

15 OTTOBRE 2021

AIPO

AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO

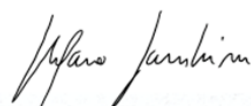
RAPPORTO TECNICO N. 1
RELAZIONE GEOLOGICO - SISMICA
STUDIO GEOLOGICO-SISMICO RELATIVO ALLA
REALIZZAZIONE MANUFATTO SGRIGLIATORE DEL CANALE
SCOLMATORE DI NORD OVEST NEL COMUNE DI CISLIANO
(MI) – MI-E-801 CUP B88B20000340002 CIG 878516CB6

COMMITTENTE:

AIPO
AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO

REDAZIONE:

DOTT. GEOL. STEFANO GAMBINI



SOMMARIO

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA NAZIONALE DI RIFERIMENTO	4
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO	5
4. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA LOCALE.....	7
4.1 PARAMETRO V_s , eq.....	7
4.2 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	11
4.3 FREQUENZA DI RISONANZA IN SITO	12
4.4 ANALISI DI PERICOLOSITÀ SISMICA.....	13
4.5 ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)	21
4.6 VERIFICA DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE	51
5. CONCLUSIONI	53
ALLEGATO A - Indagine sismica attiva masw-hs e indagine sismica passiva hvsr.....	57
ALLEGATO B - Indagine sismica A RIFRAZIONE IN CORRISPONDENZA DELL'ARGINE DESTRO DEL CANALE SCOLMATORE	79
ALLEGATO C - GEOFISICA CON TECNICA TOMOGRAFICA ERT.....	96
TAVOLA 1 – C.T.R (scala 1:5.000)	130
TAVOLA 2 - ESTRATTO CATASTALE E AREA D'INTERVENTO (scala 1:2000).....	131
TAVOLA 3 - ORTOFOTO (scala 1:2.000)	132
TAVOLA 4 - BASI AMBIENTALI DELLA PIANURA - LITOLOGIA scala 1:5.000	133

1. PREMESSA

La presente relazione è stata commissionata da AIPO - Agenzia Interregionale per il Fiume Po, ed è redatta a supporto del progetto MI-E-801 INCARICO RELAZIONE GEOLOGICA PER LA REALIZZAZIONE MANUFATTO SGRIGLIATORE DEL CSNO DI CISLIANO, Cisliano, Milano (Mappa Catastale Foglio 2, Particelle 74 e 75). In particolare, lo studio illustra i risultati delle indagini geologiche che hanno permesso di valutare il comportamento geotecnico e sismico dei terreni di fondazione del manufatto in progetto.

Si è proceduto all'esecuzione d'indagini geognostiche di varia natura, come previsto dal D.M. 11.3.88, dal D.M. 14.1.2008 e dal D.M. 17.01.2018.

- n° 2 acquisizione MASW-HS con metodologia sismica attiva a canale singolo;
- n° 2 indagini HVSR con metodologia sismica passiva a stazione singola;
- n° 1 tomografia sismica a rifrazione;
- n° 4 indagini geoelettriche acquisite con tecnica tomografica multicanale ERT con n. 32 elettrodi per individuare la superficie di falda e verificare eventuali variazioni laterali e verticali di facies.

Per quanto riguarda l'elenco delle indagini di cantiere – con relative prove di laboratorio - e delle analisi su suoli ed eluati, si rimanda rispettivamente al Rapporto Tecnico N. 2 (RT2_MI-E-801_CUP_B88B20000340002_CIG_878516CB6_Modello_Geotecnico.pdf) e al Rapporto Tecnico N.3 (RT3_MI-E-801_CUP_B88B20000340002_CIG_878516CB6_Analisi_Chimiche_Suolo.pdf), presentati a corredo del presente studio.

Le indagini effettuate hanno consentito di stabilire la risposta sismica locale in sito, definendo il profilo di velocità delle onde sismiche di taglio (V_s , eq) e la categoria sismica del suolo di fondazione. I parametri geotecnici sono stati desunti dai sondaggi e dalle indagini geotecniche analizzati insieme ai risultati emersi delle indagini sismiche e geoelettriche effettuate. La modellazione geologica ha infine permesso di analizzare ed evidenziare l'esistenza di eventuali criticità o di rischi di tipo idrogeologico o geomorfologico.

Cartograficamente, l'area in esame è compresa nel:

- Foglio n° 45 "Milano" della Carta Geologica d'Italia, edizione 2 (scala 1:100.000) (1965);
- Fogli CTR (scala 1:10.000) Abbiategrasso - A6E4, Cesano Boscone - B6A3;
- Mappa Catastale Foglio 2, Particelle 74 e 75.

Analizzando nel dettaglio la cartografia a corredo del P.G.T. - Piano di Governo del Territorio - vigente, l'area rientra nelle seguenti categorie:

- GEOMORFOLOGIA - Il modellato topografico è caratterizzato da una superficie pianeggiante; la quota del piano campagna diminuisce molto gradualmente da Nord verso Sud, passando da c.ca m 135 s.l.m. vicino al limite settentrionale del comune, a c.ca m 120 s.l.m. vicino al confine meridionale.
- GEOLOGIA - Il substrato del territorio di Cisliano è costituito da depositi fluvioglaciali di età wurmiana, che da un punto di vista litologico sono composti in prevalenza da ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose; sono anche presenti livelli con sabbie fini e limi. Questa unità fa parte del cosiddetto "Livello Fondamentale della Pianura".
- IDROGEOLOGIA - la falda presenta un andamento generale del flusso da Nord-Ovest verso Sud-Est, con un gradiente idraulico medio pari a c.ca 0,2-0,3%, la soggiacenza risulta invariata nel corso degli anni ed è compresa tra 0 e 5 m dal p.c.

- TAVOLA 1 - CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE - Scala 1:10.000. AMPLIFICAZIONI GEOLOGICHE E GEOMETRICHE: Z4a → Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e /o fluvio-glaciali granulari e /o coesivi > 3m da p.c..

Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	

- TAVOLA 2 - CARTA DEI VINCOLI - Scala 1:5.000. Vincoli di polizia idraulica/fascia di rispetto dei corsi d'acqua
- TAVOLA 3 - CARTA DI SINTESI - Scala 1:5.000. L'area si trova all'interno della Fascia B1 - Aree ad elevata vulnerabilità dell'acquifero. Inoltre, l'area si trova all'interno della C1 – Aree adiacenti a corsi d'acqua (fasce di rispetto) da mantenere a disposizione.
- TAVOLA 4 - CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA CON ELEMENTI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE- Scala 1:5.000. CLASSE III - Fattibilità con consistenti limitazioni



Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni

B1 - Aree ad elevata vulnerabilità dell'acquifero

Nei successivi capitoli dell'elaborato vengono presentati:

- **Modello stratigrafico** → Inquadramento geologico generale dell'area e il suo assetto geologico-stratigrafico (Cap. 1 e Cap. 2);
- **Modello geologico-geotecnico** → Risultati delle indagini geognostiche e la parametrizzazione geotecnica dei terreni (Cap. 3);
- **Modello sismico** → Caratterizzazione sismica dei terreni e l'analisi di pericolosità sismica dell'area (Cap. 4).
- **Eventuali verifiche** → Verifica alla liquefazione; calcolo di stabilità del pendio, ecc... (Cap. 5 e successivi)

Infine, nelle Conclusioni si esprime una valutazione sulle caratteristiche dell'area da un punto di vista geologico-geomorfologico e sismico, in base a quanto si è potuto desumere dallo studio di dettaglio.

2. NORMATIVA NAZIONALE DI RIFERIMENTO

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

- D.M.LL.PP. 11/03/88 Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- D.M. 9 Gennaio 1996 Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi;
- D.M.16 Gennaio 1996 Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003 Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (G.U. n. 105 del 8.05.2003);
- Ordinanza n. 3316 del 2 ottobre 2003 Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003;

- OPCM 3 maggio 2005 Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche" (Ordinanza n. 3431) (G.U.n.107del10 maggio2005–Suppl.Ord.n. 85);
- D.M. 14 gennaio 2008 – "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2008";
- Eurocodice 7 Progettazione geotecnica;
- Eurocodice 8 Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- D.g.r. 30 novembre 2011 - n. IX/2616 - Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12", approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374
- D.g.r. 30 marzo 2016 - n. X/5001 Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015).
- D.M. 17 gennaio 2018 - "Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

L'area in esame risulta situata in una porzione a NE del territorio comunale di Cislano (Tavole 1, 3), ed è ricompresa all'interno della Mappa Catastale Foglio 2, Particelle 74 e 75 (Tavola 2). Le caratteristiche geologiche (Tavola 4) e geomorfologiche sono tratte dalla Carta Geologica d'Italia, nel Foglio n°45 - "Milano" (scala 1:100.000) della Regione Lombardia e da studi altri studi di dettaglio effettuati in questa porzione della Pianura Padana. In particolare, è stata visionata ed analizzata la componente geologica, idrogeologica a corredo del "P.G.T. - Piano di Governo del Territorio" del Comune di Cislano.

Il substrato del territorio di Cislano è costituito da depositi fluvioglaciali di età wurmiana, che da un punto di vista litologico sono composti in prevalenza da ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose; sono anche presenti livelli con sabbie fini e limi. Questa unità fa parte del cosiddetto "Livello Fondamentale della Pianura". Questi terreni, rinvenibili fino a circa 140 metri di profondità, sono stati deposti nel corso del Pleistocene superiore ad opera degli scaricatori fluvioglaciali provenienti dai fronti di espansione dei ghiacciai. Essi sono stati trasportati dalle acque di fusione dei ghiacciai stessi innalzando il livello della pianura fino all'odierna morfologia, in successione ai sedimenti di origine marina costituiti da argille e argille marnose.

Da un punto di vista geomorfologico, l'aspetto attuale del paesaggio è il risultato della sovrapposizione di forme relitte, ereditate da precedenti cicli di modellamento glaciale, fluvioglaciale e di processi in atto, innescatesi dopo l'ultimo evento glaciale nonché dall'intervento antropico. Sono presenti le tracce di paleoalvei, probabilmente prodotti da antichi corsi d'acqua.

Il territorio comunale di Cislano è caratterizzato da un esteso reticolo idrico, costituito dal Canale Scolmatore di Nord Ovest (ubicato a Nord dell'abitato di Cislano), dal Canale Villaresi Secondario (ubicato in corrispondenza del confine Nord-orientale del comune) e da una fitta rete di canali di irrigazione. Sul territorio di Cislano sono presenti anche diversi fontanili.

I suoli presenti nell'area del comune di Cislano appartengono al sistema L (Livello Fondamentale della Pianura) e in particolare al sottosistema LQ (pianura interessata da fenomeni di idromorfia riconducibili all'emergenza delle risorgive). Tali suoli si sviluppano su superfici subpianeggianti grazie alle divagazioni degli scaricatori glaciali che hanno formato la pianura lombarda e dei corsi d'acqua alimentati dalle

risorgive. Per una descrizione dettagliata delle unità pedologiche presenti nel Comune di Cislano, si rimanda alla “Carta pedologica” allegata allo studio geologico comunale (Puppini, Rizzi e Valente, 2002).

Nel Comune di Cislano si distinguono tre “**unità idrogeologiche**”, che dall’alto al basso risultano costituite da:

- unità “ghiaioso-sabbiosa”;
- unità “ghiaioso-sabbioso-limosa”;
- unità “sabbioso-argillosa”.

L’unità ghiaioso-sabbiosa è costituita dai sedimenti fluvioglaciali del Pleistocene sup. (Würm autoctono), litologicamente caratterizzati da ghiaie e sabbie in matrice limosa, intercalati a livelli discontinui e poco potenti di argilla. L’unità può raggiungere i 70-80 m di profondità.

L’unità “ghiaioso-sabbioso-limosa” è separata dal precedente acquifero da uno strato più o meno continuo di argilla (con spessore variabile da qualche metro fino ad un massimo di 10 metri) ed è costituita dai sedimenti fluvioglaciali del Pleistocene medio (Riss-Mindel autoctono) che in profondità vengono sostituiti, in modo non sempre continuo, dall’unità a “conglomerati e arenarie basali” (Ceppo autoctono). Normalmente questa successione raggiunge la profondità di 90 - 100 m e, unitamente all’unità idrogeologica “ghiaioso-sabbiosa” costituisce quello che viene definito “acquifero tradizionale”.

L’unità “sabbioso-argillosa” generalmente è riscontrabile oltre i 100 m di profondità ed è caratterizzata da facies di origine sia continentale e di transizione (unità sabbioso-argillosa) che marine (unità argillosa) del Pleistocene inferiore e Calabrian.

Nell’area di Cislano la falda presenta un andamento generale del flusso da Nord-Ovest verso Sud-Est, con un gradiente idraulico medio pari a c.ca 0,2-0,3%, la soggiacenza risulta invariata nel corso degli anni ed è compresa tra 0 e 5 m dal p.c.

Ulteriori informazioni attinenti le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del territorio comunale possono essere ricavate consultando il P.G.T. comunale.

Non sono stati individuati processi geomorfologici o dissesti tali da pregiudicare o compromettere la sicurezza delle opere in progetto, ma vista la tipologia di intervento che si prospetta, si è ritenuto indispensabile procedere con un ulteriore approfondimento, in modo da poter caratterizzare con maggior sicurezza le proprietà geotecniche e di risposta sismica dei terreni in sottosuolo (Cap. 3; Cap 4).

4. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA LOCALE

A seguito della classificazione operata dall' O.P.C.M. 3274/2003, l'area oggetto di studio, ricadente nel Comune di **Cislano** (PV), è classificata in "**Zona sismica 4**". Pertanto, in ottemperanza alla normativa vigente, nonché alle disposizioni contenute nel più recente D.M. del 17 Gennaio 2018 "*Aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni*", si è provveduto alla caratterizzazione sismica dei terreni (Allegato A e Allegato B) grazie ad una serie di prospezioni geofisiche in sito.

In particolare, sono state realizzate le seguenti indagini:

- **16-17 Giugno 2021:**
 - **n. 2** acquisizione con metodologia sismica attiva multicanale (MASW-HS);
 - **n. 2** acquisizione con metodologia sismica passiva a stazione singola (HVSr).

Tali indagini hanno consentito di stabilire la risposta sismica locale in sito, definendo il profilo di velocità delle onde sismiche di taglio (V_s , eq) e la categoria sismica del suolo di fondazione. L'elaborazione dei dati ha in seguito consentito di ricavare una microzonazione sismica per l'area di studio investigata.

I risultati del rilievo sismico sono riportati in Allegato A e in Allegato B.

4.1 PARAMETRO VS, EQ

Il D.M. 17/01/2018 (Aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni) disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, oltre alla valutazione della sicurezza e degli interventi di adeguamento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni.

La definizione dell'azione sismica a cui gli edifici sono soggetti è legata alla determinazione di alcuni fattori importanti per l'edificio stesso, tra i quali la classificazione del suolo di fondazione su cui l'edificio verrà costruito.

La normativa, al capitolo 3.2.2, cita:

Categorie di sottosuolo

"...Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2II.

Tabella 1. Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

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

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche."

Il parametro $V_{s, eq}$ (Fig. 1 e Tabella 1) è stato calcolato correlando i dati acquisiti tramite indagine MASW-

HS e HVSR (Allegato A).

In particolare, in corrispondenza degli argini indagati, il modello sismico determinato restituisce un valore di **$V_{s,eq} = V_{s30}$ (nel caso in esame $H=30,0m$)** riferita a p.c., compresa fra di **232 m/s** (MASW-HS1) e 262 m/s (MASW-HS2), che permette di attribuire ai terreni in esame:

- **“la categoria di sottosuolo C”** (Tabella 3.2.II dell’“Aggiornamento delle N.T.C. 2018”):

“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 180m/s e 360m/s.”

Di seguito si riporta il profilo di Vs che ha restituito il **valore di Vs30 più basso**, e che per questo motivo viene considerato più cautelativo.

Il **parametro Vs30** è inoltre stato calcolato per profondità variabili fino -5m da p.c. (Tabella 2).

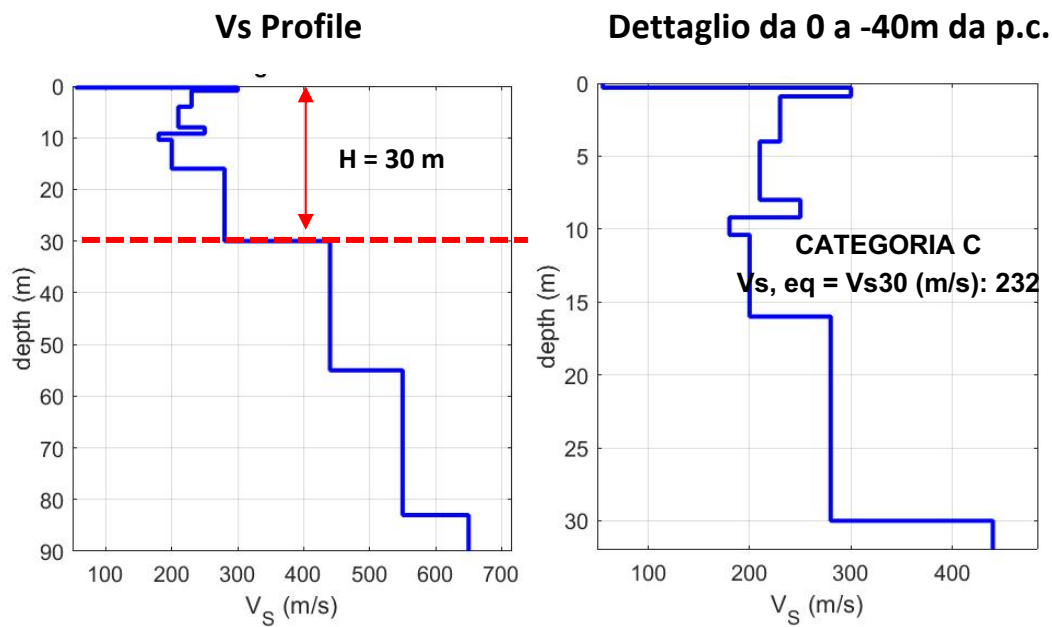


Figura 1. Parametro Vs, eq.

Tabella 1. Stratigrafia sismica e parametri determinati.

MASW - HS1 - HVSR1

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità onde di taglio Vs [m/s]
1	0	0,3	55
2	0,3	0,6	300
3	0,9	3,1	230
4	4,0	4,0	210
5	8,0	1,2	250
6	9,2	1,2	180
7	10,4	5,6	200
8	16,0	14,0	280
9	30,0	25,0	440
10	55,0	28,0	550
11	83,0	Inf.	650

Tabella 2. Calcolo VsH per i primi 2,5 metri dalla profondità di appoggio della fondazione.

DETERMINAZIONE Vs, eq = Vs30		
Identificativo	Profilo sismico MASW-HS1-HVSR	
Profondità appoggio fondazione	Vs, eq = Vs30 [m/s]	Categoria di sottosuolo corrispondente
P.C.	232	C
-0,5m	241	C
-1m	242	C
-1,5m	244	C
-2m	246	C
-2,5m	249	C

4.2 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

La già citata normativa, al capitolo 3.2.2, riporta:

“Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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

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

Nel caso in esame possono essere trascurati gli effetti di amplificazione topografica e la configurazione geometrica ricade nella

“Categoria topografica T1” (Tabella 3.2.III dell’“Aggiornamento delle N.T.C. 2018”).

4.3 FREQUENZA DI RISONANZA IN SITO

Nonostante non sia espressamente contemplata nel D.M. 17/01/2018 (Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni), vengono di seguito presentate alcune considerazioni in merito al fenomeno della interazione dinamica terreno-struttura.

Da recenti studi si è potuto dimostrare come in caso di terremoto, il fenomeno della doppia risonanza possa causare una locale amplificazione in grado di determinare un incremento dell'azione sismica sulla struttura. La possibilità che si verifichi o meno un fenomeno di un accoppiamento struttura-terreno può essere scongiurata comparando la frequenza naturale dei terreni di fondazione con quella dell'edificio presente o in costruzione. Inoltre l'analisi del fenomeno può essere di aiuto in situazioni post-sisma col fine di individuare le anomalie e le variazioni di comportamento sismico degli edifici associate a fenomeni di danneggiamento. A seguito delle indagini HVSR eseguite mediante geofono digitale tricomponente, si è verificato che il sito in esame presenta picchi di buona rilevanza nell'intervallo di frequenza considerato (Tabella 3 e ALLEGATO A).

Picco principale $F_0 \rightarrow 1,0 - 2,5$ Hz

Tabella 3. Picchi delle frequenze di risonanza determinate dalle indagini HVSR negli intervalli di frequenze di interesse ingegneristico.

PICCHI DELLA FREQUENZA IN SITO (da 0,5 a 20 Hz) DA PROVE HVSR						
N°PROVA	CRITERI SESAME <i>Reliable</i> H/V Curve	CRITERI SESAME <i>Clear</i> H/V Peak	PICCHI PRINCIPALE: F_0 SECONDARIO: F_1	FREQUENZA [Hz]	VALORE DEL RAPPORTO H/V	QUALITÀ MISURA
HVSR1	3 su 3	5 su 6	F_0 F_1	1,9 +/- 0,5 ~	2,7 +/- 0,4 ~	B1
HVSR2	3 su 3	4 su 6	F_0 F_1	1,5 +/- 0,5 ~	2,7 +/- 0,5 ~	B1

4.4 ANALISI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

L'Ordinanza PCM 3519 del 27/04/06 fornisce una stima dei valori di A_{gmax} (accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) sul territorio nazionale ed inserisce il territorio comunale in una sottozona caratterizzata da valori di a_g compresi tra **0.025 e 0.050**.

A seguito della D.G.R. 11 Luglio 2014 – n. X/2129 – “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia”, il **Comune di Cislano** rientra in “**Zona sismica 4**”, con un valore di A_{gmax} di **0,043936**.

ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO IN REGIONE LOMBARDIA

La metodologia stabilita dalla Regione Lombardia nel D.g.r. 30 novembre 2011 - n. IX/2616 prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente, organizzati come da Fig. 2 e da Tabella 4.

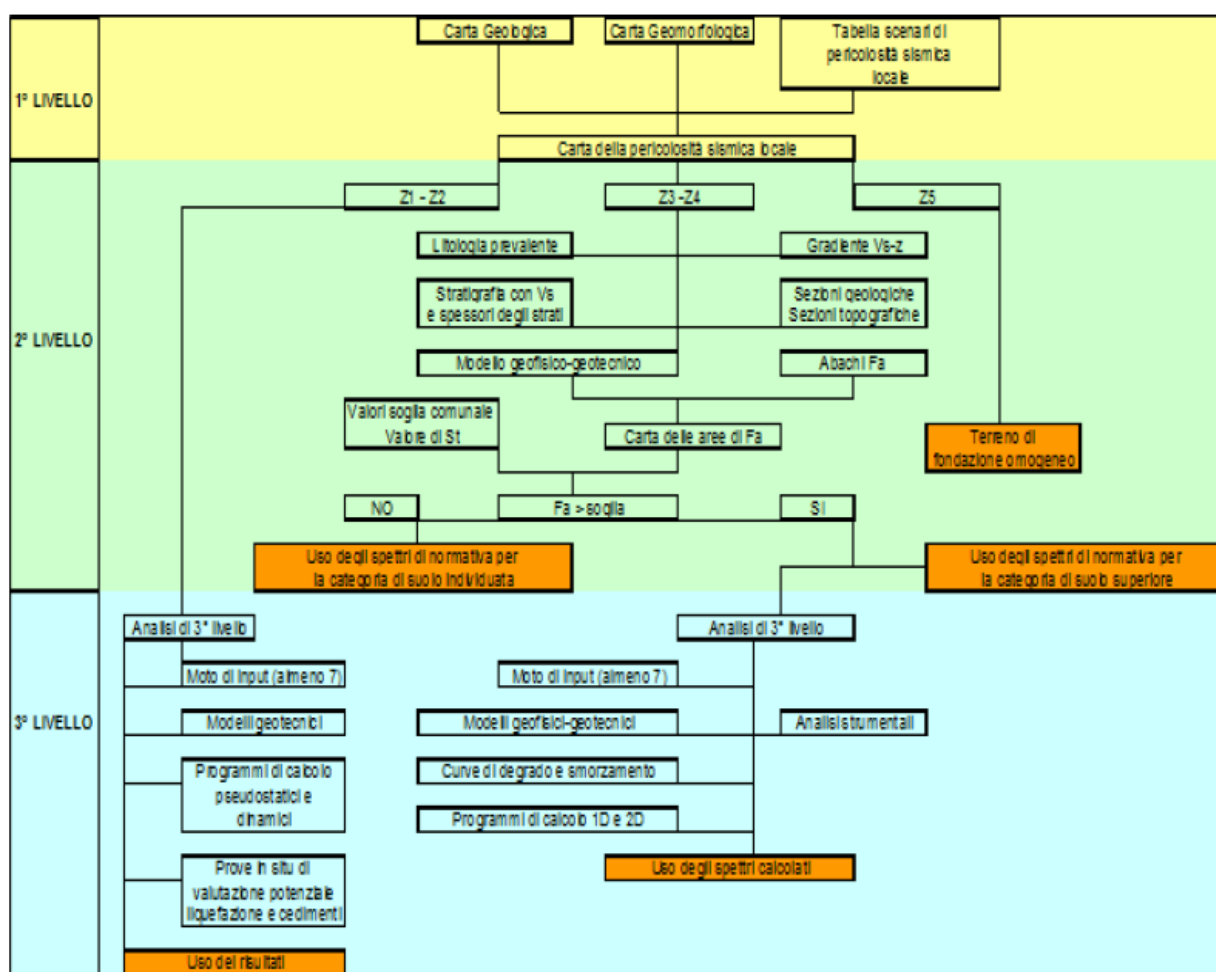


Figura 2. Diagramma di flusso dei dati necessari e dei percorsi da seguire nei tre livelli di indagine.

Tabella 4. livelli di approfondimento e delle fasi di applicazione in funzione della zona sismica di appartenenza.

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1^ livello fase pianificatoria	2^ livello fase pianificatoria	3^ livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2.
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.

PSL = Pericolosità Sismica Locale

I livelli di approfondimento sono di seguito definiti:

- **1° Livello:** riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento) sia dei dati esistenti. Questo livello d'indagine prevede la realizzazione della Carta della pericolosità sismica locale (PSL).
- **2° Livello:** caratterizzazione semi- quantitativa degli effetti di amplificazione attesi nelle aree perimetrate nella Carta di Pericolosità Sismica Locale, che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di Fattore di Amplificazione (Fa)
- **3° livello:** definizione degli effetti di amplificazione tramite indagini ed analisi più approfondite

Dal punto di vista degli “**Scenari di pericolosità sismica locale**” (**TAVOLA 1 del PGT comunale**), l'area di intervento ricade all'interno della:

- **Zona Z4a - Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi**

Dal punto di vista della “**Classe di Fattibilità**” (**TAVOLA 7 del PGT comunale**), l'area di intervento ricade nella:

- **Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni**

Il 2° livello si applica a tutti gli scenari qualitativi suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche Z3 e litologiche Z4) e riguarda le costruzioni il cui uso prevede normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali, industrie con attività non pericolose, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione non provoca situazioni di emergenza.

Obiettivo di tale approfondimento è l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici (utilizzazione o meno dei parametri dello spettro elastico previsti dalla normativa nazionale per la zona sismica di appartenenza).

La procedura consiste in un approccio di tipo semi-quantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (Fa).

In particolare, il 2° livello permette di valutare il grado di protezione fornito dalla normativa nazionale attraverso il confronto diretto tra i valori del fattore di amplificazione Fa determinato dalla procedura e:

- i valori di ST (fattore topografico), definiti dalle NTC-2008, per quanto riguarda le amplificazioni topografiche;

- i valori di soglia comunale, definiti sulla base degli spettri sito-dipendente delle NTC-2008, per quanto riguarda le amplificazioni litologiche

I valori di soglia comunale sono raccolti in una specifica banca dati regionale e sono forniti per ciascun comune e per le diverse categorie di suolo (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s: tali valori rappresentano il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente, in termini energetici, a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

I due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di Fa sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale; in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

Di seguito si riportano i valori di Fa forniti dalla Regione Lombardia per il territorio comunale di **Cislano**:

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO FRA 01,-0,5 s					
COMUNE	Zona Sismica	Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Cislano	3	1,4	1,9	2,2	2,0

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO FRA 05,-1,5 s					
COMUNE	Zona Sismica	Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Cislano	3	1,7	2,4	4,2	3,1

La normativa regionale prevede che la conoscenza degli spessori e delle Vs possa essere ottenuta utilizzando qualsiasi metodo di indagine diretto ed indiretto, che sia in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile, in relazione alla situazione geologica del sito e il più dettagliato possibile nella parte superficiale. In particolare, per l'analisi del fattore di amplificazione (Fa) sito-specifico si è fatto riferimento ai criteri contenuti nell'allegato 5 e nei suoi aggiornamenti, di seguito riepilogati:

1. la scelta della curva di correlazione T/Fa all'interno della scheda di valutazione avviene tramite individuazione dello spessore e della velocità Vs dello strato superficiale: il valore di Vs riportato nella scheda è da intendersi come limite massimo di ogni intervallo (es: per un valore di Vs dello strato superficiale ottenuto dall'indagine pari a 230 m/s è stato scelto il valore 250 m/s nella matrice della scheda di valutazione);
2. in presenza di una litologia non contemplata dalle schede di valutazione allegate si potrà, in questa prima fase, utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine;
3. nel caso esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata ma l'andamento delle Vs con la profondità non ricade nel campo di validità della scheda potrà, in questa prima fase, essere scelta un'altra scheda che presenti l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine;

4. in presenza di alternanze litologiche con inversioni di velocità con la profondità si potrà, in questa prima fase, utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine e si accetteranno anche i casi in cui i valori di Vs escano dal campo di validità solo a causa dell'inversione;
5. in mancanza del raggiungimento del bedrock ($V_s \geq 800$ m/s) con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di Vs con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s;
6. nel caso di presenza contemporanea di effetti litologici (Z4) e morfologici (Z3) si analizzeranno entrambi i casi e si sceglierà quello più sfavorevole.

Il **“Periodo proprio del sito T”** necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)} = 1,1$$

Periodo proprio di sito

dove **hi** e **Vsi** sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello.

Per il sito di interesse, il valore del periodo proprio di sito è di **1,1**.

Sulla base delle conoscenze stratigrafico-sismiche dell'area, e tenuto in considerazione l'andamento delle Vs con la profondità, si è scelto di utilizzare:

- **“Scheda Litologia SABBIOSA”.**

La curva di riferimento utilizzata viene determinata considerando:

- **Velocità VsH del primo strato poggianti su strato con Vs > 500 m/s → 283,9 m/s**
- **Spessore H del primo strato poggianti su strato con Vs > 500 m/s → 43 m**
 - **Curva di riferimento → “NA - Nessuna” - Si attribuisce valore Fa = 1,00**

I valori calcolati col 2° livello di approfondimento utilizzando i grafici di seguito riportati, considerando la **“Categoria sismica di sottosuolo C”**, risultano:

- **Intervallo Fa 0.1-0,5 → 1,00 < 1,9**
F.A. superiore (>) ai valori di soglia definiti per il Comune di **Pancarana** nel PGT vigente.
- **Intervallo Fa 0.5-1,5 → 1,00 < 2,4**
Inferiori (<) ai valori di soglia definiti per il Comune di **Pancarana** nel PGT vigente.

Nell'intervallo sopra evidenziato **si considerano sufficienti le stime di Fa secondo procedura semplificata** indicata nelle N.T.C. 2008 e seguenti, di conseguenza andrà adottata la **Categoria di sottosuolo C**.

Tabella 5. Valori di soglia comunali per i periodi di interesse a confronto con la stima degli effetti litologici, effettuata con i criteri stabiliti dalla Regione Lombardia.

VALORI DI SOGLIA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO C		
PERIODO CONSIDERATO	0,1-0,5	0,5-1,5
VALORE DI SOGLIA COMUNALE	1,9	2,4
STIMA EFFETTI LITOLOGICI	1,00	1,00

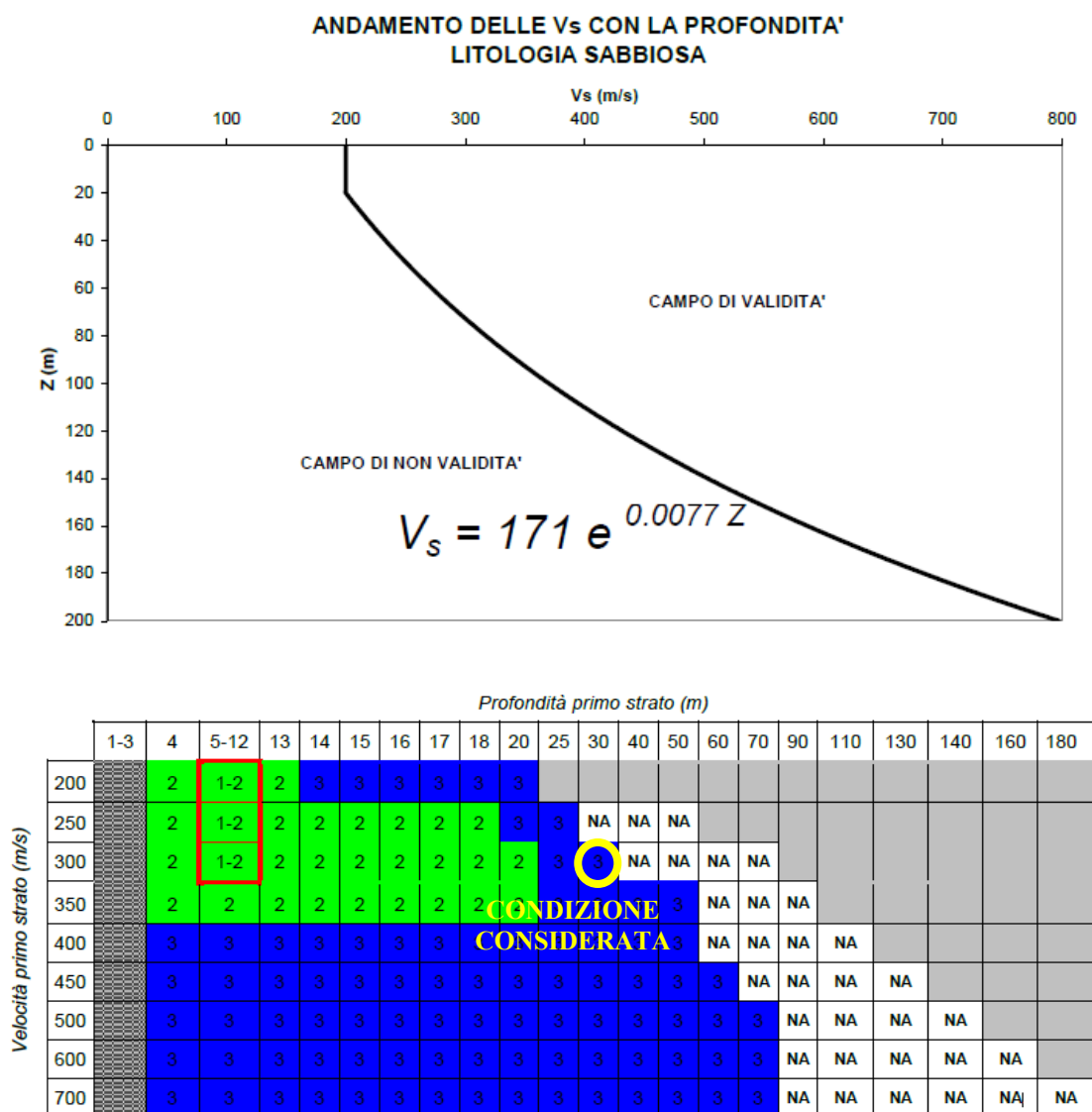
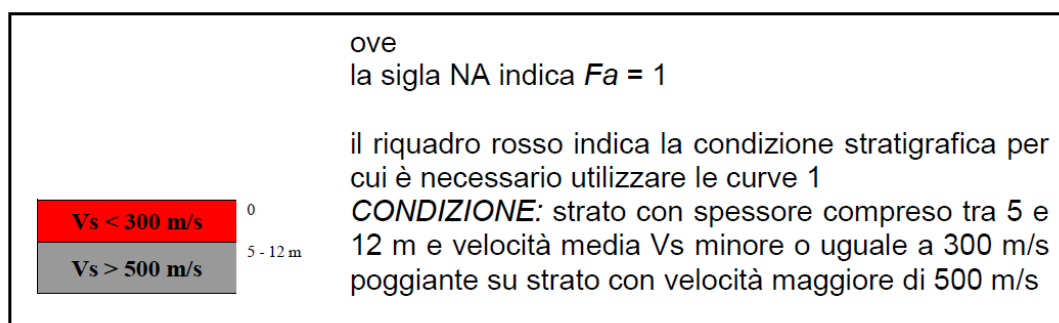
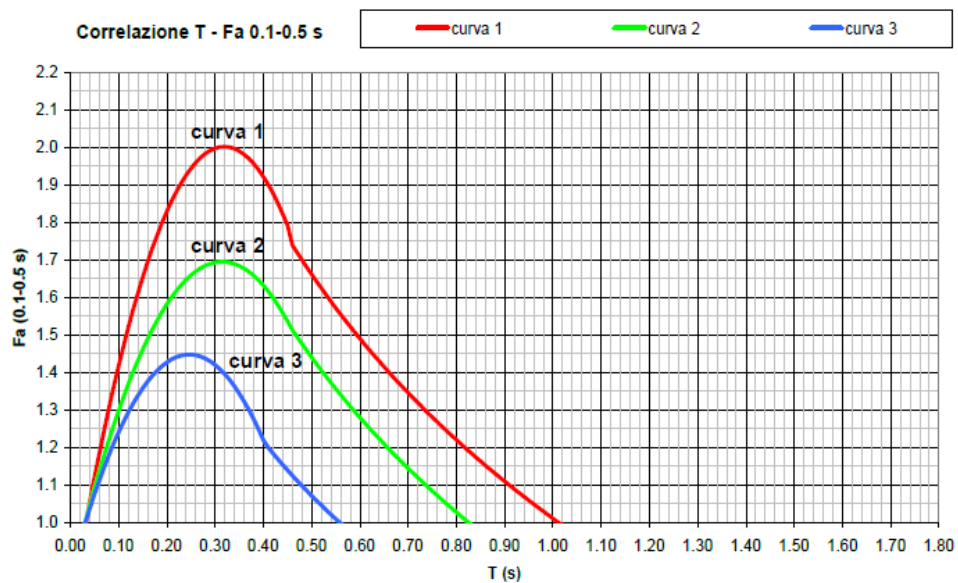


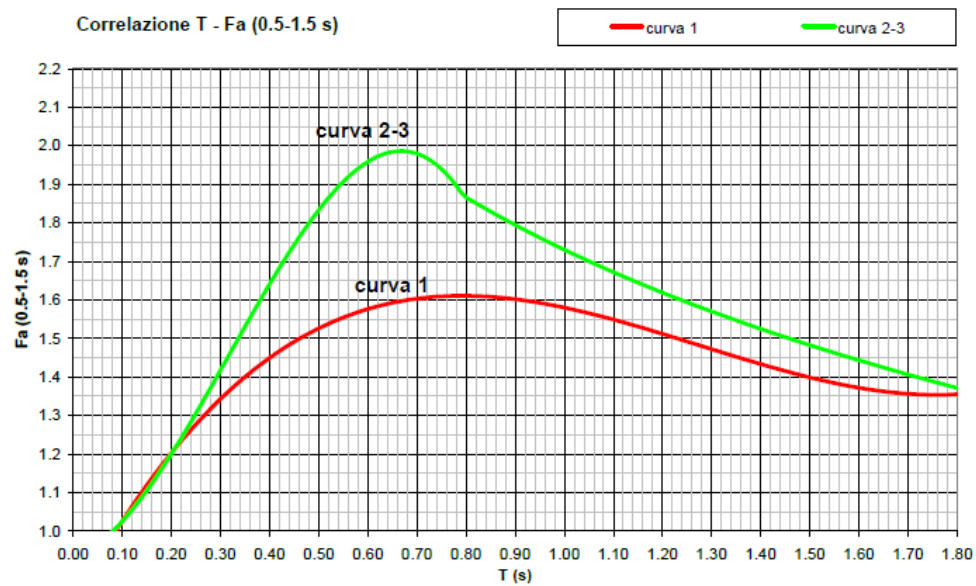
Figura 3. Abaco che permette di individuare, in base al colore, la curva di riferimento per l'individuazione di F_a , grazie all'intersezione della profondità raggiunta dal primo strato e la sua velocità: per il sito in esame si ricade nella condizione contrassegnata dal cerchio giallo.





Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$	$0.50 < T \leq 1.00$	$T > 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$	$0.45 < T \leq 0.80$	$T > 0.80$
	$Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$	$0.50 < T \leq 0.55$	$T > 0.55$
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Figura 4. Curve di riferimento per l'individuazione di Fa in funzione dei vari periodi T, per valori di Fa tra 0,1 e 0,5.



Curva			
1		0.08 ≤ T ≤ 1.80	
		$Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$	
2	3	0.08 ≤ T < 0.80	0.80 ≤ T ≤ 1.80
		$Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$	$Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

Figura 5. Curve di riferimento per l'individuazione di Fa in funzione dei vari periodi T, per valori di Fa tra 0,5 e 1,5.

4.5 ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)

Sismicità di base del Comune di Cisliano

Secondo la zonizzazione sismogenetica del territorio nazionale redatta da INGV, il Comune di **Cisliano** dista circa 50 km a NW dalla:

- **Zona Sismogenetica 911**", che comprende il cosiddetto "Arco di Pavia" e le strutture ad esso associate, dove la sismicità sembra evidenziare l'andamento del fronte compressivo sepolto più avanzato (a ridosso del Po), caratterizzata da terremoti di magnitudo bassa, che si verificano a profondità comprese tra **8 e 12 km**.

Consultando il sito dell'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>) si può accedere ad un sistema che consente di visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05°.

Le mappe riportano due distinti parametri dello scuotimento:

- **a(g)** (accelerazione orizzontale massima del suolo);
- **Se(T)** (Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo T, in accelerazione).

Relativamente al Comune di Cisliano tali mappe (Fig. 6) riportano valori congruenti con quelli riportati nel D.G.R 11 Luglio 2014 – n. X/2129 – "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia", che attribuisce al Comune di **Cisliano** un valore di accelerazione di picco al suolo (cioè per $T = 0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g a_{refg} , con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) di **0,043936 g**.

Dalla carta si evince che il territorio del Comune di **Cisliano** ricade in un areale in cui si possono verificare terremoti caratterizzati da un'accelerazione massima del suolo (a_{max}) pari a **0.025÷0.050 g**.

Azioni sismiche di progetto

Come richiesto da NTC 2008, per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, a partire dalla pericolosità sismica di base, si è utilizzato il software GEOSTRU, nella quale sono stati introdotti alcuni parametri di calcolo che dovranno comunque essere verificati dal progettista strutturale.

