	44.3117	11.4908	22.9	SURVEY-INGV	ML	2.0	--	7 km E Monterenzio (BO)
34349761	2023-03-13T12:17:16.960000	44.1528	11.5307	9.8	SURVEY-INGV	ML	2.1	--	5 km NW Palazzuolo sul Se (FI)
34759621	2023-04-22T22:56:00.690000	44.2355	11.4813	24.6	SURVEY-INGV	ML	2.1	--	3 km NW Castel del Rio (BO)
34760331	2023-04-22T23:53:01.570000	44.2352	11.4502	19.6	SURVEY-INGV	ML	1.7	--	5 km W Castel del Rio (BO)
34760531	2023-04-23T01:52:21.170000	44.2183	11.4642	18.6	SURVEY-INGV	ML	1.7	--	3 km W Castel del Rio (BO)
34761271	2023-04-23T04:02:47.250000	44.2158	11.4525	24.0	SURVEY-INGV	ML	1.7	--	4 km W Castel del Rio (BO)
34761431	2023-04-23T05:07:26.600000	44.218	11.4617	20.0	SURVEY-INGV	ML	1.7	--	4 km W Castel del Rio (BO)
34760761	2023-04-23T13:47:29.970000	44.2283	11.4608	21.9	SURVEY-INGV	ML	1.8	--	4 km W Castel del Rio (BO)
34768811	2023-04-23T13:47:51.500000	44.2723	11.4805	29.5	SURVEY-INGV	ML	2.2	--	6 km W Fontanelice (BO)
34768861	2023-04-23T13:48:14.190000	44.2473	11.4663	23.9	SURVEY-INGV	ML	1.8	--	5 km NW Castel del Rio (BO)
34800941	2023-04-26T08:24:56.490000	44.2218	11.4555	23.8	SURVEY-INGV	ML	1.7	--	3 km W Castel del Rio (BO)
34800951	2023-05-04T06:44:38.280000	44.2223	11.4655	20.4	SURVEY-INGV	ML	2.0	--	3 km W Castel del Rio (BO)
34883531	2023-05-04T12:11:31.800000	44.2452	11.4633	23.7	SURVEY-INGV	ML	1.6	--	5 km NW Castel del Rio (BO)

Tabella 1 – *Terremoti ($M > 1,5$) registrati nel raggio di 25 km da Villa Sassonero nel periodo gennaio/marzo 2023 (cortesemente da dr. Gianluca Valensise – INGV).*

SCENARIO DI RISCHIO DI FRANA B)

Questo scenario consegue ad una interpretazione complessa dell'evento franoso del 6 febbraio 2023, che vedrebbe il movimento traslativo contemporaneo tra *Frana Meridionale e pianoro di Prato degli Angeli* non riconducibile esclusivamente ad eccesso di accumulo di acque sotterranee nel sottosuolo del versante, ma, piuttosto, anche a *“cause geologiche profonde”* come quelle discusse al **Cap. 2** per spiegare la peculiarità geomorfologica *“non comune”* di quest'ultimo.

In effetti, non sono pochi gli indizi che portano a ipotizzare che il “motore primario” della franosità del versante orientale di *Villa Sassonero* possa ricondursi all'assetto tettonico distensivo profondo della zona, sino a non escludere che questo configuri una sorta di *Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (DGPV)*. Il concetto di DGPV è infatti

sempre più utilizzato per spiegare, nei sistemi crinale-versante-fondovalle in zone tettonicamente attive, la presenza di estesi movimenti gravitativi lenti senza che, in molti casi, si identifichino chiare superfici di scivolamento in profondità (come nel caso in oggetto dell'inclinometro S2). Secondo questa visione interpretativa, semplificando al massimo, si può addirittura ipotizzare che sia il movimento di sprofondamento lento del pianoro di Prato degli Angeli a “dettare i tempi” di riattivazione periodica della *Frana Meridionale* a monte (che comunque già di par suo è ben predisposta all’invito per effetto del ristagno idrico sotterraneo).

Quali sarebbero questi indizi che supportano un tale scenario?

Un primo indizio lo fornisce la sismicità della zona. Infatti potrebbe non essere casuale che nelle settimane precedenti l'evento franoso del 6 febbraio 2023 siano state registrate in zona alcune scosse sismiche di piccola intensità, come quella del 16 gennaio 2023 di $M = 1,5$ con epicentro pochi km a NO, tra l’altro in prosecuzione di alcuni lineamenti idrografici della zona di *Villa Sassonero* (Tabella 1).

E poi si racconta di una eccezionale fioritura verificatasi nel dicembre 2013 che interessò una zona ristretta del pianoro di Prato degli Angeli, che è forse spiegabile a *posteriori* con una occasionale anomalia termica a livello del suolo? È assodato infatti il fenomeno di risalita occasionale in superficie di “*bolle di acque calde profonde*” in zone simiche attive, come si registrò ad esempio nel Faentino nei primi anni 2000.

Poi, dando un po' di spazio anche alla fantasia, come intendere queste circostanze in merito all’insediamento antropico antico in zona:

- Non è insolito che il più antico sito di insediamento attestato in zona, la *Chiesa di S. Mamante* di cui si ha notizia da quasi un migliaio di anni, è posizionato in un contesto di versante alcune centinaia di metri più a sud del pianoro di Prato degli Angeli che si presenta obiettivamente ben meno “accogliente” in termini geomorfologici?
- Nel pianoro di Prato degli Angeli, d’altra parte, sarebbe stata rinvenuta in aratura, pochi anni fa, una statuetta votiva (bronzetto?) di età romana, attualmente conservata nel *Museo di Monterenzio*, che porterebbe a ipotizzarne una frequentazione in antico. Perché proprio qui'?

Possibile spiegazione di queste circostanze potrebbe essere che nel pianoro di Prato degli Angeli fosse nota in antico (e tramandata nel tempo) una qualche fenomenologia di tipo naturale che ne sconsigliava l’insediamento ma al tempo stesso attirava interessi per così dire “*soprannaturali e/o salutari*”. Forse estinte manifestazioni in superficie di fluidi sotterranei? (v. Cap. 2).

In riferimento a un tale scenario “indiziario” del rischio di frana del versante di *Villa Sassonero*, che sarebbe tale da rendere assolutamente non prevedibili i tempi di nuovi parossismi come quello del febbraio 2023, e quindi tale da rendere assolutamente necessari ulteriori studi geologici e di monitoraggio, si prospettano in FIG. B alcuni elementi per una potenziale interpretazione alternativa (o aggiuntiva) del profilo di simica a riflessione effettuato dalla Regione Emilia-Romagna nel pianoro di Prato degli Angeli (v. allegati RER).

In sintesi, nella **FIG. B** sono sovrapposti all’interpretazione geofisica RER che individua una “*interfaccia basale del corpo di frana*” a profondità grosso modo tra 20-40m, i seguenti elementi conoscitivi (in parte riscontrati e in parte frutto di ipotesi di lavoro):

- Al contorno e a quota leggermente più elevata rispetto al fondo della depressione morfologica centrale (**t3**) sono riconoscibili, grazie soprattutto alla presenza in superficie di un suolo vegetale bruno di evoluzione plurisecolare/millenaria (= paleosuolo), almeno un paio di “**terrazzamenti morfologici (t1, t2) (FOTO 4)**”. Questi modesti lembi relitti di paleosuperfici testimoniano di un indubbio avvicinarsi anche in passato di momenti di quiescenza e di momenti di sprofondamento (parossistico?) al centro del pianoro.
- In considerazione di una discreta irregolarità geometrica e di frequenza nell’andamento areale delle principali superfici di riflessione sismica nel sottosuolo, è ipotizzabile la presenza al contorno della depressione centrale di fratture compatibili con una tettonica distensiva attiva. Inoltre, convessità e frequenza delle superfici di riflessione all’interno dello strato superficiale direttamente sottostante la depressione centrale, sembrerebbero indicare strutture sedimentarie (alluvioni ?, vulcanetti di fango sepolti ?, ...).

4.1 Suggerimenti per ulteriori interventi di studio e mitigazione del rischio di frana.

Indipendentemente dagli scenari di rischio di frana sopra schematizzati, e considerato comunque che il rischio di frana residuo in ambedue i casi non potrà mai essere del tutto “annullato”, si prospettano le seguenti ipotesi per ulteriori interventi da ritenersi prioritari nella prospettiva di una corretta prevenzione e gestione del rischio.

Frana meridionale di Villa Sassonero (= frana s.s.)

- **Scavo ex novo di un ulteriore fosso di guardia al piede della paleonicchia di distacco” sommitale del versante**, in maniera da captare “al meglio” (tramite annesso sistema di setti drenanti) le acque sorgive che attualmente si infiltrano in profondità all’interno del corpo di frana. E’ in sostanza quanto già prescritto nella Scheda n. 53 -PSAI (!).

Questo intervento di una certa importanza esecutiva ed onerosità, che necessiterà ovviamente di specifiche ed accurate indagini geognostiche preventive, potrebbe anche essere convenientemente investito di finalità acquedottistiche.

Questo intervento è peraltro assolutamente indispensabile, a livello propedeutico, per ogni giudizio di tipo tecnico in merito alle citate varie esigenze pratiche (e ancora disattese da parte Istituzionale) dei residenti (quali il dilemma tra demolizione e/o recupero dei fabbricati lesionati, ...).

- **Sistema di setti drenanti nel pendio sottostante la SP 35 a nord di Prato degli Angeli (FOTO 2)**, tale da captare con efficacia le acque subsuperficiali filtranti in direzione del sottostante pianoro (v. grafico CPT 3).
- **Interventi di drenaggio sotterraneo preventivo all'altezza della SP 21** (pozzi drenanti di emungimento, fori drenanti suborizzontali.).

Frana settentrionale di Villa Sassonero (= pianoro di Prato degli Angeli)

- **Studio geognostico integrativo** (carotaggi con installazioni di inclinometri, piezometri, rilevatori gas e caratteristiche chimico-fisiche delle acque profonde, ...), finalizzato in prima battuta ad una "taratura" litostratigrafica/strutturale di dettaglio del sottosuolo, e quindi ad una analisi di fattibilità per interventi mirati di drenaggio sotterraneo (pozzi di emungimento profondi, ...).

In conclusione, con questo rapporto redatto per il *Comitato Frana Sassonero* anche in preparazione del previsto **Incontro pubblico del 22 febbraio 2024 a Villa Sassonero** per fare il punto sui problemi ancora aperti a distanza di un anno dall'evento franoso del 6 febbraio 2023, si chiude in pratica la consulenza attivata nello scorso luglio, con la speranza di aver contribuito anche ad una loro comprensione "*geologicamente più consapevole*" da parte dei Cittadini.

dr. geol. Stefano Marabini



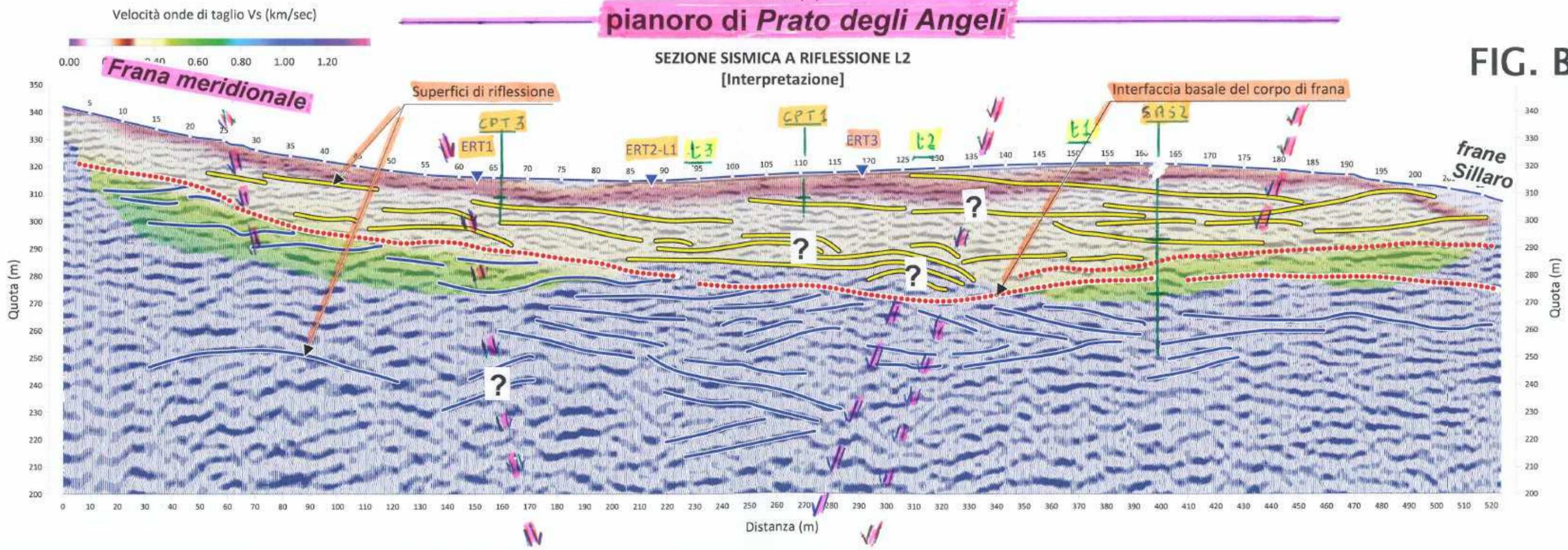
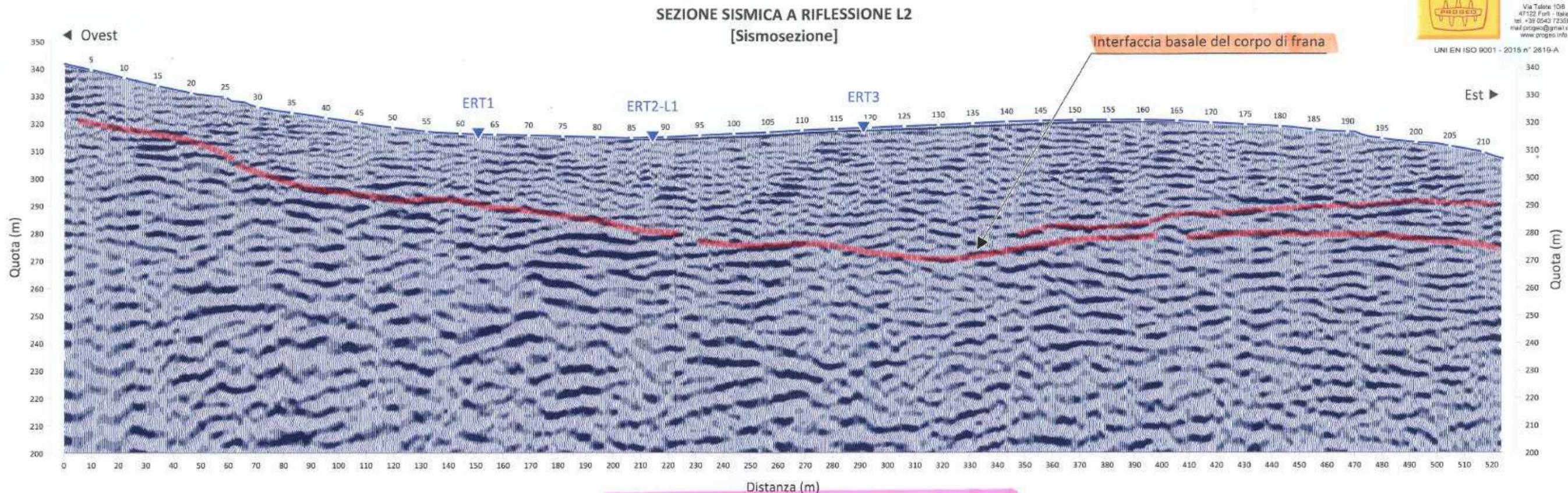


FIG. B

Scala 1:1500

AUTORITA' di BACINO del RENO

Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico

art.1 c.1 L.3.08.98 n.267 e s.m.i.

I- RISCHIO DA FRANA E ASSETTO DEI VERSANTI

Zonizzazione Aree a Rischio

SCHEDA N.53

Località: Villa di Sassonero

Comune: Monterenzio

Cartografia

scala 1:5.000

Bologna, 6 dicembre 2002

Legenda



Zona 1 area in dissesto (artt.6-9-10)

L'area in dissesto comprende frane attive, frane antiche con evidenze di riattivazione, movimenti gravitativi superficiali diffusi, calanchi.



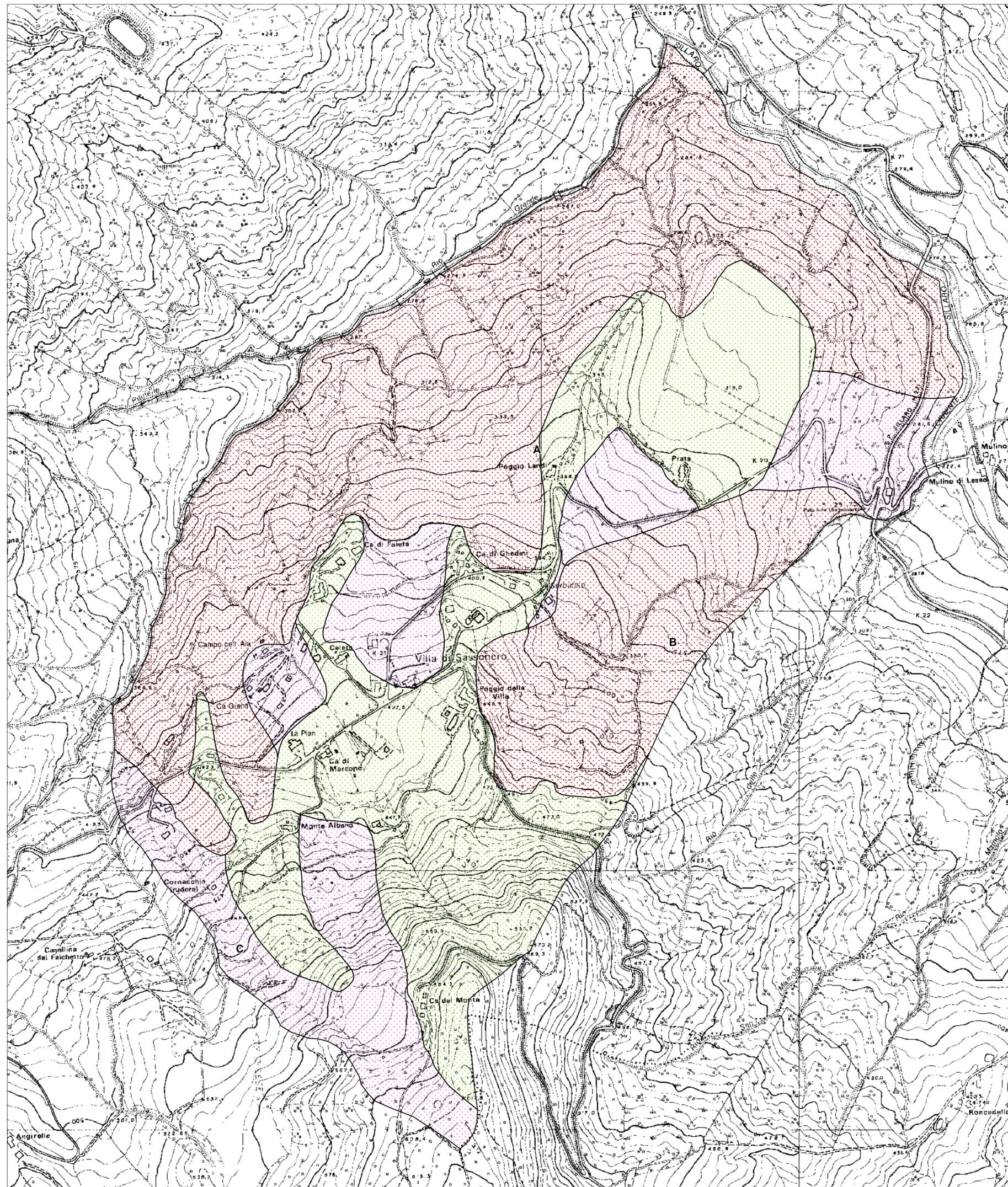
Zona 4 area da sottoporre a verifica (artt.8-9-10)

L'area da sottoporre a verifica comprende i territori interessati da movimenti gravitativi il cui stato di attività e di pericolosità può essere definito solo attraverso specifiche indagini di monitoraggio.



Zona 5 area di influenza (artt.9-10)

L'area di influenza comprende i territori all'interno dei quali gli effetti dell'interazione delle componenti fisiche ed antropiche influenzano la dinamica evolutiva dell'area in dissesto e/o possono compromettere la stabilità dei versanti non in dissesto



B
A C..

Riferimenti dei dissesti descritti nella scheda

AUTORITA' di BACINO del RENO

**Piano Stralcio
per l'Assetto Idrogeologico**

art.1 c. 1 L. 3.08.98 n.267 e s. m. i.

I – RISCHIO DA FRANA E ASSETTO DEI VERSANTI

Zonizzazione Aree a Rischio

SCHEDA N. 53

Località: *Villa di Sassonero*

Comune: *Monterenzio*

SCHEDA DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Nome del compilatore: dott. geol. Stefano Marabini

Data di compilazione: dicembre 2000

1. ELEMENTI IDENTIFICATIVI:

U.I.E (unità idromorfologica elementare): n. 8786 – 8789 – 9069 – 9137 – 9138 – 9244 – 9057 – 8731 – 8736

Località: Villa di Sassonero – Cà di Ghedini

Comune: Monterezenio

Provincia: Bologna

Bacino: torrente Sillaro

2. CARTOGRAFIA

Numero della sezione CTR 1:10.000: 238100

Nome della sezione CTR: Sassoleone

3. RISCHIO IDROGEOLOGICO (Relativo)

Pericolosità

classe: P2 – P4

Rischio

classe: R3 – R4

4. ELEMENTI DI DISSESTO

Movimento di massa

Erosione idrica

a) Tipo di frana

Calanco (A)

- crollo

Erosione incanalata (A)

- ribaltamento

- scorrimento rotazionale

- scorrimento traslazionale (A, B, C)

- espansione laterale

- colamento (A, B)

- complesso

b) Stati di attività

- frana attiva (A, B)

- frana quiescente (C)

- frana relitta

c) Franosità storica rilevata

- codice scheda: 972

- data di attivazione: 1904

5. ELEMENTI ANTROPICI A RISCHIO

1. edificato residenziale:

-centro abitato

-nucleo abitato (Villa di Sassonero, Cà di Ghedini)

-prevista espansione urbanistica

2. insediamenti produttivi: industriali

6. IDROLOGIA SUPERFICIALE

Naturale

Canale collettore Sufficiente Insufficiente Non presente

Antropica

Regimazioni idrauliche infrastrutturali Sufficiente Insufficiente Non presente

Regimazione idraulico-agraria Sufficiente Insufficiente Non presente

7. ANALISI DI RISCHIO

7.1 Inquadramento geologico

L'abitato di Villa di Sassonero si estende, in maniera sparsa, su un ripiano morfologico del versante sinistro dell'alto bacino del torrente Sillaro, a quota media di circa 400m s.l.m..

Nella porzione mediana e inferiore questo versante, che si estende su un dislivello di oltre 350m, è modellato su litotipi caotici a matrice pelitica delle cosiddette "Argille scagliose", mentre in sommità è coronato da un ampio ammasso arenaceo-marnoso della F.ne di Monghidoro.

In particolare i litotipi delle "Argille scagliose" affiorano diffusamente solo nella porzione inferiore del versante, soggetta a forte erosione a causa della relativa incisione della idrografia, mentre nella porzione mediana risultano coperti da estesi detriti di natura eluvio-colluviale e/o riferibili a processi franosi.

7.2 Inquadramento geomorfologico

Nei pendii che contornano l'abitato di Villa di Sassonero sono notevolmente diffuse le forme riconducibili a movimenti gravitativi passati e in atto di varie dimensioni, da metrici a chilometrici.

Assai evidente è soprattutto un'ampia fascia di frane e paleofrane, su un fronte di parecchie centinaia di metri, che si estende sul fianco destro del Rio Grande a valle della Chiesa (area A) e a est del Poggio della Villa (area B).

Comunque, anche nei pendii a monte e a ovest del ripiano di Villa di Sassonero sono presenti vari indizi di processi franosi, più o meno superficiali, in corrispondenza di situazioni di difficoltoso drenaggio superficiale e sotterraneo che si originano soprattutto al contatto tra i litotipi arenaceo-marnosi e quelli argillosi (area C).

Un'altra evidente caratteristica morfologica del versante di Villa di Sassonero è rappresentata dal vasto terrazzo morfologico di Prata, da alcuni autori interpretato come un accumulo di paleofrana stabilizzato, ma che più probabilmente è soltanto un lembo residuo di una paleosuperficie disseccata dalla incisione valliva del torrente Sillaro.

7.3 Analisi degli elementi a rischio

I processi franosi che hanno modellato nelle forme attuali il versante di Villa di Sassonero sono riconducibili prevalentemente a scivolamenti e colamenti di terreni argillosi originatisi nelle porzioni mediane inferiori del versante, in condizioni di drenaggio subsuperficiale difficoltoso al contatto tra i litotipi arenaceo-marnosi relativamente permeabili della F.ne di Monghidoro e quelli argillosi.

Al momento i suddetti scivolamenti e colamenti argillosi risultano solo in parte attivi, costituendo comunque un rischio geostatico reale per molte opere edilizie e infrastrutturali.

7.4 Analisi del grado di interferenza in atto e/o potenziale tra elementi a rischio ed elementi di dissesto

Per l'intero versante di Villa di Sassonero, nonostante che il rischio di franosità sia riferibile soprattutto alle sue specifiche caratteristiche geolitologiche e idrogeologiche, è da ritenersi comunque notevole l'interferenza tra gli elementi a rischio e quelli di dissesto.

In particolare, vi sono diffusi indizi di insufficiente drenaggio superficiale e sotterraneo in molte aree di pendio prossime a fabbricati, i quali hanno diretta influenza sulla stabilità della zona sottostante.

7.5 Proposte di intervento

Allo scopo di individuare interventi prioritari e fattibili per ridurre i rischi di dissesto sul versante di Villa di Sassonero, si ritiene importante innanzitutto acquisire un quadro completo degli interventi di sistemazione idrogeologica effettuati in passato.

In particolare risultano senz'altro indispensabili, in abbinamento eventualmente con l'esecuzione di apposite indagini geognostiche e con il monitoraggio inclinometrico e freaticometrico delle zone a maggior rischio, interventi di potenziamento delle opere di drenaggio superficiale e soprattutto sotterraneo, con particolare riguardo al censimento e alla captazione delle sorgenti abbondantemente presenti nei pendii a monte e immediatamente a valle dell'abitato.

ZONAZIONE

La zonazione è riportata sulla cartografia allegata.

PROGRAMMA DEGLI INTERVENTI

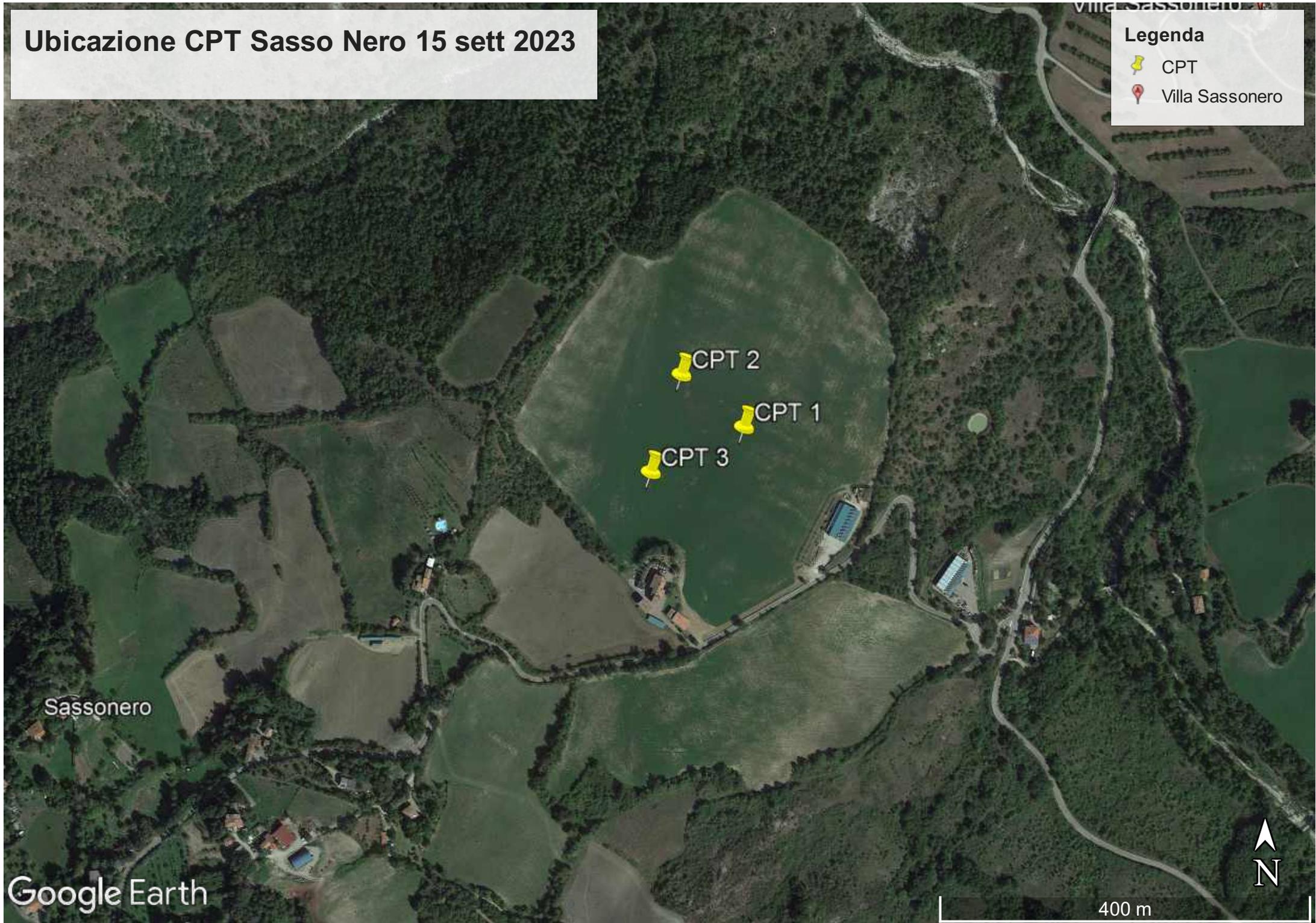
Interventi a carattere generale

- verifica e ottimizzazione dello stato di conservazione e dell'efficienza della rete di drenaggio infrastrutturale e verifica dell'idoneità del collettamento alla rete di drenaggio naturale
- verifica dello stato di conservazione e tenuta della rete acquedottistica e fognaria
- individuazione e captazione delle emergenze idriche e loro collettamento nel reticolo di drenaggio naturale o antropico
- indagini geognostiche e monitoraggio

Ubicazione CPT Sasso Nero 15 sett 2023

Legenda

-  CPT
-  Villa Sassonero



Sassonero

Google Earth

400 m



PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 1

2.010496-071

- committente : Tagliavini Elisa
 - lavoro : sistemazione frana
 - località : prato degli angeli-villa sasso nero, Monterenzio (BO)
 - note : resistenza totale normale, foro chiuso -5.8m

