

COMUNE DI MONTEMIGNAIO

Località Borro di Pistiano

RELAZIONE GEOLOGICA

Lavori di manutenzione straordinaria di ripristino del ponte sulla S.P.70 di Montemignai, km. 10+500, località Borro di Pistiano, Comune di Montemignai

**Committente:
Provincia di Arezzo – Servizio Viabilità**

Il Geologo

Settembre 2024

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

CONTENUTO

1#	PREMESSA	4#
2#	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI STUDIO	5#
3#	RELAZIONE GEOLOGICA	5#
	3.1# Inquadramento Geomorfologico, geologico ed idrogeologico	5#
4#	RELAZIONE GEOFISICA	9#
	4.1# Indagini svolte e Modello geotecnico del sito	9#
	4.2# Indagine sismica MASW	10#
	4.3# Indagini a sismica a rifrazione	12#
5#	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	15#
	5.1# Vita Nominale	15#
	5.2# Classe d'uso – Coefficiente d'uso Cu	15#
	5.3# Periodo di riferimento per l'azione sismica - VR	15#
6#	AZIONE SISMICA	16#
	6.1# Stati limite e relative probabilità di superamento	16#
	6.2# Tempo di ritorno.....	16#
	6.3# Categorie di suolo di fondazione	17#
	6.4# Condizioni topografiche	17#
	6.5# Amplificazione stratigrafica	17#
	6.6# Amplificazione topografica.....	18#
	6.7# Zone sismiche.....	18#
	6.8# Spettro di risposta elastico del sito	19#
7#	VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI – STATI LIMITE ULTIMI (SLU) – SLE	21#
8#	CONCLUSIONI	21#

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

ALLEGATI

- Allegato 1.1 Cartografia Regione Toscana: “Il Vicolo Idrogeologico” – (Geoscopio)
- Allegato 2.1 Corografia Generale in scala 1:10.000
- Allegato 3.1 Carta Geologica in scala 1:5.000
- Allegato 3.2 Carta della Pericolosità geologica del Piano Strutturale di Montemignaio
- Allegato 3.3 Carta della pericolosità geologica, sismica e da alluvione del Piano Strutturale intercomunale Casentino adottato
- Allegato 3.4 Carta delle MOPS
- Allegato 3.5 PAI Frane del Bacino dell’Arno
- Allegato 3.6 DB Geomorfologico Regione Toscana
- Allegato 3.7 Cartografia IFFI (Inventario Fenomeni Franosi Italiani)
- Allegato 4.1 Report di indagine (GEO 3D)

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

1 PREMESSA

Su incarico ricevuto dalla Provincia di Arezzo – Servizio Viabilità si procede a svolgere una relazione geologica di supporto al progetto per i “Lavori di manutenzione straordinaria di ripristino del ponte sulla S.P.70 di Montemignaio, km. 10+500, località Borro di Pistiano, Comune di Montemignaio”.

Il progettista strutturale è l'Ing. Nicola Cappelletti.

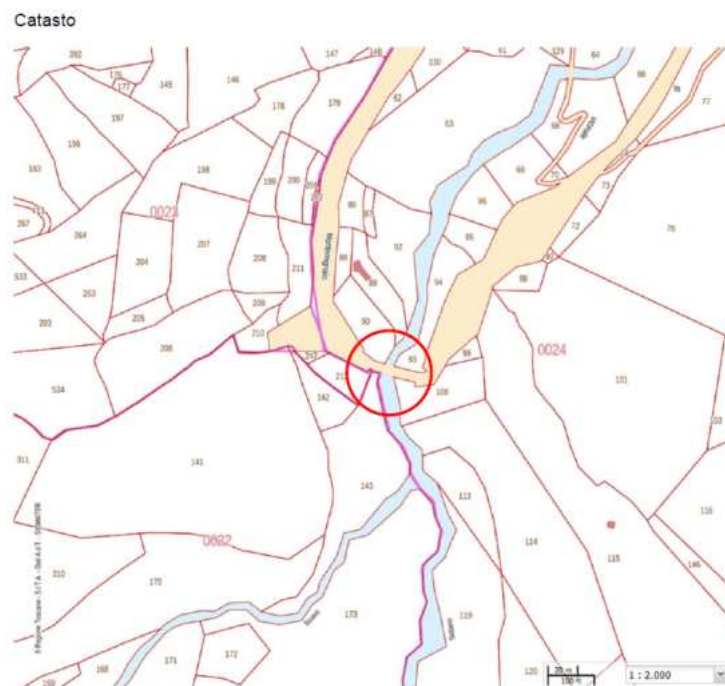
Lo studio effettuato verrà svolto in ottemperanza della normativa di seguito sinteticamente elencata:

- *NTC2018;*
- *Esperienze maturate in ambito applicativo D.M. 14 gennaio 2008: "Nuove" Norme Tecniche per le Costruzioni.*
- *Decreto del Presidente della Giunta Regionale 19 gennaio 2022, n. 1/R - Allegato 1 – art.5 Regolamento 1R/2022.*

L'area in oggetto è sottoposta a Vincolo Idrogeologico (RDL 30.12.1923 n. 3267); le opere dovranno essere quindi previste nel rispetto di quanto previsto dalla L.R. 21.03.2000 n.39 – Regolamento d'attuazione D.P.G.R. 05.09.2001 n.44/R – e del successivo D.P.G.R. 08.08.2003 n. 48/R (Regolamento Forestale della Toscana), in particolare di quanto riportato nell'art. 75 e seguenti.

Per la definizione cartografica del Vincolo si rimanda alla lettura dell'allegato stralcio della Carta del Vincolo Idrogeologico della Regione Toscana (Geoscopio).

Come da planimetria catastale di seguito riportata l'area risulta censita al Foglio n.24 delle Mappe Comunali di Montemignaio.



Estratto planimetria catastale

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI STUDIO

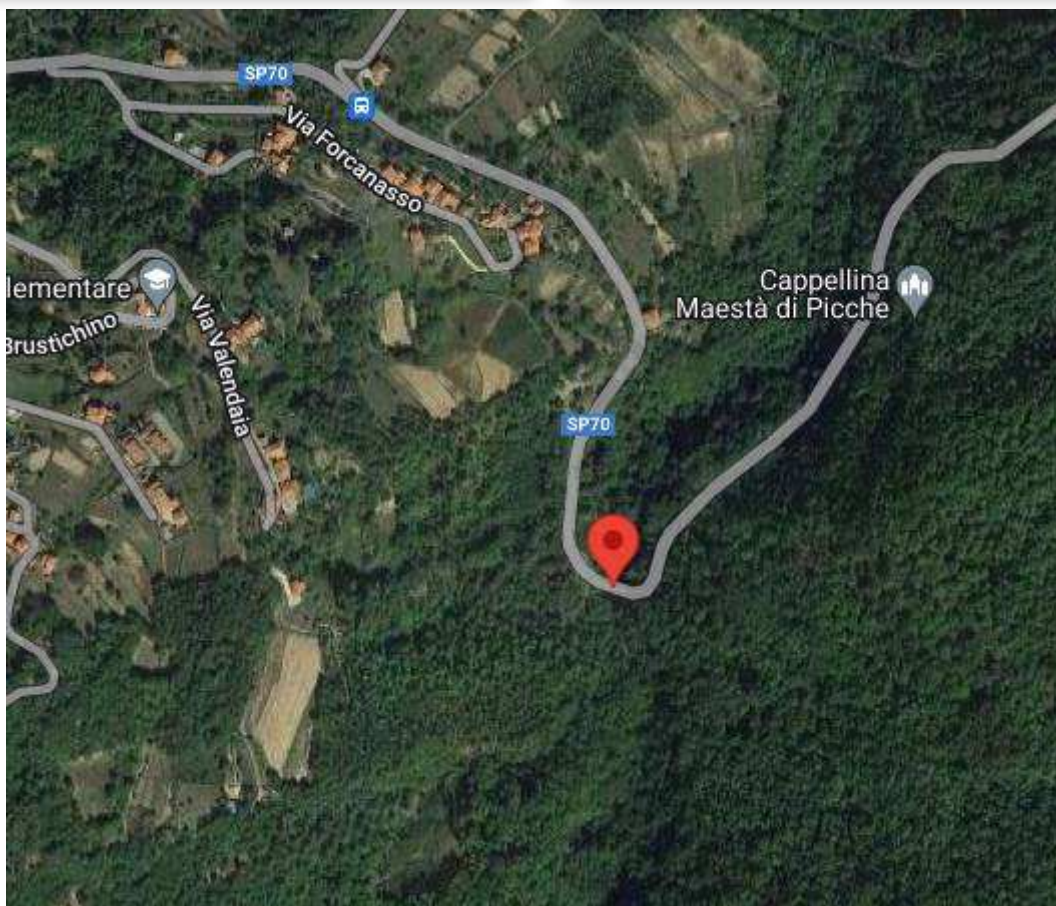
Il ponte si colloca sulla Strada Provinciale SP 70 di Montemignaio al km 10+500, ed è attraversante il Borro di Pistiano, nel Comune di Montemignaio (Provincia di Arezzo).

Le coordinate in gradi decimali dell'area di intervento risultano le seguenti:

WGS84: Lat 43.734259 - Lng 11.629183



ED50: Lat 43.735214 - Lng 11.630157



Vista aerea dell'area di intervento

3 RELAZIONE GEOLOGICA

3.1 Inquadramento Geomorfologico, geologico ed idrogeologico

Ai fini dell'acquisizione delle informazioni necessarie allo svolgimento dell'incarico è stato innanzitutto effettuato un rilevamento geologico di superficie della zona.

L'area in esame si colloca ad una quota pari circa a 660 mslm in un contesto di versanti collinari connotati di pendenze elevate, spesso superiori al 35%.

Nell'area affiorano le rocce costituenti il substrato arenaceo locale costituito dalla Unità di M. Cervarola (simbolo **FAL2** nella carta geologica allegata), Membro di Camaldoli. L'Unità è riferibile all'Aquitaniense-Burdigaliano.

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Le “Arenarie di M. Cervarola sono composte da un’alternanza regolare di arenarie torbiditiche fini e marne siltose. Gli strati presentano spesso un’equivalenza tra parte arenacea e pelitico-marnosa.

Le arenarie, che dal punto di vista petrografico sono da ascrivere alla categoria delle grovacche litiche, mostrano la presenza di granuli detritici di dolomite.

L’immersione degli strati arenacei è verso il quadrante di Nordest con inclinazione compresa tra 15°-45°, ed assetto che varia da franapoggio a traverpoggio.



Foto 1: Affioramenti arenacei nell’area di intervento, immediatamente a monte del tracciato della SP70 di Montemignaio



Foto 2: Affioramenti arenacei nell’area di intervento, immediatamente a monte del tracciato della SP70 di Montemignaio

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Il bedrock arenaceo risulta permeabile per porosità secondaria, per fratturazione cioè dell'ammasso roccioso profondo, ed è sede di un acquifero confinato, spesso in pressione.

La Cartografia geologica regionale CARG Sezione 276080 evidenzia una linea di faglia, che taglia nell'area il corso del Borro di Pistiano con andamento che approssima l'asse SW-NE.

Nell'area sono segnalati due corpi di frana - Fonte IFFI/DB Geomorfologico/DB Geologico Regione Toscana.

Ad Ovest del ponte ed in contiguità con lo stesso, intersecante la SP70, è segnalata un'area con frane superficiali diffuse (simbolo **f1**), mentre ad Est in area confinante è presente un Corpo di frana per scivolamento rotazionale/traslativo (simbolo **f2**). L'età delle due frane è Olocenica-Recente.

Dal punto di vista della **Cartografia inerente il rischio geologico-geomorfologico, sismico ed idraulico** relativa allo Strumento Urbanistico Comunale e alle carte tematiche relative ad ulteriori studi sovracomunali, si rileva quanto segue.

- Carta della Pericolosità geologica del Piano Strutturale di Montemignaio: Pericolosità elevata Classe 4 – PF3 PAI si veda l'estratto allegato; ad ovest del ponte è segnalata la Classe 2 (pericolosità bassa).

- Carta della Pericolosità geologica del Piano Strutturale intercomunale Casentino adottato: il ponte è segnalato a G4 pericolosità molto elevata (PF4 PAI), mentre ad est viene cartografata un'area G3 pericolosità elevata (PF3 PAI) – si veda l'estratto allegato.

- Carta della Pericolosità da alluvioni del Piano Strutturale intercomunale Casentino adottato: nessuna classe di pericolosità segnalata; dovrà essere rispettato quanto prescritto nell'Art. 3 della L.R. 41/2018 (Tutela dei corsi d'acqua) – si veda l'estratto allegato.

- Carta della Pericolosità sismica relativa al Piano Strutturale intercomunale adottato: l'area del ponte risulta non classificata; ad occidente è presente un'area classificata S4, - si veda l'estratto allegato.

- Carta delle MOPS: L'area del ponte risulta non classificata, mentre ad ovest è segnalata la ZAFR – Zona di attenzione per instabilità di versante della Zona 1 – si veda l'estratto allegato e quanto riportato in calce.



ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 1



Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

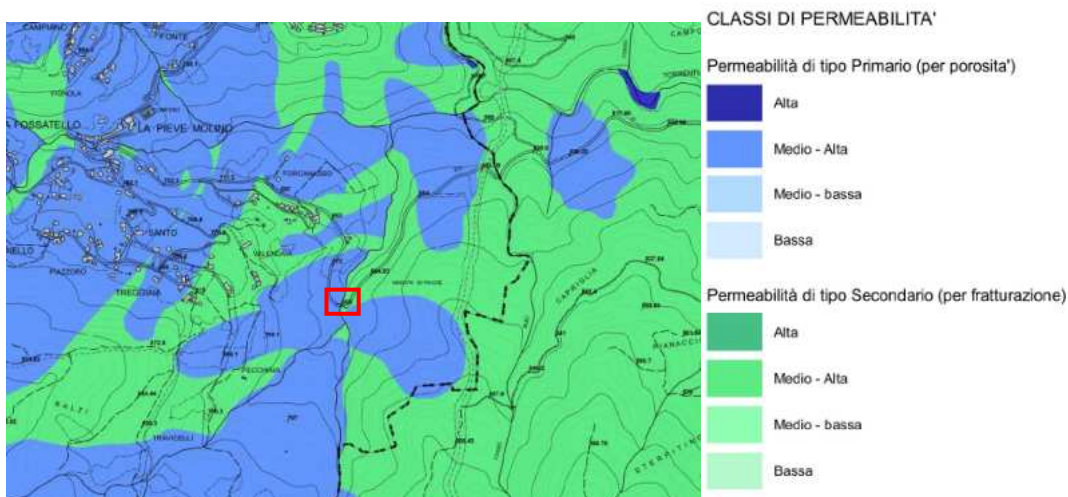
Viene segnalata una coltre detritica tra 0-3 m e quindi il Substrato lapideo stratificato con inclinazione dei versanti maggiore di 15°.

- PAI frane nel Bacino dell'Arno, Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale: la porzione occidentale di intervento, compresa l'area del ponte, è cartografata come PF4 (pericolosità molto elevata); il settore orientale è indicato come PF3 (pericolosità elevata) – si veda estratto allegato;

- DB Geomorfologico Regione Toscana: ad occidente del ponte, in area contigua, sono segnalate aree a frane superficiali diffuse, mentre ad oriente è cartografato un corpo di frana con scivolamento rotazionale/traslativo. È segnalato il corso torrentizio del Borro di Pistiano con relativo solco erosivo di ruscellamento concentrato (gully erosion) – si veda l'estratto allegato.

- Progetto IFFI (Inventario Fenomeni Franosi Italiani) – ISPRA: come nel DB Geomorfologico Regione Toscana ad occidente del ponte, in vicinanza, sono segnalate aree con frane superficiali diffuse, mentre ad oriente è presente un corpo di frana con scivolamento rotazionale/traslativo. – si veda estratto allegato.

- Carta delle Tematiche Idrogeologiche relativa al Piano strutturale intercomunale del Casentino adottato – si veda lo stralcio in calce.



Carta delle Tematiche Idrogeologiche relativa al Piano strutturale intercomunale del Casentino adottato

Ad occidente è segnalata un'area a permeabilità primaria per porosità medio alta, mentre ad oriente il tracciato stradale è interessato da permeabilità di tipo secondario (per fratturazione) medio alta.

L'area in oggetto è sottoposta a Vincolo Idrogeologico (RDL 30.12.1923 n. 3267); le opere previste dovranno pertanto essere realizzate nel rispetto dei dettami della L.R. 21.03.2000 n.39 – Regolamento d'attuazione D.P.G.R. 05.09.2001 n.44/R – e del successivo D.P.G.R. 08.08.2003 n. 48/R (Regolamento Forestale della Toscana), in particolare di quanto riportato nell'art. 75 e seguenti.

Durante le fasi di cantiere eventuali depositi temporanei di materiali terrosi e lapidei dovranno essere effettuati in modo da evitare l'innescio di fenomeni erosivi o di ristagno delle acque.

I depositi non dovranno essere effettuati in prossimità del pendio, o scarpate, in maniera tale da evitare sovraccarichi dello stesso.

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Si raccomanda di mettere in opera una adeguata regimazione delle acque superficiali nell'area del ponte al fine di inibire il ruscellamento diffuso sulle scarpate e sul pendio.

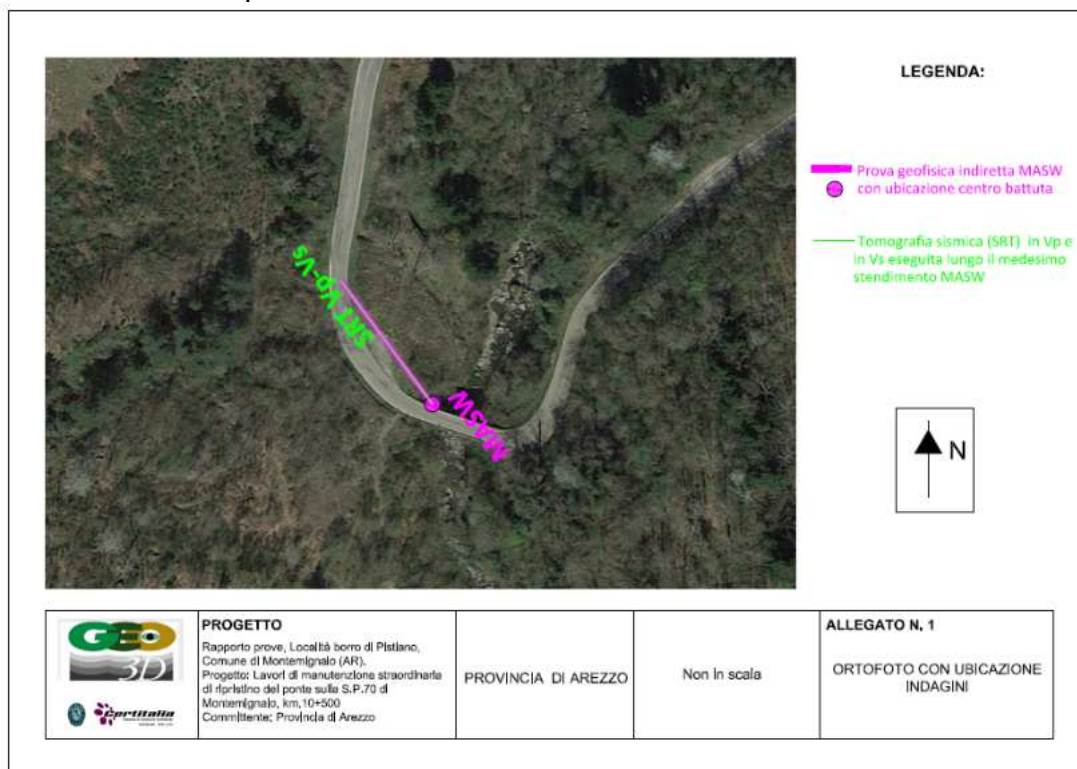
4 RELAZIONE GEOFISICA

4.1 Indagini svolte e Modello geotecnico del sito

Al fine di caratterizzare il sottosuolo dell'area dal punto di vista geofisico è stata utilizzata la seguente indagine geognostica, svolta su incarico della Amministrazione Provinciale di Arezzo da GEO 3D (Società di tecnologie e servizi innovativi nel settore ambientale):

- N°1 indagine geofisica indiretta MASW (Multichannel Analysis Surface Waves);
- N°1 prospezione geofisica di sismica a rifrazione acquisita in Vp;
- N°1 prospezione geofisica di sismica a rifrazione acquisita in Vs.

L'ubicazione dei siti di indagine è posizionata nella Ortofoto riportata in calce, estratta dal rapporto di prova della Società GEO 3D, al quale si rimanda per ogni ulteriore dettaglio sull'esito delle prove e sulla modalità di esecuzione delle stesse.



Sono state inoltre svolte le seguenti indagini:

- N.2 maglie di acquisizione GPR con antenna da 1000 MHz;
- N. 6 transetti georadar longitudinali con antenne da 200,400,600 MHz;
- N.21 transetti GPR con antenne da 200 e 600 MHz;
- N.2 carotaggi della muratura;

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

- N.1 scavo ed endoscopia.

Le indagini pertinenti la struttura del ponte, e non la ricostruzione geofisica del sottosuolo, non sono documentate nella presente perizia ma vengono comunque inserite nel rapporto di prova di GEO 3D al quale si rimanda integralmente.

4.2 Indagine sismica MASW

L'indagine è stata eseguita dai tecnici della Società GEO 3D a partire dal ciglio stradale verso monte lungo il blando pendio ed è orientato in direzione SSW-NNE.

La prospezione ha evidenziato la presenza nel sottosuolo del bedrock sismico alla profondità di -2.50 m dl piano di campagna ($v_s > 800$ m/sec).

Il bedrock sismico è stato rilevato con una velocità sismica pari a 850 m/s, mentre la coltre sovrastante ha v_s comprese tra 210-350 m/s, senza inversioni di velocità sismica. I risultati della prova MASW sono risultati seguenti:

Tabella 1: Modello medio e migliore della prova MASW.

MODELLO MEDIO (MEAN MODEL)			MODELLO MIGLIORE (BEST MODEL)		
Strato n.	Spessore (m)	Vs (m/s)	Strato n.	Spessore (m)	Vs (m/s)
1	0.50	200	1	0.5189	200
2	2.30	310	2	2.30	310
3	5.70	850	3	5.8017	850
4	5.00	1054	4	5.00	1054
5	-	1200	5	-	1200
Vs30 = 852m/s			Vs30 = 852m/s		

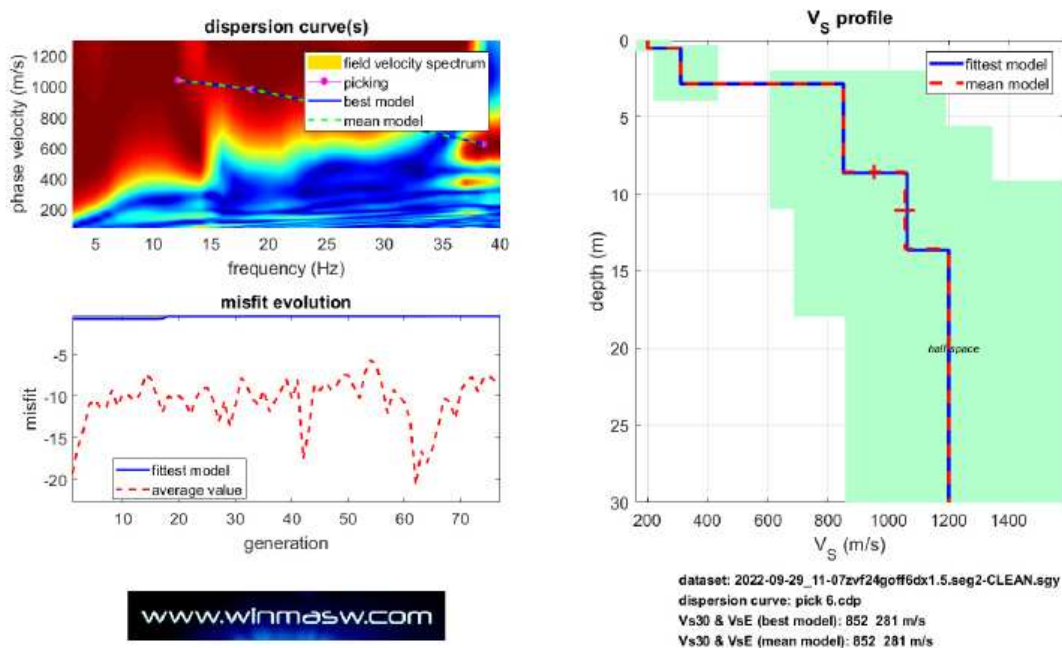


Figura 4: Spettri di velocità, curve di dispersione e modello sismostratigrafico della MASW.