Nel caso in esame si assume:

Classe d'uso: II;

Coefficiente d'uso C_u : 1,0;

Vita nominale dell'opera V_n : ≥ 50 anni;

quindi, periodo di riferimento **V_r : ≥ 50 anni**

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali, in funzione dei tre parametri definiti in corrispondenza dei punti del reticolo di riferimento:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;

- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Vengono quindi valutate le diverse probabilità di superamento in 50 anni per periodi di ritorno variabili tra 30 e 2475 anni.

In particolare, la RSL è stata calcolata a diversi **Stati Limite** per i seguenti **Tempi di Ritorno**:

- **Stato Limite d'Esercizio:**
 - SLD → Tr = 50 Anni.
- **Stati Limite Ultimo:**
 - SLV → Tr = 475 Anni;
 - SLC → Tr = 975 Anni.

Il sito in esame, non ricade nei nodi del reticolo di riferimento, pertanto i valori dei parametri a_g , F_0 , e T_c^* (Tabella 6) sono stati determinati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

Tabella 6 - Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per i tempi di ritorno associati a ciascun stato limite e coefficienti sismici determinati per il sito in esame (Lat. e Long. In Coordinate WGS84 e ED50).

Parametri sismici introdotti					
Categoria Sottosuolo		C			
Categoria Topografica		T1			
Periodo di riferimento		50 anni			
Coeff. Cu		1,0			

WGS84: Lat 45.450833 - Lng 8.968869

ED50: Lat 45.451770 - Lng 8.969933

MappaSatellite

☒ Etichette



Stati Limite		Probabilità di superamento	Tempo di ritorno T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T_c^* (s)
Stati limite d'esercizio	SLO	81%	30	0,017	2,543	0,160
	SLD	63%	50	0,021	2,521	0,186
Stati limite ultimi	SLV	10%	475	0,042	2,666	0,286
	SLC	5%	975	0,050	2,732	0,305

COEFFICIENTI SISMICI DETERMINATI				
	SLO:	SLD:	SLV:	SLC:
Amplificazione stratigrafica S_s	1,50	1,50	1,50	1,50
Coeff. funz. Categoria C_c	1,92	1,83	1,59	1,55
Amplificazione Topografica S_t	1,0	1,0	1,0	1,0
Componente Orizzontale K_h	0,004	0,006	0,011	0,013
Componente verticale K_v	0,002	0,003	0,006	0,007
Acceleraz. Max attesa in sito A_{max} :	0,244	0,302	0,612	0,735
Beta:	0,180	0,180	0,180	0,180

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

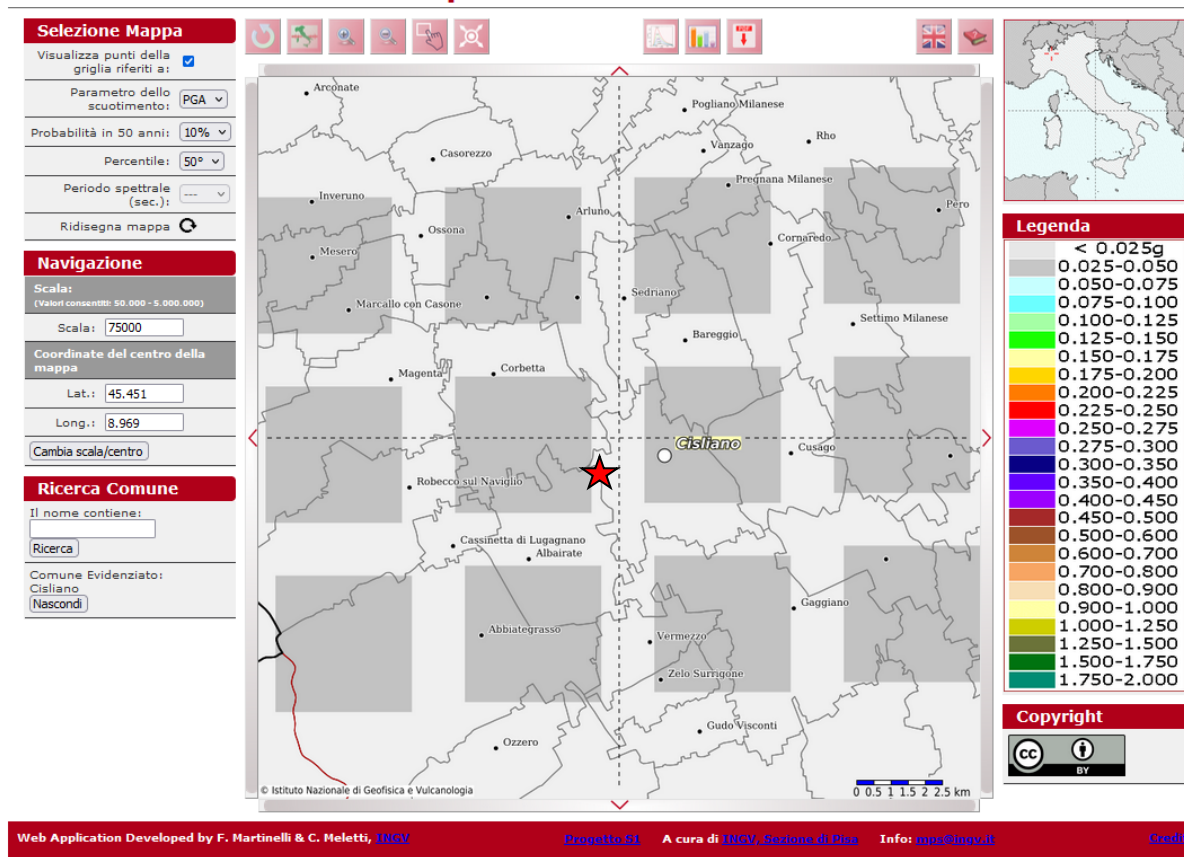
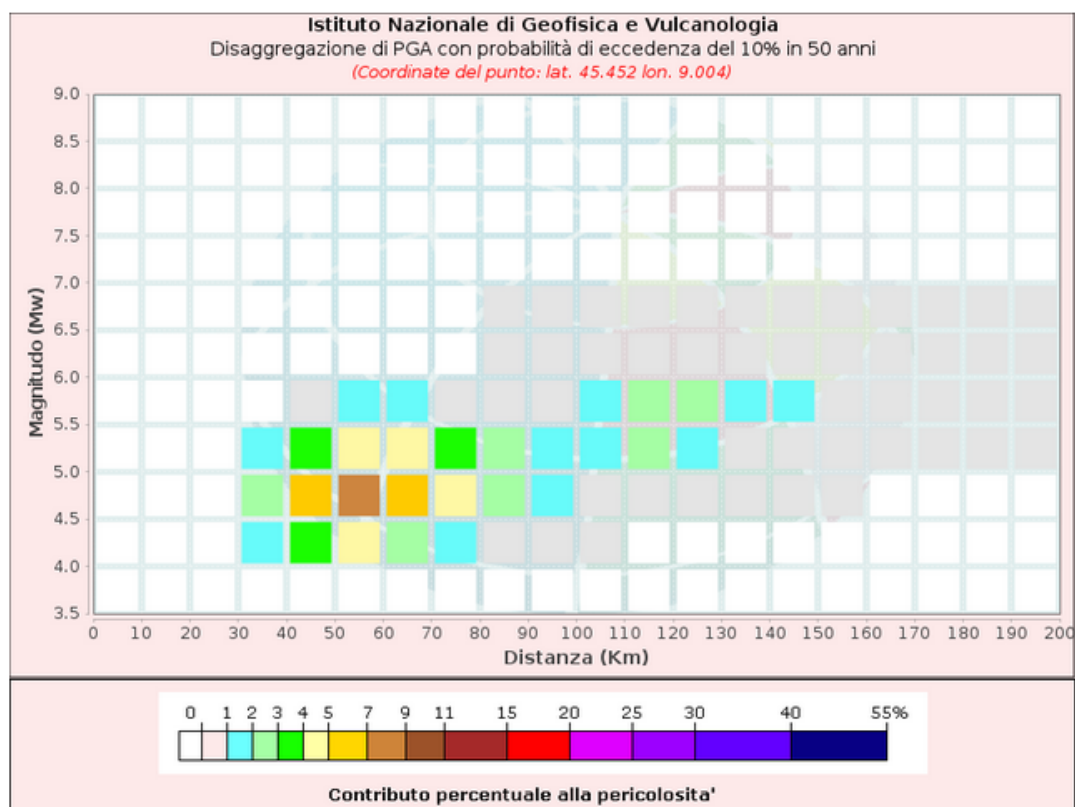


Figura 6a - Mappa di pericolosità sismica per il territorio del Comune di Cislano espressa in termini di $a(g)$ e probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni ($TR = 475$ anni) (INGV); gli assi sono centrati sul sito di interesse.



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 45.452 lon. 9.004)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	1.2200	2.3200	1.2800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	3.1900	6.0600	3.3800	0.4620	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	4.0000	8.0800	4.8100	1.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	2.8500	6.6900	4.4900	1.2300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	1.5200	4.1200	3.1900	0.9500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.6310	2.3100	2.1400	0.6850	0.0126	0.0018	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.2060	1.4600	1.8900	0.9930	0.2250	0.0324	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0271	0.8810	1.8100	1.4700	0.5510	0.0823	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.5030	2.1100	2.5400	0.9960	0.1280	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.1780	1.4800	2.1100	0.9050	0.1230	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0464	0.9240	1.5600	0.7390	0.1080	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0101	0.5590	1.1700	0.5800	0.0888	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0004	0.3250	0.9080	0.4850	0.0715	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.1850	0.7280	0.5160	0.0579	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.1010	0.5700	0.5240	0.0463	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0568	0.4910	0.5730	0.0336	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0267	0.4050	0.5680	0.0262	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.12	82.1	1.81

Figura 6b: Contributi alla pericolosità per intervalli di magnitudo e distanza epicentrale (INGV)

Dati di input per l'analisi di RSL: accelerogrammi

Gli accelerogrammi utilizzati per uno studio di RSL dovrebbero essere rappresentativi della sismicità del sito, prendendo in considerazione alcuni parametri fondamentali quali:

- Caratteristiche sismogenetiche della sorgente (meccanismo focale);
- Magnitudo;
- Distanza epicentrale;
- Sito di registrazione (categoria di sottosuolo sismico di appartenenza, preferibilmente cat. A);
- Massima accelerazione orizzontale attesa al sito.

In uno studio di RSL possono essere utilizzati accelerogrammi sintetici e/o accelerogrammi naturali; questi ultimi sono dotati di un più realistico contenuto in frequenze e numero di cicli, conservando le caratteristiche specifiche del sisma in termini di “Intensità I” nel sito di registrazione, “Magnitudo M” dell'evento, e “Distanza d” dal sito all'epicentro tramite la legge di attenuazione, pertanto vengono generalmente preferiti ai primi. L'operazione che consente di stabilire quali sono i “range” caratteristici dei parametri sismici che concorrono alla definizione della pericolosità sismica (con metodo probabilistico) di un determinato sito, prende il nome di “Disaggregazione”.

Dal sito dell'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>), oltre alla “Mappa di pericolosità sismica” (Fig. 2a), per il territorio del Comune di **Cislano**, è possibile estrapolare il relativo grafico della “Disaggregazione” (**Fig. 6b**).

Nel caso in esempio si può notare come la massima percentuale, pari al **8,08%** sia definita per terremoti di magnitudo compresa fra **4,5-5 M**, nel range di distanza tra **50-60 km**.

Gli accelerogrammi naturali possono essere selezionati da archivi nazionali e internazionali grazie:

- all'ausilio del software gratuito REXEL (Iervolino et al., 2009);
- ad applicativi web-gis (SEISM-HOME della Fondazione EUCENTRE di Pavia);

che consentono di reperire dei set di accelerogrammi spettro compatibili secondo quanto indicato nelle “Norme Tecniche delle Costruzioni - NTC2008 e aggiornamento NTC2018”.

Nel caso in esame, sono stati utilizzati n.7 accelerogrammi spettro compatibili estraendoli con l'ausilio del software REXEL (Iervolino et al., 2009) per ciascun tempo di ritorno considerato.

Gli accelerogrammi sono quindi stati inseriti nel software di elaborazione per il calcolo della “**LSR 2D**” - **Version 4.5.1 della STACEC**) già opportunamente scalati rispetto al valore di PGA al bedrock attesa in sito, considerando un sottosuolo rigido affiorante (Cat. A) e **TR 50, 475 e 975 anni** (Fig.7). In Fig. 8 sono rappresentati gli spettri di pseudoaccelerazione ricavati dalle relative settuple di accelerogrammi che fanno riferimento ai diversi tempi di ritorno. In **Tabella 7** (a; b ; c) si riportano alcune informazioni relative agli accelerogrammi utilizzati per i vari Tempi di ritorno.

Tabella 7a - Dataset informativo relativo ai 7 accelerogrammi utilizzati nello studio di risposta sismica locale per gli SLD con Tr di 50 anni.

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	EC8 Site class
892	183	SCN	L'Aquila Earthquake		5.6	Normal	520.389	A
393	100	PTL	UMBRIA-MARCHE 2ND SHOCK	26/09/1997	6	Normal	563.783	A
105	28	BRC	FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK	15/09/1976	5.9	Thrust	501.405	A
1106	219	SGV	Golfo_di_Taranto	17/04/2006	4.3	n/a	517.452	A
1212	233	SGV	Crotonese	01/08/2007	4.1	n/a	510.185	A
707	169	SAR	TIRRENO CENTRALE	03/03/2004	4.6	n/a	510.158	A
885	183	LSS	L'Aquila Earthquake		5.6	Normal	514.837	A
mean:					5.157142857		51.97441429	

Tabella 7b - Dataset informativo relativo ai 7 accelerogrammi utilizzati nello studio di risposta sismica locale per gli SLV con Tr di 475 anni.

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	EC8 Site class
336	89	GRR	EAST SICILY	13/12/1990	5.6	Strike-slip	524.968	A
889	183	PSC	L'Aquila Earthquake		5.6	Normal	580.448	A
393	100	PTL	UMBRIA-MARCHE 2ND SHOCK	26/09/1997	6	Normal	563.783	A
257	69	PGL	GUBBIO EARTHQUAKE	29/04/1984	5.6	Normal	544.388	A
885	183	LSS	L'Aquila Earthquake		5.6	Normal	514.837	A
889	183	PSC	L'Aquila Earthquake		5.6	Normal	580.448	A
257	69	PGL	GUBBIO EARTHQUAKE	29/04/1984	5.6	Normal	544.388	A
mean:					5.65714286		55.0465714	

Tabella 7c - Dataset informativo relativo ai 7 accelerogrammi utilizzati nello studio di risposta sismica locale per gli SLC con Tr di 975 anni.

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	EC8 Site class
739	176	CNF	APP. PARMENSE	23/12/2008	5.4	Predominately thrust with strike-slip component	454.487	A
341	89	VZZ	EAST SICILY	13/12/1990	5.6	Strike-slip	515.436	A
341	89	VZZ	EAST SICILY	13/12/1990	5.6	Strike-slip	515.436	A
393	100	PTL	UMBRIA-MARCHE 2ND SHOCK	26/09/1997	6	Normal	563.783	A
242	60	TDG	n/a	14/02/1981	4.9	Predominately thrust with strike-slip component	453.081	A
257	69	PGL	GUBBIO EARTHQUAKE	29/04/1984	5.6	Normal	544.388	A
652	158	SCV	MOLISE 2ND SHOCK	01/11/2002	5.7	Strike-slip	484.281	A
mean:					5.542857143		50.44131429	

ACCELEROGRAMMI DI INPUT → SLD con Tr 50 anni
DATABASE REXEL
SCALATI $ag/g = 0,021$

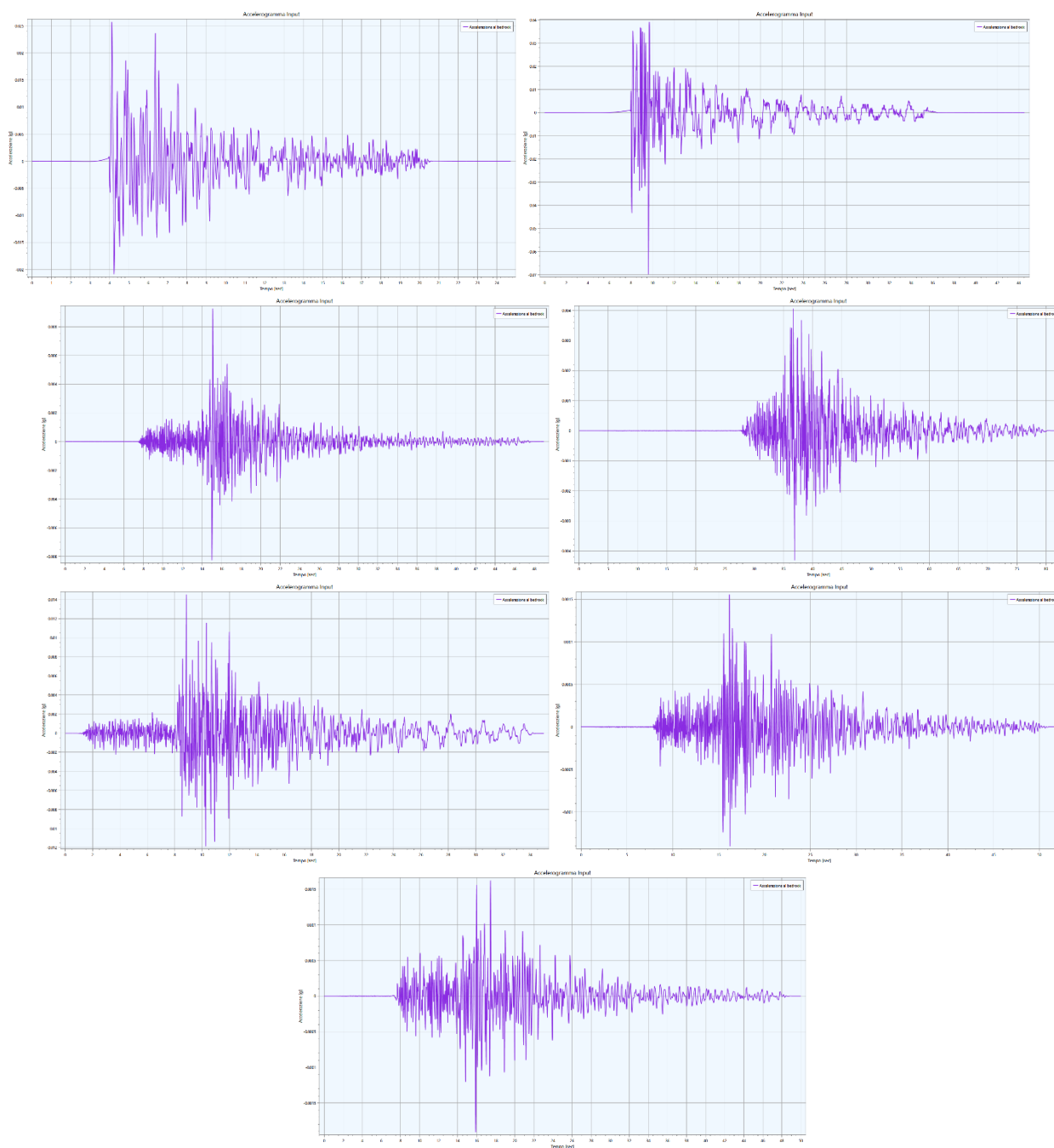


Figura 7a - Serie temporali di input per Tempi di ritorno di 50 anni che vengono poi riscalate in funzione della P.G.A.0 attesa al bedrock sismico (sottosuolo di Cat. A).

ACCELEROGRAMMI DI INPUT → SLD con Tr 475 anni
DATABASE REXEL
SCALATI ag/g = 0,042

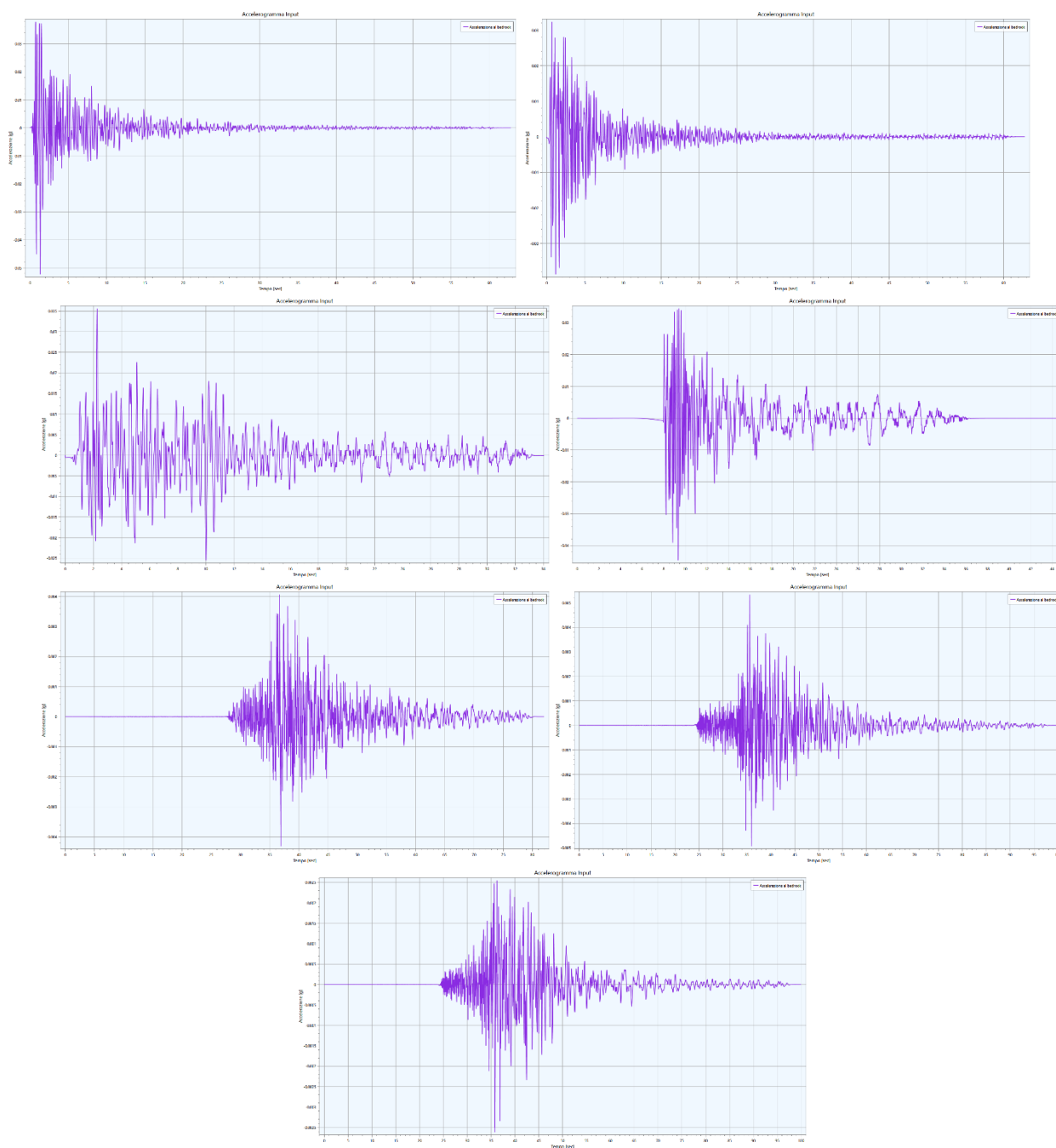


Figura 7b - Serie temporali di input per Tempi di ritorno di 475 anni che vengono poi riscalate in funzione della P.G.A.0 attesa al bedrock sismico (sottosuolo di Cat. A).

ACCELEROGRAMMI DI INPUT → SLD con Tr 975 anni
DATABASE REXEL
SCALATI ag/g = 0,050

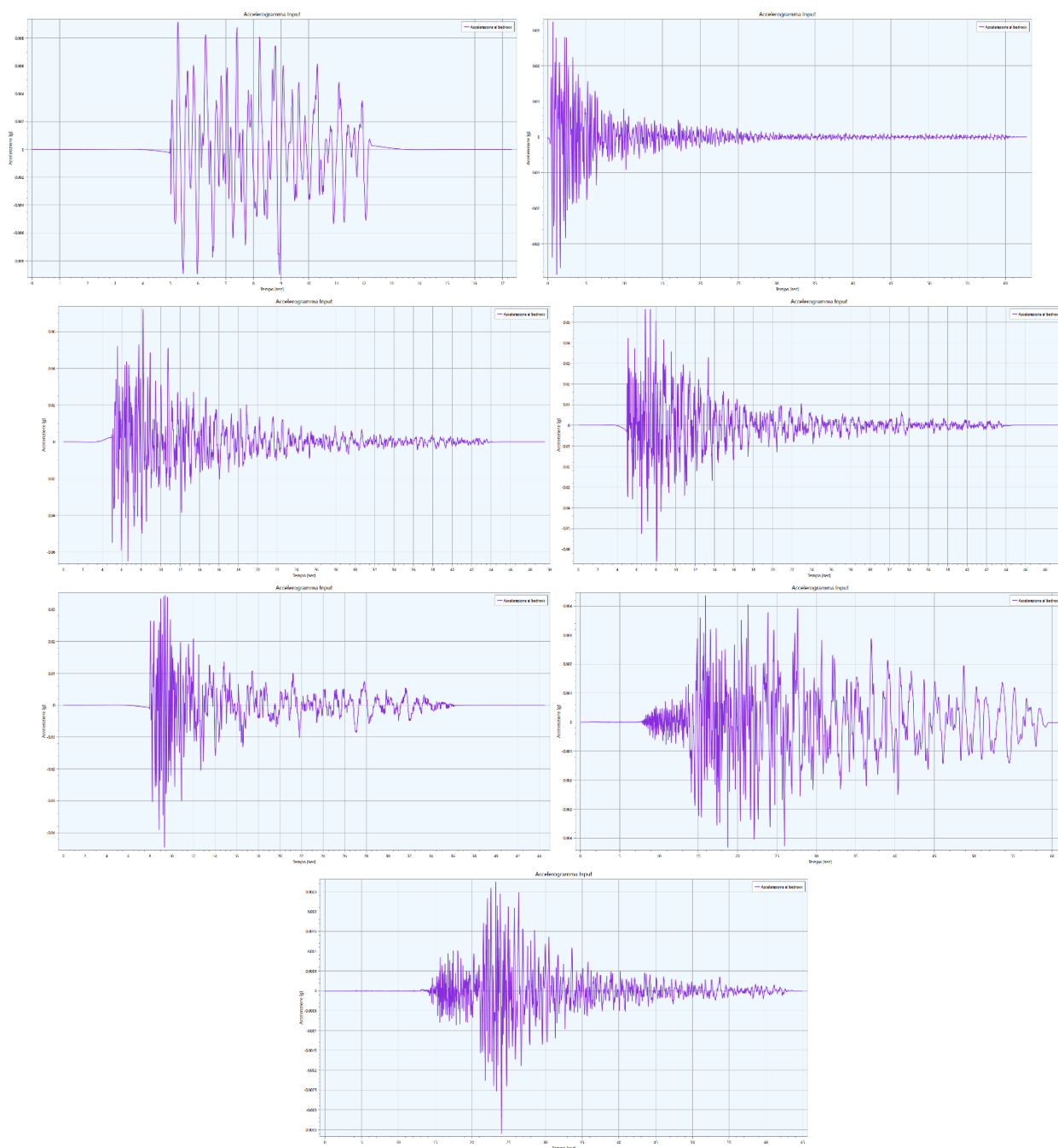
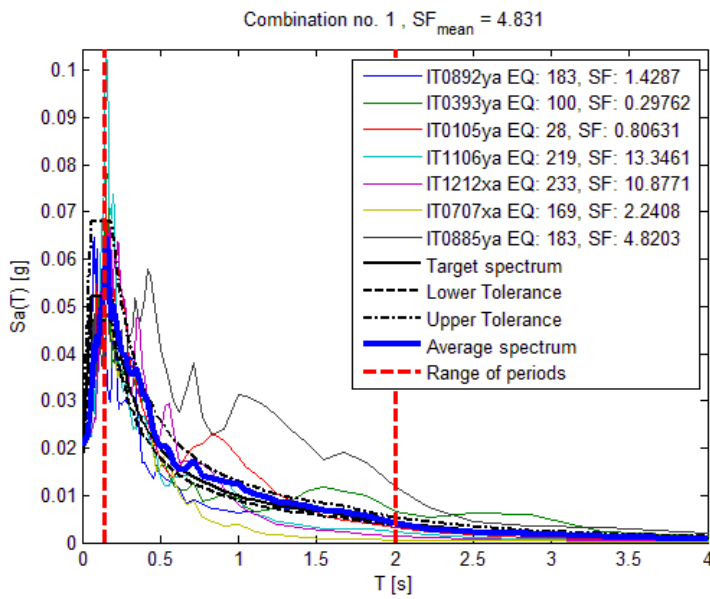


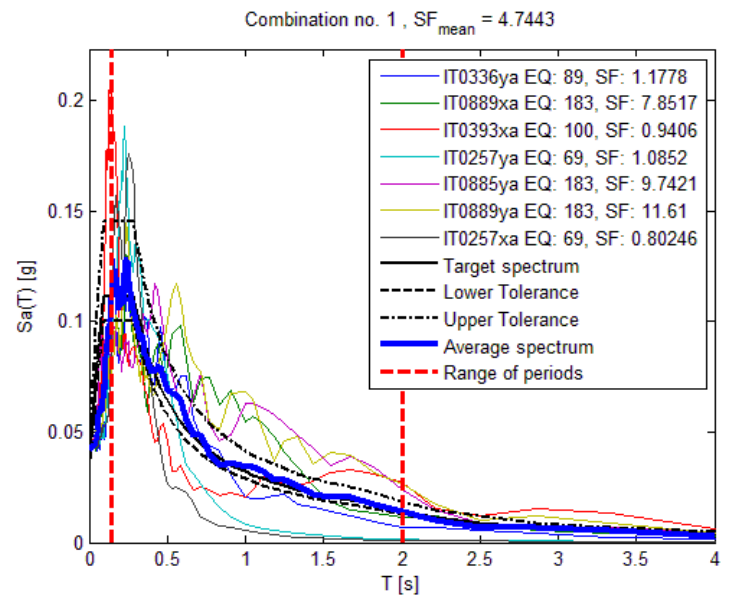
Figura 7c - Serie temporali di input per Tempi di ritorno di 975 anni che vengono poi riscalate in funzione della P.G.A.0 attesa al bedrock sismico (sottosuolo di Cat. A).

SPETTRI DI INPUT

Tr 50



Tr 475



Tr 975

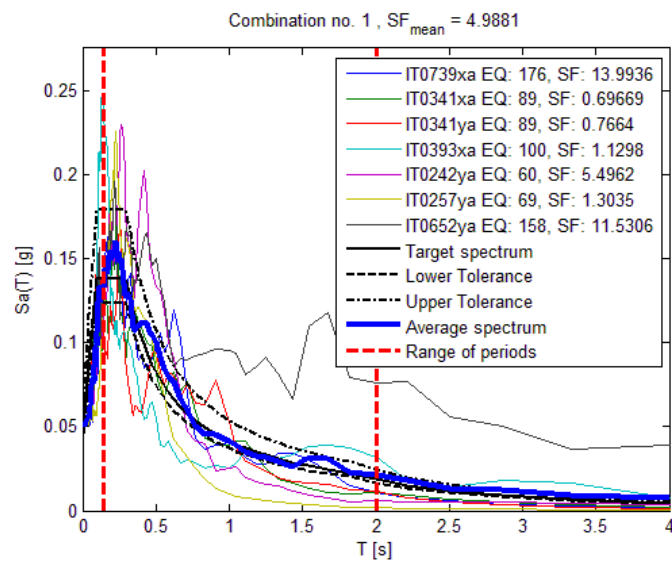


Figura 8 - Schermate di Input tratte dal software "REXEL", dove vengono presentate le serie di spettri in pseudoaccelerazione relativi alle settuple di accelerogrammi di input per i 3 tempi di ritorno considerati (Tr di 50 anni per gli SLD; Tr di 475 anni per gli SLV e Tr di 975 per gli SLC).

Dati di input per l'analisi di RSL: modello sismo-stratigrafico

Attraverso le prove geotecniche e sismiche eseguite in sito (vedi allegati) e all'analisi dei dati estrapolati dal database cartografico relativi a pozzi e carotaggi realizzati nell'intorno dell'area d'interesse, si è ottenuto il modello sismo-stratigrafico semplificato riportato in Fig. 9.

Attraverso il software di calcolo **“LSR 2D - Versione: 4.5.1”**, è stata quindi calcolata la risposta dinamica monodimensionale (1D), optando per una analisi equivalente lineare (EQL), basata su un modello di propagazione lineare delle onde in cui le proprietà dinamiche del terreno, quali “Modulo di taglio G” e “Rapporto di smorzamento D”, vengono fatti variare in funzione del livello deformativo.

Pertanto, a ciascuno strato definito nel modello sismo-stratigrafico di Fig. 9, è stata associata una coppia di curve che definisce il comportamento non lineare del terreno in funzione di un aumento percentuale della deformazione di taglio:

- la curva di decadimento del Modulo di rigidezza al taglio G alle basse deformazioni espresso come rapporto G/G_0 (Fig. 10a);
- la curva di variazione dello smorzamento D (Fig. 10b).

Creazione guidata modello 1D

Generale

▸ **Varie**

Larghezza base [m] **1.00**

▸ **Caratteristiche bedrock**

ρ	[Kg/m ³]	2200.00
Vs	[m/s]	650.00
Vp	[m/s]	1300.00

Strati

	Strato	Spessore [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	Ni	Modello geotecnico	Colore
1	Strato (1)	0.30	1490.00	55.00	0.35	Ghiaie - ROLLINS et Alii	
2	Strato (2)	0.60	1950.00	300.00	0.30	Ghiaie - ROLLINS et Alii	
3	Strato (3)	3.10	1880.00	230.00	0.32	Ghiaie - ROLLINS et Alii	
4	Strato (4)	4.00	1850.00	210.00	0.33	COMANO_Modificato_Yokota - a1c	
5	Strato (5)	1.20	1900.00	250.00	0.44	Ghiaie - ROLLINS et Alii	
6	Strato (6)	1.20	1810.00	180.00	0.29	AIPO - CISLIANO_Sgrigliatore - Sa	
7	Strato (7)	5.60	1840.00	200.00	0.34	AIPO - CISLIANO_Sgrigliatore - Sa	
8	Strato (8)	14.00	1930.00	280.00	0.30	AIPO - CISLIANO_Sgrigliatore - Sa	
9	Strato (9)	25.00	2050.00	440.00	0.25	AIPO - CISLIANO_Sgrigliatore - Sa	
10	Strato (10)	28.00	2110.00	550.00	0.22	AIPO - CISLIANO_Sgrigliatore - Sa	

OK Annulla

Figura 9 - Schermate di Input tratte dal software “LSR 2D”, dove viene definito il modello sismo-stratigrafico del sito di interesse: ad ogni singolo strato viene attribuito un valore rappresentativo delle Vs e del Peso di volume; inoltre ad ogni intervallo stratigrafico viene assegnata la relativa coppia di curve di decadimento del modulo di taglio G/G_0 e dello smorzamento D(%).

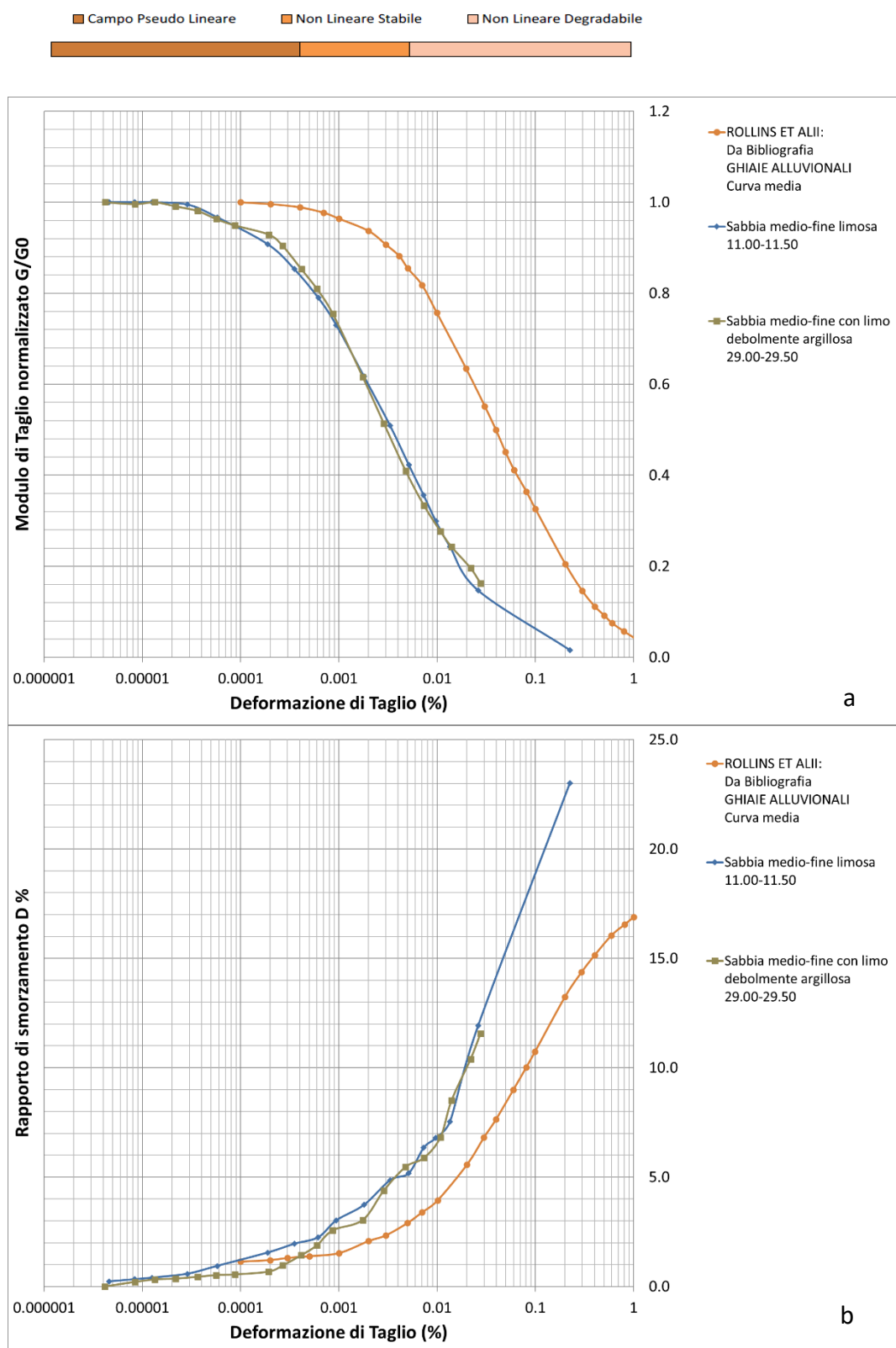


Figura 10 - Curve di decadimento espresse come rapporto G/G_0 e curve dello smorzamento $D(\%)$ entrambe in funzione dello sforzo di taglio applicato, associate ad ogni singolo strato che definisce il modello sismo-stratigrafico di input (Fig.9).

Grafici di output della RSL

A seguito della modellizzazione numerica e dei grafici di output ottenuti dalla simulazione in LSR 2D, possono essere ricavate diverse informazioni, che permettono di descrivere in maniera dettagliata il comportamento sismico della colonna stratigrafica soprastante il bedrock di riferimento.

I parametri di output vengono di seguito elencati:

- Arias Intensity Profile → Intensità di Arias;
- Damping Ratio → Rapporto di Smorzamento;
- Dissipated Energy Profile → Profilo di energia dissipata;
- Final Shear-Wave Velocity Profile → Velocità finale delle onde di taglio;
- Initial Shear-Wave Velocity Profile → Velocità iniziale delle onde di taglio;
- P.G.A → Peak Ground Acceleration Profile;
- P.G.D. → Peak Ground Displacement Profile;
- Maximum Error Profile → Massimo errore;
- Maximum Shear-Strain Profile → Massima deformazione di taglio;
- Maximum Shear-Stress Profile → Massimo modulo di taglio
- Peak Ground Velocity Profile → Massima Velocità per ogni profondità;
- Shear-Modulus Profile → Modulo di taglio;
- Stress Ratio Profile → Rapporto fra Massimo sforzo di taglio e Massimo sforzo efficace;
- Stress Reduction Coefficient (r_d) Profile → Coefficiente di riduzione dello sforzo di taglio r_d
- Vertical Total Stress Profile → Pressione vertical totale;
- Vertical Effective Stress Profile → Pressione verticale efficace;
- Time Series → le serie temporali in accelerazione, spostamento, velocità, deformazione di taglio e sforzo di taglio alle profondità desiderate;
- Acceleration Response Spectrum → Gli spettri di risposta in accelerazione;
- Fourier Amplitude Spectrum → Lo spettro di Fourier in ampiezza;
- Acceleration Transfer Function → La funzione di trasferimento dell'accelerazione → Rapporto degli spettri di Fourier delle accelerazioni;
- Spectral Ratio → Il Rapporto Spettrale (rapporto fra spettri di risposta);
- Strain Transfer Function → La funzione di trasferimento delle deformazioni ovvero il Rapporto fra spettro di Fourier delle deformazioni e spettro di Fourier delle accelerazioni;

Verranno prese in considerazione soltanto alcune delle informazioni ricavate dallo studio di RSL, in particolare quelle che possono avere una ricaduta più sostanziale ai fini progettuali dell'opera.

SLD per TR 50 anni

1A) P.G.A. Profile - Peak Ground Acceleration Profile

Definisce la massima accelerazione per ogni profondità, in unità di gravità.

Consente di valutare l'entità dell'amplificazione locale, intesa come rapporto fra il valore della P.G.A. in superficie e il valore della P.G.A.0 al bedrock (sottosuolo di categoria A) (Fig. 11).

Si rammenta che per il Comune di **Cislano** si partiva da una a_{gmax} al suolo rigido pari a **0,021g**.