- data : 15/09/2023
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	0,87	----	6,20	35,0	74,0	35,0	2,60	13,0
0,40	50,0	63,0	50,0	1,33	37,0	6,40	39,0	78,0	39,0	3,07	13,0
0,60	48,0	68,0	48,0	2,80	17,0	6,60	39,0	85,0	39,0	2,93	13,0
0,80	66,0	108,0	66,0	2,40	27,0	6,80	44,0	88,0	44,0	3,47	13,0
1,00	44,0	80,0	44,0	2,07	21,0	7,00	40,0	92,0	40,0	3,07	13,0
1,20	20,0	51,0	20,0	1,53	13,0	7,20	42,0	88,0	42,0	3,53	12,0
1,40	16,0	39,0	16,0	1,73	9,0	7,40	48,0	101,0	48,0	5,07	9,0
1,60	14,0	40,0	14,0	1,20	12,0	7,60	103,0	179,0	103,0	0,20	515,0
1,80	18,0	36,0	18,0	1,40	13,0	7,80	98,0	101,0	98,0	1,40	70,0
2,00	19,0	40,0	19,0	0,67	28,0	8,00	40,0	61,0	40,0	1,13	35,0
2,20	17,0	27,0	17,0	1,33	13,0	8,20	43,0	60,0	43,0	1,60	27,0
2,40	19,0	39,0	19,0	1,53	12,0	8,40	68,0	92,0	68,0	4,00	17,0
2,60	21,0	44,0	21,0	0,60	35,0	8,60	80,0	140,0	80,0	4,07	20,0
2,80	13,0	22,0	13,0	1,40	9,0	8,80	60,0	121,0	60,0	2,73	22,0
3,00	22,0	43,0	22,0	1,40	16,0	9,00	49,0	90,0	49,0	2,07	24,0
3,20	19,0	40,0	19,0	1,47	13,0	9,20	63,0	94,0	63,0	1,93	33,0
3,40	22,0	44,0	22,0	1,20	18,0	9,40	53,0	82,0	53,0	3,00	18,0
3,60	25,0	43,0	25,0	1,60	16,0	9,60	53,0	98,0	53,0	2,67	20,0
3,80	28,0	52,0	28,0	1,93	14,0	9,80	70,0	110,0	70,0	2,53	28,0
4,00	29,0	58,0	29,0	1,93	15,0	10,00	120,0	158,0	120,0	4,07	30,0
4,20	34,0	63,0	34,0	0,87	39,0	10,20	79,0	140,0	79,0	4,13	19,0
4,40	38,0	51,0	38,0	2,33	16,0	10,40	63,0	125,0	63,0	4,67	14,0
4,60	30,0	65,0	30,0	2,00	15,0	10,60	90,0	160,0	90,0	4,67	19,0
4,80	28,0	58,0	28,0	1,87	15,0	10,80	60,0	130,0	60,0	5,33	11,0
5,00	27,0	55,0	27,0	1,73	16,0	11,00	98,0	178,0	98,0	5,87	17,0
5,20	25,0	51,0	25,0	1,73	14,0	11,20	86,0	174,0	86,0	6,20	14,0
5,40	26,0	52,0	26,0	1,73	15,0	11,40	78,0	171,0	78,0	5,67	14,0
5,60	30,0	56,0	30,0	2,20	14,0	11,60	85,0	170,0	85,0	5,40	16,0
5,80	34,0	67,0	34,0	2,20	15,0	11,80	133,0	214,0	133,0	6,67	20,0
6,00	39,0	72,0	39,0	2,60	15,0	12,00	120,0	220,0	120,0	-----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 2

2.010496-071

- committente : Tagliavini Elisa
 - lavoro : sistemazione frana
 - località : prato degli angeli-villa sasso nero, Monterenzio (BO)
 - note : resistenza totale > 700kg, Foro chiuso 3m

- data : 15/09/2023
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	0,87	----	6,60	27,0	57,0	27,0	2,60	10,0
0,40	57,0	70,0	57,0	1,27	45,0	6,80	27,0	66,0	27,0	2,07	13,0
0,60	61,0	80,0	61,0	2,93	21,0	7,00	29,0	60,0	29,0	2,33	12,0
0,80	61,0	105,0	61,0	1,40	44,0	7,20	30,0	65,0	30,0	2,80	11,0
1,00	44,0	65,0	44,0	1,07	41,0	7,40	30,0	72,0	30,0	2,67	11,0
1,20	32,0	48,0	32,0	1,93	17,0	7,60	35,0	75,0	35,0	2,80	13,0
1,40	21,0	50,0	21,0	2,13	10,0	7,80	37,0	79,0	37,0	3,00	12,0
1,60	23,0	55,0	23,0	2,67	9,0	8,00	37,0	82,0	37,0	2,33	16,0
1,80	53,0	93,0	53,0	0,53	99,0	8,20	49,0	84,0	49,0	3,07	16,0
2,00	23,0	31,0	23,0	2,80	8,0	8,40	45,0	91,0	45,0	3,07	15,0
2,20	28,0	70,0	28,0	2,67	10,0	8,60	46,0	92,0	46,0	3,27	14,0
2,40	22,0	62,0	22,0	2,40	9,0	8,80	46,0	95,0	46,0	3,40	14,0
2,60	24,0	60,0	24,0	1,33	18,0	9,00	45,0	96,0	45,0	3,27	14,0
2,80	23,0	43,0	23,0	1,67	14,0	9,20	45,0	94,0	45,0	3,20	14,0
3,00	18,0	43,0	18,0	1,40	13,0	9,40	48,0	96,0	48,0	4,73	10,0
3,20	17,0	38,0	17,0	1,07	16,0	9,60	44,0	115,0	44,0	2,87	15,0
3,40	19,0	35,0	19,0	1,27	15,0	9,80	43,0	86,0	43,0	3,00	14,0
3,60	21,0	40,0	21,0	1,53	14,0	10,00	45,0	90,0	45,0	2,13	21,0
3,80	23,0	46,0	23,0	1,60	14,0	10,20	46,0	78,0	46,0	2,73	17,0
4,00	28,0	52,0	28,0	2,07	14,0	10,40	44,0	85,0	44,0	3,73	12,0
4,20	24,0	55,0	24,0	2,07	12,0	10,60	64,0	120,0	64,0	1,80	36,0
4,40	27,0	58,0	27,0	1,67	16,0	10,80	40,0	67,0	40,0	2,80	14,0
4,60	27,0	52,0	27,0	1,93	14,0	11,00	46,0	88,0	46,0	3,00	15,0
4,80	22,0	51,0	22,0	1,93	11,0	11,20	46,0	91,0	46,0	2,60	18,0
5,00	20,0	49,0	20,0	2,00	10,0	11,40	38,0	77,0	38,0	2,80	14,0
5,20	23,0	53,0	23,0	5,53	4,0	11,60	39,0	81,0	39,0	2,87	14,0
5,40	29,0	112,0	29,0	2,80	10,0	11,80	49,0	92,0	49,0	3,33	15,0
5,60	28,0	70,0	28,0	2,13	13,0	12,00	45,0	95,0	45,0	3,40	13,0
5,80	29,0	61,0	29,0	1,87	16,0	12,20	41,0	92,0	41,0	3,07	13,0
6,00	32,0	60,0	32,0	2,20	15,0	12,40	42,0	88,0	42,0	2,80	15,0
6,20	30,0	63,0	30,0	1,67	18,0	12,60	42,0	84,0	42,0	-----	----
6,40	30,0	55,0	30,0	2,00	15,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 3

2.010496-071

- committente : Tagliavini Elisa
 - lavoro : sistemazione frana
 - località : prato degli angeli-villa sasso nero, Monterenzio (BO)
 - note : aste bagnate da -5m, Foro chiuso 3.6m

- data : 15/09/2023
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	1,33	----	6,00	26,0	74,0	26,0	2,00	13,0
0,40	51,0	71,0	51,0	1,47	35,0	6,20	26,0	56,0	26,0	1,53	17,0
0,60	39,0	61,0	39,0	2,13	18,0	6,40	25,0	48,0	25,0	2,40	10,0
0,80	42,0	74,0	42,0	2,27	19,0	6,60	22,0	58,0	22,0	1,73	13,0
1,00	20,0	54,0	20,0	1,40	14,0	6,80	37,0	63,0	37,0	2,07	18,0
1,20	16,0	37,0	16,0	1,40	11,0	7,00	40,0	71,0	40,0	2,47	16,0
1,40	20,0	41,0	20,0	1,27	16,0	7,20	36,0	73,0	36,0	2,33	15,0
1,60	24,0	43,0	24,0	1,80	13,0	7,40	42,0	77,0	42,0	2,33	18,0
1,80	24,0	51,0	24,0	2,07	12,0	7,60	58,0	93,0	58,0	3,47	17,0
2,00	31,0	62,0	31,0	4,80	6,0	7,80	64,0	116,0	64,0	4,00	16,0
2,20	70,0	142,0	70,0	2,87	24,0	8,00	47,0	107,0	47,0	4,47	11,0
2,40	48,0	91,0	48,0	2,67	18,0	8,20	150,0	217,0	150,0	3,73	40,0
2,60	31,0	71,0	31,0	1,40	22,0	8,40	82,0	138,0	82,0	2,87	29,0
2,80	27,0	48,0	27,0	1,47	18,0	8,60	49,0	92,0	49,0	1,53	32,0
3,00	30,0	52,0	30,0	1,67	18,0	8,80	41,0	64,0	41,0	1,13	36,0
3,20	25,0	50,0	25,0	1,93	13,0	9,00	44,0	61,0	44,0	2,53	17,0
3,40	22,0	51,0	22,0	1,80	12,0	9,20	41,0	79,0	41,0	2,07	20,0
3,60	60,0	87,0	60,0	1,67	36,0	9,40	59,0	90,0	59,0	2,73	22,0
3,80	72,0	97,0	72,0	3,27	22,0	9,60	50,0	91,0	50,0	0,73	68,0
4,00	41,0	90,0	41,0	4,00	10,0	9,80	97,0	108,0	97,0	5,73	17,0
4,20	110,0	170,0	110,0	7,13	15,0	10,00	86,0	172,0	86,0	6,40	13,0
4,40	79,0	186,0	79,0	4,67	17,0	10,20	67,0	163,0	67,0	4,07	16,0
4,60	130,0	200,0	130,0	4,67	28,0	10,40	72,0	133,0	72,0	6,27	11,0
4,80	47,0	117,0	47,0	2,20	21,0	10,60	72,0	166,0	72,0	4,00	18,0
5,00	30,0	63,0	30,0	3,07	10,0	10,80	62,0	122,0	62,0	6,73	9,0
5,20	33,0	79,0	33,0	2,07	16,0	11,00	89,0	190,0	89,0	6,87	13,0
5,40	22,0	53,0	22,0	2,13	10,0	11,20	119,0	222,0	119,0	9,33	13,0
5,60	34,0	66,0	34,0	1,60	21,0	11,40	120,0	260,0	120,0	5,33	22,0
5,80	38,0	62,0	38,0	3,20	12,0	11,60	220,0	300,0	220,0	-----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

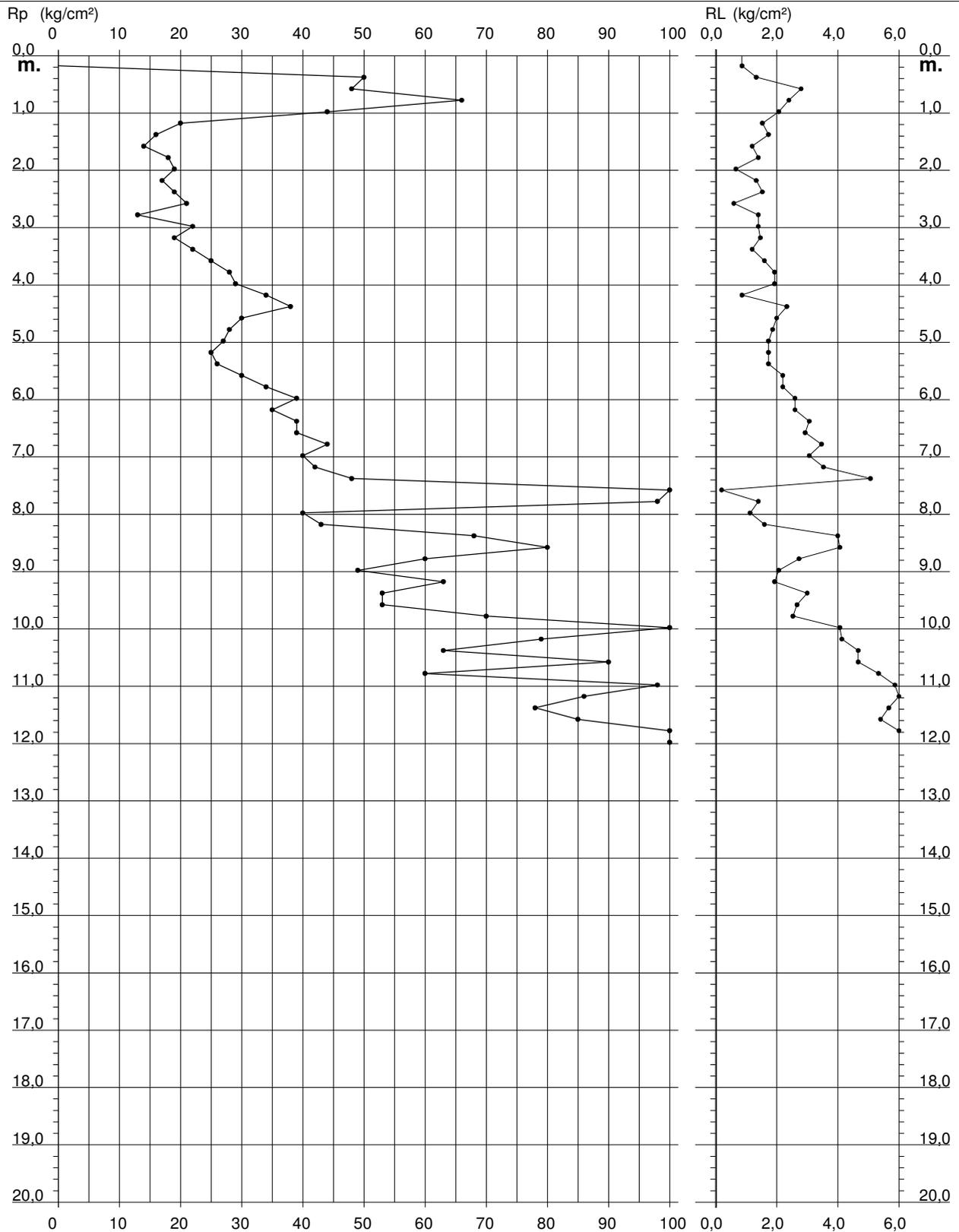
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.010496-071

- committente : Tagliavini Elisa
- lavoro : sistemazione frana
- località : prato degli angeli-villa sasso nero, Monterenzio (BO)
- note : resistenza totale normale, foro chiuso -5.8m

- data : 15/09/2023
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 100



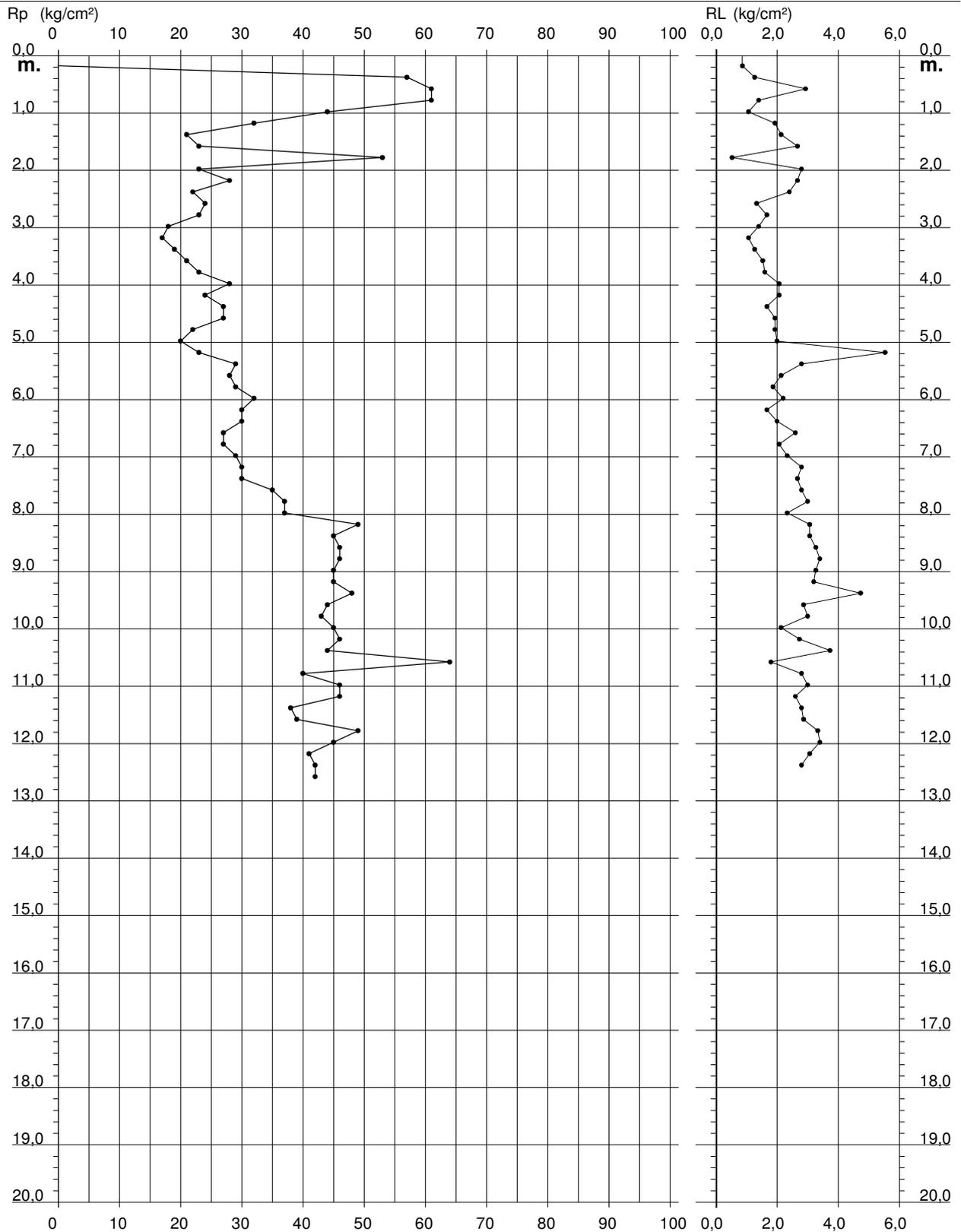
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

2.010496-071

- committente : Tagliavini Elisa
- lavoro : sistemazione frana
- località : prato degli angeli-villa sasso nero, Monterenzio (BO)
- note : resistenza totale > 700kg, Foro chiuso 3m

- data : 15/09/2023
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 100



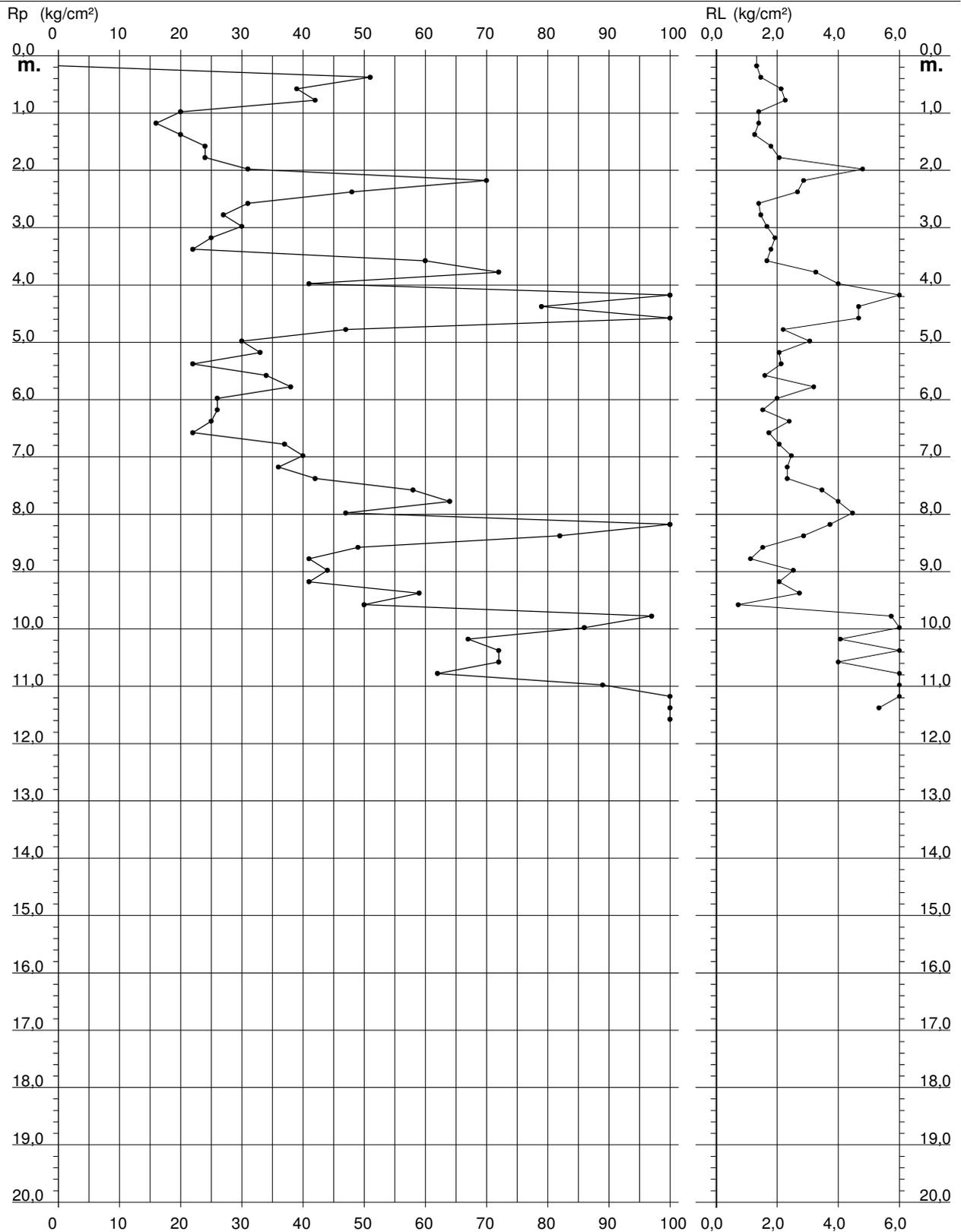
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 3

2.010496-071

- committente : Tagliavini Elisa
- lavoro : sistemazione frana
- località : prato degli angeli-villa sasso nero, Monterenzio (BO)
- note : aste bagnate da -5m, Foro chiuso 3.6m

- data : 15/09/2023
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 100



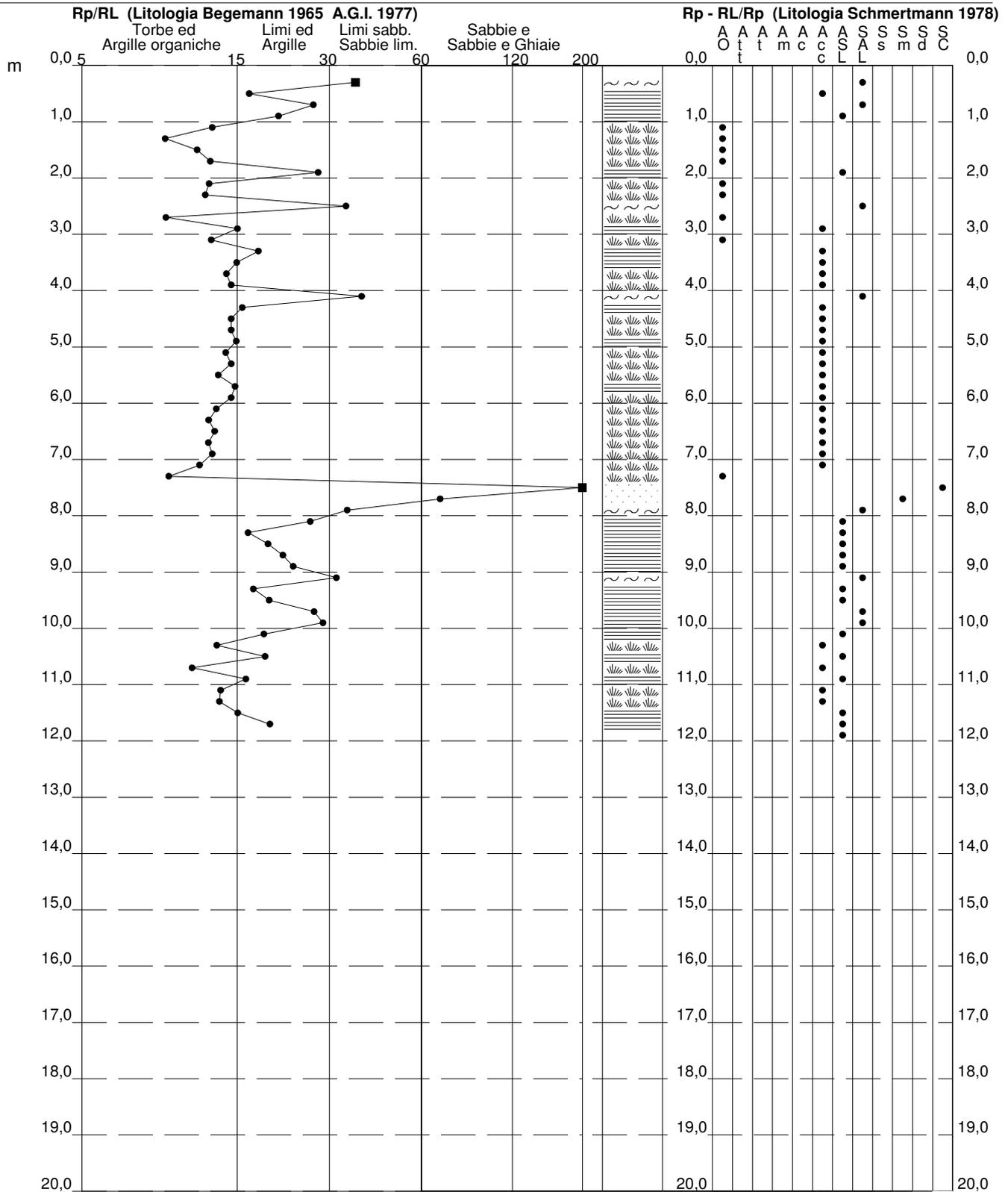
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

2.010496-071

- committente : Tagliavini Elisa
- lavoro : sistemazione frana
- località : prato degli angeli-villa sasso nero, Monterenzio (BO)
- note : resistenza totale normale, foro chiuso -5.8m

- data : 15/09/2023
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 100



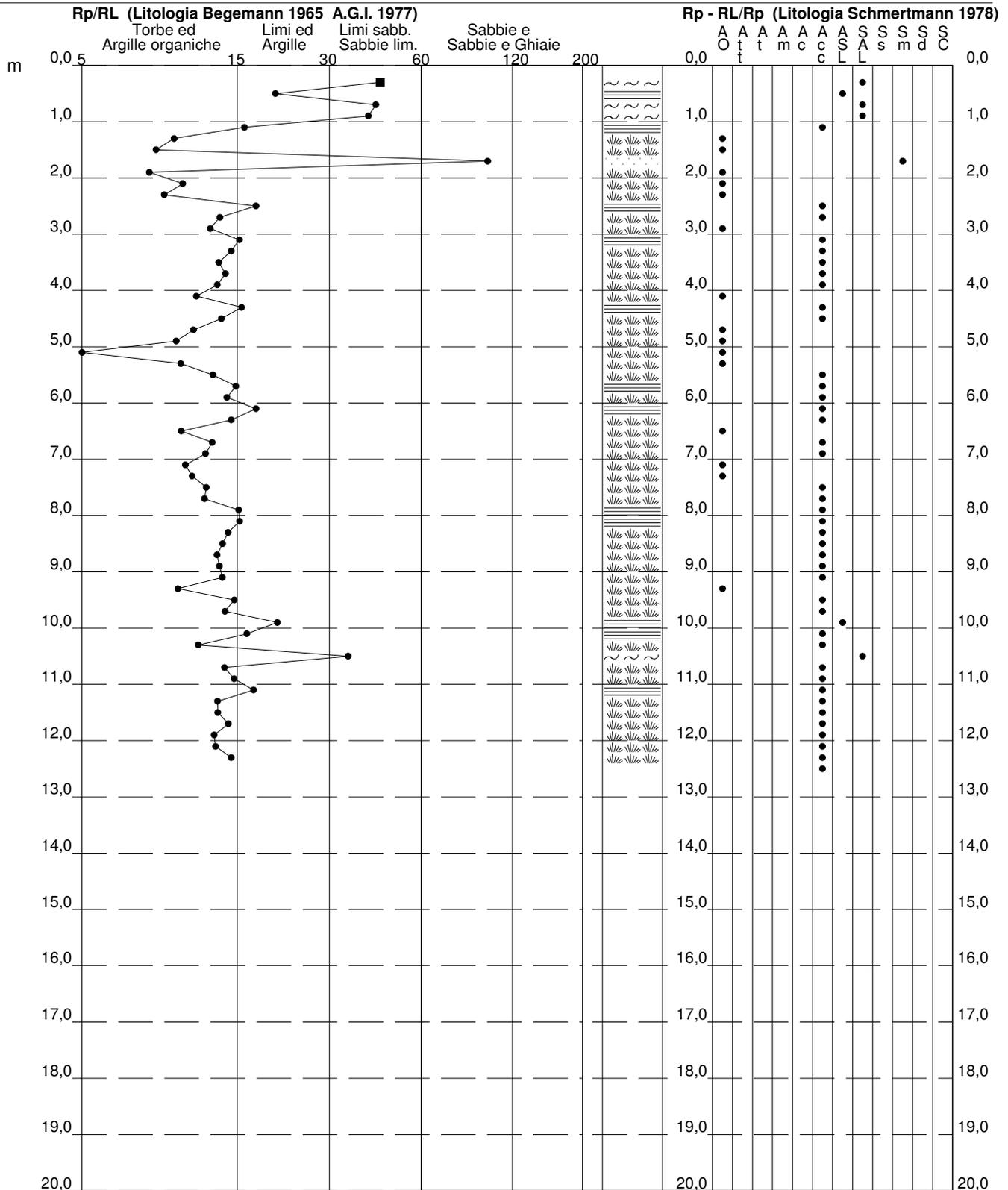
**PROVA PENETROMETRICA STATICA
VALUTAZIONI LITOLOGICHE**

CPT 2

2.010496-071

- committente : Tagliavini Elisa
- lavoro : sistemazione frana
- località : prato degli angeli-villa sasso nero, Monterenzio (BO)
- note : resistenza totale > 700kg, Foro chiuso 3m