Grafici relativi alla prospezione MASW estratti dal fascicolo di prova GEO 3D

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Lo spessore della coltre che riposa al di sopra del substrato sismico risulta inferiore a 3.0 m.

Si evidenzia che la prova sismica sia stata svolta a quote superiori rispetto al piano fondale del ponte (10-11 m) e che quindi le fondazioni della struttura risultino giacenti in base alla prospezione MASW direttamente all'interno del substrato sismico.

Visto quanto espresso è attribuibile ai sensi delle NTC 2018 la Categoria di sottosuolo A.

Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018:

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

Per un maggior dettaglio dell'indagine geofisica, delle sue modalità di svolgimento e risultati si rimanda infine al report geofisico allegato.



Inquadramento fotografico della prospezione MASW estratto dal fascicolo di prova GEO 3D

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Per ogni ulteriore dettaglio si rimanda a quanto riportato in allegato nel report di indagine.

4.3 Indagini a sismica a rifrazione

È stata svolta una prospezione sismica ad onde P e ad onde S.

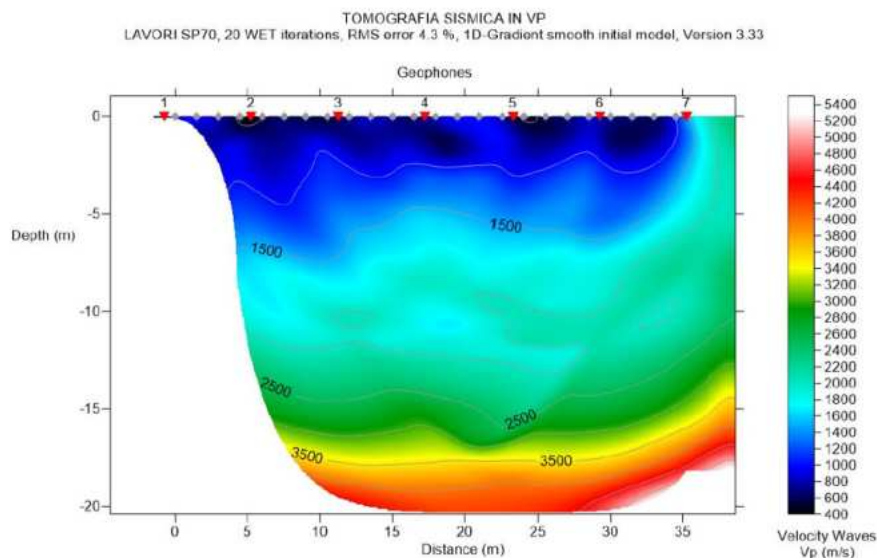
La prospezione in onde P eseguita da GEO 3D ha permesso di investigare i primi 14 m di profondità nel sottosuolo.

La tomografia ottenuta evidenzia una copertura a medio bassa velocità delle onde di volume V_p (600-1200 m/s) per i primi 2-3 m da piano campagna la quale passa lateralmente verso la fine dello stendimento a terreni molto più competenti con velocità (1800-2800 m/s).



Inquadramento fotografico della prospezione MASW estratto dal fascicolo di prova GEO 3D

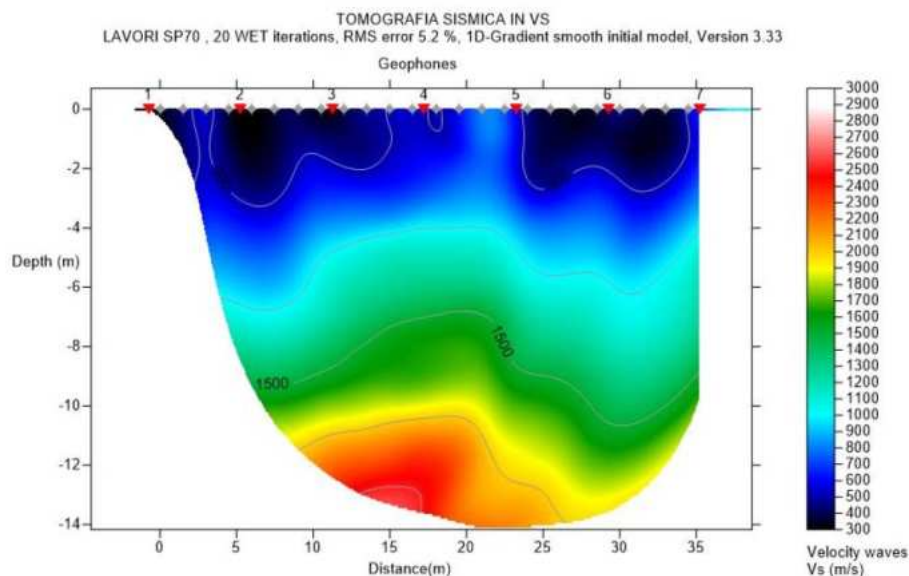
Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci



Tomografia Onde P estratta dal fascicolo di prova GEO 3D

Per quanto riguarda l'indagine in onde S si rappresenta quanto segue, estratto dalla relazione di indagine GEO 3D.

L'indagine eseguita ha permesso di investigare i primi 14 m di profondità nel sottosuolo. La tomografia ottenuta evidenzia una copertura a medio alte velocità delle onde di taglio Vs (400-700 m/s) per i primi 2-3 m da piano campagna. Questo deposito superficiale rimane costante per tutta lo stendimento. Le velocità raggiungono 800 m/s intercettando il bedrock sismico tra -3 e -5 m da p.c.. All'aumentare della profondità si incrementa anche la Vs che raggiunge velocità superiori a 2000 m/s a -13.00 m da p.c.



Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Come riportato nel paragrafo della prova MASW si ricorda che anche l'indagine a rifrazione sia stata svolta a quote superiori rispetto al piano fondale del ponte (10-11 m) e che quindi le fondazioni della struttura risultino giacenti anche in base agli esiti della prospezione a rifrazione onde S, all'interno del substrato sismico.

Ai sensi delle NTC 2018 per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è infatti riferita al piano di imposta delle stesse (NTC 2018 paragrafo 3.2.2 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche).

Viene pertanto confermata la Categoria di sottosuolo A ai sensi delle NTC2018 per le fondazioni del ponte.

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

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



Inquadramento fotografico della prospezione sismica ad onde S estratto dal fascicolo di prova GEO 3D

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Come indicato dal parte del progettista strutturale si riporta quanto segue.

5.1 Vita Nominale

Le informazioni forniteci dal calcolatore strutturale evidenziano come la struttura in progetto sia stata inserita nella Classe n. 4 dei tipi di costruzione definiti nelle NTC2018 e come alla stessa sia stata assegnata una **Vn = 50 anni**.

5.2 Classe d'uso – Coefficiente d'uso Cu

La normativa (DM 17 Gennaio 2018 – NTC 2018) definisce l'azione sismica per quattro classi d'uso CU delle costruzioni (art. 2.4.2 e 2.4.3) a cui si associa un coefficiente d'uso Cu definito al variare della classe d'uso.

2.4.2. CLASSI D'USO

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

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

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

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

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

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

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

Nel caso in esame l'edificio in questione è stato posto nella "**Classe d'uso**" IV ed il conseguente coefficiente risulta quindi **Cu = 2**.

5.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica - VR

La normativa NTC 2018, inoltre, prevede la definizione di un periodo di riferimento VR per le azioni sismiche su ciascuna costruzione ottenibile dalla formula:

$$V_R = V_N \times C_U$$

dove Vn è la vita nominale di un'opera strutturale intesa come il numero di anni nel quale la struttura purché soggetta manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Nel nostro caso, il periodo di riferimento:

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

$$V_R = 50 \times 2 = 100$$

6 AZIONE SISMICA

6.1 Stati limite e relative probabilità di superamento

La normativa (DM – NTC 2018) nei confronti delle azioni (cap. 3.2.1) definisce quattro stati limite, al fine di indicare il comportamento, in chiave sismica, che dovrà sopportare la struttura in progetto come mostra la tabella sottostante:

3.2.1. STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Nei confronti delle azioni sismiche, sia gli Stati limite di esercizio (SLE) che gli Stati limite ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli Stati limite di esercizio (SLE) comprendono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli Stati limite ultimi (SLU) comprendono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I.

Ad ogni stato limite corrisponde una probabilità di superamento come sotto indicato.

Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento P_{VR} in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Su indicazione del Progettista, provvederemo a fornire il valore di R_d allo Stato Limite Ultimo - SLV (Stato Limite di Salvaguardia Vita - $P_{VR} = 10\%$), sia in condizioni non sismiche che in quelle sismiche.

6.2 Tempo di ritorno

Noti P_{VR} e V_R è possibile derivare il valore del tempo di ritorno espressi in anni, attraverso la formula:

$$T_R = - V_R / \ln (1 - P_{VR}) = - C_U V_N / \ln (1 - P_{VR}) \quad [3.2.0]$$

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Per la verifica della struttura, considerando lo Stato Limite di salvaguardia della vita (SLV) si considera un tempo di ritorno **TR = 949 anni**.

6.3 Categorie di suolo di fondazione

Si conferisce al sottosuolo dell'area in esame la categoria A ai sensi delle NTC 2018.

6.4 Condizioni topografiche

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

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

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

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale

Al sito in esame si attribuisce la categoria topografica T2.

6.5 Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_s e C_c valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T^*C relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella sottostante tabella, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

6.6 Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella tabella seguente, in funzione delle categorie topografiche precedentemente e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

6.7 Zone sismiche

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, e quindi con le NTC 2018, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

Definite le coordinate del sito interessato dal progetto, questo sarà sempre compreso tra 4 punti della griglia di accelerazioni (Allegato B – NTC 2008), tramite media pesata utilizzando la formula:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{P_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

in cui:

p = valore del parametro di interesse nel punto in esame;

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

p_i = valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;

d_i = distanza del punto in esame dall' i -esimo punto della maglia suddetta.

Si otterranno così i Parametri Spettrali P (a_g , F_o , T^*C).

a_g = accelerazione massima al sito;

F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*C = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri, descrivono i caratteri del moto sismico orizzontale sul sito di riferimento rigido le cui grandezze, definiscono le forme spettrali relative alla particolare P_{VR} .

6.8 Spettro di risposta elastico del sito

I valori dei parametri caratteristici per il calcolo delle azioni sismiche, relativi all'area di verifica, riferiti al suolo di categoria A, sono quelli di seguito indicati:

Sito in esame: Località Borro di Pistiano, Comune di Montemignaio - (AR)

Sito in esame.

latitudine:	43,735214
longitudine:	11,630157
Classe:	4
Vita nominale:	50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 20286	Lat: 43,7200	Lon: 11,6225	Distanza: 1803,044
Sito 2	ID: 20287	Lat: 43,7211	Lon: 11,6916	Distanza: 5180,020
Sito 3	ID: 20065	Lat: 43,7711	Lon: 11,6901	Distanza: 6250,388
Sito 4	ID: 20064	Lat: 43,7700	Lon: 11,6209	Distanza: 3936,959

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci



Siti di riferimento (Geostru.com)

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: A
 Categoria topografica: T2
 Periodo di riferimento: 100anni
 Coefficiente cu: 2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 60 [anni]
 ag: 0,074 g
 Fo: 2,501
 Tc*: 0,275 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 101 [anni]
 ag: 0,091 g
 Fo: 2,477
 Tc*: 0,283 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 949 [anni]
 ag: 0,206 g
 Fo: 2,398
 Tc*: 0,306 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
 Tr: 1950 [anni]
 ag: 0,257 g
 Fo: 2,421

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

T_c^* : 0,316 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,200
Kh: 0,018
Kv: 0,009
Amax: 0,866
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,200
Kh: 0,022
Kv: 0,011
Amax: 1,075
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,200
Kh: 0,074
Kv: 0,037
Amax: 2,425
Beta: 0,300

SLC:

Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,200
Kh: 0,092
Kv: 0,046
Amax: 3,020
Beta: 0,300

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.734259

longitudine: 11.629183

7 VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI – STATI LIMITE ULTIMI (SLU) – SLE

Le verifiche in fondazione verranno svolte ai sensi delle NTC 2018 dal progettista strutturale.

8 CONCLUSIONI

Su incarico ricevuto dalla Provincia di Arezzo – Servizio Viabilità è stata svolta la relazione geologica di supporto al progetto per i “Lavori di manutenzione straordinaria di ripristino del ponte sulla S.P.70 di Montemignaio, km. 10+500, località Borro di Pistiano, Comune di Montemignaio”.

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Il progettista strutturale incaricato è l'Ing. Nicola Cappelletti.

Nell'area affiorano le rocce costituenti il substrato arenaceo locale costituito dalla Unità di M. Cervarola (simbolo **FAL2** nella carta geologica allegata), Membro di Camaldoli. L'Unità è riferibile all'Aquitaniense-Burdigaliano.

Il bedrock roccioso è però interessato da due corpi di frana segnalati nelle Cartografie IFFI/DB Geomorfologico/DB Geologico Regione Toscana.

Ad Ovest del Borro di Pistiano è segnalata un'area con frane superficiali diffuse che interessa la SP70, mentre ad Est del ponte in area confinante è presente un corpo di frana per scivolamento rotazionale/traslattivo.

Tra le Carte del rischio evidenziate nella presente relazione si ricorda in particolare che la Carta della Pericolosità geologica del Piano Strutturale di Montemignaio segnalava nell'area del ponte una fascia a Pericolosità elevata Classe 4 – PF3 PAI che coinvolge il ponte ed il corso del Borro di Pistiano.

Il più recente PAI frane nel Bacino dell'Arno, Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale segnala nell'area del ponte un'area PF4 (pericolosità molto elevata), e una zona PF3 (pericolosità elevata) ad oriente del ponte.

Gli interventi dovranno quindi tenere conto di quanto prescritto nel Piano di Bacino del Fiume Arno, stralcio "assetto idrogeologico" – Norme di attuazione ed allegati, ed in particolare di quanto segnalato al Capo II art. 10 (Aree a pericolosità molto elevata da processi geomorfologici di versante e da frana) ed art. 11 (Aree a pericolosità elevata da processi geomorfologici di versante e da frana).

Dovrà essere considerato anche quanto riportato nella Documentazione del Progetto di Piano pubblicata ai sensi dell'art. 66, comma 7 del decreto legislativo n. 152/2006, come da comunicazione in Gazzetta Ufficiale.

In relazione alle opere previste dovrà essere valutata la necessità di richiesta di parere/nulla osta presso la Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale, in relazione a quanto prescritto nel Piano di Bacino Fiume Arno nelle norme di attuazione ed allegati.

Al fine di caratterizzare il sottosuolo dell'area dal punto di vista geofisico è stata utilizzata la seguente indagine geognostica svolta su incarico della Amministrazione Provinciale di Arezzo da GEO 3D (Società di tecnologie e servizi innovativi nel settore ambientale):

- N°1 indagine geofisica indiretta MASW (Multichannel Analysis Surface Waves);
- N°1 prospezione geofisica di sismica a rifrazione acquisita in Vp;
- N°1 prospezione geofisica di sismica a rifrazione acquisita in Vs.

La prospezione MASW ha evidenziato la presenza nel sottosuolo del bedrock sismico alla profondità di -2.50 m dl piano di campagna (vs>800 m/sec).

Il bedrock sismico è stato rilevato con una velocità sismica pari a 850 m/s, mentre la coltre sovrastante ha vs comprese tra 210-350 m/s, senza inversioni di velocità sismica. La prospezione in onde P eseguita da GEO 3D ha permesso di investigare i primi 14 m di profondità nel sottosuolo.

La tomografia ottenuta evidenzia una copertura a medio bassa velocità delle onde di volume Vp (600-1200 m/s) per i primi 2-3 m da piano campagna la quale passa lateralmente verso la fine dello stendimento a terreni molto più competenti con velocità (1800-2800 m/s).

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

L'indagine a rifrazione in onde S ha permesso di investigare i primi 14 m di profondità nel sottosuolo. La tomografia ottenuta evidenzia una copertura a medio alte velocità delle onde di taglio Vs (400-700 m/s) per i primi 2-3 m da piano campagna. Questo deposito superficiale rimane costante per tutta lo stendimento.

Le velocità raggiungono 800 m/s intercettando il bedrock sismico tra -3 e -5 m da p.c.. All'aumentare della profondità si incrementa anche la Vs che raggiunge velocità superiori a 2000 m/s a -13.00 m da p.c.

L'indagine sismica MASW ed a Rifrazione sono state svolte a quote superiori rispetto al piano fondale del ponte (10-11 m); le fondazioni del ponte stesso risultano quindi in relazione all'indagine geofisica giacenti all'interno del substrato sismico.

È stata pertanto attribuita la Categoria di sottosuolo A ai sensi delle NTC2018 per le fondazioni del ponte.

La Categoria Topografica conferita è la T2.

L'area in oggetto è sottoposta a Vincolo Idrogeologico (RDL 30.12.1923 n. 3267); le opere previste dovranno pertanto essere realizzate nel rispetto dei dettami della L.R. 21.03.2000 n.39 – Regolamento d'attuazione D.P.G.R. 05.09.2001 n.44/R – e del successivo D.P.G.R. 08.08.2003 n. 48/R (Regolamento Forestale della Toscana), in particolare di quanto riportato nell'art. 75 e seguenti.

Le verifiche in fondazione allo SLU (SLV) e SLE verranno svolte dal progettista strutturale.

La natura del sottosuolo dovrà essere controllata in maniera puntuale e definitiva al momento dell'apertura dei lavori di scavo, così da essere certi dell'omogeneità delle caratteristiche geotecniche dei terreni direttamente interessati dalle opere.

La Validità delle ipotesi di progetto dovrà cioè essere controllata durante lo svolgimento delle opere considerando, oltre i dati raccolti in fase di progetto, anche quelli ottenuti con misure ed osservazioni nel corso dei lavori per adeguare, eventualmente, l'opera alle situazioni riscontrate.

La presente relazione non si occupa della gestione delle terre e rocce da scavo per la quale si rimanda alle indicazioni dei progettisti.

Arezzo, 10.09.2024

Dott. Geologo
Giovanni Capacci

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Allegato 1.1

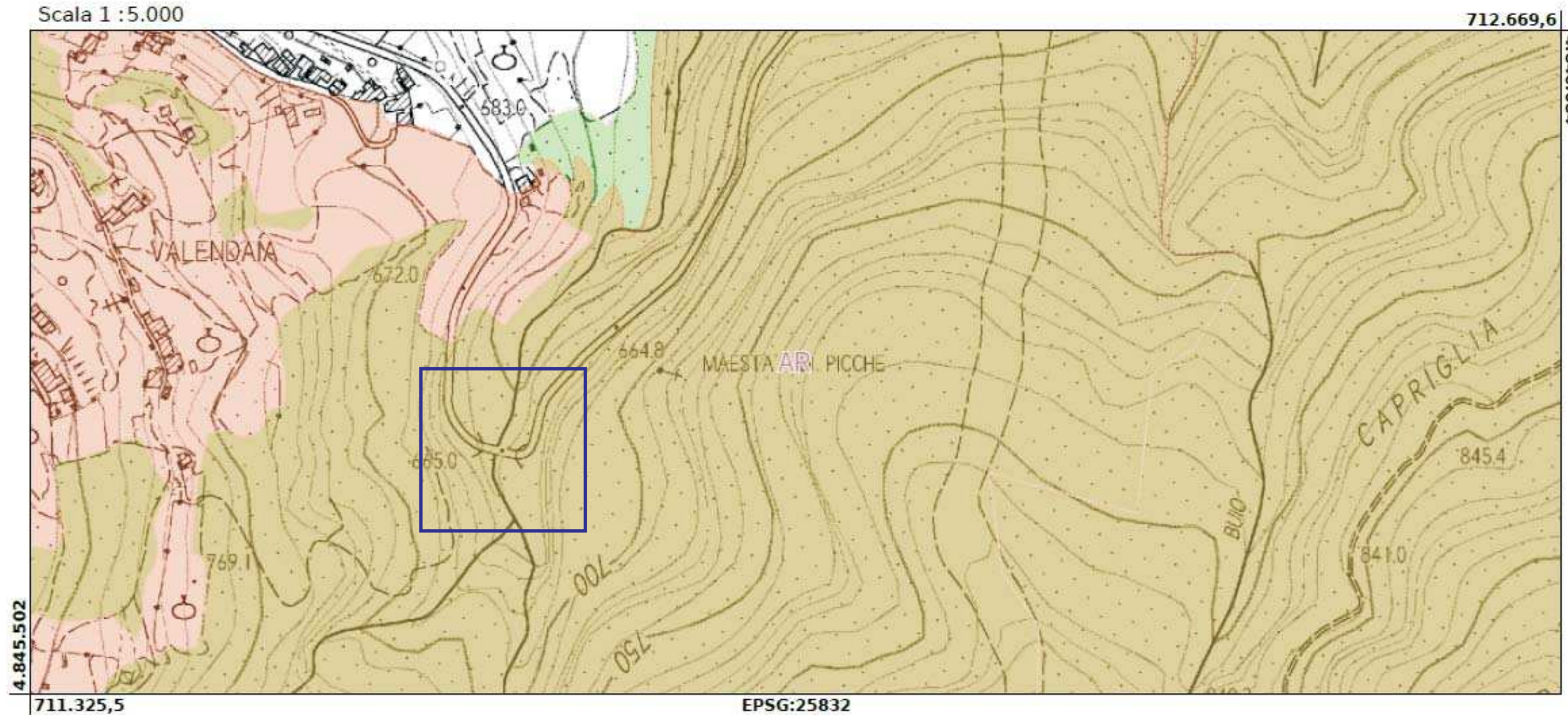


Regione Toscana



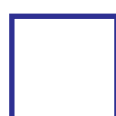
Regione Toscana - SITA: Vincolo idrogeologico

Scala 1 : 5.000



Comune di Montemignaio

Località Borro di Pistiano



Area in esame

Regio Decreto 3267/1923 (Fonte Province)

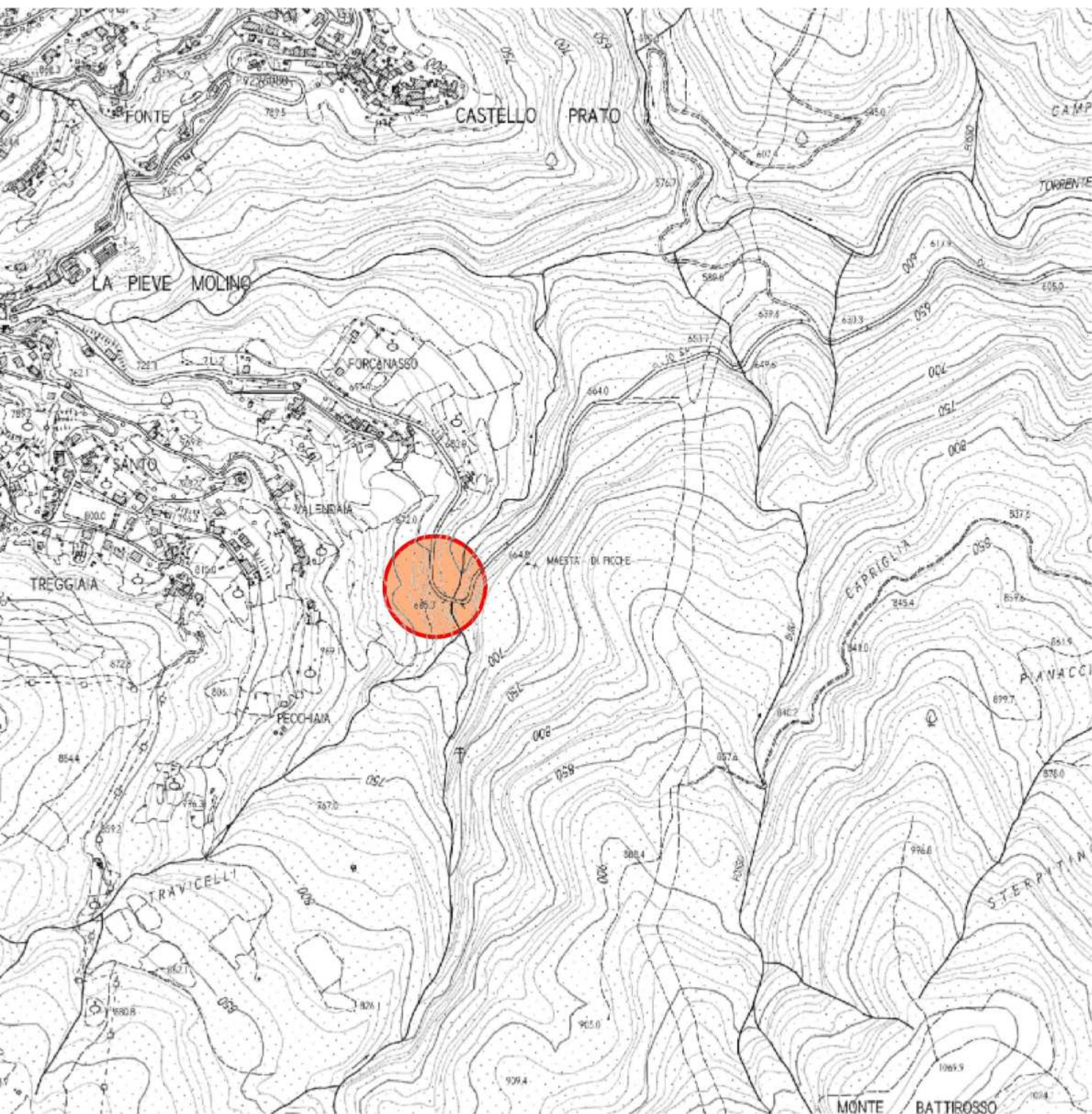
 R.D. n.3267/1923

Aree boscate (Fonte Uso del suolo 2010_RT)

 Zone boscate; Zone con vegetazione arbustiva e/o erbacea;
Strade in aree boscate

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Allegato 2.1

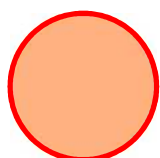


COMUNE DI MONTEMIGNAIO

Località Borro di Pistiano

COROGRAFIA GENERALE

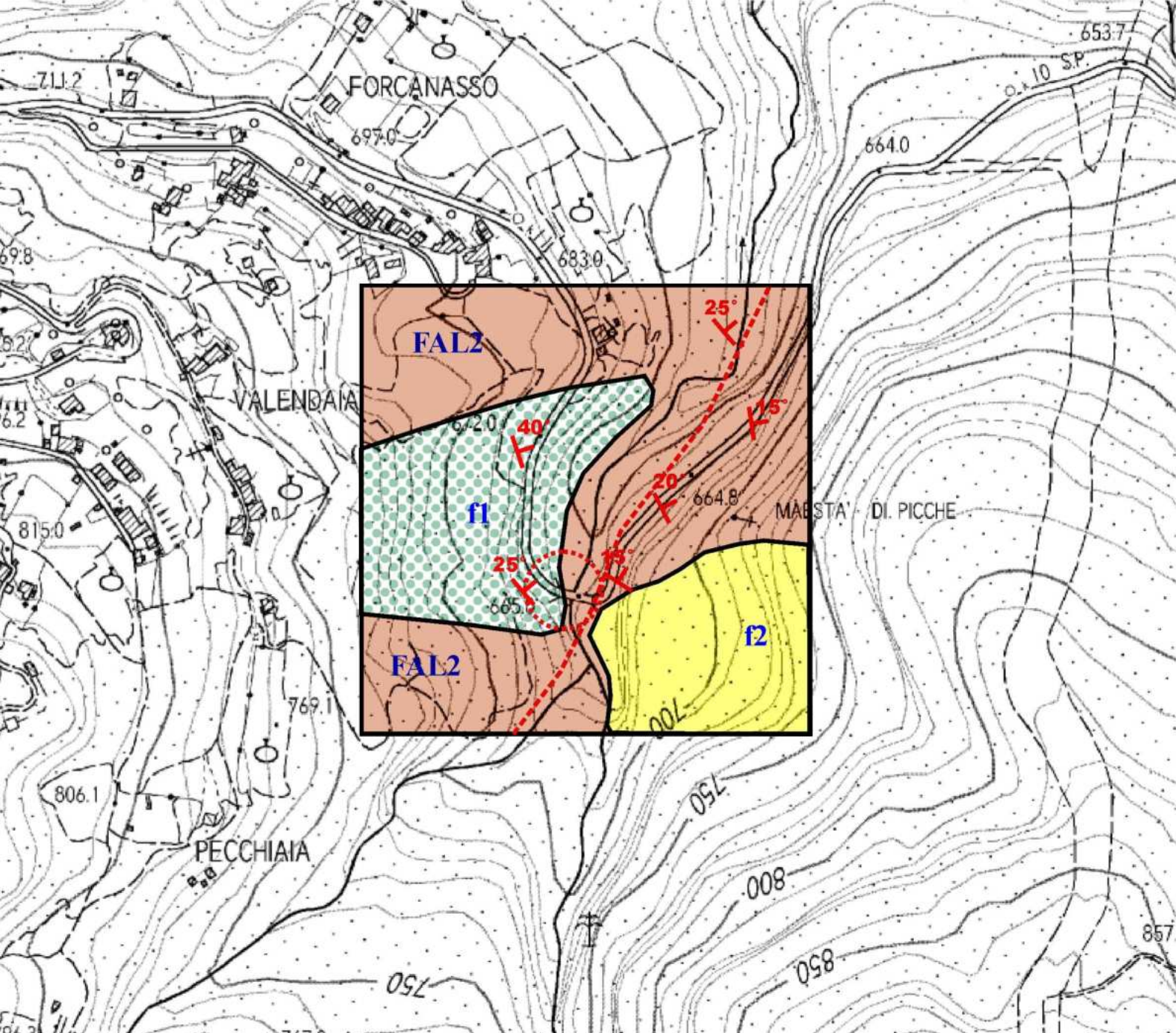
Scala 1:10.000



Area interessata dall'intervento

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci







Allegato 3.1



COMUNE DI MONTEMIGNAIO

Località Borro di Pistiano

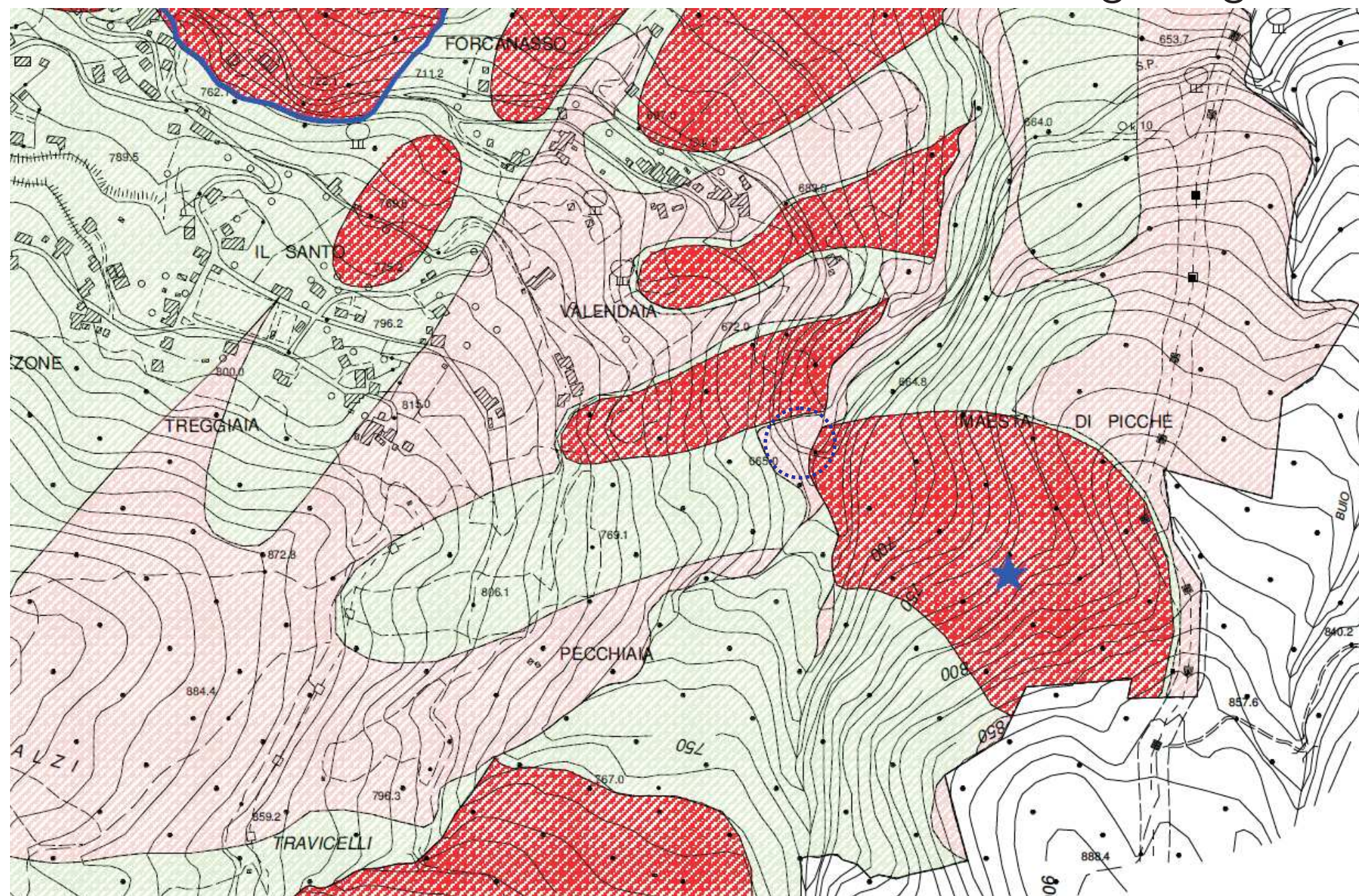
CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA Scala 1:5.000

	f2: Corpo di frana per scivolamento rotazionale/traslattivo Fonte IFFI/DB Geomorfologico Regione Toscana (Olocene-recente)
	f1: Area con frane superficiali diffuse Fonte IFFI/DB Geomorfologico Regione Toscana (Olocene-recente)
	FAL2: Unità di M. Cervarola (Membro di Camaldoli) Aquitaniiano-Burdigaliano
	Giacitura strati
	Faglia
	Area interessata dall'intervento

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Allegato 3.2

Comune di Montemignai - Località Borro di Pignano Piano Strutturale - Carta della Pericolosità geologica



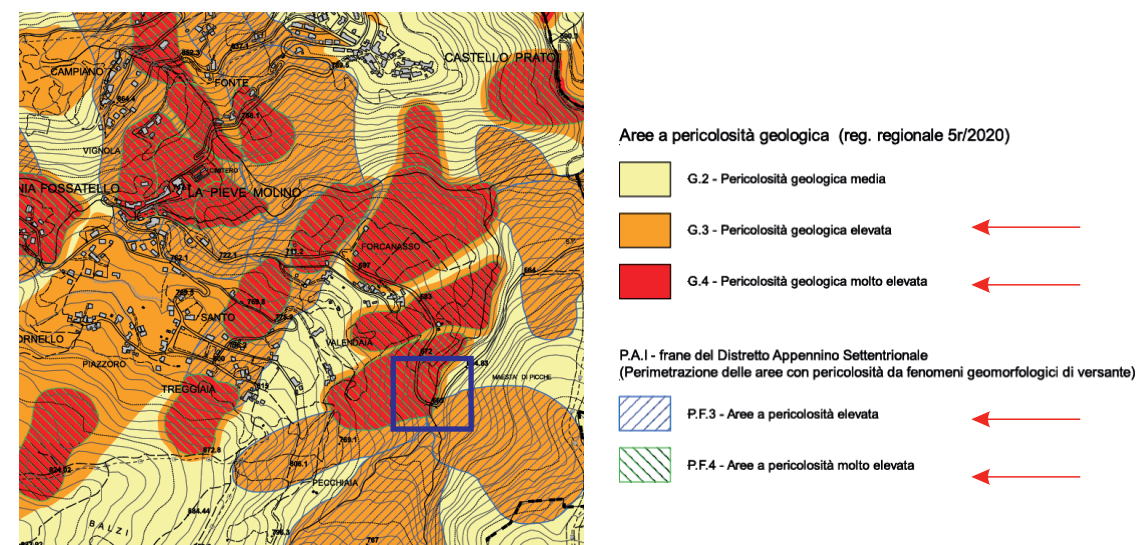
LEGENDA

- 2 pericolosità bassa
- 3 pericolosità media
- 4 pericolosità elevata
- Area PF4 (PAI)
- ★ Area PF3 (PAI)

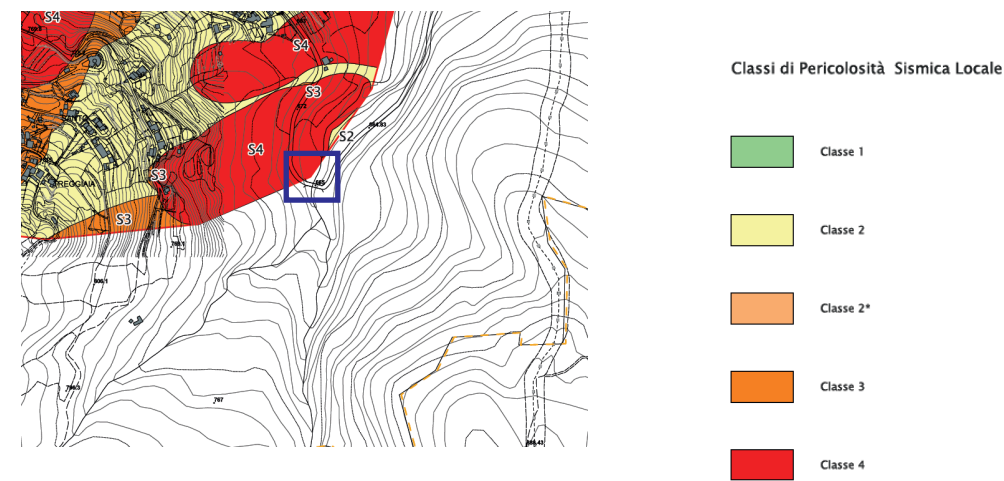
Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Allegato 3.3

Carta della pericolosità geologica
Piano Strutturale intercomunale Casentino adottato

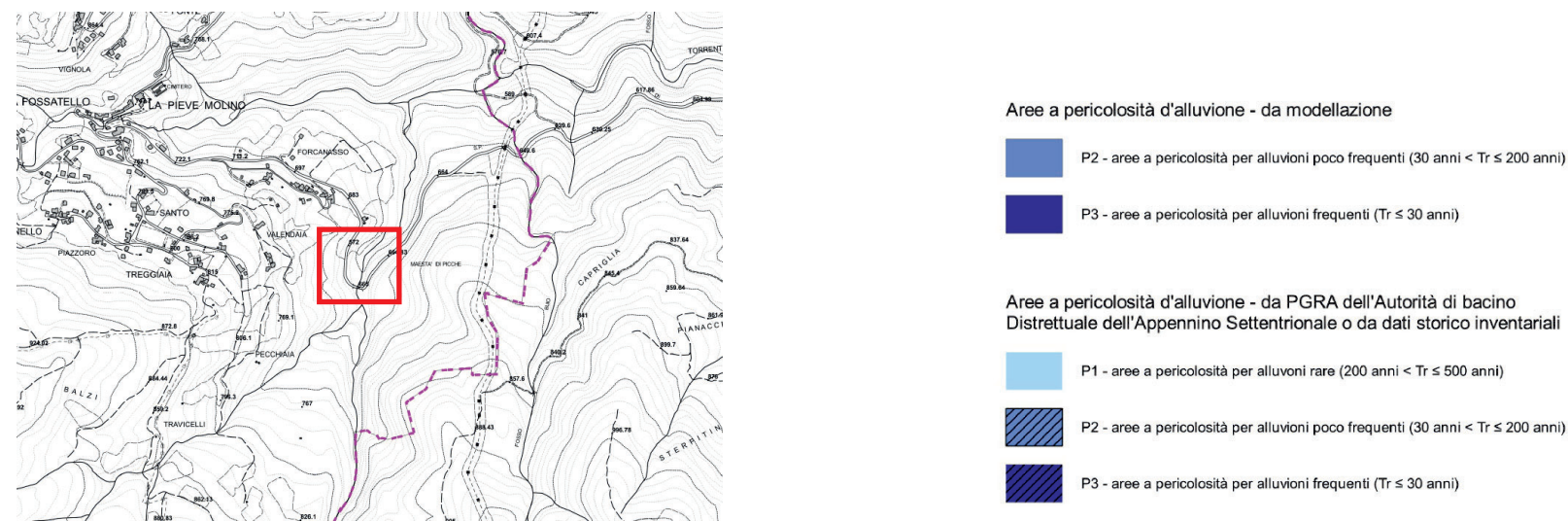


Carta della pericolosità sismica
Piano Strutturale intercomunale Casentino adottato



Pericolosità sismica non espressa; area contigua a Classe di pericolosità S4

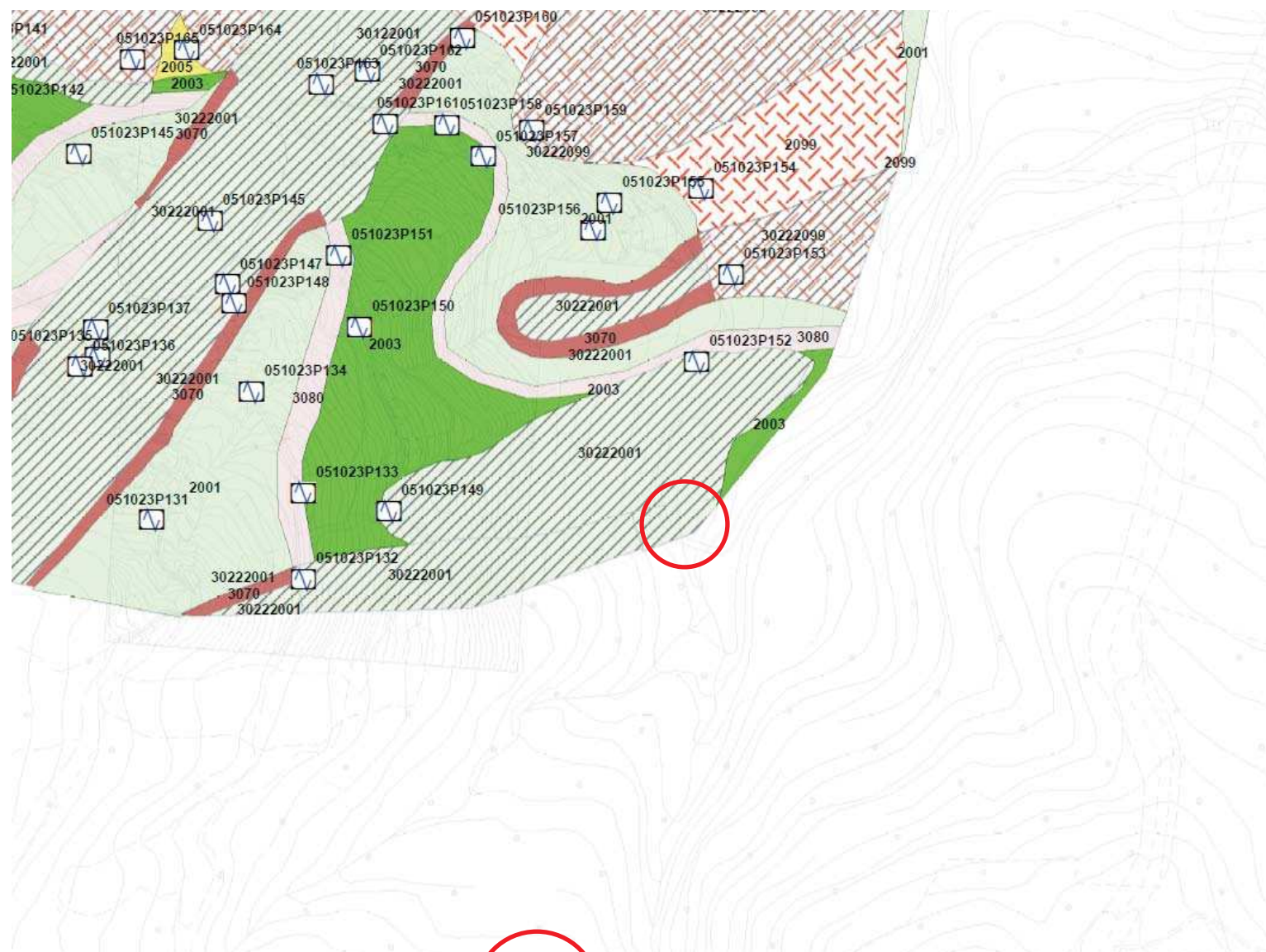
Carta della pericolosità da alluvioni
Piano Strutturale intercomunale Casentino adottato



Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

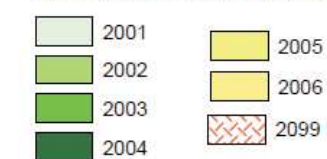
Allegato 3.4

Carta delle MOPS

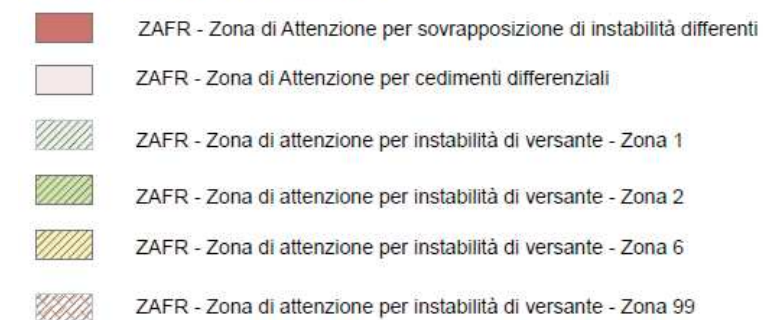


Area in esame

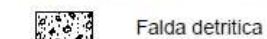
Zone Stabili suscettibili di amplificazione



Zone di attenzione per instabilità

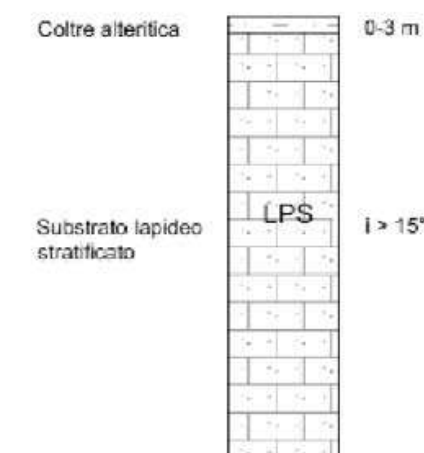


Forme sepolte e di superficie



2001

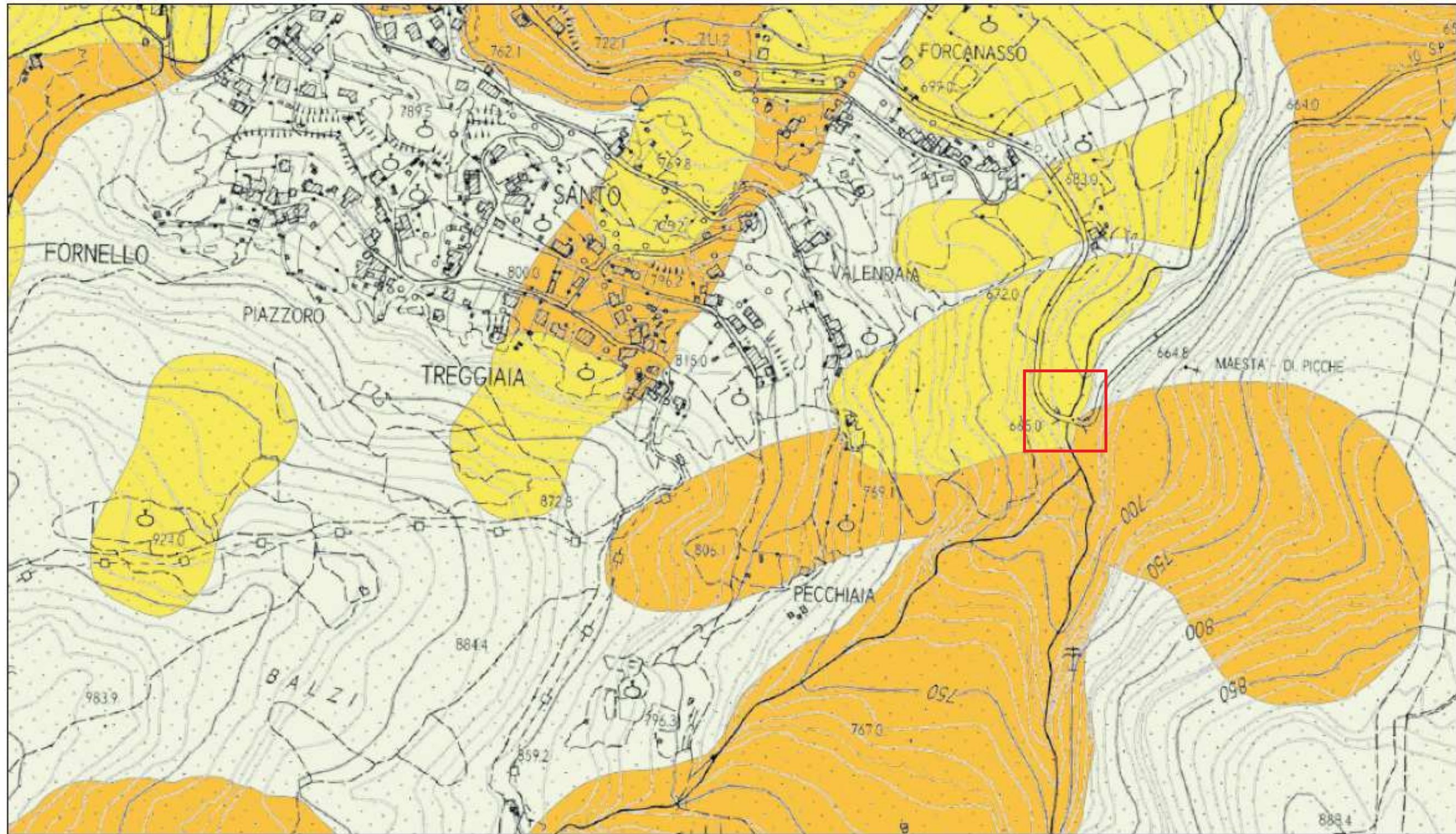
Zona 2001



Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Allegato 3.5

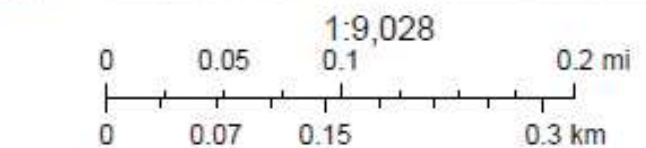
Mappa "PAI frane nel bacino dell'Arno"



15/2/2023, 13:01:25

Aree con propensione al dissesto Aree con pericolosità da frana

 PF1 - bassa	 PF2 - media	 PF4 - molto elevata
 PF2 - media	 PF3 - elevata	



© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA, Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale

Area pianificazione assetto idrogeologico e frane
Map data © OpenStreetMap contributors, CC-BY-SA | Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale |

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Allegato 3.6

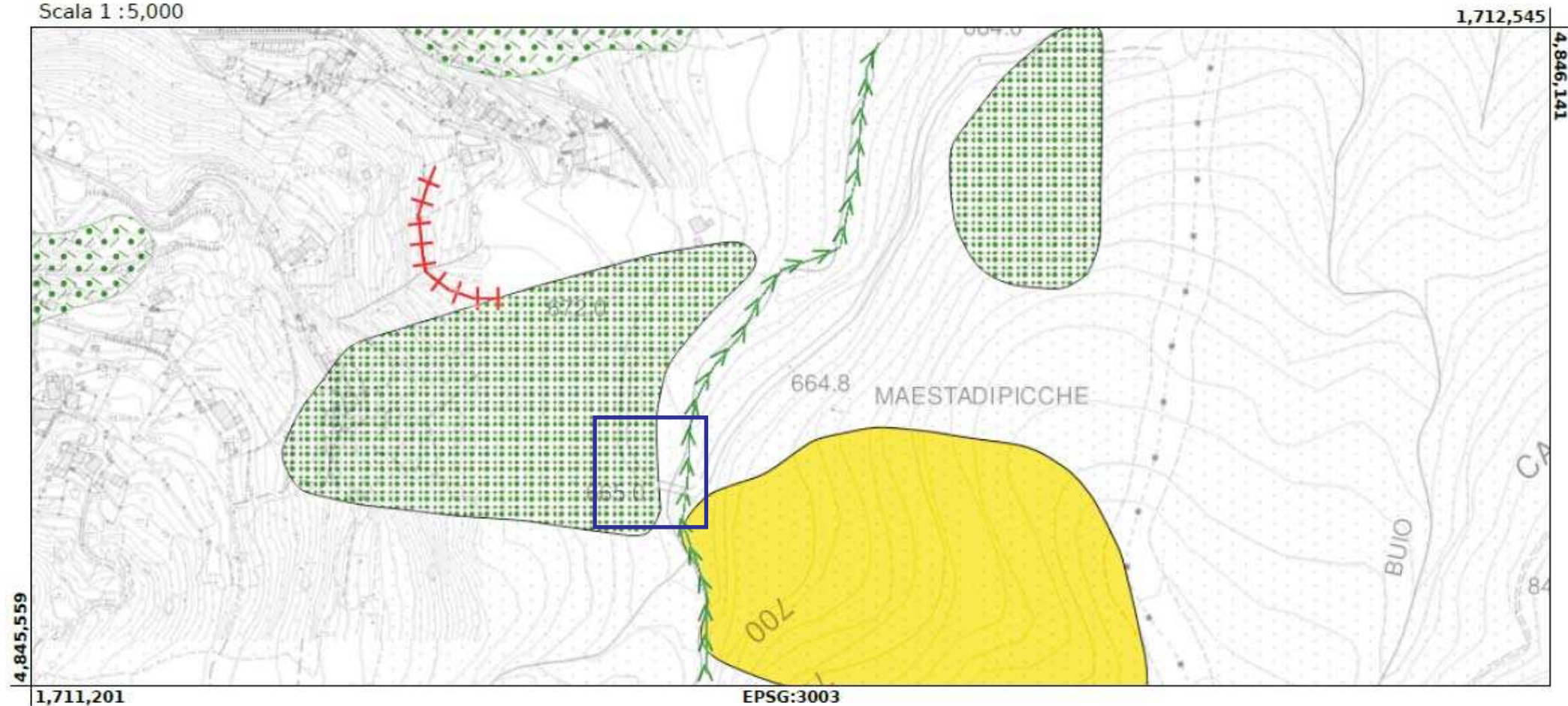


Regione Toscana



Regione Toscana - DB Geomorfologico

Scala 1 : 5,000



FL - Forme Lineari

- Solco erosivo di ruscellamento concentrato (gully erosion)
- Trincea di frana o di Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (DGVP)
- Trincea di frana o di Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (DGVP)

OS_StudiGeom - OrliScarpataFrana_StudiGeomFI-PO-GR-PI-SI-LI

FR_StudiGeom - Frane_StudiGeomFI-PO-GR-PI-SI-LI

FI - Frane IFFI

- Scivolamento rotazionale/traslattivo
- Aree soggette a frane superficiali diffuse

FA - Forme Areali

DS - Depositi Superficiali

- Deposito eluvio-colluviale

Comune di Montemignaio

Località Borro di Pistiano



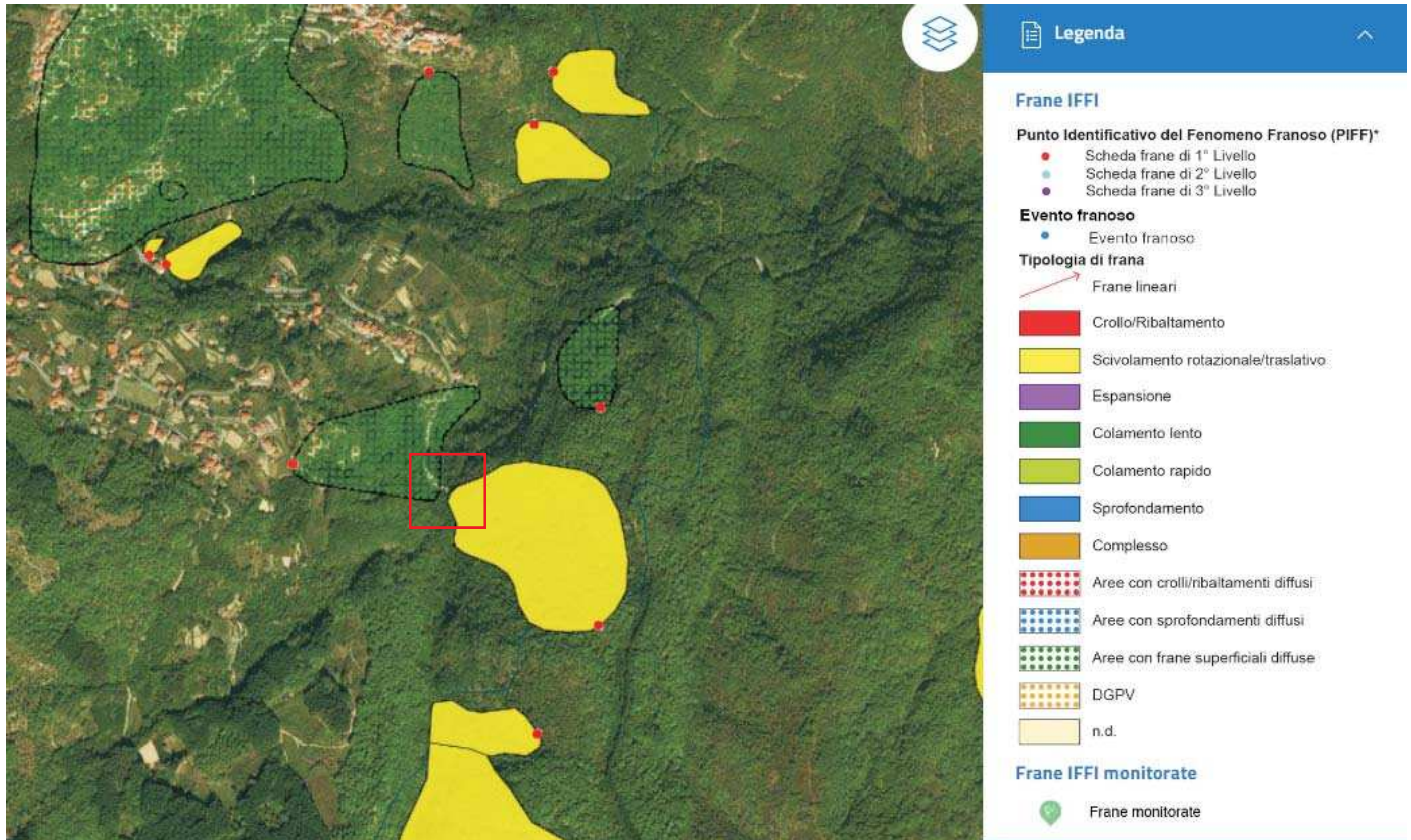
Area in esame

Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Allegato 3.7

Progetto IFFI (Ispra)

Comune di Montemignaio - Località Borro di Pistiano



Geologo incaricato: Dott. Giovanni Capacci

Allegato 4.1



Società di tecnologie e servizi innovativi nel settore ambientale

"Lavori di manutenzione straordinaria di ripristino del ponte sulla
S.P.70 di Montemignaio, km.10+500, località Borro di Pistiano,
Comune di Montemignaio (AR) "





RAPPORTO PROVE

DATA:

OTTOBRE 2022

COMMITTENTE:

PROVINCIA DI AREZZO

AREA	RAPPORTO DI PROVA	ESEGUITO	VERIFICATO RTE	AGGIORNAMENTO	 	
GEOTECNICA GEOFISICA	E 009-22	27-29/09/22	DOTT.GEOL. DOMENICO MARCHETTI		SOCIETA' CERTIFICATA PER L'ESECUZIONE DI INDAGINI DIAGNOSTICHE STRUTTURALI E GEOGNOSTICHE IN SITU GEO 3D SRL Via della Chimica, snc Loc. Vazia - 02100 Rieti tel./fax. 0746-221363 www.geo-3d.it EMAIL : admin@geo-3d.it Cod. Fisc. e P.I.:00937950574	

INDICE

1	PREMESSA	2
2	INDAGINI GEOFISICHE INDIRETTE TIPO MASW	2
2.1	Indagine geofisica MASW	3
3	TOMOGRAFIE SISMICHE PER ONDE S E ONDE P (SRT)	7
3.1	Modalità di acquisizione	7
3.2	STR in Vp	8
3.3	STR in Vs	9
4	INDAGINE GEORADAR	11
4.1	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E BREVE DESCRIZIONE DEL METODO	11
4.2	Transetti sulla carreggiata-sistema IDS	14
4.2.1	Indagine con sistema GSSI	16
4.2.2	GEORADAR PARETI DEL PONTE	20
4.2.3	MAGLIA A	22
4.2.4	MAGLIA B	26
5	CAROTAGGI	27
5.1	Carotaggio C1	29
5.2	Carotaggio C2	30
6	ENDOSCOPIA	31

Allegati

1. Ubicazione indagini
2. Elaborazione prove geofisiche MASW
3. Elaborazione tomografia sismica in Vp
4. Elaborazione tomografia sismica in Vs

1 PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione Provinciale di Arezzo, nell'ambito dei “Lavori di manutenzione straordinaria di ripristino del ponte sulla S.P.70 di Montemignaio, km.10+500, località Borro di Pistiano, Comune di Montemignaio”, (AR) –sono state eseguite le seguenti indagini:

- N°1 indagine geofisica indiretta MASW (Multichannel Analysis Surface Waves);
- N°1 prospezione geofisica di sismica a rifrazione acquisita in V_p ;
- N°1 prospezione geofisica di sismica a rifrazione acquisita in V_s .
- N.2 maglie di acquisizione GPR con antenna da 1000 MHz;
- N. 6 transetti georadar longitudinali con antenne da 200,400,600 MHz;
- N.21 transetti GPR con antenne da 200 e 600 MHz;
- N.2 carotaggi della muratura;
- N.1 scavo ed endoscopia;

Il presente rapporto espone i risultati delle indagini.

2 INDAGINI GEOFISICHE INDIRETTE TIPO MASW

Nella maggior parte delle indagini sismiche di superficie, energizzando con onde di compressione, più di due terzi dell'energia generata viene trasmessa al terreno sottoforma di onde di Rayleigh.

Il fenomeno che sfrutta la tecnica MASW per ottenere dei profili di velocità delle onde S deriva dalla constatazione che l'onda superficiale ha una differente velocità di propagazione per ciascuna componente di frequenza, questo fenomeno è detto dispersione.

Mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, si restituisce lo spettro del segnale e si identifica mediante modellazione sismostratigrafica la curva di dispersione sperimentale che meglio segue i valori massimi di ampiezza del modo fondamentale.

Nel caso in esame, si è utilizzata una strumentazione costituita da un sismografo digitale PASI 16 S24U, 24 geofoni a bassa frequenza orizzontali e verticali (4.5 Hz), una mazza di 8 Kg, una piastra in alluminio.

È stata acquisita la componente radiale delle onde di Rayleigh energizzando verticalmente su piastra.

L'elaborazione è stata effettuata con un software dedicato WinMASW® 2019 Academy eseguendo un'analisi modale valutando quindi lo spettro ottenuto con la componente radiale delle onde di Rayleigh.

2.1 Indagine geofisica MASW

Lo stendimento è stato eseguito lungo il ciglio di valle della strada SP70 parallelamente ad essa in direzione NNW-SSE, si veda figura n.1.



Figura 1: Stendimento linea sismica per l'acquisizione della MASW.

In relazione all'andamento plano-altimetrico ed allo spazio disponibile per effettuare l'indagine, si è scelto un array costituito da 24 geofoni verticali a spaziatura regolare di 1.50m (Figura 2). Sono state eseguite le acquisizioni della componente verticale ad uno degli estremi dello stendimento con offset di battuta di 6 m di cui si può osservare il *common-shot gather* delle componenti acquisite in campagna nella Figura 3.



Figura 2: Stendimento linea sismica per l'acquisizione della MASW con geofoni verticali e orizzontali.

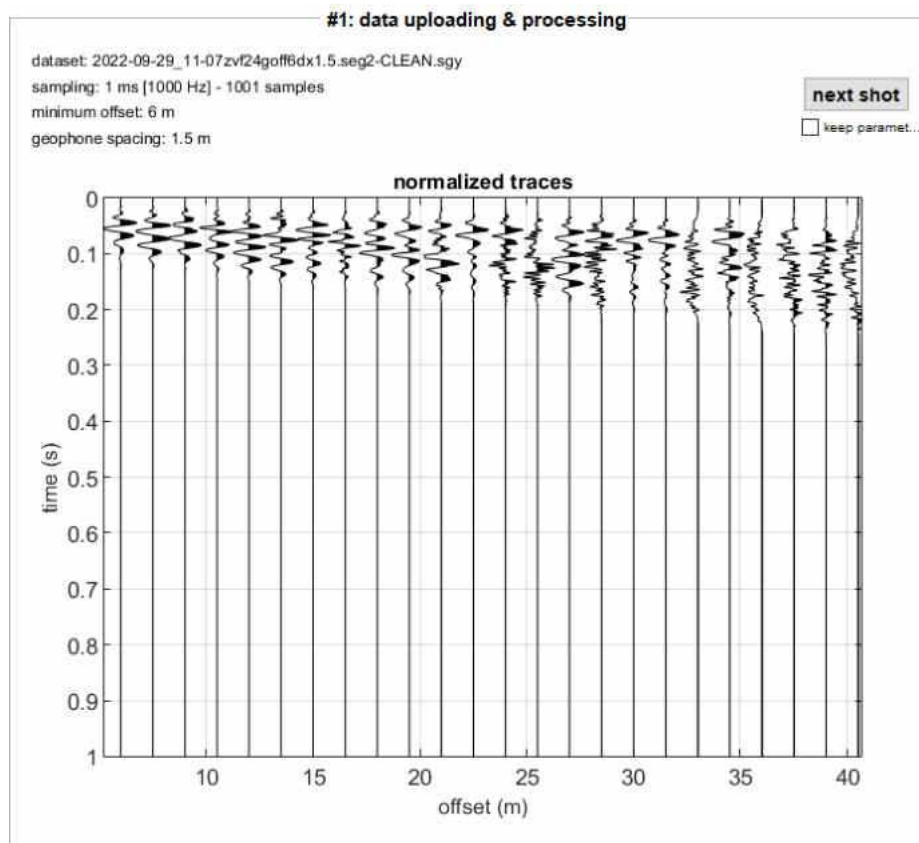


Figura 3: Common-shot gather acquisito in campagna.

Il programma restituisce due modelli sismostratigrafici definiti “medio” e “migliore”.

La curva di dispersione che restituisce il miglior *fitting* degli spettri di velocità deriva da un profilo verticale delle onde S costituito da **5 sismostrati** dalle seguenti caratteristiche:

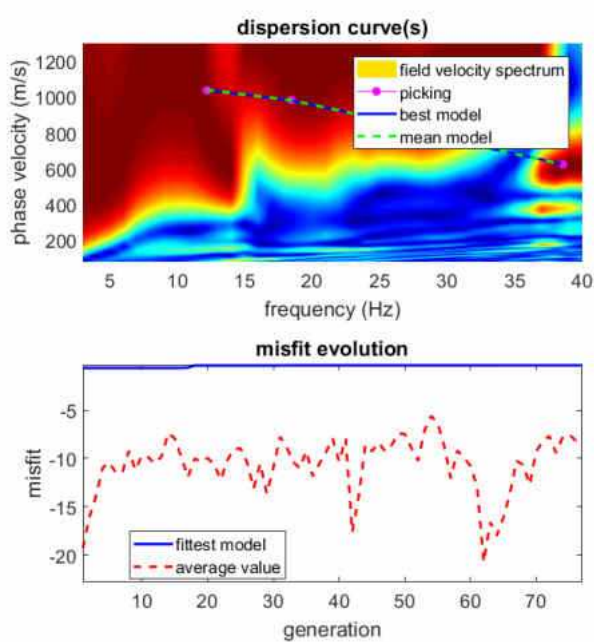
Tabella 1: Modello medio e migliore della prova MASW.

MODELLO MEDIO (MEAN MODEL)			MODELLO MIGLIORE (BEST MODEL)		
Strato n.	Spessore (m)	Vs (m/s)	Strato n.	Spessore (m)	Vs (m/s)
1	0.50	200	1	0.5189	200
2	2.30	310	2	2.30	310
3	5.70	850	3	5.8017	850
4	5.00	1054	4	5.00	1054
5	-	1200	5	-	1200
Vs30 = 852m/s			Vs30 = 852m/s		

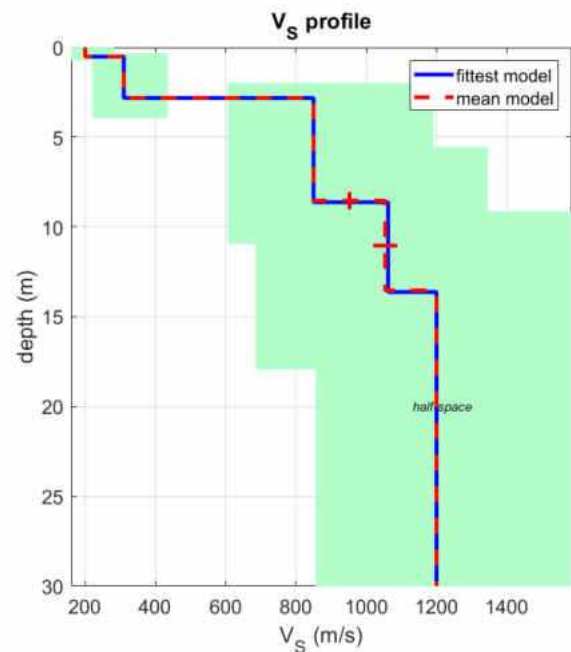
Di seguito si fornisce una stima approssimativa di V_p , densità e moduli elastici in base al profilo di velocità del modello medio (Tabella 2):

Tabella 2: V_p , densità e moduli elastici del profilo di velocità medio della prova MASW1.

strato n.	V_p (m/s)	Densità (g/cm ³)	Modulo di Poisson	Modulo di taglio (MPa)
1	424	1.84	0.36	74
2	645	1.96	0.35	188
3	1727	2.23	0.34	1612
4	2192	2.29	0.35	2545
5	2532	2.33	0.36	3349



www.wlmmasw.com



dataset: 2022-09-29_11-07zvf24goff6dx1.5.seg2-CLEAN.sgy

dispersion curve: pick 6.cdp

V_{s30} & V_{sE} (best model): 852 281 m/s

V_{s30} & V_{sE} (mean model): 852 281 m/s

Figura 4: Spettri di velocità, curve di dispersione e modello sismostratigrafico della MASW.

3 TOMOGRAFIE SISMICHE PER ONDE S E ONDE P (Seismic Refraction Tomography)

La tomografia sismica per onde P ed onde S è una tecnica che sfrutta la velocità di propagazione delle onde sismiche di volume (di compressione p e di taglio s), al fine di ottenere informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali che vengono attraversati dal fronte d'onda. Le onde P vengono acquisite energizzando su una piastra in alluminio e utilizzando geofoni verticali; mentre per le onde S si energizza mediante un travetto in legno utilizzando geofoni orizzontali.

Tale metodo di indagine, rispetto ai metodi classici quali la sismica a rifrazione, non schematizza il terreno sottostante a strati con caratteristiche omogenee, ma permette di determinare la velocità di propagazione in funzione della profondità, evidenziando eventuali discontinuità laterali e interfacce non piane tra gli strati a diverse caratteristiche.

L'acquisizione dei dati avviene posizionando uno stendimento di geofoni a spaziatura preferibilmente costante sulla direzione lungo la quale si intende ottenere una sezione con l'andamento delle velocità ed energizzando in un numero generalmente dispari di punti (uno al centro dello stendimento e gli altri distribuiti simmetricamente).

L'elaborazione è stata eseguita mediante il codice di calcolo *Rayfract*.

3.1 Modalità di acquisizione

Si è organizzata un'antenna di 24 geofoni orizzontali marca PASI con frequenza nominale di 4.5 Hz collegati per mezzo di due cavi a un sismografo digitale (marca PASI).

Sono state acquisite due tomografie lungo la medesima stesa utilizzata per l'acquisizione mASW, energizzando verticalmente su piastra per determinare le V_p ed energizzando trasversalmente su travetto in legno per determinare le V_s .

I geofoni sono stati spazati con interasse di 1.50 m per una lunghezza complessiva di 36 m. L'ubicazione della tomografia sismica (Figura 7) è indicata in allegato ed è stata scelta dai committenti.

3.2 STR in Vp

La stesa eseguita ha permesso di investigare i primi 14m di profondità nel sottosuolo.

La tomografia ottenuta (Figura 6) evidenzia una copertura a medio bassa velocità delle onde di volume Vp (600-1200 m/s) per i primi 2-3m da piano campagna la quale passa lateralmente verso la fine dello stendimento a terreni molto più competenti con velocità (1800-2800m/s).



Figura 5: Stendimento sismico per tomografia sismica a rifrazione in Vp.

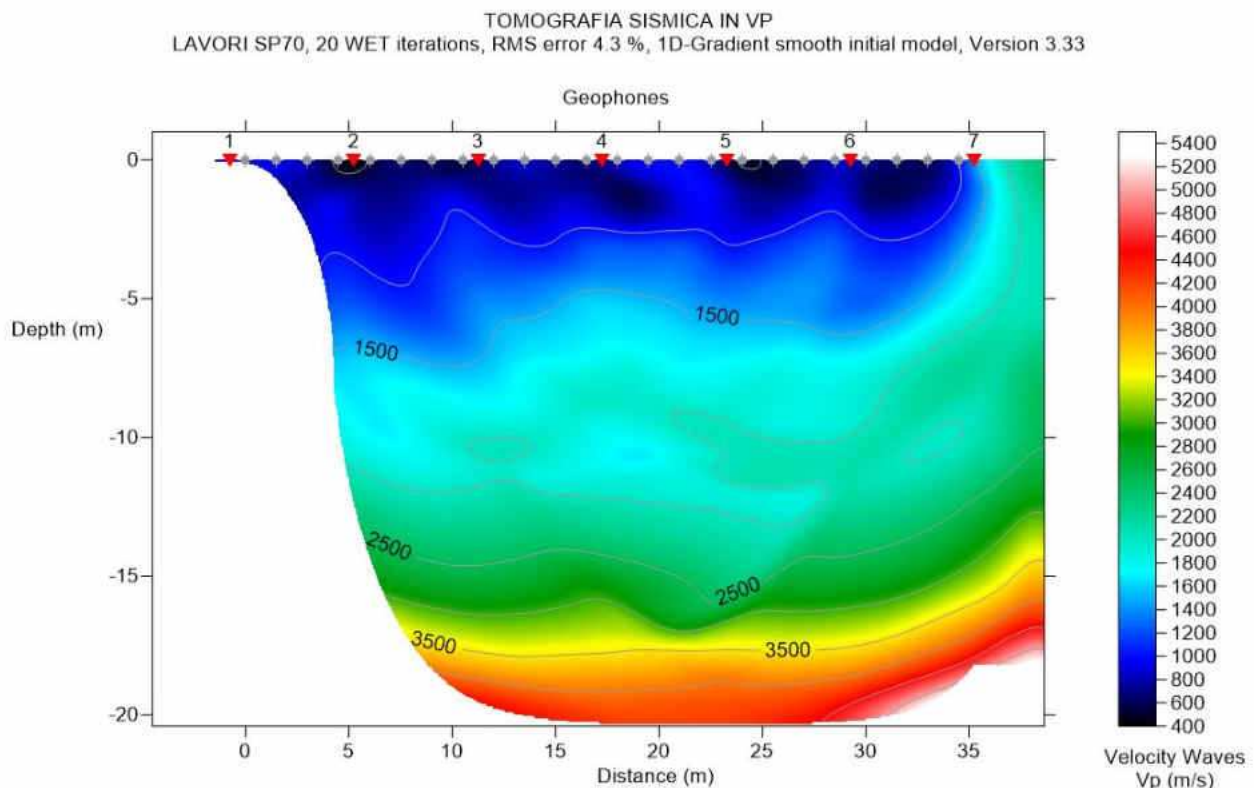


Figura 6: Tomografia onde P.

3.3 STR in Vs

L'indagine eseguita ha permesso di investigare i primi 14m di profondità nel sottosuolo. La tomografia ottenuta (Figura 8) evidenzia una copertura a medio alte velocità delle onde di taglio Vs (400-700 m/s) per i primi 2-3m da piano campagna. Questo deposito superficiale rimane costante per tutta lo stendimento. Come si evince dal grafico (fig.7) le velocità raggiungono 800m/s intercettando il bedrock sismico tra -3,-5 m da p.c.. All'aumentare della profondità si incrementa anche la Vs che raggiunge velocità superiori a 2000 m/s a -13.00m da p.c..



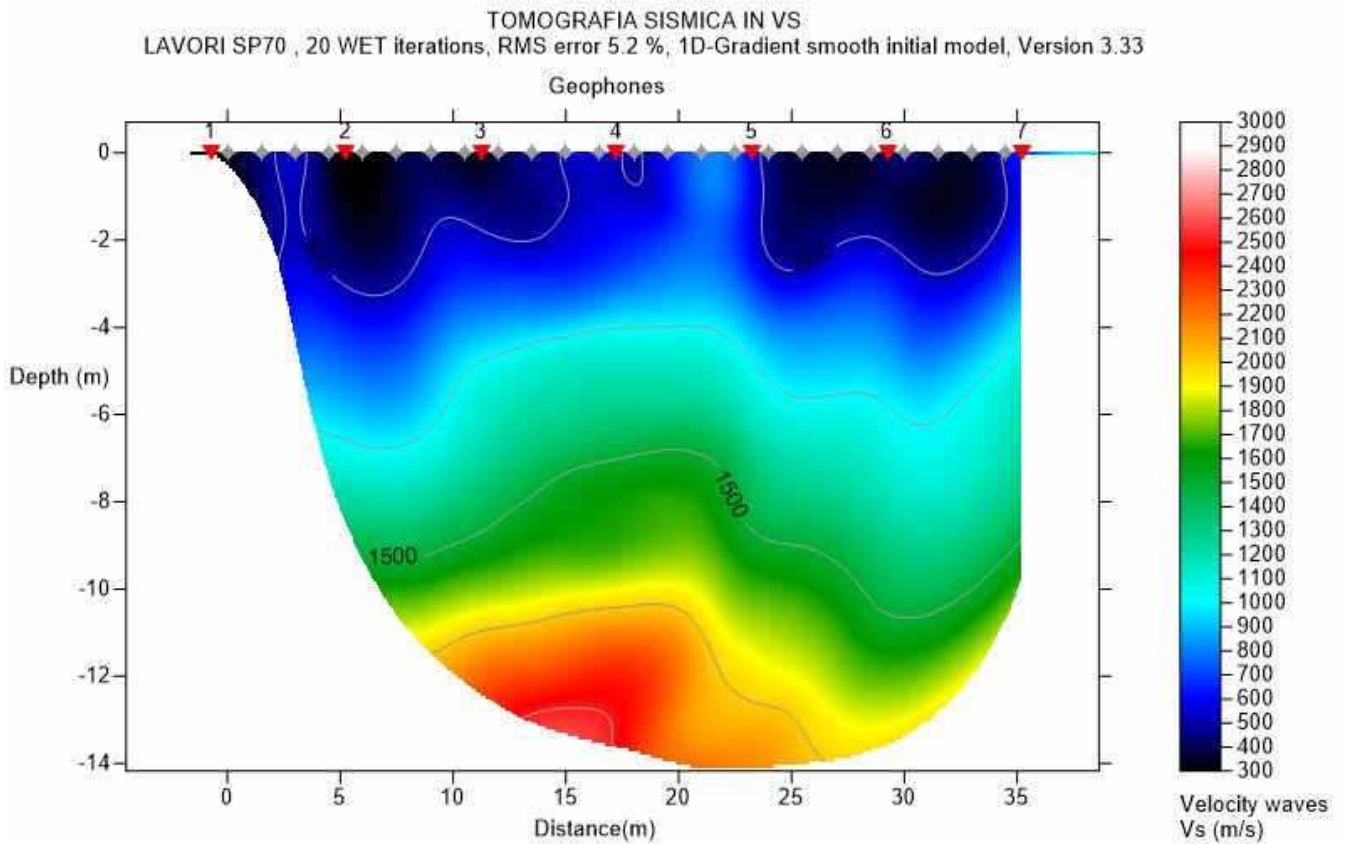


Figura 8: Tomografia onde S.

4 INDAGINE GEORADAR

4.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E BREVE DESCRIZIONE DEL METODO

Si sono utilizzate tre differenti antenne e n. 2 strumentazioni. Per le acquisizioni sulla carreggiata si è utilizzata sia una strumentazione IDS con antenne da 200 e 600 MHz sia un'unità di acquisizione SIR 3000 – Geophysical Survey Systems, Inc (GSSI) dotata di antenna con frequenza di 400 MHz.

La acquisizioni sulle pareti del ponte sono state eseguite con l'unità GSSI e un'antenna di frequenza 1000 MHZ.

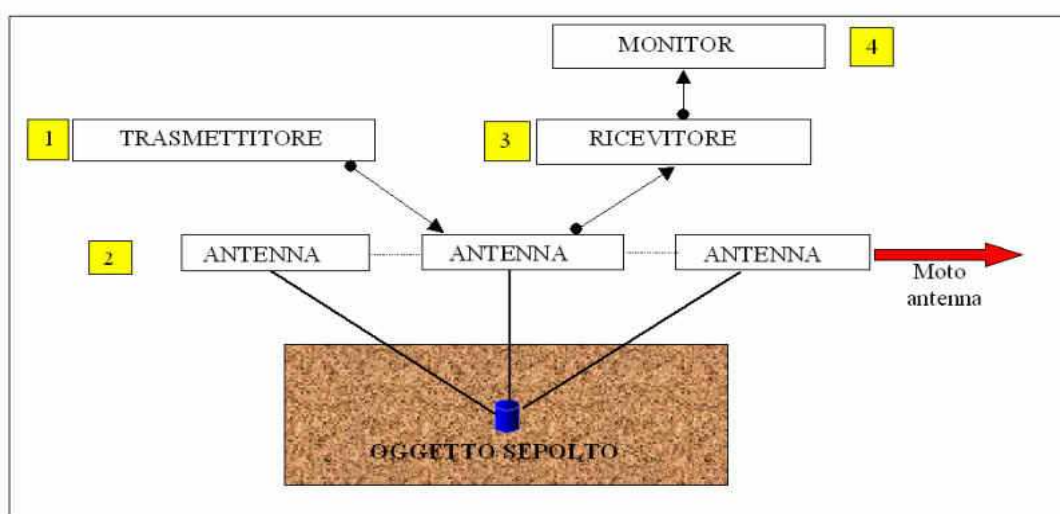
La metodologia radar si basa sull'utilizzo di onde elettromagnetiche ad alta frequenza che vengono immesse, riflesse e ricevute al fine di acquisire informazioni sullo stato fisico esistente nei materiali indagati.

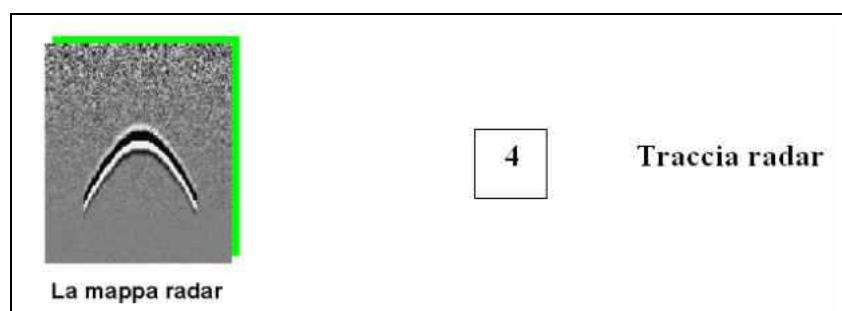
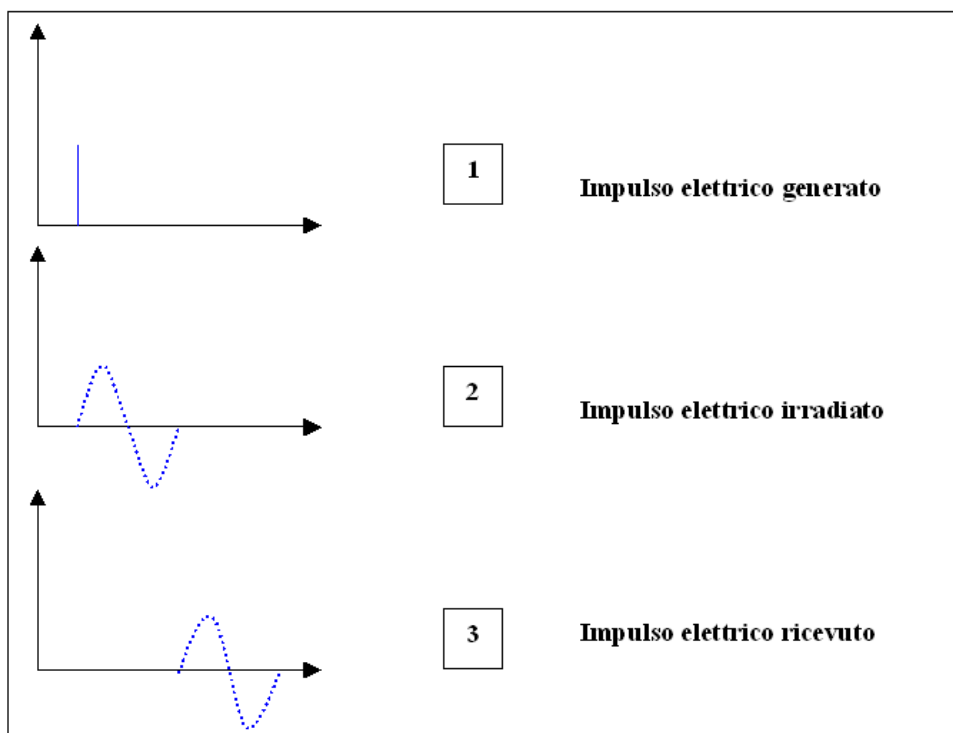
Le modalità di propagazione delle onde elettromagnetiche sono strettamente legate alle costanti dielettriche dei materiali.

Le caratteristiche dielettriche derivano dallo stato fisico dei materiali (densità, porosità, permeabilità, conducibilità etc.), pertanto tutte le interfacce separanti mezzi con caratteristiche diverse possono essere individuate in modo tanto più certo quanto più alto è il contrasto fisico.

In pratica, attraverso un dispositivo trasmettente-ricevente denominato antenna, collegato ad un registratore grafico, viene inviata nel mezzo di indagine una serie continua di impulsi elettromagnetici.

In corrispondenza delle superfici di discontinuità una parte dell'energia trasmessa viene riflessa e captata dalla sezione ricevente dell'antenna mentre un'altra parte penetra ulteriormente per essere riflessa da una superficie sottostante. Contemporaneamente al movimento dell'antenna il registratore grafico produce una sezione continua spazio-tempo nella quale si osservano le tracce delle diverse riflessioni o, comunque, delle anomalie nella risposta.





Il dato ottenuto dalla prova è denominato sezione radarstratigrafica o radargramma.

Quest'ultima ha carattere qualitativo in quanto consente l'interpretazione delle caratteristiche delle diverse "riflessioni" sotto forma di geometria e di intensità del segnale ricevuto.

La sezione riporta in ascissa i valori delle distanze misurate e in ordinata i valori di profondità derivati dai tempi di registrazione, nota la velocità dell'onda.

La valutazione della presenza di anomalie è stata eseguita direttamente sullo schermo del georadar durante la fase di acquisizione, e successivamente in studio eseguendo le operazioni di *processing*.

4.2 Transetti sulla carreggiata-sistema IDS

Sono state acquisite una serie di sezioni radarstratigrafiche sia longitudinalmente che trasversalmente, in particolare con il sistema IDS sono state acquisite n. 21 sezioni trasversalmente e n. 4 sezioni longitudinalmente. Di seguito si riportano le sezioni estratte le quali evidenziano una profondità di indagine di poco superiore a 1m da p.c. per quanto riguarda quelle acquisite con antenna da 600 MHz e circa 1.75m quelle con antenna da 200 MHz ad indicare la presenza di materiali conduttivi che riducono sensibilmente la profondità di indagine.

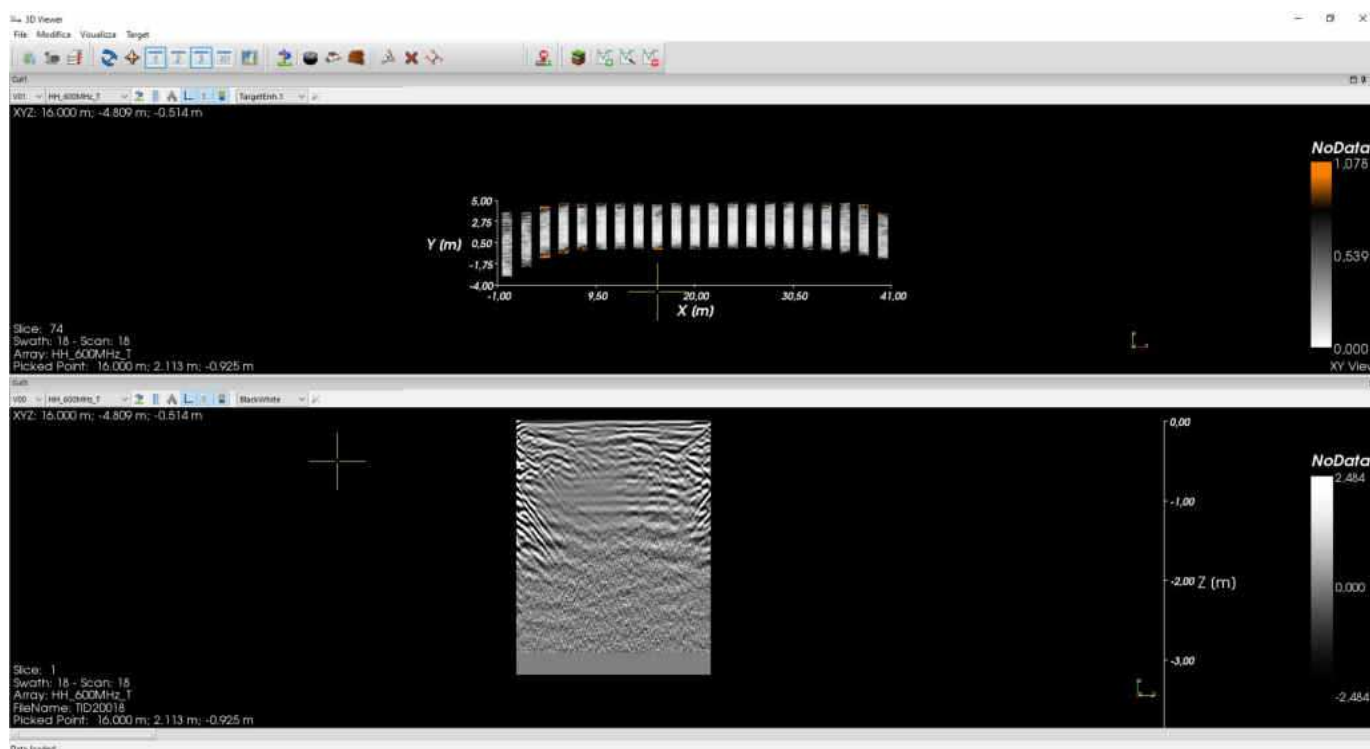


Figura 9. Sezione trasversale in corrispondenza del ponte.

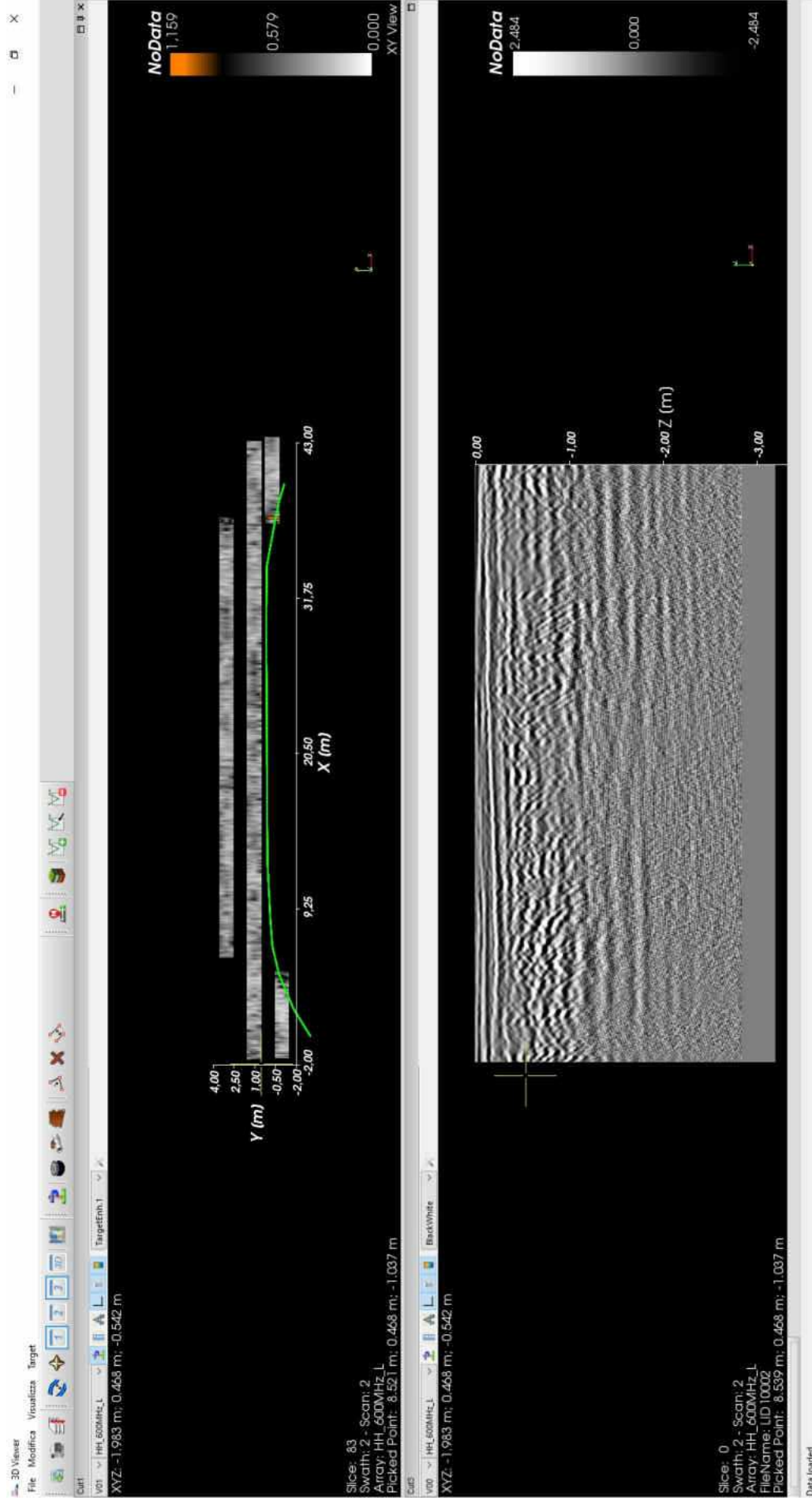


Figura 10.Stralcio sezione longitudinale.

Da queste non si evidenziano elementi strutturali riferibili al ponte o ad altre strutture, i riflettori superficiali entro i primi 10, 20 cm sono riferibili agli strati di conglomerato bituminoso come confermato dallo scavo eseguito successivamente descritto. Più in profondità il radargramma evidenzia riflessioni derivanti dagli elementi arenacei all'interno del deposito di riempimento.

4.2.1 Indagine con sistema GSSI

Sono stati acquisiti n. 4 transetti di cui n.2 longitudinali nella carreggiata lato monte e n.2 trasversali in corrispondenza del centro della volta (fig.15).

Di seguito si riporta il transetto acquisito longitudinalmente lato monte con antenna da 400 MHz che ha fornito dati qualitativamente migliori (fig.11).



Figura 11.Esecuzione transetto n.2 lato monte.

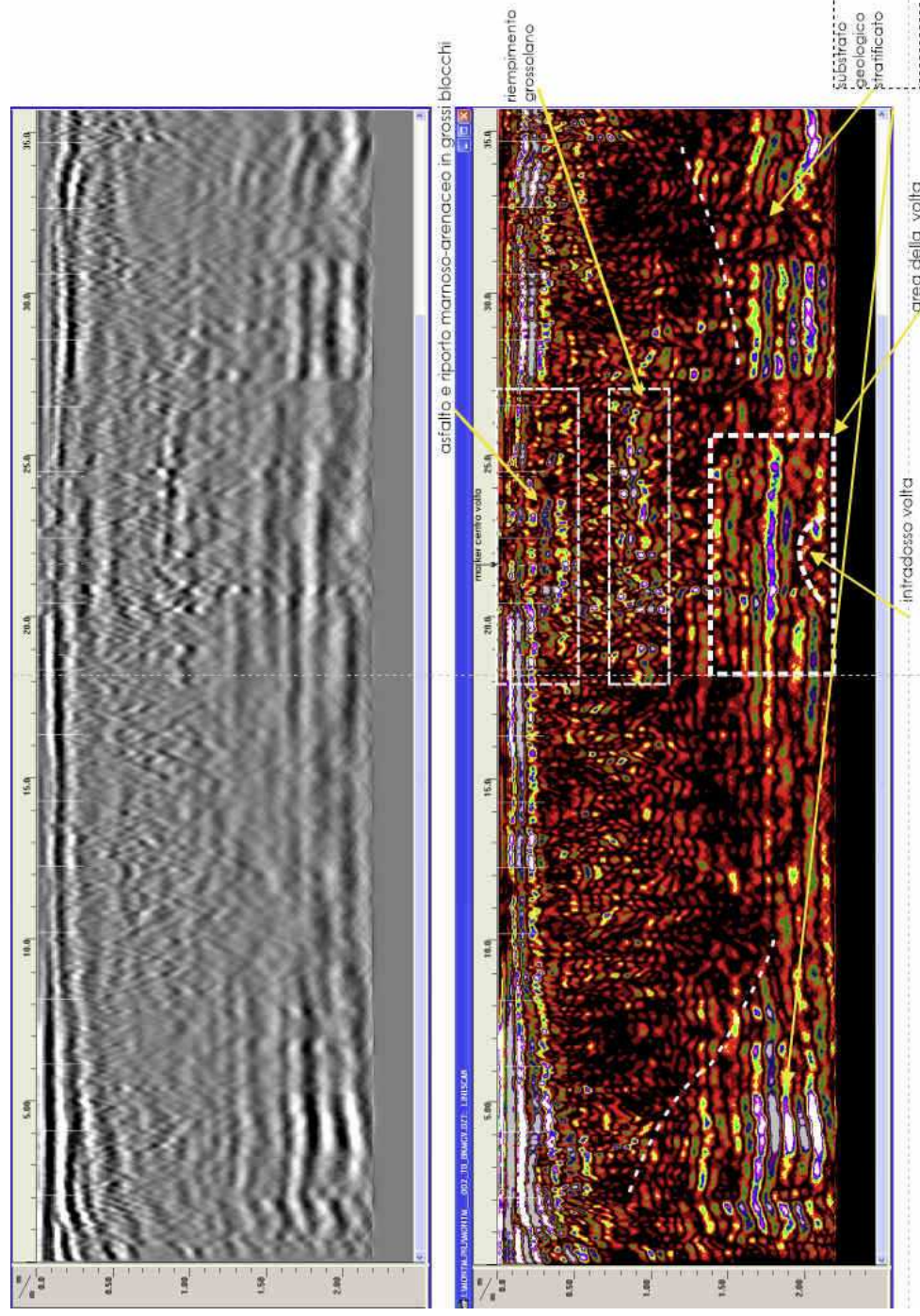


Figura 12. Radargramma 002 elaborato.

Il radargramma evidenzia la presenza di 2/3 riflettori superficiali piani, entro 0.20-0.50 m riferibili all'asfalto e al riporto eterometrico costituito da materiali marnosi e arenacei di dimensioni molto variabili (fig.13).

Più in profondità alle progressive corrispondenti alla volta (18.1-25.5 circa) si individua uno strato ancora ad elevata ampiezza del segnale, tra 0.8 e 1.10m da p.c., riferibile ancora molto probabilmente ad un orizzonte di riempimento anche grossolano.

A partire da 1.40/1.50m da p.c. sono presenti riflettori ad elevata ampiezza del segnale riferibili probabilmente all'estradosso volta, l'intradosso sembra intercettarsi a 1.90-2.00m da p.c..

Lateralmente a partire da -1.50m si rileva il substrato costituito da strati arenacei a monoclinale.



Figura 13.Scavo di altezza m0.60 e perforazione al centro volta.

RISULTATI INDAGINE GEORADAR

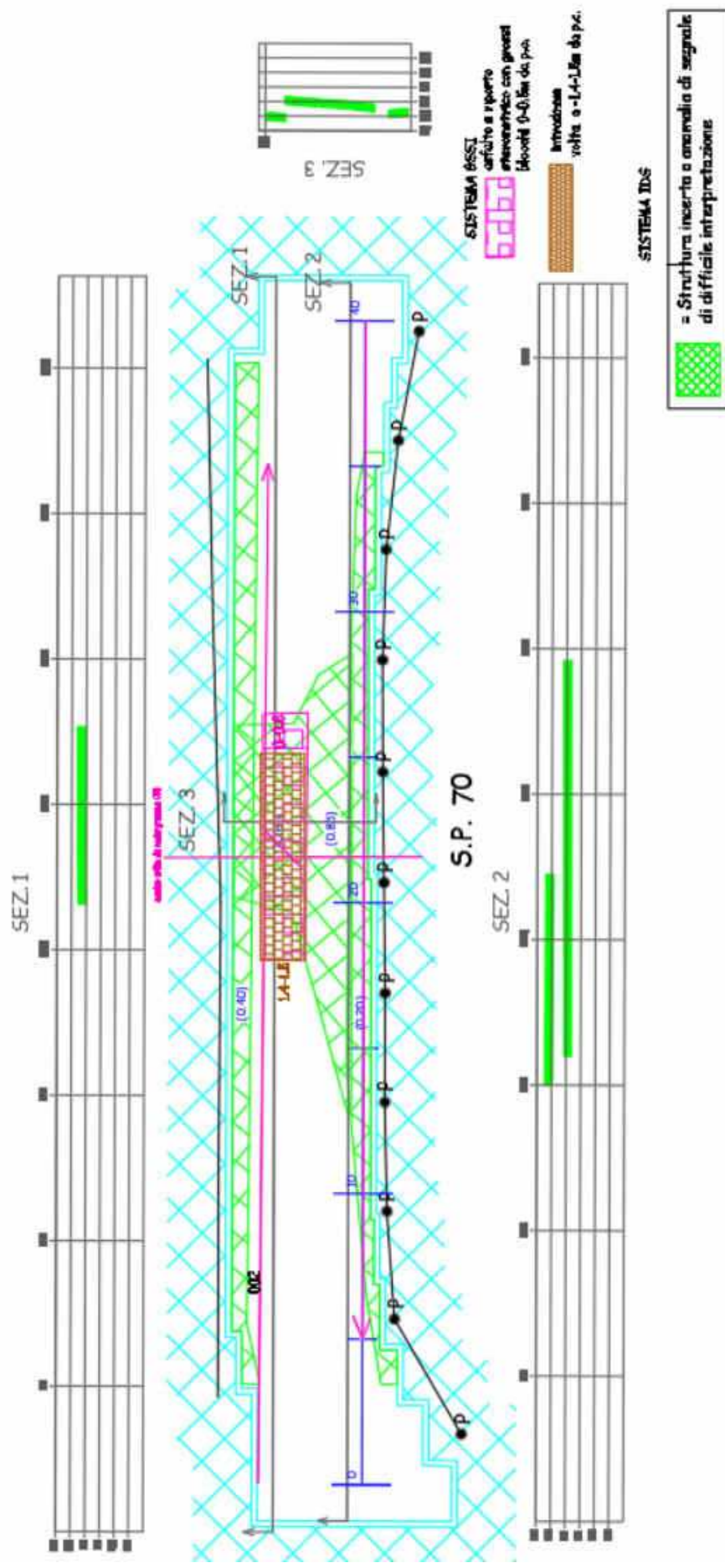


Figura 14.Ubicazione indagini e risultati ottenuti con i diversi sistemi GPR.

4.2.2 GEORADAR PARETI DEL PONTE

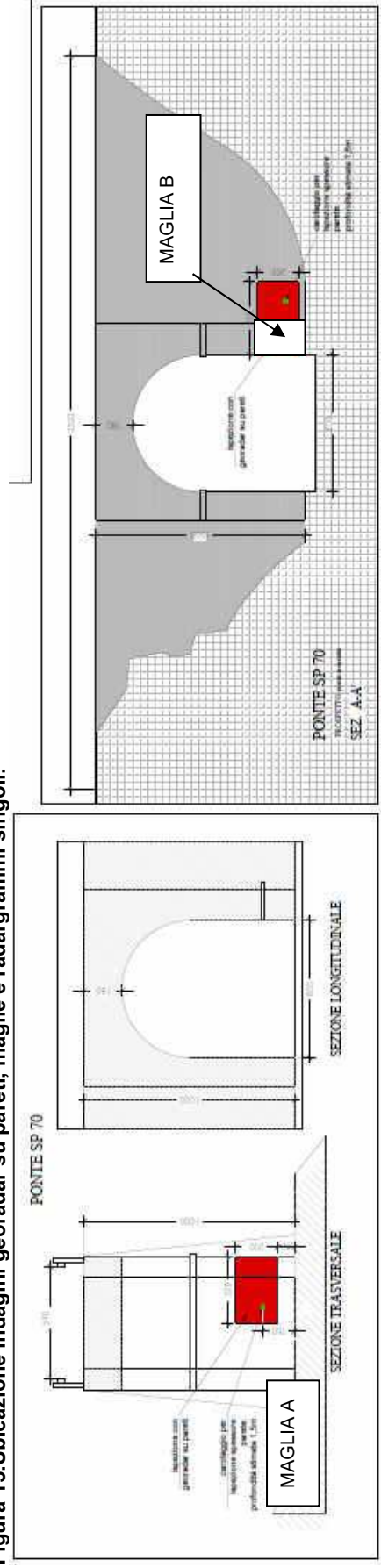
Sono state organizzate n. 2 maglie denominate A e B nelle aree indicate dalla committenza, compatibilmente con la possibilità di ottenere un accoppiamento antenna - parete sufficiente a restituire un segnale di qualità minima.

In particolare la griglia ubicata nella parete lato valle, (B), è costituita da blocchi in arenaria non piani che non permettono un accoppiamento sufficiente e pertanto è stata effettuata una acquisizione parziale dell'area indicata.

La massima profondità di indagine è stata di circa 0.75-1.00m.

I radargrammi sono stati elaborati con una routine che prevede la determinazione del tempo T_0 , la rimozione del background e la migrazione.

Figura 15. Ubicazione indagini georadar su pareti, maglie e radargrammi singoli.



4.2.3 MAGLIA A

La maglia definita A è stata acquisita in corrispondenza della porzione interna lato valle angolo sx idrografica del ponte, in fig.22 si riporta l'area indagata ed i radargrammi acquisiti, questi ultimi sono n.3 in direzione x e n.6 in direzione y, ad interasse di 50cm.

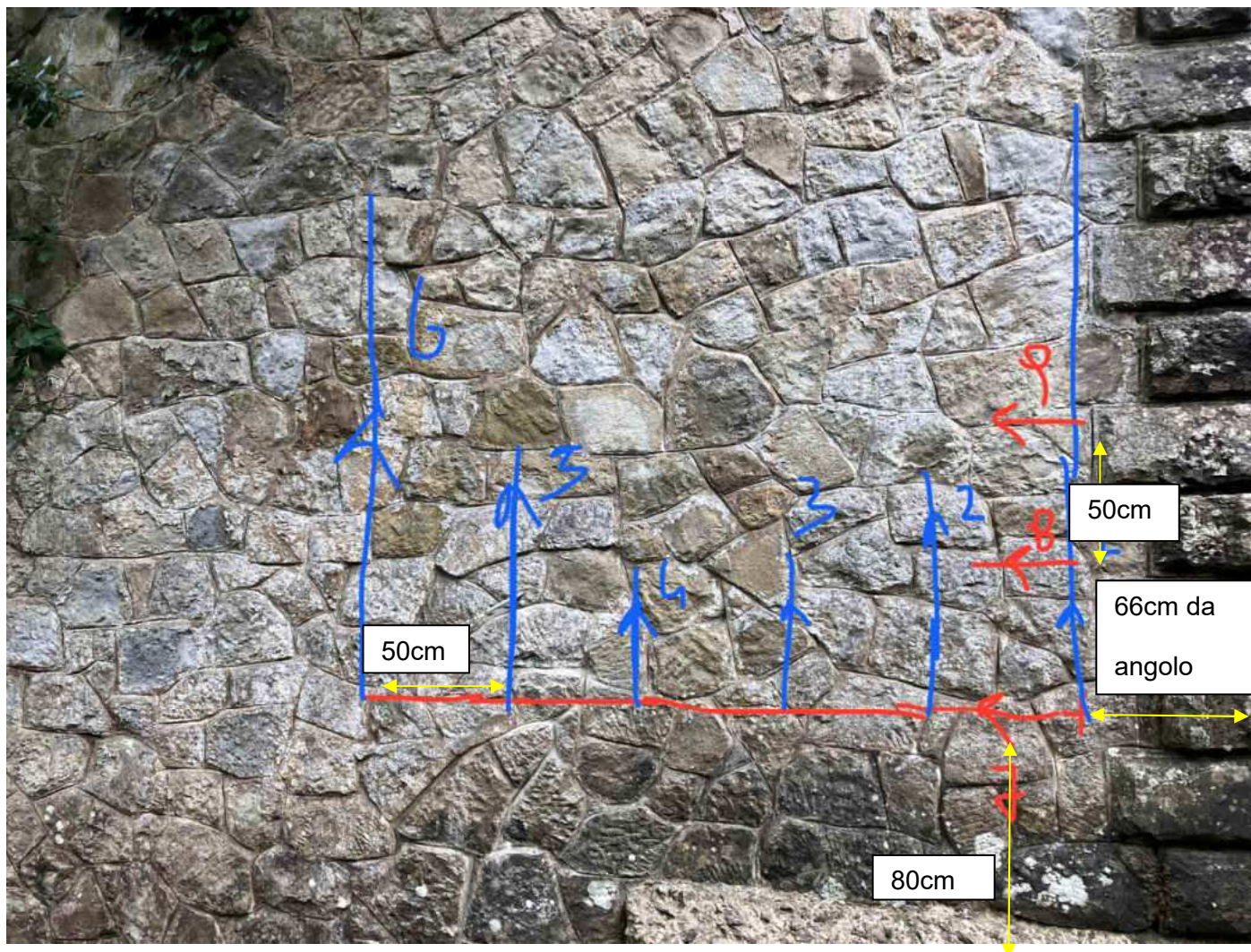


Figura 16.Ubicazione transetti acquisiti nella maglia A.

Di seguito si riporta un modello tridimensionale delle acquisizioni in direzione orizzontale X, radargrammi n.8 e 9, da questi si evidenzia la presenza di discontinuità molto limitate nel radargramma 8 e più presenti nel radargramma n.9, prevalentemente nella fascia 0.30-1.00m; tali discontinuità probabilmente sono da porre in relazione con la presenza di aria.

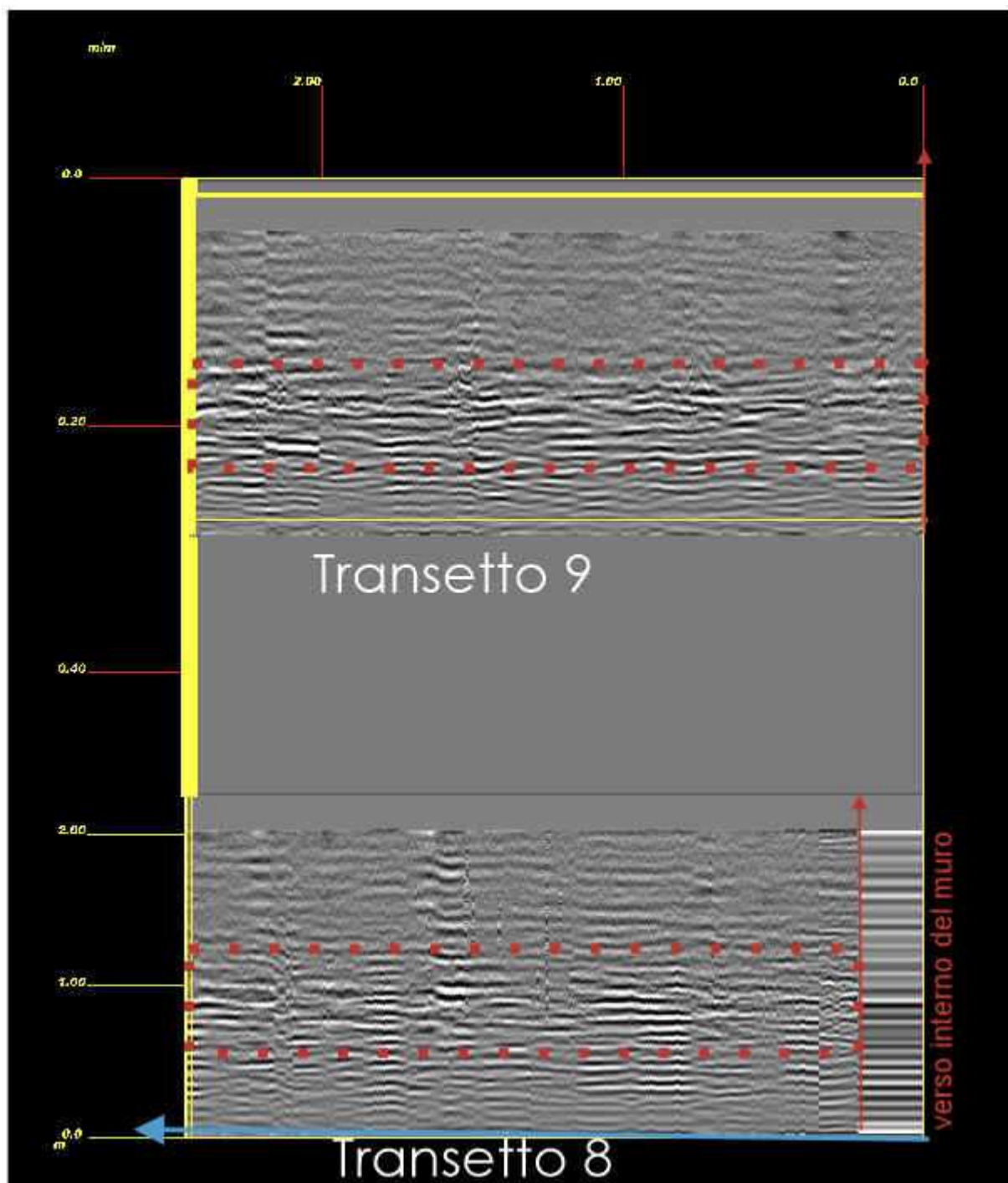


Figura 17. Radargrammi n. 8 e 9, nelle aree tratteggiate sono presenti discontinuità.

In verticale, direzione Y sono stati acquisiti n.6 transetti ad interasse 0.50m (fig.19 da 1 a 6), sono state elaborate delle mappe di ampiezza del segnale con un modello tridimensionale, di seguito si riportano le stesse elaborate a profondità cm 0.5,30, 100.

Alla massima profondità 100 cm si rilevano delle discontinuità di maggiore ampiezza prevalentemente nella parte inferiore del setto indagato.

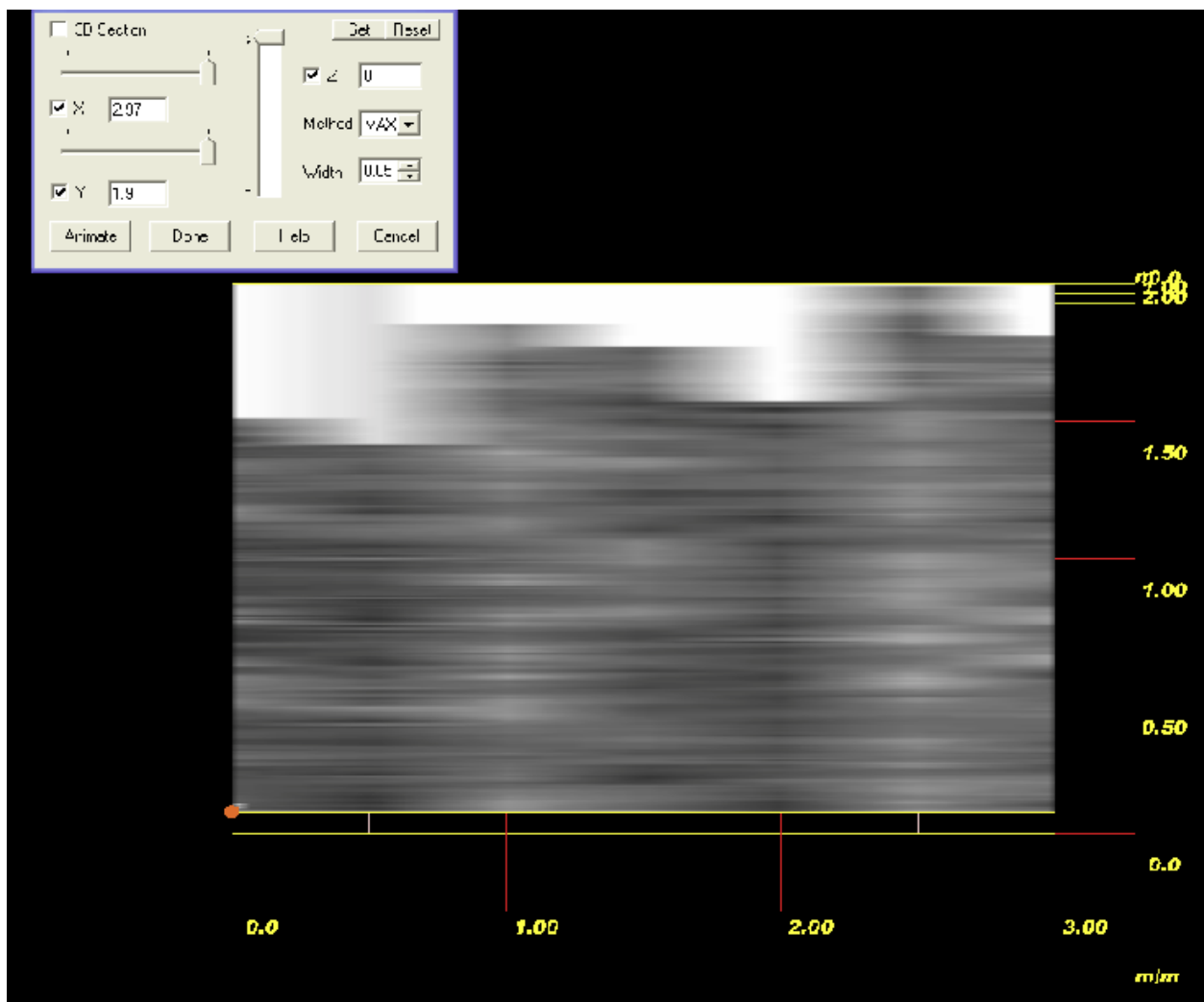


Figura 18.Mappa ampiezze da modello 3dy alla profondità di 5cm.

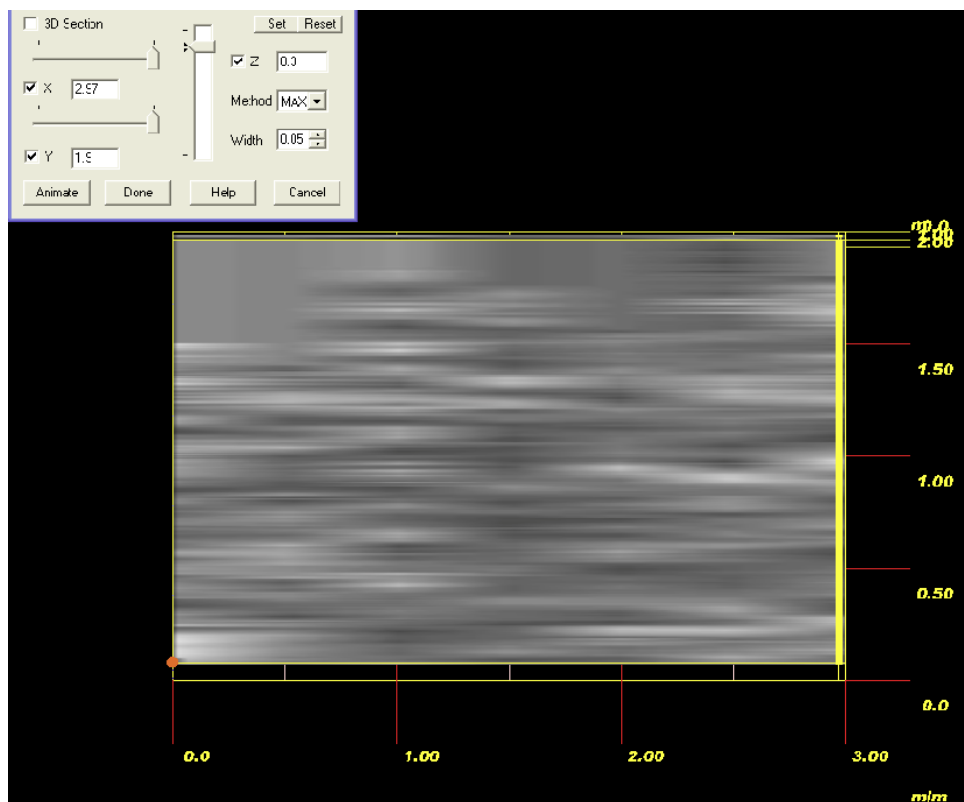


Figura 19. Mappa ampiezze da modello 3dy alla profondità di 30+/-5cm.

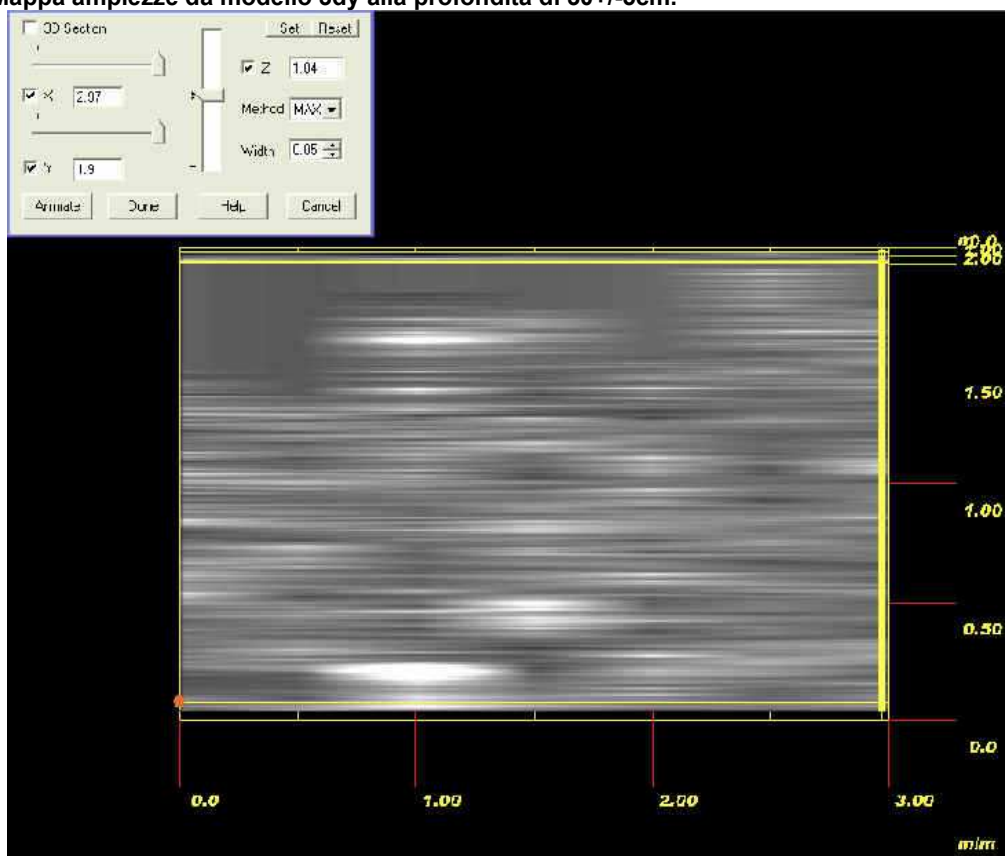


Figura 20. Mappa ampiezze da modello 3dy alla profondità di 100+/-5cm.

4.2.4 MAGLIA B

La maglia è stata acquisita in corrispondenza della spalla ovest lato di monte, come da indicazioni della committenza.



Figura 21. Area indagata Maglia B con ubicazioni dei radargrammi.

In realtà solo una piccola parte dell'area è risultata indagabile in quanto la muratura è sconnessa e non consente un accoppiamento antenna/parete sufficiente (fig.24).

Di seguito (fig.25-26) si riportano i radargrammi acquisiti in direzione Y (1,2,3) interpretati dai quali si rileva la presenza di discontinuità di ampiezza non molto marcata entro i primi 50cm con probabile presenza di aria soprattutto alla base del radargramma 3 entro i primi 30-50cm di spessore indagati.

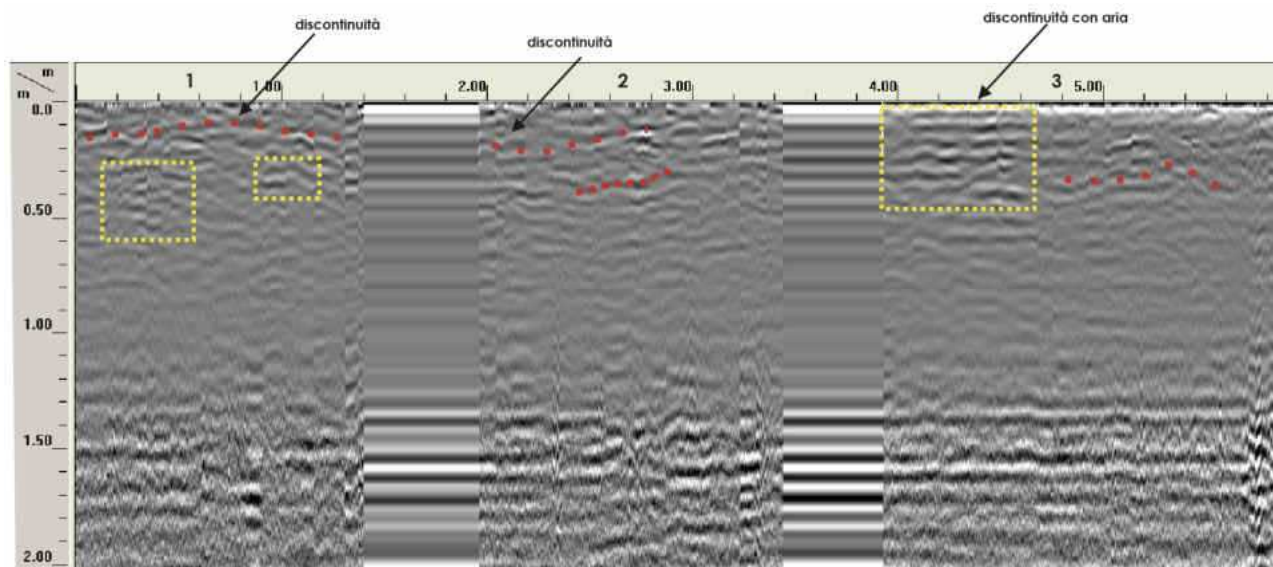


Figura 22. Radargrammi n.1,2,3 con elaborazione.

Le acquisizioni in direzione x sono risultate troppo brevi per risultare significative.

5 CAROTAGGI

Sono stati eseguiti carotaggi sulla muratura mediante carotatrice marca Husqvarna con carotiere da 100mm, nelle aree indicate dalla committenza.

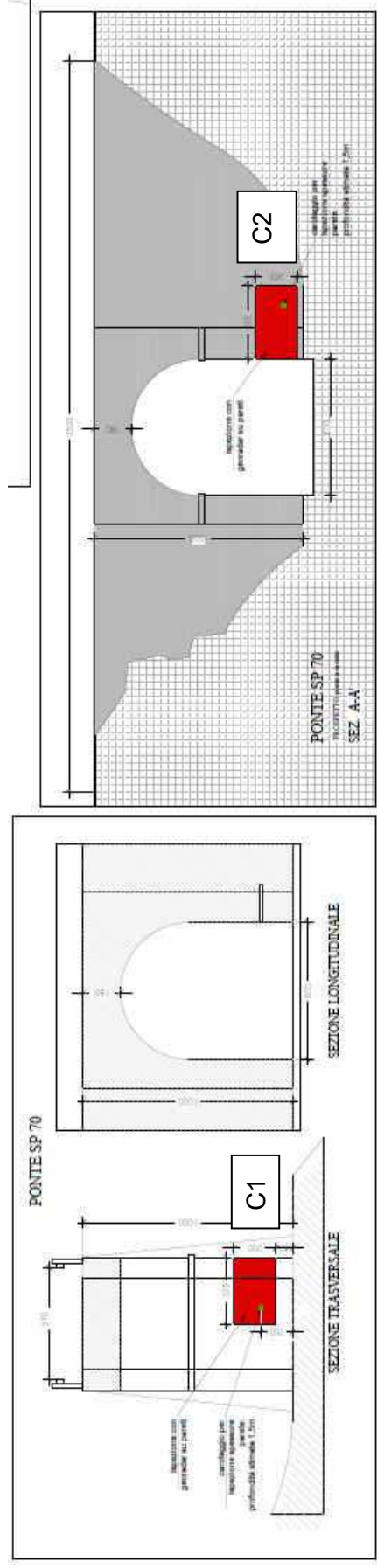


Figura 23. Ubicazione carotaggi.

5.1 Carotaggio C1

E' stato eseguito in corrispondenza della spalla W lato di monte (fig.24).



Figura 24.Esecuzione carotaggio C1.

La perforazione ha raggiunto la profondità di m 1.50 circa.

- Si rileva la seguente stratigrafia: Da 0 a 150 cm arenaria compatta in blocchi di 20-30cm con conglomerato cementizio;



Figura 25.Carotaggio C1.

5.2 Carotaggio C2

E' stato eseguito in corrispondenza della spalla ovest interno (fig.26).

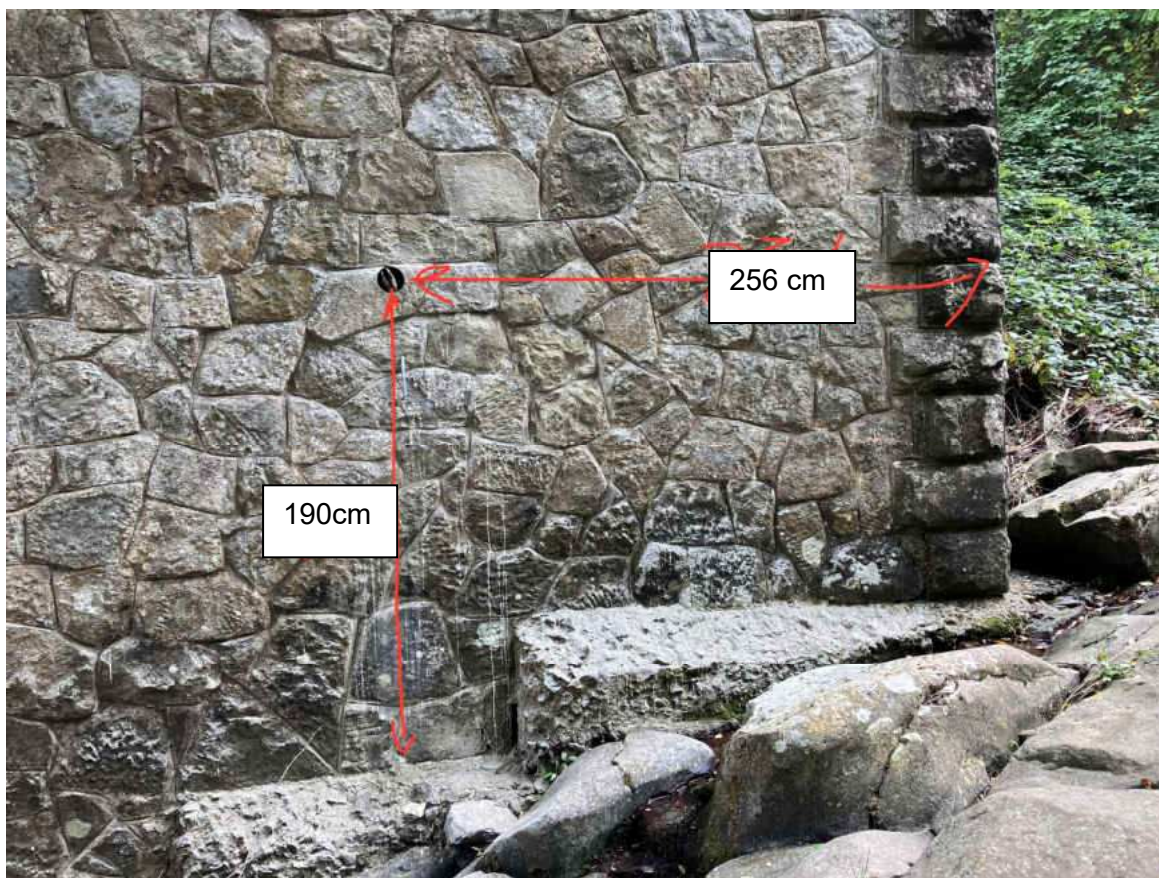


Figura 26.Ubicazione carotaggio C2.



Figura 27.Carote C2.

La perforazione ha raggiunto la profondità di m 1.30 circa.

- Si rileva la seguente stratigrafia: Da 0 a 130 cm arenaria compatta in blocchi di 15-20cm con conglomerato cementizio;

6 ENDOSCOPIA

In corrispondenza della chiave di volta a circa 1m di distanza dal cordolo in c.a. del guard rail è stato eseguito uno scavo di circa 60 cm di profondità, da questa quota si eseguita una perforazione di diametro 2.6cm fino ad attraversare completamente la volta, raggiungendo la profondità complessiva di m 1.90 (fig.28).



Figura 28.Scavo e foro per endoscopia, profondità totale m 1.90.



Figura 29. Esecuzione saggio e foro di uscita all'intradosso della volta.

Lo stratigrafia dello scavo è la seguente:

- Da 0.00 a 0.10 asfalto;
- Da 0.10 a 0.60 terreno di riporto costituito da blocchi arenaceo – marnosi in matrice marnoso argillosa.

L'endoscopia indica materiale di riempimento fino a 50cm da fondo foro (fig.30,31), profondità alla quale si individua il passaggio con materiale litoide, di seguito si riporta la foto estratta dal video a questa quota.



Figura 30. Riempimento detritico a 60 cm da fondo foro.



Figura 31. Passaggio riempimento – volta a 50cm da fondo foro.

Più in profondità a 40 cm da fondo foro si rileva un passaggio meno marcato probabilmente per la presenza di conglomerato cementizio (fig.31).



Figura 32. Probabile presenza di conglomerato cementizio a 40cm da fondo foro.

GEO 3D Srl

Dott. Geol. Domenico Marchetti

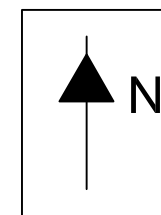
Rieti, Ottobre 2022




LEGENDA:

—●— Prova geofisica indiretta MASW
con ubicazione centro battuta

— Tomografia sismica (SRT) in Vp e
in Vs eseguita lungo il medesimo
stendimento MASW



 	<p>PROGETTO</p> <p>Rapporto prove, Località borro di Pistiano, Comune di Montemignaio (AR). Progetto: Lavori di manutenzione straordinaria di ripristino del ponte sulla S.P.70 di Montemignaio, km.10+500 Committente: Provincia di Arezzo</p>	<p>PROVINCIA DI AREZZO</p>	<p>Non in scala</p>	<p>ALLEGATO N. 1</p> <p>ORTOFOTO CON UBICAZIONE INDAGINI</p>
---	--	----------------------------	---------------------	---

winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

Main results

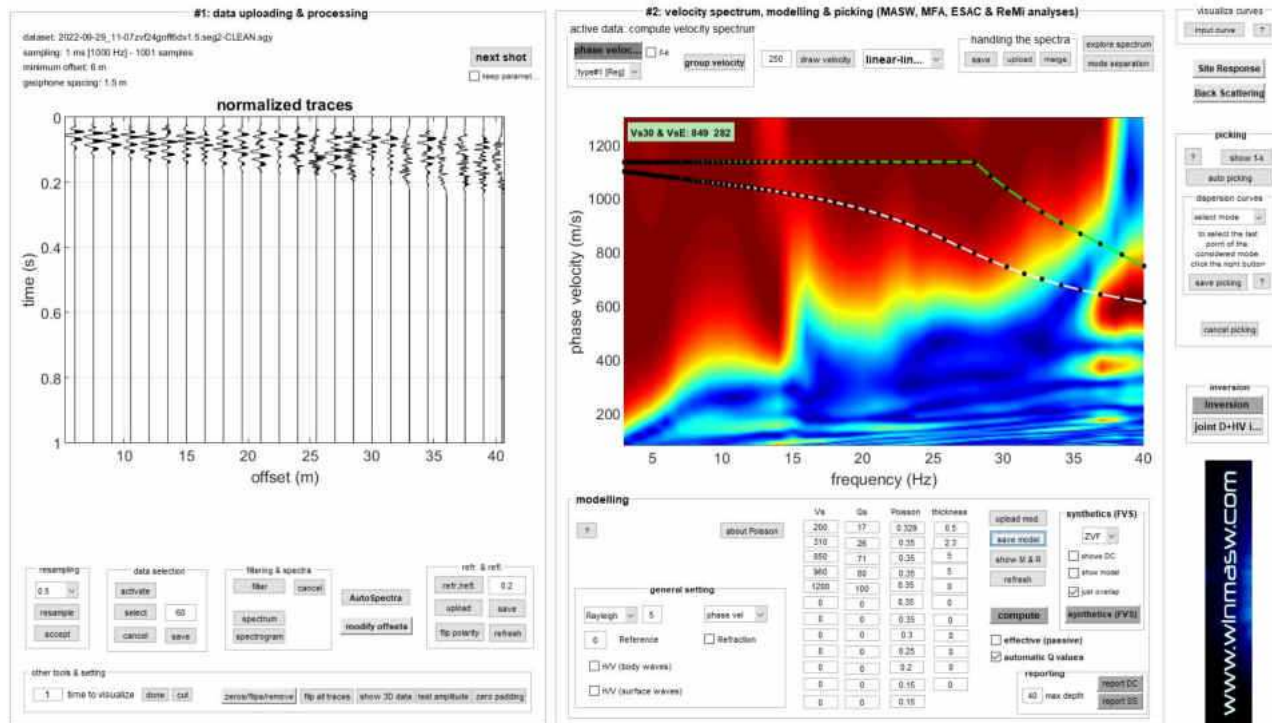
See "winMASW_report.txt" for further details.

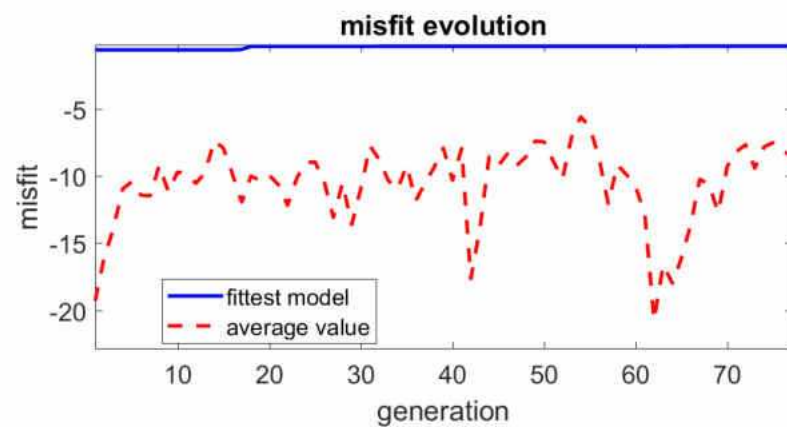
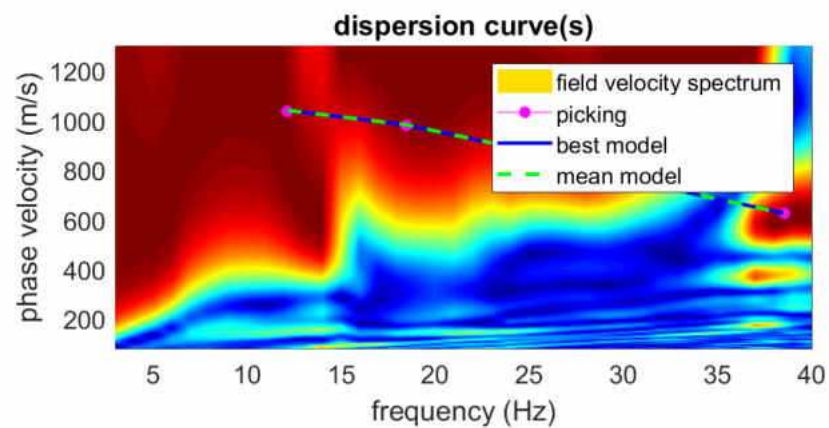
www.winmasw.com

Date: 25 10 2022

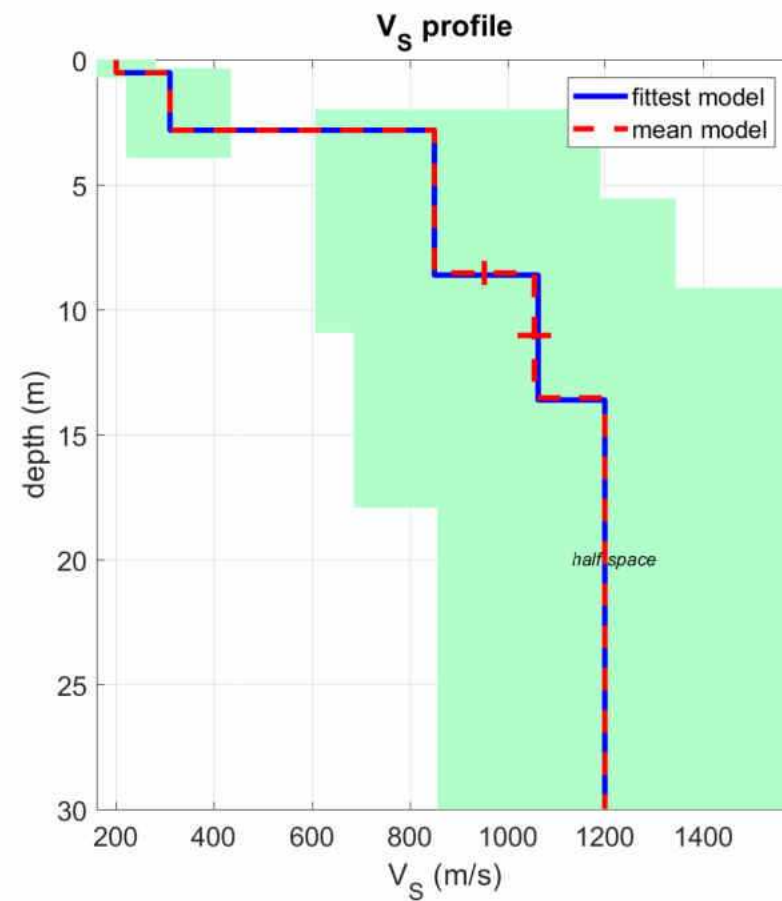
Time: 9 51

Dataset: 2022-09-29_11-07zvf24goff6dx1.5.seg2-CLEAN.sgy





www.winmasw.com



dataset: 2022-09-29_11-07zvf24goff6dx1.5.seg2-CLEAN.sgy

dispersion curve: pick 6.cdp

V_{s30} & V_{sE} (best model): 852 281 m/s

V_{s30} & V_{sE} (mean model): 852 281 m/s

Mean model

Vs (m/s): 200, 310, 850, 1054, 1200

Standard deviations (m/s): 0, 0, 0, 34, 0

Thickness (m): 0.5, 2.3, 5.7, 5.0

Standard deviations (m/s): 0.0, 0.0, 0.5, 0.0

best model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	200	0.5189	0.5189
2	310	2.3000	2.8189
3	850	5.8017	8.6207
4	1062	5	13.6207
5	1200	0	0

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.84, 1.96, 2.23, 2.29, 2.33

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 74 188 1612 2545 3349

Estimated static shear modulus (MPa) (approximate values): 0 0 0 0 1296

Analyzing Phase velocities

Considered dispersion curve: pick 6.cdp

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual).

Vp (m/s): 424 645 1727 2192 2532

Poisson: 0.36 0.35 0.34 0.35 0.36

Vs30 and VsE (m/s): 852 281

Pay attention

Soil classification must be performed by the user.

For Italian Users:

Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018:

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

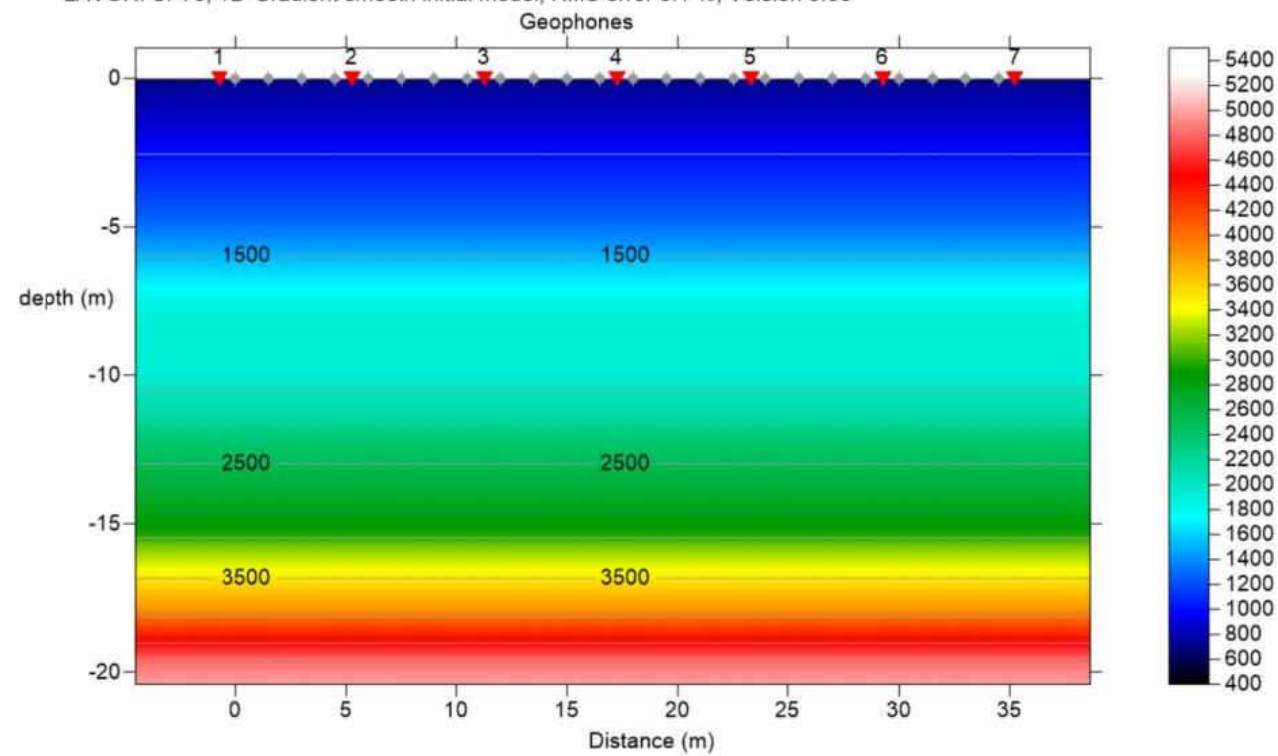
E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

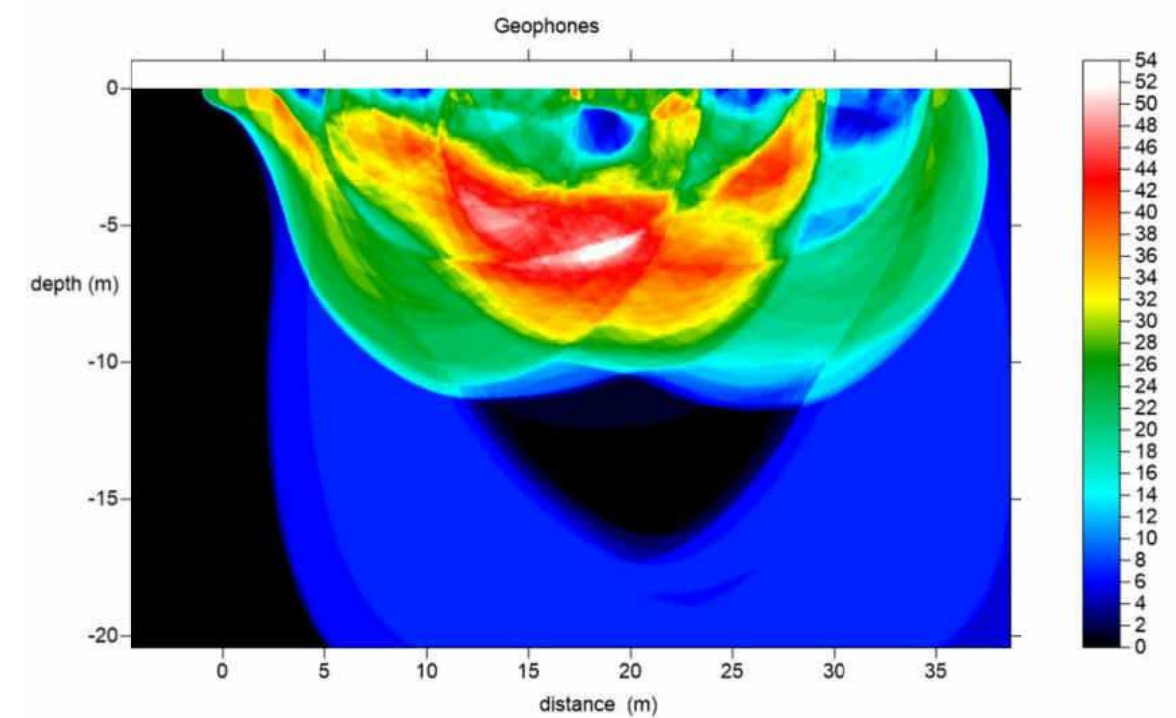
winMASW

Surface Waves & Beyond www.winmasw.com

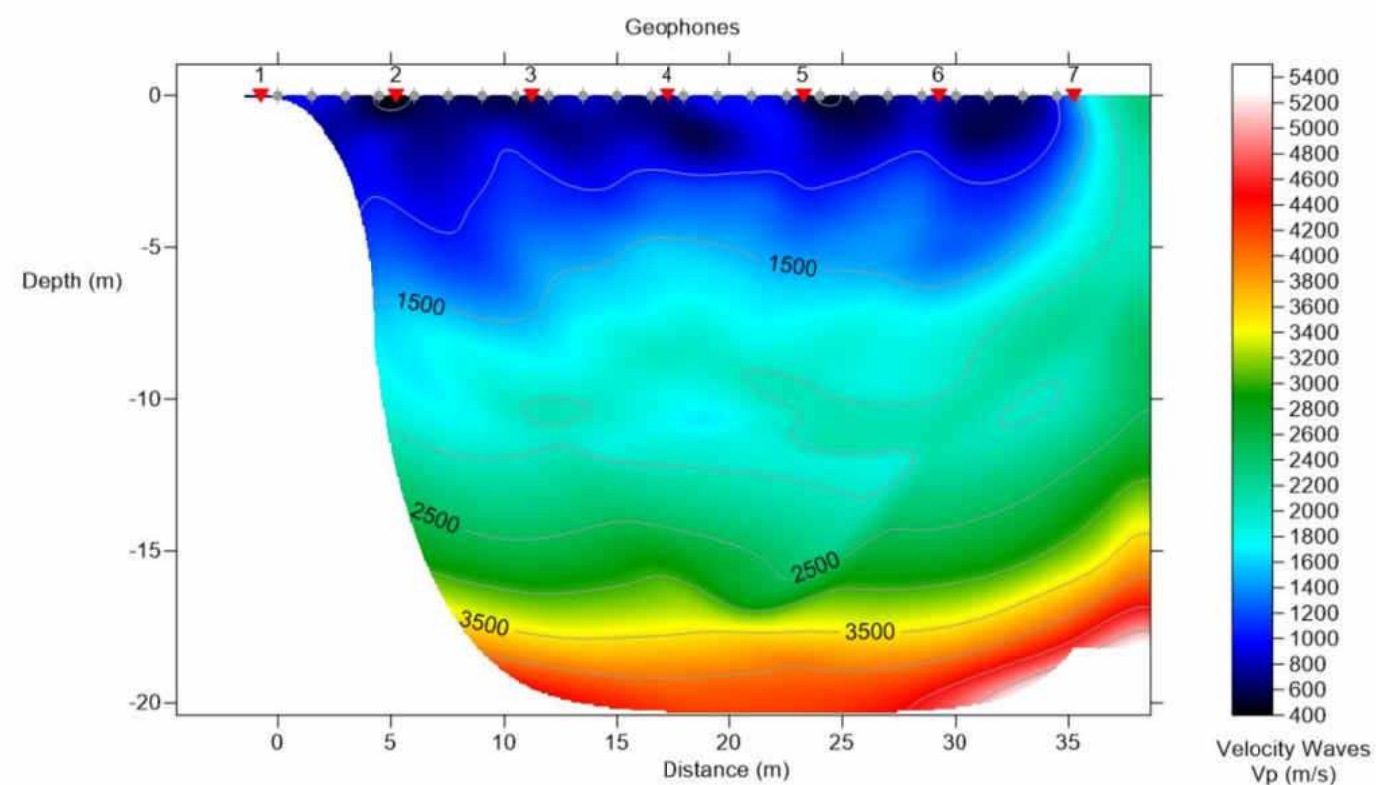
LAVORI SP70, 1D-Gradient smooth initial model, RMS error 6.1 %, Version 3.33



TOMOGRAFIA SISMICA IN VP
LAVORI SP70, 20 WET iterations, RMS error 4.3 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.33



TOMOGRAFIA SISMICA IN VP
LAVORI SP70, 20 WET iterations, RMS error 4.3 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.33



UBICAZIONE PROVA

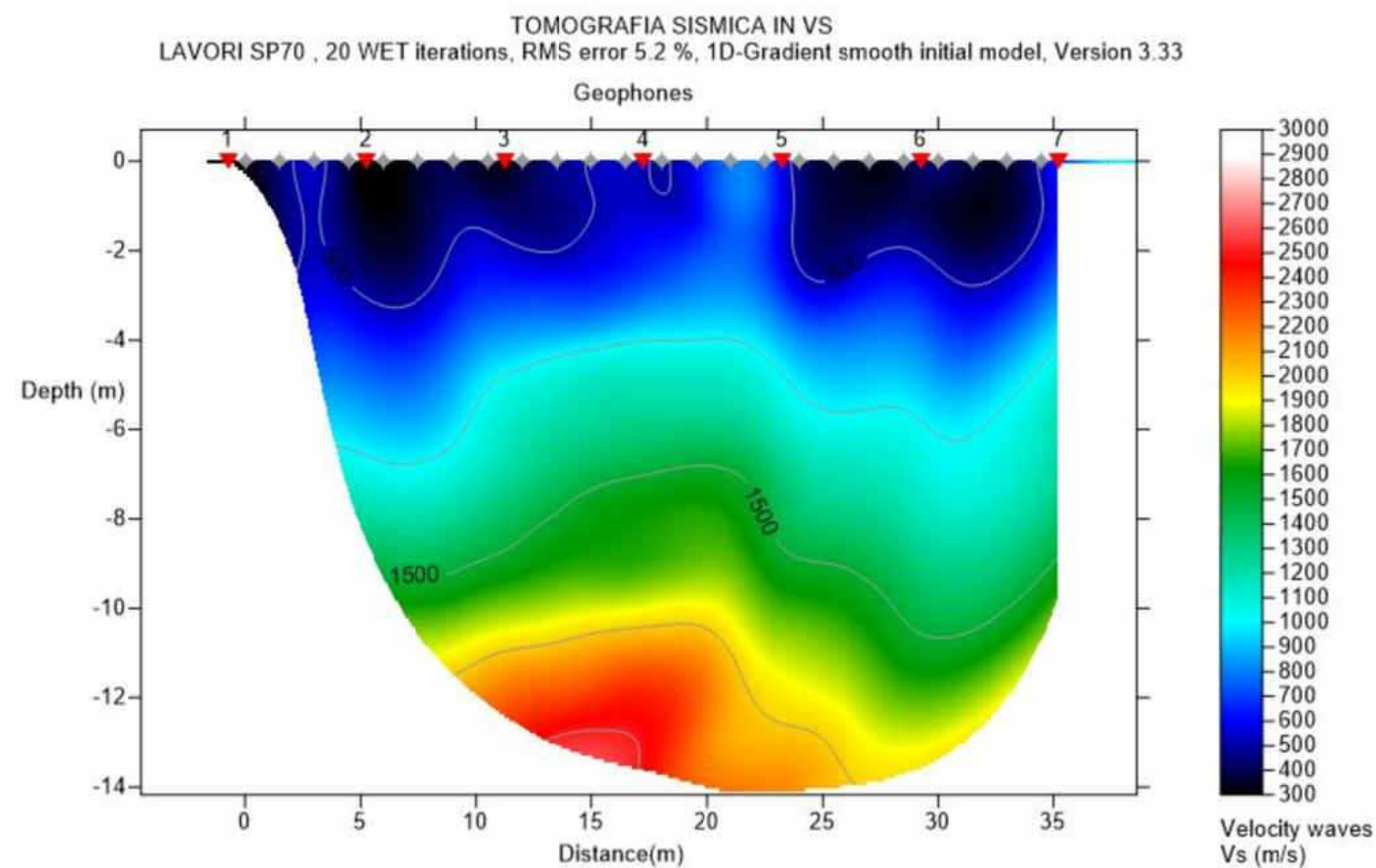
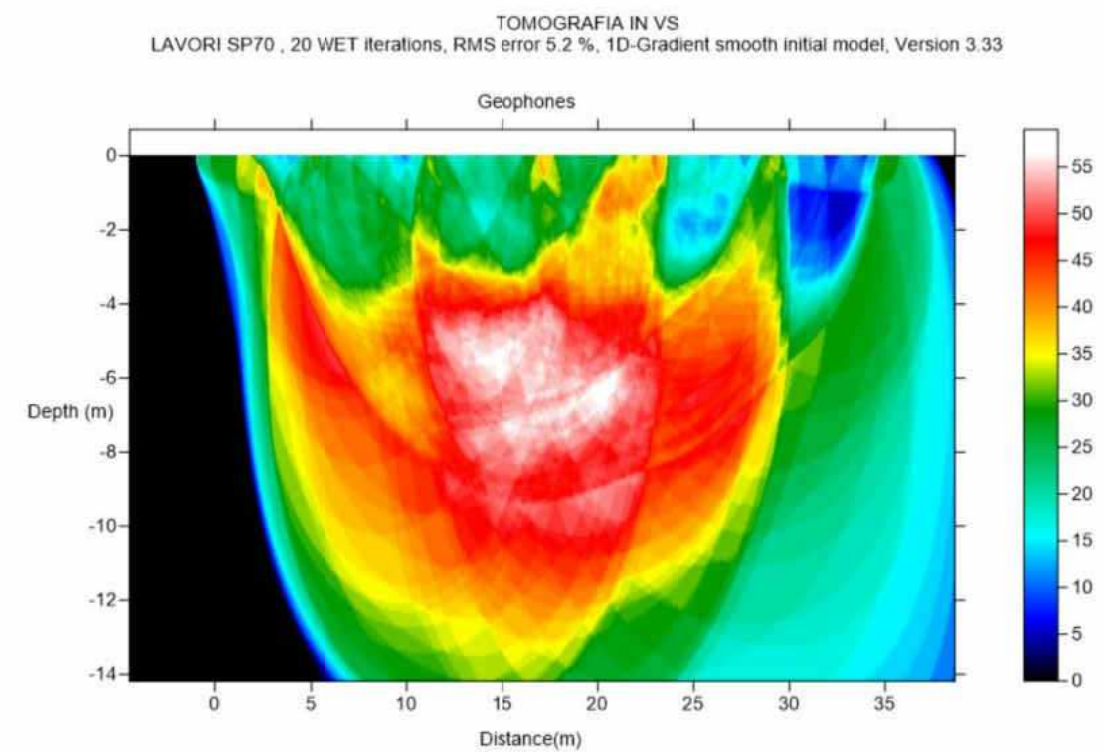
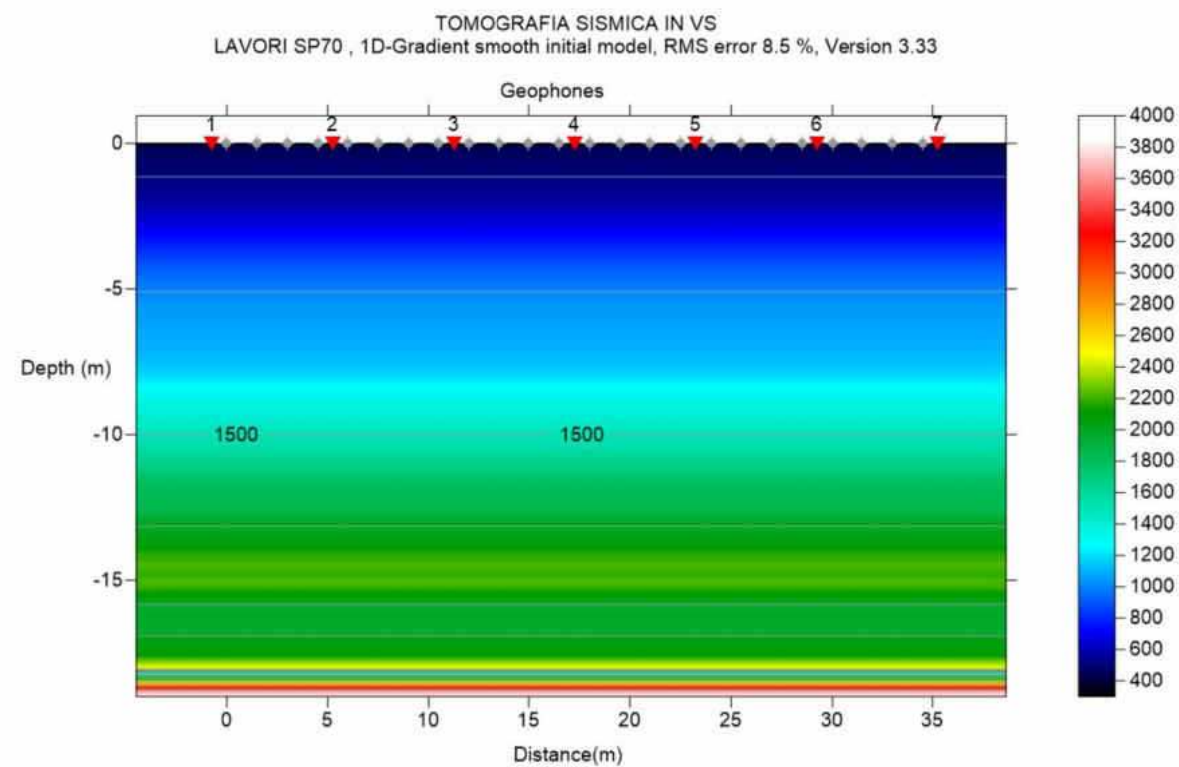


Via della Chimica snc, 02100 RIETI
www.geo-3d.it

“Lavori di manutenzione straordinaria di ripristino del ponte sulla S.P.70 di Montemignaio, km.10+500, località borro di Pistiano, Comune di Montemignaio”, (AR)

ALLEGATO N. 3

Elaborazione tomografia sismica in Vp



UBICAZIONE PROVA



Via della Chimica snc, 02100 RIETI
www.geo-3d.it

“Lavori di manutenzione straordinaria di ripristino del ponte sulla S.P.70 di Montemignaio, km.10+500, località borro di Pistiano, Comune di Montemignaio”, (AR)

ALLEGATO N. 4

Elaborazione tomografia sismica in Vs