Gli esiti mostrano le variazioni fra le risposte del modello di sottosuolo in relazione ai diversi input sismici assegnati: il rapporto PGA/PGA0 più cautelativo al suolo (cioè il più elevato) è ricavato dall'input:

- **IT0892ya** **FA_{max} = 1,45**

mentre il valore F.A. medio definito su n.7 accelerogrammi è:

FA medio 1,31

INPUT SISMICO	PGA bedrock	Pga Superficie	F.A.
IT0105ya	0,021	0,0237	1,12
IT0393ya	0,021	0,0270	1,28
IT0707xa	0,021	0,0285	1,35
IT0885ya	0,021	0,0296	1,41
IT0892ya	0,021	0,0306	1,45
IT1106ya	0,021	0,0247	1,17
IT1212xa	0,021	0,0284	1,35
Media	0,021	0,0275	1,31

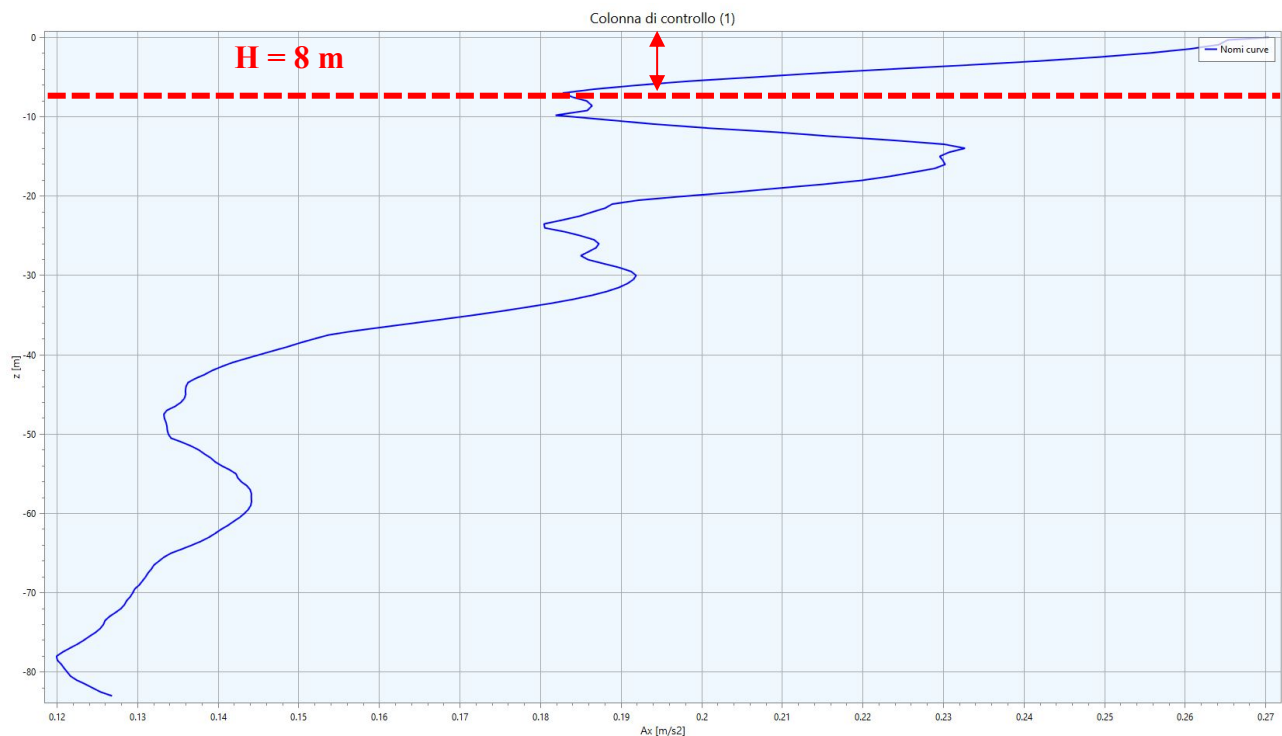


Figura 11 - P.G.A. Profile: si può notare un incremento rilevante della PGA in corrispondenza degli orizzonti più superficiali (da circa 8m di profondità fino a p.c.).

2A) Housner Intensity - Intensità di Housner

L'intensità di Housner (o intensità dello spettro di risposta) (Fig 12a; 12b; 12c) viene definita come segue:

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV(T_0, \xi) dT_0$$

dove PSV è lo spettro di risposta di pseudo-velocità, **T** e **ξ** sono rispettivamente il **periodo** e lo **smorzamento strutturale**.

Questo parametro di severità del moto sismico è correlato al danno potenziale atteso per effetto del terremoto in esame, dal momento che la maggior parte delle strutture hanno un periodo fondamentale di vibrazione nell'intervallo compreso tra 0.1 e 2.5 secondi. Dimensionalmente l'intensità di Housner è uno spostamento (cm).

L'intensità di Housner relativa a ciascun intervallo di interesse, calcolata agli **SLD con Tr di 50 anni**, è presentata in Fig. 12a; 12b e 12c.

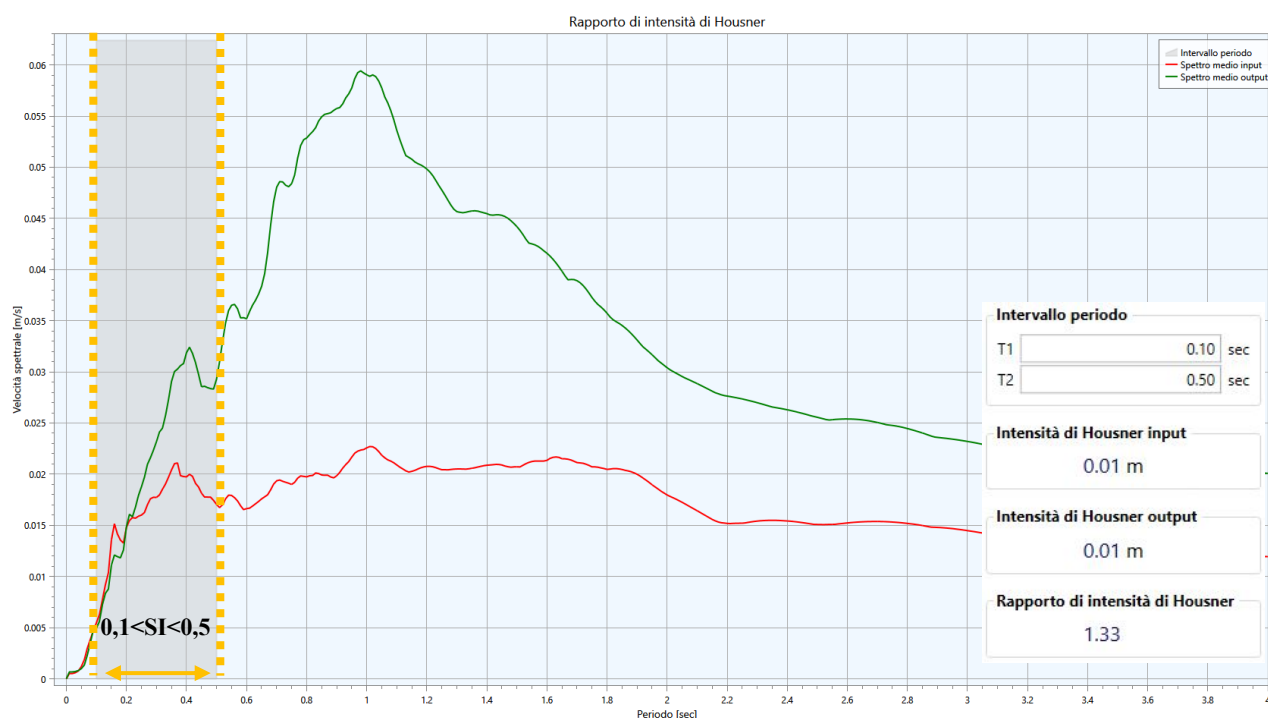


Figura 12a - Intensità di Housner fra gli intervalli 0,1 < SI < 0,5.

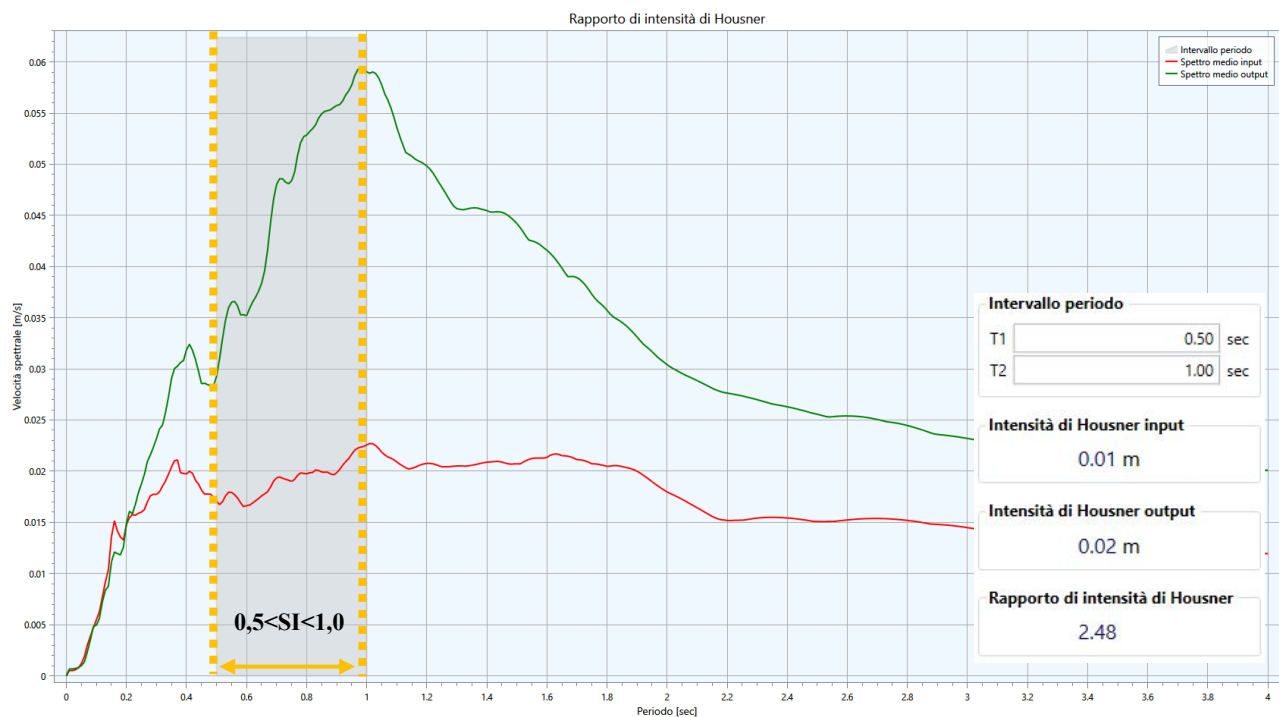


Figura 12b - Intensità di Housner fra gli intervalli $0,5 < SI < 1,0$.

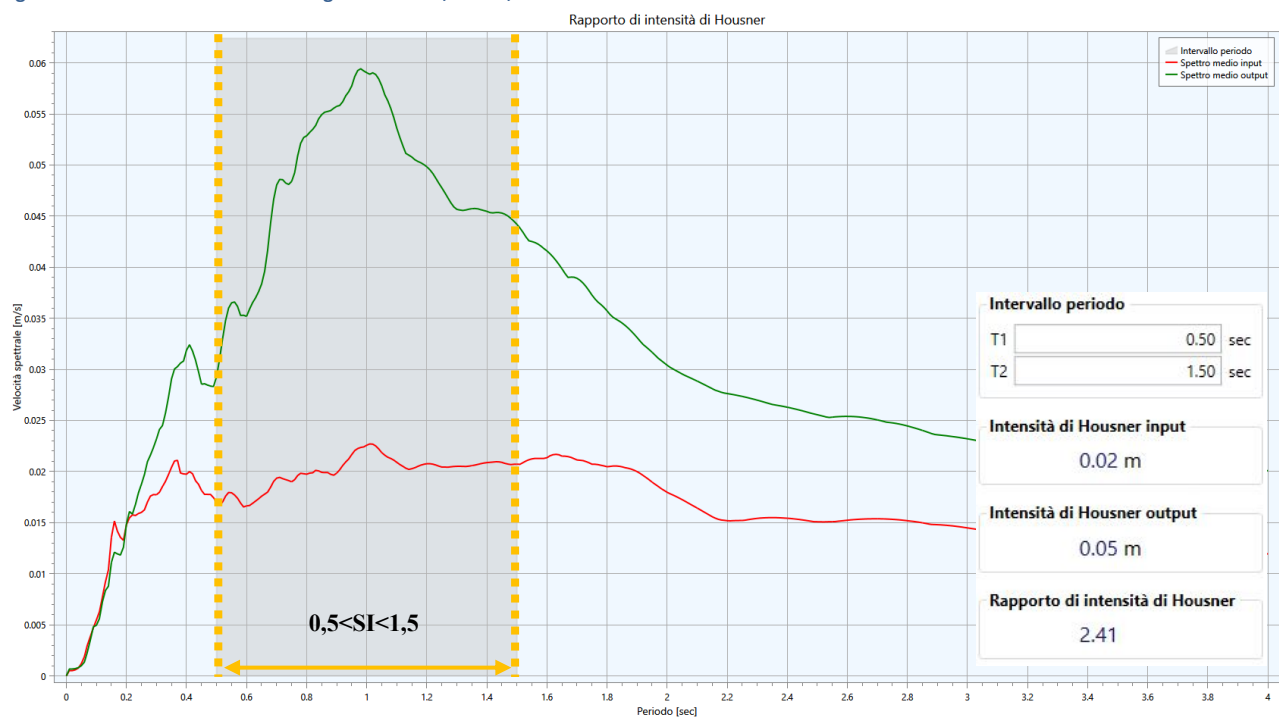


Figura 12c - Intensità di Housner fra gli intervalli $0,5 < SI < 1,5$.

3A) Acceleration Response Spectrum - Spettri di risposta in accelerazione

Rappresenta l'elaborato fondamentale richiesto dagli strutturisti e in "LSR 2D" può essere calcolato sia in superficie che per una profondità di interesse. Nel caso in esame (Fig. 13) è stato calcolato per gli SLD a piano campagna, con un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente del 5%. Sulla base delle indagini geofisiche effettuate, il sito presentava un valore di V_{s30} di **232 m/s**, ed è stato classificato in **"Categoria C"**. Osservando in dettaglio il grafico (Fig. 13) si può notare come il valore dello spettro medio di output si vada a collocare al di sotto di quello semplificato di **"Categoria C"** per valori di $T < 0,7$ e $T < 1,2$ e al di sopra per valori compresi fra 0,7-1,2. Lo spettro medio è stato poi parametrizzato secondo la tipica forma spettrale semplificata, utilizzando come riferimento i valori della **"media"**.

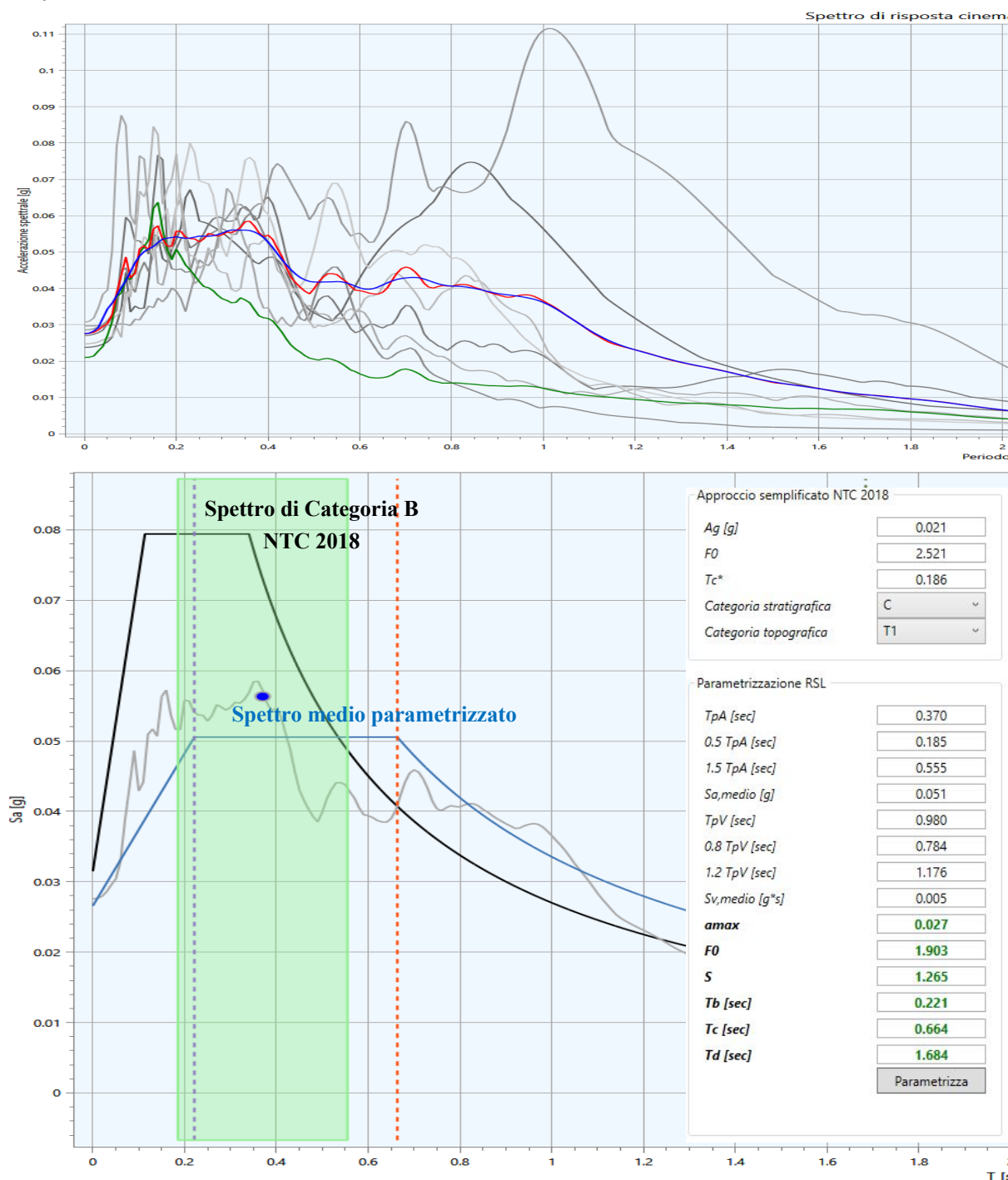


Figura 13 - Spettro medio di risposta elastica in superficie, calcolato per gli SLD con smorzamento del 5%: si mette a confronto lo spettro medio parametrizzato secondo normativa (linea blu) con lo spettro ricavato dall'approccio semplificato secondo NTC2018, che fa riferimento alla **"Categoria di sottosuolo sismico"** (CATEGORIA C) determinata sulla base delle indagini geofisiche in sito (linea nera).

SLV per TR 475 anni

1B) P.G.A. Profile - Peak Ground Acceleration Profile

Si rammenta che per il Comune di **Cislano** si partiva da una a_{\max} al suolo rigido pari a **0,042g**.

Gli esiti mostrano le variazioni fra le risposte del modello di sottosuolo in relazione ai diversi input sismici assegnati: il rapporto PGA/PGA0 più cautelativo al suolo (cioè il più elevato) è ricavato dall'input:

- **IT0889xa** $FA_{\max} = 1,02$

mentre il valore F.A. medio definito su n.7 accelerogrammi è:

$$FA_{\text{medio}} < 1$$

INPUT SISMICO	PGA bedrock	Pga Superficie	F.A.
IT0257xa	0,042	0,0358	<1
IT0257ya	0,042	0,0373	<1
IT0336ya	0,042	0,0370	<1
IT0393xa	0,042	0,0280	<1
IT0885ya	0,042	0,0369	<1
IT0889xa	0,042	0,0430	1,02
IT0889ya_7	0,042	0,0429	1,02
Media	0,042	0,0373	<1

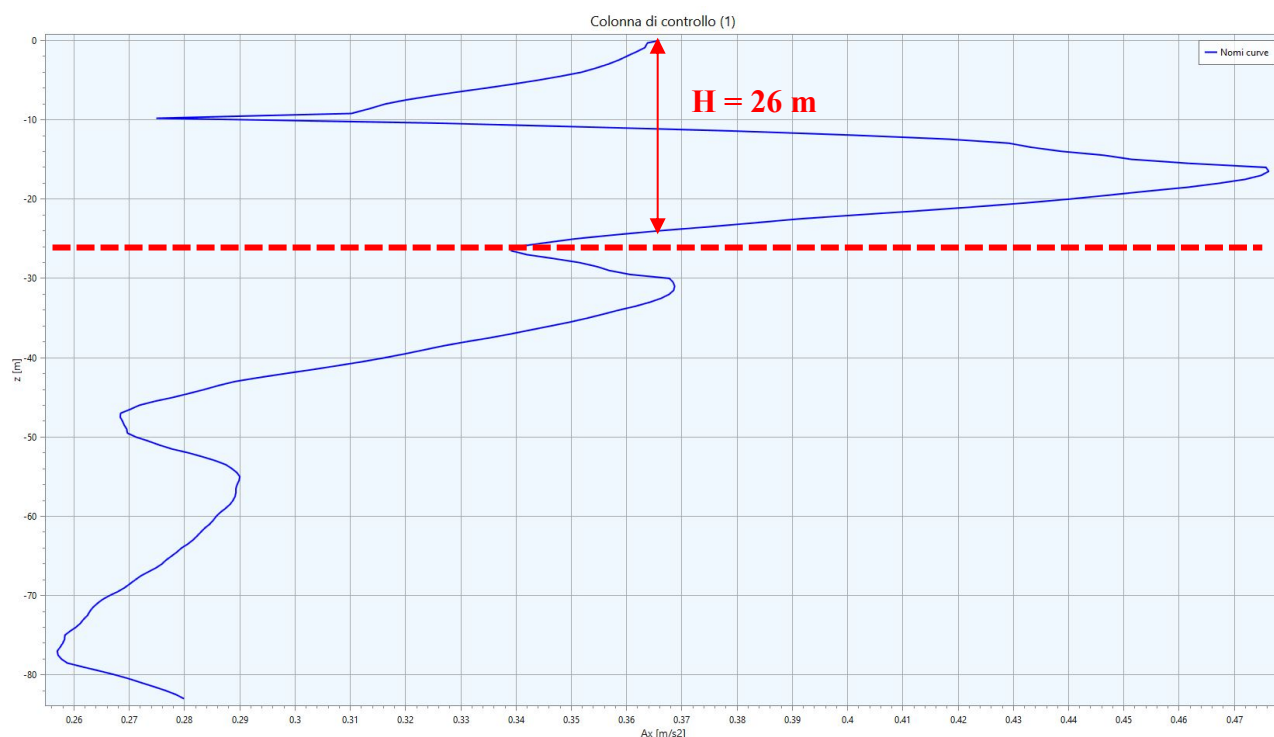


Figura 14 - P.G.A. Profile: si può notare un incremento rilevante della PGA in corrispondenza degli orizzonti sabbiosi più superficiali (da circa 26m fino a circa 16m, poi un successivo decremento fino a 10m e un successivo piccolo incremento fino a p.c.).

2B) Housner Intensity - Intensità di Housner

L'intensità di Housner relativa a ciascun intervallo di interesse, calcolata agli SLV con Tr di 475 anni, è presentata in Fig. 15a; 15b e 15c.

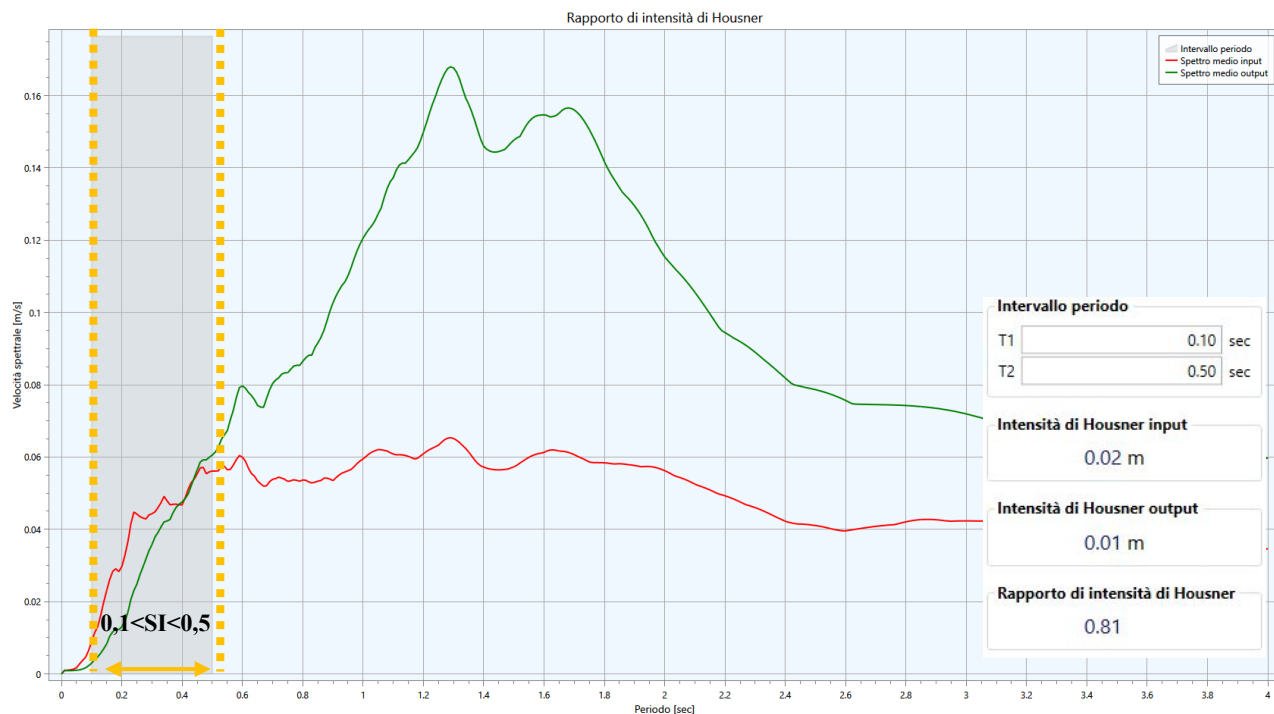


Figura 15a - Intensità di Housner fra gli intervalli $0,1 < SI < 0,5$.

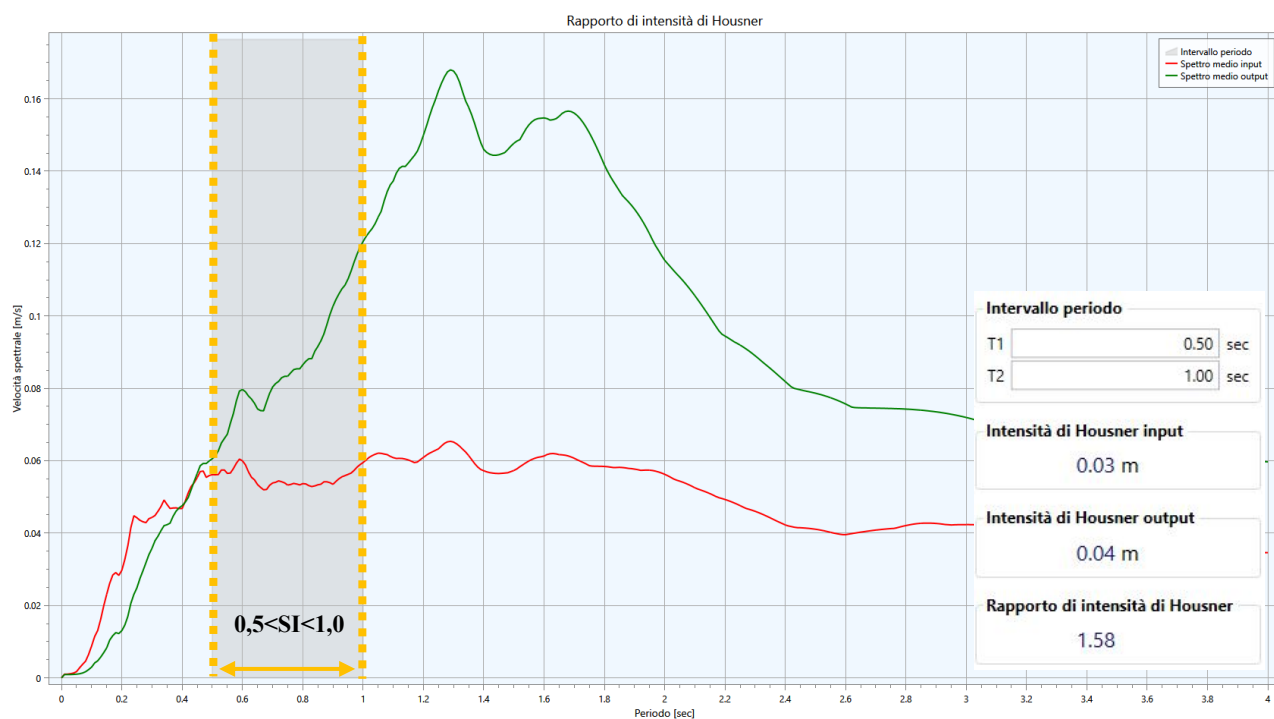


Figura 15b - Intensità di Housner fra gli intervalli $0,5 < SI < 1,0$.

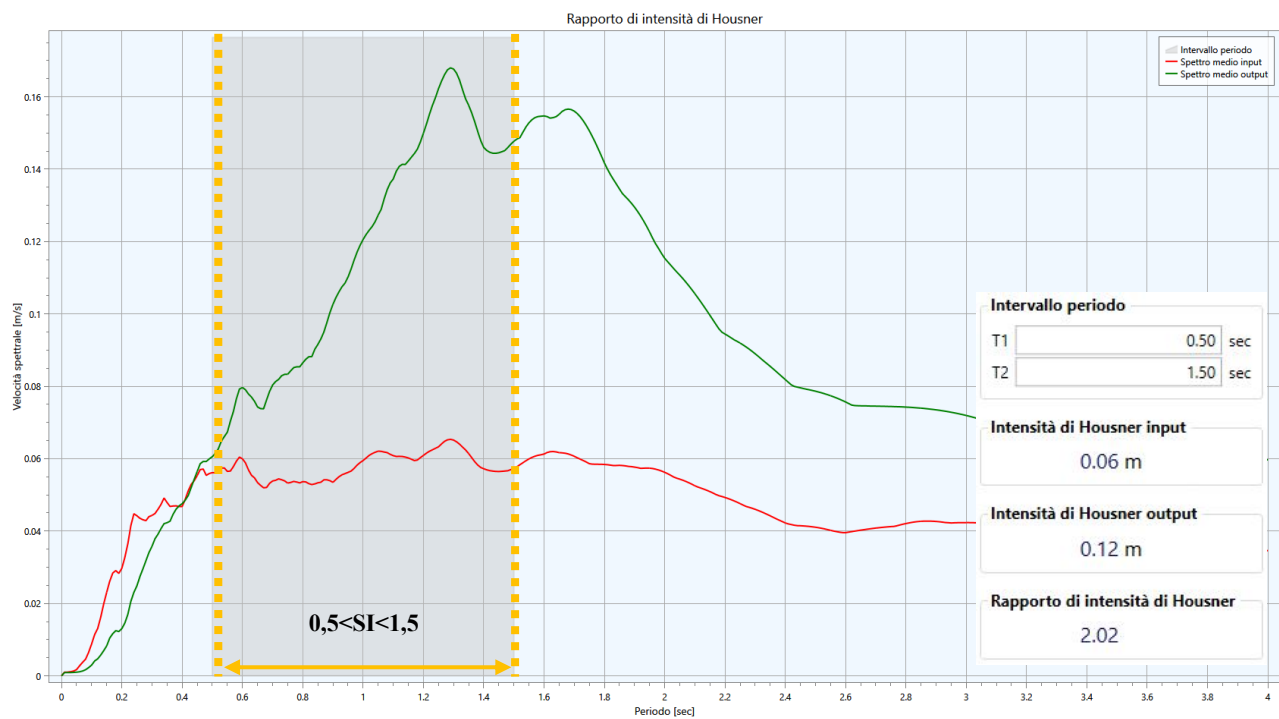


Figura 15c - Intensità di Housner fra gli intervalli $0,5 < SI < 1,5$.

3B) Acceleration Response Spectrum - Spettri di risposta in accelerazione

Nel caso in esame (Fig. 16) è stato calcolato per gli SLV a piano campagna, con un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente del 5%. Sulla base delle indagini geofisiche effettuate, il sito presentava un valore di **Vs30** di **232 m/s**, ed è stato classificato in **“Categoria C”**. Osservando in dettaglio il grafico (Fig. 16) si può notare come il valore dello spettro medio si vada a collocare al di sopra di quello semplificato di **“Categoria C”** per valori di $T < 0,4$ e al di sotto per valori di $T > 0,4$. Lo spettro medio è stato poi parametrizzato secondo la tipica forma spettrale semplificata, utilizzando come riferimento i valori della **“media”**.

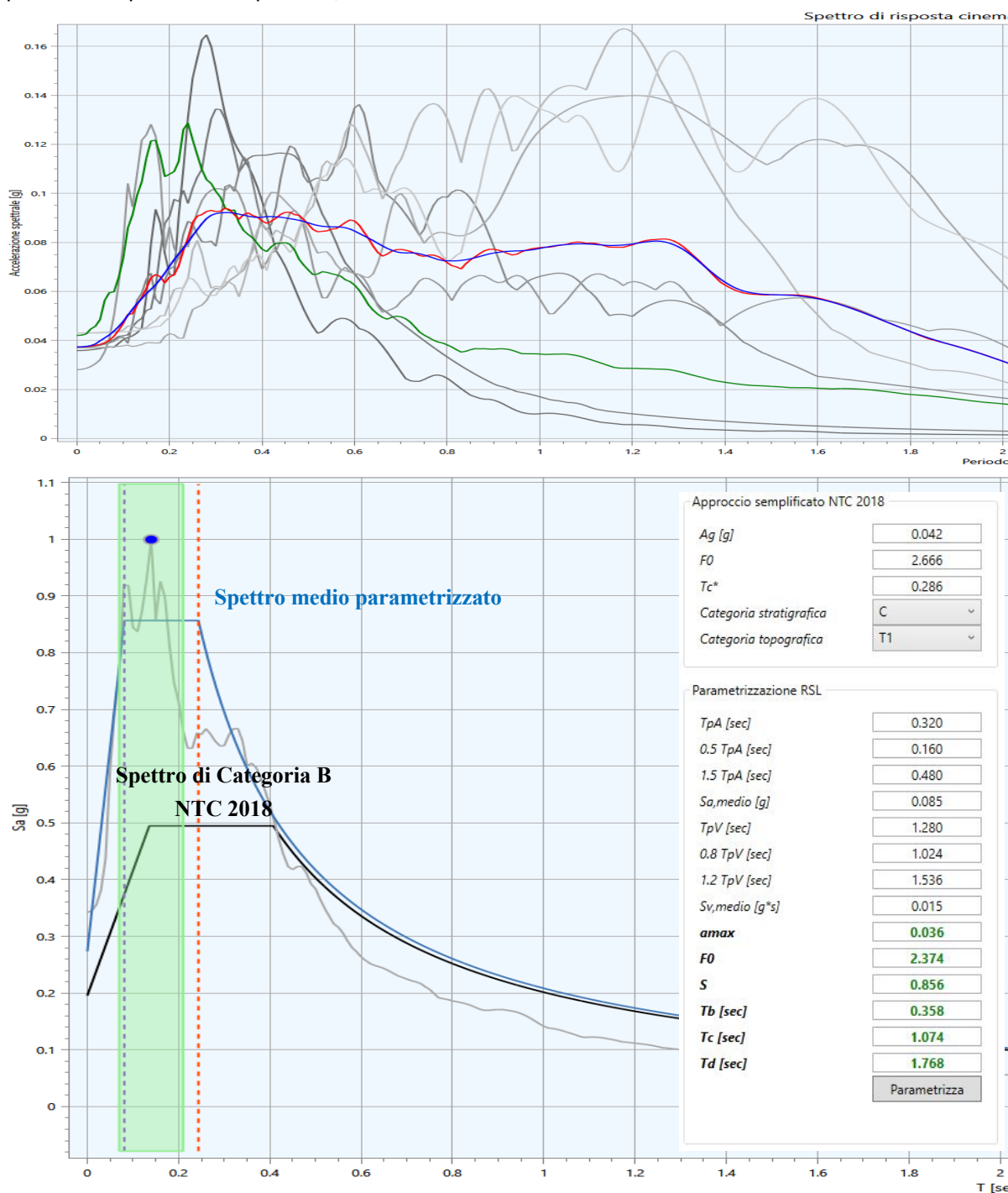


Figura 16 - Spettro medio di risposta elastica in superficie, calcolato per gli SLV con smorzamento del 5%: si mette a confronto lo spettro medio parametrizzato secondo normativa (linea blu) con lo spettro ricavato dall'approccio semplificato secondo NTC2018, che fa riferimento alla **“Categoria di sottosuolo sismico” (CATEGORIA C)** determinata sulla base delle indagini geofisiche in sito (linea nera).

SLC per TR 975 anni

1C) P.G.A. Profile - Peak Ground Acceleration Profile

Si rammenta che per il Comune di **Cislano** si partiva da una a_{\max} al suolo rigido pari a **0,050g**.

Gli esiti mostrano le variazioni fra le risposte del modello di sottosuolo in relazione ai diversi input sismici assegnati: il rapporto PGA/PGA0 più cautelativo al suolo (cioè il più elevato) è ricavato dall'input:

- **IT0652xa** $FA_{\max} = 1,05$

mentre il valore F.A. medio definito su n.7 accelerogrammi è:

FA medio < 1

INPUT SISMICO	PGA bedrock	Pga Superficie	F.A.
IT0242ya	0,050	0,0431	<1
IT0257ya	0,050	0,0422	<1
IT0341ya	0,050	0,0425	<1
IT0341ya	0,050	0,0401	<1
IT0393xa	0,050	0,0318	<1
IT0652xa	0,050	0,0525	1,05
IT0739xa	0,050	0,0410	<1
Media	0,050	0,0419	<1

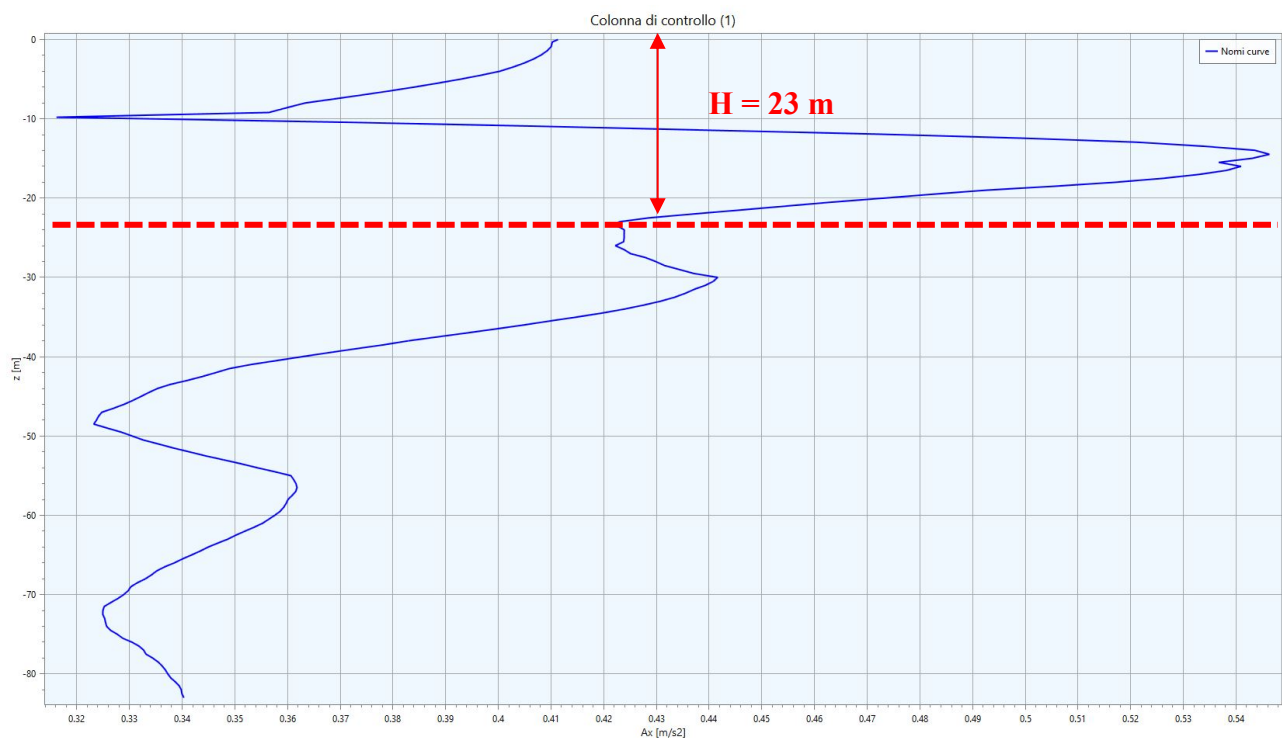


Figura 17 - P.G.A. Profile: si può notare un incremento rilevante della PGA in corrispondenza degli orizzonti sabbiosi più superficiali (da circa 23m fino a circa 16m, poi un successivo decremento fino a 10m e un successivo piccolo incremento fino a p.c.)

Housner Intensity - Intensità di Housner

L'intensità di Housner relativa a ciascun intervallo di interesse, calcolata agli **SLC con Tr di 975 anni**, è presentata in Fig. 18a; 18b e 18c.

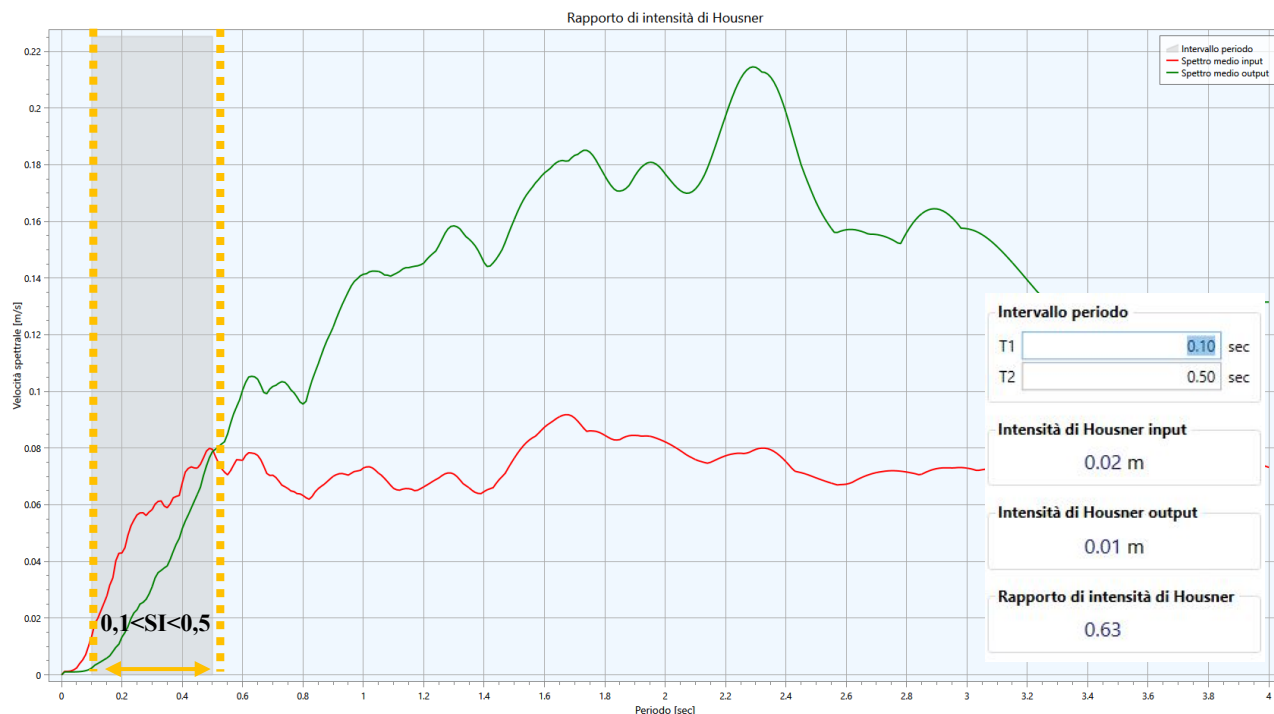


Figura 18a - Intensità di Housner fra gli intervalli $0,1 < SI < 0,5$.

