COMUNE DI LUNI (LUNI) - Codice AOO: LUNI - Reg. nr.0011761/2020 del 31/10/2020

COMUNE DI LUNI

Provincia della Spezia

Servizio 3 – Urbanistica e grandi opere



RELAZIONE GEOLOGICA

Progetto di sistemazione definitiva compluvio in Loc. Serravalletta

Geol. MARINA CATTANEO

RIFERIMENTI

Titolo	RELAZIONE GEOLOGICA - Progetto di sistemazione definitiva compluvio in Loc. Serravalletta
Cliente	Comune di Luni – Provincia della Spezia
	Servizio 3 – Urbanistica e grandi opere
CIG	Z0E2E9BBE7
Determina incarico	DETERMINAZIONE NR. 788 di giovedì 8 ottobre 2020
Autore/i	Geol. Marina Cattaneo
Data	Ottobre 2020

Geol. MARINA CATTANEO

Via del Paduletto, 28 – 55054 Massarosa (LU)

marina.cattaneo.geo@gmail.com

m.cattaneo@pec.geologitoscana.net

Cell. 333.4279991



Il presente documento è di proprietà del Cliente che ha la possibilità di utilizzarlo unicamente per gli scopi per i quali è stato elaborato, nel rispetto dei diritti legali e della proprietà intellettuale. Geol. Marina Cattaneo detiene il *Copyright* del presente documento.



COMUNE DI LUNI

Provincia della Spezia

Servizio 3 – Urbanistica e grandi opere

RELAZIONE GEOLOGICA

Progetto di sistemazione definitiva compluvio in Loc. Serravalletta

RELAZIONE TECNICA

Sommario

1 PREMESSA 4
1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 5
2 LOCALIZZAZIONE DEL SITO E BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PREVISTO 6
2.1 LOCALIZZAZIONE DEL SITO 6
2.2 DESCRIZIONE DEGLI EVENTI OCCORSI NEL 2012 7
2.3 BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PREVISTO PER LA SISTEMAZIONE DEFINITIVA DEL COMPLUVIO 7
3 QUADRO VINCOLISTICO E PIANIFICATORIO 9
3.1 VINCOLO IDROGEOLOGICO 9
3.2 VINCOLO PAESAGGISTICO 10
3.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA 11
3.4 PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA 12
3.4.1 Piano di bacino del Fiume Magra 12
3.4.2 Progetto IFFI 14
3.4.3 PUC del Comune di Luni 15
4 QUADRO CONOSCITIVO 19
4.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA 19
4.2 IDROGEOLOGIA E IDROGRAFIA 24
5 SOPRALLUOGO SULL'AREA 26
6 MODELLO GEOLOGICO 29
6.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE 29
6.2 PROVE PENETROMETRICHE 32
6.3 INDAGINI SISMICHE 34
6.4 INDAGINI MASW 36
6.5 RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA DEL SOTTOSUOLO E PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI 38
6.6 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E TOPOGRAFICA 41
7 MODELLAZIONE SISMICA 42
7.1 PARAMETRI SISMICI DI BASE 42

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 45

Indice delle figure

Figura 1. Ubicazione area oggetto di studio (fonte Google Earth) 6
Figura 2. Vincolo Idrogeologico 9
Figura 3. Vincolo Paesaggistico bellezza di insieme 10
Figura 4. Classificazione Sismica Regione Liguria 11
Figura 5. Stralcio della carta della pericolosità geomorfologica (fonte Autorità di Bacino del Fiume Magra) 12
Figura 6. Stralcio della carta della pericolosità idraulica con fascia di riassetto fluviale e aree inondabili (fonte Autorità di Bacino del Fiume Magra) 13
Figura 7. Stralcio carta Inventario dei Fenomeni Franosi 1:10.000 (fonte http://srvcarto.regione.liguria.it/) 14
Figura 8. Stralcio della Carta delle Aree a Pericolosità Geomorfologica (fonte SIT Comune di Luni) 15
Figura 9. Stralcio della Carta delle Aree a Pericolosità Idraulica (fonte SIT Comune di Luni) 16
Figura 10. Stralcio della Carta del Vincolo Acque Pubbliche Art. 142, comma 1, lett c) D.Lgs n42 del 22/01/2004 (fonte SIT Comune di Luni) 17
Figura 11. Stralcio della Carta delle Aree Boscate ai sensi dell'art 142 comma1 lett G) D Lgs.n 42 del 22/01/2004 (fonte SIT Comune di Luni) 17
Figura 12. Stralcio della Carta della Zonizzazione geologica e suscettibilità d'uso del territorio (fonte PUC Comune di Luni – anno 2005) 18
Figura 13. Stralcio Carta Geologica d'Italia 1:50.000 Foglio 249 "Massa-Carrara" 20
Figura 14. Stralcio Carta Geologica PUC Comune di Luni 22
Figura 15. Stralcio Sezione Geologica PUC Comune di Luni 23
Figura 16. Stralcio Carta Geomorfologica PUC Comune di Luni 24
Figura 17. Stralcio Carta idrogeologica PUC Comune di Luni 25
Figura 18. Rilievi fotografici della zona di monte del compluvio 26
Figura 19. Rilievi fotografici canalizzazione per regimazione delle acque lungo Via per Nicola 27
Figura 20. Ubicazione delle indagini geognostiche – zona di valle 30
Figura 21. Ubicazione delle indagini geognostiche – zona di monte 31
Figura 22. Profilo sismo-tomografico Line 2_P 35
Figura 23. Profilo sismo-tomografico Line 3_P 35
Figura 24. Profilo verticale Vs Line 1 MASW 36
Figura 25. Profilo verticale Vs Line 2 MASW 37
Figura 26. Sezione litostratigrafica interpretativa zona di valle 39
Figura 27. Sezione litostratigrafica interpretativa zona di monte 39

Indice delle tabelle

Tabella 1. Modello geologico e parametri geotecnici caratteristici zona di valle 40
Tabella 2. Modello geologico e parametri geotecnici caratteristici zona di monte 40
Tabella 3. Parametri sismici di base - zona di valle 43
Tabella 4. Parametri sismici di base - zona di monte 44

ALLEGATI

Allegato 1: Prove penetrometriche dinamiche DPSH, prove penetrometriche dinamiche DPM

Allegato 2: Indagine sismica a rifrazione in onde P, indagini sismiche MASW, indagini sismiche HVSR

1 PREMESSA

La presente relazione geologica viene elaborata su incarico del Comune di Luni (determinazione n. 788 del 08/10/2020 del servizio 3 urbanistica e grandi opere), per la definizione del modello geologico, secondo il D.M. 17/01/2018 dell'area presso la quale è previsto l'intervento di sistemazione definitiva del compluvio in località Serravalletta.

Gli interventi di sistemazione definitiva che il Comune ritiene necessario realizzare, a completamento di quanto eseguito in somma urgenza a seguito degli eventi meteorici di eccezionale intensità di novembre 2012, secondo quanto riportato nello studio di fattibilità redatto nel mese di marzo 2014, consistono essenzialmente in:

- pulizia e disgaggio delle porzioni di materiale instabile ancora presenti in alveo;
- stabilizzazione dell'area di frana di monte con reti metalliche chiodate;
- riprofilatura del tratto in compluvio posto a monte dell'abitato di Serravalletta in modo da ottenere una pendenza inferiore a quella che determina il "trasporto solido";
- protezione delle sponde ancora "ricoperte" da materiale terroso con reti metalliche e successivo inerbimento;
- creazione di un bacino di trattenuta a monte dei fabbricati posti a mezza costa mediante l'impiego di barriere flessibili e la creazione, in sponda sinistra del versante, di un percorso di accesso in alveo finalizzato alla manutenzione delle stesse;
- innalzamento delle sponde, fino all'adeguamento del franco in 200-ennale, del tratto a monte
- dell'abitato di Serravalletta;
- riprofilatura e protezione con blocchi ciclopici del tratto di alveo a monte dell'abitato di Serravalletta compreso tra il tratto già eseguito in Somma Urgenza (anno 2012) ed il tratto di fondo;
- riprofilatura del tratto a cielo aperto nella piana, con protezione delle sponde con geo-stuoie;
- realizzazione dello scarico in sinistra nel Torrente Parmignola.

Il presente lavoro è volto alla ricostruzione della natura e della stratigrafia del sottosuolo per la definizione del modello geologico e della categoria di sottosuolo ai sensi delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 – D.M. 17/01/2018.

1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata realizzata ai sensi di:

- D.M. 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni in zone sismiche;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale – Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007;
- O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006 – Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. n. 108 del 11.05.2006);
- D.G.R. 216 del 17 marzo 2017 – Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria
- L.R. n. 4/1999e smi - “Norme in materia di foreste e di assetto idrogeologico”
- Circolare n. 2/2010 Regione Liguria Dipartimento Ambiente - Circolare applicativa della nuova disciplina sul vincolo idrogeologico ai sensi dell'art. 35 della L.R. n. 4/1999, così come modificato dall'art. 15 della L.R. n. 63/2009;
- Piano Stralcio “Assetto Idrogeologico” del bacino del Fiume Magra e del Torrente Parmignola;
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE recepita con D.Lgs 49/2010.

2 LOCALIZZAZIONE DEL SITO E BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PREVISTO

2.1 LOCALIZZAZIONE DEL SITO

L'area in esame è rappresentata dal compluvio a monte dell'abitato in località Serravalletta nel Comune di Luni e dalla zona pianeggiante prima dell'immissione nel Torrente Parmignola (Figura 1).



Ubicazione area di intervento

FIGURA 1. UBICAZIONE AREA OGGETTO DI STUDIO (FONTE GOOGLE EARTH)

2.2 DESCRIZIONE DEGLI EVENTI OCCORSI NEL 2012

Gli eventi meteorici di eccezionale intensità del mese di novembre 2012 hanno comportato problematiche diffuse lungo tutta l'asta del compluvio in oggetto ed in particolare:

- apertura di un fronte di frana in testa al colatore, evento che ha contribuito ad alimentare il bacino di materiale solido;
- erosione e trasporto di ingenti quantitativi di materiale terroso, fangoso e alberature lungo il compluvio;
- occlusione del tratto di canale subito a monte delle abitazioni della località Serravalletta in virtù della presenza di una canale di irrigazione in calcestruzzo con asse trasversale al compluvio;
- sversamento di materiale fangoso sulle abitazioni presenti a valle dell'impluvio.

In ragione di tali avvenimenti sono state evacuate le abitazioni presenti nell'area di deposizione del colamento e sono stati attivati alcuni interventi, in regime di somma urgenza, volti alla mitigazione del rischio. Tali interventi sono stati mirati alla regolarizzazione del tratto di canale subito a valle dell'impluvio (e a monte del fabbricato) e, in mancanza di fondi per una risistemazione dell'impluvio, nell'applicazione di una barriera para-debris.

Le notevoli quantità di materiale ancora presenti nell'impluvio e la presenza di un tratto di versante (bacino di alimentazione) in forte erosione non hanno consentito la messa in sicurezza definitiva dell'area, che è stata oggetto di successive evacuazioni a seguito di "allerte idrogeologiche".

2.3 BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PREVISTO PER LA SISTEMAZIONE DEFINITIVA DEL COMPLUVIO

Secondo lo studio preliminare per la messa in sicurezza del tratto di compluvio a monte dell'abitato in loc. Serravalletta di IDRO.GEO.INGEGNERIA Srl del 2014, i principi cardine da soddisfare per addivenire alla messa in sicurezza dell'impluvio sono i seguenti:

- eliminare l'alimentazione solida di monte del bacino;
- eliminare i problemi di erosione spondale con ulteriore innesco di colamenti dei bacini laterali;
- creazione di possibili bacini di ritenuta;
- convogliare le acque, attualmente ristagnanti nella piana poco distanti dalle abitazioni, direttamente nel Parmignola.

Per la risoluzione di tali problematiche, nello studio preliminare citato sono previste le lavorazioni sotto descritte:

- pulizia e disgaggio delle porzioni di materiale instabili ancora presenti in alveo;
- asportazione di piante pericolanti ancora presenti;
- stabilizzazione dell'area di frana di monte con reti metalliche chiodate;
- riprofilatura del tratto in compluvio in modo da ottenere una pendenza inferiore a quella che origina il “trasporto solido” (con gabbioni “tirantati”);
- protezione delle sponde ancora “coperte” da materiale terroso con reti metalliche e successivo inerbimento;
- creazione di una prima area di trattenuta a monte dei fabbricati posti a mezza costa (barriera flessibile);
- riprofilatura e protezione con blocchi ciclopici dell'alveo dal tratto già eseguito al tratto in piano;
- riprofilatura del tratto a cielo aperto nella piana, con protezione delle sponde con geo-stuoie;
- realizzazione di un tratto intubato sotto la strada alzaia in sinistra Parmignola.

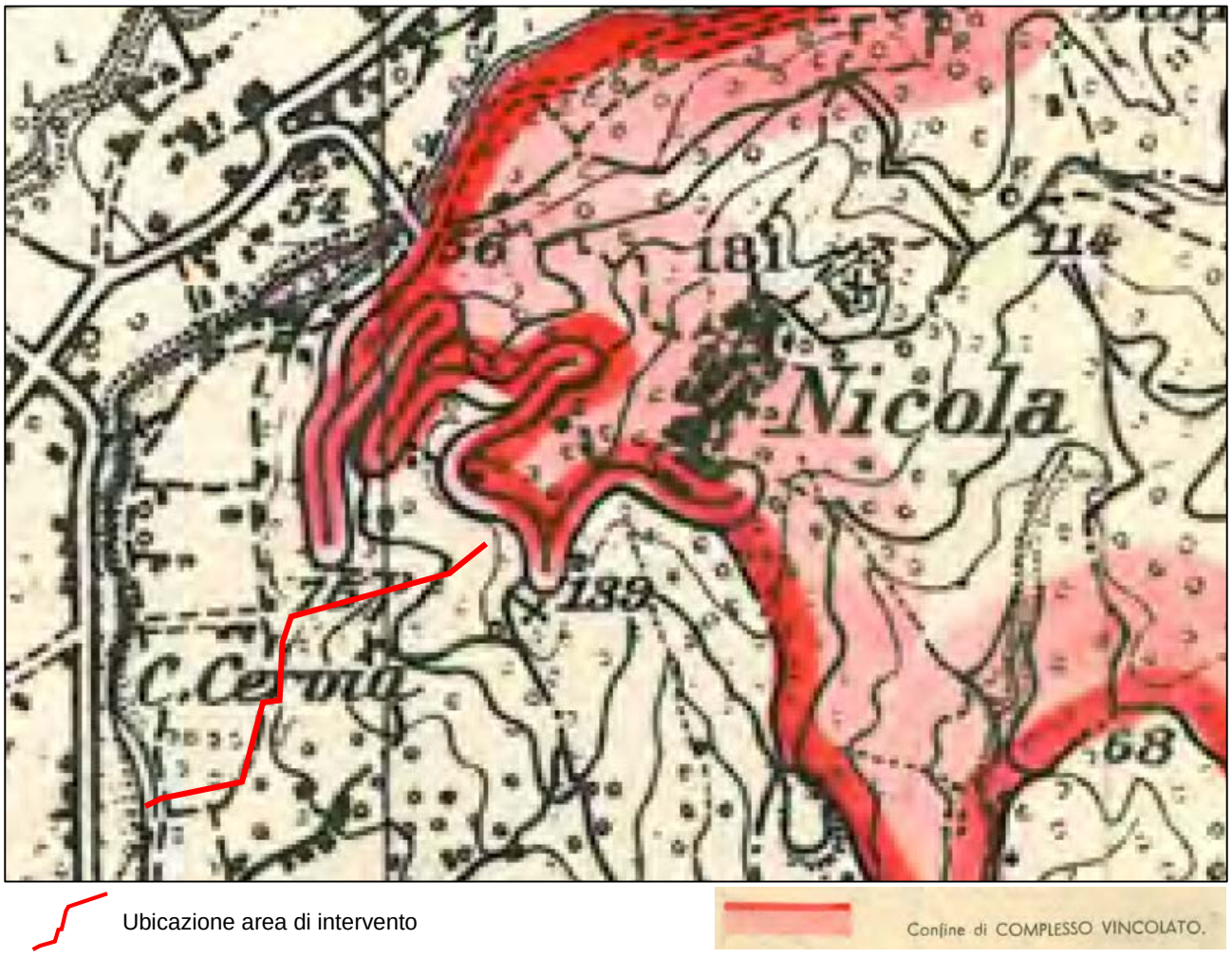
3 QUADRO VINCOLISTICO E PIANIFICATORIO

Riguardo ai vincoli sovraordinati di carattere geologico per l'area interessata, si evidenzia quanto di seguito riportato.

3.1 VINCOLO IDROGEOLOGICO

L'area d'intervento ricade al di fuori delle aree soggette a Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D. 3267/23 (Figura 2).

FIGURA 2. VINCOLO IDROGEOLOGICO[1]



[1] http://www.pianidibacino.ambienteinliguria.it/Vincoloidrogeologico/SP/spezia.html

3.2 VINCOLO PAESAGGISTICO

L'area di intervento ricade minimamente (zona di monte del compluvio) all'interno delle aree soggette a Vincolo Paesaggistico ai sensi del D.Lgs. 42/2004 (Figura 3) relativo al "Complesso paesistico dello abitato di Nicola di Ortonovo caratterizzato da un borgo fortificato legato alla storia della lunigiana in epoca bizantina ed altomedioevale" istituito con DM del 24/04/1985.

FIGURA 3. VINCOLO PAESAGGISTICO BELLEZZA DI INSIEME[2]



Ubicazione area di intervento

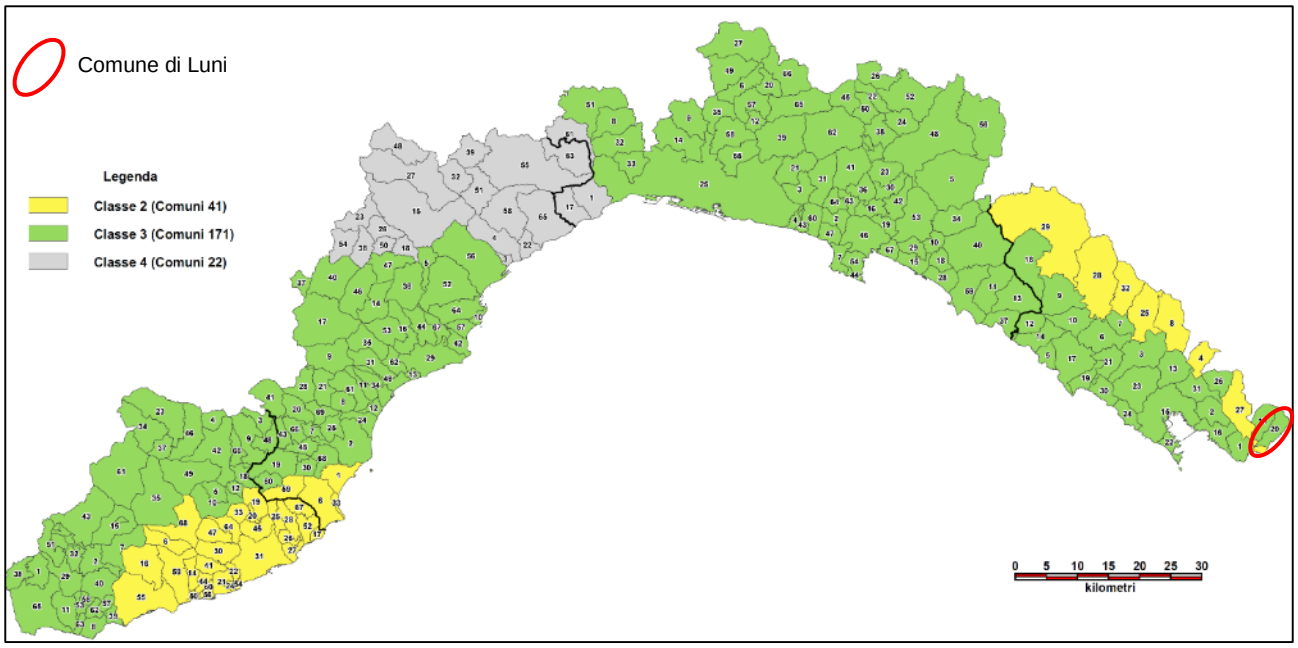
[2] http://srvcarto.regione.liguria.it/geoservices/apps/viewer/pages/apps/vincoli/

3.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Per quanto attiene agli aspetti sismici, tutto il territorio regionale della Liguria viene considerato sismico e distinto in differenti zone a seconda del differente grado di pericolosità sismica di base, identificato dalla Deliberazione di Giunta Regionale n. 216 del 17/032017 in ottemperanza all'O.P.C.M. 3519/2006 "Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria".

Secondo la sopra citata classificazione sismica regionale, il Comune di Luni rientra nella **zona sismica 3** (Figura 4).

FIGURA 4. CLASSIFICAZIONE SISMICA REGIONE LIGURIA

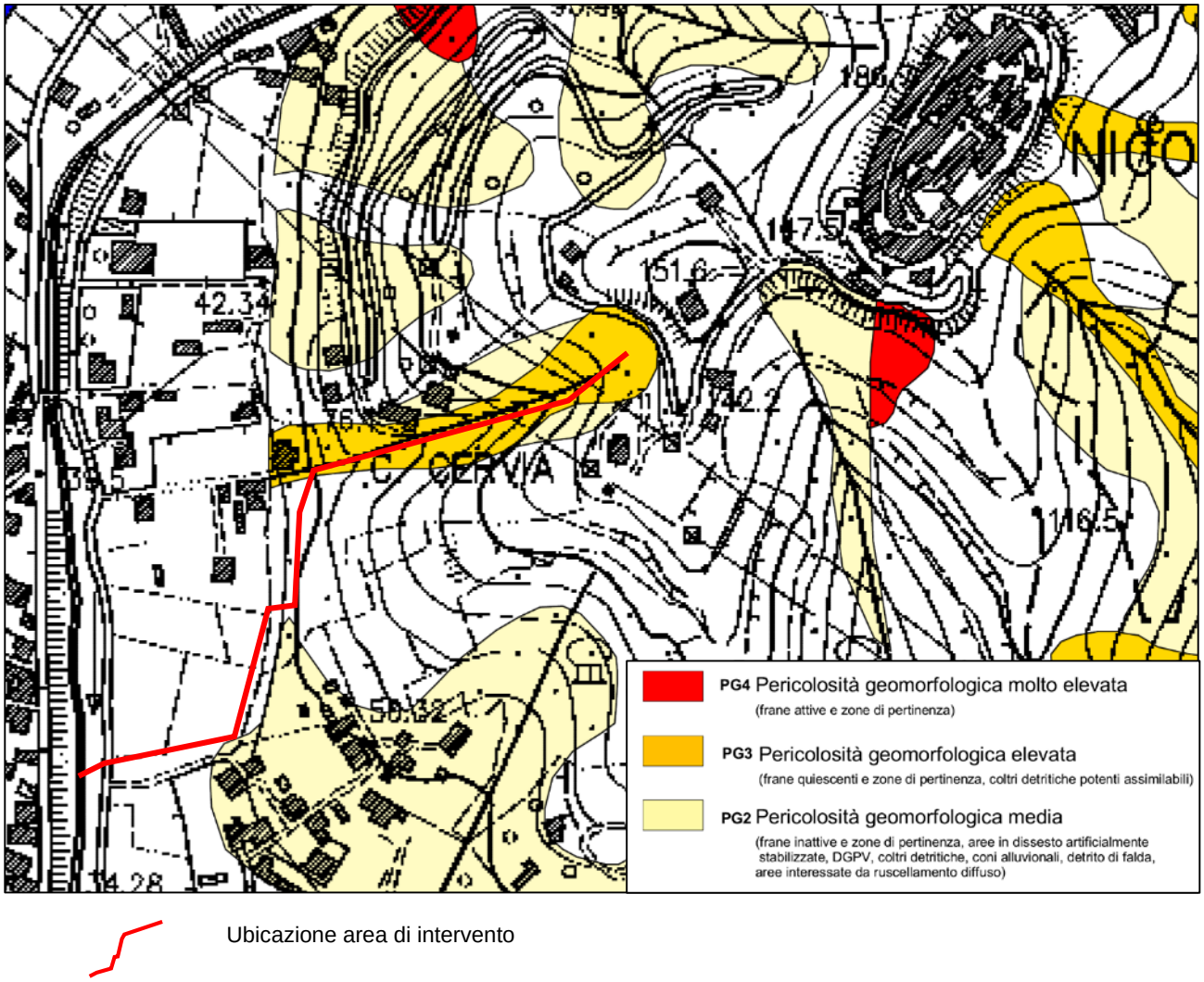


3.4 PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA

3.4.1 Piano di bacino del Fiume Magra[3]

Secondo la cartografia prodotta dall'Autorità di Bacino del Fiume Magra *"Piano stralcio assetto idrogeologico del bacino del Fiume Magra e del Torrente Parmignola"* il compluvio oggetto di intervento è perimetrato all'interno di aree a **pericolosità geomorfologica elevata**, caratterizzate da frane quiescenti e zone di pertinenza, coltri detritiche potenti assimilabili (Figura 5). L'area pianeggiante a valle del compluvio (frazione di Serravalletta) non rientra in alcuna perimetrazione.