- data : 15/09/2023
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 100



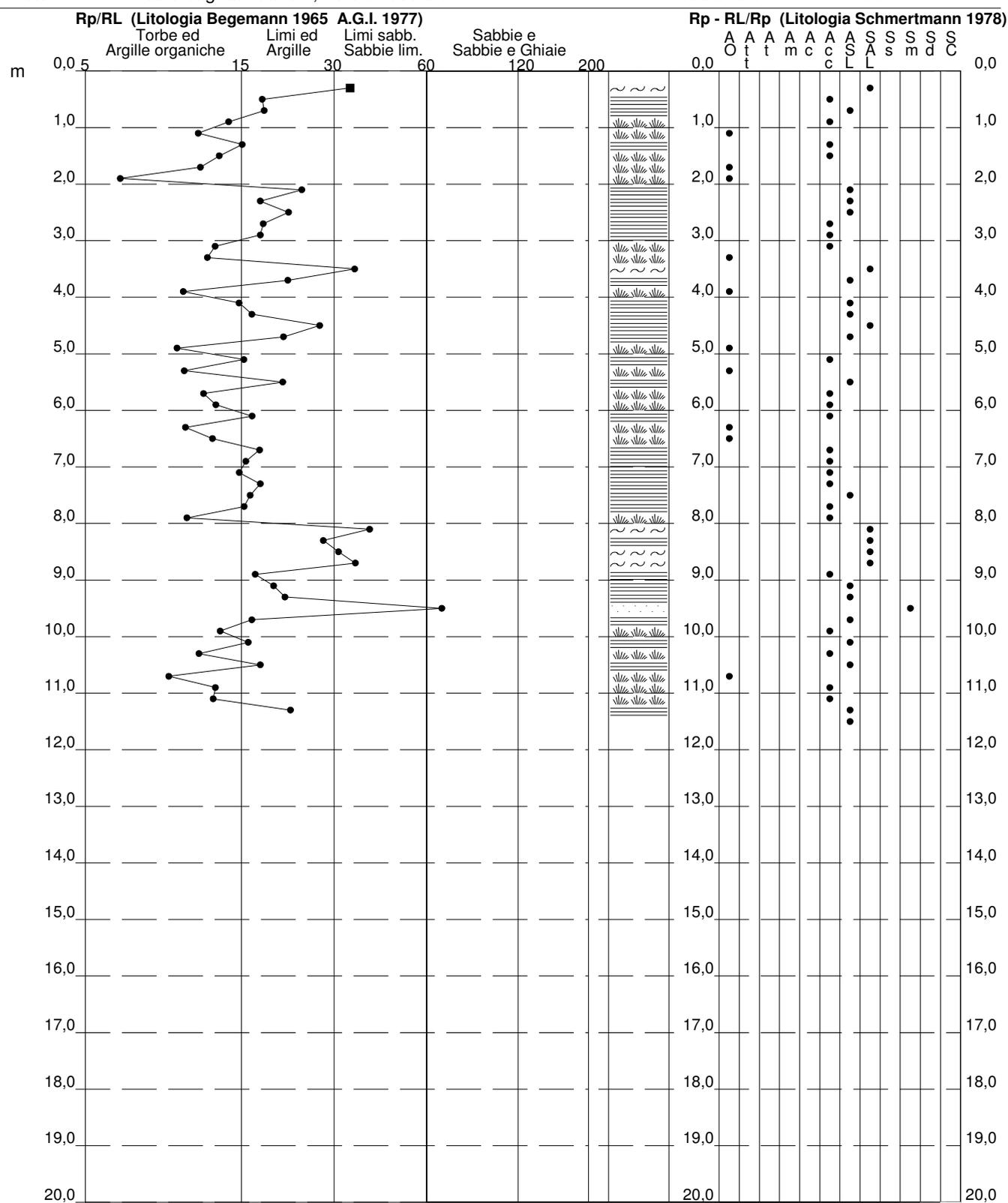
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 3

2.010496-071

- committente : Tagliavini Elisa
- lavoro : sistemazione frana
- località : prato degli angeli-villa sasso nero, Monterenzio (BO)
- note : aste bagnate da -5m, Foro chiuso 3.6m

- data : 15/09/2023
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 100



PROVA PENETROMETRICA STATICA TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 1

2.010496-071

- committente : Tagliavini Elisa
- lavoro : sistemazione frana
- località : prato degli angeli-villa sasso nero, Monterenzio (BO)
- note : resistenza totale normale, foro chiuso -5.8m

- data : 15/09/2023
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE											
Prof. m	Rp kg/cm ²	Rp/RI (-)	Natura Litol.	Y' t/m ³	p'vo kg/cm ²	Cu kg/cm ²	OCR (-)	Eu50 kg/cm ²	Eu25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	omy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm ²	E'25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	
0.20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	50	37	3:~:~:	1,85	0,07	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	31	0,258	83	125	150	
0.60	48	17	4:/:/	1,85	0,11	1,60	99,9	272	408	144	100	42	43	45	46	43	31	0,258	80	120	144	
0.80	66	27	4:/:/	1,85	0,15	2,20	99,9	374	561	198	100	42	43	45	46	43	32	0,258	110	165	198	
1.00	44	21	4:/:/	1,85	0,19	1,47	83,5	249	374	132	85	40	41	43	45	41	31	0,206	73	110	132	
1.20	20	13	4:/:/	1,85	0,22	0,80	31,2	136	204	60	53	35	38	40	42	36	27	0,113	33	50	60	
1.40	16	9	2:~:~:	1,85	0,26	0,70	21,6	118	177	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
1.60	14	12	2:~:~:	1,85	0,30	0,64	16,3	108	162	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
1.80	18	13	2:~:~:	1,85	0,33	0,75	17,3	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.00	19	28	2:~:~:	1,85	0,37	0,78	15,8	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.20	17	13	2:~:~:	1,85	0,41	0,72	12,9	123	184	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.40	19	12	2:~:~:	1,85	0,44	0,78	12,6	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.60	21	35	3:~:~:	1,85	0,48	--	--	--	--	--	36	33	36	38	41	32	27	0,071	35	53	63	
2.80	13	9	2:~:~:	1,85	0,52	0,60	7,6	126	189	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.00	22	16	4:/:/	1,85	0,55	0,85	10,6	144	216	66	34	33	35	38	41	32	28	0,067	37	55	66	
3.20	19	13	2:~:~:	1,85	0,59	0,78	8,8	140	210	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.40	22	18	4:/:/	1,85	0,63	0,85	9,1	149	224	66	31	32	35	38	41	31	28	0,060	37	55	66	
3.60	25	16	4:/:/	1,85	0,67	0,91	9,3	159	238	75	34	33	35	38	41	32	28	0,067	42	63	75	
3.80	28	14	4:/:/	1,85	0,70	0,97	9,3	168	252	84	37	33	36	38	41	32	28	0,073	47	70	84	
4.00	29	15	4:/:/	1,85	0,74	0,98	9,0	175	263	87	37	33	36	38	41	32	29	0,072	48	73	87	
4.20	34	39	3:~:~:	1,85	0,78	--	--	--	--	--	41	34	36	39	41	32	29	0,082	57	85	102	
4.40	38	16	4:/:/	1,85	0,81	1,27	10,9	215	323	114	44	34	37	39	42	33	30	0,089	63	95	114	
4.60	30	15	4:/:/	1,85	0,85	1,00	7,7	207	310	90	35	33	35	38	41	31	29	0,068	50	75	90	
4.80	28	15	4:/:/	1,85	0,89	0,97	7,0	223	335	84	31	32	35	38	40	31	28	0,060	47	70	84	
5.00	27	16	4:/:/	1,85	0,93	0,95	6,5	239	358	81	29	32	35	37	40	30	28	0,055	45	68	81	
5.20	25	14	4:/:/	1,85	0,96	0,91	5,8	257	385	75	25	32	34	37	40	29	28	0,048	42	63	75	
5.40	26	15	4:/:/	1,85	1,00	0,93	5,7	268	402	78	26	32	34	37	40	29	28	0,049	43	65	78	
5.60	30	14	4:/:/	1,85	1,04	1,00	6,0	274	411	90	30	32	35	38	40	30	29	0,057	50	75	90	
5.80	34	15	4:/:/	1,85	1,07	1,13	6,7	273	410	102	33	33	35	38	41	31	29	0,065	57	85	102	
6.00	39	15	4:/:/	1,85	1,11	1,30	7,6	270	405	117	37	33	36	38	41	31	30	0,073	65	98	117	
6.20	35	13	4:/:/	1,85	1,15	1,17	6,4	297	446	105	33	33	35	38	41	30	29	0,063	58	88	105	
6.40	39	13	4:/:/	1,85	1,18	1,30	7,1	296	444	117	36	33	36	38	41	31	30	0,070	65	98	117	
6.60	39	13	4:/:/	1,85	1,22	1,30	6,8	310	465	117	35	33	35	38	41	31	30	0,068	65	98	117	
6.80	44	13	4:/:/	1,85	1,26	1,47	7,6	307	460	132	38	33	36	38	41	31	31	0,076	73	110	132	
7.00	40	13	4:/:/	1,85	1,30	1,33	6,5	334	500	120	34	33	35	38	41	30	30	0,067	67	100	120	
7.20	42	12	4:/:/	1,85	1,33	1,40	6,7	340	510	126	35	33	35	38	41	31	30	0,069	70	105	126	
7.40	48	9	4:/:/	1,85	1,37	1,60	7,6	333	500	144	39	33	36	38	41	31	31	0,078	80	120	144	
7.60	103	515	3:~:~:	1,85	1,41	--	--	--	--	--	65	37	39	41	43	35	34	0,144	172	258	309	
7.80	98	70	3:~:~:	1,85	1,44	--	--	--	--	--	62	37	39	41	43	35	34	0,137	163	245	294	
8.00	40	35	3:~:~:	1,85	1,48	--	--	--	--	--	31	32	35	38	40	30	30	0,060	67	100	120	
8.20	43	27	4:/:/	1,85	1,52	1,43	5,8	405	607	129	33	33	35	38	41	30	30	0,064	72	108	129	
8.40	68	17	4:/:/	1,85	1,55	2,27	10,1	385	578	204	48	35	37	39	42	32	32	0,099	113	170	204	
8.60	80	20	4:/:/	1,85	1,59	2,67	12,0	453	680	240	53	35	38	40	42	33	33	0,112	133	200	240	
8.80	60	22	4:/:/	1,85	1,63	2,00	8,1	389	584	180	43	34	36	39	41	31	32	0,086	100	150	180	
9.00	49	24	4:/:/	1,85	1,66	1,63	6,1	438	657	147	35	33	35	38	41	30	31	0,069	82	123	147	
9.20	63	33	3:~:~:	1,85	1,70	--	--	--	--	--	43	34	36	39	41	31	32	0,087	105	158	189	
9.40	53	18	4:/:/	1,85	1,74	1,77	6,4	451	676	159	37	33	36	38	41	30	31	0,072	88	133	159	
9.60	53	20	4:/:/	1,85	1,78	1,77	6,2	464	696	159	36	33	36	38	41	30	31	0,071	88	133	159	
9.80	70	28	4:/:/	1,85	1,81	2,33	8,6	430	645	210	45	34	37	39	42	32	32	0,092	117	175	210	
10.00	120	30	4:/:/	1,85	1,85	4,00	16,5	680	1020	360	63	37	39	41	43	35	35	0,139	200	300	360	
10.20	79	19	4:/:/	1,85	1,89	2,63	9,5	453	680	237	48	35	37	39	42	32	33	0,100	132	198	237	
10.40	63	14	4:/:/	1,85	1,92	2,10	7,0	483	724	189	40	34	36	39	41	31	32	0,080	105	158	189	
10.60	90	19	4:/:/	1,85	1,96	3,00	10,7	510	765	270	52	35	37	40	42	33	33	0,109	150	225	270	
10.80	60	11	4:/:/	1,85	2,00	2,00	6,3	521	781	180	38	33	36	38	41	30	32	0,074	100	150	180	
11.00	98	17	4:/:/	1,85	2,03	3,27	11,3	555	833	294	54	36	38	40	42	33	34	0,114	163	245	294	
11.20	86	14	4:/:/	1,85	2,07	2,87	9,4	496	744	258	49	35	37	39	42	32	33	0,102	143	215	258	
11.40	78	14	4:/:/	1,85	2,11	2,60	8,2	504	756	234	45	34	37	39	42	31	33	0,092	130	195	234	
11.60	85	16	4:/:/	1,85	2,15	2,83	8,9	508	763	255	48	35	37	39	42	32	33	0,098	142	213	255	
11.80	133	20	4:/:/	1,85	2,18	4,43	15,2	754	1131	399	63	37	39	41	43	34	35	0,138	222	333	399	
12.00	120	--	3:~:~:	1,85	2,22	--	--	--	--	--	59	36	38	40	43	34	35	0,127	200	300	360	

PROVA PENETROMETRICA STATICA TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 3

2.010496-071

- committente : Tagliavini Elisa
- lavoro : sistemazione frana
- località : prato degli angeli-villa sasso nero, Monterenzio (BO)
- note : aste bagnate da -5m, Foro chiuso 3.6m

- data : 15/09/2023
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE												
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/RI (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	omy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²		
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	51	35	3:~:~	1,85	0,07	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	31	0,258	85	128	153	--	
0,60	39	18	4:~:~	1,85	0,11	1,30	99,9	221	332	117	93	41	42	44	45	42	30	0,234	65	98	117	--	
0,80	42	19	4:~:~	1,85	0,15	1,40	99,9	238	357	126	89	40	42	43	45	42	30	0,219	70	105	126	--	
1,00	20	14	4:~:~	1,85	0,19	0,80	39,2	136	204	60	58	36	38	40	43	37	27	0,125	33	50	60	--	
1,20	16	11	2:~:~	1,85	0,22	0,70	26,2	118	177	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
1,40	20	16	4:~:~	1,85	0,26	0,80	25,7	136	204	60	50	35	37	40	42	36	27	0,103	33	50	60	--	
1,60	24	13	4:~:~	1,85	0,30	0,89	24,8	151	227	72	53	35	38	40	42	36	28	0,111	40	60	72	--	
1,80	24	12	4:~:~	1,85	0,33	0,89	21,4	151	227	72	50	35	37	40	42	35	28	0,103	40	60	72	--	
2,00	31	6	4:~:~	1,85	0,37	1,03	22,7	176	264	93	56	36	38	40	42	36	29	0,120	52	78	93	--	
2,20	70	24	4:~:~	1,85	0,41	2,33	55,7	397	595	210	82	39	41	43	45	39	32	0,195	117	175	210	--	
2,40	48	18	4:~:~	1,85	0,44	1,60	31,2	272	408	144	67	37	39	41	43	37	31	0,149	80	120	144	--	
2,60	31	22	4:~:~	1,85	0,48	1,03	16,3	176	264	93	50	35	37	40	42	35	29	0,103	52	78	93	--	
2,80	27	18	4:~:~	1,85	0,52	0,95	13,4	161	242	81	43	34	36	39	41	33	28	0,087	45	68	81	--	
3,00	30	18	4:~:~	1,85	0,55	1,00	13,1	170	255	90	45	34	37	39	42	34	29	0,092	50	75	90	--	
3,20	25	13	4:~:~	1,85	0,59	0,91	10,7	155	232	75	37	33	36	38	41	32	28	0,073	42	63	75	--	
3,40	22	12	4:~:~	1,85	0,63	0,85	9,1	149	224	66	31	32	35	38	41	31	28	0,060	37	55	66	--	
3,60	60	36	3:~:~	1,85	0,67	2,40	--	--	--	216	64	37	39	41	43	36	32	0,143	100	150	180	--	
3,80	72	22	4:~:~	1,85	0,70	2,40	29,1	408	612	216	69	38	40	41	44	37	32	0,157	120	180	216	--	
4,00	41	10	4:~:~	1,85	0,74	1,37	13,5	232	349	123	49	35	37	39	42	34	30	0,101	68	103	123	--	
4,20	110	15	4:~:~	1,85	0,78	3,67	43,7	623	935	330	81	39	41	43	45	39	34	0,195	183	275	330	--	
4,40	79	17	4:~:~	1,85	0,81	2,63	27,2	448	672	237	69	38	40	41	44	37	33	0,156	132	198	237	--	
4,60	130	28	4:~:~	1,85	0,85	4,33	48,0	737	1105	390	85	40	41	43	45	39	35	0,206	217	325	390	--	
4,80	47	21	4:~:~	1,85	0,89	1,57	12,8	266	400	141	49	35	37	39	42	33	31	0,101	78	118	141	--	
5,00	30	10	4:~:~	1,85	0,93	1,00	6,9	233	350	90	33	33	35	38	41	31	29	0,063	50	75	90	--	
5,20	33	16	4:~:~	1,85	0,96	1,10	7,4	236	355	99	35	33	35	38	41	31	29	0,068	55	83	99	--	
5,40	22	10	4:~:~	1,85	1,00	0,85	5,1	275	412	66	20	31	34	37	40	29	28	0,038	37	55	66	--	
5,60	34	21	4:~:~	1,85	1,04	1,13	7,0	260	389	102	34	33	35	38	41	31	29	0,066	57	85	102	--	
5,80	38	12	4:~:~	1,85	1,07	1,27	7,7	260	390	114	37	33	36	38	41	31	30	0,073	63	95	114	--	
6,00	26	13	4:~:~	1,85	1,11	0,93	5,0	306	459	78	23	31	34	37	40	29	28	0,044	43	65	78	--	
6,20	26	17	4:~:~	1,85	1,15	0,93	4,8	318	477	78	22	31	34	37	40	29	28	0,042	43	65	78	--	
6,40	25	10	4:~:~	1,85	1,18	0,91	4,5	330	495	75	20	31	34	37	40	28	28	0,038	42	63	75	--	
6,60	22	13	4:~:~	1,85	1,22	0,85	4,0	341	512	66	15	30	33	36	39	27	28	0,029	37	55	66	--	
6,80	37	18	4:~:~	1,85	1,26	1,23	6,1	331	496	111	32	33	35	38	41	30	30	0,062	62	93	111	--	
7,00	40	16	4:~:~	1,85	1,30	1,33	6,5	334	500	120	34	33	35	38	41	30	30	0,067	67	100	120	--	
7,20	36	15	4:~:~	1,85	1,33	1,20	5,5	361	541	108	30	32	35	38	40	30	30	0,058	60	90	108	--	
7,40	42	18	4:~:~	1,85	1,37	1,40	6,5	354	531	126	35	33	35	38	41	30	30	0,067	70	105	126	--	
7,60	58	17	4:~:~	1,85	1,41	1,93	9,3	336	504	174	45	34	37	39	42	32	31	0,091	97	145	174	--	
7,80	64	16	4:~:~	1,85	1,44	2,13	10,2	363	544	192	48	35	37	39	42	32	32	0,098	107	160	192	--	
8,00	47	11	4:~:~	1,85	1,48	1,57	6,7	377	565	141	36	33	36	38	41	31	31	0,072	78	118	141	--	
8,20	150	40	3:~:~	1,85	1,52	--	--	--	--	--	76	39	40	42	44	37	36	0,177	250	375	450	--	
8,40	82	29	4:~:~	1,85	1,55	2,73	12,7	465	697	246	54	36	38	40	42	33	33	0,115	137	205	246	--	
8,60	49	32	3:~:~	1,85	1,59	--	--	--	--	--	36	33	36	38	41	30	31	0,071	82	123	147	--	
8,80	41	36	3:~:~	1,85	1,63	--	--	--	--	--	31	32	35	37	40	29	30	0,057	68	103	123	--	
9,00	44	17	4:~:~	1,85	1,66	1,47	5,4	454	681	132	31	32	35	38	41	30	31	0,061	73	110	132	--	
9,20	41	20	4:~:~	1,85	1,70	1,37	4,8	472	709	123	28	32	35	37	40	29	30	0,054	68	103	123	--	
9,40	59	22	4:~:~	1,85	1,74	1,97	7,3	429	644	177	40	34	36	39	41	31	32	0,081	98	148	177	--	
9,60	50	68	3:~:~	1,85	1,78	--	--	--	--	--	34	33	35	38	41	30	31	0,067	83	125	150	--	
9,80	97	17	4:~:~	1,85	1,81	3,23	12,9	550	825	291	56	36	38	40	43	33	34	0,121	162	243	291	--	
10,00	86	13	4:~:~	1,85	1,85	2,87	10,9	487	731	258	52	35	37	40	42	33	33	0,109	143	215	258	--	
10,20	67	16	4:~:~	1,85	1,89	2,23	7,8	457	686	201	43	34	36	39	41	31	32	0,086	112	168	201	--	
10,40	72	11	4:~:~	1,85	1,92	2,40	8,3	458	688	216	45	34	37	39	42	31	32	0,091	120	180	216	--	
10,60	72	18	4:~:~	1,85	1,96	2,40	8,1	470	704	216	44	34	37	39	42	31	32	0,090	120	180	216	--	
10,80	62	9	4:~:~	1,85	2,00	2,07	6,5	514	770	186	39	33	36	38	41	30	32	0,077	103	155	186	--	
11,00	89	13	4:~:~	1,85	2,03	2,97	10,1	504	757	267	51	35	37	40	42	32	33	0,106	148	223	267	--	
11,20	119	13	4:~:~	1,85	2,07	3,97	14,1	674	1012	357	60	36	38	41	43	34	35	0,131	198	298	357	--	
11,40	120	22	4:~:~	1,85	2,11	4,00	14,0	680	1020	360	60	36	38	41	43	34	35	0,131	200	300	360	--	
11,60	220	--	3:~:~	1,85	2,15	--	--	--	--	--	80	39	41	43	44	37	38	0,191	367	550	660	--	

Finanziamento: capitolo U2320 “Spese per lavori di urgenza e somma urgenza in caso di pubbliche calamità in materia di difesa del suolo e della costa di competenza regionale”

Importo: € 250'000,00

Oggetto: Lavori di Somma Urgenza per la sistemazione della frana avvenuta il 06/02/2023 in località Sassonero del comune di Monterenzio (BO).

Codice intervento: SU2023007

CUP: F22B23000050002

CIG: 96892183A3

PERIZIA GIUSTIFICATIVA DEI LAVORI (ART.163 comma 4 D.Lgs 50/2016)

Bologna 02/03/2023

I progettisti

Geol. Giuseppe Caputo

Geol. Chiara Roffi

Ing. Lorenza Zamboni

Visto:

Il Responsabile del Procedimento

Ing. Davide Parmeggiani

PREMESSA

Il giorno 6 febbraio 2023, nelle prime ore del mattino, si è attivato un ingente movimento franoso a valle della località Villa Sassonero, in Comune di Monterenzio. Il dissesto, con profonde crepe che tagliano fasce boscate e campi coltivati, ha interessato due abitazioni (seconde case), un capannone a uso agricolo, gli edifici di un agriturismo e ha completamente compromesso la viabilità di un tratto della S.P. n. 35 "Sassonero" fino alla sua confluenza con la S.P. n. 21 "Val Sillaro" di fondovalle, interessandola per un tratto.

Tecnici dell'U.T., congiuntamente a tecnici del Comune e ai Vigili del Fuoco, hanno immediatamente eseguito un sopralluogo, constatando l'estensione del dissesto e le infrastrutture a rischio.

Il dissesto è tutt'ora in movimento, le fratture nel terreno continuano ad allargarsi e tutta l'area è ricca di venute d'acqua, provenienti anche da sorgenti non regimate poste nella fascia boscata a monte dei coltivi.

A valle del corpo di frana scorre il torrente Sillaro, affluente di destra del fiume Reno, appartenente al reticolo principale. Il suo bacino idrografico alla sezione di monte della frana è pari a circa 32 chilometri quadrati. Le condizioni del dissesto non consentono di escludere che il suo evolversi possa interessare l'alveo del torrente.

Il Comune di Monterenzio in data 09/02/2023 ha emesso l'ordinanza n.4 per l'istituzione di una "zona rossa" con divieto di accesso ed evacuazione delle abitazioni poste al suo interno.

Visto quanto sopra esposto, si è ritenuto urgente effettuare alcuni primi interventi per cercare di contenere il dissesto.

Pertanto, è stata dichiarata la Somma Urgenza con verbale del 21/02/2023 a cui ha fatto seguito la richiesta di un apposito finanziamento ai sensi dell'art. 163 del D.lgs. 18 Aprile 2016 N.50.

Viste le notevoli dimensioni del dissesto e le difficoltà operative in cui si dovrà lavorare a causa dei terreni estremamente saturi di acqua l'entità degli interventi prioritari le necessità di finanziamento per lavori sono state valutate in 250.000 euro di cui 180'000 di importo lavori comprensivi di oneri per la sicurezza e 70'000 euro di somme a disposizione.

Il Settore Servizi Amministrativi, Programmazione e Bilancio dell'Agenzia ha comunicato la disponibilità finanziaria con nota avente prot. 27/02/2023.0011346.U.

L'intervento è finanziato con i fondi regionali sul capitolo U23020 "Spese per lavori di urgenza e somma urgenza in caso di pubbliche calamità in materia di difesa del suolo e della costa di competenza regionale". Il finanziamento complessivo comprende un ulteriore intervento di indagine geognostica, oggetto di diversa perizia, da effettuarsi prontamente per la valutazione delle condizioni di pericolosità e a supporto dei lavori.

RELAZIONE SUI LAVORI

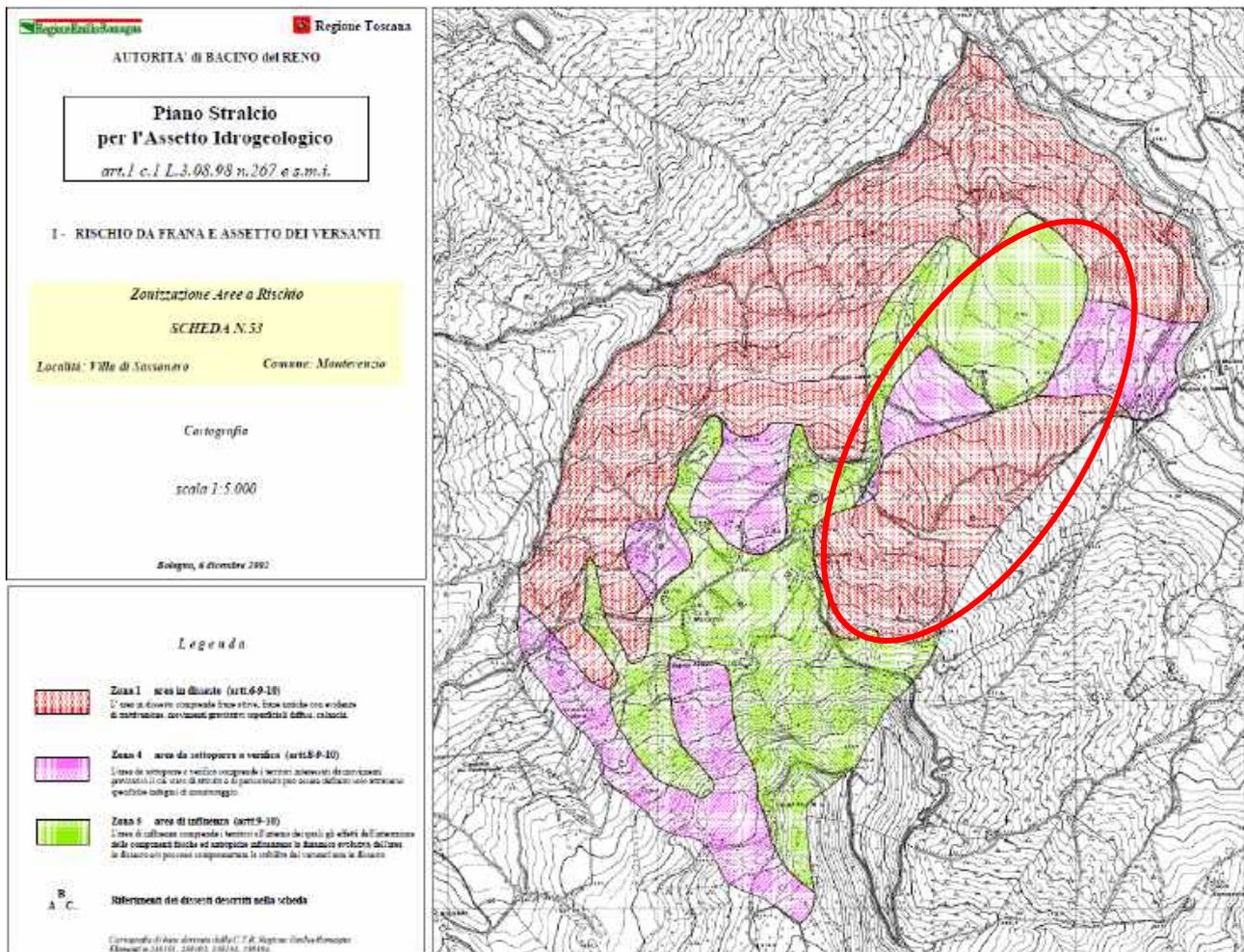
I sopralluoghi e i rilievi, a terra e con drone, prontamente effettuati a seguito dell'evento hanno consentito di individuare il corpo della frana attivatasi il 6 febbraio.



Delimitazione del corpo di frana su foto satellitare

Nelle operazioni di rilievo sono stati coinvolti anche il servizio geologico della Regione Emilia-Romagna e l'Università di Bologna.

L'area interessata dall'evento era già perimetrata come area a rischio elevato e molto elevato nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI) adottato l'08/06/2001 dalla Autorità di Bacino del fiume Reno ex. L. 267/98 e definitivamente approvato per la Regione Emilia-Romagna il 07/04/2003.



Scheda n.53 del PSAI, Titolo I Rischio di Frana e Assetto dei Versanti

La scheda è corredata dell'analisi del dissesto e delle condizioni di criticità oltre all'analisi degli elementi esposti al rischio. Essa indica come elementi di influenza sulla stabilità della zona il drenaggio superficiale e sotterraneo dei pendii. Gli interventi indicati sono il potenziamento del drenaggio superficiale e di quello sotterraneo con la captazione delle sorgenti abbondantemente presenti.

La presenza di abbondanti venute d'acqua e di acque non regimate è stata constatata già dai primi sopralluoghi, rendendo manifesta la necessità di urgenti interventi di regimazione e allontanamento dello acque dalla zona in dissesto.

I lavori da eseguire prioritariamente con il finanziamento richiesto in Somma Urgenza sono i seguenti:

1. taglio della vegetazione nella fascia boscata dove è presente la nicchia di frana, al fine di individuare le numerose venute d'acqua e provvedere alla loro regimazione con fossi superficiali ed eliminando le pozze di ristagno;
2. chiusura delle principali fratture che favoriscono la percolazione dell'acqua in profondità;
3. realizzazione di fossi in grado di allontanare l'acqua di corrivazione superficiale e di ristagno dall'area in frana e convogliarla verso gli impluvi naturali;
4. ripristino dell'ufficiosità del canale di impluvio;

5. realizzazione di drenaggi mediante pannelli drenanti, per raccogliere le acque sotterranee e convogliarle nel reticolo superficiale.

Già nei primi giorni dopo il dissesto, con la collaborazione di colleghi di agenzia e regione sono stati effettuati il rilievo lidar del corpo di frana e la sua elaborazione fornendo elementi utili alla progettazione degli interventi. In particolare, si sono posizionate le aree di ristagno, riscontrate nei rilievi in sito, e individuate le linee preferenziali di drenaggio superficiale. Sulla base di queste individuazioni sono stati tracciati in prima battuta fossi prioritari da realizzare per l'allontanamento delle acque.