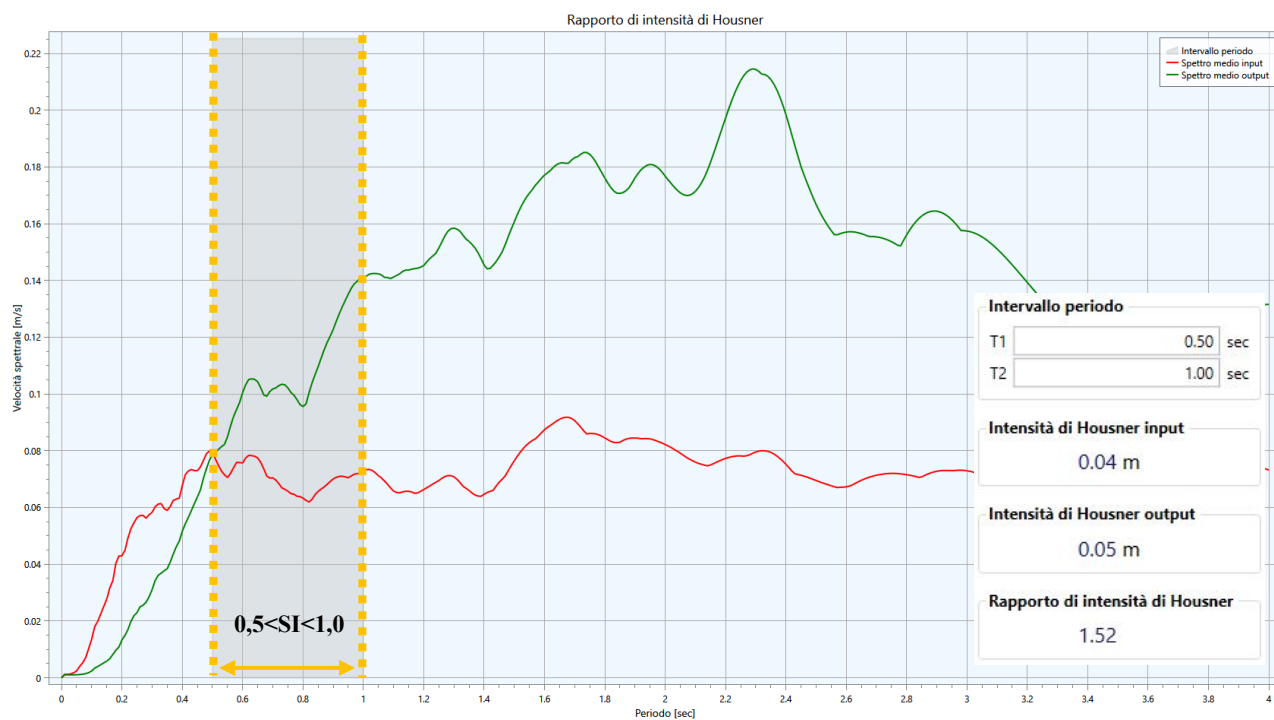


Figura 18b - Intensità di Housner fra gli intervalli $0,5 < SI < 1,0$.

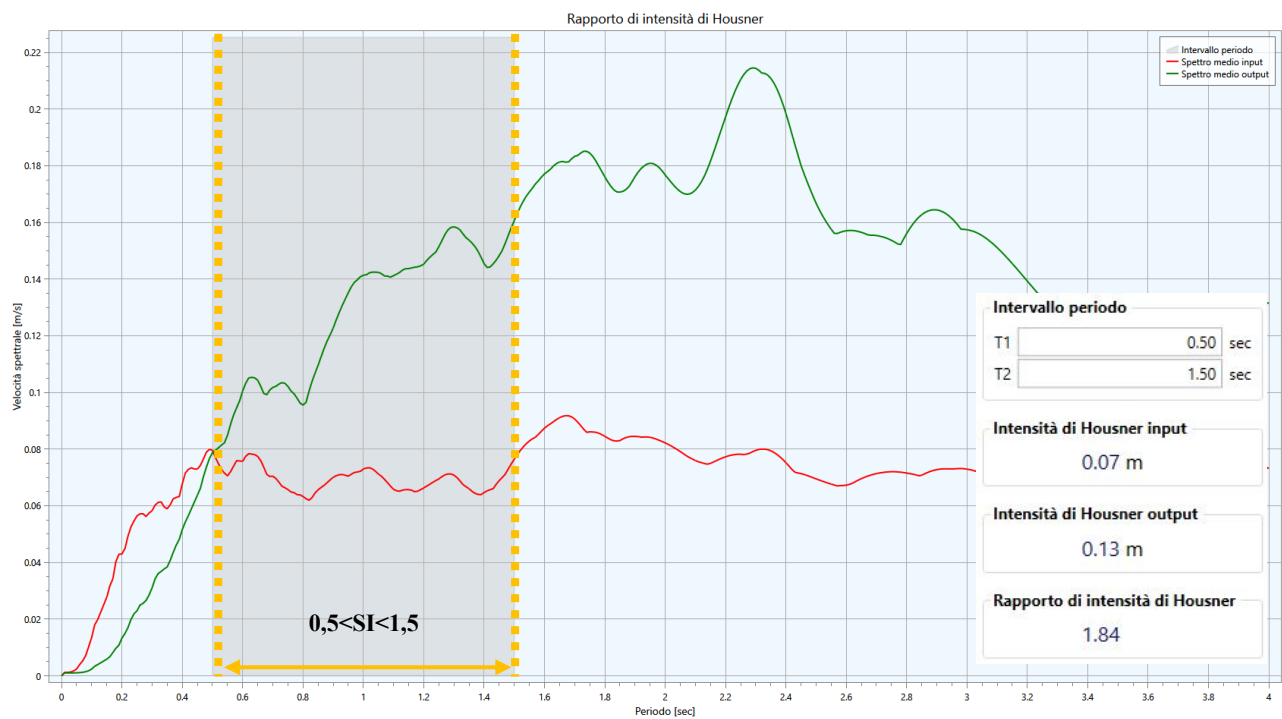


Figura 18c - Intensità di Housner fra gli intervalli $0,5 < SI < 1,5$.

2C) Acceleration Response Spectrum - Spettri di risposta in accelerazione

Nel caso in esame (Fig. 19) è stato calcolato per gli SLC a piano campagna, con un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente del 5%. Sulla base delle indagini geofisiche effettuate, il sito presentava un valore di **Vs30** di **232 m/s**, ed è stato classificato in **“Categoria C”**. Osservando in dettaglio il grafico (Fig. 19) si può notare in maniera evidente come il valore dello spettro medio si vada a collocare al di sotto di quello semplificato di **“Categoria C”** per $T < 1,2$ mentre si mantiene leggermente al di sopra o al di sotto per $T > 1,2$. Lo spettro medio è stato poi parametrizzato secondo la tipica forma spettrale semplificata, utilizzando come riferimento i valori della **“media”**.

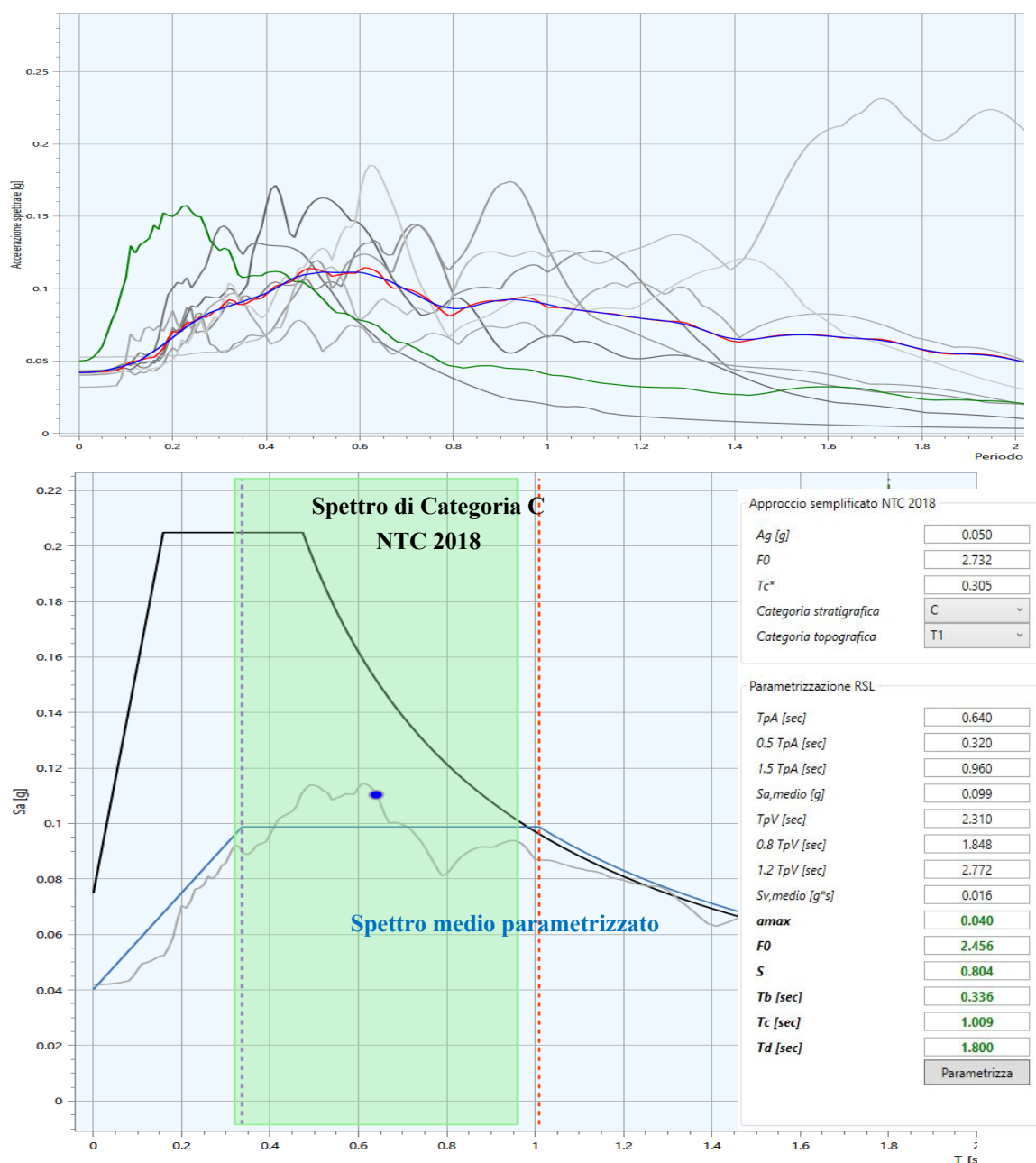


Figura 19 - Spettro medio di risposta elastica in superficie, calcolato per gli SLC con smorzamento del 5%: si mette a confronto lo spettro medio parametrizzato secondo normativa (linea blu) con lo spettro ricavato dall'approccio semplificato secondo NTC2018, che fa riferimento alla "Categoria di sottosuolo sismico" (CATEGORIA C) determinata sulla base delle indagini geofisiche in sito (linea nera).

CONSIDERAZIONI FINALI SULLA RSL

Si può osservare un significativo discostamento tra gli spettri NTC2018 derivanti dalla procedura semplificata, rispetto agli spettri derivanti dal calcolo di RSL.

In Fig. 20, 21 e 22 si riportano in maniera più chiara gli spettri derivanti dallo studio di “Risposta Simica Locale – RSL”, calcolati rispettivamente per:

- SLD con T_r di 50 anni (Fig. 13);
- SLV con T_r di 475 anni (Fig 16);
- SLC con T_r di 975 anni (Fig. 19).

A corredo della relazione (sottocartella Spettri_RSL) vengono allegati i file *.txt rappresentativi degli spettri calcolati per ciascun T_r , messi a confronto in un file *.xls con gli spettri derivanti da procedura semplificata (NTC2018).

Si lascia al progettista la facoltà di scegliere, sotto la propria responsabilità, se adottare i primi - quelli derivanti dallo studio sismico di 3° livello -RSL più approfondito - oppure quelli ricavabili da procedura semplificata, andando in ultimo a definire il valore del periodo proprio e dello smorzamento della struttura, modificando secondo le proprie esigenze lo “spettro di progetto” in funzione del “Fattore di struttura q ”.

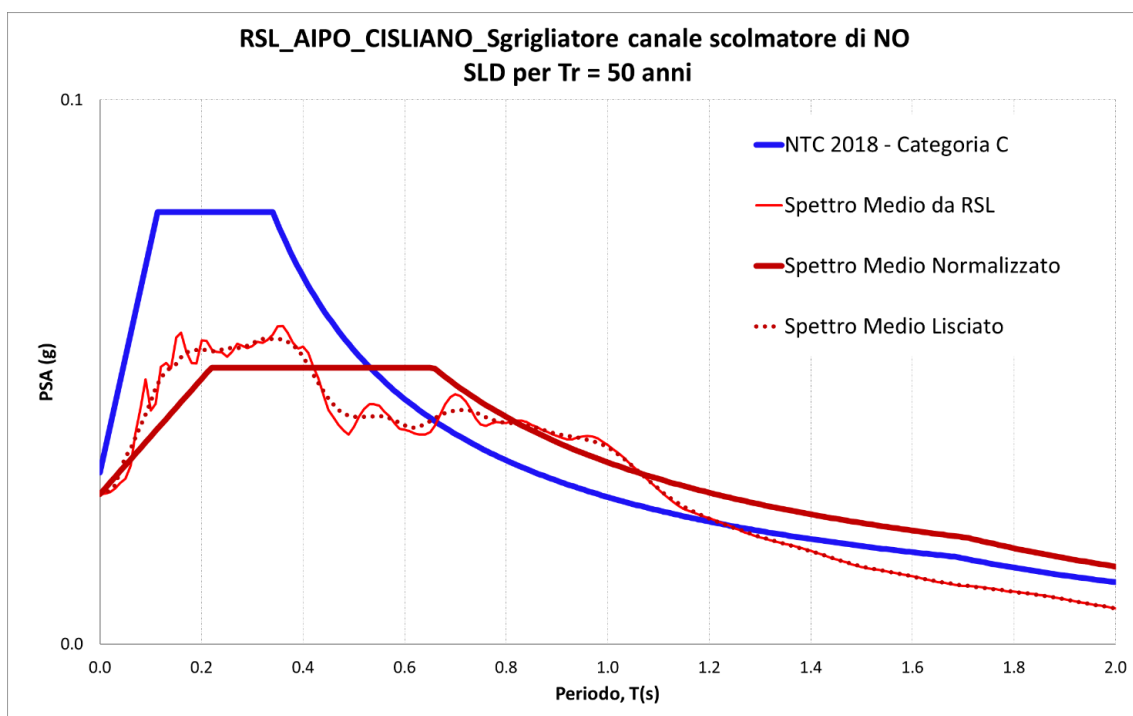


Figura 20 - Spettro medio di risposta elastica in superficie, calcolato per gli SLD (T_r 50 anni) con smorzamento del 5%: si mette a confronto lo spettro medio calcolato, col medesimo spettro lisciato e infine normalizzato; viene poi effettuato il confronto con lo spettro ricavato dall'approccio semplificato secondo NTC2018, che fa riferimento alla “Categoria di sottosuolo sismico” (CATEGORIA C) determinata sulla base delle indagini geofisiche in sito.

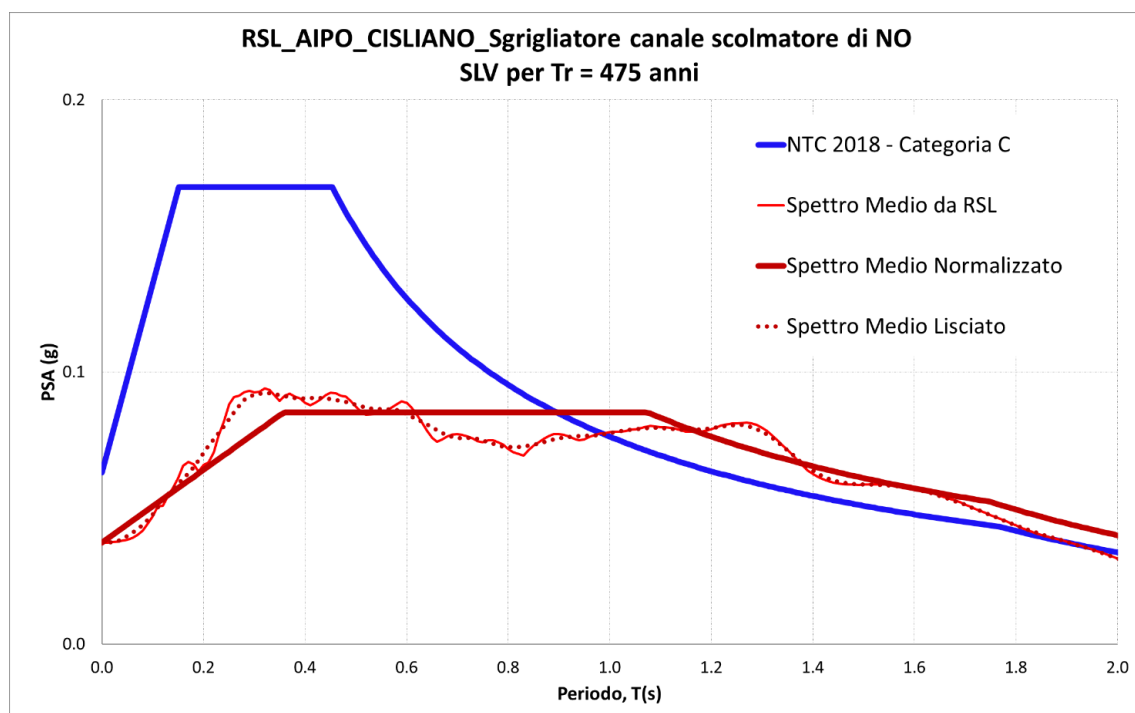


Figura 21 - Spettro medio di risposta elastica in superficie, calcolato per gli SLV (Tr 475 anni) con smorzamento del 5%: si mette a confronto lo spettro medio calcolato, col medesimo spettro lisciato e infine normalizzato; viene poi effettuato il confronto con lo spettro ricavato dall'approccio semplificato secondo NTC2018, che fa riferimento alla "Categoria di sottosuolo sismico" (CATEGORIA C) determinata sulla base delle indagini geofisiche in sito.

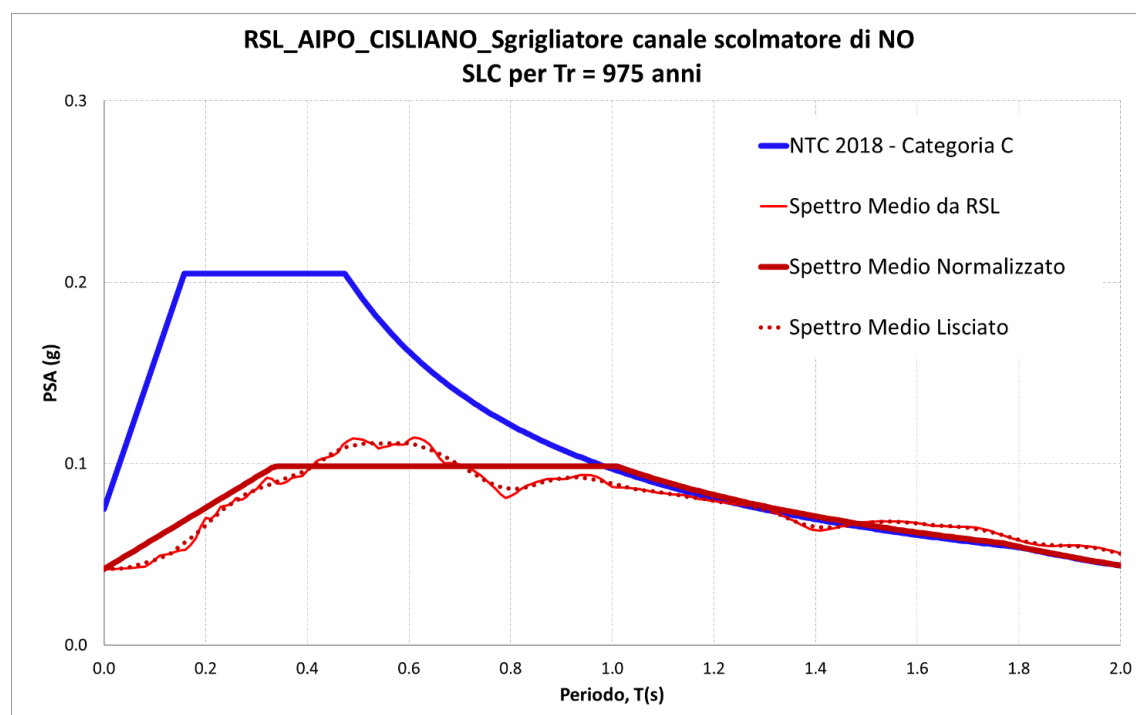


Figura 22 - Spettro medio di risposta elastica in superficie, calcolato per gli SLV (Tr 475 anni) con smorzamento del 5%: si mette a confronto lo spettro medio calcolato, col medesimo spettro lisciato e infine normalizzato; viene poi effettuato il confronto con lo spettro ricavato dall'approccio semplificato secondo NTC2018, che fa riferimento alla "Categoria di sottosuolo sismico" (CATEGORIA C) determinata sulla base delle indagini geofisiche in sito.

4.6 VERIFICA DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

La liquefazione riguarda depositi sabbiosi e/o sabbioso-limosi (depositi granulari non coesivi) sciolti e saturi. In condizioni statiche, ossia di applicazione lenta del carico, la permeabilità di questi materiali consente il deflusso dell'acqua interstiziale, evitando l'insorgenza di pressioni neutre, e il carico viene trasferito direttamente dai granelli di sabbia. Durante un terremoto, invece, il rapido aumento ciclico delle pressioni neutre interstiziali può superare la capacità del materiale di drenare l'acqua e, quindi, di dissipare le sovrappressioni stesse. In altre parole, il drenaggio è impedito perché, anche se la permeabilità è elevata, il tempo che l'acqua ha a disposizione è insufficiente per un drenaggio completo. Di conseguenza, si verifica un progressivo aumento delle pressioni neutre e una cospicua riduzione della resistenza al taglio del terreno: se la pressione neutra eguaglia quella totale, la resistenza al taglio del terreno si annulla. In tali condizioni si possono verificare importanti cedimenti (in fase di sisma e post sisma), e i manufatti e le infrastrutture possono subire danni rilevanti.

Studi sperimentali hanno dimostrato che, affinché abbia luogo il fenomeno della liquefazione, è necessaria la concomitanza di determinate condizioni al contorno di carattere geologico- tecnico e il verificarsi di azioni sismiche particolari, definite in termini di durata, intensità e frequenza dominante.

Le condizioni geotecniche riguardano la composizione granulometrica, lo stato di addensamento e lo stato tensionale effettivo iniziale della sabbia. Influenza sul fenomeno hanno anche la struttura ed età del deposito e la storia tensionale e di deformazione. Se la porzione di suolo sopra le sabbie soggette a liquefazione lo consente, avviene il fenomeno dell'espulsione della miscela acqua-sabbia dallo strato "liquefatto" attraverso gli strati più superficiali, originando caratteristici coni di sabbia lungo degli allineamenti.

Secondo quanto indicato nel D.M. 14/01/2008 e il successivo D.M. 17/01/2018, il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

ESCLUSIONE DELLA VERIFICA DI LIQUEFAZIONE

Secondo quanto indicato nel D.M 17/01/2018 al capitolo 7.11.3.4:

“...la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;*
- 2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
- 3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;*
- 4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.”*

Nell'area di intervento, il valore di A_{gmax} attesa in superficie, considerando Suoli di “**Categoria sismica C**”, è di **0,042g** per gli SLV, con periodo di ritorno di 475 anni e una soglia di superamento del 10% in 50 anni. Pertanto, **la verifica alla liquefazione può essere omessa** in accordo al paragrafo 7.11.3.4.2.2 (accelerazione massima attesa al sito $< 0,1g$).

Pur considerando gli SLC con periodo di ritorno di 975 anni, l' A_{gmax} attesa in superficie risulta 0,050g.

5. CONCLUSIONI

Dallo studio geologico-sismico, l'area di proprietà comunale in Mappa catastale Foglio 2, Particelle 74 e 75, appare idonea ad accogliere l'intervento previsto.

Dalle Tavole a corredo del **P.G.T. - Piano di Governo del Territorio** - vigente, l'area rientra nelle seguenti categorie e si può apprendere l'esistenza dei seguenti vincoli:

- **GEOMORFOLOGIA** - Il modellato topografico è caratterizzato da una superficie pianeggiante; la quota del piano campagna diminuisce molto gradualmente da Nord verso Sud, passando da c.ca m 135 s.l.m. vicino al limite settentrionale del comune, a c.ca m 120 s.l.m. vicino al confine meridionale.
- **GEOLOGIA** - Il substrato del territorio di Cislano è costituito da depositi fluvioglaciali di età wurmiana, che da un punto di vista litologico sono composti in prevalenza da ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose; sono anche presenti livelli con sabbie fini e limi. Questa unità fa parte del cosiddetto "Livello Fondamentale della Pianura".
- **IDROGEOLOGIA** - la falda presenta un andamento generale del flusso da Nord-Ovest verso Sud-Est, con un gradiente idraulico medio pari a c.ca 0,2-0,3%, la soggiacenza risulta invariata nel corso degli anni ed è compresa tra 0 e 5 m dal p.c.
- **TAVOLA 1 - CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE** - Scala 1:10.000. **AMPLIFICAZIONI GEOLOGICHE E GEOMETRICHE**: Z4a → Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e /o fluvio-glaciali granulari e /o coesivi > 3m da p.c..

Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide delizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	

- **TAVOLA 2 - CARTA DEI VINCOLI** - Scala 1:5.000. Vincoli di polizia idraulica/fascia di rispetto dei corsi d'acqua
- **TAVOLA 3 - CARTA DI SINTESI** - Scala 1:5.000. L'area si trova all'interno della Fascia B1 - Aree ad elevata vulnerabilità dell'acquifero. Inoltre, l'area si trova all'interno della C1 – Aree adiacenti a corsi d'acqua (fasce di rispetto) da mantenere a disposizione.
- **TAVOLA 4 - CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA CON ELEMENTI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE**- Scala 1:5.000. **CLASSE III** - Fattibilità con consistenti limitazioni



Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni

B1 - Aree ad elevata vulnerabilità dell'acquifero

Sulla base di quanto emerso dalla campagna geognostica eseguita, vanno fatte alcune considerazioni:

- Per quanto riguarda la pericolosità sismica, l'area in esame ricade nei confini territoriali del Comune di **Cislano**. Pertanto, l'area è classificata come "**Zona sismica 4**". Tale classificazione è indotta dalla localizzazione degli epicentri e dalla stima d'intensità d'eventi sismici verificatisi all'interno dei confini provinciali e nelle zone limitrofe extra-provinciali strettamente a ridosso di questi.

- Calcolando la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio (V_s , eq) secondo la metodologia descritta, in relazione a profondità variabili **da 0 a -2,5 m** della base di appoggio della fondazione, si è ottenuto un valore di V_s , eq = V_{s30} compreso fra **232 e 249 m/s** per l'indagine MASW-HS1, un valore di V_s , eq = V_{s30} compreso fra **262 e 278 m/s** per l'indagine MASW-HS2. Ciò permette, in entrambi i casi, di attribuire i terreni in esame alla:

→ **“Categoria di sottosuolo C”** a profondità comprese fra 0 e -2,5m da p.c.

- Le prove HVSR hanno evidenziato la presenza di possibili picchi delle frequenze di risonanza nell'intervallo di interesse ingegneristico (0,5-20 Hz), pertanto, sebbene non espressamente richiesto nelle N.T.C. 2018 vigenti, in fase progettuale potranno essere fatte valutazioni di carattere ingegneristico che tengano in considerazione possibili effetti di accoppiamento terreno-struttura. Si lascia al progettista la discrezionalità sull'utilizzo di questi parametri:

→ Picco principale **F0 → 1,0 - 2,0 Hz**

- Secondo la metodologia stabilita dalla Regione Lombardia nel D.g.r. 30 novembre 2011 - n. IX/2616, si considerano sufficienti le stime di F_a secondo procedura semplificata indicata nelle N.T.C. 2008 e seguenti. Di conseguenza può essere adottata la:

→ **Categoria di sottosuolo C**

- Tuttavia, vista l'importanza dell'opera in progetto, si è scelto di affrontare il calcolo della Risposta Sismica Locale per tre Tempi di Ritorno:

→ SLD per TR di 50 anni;

→ SLV per TR di 475 anni;

→ SLC per TR di 975 anni.

- Gli spettri calcolati si discostano dagli spettri NTC2018 derivanti da procedura semplificata. A corredo della relazione (sottocartella Spettri_RSL) vengono allegati i file *.txt rappresentativi degli spettri calcolati per ciascun T_r , messi a confronto in un file *.xls con gli spettri derivanti da procedura semplificata (NTC2018). Si lascia al progettista la facoltà di scegliere, sotto la propria responsabilità, se adottare i primi - quelli derivanti dallo studio sismico di 3° livello -RSL più approfondito - oppure quelli ricavabili da procedura semplificata, andando in ultimo a definire il valore del periodo proprio e dello smorzamento della struttura, modificando secondo le proprie esigenze lo “spettro di progetto” in funzione del “Fattore di struttura q ”.
- Si considerano trascurabili:
 - gli effetti di amplificazione locale dell'accelerazione sismica dovuti all'assetto topografico (pendenza < 15°)
 - il possibile rischio di liquefazione (Cap. 4.6).

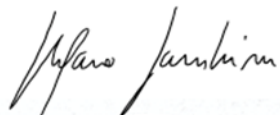
In conclusione, possiamo affermare che l'area appare idonea ad accogliere l'intervento edificatorio previsto, considerando i risultati delle indagini e delle elaborazioni presentate nel presente studio (Rapporti Tecnici N. 1, 2, 3 e relativi allegati).

In particolare, per quanto riguarda il Modello Geotecnico di Sintesi, i risultati relativi alle indagini geotecniche e alle prove di laboratorio, si rimanda al Rapporto N. 2, a corredo del presente studio. Per quanto riguarda le analisi su suoli ed eluati, si rimanda al Rapporto N. 3.

Certosa di Pavia, ottobre 2021

IL GEOLOGO

Dott. Stefano Gambini



LOCALIZZAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

INDIRIZZO: Canale scolmatore di NW, Cislano

COMUNE: Cislano (MI)



SGRIGLIATORE di CISLIANO

Indagini Geofisiche

Legenda

- ◆ Sismica Passiva HVSR
- Sismica Attiva MASW-HS



0 10 20 m



MASW - HS1

INDIRIZZO: Canale scolmatore di NW, Cisliano

COMUNE: Cisliano (MI)

DATA ACQUISIZIONE: 16 06 2021

ORA: 8.50

Subsurface model

Vsh (m/s): 55 300 230 210 250 180 200 280 440 550 650

Thickness (m): 0.3 0.6 3.1 4.0 1.2 1.2 5.6 14.0 25.0 28.0

Density (gr/cm³): 1.49 1.95 1.88 1.85 1.90 1.81 1.84 1.93 2.05 2.11 2.16

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approx. values): 5 175 99 82 119 59 74 151 397 639 912

Poisson: 0.35 0.30 0.32 0.33 0.44 0.29 0.34 0.30 0.25 0.22 0.20

Vs, eq = Vs30 (m/s): 232

CATEGORIA C

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

Picchi di interesse ingegneristico fra 0,5-20 Hz:

F0 → 1,5-2,5 Hz

ACQUISIZIONE MASW - HS1



Figura A. 1 - Stendimento sismico MASW-HS realizzato in corrispondenza dell'area di studio.

ACQUISIZIONE HVSR1



Figura A. 2 - Acquisizione HVSR1 realizzata in corrispondenza dell'area di studio.

Tabella A - Dati riassuntivi relativi all'acquisizione in sismica attiva

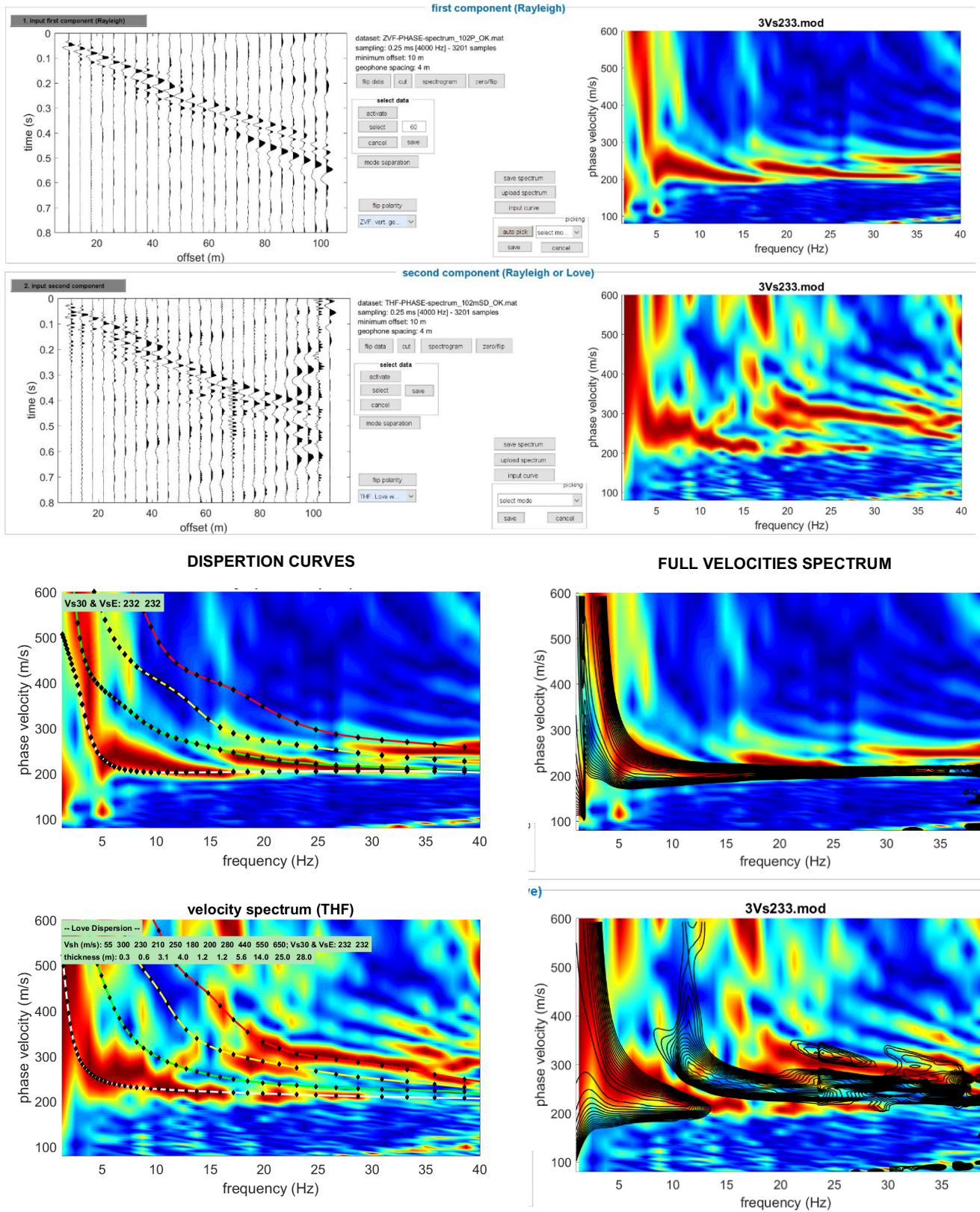
DATI RIASSUNTIVI - ACQUISIZIONE IN SISMICA ATTIVA M.A.S.W.	
Operatore in campagna	Dott. Geol. Gabriele Oppo
Lunghezza Stendimento	102 metri
Offset Minimo	10 metri
Incremento	4 metri
N° tracce	24
Tipo di Onda	Rayleigh: n.5 battute Forza Verticale: - battuta su piattello in alluminio
	Love: n.5 battute Forza Trasversale: - battuta di taglio su traversina in legno
Lunghezza dell'acquisizione	2 secondi
Intervallo di Campionamento	0.001 secondi
Stacking	10 battute per punto sorgente: 5 Verticali + 5 Orizzontali

Tabella B - Dati riassuntivi relativi all'acquisizione in sismica attiva

DATI RIASSUNTIVI - ACQUISIZIONE IN SISMICA ATTIVA H.S.	
Operatore in campagna	Dott. Geol. Gabriele Oppo
Lunghezza Stendimento	68 metri
Offset Minimo	- metri
Incremento	- metri
N° tracce	1
Tipo di Onda	Rayleigh: n.5 battute Forza Verticale: - battuta su piattello in alluminio
	Love: n.5 battute Forza Trasversale: - battuta di taglio su traversina in legno
Lunghezza dell'acquisizione	2 secondi
Intervallo di Campionamento	0.001 secondi
Stacking	10 battute per punto sorgente: 5 Verticali + 5 Orizzontali

ACQUISIZIONE MASW1

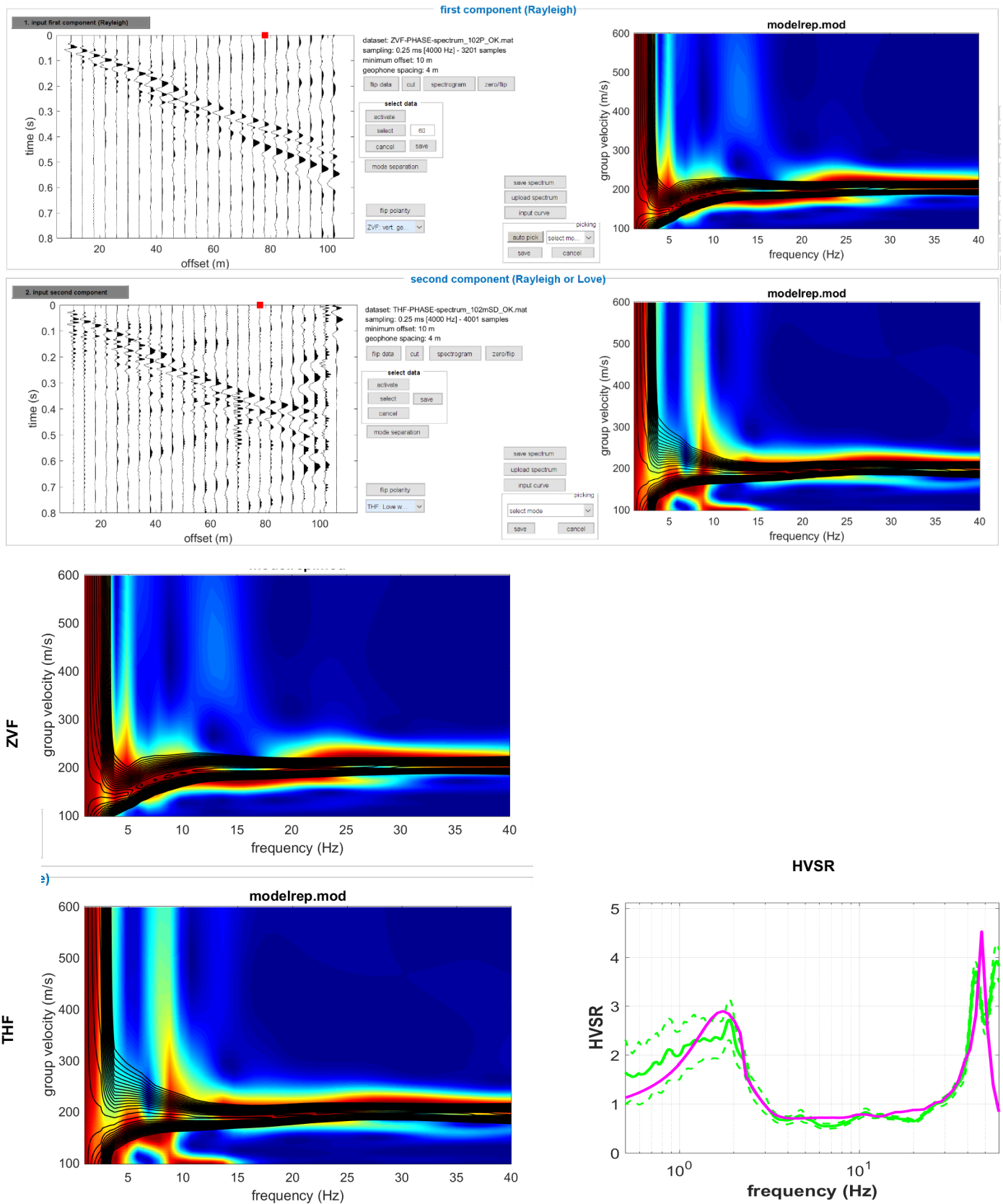
Joint Analysis of Rayleigh-Love Wave Dispersion in ZVF - THF & HVSR



I colori in sottofondo sono relativi agli spettri di velocità dei dati di campagna, le linee colorate in primo piano rappresentano le curve di dispersione del modello elaborato mentre le curve di contour nere si riferiscono al dato sintetico analizzato in FVS.

ACQUISIZIONE HS1 a 78m

Joint Analysis of Rayleigh-Love Wave Dispersion in ZVF - THF & HVSr



Il modello elaborato deriva dall'analisi congiunta del dato in sismica attiva MASW-HS, a cui è stato associato il dato in sismica passiva HVSr.