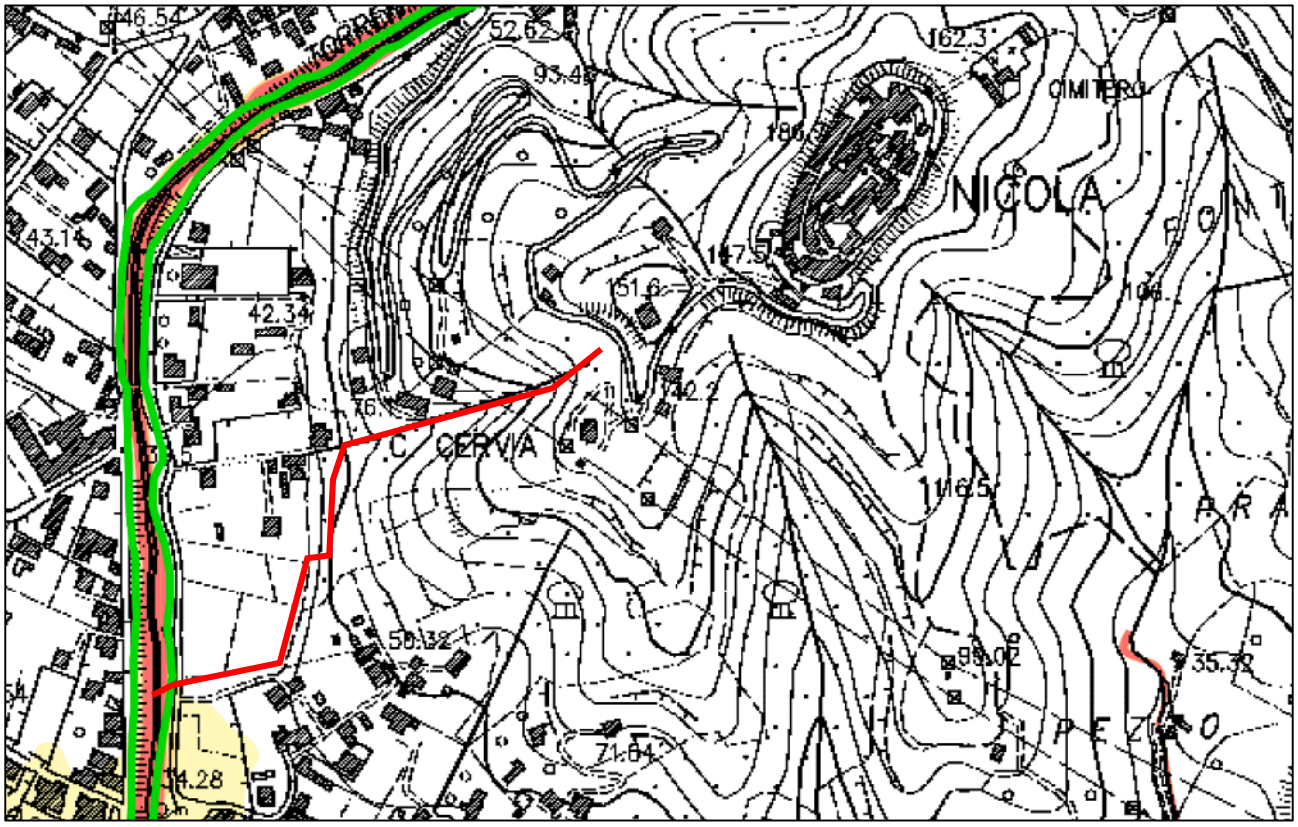
FIGURA 5. STRALCIO DELLA CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA (FONTE AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME MAGRA)



[3] http://www.appenninosettentrionale.it/

Sempre secondo la cartografia prodotta dall'Autorità di Bacino del Fiume Magra "Piano stralcio assetto idrogeologico del bacino del Fiume Magra e del Torrente Parmignola", l'intera area oggetto di intervento **non è perimetrata all'interno di aree a pericolosità idraulica** (Figura 6), ad eccezione del tratto finale dove è prevista la realizzazione dello scolmatore di immissione nel T. Parmignola.

FIGURA 6. STRALCIO DELLA CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA CON FASCIA DI RIASSETTO FLUVIALE E AREE INONDABILI (FONTE AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME MAGRA)



Ubicazione area di intervento

Aree a pericolosità idraulica molto elevata - elevata
(aree inondabili per Tr=30 anni)

Aree a pericolosità idraulica media
(aree inondabili per Tr=200 anni)

Aree a pericolosità idraulica bassa
(aree inondabili per Tr=500 anni)

Aree a pericolosità idraulica bassa
(aree difese da interventi di sistemazione idraulica)

Aree a criticità idraulica non studiate
(aree storicamente inondate)

Fascia di riassetto fluviale

Zone di approfondimento
(zone in cui si rendono necessari studi di maggior dettaglio)

3.4.2 Progetto IFFI

L'area del compluvio in esame risulta cartografata anche dall'Inventario dei Fenomeni Franosi sc. 1:10000 - Progetto IFFI come una frana quiescente, con una superficie di circa 10.500 mq (vedi Figura 7).

FIGURA 7. STRALCIO CARTA INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI 1:10.000 (FONTE HTTP://SRVCARTO.REGIONE.LIGURIA.IT/)



Ubicazione area di intervento

perimetrazione frana

Risultato della Selezione	
Identificativo	0111090800
Area [mq]	10502.689158164

dati frana

Risultato della Selezione	
Identificativo	0111090800
Codice Frana	011020028
Tipo	n.d.
Stato	Quiescente generico
Autorità di Bacino	Magra

3.4.3 PUC del Comune di Luni

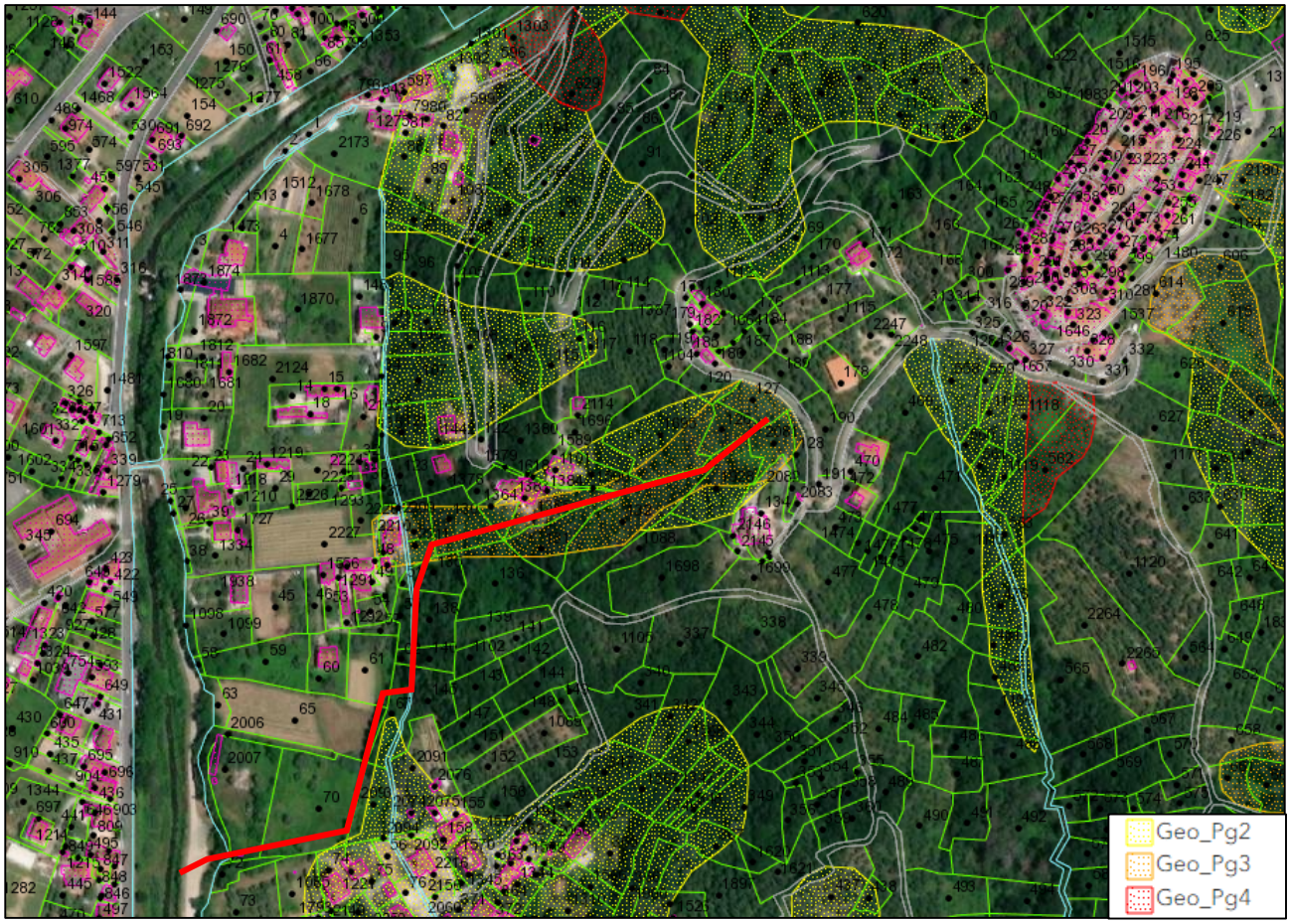
Secondo quanto riportato sul sito del Comune di Luni, dove è stato realizzato un apposito SIT contenente le cartografie del PUC e le cartografie di vincolo prodotte dagli enti sovraordinati, il compluvio oggetto di intervento ricade in:

- area a **pericolosità geologica elevata (PG3)**, che comprende le frane quiescenti e zone di pertinenza-coltri detritiche potenti assimilabili (Figura 8).

AREA A **PERICOLOSITÀ IDRAULICA BASSA (I.1)** CHE COMPRENDONO LE AREE COLLINARI O MONTANE PROSSIME AI CORSI D'ACQUA PER LE QUALI RICORRANO LE SEGUENTI CONDIZIONI (

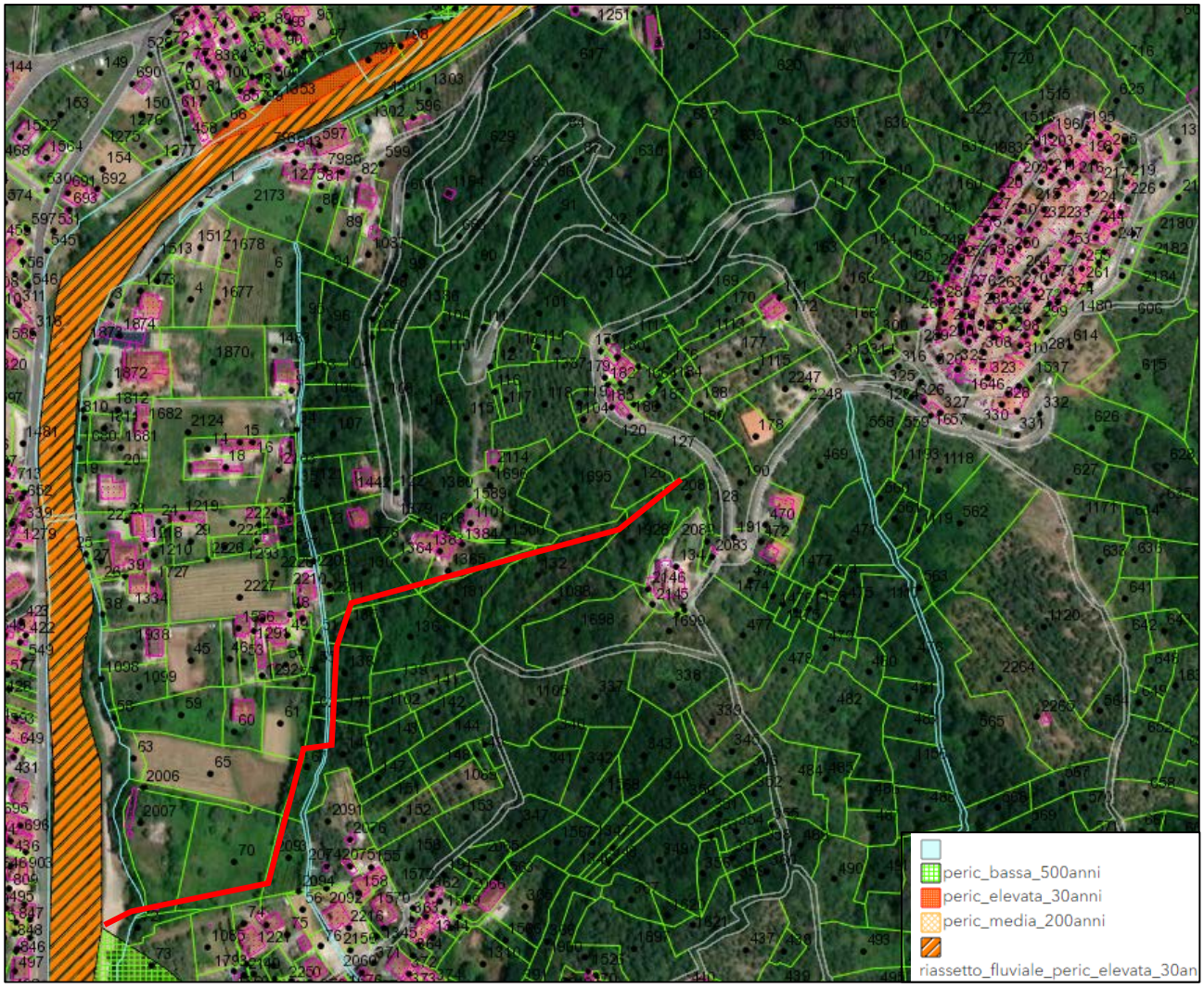
- Figura 9):
  a) non vi sono notizie storiche di inondazioni,
  b) sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

FIGURA 8. STRALCIO DELLA CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA (FONTE SIT COMUNE DI LUNI)



Ubicazione area di intervento

FIGURA 9. STRALCIO DELLA CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA (FONTE SIT COMUNE DI LUNI)



Ubicazione area di intervento

La zona di monte rientra nelle aree a Vincolo Acque Pubbliche Art. 142, comma 1, lett c) D.Lgs n42 del 22/01/2004, così come la zona di valle in località Serravalletta (vedi Figura 10).

La zona del compluvio rientra all'interno delle Aree Boscate ai sensi dell'art 142 comma1 lett G) D.Lgs. n. 42 del 22/01/2004 (vedi Figura 11).

FIGURA 10. STRALCIO DELLA CARTA DEL VINCOLO ACQUE PUBBLICHE ART. 142, COMMA 1, LETT C) D.LGS N42 DEL 22/01/2004 (FONTE SIT COMUNE DI LUNI)

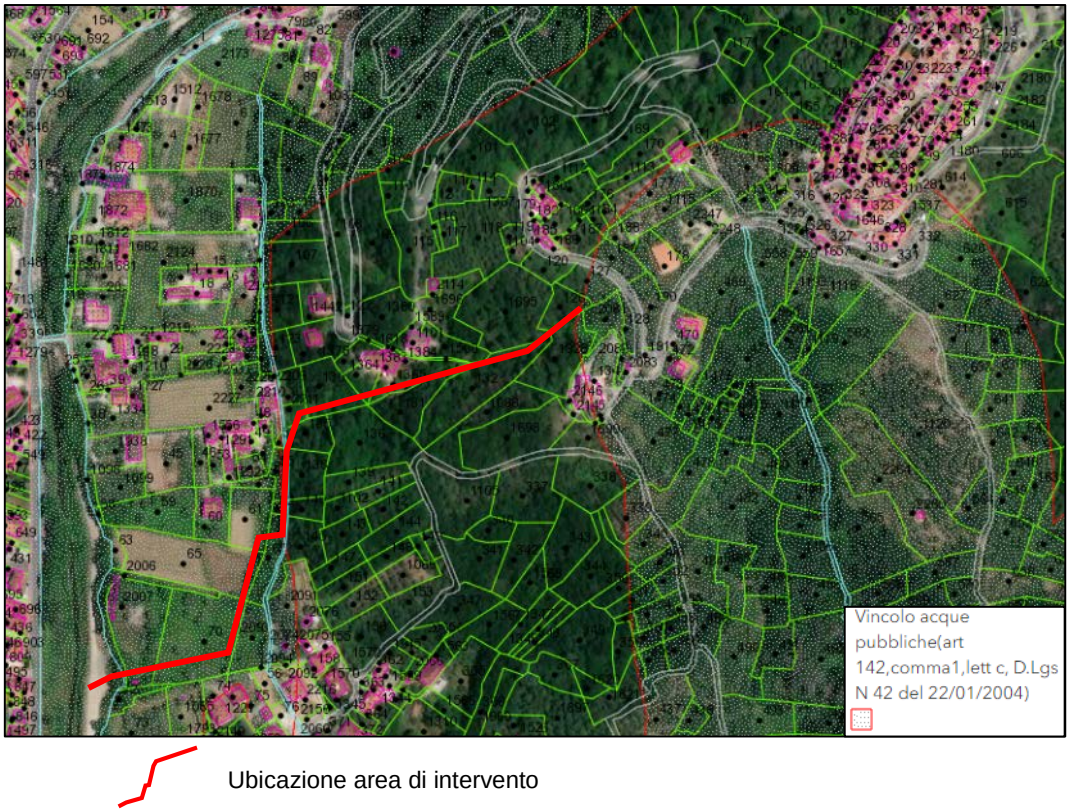
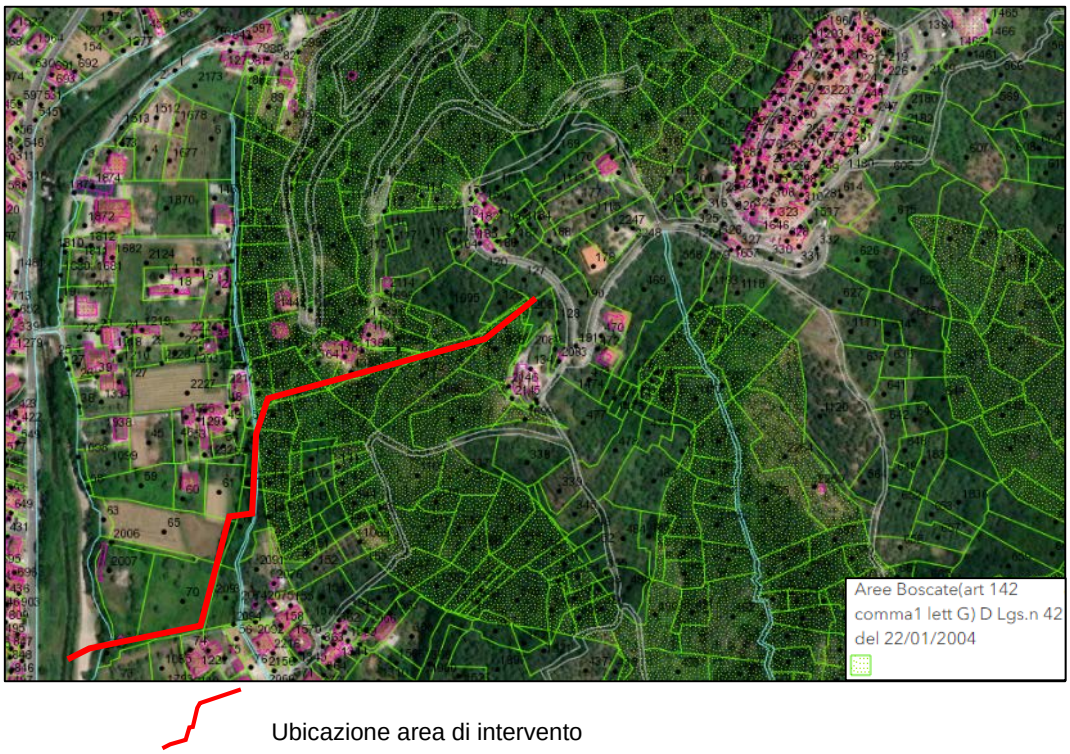
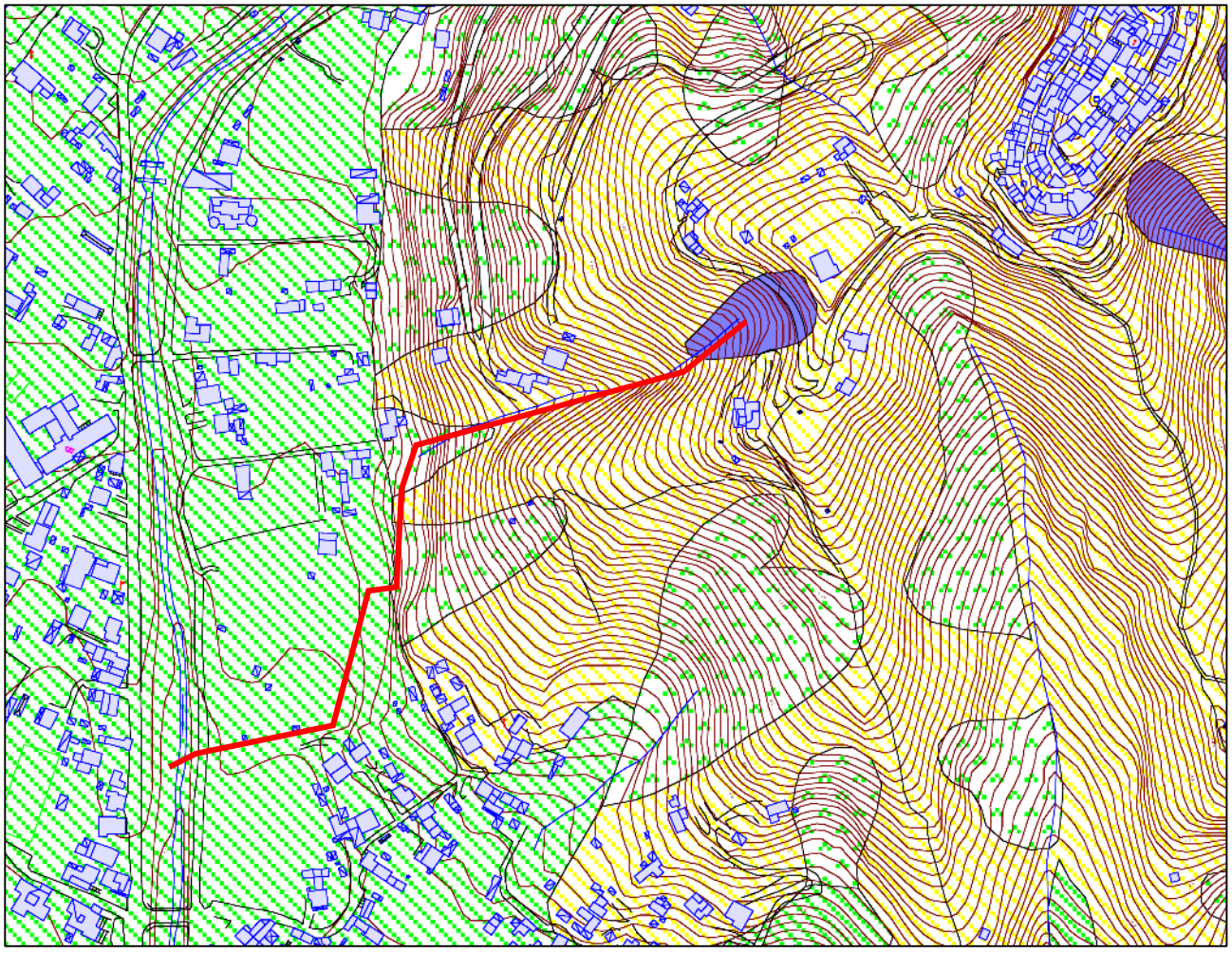


FIGURA 11. STRALCIO DELLA CARTA DELLE AREE BOSCATE AI SENSI DELL'ART 142 COMMA1 LETT G) D LGS.N 42 DEL 22/01/2004 (FONTE SIT COMUNE DI LUNI)

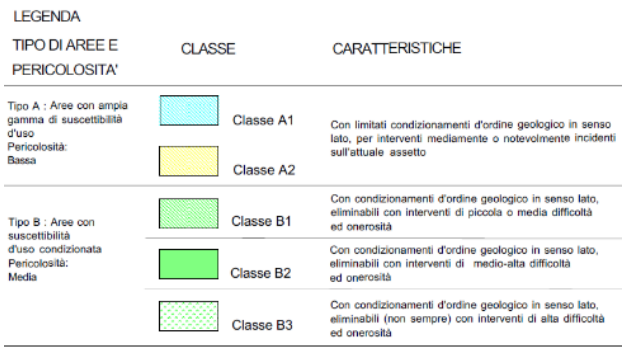


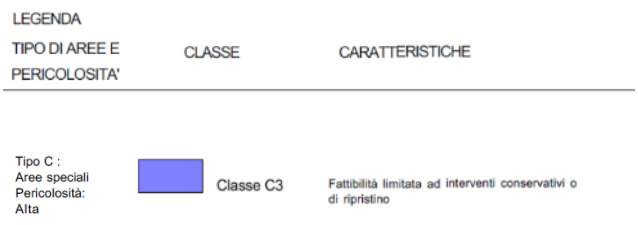
In riferimento alla “Zonizzazione geologica e suscettibilità d'uso del territorio” del PUC del Comune di Luni (Figura 12), la zona di monte del compluvio appartiene alla classe di fattibilità C3 “Fattibilità limitata ad interventi conservativi o di ripristino”. Le altre zone rientrano nelle classi di fattibilità A2 e B3 (compluvio), B1 (zona di valle).

FIGURA 12. STRALCIO DELLA CARTA DELLA ZONIZZAZIONE GEOLOGICA E SUSCETTIBILITÀ D'USO DEL TERRITORIO (FONTE PUC COMUNE DI LUNI – ANNO 2005)



Ubicazione area di intervento





4 QUADRO CONOSCITIVO

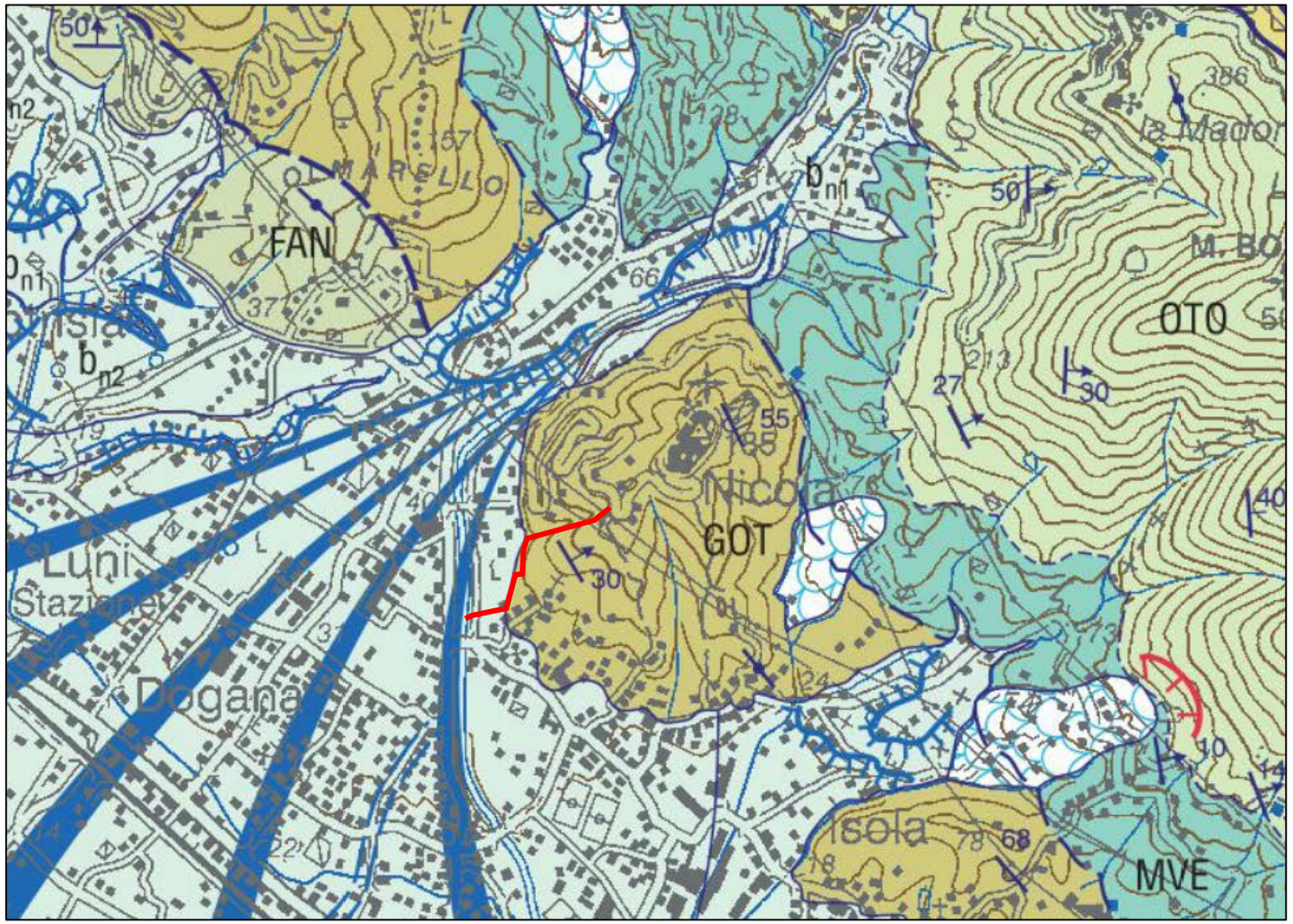
4.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

L'area in esame si inserisce all'interno di un contesto tettonico-strutturale molto complesso rappresentato dalla catena a falde dell'Appennino settentrionale. I grandi domini paleogeografici dell'Appennino (Dominio Ligure interno ed esterno, sub-ligure e Dominio Toscano) vennero interessati, dall'Eocene superiore in poi, da importanti processi tettonici prodotti dalle fasi finali dei movimenti di convergenza continente-continente e relativa chiusura del dominio oceanico della Tetide.