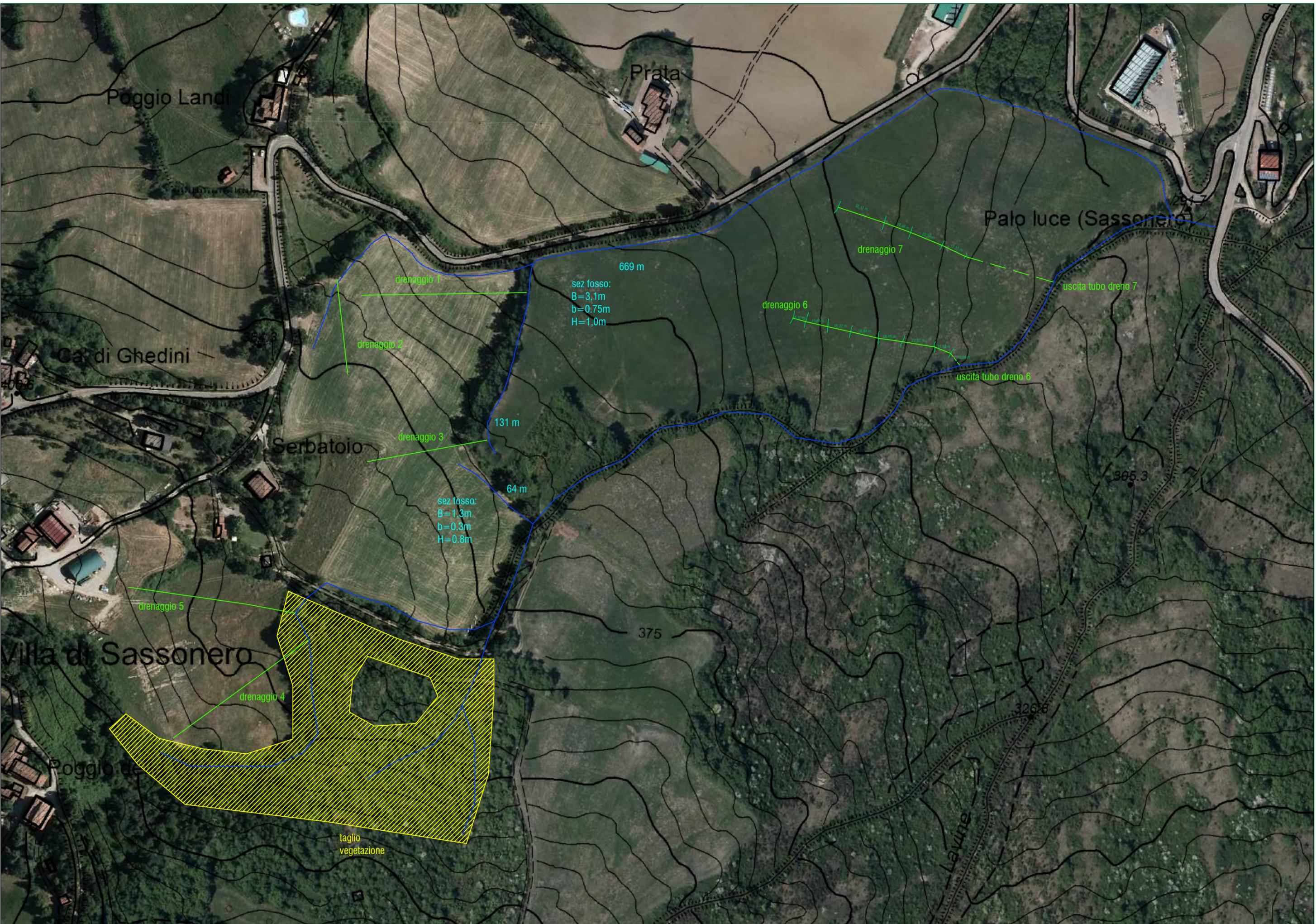
Verificato che sussistono le condizioni per inserire il presente intervento di somma urgenza nell'Accordo Quadro per lavori finalizzati alla Sicurezza Territoriale e per Servizi di Gestione Integrata del Demanio Idrico e delle Aree di competenza del Settore Distretto Reno - CIG 9296105C84 affidato mediante una procedura aperta di aggiudicazione europea (DD n. 4057 del 08/11/2022) al Consorzio INNOVA Società Consortile che, a titolo di contratto attuativo, potrà eseguire le lavorazioni descritte di seguito nel rispetto delle clausole e condizioni di cui all'Accordo quadro, all'offerta tecnica e con applicazione del ribasso offerto (1,17%) su un importo complessivo al lordo del ribasso di € 180.000,00 IVA esclusa.

Il Consorzio INNOVA Società Consortile, con sede legale a Bologna in Via Giovanni Papini n. 18, CF/P.IVA n. 03539261200 ha indicato come impresa consorziata esecutrice la ditta:

- S.E.M. Srl, Via Copernico n. 85, Forlì (FC) - CF/P.IVA 00173140401

che si è resa disponibile all'avvio immediato dei lavori.

Il tempo fissato per l'esecuzione dei lavori, in considerazione anche della stagione invernale, è **di 60 (sessanta) giorni naturali e consecutivi dalla data del verbale di consegna.**





PROVE PENETROMETRICHE SRL
Via per Modena, 8 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)
Tel. 059/535046 – Fax 059/539166
e-mail: info@provepenetrometriche.com
www.provepenetrometriche.com

36.00

Decreto di Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 54953 del 29/05/2006 – Settore C – Prove in Sito

SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO N. SAS I2

Pagina 1/13

RAPPORTO DI PROVA N. P03943

Committente: **Regione Emilia-Romagna – Agenzia per la Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile**

Località: **Monterenzio (BO), fraz. Sassonero**

Cantiere: **“indagini geologiche in Somma Urgenza per il monitoraggio profondo della frana avvenuta il 06/02/23”.**

Data prova: **17-23/03/2023**

Data emissione rapporto: **11/04/2023**

Attrezzatura utilizzata, prove in foro effettuate, strumentazione foro

Per l'esecuzione del sondaggio è stata utilizzata una Sonda Idraulica cingolata Atlas Copco Mustang A 66 - CB T (anno di fabbrica: 1995 - matr. n. OR 95/3480/653) montata su sottocarro cingolato MT 10 semovente, con pattini in acciaio e velocità di spostamento 0-2 km/h. La sonda è dotata di due motori: un motore diesel a 4 tempi Lombardini LDW 2004 avente cilindrata 2068 cm³, potenza 35 kW, RPM 3.000 giri/min; un motore KHD Deutz F 3- 6 L 912/W, cilindrata 2.826 cm³. L'antenna è caratterizzata da un tiro e da una spinta di 80 kN, corsa 3.700 mm, mentre la testa idraulica di rotazione S 1.300, avente n. 8 velocità, presenta una coppia massima di 13.233 Nm e una velocità massima di 614 g/min. La sonda è infine dotata di n. 2 pompe idrauliche: una pompa fanghi Nova Rotors mod. MN 120-2 ed una pompa acqua Imovilli P123.

Nel corso delle operazioni di sondaggio la sonda è stata attrezzata con un carotiere semplice T1 avente diametro \varnothing 101 mm e si è reso necessario l'utilizzo di tubi di rivestimento di diametro \varnothing 127 mm per 70.00 m totali in seguito alla scarsa stabilità del foro di sondaggio.

Nel corso del sondaggio sono state eseguite n. 2 prove Standard Penetration Test (S.P.T.) alle profondità di 13.80 m e 22.50 m utilizzando un dispositivo di guida e sganciamento automatico tipo “Martino Nenzi” (massa sistema di battuta: 4,20 kg), attrezzato con un maglio avente massa pari a 63,50 Kg; a tale attrezzatura è avvitata una batteria di aste aventi diametro \varnothing 50,46 mm e massa lineare 7 kg/m, alla quale è avvitata sul fondo una punta conica, dello stesso diametro, per la penetrazione nel terreno, avente area di base pari a 20 cm² ed angolo di 60°. La profondità di giunzione della prima asta è pari a 0,80 m. I risultati della prova, per avanzamenti di 15 cm, sono riportati a pagina 3/8 del presente certificato.

Al termine delle operazioni di perforazione, nel foro di sondaggio è stato messo in posa a 70.00 m, un tubo inclinometrico in alluminio di diametro 76 mm, a 4 gole. Dal p.c. a -70.00 m si è provveduto all'impermeabilizzazione del foro per mezzo di miscela cemento-bentonite. La sistemazione della bocca dell'inclinometro è stata effettuata con la messa in posa e cementazione di chiusino lucchettabile in acciaio.

IL RESPONSABILE DI SITO

Dott. Geol. Emilio Guerzoni



PROVE PENETROMETRICHE SRL
Via per Modena, 8 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)
Tel. 059/535046 – Fax 059/539166
e-mail: info@provepenetrometriche.com
www.provepenetrometriche.com

36.00

Decreto di Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 54953 del 29/05/2006 – Settore C – Prove in Sito

SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO N. SAS I2

Pagina 2/13

RAPPORTO DI PROVA N. **P03943**

Committente: **Regione Emilia-Romagna – Agenzia per la Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile**

Località: **Monterenzio (BO), fraz. Sassonero**

Cantiere: **“indagini geologiche in Somma Urgenza per il monitoraggio profondo della frana avvenuta il 06/02/23”.**

Data prova: **17-23/03/2023**

Data emissione rapporto: **11/04/2023**

Procedure di campionamento

Le carote prelevate nel corso del sondaggio (campioni tipo Q1) sono state riposte in apposite cassette catalogatrici in PVC a 5 scomparti, quindi fotografate (vedi pag. 6-12/13).

Eventuali variazioni, aggiunte, esclusioni

Le procedure di esecuzione del sondaggio, delle prove e del prelievo dei campioni sono state concordate con i tecnici incaricati dalla Committenza direttamente in cantiere

Norme di riferimento ed eventuali metodi e/o procedure non normalizzate

Tutte le prove ed i campionamenti effettuati sono stati eseguiti conformemente alle norme di riferimento:
- AGI (1977): “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”.

Annotazioni, anomalie ed incertezze riscontrate nelle misure

Non si sono riscontrate anomalie nelle misure e nella perforazione.

Incertezza associata alle prove **SPT: 20%**. Tale valore di incertezza di misura è espresso come due volte lo scarto tipo ($k=2$) corrispondente, nel caso di distribuzione normale, a un livello di confidenza di circa il 95%.

Software di elaborazione: “*Stratigrafie*” ver. 10.1.9 realizzato dalla società SGeo di Roma.

IL RESPONSABILE DI SITO

Dott. Geol. Emilio Guerzoni



Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile	Sondaggio: SAS I2
Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.	Data: 17-23/03/2023
Località: Monterenzio (BO), fraz. Sassonero	Quota:
Coordinate WGS84/UTM 32 N:	

SCALA 1 :102

STRATIGRAFIA - SAS I2

Pagina 3/13

o mm	metri batt.	R V	Incl.	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	Standard Penetration Test			DATI TECNICI
								m	S.P.T.	N Pt	
					0.2	0.2	Terreno vegetale, nocciola.				RAPPORTO DI PROVA N. P03943 del 11/04/2023 Sondaggio verticale a carotaggio continuo eseguito con Sonda Atlas Copco Mustang A66 CB-T attrezzata con carotiere semplice T1 da 101 mm. Diametro rivestimento: 127 mm per 70.00 m. Inserito tubo inclinometrico in alluminio, diametro 76 mm, a 4 gole, alla profondità di -70.00 m. Responsabile di sito: Dott. Geol. Emilio Guerzoni Aiuti-responsabile: Sig. Alfredo Tonielli Sig. Francesco Tuosto Dott. Stefano Vigni Dott. Guglielmo Zanasi
1						Argilla, grigio verdastra, con rari clasti e blocchi calcarei, poco umida.					
2											
3					3.2	3.0	Argilla e argillite, grigio verdastra, con variegature rossastre, molto consistente, asciutta.				
4											
5											
6											
7											
8											
9					8.6	5.4	Calcere, grigio.				
					9.2	0.6	Argilla e argillite, grigia. Tra 11.00 m e 16.20 m: si presenta poco consistente.				
10											
11											
12											
13											
14								13.8	11-10-8	18 C	
15											
16											
17											
18					17.6	8.4	Calcere, grigio chiaro.				
19					19.0	1.4	Argilla e argillite, grigia, con livelli calcarei, da umida ad asciutta.				
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29					28.6	9.6	Calcere, grigio chiaro, fratturato.				
30					30.0	1.4	Argilla e argillite, grigio verdastra, con inclusi calcarei, e livelli calcarei.				
31											
32											
33											
34											
35					34.7	4.7	Livello calcareo, grigio chiaro, fratturato.				
					35.0	0.3					

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni



Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile	Sondaggio: SAS I2
Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.	Data: 17-23/03/2023
Località: Monterenzio (BO), fraz. Sassonero	Quota:
Coordinate WGS84/UTM 32 N:	

SCALA 1 :102

STRATIGRAFIA - SAS I2

Pagina 4/13

o mm	metri batt.	R V	Incl.	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	Standard Penetration Test			DATI TECNICI
								m	S.P.T.	N Pt	
36				Argilla e argillite, grigio verdastra, con inclusi calcarei e argillitici, asciutta.	39.0	4.0				<p>RAPPORTO DI PROVA N. P03943 del 11/04/2023</p> <p>Sondaggio verticale a carotaggio continuo eseguito con Sonda Atlas Copco Mustang A66 CB-T attrezzata con carotiere semplice T1 da 101 mm.</p> <p>Diametro rivestimento: 127 mm per 70.00 m.</p> <p>Inserito tubo inclinometrico in alluminio, diametro 76 mm, a 4 gole, alla profondità di -70.00 m.</p> <p>Responsabile di sito: Dott. Geol. Emilio Guerzoni</p> <p>Aiuti-responsabile: Sig. Alfredo Tonielli Sig. Francesco Tuosto Dott. Stefano Vigni Dott. Guglielmo Zanasi</p>	
37											
38											
39					39.4	0.4	Livello calcareo, grigio chiaro, fratturato.				
40				Argilla e argillite, grigia e grigio verdastra, con inclusi calcarei, e livelli calcarei.							
41											
42					42.8	3.4	Livello calcareo compatto con vene di calcite, grigio chiaro.				
43				Argilla e argillite, grigio scura e grigio verdastra, con inclusi lapidei, e livelli calcarei.	43.5	0.7					
44											
45											
46					46.8	3.3	Livello calcareo, grigio, molto fratturato.				
47				Argilla e argillite, grigia scura e grigio verdastra, con locale presenza di inclusi litoidi, e livelli calcarei.	48.0	1.2					
48											
49											
50											
51											
52											
53											
54											
55											
56											
57											
58											
59											
60											
61											
62											
63											
64											
65											
66											
67											
68											
69											
70					70.0	22.0					

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile	Sondaggio: SAS I2
Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.	Data: 17-23/03/2023
Località: Monterenzio (BO), fraz. Sassonero	Quota:
Coordinate WGS84/UTM 32 N:	

LEGENDA STRATIGRAFIA

Pagina 5/13

1	2	3	4	5	6	7	8	Standard Penetration Test				13
								9	10	11	12	
Ø mm	metri batt.	R v	Incl.	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	m	S.P.T.	N	Pt	DATI TECNICI

- 1) Diametro del foro / Tipo di carotiere
- 2) Scala metrica con limiti delle battute (>)
- 3) Rivestimento
- 4) Tubo inclinometrico
- 5) Simbolo litologico
- 6) Profondità della base dello strato (m)
- 7) Spessore dello strato (m)
- 8) Descrizione della litologia dello strato
- 9) Profondità di inizio della prova S.P.T.
- 10) Prova S.P.T.
- 11) Valore di N_{spt}
- 12) Tipo di punta (A = punta aperta; C = punta chiusa)
- 13) Dati tecnici

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

Sondaggio: SAS I2

Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.

Data: 17-23/03/2023

Fotografie - Pagina 1/8

Pagina 6/13



Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00



Cassetta n° 2 - profondità da m 5,00 a m 10,00

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Emilio Guerzoni

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

Sondaggio: SAS I2

Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.

Data: 17-23/03/2023

Fotografie - Pagina 2/8

Pagina 7/13



Cassetta n° 3 - profondità da m 10,00 a m 15,00



Cassetta n° 4 - profondità da m 15,00 a m 20,00

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Emilio Guerzoni

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

Sondaggio: SAS I2

Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.

Data: 17-23/03/2023

Fotografie - Pagina 3/8

Pagina 8/13



Cassetta n° 5 - profondità da m 20,00 a m 25,00



Cassetta n° 6 - profondità da m 25,00 a m 30,00

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Emilio Guerzoni

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

Sondaggio: SAS I2

Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.

Data: 17-23/03/2023

Fotografie - Pagina 4/8

Pagina 9/13



Cassetta n° 7 - profondità da m 30,00 a m 35,00



Cassetta n° 8 - profondità da m 35,00 a m 40,00

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Emilio Guerzoni

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

Sondaggio: SAS I2

Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.

Data: 17-23/03/2023

Fotografie - Pagina 5/8

Pagina 10/13



Cassetta n° 9 - profondità da m 40,00 a m 45,00



Cassetta n° 10 - profondità da m 45,00 a m 50,00

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Emilio Guerzoni

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

Sondaggio: SAS I2

Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.

Data: 17-23/03/2023

Fotografie - Pagina 6/8

Pagina 11/13



Cassetta n° 11 - profondità da m 50,00 a m 55,00



Cassetta n° 12 - profondità da m 55,00 a m 60,00

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Emilio Guerzoni

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

Sondaggio: SAS I2

Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.

Data: 17-23/03/2023

Fotografie - Pagina 7/8

Pagina 12/13



Cassetta n° 13 - profondità da m 60,00 a m 65,00



Cassetta n° 14 - profondità da m 65,00 a m 70,00

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Emilio Guerzoni

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

Sondaggio: SAS I2

Pagina 13/13

Fotografie - Pagina 8/8

Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.

Data: 17-23/03/2023



ubicazione

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni



PROVE PENETROMETRICHE SRL
Via per Modena, 8 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)
Tel. 059/535046 – Fax 059/539166
e-mail: info@provepenetrometriche.com
www.provepenetrometriche.com

36.00

Decreto di Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 54953 del 29/05/2006 – Settore C – Prove in Sito

SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO N. SAS I3

Pagina 1/8

RAPPORTO DI PROVA N. P03945

Committente: **Regione Emilia-Romagna – Agenzia per la Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile**

Località: **Monterenzio (BO), fraz. Sassonero**

Cantiere: **“indagini geologiche in Somma Urgenza per il monitoraggio profondo della frana avvenuta il 06/02/23”.**

Data prova: **28-30/03/2023**

Data emissione rapporto: **11/04/2023**

Attrezzatura utilizzata, prove in foro effettuate, strumentazione foro

Per l'esecuzione del sondaggio è stata utilizzata una Sonda Idraulica cingolata Atlas Copco Mustang A 66 - CB T (anno di fabbrica: 1995 - matr. n. OR 95/3480/653) montata su sottocarro cingolato MT 10 semovente, con pattini in acciaio e velocità di spostamento 0-2 km/h. La sonda è dotata di due motori: un motore diesel a 4 tempi Lombardini LDW 2004 avente cilindrata 2068 cm³, potenza 35 kW, RPM 3.000 giri/min; un motore KHD Deutz F 3- 6 L 912/W, cilindrata 2.826 cm³. L'antenna è caratterizzata da un tiro e da una spinta di 80 kN, corsa 3.700 mm, mentre la testa idraulica di rotazione S 1.300, avente n. 8 velocità, presenta una coppia massima di 13.233 Nm e una velocità massima di 614 g/min. La sonda è infine dotata di n. 2 pompe idrauliche: una pompa fanghi Nova Rotors mod. MN 120-2 ed una pompa acqua Imovilli P123.

Nel corso delle operazioni di sondaggio la sonda è stata attrezzata con un carotiere semplice T1 avente diametro ϕ 101 mm e si è reso necessario l'utilizzo di tubi di rivestimento di diametro ϕ 127 mm per 30 m totali in seguito alla scarsa stabilità del foro di sondaggio.

Nel corso del sondaggio sono state eseguite n. 2 prove Standard Penetration Test (S.P.T.) alle profondità di 7.00 m e 19.50 m utilizzando un dispositivo di guida e sganciamento automatico tipo “Martino Nenzi” (massa sistema di battuta: 4,20 kg), attrezzato con un maglio avente massa pari a 63,50 Kg; a tale attrezzatura è avvitata una batteria di aste aventi diametro ϕ 50,46 mm e massa lineare 7 kg/m, alla quale è avvitata sul fondo una punta conica, dello stesso diametro, per la penetrazione nel terreno, avente area di base pari a 20 cm² ed angolo di 60°. La profondità di giunzione della prima asta è pari a 0,80 m. I risultati della prova, per avanzamenti di 15 cm, sono riportati a pagina 3/8 del presente certificato.

Al termine delle operazioni di perforazione, nel foro di sondaggio è stato messo in posa a 30.00 m, un tubo inclinometrico in alluminio di diametro 76 mm, a 4 gole. Dal p.c. a -30.00 m si è provveduto all'impermeabilizzazione del foro per mezzo di miscela cemento-bentonite. La sistemazione della bocca dell'inclinometro è stata effettuata con la messa in posa e cementazione di chiusino lucchettabile in acciaio.

IL RESPONSABILE DI SITO

Dott. Geol. Emilio Guerzoni



PROVE PENETROMETRICHE SRL
Via per Modena, 8 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)
Tel. 059/535046 – Fax 059/539166
e-mail: info@provepenetrometriche.com
www.provepenetrometriche.com

36.00

Decreto di Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 54953 del 29/05/2006 – Settore C – Prove in Sito

SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO N. SAS I3

Pagina 2/8

RAPPORTO DI PROVA N. **P03945**

Committente: **Regione Emilia-Romagna – Agenzia per la Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile**

Località: **Monterenzio (BO), fraz. Sassonero**

Cantiere: **“indagini geologiche in Somma Urgenza per il monitoraggio profondo della frana avvenuta il 06/02/23”.**

Data prova: **28-30/03/2023**

Data emissione rapporto: **11/04/2023**

Procedure di campionamento

Le carote prelevate nel corso del sondaggio (campioni tipo Q1) sono state riposte in apposite cassette catalogatrici in PVC a 5 scomparti, quindi fotografate (vedi pag. 5-7/8).

Eventuali variazioni, aggiunte, esclusioni

Le procedure di esecuzione del sondaggio, delle prove e del prelievo dei campioni sono state concordate con i tecnici incaricati dalla Committenza direttamente in cantiere

Norme di riferimento ed eventuali metodi e/o procedure non normalizzate

Tutte le prove ed i campionamenti effettuati sono stati eseguiti conformemente alle norme di riferimento:
- AGI (1977): “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”.

Annotazioni, anomalie ed incertezze riscontrate nelle misure

Non si sono riscontrate anomalie nelle misure e nella perforazione.

Incertezza associata alle prove **SPT: 20%**. Tale valore di incertezza di misura è espresso come due volte lo scarto tipo ($k=2$) corrispondente, nel caso di distribuzione normale, a un livello di confidenza di circa il 95%.

Software di elaborazione: “*Stratigrafie*” ver. 10.1.9 realizzato dalla società SGeo di Roma.

IL RESPONSABILE DI SITO

Dott. Geol. Emilio Guerzoni



41051 Castelnuovo Rangone (MO)
Via per Modena, 8
Tel. 059-535046 / Fax 059-539166

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile	Sondaggio: SAS I3
Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.	Data: 28-30/03/2023
Località: Monterenzio (BO), fraz. Sassonero	Quota:
Coordinate WGS84/UTM 32 N:	

SCALA 1 :102

STRATIGRAFIA - SAS I3

Pagina 3/8

o mm	metri batt.	R V	Incl.	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	RP	VT	Standard Penetration Test			DATI TECNICI
										m	S.P.T.	N Pt	
	1				0.5	0.5	Terreno vegetale limo argilloso, bruno nocciola, umido, con radici e sostanza organica.						<p>RAPPORTO DI PROVA N. P03945 del 11/04/2023</p> <p>Sondaggio verticale a carotaggio continuo eseguito con Sonda Atlas Copco Mustang A66 CB-T attrezzata con carotiere semplice T1 da 101 mm.</p> <p>Diametro rivestimento: 127 mm per 30 m.</p> <p>Inserito tubo inclinometrico in alluminio, diametro 76 mm, a 4 gole, alla profondità di -30.00 m.</p> <p>Responsabile di sito: Dott. Geol. Emilio Guerzoni</p> <p>Aiuti-responsabile: Sig. Alfredo Tonielli Sig. Francesco Tuosto</p>
	2						Limo argilloso con inclusi litoidi, bruno nocciola, da asciutto a umido, con sostanza organica.						
	3												
	4												
	5												
	6												
	7								7.0	7-15-14	29	C	
	8				8.2	7.7	Argilla, con inclusi litoidi eterometrici ed eterogenei, bruno nocciola, da consistente a molto consistente.	118	20				
	9							216	78				
	10				9.7	1.5	Argilla e argillite, grigia scura e grigio verdastra, da molto consistente a compatta, con livelli calcarei e inclusi lapidei.	216	78				
	11							324	147				
	12							343	177				
	13							49	10				
	14							314	177				
	15				14.3	4.6	Calcarenite, grigio chiara, fratturata, con vene di calcite.						
	16				16.1	1.8	Argilla e argillite, grigia, molto consistente, con livelli calcarei e incusi lapidei.						
	17							>441	196				
	18							343	177				
	19							196	118				
	20							>441	196				
	21							245	157				
	22							441	196	19.5	50/11cm	Rif C	
	23												
	24												
	25												
	26												
	27							196	108				
	28							216	137				
	29							245	147				
	30				30.0	13.9		441	>196				

Emilio Guerzoni

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile	Sondaggio: SAS I3
Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.	Data: 28-30/03/2023
Località: Monterenzio (BO), fraz. Sassonero	Quota:
Coordinate WGS84/UTM 32 N:	

LEGENDA STRATIGRAFIA

Pagina 4/8

ø mm	metri batt.	R v	Incl.	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	RP	VT	Standard Penetration Test			DATI TECNICI	
										m	S.P.T.	N		Pt
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

- 1) Diametro del foro / Tipo di carotiere
- 2) Scala metrica con limiti delle battute (>)
- 3) Rivestimento
- 4) Tubo inclinometrico
- 5) Simbolo litologico
- 6) Profondità della base dello strato (m)
- 7) Spessore dello strato (m)
- 8) Descrizione della litologia dello strato
- 9) Resistenza alla punta (kPa)
- 10) Vane test (kPa)
- 11) Profondità di inizio della prova S.P.T.
- 12) Prova S.P.T.
- 13) Valore di N_{spt}
- 14) Tipo di punta (A = punta aperta; C = punta chiusa)
- 15) Dati tecnici



Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

Sondaggio: SAS I3

Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.

Data: 28-30/03/2023

Fotografie - Pagina 1/4

Pagina 5/8



Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00



Cassetta n° 2 - profondità da m 5,00 a m 10,00

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Emilio Guerzoni

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

Sondaggio: SAS I3

Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.

Data: 28-30/03/2023

Fotografie - Pagina 2/4

Pagina 6/8



Cassetta n° 3 - profondità da m 10,00 a m 15,00



Cassetta n° 4 - profondità da m 15,00 a m 20,00

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Emilio Guerzoni

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

Sondaggio: SAS I3

Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.

Data: 28-30/03/2023

Fotografie - Pagina 3/4

Pagina 7/8



Cassetta n° 5 - profondità da m 20,00 a m 25,00



Cassetta n° 6 - profondità da m 25,00 a m 30,00

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

Sondaggio: SAS I3

Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.

Data: 28-30/03/2023

Fotografie - Pagina 4/4

Pagina 8/8



ubicazione

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Emilio Guerzoni



PROVE PENETROMETRICHE SRL
Via per Modena, 8 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)
Tel. 059/535046 – Fax 059/539166
e-mail: info@provepenetrometriche.com
www.provepenetrometriche.com

36.00

Decreto di Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 54953 del 29/05/2006 – Settore C – Prove in Sito

SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO N. SAS P1

Pagina 1/8

RAPPORTO DI PROVA N. P03943

Committente: Regione Emilia-Romagna – Agenzia per la Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

Località: Monterenzio (BO), fraz. Sassonero

Cantiere: “indagini geologiche in Somma Urgenza per il monitoraggio profondo della frana avvenuta il 06/02/23”.

Data prova: 13-14/03/2023

Data emissione rapporto: 11/04/2023

Attrezzatura utilizzata, prove in foro effettuate, strumentazione foro

Per l'esecuzione del sondaggio è stata utilizzata una Sonda Idraulica cingolata Atlas Copco Mustang A 66 - CB T (anno di fabbrica: 1995 - matr. n. OR 95/3480/653) montata su sottocarro cingolato MT 10 semovente, con pattini in acciaio e velocità di spostamento 0-2 km/h. La sonda è dotata di due motori: un motore diesel a 4 tempi Lombardini LDW 2004 avente cilindrata 2068 cm³, potenza 35 kW, RPM 3.000 giri/min; un motore KHD Deutz F 3- 6 L 912/W, cilindrata 2.826 cm³. L'antenna è caratterizzata da un tiro e da una spinta di 80 kN, corsa 3.700 mm, mentre la testa idraulica di rotazione S 1.300, avente n. 8 velocità, presenta una coppia massima di 13.233 Nm e una velocità massima di 614 g/min. La sonda è infine dotata di n. 2 pompe idrauliche: una pompa fanghi Nova Rotors mod. MN 120-2 ed una pompa acqua Imovilli P123.

Nel corso delle operazioni di sondaggio la sonda è stata attrezzata con un carotiere semplice T1 avente diametro ϕ 101 mm e si è reso necessario l'utilizzo di tubi di rivestimento di diametro ϕ 127 mm per 30.50 m totali in seguito alla scarsa stabilità del foro di sondaggio.

Nel corso del sondaggio sono state eseguite n. 2 prove Standard Penetration Test (S.P.T.) alle profondità di 13.0 m e 20.70 m utilizzando un dispositivo di guida e sganciamento automatico tipo “Martino Nenzi” (massa sistema di battuta: 4,20 kg), attrezzato con un maglio avente massa pari a 63,50 Kg; a tale attrezzatura è avvitata una batteria di aste aventi diametro ϕ 50,46 mm e massa lineare 7 kg/m, alla quale è avvitata sul fondo una punta conica, dello stesso diametro, per la penetrazione nel terreno, avente area di base pari a 20 cm² ed angolo di 60°. La profondità di giunzione della prima asta è pari a 0,80 m. I risultati della prova, per avanzamenti di 15 cm, sono riportati a pagina 3/8 del presente certificato.

Al termine delle operazioni di perforazione, nel foro di sondaggio è stato messo in posa a 30.30 m, un piezometro a tubo aperto (Norton) in PVC di diametro 3”, fessurato da -6.00 m a -30.30 m. Dal p.c. a -6.00 m si è provveduto all'impermeabilizzazione del foro per mezzo di miscela cemento-bentonite, mentre nella restante parte della colonna è stato realizzato un mantello drenante utilizzando ghiaietto siliceo ben lavato di dimensioni 2-5 mm.

La sistemazione della bocca del piezometro è stata effettuata con la messa in posa e cementazione di chiusura lucchettabile in acciaio e pozzetto in C.V. di dimensioni esterne 40x40 cm, dotato superiormente di lastra in ghisa.

IL RESPONSABILE DI SITO

Dott. Geol. Emilio Guerzoni



PROVE PENETROMETRICHE SRL
Via per Modena, 8 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)
Tel. 059/535046 – Fax 059/539166
e-mail: info@provepenetrometriche.com
www.provepenetrometriche.com

36.00

Decreto di Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 54953 del 29/05/2006 – Settore C – Prove in Sito

SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO N. SAS P1

Pagina 2/8

RAPPORTO DI PROVA N. **P03943**

Committente: **Regione Emilia-Romagna – Agenzia per la Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile**

Località: **Monterenzio (BO), fraz. Sassonero**

Cantiere: **“indagini geologiche in Somma Urgenza per il monitoraggio profondo della frana avvenuta il 06/02/23”.**

Data prova: **13-14/03/2023**

Data emissione rapporto: **11/04/2023**

Procedure di campionamento

Le carote prelevate nel corso del sondaggio (campioni tipo Q1) sono state riposte in apposite cassette catalogatrici in PVC a 5 scomparti, quindi fotografate (vedi pag. 5/8, 6/8 ,7/8).

Eventuali variazioni, aggiunte, esclusioni

Le procedure di esecuzione del sondaggio, delle prove e del prelievo dei campioni sono state concordate con i tecnici incaricati dalla Committenza direttamente in cantiere

Norme di riferimento ed eventuali metodi e/o procedure non normalizzate

Tutte le prove ed i campionamenti effettuati sono stati eseguiti conformemente alle norme di riferimento:
- AGI (1977): “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”.

Annotazioni, anomalie ed incertezze riscontrate nelle misure

Non si sono riscontrate anomalie nelle misure e nella perforazione.
Incertezza associata alle prove **SPT: 20%**. Tale valore di incertezza di misura è espresso come due volte lo scarto tipo ($k=2$) corrispondente, nel caso di distribuzione normale, a un livello di confidenza di circa il 95%.
Software di elaborazione: “*Stratigrafie*” ver. 10.1.9 realizzato dalla società SGeo di Roma.