ACQUISIZIONE HVSR1

CLASSE DI QUALITÀ DELLA MISURA	A	B1	B2	C
Descrizione delle Classi	CLASSE A: Prova affidabile ed interpretabile	CLASSE B1: Prova da interpretare che presenta almeno un picco chiaro	CLASSE B2: Prova da interpretare che non presenta picchi chiari nell'intervallo di frequenze considerato	CLASSE C: Prova scadente difficile da interpretare

SESAME HVSR MEASUREMENT FIELD SHEET		
Comune: Cislano (MI)	Indirizzo: Canale scolmatore di NW, Cislano	
Attività da svolgere: Indagine HVSR	Data: 16/06/2021	Ora: 11.25
DATI TECNICI		
Operatore: Geol. Gabriele Oppo	Indagine n° HVSR1	Codice file /
Strumento: Geofono triassiale da 2 Hz "GEMINI 2" <i>PASI Instruments</i>	Freq. Campionamento: 200 Hz	Durata (min): 25 min

CONDIZIONI ATMOSFERICHE

Vento	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> moderato	<input type="checkbox"/> forte
Pioggia	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> moderata	<input type="checkbox"/> forte

TERRENO DI PROVA

Suolo	<input type="checkbox"/> argilloso limoso soffice	<input type="checkbox"/> argilloso limoso duro	<input checked="" type="checkbox"/> con erba	<input type="checkbox"/> senza erba
	<input type="checkbox"/> ghiaia	<input type="checkbox"/> sabbia	<input checked="" type="checkbox"/> sabbia e ghiaia	<input type="checkbox"/> roccia
Pavimentazione artificiale	<input type="checkbox"/> rilevato in ghiaia	<input type="checkbox"/> cemento/cls	<input type="checkbox"/> asfalto	<input type="checkbox"/> sabbia
Accoppiamento sensore	<input checked="" type="checkbox"/> piedini infissi	<input type="checkbox"/> accoppiamento artificiale	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> altro
	<input type="checkbox"/> piedini da pavimento			

STRUTTURE CIRCOSTANTI

Abitazioni	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Fabbriche	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Piante	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Ponti.	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti		<input type="checkbox"/> Presenti	
Strutt.sotterr.	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti		<input type="checkbox"/> Presenti	

SORGENTI DI RUMORE

Disturbo discontinuo	Assente	Raro	Moderato	Forte	Molto forte	Distanza (m)
	<i>auto</i>		<input checked="" type="checkbox"/>			
	<i>mezzi pesanti</i>		<input checked="" type="checkbox"/>			
	<i>passanti</i>	<input checked="" type="checkbox"/>				
	<i>altro</i>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Disturbo continuo	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti			<input type="checkbox"/> Presenti		

ACQUISIZIONE HVSR1

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SITE20210616_1125_HVSR1.SAF

Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 20

HVSR computation: quadratic mean

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 29.7

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 10

SESAME criteria

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

Peak frequency (Hz): 1.9 (±0.5)

Peak HVSR value: 2.7 (±0.4)

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

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: $1.891 > 0.5$ (OK)

#2. [$nc > 200$]: $4198 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

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

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency 0.5Hz (OK)

#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 2.5Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $2.7 > 2$ (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$]: $0.514 > 0.189$ (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.753 < 1.78$ (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

ACQUISIZIONE HVSR1

show current data

reset

step#1 (optional) - decimate

128/2

new frequency

example

step#2 - HV computation

remove events

from 1000 to 10

clean axes

20

window length (s)

5

tapering (%)

Min. freq.: 0.5 Hz

4

amplitude threshold

test removal

5000

HVSR threshold

10%

spectral smoothing (biquad. window)

6

deconvolving order

no equalization

☒

full output

☐

particle motion, all HVSRs, time lapse videos

☒

close windows

☐

save videos

quadratic mean

compute

continuity

show 3D motion

directivity analysis

128/256 to 1024/1024

10 20 100 1000

Hz

compute

save - option#1: save HVSR as it is

save HV from 0.5 to 100 Hz

save HV curve (as it is)

picking HV or amplitude spectra

HVSR

pick data

save picked HV

compute

quick analysis (F=Vs/4H)

200

average Vs (m/s)

(from surface to bedrock)

20

depth of the bedrock (m)

1000

Vs of the bedrock

clean

compute

highlight a frequency

show/hide highlight

10 Hz

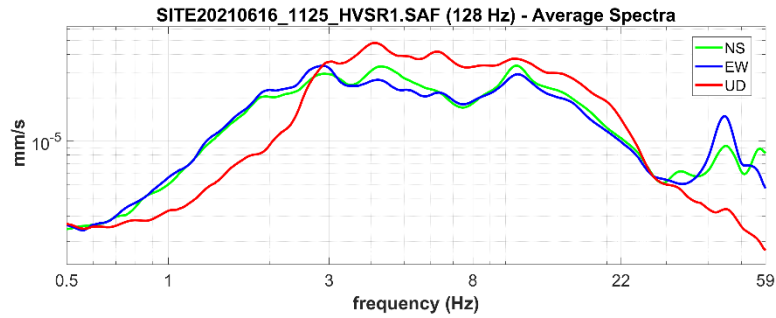
upload HVSR curve

directivity over time

directivity in time

time

50 s



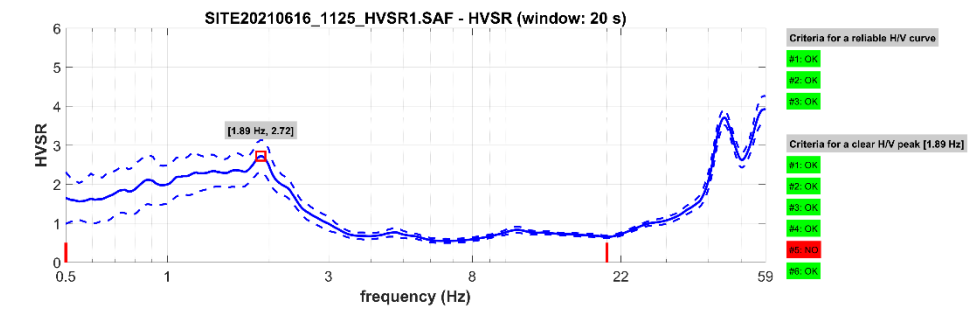
open working folder

show location

field notes

your comments

default axes



To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMI/ESAC data), go to the "Velocity Spectrum/s, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

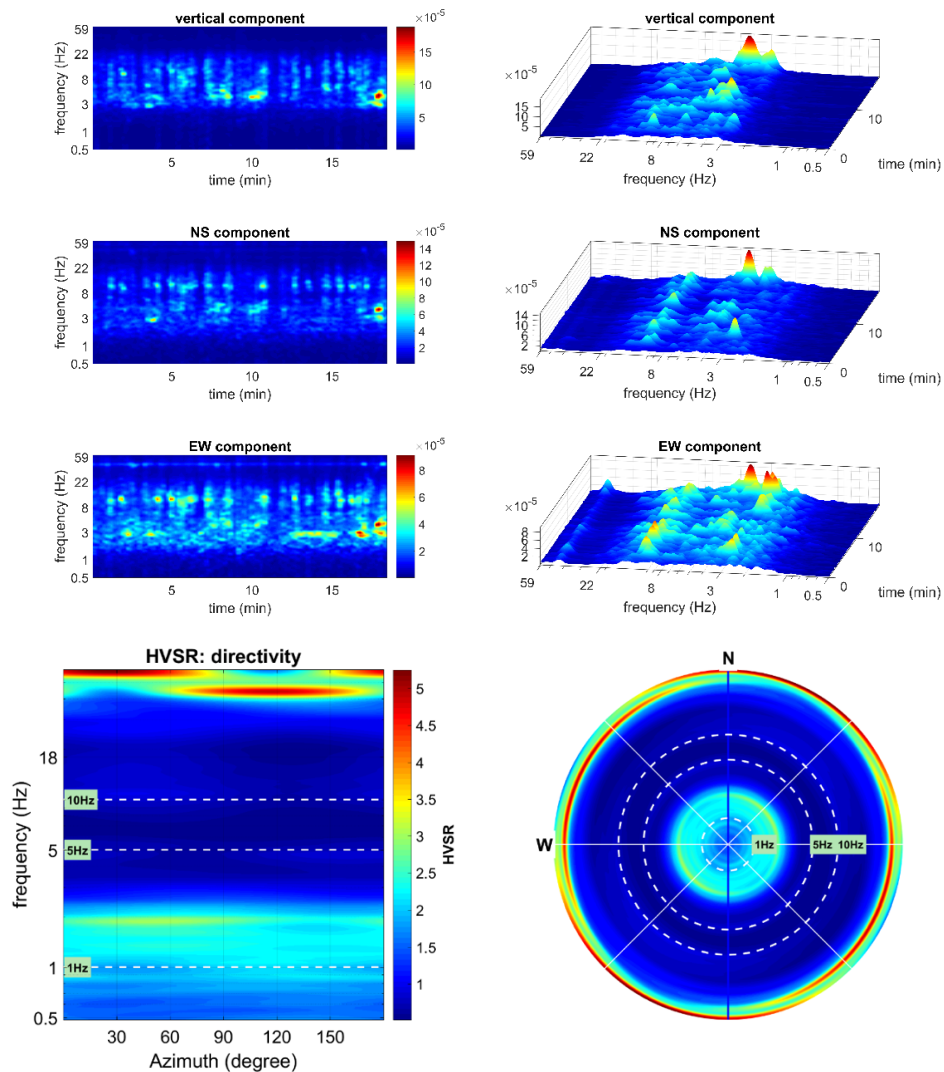
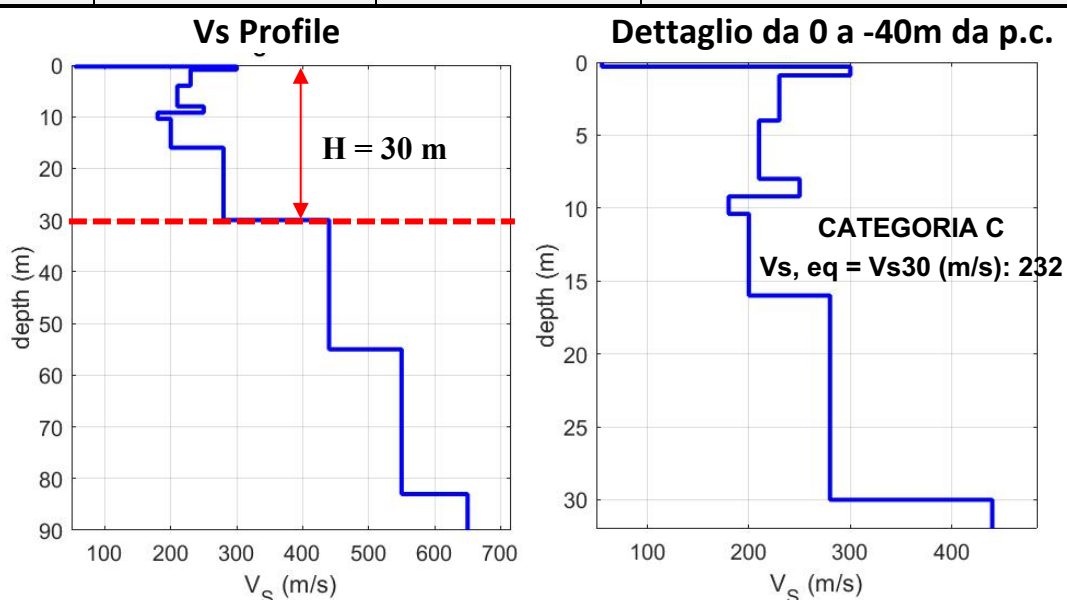


Tabella D - Stratigrafia sismica e parametri determinati.

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità onde di taglio Vs [m/s]
1	0	0,3	55
2	0,3	0,6	300
3	0,9	3,1	230
4	4,0	4,0	210
5	8,0	1,2	250
6	9,2	1,2	180
7	10,4	5,6	200
8	16,0	14,0	280
9	30,0	25,0	440
10	55,0	28,0	550
11	83,0	Inf.	650



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

Tabella E - Calcolo Vs, eq = Vs30 per i primi 2,5 m dalla profondità di appoggio della fondazione.

DETERMINAZIONE Vs, eq = Vs30		
Profondità appoggio fondazione	Vs, eq = Vs30 [m/s]	Categoria di sottosuolo corrispondente
P.C.	232	C
-0,5m	241	C
-1m	242	C
-1,5m	244	C
-2m	246	C
-2,5m	249	C

MASW - HS2

INDIRIZZO: Canale scolmatore di NW, Cisliano

COMUNE: Cisliano (MI)

DATA ACQUISIZIONE: 17 06 2021

ORA: 8.50

Subsurface model

Vs (m/s): 60 260 210 260 200 270 350 550 650 750

Thickness (m): 0.2 1.0 2.2 5.0 2.6 12.0 20.0 40.0 50.0

Density (gr/cm3): 1.52 1.91 1.85 1.91 1.84 1.92 1.99 2.11 2.16 2.20

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approx. values): 5 129 82 129 74 140 244 639 912 1236

Poisson: 0.33 0.40 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30 0.30 0.25 0.25

Vs, eq = Vs30 (m/s): 262

CATEGORIA C

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

Picchi di interesse ingegneristico fra 0,5-20 Hz:

F0 → 1-2 Hz

ACQUISIZIONE MASW - HS2



Figura A. 3 - Stendimento sismico MASW-HS realizzato in corrispondenza dell'area di studio.

ACQUISIZIONE HVSR2



Figura A. 4 - Acquisizione HVSR1 realizzata in corrispondenza dell'area di studio.

Tabella A - Dati riassuntivi relativi all'acquisizione in sismica attiva

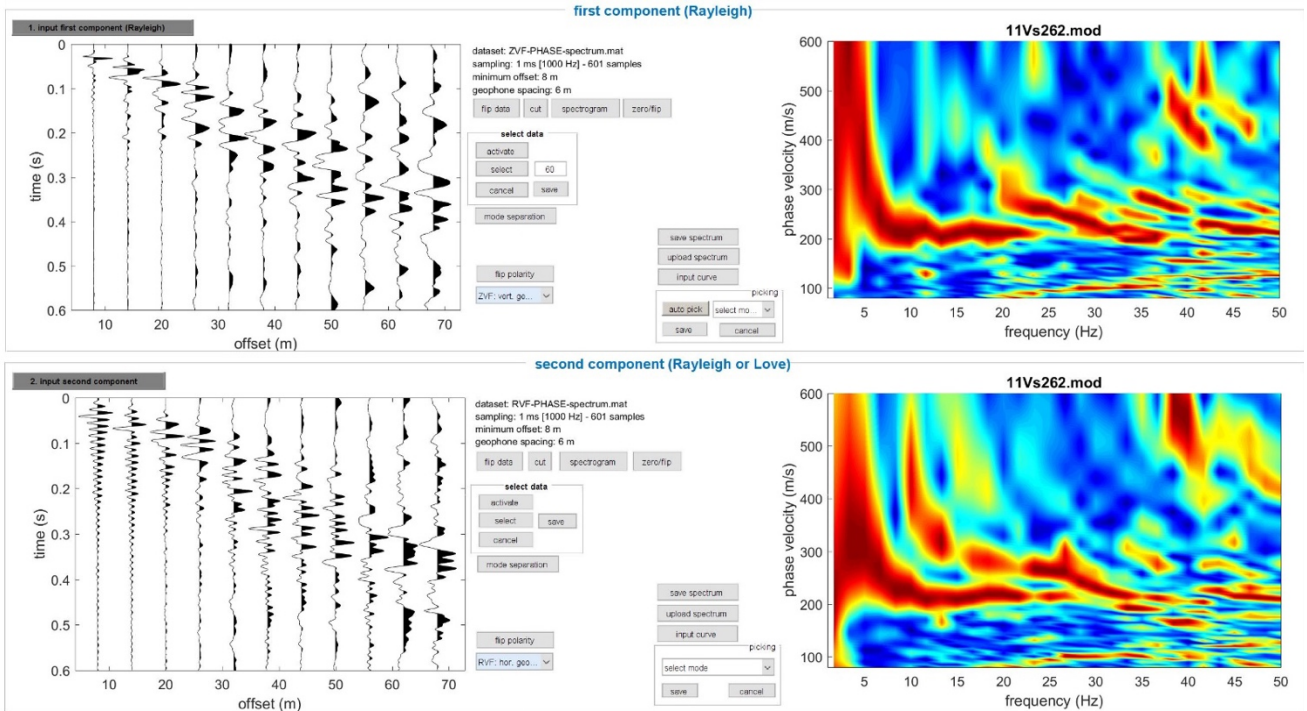
DATI RIASSUNTIVI - ACQUISIZIONE IN SISMICA ATTIVA M.A.S.W.	
Operatore in campagna	Dott. Geol. Gabriele Oppo
Lunghezza Stendimento	68 metri
Offset Minimo	8 metri
Incremento	6 metri
N° tracce	11
Tipo di Onda	Rayleigh: n.5 battute Forza Verticale: - battuta su piattello in alluminio
	Love: n.0 battute Forza Trasversale: - battuta di taglio su traversina in legno
Lunghezza dell'acquisizione	2 secondi
Intervallo di Campionamento	0.001 secondi
Stacking	5 battute per punto sorgente: 5 Verticali

Tabella B - Dati riassuntivi relativi all'acquisizione in sismica attiva

DATI RIASSUNTIVI - ACQUISIZIONE IN SISMICA ATTIVA H.S.	
Operatore in campagna	Dott. Geol. Gabriele Oppo
Lunghezza Stendimento	68 metri
Offset Minimo	- metri
Incremento	- metri
N° tracce	1
Tipo di Onda	Rayleigh: n.5 battute Forza Verticale: - battuta su piattello in alluminio
	Love: n.0 battute Forza Trasversale: - battuta di taglio su traversina in legno
Lunghezza dell'acquisizione	2 secondi
Intervallo di Campionamento	0.001 secondi
Stacking	5 battute per punto sorgente: 5 Verticali

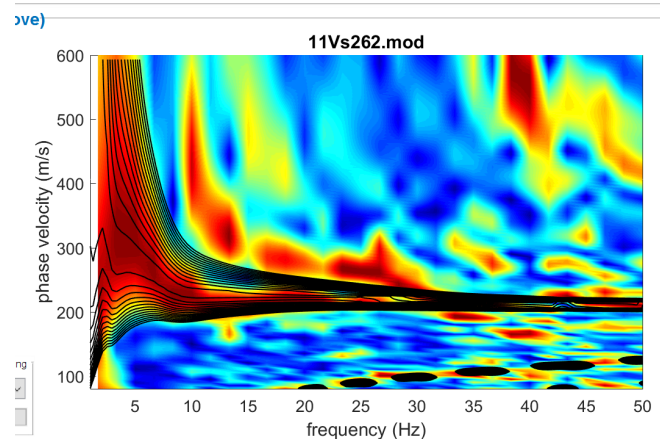
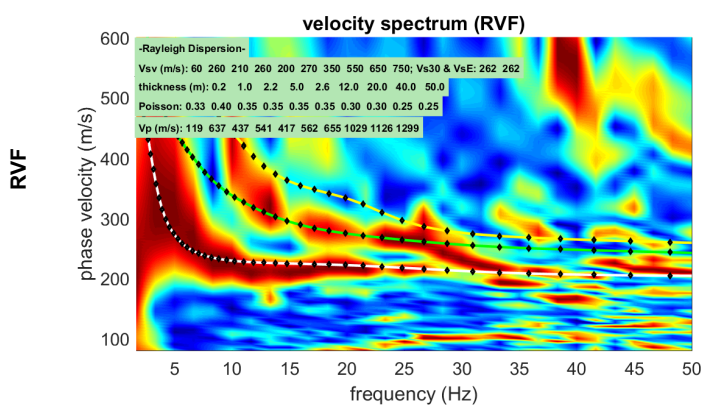
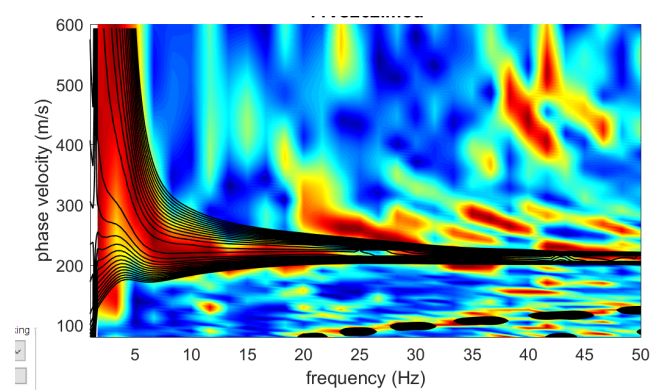
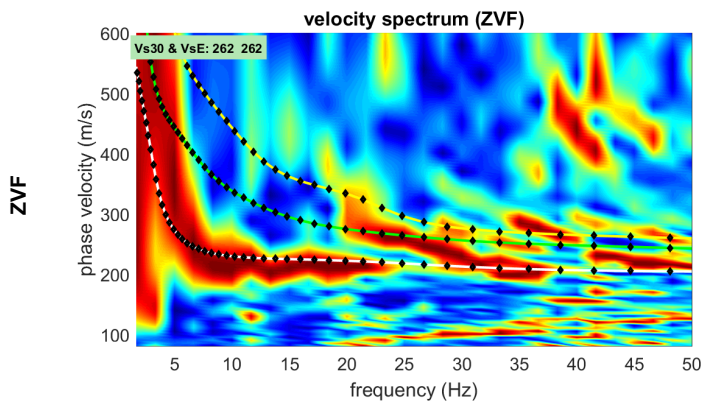
ACQUISIZIONE MASW2

Joint Analysis of Rayleigh-Love Wave Dispersion in ZVF - RVF & HVSr



DISPERSION CURVES

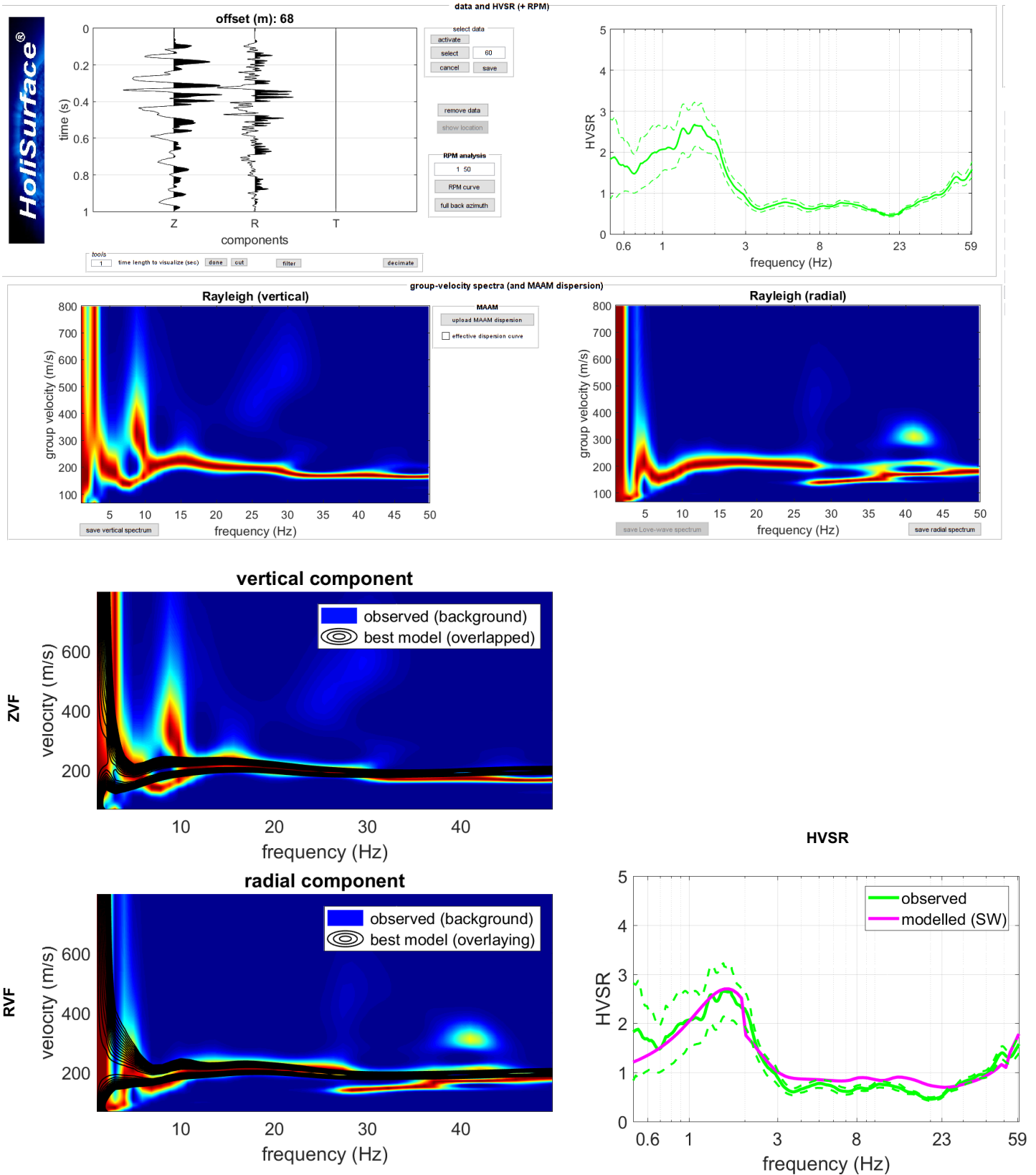
FULL VELOCITIES SPECTRUM



I colori in sottofondo sono relativi agli spettri di velocità dei dati di campagna, le linee colorate in primo piano rappresentano le curve di dispersione del modello elaborato mentre le curve di contour nere si riferiscono al dato sintetico analizzato in FVS.

ACQUISIZIONE HS2 a 68m

Joint Analysis of Rayleigh-Love Wave Dispersion in ZVF - RVF & HVSr



Il modello elaborato deriva dall'analisi congiunta del dato in sismica attiva MASW-HS, a cui è stato associato il dato in sismica passiva HVSr.

ACQUISIZIONE HVSR2

CLASSE DI QUALITÀ DELLA MISURA	A	B1	B2	C
Descrizione delle Classi	CLASSE A: Prova affidabile ed interpretabile	CLASSE B1: Prova da interpretare che presenta almeno un picco chiaro	CLASSE B2: Prova da interpretare che non presenta picchi chiari nell'intervallo di frequenze considerato	CLASSE C: Prova scadente difficile da interpretare

SESAME HVSR MEASUREMENT FIELD SHEET		
Comune: Cisliano (MI)	Indirizzo: Canale scolmatore di NW, Cisliano	
Attività da svolgere: Indagine HVSR	Data: 17/06/2021	Ora: 9.14
DATI TECNICI		
Operatore: Geol. Gabriele Oppo	Indagine n° HVSR2	Codice file /
Strumento: Geofono triassiale da 2 Hz "GEMINI 2" <i>PASI Instruments</i>	Freq. Campionamento: 200 Hz	Durata (min): 25 min

CONDIZIONI ATMOSFERICHE

Vento	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> moderato	<input type="checkbox"/> forte
Pioggia	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> moderata	<input type="checkbox"/> forte

TERRENO DI PROVA

Suolo	<input type="checkbox"/> argilloso limoso soffice	<input type="checkbox"/> argilloso limoso duro	<input checked="" type="checkbox"/> con erba	<input type="checkbox"/> senza erba
	<input type="checkbox"/> ghiaia	<input type="checkbox"/> sabbia	<input checked="" type="checkbox"/> sabbia e ghiaia	<input type="checkbox"/> roccia
Pavimentazione artificiale	<input type="checkbox"/> rilevato in ghiaia	<input type="checkbox"/> cemento/cls	<input type="checkbox"/> asfalto	<input type="checkbox"/> sabbia
Accoppiamento sensore	<input checked="" type="checkbox"/> piedini infissi	<input type="checkbox"/> accoppiamento artificiale	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> altro
	<input type="checkbox"/> piedini da pavimento			

STRUTTURE CIRCOSTANTI

Abitazioni	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Fabbriche	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Piante	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Ponti.	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti		<input type="checkbox"/> Presenti	
Strutt.sotterr.	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti		<input type="checkbox"/> Presenti	

SORGENTI DI RUMORE

Disturbo discontinuo	Assente	Raro	Moderato	Forte	Molto forte	Distanza (m)
	<i>auto</i>		<input checked="" type="checkbox"/>			
	<i>mezzi pesanti</i>		<input checked="" type="checkbox"/>			
	<i>passanti</i>	<input checked="" type="checkbox"/>				
	<i>altro</i>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Disturbo continuo	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti			<input type="checkbox"/> Presenti		

ACQUISIZIONE HVSR2

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SITE20210617_0914_HVSR1.SAF

Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 20

HVSR computation: quadratic mean

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 29.4

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 10

SESAME criteria

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

Peak frequency (Hz): 1.5 (±0.5)

Peak HVSR value: 2.7 (±0.5)

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

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: $1.532 > 0.5$ (OK)

#2. [$nc > 200$]: $2542 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

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

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency 0.4Hz (OK)

#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 2.5Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $2.7 > 2$ (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (NO)

#5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$]: $0.530 > 0.153$ (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $1.024 < 1.78$ (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

ACQUISIZIONE HVSR2

show current data

reset

step#1 (optional) - decimate

128/2

new frequency

example

step#2 - HV computation

remove events

from 1000 to 10

clean axes

20

window length (s)

5

tapering (%)

Min. freq.: 0.5 Hz

4

amplitude threshold

test removal

5000

HVSR threshold

10%

spectral smoothing (biquad. window)

6

decreasing order

no equalization

full output

particle motion, all HVSRs, time lapse videos

close windows

save videos

quadratic mean

compute

continuity

show 3D motion

directivity analysis

128/1000 to 10/100

LO 200 100

Hz

compute

save - option#1: save HVSR as it is

save HV from 0.5 to 100 Hz

save HV curve (as it is)

picking HV or amplitude spectra

HVSR

pick data

save picked HV

compute

quick analysis (FVS/4H)

200

average V_s (m/s)

(from surface to bedrock)

20

depth of the bedrock (m)

1000

V_s of the bedrock

clean

compute

highlight a frequency

show/hide

10

Hz

upload HVSR curve

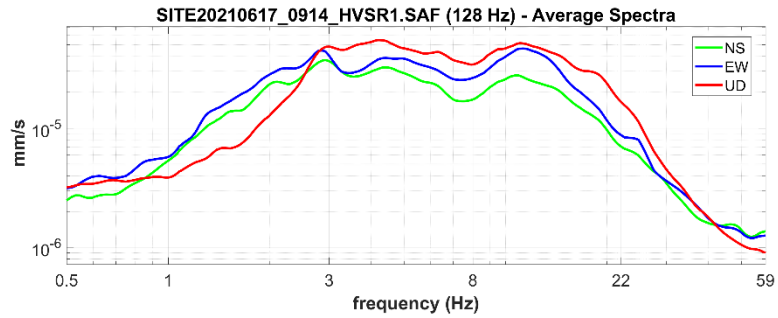
directivity over time

directivity in time

time

50

s



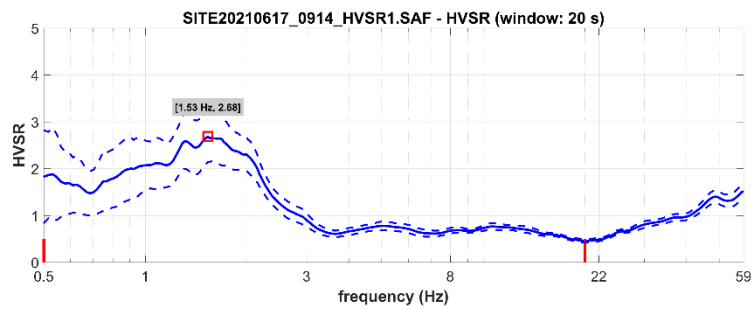
open working folder

show location

field notes

your comments

default axes



To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMI/ESAC data), go to the "Velocity Spectrum/s, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

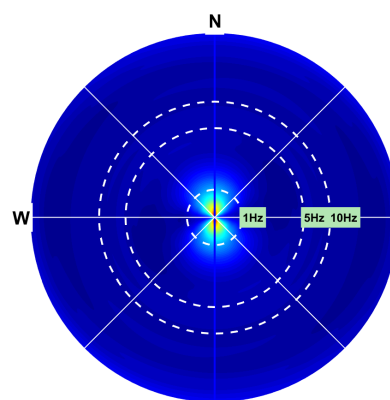
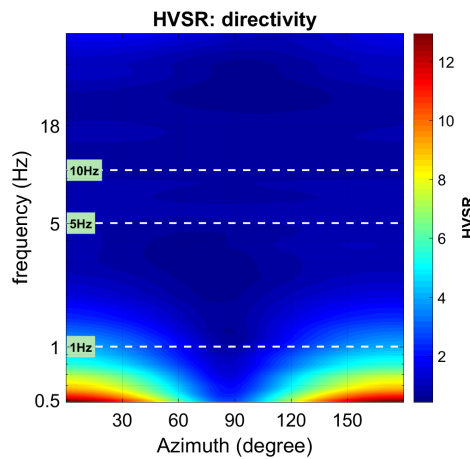
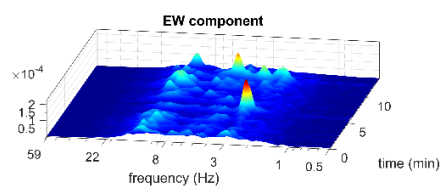
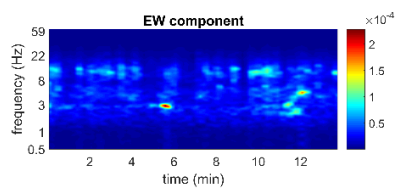
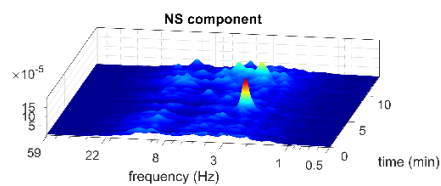
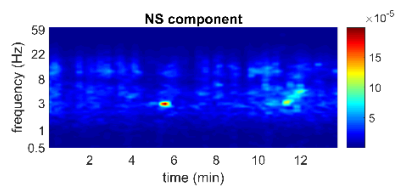
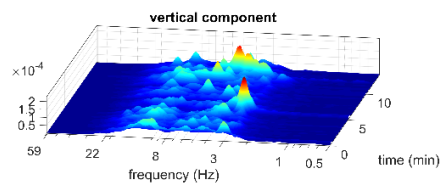
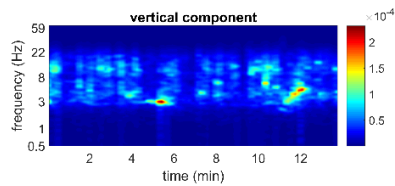
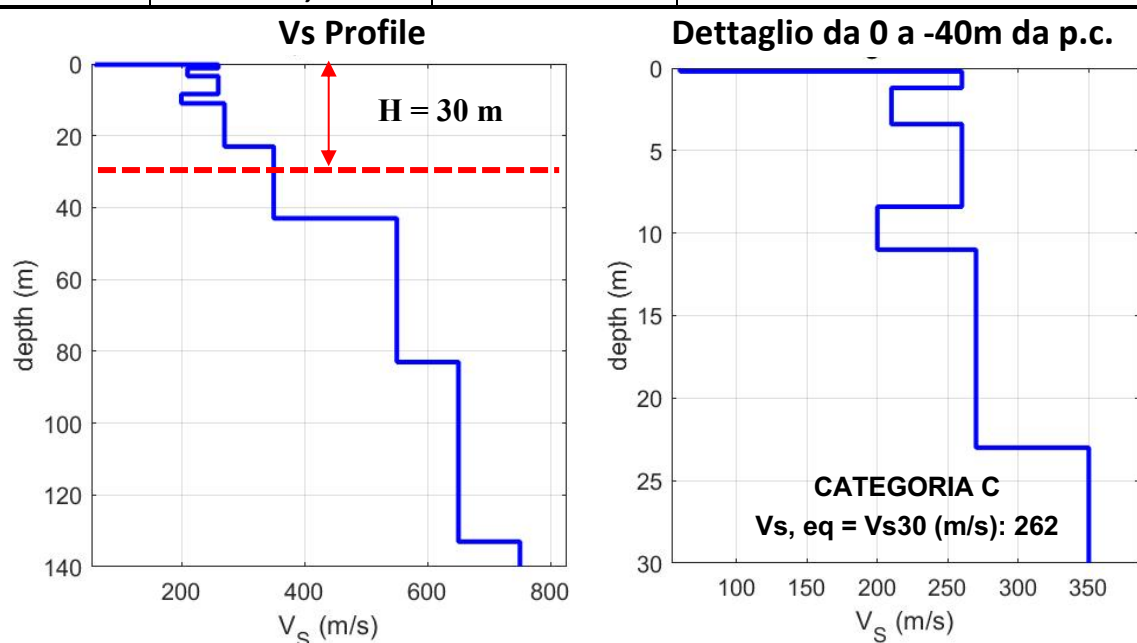


Tabella D - Stratigrafia sismica e parametri determinati.

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità onde di taglio Vs [m/s]
1	0	0,2	60
2	0,2	1,0	260
3	1,2	2,2	210
4	3,4	5,0	260
5	8,4	2,6	200
6	11,0	12,0	270
7	23,0	20,0	350
8	43,0	40,0	550
9	83,0	50,0	650
10	133,0	Inf.	750



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

Tabella E - Calcolo Vs, eq = Vs30 per i primi 2,5 m dalla profondità di appoggio della fondazione.

DETERMINAZIONE Vs, eq = Vs30		
Profondità appoggio fondazione	Vs, eq = Vs30 [m/s]	Categoria di sottosuolo corrispondente
P.C.	262	C
-0,5m	270	C
-1m	271	C
-1,5m	273	C
-2m	275	C
-2,5m	278	C

CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE PER L'ACQUISIZIONE GEOFISICA

Per effettuare le misure di sismica attiva/passiva è stato impiegato il “**GEMINI-MASW**” della **PASI S.r.l.** (Fig. A. 3a; Fig A. 3b). Per le specifiche tecniche dello strumento si rimanda alla **Figura A.4** e all’indirizzo internet del produttore: <https://www.pasisrl.it/>.

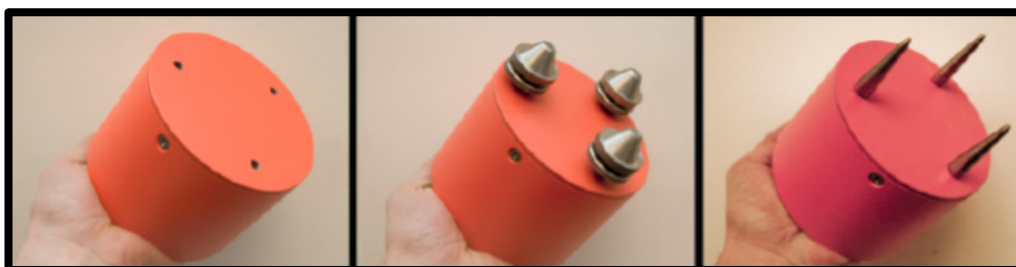
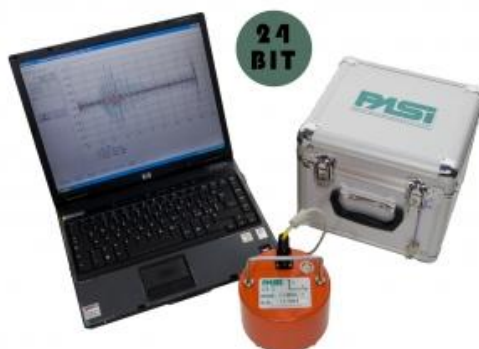


Figura A. 3a - Versione “GEMINI HVSR” basilare impiegata per la prospezione sismica passiva: dettaglio dei supporti intercambiabili in dotazione, da sostituire a seconda che si acquisisca su superficie rigida o su terreno.



Figura A. 3b - Versione “GEMINI MASW” impiegata per la prospezione sismica attiva: lo stendimento prevede il collegamento della strumentazione procedendo da sinistra verso destra. In aggiunta va inserito il PC come per una normale acquisizione HVSR.



GEOFONO 3D DA SUPERFICIE CON INTERFACCIA USB MOD. GEMINI-2

www.pasigeophysics.com



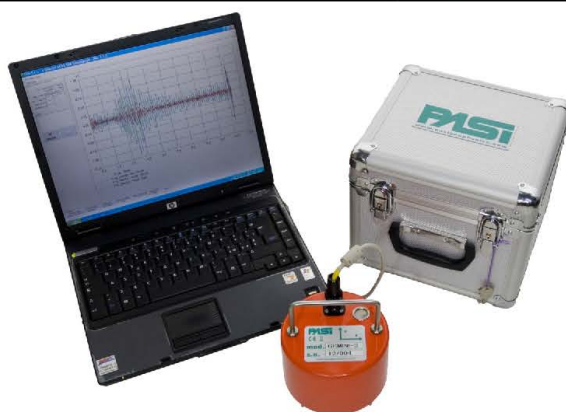
SPECIFICHE TECNICHE GEMINI -2

SCHEDA ACQUISIZIONE DATI

Alimentazione / Registrazione Dati	Tramite porta USB di un PC esterno (di fornitura Cliente)
Conversione Dati	Convertitore A/D Sigma-Delta 24 bit reali
Frequenza di Campionamento	Max. Freq. 8ksps, simultaneamente su 3+1 canali
Rapporto S/N	Max 117 db
Largh.Banda +/- 0.1 dB	108 Hz @ 1ksps
Largh.Banda -3 dB	212 Hz @ 1ksps
Numero di canali	3 + 1 (trigger)
Formato Dati	SAF (Sesame ASCII Format) / SEG2 (.dat)

SENSORI GEMINI 2

Freq. nat. di risonanza	2 Hz \pm 10%
Sensibilità	2 V/cm \cdot S ⁻¹ \pm 5%
Resistenza interna	5.8 k Ω \pm 5%
Damping	0.7 \pm 10%
Distorsione armonica	\leq 0.2%
Impedenza d'ingresso	\geq 10 M Ω
Temperatura operativa	da -25°C a +55°C
Bloccaggio sensori	automatico quando non in uso
Dimensioni	Diam. 128 mm h. 175mm
Peso	2.4 Kg



Accessori Disponibili:

- Opzione trigger esterno
- Opzione GPS (georeferenziazione, temporizzazione e sincronizzazione)
- Geofono starter
- Cavo Prolunga Trigger (graduato in cm)

P.A.S.I. S.R.L. — Via Galliari 5/E — 10125 Torino - Italy
tel. +39 (0)11 6507033 - sales@pasisrl.it - www.pasigeophysics.com

Specifiche soggette a cambiamento senza preavviso

Figura A. 4 - Specifiche tecniche del "GEMINI MASW" della PASI S.r.l., impiegato per le prospezioni sismiche.

ACCESSORI “GEMINI HVSR”

- n.1 geofono triassiale Gemini da 2 Hz;
- n°3 puntali per terreno;
- n°3 piedini regolabili (per utilizzo su asfalto o supporti/materiali rigidi);
- n.1 cavo USB per connessione a PC;
- n.1 chiave USB con manuale, software di gestione e documentazione tecnica.

ACCESSORI “GEMINI MASW”

- n.1 geofono triassiale Gemini da 2 Hz;
- n°3 puntali per terreno;
- n°3 piedini regolabili (per utilizzo su asfalto o supporti/materiali rigidi);
- n.1 cavo USB per connessione a PC dotato di connessione per trigger (geofono starter o mazza di battuta);
- n.1 cavo schermato su rullo (Mt. 100) per trigger Gemini;
- n.1 geofono starter;
- n.1 mazza di battuta da 8Kg, con starter piezoelettrico;
- n.1 piattello di battuta in alluminio per energizzazione verticale, dimensioni 20x20x5 cm;
- n.1 traversina in legno per energizzazione laterale;
- n.1 chiave USB-GPS per geo-localizzazione;
- n.1 chiave USB con manuale, software di gestione e documentazione tecnica.

SOFTWARE DI ACQUISIZIONE DATI:

- ***PASI GEA 24 - Versione 2.1.2***
- ***PASI GEMINI - Versione 3.2.4***

SOFTWARE DI ELABORAZIONE DATI:

- ***WinMASW 3C - Versione 2019***
- ***HoliSurface - Versione 2019***

Per maggiori dettagli, si prega di consultare l'indirizzo Internet:

<https://www.winmasw.com/>

- ***ZondST2D - Seismic Tomography 2D (vers. 4.2).***

Per maggiori dettagli, si prega di consultare l'indirizzo Internet:

<http://zond-geo.ru/english>

ALLEGATO B - INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN CORRISPONDENZA DELL'ARGINE DESTRO DEL CANALE SCOLMATORE

LOCALIZZAZIONE DELL'INDAGINE

Per il raggiungimento degli obiettivi preposti è stata realizzata una campagna di acquisizione attraverso:

- **n.1 Sismica a rifrazione a 24 canali, con spaziatura geofonica di 5m; n.7 punti di energizzazione (shot), di cui 4 shot esterni al profilo indagato e con lunghezza di stendimento complessiva di 112m.**

L'ubicazione della linea di misura è riportata su stralcio della Carta Geologica.