In dettaglio, prendendo a riferimento la Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (vedi Figura 13) e la carta geologica del PUC del Comune di Luni del 1997 (vedi Figura 14), nell'area di intervento affiorano le seguenti formazioni:

- **Depositi detritici (dt)** ubicati nella parte terminale del compluvio, prima della immissione nella zona pianeggiante, costituiti da accumuli generalmente eterogenei ed eterometrici di materiale litoide e non, con matrice sabbiosa o sabbioso-argillosa-limosa in quantità variabile;
- **Depositi alluvionali terrazzati (at)** presenti nell'area pianeggiante dell'abitato di Serravalletta, sono costituiti da depositi ghiaiosi, sabbiosi e limosi di origine fluviale, distinti in diversi ordini di terrazzi, depositatisi dal *Pleistocene medio-superiore* ad oggi;
- **Arenarie del Monte Gottero (ag-GOT)**, che affiorano in corrispondenza del rilievo sul quale sorge il paese di Nicola ed all'interno del quale è presente il compluvio oggetto di studio, sono costituite da arenarie torbiditiche quarzoso-feldspatiche di colore grigio o marrone chiaro, con subordinate intercalazioni di argilliti, argilliti siltose nerastre, calcareniti, microconglomerati; le singole sequenze torbiditiche hanno spessore variabile, che spesso raggiungono i tre metri.

FIGURA 13. STRALCIO CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:50.000 FOGLIO 249 "MASSA-CARRARA"



DEPOSITI QUATERNARI

Depositi alluvionali terrazzati
b_{n1-3}
Depositi ghiaiosi, sabbiosi e limosi di origine fluviale, posti a varie altezze lungo le valli principali (b_{n1}). I depositi dei terrazzi più vecchi (b_{n2-3}) sono costituiti da conglomerati e ghiaie alluvionali terrazzate spesso cementate, ghiaie poligeniche in matrice sabbiosa con livelli di sabbie e limi.
PLEISTOCENE MEDIO SUPERIORE - OLOCENE

Deposito di frana antica
a_{1b}
Accumuli gravitativi caotici antichi di materiali eterogenei ed eterometrici attualmente stabilizzati.
PLEISTOCENE

DOMINIO LIGURE INTERNO
UNITA' TETTONICA DI M. GOTTERO

ARENARIE DI MONTE GOTTERO
GOT
Arenarie torbiditiche quarzoso-feldspatiche, micacee, grigie o marrone chiaro con subordinate intercalazioni di argilliti e siltiti scure.
CAMPANIANO SUPERIORE - PALEOCENE INFERIORE

DOMINIO LIGURE ESTERNO
UNITÀ TETTONICA DI M. ANTOLA

FORMAZIONE DI MONTE ANTOLA
FAN
Torbiditi calcareo-marnose in strati spessi e molto spessi a forte componente silicoclastica con intercalazioni di marne, marne calcaree e argilliti. Spessore circa 300 metri.
CAMPANIANO MEDIO - MAASTRICHTIANO INFERIORE

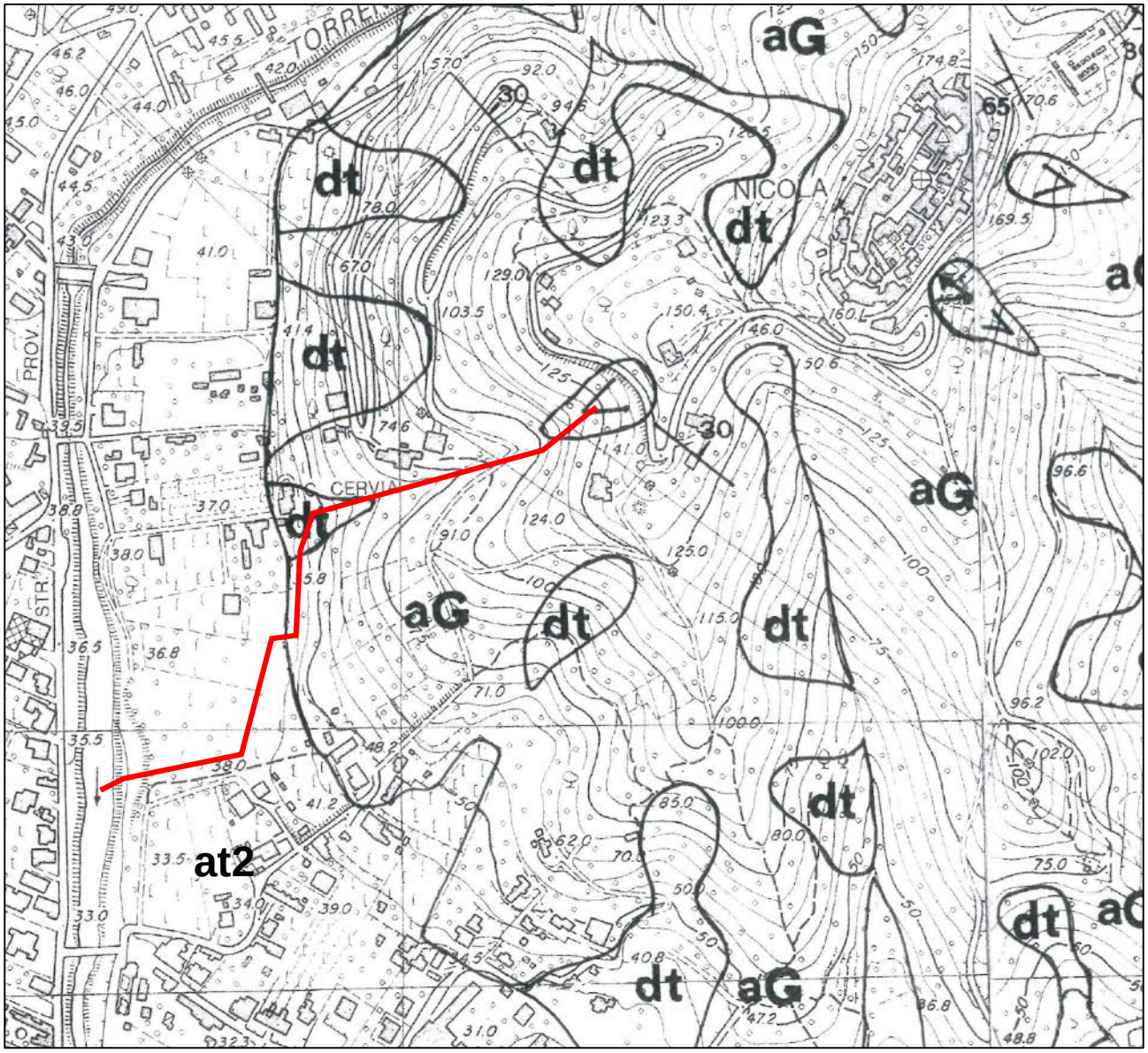
UNITA' TETTONICA DI OTTONE

FLYSCH DI OTTONE
OTO
OTO_1
Torbiditi calcareo-marnose grigio-scure in strati da medi a molto spessi costituite da calcari marnosi e marne calcaree cui si intercalano marne siltose, argilliti e argilliti marnose. Sono presenti anche calcareniti e arenarie fini torbiditiche. Intercalazioni di paraconglomerati, brecce ed olistoliti con clasti ad elementi di calcari e ofioliti (OTO_1).
CAMPANIANO INFERIORE - MAASTRICHTIANO INFERIORE

COMPLESSO DI MONTE VERI
MVE
Brecce poligeniche ad elementi di calcari, ofioliti, diaspri, arenarie e argille in abbondante matrice argillosa grigia.
CAMPANIANO INFERIORE - MEDIO

orlo di scarpata di frana
orlo di terrazzo
traccia di alveo fluviale abbandonato
conoide alluvionale e da debris flow

FIGURA 14. STRALCIO CARTA GEOLOGICA PUC COMUNE DI LUNI

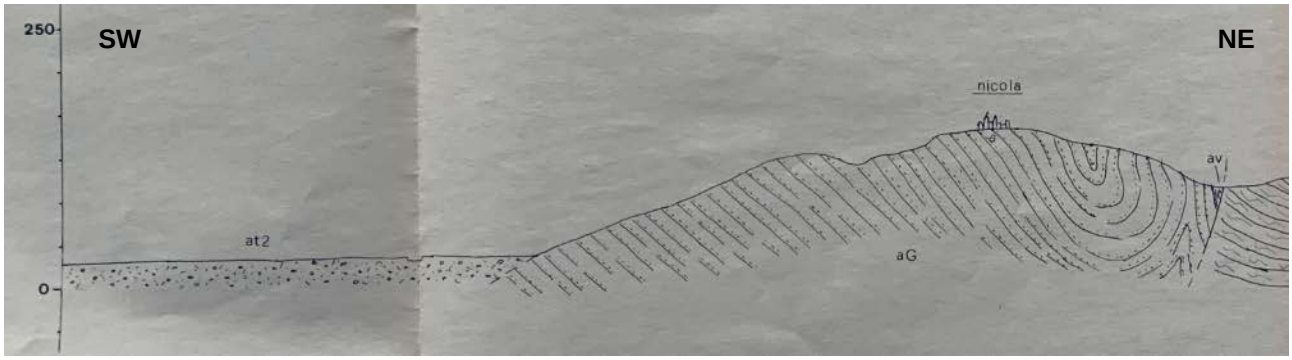


Ubicazione area di intervento

dt	Depositi detritici
dt	Depositi alluvionali terrazzati
aG	Arenarie del Monte Gottero

Come osservabile dalla sezione geologica AA' del PUC del Comune di Luni, passante quasi in corrispondenza dell'area di interesse con direzione SW-NE (Figura 15), le Arenarie del Monte Gottero hanno una stratificazione a reggipoggio lungo il versante in corrispondenza del quale è presente il compluvio oggetto di intervento.

FIGURA 15. STRALCIO SEZIONE GEOLOGICA PUC COMUNE DI LUNI

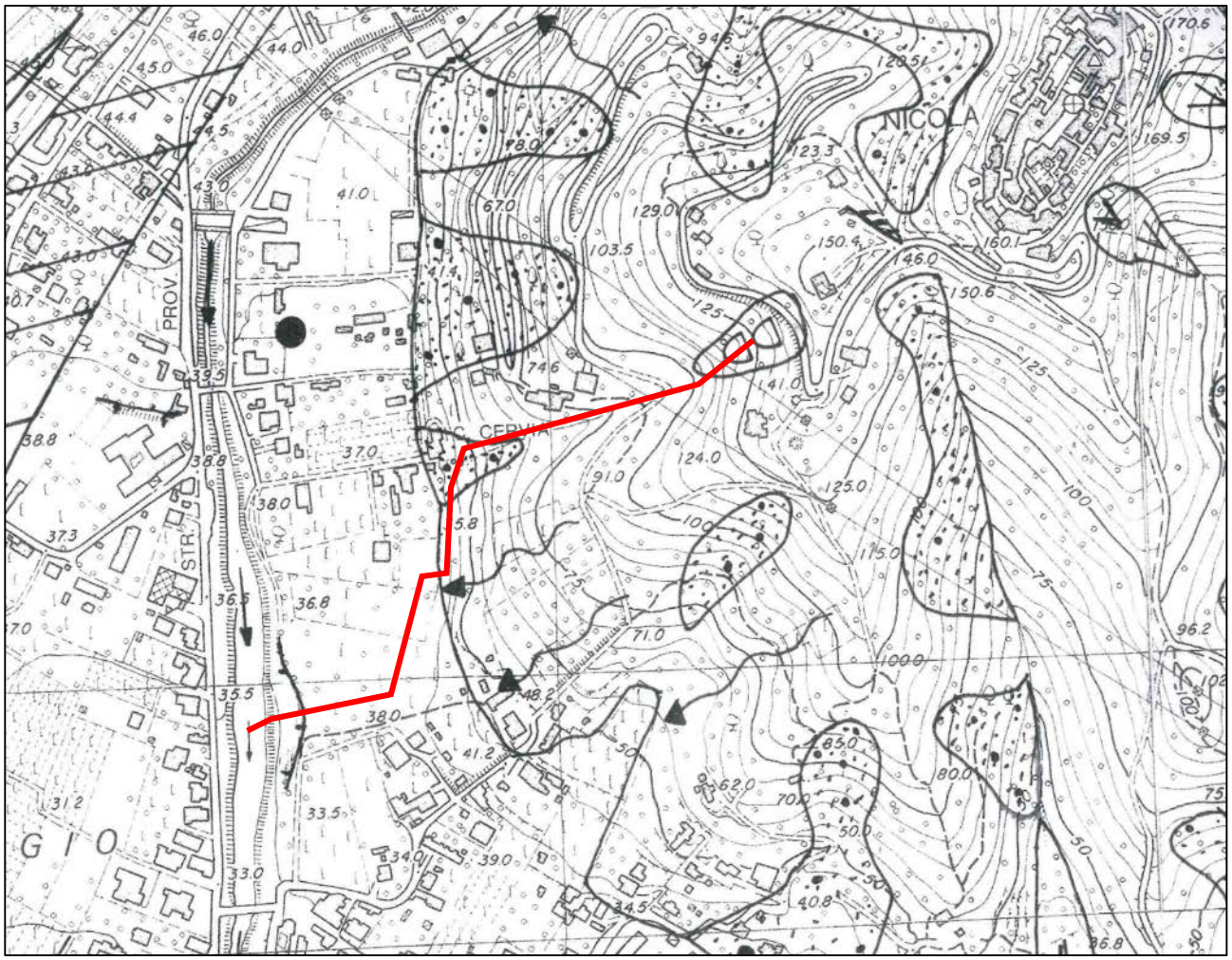


Dal punto di vista geomorfologico, l'area del compluvio presenta una pendenza di circa il 38-40% (circa 20-22°), mentre l'area ove sorge l'abitato di Serravalletta si presenta pressoché pianeggiante.

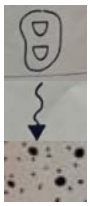
In base a quanto riportato nella carta geomorfologica del PUC del comune di Luni (vedi Figura 16), nell'area di monte del compluvio è cartografato un corpo di frana quiescente per scorrimento rotazionale, mentre nella zona terminale del compluvio sono presenti depositi superficiali a tessitura di massi con peliti. L'intera zona è caratterizzata dalla presenza di soliflussi generalizzati.

La predisposizione al dissesto nell'area in esame è legata principalmente alla presenza delle frazioni siltitico-argillitiche, che risultano in percentuali minori rispetto alle porzioni arenacee e calcaree, caratterizzate da una minore propensione al dissesto.

FIGURA 16. STRALCIO CARTA GEOMORFOLOGICA PUC COMUNE DI LUNI



Ubicazione area di intervento



Corpo di frana per scorrimento – stato quiescente

Area interessata da soliflusso generalizzato

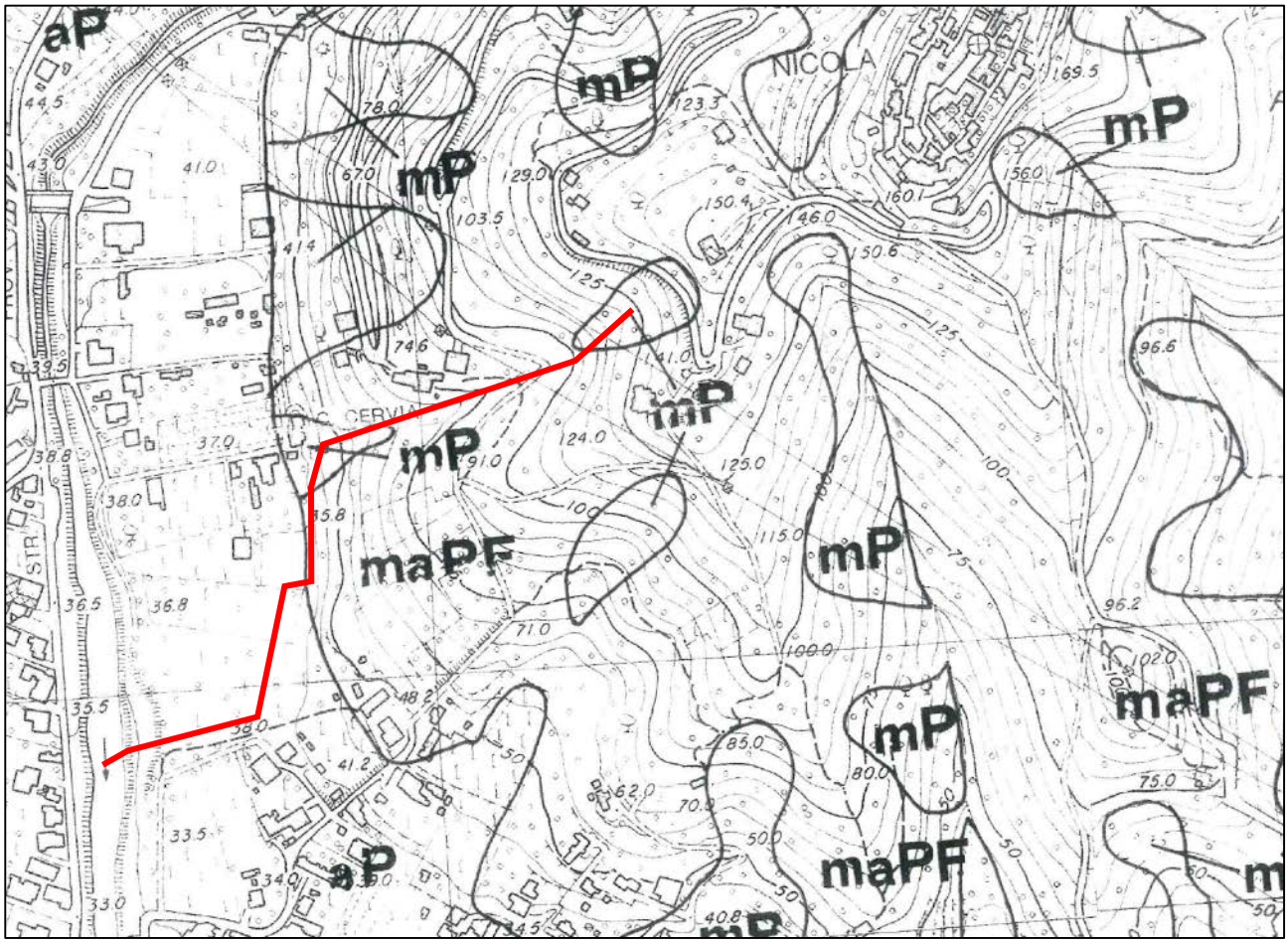
Depositi superficiali (tessitura massi + peliti)

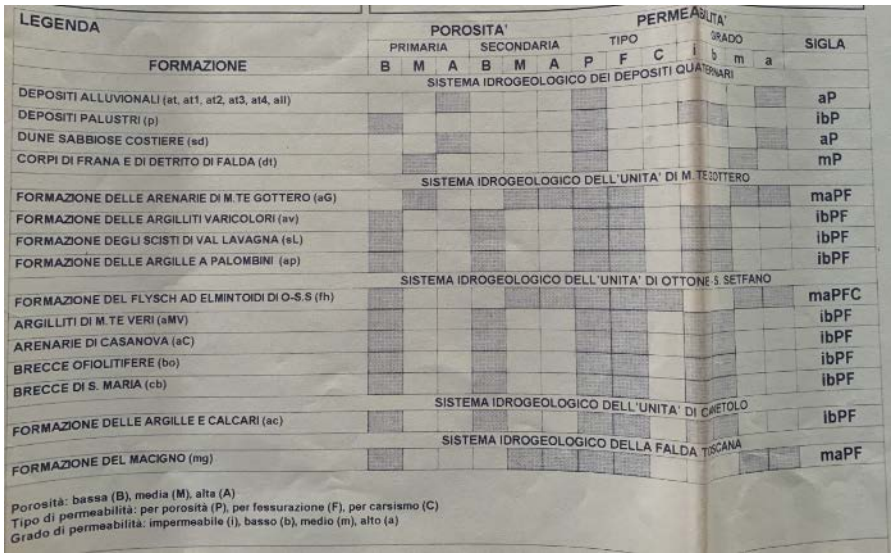
4.2 IDROGEOLOGIA E IDROGRAFIA

Per quanto riguarda l'idrografia, l'area in esame rientra nel Bacino idrografico del Torrente Parmignola. Più in dettaglio, il compluvio in esame scende lungo il versante occidentale della collina sulla quale sorge il paese di Nicola, per poi immettersi, nella zona di fondovalle, in un fossato a cielo aperto che scorre lateralmente ai terreni pianeggianti dell'abitato di Serravalletta, per poi disperdersi superficialmente con recapito finale nel Torrente Parmignola.

Dal punto di vista idrogeologico le rocce ed i terreni presenti nell'area, costituiti dalle arenarie del Monte Gottero, sono costituiti da una permeabilità medio-alta per porosità e fratturazione, mentre le alluvioni terrazzate sono costituite da una permeabilità per porosità di grado alto.

FIGURA 17. STRALCIO CARTA IDROGEOLOGICA PUC COMUNE DI LUNI





LEGENDA	POROSITA' PRIMARIA B	POROSITA' PRIMARIA M	POROSITA' PRIMARIA A	POROSITA' SECONDARIA B	POROSITA' SECONDARIA M	POROSITA' SECONDARIA A	PERMEABILITA' TIPO P	PERMEABILITA' TIPO F	PERMEABILITA' TIPO C	PERMEABILITA' GRADO i	PERMEABILITA' GRADO b	PERMEABILITA' GRADO m	PERMEABILITA' GRADO a	SIGLA
FORMAZIONE														
SISTEMA IDROGEOLOGICO DEI DEPOSITI QUATERNARI														
DEPOSITI ALLUVIONALI (at, at1, at2, at3, at4, ail)														aP
DEPOSITI PALUSTRI (p)														ibP
DUNE SABBIOSE COSTIERE (sd)														aP
CORPI DI FRANA E DI DETRITO DI FALDA (dt)														mP
SISTEMA IDROGEOLOGICO DELL'UNITA' DI M. TEGOTTERO														
FORMAZIONE DELLE ARENARIE DI M.TE GOTTERO (aG)														maPF
FORMAZIONE DELLE ARGILLITI VARICOLORI (av)														ibPF
FORMAZIONE DEGLI SCISTI DI VAL LAVAGNA (sL)														ibPF
FORMAZIONE DELLE ARGILLE A PALOMBINI (ap)														ibPF
SISTEMA IDROGEOLOGICO DELL'UNITA' DI OTTONE S. SETFANO														
FORMAZIONE DEL FLYSCH AD ELMINTOIDI DI O-S.S (fh)														maPFC
ARGILLITI DI M.TE VERI (aMV)														ibPF
ARENARIE DI CASANOVA (aC)														ibPF
BRECCE OFIOLITIFERE (bo)														ibPF
BRECCE DI S. MARIA (cb)														ibPF
SISTEMA IDROGEOLOGICO DELL'UNITA' DI CANETOLO														
FORMAZIONE DELLE ARGILLE E CALCARI (ac)														ibPF
SISTEMA IDROGEOLOGICO DELLA FALDA TOSCANA														
FORMAZIONE DEL MACIGNO (mg)														maPF

Porosità: bassa (B), media (M), alta (A)
Tipo di permeabilità: per porosità (P), per fessurazione (F), per carsismo (C)
Grado di permeabilità: impermeabile (i), basso (b), medio (m), alto (a)

Ubicazione area di intervento

5 SOPRALLUOGO SULL'AREA

Per consentire l'esecuzione delle indagini geognostiche, l'Amministrazione Comunale ha provveduto ad effettuare lo sfalcio della vegetazione in alcuni punti della zona sommitale del compluvio, nello specifico nell'area sottostante la sede stradale di Via per Nicola.

Nella zona esaminabile si sono potuti osservare alcuni vecchi terrazzamenti, la cui presenza è testimoniata anche dall'esistenza di alcune porzioni di muretti a secco in cattivo stato di conservazione; tali terrazzamenti risultano ad oggi abbandonati e privi di manutenzione e mostrano, in più punti, segni dell'erosione esercitata dall'azione delle acque meteoriche.

Tali manifestazioni, strettamente legate alla scarsa manutenzione di questo tratto di versante terrazzato, si "mescolano" ai processi di instabilità strettamente connessi all'evoluzione del movimento franoso, spesso obliterandoli e rendendo di conseguenza di difficile valutazione la definizione dello stato di attività del movimento franoso stesso e la presenza di segnali connessi ad una eventuale retrogressione della nicchia di distacco.