IL RESPONSABILE DI SITO

Dott. Geol. Emilio Guerzoni



41051 Castelnuovo Rangone (MO)
Via per Modena, 8
Tel. 059-535046 / Fax 059-539166

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile	Sondaggio: SAS P1
Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.	Data: 13-14/03/2023
Località: Monterenzio (BO), fraz. Sassonero	Quota:
Coordinate WGS84/UTM 32 N:	

SCALA 1 :100

STRATIGRAFIA - SAS P1

Pagina 3/8

o mm	metri batt.	R V	Pz	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	RP	VT	Standard Penetration Test			DATI TECNICI
										m	S.P.T.	N Pt	
	1				0.7	0.7	Limo argilloso, nocciola, con frammenti di laterizi, asciutto.						RAPPORTO DI PROVA N. P03941 del 11/04/2023 Sondaggio verticale a carotaggio continuo eseguito con Sonda Atlas Copco Mustang A66 CB-T attrezzata con carotiere semplice T1 da 101 mm. Diametro rivestimento: 127 mm per 30.50 m. Inserito tubo piezometrico in PVC, diam. 3", fessurato tra -6.00 m e -30.30 m. Responsabile di sito: Dott. Geol. Emilio Guerzoni Aiuto-responsabile: Sig. Alfredo Tonielli
	2				2.0	1.3	Limo argilloso, nocciola, asciutto.	198	>98				
	3						Argilla e argillite, con inclusi blocchi calcarei, grigio nocciola, asciutta.	245					
	4							343	>196				
	5							392	>196				
	6												
	7				7.0	5.0	Argilla e argillite, grigio nocciola, con clasti e blocchi calcarei grigio chiari e biancastri, da molto consistenti a compatti, satura.						
	8												
	9												
	10												
	11				10.4	3.4	Calcere, biancastro, fratturato.						
	12				11.2	0.8	Argilla e argillite, grigia, con clasti e blocchi calcarei grigio chiari e biancastri, da molto consistenti a compatti, da poco umida ad asciutta.						
	13				11.5	0.3	Argilla e argillite, grigia, con clasti e blocchi calcarei grigio chiari e biancastri, da molto consistenti a compatti, asciutta.						
	14									13.0	10-8-9	17 C	
	15												
	16												
	17												
	18												
	19												
	20												
	21				21.0	9.5	Argilla e argillite varicolore, grigia con fiammature rossastre e grigio verdastre, con rari clasti calcarei, umida.			20.7	9-13-13	26 C	
	22												
	23												
	24												
	25												
	26												
	27												
	28												
	29												
	30												
101	31				31.0	10.0							

Emilio Guerzoni

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

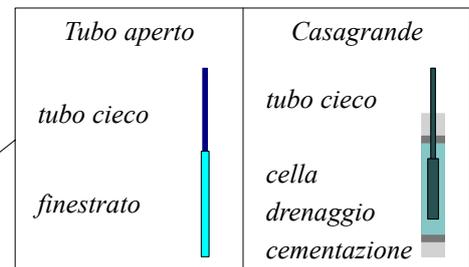
Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile	Sondaggio: SAS P1
Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.	Data: 13-14/03/2023
Località: Monterenzio (BO), fraz. Sassonero	Quota:
Coordinate WGS84/UTM 32 N:	

LEGENDA STRATIGRAFIA

Pagina 4/8

ø mm	metri batt.	R v	A Pz	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	RP	VT	Standard Penetration Test			DATI TECNICI		
										m	S.P.T.	N Pt			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

- 1) Diametro del foro / Tipo di carotiere
- 2) Scala metrica con limiti delle battute (>)
- 3) Rivestimento
- 4) Profondità dell'acqua
- 5) Piezometri
- 6) Simbolo litologico
- 7) Profondità della base dello strato (m)
- 8) Spessore dello strato (m)
- 9) Descrizione della litologia dello strato
- 10) Resistenza alla punta (kPa)
- 11) Vane test (kPa)
- 12) Profondità di inizio della prova S.P.T.
- 13) Prova S.P.T.
- 14) Valore di N_{spt}
- 15) Tipo di punta (A = punta aperta; C = punta chiusa)
- 16) Dati tecnici



Emilio Guerzoni

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

Sondaggio: SAS P1

Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.

Data: 13-14/03/2023

Fotografie - Pagina 1/4

Pagina 5/8



Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00



Cassetta n° 2 - profondità da m 5,00 a m 10,00

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Emilio Guerzoni

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

Sondaggio: SAS P1

Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.

Data: 13-14/03/2023

Fotografie - Pagina 2/4

Pagina 6/8



Cassetta n° 3 - profondità da m 10,00 a m 15,00



Cassetta n° 4 - profondità da m 15,00 a m 20,00

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Emilio Guerzoni

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

Sondaggio: SAS P1

Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.

Data: 13-14/03/2023

Fotografie - Pagina 3/4

Pagina 7/8



Cassetta n° 5 - profondità da m 20,00 a m 25,00



Cassetta n° 6 - profondità da m 25,00 a m 31,00

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Emilio Guerzoni

Committente: Regione Emilia-Romagna - Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

Sondaggio: SAS P1

Riferimento: Lavori di Somma Urgenza per il monitoraggio della frana di Sassonero.

Data: 13-14/03/2023

Fotografie - Pagina 4/4

Pagina 8/8



Ubicazione

Il Responsabile di sito
Dott. Geol. Emilio Guerzoni

Emilio Guerzoni

SETTORE SICUREZZA TERRITORIALE E
PROTEZIONE CIVILE DISTRETTO RENO
UFFICIO TERRITORIALE DI BOLOGNA
DAVIDE PARMEGGIANI

Dott. Stefano Marabini
PEC: stemarabini@pec.epap.it

Oggetto: Richiesta di accesso dati indagine geofisica relativi alla frana di Villa Sassonero, comune di Monterenzio (BO).

A seguito di Vostra richiesta pervenuta in data 21/12/2023, n. prot. 89965.E al fine di poter consultare i dati derivati dall'indagine geofisica eseguita dallo scrivente UT di Bologna sulla frana di villa Sassonero in Comune di Monterenzio, si invia la relazione tecnica, scaricabile dal link in allegato, della ditta che ha realizzato le indagini in parola.

Distinti saluti

La PO Sicurezza Territoriale, Rischio Idrogeologico e
Idraulico, Area Montana Bacino Reno

dott. ing. Lorenza Zamboni
(firmato digitalmente)

ALLEGATI: relazione tecnica.pdf

<https://we.tl/t-pBMbVmhSNk>

LZ/gc
risposta_richiesta_dati_marabini.docx

1 di 1

Viale della Fiera 8
40127 Bologna

tel. 051.527.4530
fax 051.527.4315

e-mail: stpc.bologna@regione.emilia-romagna.it
pec: stpc.bologna@postacert.regione.emilia-romagna.it

a uso interno DP	Classif	INDICE	LIV.1	LIV.2	LIV.3	LIV.4	LIV.5	Fasc.	ANNO	NUM	SUB
		650	20						2023	182	1



AGENZIA REGIONALE PER LA
SICUREZZA TERRITORIALE

**COMUNE di MONTERENZIO
(BO)**

**REALIZZAZIONE DI
INDAGINI GEOFISICHE**

**EVENTO FRANOSO
IN LOCALITA'
SASSONERO**

RELAZIONE TECNICA

Data: Settembre 2023

Archivio 2248-08

2248-08 - RER - SASSONERO - Relazione geofisica

Impresa esecutrice:

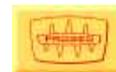


Società certificata con sistema di Qualità UNI EN ISO 9001 - 2015 n° 2619-A

PROGEO

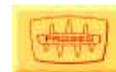
Via Talete 10/8
47122 Forlì (IT)
tel. +39 0543 723580
fax. +39 0543 721486
mail.progeo@gmail.com
www.progeo.info

Il Direttore Tecnico per l'impresa:



INDICE

1.	INDICAZIONI GENERALI	3
2.	<u>PROSPEZIONE ELETTRICA TOMOGRAFICA</u>	6
2.1.	GENERALITÀ	6
2.2.	OPERAZIONI DI CAMPAGNA	9
2.2.1	SORGENTE DI ENERGIA ED APPARATI DI RICEZIONE	9
2.2.2	ACQUISIZIONE DATI	9
2.3.	ELABORAZIONE DATI	12
2.4.	COMPORAMENTO DELLA RESISTIVITÀ NEI MATERIALI LITOLOGICI	13
3.	<u>PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA</u>	14
3.1.	MODALITA' OPERATIVE	14
3.1.1.	GENERALITÀ	14
3.1.2.	SORGENTE DI ENERGIA	15
3.1.3.	APPARATO DI RICEZIONE	15
3.1.4.	OPERAZIONI DI CAMPAGNA	15
3.1.5.	ACQUISIZIONE DATI	15
3.2.	ELABORAZIONE DATI	17
3.2.1.	ELABORAZIONE SISMOGRAMMI (PREPROCESSING)	17
3.2.2.	ELABORAZIONE DELLA SEZIONI TOMOGRAFICHE A COUNTOUR LINE (PROCESSING IN VELOCITÀ)	19
4.	<u>SISMICA A RIFLESSIONE AD ONDE DI TAGLIO CON SORGENTE VIBRANTE</u>	20
5.	<u>ELABORAZIONE DATI</u>	20
6.	RISULTANZE	26



Regione Emilia-Romagna

AGENZIA REGIONALE PER LA
SICUREZZA TERRITORIALE

REALIZZAZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER LO STUDIO DEL FENOMENO FRANOSO A SASSONERO

MONTERENZIO (BO)

1. INDICAZIONI GENERALI

Su incarico della committenza Regione Emilia-Romagna – Agenzia regionale per la sicurezza territoriale, è stata eseguita nel mese di settembre 2023 una campagna di indagini geofisiche avente oggetto lo studio di un fenomeno gravitativo a Sassonero in comune di Monterenzio.

Lo studio geofisico commissionato, indagini di elettrica tomografica, sismica tomografica ad onde di compressione e di taglio e sismica a riflessione ad onde di taglio, ha lo scopo di mappare il campo di resistività/conducibilità e delle velocità delle onde di compressione e di taglio per ottenere informazioni sulla componente idrica del sito d'indagine, informazioni finalizzate all'esplorazione delle strutture geologiche sepolte.

Le sezioni geoelettriche sono state acquisite con configurazioni elettrodiche Wenner-Schlumberger, ritenute più adeguate ad esprimere le risultanze.

Le **sezioni elettriche tomografiche** realizzate sono le seguenti:

Sezione elettrica ERT1	spaziatura 5 m	69 stazioni	lunghezza 340 m.
Sezione elettrica ERT2	spaziatura 5 m	69 stazioni	lunghezza 340 m.
Sezione elettrica ERT3	spaziatura 5 m	69 stazioni	lunghezza 340 m.

Le sezioni elettriche tomografiche con spaziatura 2.5m sono state realizzate posizionando nel terreno 31 elettrodi per la sezione ERT 1, 37 elettrodi per la sezione ERT2, e 24 elettrodi per la Sezione ERT 3, per una lunghezza totale di 192.5 m.

La sezione sismica tomografica realizzata è stata:

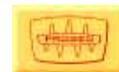
Sezione sismica 1	spaziatura 5 m	69 geofoni	lunghezza 340 m.
-------------------	----------------	------------	------------------

La sezione sismica a riflessione realizzata è stata:

Sezione sismica 1	spaziatura 2.5 m	213 geofoni	lunghezza 530 m.
-------------------	------------------	-------------	------------------

In coda alla relazione sono riportati gli Allegati grafici relativi alle ubicazioni di tutte le indagini eseguite e risultanze delle stesse.

Tutte le sezioni realizzate sono state oggetto di rilievo topografico mediante GNSS (GPS) differenziale e riportate sulla cartografia a disposizione.



Immagini del sito e dell'attività di acquisizione dati



Fig. 1.1: Particolare sezione sismica 1



Fig. 1.2: Particolare sezione sismica

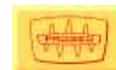
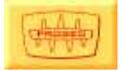


Fig. 1.3: Particolare postazione acquisizione dati sezione sismica con spaziatura 5 m e rilievo topografico



Fig. 1.4: Particolare sezione sismica a riflessione con spaziatura 2.5 m



2. PROSPEZIONE ELETTRICA TOMOGRAFICA

Le sezioni elettrotomografiche sono state realizzate utilizzando una spaziatura tra gli elettrodi di 5 m. La profondità investigata risulta direttamente proporzionale alla lunghezza dello stendimento con un rapporto circa pari a 1/5-1/6. La geometria di investigazione in profondità delle sezioni elettriche tomografiche è assimilabile ad un trapezio rovesciato dove la massima profondità sarà nella parte centrale dello stendimento sino alla perdita di informazioni alle due estremità.

2.1. GENERALITÀ

Il metodo geoelettrico si basa sulla misura tra due elettrodi (detti convenzionalmente MN) della differenza di potenziale ΔV connessa alla distribuzione nel sottosuolo di una corrente elettrica I immessa in una diversa coppia di elettrodi, detti AB. Si dimostra che si ottiene un valore di resistività apparente:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

che è funzione, oltre che della posizione reciproca dei 4 elettrodi anzidetti (dipendenza contenuta nel parametro K , detto fattore geometrico), della distribuzione della resistività elettrica delle rocce nel sottosuolo interessato dalla propagazione della corrente I .

I dati così acquisiti devono essere "interpretati" per ottenere, dall'insieme dei valori di ρ_a (resistività apparente), un modello dell'effettiva distribuzione delle resistività elettriche reali nel sottosuolo indagato.

Da questa distribuzione, con opportune tarature e/o in base alle conoscenze geologiche del sottosuolo, il modello geofisico viene trasformato in modello geolitologico.

La tomografia di resistività elettrica di superficie ha come obiettivo la costruzione di un modello elettrico bidimensionale o tridimensionale del sottosuolo effettuando delle misure di potenziale elettrico in seguito all'immissione di corrente elettrica nel sottosuolo.

Il principio fisico su cui si basano le misure di resistività elettrica è la legge di Ohm, che governa il flusso di corrente in un mezzo:

$$J = \sigma E$$

dove σ è la conducibilità elettrica [Siemens/m] del mezzo, E è l'intensità del campo elettrico applicato (V/m), J è la densità di corrente (A/m²).

Nelle indagini geoelettriche si è soliti esprimere anziché la conducibilità, la resistività $\rho = 1/\sigma$ [Ω m]. Nella pratica ciò che viene misurato è la differenza di potenziale tra due punti della superficie (schema sottostante).

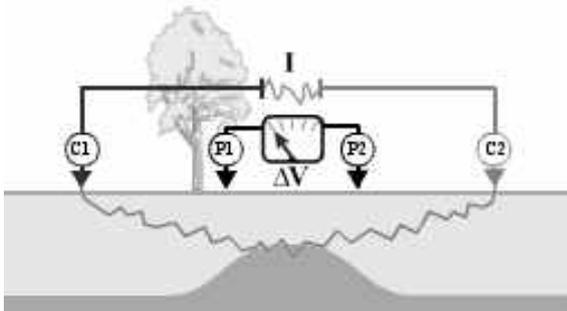
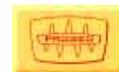


Fig. 2.1: Schema di base usato per le indagini elettriche: gli elettrodi C1 e C2 sono le sorgenti di corrente elettrica mentre P1 e P2 sono gli elettrodi di misura del potenziale

Nel caso di un semispazio omogeneo la differenza di potenziale misurata agli elettrodi P1 e P2 è pari a:



$$\Delta\Phi = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{C1P1}} - \frac{1}{r_{C2P1}} - \frac{1}{r_{C1P2}} + \frac{1}{r_{C2P2}} \right)$$

Le misure di campo sono condotte su mezzi non ideali e quindi eterogenei, la resistività inoltre varia in uno spazio tridimensionale per cui dalla corrente I e dalla differenza di potenziale si calcola un valore di resistività apparente:

$$\rho_a = k \frac{\Delta\Phi}{I}$$

$$\text{dove: } k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_{C1P1}} - \frac{1}{r_{C2P1}} - \frac{1}{r_{C1P2}} + \frac{1}{r_{C2P2}} \right)}$$

è un fattore geometrico che dipende dalla configurazione degli elettrodi.

Gli strumenti di misura, i georesistivimetri, rilevano un valore di resistenza ($R = \Delta\Phi/I$), per cui la resistività apparente si calcola come:

$$\rho_a = kR$$

Tale resistività è un valore appunto "apparente" che corrisponde cioè alla resistività che un semispazio omogeneo fornirebbe nella stessa configurazione elettrodica.

L'esecuzione di misure di resistività ottenute traslando lateralmente il quadripolo consente di ottenere informazioni relative a variazioni laterali di resistività.

Se invece si aumenta la spaziatura tra gli elettrodi di corrente e di tensione, aumenta la profondità di indagine e si ottengono informazioni maggiori sulle variazioni verticali.

La strumentazione tipica delle tecniche di tomografia elettrica permette di effettuare le due operazioni in modo automatico, e di associare ad ogni linea di misura, una distribuzione bidimensionale di resistività apparente, detta pseudosezione.

Per effettuare le misure ERT si utilizzano un certo numero di elettrodi (48-96 nelle configurazioni più recenti) disposti lungo un profilo, con passo dipendente dalla risoluzione e dalla profondità d'indagine richieste.

Questi sono collegati con un cavo multipolare al georesistivimetro, che consiste in un'unità switching che può essere esterna o interna, comandata da un microprocessore.

Tale unità ha la funzione di selezionare, per ogni lettura, gli elettrodi attivi (di corrente e di tensione).

La sequenza delle misure, così come il tipo di array, l'intensità di corrente e la durata delle acquisizioni, sono parametri di input usualmente impostati dall'utente.

Il formato di uscita della strumentazione normalmente permette di ottenere per ogni misura, la corrente immessa, la differenza di potenziale, la configurazione elettrodica, la resistività apparente ed una stima statistica sulla qualità delle misure.

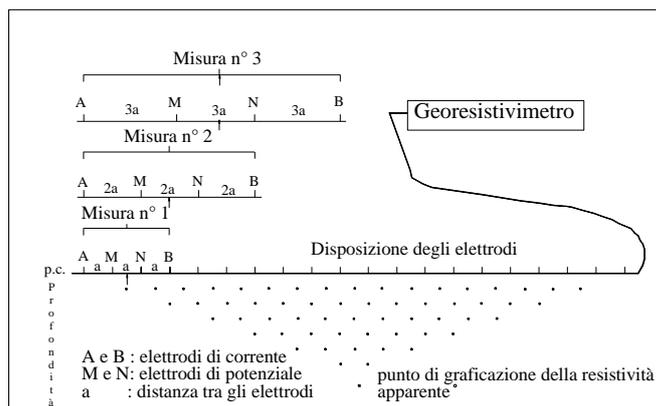
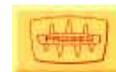


Fig. 2.2: Sistema di acquisizione dei dati utilizzando il dispositivo di WENNER

La metodologia di misura multielettrodo (messa a punto da Barker, 1981) permette di disporre sul terreno non 4 elettrodi per volta ma un numero superiore, generalmente disposti lungo un profilo, con passo dipendente dalla risoluzione e dalla profondità d'indagine richieste.

Agli elettrodi viene alternativamente inviata la corrente o misurata la differenza di potenziale, in una sequenza preprogrammata ed automatica.

Si ottiene così una pseudosezione di resistività apparente che, con un algoritmo di inversione, viene convertita in resistività reale.

La distribuzione della resistività reale sulla sezione interpretativa copre solo una parte della sezione (di forma trapezoidale o triangolare, a seconda che si usi il dispositivo di acquisizione di Wenner o dipolo-dipolo), mentre le estremità della sezione (non essendo coperte dai percorsi delle linee elettriche) non forniscono informazioni utili.

Le configurazioni elettrodiche più utilizzate nelle indagini geofisiche di resistività sono sicuramente la Wenner, la Dipolo-Dipolo e la Wenner-Schlumberger.

Le configurazioni differiscono principalmente in relazione a potere risolutivo, profondità di investigazione, copertura orizzontale e stabilità del segnale.

La configurazione Wenner presenta un'alta risoluzione verticale e quindi una capacità elevata nel discriminare strutture o stratificazioni orizzontali, una buona profondità di investigazione, scarsa copertura orizzontale e una buona stabilità del segnale, essendo quest'ultima inversamente proporzionale a K .

La configurazione Dipolo-Dipolo, presenta invece una alta risoluzione orizzontale e quindi una capacità elevata nel discriminare strutture verticali (variazioni laterali di resistività, cavità ecc.), profondità di investigazione e ampiezza del segnale misurato minori rispetto al Wenner, ma con una maggiore copertura orizzontale.

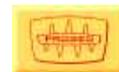
Il dispositivo Wenner-Schlumberger rappresenta una soluzione ibrida ed è quello più utilizzato in geofisica ambientale poiché costituisce il giusto compromesso tra le caratteristiche sopra descritte.

Per ottenere, a partire dai valori di resistività apparente, la distribuzione nel sottosuolo delle resistività reali, è necessario risolvere un "problema inverso".

In molte applicazioni geofisiche, la soluzione del problema inverso consente di determinare i valori di quantità non misurabili direttamente, parametri incogniti, a partire da quantità misurabili, i dati sperimentali, attraverso l'assunzione di un modello, cioè di una legge fisica che li correla.

Tale modello è una rappresentazione matematica ed ideale di una porzione di sottosuolo; il modello è caratterizzato dai "parametri del modello" che sono le quantità fisiche che si vuole stimare dai dati misurati.

Nel caso della tomografia elettrica, si vuole stimare la distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo a partire da misure effettuate in superficie.



Il software utilizzato nell'inversione (ERTLAB64©) implementa un modello a celle (o blocchi), i cui parametri sono i valori di resistività delle singole celle in cui il sottosuolo è stato suddiviso; la soluzione agli elementi finiti o alle differenze finite fornisce i valori di resistività reale.

Dal modello geofisico, con opportune tarature e/o in base alle conoscenze geologiche del sottosuolo, si elabora un modello geolitologico.

2.2. OPERAZIONI DI CAMPAGNA

La sequenza di misura ha previsto una configurazione Wenner-Schlumberger con tempo di acquisizione pari a 0.25 secondi e voltaggio massimo di 400 V con un dispositivo combinato di acquisizione dati (Wenner e Schlumberger) su 10 livelli.

Per ogni misura si è definita una ripetizione minima pari a 2 ed una massima pari a 4. L'errore massimo è stato fissato pari al 2% (differenza tra le misure ripetute).

2.2.1 Sorgente di energia ed apparati di ricezione

Agli elettrodi viene alternativamente inviata la corrente o misurata la differenza di potenziale, in una sequenza preprogrammata ed automatica.

Gli elettrodi sono costituiti da paletti in acciaio collegati tra loro da un cavo multiconduttore.

Nel caso specifico, lo strumento utilizzato consente il collegamento simultaneo di 3 cavi con 24 connettori in modo da consentire l'utilizzo simultaneo di un massimo di 72 conduttori indipendenti (nel caso in esame sono stati tutti utilizzati); sono state utilizzate prese esterne per l'attacco agli elettrodi disponibili in funzione del dettaglio e della profondità d'indagine.

2.2.2 Acquisizione dati

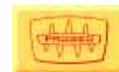
Per l'indagine in oggetto è stato utilizzato un georesistivimetro Syscal Pro (Iris Instruments, Orléans Cedex, Francia) a 96 elettrodi, collegato a cavi multielettrodo a 24 uscite che possiede caratteristiche di tensione massima di 600 V e potenza di 175 W (con alimentazione da batteria esterna da 70 A/h).

Lo strumento di acquisizione dati è costituito da un georesistivimetro digitale con unità di controllo e gestione multielettrodo, in grado di eseguire via software la misura e la memorizzazione della resistenza di contatto degli elettrodi e la misura, la memorizzazione e l'azzeramento dei potenziali spontanei.



Fig. 2.3: Georesistivimetro IRIS Syscal Pro a 96 canali

La risoluzione di tali misure è di 30 nV, mentre la possibilità di memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione è di alcune migliaia di misure costituite ciascuna dai valori di resistività, differenza di potenziale (con verifica della qualità del dato tramite il calcolo della deviazione



standard), intensità di corrente (con iniezione di corrente in quantità, periodo e sequenza opportune) e geometria degli elettrodi.

Cenni sulle caratteristiche elettriche dei materiali

La resistività dei terreni è controllata principalmente dai seguenti fattori:

1. grado di saturazione dei pori;
2. porosità;
3. salinità del fluido presente nei pori;
4. temperatura;
5. presenza di sostanze organiche (idrocarburi, solventi, ecc.);
6. presenza di argilla.

La relazione empirica (proposta da Archie) è valida per suoli avente scarsa componente argillosa (sabbie, ghiaie):

$$\rho_s = \rho_f a \phi^{-n} S^{-m}$$

dove:

- ρ_s resistività ($\Omega \cdot m$) del suolo parzialmente saturo di fluido,
- ρ_f resistività ($\Omega \cdot m$) del fluido presente nei pori,
- S frazione del volume di pori occupata dal fluido,
- m coefficiente di saturazione (solitamente assunto essere pari a 2),
- a costante empirica, detta di Winsaur (tipico per sabbia : 0.62),
- n coefficiente empirico, detto di "tortuosità" (tipico per sabbia :2.15),
- ϕ porosità del suolo.

La resistività del fluido ρ_f è calcolabile qualora si conoscano le concentrazioni di ioni in soluzione (ad es. Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , ecc.) utilizzando la formula:

$$\rho_f = 0.0123 + 10 (3.562 - 0.955 \log_{10} C)$$

dove C è la somma delle concentrazioni (pesate da opportuni coefficienti ricavati sperimentalmente per ciascun ione) di tutti gli ioni presenti.

I fluidi altamente salini, come ad esempio il percolato che si forma nelle discariche di rifiuti solidi urbani, possono rendere terreni naturalmente resistivi (sabbie, ghiaie) in terreni a comportamento conduttivo.

I cationi adsorbiti sulla superficie delle particelle di argilla (e, in minor misura, di limo) offrono cammini aggiuntivi per la corrente elettrica e quindi aumentano la conducibilità dei sedimenti.

Esistono relazioni semi-empiriche valide per il calcolo della resistività di sedimenti con componente argillosa non trascurabile, che non riporteremo in questo contesto.

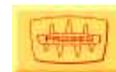
Si ricordi soltanto nel seguito che terreni limoso-argillosi risultano sempre più conduttivi rispetto a quelli sabbiosi e ghiaiosi, ovviamente a parità di saturazione e a parità di fluido presente nei pori.

Tipicamente le resistività possono scendere, in corrispondenza delle zone più argillose, fino a valori inferiori a 15-20 $\Omega \cdot m$, anche nel caso di terreno relativamente secco.

Per i materiali più lapidei le resistività tendono inevitabilmente ad incrementare raggiungendo valori anche di varie migliaia di Ohm ma nella maggior parte dei casi le rocce locali, costituite principalmente da marne con gessi e calcari, giungono attorno ad un massimo di 100-200 Ohm.

Nei casi in cui si rilevino valori più elevati si può essere in un contesto anomalo per la presenza di cavità per dissoluzione dei gessi dove si può giungere anche a valori superiori a 200-300 Ohm.

E' da considerare che la presenza di cavità rende infinita la resistività, ovviamente nel settore dove questa è presente, ma si deve considerare che la misura elettrica considera anche i materiali presenti tra la superficie e la cavità stessa per cui non si avranno mai valori infiniti ma più elevati del contesto in cui questa si trova.



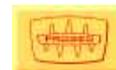
Per questo motivo, per la ricerca di cavità, si devono valutare i parametri dell'ammasso in cui questa si localizza e considerare "anomali" i valori decisamente superiori alla media per valore ed anche perché il processing tende poi a confinare.

Il processing elettrico è un processo iterativo che può essere infinito ma che viene sospeso dal tecnico quando l'immagine tende ad essere sufficientemente definita per fornire una corretta e plausibile interpretazione.

Nella tabella seguente si riportano a semplice titolo indicativo i range di resistività elettrica di alcuni terreni e rocce.

Materiale	Resistività ($\Omega.m$)	Materiale	Resistività ($\Omega.m$)
Acqua dolce	10-100	Dolomie	500 - 10000
Acqua salata	0.2	Calcare, gesso	500 - 3500
Suolo di copertura	10 - 200	Gneiss e graniti sani	2000 - 10000
Argille	1-50	Gneiss e graniti alterati	100 - 1000
Argille sabbiose - silt	25 - 100	Marne	10-50
Sabbia, ghiaia in falda	200 - 400	Piroclastiti	50-600
Sabbie con argille	50 - 300	Rocce ignee	100 - 10000
Sabbia, ghiaia asciutta	800 - 5000	Arenarie	200 - 5000
Ghiaia e sabbia secca	1000 - 10000	Tufi	150 - 1000
Ghiaia e sabbia sature d'acqua dolce	50-500		
Ghiaia e sabbia sature d'acqua salata	2-10		

Fig. 2.4: Valori caratteristici di resistività elettrica da Ulriksen (1982), Telford (1990), Reynolds (1997).



2.3. ELABORAZIONE DATI

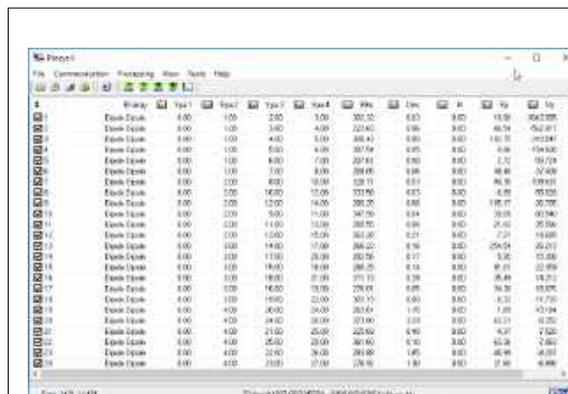
L'aspetto elaborativo della tomografia elettrica consiste nell'inversione 2D dei profili elettrici di superficie ottenute tramite l'array di misure secondo la metodica usata (Wenner, dipolo-dipolo ecc.) definiti in funzione sia degli obiettivi della ricerca sia della "stabilità" del campo elettrico locale. L'elaborazione dei dati è stata sviluppata secondo due fasi successive a cui precede una fase di filtraggio dei dati per ridurre il "rumore" ambientale".

La prima fase è consistita nella ricostruzione di "pseudosezioni" di resistività tramite l'utilizzo di software di contouring (Surfer della Golden Software) e in un preliminare filtraggio delle misure con l'utilizzo del software Prosys II (specialmente nel caso disturbi alle misure per presenza di sottoservizi, solette in cemento armato, ecc. Nella seconda fase si è proceduto al calcolo dei valori di resistività vera tramite inversione bidimensionale e sviluppo di un adeguato modello di distribuzione della resistività del sottosuolo. Il software impiegati (ERTLAB e RES2DINV) utilizzano il metodo degli elementi finiti (FEM) in due dimensioni per modellare la risposta elettrica del sottosuolo ed applicano l'eventuale correzione topografica.

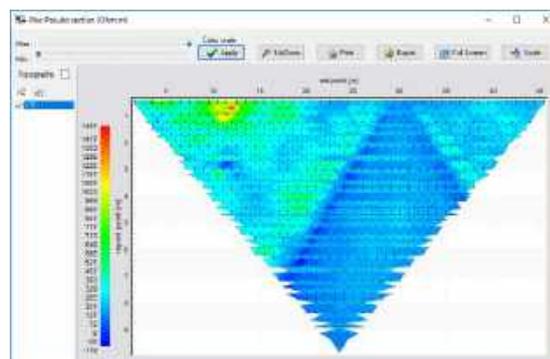
Dato in input la geometria della linea di acquisizione ed il file di dati relativo alle misure di resistività apparente il software definisce una maglia discreta di elementi trapezoidali per permettere la compensazione di qualsiasi tipo di dislivello tra le posizioni elettrode. La procedura di calcolo iterativo di inversione, dei parametri di resistività apparente in resistività reale, minimizza l'errore tra i dati di campo e quelli simulati mediante il FEM secondo la metodica proposta da Sasaki (1994) ed altri.