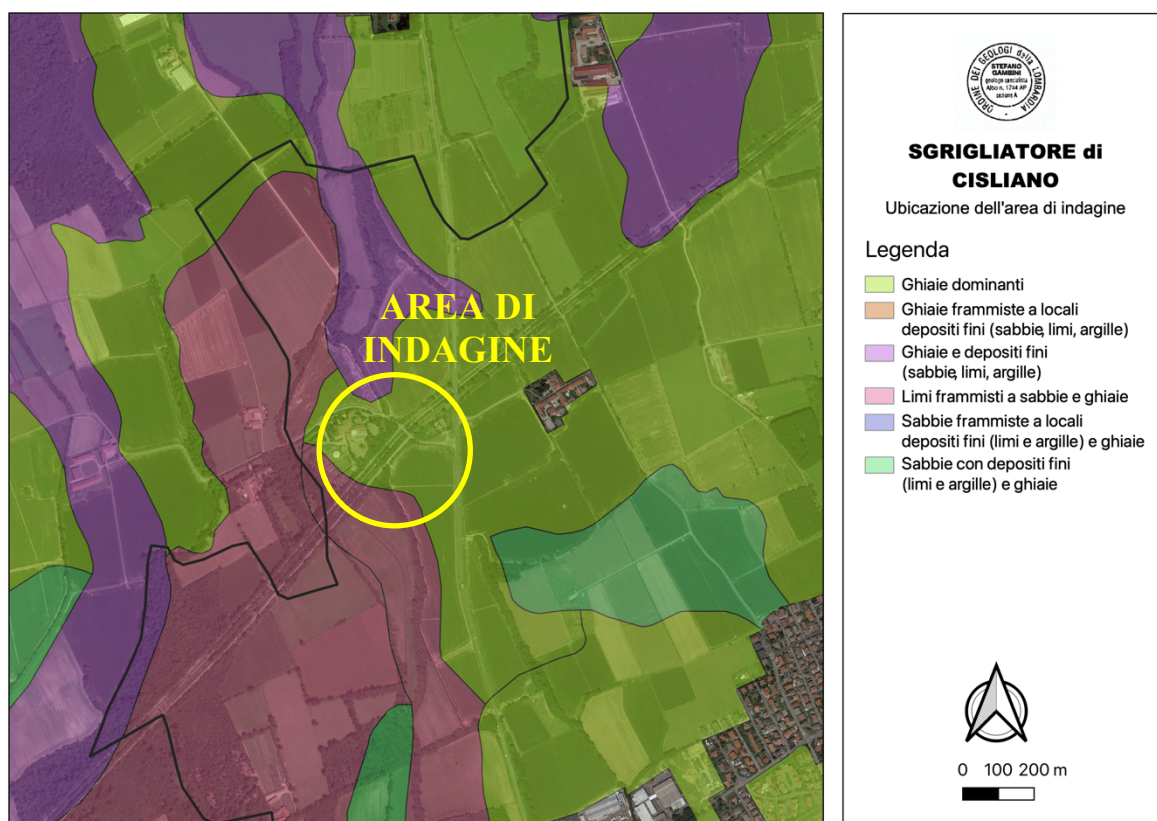


Figura B.1 - Ubicazione dell'area d'indagine geoelettrica sullo stralcio della Carta Geologica Regionale.

DETTAGLI TECNICI ED ELABORAZIONI DELLE INDAGINI REALIZZATE

Di seguito sono riportati i dettagli tecnici e le elaborazioni relativi a ciascuna indagine sismica eseguita.

In particolare, si riportano i modelli ottenuti tramite il processo di inversione tomografica relativi alle onde P e alle onde S.

Per ciascuna tipologia di onda, si propone:

- array del profilo sismico realizzato, con l'individuazione degli shots e dei geofoni;
- hodographs → grafico spazio(X) tempo(Y) relativo al picking dei primi arrivi;
- dataset sismici acquisiti relativi a ciascuno shot realizzato, con il picking del primo arrivo
- modello del terreno ottenuto grazie al processo di inversione:
 - “Mesh section with ray paths”;
 - “Smooth section with ray paths”;
 - “Contour section with ray path”;
- raffronto fra modello in onde P e modello in onde S.

Per ogni profilo acquisito è stata effettuata la correzione topografica del modello, in modo da avere una sezione sismica aderente alla morfologia locale.

UBICAZIONE INDAGINE

LOCALITA': Canale scolmatore di NO, Cislano

COMUNE: Cislano (MI)

DATA ACQUISIZIONE: 16 06 2021

ORA: 16.00



SGRIGLIATORE di CISLIANO

Sismica a rifrazione

Legenda

- Stendimento di sismica a rifrazione
- Geofono
- ★ Energizzazione



0 10 20 m

SR1

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura B.1 - Stendimento sisimico "SR1" realizzato in corrispondenza dell'area di studio.

SR1

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura B.2 - Stendimento sismico “SR1” realizzato in corrispondenza dell’area di studio.

Tabella B.1 - Dati riassuntivi relativi all'acquisizione in sismica attiva a rifrazione in onde P

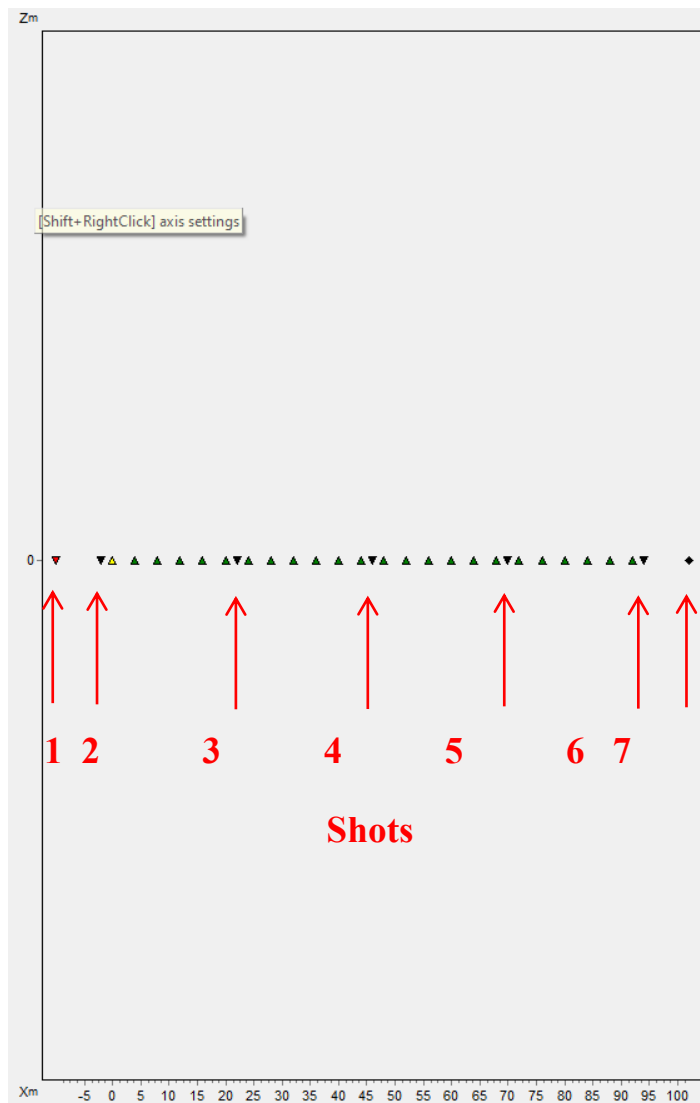
DATI RIASSUNTIVI - ACQUISIZIONE IN SISMICA ATTIVA A RIFRAZIONE - ONDE P	
<i>Operatore in campagna</i>	Geol. Stefano Gambini e Geol. Gabriele Oppo
<i>Lunghezza Stendimento</i>	112 metri
<i>Distanza intergeofonica</i>	4 metri
<i>N° tracce</i>	24
<i>Tipo di Onda</i>	Rayleigh; Forza Verticale: - battuta su piattello in alluminio
<i>Lunghezza dell'acquisizione</i>	2 secondi
<i>Intervallo di Campionamento</i>	0.001 secondi
<i>Stacking</i>	5 battute per punto sorgente: 5 Verticali
<i>Punti di Shot</i>	in metri rispetto al geofono n°1 <ul style="list-style-type: none"> ➤ Shot1: -10m ➤ Shot2: -2m ➤ Shot3: +22m ➤ Shot4: +46m ➤ Shot5: +70m ➤ Shot6: +94m ➤ Shot7: +102m

Tabella B.2 - Dati riassuntivi relativi all'acquisizione in sismica attiva a rifrazione in onde S

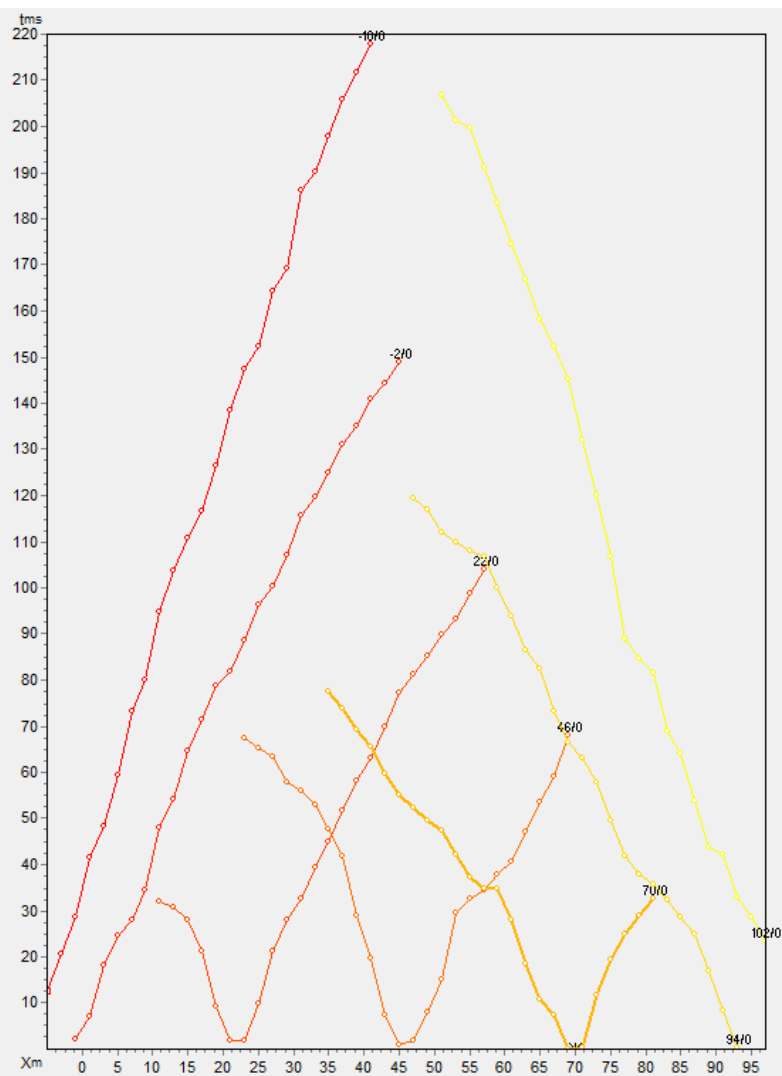
DATI RIASSUNTIVI - ACQUISIZIONE IN SISMICA ATTIVA A RIFRAZIONE - ONDE S	
<i>Operatore in campagna</i>	Geol. Stefano Gambini e Geol. Gabriele Oppo
<i>Lunghezza Stendimento</i>	112 metri
<i>Distanza intergeofonica</i>	4 metri
<i>N° tracce</i>	24
<i>Tipo di Onda</i>	Love; Forza Trasversale: - battuta di taglio su traversina in legno
<i>Lunghezza dell'acquisizione</i>	2 secondi
<i>Intervallo di Campionamento</i>	0.001 secondi
<i>Stacking</i>	10 battute per punto sorgente: 5 Orizzontali Sx + 5 Orizzontali Dx
<i>Punti di Shot</i>	in metri rispetto al geofono n°1 <ul style="list-style-type: none"> ➤ Shot1: -10m ➤ Shot2: -2m ➤ Shot3: +22m ➤ Shot4: +46m ➤ Shot5: +70m ➤ Shot6: +94m ➤ Shot7: +102m

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE - ONDE P

Array



Hodographs

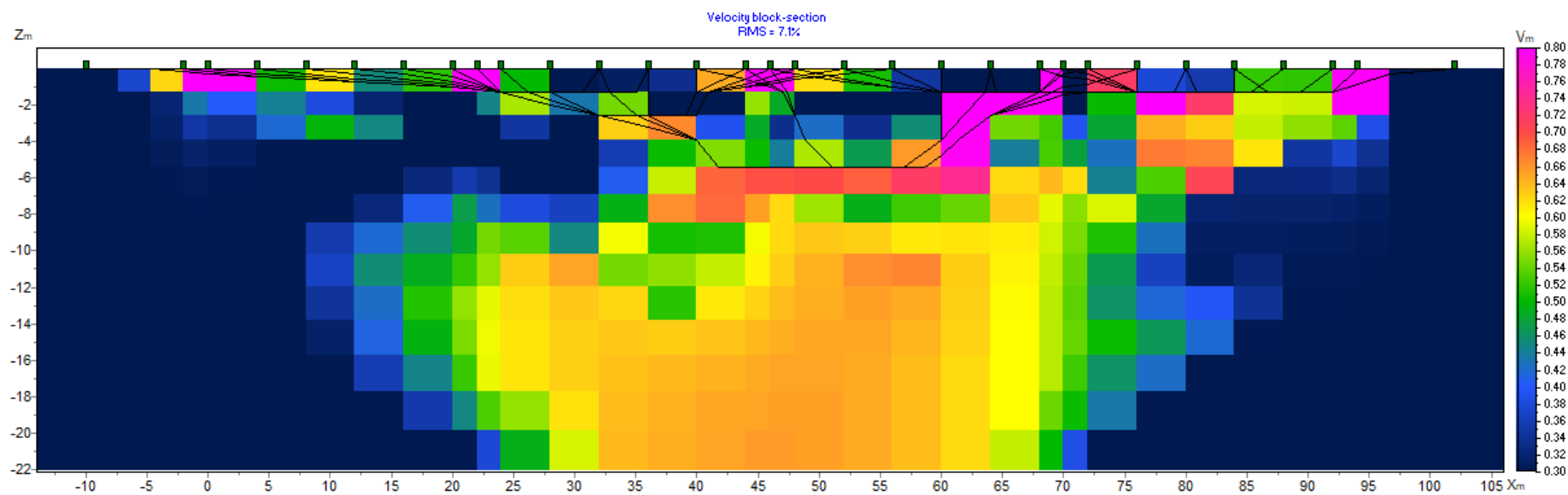
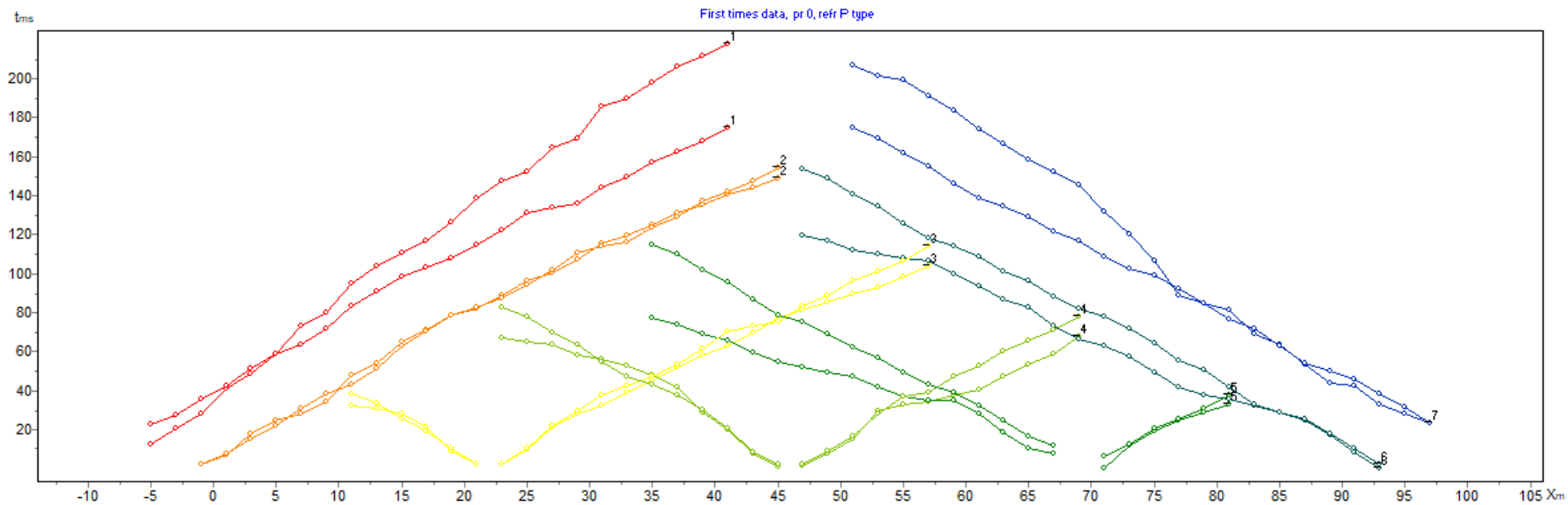


NE

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE - ONDE P - MESH SECTION WITH RAY PATHS

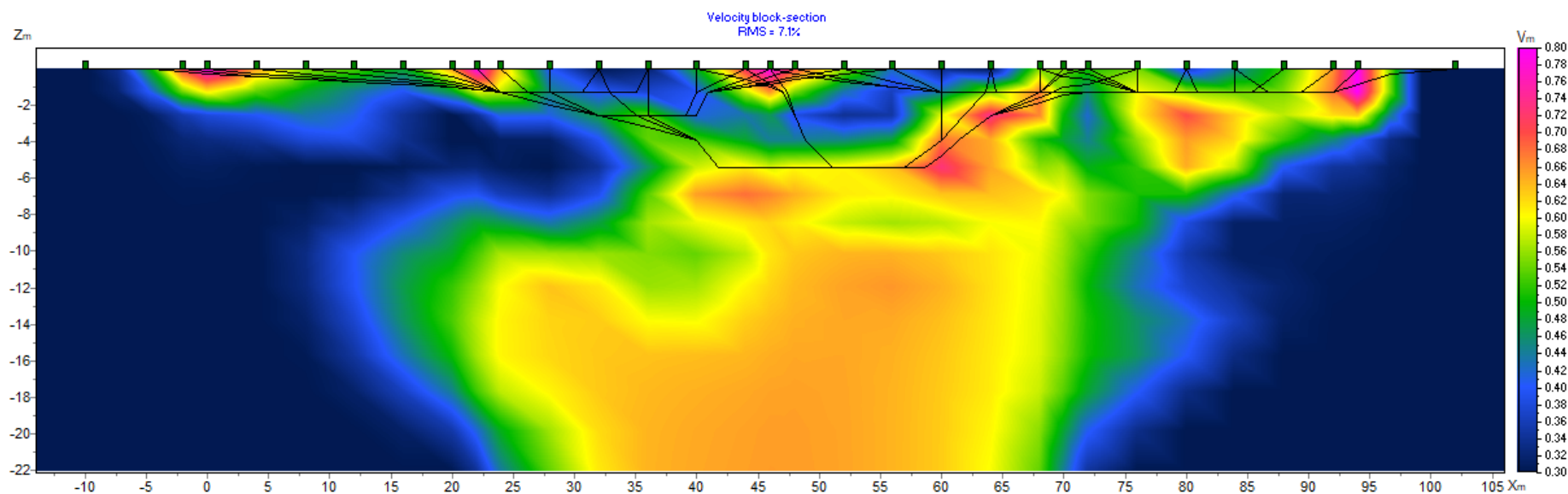
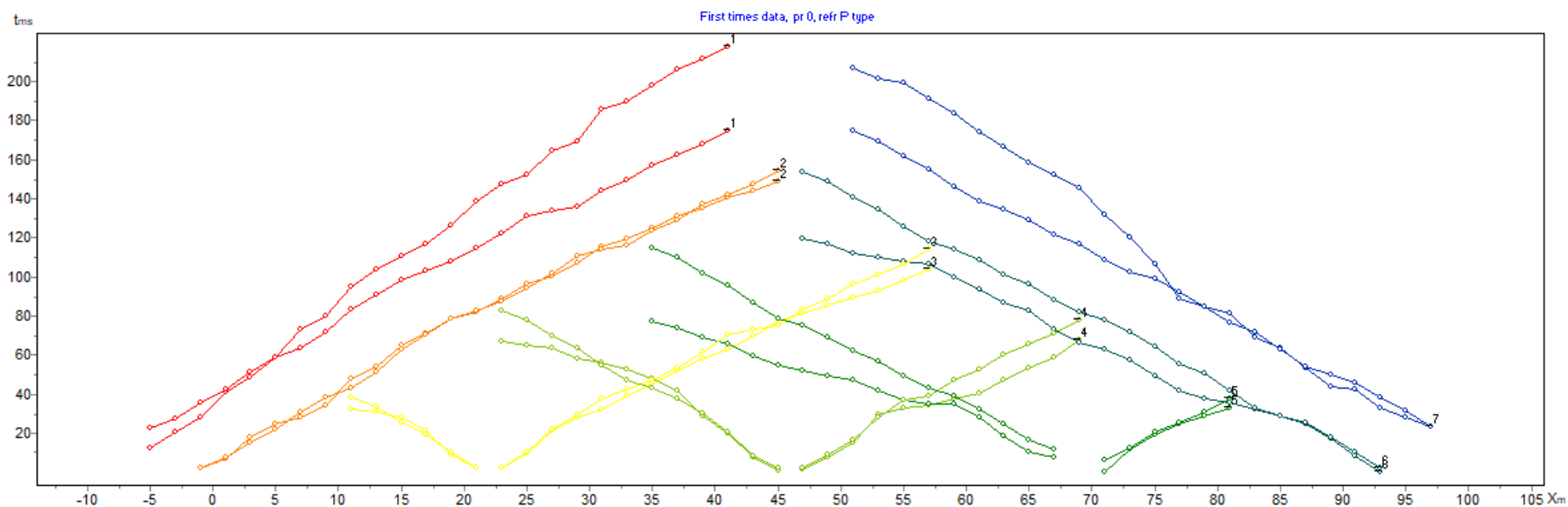
SW

Modello in onde P



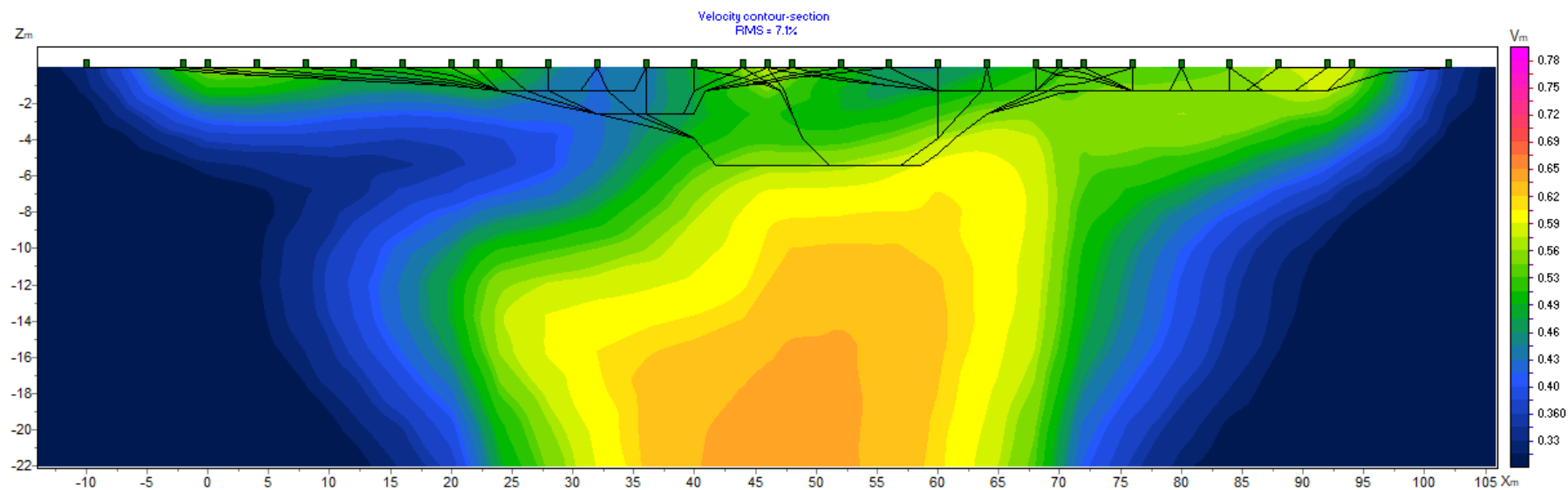
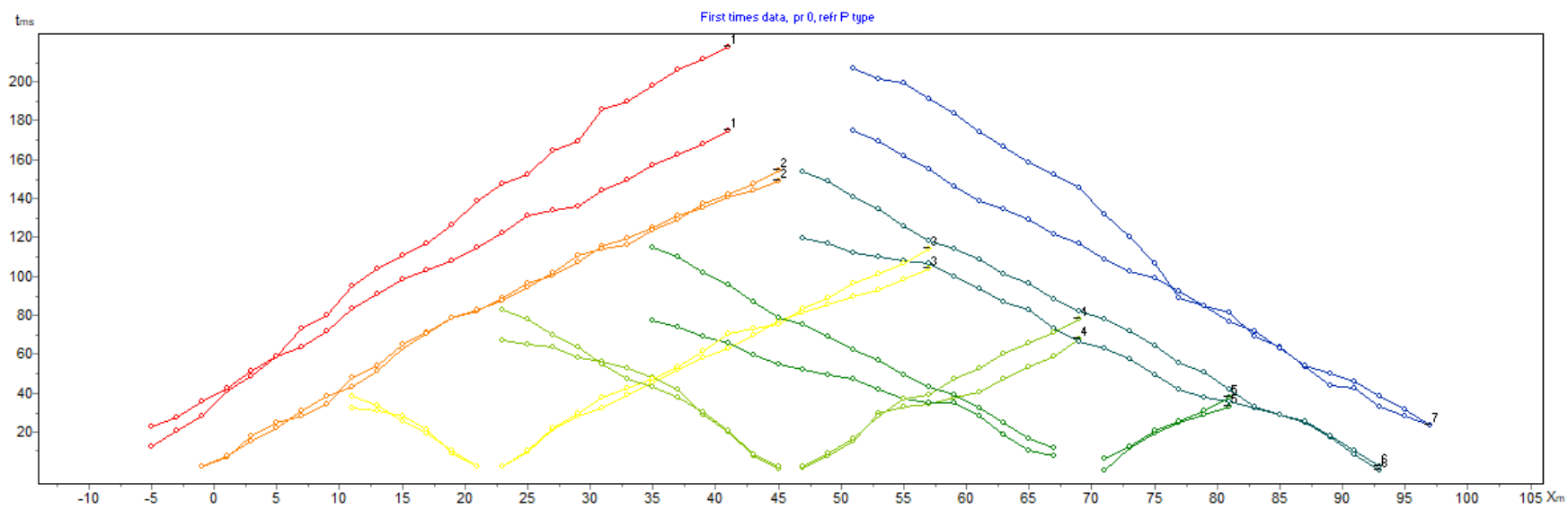
PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE - ONDE P - SMOOTH SECTION WITH RAY PATHS

Modello in onde P



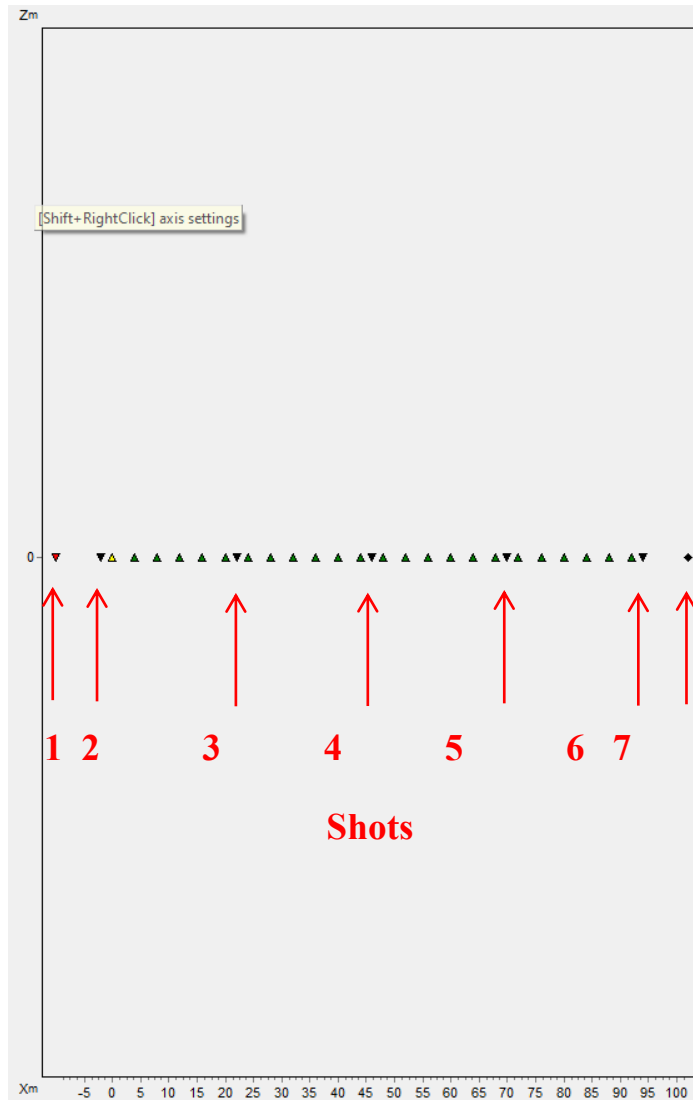
PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE - ONDE P - CONTOUR SECTION WITH RAY PATHS

Modello in onde P

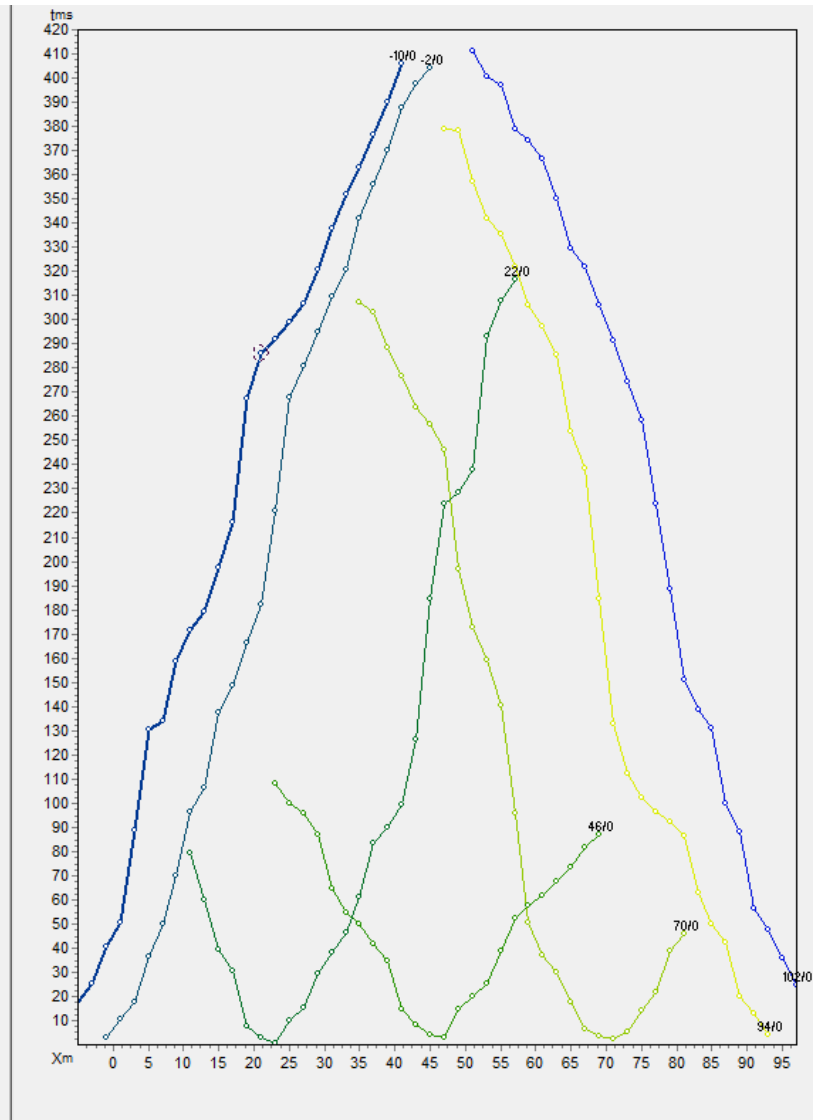


PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE - ONDE S

Array



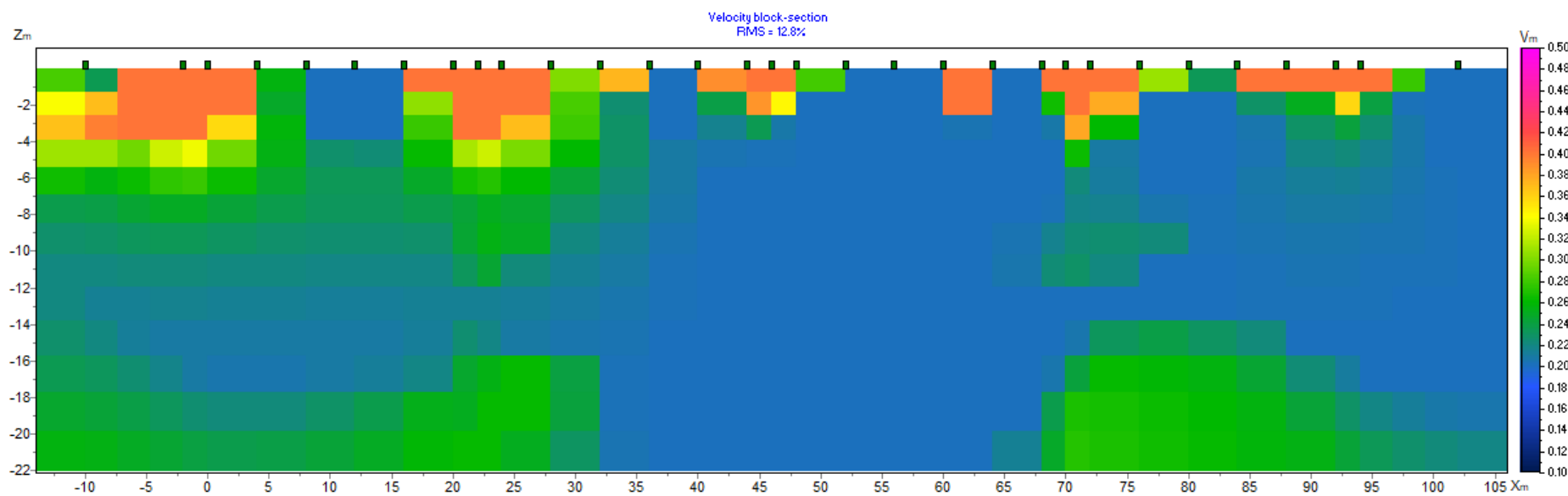
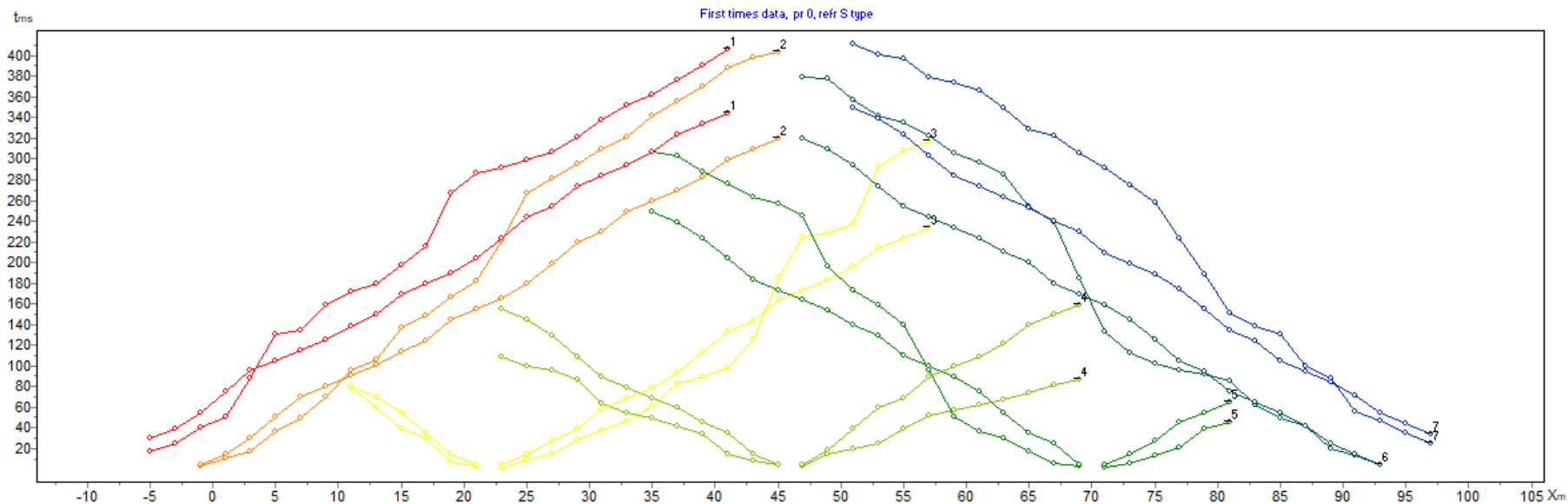
Hodographs



NE

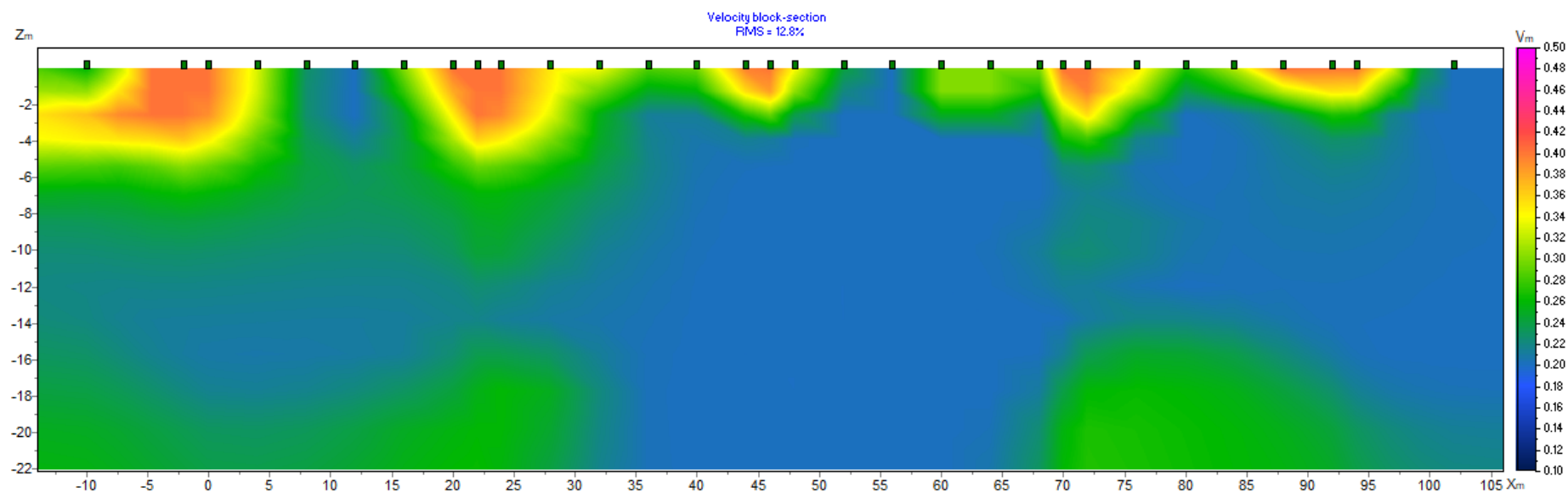
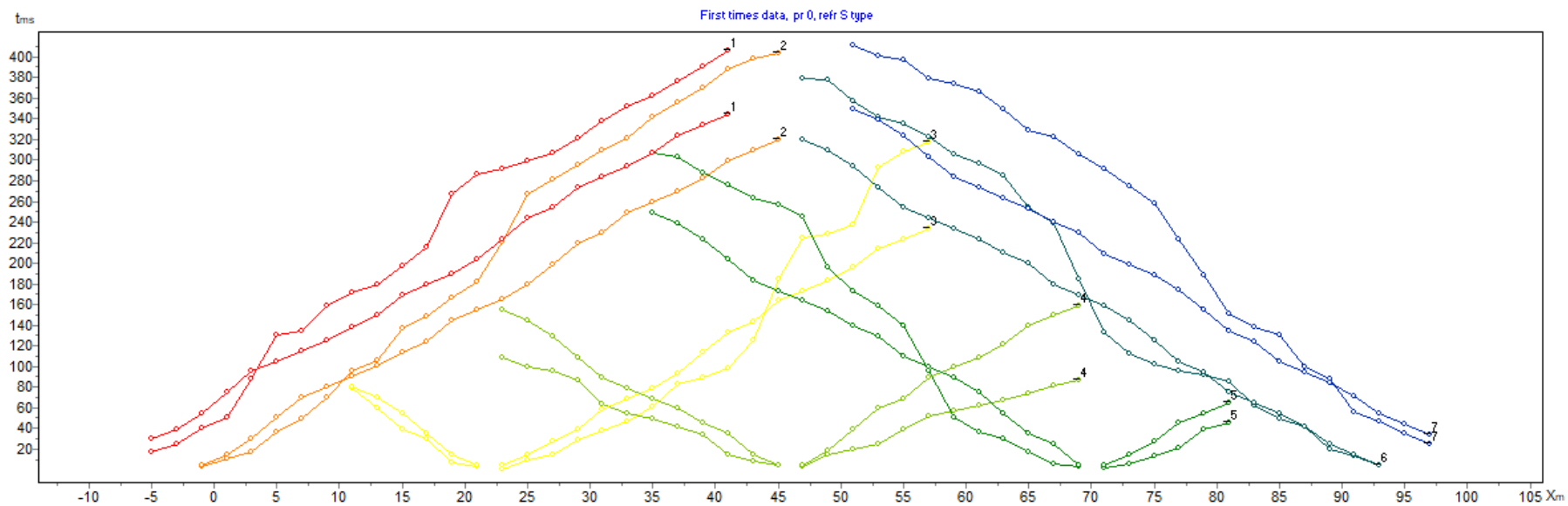
PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE - ONDE S - MESH SECTION WITHOUT RAY PATHS