FIGURA 18. RILIEVI FOTOGRAFICI DELLA ZONA DI MONTE DEL COMPLUVIO



Sempre nella zona di monte del compluvio, si è inoltre osservata la presenza di una canalizzazione antropica in terra per la regimazione delle acque provenienti a monte della strada Via per Nicola, con recapito all'interno di una tubazione corrugata, che necessita di interventi di pulizia e manutenzione, in quanto parzialmente ostruita dalla vegetazione e da materiale detritico.

FIGURA 19. RILIEVI FOTOGRAFICI CANALIZZAZIONE PER REGIMAZIONE DELLE ACQUE LUNGO VIA PER NICOLA



Si precisa che le valutazioni espresse nel presente paragrafo sono riferibili alla limitata porzione di versante che è stato possibile indagare in seguito allo sfalcio della vegetazione, e pertanto non possono essere estese all'intero areale della nicchia di distacco da cui si è originato il fenomeno franoso del 2012.

6 MODELLO GEOLOGICO

6.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE

La campagna di indagini geognostiche, realizzate sul sito dalla società *GAIA Servizi S.n.c.* per conto della scrivente, è stata finalizzata alla verifica dell'assetto stratigrafico e delle caratteristiche geotecniche dei terreni nelle zone in cui sono previsti interventi di sistemazione idraulica del compluvio e la realizzazione di un nuovo scolmatore.

In relazione alla accessibilità dell'area di intervento e tenendo conto delle litologie affioranti e dei principali lineamenti morfologici delle aree di intervento, si è proceduto alla realizzazione di indagini nelle seguenti due macroaree di intervento:

1. Zona di valle, in corrispondenza dell'area pianeggiante, caratterizzata dalla presenza di materiali alluvionali terrazzati, dove è prevista la riprofilatura del tratto a cielo aperto e lo scarico in sinistra idraulica nel Torrente Parmignola, dove sono state realizzate le seguenti indagini:
    - n. 2 prove penetrometriche dinamiche super pesanti DPSH;
    - n. 1 indagine sismica congiunta MASW/HVSR, lungo l'allineamento delle due prove penetrometriche;
2. Zona di monte, in corrispondenza della porzione sommitale del compluvio, caratterizzata dalla presenza di materiali di alterazione delle arenarie del Monte Gottero, dove sono state realizzate le seguenti indagini:
    - n. 2 prove penetrometriche dinamiche medie DPM con penetrometro manuale, in quanto l'area non risultava accessibile con mezzi cingolati;
    - n. 1 prova MASW, lungo la scarpata principale, in corrispondenza della quale è stata realizzata anche una indagine sismica a rifrazione a mezzo di onde P con tecnica tomografica;
    - n. 1 ulteriore indagine sismica a rifrazione a mezzo di onde P con tecnica tomografica lungo un allineamento di massima pendenza del versante.

Le planimetrie in Figura 20 e Figura 21 mostrano l'ubicazione delle indagini geognostiche complessivamente realizzate dalla Ditta Gaia Servizi S.n.c. per gli interventi in progetto.

FIGURA 20. UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE – ZONA DI VALLE



FIGURA 21. UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE – ZONA DI MONTE



6.2 PROVE PENETROMETRICHE

Le prove penetrometriche dinamiche consistono nel misurare il numero di colpi necessari per infliggere nel terreno una punta conica di dimensioni standardizzate, collegata ad una serie di aste spinte in profondità da un maglio di massa nota. Il suo obiettivo è quello di determinare la stratigrafia e le principali proprietà geotecniche del terreno in esame.

Nelle aree di indagine sono state realizzate le seguenti prove:

1. Zona di valle:
   - **P1-DIN1**: prova penetrometrica dinamica super pesante DPSH, che ha raggiunto la profondità di 6 metri da piano campagna;
   - **P2-DIN2**: prova penetrometrica dinamica super pesante DPSH, che ha raggiunto la profondità di 8 metri da piano campagna;
2. Zona di monte:
   - **P3-DIN3**: prova penetrometrica dinamica media DPM, che ha raggiunto la profondità di 3,6 metri da piano campagna;
   - **P4-DIN4**: prova penetrometrica dinamica media DPM, che ha raggiunto la profondità di 2,4 metri da piano campagna.

In nessuna prova realizzata è stata rilevata la presenza di acqua.

Di seguito si riportano i risultati delle prove, mentre per la descrizione dettagliata si rimanda alla relazione riportata in Allegato 1.

Prova penetrometrica "DIN1"

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rpd kg/cm²	qc kg/cm²	Vs m/sec	G kg/cm²	Q kg/cm²	natura	descrizione
1	0,00 : 0,40	Media	2	1,49	3	21,02	18,91	66	29	1,05	Coes./Gran.	
2	0,40 : 1,40	Media	9	1,49	14	88,72	79,85	115	99	4,44	Coes./Gran.	
3	1,40 : 4,00	Media	4	1,49	6	32,76	29,24	123	50	1,64	Coes./Gran.	
4	4,00 : 5,80	Media	23	1,49	34	162,80	147,32	204	202	8,14	Coes./Gran.	
5	5,80 : 6,00	Media	100	1,49	149	683,41	615,07	273	657	34,17	Coes./Gran.	

			NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE						
n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm²	Ysat t/m³	W %	e -	Mo kg/cm²	Dr %	ø °	E' kg/cm²	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo kg/cm²	Liq. -
1	0,00 : 0,40	3	0,19	1,78	44,21	1,19	28	11	27	214	1,86	1,38	105	- - -
2	0,40 : 1,40	14	0,88	1,95	29,45	0,80	57	41	31	299	1,96	1,53	230	- - -
3	1,40 : 4,00	6	0,38	1,85	37,04	1,00	36	22	28	238	1,89	1,43	139	- - -
4	4,00 : 5,80	34	2,13	2,10	20,20	0,55	98	69	37	453	2,07	1,72	411	- - -
5	5,80 : 6,00	149	9,31	2,10	20,20	0,55	331	100	45	1340	2,24	1,99	1392	- - -

Prova penetrometrica "DIN2"

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rpd kg/cm²	qc kg/cm²	Vs m/sec	G kg/cm²	Q kg/cm²	natura	descrizione
1	0,00 : 1,60	Media	4	1,49	6	37,65	33,63	97	50	1,88	Coes./Gran.	
2	1,60 : 8,00	Media	16	1,49	24	119,84	105,52	175	153	5,99	Coes./Gran.	

NATURA COESIVA

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm²	Ysat t/m³	W %	e -	Mo kg/cm²
1	0,00 : 1,60	6	0,38	1,85	37,04	1,00	36
2	1,60 : 8,00	24	1,50	2,07	21,91	0,59	77

NATURA GRANULARE

n°	Dr %	ø °	E' kg/cm²	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo kg/cm²	Liq. -
1	22	28	238	1,89	1,43	139	- - -
2	56	34	376	2,01	1,63	326	- - -

Prova penetrometrica "DIN3"

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rpd kg/cm²	qc kg/cm²	Vs m/sec	G kg/cm²	Q kg/cm²	natura	descrizione
1	0,00 : 0,60	Media	2	0,77	2	8,69	7,82	67	21	0,43	Coes./Gran.	
2	0,60 : 1,40	Media	31	0,77	24	117,94	104,64	129	153	5,90	Coes./Gran.	
3	1,40 : 2,10	Media	12	0,77	9	42,82	39,70	121	70	2,14	Coes./Gran.	
4	2,10 : 3,10	Media	27	0,77	21	95,17	86,91	152	137	4,76	Coes./Gran.	
5	3,10 : 3,30	Media	17	0,77	13	55,41	49,87	145	93	2,77	Coes./Gran.	
6	3,30 : 3,50	Media	40	0,77	31	134,33	120,90	187	187	6,72	Coes./Gran.	
7	3,50 : 3,60	Media	100	0,77	77	335,82	302,24	220	388	16,79	Coes./Gran.	

NATURA COESIVA

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm²	Ysat t/m³	W %	e -	Mo kg/cm²
1	0,00 : 0,60	2	0,13	1,75	46,91	1,27	25
2	0,60 : 1,40	24	1,50	2,07	21,91	0,59	77
3	1,40 : 2,10	9	0,56	1,89	34,00	0,92	44
4	2,10 : 3,10	21	1,31	2,03	23,98	0,65	71
5	3,10 : 3,30	13	0,81	1,93	30,31	0,82	55
6	3,30 : 3,50	31	1,94	2,10	20,20	0,55	92
7	3,50 : 3,60	77	4,81	2,10	20,20	0,55	185

NATURA GRANULARE

n°	Dr %	ø °	E' kg/cm²	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo kg/cm²	Liq. -
1	8	27	207	1,85	1,36	93	- - -
2	56	34	376	2,01	1,63	326	- - -
3	32	30	261	1,92	1,48	173	- - -
4	52	33	353	2,00	1,60	301	- - -
5	40	31	291	1,95	1,53	218	- - -
6	66	36	430	2,06	1,70	386	- - -
7	95	44	785	2,21	1,94	778	- - -

Prova penetrometrica "DIN4"

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rpd kg/cm²	qc kg/cm²	Vs m/sec	G kg/cm²	Q kg/cm²	natura	descrizione
1	0,00 : 0,60	Media	3	0,77	3	13,37	12,03	71	29	0,67	Coes./Gran.	
2	0,60 : 1,90	Media	29	0,77	22	108,64	97,50	133	142	5,43	Coes./Gran.	
3	1,90 : 2,30	Media	15	0,77	11	51,48	46,33	130	82	2,57	Coes./Gran.	
4	2,30 : 2,40	Media	100	0,77	77	355,03	319,53	204	388	17,75	Coes./Gran.	

NATURA COESIVA

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm²	Ysat t/m³	W %	e -	Mo kg/cm²
1	0,00 : 0,60	3	0,19	1,78	44,21	1,19	28
2	0,60 : 1,90	22	1,38	2,04	23,28	0,63	73
3	1,90 : 2,30	11	0,69	1,91	32,11	0,87	50
4	2,30 : 2,40	77	4,81	2,10	20,20	0,55	185

NATURA GRANULARE

n°	Dr %	ø °	E' kg/cm²	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo kg/cm²	Liq. -
1	11	27	214	1,86	1,38	105	- - -
2	53	34	361	2,00	1,61	309	- - -
3	37	30	276	1,94	1,51	196	- - -
4	95	44	785	2,21	1,94	778	- - -

6.3 INDAGINI SISMICHE

Le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo. Nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione") o trasversali (onde SH o “di taglio”) per determinare spessori e andamento dei livelli presenti.

Sono state effettuate n° 2 prospezioni sismiche a rifrazione a 24 geofoni:

- LINE 2 TOMO: 24 geofoni - interasse i = 2 m - lunghezza ml 46 in onde P;
- LINE 3 TOMO: 12 geofoni - interasse i = 2 m - lunghezza ml 23 in onde P.

Il dettaglio delle indagini svolte è riportato in Allegato 2, dove vengono indicate le caratteristiche specifiche, compresi i parametri di acquisizione.

Le sezioni sismo-tomografiche hanno mostrato i seguenti macro-livelli:

- un primo strato dello spessore indicativo di circa 2-4 metri con Vp = 150÷900 m/sec, correlabile con riporto e con depositi da poco a mediamente addensati/compatti;
- un livello sottostante dello spessore indicativo di circa 4-6 metri, compreso fra tra le isotachie di 900 e 1700 m/sec, nel quale le velocità sono riferibili a depositi da mediamente a molto addensati/compatti;
- un livello sottostante dello spessore indicativo di circa 3-5 metri tra le isotachie di 1700 e 2500 m/sec, nel quale le velocità sono riferibili al bedrock da molto a mediamente alterato e fratturato;
- un livello inferiore caratterizzato da Vp > 2500 m/sec, alla profondità comprese fra 9 e 15 metri dal piano campagna, che può essere riferibili al bedrock da mediamente a poco alterato e fratturato.

Dalla osservazione del profilo tomografico realizzato lungo la massima pendenza, lo spessore dei terreni di copertura presenti al di sopra del bedrock poco fratturato sembra decrescere da monte verso valle.

FIGURA 22. PROFILO SISMO-TOMOGRAFICO LINE 2_P

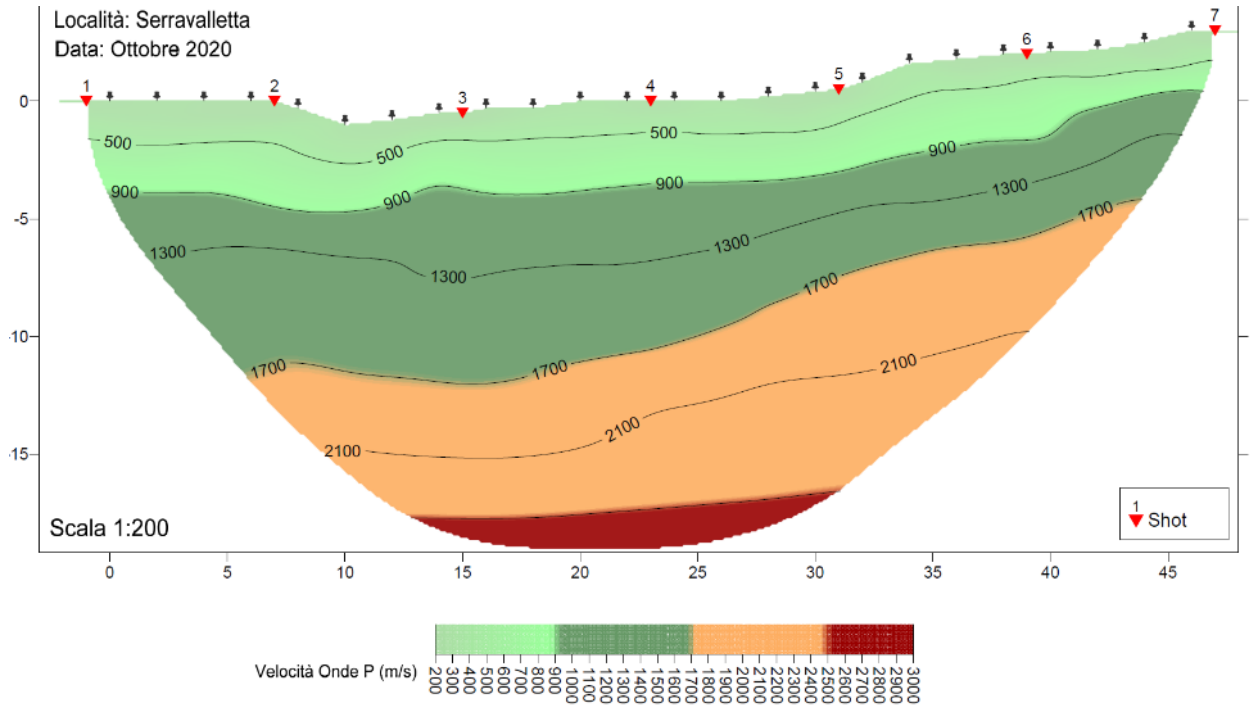
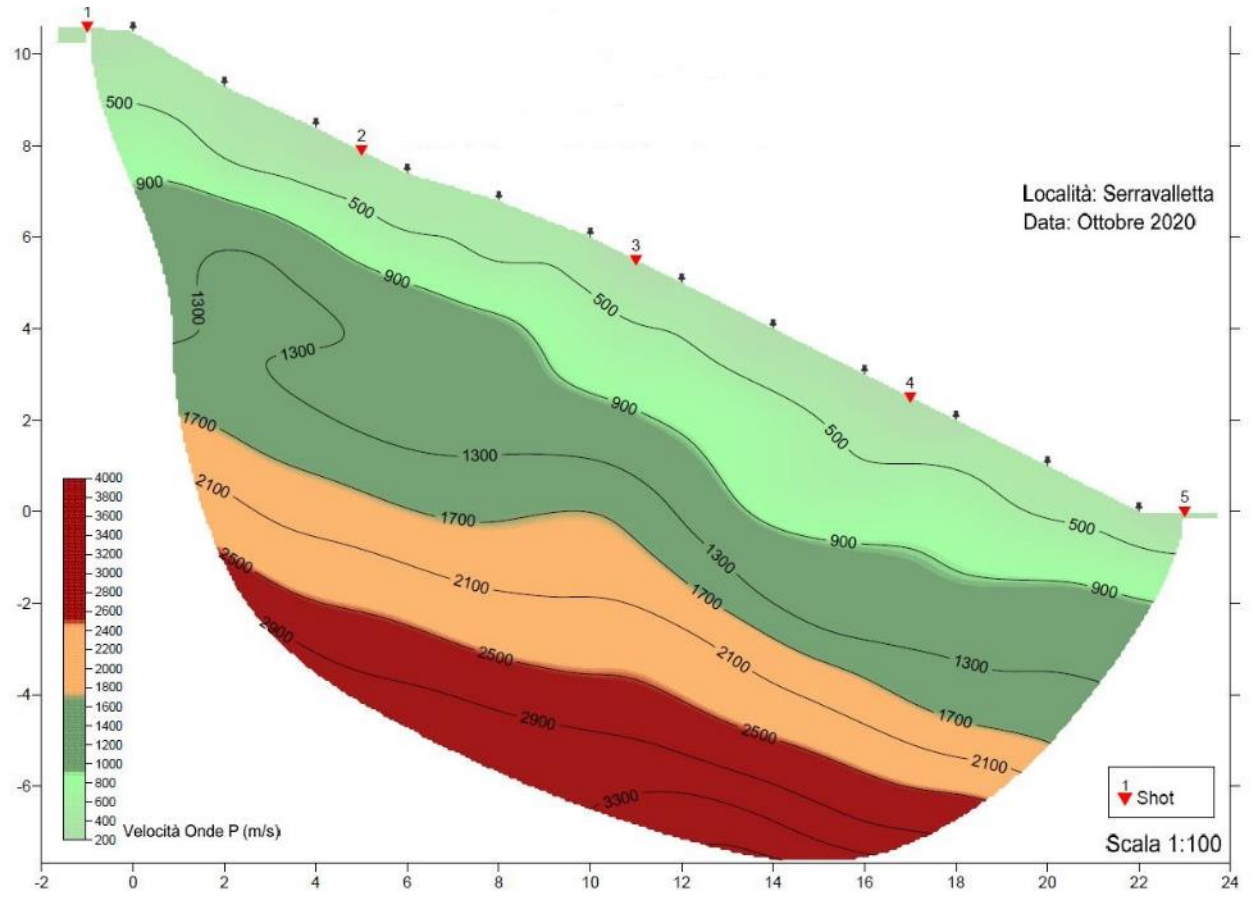


FIGURA 23. PROFILO SISMO-TOMOGRAFICO LINE 3_P



6.4 INDAGINI MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali (onde di Rayleigh e onde di Love) fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

I metodi di Multichannel Analysis of SurfaceWaves consentono di ottenere un modello verticale delle Vs a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh.

Nelle aree in esame sono state realizzate n°2 prospezioni sismiche tipo MASW in onde di Rayleigh.

Le acquisizioni sono state eseguite in base alle seguenti configurazioni:

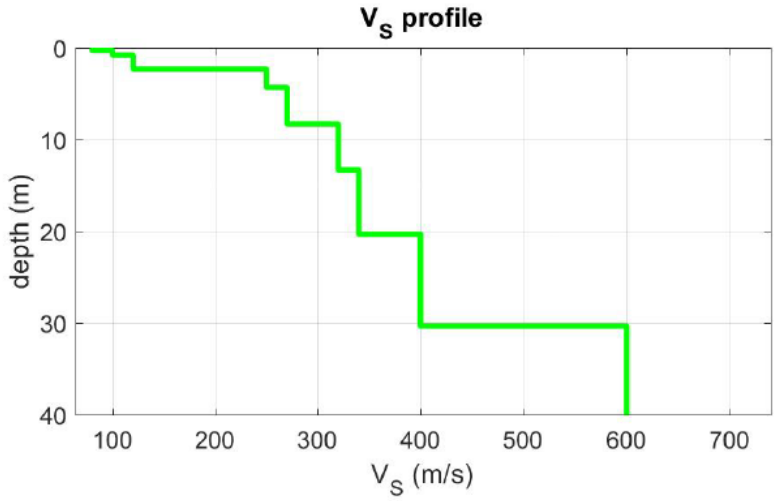
- LINE 1 MASW: 24 geofoni - interasse i = 2 m – off-sets sorgente (da ciascun estremo) 5m, 10m – sorgente massa battente da 10 kg
- LINE 2 MASW: 24 geofoni - interasse i = 2 m – off-sets sorgente (da ciascun estremo) 5m, 10m – sorgente massa battente da 10 kg

Il dettaglio delle indagini svolte è riportato in Allegato 2, dove vengono indicate le caratteristiche specifiche, compresi i parametri di acquisizione.

Le indagini geofisiche MASW hanno permesso di individuare la velocità media delle onde Vs nei primi 30 metri di sottosuolo nei due allineamenti.

Di seguito si riportano le immagini dei profili verticali Vs relativi ai due allineamenti e le Vs calcolate.

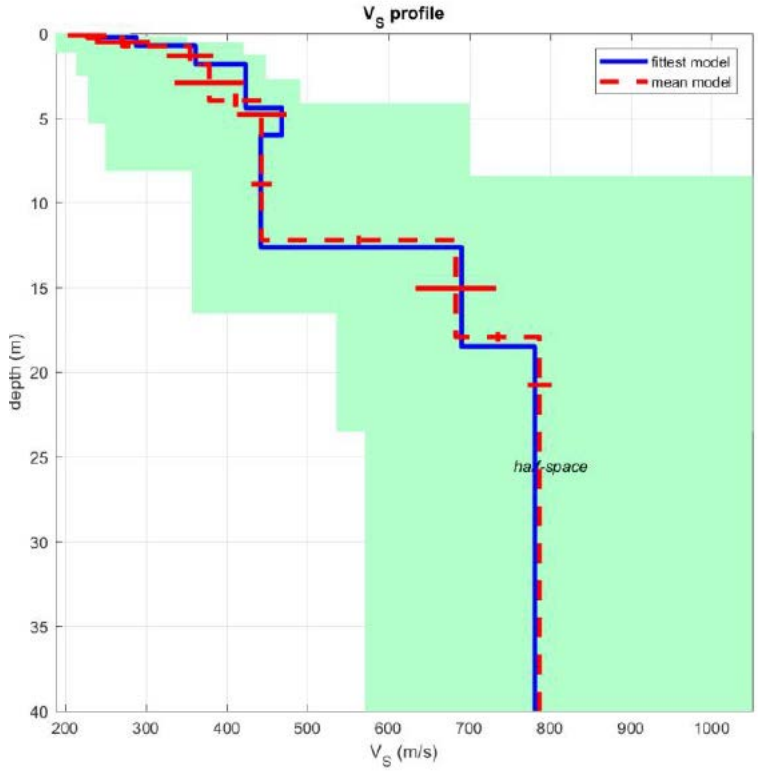
FIGURA 24. PROFILO VERTICALE VS LINE 1 MASW



LINE 1 MASW: Vs_{eq} 287 m/sec

Layer	Spessore livello (m)	Profondità (m da pc)	Vs (m/sec)
1	0,3	0,3	80
2	0,5	0,8	100
3	1,5	2,3	120
4	2	4,3	250
5	4	8,3	270
6	5	13,3	320
7	7	20,3	340
8	10	30,3	400
9	---	---	600

FIGURA 25. PROFILO VERTICALE VS LINE 2 MASW



LINE 2 MASW: Vseq 555 m/sec

Layer	Spessore livello (m)	Profondità (m da pc)	Vs (m/sec)
1	0,3	0,3	227
2	0,5	0,8	271
3	1,1	1,9	354
4	2,1	4	378
5	1,6	5,6	443
6	6,6	12,2	443
7	5,7	17,9	683
8	---	---	787

6.5 RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA DEL SOTTOSUOLO E PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Le prove eseguite hanno permesso di fornire un modello geologico, geotecnico e sismico del sottosuolo indagato, permettendo di inquadrare i principali livelli stratigrafici ed attribuirvi le proprietà geotecniche ottenute dalle prove penetrometriche. Di seguito si riportano le due sezioni litostratigrafiche interpretative, ricostruite congiungendo le verticali delle prove penetrometriche realizzate rispettivamente nella zona di valle ed in quella di monte.

Nella zona di valle (Figura 26) al di sotto di un primo livello di terreno vegetale, si osserva la presenza di materiale di origine alluvionale a granulometria variabile. Nel dettaglio, nella zona più lontana dal Torrente Parmignola (prova DIN 1), si osserva la presenza di un orizzonte sabbioso/ghiaioso in matrice limo-argillosa di spessore di circa un metro che va a scomparire spostandosi verso Ovest; al di sotto di questo orizzonte è presente un livello costituito da depositi a maggiore componente fine, il cui limite inferiore decresce spostandosi verso Ovest (da 4,00 metri nella prova DIN 1 a 1,50 metri nella prova DIN 2). La spessore indagato prosegue con depositi a grana grossa (ghiaie e sabbie in matrice limo-argillosa).

Nella zona di monte del compluvio (Figura 27) è stata invece rilevata la presenza di livelli caratterizzabili come detrito di versante e/o alterazione del substrato litoide posti al sotto di un primo livello superficiale di materiale eluvio-colluviale a prevalente granulometria fine. Al di sotto del primo orizzonte eluvio-colluviale si osserva un'alternanza di livelli a granulometria grossolana e limoso-argillosa.

Le prove penetrometriche nell'area di monte hanno interessato solo il primo sismo-strato individuato mediante tomografia sismica (Vp = 150÷900 m/sec), correlabile con riporto e depositi da poco a mediamente addensati/compatti.

FIGURA 26. SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA INTERPRETATIVA ZONA DI VALLE

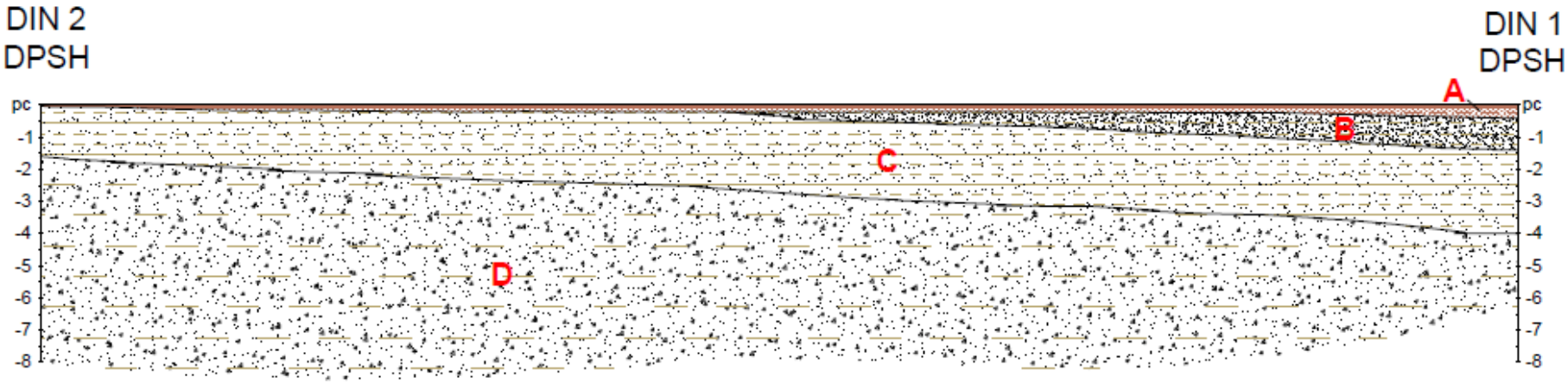
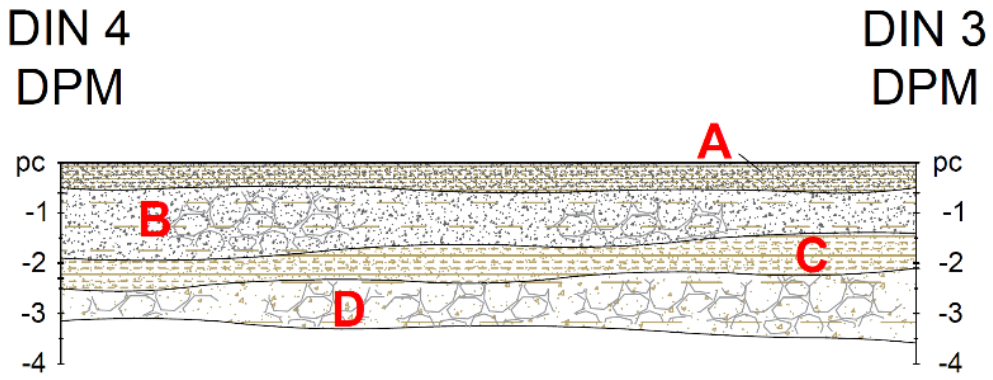


FIGURA 27. SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA INTERPRETATIVA ZONA DI MONTE



Di seguito si riportano le tabelle riassuntive del modello geologico semplificato ricostruito per la zona di valle (Tabella 1) e la zona di monte (Tabella 2). Nelle tabelle viene riportata anche la caratterizzazione geotecnica relativa ai parametri geotecnici caratteristici del modello geologico semplificato ricostruito per le due zone.

TABELLA 1. MODELLO GEOLOGICO E PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI ZONA DI VALLE

Livello	Descrizione litologica	Cu kg/cm²	ϒsat t/m³	Φ °	Mo kg/cm²
A	Terreno vegetale a litologia prevalente argilloso-limosa	---	---	---	---
B	Materiale alluvionale a prevalente granulometria sabbiosa con ghiaia, in matrice limo-argillosa	0,85	1,95	31	120
C	Materiale alluvionale a prevalente granulometria limo-argillosa debolmente sabbiosa	0,38	1,85	28	50
D	Materiale alluvionale a prevalente granulometria ghiaioso-sabbiosa debolmente addensato, in matrice limo-argillosa	---	2,00	34	200

* individuato solo nella prova DIN1

TABELLA 2. MODELLO GEOLOGICO E PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI ZONA DI MONTE

Livello	Descrizione litologica	Cu kg/cm²	ϒsat t/m³	Φ °	Mo kg/cm²
A	Materiale eluvio colluviale a granulometria prevalente limo-argillosa	0,13	1,75	26	30
B	Detrito di versante prevalentemente grossolano in matrice limo-argillosa	1,30	2,00	33	80
C	Detrito di versante prevalentemente limo-argilloso	0,55	1,90	29	45
D	Detrito di versante mediamente addensato prevalentemente grossolano in matrice limo-argillosa	1,30	2,00	33	80

Per quanto riguarda la zona di monte, si osserva la presenza di materiali a prevalente componente argillosa in corrispondenza dei livelli indicati con lettera A e lettera C. In occasione di eventi meteorici di particolare intensità e durata, questi orizzonti possono costituire le superfici di scivolamento preferenziale, in seguito ad una drastica riduzione delle proprietà geomeccaniche dei terreni conseguente alla loro saturazione.

6.6 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E TOPOGRAFICA

In base alle velocità medie delle onde Vs nei primi 30 metri di sottosuolo dei due allineamenti MASW i terreni in esame appartengono alle seguenti categorie di sottosuolo:

- Line MASW 1, realizzata in corrispondenza delle Alluvioni Terrazzate: ***categoria C*** *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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"*
- Line MASW 2, realizzata in corrispondenza delle Arenarie del Monte Gottero nella zona di monte del compluvio: ***categoria B*** *"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s."*

Secondo la classificazione delle N.T.C. 2018, alle zone indagate vengono assegnate le seguenti categorie topografiche:

- "T1" per l'area di fondovalle, trattandosi di una zona sub-pianeggiante;
- "T2" per il versante in corrispondenza del quale è presente il compluvio.

7 MODELLAZIONE SISMICA

Il sito in oggetto ricade come detto nella categoria sismica di classe 3.

La determinazione della pericolosità sismica di base di un sito risulta fondamentale al fine di ottenere i valori caratteristici delle azioni sismiche di progetto, utili per determinare la risposta sismica locale.

7.1 PARAMETRI SISMICI DI BASE

Definite le caratteristiche dell'intervento e la categoria del sottosuolo, i valori dei parametri sismici vengono definiti a partire dalle coordinate dell'area in questione e interpolando con il metodo della media pesata, rispetto ai quattro nodi del reticolo di riferimento più vicini.

Caratterizzando la vita nominale Vn della costruzione, la classe d'uso e il relativo coefficiente Cu, è possibile ottenere la seguente relazione:

$$Vr=Vn*Cu$$

dove Vr:=periodo di riferimento dell'opera

Nel presente caso si considerano le seguenti caratteristiche dell'intervento:

- Vita nominale Vn 50 anni
- Classe d'uso II
- Coefficiente Cu 1
- Periodo di riferimento dell'azione sismica 50

Dopo aver inserito le coordinate geografiche delle due zone di intervento caratterizzate è possibile ottenere i parametri sismici di base, associati ai diversi periodi di ritorno Tr per il periodo di riferimento Vr, riguardante ciascuno stato limite SL.

TABELLA 3. PARAMETRI SISMICI DI BASE - ZONA DI VALLE

Sito in esame		**Siti di riferimento**				
latitudine:	44,07794385	Sito 1	ID: 18487	Lat: 44,0836	Lon: 10,0103	Distanza: 2280,993
longitudine:	10,03404551	Sito 2	ID: 18488	Lat: 44,0856	Lon: 10,0798	Distanza: 3365,034
Classe:	2	Sito 3	ID: 18710	Lat: 44,0356	Lon: 10,0826	Distanza: 6063,974
Vita nominale:	50	Sito 4	ID: 18709	Lat: 44,0336	Lon: 10,0132	Distanza: 5536,977

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	50anni
Coefficiente cu:	1

Parametri sismici			**Coefficienti Sismici**	
Operatività (SLO):			SLO:	
Probabilità di superamento:	81	%	Ss:	1,5
Tr:	30	[anni]	Cc:	1,7
ag:	0,045 g		St:	1
Fo:	2,494		Kh:	0,013
Tc*:	0,232	[s]	Kv:	0,007
			Amax:	0,656
			Beta:	0,2
Danno (SLD):			SLD:	
Probabilità di superamento:	63	%	Ss:	1,5
Tr:	50	[anni]	Cc:	1,66
ag:	0,056 g		St:	1
Fo:	2,509		Kh:	0,017
Tc*:	0,25	[s]	Kv:	0,008
			Amax:	0,818
			Beta:	0,2
Salvaguardia della vita (SLV):			SLV:	
Probabilità di superamento:	10	%	Ss:	1,5
Tr:	475	[anni]	Cc:	1,58
ag:	0,135 g		St:	1
Fo:	2,418		Kh:	0,049
Tc*:	0,292	[s]	Kv:	0,024
			Amax:	1,991
			Beta:	0,24
Prevenzione dal collasso (SLC):			SLC:	
Probabilità di superamento:	5	%	Ss:	1,45
Tr:	975	[anni]	Cc:	1,56
ag:	0,175 g		St:	1
Fo:	2,372		Kh:	0,061
Tc*:	0,299	[s]	Kv:	0,03
			Amax:	2,488
			Beta:	0,24

TABELLA 4. PARAMETRI SISMICI DI BASE - ZONA DI MONTE

Sito in esame		**Siti di riferimento**				
latitudine:	44,079967	Sito 1	ID: 18487	Lat: 44,0836	Lon: 10,0103	Distanza: 2280,993
longitudine:	10,038415	Sito 2	ID: 18488	Lat: 44,0856	Lon: 10,0798	Distanza: 3365,034
Classe:	2	Sito 3	ID: 18710	Lat: 44,0356	Lon: 10,0826	Distanza: 6063,974
Vita nominale:	50	Sito 4	ID: 18709	Lat: 44,0336	Lon: 10,0132	Distanza: 5536,977

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2
Periodo di riferimento:	50anni
Coefficiente cu:	1

Parametri sismici			**Coefficienti Sismici**		
Operatività (SLO):			SLO:		
Probabilità di superamento:	81	%		Ss:	1,2
Tr:	30	[anni]		Cc:	1,47
ag:	0,045 g			St:	1,2
Fo:	2,494			Kh:	0,013
Tc*:	0,232	[s]		Kv:	0,006
				Amax:	0,63
				Beta:	0,2
Danno (SLD):			SLD:		
Probabilità di superamento:	63	%		Ss:	1,2
Tr:	50	[anni]		Cc:	1,45
ag:	0,056 g			St:	1,2
Fo:	2,509			Kh:	0,016
Tc*:	0,25	[s]		Kv:	0,008
				Amax:	0,785
				Beta:	0,2
Salvaguardia della vita (SLV):			SLV:		
Probabilità di superamento:	10	%		Ss:	1,2
Tr:	475	[anni]		Cc:	1,41
ag:	0,135 g			St:	1,2
Fo:	2,418			Kh:	0,047
Tc*:	0,292	[s]		Kv:	0,023
				Amax:	1,911
				Beta:	0,24
Prevenzione dal collasso (SLC):			SLC:		
Probabilità di superamento:	5	%		Ss:	1,2
Tr:	975	[anni]		Cc:	1,4
ag:	0,175 g			St:	1,2
Fo:	2,372			Kh:	0,06
Tc*:	0,299	[s]		Kv:	0,03
				Amax:	2,471
				Beta:	0,24

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione geologica è stata redatta su incarico del Comune di Luni per la definizione del modello geologico, secondo il D.M. 17/01/2018 dell'area presso la quale è previsto l'intervento di sistemazione definitiva del compluvio in località Serravalletta.

La documentazione relativa al sito in esame e le verifiche effettuate direttamente sul sito, hanno permesso di identificare le problematiche di natura geologica e di precisare i livelli di pericolosità del sito in oggetto.

Durante il sopralluogo svolto nella porzione di versante sottoposto a sfalcio – zona di monte del compluvio – si è potuta osservare l'esistenza di vecchi terrazzamenti caratterizzati dalla presenza di segni di erosione per azione delle acque meteoriche, nonché la presenza di una canalizzazione antropica in terra parzialmente ostruita dalla vegetazione e da materiale detritico.

La ricostruzione del modello geologico è stata differenziata per l'area di valle pianeggiante, ove sono presenti depositi alluvionali terrazzati, e per la zona di monte, in corrispondenza della porzione sommitale del compluvio, ove sono presenti materiali detritici delle Arenarie del Monte Gottero.

Il modello geologico della zona di valle ha mostrato la presenza, al di sotto di un primo livello di terreno vegetale, di materiale di origine alluvionale a granulometria variabile.

Il modello geologico della zona di monte del compluvio ha individuato la presenza di livelli caratterizzabili come detrito di versante e/o alterazione del substrato litoide (alternanza di livelli a granulometria grossolana e di livelli a maggior componente limoso-argillosa), posti al sotto di un primo livello superficiale di materiale eluvio-colluviale a prevalente granulometria fine. Gli orizzonti dove è maggiore la componente fine, in occasione di eventi meteorici di particolare intensità e durata, potrebbero costituire delle superfici di scivolamento preferenziale, in seguito ad una possibile drastica riduzione delle proprietà geomeccaniche conseguente alla loro saturazione.

Sono state inoltre individuate le seguenti categorie di sottosuolo:

- Categoria C in corrispondenza delle Alluvioni Terrazzate di valle;
- Categoria B in corrispondenza delle Arenarie del Monte Gottero nella zona di monte del compluvio.

Per la descrizione approfondita del modello geologico e per la consultazione delle singole prove effettuate si rimanda ai singoli capitoli-paragrafi ed agli allegati alla presente relazione.

dott. geol. Marina Cattaneo





COMUNE DI LUNI

Provincia della Spezia

Servizio 3 – Urbanistica e grandi opere

RELAZIONE GEOLOGICA
Progetto di sistemazione definitiva compluvio in Loc. Serravalletta

ALLEGATO 1

Prove penetrometriche dinamiche DPSH, prove penetrometriche dinamiche DPM

RELAZIONE TECNICA

Committente: Comune di Luni

Località: Serravalletta
Luni (SP)

Data Indagine: 13/10/2020

Codice lavoro: 201013a

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPM

Dott. Jacopo Martini

GAIA Servizi S.n.c.

Via Lenin, 132/Q

56017 San Giuliano Terme (PI)

Tel/Fax: 050 9910582

e-mail: info@gaiaservizi.com

P.IVA: 01667250508

Data elaborazione: 14/10/2020

GAIA Servizi S.n.c.
di Massimiliano Vannozzi & C.
Via Lenin 132 - 56017 S. Giuliano T. (PI)
P. IVA 01667250508 N. REA PI - 145167

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura 1: Prova penetrometrica DIN 1 (DPSH)



Figura 2: Prova penetrometrica DIN 2 (DPSH)



Figura 3: Prova penetrometrica DIN 3 (DPM)



Figura 4: Prova penetrometrica DIN 4 (DPM)

LEGENDA SPECIFICHE TECNICHE
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

DIVERSE TIPOLOGIE DI PENETROMETRI DINAMICI

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

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti :

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

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

DIVERSE TIPOLOGIE DI PENETROMETRI DINAMICI Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici

Tipo	Sigla di riferimento	massa battente	prof.max indagine
Leggero	DPL (Light)	M ÷ 10	8 m
Medio	DPM (Medium)	10 < M < 40	20-25 m
Pesante	DPH (Heavy)	40 < M < 60	25 m
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	M > 60	> 25 m

Per la visione delle caratteritiche tecniche dei penetrometri, si rimanda alla sezione EDITOR PENETROMETRI.

I PENETROMETRI dinamici in uso in Italia risultano essere i seguenti (non rientranti però nello Standard ISSMFE) :

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

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

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

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

LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI
SPECIFICHE TECNICHE

VALUTAZIONI STATISTICHE - CORRELAZIONI N / Nspt

Il sottosuolo indagato viene suddiviso in strati .

Previa definizione della profondità di ciascuno strato , il programma effettua (con riferimento al numero di colpi N) una serie di elaborazioni statistiche dei dati in memoria, valutando :

valore minimo m , massimo Max , media M, scarto quadratico medio s, valore medio/minimo (M+m)½ media-scarto quadratico medio (M-s)

Ciò considerato , si potrà adottare il valore caratteristico VCA per N più adatto , a seconda delle esigenze, impostandoo uno dei valori elaborati sopracitati o un valore a scelta.

Successivamente , con riferimento al valore caratteristico assunto per il numero di colpi N , si potrà avviare un tentativo di correlazione con il numero di colpi Nspt della prova SPT : Nspt = N β [ove per il coefficiente β si potrà introdurre un valore sperimentale a piacere (vedi note illustrative), ovvero il coefficiente teorico di energia βt fornito dal programma] .

VALUTAZIONE RESISTENZA DINAMICA E COEFFICIENTE DI ENERGIA

La resistenza alla punta dinamica Rpd viene comunemente valutata in base alla formula Olandese :

Rpd = (M² H) / [A e (M + P)] ove :

N = n. colpi per avanzamento δ Rpd = resist.dinam.punta [area A] M = massa battente [altezza caduta H]

e = avanzamento per colpo = δ/N P = peso tot. sistema battuta e aste ,

ovvero in base alla formula semplificata :

Rpd '= (M H) / (A e) = (M H) N / (A δ) = Q N ,

ove : Q = (M H) / (A δ) = energia specifica teorica per colpo .

Ciò considerato, volendo riferire la prova in esame (N,Q) alla prova SPT (Nspt,Qspt),

dall 'uguaglianza dei valori di resistenza dinamica relativi alle due prove, si ricava teoricamente :

Rpd '= Q N = Qspt Nspt => Nspt = N [Q/Qspt] = β N ,

ove il rapporto β t = Q/Qspt viene definito coefficiente teorico di energia della prova in esame ,

relativamente alla prova SPT (Qspt = 7.83 kg/cm² = 0.768 MPa) per M = 63.5 kg, H = 0.75 m, D = 50.8 mm, A = 20.27 cm², d = 0.30 m) .

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al valore del numero dei colpi SPT equivalente prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

Nspt -> Dr DENSITA' RELATIVA (Terreni granulari) - TERZAGHI & PECK (1948-1967)

Nspt -> ø' ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE (Terreni granulari) - PECK-HANSON-THORBURN (1953-1974)

Nspt -> E' MODULO DI DEFORMAZIONE DRENATO (Terreni granulari) - D'APPOLONIA e altri (1970)

Nspt -> Cu COESIONE NON DRENATA (Terreni coesivi) - TERZAGHI & PECK (1948-1967)

Nspt -> Y PESO DI VOLUME

TERRENI GRANULARI (Terzaghi-Peck 1948/1967) [e.max = 1 e.min = 1/3 G = 2.65]

TERRENI COESIVI (Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967) [p.specifico G = 2.70]

Rpd -> Qd CAPACITA' PORTANTE DINAMICA Herminier, Tcheng & Lebegue(1965)

F.L. = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)

(g = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (Amax/g)]

Vs = velocità di propagazione delle onde sismiche (Yoshida Motonori 1988)

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
LETTURE DI CAMPAGNA PUNTA E/O TOTALE

DIN	1
riferimento	201013a
certificato n°	444/20

Committente:	**Comune di Luni**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	13/10/2020
Cantiere:	**201013a**			Data certificato:	14/10/2020
Località:	**Serravalletta - Luni (SP)**	Pagina:	1		
		Elaborato:		Falda:	Assente

H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd kg/cm²
0,20	1	3		31,52
0,40	1	1		10,51
0,60	1	5		48,22
0,80	2	8		77,15
1,00	2	11		106,08
1,20	2	15		144,65
1,40	2	7		67,50
1,60	3	4		35,64
1,80	3	4		35,64
2,00	3	3		26,73
2,20	3	3		26,73
2,40	3	2		17,82
2,60	4	3		24,85
2,80	4	5		41,41
3,00	4	2		16,56
3,20	4	5		41,41
3,40	4	8		66,25
3,60	5	4		30,94
3,80	5	4		30,94
4,00	5	4		30,94
4,20	5	16		123,77
4,40	5	24		185,65
4,60	6	32		232,22
4,80	6	7		50,80
5,00	6	25		181,42
5,20	6	19		137,88
5,40	6	16		116,11
5,60	7	26		177,69
5,80	7	38		259,70
6,00	7	100		683,41

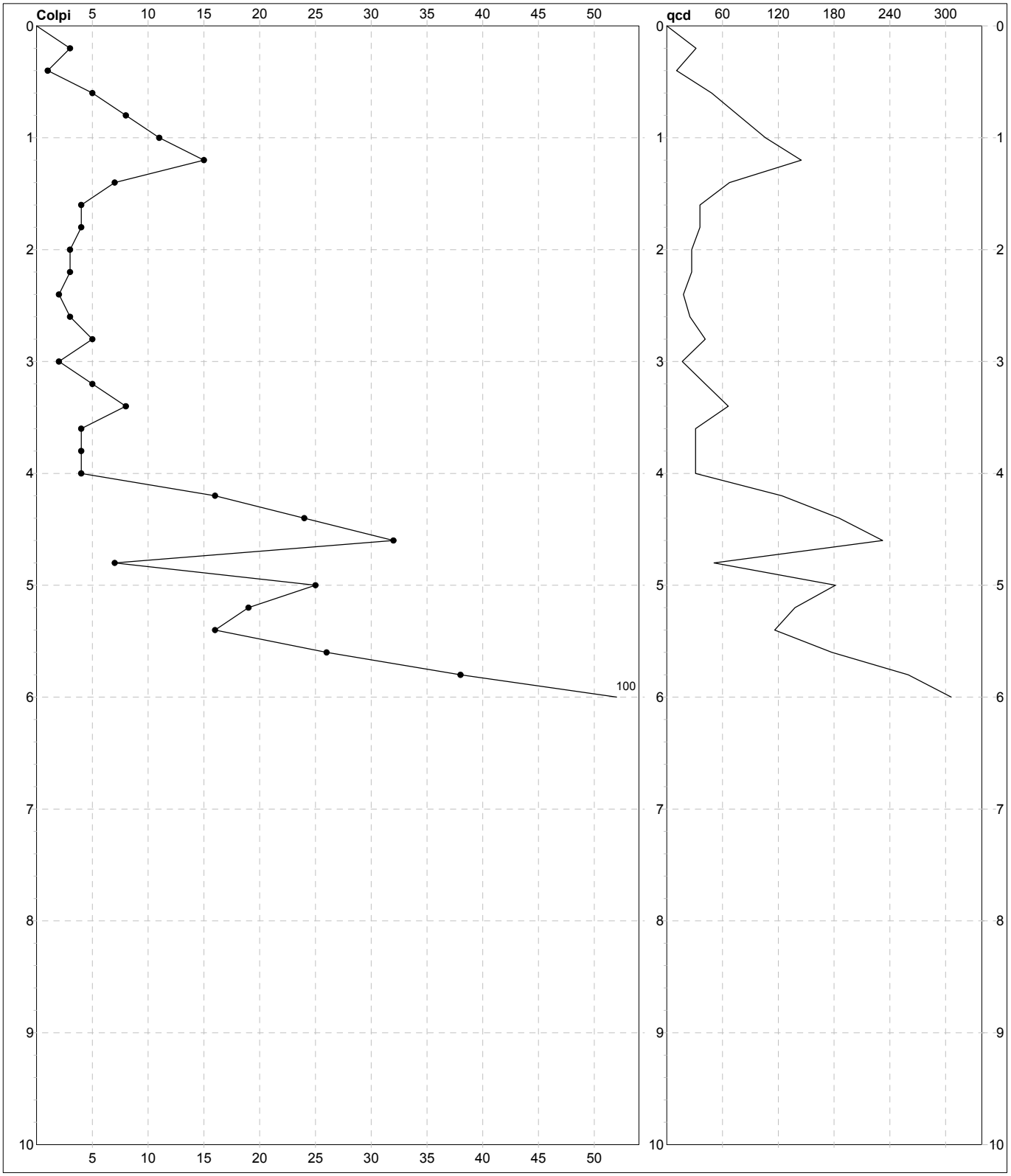
H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd kg/cm²

H = profondità
L1 = prima lettura (colpi punta)
L2 = seconda lettura (colpi rivestimento)
qcd = resistenza dinamica punta
Asta = numero di asta impiegata

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA

DIN	1
riferimento	201013a
certificato n°	444/20

Committente:	**Comune di Luni**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	13/10/2020
Cantiere:	**201013a**	Scala:	1:50	Data certificato:	14/10/2020
Località:	**Serravalletta - Luni (SP)**	Pagina:	1		
		Elaborato:		Falda:	Assente



Penetrometro:	DPSH (S. Heavy)	Responsabile:	Geol. Jacopo Martini	Preforo:	m
Massa battente:	63,50 m	Assistente:		Corr.astine:	kg/ml
Altezza caduta:	0,75 m			Cod.ISTAT:	0
Avanzamento:	0,20 m				

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820 FON059

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
SUDDIVISIONE GEOTECNICA

DIN	1
riferimento	201013a
certificato n°	444/20

Committente:	**Comune di Luni**	U.M.: **kg/cm²**	Data esec.: 13/10/2020
Cantiere:	**201013a**		Data certificato: 14/10/2020
Località:	**Serravalletta - Luni (SP)**	Pagina: 1	
		Elaborato:	Falda: Assente

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rpd kg/cm²	qc kg/cm²	Vs m/sec	G kg/cm²	Q kg/cm²	natura	descrizione
1	0,00 : 0,40	Media	2	1,49	3	21,02	18,91	66	29	1,05	Coes./Gran.	
2	0,40 : 1,40	Media	9	1,49	14	88,72	79,85	115	99	4,44	Coes./Gran.	
3	1,40 : 4,00	Media	4	1,49	6	32,76	29,24	123	50	1,64	Coes./Gran.	
4	4,00 : 5,80	Media	23	1,49	34	162,80	147,32	204	202	8,14	Coes./Gran.	
5	5,80 : 6,00	Media	100	1,49	149	683,41	615,07	273	657	34,17	Coes./Gran.	

NATURA COESIVA

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm²	Ysat t/m³	W %	e -	Mo kg/cm²
1	0,00 : 0,40	3	0,19	1,78	44,21	1,19	28
2	0,40 : 1,40	14	0,88	1,95	29,45	0,80	57
3	1,40 : 4,00	6	0,38	1,85	37,04	1,00	36
4	4,00 : 5,80	34	2,13	2,10	20,20	0,55	98
5	5,80 : 6,00	149	9,31	2,10	20,20	0,55	331

NATURA GRANULARE

n°	Dr %	ø °	E' kg/cm²	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo kg/cm²	Liq. -
1	11	27	214	1,86	1,38	105	- - -
2	41	31	299	1,96	1,53	230	- - -
3	22	28	238	1,89	1,43	139	- - -
4	69	37	453	2,07	1,72	411	- - -
5	100	45	1340	2,24	1,99	1392	- - -

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
LETTURE DI CAMPAGNA PUNTA E/O TOTALE

DIN	2
riferimento	201013a
certificato n°	445/20

Committente:	**Comune di Luni**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	13/10/2020
Cantiere:	**201013a**			Data certificato:	14/10/2020
Località:	**Serravalletta - Luni (SP)**	Pagina:	1		
		Elaborato:		Falda:	Assente

H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd kg/cm²
0,20	1	3		31,52
0,40	1	3		31,52
0,60	1	8		77,15
0,80	2	2		19,29
1,00	2	3		28,93
1,20	2	3		28,93
1,40	2	5		48,22
1,60	3	4		35,64
1,80	3	15		133,66
2,00	3	13		115,84
2,20	3	18		160,40
2,40	3	19		169,31
2,60	4	26		215,32
2,80	4	22		182,20
3,00	4	13		107,66
3,20	4	19		157,35
3,40	4	17		140,79
3,60	5	13		100,56
3,80	5	10		77,36
4,00	5	13		100,56
4,20	5	15		116,03
4,40	5	14		108,30
4,60	6	11		79,83
4,80	6	8		58,06
5,00	6	17		123,37
5,20	6	28		203,19
5,40	6	20		145,14
5,60	7	17		116,18
5,80	7	15		102,51
6,00	7	14		95,68
6,20	7	14		95,68
6,40	7	8		54,67
6,60	8	14		90,41
6,80	8	28		180,82
7,00	8	16		103,33
7,20	8	15		96,87
7,40	8	18		116,24
7,60	9	19		116,30
7,80	9	14		85,69
8,00	9	14		85,69

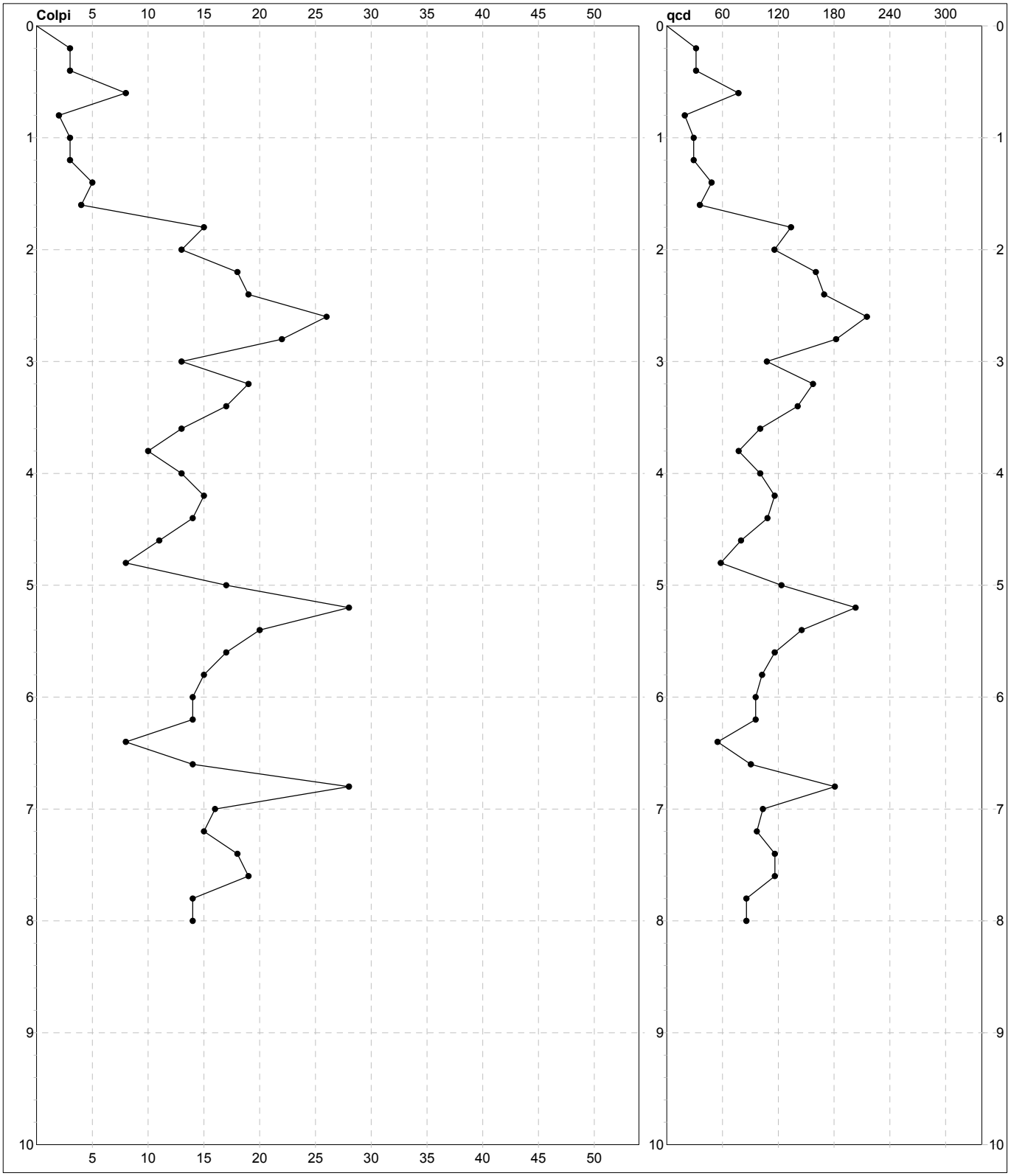
H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd kg/cm²

H = profondità
L1 = prima lettura (colpi punta)
L2 = seconda lettura (colpi rivestimento)
qcd = resistenza dinamica punta
Asta = numero di asta impiegata

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA

DIN	2
riferimento	201013a
certificato n°	445/20

Committente:	**Comune di Luni**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	13/10/2020
Cantiere:	**201013a**	Scala:	1:50	Data certificato:	14/10/2020
Località:	**Serravalletta - Luni (SP)**	Pagina:	1		
		Elaborato:		Falda:	Assente



Penetrometro:	DPSH (S. Heavy)	Responsabile:	Geol. Jacopo Martini	Preforo:	m
Massa battente:	63,50 m	Assistente:		Corr.astine:	kg/ml
Altezza caduta:	0,75 m			Cod.ISTAT:	0
Avanzamento:	0,20 m				

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820 FON059

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
SUDDIVISIONE GEOTECNICA

DIN	2
riferimento	201013a
certificato n°	445/20

Committente:	**Comune di Luni**	U.M.: **kg/cm²**	Data esec.: 13/10/2020
Cantiere:	**201013a**		Data certificato: 14/10/2020
Località:	**Serravalletta - Luni (SP)**	Pagina: 1	
		Elaborato:	Falda: Assente

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rpd kg/cm²	qc kg/cm²	Vs m/sec	G kg/cm²	Q kg/cm²	natura	descrizione
1	0,00 : 1,60	Media	4	1,49	6	37,65	33,63	97	50	1,88	Coes./Gran.	
2	1,60 : 8,00	Media	16	1,49	24	119,84	105,52	175	153	5,99	Coes./Gran.	

NATURA COESIVA

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm²	Ysat t/m³	W %	e -	Mo kg/cm²
1	0,00 : 1,60	6	0,38	1,85	37,04	1,00	36
2	1,60 : 8,00	24	1,50	2,07	21,91	0,59	77

NATURA GRANULARE

n°	profondità m	Dr %	ø °	E' kg/cm²	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo kg/cm²	Liq. -
1	0,00 : 1,60	22	28	238	1,89	1,43	139	- - -
2	1,60 : 8,00	56	34	376	2,01	1,63	326	- - -

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
LETTURE DI CAMPAGNA PUNTA E/O TOTALE

DIN	3
riferimento	201013a
certificato n°	446/20

Committente:	**Comune di Luni**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	13/10/2020
Cantiere:	**201013a**			Data certificato:	14/10/2020
Località:	**Serravalletta - Luni (SP)**	Pagina:	1		
		Elaborato:		Falda:	Assente

H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd kg/cm²
0,10	1	2		8,02
0,20	1	1		4,01
0,30	1	2		8,02
0,40	1	1		4,01
0,50	1	3		12,03
0,60	2	4		16,04
0,70	2	18		72,16
0,80	2	37		148,33
0,90	2	32		120,50
1,00	2	35		131,80
1,10	2	37		139,33
1,20	2	38		143,10
1,30	2	28		105,44
1,40	2	22		82,85
1,50	3	10		37,66
1,60	3	6		22,59
1,70	3	7		26,36
1,80	3	17		64,02
1,90	3	16		56,80
2,00	3	16		56,80
2,10	3	10		35,50
2,20	3	24		85,21
2,30	3	28		99,41
2,40	3	28		99,41
2,50	3	26		92,31
2,60	4	40		142,01
2,70	4	25		88,76
2,80	4	28		99,41
2,90	4	23		77,24
3,00	4	27		90,67
3,10	4	23		77,24
3,20	4	16		53,73
3,30	4	17		57,09
3,40	4	32		107,46
3,50	5	48		161,19
3,60	5	100		335,82

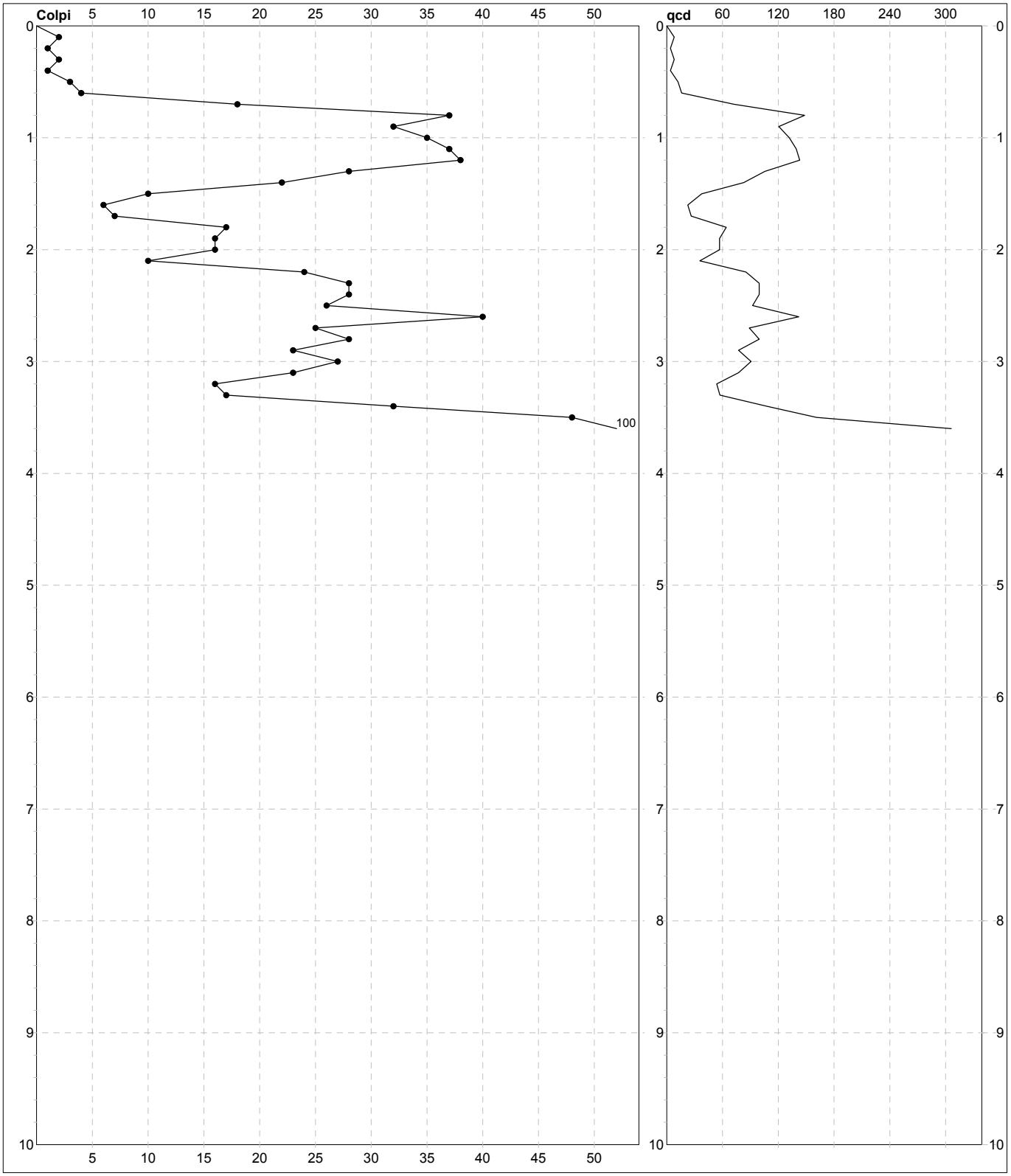
H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd kg/cm²

H = profondità
L1 = prima lettura (colpi punta)
L2 = seconda lettura (colpi rivestimento)
qcd = resistenza dinamica punta
Asta = numero di asta impiegata

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA

DIN	3
riferimento	201013a
certificato n°	446/20

Committente:	**Comune di Luni**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	13/10/2020
Cantiere:	**201013a**	Scala:	1:50	Data certificato:	14/10/2020
Località:	**Serravalletta - Luni (SP)**	Pagina:	1		
		Elaborato:		Falda:	Assente



Penetrometro:	DPM (30kg)	Responsabile:	Geol. Jacopo Martini	Preforo:	m
Massa battente:	30,00 m	Assistente:		Corr.astine:	kg/ml
Altezza caduta:	0,20 m			Cod.ISTAT:	0
Avanzamento:	0,10 m				

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820 FON059

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
SUDDIVISIONE GEOTECNICA

DIN	3
riferimento	201013a
certificato n°	446/20

Committente:	**Comune di Luni**	U.M.: **kg/cm²**	Data esec.: 13/10/2020
Cantiere:	**201013a**		Data certificato: 14/10/2020
Località:	**Serravalletta - Luni (SP)**	Pagina: 1	
		Elaborato:	Falda: Assente

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rpd kg/cm²	qc kg/cm²	Vs m/sec	G kg/cm²	Q kg/cm²	natura	descrizione
1	0,00 : 0,60	Media	2	0,77	2	8,69	7,82	67	21	0,43	Coes./Gran.	
2	0,60 : 1,40	Media	31	0,77	24	117,94	104,64	129	153	5,90	Coes./Gran.	
3	1,40 : 2,10	Media	12	0,77	9	42,82	39,70	121	70	2,14	Coes./Gran.	
4	2,10 : 3,10	Media	27	0,77	21	95,17	86,91	152	137	4,76	Coes./Gran.	
5	3,10 : 3,30	Media	17	0,77	13	55,41	49,87	145	93	2,77	Coes./Gran.	
6	3,30 : 3,50	Media	40	0,77	31	134,33	120,90	187	187	6,72	Coes./Gran.	
7	3,50 : 3,60	Media	100	0,77	77	335,82	302,24	220	388	16,79	Coes./Gran.	

NATURA COESIVA / NATURA GRANULARE

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm²	Ysat t/m³	W %	e -	Mo kg/cm²	Dr %	ø °	E' kg/cm²	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo kg/cm²	Liq. -
1	0,00 : 0,60	2	0,13	1,75	46,91	1,27	25	8	27	207	1,85	1,36	93	- - -
2	0,60 : 1,40	24	1,50	2,07	21,91	0,59	77	56	34	376	2,01	1,63	326	- - -
3	1,40 : 2,10	9	0,56	1,89	34,00	0,92	44	32	30	261	1,92	1,48	173	- - -
4	2,10 : 3,10	21	1,31	2,03	23,98	0,65	71	52	33	353	2,00	1,60	301	- - -
5	3,10 : 3,30	13	0,81	1,93	30,31	0,82	55	40	31	291	1,95	1,53	218	- - -
6	3,30 : 3,50	31	1,94	2,10	20,20	0,55	92	66	36	430	2,06	1,70	386	- - -
7	3,50 : 3,60	77	4,81	2,10	20,20	0,55	185	95	44	785	2,21	1,94	778	- - -

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
LETTURE DI CAMPAGNA PUNTA E/O TOTALE

DIN	4
riferimento	201013a
certificato n°	447/20

Committente:	**Comune di Luni**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	13/10/2020
Cantiere:	**201013a**			Data certificato:	14/10/2020
Località:	**Serravalletta - Luni (SP)**	Pagina:	1		
		Elaborato:		Falda:	Assente

H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd kg/cm²
0,10	1	1		4,01
0,20	1	2		8,02
0,30	1	4		16,04
0,40	1	4		16,04
0,50	1	5		20,04
0,60	2	4		16,04
0,70	2	11		44,10
0,80	2	25		100,22
0,90	2	30		112,97
1,00	2	30		112,97
1,10	2	24		90,38
1,20	2	25		94,14
1,30	2	32		120,50
1,40	2	33		124,27
1,50	3	35		131,80
1,60	3	37		139,33
1,70	3	36		135,56
1,80	3	34		128,03
1,90	3	22		78,11
2,00	3	14		49,70
2,10	3	13		46,15
2,20	3	17		60,36
2,30	3	14		49,70
2,40	3	100		355,03

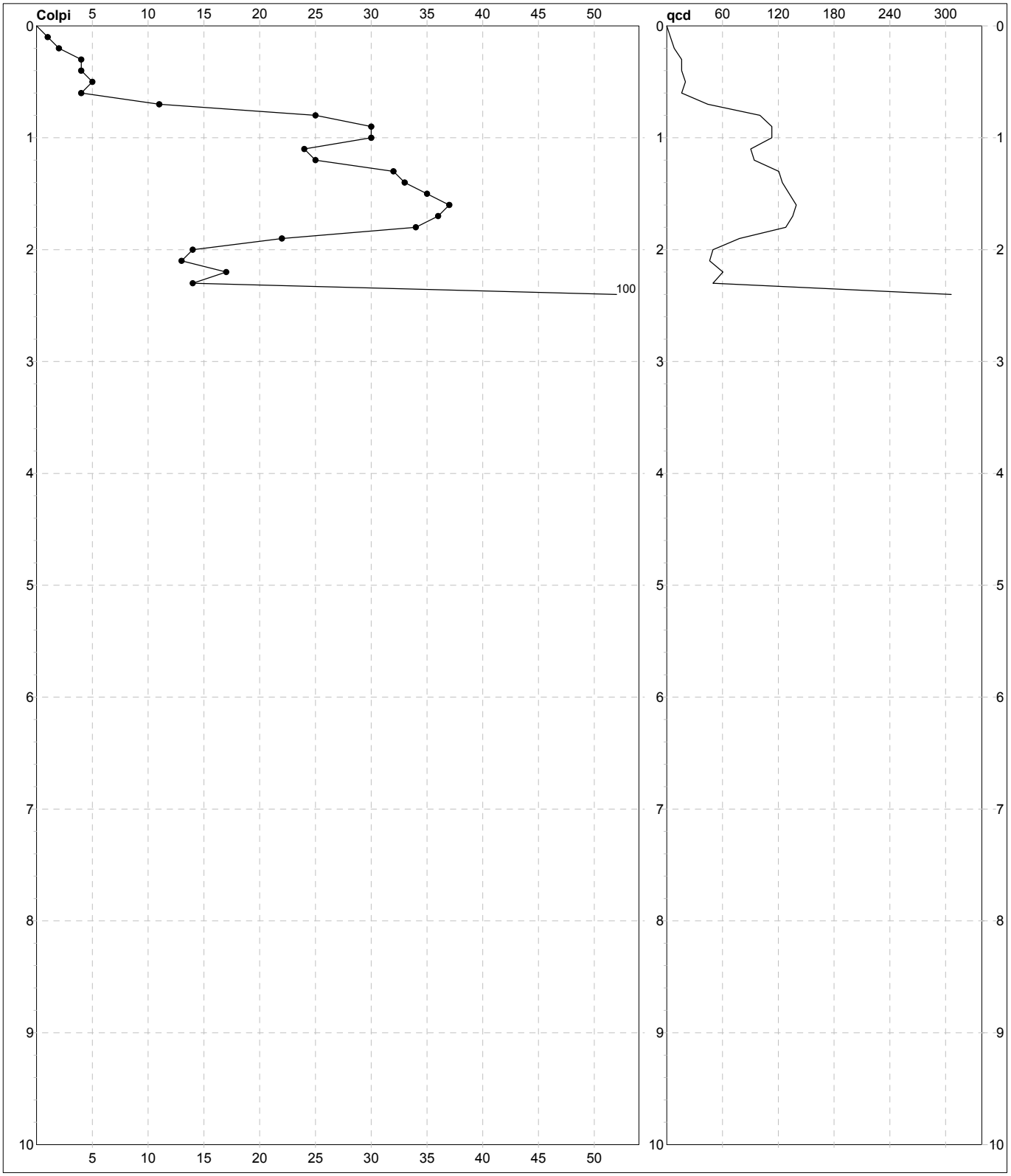
H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd kg/cm²

H = profondità
L1 = prima lettura (colpi punta)
L2 = seconda lettura (colpi rivestimento)
qcd = resistenza dinamica punta
Asta = numero di asta impiegata

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA

DIN	4
riferimento	201013a
certificato n°	447/20

Committente:	**Comune di Luni**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	13/10/2020
Cantiere:	**201013a**	Scala:	1:50	Data certificato:	14/10/2020
Località:	**Serravalletta - Luni (SP)**	Pagina:	1		
		Elaborato:		Falda:	Assente



Penetrometro:	DPM (30kg)	Responsabile:	Geol. Jacopo Martini	Preforo:	m
Massa battente:	30,00 m	Assistente:		Corr.astine:	kg/ml
Altezza caduta:	0,20 m			Cod.ISTAT:	0
Avanzamento:	0,10 m				

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820 FON059

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
SUDDIVISIONE GEOTECNICA

DIN	4
riferimento	201013a
certificato n°	447/20

Committente:	**Comune di Luni**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	13/10/2020
Cantiere:	**201013a**			Data certificato:	14/10/2020
Località:	**Serravalletta - Luni (MS)**	Pagina:	1		
		Elaborato:		Falda:	Assente

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rpd kg/cm²	qc kg/cm²	Vs m/sec	G kg/cm²	Q kg/cm²	natura	descrizione
1	0,00 : 0,60	Media	3	0,77	3	13,37	12,03	71	29	0,67	Coes./Gran.	
2	0,60 : 1,90	Media	29	0,77	22	108,64	97,50	133	142	5,43	Coes./Gran.	
3	1,90 : 2,30	Media	15	0,77	11	51,48	46,33	130	82	2,57	Coes./Gran.	
4	2,30 : 2,40	Media	100	0,77	77	355,03	319,53	204	388	17,75	Coes./Gran.	

NATURA COESIVA

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm²	Ysat t/m³	W %	e -	Mo kg/cm²
1	0,00 : 0,60	3	0,19	1,78	44,21	1,19	28
2	0,60 : 1,90	22	1,38	2,04	23,28	0,63	73
3	1,90 : 2,30	11	0,69	1,91	32,11	0,87	50
4	2,30 : 2,40	77	4,81	2,10	20,20	0,55	185

NATURA GRANULARE

n°	Dr %	ø °	E' kg/cm²	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo kg/cm²	Liq. -
1	11	27	214	1,86	1,38	105	- - -
2	53	34	361	2,00	1,61	309	- - -
3	37	30	276	1,94	1,51	196	- - -
4	95	44	785	2,21	1,94	778	- - -

COMUNE DI LUNI

Provincia della Spezia

Servizio 3 – Urbanistica e grandi opere

RELAZIONE GEOLOGICA
Progetto di sistemazione definitiva compluvio in Loc. Serravalletta

ALLEGATO 2

Indagine sismica a rifrazione in onde P, indagini sismiche MASW, indagini sismiche HVSR

RELAZIONE TECNICA

Comittente: Amm. Com. di Luni

Località: Serravalletta

Data Indagine: 13/10/2020

Codice lavoro: 201013a

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P

INDAGINI SISMICHE MASW

INDAGINI SISMICHE HVSR

Dott. Jacopo Martini

GAIA Servizi S.n.c.

Via Lenin, 132 - 56017 San Giuliano Terme (PI)

Tel./Fax: 050 9910582

e-mail:info@gaiaservizi.com

p. IVA 01667250508

Data elaborazione: 20/10/2020

GAIA Servizi S.n.c.
di Massimiliano Vannozzi & C.
Via Lenin 132 - 56017 S. Giuliano T. (PI)
P. IVA 01667250508 N. REA PI - 145167

Sommario

PREMESSA 3
INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE 4
SISMICA A RIFRAZIONE - GENERALITA' 4
SISTEMA DI ACQUISIZIONE 6
ELABORAZIONE DEI DATI 8
ANALISI DEI RISULTATI DELLA TOMOGRAFIA SISMICA 10
INDAGINI DI SISMICA PASSIVA TIPO HVSR 11
GENERALITA' 11
SISTEMA DI ACQUISIZIONE – INDAGINI EFFETTUATE 14
ELABORAZIONE DEI DATI HVSR 14
INDAGINI MASW 17
GENERALITA' 17
SISTEMA DI ACQUISIZIONE 18
INDAGINI EFFETTUATE 19
ELABORAZIONE DEI DATI MASW 19

Allegati

Sezioni Sismostratigrafiche

PREMESSA

Per incarico della Amm. Com. di Luni, sono state eseguite indagini geofisiche in Località Serravalletta, nel Comune di Luni.

Tali indagini sono finalizzate alla ricostruzione della distribuzione e dell'andamento delle velocità sismiche nel sottosuolo, per determinare le principali caratteristiche sismo-stratigrafiche ed elastiche dei terreni.

Sono state eseguite N°2 indagine sismica a rifrazione a mezzo di onde P con tecnica Tomografica e al fine di caratterizzare il sito in esame dal punto di vista della velocità delle onde di taglio (VS), è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di superficie da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999), sono inoltre state eseguite una serie di misure di microtremori atte ad analizzare il rapporto spettrale H/V (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio - HVSR) utile a definire eventuali risonanze di sito e a meglio vincolare il modello VS specie in profondità.

Le presenti note illustrano la metodologia delle indagini ed i risultati conseguiti.



Figura 1a: Ubicazioni Indagini



Figura 1b: Ubicazioni Indagini

INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE

SISMICA A RIFRAZIONE - GENERALITA'

Le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo. Nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione") o trasversali (onde SH o "di taglio") per determinare spessori e andamento dei livelli presenti.

La prospezione consiste nel generare un'onda sismica di compressione o di taglio nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino agli apparecchi di ricezione (*geofoni*) seguendo le leggi di rifrazione dell'ottica (*Legge di Snell*), cioè rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente.

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di ricevitori (*geofoni*) che vengono spaziati lungo un determinato allineamento (base sismica) e da un cronografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (*dromocrona*) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali (*Vp*) o trasversali (*Vs*) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti; per lo stesso tipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione; aumenta per contro con la profondità e l'età geologica. Sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione.

Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali (ad esempio roccia fortemente fratturata e materiale detritico saturo con velocità Vp dell'ordine di 1400÷1700 m/sec), per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);

- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;

- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");

- aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma può ovviamente ridursi la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati. In presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza sino anche ad 1/3 del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare "attraverso" un terzo intermedio non evidenziabile;

- analogamente, incrementi graduali di velocità con la profondità danno origine a dromocrone che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere più contenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e "cercando" sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

Il metodo della tomografia sismica è una tecnica di indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse.

Per il trattamento dei dati, per la ricostruzione tomografica dell'immagine si utilizza una suddivisione dell'area di studio in celle elementari, calcolando per ciascuna di queste un valore di velocità congruente con il tempo di tragitto medio relativo ai percorsi dei raggi sismici che le attraversano.

Con nuove tecniche di acquisizione e di inversione dati come il *"Delta-t-v-Method"* e soprattutto con l'applicazione dell'algoritmo *WET (Wavepath Eikonal Traveltime Tomography Processing)* è possibile indagare fenomeni come gradienti verticali di velocità all'interno degli strati e quindi valutare inversioni di velocità, sia forti variazioni locali di velocità che consentono di avere informazioni più

precise sull'andamento delle velocità sismiche nel sottosuolo e di conseguenza sulla distribuzione degli orizzonti sismici che vengono delineati.

Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione delle onde sismiche sotto la superficie, basate sui tempi di primo arrivo (come nella normale sismica a rifrazione) e sulla geometria di acquisizione. Si ricostruisce in tal modo un modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive iterazioni: la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

SISTEMA DI ACQUISIZIONE

Sono state effettuate n° 2 prospezioni sismiche a rifrazione a 24 geofoni.

LINE 2 TOMO: 24 geofoni - interasse i = 2 m - lunghezza ml 46 in onde P

LINE 3 TOMO: 12 geofoni - interasse i = 2 m - lunghezza ml 23 in onde P

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sistema composto dalle seguenti parti:

- sismografo
- sorgente energizzante
- trigger
- apparecchiatura di ricezione

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico *Ambrogeo Echo 24/2002* a 16 bit.

Come sorgente energizzante per le onde P è stato utilizzato un grave di circa 10 kg.

Il trigger utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un apparecchio starter (geofono starter, starter a lamelle, piezoelettrico od altro) nell'istante in cui il sistema energizzante (maglio, mazza etc.) colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso della durata di qualche secondo che viene inviato al sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

Per la ricezione delle onde P sono stati utilizzati geofoni verticali Geospace Oyo con frequenza propria di 10 Hz.



Figura 2: Stendimento sismico LINE 1 - MASW



Figura 3: Stendimento sismico LINE 2 - TOMO MASW



Figura 4: Stendimento sismico LINE 3 - TOMO

ELABORAZIONE DEI DATI

L'elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

- determinazione dei tempi di primo arrivo.
- Inversione Delta t-V che permette di ottenere profili monodimensionali (1D) di tipo profondità/velocità.
- Ottimizzazione del profilo, per iterazioni successive, mediante inversione tomografica WET (Wavepath Eikonal Traveltime).
- Controllo del "fitting" tra tempi misurati e tempi calcolati ed eventuale reiterazione del processo di inversione.
- Output grafico della sezione tomografica.

L'elaborazione tomografica, eseguita con il programma RAYFRACT, avviene quindi in almeno due fasi successive: una prima elaborazione porta alla ricostruzione delle stratigrafie di velocità sismica con la tecnica Delta-t-V, cioè si ricostruiscono con cadenza pari alla metà della cadenza dei geofoni (CMP = Common Mid Point) le successioni di velocità compatibili con l'andamento di tutte le possibili dromocrone nei punti intermedi tra punto di tiro e geofono. Dal modello ricostruito come successione di stratigrafie di resistività viene elaborato un modello ad elementi finiti di piccolissime dimensioni (ordine di grandezza di qualche decimetro di lato) che può già rappresentare un attendibile modello del sottosuolo.

Tuttavia questo rappresenta una prima approssimazione alla soluzione. Il passo successivo è quello di ottimizzare, in maniera iterativa, il suddetto modello di partenza mediante la tecnica WET (Wavepath Eikonal Traveltime).

In pratica si effettua il calcolo delle differenze dei tempi di arrivo dai vari punti di tiro ai vari geofoni, tra i valori sperimentali misurati nei sismogrammi ed i tempi calcolati sul modello di partenza. In base alle differenze riscontrate, per ciascun percorso delle onde sismiche, si apportano modifiche, in aumento o in diminuzione, delle velocità che caratterizzano i vari elementi che sono stati interessati dal passaggio del fronte d'onda considerato. Ad ogni iterazione, dopo avere apportato le modifiche alle velocità dei vari elementi, il nuovo modello viene sottoposto ad una operazione di smoothing che porta ad una migliore omogeneità dei valori di velocità entro aree di dimensioni maggiori.

In genere sono sufficienti da 10 a 20 iterazioni per giungere ad un modello che porta a scarti medi tra i tempi (Traveltime) dei vari percorsi dell'ordine di qualche millisecondo (Schuster & Quintus-Bosz,1999).

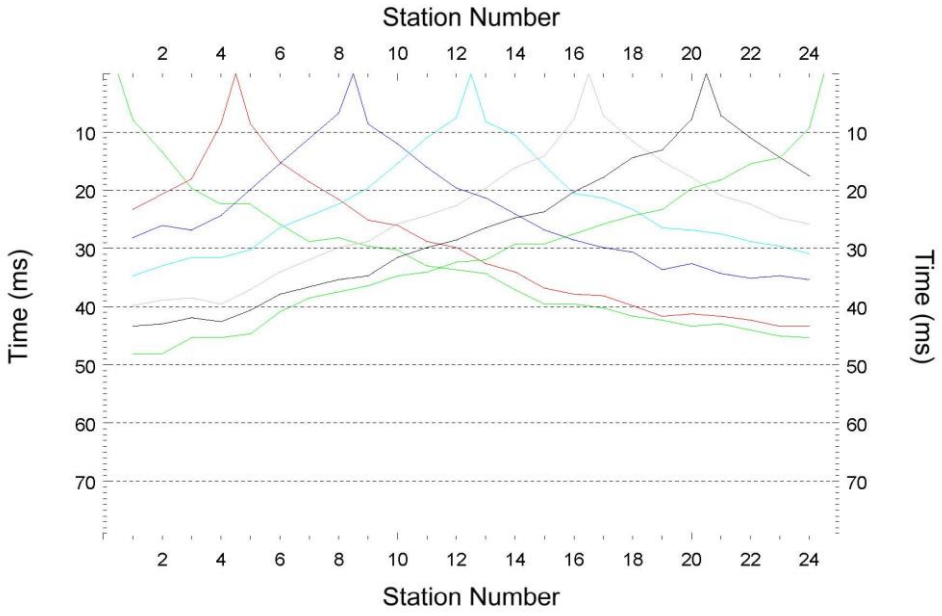


Figura 5: Dromocrone Line2_onde P

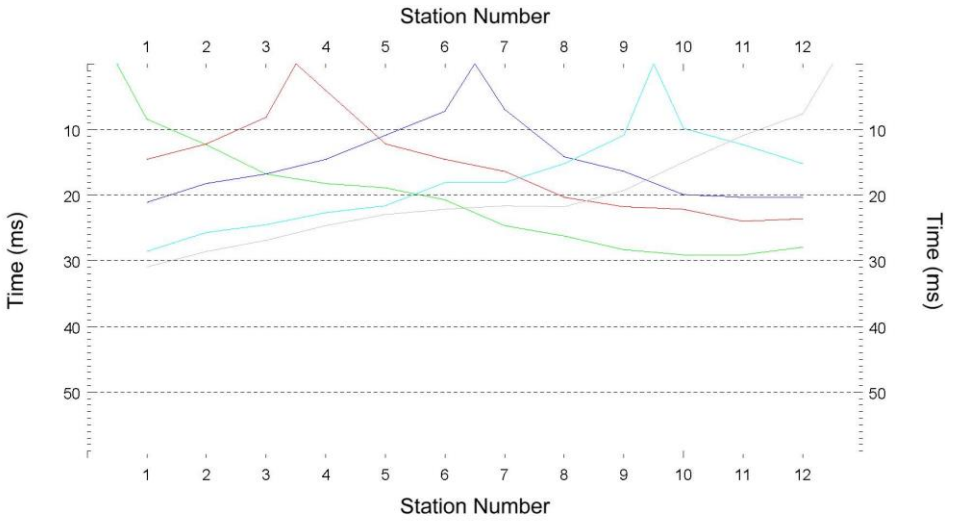


Figura 6: Dromocrone Line3_onde P

ANALISI DEI RISULTATI DELLA TOMOGRAFIA SISMICA

Con le modalità suddette sono state ottenute le tomografie relative alla velocità delle onde P che mostrano velocità che variano da 150 m/s a 3700 m/s.

Con riferimento alle sezioni sismo-tomografiche allegate, in dettaglio si ha:

- un primo strato con Vp = 150÷900 m/sec, correlabile con il riporto, la massicciata stradale e con i depositi da poco a mediamente addensati/compatti;
- tra le isotachie di 900 e 1700 m/sec, le velocità sono riferibili ai depositi da mediamente a molto addensati/compatti;
- tra le isotachie di 1700 e 2500 m/sec, le velocità sono riferibili al bedrock da molto a mediamente alterato e fratturato;
- al di sotto, Vp > 2500 m/sec possono essere riferibili al bedrock da mediamente a poco alterato e fratturato.

INDAGINI DI SISMICA PASSIVA TIPO HVSR

GENERALITA'

La tecnica di acquisizione ed analisi dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

Le conoscenze e le informazioni che si possono ottenere dall'analisi ed interpretazione di una registrazione di questo tipo sono:

• ove esistente, la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale ai fini dell'individuazione di adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;

• ove determinabile, la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso, a seguito di analisi correlate sarà possibile confrontare le frequenze di sito e dell'edificio, e valutare se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;

• la stratigrafia del sottosuolo con un ampio range di profondità di indagine, e secondo il principio che in termini di stratigrafia del sottosuolo, uno strato è inteso come unità distinta, in termini di contrasto d'impedenza sismica.

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

La forma di un'onda registrata in un sito oggetto di indagine è funzione di:

- dalla forma dell'onda prodotta dall'insieme delle sorgenti s dei microtremori;
- dal percorso dell'onda dalle sorgenti s fino alla posizione x del sito oggetto di indagine e funzione dei processi di attenuazione, riflessione, rifrazione e canalizzazione di guida d'onda;
- dalla modalità di acquisizione dello strumento in funzione dei parametri e delle caratteristiche strumentali.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre.

Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni con ampiezze minime, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il segnale da acquisire non è generato con strumenti o tecniche attive, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di origine sismiche che dovute al microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, canalizzazioni per fenomeni di guida d'onda ed attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato.

Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte di informazioni correlata al contenuto frequenziale del segnale che può essere estratta e che permette di ottenere informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

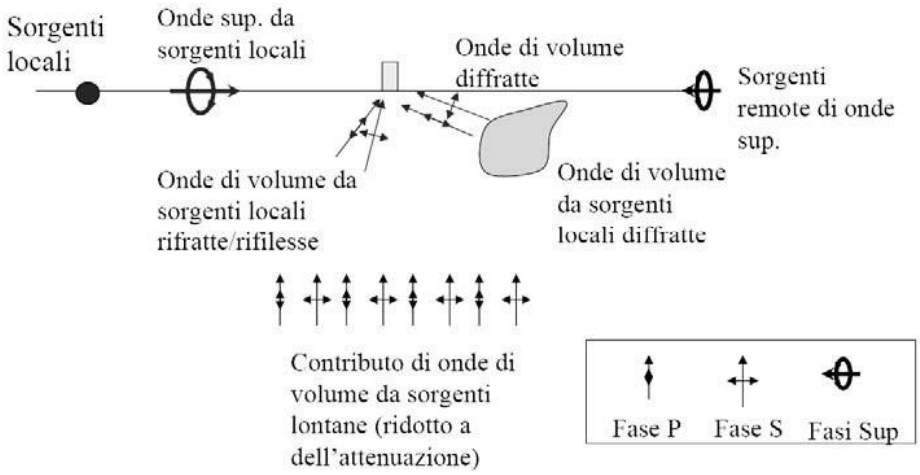


Figura 7: Modalità di generazione e propagazione di microtremore

Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartato dalla sismologia classica, contiene informazioni.

Questa informazione è però correlata alle caratteristiche frequenziale e spettrali del cosiddetto "rumore casuale" o microtremore, e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

Una di queste tecniche è la tecnica di analisi dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili sul comportamento frequenziale dei sottosuoli, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

L'ottenimento di una stratigrafia sismica da indagini a stazione singola, deriva dai primi studi di Kanai (1957) in poi, per cui diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito.

Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Inizialmente, alcuni ricercatori, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione.

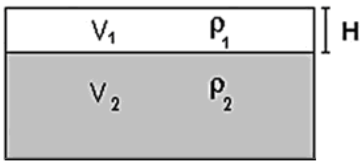
Purtroppo, esiste abbondante letteratura comprovante il fatto che l'ampiezza del picco H/V, pur essendo legata all'entità del contrasto di impedenza tra strati, non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice (cfr. Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME, 2005 e referenze ivi contenute).

Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche del metodo HVSR sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D).

Consideriamo il sistema della figura seguente in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità e le diverse velocità delle onde sismiche.

Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.



L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (l) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato.

La frequenza fondamentale di risonanza (fr) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a (*equazione 1*):

$$(fr) = Vs1/4H$$

$$(fr) = Vp1/4H$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh.

Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1.

Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione 1.

L'utilità delle misure H/V risiede quindi nella possibilità di ricavare empiricamente la frequenza di sito e, a fianco di curve di dispersione date da misure *MASW*, a vincolare il modello V_S specie in profondità.

SISTEMA DI ACQUISIZIONE – INDAGINI EFFETTUATE

La misura prevede la registrazione del microtremore sismico ambientale nel dominio del tempo sulle tre componenti dello spazio attraverso il posizionamento di geofono tridimensionale.

La strumentazione di acquisizione utilizzata per la presente indagine è un prospettore sismico SARA “SR04 GeoBox" a 3 canali completo di geofono 3D da superficie, che presenta le seguenti specifiche:

- trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza (2 Hz);
- amplificatori;
- digitalizzatore;
- frequenza di campionamento: 300 Hz;
- convertitore A/D (analogico digitale) a 24 bit;

Lo strumento di misura è stato orientato secondo le direzioni geografiche (E e W).

Sono state eseguite n°1 registrazioni della durata di circa 20 minuti.

ELABORAZIONE DEI DATI HVSR

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell’ onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si possono ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito.

Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità dell’orizzonte che genera il contrasto d’impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

L’elaborazione dei dati raccolti impiega il software *winMASW Academy* in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (*Site effects assessment using ambient excitations, 2005*).

Il processing dei dati verte sul rapporto spettrale tra il segnale del sensore verticale e quelli orizzontali operando su finestre di selezione del segnale.

In fase di elaborazione vengono seguite le seguenti operazioni:

1. la registrazione viene suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno,
2. per ogni segmento viene eseguita un’analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti,
3. per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale,
4. vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell’ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano “stabili” ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato, che gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano

state sorgenti “dominanti” e che la misura non contenga errori sistematici (per es. dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

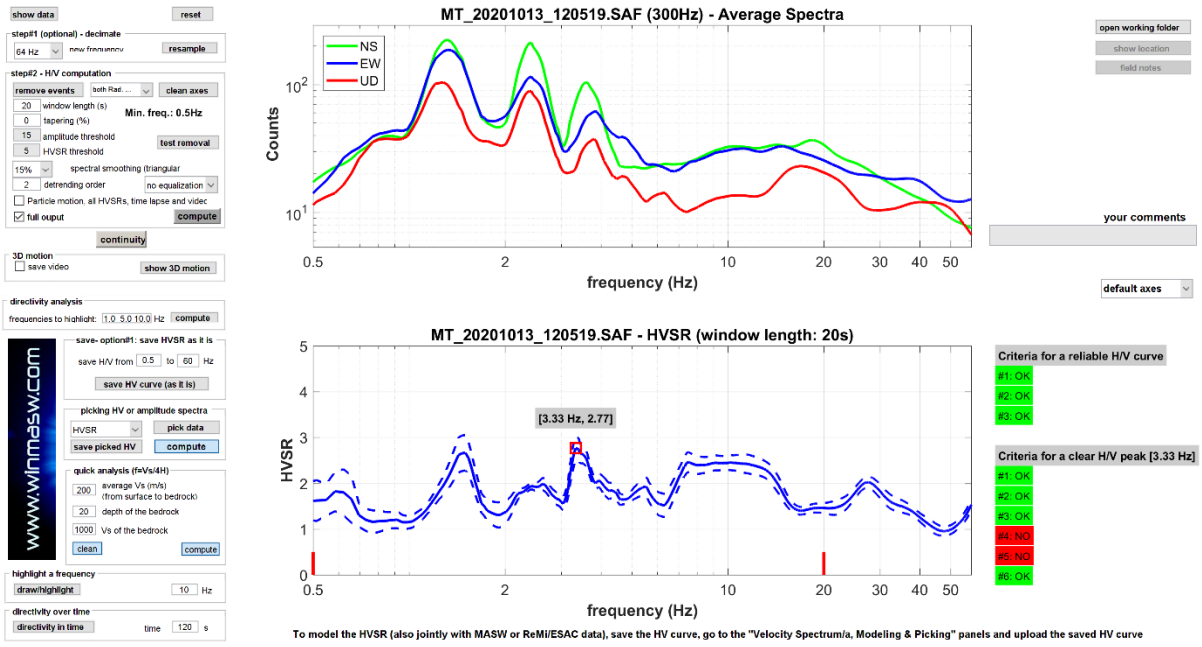
Le risultanze dell’elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di f0 – Frequenza/e di risonanza e la sua deviazione standard.

Viene riportata anche la check-list proposta dalla procedura SESAME per l’ottenimento di una curva H/V affidabile.

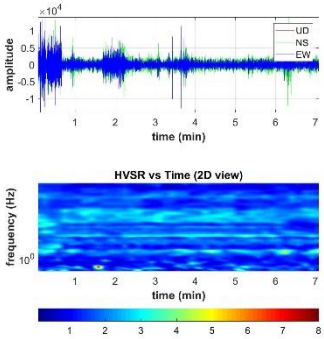
HVSR_1

Dataset: MT_20201013_120519.SAF
Sampling frequency (Hz): 300
Window length (sec): 20
Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz
Length of analysed dataset (min): 10.0
Tapering (%): 0
Smoothing (%): 15

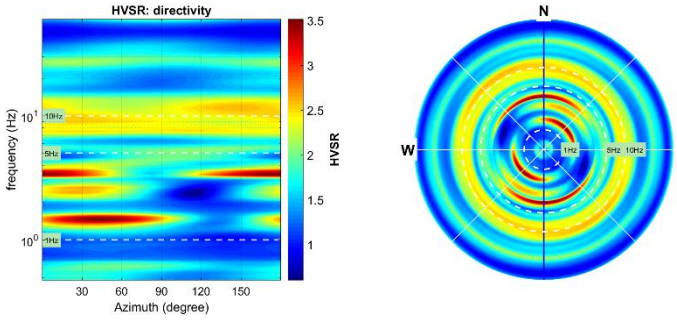
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



PERSISTENZA H/V



DIREZIONALITA' H/V



In the following the results considering the data in the 0.5-50.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 3.3
Peak HVSR value: 2.8

=== Criteria for a reliable H/V curve ==========
#1. [f0 > 10/Lw]: 3.333 > 0.5 (OK)
#2. [nc > 200]: 2867 > 200 (OK)
#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) ==========
#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 0.9Hz (OK)
#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency Hz (OK)
#3. [A0 > 2]: 2.8 > 2 (OK)
#4. [fpeak[Ah/v(f) ą sigmaA(f)] = f0 ą 5%]: (NO)
#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 4.065 > 0.167 (NO)
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.275 < 1.58 (OK)
Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities. Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change.

INDAGINI MASW

GENERALITA'

Il metodo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali (onde di Rayleigh e onde di Love) fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidezza del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50m, in funzione della rigidezza del suolo.

Negli ultimi decenni l'analisi delle onde di superficie si è dimostrata un utile strumento per la determinazione del profilo verticale VS non più solamente per studi di carattere crostale (e.g. Evison et al., 1959) ma anche per indagini *near surface* (Stokoe et al., 1988; Glangeaud et al., 1999; Park et al., 1999; Xia et al., 1999; 2004; Shtivelman, 1999; 2002; Foti et al., 2000; Louie, 2001; O'Neill et al., 2006; Dal Moro et al., 2007; Dal Moro & Pipan, 2007).

La sismica a rifrazione ad onde di corpo (P ed S) ha così trovato una valida integrazione, in grado di superare i limiti connessi al canale a bassa velocità (*Low Velocity Layer - LVL*) ed allo strato nascosto (*blind layer*).

Nel seguito faremo riferimento al metodo MASW attivo che consente la classificazione sismica dei suoli, perché fornisce il profilo di velocità entro i primi 30m di profondità.

SISTEMA DI ACQUISIZIONE

Per l'acquisizione dei dati per indagini MASW deve essere effettuato uno stendimento di geofoni (a componente verticale per l' analisi delle onde di Rayleigh o a componente orizzontale per le onde di Love) allineati con la sorgente ed utilizzare una sorgente ad impatto verticale per generare onde di Rayleigh e/o una "di taglio" per quelle di Love.

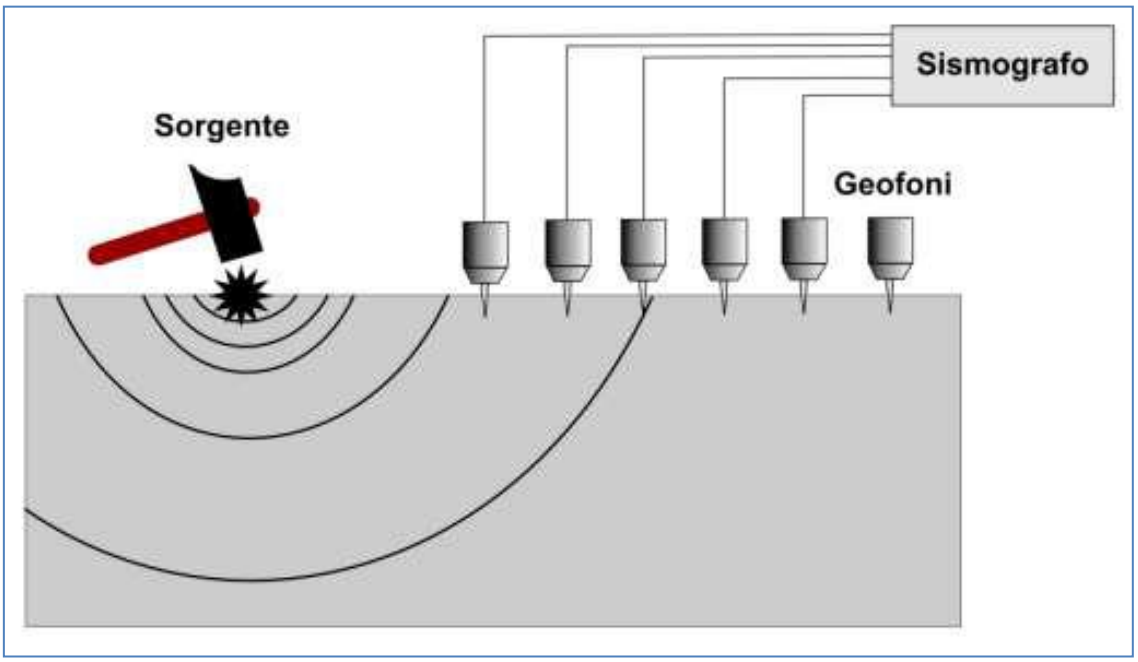


Figura 8: Esempio schematico di stendimento sismico tipo MASW

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico *Ambrogeo Echo 24/2002* a 16 bit.

Come sorgente energizzante è stato utilizzato un grave di circa 60 kg.

Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un apparecchio starter (geofono starter, starter a lamelle, piezoelettrico od altro) nell'istante in cui il sistema energizzante (maglio, mazza etc.) colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso della durata di qualche secondo che viene inviato al sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

Sono stati utilizzati 24 geofoni verticali Geospace Oyo con frequenza propria di 4.5 Hz.

INDAGINI EFFETTUATE

Sono state eseguite n°2 prospezioni sismiche tipo MASW in onde di Rayleigh.

Le acquisizioni sono state eseguite in base alle seguenti configurazioni:

CONFIGURAZIONE INDAGINE LINE 1 MASW	
N° geofoni	24 (verticali Geospace Oyo 4.5 Hz)
Interasse geofoni	2 m
Off-sets sorgente (da ciascun estremo)	G1: 5m; 10m
Sorgente	Massa battente da 10kg

CONFIGURAZIONE INDAGINE LINE 2 MASW	
N° geofoni	24 (verticali Geospace Oyo 4.5 Hz)
Interasse geofoni	2 m
Off-sets sorgente (da ciascun estremo)	G1: 5m; 10m
Sorgente	Massa battente da 10kg

ELABORAZIONE DEI DATI MASW

I dati acquisiti sono stati elaborati utilizzando il software *winMASW Academy*.

Per l'indagine LINE 1 MASW:

L'elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

- si caricano il file acquisiti in campagna (files SEGY)
- calcolo dello spettro di velocità (che rappresenta, in scala colorimetrica, le ampiezze delle onde in funzione della velocità di fase e della frequenza)
- identificazione della curva di dispersione
- modellazione congiunta considerando la dispersione delle onde di Rayleigh e rapporto spettrale H/V

L'analisi dei dati è stata quindi svolta considerando congiuntamente, dispersione delle onde di Rayleigh e rapporto spettrale H/V della registrazione HVSR 1 eseguita nelle immediate vicinanze della linea MASW1.

La modellazione è riportata nelle Figura 10 mentre il modello finale è riportato in Pagina 23.

Per l'indagine LINE 2 MASW:

L'elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

- si caricano il file acquisiti in campagna (files SEGY)
- calcolo dello spettro di velocità (che rappresenta, in scala colorimetrica, le ampiezze delle onde in funzione della velocità di fase e della frequenza)
- identificazione e il picking della curva di dispersione
- inversione delle curve di dispersione per individuare i profili di velocità delle onde di taglio

L' inversione delle curve di dispersione avviene a partire da un modello di partenza precedentemente individuato, la cui curva di dispersione risulta in accordo con lo spettro di velocità osservato corretto sulla base delle conoscenze geologiche e geofisiche del sito note a priori.

La ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad una solida tecnica di ottimizzazione che si rifà ai cosiddetti algoritmi genetici che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica.

In figura 10 sono riportate diverse informazioni: in alto a sinistra sono presentati i dati osservati, la curva del modello "migliore" e quella del modello medio (molto spesso le due curve sono sovrapposte e quindi indistinguibili); poco più in basso il "grafico misfit-generazione", il quale dà evidenza del miglioramento del modello al procedere delle generazioni; sulla destra il profilo verticale della VS in funzione della profondità.

I modelli presentati come soluzione sono due: il modello "migliore" (fittest model) in termini di minor misfit, cioè discrepanza tra curva osservata e calcolata e un modello medio (mean model) calcolato secondo un'operazione statistica nota come MPPD (Marginal Posterior Probability Density - "Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probability Density Evaluation" – Dal Moro et al., 2006).

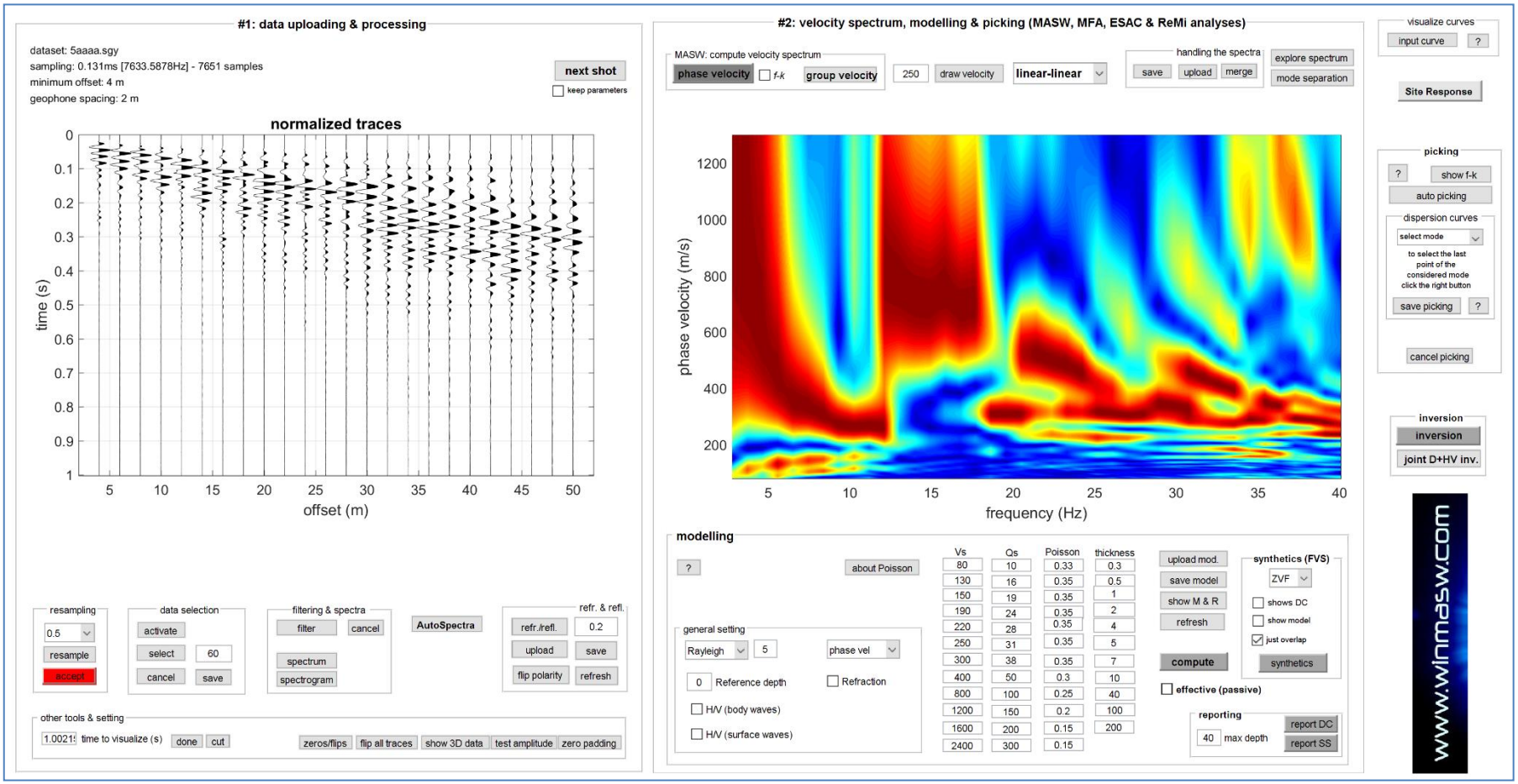


Figura 9: MASW 1 - Sulla sinistra le tracce sismiche relative alla componenti ZVF e sulla destra i relativi spettri di velocità

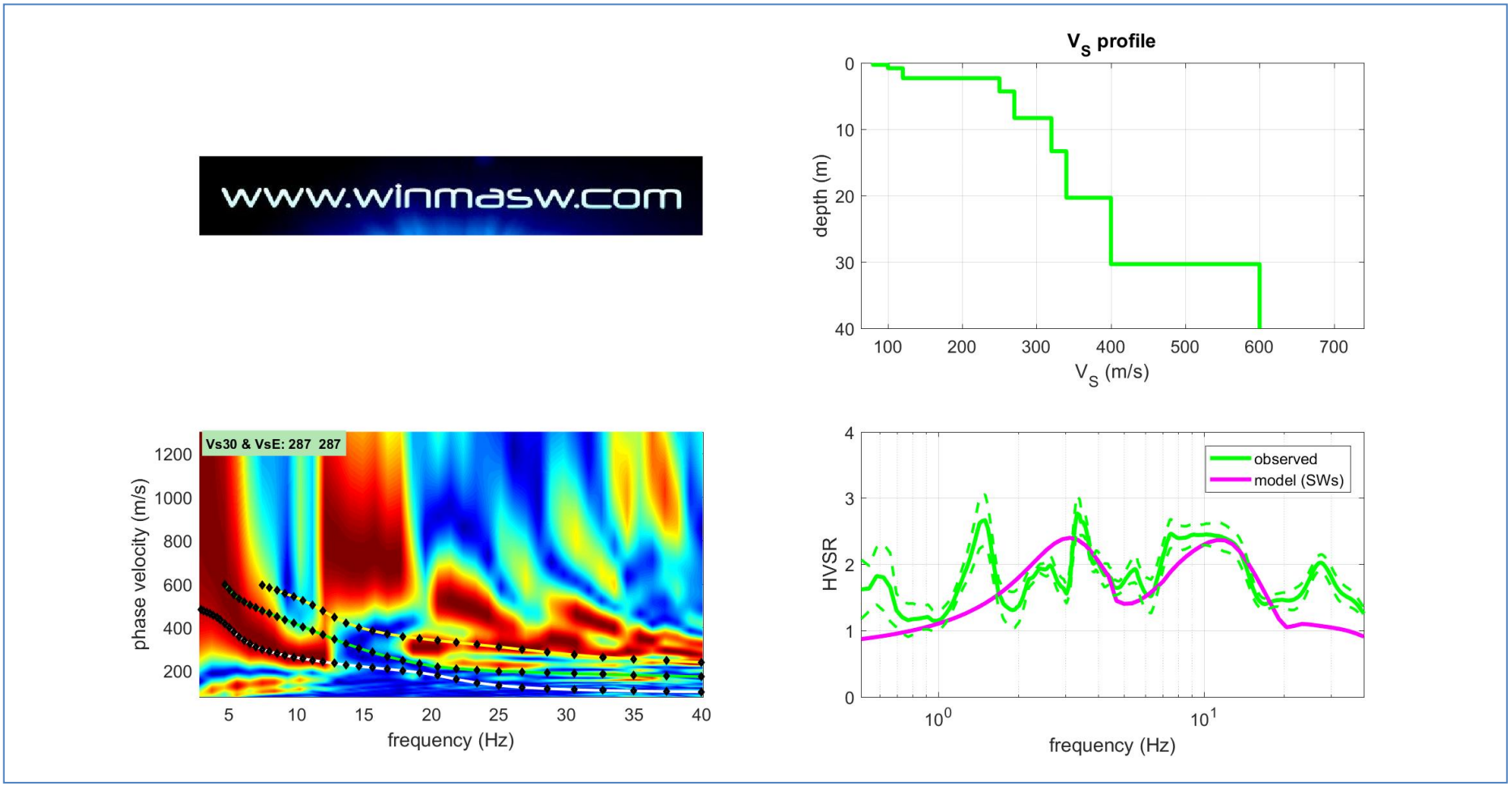


Figura 10: MASW1 - Sulla sinistra gli spettri di velocità relativi alla componenti ZVF con in sovrapposizione le curve di dispersione per l'onda di Rayleigh; Sulla destra in basso in verde le misure HVSR effettuate in sito e in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009); in alto il modello usato per la modellazione.

Mean model

Vs (m/s): 80, 100, 120, 250, 270, 320, 340, 400, 600
Thickness (m): 0.3, 0.5, 1.5, 2.0, 4.0, 5.0, 7.0, 10.0

Vs model (Vs30 & VsE: 287 287 m/s)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	80	0.3000	0.3000
2	100	0.5000	0.8000
3	120	1.5000	2.3000
4	250	2	4.3000
5	270	4	8.3000
6	320	5	13.3000
7	340	7	20.3000
8	400	10	30.3000
9	600	0	0

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.61 1.68 1.72 1.90 1.91 1.96 1.97 1.98 2.06
Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 10 17 25 118 140 200 228 317 743
Estimated static shear modulus (MPa) (approximate values): 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Analyzing Phase velocities
Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson
Vp (m/s): 159 208 250 520 562 666 708 748 1039
Poisson: 0.33 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30 0.25

Vs30 and VsE (m/s): 287 287

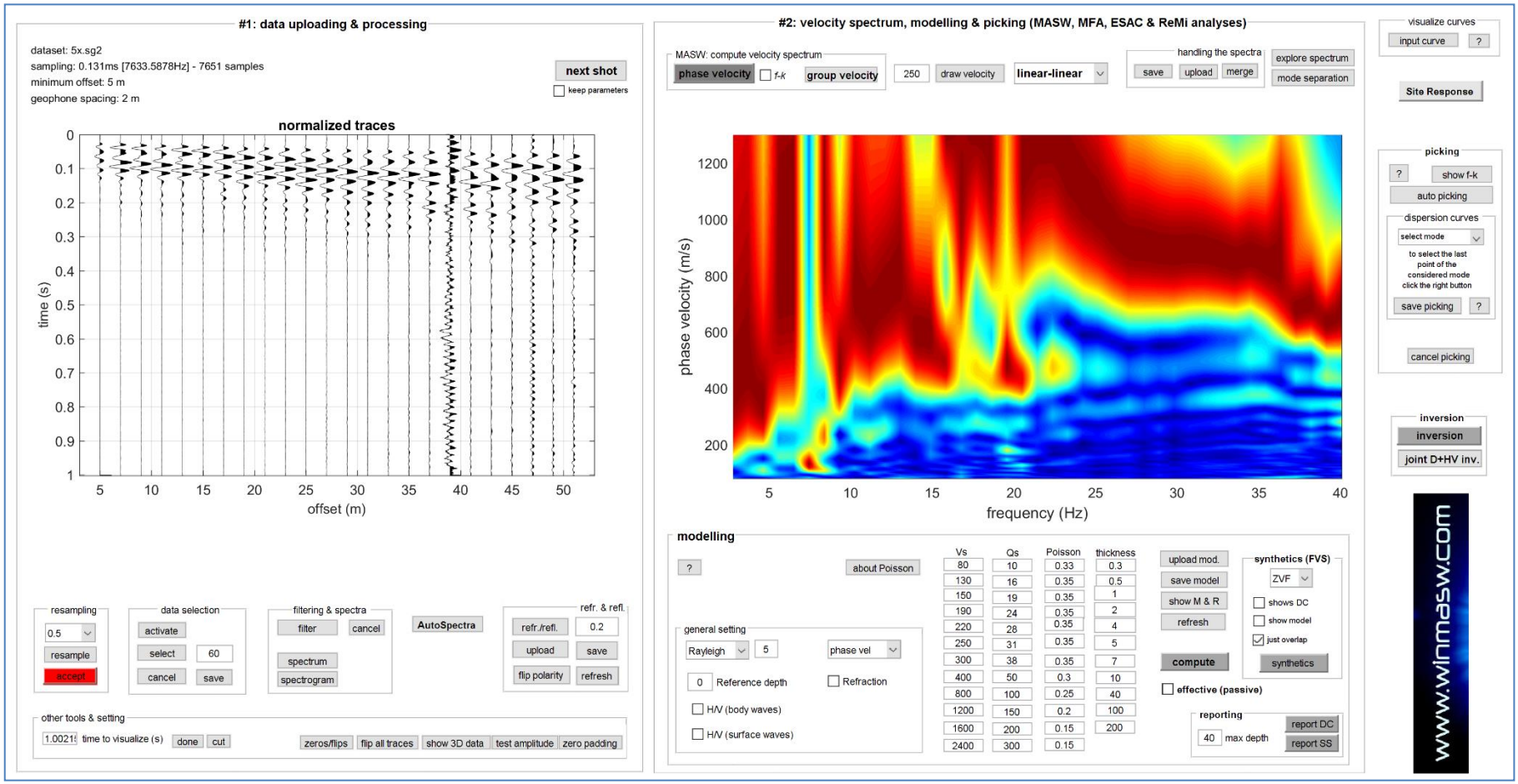


Figura 11: MASW 2 - Sulla sinistra le tracce sismiche relative alla componenti ZVF e sulla destra i relativi spettri di velocità

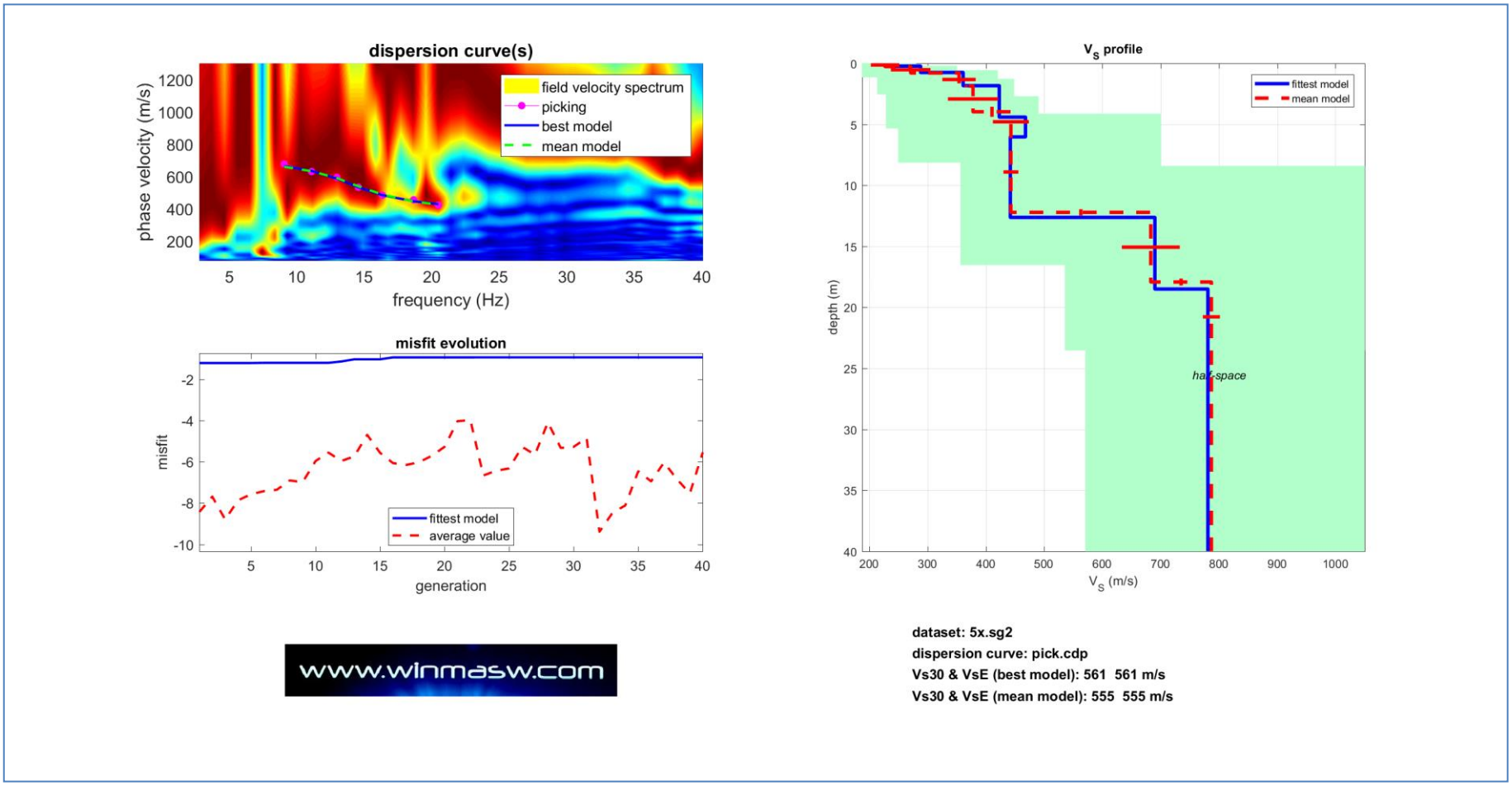


Figura 12 MASW 2 - spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione; profilo verticale VS identificato; grafico misfit-generazione (off-set 5m su G1).

Mean model

Vs (m/s): 227, 271, 354, 378, 443, 443, 683, 787
Standard deviations (m/s): 24, 34, 29, 43, 31, 13, 50, 15
Thickness (m): 0.3, 0.5, 1.1, 2.1, 1.6, 6.6, 5.7
Standard deviations (m/s): 0.1, 0.0, 0.1, 0.4, 0.1, 0.3, 0.3

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.86 1.92 2.04 1.97 2.11 2.09 2.17 2.17
Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 96 141 256 282 414 410 1011 1346
Estimated static shear modulus (MPa) (approximate values): 0 0 0 0 0 0 0 0

Analyzing Phase velocities
Considered dispersion curve: pick.cdp
Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson
Vp (m/s): 454 581 949 717 1263 1162 1589 1637
Poisson: 0.33 0.36 0.42 0.31 0.43 0.41 0.39 0.35

Vs30 and VsE (m/s): 555 555

****

San Giuliano Terme (PI),

20 ottobre 2020

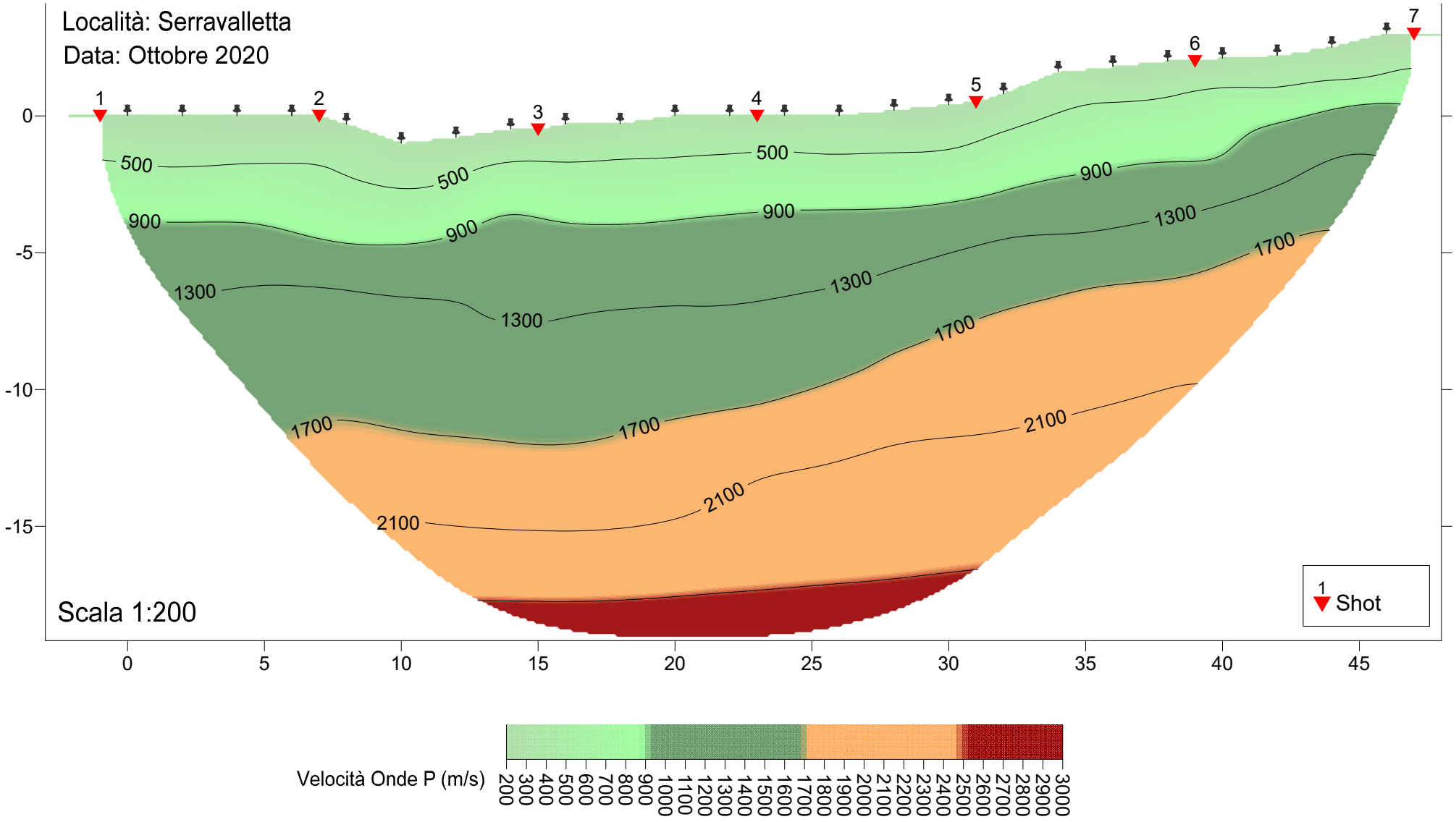
GAIA Servizi S.n.c.

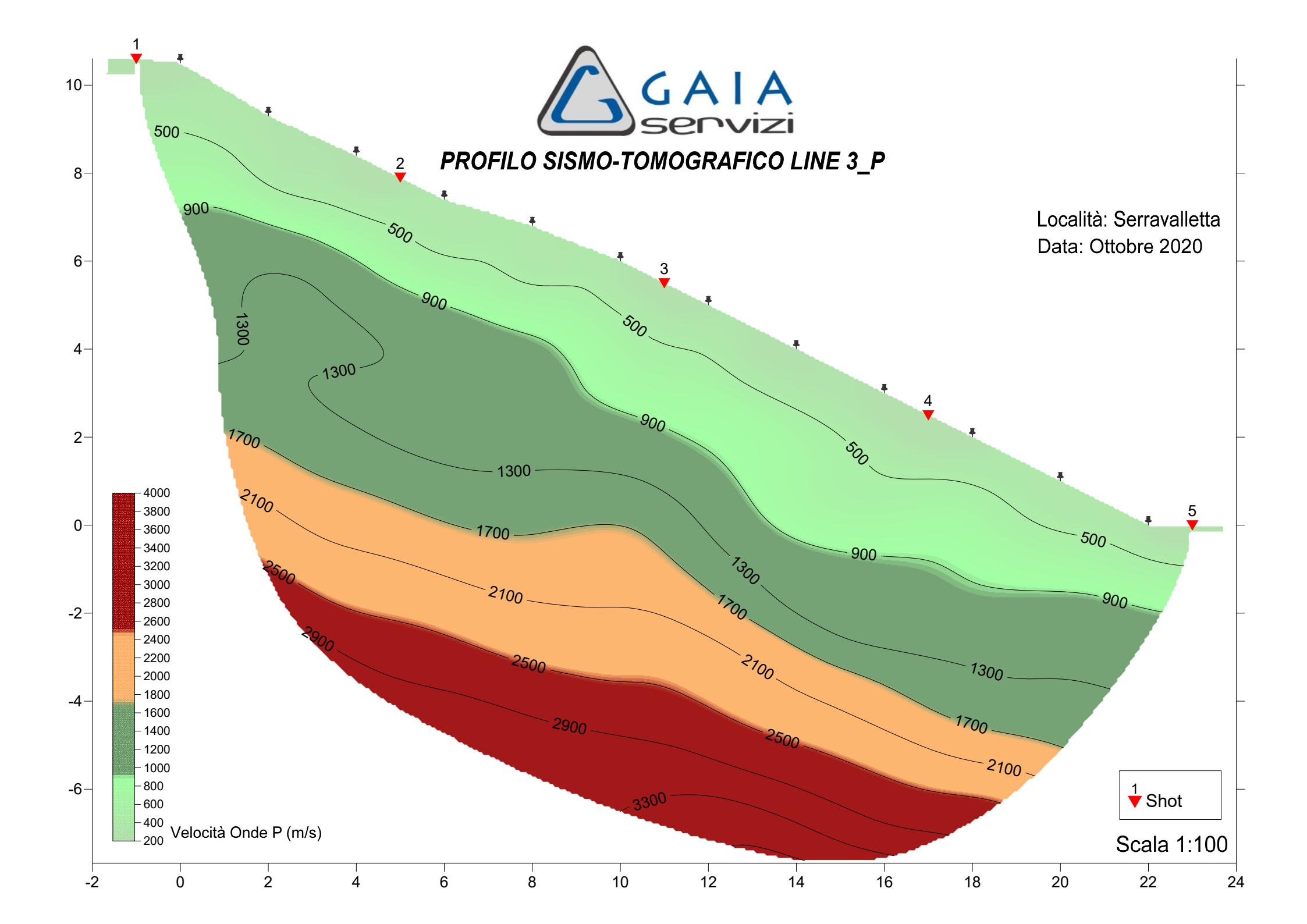
Dott. Jacopo Martini

GAIA Servizi S.n.c.
di Massimiliano Vannozzi & C.
Via Lenin 132 - 56017 S. Giuliano T. (PI)
P. IVA 01667250508 N. REA PI - 145167

GAIA servizi

PROFILO SISMO-TOMOGRAFICO LINE 2_P




GAIA servizi
PROFILO SISMO-TOMOGRAFICO LINE 3_P
Località: Serravalletta
Data: Ottobre 2020
1
2
3
4
5
500
900
1300
1700
2100
2500
2900
3300
4000
3800
3600
3400
3200
3000
2800
2600
2400
2200
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
Velocità Onde P (m/s)
1 Shot
Scala 1:100
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-2
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24