La convergenza dell'algoritmo è ottenuta con la stima automatica di un parametro di stabilizzazione (metodo dei coefficienti reciproci generalizzati) mentre la riduzione del "rumore di fondo" viene realizzata mediante regressione lineare iterativa valutando le varianze statistiche di ciascuna misura. La rappresentazione tomografica finale della sezione di resistività reale avviene sempre mediante software di contouring (Surfer) con il quale i valori dei parametri elettrici vengono espressi mediante contour line delle iso-resistive e falsi colori.

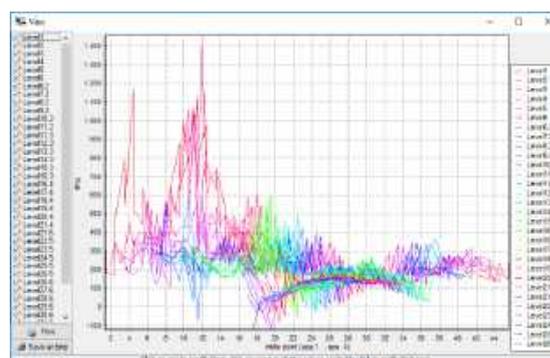
Le variazioni di resistività, per rendere confrontabili i risultati delle diverse sezioni, sono state rappresentate secondo una scala di colori uniforme per tutte le sezioni.



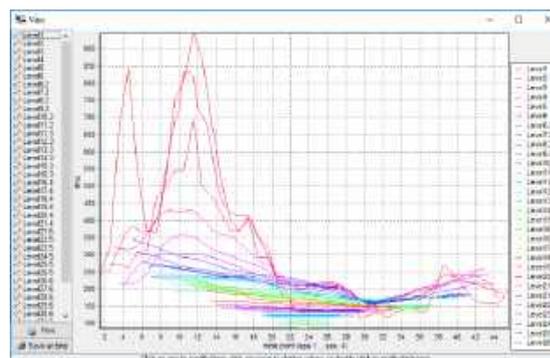
Dati raw



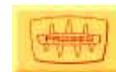
Pseudo sezione prefiltering



Log dati prefiltering



Log dati dopo il filtraggio



2.4. COMPORTAMENTO DELLA RESISTIVITÀ NEI MATERIALI LITOLOGICI

La resistività elettrica delle rocce è controllata essenzialmente dalla conduzione elettrica di tipo elettrolitico attraverso i pori, le fratture, le faglie e le zone di debolezza strutturale. La conduzione elettrica nelle soluzioni elettrolitiche nelle formazioni rocciose avviene essenzialmente attraverso i pori interconnessi, lungo le superfici dei grani solidi, attraverso le fratture e le faglie; ovviamente l'apporto alla conduzione elettrica dei minerali silicati è praticamente trascurabile. In generale per una roccia con una determinata porosità efficace, tanto maggiore è il contenuto di sali disciolti nell'acqua, tanto più elevata è la conducibilità e minore la resistività (è un rapporto inversamente proporzionale).

Gli elementi principali che governano la resistività elettrica dei mezzi rocciosi sono pertanto riassumibili in:

- 1) le condizioni di porosità, saturazione in acqua e contenuto salino;
- 2) l'incremento della temperatura abbassa la viscosità delle acque e aumenta la mobilità ionica, con il risultato che la resistività elettrica si abbassa;
- 3) formazioni calcaree con grani omogenei presentano numerosi spazi intergranulari vuoti e che, se saturi, danno bassi valori di resistività; viceversa formazioni calcaree con grani eterogenei presentano una porosità efficace ridotta e quindi bassi valori di resistività;
- 4) fenomeni di dissoluzione lungo le fratture nei calcari e nelle arenarie aumentano la porosità e abbassano la resistività elettrica; mentre la precipitazione di alcuni minerali occlude i pori e tende ad aumentare i valori di resistività;
- 5) una roccia granitoidale consente il passaggio della corrente elettrica nelle microfrazioni e lungo l'interfaccia tra i grani minerali; la porosità è tipicamente molto bassa e pertanto i valori di resistività sono molto elevati mentre le formazioni di basalto presentano molte microcavità o pori tra di loro non interconnessi; pertanto in generale un basalto anche con elevata porosità può presentare elevati valori di resistività.

In generale i processi geologici riducono i valori di resistività della roccia, salvo alcune eccezioni.

L'alterazione superficiale o idrotermale di rocce granitoidi diminuisce i valori di resistività; la fratturazione di rocce basaltiche diminuisce la resistività di diversi ordini di grandezza; fenomeni di microfratturazione, fratture e faglie attive, fenomeni di dissoluzione aumentano la permeabilità dei fluidi e pertanto abbassano la resistività.

La precipitazione di rocce carbonatiche e di silicati riduce invece la porosità e la permeabilità dei fluidi e pertanto aumenta la resistività.

Fenomeni di compattazione e cementazione e fenomeni metamorfici provocano solitamente effetti di aumento dei valori di resistività.

Infine l'intrusione salina provoca un aumento degli ioni in soluzione il che equivale ad una riduzione della resistività.

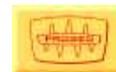
Il ruolo delle particelle di argilla è invece particolarmente importante, in quanto esse agiscono solitamente come un percorso di conduzione elettrica, dovuta a fenomeni definiti di doppio strato o di scambio di cationi, separata dalla normale conduzione di tipo elettrolitico.

La resistenza totale di questo percorso elettrico aggiuntivo è normalmente molto bassa; l'effetto di particelle di argilla disseminate sulla resistività complessiva delle rocce aumenta di importanza al diminuire della conducibilità idraulica attraverso i pori.

Le alterazioni di tipo idrotermale, specialmente nelle rocce silicee, trasformano in feldspati in caolinite, montmorillonite e altri minerali argillosi. Nelle rocce basiche, le trasformazioni in minerali quali clorite e serpentinite possono provocare variazioni della resistività elettrica.

In ragione delle diverse motivazioni sopra accennate, i rilievi elettrici non sono in grado di caratterizzare in modo univoco un determinato litotipo o distinguere tra differenti litotipi.

Viceversa, la caratterizzazione elettrica di ammassi rocciosi consente di ottenere informazioni di notevole affidabilità circa le condizioni idrogeologiche del sito, la presenza di zone argillificate e l'esistenza di faglie e zone di riempimento di materiale fluido o argilloso.



3. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA

3.1. MODALITA' OPERATIVE

3.1.1. Generalità

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione (P) e di taglio (S) tra il punto di energizzazione in superficie (shot) e vari punti di ricezione (geofoni) disposti sulla superficie topografica.

L'analisi della velocità di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo, longitudinali (V_p) e trasversali (V_s) ottenuta conoscendo la distanza shot-ricevitore ed il relativo tempo di arrivo dell'impulso sismico ($\text{velocità}=\text{spazio}/\text{tempo}$), consente di rilevare in sintesi le proprietà fisiche e meccaniche dei terreni, poiché i valori di V_p e V_s sono proporzionali al grado di compattezza dei mezzi percorsi.

L'elaborazione dei dati e le relative rappresentazioni cartografiche sono state effettuate secondo le disposizioni della Committenza, tramite tecnica analitica tomografica.

L'analisi tomografica, nella quale cioè il sottosuolo della sezione sismica viene suddiviso in minime celle analitiche, ha consentito rispetto ad analisi standard per rifrattori (ad esempio G.R.M., Generalized Reciprocal Method-Palmer -1980) un'elaborazione più di dettaglio in termini di velocità particellari dell'intero ammasso, permettendo di distinguere mediante rappresentazioni a countour line di isovelocità anche intorno minimi con caratteristiche differenziate per variazioni di consistenza, grado di alterazione, petrografia, granulometria o addensamento.

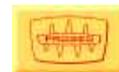
Quindi, le prospezioni geosismiche a rifrazione, specialmente quelle con tecnica tomografica, mediante la delineazione particolareggiata di aree di discontinuità fisica possono validamente contribuire alla definizione dello stato di resistenza del materiale, ad ampie correlazioni stratigrafico-geomeccaniche ed a significative ricostruzioni geomorfologiche.

Riguardo inoltre alla correlazione con i contatti litostratigrafici individuati nei sondaggi geomeccanici, nel caso questi siano presenti, l'identificazione dei livelli o settori rilevati dalla prospezione geosismica con tecnica tomografica dipende dal grado di effettiva omogeneità dello spessore litostratigrafico.

Cioè molto spesso interferiscono, con effetti opposti, fenomeni di cementazione o di disaddensamento al tetto e/o al letto dello strato geologico, i quali causano rispettivamente un innalzamento e un abbassamento dei valori particellari di velocità sismica per cui non necessariamente devono coincidere livelli di discontinuità fisica e semplici delimitazioni geologiche.

Anzi la prospezione geosismica a rifrazione, specialmente quella con tecnica tomografica grazie al suo estremo dettaglio analitico, può mettere in luce importanti effetti di anisotropia laterale anche entro uno stesso livello litostratigrafico indicati da significative variazioni verticolaterali dei valori di velocità di propagazione delle onde elastiche che evidenziano stati particolari di degradazione non sempre individuabili direttamente dalle analisi litologiche e geotecniche relative ai limitati prelievi nei punti di perforazione.

Per l'insieme delle osservazioni sopra esposte, l'elaborazione dei diversi risultati ottenuti mediante un accurato rilievo di sismica a rifrazione, può rispondere validamente ad esigenze di sintesi analitica e geognostica secondo convenienti criteri di praticità.



3.1.2. Sorgente di energia

Per la generazione delle onde sismiche di compressione e taglio è stato utilizzato un sistema "leggero", che è rappresentato da un maglio da 10 Kg strumentato con sensori che impatta su una piastra in metallo per le onde di compressione, lo stesso dispositivo fatto impattare al terreno in modo parallelo alla superficie ha permesso di generare le onde di taglio.

3.1.3. Apparato di ricezione

Sono stati utilizzati geofoni da 40 Hz con asse strumentale verticale per ricezione onde P, e geofoni da 14 Hz con asse strumentale orizzontale per le onde di taglio, posizionati sul terreno ad intervalli variabili in funzione del dettaglio richiesto collegati tra loro da cavo elettrico e tramite questo al sistema di registrazione.

Inoltre è stato usato un geofono (geofono del time break o hammer switch) applicato nelle estreme vicinanze dell'apparato energizzatore, il quale costituisce il dispositivo di trigger per l'inizio della registrazione; tale segnale viene trasmesso tramite impulsi radio al sismografo.

3.1.4. Operazioni di campagna

Le operazioni di campagna per consentire l'elaborazione tomografica più di dettaglio sono analoghe a quelle di sismica standard con elaborazione per rifrattori anche se, per i rilievi di sismica tomografica, il numero di registrazioni che vengono realizzate è assai superiore (anche più del doppio) per consentire di avere a disposizione una quantità di dati tale da coprire con la giusta geometria dei raggi e in maniera omogenea l'intera sezione sismica in tutti i settori e fino alle profondità adeguate senza lasciare tratti scoperti o disomogenei.

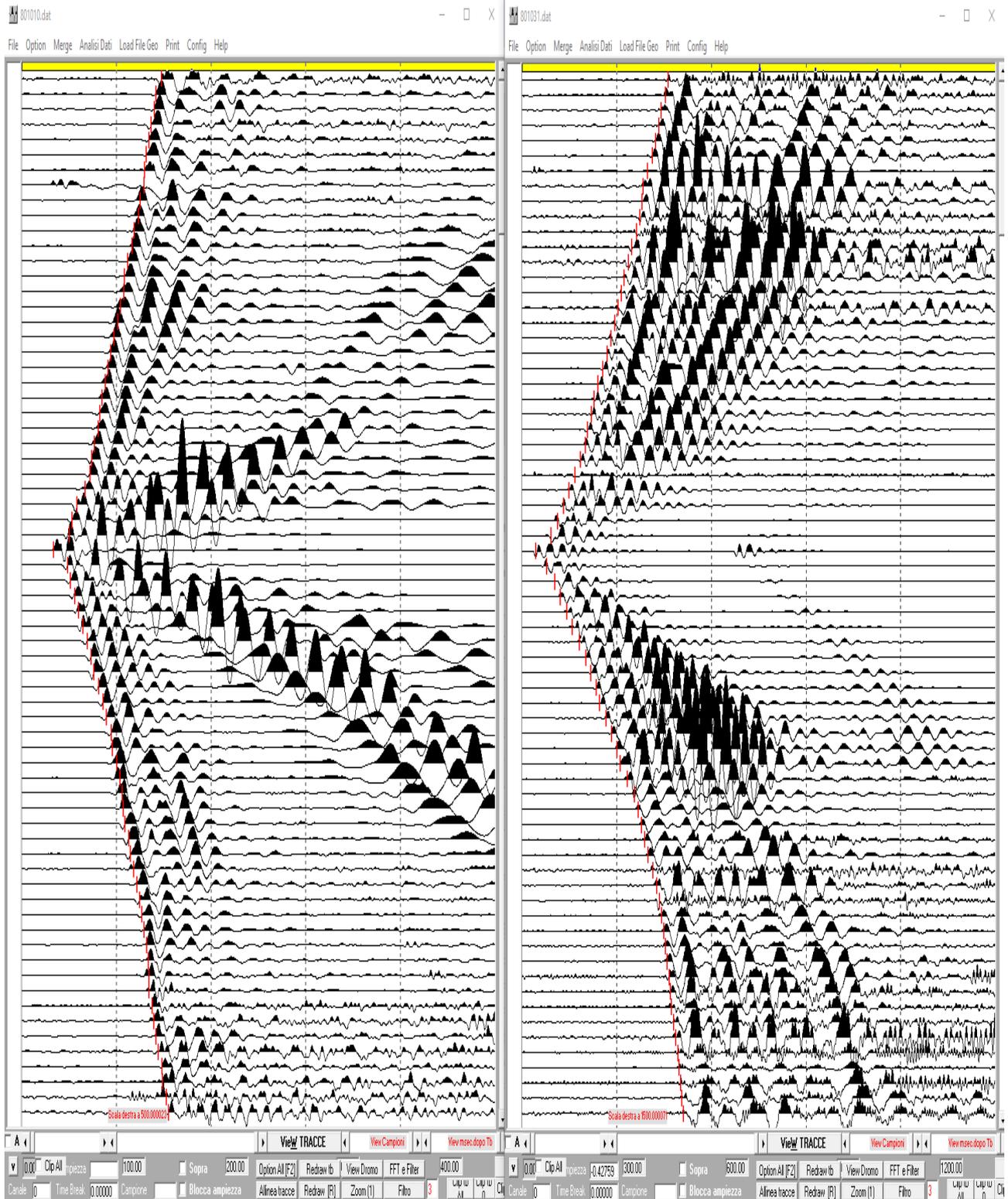
Eseguito il posizionamento dei geofoni sul terreno, collegati questi tramite morsetti bipolari al cavo elettrico e quest'ultimo al sistema di registrazione, verificati i segnali via radio tra apparato di energizzazione e di ricezione, sono stati realizzati alcuni shot di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione dello strumento di registrazione dati.

Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alla prospezione sismica a rifrazione in modo tale che dopo ogni energizzazione (o somma di energizzazioni) su ciascun punto d'impatto prestabilito, si fosse acquisito e registrato il segnale sull'hard disk del p.c. collegato al sismografo per la successiva elaborazione da effettuarsi in sede.

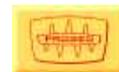
3.1.5. Acquisizione dati

Gli impulsi sismici ricevuti dai geofoni posizionati sulla superficie topografica sono stati acquisiti utilizzando vari sismografi EG&G Geometrics Geode a 24 canali di registrazione simultanea in modo che, avendo a disposizione un numero sufficiente di canali attivi per tutti i geofoni collegati, si procede con gli impatti lungo l'allineamento sismico senza dover effettuare altri collegamenti e registrazioni parziali durante la fase di acquisizione dati e quindi con notevole guadagno in tempi esecutivi di campagna.

I dati acquisiti, dopo amplificazione, conversione analogico/digitale e filtraggio, vengono registrati nel supporto magnetico (computer) al quale sono collegati in serie i Geodi utilizzati.



Esempio di records acquisiti
A sinistra sezione L1 da 69 stazioni con shot sul canale 32: onde di compressione P - record time 0.500 sec
A sinistra sezione L1 da 69 stazioni con shot sul canale 32: onde di taglio S - record time 1.5 sec



3.2. ELABORAZIONE DATI

3.2.1. Elaborazione sismogrammi (preprocessing)

Traduzione tracce sismiche

La prima operazione che è stata eseguita in sede, una volta terminata la fase di acquisizione dati in campagna, è stata quella di tradurre i file di dati.

Questa fase di preprocessing permette di convertire il formato con cui i dati sismici sono registrati dal sismografo EG&G GEOMETRICS GEODE in quello del programma elaborativo (**SeisView**[®]).

Analisi dei first break peak (F.B.P.)

Di seguito è stata fatta all'elaboratore col programma **Seisview**[®] la ricerca su ciascuna traccia di ogni sismogramma del primo arrivo (F.B.P. first break peak) dell'onda di compressione (P) e di taglio (S).

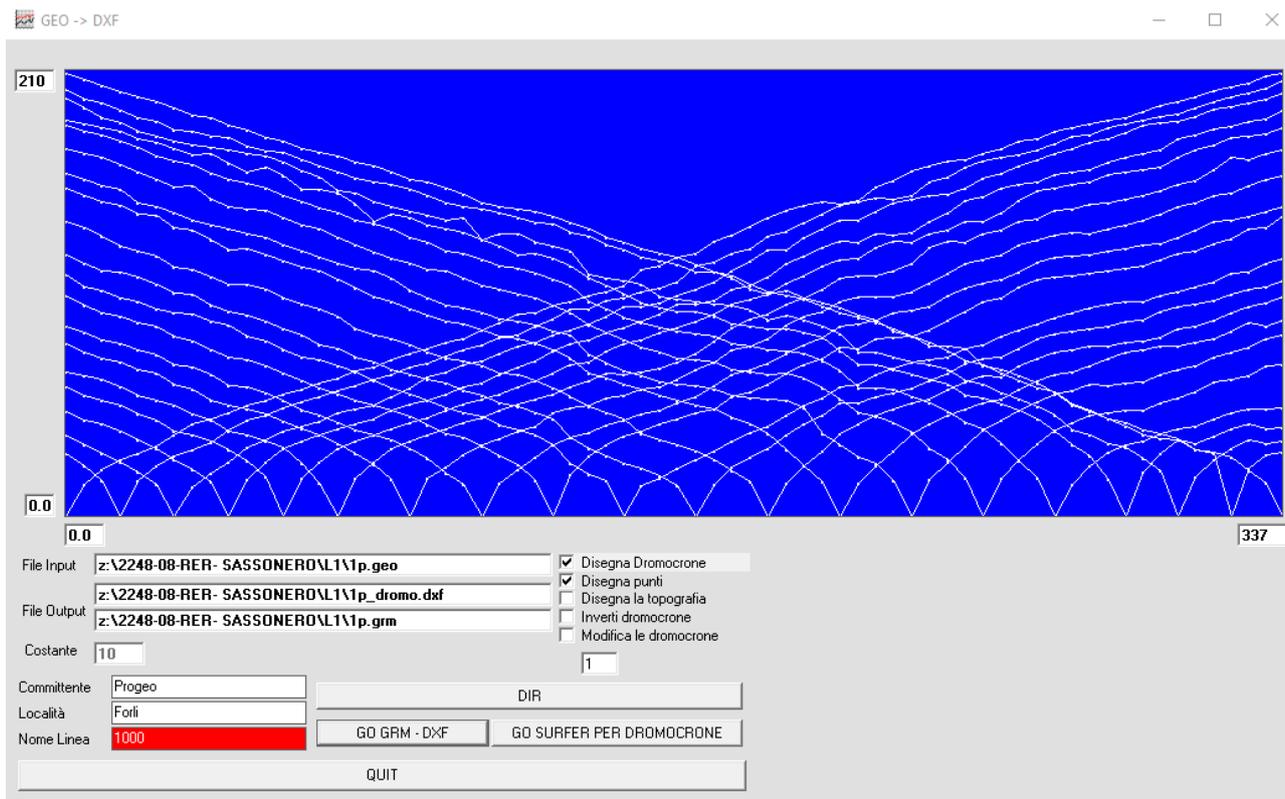
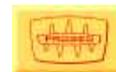
Di ogni file di dati acquisito in campagna è stato quindi creato un nuovo file con i tempi di arrivo (in millisec) degli F.B.P.; tutti i file F.B.P. relativi ad una singola sezione sismica sono stati riuniti in un unico file di dati (con programma originale **Graf-Dxf**[®]).

Tali dati possono essere graficizzati per ottenere la rappresentazione delle Diagrafie Tempidistanze (Dromocrone) della sezione sismica.

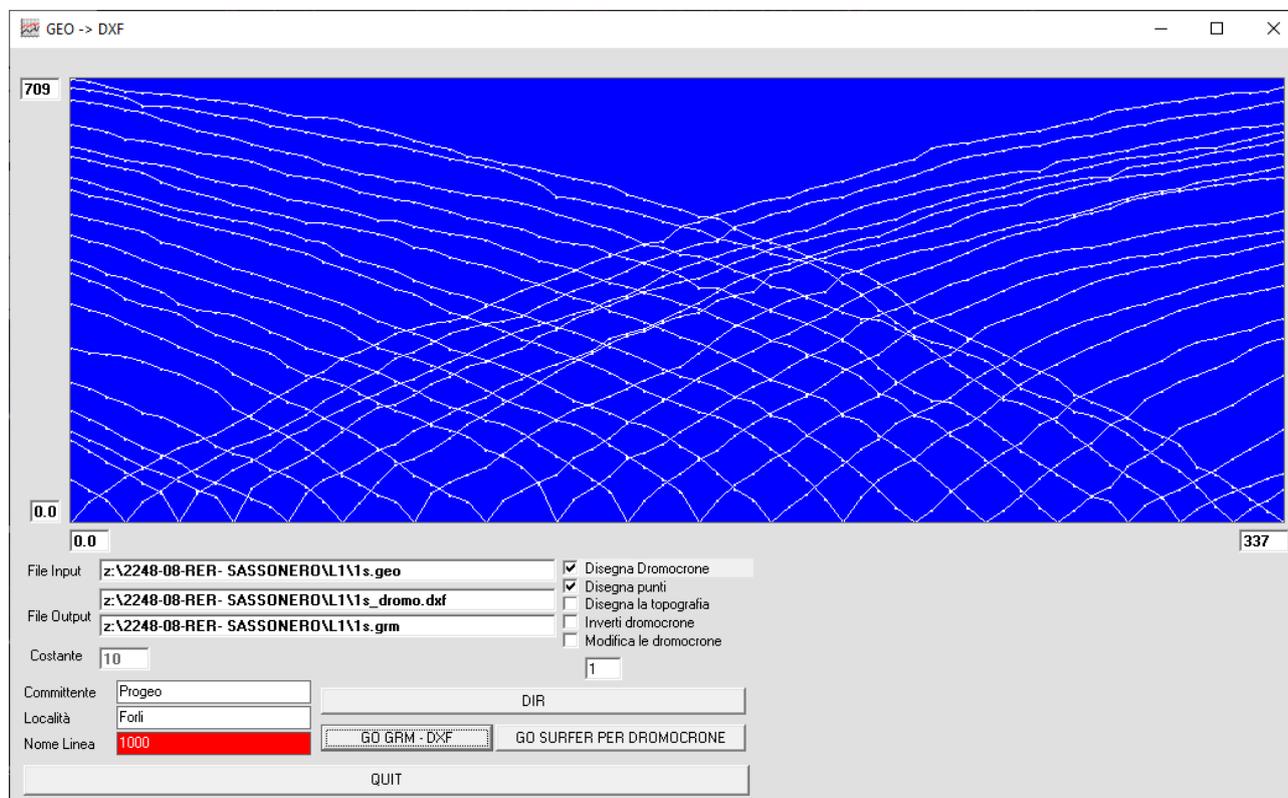
I dati in formato numerico sono invece stati inseriti (opportunamente tradotti per poter essere analizzati dagli specifici programmi elaborativi) nel programma originale **S.R.A.**[®] (Seismic Refraction Analysis) per l'elaborazione tomografica.

Alle figure successive sono riportate le dromocrone delle varie sezioni acquisite sia in onde di compressione che di taglio.

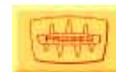
Questo sono i dati che vengono poi passati al programma di tomografia per effettuare l'inversione ed ottenere i valori in velocità di compressione e taglio.



Dromocrone sezione L1 ad onde di compressione



Dromocrone sezione L1 ad onde di taglio



3.2.2. Elaborazione della sezioni tomografiche a countour line (processing in velocità)

L'elaborazione delle sezioni mediante analisi tomografica viene effettuata sia per avere un maggior dettaglio in termini di consistenza dell'ammasso sia per raggiungere maggiori profondità d'investigazione sopperendo quindi alla comune mancanza di rifrattori significativi procedendo in profondità specialmente in seguito alla presenza di materiale non sufficientemente differenziato nei termini dei parametri elastici.

Definizione della geometria della ricerca

La prima procedura di elaborazione tomografica consiste nella ricerca della geometria di percorso dei raggi sismici da ogni punto di energizzazione a ciascun geofono collegato che ha registrato l'impulso proveniente da quello stesso punto.

Tale operazione preliminare viene effettuata mediante tecniche di Ray Tracing Curvilineo.

Ray tracing e definizione dei parametri di calcolo

Il file di dati di ciascuna sezione sismica precedentemente ottenuto, è stato per questo inserito nel programma di calcolo **S.R.A.**[®] (Seismic Refraction Analysis, programma originale sviluppato dalla Progeo che utilizza la piattaforma di Windows); il quale traccia, sulla base di una prima modellazione in velocità del sottosuolo, i vari raggi sismici che coprono da un estremo all'altro dello stendimento sismico l'intera area investigata al di sotto della superficie topografica.

La profondità d'indagine è funzione della lunghezza dello stendimento, di quella dei "tiri" di registrazione degli impulsi sismici e della velocità del materiale investigato dai raggi sismici.

La geometria d'indagine dei raggi sismici mediante elaborazione tomografica consente infatti il raggiungimento di profondità massime al centro della sezione (la figura geometrica della sezione sismica è assimilabile a quella di un trapezio con la base maggiore in superficie) di circa 1/5 della lunghezza dell'allineamento in superficie considerando che questo sia stato interamente coperto da un estremo all'altro dal "tiro" sismico.

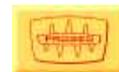
L'elaborazione tomografica è ottenuta utilizzando celle di analisi di larghezza coerente con la geometria d'indagine ed approssimativamente con larghezza pari alla metà della spaziatura dei sensori ed altezza pari ad un quarto di quest'ultima.

Analisi delle risultanze delle velocità

Il passo successivo è stato l'applicazione sempre con lo stesso programma **S.R.A.**[®] di procedure tipo **S.I.R.T.** (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique) le quali forniscono valori di velocità sismica per partizioni unitarie (celle di analisi di dimensione metrica), col quale l'operatore cerca, con successive iterazioni dalla prima modellazione del sottosuolo, di far convergere i dati (dal punto di vista statistico cioè fino a quando gli scarti quadratici e le varianze dei tempi calcolati sono minimi rispetto a quelli definiti in input) i dati calcolati con quelli reali e corrispondenti ai tempi ottenuti dalle dromocrone originali.

In pratica le successive approssimazioni calcolate dall'elaboratore coi dati sempre più affinati e inseriti dall'operatore terminano quando le dromocrone, relative a quella data distribuzione di velocità partecellari, sono coincidenti e con scarto minimo (mediamente inferiore a 0.5%) con quelle reali ottenute dalle letture degli F.B.P. sui sismogrammi.

Inoltre con tale tecnologia elaborativa si sopperisce alla mancanza di rifrattori significativi e alla presenza, assai comune col procedere in profondità, di materiale non sufficientemente differenziato nei termini fisici dei parametri elastici, per cui le tecniche tradizionali di sismica a rifrazione non riescono a discriminare il grado di consistenza, alterazione o disomogeneità dell'ammasso.



4. SISMICA A RIFLESSIONE AD ONDE DI TAGLIO CON SORGENTE VIBRANTE

La sezione d'indagine geofisica è stata finalizzata alla ricerca di forme geometriche che possano essere ricondotte a superfici di scorrimento.

Al fine di verificare la presenza di anomalie riferibili a tali fenomeni gravitativi si è applicata una tecnica geofisica riferibile alla sismica a riflessione ad onde di taglio generate da un vibratore.

La sezione d'indagine è stata effettuata lungo il tracciato indicato per una lunghezza di 530 m.

Dal punto di vista tecnico si è operato con:

Array mobile di 96 geofoni orizzontali interdistanti 2.5 m;
N° 5 sismografi Geometrics Geode collegati in rete locale all'array di geofoni;
Metodologia di acquisizione "Split spread" e "Asimmetrico" nel tratto terminale della sezione dove l'array diventa statico cioè con l'ultimo sensore posizionato a fine sezione.
Energizzazione ad interdistanza di 10 m;
Energizzazione mediante vibratore Elviss III S8 (www.geosym.de);
Tempo di vibrata 10 secondi, registrazione 1 sec, campionamento 1 millisecondo.
Rilevamento topografico mediante GNSS Leica.

Processing dati utilizzando il software Claritas 7.4 (<https://www.petrosys.com.au/claritas>).

Per la sezione sismica si sono acquisiti 99 file ognuno da 96 tracce.

5. ELABORAZIONE DATI

La tecnica sismica di riflessione è il metodo geofisico più largamente impiegato soprattutto nella ricerca di strutture geologiche e tettoniche, in particolare profonde.

La tecnica di prospezione più comune presuppone il cosiddetto rilievo continuo: gli orizzonti riflettenti vengono seguiti in modo continuo lungo il profilo mediante stendimenti simmetrici (split spread) o asimmetrici (end on) rispetto al punto di energizzazione.

Il risultato di un profilo sismico dipende in gran parte dai parametri utilizzati nel corso dell'acquisizione dati, parametri che vengono scelti dopo aver realizzato un profilo walkaway.

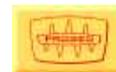
Si tratta di un test in campagna per saggiare le caratteristiche dell'obiettivo scopo della ricerca e dei terreni da cui scegliere la migliore configurazione dei parametri di acquisizione.

I parametri da definire in questa procedura sono i seguenti:

- 1) lunghezza della registrazione (record length) e intervallo di campionamento (sample rate);
- 2) massima distanza tra sorgente e geofono (maximum offset);
- 3) minima distanza tra sorgente e geofono (minimum offset);
- 4) distanza tra le stazioni geofoniche;
- 5) tipo di stendimento ("END-ON", ovvero asimmetrico con shot da un estremo sezione);
- 6) controllo automatico di guadagno (AGC OFF);
- 7) filtri digitali (Notch ON).

Una riflessione o eco si verifica sempre in presenza di altri segnali sismici come "rumori di fondo" antropici che possono interferire con essa o addirittura oscurarla; nasce da qui la necessità di migliorare il più possibile il rapporto Signal/Noise (S/N) con vari espedienti.

Una delle tecniche più diffuse è quella di operare con la cosiddetta "copertura CDP" (Common Depth Point), ovvero riunire i dati provenienti dallo stesso punto sulla superficie riflettente, apportare le dovute correzioni in tempi legate alla determinazione della velocità media al di sopra



del riflettore (percorsi diversi dell'onda riflessa legati a differenti distanze sorgente-geofono) e quindi sommare le tracce in questione (stacking) rafforzando il segnale riflesso.

L'elaborazione è avvenuta impiegando il software **Claritas** (<https://www.petrosys.com.au/claritas>) di cui si è licenziatari e si è articolata fundamentalmente nei quattro punti successivi:

- 1) "editing" e "sorting" e "muting";
- 2) correzioni statiche;
- 3) operatori di filtraggio (filtri Bandpass e FK);
- 4) analisi di velocità – correzioni statiche residue – stack e depth conversion

1) I file salvati dal sismografo sono in formato demultiplexato (SEG 2), ovvero presentano, una dopo l'altra, le tracce relative ai successivi canali e devono essere trasformate in un unico file in formato standard (seg y) nel quale sono presenti ed organizzati tutti i record.

Su questo file si prosegue con analisi di editing, muting e killing che consistono in una fase di "pulizia" per eliminare fisicamente da record le tracce troppo rumorose o errate, per ridurre il "rumore di fondo" o per eliminare parti di record che presentano segnali non utili come ad esempio l'air wave, il "ground roll" ecc. cioè segnali non corrispondenti a riflessioni che se utilizzati riducono il rapporto segnale/rumore non permettendo di avere dati adeguati.

2) Si procede quindi con le correzioni statiche, ovvero quelle correzioni che implicano uno slittamento lungo la scala dei tempi dell'intera traccia sismica.

Un tipo di correzione statica è la cosiddetta "datum static", usata per compensare il fatto che i geofoni si possono trovare a quote diverse l'uno dall'altro rispetto al "datum" il quale viene fatto corrispondere normalmente alla quota più alta del profilo della sezione; un'altra correzione statica è la "weathering correction" usata per compensare le differenze di velocità di propagazione delle onde sismiche negli strati più superficiali.

3) La correzione più laboriosa è invece la correzione dinamica o NMO (Normal Move Out correction), usata per compensare la diversa lunghezza dei percorsi delle onde riflesse dovuta semplicemente ad una diversa distanza tra punto di scoppio e geofoni.

In questo modo la riflessione osservata nella scala dei tempi viene correlata ad un orizzonte particolare e resa indipendente dall'offset dei geofoni.

Solo dopo questa correzione le tracce CDP possono essere sommate tra loro per enfatizzare le riflessioni.

4) Infine, con il termine di filtraggio si definiscono tutte quelle operazioni che possono influenzare la frequenza, la fase e l'ampiezza della traccia sismica, prima o dopo lo stacking CMP o CDP (filtraggio in frequenza, compensazione di fase, deconvoluzione).

Nell'immagine sottostante vengono presentate alcune immagini del flow del processing utilizzato con Globe Claritas.

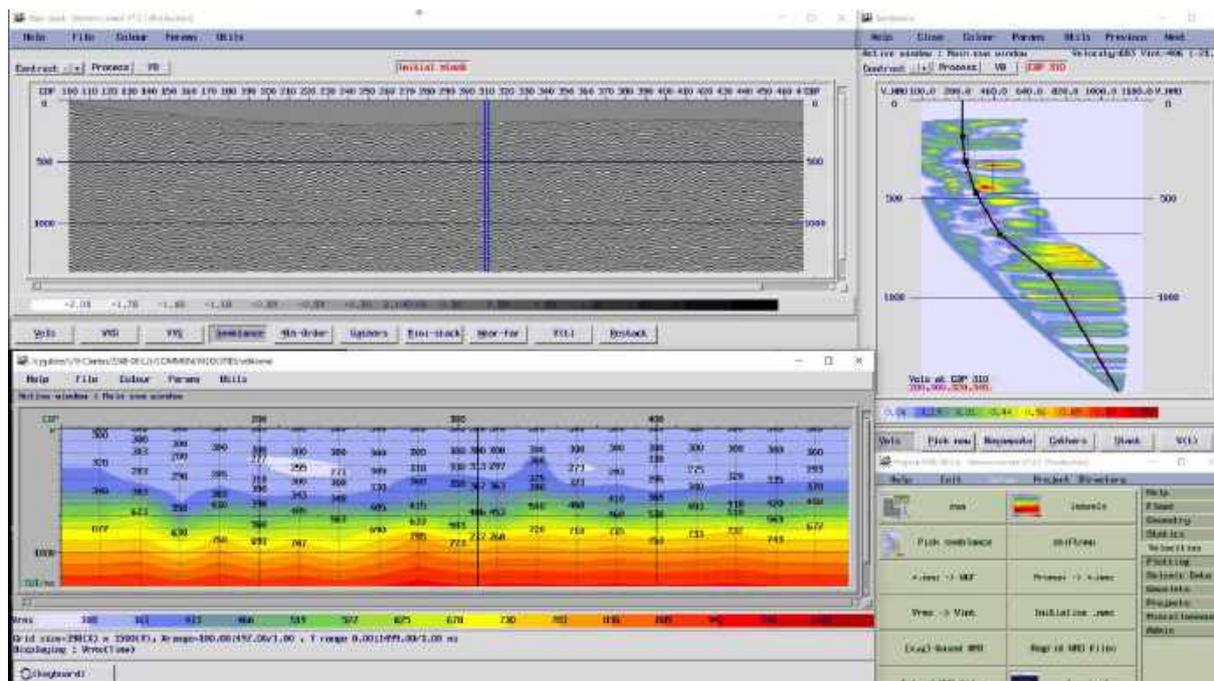
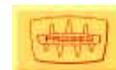


Figura 5.1 - Snapshot di alcune finestre di processing con Claritas - Sezione sismica

Fondamentalmente l'analisi di una sezione sismica a riflessione si basa sulla valutazione delle coerenze laterali degli echi prodotti dalle riflessioni.

Dal processing l'immagine finale primaria che si ricava è la sismosezione nella quale in ascissa sono le distanze ed in ordinata i tempi a due vie (andata e ritorno degli echi).

E' questa la sezione primaria sulla quale valutare le coerenze laterali, le intensità dei riflettori, le attenuazione ed i settori sterili ed altri elementi geometrici da cui ottenere informazioni per una adeguata interpretazione.

Dalla sezione con tempi in ordinata si passa, tramite conversione, a quella con le ordinate in metri (Depth conversion) permettendo di posizionare nello spazio gli elementi significativi.

Una conversione corretta permette di posizionare nello spazio gli elementi significativi da cui estrapolare informazioni, ovviamente gli elementi con questa trasformazione tendono ad essere deformati e stirati per cui possono nascere alcune geometrie anomale ma per verificare la loro correttezza si torna sempre alla sismosezione.

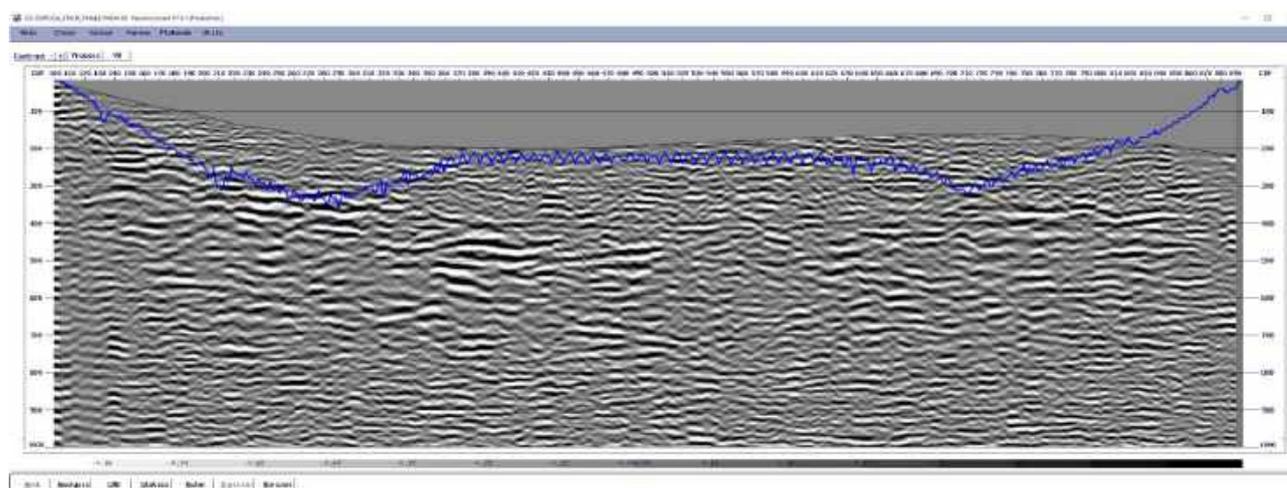
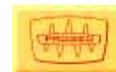


Figura 5.2 - Sismosezione con indicata in blu la "copertura sismica"



Sull'immagine della sismosezione è riportata in blu la "copertura sismica" effettiva che rappresenta il numero delle tracce sismiche utilizzate nello stack finale dei CDP.

Questa è normalmente inferiore alla "copertura nominale" in quanto varie tracce possono essere eliminate o per troppo rumore, oppure corrotte oppure prive di segnale utile ecc.

In questo caso la massima copertura effettiva è nel tratto centrale della sezione con valori massimi di 30 (3000%), e scende ad 1 sugli estremi a significare che le tracce CDP centrali derivano da una somma di almeno 30 tracce utili acquisite mentre lateralmente questa scende a 1: quando indicato è una situazione ordinaria per ogni sezione sismica a riflessione acquisita con un array geofonico fisso come in questo caso e shot su ogni stazione.

La "copertura sismica" è un parametro molto importante da calibrare in fase di progettazione della sezione: maggiore è la copertura sismica e maggiore sarà la risoluzione ed affidabilità della sezione processata: sull'immagine risulta ben evidente che il tratto centrale è maggiormente definito mentre lateralmente sui bordi la risoluzione tende a diminuire drasticamente.

Questi elementi sono luoghi ove il coefficiente di riflessione, cioè il rapporto delle velocità del mezzo superiore e inferiore, risulta significativamente elevato ($\gg 1$) determinando pertanto che parte dell'energia sismica venga riflessa anziché trasmessa.

Tanto più questo coefficiente si discosta da 1, o in aumento o in riduzione, tanto maggiore sarà l'energia riflessa e più visibile risulterà sulla sezione sismica l'interfaccia.

Laddove sulle sezioni non si presentano riflessioni si è in presenza di una situazione sterile, di ammasso omogeneo, senza significativi passaggi il che non significa compatto ma tendenzialmente isotropo.

Ma se i segnali che derivano da questi settori sono di bassa intensità è immediato pensare di essere in presenza ad elevato assorbimento quindi fratturazione ed eventualmente carsismo diffuso (anche se non è questa la situazione locale).

Questo porta ad una riduzione dell'energia trasmessa per assorbimento e come conseguenza limite si ha una minore profondità d'indagine.

Analogamente se si è in presenza di riflettori ad elevato coefficiente di riflessione sui quali la maggior parte dell'energia viene riflessa, si riduce la profondità massima d'indagine.

In entrambi i casi si tende ad intervenire, dopo i primi test, incrementando se possibile, la quantità di energia immessa per lo shot.

Dall'analisi delle riflessioni si ricavano dei "pattern" cioè elementi rappresentati da linee che uniscono i vari eventi riflessi omologhi: la valutazione della coerenza laterale (continuità) di questi eventi fornisce un indice sul grado di omogeneità strutturale.

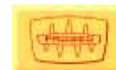
Ridotta coerenza laterale, elevata entropia e "nervosismo" degli echi, settori a ridotta intensità come anche la variazione delle frequenze del segnale riflesso sono indici qualitativi della fratturazione.

5.1. SIGNIFICATO DELLA RISOLUZIONE IN SISMICA A RIFLESSIONE

In sismica a riflessione la risoluzione dell'indagine si riferisce a quanto possono essere vicini due punti o oggetti per essere distinguibili.

Due tipi di risoluzione sono considerate: verticale e laterale ed entrambe sono controllate dalla larghezza di banda spettrale.

Il metro per la risoluzione verticale è la lunghezza d'onda dominante mentre per la risoluzione laterale è la zona di Fresnel, un'area circolare su un riflettore la cui dimensione dipende dalla profondità della riflettore, dalla velocità sopra il riflettore e, di nuovo, dalla frequenza dominante.



Risoluzione verticale

Per sintetizzare il problema consideriamo due riflessioni: uno che proviene dall'alto e uno dal basso del medesimo strato: ci si chiede quanto possono essere vicini in tempo, ma essere comunque distinguibili, le due riflessioni.

Questo intervallo di tempo dipende dallo spessore dello strato, dalla velocità dello strato e dalla lunghezza d'onda della frequenza dominante.

Una riflessione non è uno spike, cioè un picco unico, ma un'ondina e se le due ondine sono troppo vicine interferiscono, si sommano ma non si distinguono.

La larghezza nella scala dei tempi o la lunghezza nella scala metrica dell'onda è funzione della velocità diviso la frequenza dominante: la risoluzione verticale r_v viene considerata $1/4$ della lunghezza d'onda in metri e corrisponde alla minima distanza tra due onde riflesse distinguibili prodotte da due strati sovrapposti.

$$\lambda = \frac{V_p}{f}$$

da cui la risoluzione verticale è $\frac{\lambda}{4}$

$$\text{oppure } \frac{\lambda}{4} = \frac{V_p}{4 \cdot (f_{\max} - f_{\min})}$$

dove V_p è la velocità ed f la frequenza dominante.

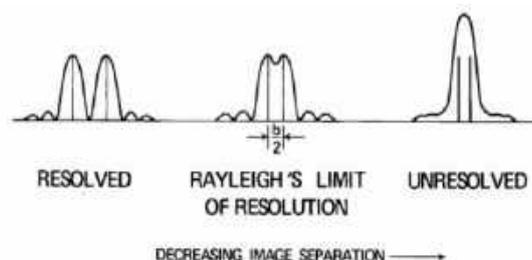
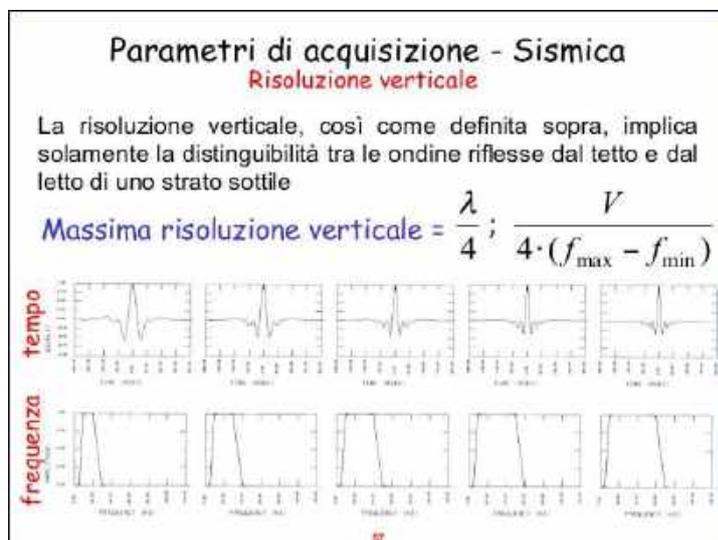


Figura 5.3 - Risoluzione verticale

A puro titolo esemplificativo se abbiamo una velocità di 2000 m/sec ed una frequenza dominante di 50 hz si ha una lunghezza d'onda di $2000/50=40$ m da cui $40/4=10$ m di risoluzione verticale il che significa che per questi parametri di V_p e f uno strato, per essere visibile, deve avere almeno uno spessore superiore a 10 m.



Risoluzione laterale

Consideriamo un fronte d'onda sferico (vedasi immagine in figura 5.4) che giunge ad un riflettore orizzontale al tempo T_0 .

L'estensione del fronte d'onda al tempo T_0 sarà da T_0 a $T_0 + \lambda/4$ come indicato per la risoluzione verticale. Di seguito il fronte d'onda procede intercettando in tempi successivi il riflettore orizzontale ed il primo punto risolvibile e differenziabile dal punto intercettato dall'onda al tempo $T_0 = 2 \cdot z_0 / v_{avg}$ sarà posto ad una distanza di $\lambda/4$ dal fronte d'onda incidente: questa distanza viene definita "zona di Fresnel" il cui diametro corrisponde a:

$$r_L \cong \sqrt{\frac{R \cdot g \lambda}{2}} = \frac{V p_{avg}}{2} \sqrt{\frac{t}{f}}$$

e corrisponde al tempo a due vie (andata e ritorno) $T_1 = \frac{2 \cdot (z_0 + \lambda/4)}{V p_{avg}}$

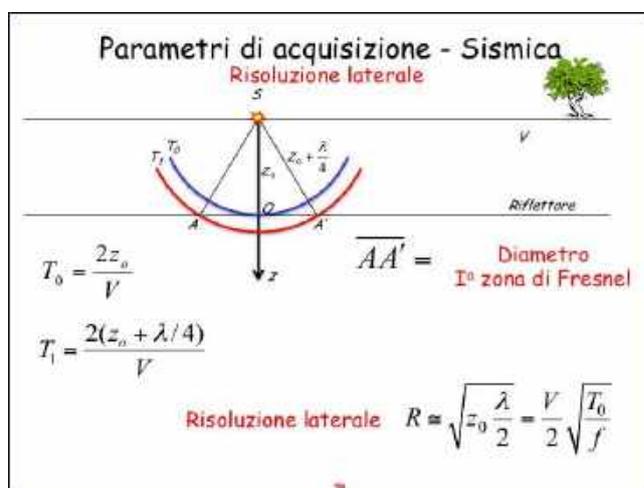


Figura 5.4- Risoluzione laterale

A titolo esemplificativo se consideriamo un riflettore posto a 0.2 secondi ed una velocità di 2000 m/sec con una frequenza di 50 hz il diametro della la zona di Fresnel è $R = 2000/2 \cdot \sqrt{0.2/50} = 63$ m quindi 31.5 m sia a destra che a sinistra del CDP considerato: questa è la risoluzione laterale pre-migrazione. Per migliorare significativamente la risoluzione laterale normalmente si procede con la migrazione¹: in questo caso la risoluzione diverrebbe:

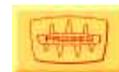
$$r_L \cong \frac{1}{2} \frac{V p_{avg}}{4 \cdot f}$$

con i dati precedenti si ha $r_L = 5$ m.

La risoluzione laterale è un parametro molto importante in quanto permette di valutare l'incertezza della posizione di una qualsiasi struttura inclinata o verticale come faglie, piani di strato ecc..

Questa misura consente inoltre di stimare alcuni parametri utilizzati per la migrazione, cioè quella procedura sismica che permette di posizionare correttamente nello spazio riflettori e strutture sismiche prima indicate.

¹ Migrazione in breve: procedura di traslazione in orizzontale e verticale di un riflettore inclinato per posizionarlo correttamente nello spazio X-T.



6. RISULTANZE

Le indagini geofisiche effettuate consistono in indagini geoelettriche tomografiche 2D ed indagini sismiche tomografiche.

Le prime permettono di valutare il parametro della Resistività dei terreni per definire strutture geologiche sepolte ricadenti nell' area di interesse le seconde permettono di caratterizzare dal punto di vista elastico i terreni interessati dalle indagini.

Nell'area oggetto di studio i valori di resistività sono compresi nel range tra 3 e 100 Ohm*m e per poter valutare l'andamento delle iso-resistive si è dovuto operare sui falsi colori di queste, permettendo così di visualizzare alcuni andamenti particolarmente utili ai fini interpretativi.

Analogamente i valori delle velocità delle onde di compressione sono comprese nel range tra 0.35 e 3.5 Km/sec mentre quelle delle onde di taglio variano da un minimo di 0.08 ad un massimo di 1.1 Km/sec.

In quest'area e con queste tipologie di terreni risultano decisamente più interessanti le indagini elettriche rispetto a quelle sismiche.

Analizzando in dettaglio le tre linee si può notare che sulla linea ERT 1 il basamento presenta una resistività pari a valori inferiori a 25 Ohm*m tale corpo si manifesta omogeneo senza particolari anomalie. La parte corticale, presenta valori di resistività decisamente superiori (cromatismi arancioni) particolarmente evidenti dall'elettrodo 9 (ma più marcati dal 15) in poi fino circa al 37 tale coltre profonda circa 2.5-3 m coincide arealmente con le zone di dissesto superficiale

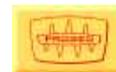
Le stesse considerazioni si possono confermare anche per la linea ERT 2 anch'essa realizzata, come la precedente, lungo la massima pendenza, in questo caso però la zona soggetta ad anomalia risulta essere arealmente più corta (dall'elettrodo 7 al 18) e meno profonda 2 metri circa).

Decisamente più interessante è la sezione ERT3 realizzata parallelamente al pendio ed ortogonale alle due linee precedenti. In questo allineamento si nota che la porzione di terreno ad alta resistività ha una estensione compresa fra l'elettrodo 10 e 36 per una profondità massima di circa 5 metri nella porzione centrale (elettrodo 22).

Tale valore di alta resistività (relativa rispetto alla zona) è sicuramente da associare a litologie più granulari rispetto al basamento coesivo. Per cui è probabile che vi sia più facile penetrazione delle acque meteoriche che vanno ad imbibire il substrato (più argilloso) lubrificando eventuali superfici di scollamento.

Per quanto riguarda l'analisi delle sezioni sismiche si può notare che presentano valori di velocità sia ad onde di compressione che ad onde di taglio uniformemente crescenti con la profondità.

È da notare altresì che sulle linee sismiche tomografiche i valori delle onde di compressione analogamente a quanto evidenziato dall'indagine elettrica nella porzione corticale e nelle stesse estensioni laterali evidenziate presentano valori decisamente bassi (inferiori a 0.5 Km sec) caratteristici di zone disadensate ed allentate.



SISMICA A RIFLESSIONE

La metodologia di sismica a riflessione ad onde di taglio utilizzata ha permesso di avere un quadro delle sismostratigrafie a partire da pochi metri di profondità, ottenendo una buona immagine del sottosuolo. Le immagini relative alle sezioni in onde di taglio forniscono informazioni della sismostratigrafia sia profonda che superficiale.

Queste sezioni sono state acquisite utilizzando come sorgente il vibratore Elviss III, questa scelta ha aiutato ad ottenere dati più affidabili incrementando il rapporto segnale-rumore che sarebbe stato altresì molto ridotto nel caso di utilizzo di un sistema impulsivo.

E' da far presente che l'approccio utilizzato per l'elaborazione dei dati di riflessione, come metodica, è stato quello di evitare di utilizzare filtri particolarmente invasivi, in modo tale da attenuare il noise mantenendo visibili gli echi significativi delle onde riflesse.

L'uso di filtri invasivi comporterebbe perdere le informazioni sulla presenza di superfici di scorrimento, oggetto della ricerca in cambio di ottenere un sottosuolo rappresentato da superfici di riflessione perlopiù planari senza alcuna inflessione.

Normalmente preferiamo mantenere un minimo di noise a scapito di una minore pulizia dell'immagine ma non perdere le informazioni di natura stratigrafica o tettonica.

L'indagine sismica a riflessione è stata eseguita utilizzando una geometria d'acquisizione utilizzando array con 96 sensori per ogni shot spaziatati tra loro di 2.5m.

Una prima correzione ai dati è stata eseguita interpretando i primi arrivi ed elaborandoli come sismica tomografica (Fig. 6.1) in modo da avere un modello del primo sottosuolo con la maggiore precisione possibile in quanto una sua errata valutazione porta normalmente ad artefatti ed errori nel processing.

Di seguito l'utilizzo del software Claritas ha consentito di realizzare un notevole dettaglio nelle analisi di velocità e precisione nell'elaborazione, esportando una sezione in tempi doppi (Fig. 6.2) e in depth (Fig. 6.3), poi combinate insieme per ottenere una sezione ibrida nella quale è stata fatta l'interpretazione.



Figure 6.1 - Sezione sismica tomografica in velocità delle onde di taglio.

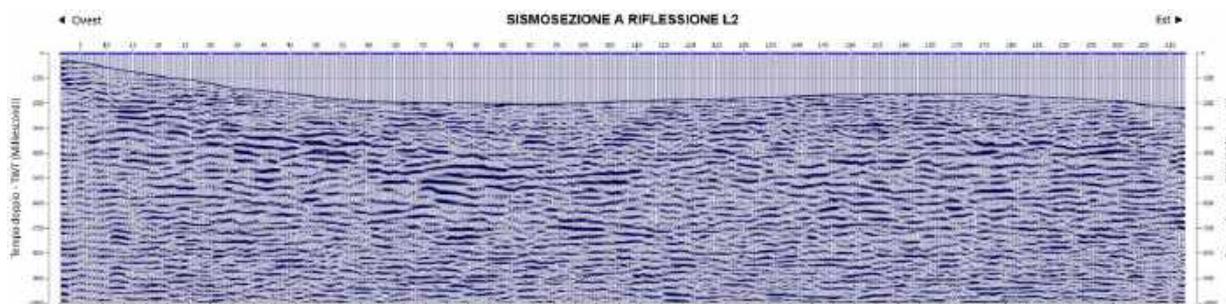
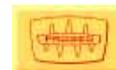


Figure 6.2 - Sezione sismica a riflessione in tempi doppi.

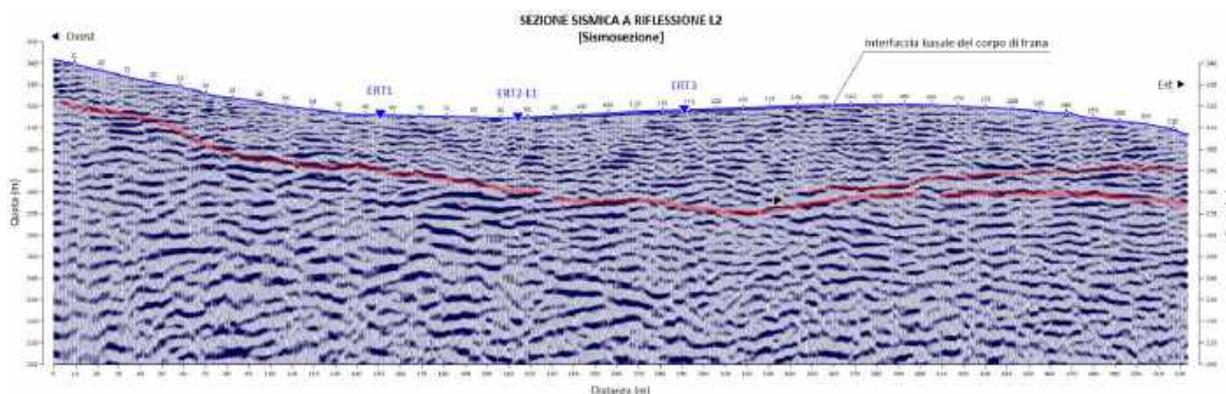


Figure 6.3 - Sezione sismica a riflessione in depth.

La sezione a riflessione finale (Depth conversion) riportata in figura 6.4 mostra sostanzialmente una divisione del profilo in due zone distinte e diverse fra loro, delimitate da una superficie rossa tratteggiata, che può corrispondere alla superficie di frana, e in cui vengono evidenziati in blu e in giallo i riflettori principali di queste due zone.

La zona superiore all'interfaccia, riconducibile al corpo di frana, mostra frequenze elevate, all'incirca 50-60 Hz. Pur essendo materiale fratturato, presenta un andamento a stratificazione sub-orizzontale, con superfici planari e qualche uncinatura.

Inferiormente all'interfaccia abbiamo invece frequenze minori, intorno a 20-30 Hz, con stratificazione più articolata, riferita a materiale naturale e litoide.

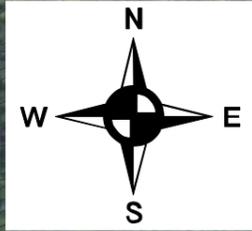
La linea di interfaccia coincide anche con un incremento delle onde di taglio, come si può vedere dalla tomografia in trasparenza.

Lo spessore del corpo di frana varia da circa 20 m nella porzione alle quote più elevate fino ad oltrepassare i 40 m nella parte centrale fra le stazioni 110-175.

Ad Est della sezione l'interfaccia non è netta, il motivo è dovuto probabilmente a materiale rimaneggiato e scomposto anche in prossimità del tetto della formazione lapidea sottostante.

Il sottosuolo stratificato è rappresentato nel complesso da una alternanza di strati a spessore diversificato almeno fino a 100 m di profondità dal piano campagna.

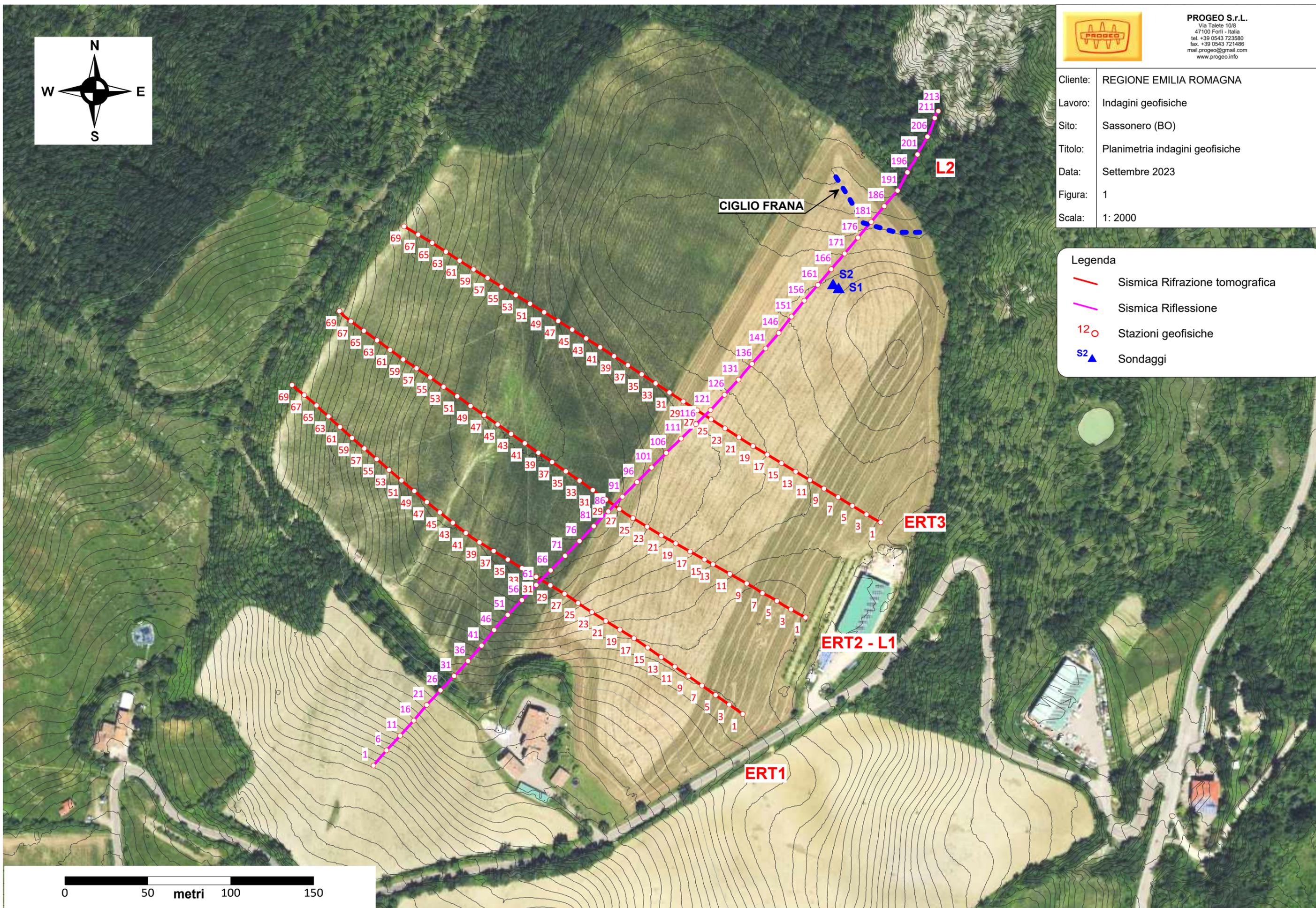
Nell'ammasso non appaiono nette strutture di discontinuità per elementi tettonici e/o decadimenti di velocità.



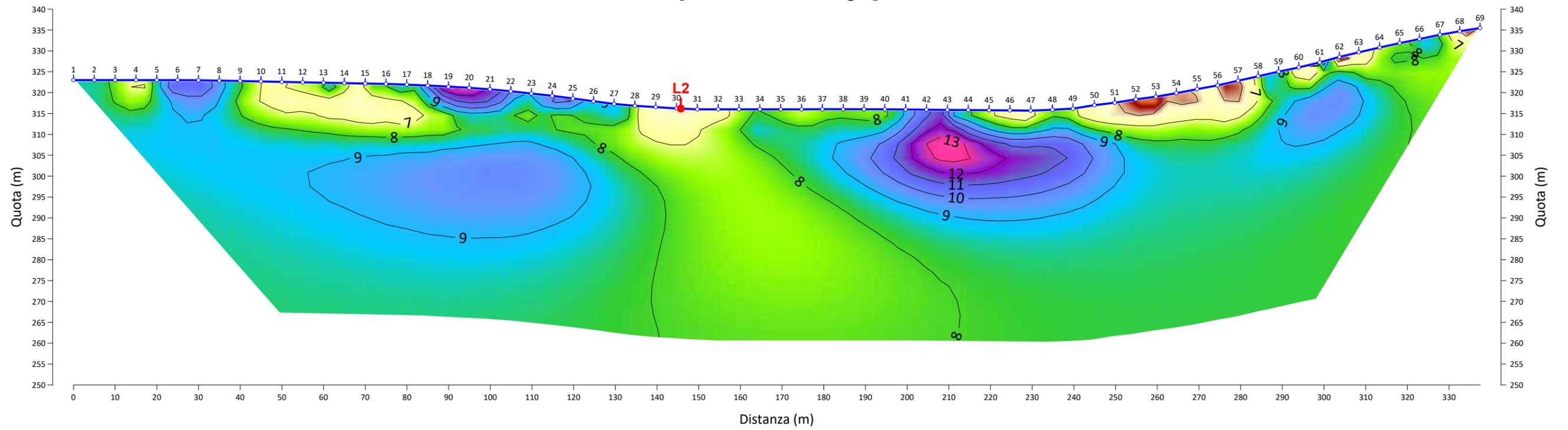
PROGEO S.r.l.
Via Talete 10/8
47100 Forlì - Italia
tel. +39 0543 723580
fax. +39 0543 721486
mail proggeo@gmail.com
www.progeo.info

Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA
Lavoro: Indagini geofisiche
Sito: Sassonero (BO)
Titolo: Planimetria indagini geofisiche
Data: Settembre 2023
Figura: 1
Scala: 1: 2000

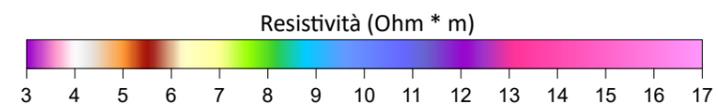
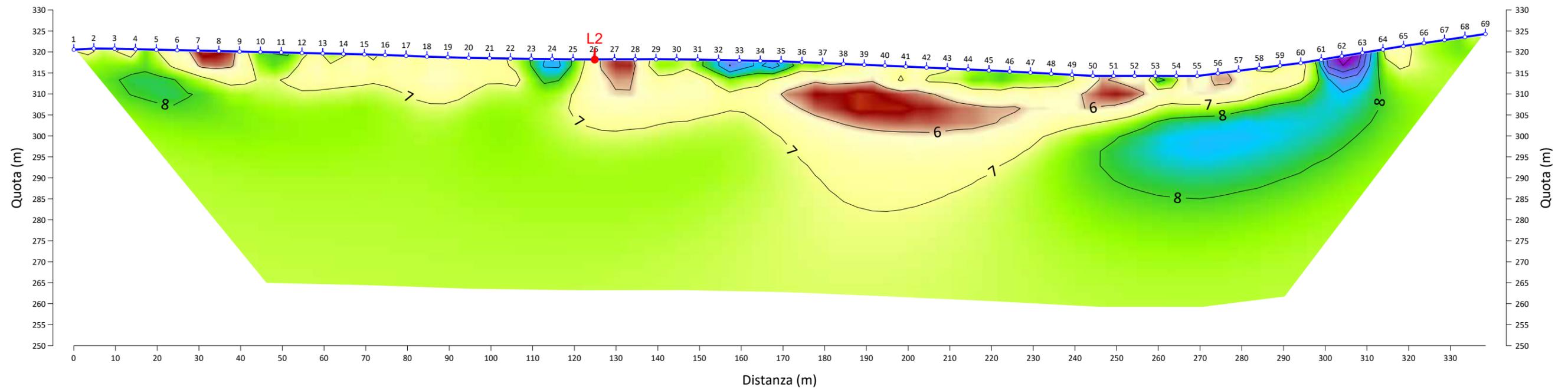
- Legenda**
- Sismica Rifrazione tomografica
 - Sismica Riflessione
 - Stazioni geofisiche
 - Sondaggi



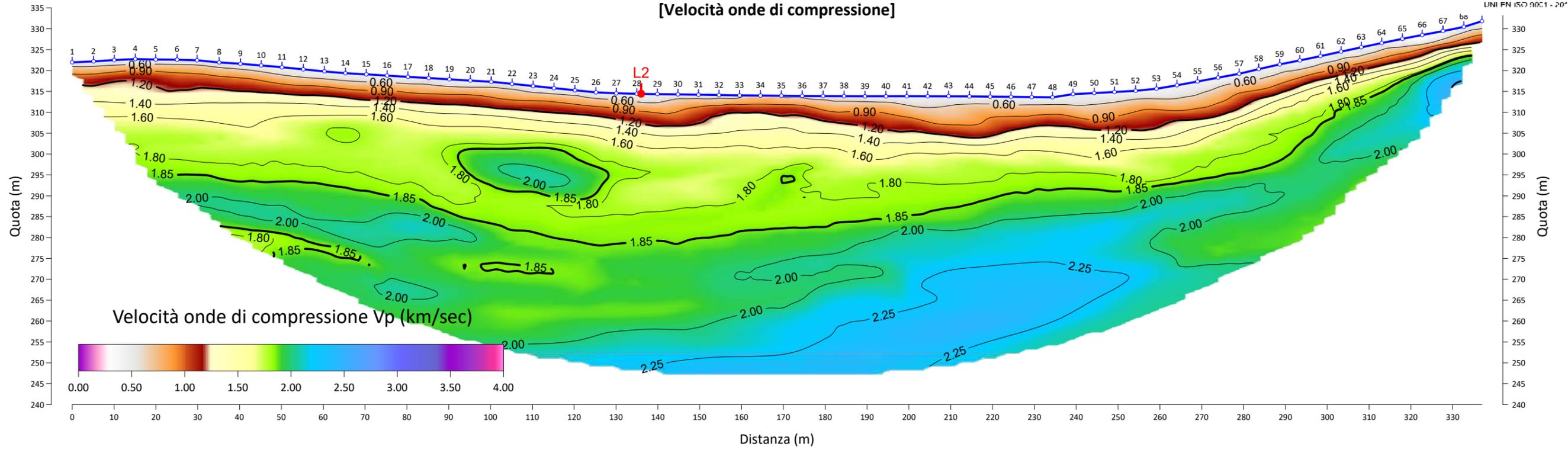
**SEZIONE ELETTRICA ERT 1
 [Wenner Schlumberger]**



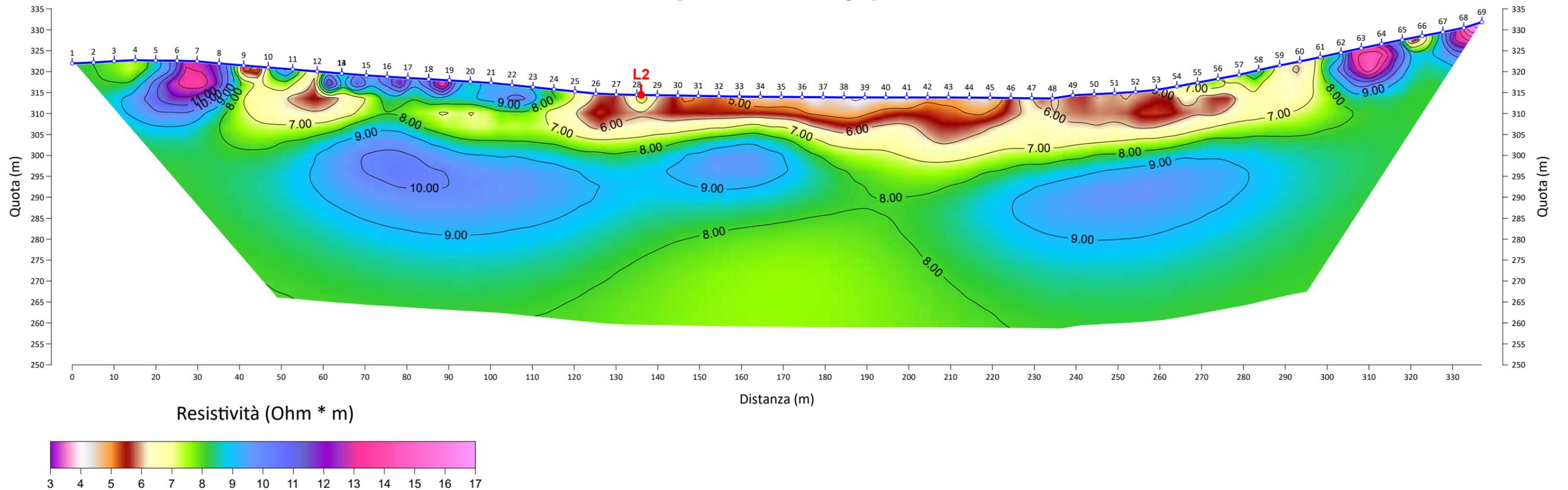
**SEZIONE ELETTRICA ERT 3
 [Wenner Schlumberger]**



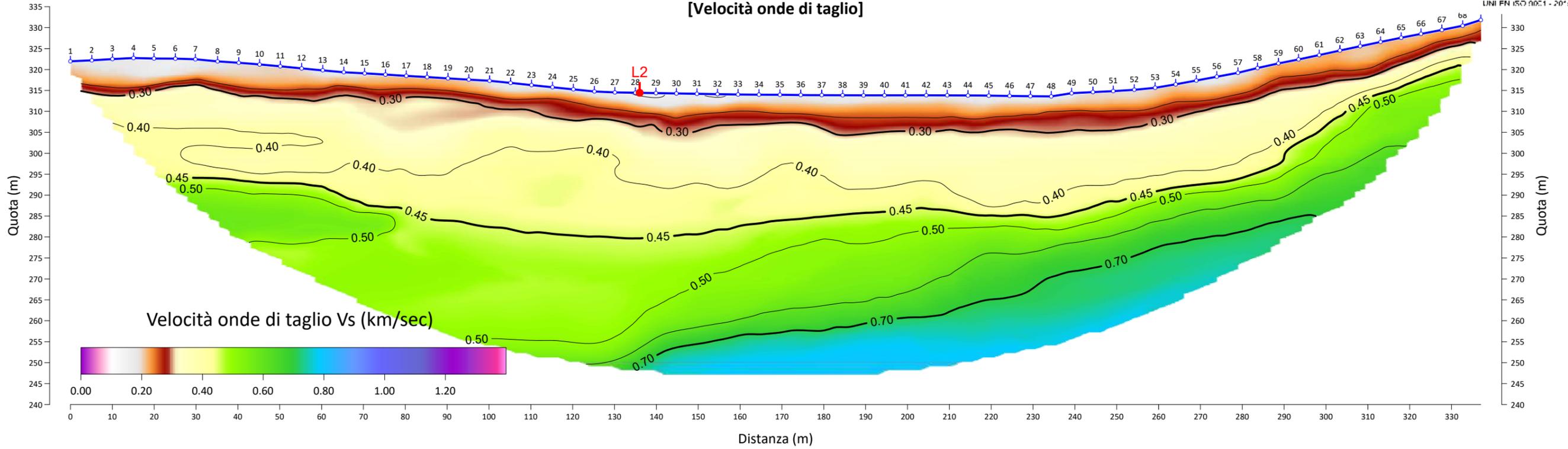
SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L1
[Velocità onde di compressione]



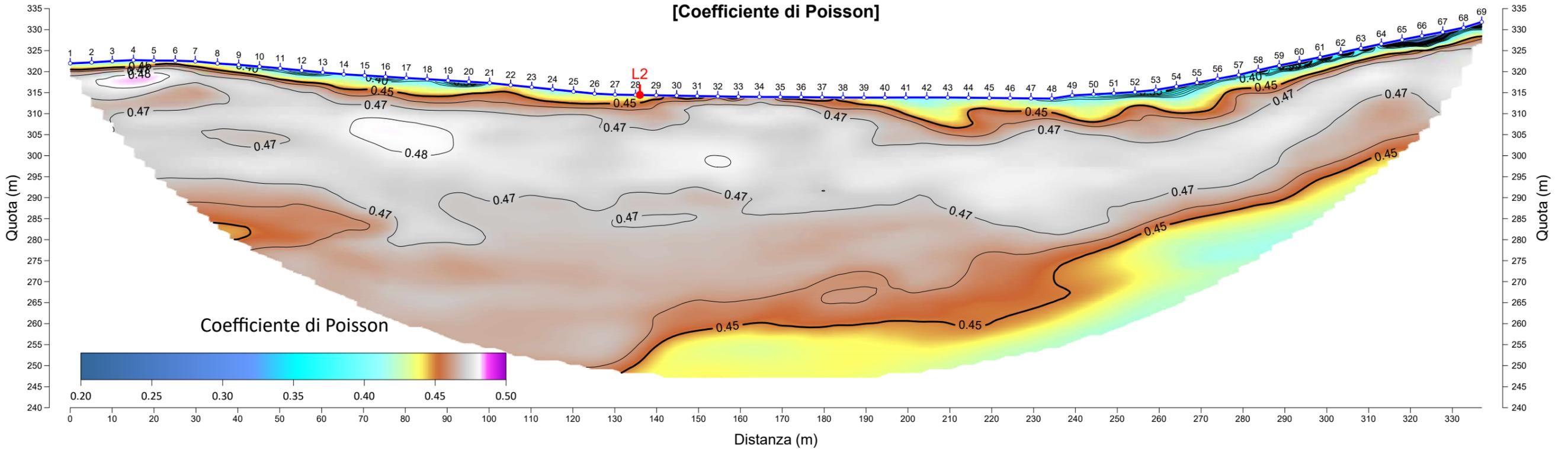
SEZIONE ELETTRICA ERT 2
[Wenner Schlumberger]

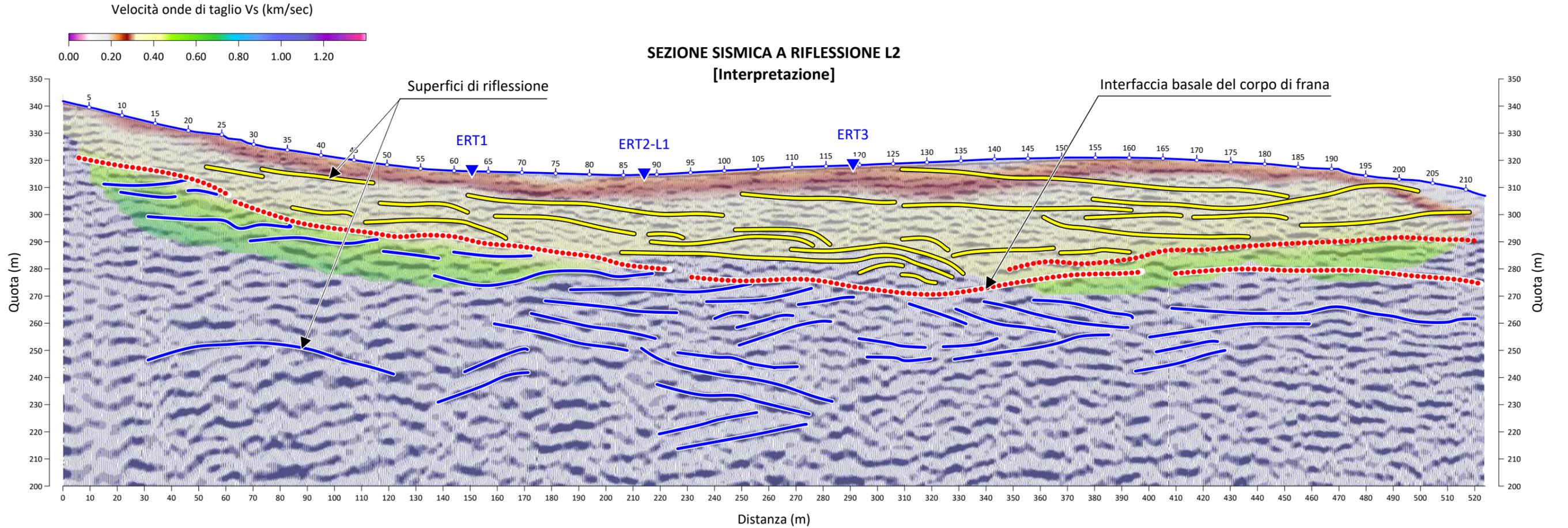
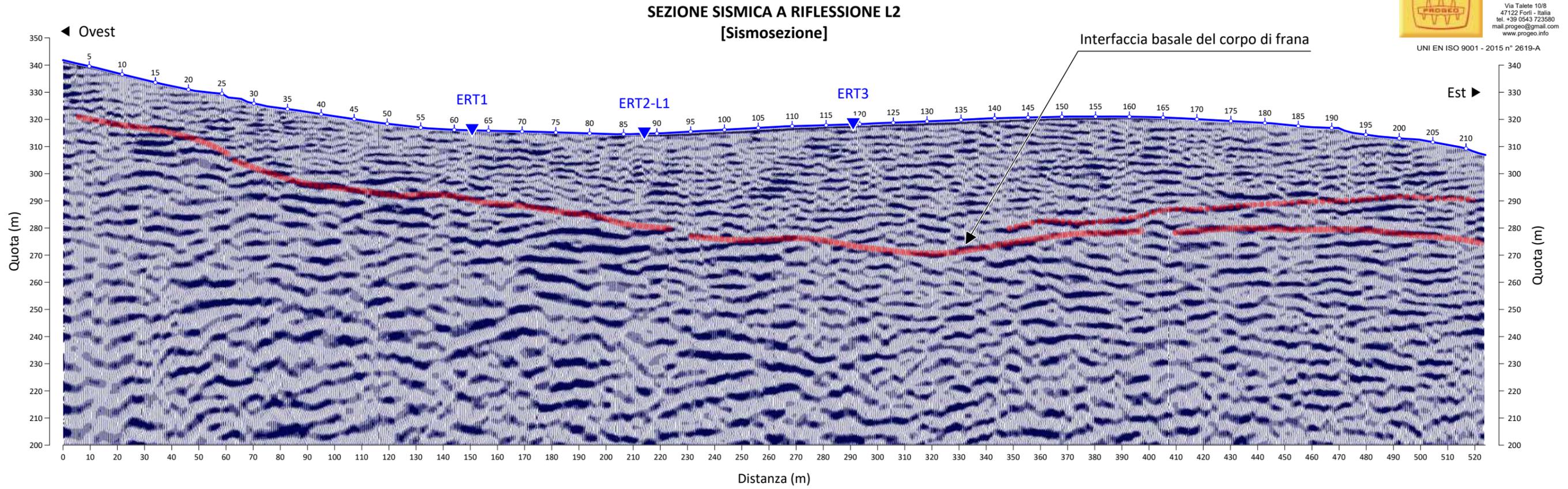


SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 1
[Velocità onde di taglio]



SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L1
[Coefficiente di Poisson]





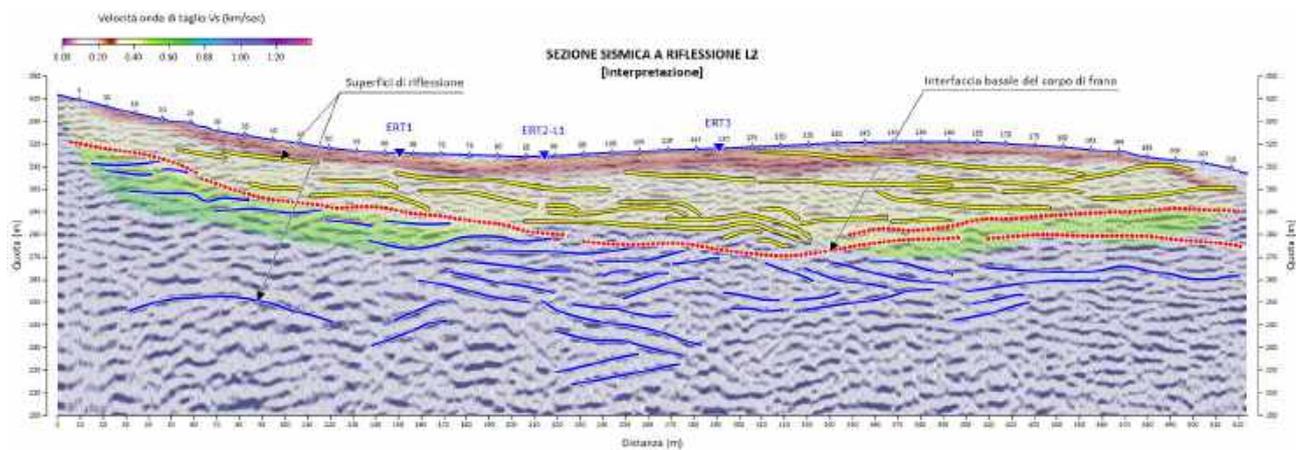
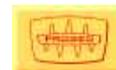


Figure 6.4 - Sezione sismica a riflessione L2 con interpretazione (in blu e in giallo sono sintetizzate le riflessioni principali delle due diverse zone)

PROGEO S.r.l.
Dott. Gabriele Pulelli

Hanno collaborato:
Dott.ssa Michela Borghetti
Dott. Andrea Fabbri
Dott. Maurizio Furani
Dott. Stefano Tomidei

Cif. Ville Sassonero 2



GIUNTA REGIONALE

VICEPRESIDENZA
ASSESSORATO TRANSIZIONE ECOLOGICA
E CONTRASTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO, AMBIENTE,
DIFESA DEL SUOLO E DELLA COSTA, PROTEZIONE CIVILE

	TIPO	ANNO	NUMERO
REG.	/	/	/
DEL	/	/	/

LA VICEPRESIDENTE

IRENE PRIOLO

Al Consigliere regionale

Marco Mastacchi

Gruppo Rete Civica Progetto Emilia-
Romagna

Alla Presidente dell'Assemblea Legislativa

Emma Petitti

E p.c. Al Presidente di Giunta Regionale
Stefano Bonaccini

Oggetto: Risposta ad interrogazione n. 7646 presentata dal Consigliere regionale Marco Mastacchi

Gentile Consigliere,

in relazione al quesito posto si evidenzia che la frana di Sassonero, Comune di Monterenzio Città Metropolitana di Bologna, avvenuta la notte del 6 febbraio 2023, è stata da subito oggetto di un'attività di monitoraggio volta a controllare l'evoluzione del movimento sia per la salvaguardia della pubblica incolumità, sia per monitorare i possibili movimenti al piede di frana e rilevare così eventuali interferenze con il Torrente Sillaro che scorre a valle del versante.

È stata realizzata una campagna di indagini geognostiche che è consistita in:

- 3 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità massima di 70 metri, attrezzati con inclinometri per il controllo dei movimenti profondi della frana;

Viale della Fiera 8
40127 Bologna

tel 051 527 6929

vicepresidente@regione.emilia-romagna.it
vicepresidente@postacert.regione.emilia-romagna.it
<https://www.regione.emilia-romagna.it>

a uso interno: DP/ / INDICE LIV 1 LIV 2 LIV 3 LIV 4 LIV 5 ANNO NUM SUB
Classif. | | | | | | Fasc. | | |

- 3 sondaggi profondi 25 metri attrezzati con piezometri per controllare le variazioni di livello della falda acquifera;
- 3 stendimenti di indagini geofisiche elettriche per una lunghezza totale di 1020 metri per rilevare in maniera estensiva il livello di saturazione dei terreni;
- 2 stendimenti di indagini geofisiche sismiche per una lunghezza complessiva di 870 metri per ricostruire il modello del sottosuolo, analizzando la variazione spaziale di alcune proprietà caratteristiche dello stesso, quali elasticità, densità, conducibilità elettrica.

Inoltre, per monitorare i movimenti superficiali della frana di Sassonero, sono stati installati immediatamente dopo l'evento:

- un sistema GPS costituito da 1 base GPS master (di riferimento) posizionata al di fuori del movimento franoso e da 3 basi GPS rover distribuite sul corpo di frana e ubicate rispettivamente nella parte alta, mediana e bassa del versante;
- una stazione totale robotizzata che a cicli di ogni ora rileva la posizione di mire di riferimento installate sul versante coinvolto dal movimento, sulle abitazioni e sulle strutture situate all'interno del corpo franoso.

Questi ultimi sistemi di monitoraggio vengono gestiti in collaborazione col Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali – BiGeA dell'Università di Bologna che è già supporto tecnico dell'Agenzia Regionale per la Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile nell'ambito della Convenzione quadro quinquennale "Ricerca e attività tecnico scientifiche ed informative per la previsione, prevenzione e gestione del rischio idrogeologico" (Del. Reg. n. 1319/21).

Ambedue i sistemi monitorano in continuo gli eventuali spostamenti del corpo franoso e delle strutture presenti, nonché il versante prospiciente il Torrente Sillaro a presidio delle condizioni di officiosità del corso d'acqua di cui dell'Agenzia per la sicurezza territoriale e la protezione civile - Ufficio territoriale sicurezza territoriale e protezione civile Bologna è responsabile come Autorità Idraulica.

Le letture della strumentazione in sito hanno rilevato movimenti nella parte alta e bassa del corpo di frana. In particolare, nella parte alta il movimento è stato rilevato alla profondità di 13 metri, mentre nella parte bassa, alla profondità di 18 metri. Il trend dello spostamento è dell'ordine di circa 1,5 mm/mese.

Tali spostamenti non hanno, però, nessun riflesso in superficie, tant'è che sia la stazione totale che il sistema GPS, al momento, non hanno rilevato movimenti significativi.

L'inclinometro profondo 70 metri è ubicato nella piana, dove è situato l'agriturismo Prato degli Angeli, interessata dal dissesto del 6 febbraio 2023, non mostra alcun movimento.

Per quanto riguarda i lavori eseguiti, nei mesi successivi all'evento franoso sono stati realizzati:

- il rimodellamento morfologico per l'eliminazione delle zone di ristagno dell'acqua;
- la regimazione delle acque di versante con realizzazione di fossi per il convogliamento delle acque di corrivazione superficiale all'impluvio naturale;
- il ripristino della funzionalità del canale di impluvio mediante risezionamento;
- 7 trincee drenanti (lunghezza complessiva 624 metri) per la captazione delle acque sotterranee e il loro convogliamento al reticolo superficiale.

Le opere realizzate hanno mostrato sin da subito la loro efficacia, anche in occasione di eventi piovosi intensi come quelli avvenuti in maggio 2023, e risultano ad oggi pienamente funzionanti. I lavori sono stati ultimati il 12/07/2023 e i terreni sono nella piena disponibilità dei proprietari privati ai quali spetta, sulla base della normativa di settore, la realizzazione degli interventi volti al mantenimento in efficienza della rete di regimazione superficiale, che costituisce il primo presidio nei confronti dei fenomeni di dissesto.

Al momento non sono previsti lavori ulteriori; si continuerà il monitoraggio già in essere.

Cordiali saluti.

La Vicepresidente
Irene Priolo



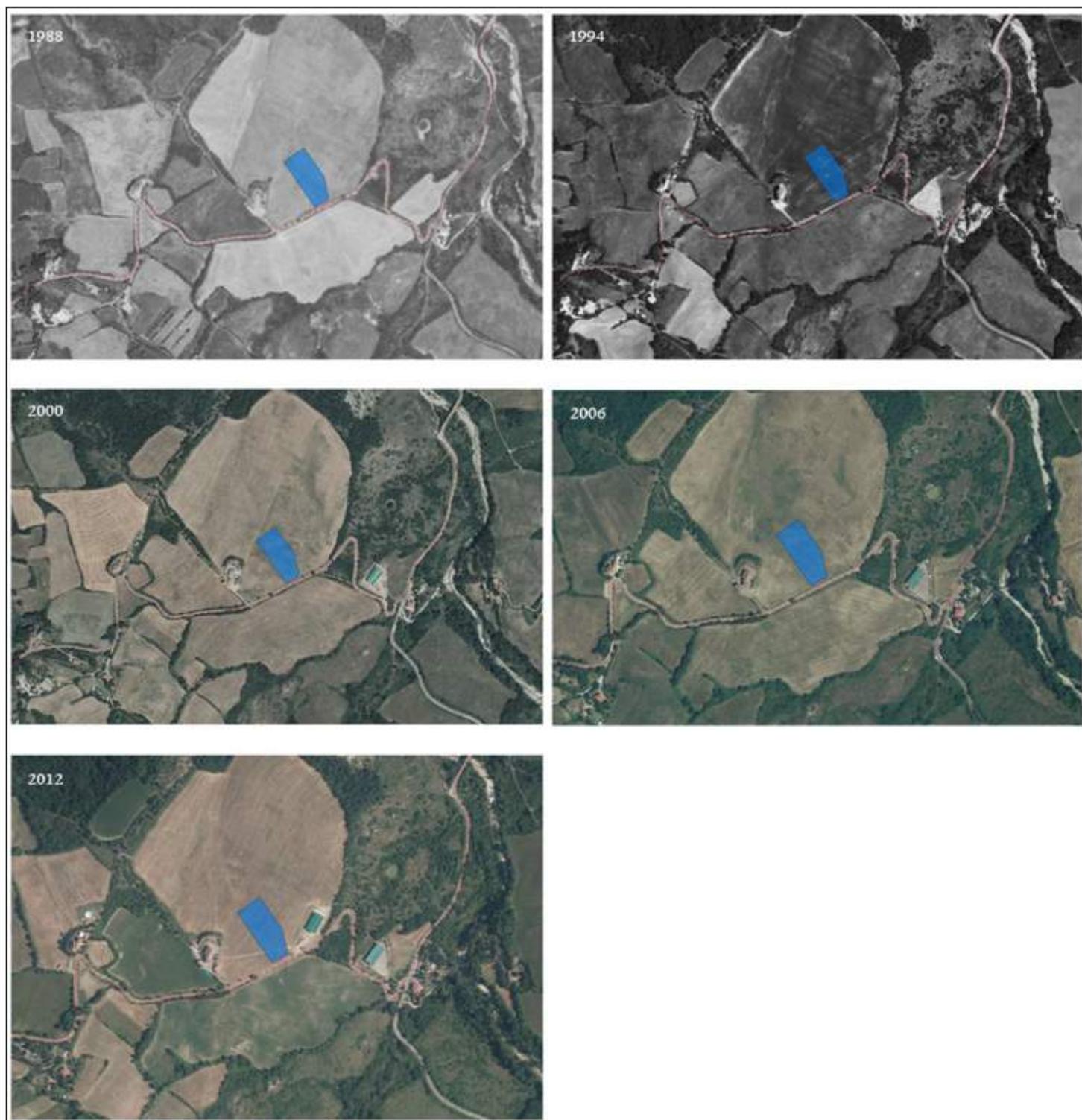


Figura 4.10.4: Serie di ortofoto dell'area di ubicazione dell'area cantiere ottenute dal 1988 al 2012



Figura 4.10.2: Area di ubicazione della futura area di cantiere – foto da sopralluogo



Figura 4.10.3: Area di ubicazione della futura area di cantiere – foto da sopralluogo

