SW

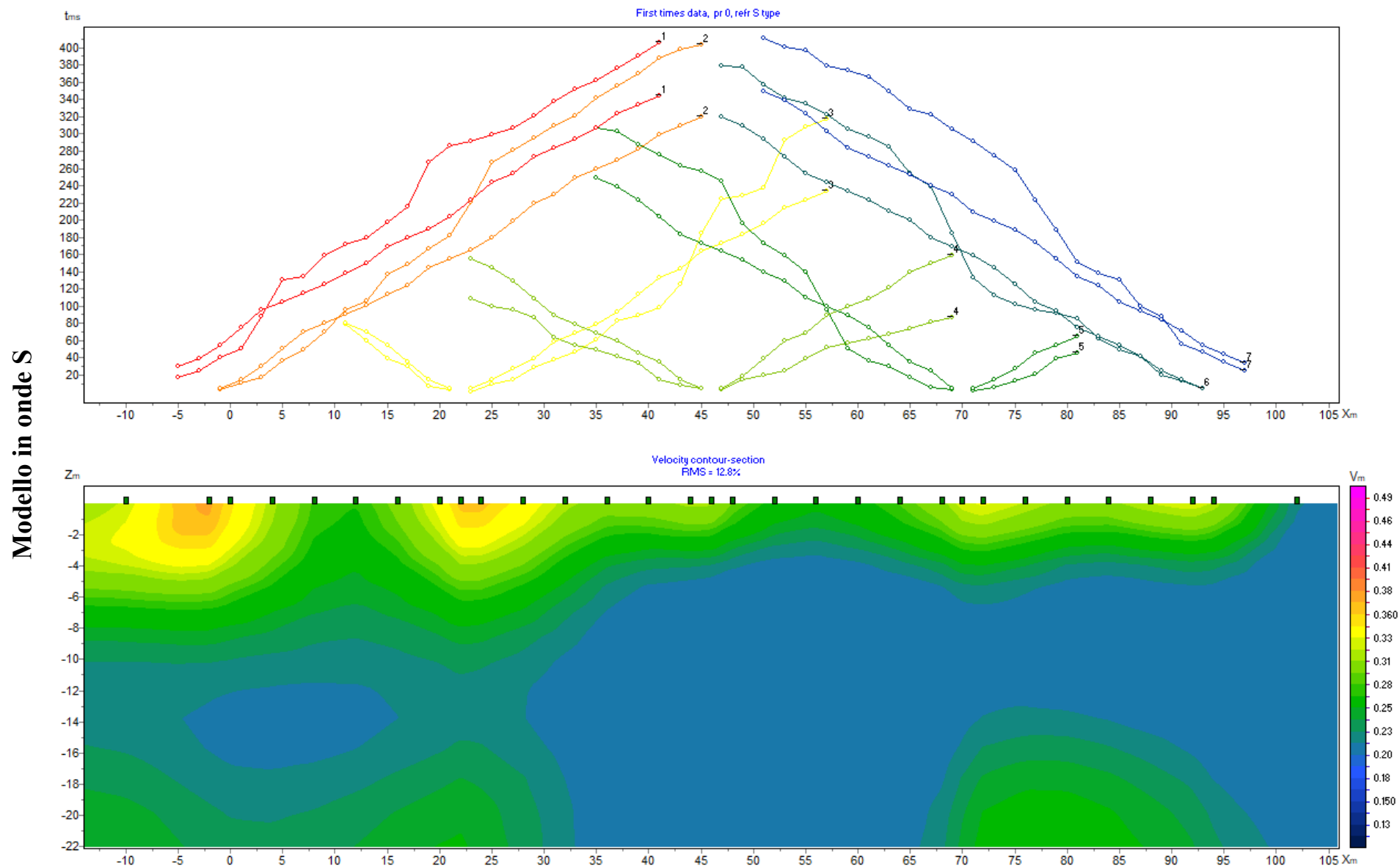


PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE - ONDE S - SMOOTH SECTION WITHOUT RAY PATHS

Modello in onde S



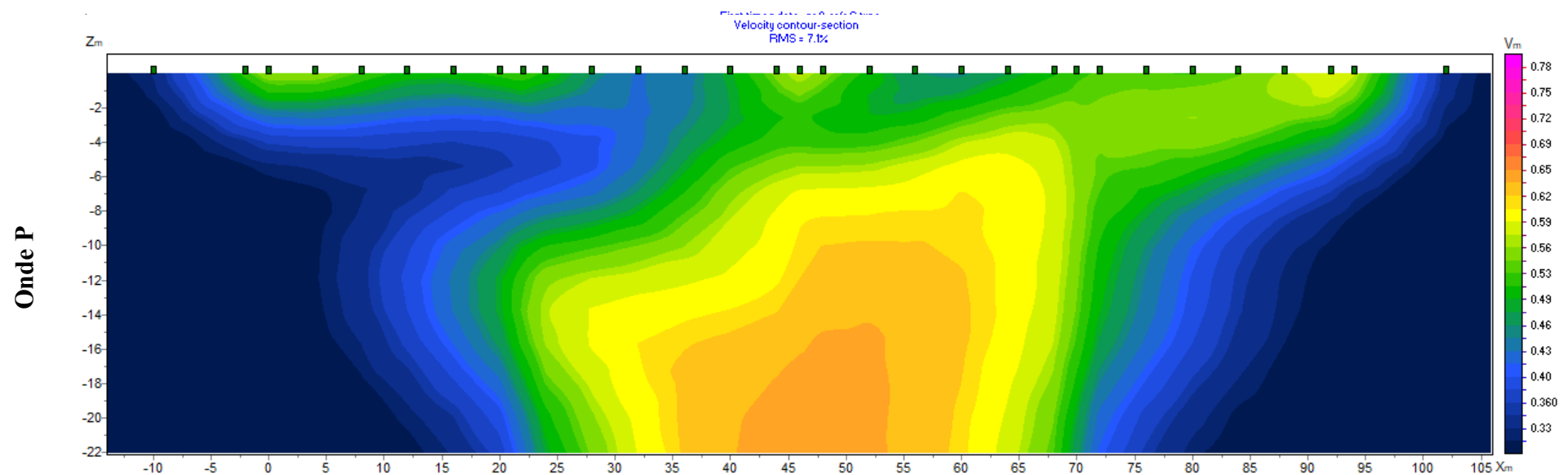
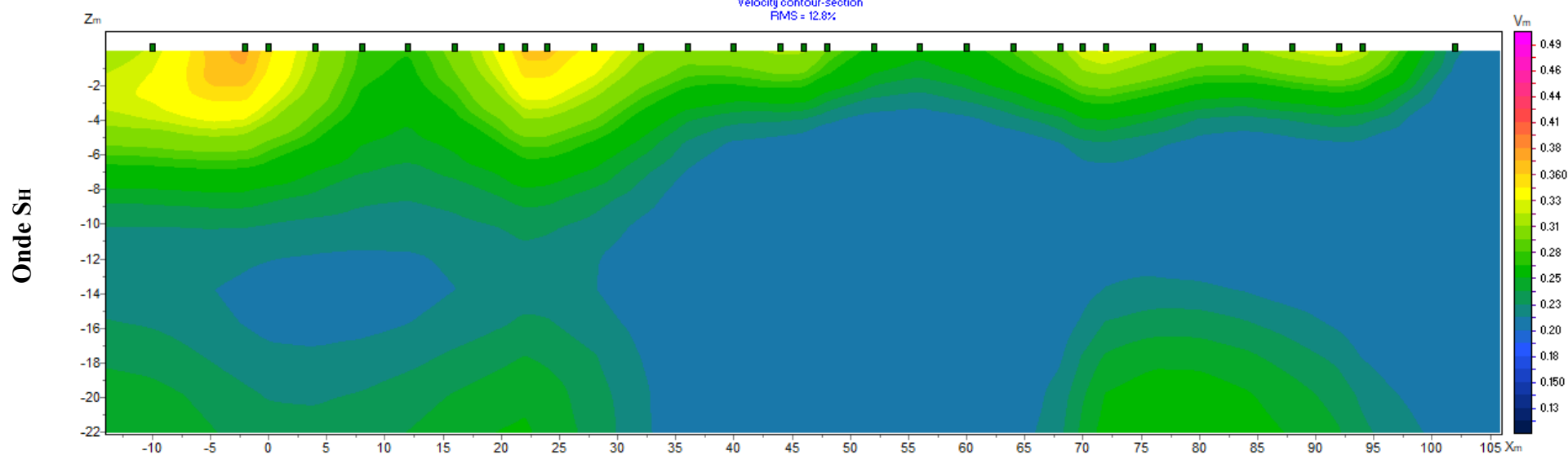
PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE - ONDE S - CONTOUR SECTION WITHOUT RAY PATHS



NE

CONFRONTO V_p-V_{SH} - CONTOUR SECTION WITHOUT RAY PATHS - DEPTH 22m

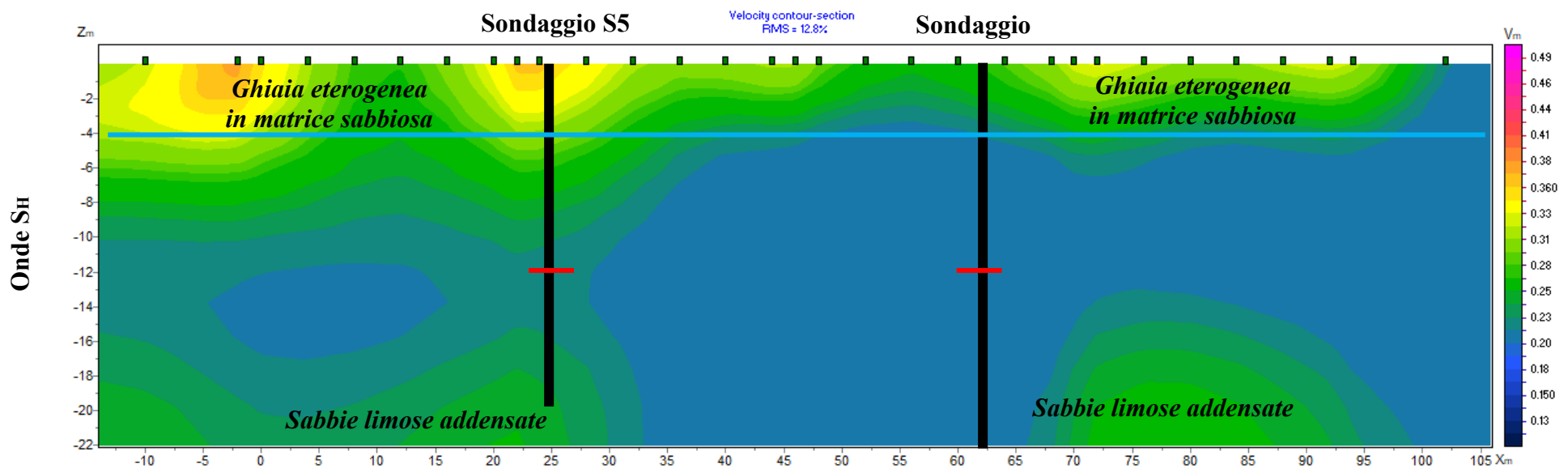
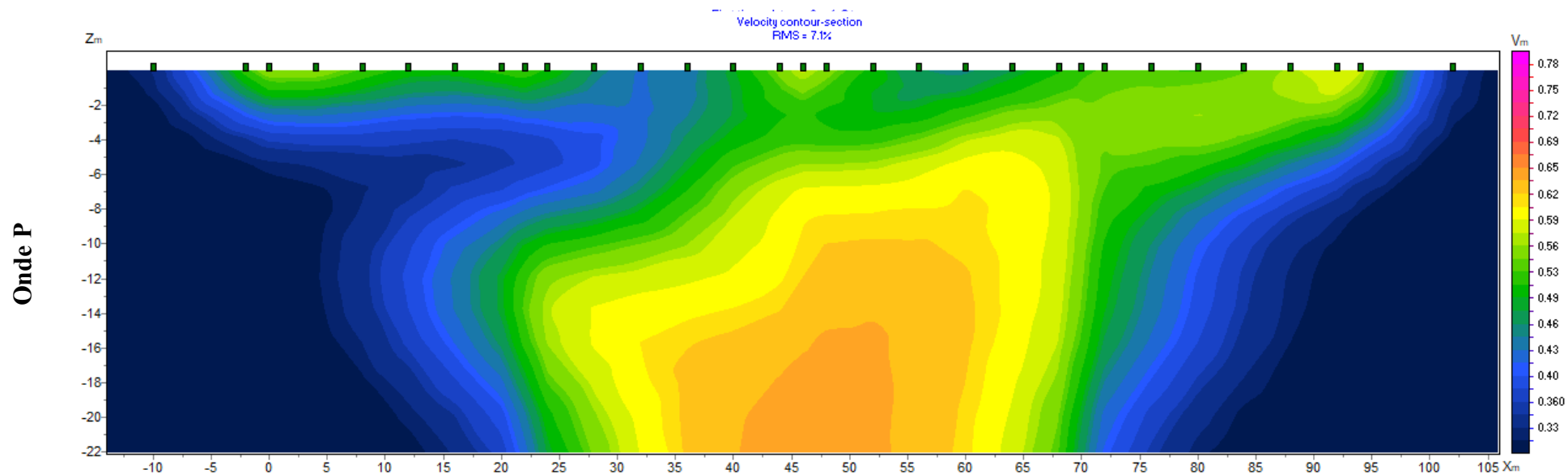
SW

Velocity contour-section
RMS = 12.8%

NE

SEZIONE INTERPRETATIVA - CONFRONTO V_p-V_{SH} - CONTOUR SECTION - DEPTH 22m

SW



LOCALIZZAZIONE INDAGINI GEOELETTRICHE

Per il raggiungimento degli obiettivi preposti è stata realizzata una campagna di acquisizione attraverso:

- **n.4 Tomografie Elettriche a 32 canali**, con lunghezza di stendimento di **155m** e **spaziatura elettrodoica di 5m** utilizzando una configurazione elettrodoica **Wenner-Schlumberger**.

L'ubicazione delle indagini è riportata in Figura C.1.



Figura C.1. Ubicazione delle 4 tomografie elettriche a 32 canali.

Di seguito sono riportati i dettagli tecnici e le elaborazioni relativi a ciascuna indagine geoelettrica eseguita. In particolare, si riportano i grafici ottenuti tramite il processo di inversione.

Tali grafici si riferiscono a:

- a) modello di resistività del terreno ottenuto grazie al processo di inversione;
- b) modello di caricabilità (chargeability) del terreno ottenuto grazie al processo di inversione;
- c) raffronto fra modello di resistività del terreno e modello di caricabilità (chargeability) ed interpretazione.

SEZIONE TOMOGRAFICA "ERT 1"

UBICAZIONE INDAGINE

LOCALITA': Cisliano

COMUNE: Cisliano (MI)

DATA ACQUISIZIONE: 16 06 2021

ORA: 09:46

Figura C.2. Ubicazione dello stendimento geoelettrico ERT 1.

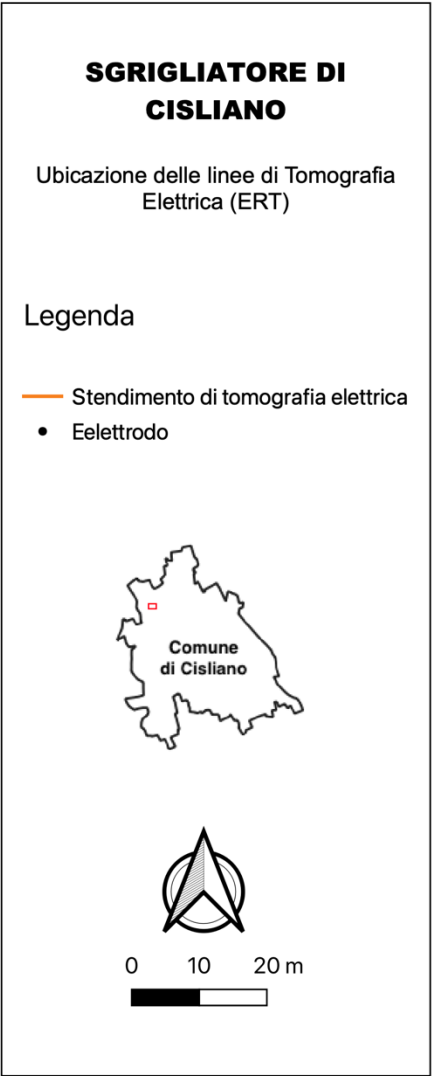
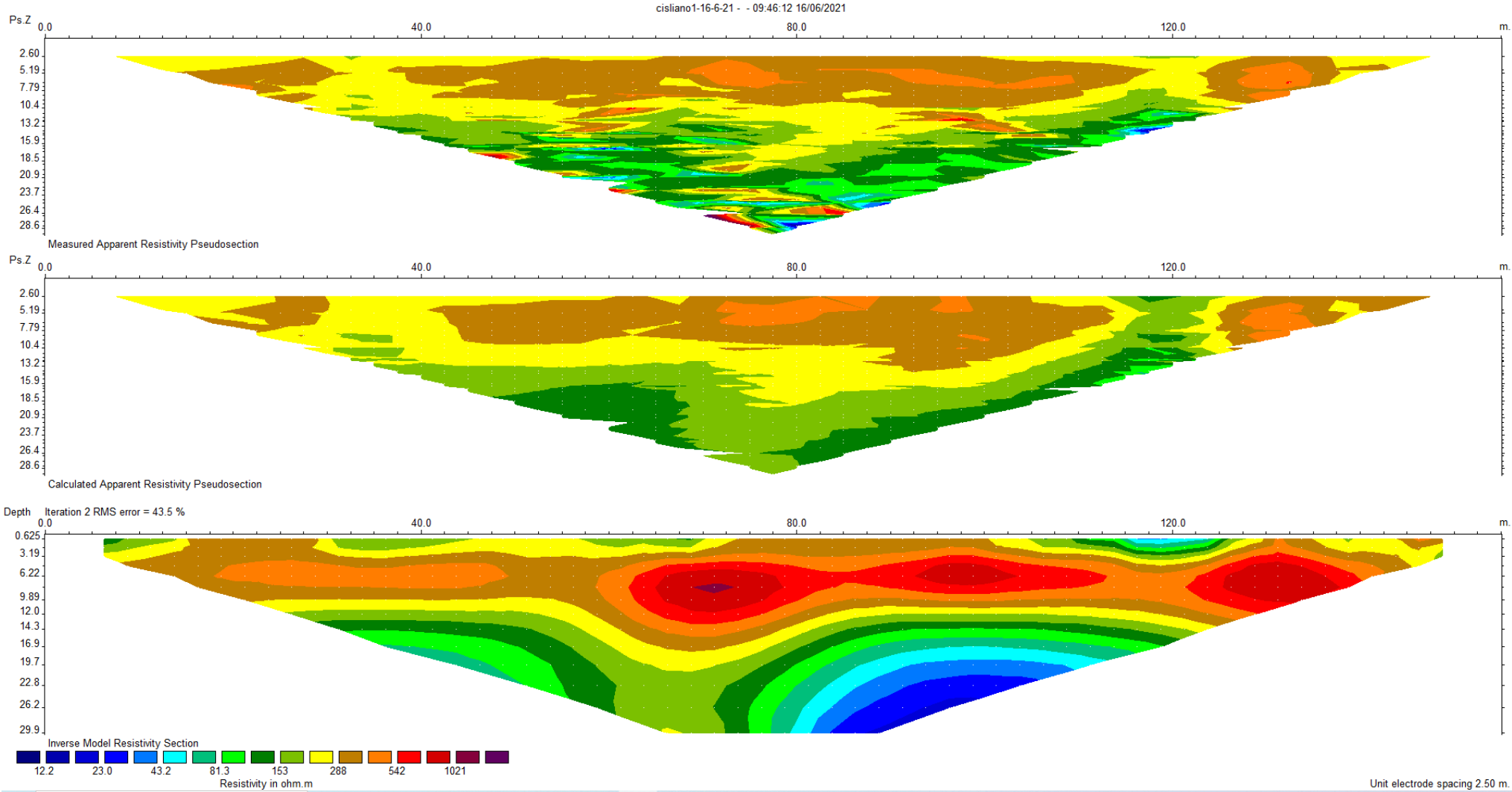




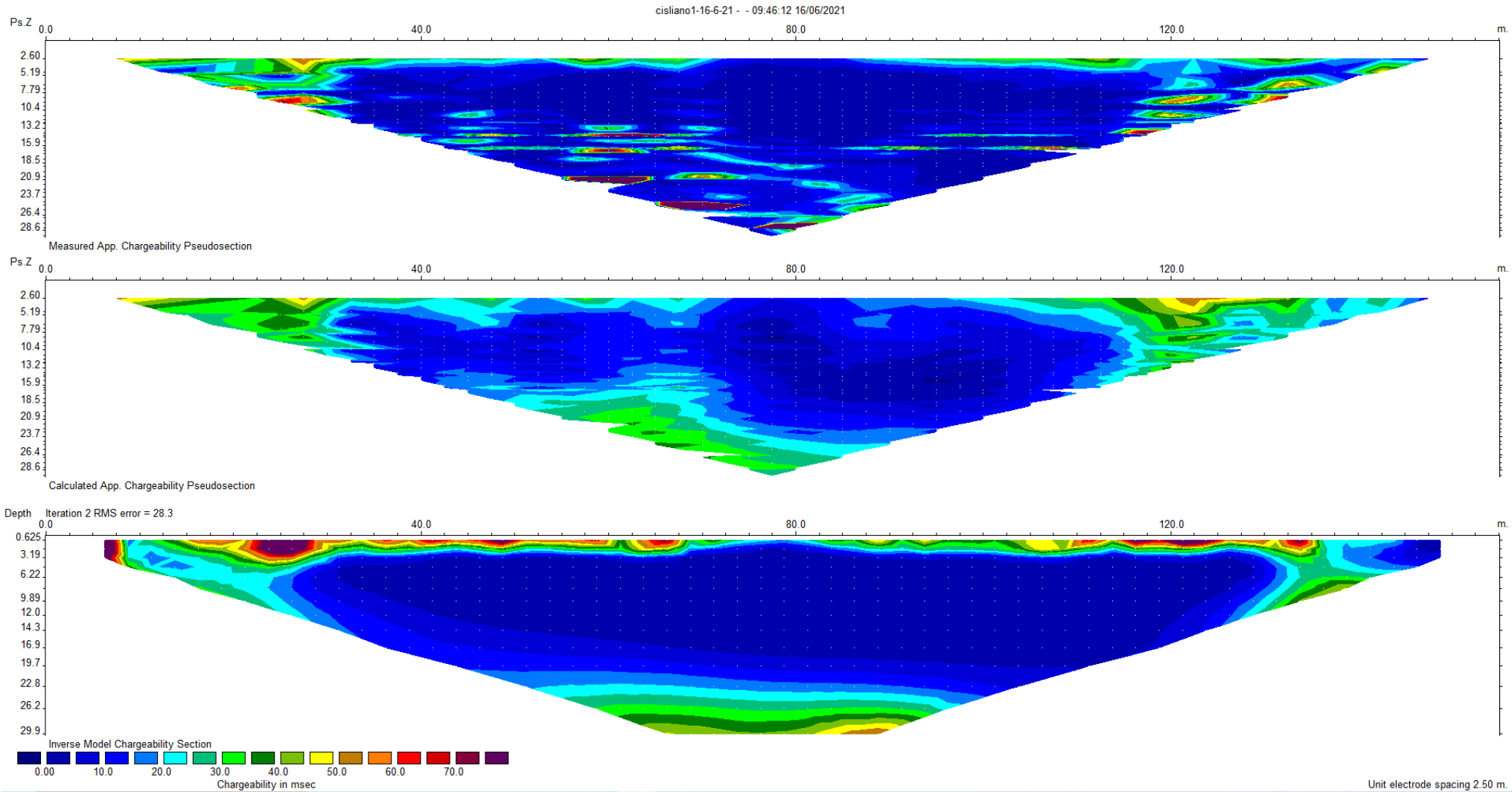
Tabella C.1. Dati riassuntivi relativi all'acquisizione ERT 1.

DATI RIASSUNTIVI - ERT 1		
Operatore in campagna	Dott. Geol. Gambini Stefano; Dott. Geol. Gabriele Oppò;	
Lunghezza Stendimento	155 metri	
N° elettrodi	32	
Passo elettrodico	2,5	
Configurazione elettrodica	Wenner - <u>Schlumberger</u>	
Livelli	43	
N° letture	586	
Numero di iterazioni	2	
Model blocks	568	
Model layers	14	
RESISTIVITÀ		
Range di Resistività	Ω m (Ohm x metro) min: Max	10,41 2251,30
Errore sull'inversione	23,5%	
CARICABILITÀ \ CHARGEABILITY		
Range di Caricabilità/Chargeability	msec min: Max	0,00 429,61
Errore sull'inversione	43,5%	

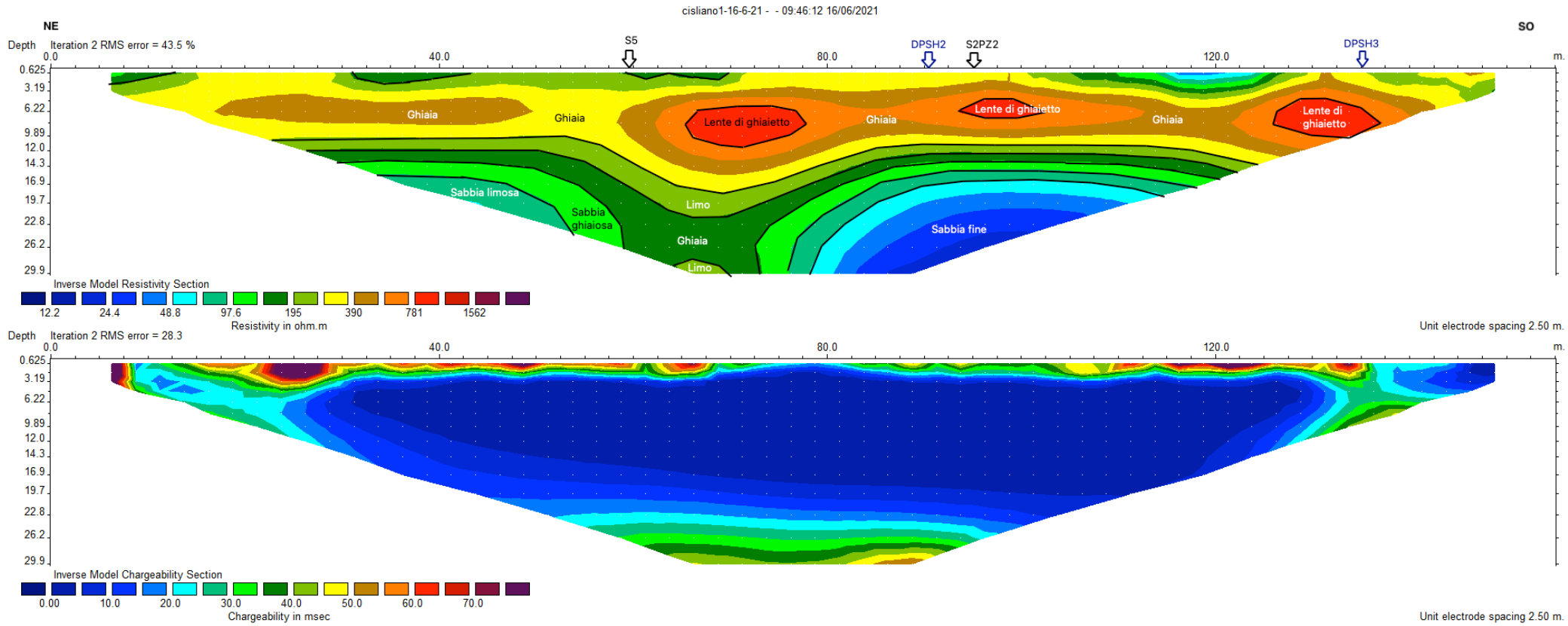
ERT 1 - RESISTIVITÀ



ERT 1 - CARICABILITÀ / CHARGEABILITY



ERT 1 - CONFRONTO FRA RESISTIVITÀ E CARICABILITÀ. INTERPRETAZIONE.



Analizzando e confrontando fra loro la sezione di resistività con quella di caricabilità, si individua, dall'alto verso il basso stratigrafico:

- un orizzonte superficiale, fino a 12 m di profondità, caratterizzato da ghiaia con lenti di ghiaietto grossolano;
- un sottostante orizzonte limoso di circa 3,5-4 m di spessore;
- un ulteriore orizzonte ghiaioso, con spessori variabili tra 1,5 m e 6 m;
- un orizzonte basale di materiale sabbioso, da grossolano a fine, fino a fine sezione.

La sezione evidenzia inoltre delle eteropie laterali di facies lungo la direttrice NE-SO.

SEZIONE TOMOGRAFICA "ERT 2"

UBICAZIONE INDAGINE

LOCALITA': Cisliano

COMUNE: Cisliano (MI)

DATA ACQUISIZIONE: 16 06 2021

ORA: 12:34

Figura C.3. Ubicazione dello stendimento geoelettrico ERT 2.

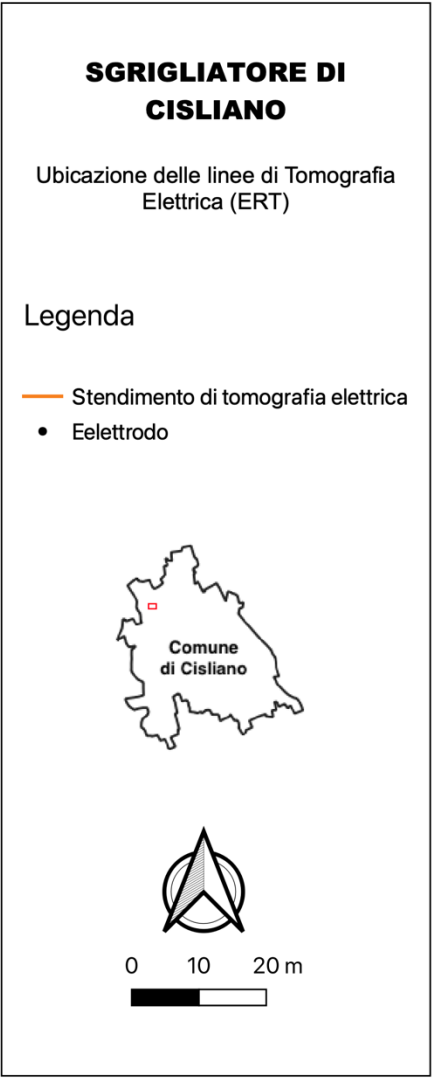
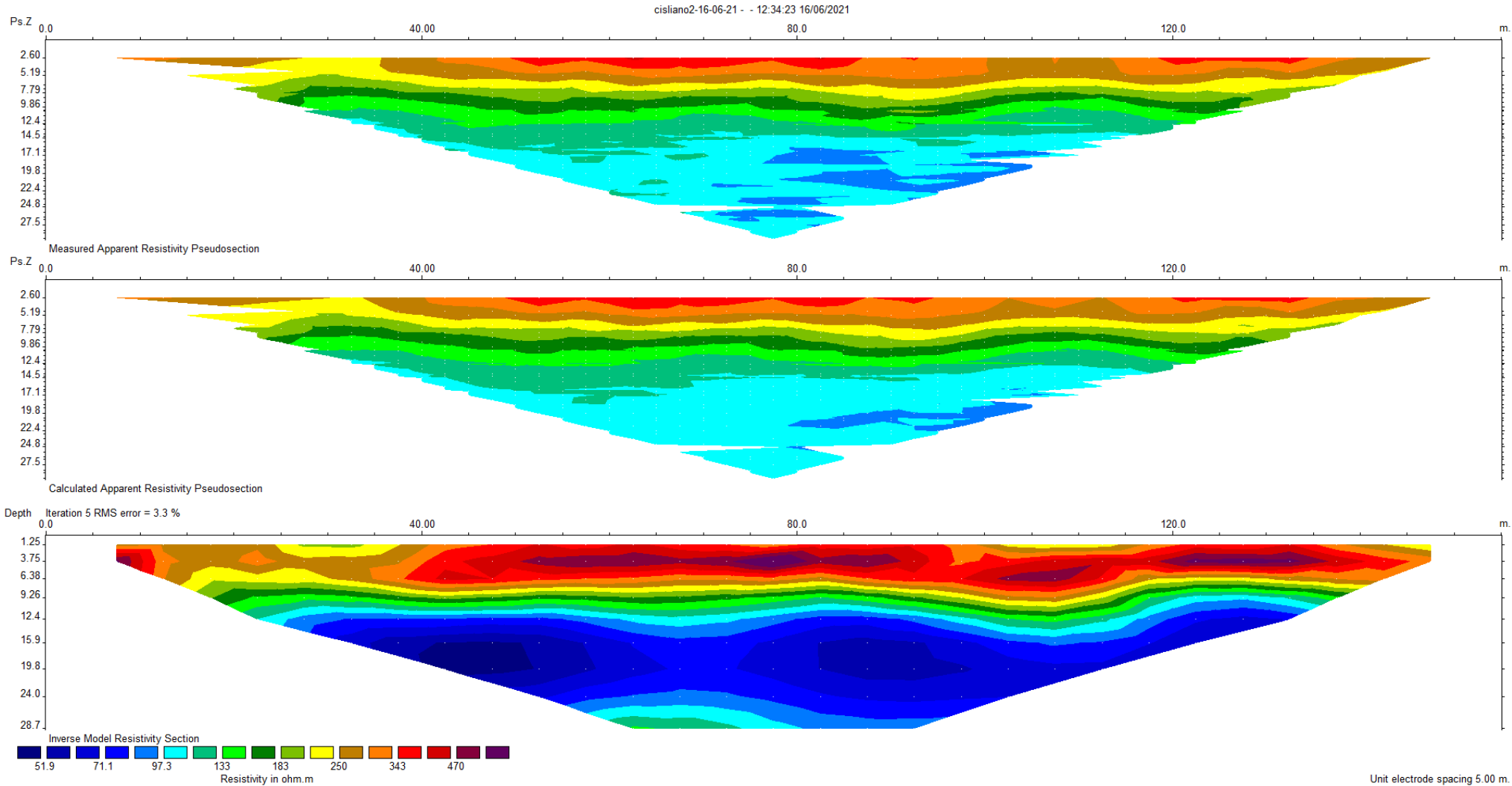




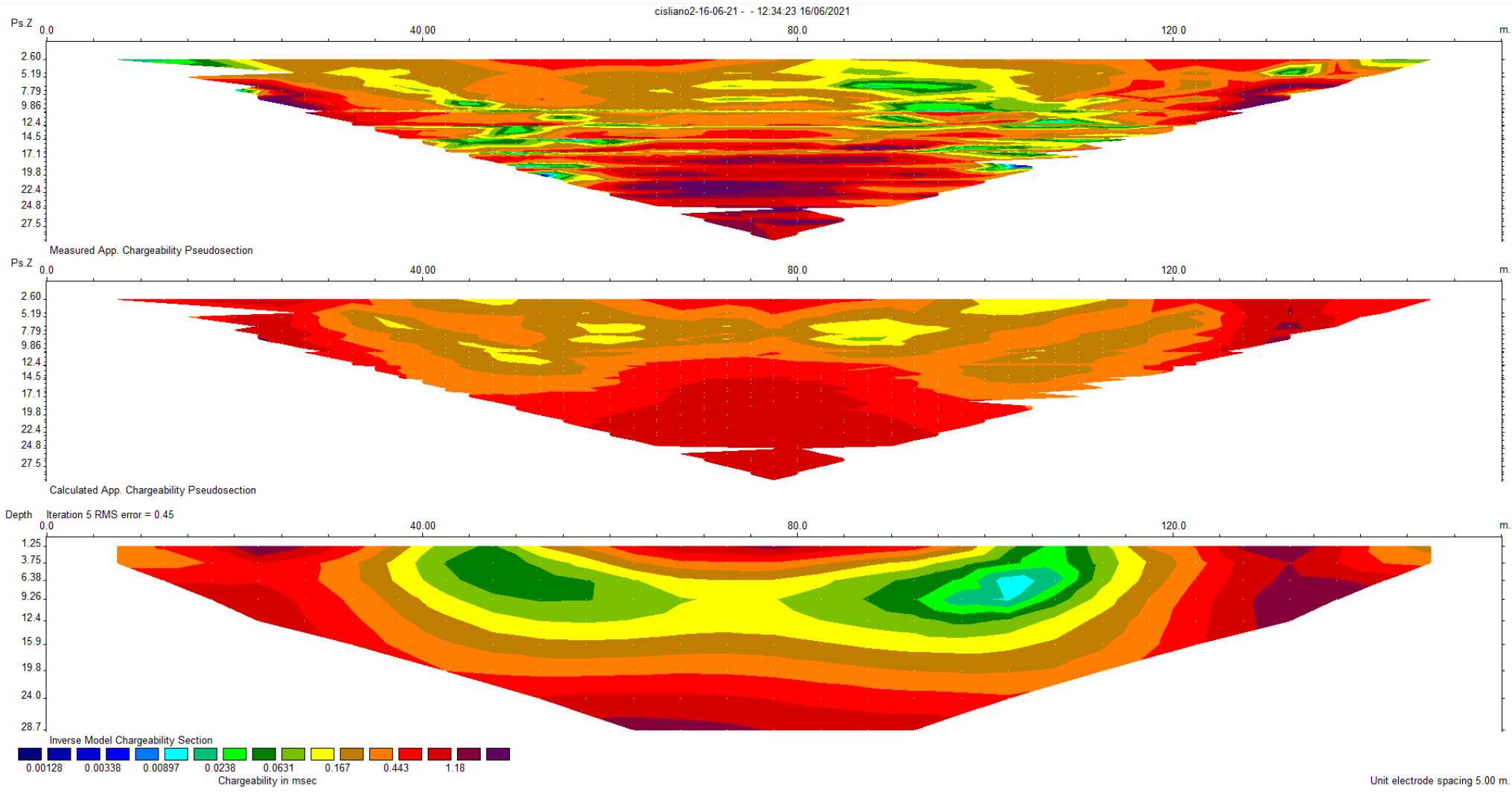
Tabella C.2. Dati riassuntivi relativi all'acquisizione ERT 2.

DATI RIASSUNTIVI - ERT 2		
Operatore in campagna	Dott. Geol. Gambini Stefano; Dott. Geol. Gabriele Oppò;	
Lunghezza Stendimento	155 metri	
N° elettrodi	32	
Passo elettrodico	5	
Configurazione elettrodica	Wenner - <u>Schlumberger</u>	
Livelli	43	
N° letture	556	
Numero di iterazioni	5	
Model blocks	185	
Model layers	9	
RESISTIVITÀ		
Range di Resistività	Ω m (Ohm x metro)	min: 47,94 Max 696,38
Errore sull'inversione	3,3%	
CARICABILITÀ \ CHARGEABILITY		
Range di Caricabilità/Chargeability	msec	min: 0,00 Max 3,98
Errore sull'inversione	3,3%	

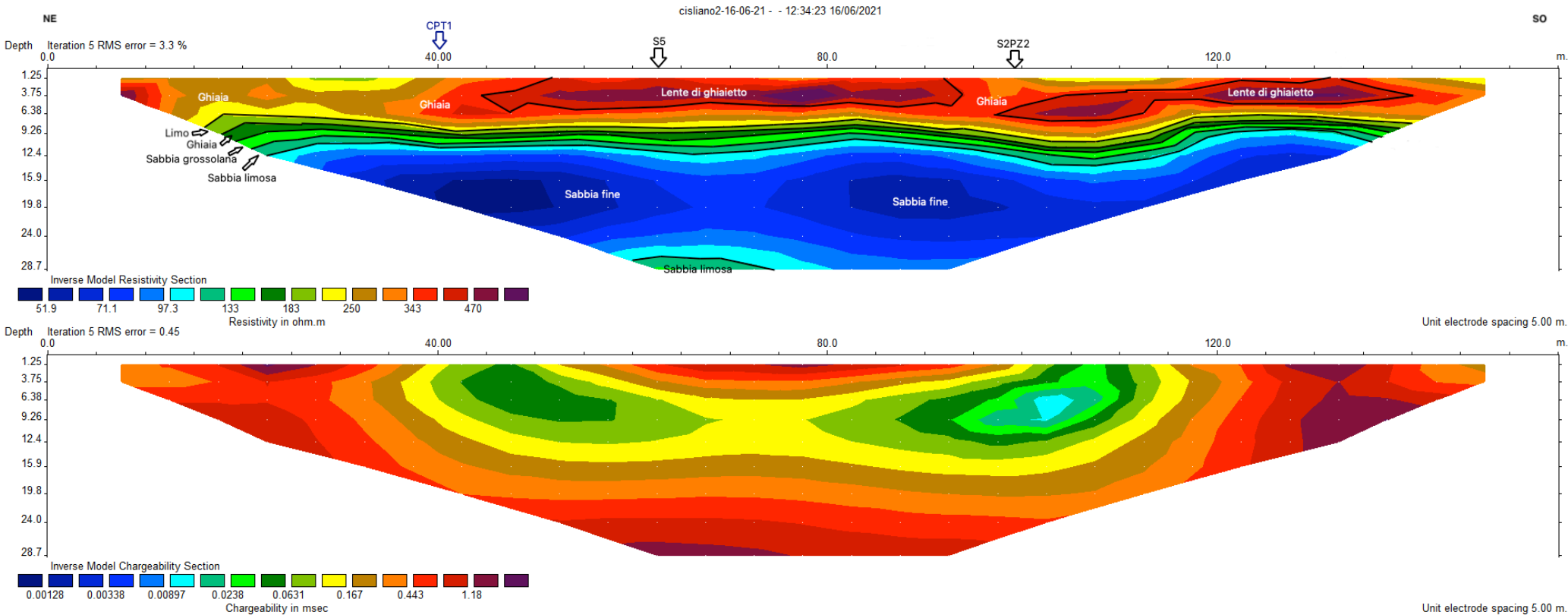
ERT 2 - RESISTIVITÀ



ERT 2 - CARICABILITÀ / CHARGEABILITY



ERT 2 - CONFRONTO FRA RESISTIVITÀ E CARICABILITÀ. INTERPRETAZIONE.



Analizzando e confrontando fra loro la sezione di resistività con quella di caricabilità, si individua, dall'alto verso il basso stratigrafico:

- un orizzonte superficiale, fino a 9 m di profondità, caratterizzato da ghiaia con lenti di ghiaietto grossolano;
- un sottostante orizzonte limoso di circa 1,5 m di spessore;
- un ulteriore orizzonte ghiaioso, con spessori di circa 1 m;
- un orizzonte basale di materiale sabbioso, da grossolano a fine, con matrice limosa, fino a fine sezione.

A differenza della ERT 1. la sezione non evidenzia eteropie laterali di facies lungo la direttrice NE-SO.

SEZIONE TOMOGRAFICA "ERT 3"

UBICAZIONE INDAGINE

LOCALITA': Cisliano

COMUNE: Cisliano (MI)

DATA ACQUISIZIONE: 01 07 2021

ORA: 13:42

Figura C.4. Ubicazione dello stendimento geoelettrico ERT 3.

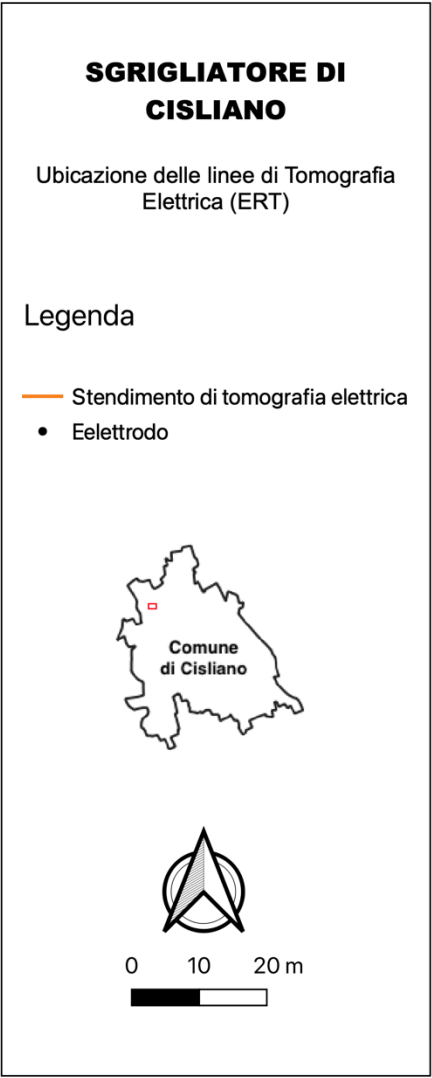
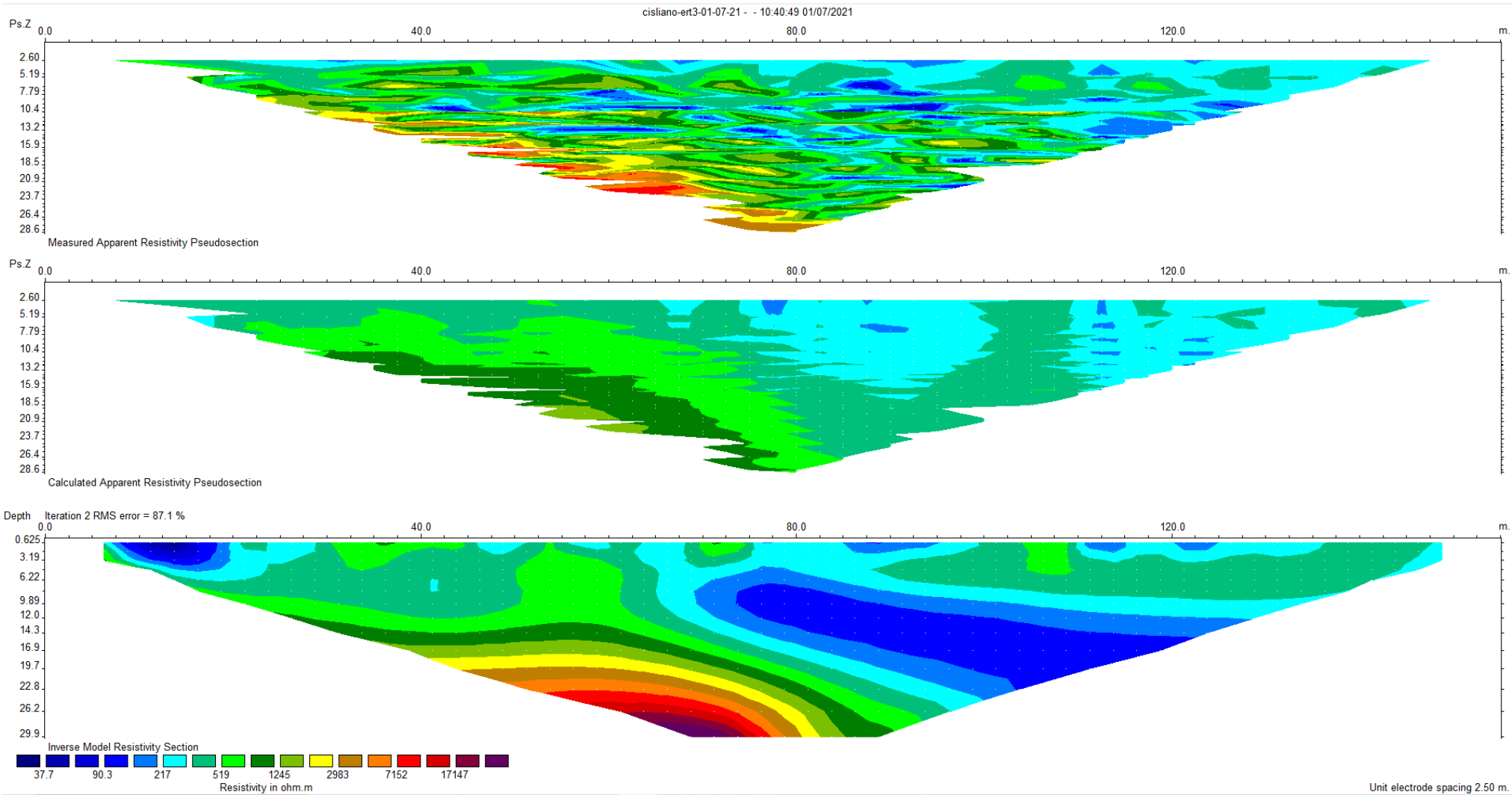




Tabella C.3. Dati riassuntivi relativi all'acquisizione ERT 3.

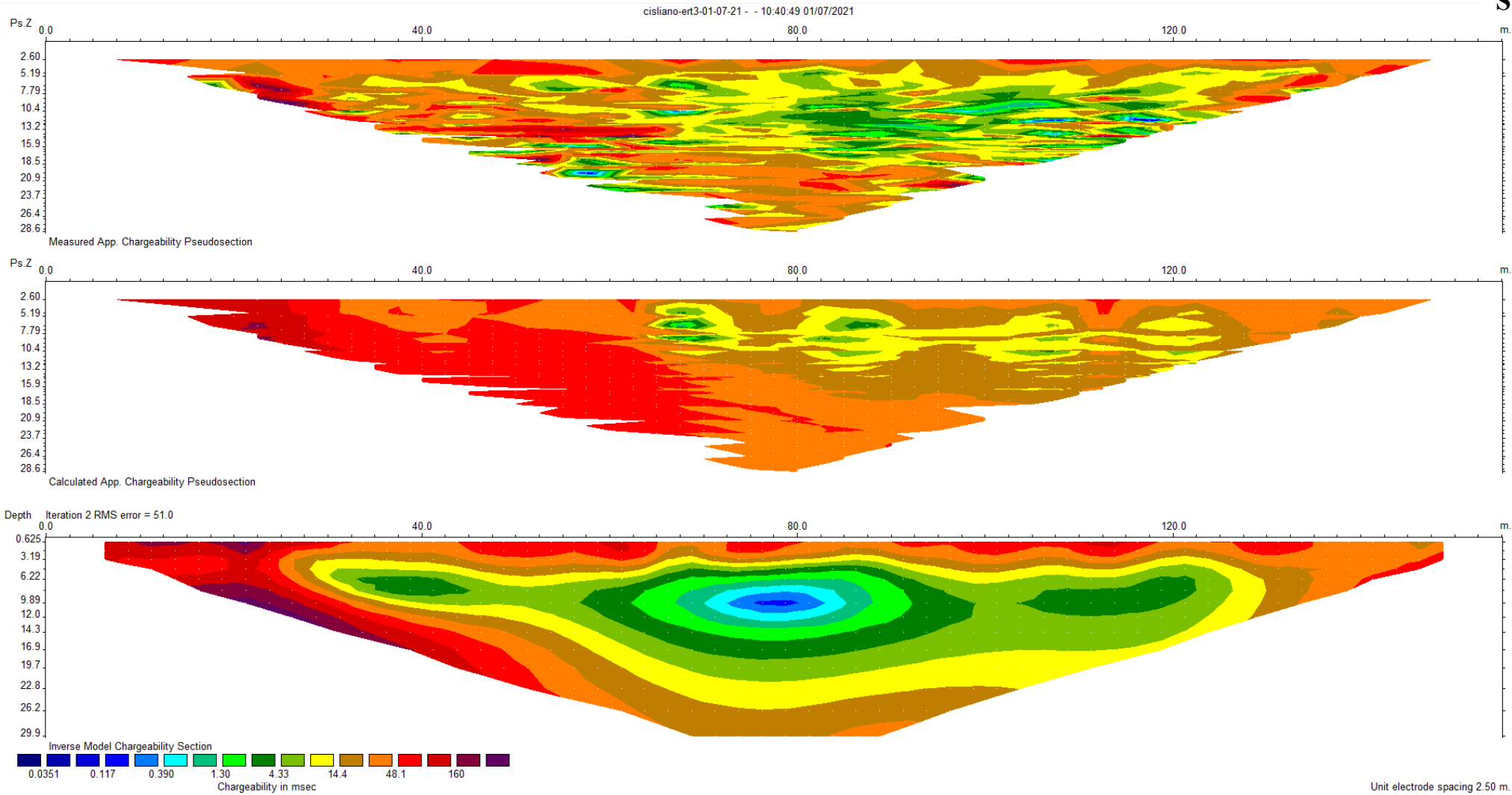
DATI RIASSUNTIVI - ERT 3		
Operatore in campagna	Dott. Geol. Gambini Stefano; Dott. Geol. Gabriele Oppò;	
Lunghezza Stendimento	155 metri	
N° elettrodi	32	
Passo elettrodico	2,5	
Configurazione elettrodica	Wenner - <u>Schlumberger</u>	
Livelli	42	
N° letture	536	
Numero di iterazioni	2	
Model blocks	564	
Model layers	14	
RESISTIVITÀ		
Range di Resistività	Ω m (Ohm x metro) min: Max	30,28 51149,20
Errore sull'inversione	23,5%	
CARICABILITÀ \ CHARGEABILITY		
Range di Caricabilità/Chargeability	msec min: Max	0,03 721,65
Errore sull'inversione	87,1%	

ERT 3 - RESISTIVITÀ

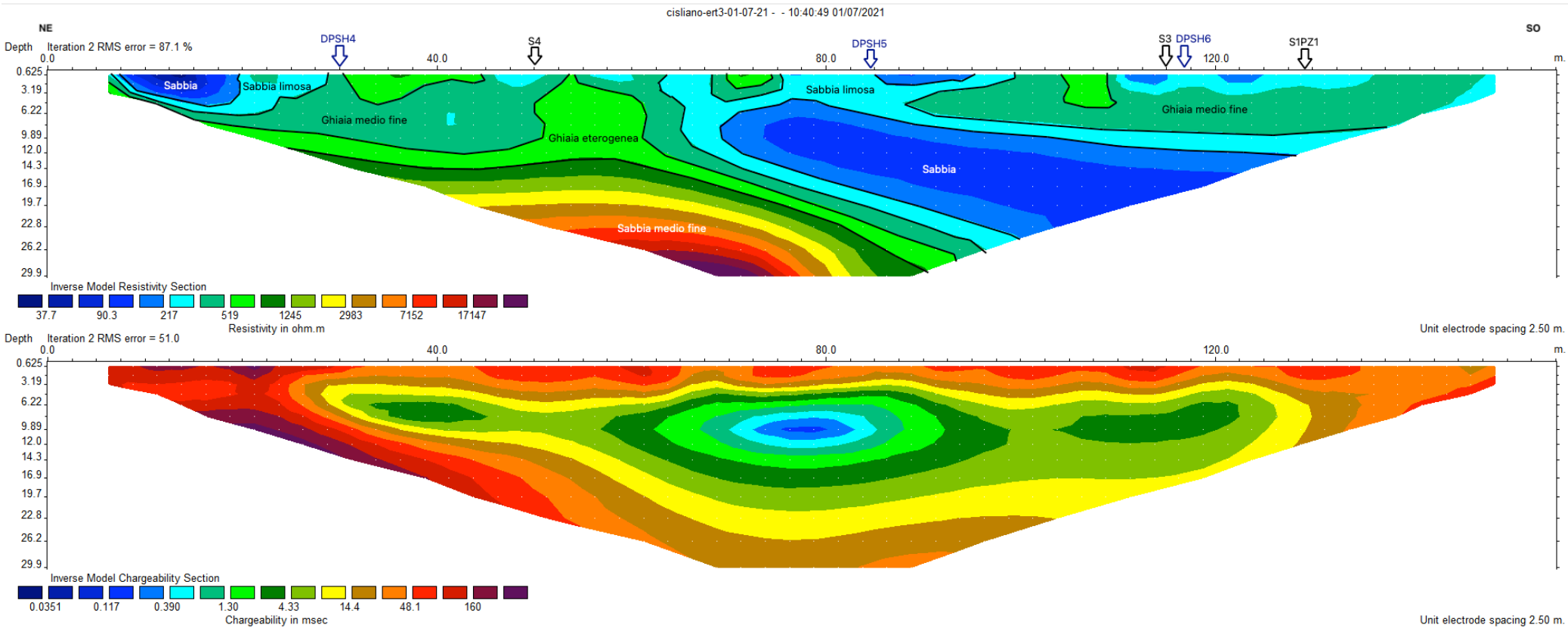


ERT 3 - CARICABILITÀ / CHARGEABILITY

SSE



ERT 3 - CONFRONTO FRA RESISTIVITÀ E CARICABILITÀ. INTERPRETAZIONE.



La sezione evidenzia una parte centrale, da 65 m a 100 m lineari, caratterizzata da un orizzonte sabbioso/sabbioso limoso, che si immerge verso SO, con spessori medi di 15 m.

La restante parte della sezione è caratterizzata da orizzonti ghiaiosi medio-fini, con spessori variabili tra i 10 m e i 13 m.

Al letto dell'orizzonte sabbioso/sabbioso limoso e degli orizzonti ghiaiosi medio-fini giace un orizzonte sabbioso medio-fine.

La sezione evidenzia eteropie laterali di facies lungo la direttrice NE-SO.

SEZIONE TOMOGRAFICA "ERT 4"

UBICAZIONE INDAGINE

LOCALITA': Cisliano

COMUNE: Cisliano (MI)

DATA ACQUISIZIONE: 01 07 2021

ORA: 10:40

Figura C.5. Ubicazione dello stendimento geoelettrico ERT 4.

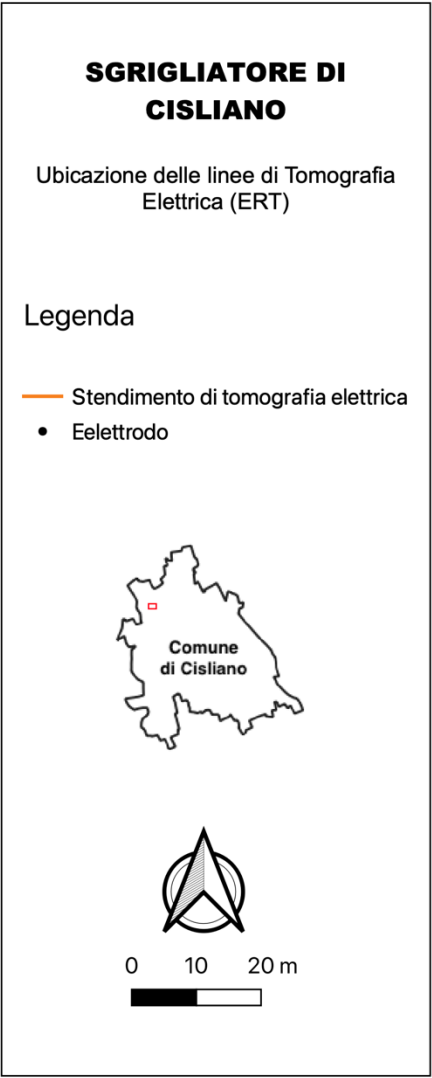
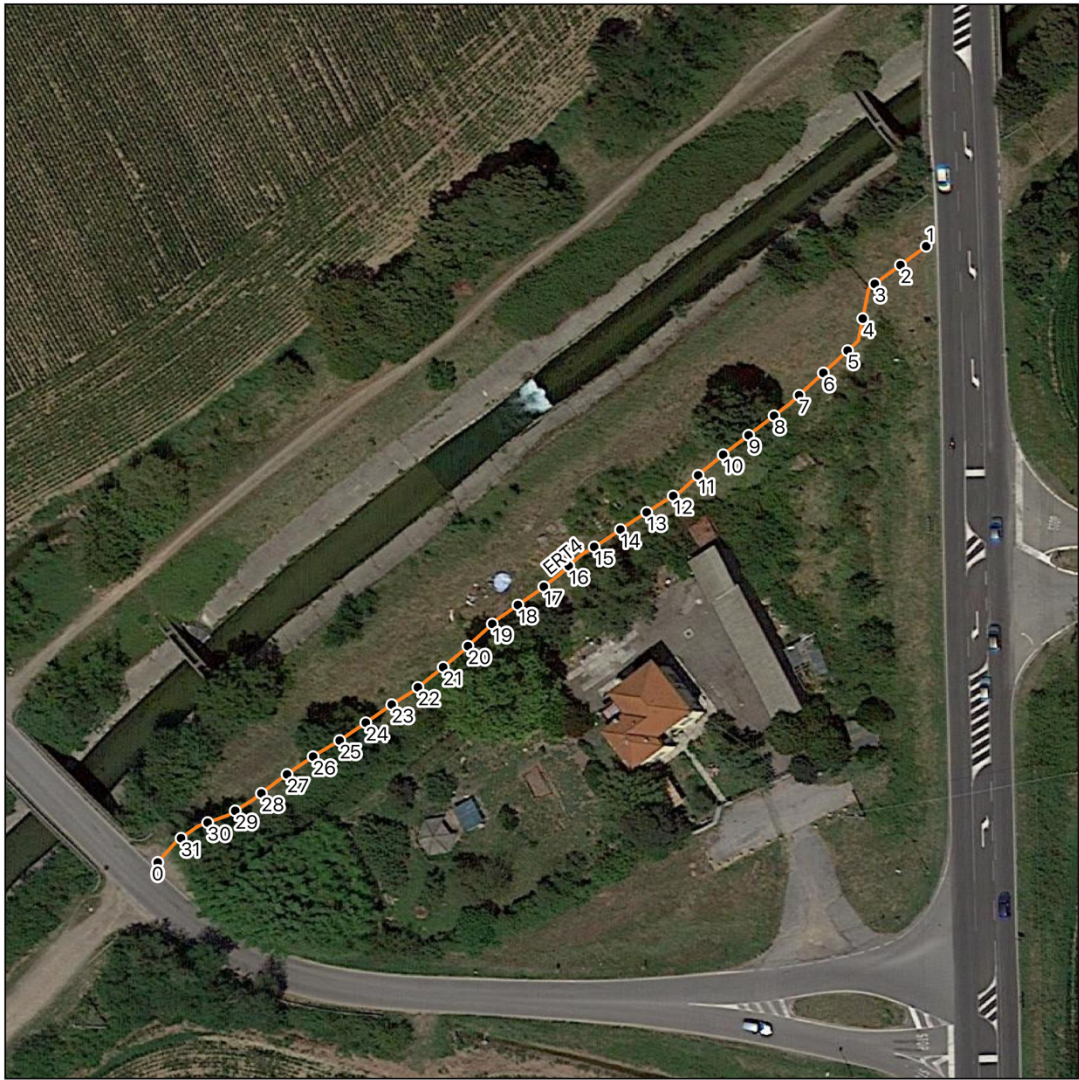
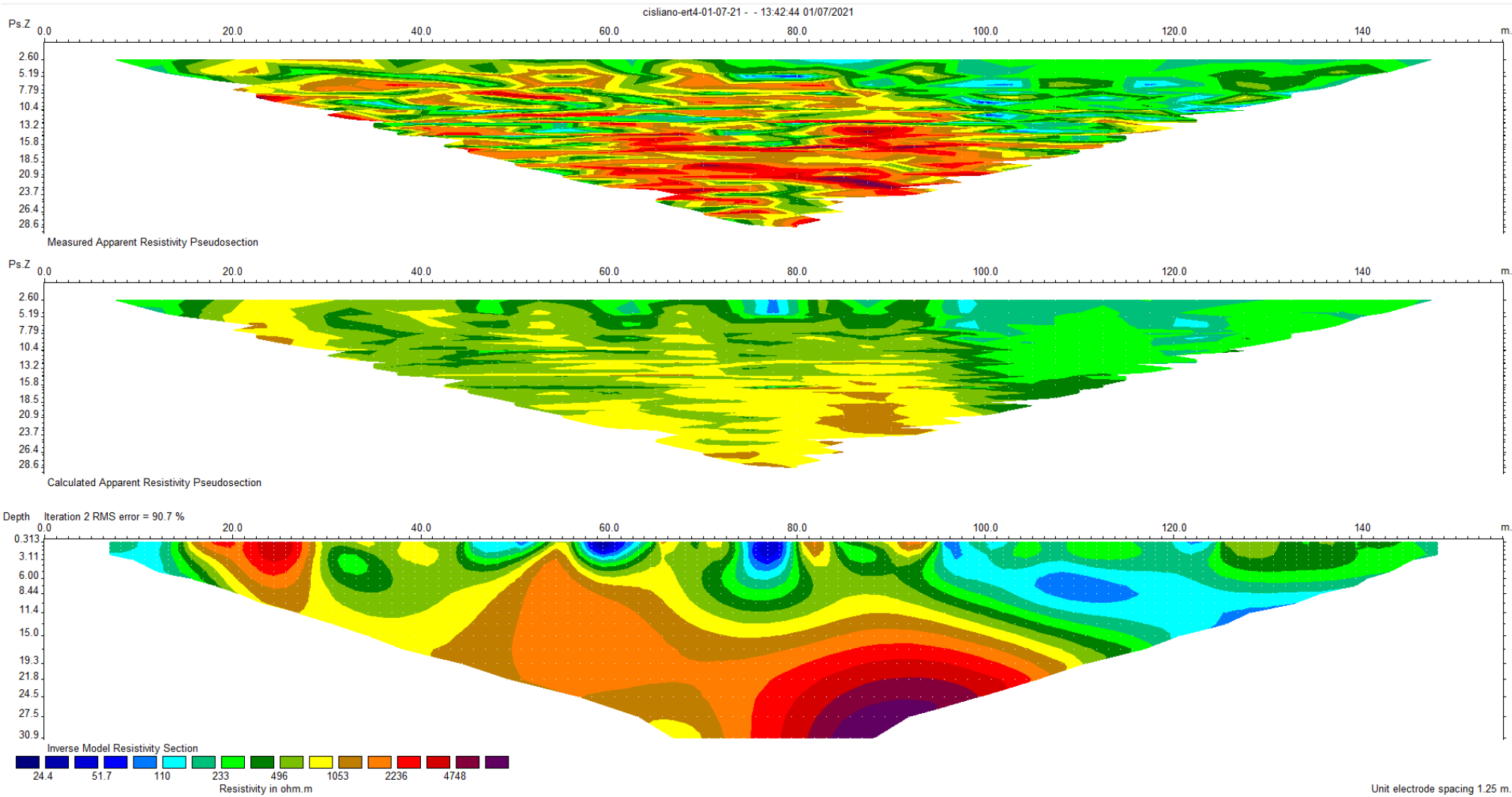




Tabella C.4. Dati riassuntivi relativi all'acquisizione ERT 4.

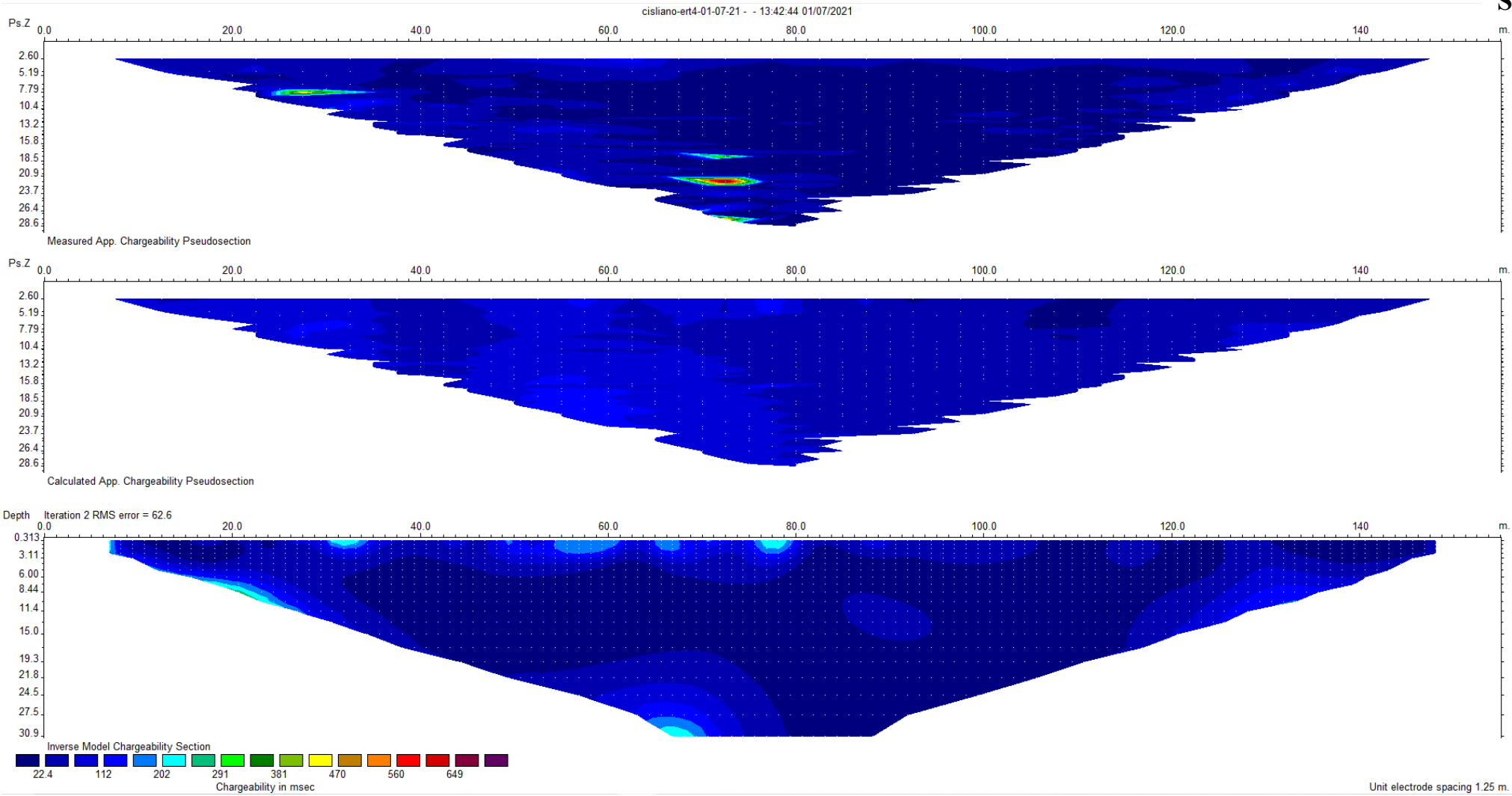
DATI RIASSUNTIVI - ERT 4		
Operatore in campagna	Dott. Geol. Gambini Stefano; Dott. Geol. Gabriele Oppò;	
Lunghezza Stendimento	155 metri	
N° elettrodi	32	
Passo elettrodico	2,5	
Configurazione elettrodica	Wenner - <u>Schlumberger</u>	
Livelli	43	
N° letture	499	
Numero di iterazioni	2	
Model blocks	1631	
Model layers	20	
RESISTIVITÀ		
Range di Resistività	Ω m (Ohm x metro)	min: 20,18 Max 12172,80
Errore sull'inversione	23,5%	
CARICABILITÀ \ CHARGEABILITY		
Range di Caricabilità/Chargeability	msec	min: 0,00 Max 716,50
Errore sull'inversione	90,7%	

ERT 4 - RESISTIVITÀ

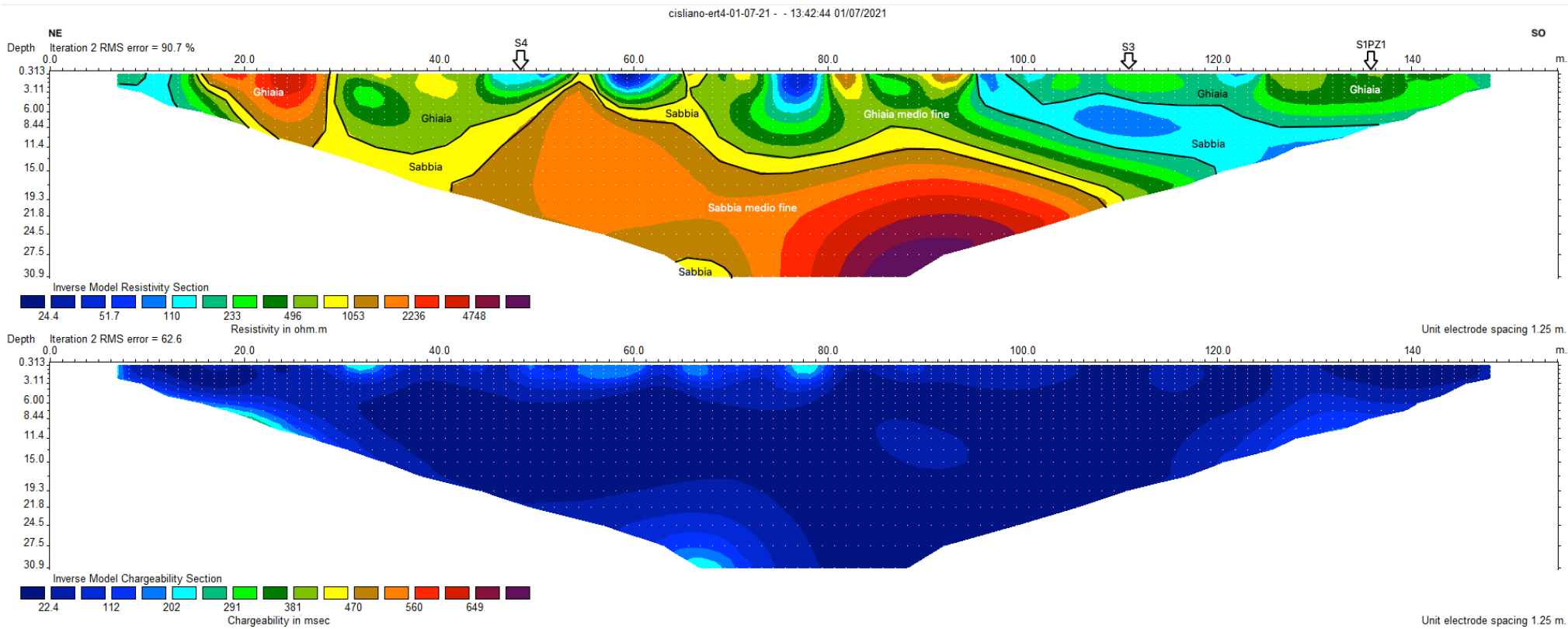


ERT 4 - CARICABILITÀ / CHARGEABILITY

SSE



ERT 4 - CONFRONTO FRA RESISTIVITÀ E CARICABILITÀ. INTERPRETAZIONE.



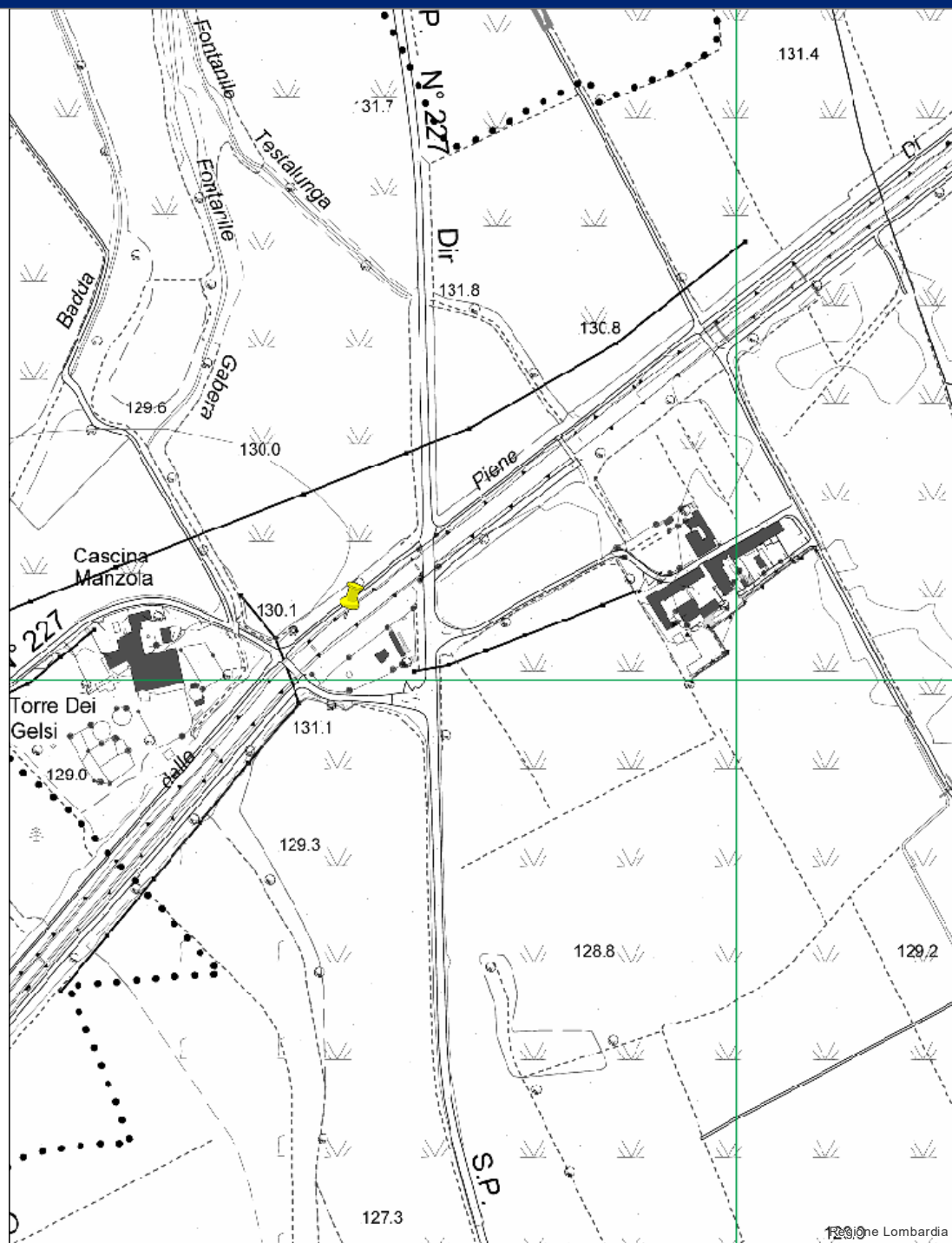
La sezione evidenzia una parte centrale, da 95 m a 100 m lineari, caratterizzata da un orizzonte sabbioso/sabbioso limoso, che si immerge verso SO, con spessori di circa 8 m.

La restante parte della sezione è caratterizzata da orizzonti ghiaiosi e ghiaiosi medio-fini, con spessori variabili tra i 15 m e i 5 m.

Alla base stratigrafica della sezione è presente un orizzonte sabbioso medio-fine.

La sezione evidenzia eteropie laterali di facies lungo la direttrice NE-SO.

TAVOLA 1 – C.T.R (SCALA 1:5.000)

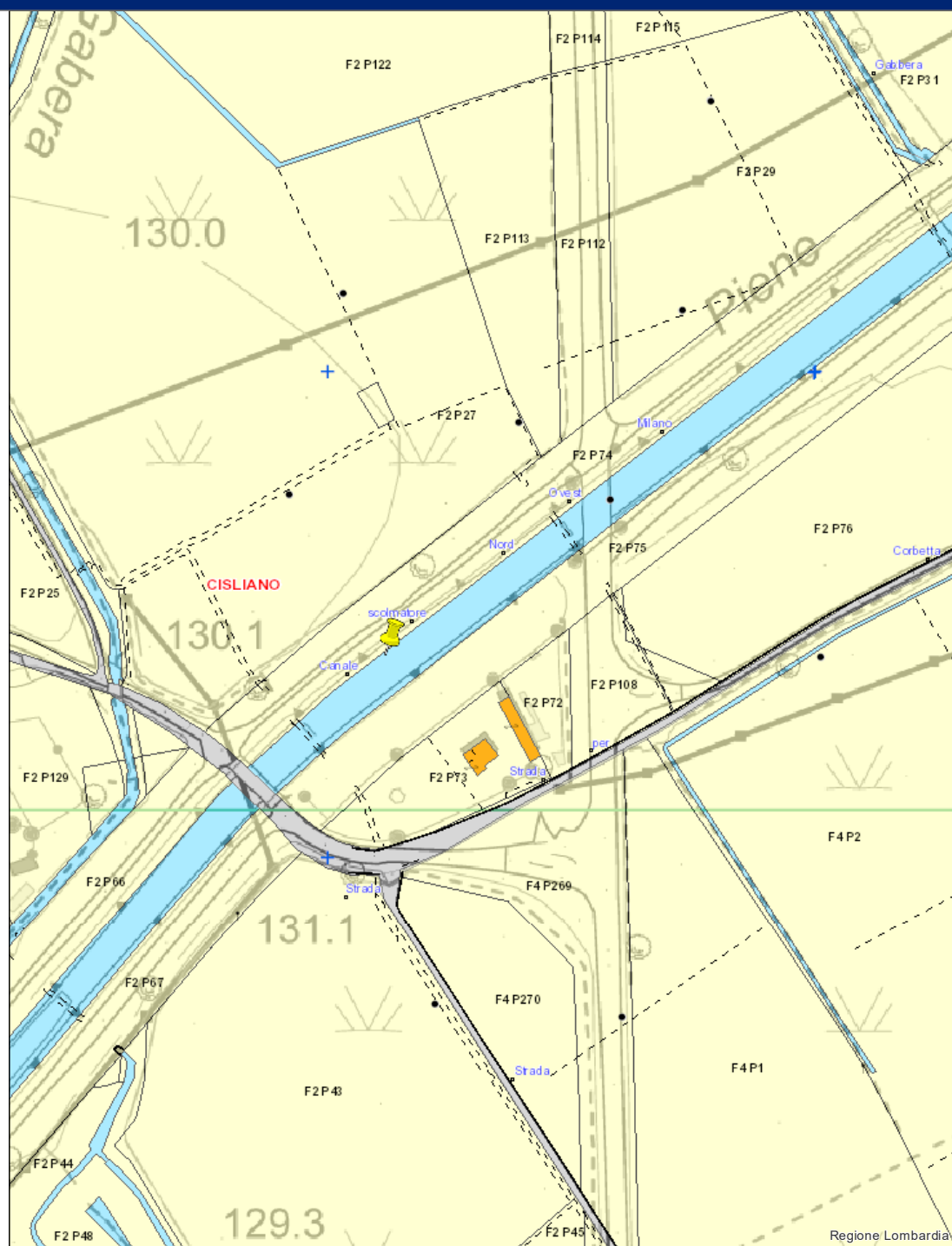


Autore: Stefano Gambini

Scala: 1:5,000

Commenti:

TAVOLA 2 - ESTRATTO CATASTALE E AREA D'INTERVENTO (SCALA 1:2000)



Autore: Stefano Gambini

Scala: 1:2,000

Commenti:

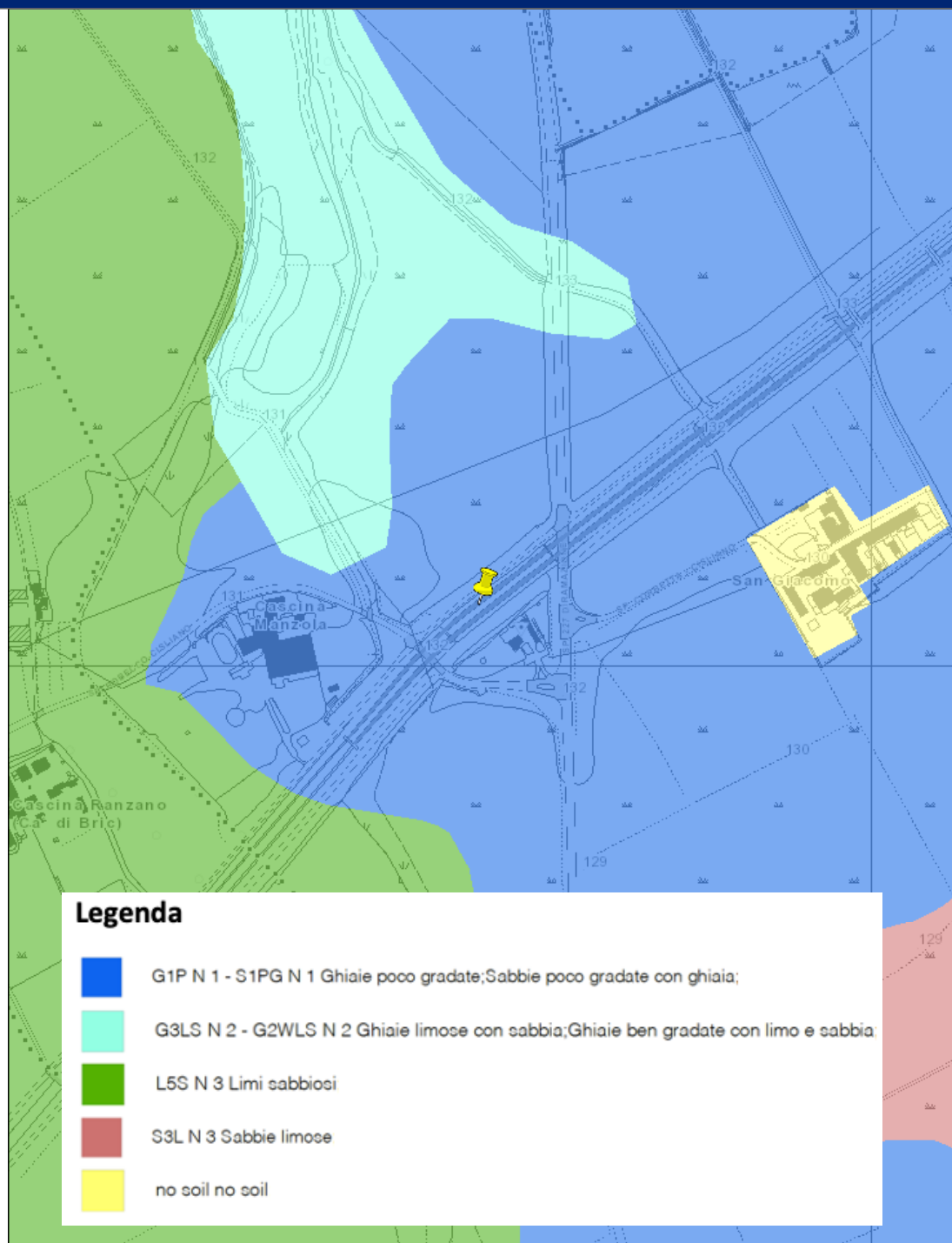


Ortofoto 2018 – proprietà esclusiva CIAGEA, Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura

Autore: Stefano Gambini

Scala: 1:2,000

Commenti:



Autore: Stefano Gambini

Scala: 1:5,000

Commenti: