

REGIONE MOLISE**PROVINCIA DI
CAMPOBASSO****COMUNE DI
MONACILIONI****COMUNE DI
RIPABOTTONI****COMUNE DI
S. ELIA a PIANISI**

Denominazione Impianto:

RS3 MONAC

Ubicazione:

Comuni di Monacilioni - Sant'Elia a Pianisi - Ripabottoni (CB)

Particelle: varie

PROGETTO DEFINITIVO

Per la realizzazione di un parco eolico composto da n. 5 aerogeneratori di potenza complessiva pari a 31 MW per la produzione di energia elettrica, ubicato alle località "Serra del Parco" - "Lama" - "Folcaro Cerro Secco" rispettivamente dei comuni di Sant'Elia a Pianisi - Monacilioni e Ripabottoni e delle relative opere connesse e delle infrastrutture indispensabili ubicate anche nel comune di Morrone del Sannio (CB).

PROPONENTE

**RINNOVABILI SUD TRE S.r.l.**

Via della Chimica n. 103

85100 Potenza (PZ)

PEC: rinnovabilisudtre@pec.it

ELABORATO :

RELAZIONE GEOLOGICA E COMPATIBILITA' IDROGEOLOGICA

N. Documento

MONAC_15REL

Aggiornamenti	Numero	Data	Motivo	Eseguito	Verificato	Approvato
	Rev. 0	Settembre 2023	Istanza V.I.A. art. 23 D. Lgs. 152/2006 e Istanza Autorizzazione Unica art. 12 D. Lgs. 387/2003		Damiani Luca F.	Spagnuolo Nicola

Spazio Riservato agli Enti

PROGETTAZIONE GENERALE

S.T.P. Damiani & Partners S.r.l.

Vico Mores n. 8

71036 Lucera (FG)

mail: info@damianiandpartners.com

pec: stp.damiani@pec.it

damiani & partners Società tra professionisti srl
Vico Mores, 8 / 71036 Lucera (FG)
Cod. Fisc./P.IVA: 03 949 660 710

PROGETTAZIONE SPECIALISTICA

STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA**Dott.ssa Geol. GIOVANNA CARDILLO**

via Santa Maria della Croce, 11 - Tel. 3290026210

86100 - CAMPOBASSO (CB)

e-mail: geologa.cardillo@libero.it

pec: cardillo.giovanna@pec.epap.it



li settembre 2023



STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA
Dott.ssa Geol. GIOVANNA CARDILLO
via Santa Maria della Croce, 11 - Tel. 3290026210
86100 - CAMPOBASSO (CB)
e-mail geologa.cardillo@libero.it
pec: cardillo.giovanna@pec.epap.it

RELAZIONE GEOLOGICA e STUDIO DI COMPATIBILITA' IDROGEOLOGICA

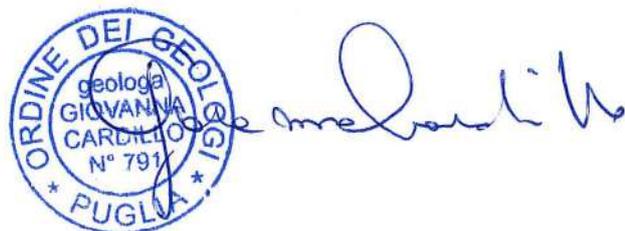
OGGETTO: RELAZIONE GEOLOGICA E STUDIO DI
COMPATIBILITA' IDROGEOLOGICA PER LA
REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO

COMMITTENTE: RINNOVABILI SUD TRE Srl
Via della Chimica, 103 | 85100 Potenza (PZ) | Italy
rinnovabilisudtre@pec

COMUNE: Sant'Elia a Pianisi (CB) - Monacilioni (CB) - Ripabottoni (CB) ,
comune di Morrone del Sannio (CB)

PROVINCIA: CAMPOBASSO

LA GEOLOGA
Dott.ssa Giovanna CARDILLO



Sommario

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	6
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE.....	7
4. ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA	13
5. ANALISI DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA E STUDIO DI COMPATIBILITA' IDROGEROLOGICA	20
6. INDAGINI ESEGUITE	26
6.1 INDAGINI GEOFISICHE A RIFRAZIONE IN ONDE P METODO GRM E METODO TOMOGRAFICO.....	27
6.1.1 REPORT INDAGINI.....	33
6.2 INDAGINE SISMICA TIPO MASW	70
6.2.1 REPORT INDAGINI MASW.....	72
6.3 INDAGINI HVSR.....	87
7.MODELLO GEOLOGICO TECNICO E CONSIDERAZIONI GEOLOGICO-TECNICHE CONCLUSIVE.....	93
8. REPERTO FOTOGRAFICO.....	98

1. PREMESSA

La seguente relazione è stata redatta dalla sottoscritta per conto dell'Arch. Luca Damiano il quale mi incaricava in quanto geologa regolarmente iscritta all'Ordine dei Geologi della Puglia al n. 791 dal 13/09/2012, per conto della società RINNOVABILI SUD TRE S.r.l. con sede a Potenza in Via della Chimica n. 103 – Partita IVA 02079460768.

Finalità del presente studio è la redazione di relazione geologica e indagini geofisiche finalizzate alla realizzazione delle opere per la costruzione e l'esercizio di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori per una potenza complessiva di 31 MW, da realizzarsi in agro di Monacilioni, Ripabottoni e Sant'Elia a Pianisi (CB) rispettivamente alle località "Lama-Folcaro Cerro Secco- Serra del Parco", delle opere di connessione anche nel Comune di Morrone del Sannio (CB) e realizzazione di un impianto di accumulo elettrochimico della potenza di 7 MW da ubicare in adiacenza della futura stazione di smistamento TERNA.

Pertanto, si è reso necessario impostare un programma dettagliato di studio svoltosi secondo le seguenti linee:

- acquisizione di informazione pregresse bibliografiche e da indagini limitrofe;
- rilevamento geologico di superficie;
- esecuzione di n. 3 indagini sismiche a rifrazione in onde P elaborate in modalità GRM e Tomografica;
- esecuzione di n. 3 indagini MASW;
- esecuzione di n. 3 indagini HVSR.

Si riportano in Figura 1, 2 e 3 le ubicazioni delle opere da realizzarsi rispettivamente su stradario, IGM e ortofoto. Nei paragrafi successivi i risultati delle indagini.

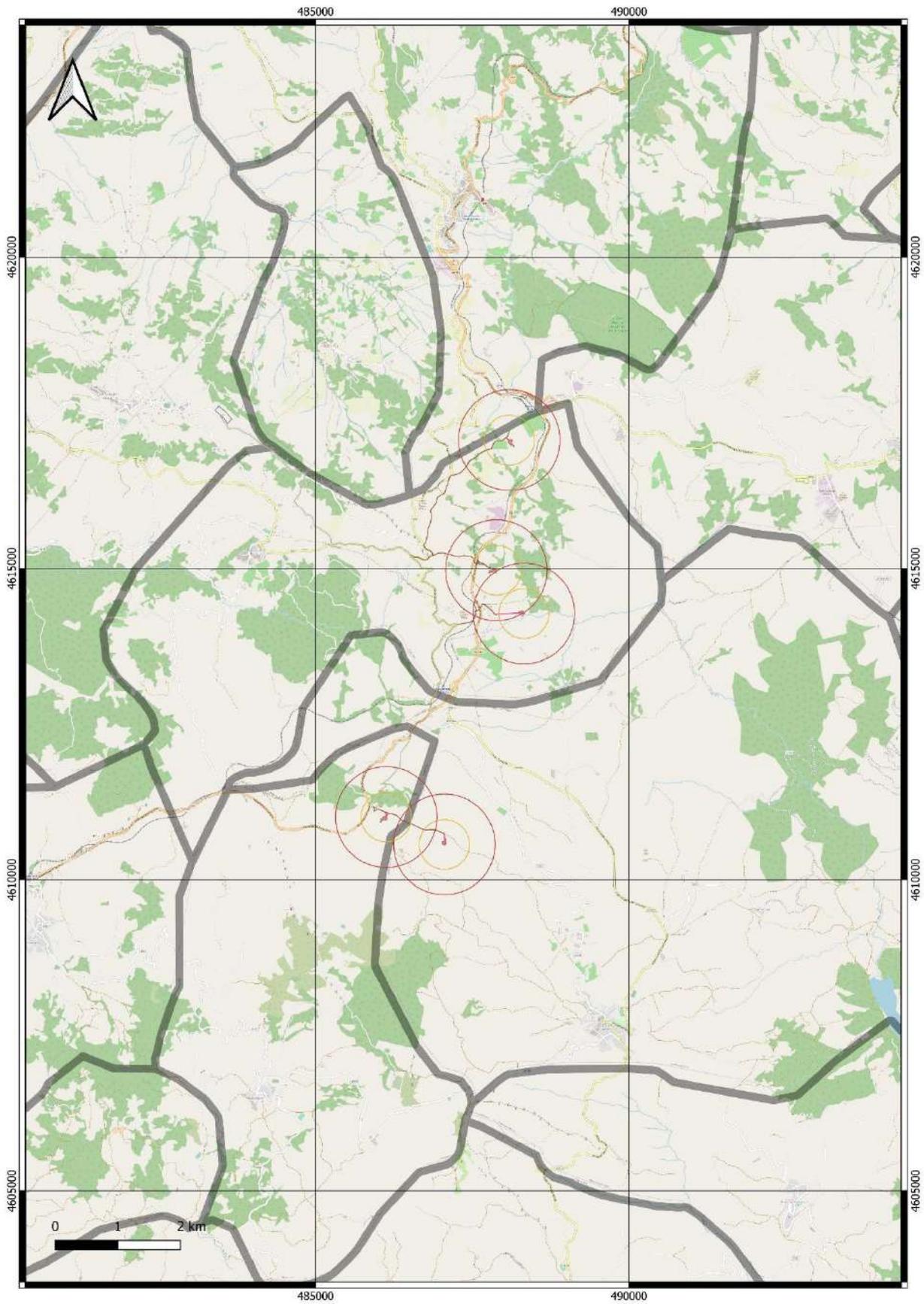


Figura 1 Inquadramento opere su stradale.

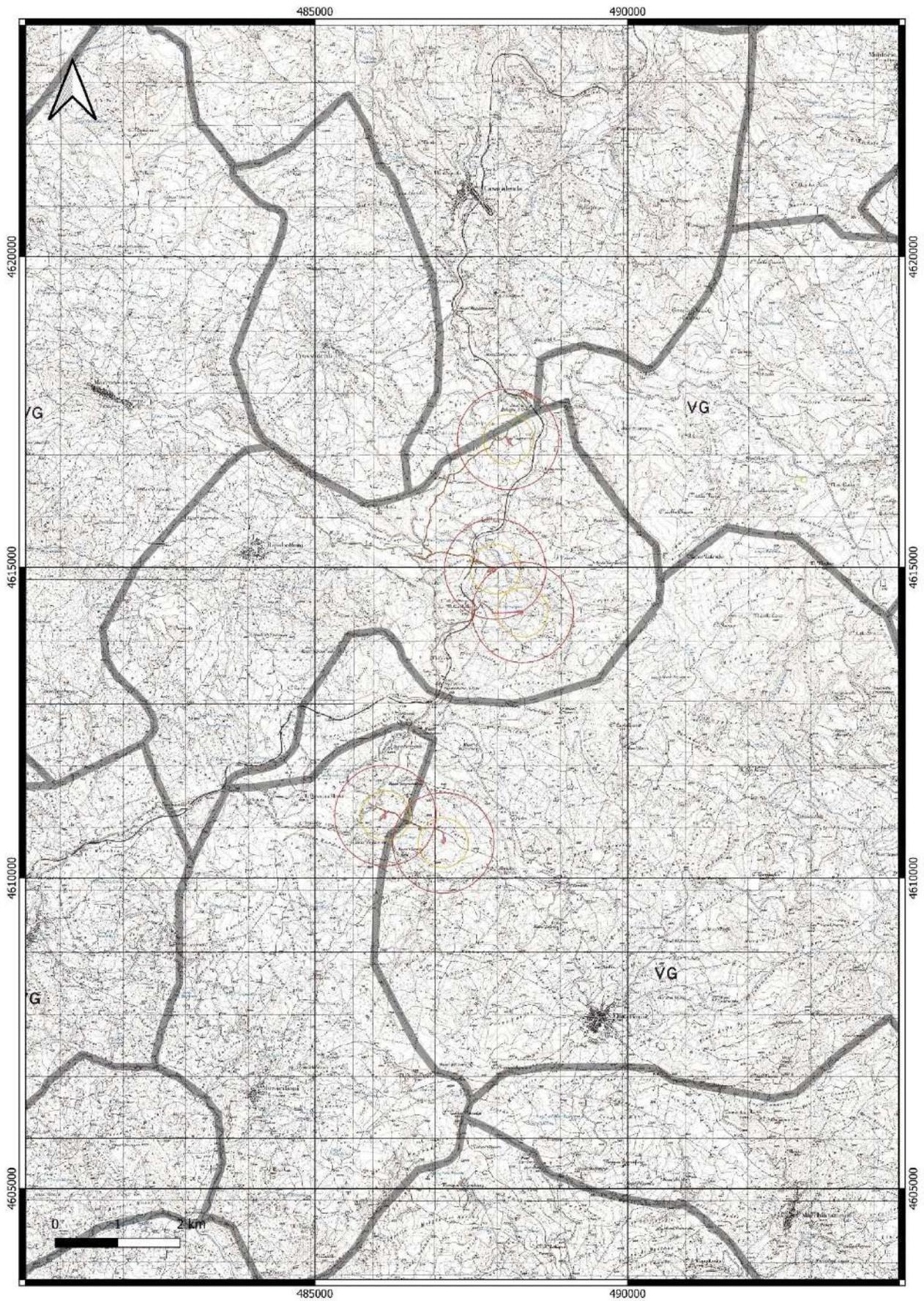


Figura 2 Inquadramento opere su IGM.



Figura 3 Inquadramento opere su ortofoto.

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Lo studio geologico e la presente relazione sono stati eseguiti e redatti nel rispetto delle seguenti principali normative tecniche nazionali:

- **D.M. 11 marzo 1988** “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”
- **Circ. LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483** “Legge 2 febbraio 1974, art. 1 – D.M. 11 marzo 1988. 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. Istruzioni per l'applicazione”
- **Legge 2 febbraio 1974, n. 64** “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche” e successive modifiche ed integrazioni
- **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274** “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”
- **Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018** “Norme tecniche per le costruzioni”
- **Decreto del Presidente della Repubblica 5 ottobre 2010, n. 207** “Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante “Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE””
(articoli ancora in vigore)

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE

La Regione Molise, pur essendo confinata in un territorio di limitata estensione (4438 km²), è caratterizzata da una situazione geologica molto articolata e risultante nell'insieme complessa e di difficile interpretazione, sia per quanto attiene alle condizioni di superficie sia soprattutto per la geologia profonda. La configurazione attuale è il risultato complessivo della continua evoluzione paleogeografica e dei notevoli sconvolgimenti tettonici che a più riprese, ma particolarmente nella fase parossistica dell'orogenesi appenninica (Mio-Pleistocene), hanno deformato e disarticolato le unità tettoniche preesistenti, complicandone ulteriormente la geometria dei rapporti e, successivamente, contribuito alla dislocazione dei diversi corpi geologici fino all'individuazione delle unità morfologiche attualmente presenti sul territorio.

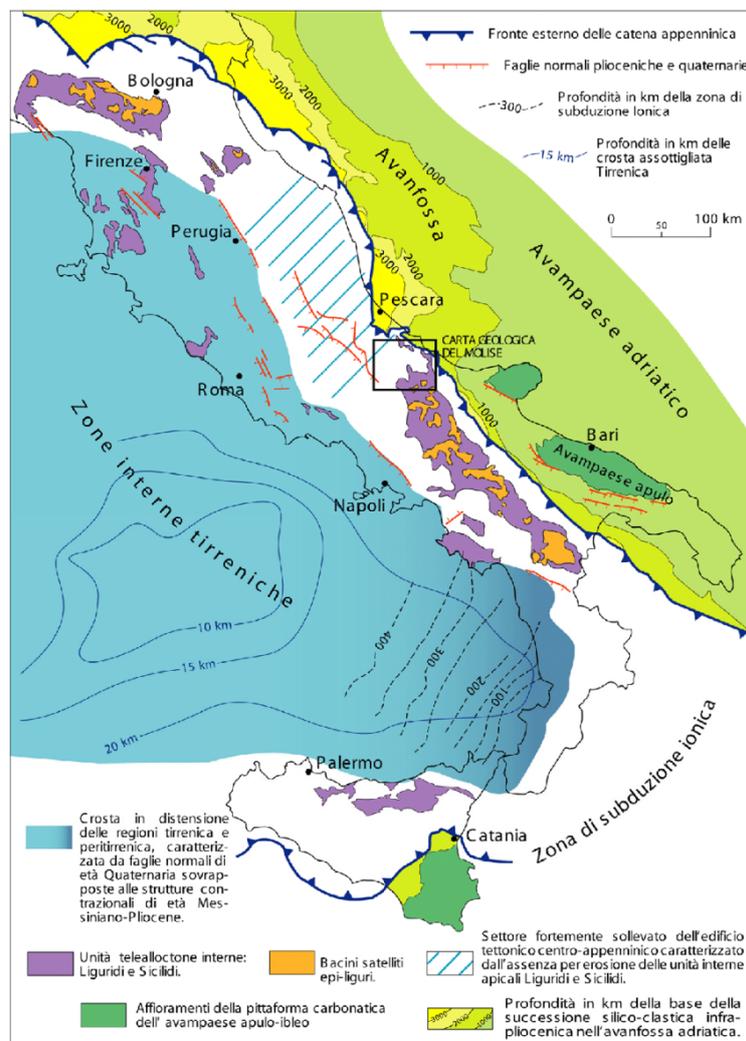
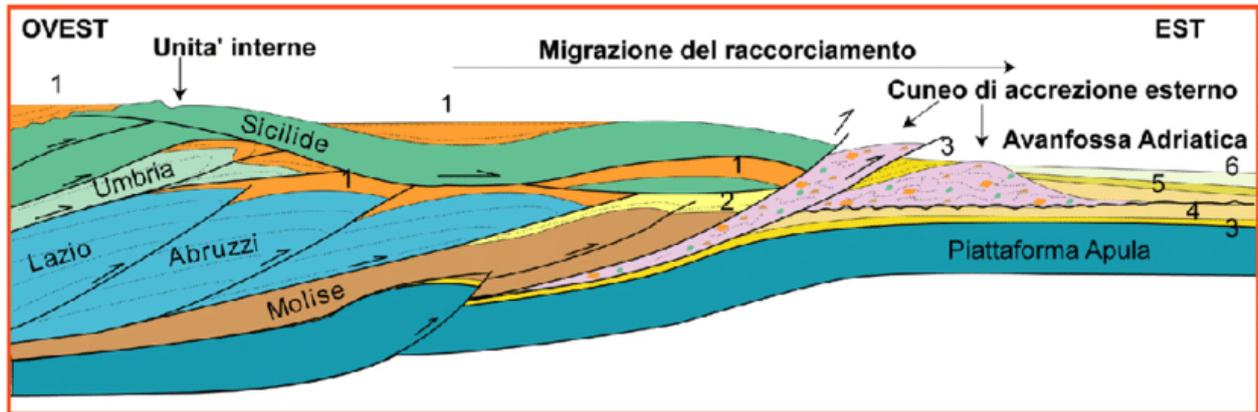


Figura 4 Assetto tettonico attuale della penisola italiana.



Successioni silico-clastiche dei bacini thrust-top e dell'Avana fossa Adriatica

1	Tortoniano-Messiniano (10-6.4 Ma)	3	Pliocene inf. (5.4-2.7 Ma)	5	Pliocene sup. (2.0-1.62 Ma)
2	Messiniano (6.4-5.4 Ma)	4	Pliocene medio-sup. (2.7-2.0 Ma)	6	Pleistocene inf. (1.62-0.72 Ma)

Figura 5 Sezione schematica della catena appenninica.

Il territorio molisano è costituito esclusivamente da formazioni sedimentarie, gran parte delle quali, le più antiche, sono di ambiente marino, su di esse poggiano le più recenti formazioni di ambiente continentale. Le formazioni marine antiche appartengono a cinque unità litostatigrafiche, riferibili alle diverse situazioni paleoambientali che si sono succedute nei tempi geologici, a partire dal Trias fino al Pleistocene:

- PIATTAFORMA ABRUZZESE-CAMPANA: corrispondente ad un ambiente di Piattaforma Carbonatica caratterizzato da sedimentazione calcareo-dolomitica di età Trias-Cretaceo (Matese - Mainarde);

- ZONA DI TRANSIZIONE: corrispondente ad un ambiente di Scarpata e caratterizzato da sedimentazione calcareo-marnoso-selciosa, a partire dal Cretaceo fino al Miocene con notevoli apporti detritici della zona di piattaforma (M.ti di Venafro-Isernia; zona di Frosolone; zona di Sepino);

- BACINO MOLISANO: corrispondente ad un ambiente di sedimentazione di mare aperto e relativamente profondo, antistante la zona di scarpata e caratterizzato da una sedimentazione terrigena, prevalentemente argillitica alla base ed arenitica nella parte sommitale, che comprende

la fascia delle medie valli del Trigno e del Biferno fino ai rilievi dei M.ti Frentani, di età Paleogene - Miocene superiore;

- AVANFOSSA PERIADRIATICA: corrispondente ad una profonda depressione allungata parallelamente alla linea di costa attuale, creatasi a partire dal Pliocene e caratterizzata da notevoli fenomeni di subsidenza, accompagnata da sedimentazione prevalentemente argilloso-sabbiosa, di età Plio-Pleistocene;

- PIATTAFORMA PUGLIESE: corrispondente alla zona di Avampaese e ad un ambiente neritico, con caratteri simili a quelli della Piattaforma Abruzzese-Campana; le formazioni carbonatiche della Piattaforma Pugliese non affiorano nel territorio molisano in quanto ricoperte dai sedimenti Plio-Pleistocenici di Avanfossa. Il contesto geologico-strutturale è particolarmente complesso e non sempre chiaro, poiché fortemente condizionato da imponenti stress tettonici per lo più a carattere compressivo che hanno determinato una serie di deformazioni, accavallamenti e traslazione di masse rocciose, anche di notevolissime proporzioni, verso l'Avampaese, con complessiva contrazione spaziale. L'azione di tali forze orogenetiche è riflessa nell'attuale assetto geostrutturale rilevabile in superficie e, ad esse, sono da imputare la complessità dei rapporti geometrici tra le diverse unità litostratigrafiche, la più o meno suddivisione in blocchi delle masse litoidi, il disordine giaciturale delle masse prevalentemente argillitiche, nonché i caratteri strutturali di locale dettaglio delle singole formazioni. Lo schema tettonico regionale proposto nella "Carta tettonica d'Italia" in scala 1:1.500.000 (CNR, 1980, PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA), evidenzia come il territorio molisano sia attraversato da alcune importanti linee di dislocazione, ad andamento appenninico (NW-SE), corrispondenti a fronti di sovrascorrimento che hanno prodotto, durante l'orogenesi della catena, la sovrapposizione dei sedimenti calcareo-dolomitici della Piattaforma Abruzzese-Campana sulle successioni calcareo-marnoso-selciose della Zona di Transizione e, queste ultime, a loro volta si sono sovrapposte in contatto tettonico con i terreni flyschoidi alloctoni del complesso delle argille varicolori e con quelli dei flysch-tardorogenici del Bacino Molisano. I terreni flyschoidi ricoprono in falda, almeno in parte, i più recenti sedimenti Plio-Pleistocenici dell'Avanfossa Periadriatica.

L'area oggetto di studio è rappresentata da morfologie prevalentemente collinari dove sono diffuse le successioni bacinali marnoso-argilloso-calcaree e silicoclastiche riferibili rispettivamente all'Unità del Sannio ed al Flysch di San Bartolomeo. Tali unità rappresentano, in questo settore di

catena, le unità di tetto di un sistema a duplex, che nelle porzioni più profonde è formato da *borses* carbonatici a loro volta sovrapposti sul margine occidentale dell'avampaese apulo.



Figura 6 Stralcio Carta Geologica d'Italia 1:100.000, F 162 Campobasso

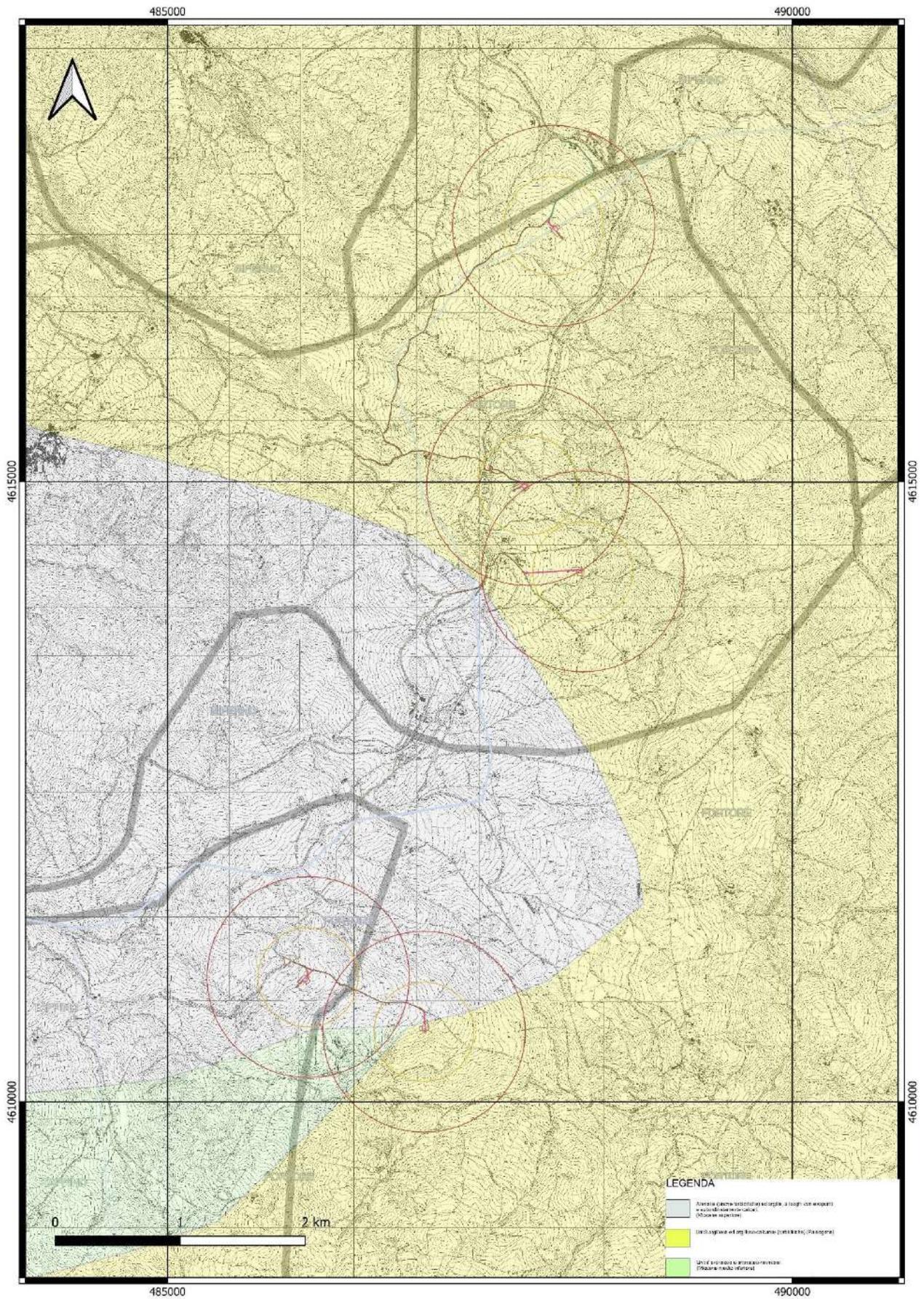


Figura 7 Carta geologica 1: 25000.

4. ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

In figura 7 è illustrata la distribuzione della sismicità per l'area molisana. Da essa risulta evidente come la distribuzione degli epicentri corrisponda ad una sismicità regionale diffusa con la presenza non trascurabile di terremoti aventi magnitudo $M_s > 6.0$ (Molise 05/12/1456 $M_s = 6.7$; Matese 05/06/1688 $M_s = 7.3$; Matese 26/07/1805 $M_s = 6.7$; Sannio 21/08/1962 $M_s = 6.2$).

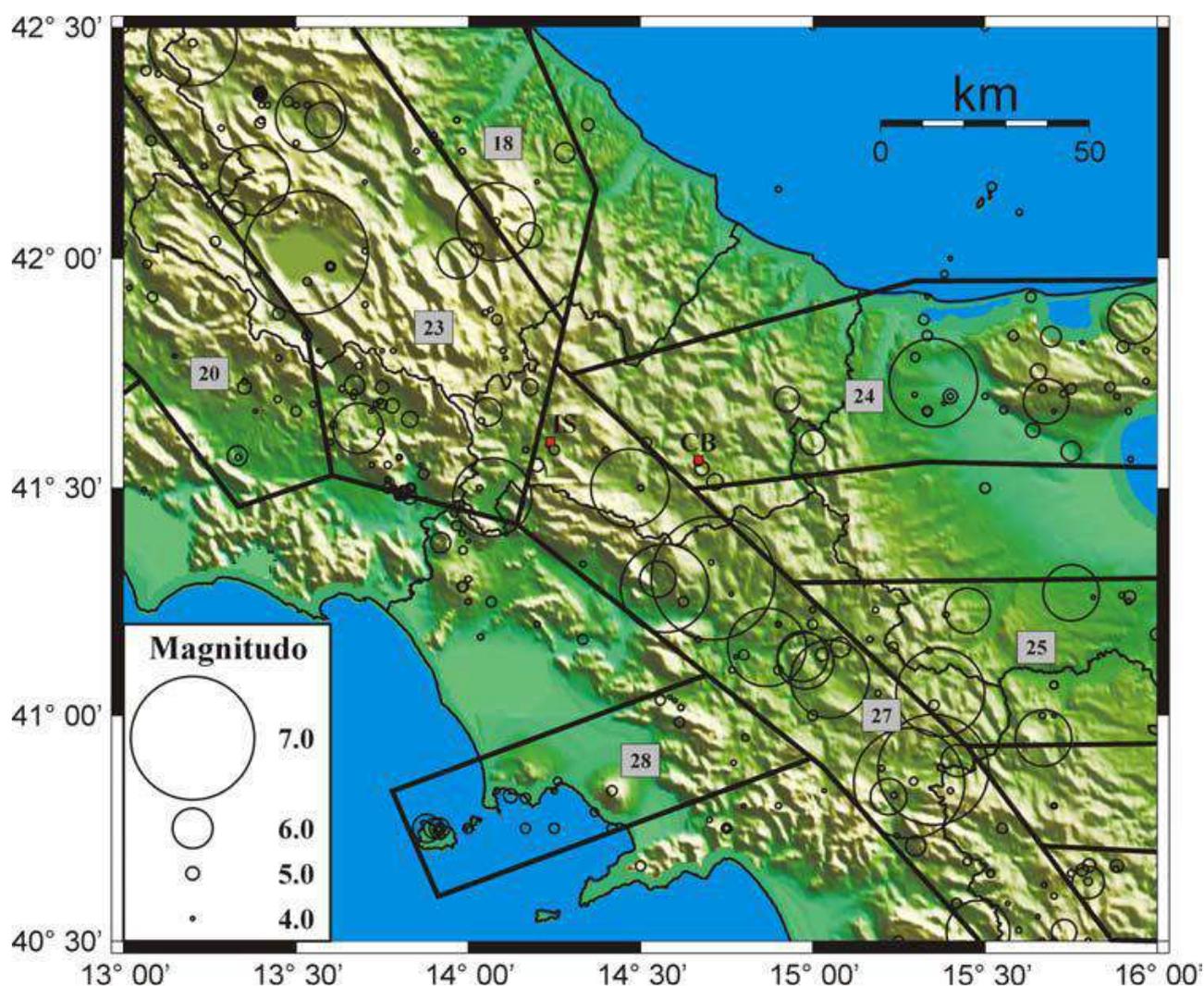


Figura 8 Distribuzione della sismicità nell'area di studio. Eventi contenuti nel catalogo CPTI04 (Gruppo di lavoro CPTI, 2004). Sovrapposizione della zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di lavoro MPS, 2004).

Sismicità storica

Secondo la pericolosità sismica di base proposta nella mappa MPS12 (Mappa di Pericolosità Sismica 2012), i territori dei comuni di Ripabottoni, Monacilioni e Sant'Elia a Pianisi, ricadono nella Zona 2 (valori di $0,15 \leq a_g < 0,25$), ovvero in una zona a "sismicità media" potenzialmente soggetta a forti scuotimenti.

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)	Descrizione
1	$a_g > 0,25$	E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.
2	$0,15 < a_g \leq 0,25$	Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
3	$0,05 < a_g \leq 0,15$	I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
4	$a_g \leq 0,05$	E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.

Tabella 1. Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06)

La sismicità storica dei comuni interessati dall'impianto, Ripabottoni, Monacilioni e Sant'Elia a Pianisi, è stata desunta dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15>; GdL CPTI, 2004; Stucchi et al., 2007).

Ripabottoni (CB)

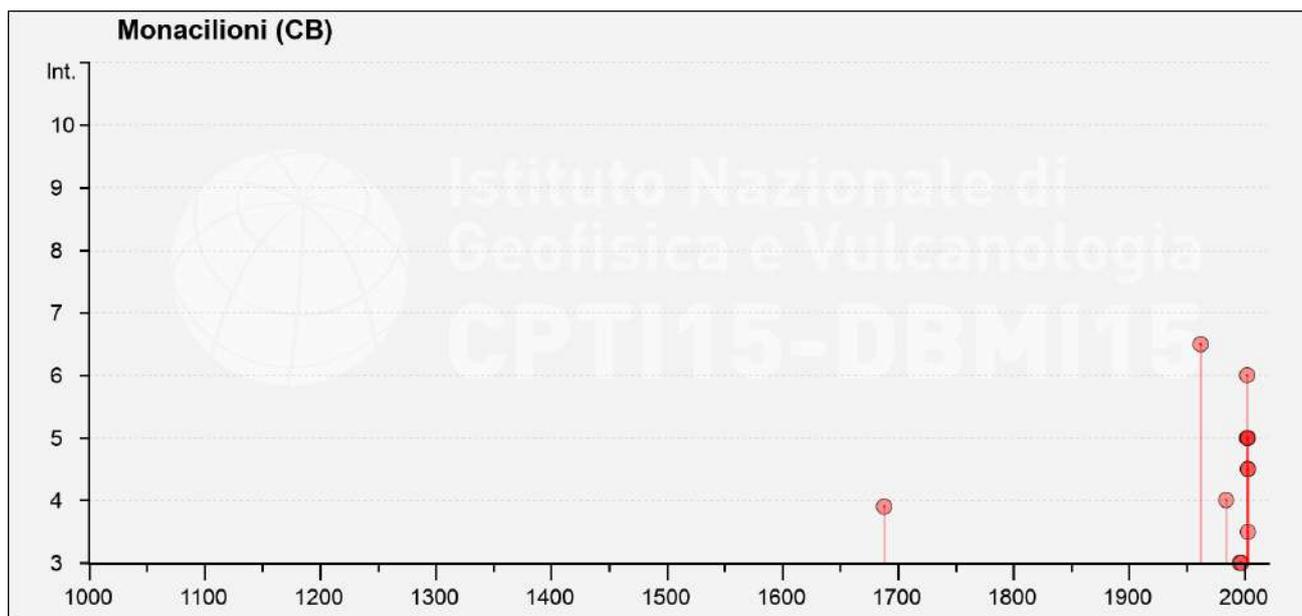


Effetti	In occasione del terremoto del							NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
7	1805	07	26	21			Molise	220	10	6.68
7	2002	10	31	10	32	5	Molise	51	7-8	5.74
6-7	2002	11	01	15	09	0	Molise	638	7	5.72
6	1962	08	21	18	19		Irpinia	562	9	6.15
6	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
5	2002	11	12	09	27	4	Molise	174	5-6	4.57
4-5	2003	04	28	20	12	3	Molise	33	4-5	3.64
4-5	2003	06	01	15	45	1	Molise	501	5	4.44
4-5	2003	12	30	05	31	3	Molise	326	4-5	4.53
4	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	911	8	5.86
3-4	2003	01	27	04	03	4	Molise	60	5	3.84
3	2005	03	01	05	41	3	Molise	136	4	3.68
NF	1989	03	11	21	05		Gargano	61	5	4.34
NF	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
NF	1991	05	26	12	25	5	Potentino	597	7	5.08
NF	1996	11	10	23	23	1	Tavoliere delle Puglie	55	5-6	4.35
NF	1997	03	19	23	10	5	Sannio-Matese	284	6	4.52
NF	1998	03	26	16	26	1	Appennino umbro-marchigiano	409		5.26
NF	2001	07	02	10	04	4	Tavoliere delle Puglie	60	5	4.26
NF	2006	05	29	02	20	0	Gargano	384		4.64
NF	2006	10	04	17	34	2	Adriatico centrale	98	4-5	4.30

Sant'Elia a Pianisi (CB)



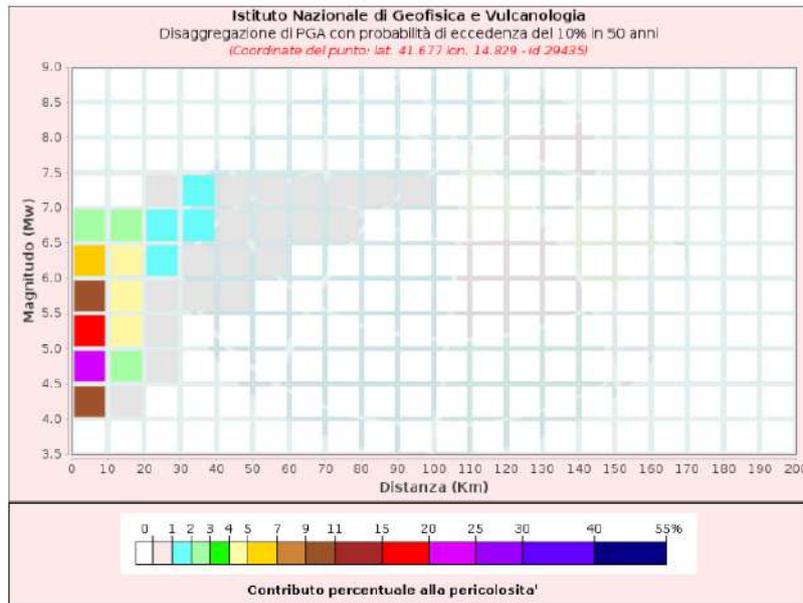
Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5-6	2002	10	31	10	32	5	Molise	51	7-8	5.74
5-6	2002	11	01	15	09	0	Molise	638	7	5.72
5	1962	08	21	18	19		Irpinia	562	9	6.15
5	2002	11	12	09	27	4	Molise	174	5-6	4.57
4-5	1913	10	04	18	26		Molise	205	7-8	5.35
4-5	2003	06	01	15	45	1	Molise	501	5	4.44
4-5	2003	12	30	05	31	3	Molise	326	4-5	4.53
4	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	911	8	5.86
4	2003	04	28	20	12	3	Molise	33	4-5	3.64
F	1688	06	05	15	30		Sannio	215	11	7.06
3-4	1930	07	23	00	08		Irpinia	547	10	6.67
3-4	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
3-4	2003	01	27	04	03	4	Molise	60	5	3.84
2-3	1995	09	30	10	14	3	Gargano	145	6	5.15
2-3	1996	11	10	23	23	1	Tavoliere delle Puglie	55	5-6	4.35
2-3	2001	07	02	10	04	4	Tavoliere delle Puglie	60	5	4.26
2	1997	03	19	23	10	5	Sannio-Matese	284	6	4.52
2	2005	03	01	05	41	3	Molise	136	4	3.68
NF	1984	05	11	10	41	4	Monti della Meta	342	7	5.47
NF	1988	04	26	00	53	4	Adriatico centrale	78		5.36
NF	1989	03	11	21	05		Gargano	61	5	4.34
NF	1991	05	26	12	25	5	Potentino	597	7	5.08
NF	2006	05	29	02	20	0	Gargano	384		4.64
NF	2006	10	04	17	34	2	Adriatico centrale	98	4-5	4.30

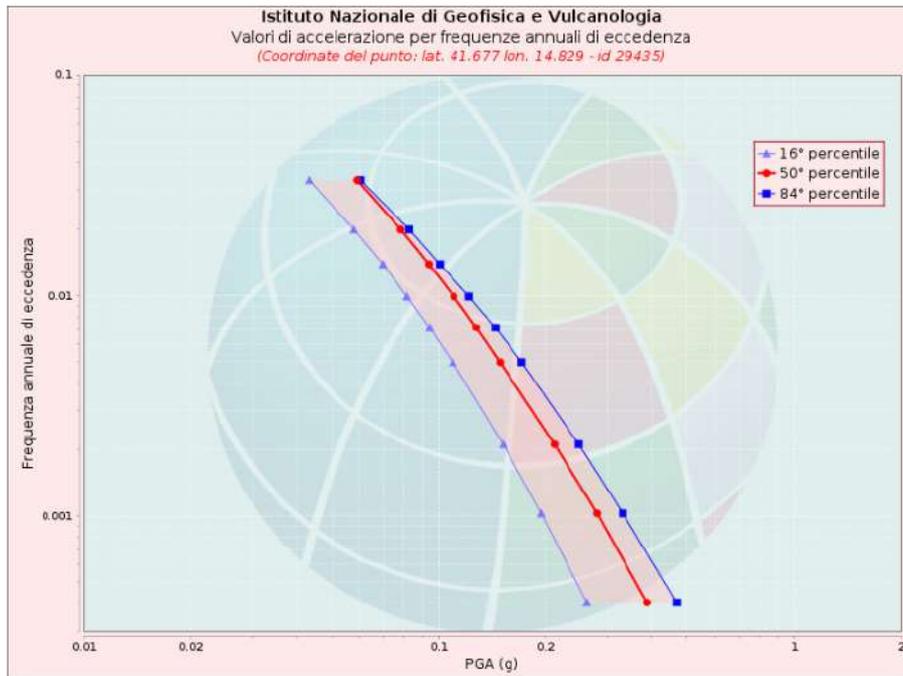


Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6-7	1962	08	21	18	19		Irpinia	562	9	6.15
6	2002	11	01	15	09	0	Molise	638	7	5.72
5	2002	10	31	10	32	5	Molise	51	7-8	5.74
5	2002	11	12	09	27	4	Molise	174	5-6	4.57
5	2003	06	01	15	45	1	Molise	501	5	4.44
4-5	2003	04	28	20	12	3	Molise	33	4-5	3.64
4-5	2003	12	30	05	31	3	Molise	326	4-5	4.53
4	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	911	8	5.86
F	1688	06	05	15	30		Sannio	215	11	7.06
3-4	2003	01	27	04	03	4	Molise	60	5	3.84
3	1996	11	10	23	23	1	Tavoliere delle Puglie	55	5-6	4.35
3	1997	03	19	23	10	5	Sannio-Matese	284	6	4.52
NF	1907	03	20	13	28		Molise	24	6	4.38
NF	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
NF	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786		5.62
NF	2001	07	02	10	04	4	Tavoliere delle Puglie	60	5	4.26
NF	2005	03	01	05	41	3	Molise	136	4	3.68
NF	2006	05	29	02	20	0	Gargano	384		4.64
NF	2006	10	04	17	34	2	Adriatico centrale	98	4-5	4.30

Figura 9 Grafico delle intensità massime risentite nei Comuni oggetto dell'impianto.

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1





Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza (Coordinate del punto: lat. 41.677 lon. 14.829 - id 29435)			
Frequenza annuale di eccedenza	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.2617	0.3866	0.4675
0.0010	0.1946	0.2793	0.3302
0.0021	0.1519	0.2121	0.2483
0.0050	0.1097	0.1489	0.1716
0.0071	0.0943	0.1277	0.1445
0.0099	0.0814	0.1104	0.1217
0.0139	0.0697	0.0940	0.1008
0.0199	0.0578	0.0783	0.0827
0.0332	0.0433	0.0591	0.0603

Figura 10 Mappa di pericolosità sismica. Grafici di disaggregazione di PGA con eccedenza del 10% in 50 anni. Mappa di pericolosità sismica espressa come valore di a_{gMAX} con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni e b) grafico della variabilità di a_{gMAX} (valori del 16°, 50° e 84° percentile) per tempi di ritorno tra 30 e 2475 anni espressi come frequenza annuale di superamento (da <http://esse1.mi.ingv.it/>).

Grafici di disaggregazione di PGA con eccedenza del 10% in 50 anni.

Mappa di pericolosità sismica espressa come valore di a_{gMAX} con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni e b) grafico della variabilità di a_{gMAX} (valori del 16°, 50° e 84° percentile) per tempi di ritorno tra 30 e 2475 anni espressi come frequenza annuale di superamento (da <http://esse1.mi.ingv.it/>).

5. ANALISI DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA E STUDIO DI COMPATIBILITA' IDROGEROLOGICA

Il sito di interesse per l'installazione dell'impianto eolico, ricade all'interno del Bacino idrografico del Fiume Fortore e confina con il Bacino Idrografico del Biferno, entrambe di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Meridionale, ex AdB Regionale Molise.

Si riportano di seguito gli inquadramenti PAI valori di pericolosità (Figura 12) e valori di rischio (Figura 13).

Le Norme Tecniche di Attuazione del Piano di Assetto Idrogeologico ex Adb del Fiume Fortore, individua e classifica, a scala di bacino, le aree in frana distinguendole in base a livelli di pericolosità determinati secondo le procedure indicate nella Relazione Generale di cui all'art.5 comma 1 lettera a).

Si individuano le tre seguenti classi di aree a diversa pericolosità da frana, come riportate negli elaborati di piano (tavole da T. 02-01 a T. 02-32) e come di seguito definite:

- 1) aree a pericolosità da frana estremamente elevata (PF3);
- 2) aree a pericolosità da frana elevata (PF2);
- 3) aree a pericolosità da frana moderata (PF1);

Appartengono alla classe PF2 le aree con elevata pericolosità da frana evidenziate dalla presenza di elementi distintivi del carattere di quiescenza e da indicatori geomorfologici diretti quali la presenza di corpi di frana preesistenti e di segni precursori di fenomeni gravitativi (ondulazioni, contropendenze, fratture di trazione, aperture anomale nei giunti di discontinuità, rigonfiamenti, etc.). Appartengono a tale classe le aree di probabile evoluzione spaziale dei fenomeni censiti con stato attivo. Rientrano in tale classe anche fenomeni di dissesto superficiali (soliflussi e/o deformazioni viscosi dei suoli per i quali è scontata l'attività continua nel tempo o, al più, il carattere stagionale) censite come frane s.s. anche se tali non possono considerarsi (Canuti & Esu 1995; Cruden 1991) e le frane sulle quali sono stati realizzati interventi di consolidamento (frane stabilizzate artificialmente). Appartengono a tale classe, inoltre, gli areali che, sulla base dei caratteri fisici (litologia e caratteristiche geotecniche dei terreni, struttura e giacitura dei corpi geologici, processi di degradazione meteorica, dinamica geomorfologica in atto, etc.), vegetazionale e di uso del suolo sono privi, al momento, di indicazioni morfologiche di fenomeni franosi superficiali e/o profondi ma che potrebbero evolvere attraverso fenomenologie di frana a cinematica rapida (crolli, ribaltamenti, debris flow). Tale ultima indicazione assume carattere cautelativo, volto a scongiurare l'insorgere di nuove condizioni di rischio e a mitigare quelle già esistenti.

Secondo l'Art.26 delle NTA del Pai, nelle Aree classificate a pericolosità elevata (PF2) sono consentiti, oltre agli interventi ammessi all'articolo 25, previa valutazione di compatibilità idrogeologica di cui all'*allegato 2*, gli interventi a carattere edilizio-infrastrutturale di seguito elencati :

a) Interventi di restauro e risanamento conservativo di cui alla lettera c) comma 1 dell'art.3 del D.P.R. n.380 del 06-06-2001, purché non siano previsti cambiamenti di destinazione d'uso che possano comportare un aumento del carico antropico;

b) Interventi di ampliamenti degli edifici esistenti unicamente per motivate necessità di adeguamento igienico sanitario.

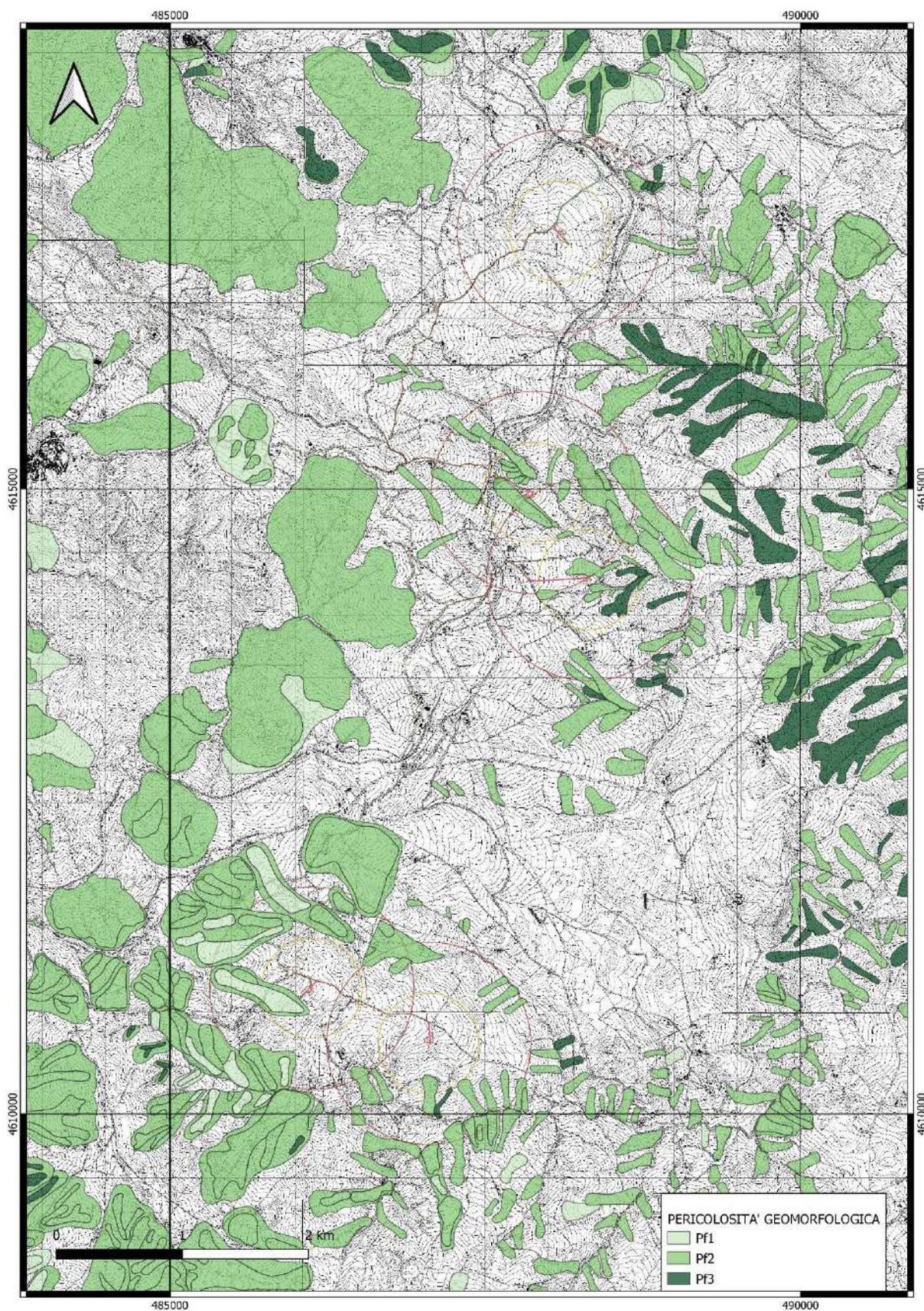


Figura 11 Inquadramento PAI (Piano di Assetto Idrogeologico), pericolosità geomorfologiche.

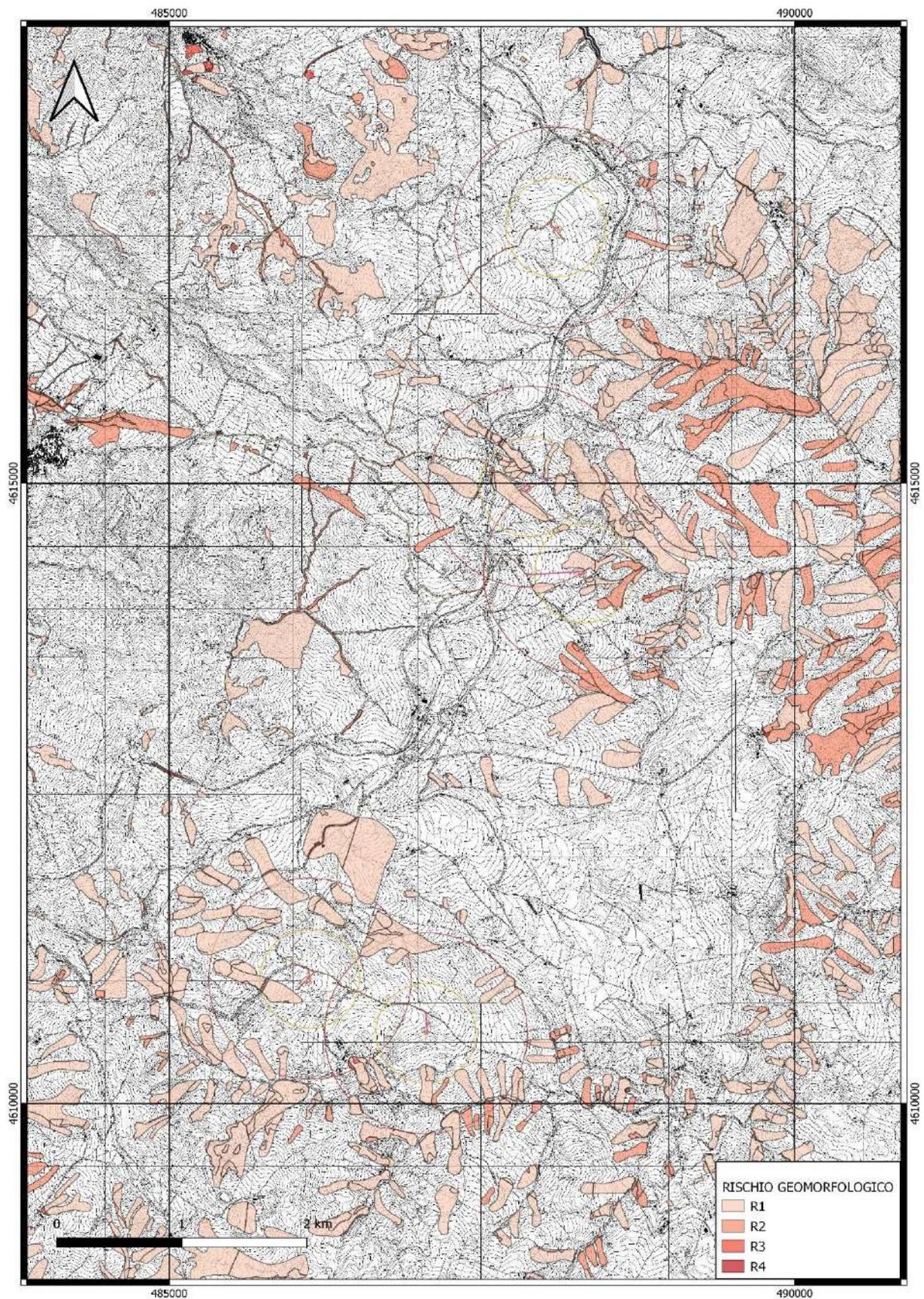


Figura 12 Inquadramento PAI (Piano di Assetto Idrogeologico), valori di rischio geomorfologico.

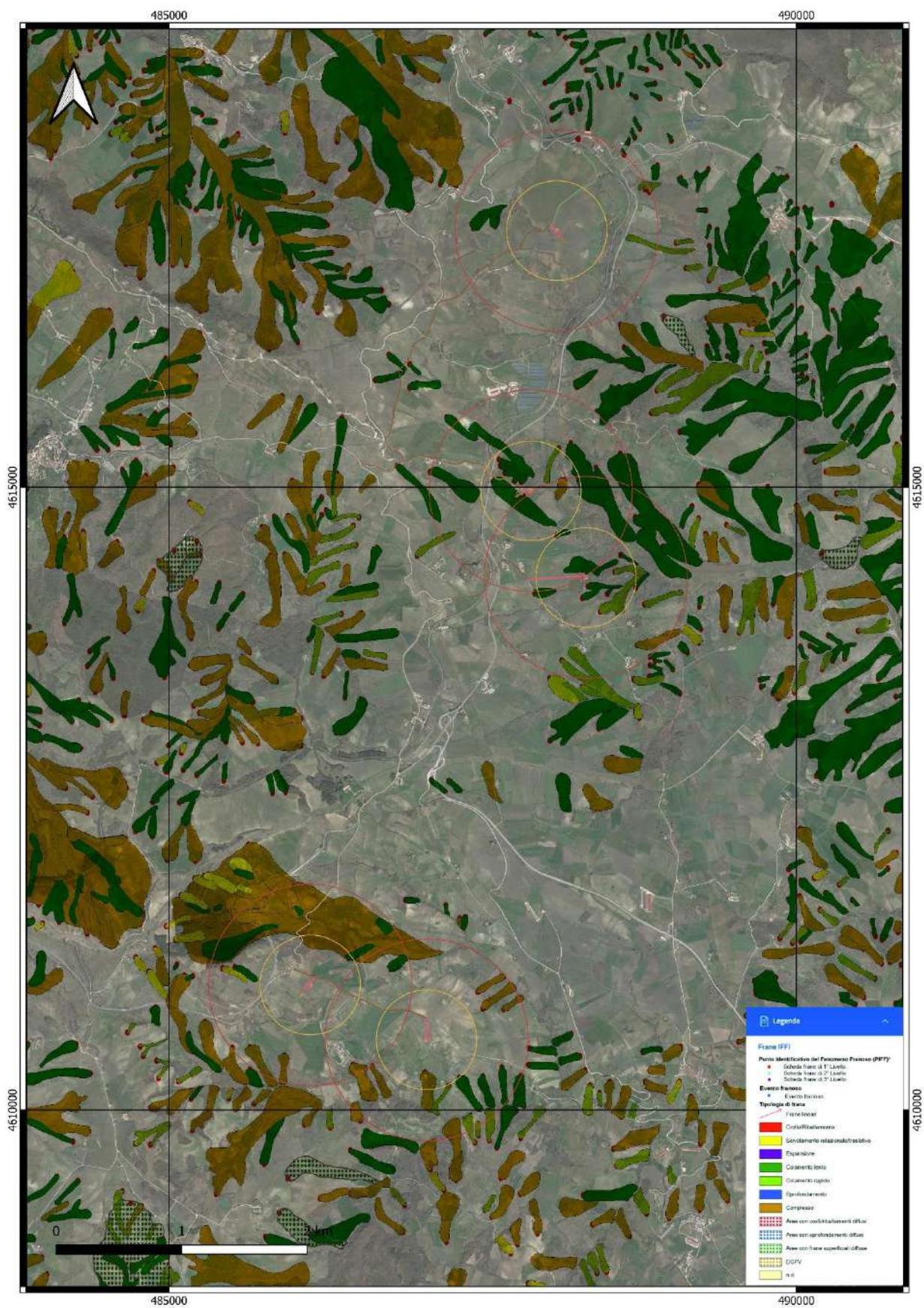


Figura 11 Inquadramento IFFI (Inventario Fenomeni Franosi Italia), sovrapposto a ortofoto.

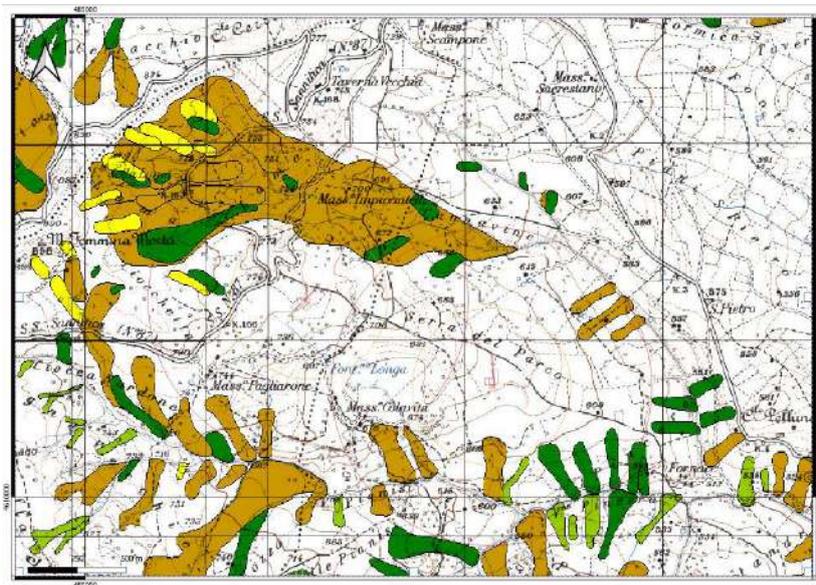
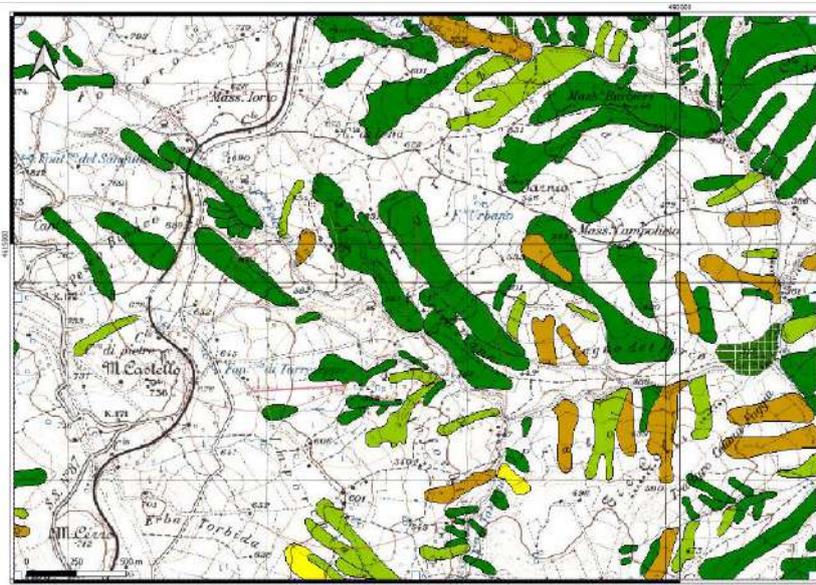
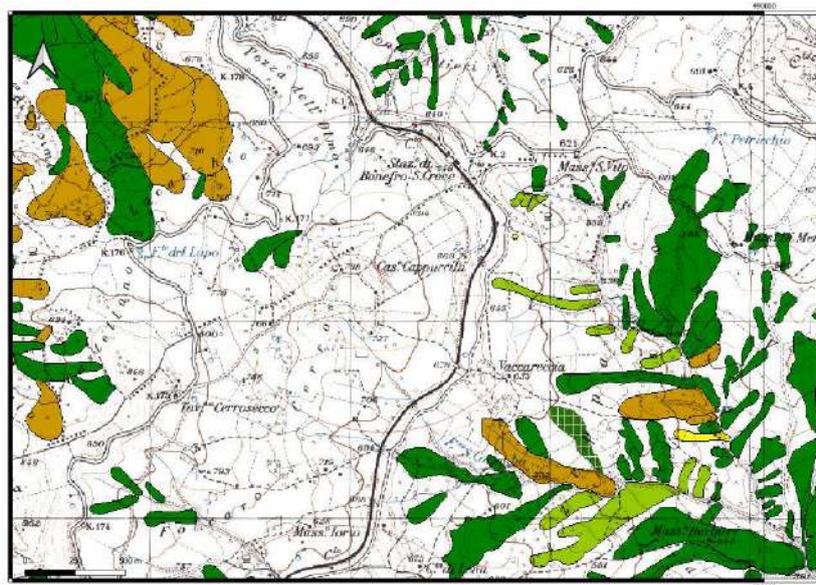


Figura 14 Inquadramento IFFI, sovrapposto a cartografia IGM.

6. INDAGINI ESEGUITE

Sono state eseguite tre indagini sismiche a rifrazione in onde P e tre indagini sismica di tipo MASW mediante strumentazione costituita da un sismografo A6000S della MAE e 24 geofoni verticali, equispaziati con interdistanza geofonica pari a 2 m, lunghezza stendimento pari a 46 m, 7 punti di energizzazione per l'indagine sismica a rifrazione in onde P e due punti per l'indagine MASW.

Ad ogni stendimento è stata abbinato una o due indagini HVSR.

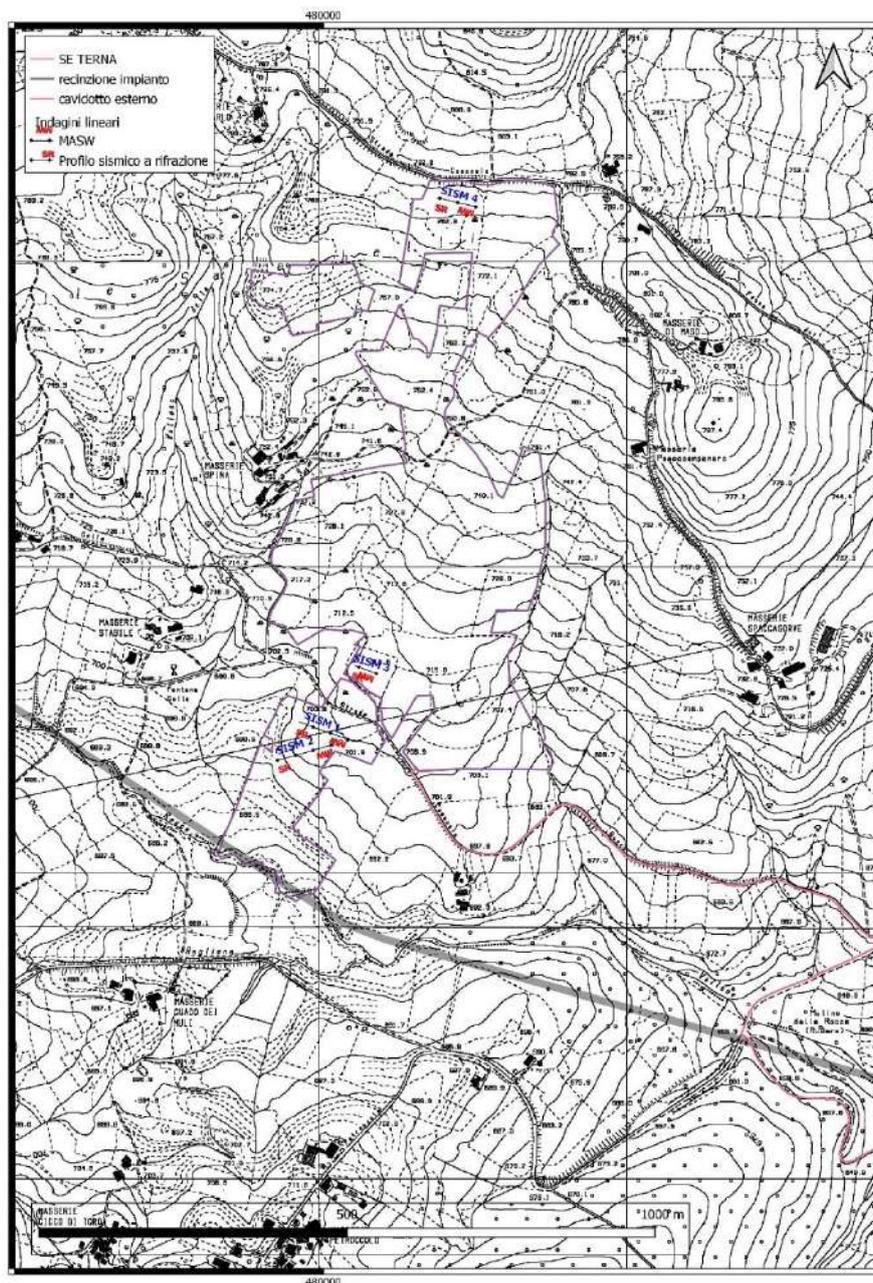


Figura 15 Ubicazione indagini eseguite su Carta Tecnica Regionale 1:5000.

6.1 INDAGINI GEOFISICHE A RIFRAZIONE IN ONDE P METODO GRM E METODO TOMOGRAFICO

Cenni sul metodo sismico a rifrazione

La sismica a rifrazione considera i tempi di propagazione di onde elastiche che, generate al suolo, si rifrangono su superfici di discontinuità. Dalla misura dei tempi di percorso dalla stazione energizzante ad una successione di stazioni riceventi, rappresentata ognuna da un geofono, è possibile dedurre le velocità e gli spessori degli orizzonti in cui si propagano le onde elastiche generate e quindi ottenere informazioni sulla natura e sulla struttura del sottosuolo, per profondità che variano da pochi metri fino varie decine di chilometri.

Mettendo in diagramma in ordinate i tempi di percorso misurati e, in ascisse le distanze dalla sorgente energizzante dei vari geofoni dello stendimento, si ottiene un grafico tempi-distanze la cui analisi permetterà di individuare le «dromocrone», cioè dei segmenti di retta che segnalano percorsi effettuati con uguale velocità (Carrara et al., 1992)

La metodologia sismica a rifrazione permette dunque di ottenere la stima delle velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo che sono generate quando il terreno è sottoposto a sollecitazioni artificiali (ad esempio massa battente). La determinazione delle velocità viene ricavata misurando i tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in diversi punti sulla superficie topografica.

Operativamente, ciò che viene eseguito in campo è una disposizione lungo una retta di trasduttori (geofoni) lungo la sezione che si desidera investigare. Quindi, in funzione della risoluzione e delle profondità ricercate, si dispongono i punti di produzione dell'energia elastica. I punti di energizzazione saranno disposti secondo geometrie variabili rispetto alla copertura geofonica.

I geofoni sono costituiti da una massa magnetica oscillante che trasforma, per induzione elettromagnetica, il movimento in un segnale elettrico, il quale è acquisito e digitalizzato da un sismografo digitale. Per quanto riguarda l'elaborazione del segnale, essa avviene nel dominio del tempo, determinando l'intervallo di tempo intercorso tra l'energizzazione ed il primo arrivo del segnale sismico su ogni singolo geofono.

L'indagine è stata condotta in onde P (utilizzando geofoni verticali).

Lo scopo della tecnica d'indagine è di ricostruire un profilo sismo-stratigrafico lungo l'allineamento geofonico di investigazione. Secondo i tempi di primo arrivo delle onde longitudinali P e le distanze relative alla configurazione geometrica adottata (interdistanza tra i geofoni e offset di scoppio, ovvero distanza tra sorgente e primo ricevitore) sarà possibile dimensionare gli spessori dei sismo-strati attraversati dalle onde elastiche e quindi ottenere una dettagliata perizia sismica della porzione di sottosuolo sottoposta ad indagine.

Strumentazione e configurazione geometrica utilizzata

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale **M.A.E. A6000S**, avente le seguenti caratteristiche tecniche :

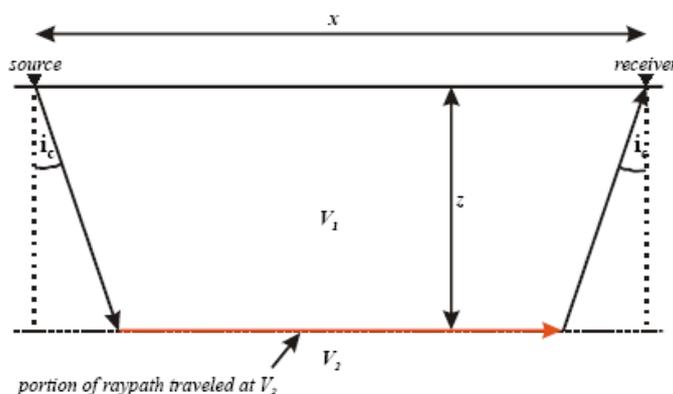
- capacità di campionamento dei segnali tra 0.002 e 0.00005 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del “tempo zero” (time break)
- filtri High Pass e Band Reject
- “Automatic Gain Control”
- convertitore A/D a 24 bit
- 24 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;
- massa battente pesante di 10 Kg.

Dunque sono stati utilizzati 24 canali, disposti in modo da mantenere un'interdistanza di 2 m e sono state effettuate 7 energizzazioni per stendimento così distribuite: da due a 3 esterne allo stendimento, poste a 2 e 10 metri dal 1° e dal 24° geofono, una al centro dello stendimento, ovvero tra il 12° e il 13° geofono; altre due energizzazioni interne allo stendimento disposte simmetricamente rispetto al centro, ovvero tra il 6° e il 7° e tra il 18° e il 19° geofono.

Elaborazione dati

L'acquisizione e l'elaborazione, dei dati sismici acquisiti (onde P) è avvenuta con l'ausilio dei software PsLab, Easy Refract della Geostru e Smart Tomo.

La tecnica di elaborazione dei dati sismici utilizzata è quella del Time Term Inversion (TTI) che permette di risolvere geometrie del sottosuolo piuttosto complesse. Questa procedura si avvale del metodo dei minimi quadrati, ma considera l'inversione semplice dei tempi di percorso sorgente-ricevitori definendo la lentezza S come parametro inverso della velocità: $S = 1/V$.



Caso di due strati piano paralleli.

In condizioni di due strati piano paralleli, sarà: $S_1 = 1/V_1$ e $S_2 = 1/V_2$ (figura 6).

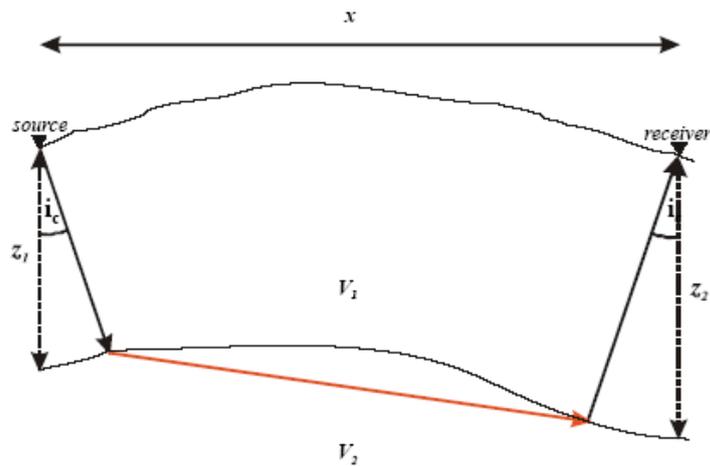
Dalla legge di Snell:

- $\sin(i_c) = S_2/S_1$

Il tempo totale di percorso dell'onda rifratta dalla sorgente al ricevitore è dato da:

- $t = 2S_1 \cos(i_c) z + xS_2$;

dove Z e S_2 sono le incognite. Se invece si considera il caso più frequente di rifrattore non parallelo al piano campagna, ma caratterizzato da una morfologia piuttosto variabile, le incognite in questo caso saranno Z_1 , Z_2 e S_2 .



Definendo:

- $c = 2S_1 \cos(i_c)$

il tempo di percorso diventerà:

- $t = cz_1 + cz_2 + xS_2$

Generalizzando si ottiene:

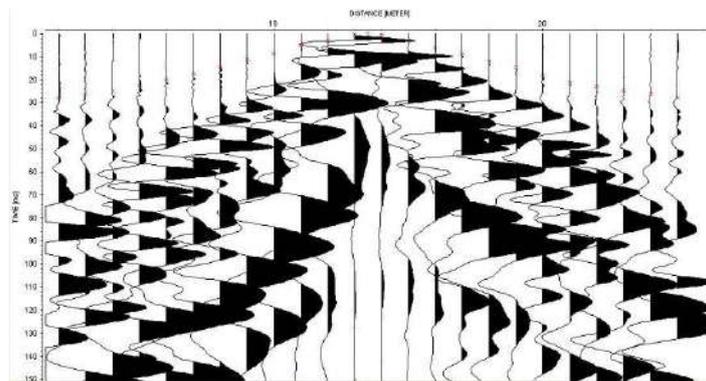
$$t_j = \sum_{k=1}^n c_{jk} z_k + x_j S_2$$

Ovvero in forma matriciale:

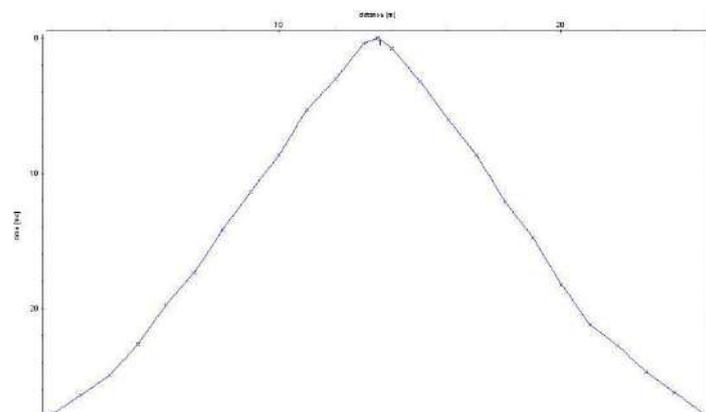
$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & \cdot & c_{1n} & x_1 \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & \cdot & c_{2n} & x_2 \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & \cdot & c_{3n} & x_3 \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & \cdot & c_{4n} & x_4 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ c_{m2} & c_{m2} & c_{m3} & \cdot & c_{mn} & x_m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \cdot \\ z_n \\ S_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ t_4 \\ \cdot \\ t_m \end{pmatrix}$$

Dove m = numero di curve di percorso, n = numero di ricevitori. A questo punto la matrice si può risolvere per $z_1 \dots z_n$ e S_2 .

Dopo aver effettuato la lettura dei tempi di primo arrivo su ogni *shot gather* si ricavano le dromocrone. Lo studio accurato delle dromocrone permette di assegnare un numero di strati e il loro spessore e con il metodo *time term inversion* si ricava il modello di velocità bidimensionale.



-Picking dei primi arrivi su un esempio di shot gather.



Dromocrona (curva espressa in funzione del tempo e della distanza)

Inversione tomografica

La tecnica tomografica prevede la creazione di un modello sintetico del sottosuolo e la sua perturbazione alla ricerca del minimo scarto tra le misure effettuate sul terreno e le misure “virtuali” registrate sul modello sintetico attraverso una procedura iterativa che alterna le due seguenti fasi:

- Nella fase “diretta” vengono calcolati sul modello sintetico i tempi di arrivo dell’impulso sismico (smartTomo è basato sul lavoro di Moser, T. J. "Shortest path calculation of seismic rays." Geophysics 56.1 (1991): 59-67). Il modello di velocità iniziale è suddiviso in una griglia le cui celle hanno assegnato un valore di velocità iniziale. Sui lati della cella sono presenti più nodi (il numero è scelto dall’utente) che costituiscono i nodi della rete di ipotetici raggi sismici che connettono tutte le sorgenti e tutti i ricevitori che sono anch’essi dei nodi. Ogni nodo è connesso con i nodi delle celle adiacenti.

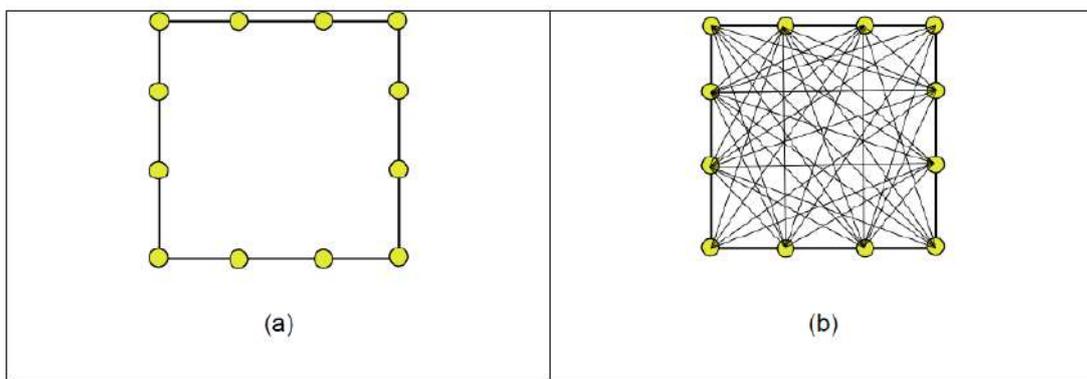


Figura 1 (a) Esempio di cella con 4 nodi; (b) visualizzazione dei possibili raggi sismici che congiungono i nodi della cella. Aumentando il numero di nodi aumenta il dettaglio e la precisione nel percorso dei raggi sismici ma aumenta anche l’uso di memoria.

Il percorso delle onde rifratte corrisponde al percorso lungo i raggi sismici che impiega il minor tempo a percorrere il tragitto tra la sorgente ed il ricevitore.

- Nella fase “inversa” i tempi sintetici calcolati nel passo “diretto” vengono confrontati con i tempi misurati; le differenze tra i due tempi sono usate per aggiornare il modello sintetico (smartTomo impiega un algoritmo riconducibile alla famiglia delle “Simultaneous Iterative Reconstruction Technique”). Nell’applicazione di questo metodo la velocità viene sostituita dal suo inverso, la lentezza . Quindi considerando un generico raggio sismico j tra la sorgente ed il ricevitore la lentezza media può essere espressa come:

$$S_j = t_0 l_j$$

dove t_0 rappresenta il tempo misurato tra la sorgente ed il ricevitore e l_j rappresenta la lunghezza del raggio sismico j -esimo. Pertanto, conoscendo i tempi di percorso misurato t_m e t_c per il raggio j -esimo si può calcolare il residuo del tempo di percorso:

$$\Delta t_j = t_{mj} - t_{cj}$$

Il residuo dei tempi di percorso può essere proiettato su ciascuna cella k su cui può essere calcolato anche il fattore di correzione della lentezza:

$$\Delta S_k = \sum \Delta t_{ik} \sum \Delta l_{ik}$$

L'indice i indica ciascun raggio sismico incidente sulla cella k -esima. Il fattore di correzione della lentezza verrà utilizzato per aggiornare il modello di velocità alla fine di ogni iterazione del ciclo di risoluzione.

Questa procedura consente di ottenere un modello, con variazioni di velocità continue e non necessariamente vincolato alla presenza di rifrattori.

6.1.1 REPORT INDAGINI

	Numero canali	Distanza intergeofonica (m)	Lunghezza stendimento geofonico	Numero sorgenti
SISM 1	24	3	72	11
SISM 2	24	3	72	9
SISM 3	24	3	72	9

Report SISM1

Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	3.0	0.0
3	6.0	0.0
4	9.0	0.0
5	12.0	0.0
6	15.0	0.0
7	18.0	0.0
8	21.0	0.0
9	24.0	0.0
10	27.0	0.0
11	30.0	0.0
12	33.0	0.0
13	36.0	0.0
14	39.0	0.0
15	42.0	0.0
16	45.0	0.0
17	48.0	0.0
18	51.0	0.0
19	54.0	0.0
20	57.0	0.0
21	60.0	0.0
22	63.0	0.0
23	66.0	0.0
24	69.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	7.2000
3.0	12.0000
6.0	15.6000
9.0	18.0000

12.0	20.0000
15.0	22.4000
18.0	23.6000
21.0	25.6000
24.0	27.2000
27.0	30.4000
30.0	32.4000
33.0	33.6000
36.0	34.4000
39.0	36.0000
42.0	37.2000
45.0	38.4000
48.0	40.4000
51.0	41.6000
54.0	41.6000
57.0	42.0000
60.0	43.2000
63.0	44.4000
66.0	44.8000
69.0	46.0000

Battuta 2

Posizione sorgente X 11 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	20.0000
3.0	19.0700
6.0	16.2700
9.0	9.6000
12.0	12.9300
15.0	15.6000
18.0	18.2700
21.0	22.5300
24.0	25.2000
27.0	30.5300
30.0	31.6000
33.0	33.2000
36.0	35.8700
39.0	37.4700
42.0	41.2000
45.0	42.8000
48.0	45.4700
51.0	45.4700
54.0	46.0000
57.0	47.0700
60.0	46.5300
63.0	49.7300
66.0	52.4000

69.0	54.0000
------	---------

Battuta 3

Posizione sorgente X 23 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	27.8700
3.0	27.6000
6.0	26.6700
9.0	25.7300
12.0	23.6000
15.0	19.4700
18.0	15.6000
21.0	9.6000
24.0	10.8000
27.0	15.2000
30.0	20.0000
33.0	24.8000
36.0	28.4000
39.0	30.4000
42.0	30.4000
45.0	31.2000
48.0	31.6000
51.0	32.0000
54.0	34.0000
57.0	36.0000
60.0	37.2000
63.0	39.2000
66.0	39.6000
69.0	42.4000

Battuta 4

Posizione sorgente X 35 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	40.8000
3.0	35.2000
6.0	33.6000
9.0	32.0000
12.0	30.4000
15.0	26.0000
18.0	24.4000
21.0	23.2000
24.0	22.8000
27.0	18.8000
30.0	14.4000
33.0	7.2000

36.0	7.3300
39.0	11.8700
42.0	18.2700
45.0	22.5300
48.0	24.6700
51.0	25.2000
54.0	27.3300
57.0	28.6700
60.0	30.2700
63.0	31.3300
66.0	34.0000
69.0	34.5300

Battuta 5

Posizione sorgente X 46 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	43.2000
3.0	41.6000
6.0	40.4000
9.0	38.8000
12.0	35.6000
15.0	34.4000
18.0	32.0000
21.0	29.6000
24.0	28.0000
27.0	26.0000
30.0	24.4000
33.0	20.8000
36.0	20.0000
39.0	17.6000
42.0	15.2000
45.0	10.4000
48.0	7.3300
51.0	13.7300
54.0	20.4000
57.0	23.6000
60.0	26.0000
63.0	27.6000
66.0	28.4000
69.0	30.5300

Battuta 6

Posizione sorgente X 58 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	41.6000

3.0	39.2000
6.0	38.0000
9.0	37.2000
12.0	36.8000
15.0	35.2000
18.0	34.4000
21.0	34.0000
24.0	34.0000
27.0	34.0000
30.0	33.2000
33.0	32.8000
36.0	32.0000
39.0	31.6000
42.0	28.8000
45.0	25.2000
48.0	19.2000
51.0	16.8000
54.0	12.0000
57.0	8.0000
60.0	7.3300
63.0	14.6700
66.0	20.0000
69.0	23.3300

Battuta 7

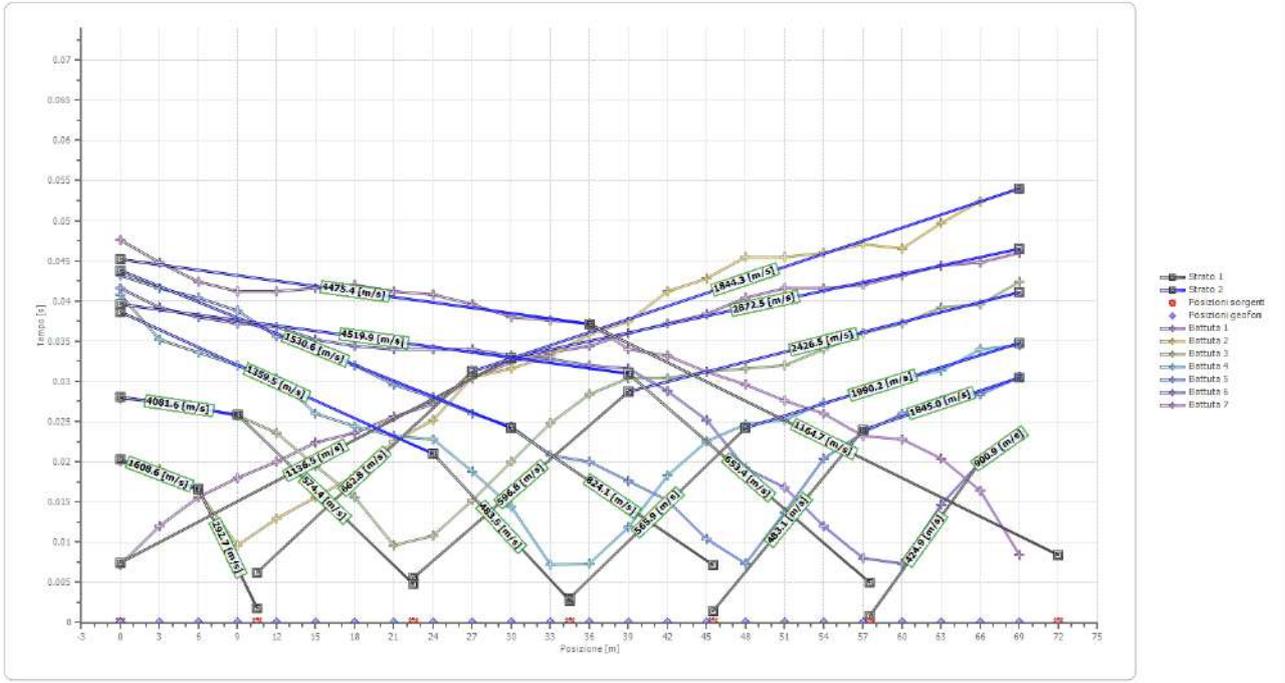
Posizione sorgente X 72 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

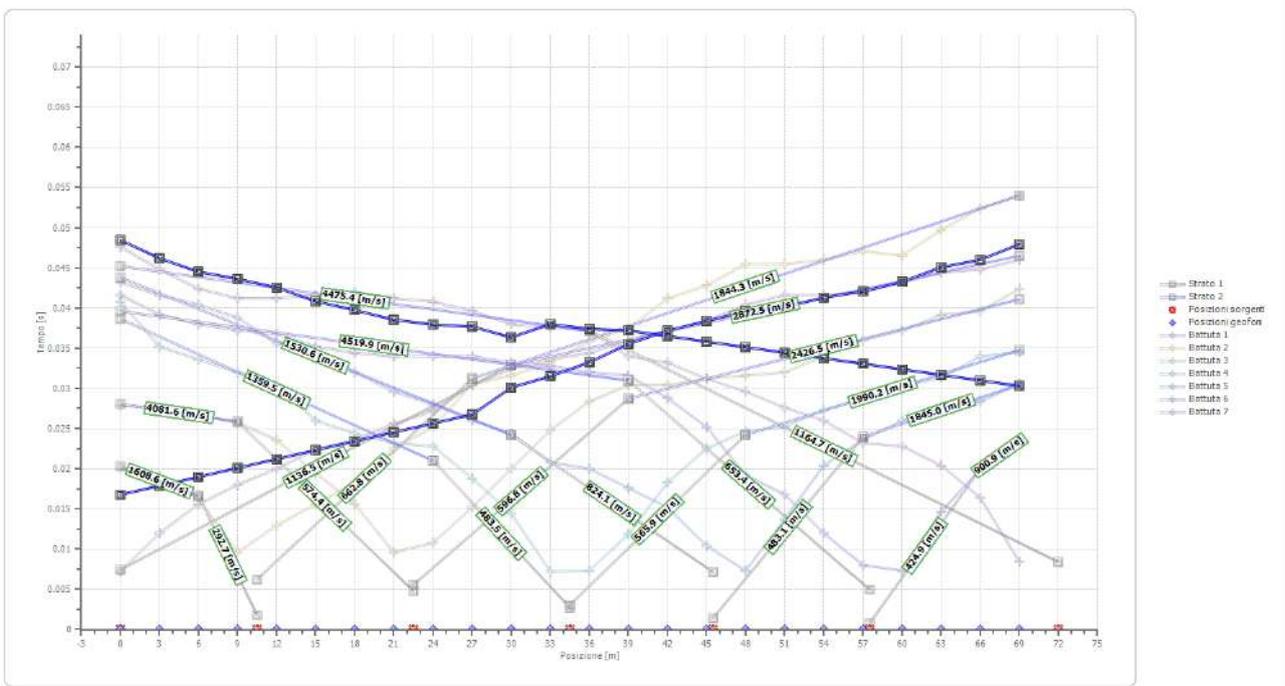
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	47.6000
3.0	44.8000
6.0	42.4000
9.0	41.2000
12.0	41.2000
15.0	41.6000
18.0	42.0000
21.0	41.2000
24.0	40.8000
27.0	39.6000
30.0	38.0000
33.0	37.6000
36.0	37.2000
39.0	34.0000
42.0	33.2000
45.0	31.2000
48.0	29.6000
51.0	27.6000
54.0	26.0000
57.0	23.2000
60.0	22.8000

	63.0	20.4000
	66.0	16.4000
	69.0	8.4000

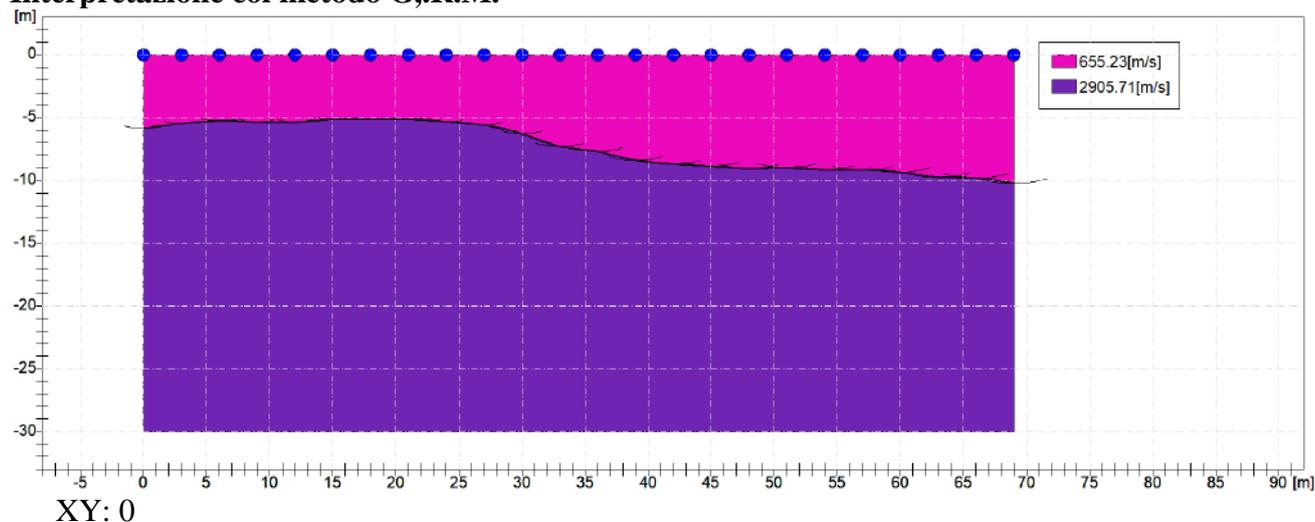
Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G,,R.M.



	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 0.0 [m]	5.9	--
G= 3.0 [m]	5.5	--
G= 6.0 [m]	5.3	--
G= 9.0 [m]	5.4	--
G= 12.0 [m]	5.4	--
G= 15.0 [m]	5.2	--
G= 18.0 [m]	5.2	--
G= 21.0 [m]	5.1	--
G= 24.0 [m]	5.3	--
G= 27.0 [m]	5.6	--
G= 30.0 [m]	6.3	--
G= 33.0 [m]	7.3	--
G= 36.0 [m]	7.7	--
G= 39.0 [m]	8.4	--
G= 42.0 [m]	8.7	--
G= 45.0 [m]	8.9	--
G= 48.0 [m]	9.1	--
G= 51.0 [m]	9.0	--
G= 54.0 [m]	9.2	--
G= 57.0 [m]	9.2	--
G= 60.0 [m]	9.4	--
G= 63.0 [m]	9.7	--
G= 66.0 [m]	9.8	--
G= 69.0 [m]	10.2	--
Velocità [m/sec]	655.2	2905.7
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	655.23	2905.71

Vs [m/s]	314.76	1395.86
G0 [MPa]	178.33	3507.17
Ed [Mpa]	772.78	15197.72
M0 [MPa]	594.45	11690.56
Ey [Mpa]	481.50	9469.35

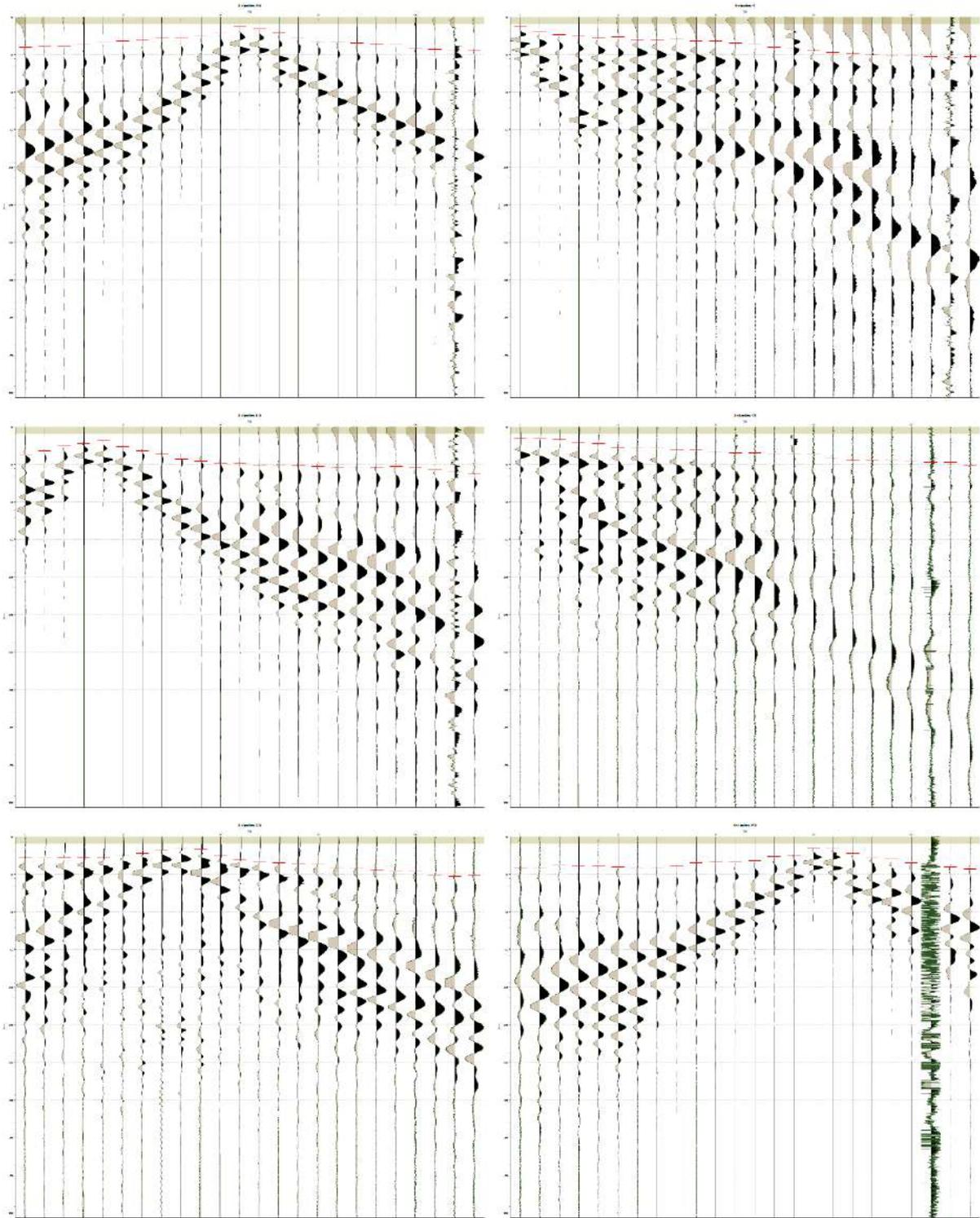
G0: Modulo di deformazione al taglio;

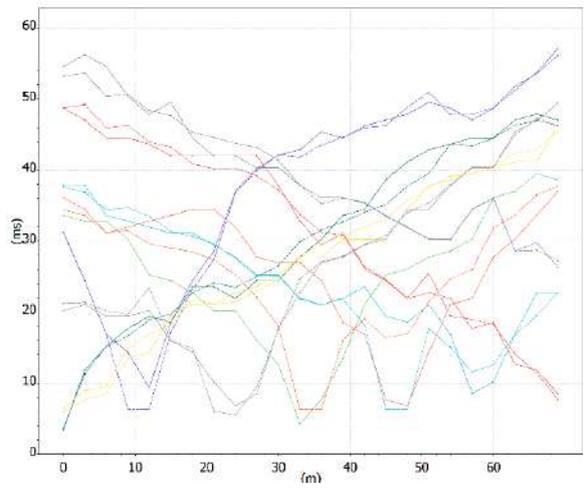
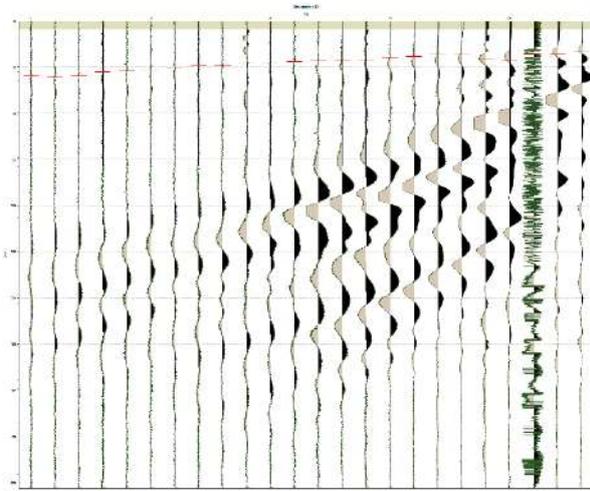
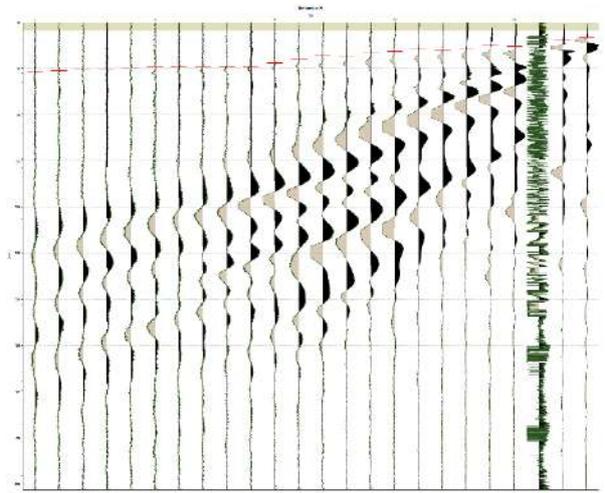
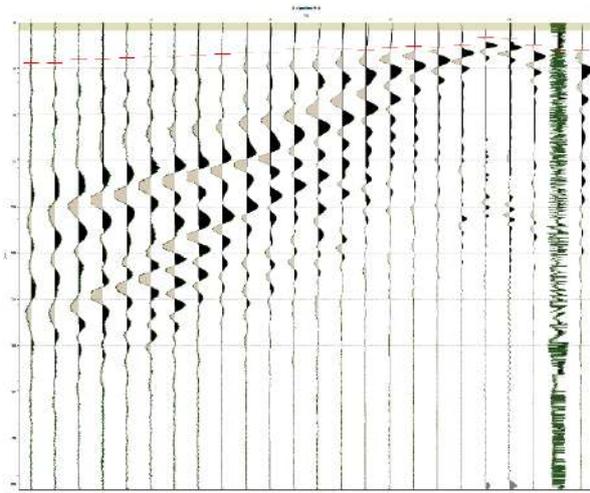
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

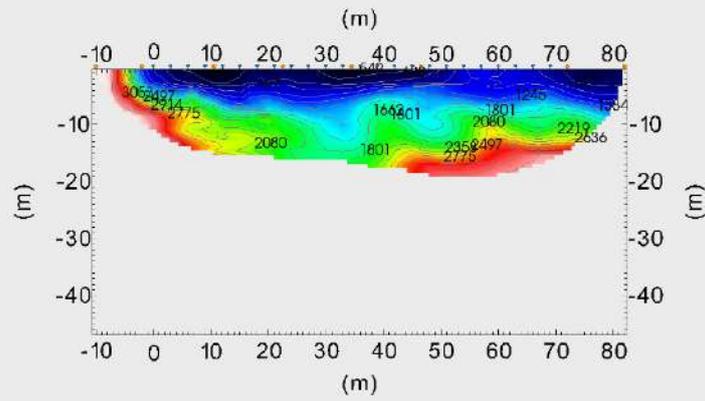
Ey: Modulo di Young;

Elaborazione tomografica SISM 1

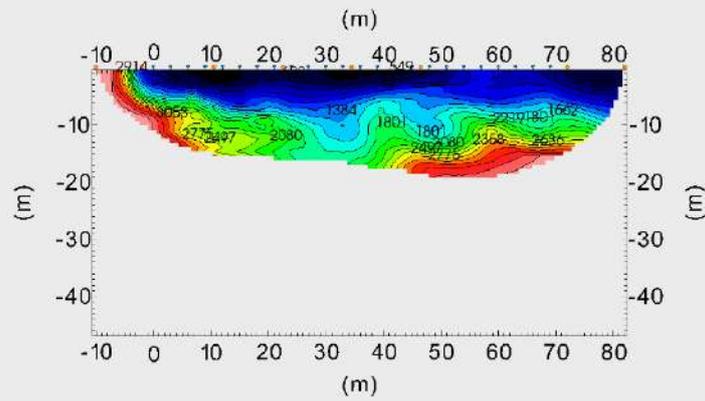




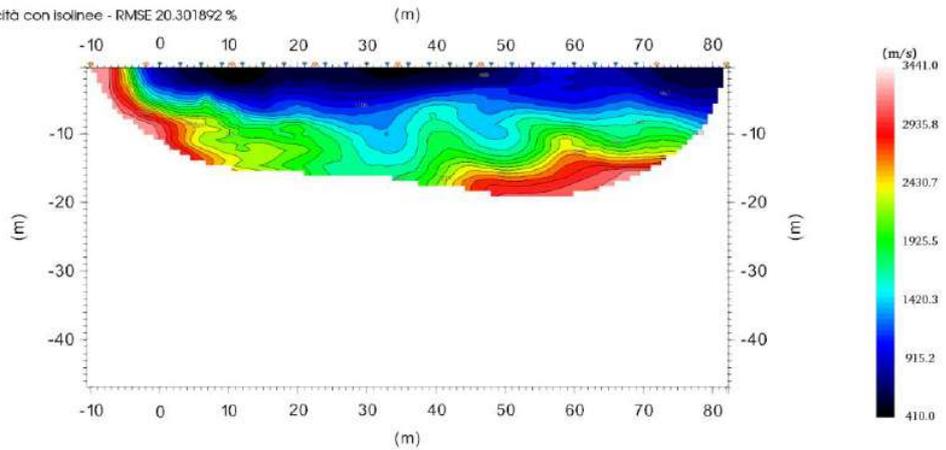
Tomographic Profile - Velocity with Isolines



Tomographic Profile - Velocity with Filled Isolines



- Profilo tomografico - velocità con isolinee - RMSE 20.301892 %



Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	3.0	0.0
3	6.0	0.0
4	9.0	0.0
5	12.0	0.0
6	15.0	0.0
7	18.0	0.0
8	21.0	0.0
9	24.0	0.0
10	27.0	0.0
11	30.0	0.0
12	33.0	0.0
13	36.0	0.0
14	39.0	0.0
15	42.0	0.0
16	45.0	0.0
17	48.0	0.0
18	51.0	0.0
19	54.0	0.0
20	57.0	0.0
21	60.0	0.0
22	63.0	0.0
23	66.0	0.0
24	69.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X -5 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	19.0309
3.0	22.0758
6.0	26.6433
9.0	32.7332
12.0	33.4944
15.0	35.7781
18.0	35.7781
21.0	39.5843
24.0	42.6292
27.0	41.8680

30.0	41.8680
33.0	42.6292
36.0	42.6292
39.0	44.9129
42.0	44.9129
45.0	45.6742
48.0	46.4354
51.0	45.6742
54.0	48.7191
57.0	48.7191
60.0	50.2416
63.0	51.7641
66.0	54.0478
69.0	54.0478

Battuta 2

Posizione sorgente X 11 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	26.6433
3.0	21.3146
6.0	16.7472
9.0	6.8511
12.0	9.1348
15.0	15.9860
18.0	22.8371
21.0	25.1208
24.0	26.6433
27.0	27.4045
30.0	30.4494
33.0	31.9719
36.0	34.2556
39.0	35.0169
42.0	35.7781
45.0	35.7781
48.0	35.0169
51.0	37.3006
54.0	38.8230
57.0	41.1067
60.0	39.5843
63.0	41.1067
66.0	40.3455
69.0	41.1067

Battuta 3

Posizione sorgente X 23 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	36.5393
3.0	32.7332
6.0	31.9719
9.0	28.9270
12.0	25.8820
15.0	21.3146
18.0	19.0309
21.0	9.8961
24.0	11.4185
27.0	15.2247
30.0	20.5534
33.0	25.8820
36.0	25.1208
39.0	28.1657
42.0	29.6882
45.0	32.7332
48.0	32.7332
51.0	34.2556
54.0	34.2556
57.0	34.2556
60.0	36.5393
63.0	38.0618
66.0	39.5843
69.0	41.1067

Battuta 4

Posizione sorgente X 35 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	41.1067
3.0	41.1067
6.0	38.8230
9.0	37.3006
12.0	34.2556
15.0	33.4944
18.0	30.4494
21.0	28.9270
24.0	25.8820
27.0	22.8371
30.0	18.2697
33.0	15.2247
36.0	15.2247

39.0	18.2697
42.0	23.5983
45.0	23.5983
48.0	26.6433
51.0	25.8820
54.0	28.9270
57.0	28.1657
60.0	31.9719
63.0	33.4944
66.0	35.0169
69.0	36.5393

Battuta 5

Posizione sorgente X 47 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	40.3455
3.0	38.8230
6.0	38.8230
9.0	37.3006
12.0	37.3006
15.0	34.2556
18.0	35.7781
21.0	31.9719
24.0	31.2107
27.0	29.6882
30.0	25.1208
33.0	23.5983
36.0	19.7921
39.0	15.2247
42.0	13.7022
45.0	6.8511
48.0	8.3736
51.0	15.2247
54.0	19.0309
57.0	21.3146
60.0	22.0758
63.0	23.5983
66.0	25.8820
69.0	26.0000

Battuta 6

Posizione sorgente X 59 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	44.9129
3.0	42.6292
6.0	41.8680
9.0	41.1067
12.0	38.8230
15.0	39.5843
18.0	38.8230
21.0	38.8230
24.0	36.5393
27.0	35.7781
30.0	33.4944
33.0	31.2107
36.0	30.4494
39.0	25.8820
42.0	24.3596
45.0	22.0758
48.0	20.5534
51.0	15.9860
54.0	12.1798
57.0	6.0899
60.0	8.3736
63.0	15.2247
66.0	18.2697
69.0	21.3146

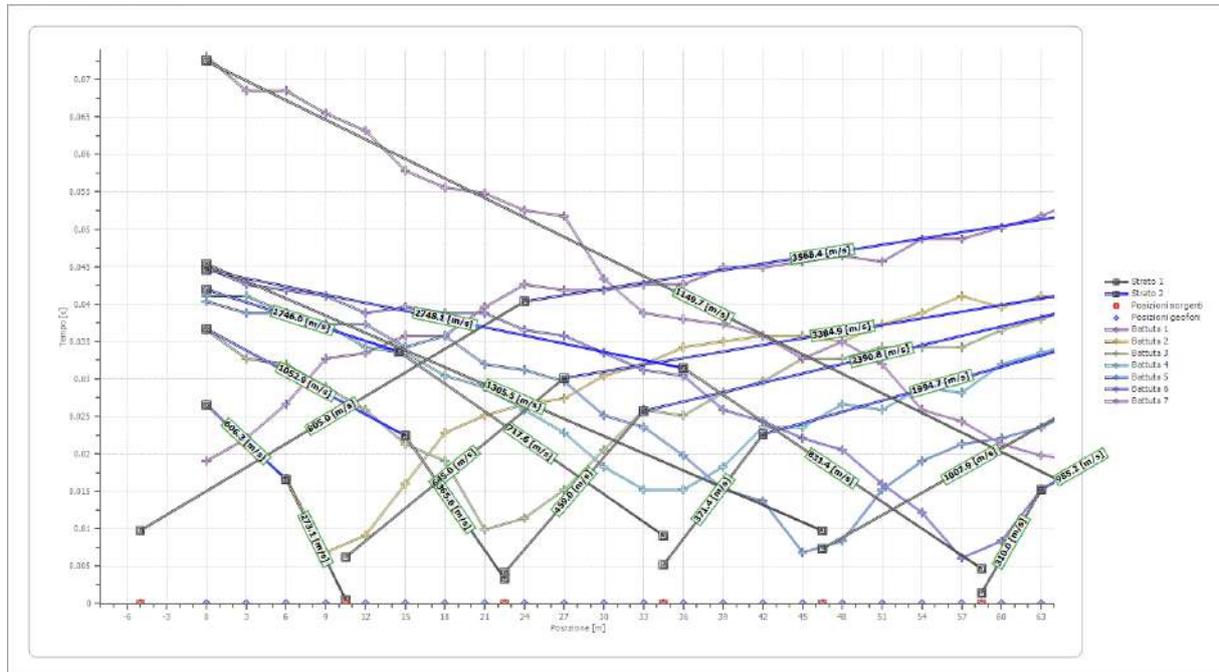
Battuta 7

Posizione sorgente X 75 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

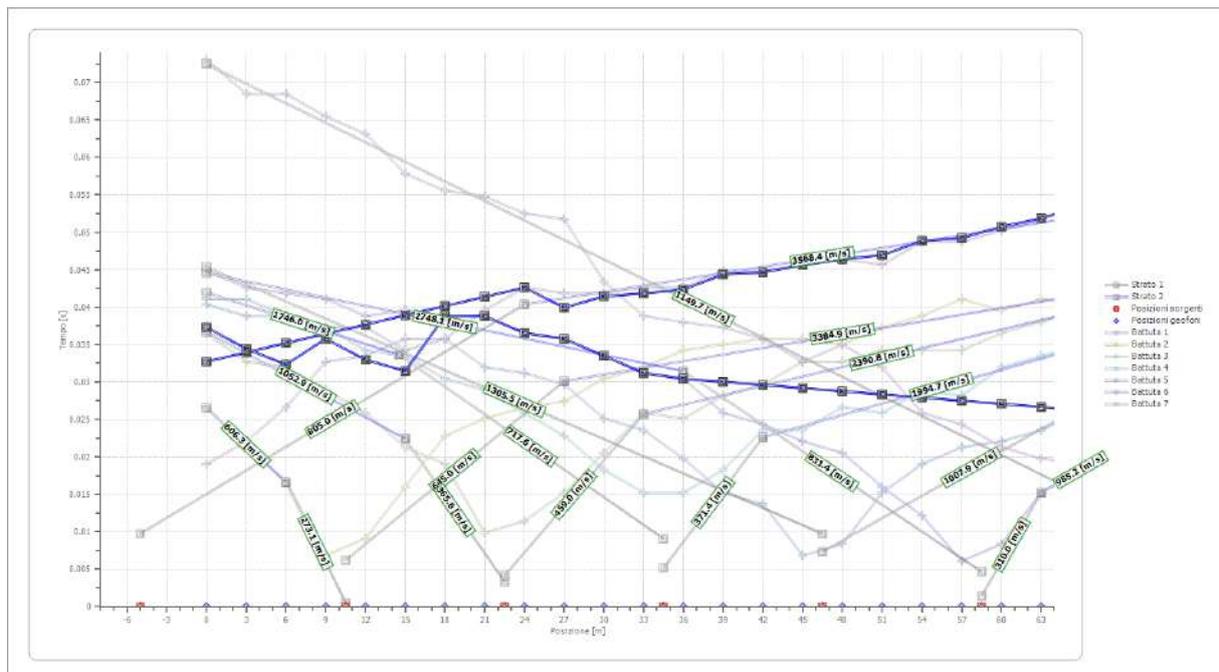
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	73.0787
3.0	68.5112
6.0	68.5112
9.0	65.4663
12.0	63.1826
15.0	57.8539
18.0	55.5702
21.0	54.8090
24.0	52.5253
27.0	51.7641
30.0	43.3905
33.0	38.8230
36.0	38.0000
39.0	37.3006
42.0	35.7781
45.0	32.7332

48.0	35.0169
51.0	31.9719
54.0	25.8820
57.0	24.3596
60.0	21.3146
63.0	19.7921
66.0	19.0309
69.0	11.4185

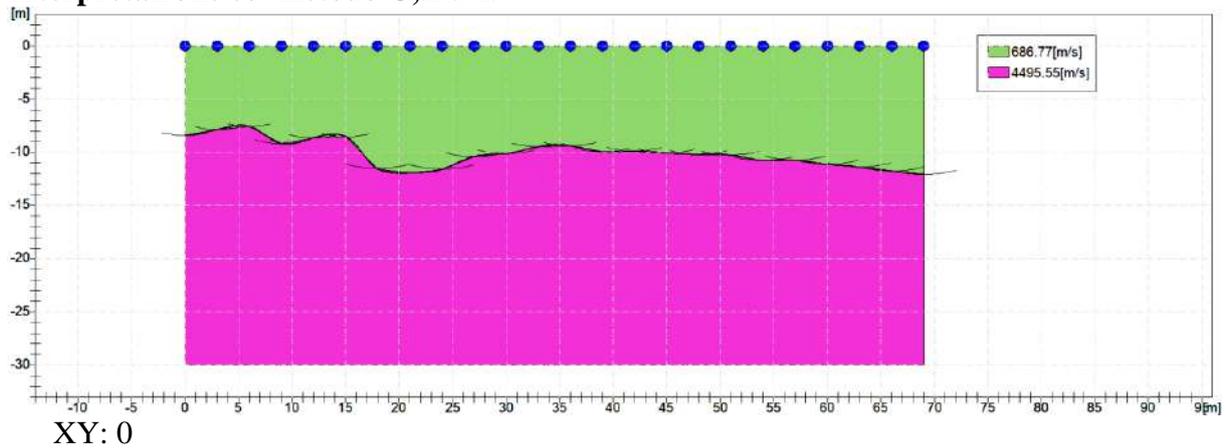
Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G_r.R.M.



	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 0.0 [m]	8.4	--
G= 3.0 [m]	7.9	--
G= 6.0 [m]	7.6	--
G= 9.0 [m]	9.2	--
G= 12.0 [m]	8.6	--
G= 15.0 [m]	8.5	--
G= 18.0 [m]	11.5	--
G= 21.0 [m]	12.0	--
G= 24.0 [m]	11.6	--
G= 27.0 [m]	10.4	--
G= 30.0 [m]	10.1	--
G= 33.0 [m]	9.5	--
G= 36.0 [m]	9.4	--
G= 39.0 [m]	10.0	--
G= 42.0 [m]	9.9	--
G= 45.0 [m]	10.1	--
G= 48.0 [m]	10.2	--
G= 51.0 [m]	10.3	--
G= 54.0 [m]	10.8	--
G= 57.0 [m]	10.8	--
G= 60.0 [m]	11.1	--
G= 63.0 [m]	11.4	--
G= 66.0 [m]	11.8	--
G= 69.0 [m]	12.1	--
Velocità [m/sec]	686.8	4495.5
Descrizione		

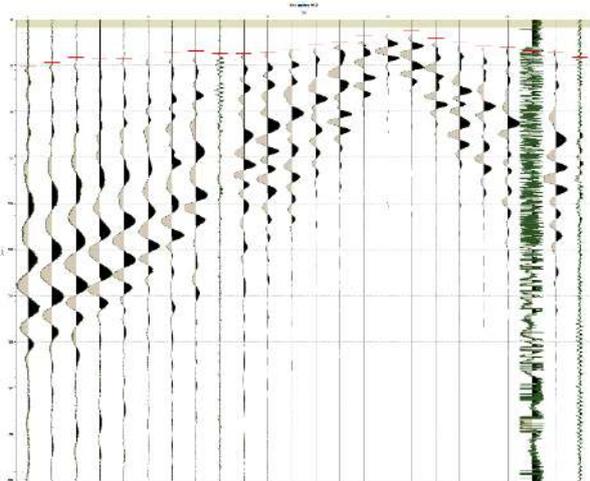
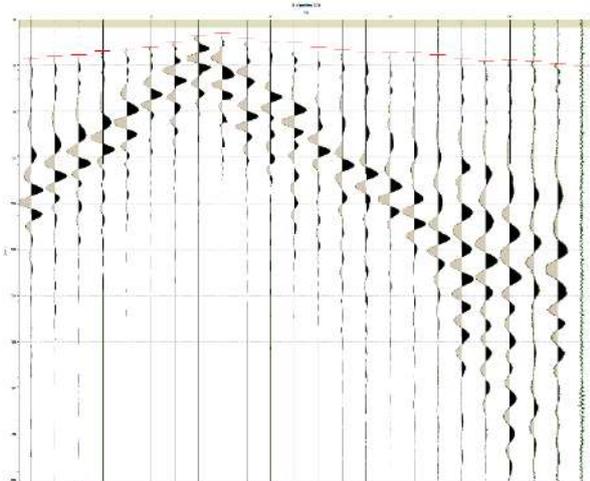
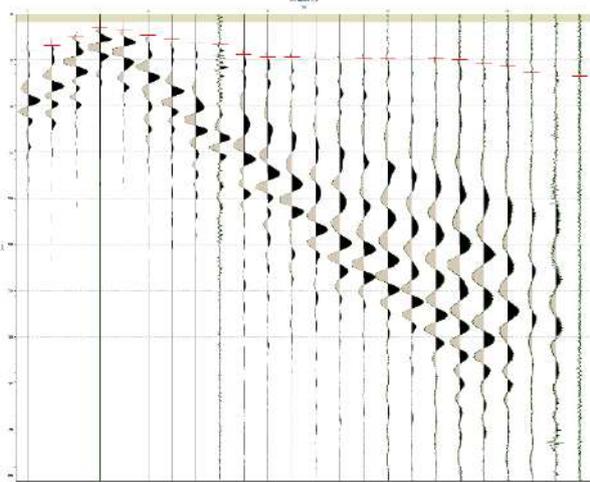
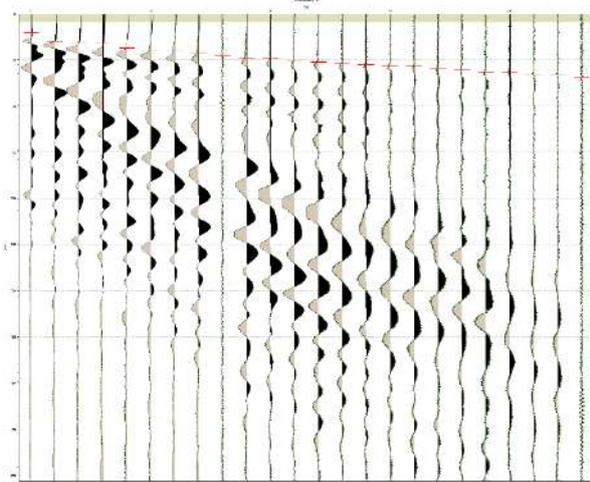
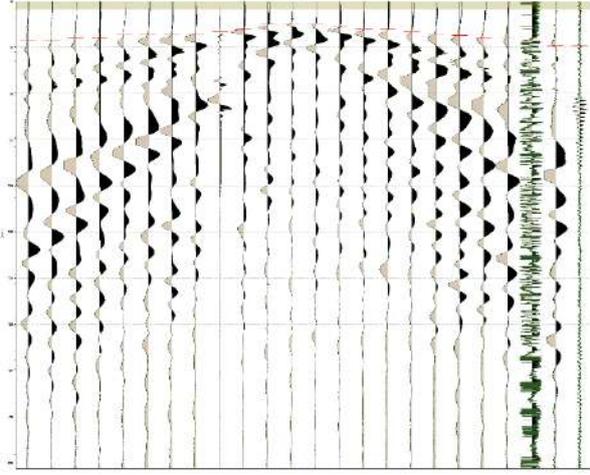
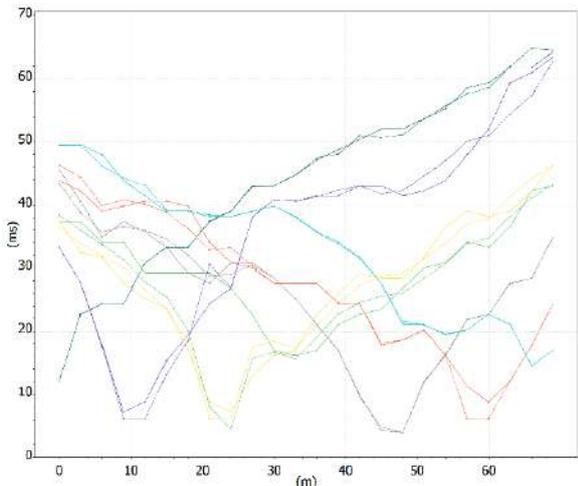
Altri parametri geotecnici

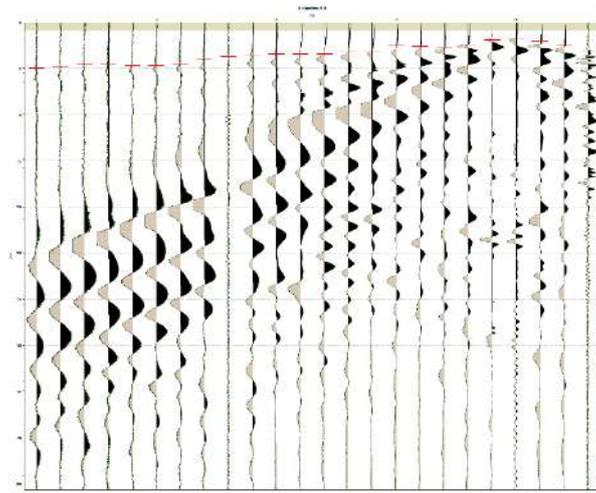
	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
V _p [m/s]	686.77	4495.55
V _s [m/s]	329.91	2159.59
G ₀ [MPa]	195.92	8394.90
Ed [Mpa]	848.97	36377.89

M0 [MPa]	653.05	27982.99
Ey [Mpa]	528.97	22666.22

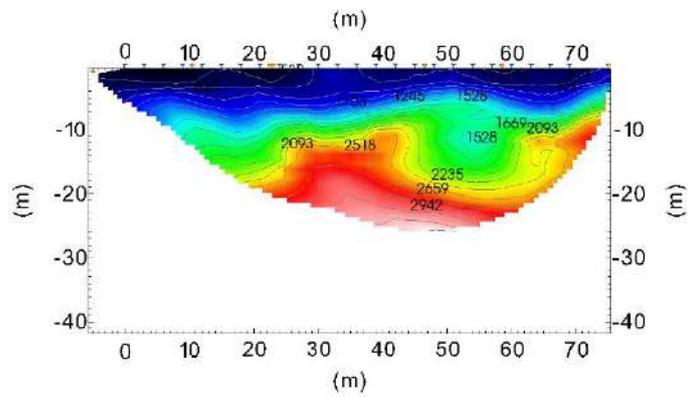
G0: Modulo di deformazione al taglio;
Ed: Modulo edometrico;
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
Ey: Modulo di Young;

Elaborazione tomografica SISM 2

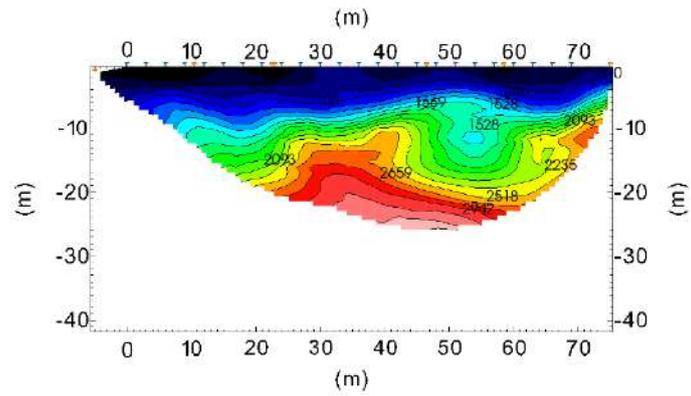




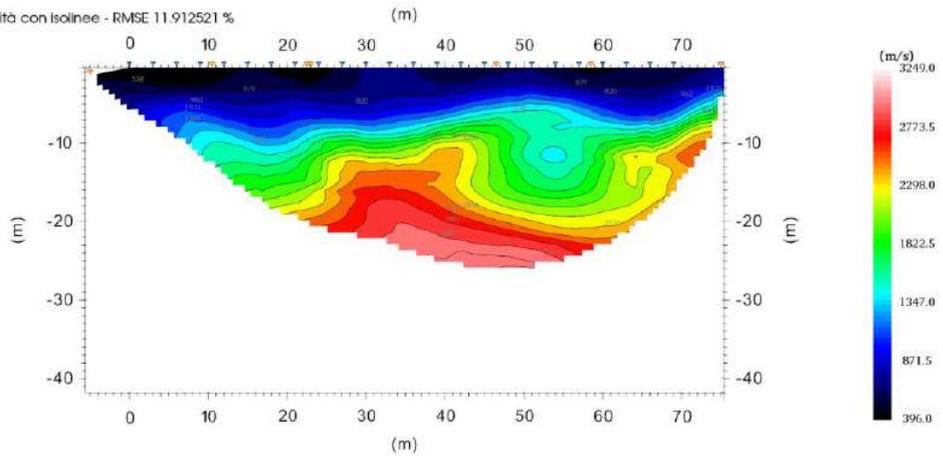
Tomographic Profile - Velocity with Isolines



Tomographic Profile - Velocity with Filled Isolines



- Profilo tomografico - velocità con isolinee - RMSE 11.912521 %



Report SISIM 3

Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	3.0	0.0
3	6.0	0.0
4	9.0	0.0
5	12.0	0.0
6	15.0	0.0
7	18.0	0.0
8	21.0	0.0
9	24.0	0.0
10	27.0	0.0
11	30.0	0.0
12	33.0	0.0
13	36.0	0.0
14	39.0	0.0
15	42.0	0.0
16	45.0	0.0
17	48.0	0.0
18	51.0	0.0
19	54.0	0.0
20	57.0	0.0
21	60.0	0.0
22	63.0	0.0
23	66.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X -5 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	10.6573
3.0	15.2247
6.0	19.7921
9.0	22.0758
12.0	25.1208
15.0	28.1657
18.0	29.6882
21.0	31.9719
24.0	32.7332
27.0	33.4944
30.0	34.2556
33.0	35.0169
36.0	35.7781
39.0	37.3006
42.0	38.0618
45.0	40.3455
48.0	41.1067
51.0	41.1067
54.0	43.3905
57.0	44.1517
60.0	44.9129
63.0	47.1966
66.0	48.7191

Battuta 2

Posizione sorgente X 11 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono	Tempo
-------------------	-------

[m]	[ms]
0.0	19.7921
3.0	15.9860
6.0	12.9410
9.0	6.8511
12.0	3.8062
15.0	11.4185
18.0	16.7472
21.0	17.5084
24.0	19.0309
27.0	21.3146
30.0	20.5534
33.0	25.8820
36.0	25.8820
39.0	26.6433
42.0	25.8820
45.0	26.6433
48.0	28.1657
51.0	28.1657
54.0	30.4494
57.0	34.2556
60.0	35.7781
63.0	37.3006
66.0	38.8230

Battuta 3

Posizione sorgente X 23 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	29.6882
3.0	27.4045

6.0	23.5983
9.0	22.0758
12.0	20.5534
15.0	20.5534
18.0	14.4635
21.0	9.8961
24.0	9.1348
27.0	9.8961
30.0	8.3736
33.0	11.4185
36.0	13.7022
39.0	15.2247
42.0	21.3146
45.0	23.5983
48.0	25.1208
51.0	26.6433
54.0	27.4045
57.0	28.9270
60.0	28.9270
63.0	28.9270
66.0	31.2107

Battuta 4

Posizione sorgente X 35 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	31.9719
3.0	29.6882
6.0	26.6433
9.0	23.5983
12.0	22.0758

15.0	21.3146
18.0	20.5534
21.0	18.2697
24.0	15.9860
27.0	15.2247
30.0	13.7022
33.0	8.3736
36.0	6.8511
39.0	6.0899
42.0	12.9410
45.0	15.9860
48.0	17.5084
51.0	19.0309
54.0	19.7921
57.0	20.5534
60.0	22.8371
63.0	25.8820
66.0	28.1657

Battuta 5

Posizione sorgente X 47 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	33.4944
3.0	32.7332
6.0	29.6882
9.0	28.1657
12.0	30.4494
15.0	31.2107
18.0	25.8820
21.0	25.8820

24.0	20.5534
27.0	20.5534
30.0	18.2697
33.0	18.2697
36.0	12.9410
39.0	10.6573
42.0	8.3736
45.0	4.5674
48.0	3.8062
51.0	8.3736
54.0	11.4185
57.0	13.7022
60.0	15.2247
63.0	18.2697
66.0	19.0309

Battuta 6

Posizione sorgente X 59 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	40.3455
3.0	38.0618
6.0	38.8230
9.0	34.2556
12.0	32.7332
15.0	32.7332
18.0	32.7332
21.0	28.9270
24.0	26.6433
27.0	28.1657
30.0	26.6433

33.0	27.4045
36.0	25.1208
39.0	22.0758
42.0	17.5084
45.0	15.9860
48.0	15.2247
51.0	14.4635
54.0	12.9410
57.0	9.1348
60.0	6.8511
63.0	9.1348
66.0	17.5084

Battuta 7

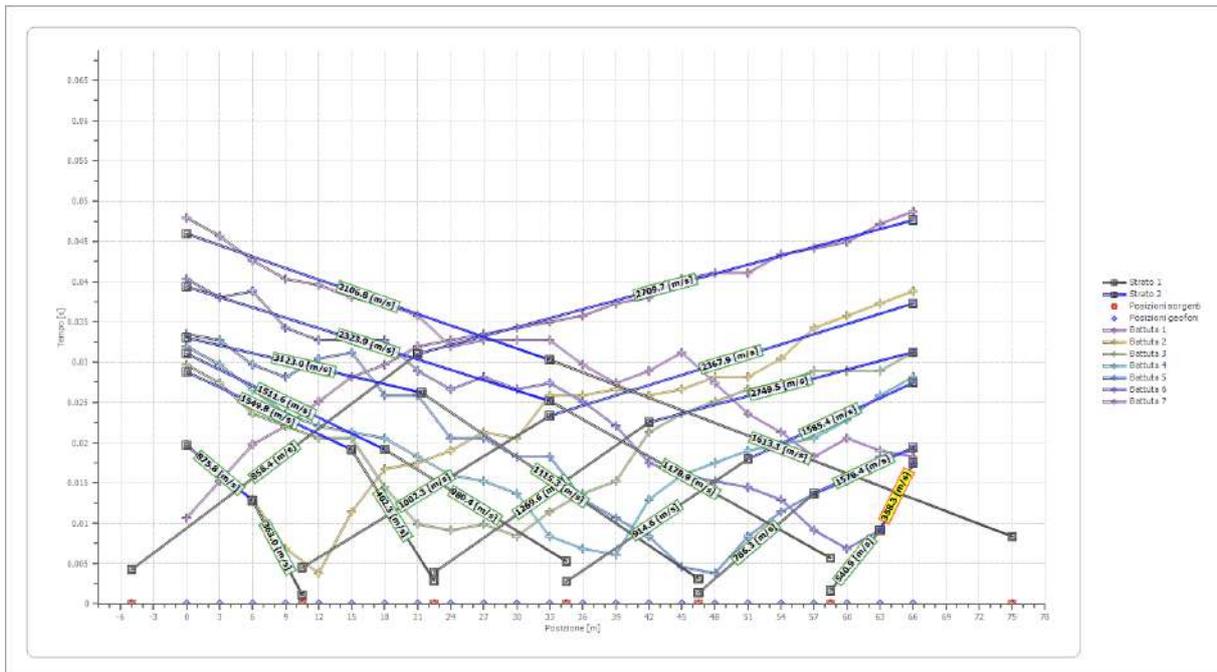
Posizione sorgente X 75 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

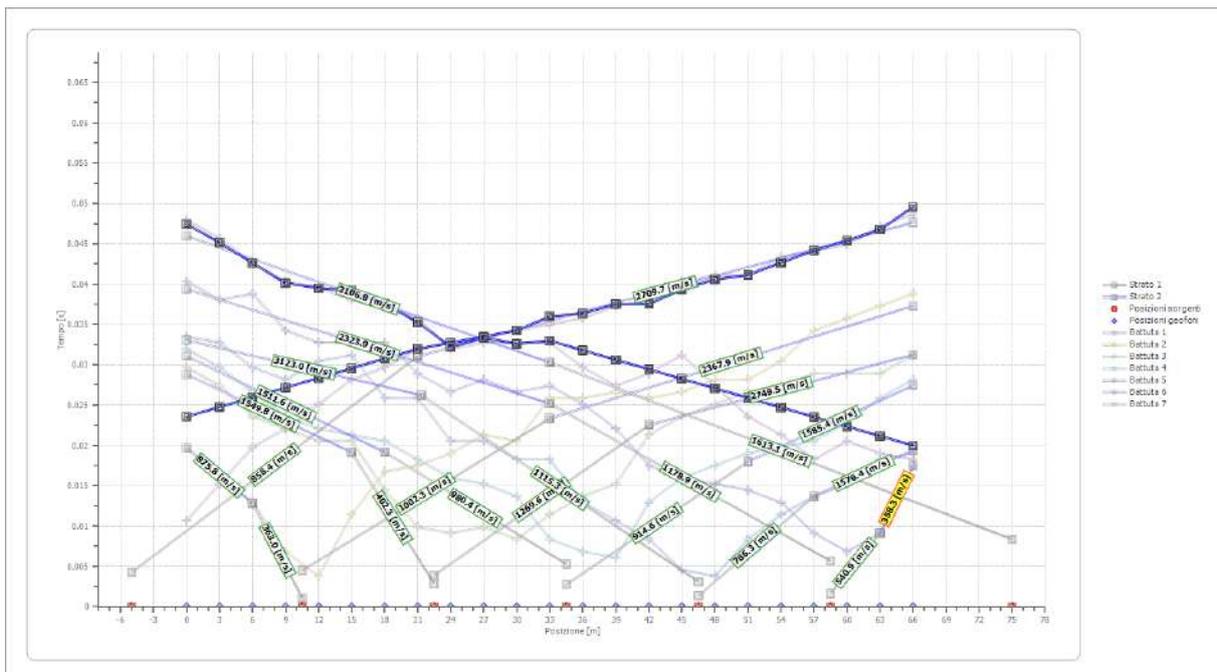
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	47.9579
3.0	45.6742
6.0	42.6292
9.0	40.3455
12.0	39.5843
15.0	38.0618
18.0	37.3006
21.0	35.7781
24.0	31.9719
27.0	32.7332
30.0	32.7332
33.0	32.7332
36.0	29.6882
39.0	27.4045

42.0	28.9270
45.0	31.2107
48.0	27.4045
51.0	23.5983
54.0	21.3146
57.0	18.2697
60.0	20.5534
63.0	19.0309
66.0	18.2697

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G,,R.M.



XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 0.0 [m]	10.5	--
G= 3.0 [m]	10.0	--
G= 6.0 [m]	9.3	--
G= 9.0 [m]	8.7	--
G= 12.0 [m]	9.0	--
G= 15.0 [m]	9.4	--
G= 18.0 [m]	9.2	--
G= 21.0 [m]	8.7	--
G= 24.0 [m]	7.6	--
G= 27.0 [m]	8.5	--
G= 30.0 [m]	8.5	--
G= 33.0 [m]	9.5	--
G= 36.0 [m]	9.2	--
G= 39.0 [m]	9.1	--
G= 42.0 [m]	8.6	--
G= 45.0 [m]	8.9	--
G= 48.0 [m]	8.9	--
G= 51.0 [m]	8.6	--
G= 54.0 [m]	8.8	--
G= 57.0 [m]	8.9	--
G= 60.0 [m]	8.9	--

G= 63.0 [m]	9.0	--
G= 66.0 [m]	9.8	--
Velocità [m/sec]	918.7	2728.3
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	918.75	2728.29
Vs [m/s]	441.35	1310.63
G0 [MPa]	350.63	3091.94
Ed [Mpa]	1519.38	13398.39
M0 [MPa]	1168.75	10306.45
Ey [Mpa]	946.69	8348.23

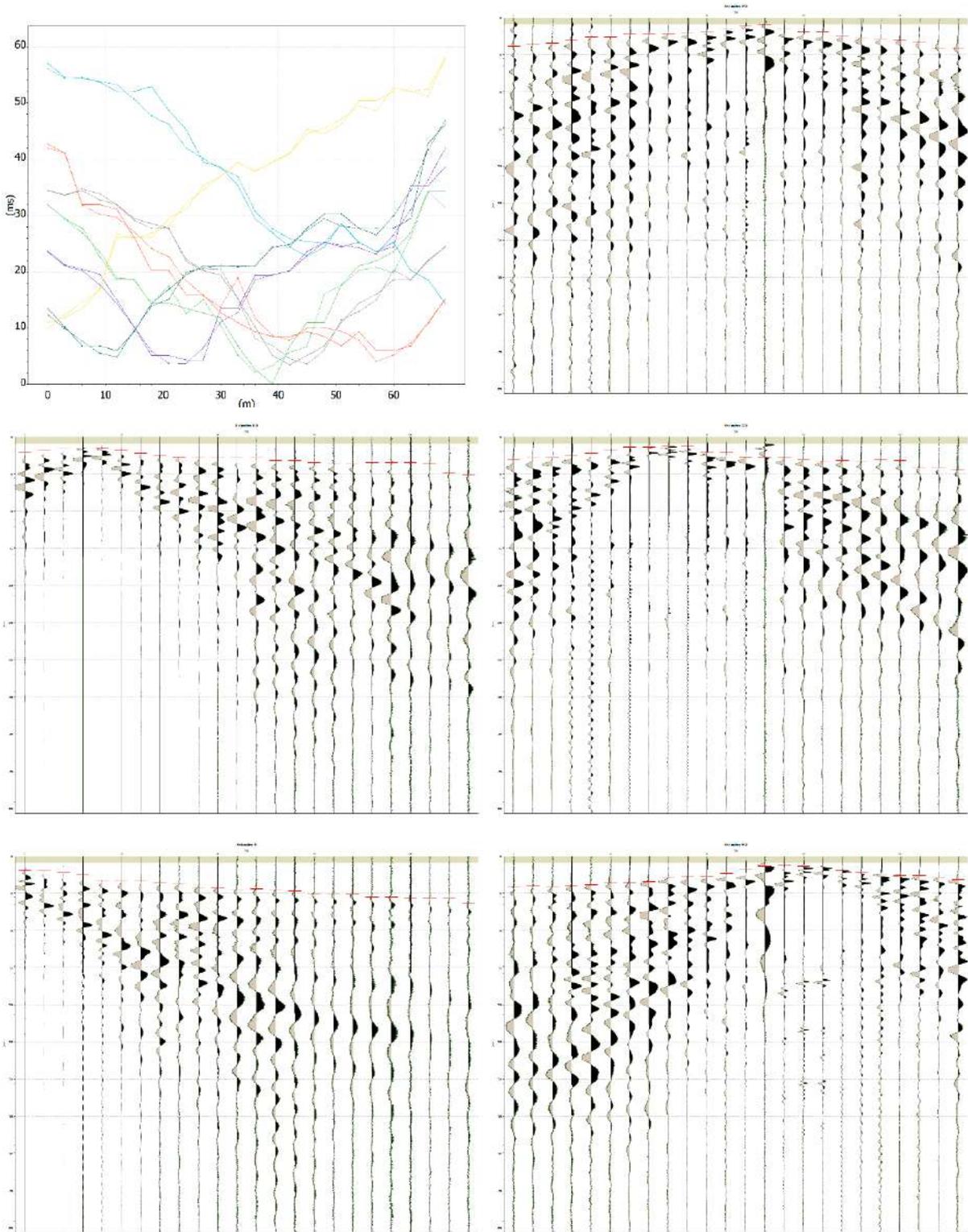
G0: Modulo di deformazione al taglio;

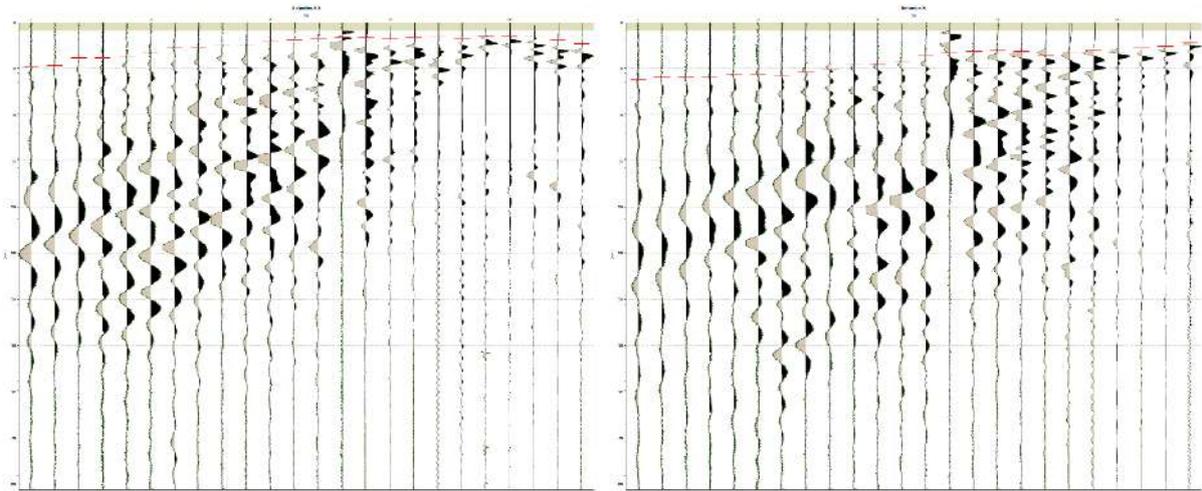
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

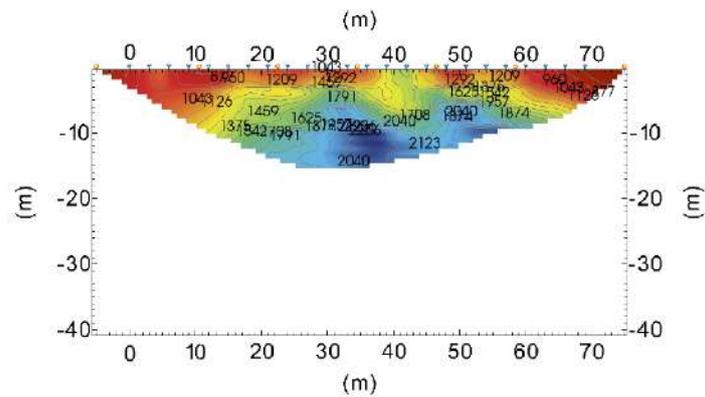
Ey: Modulo di Young;

Elaborazione tomografica SISM 3

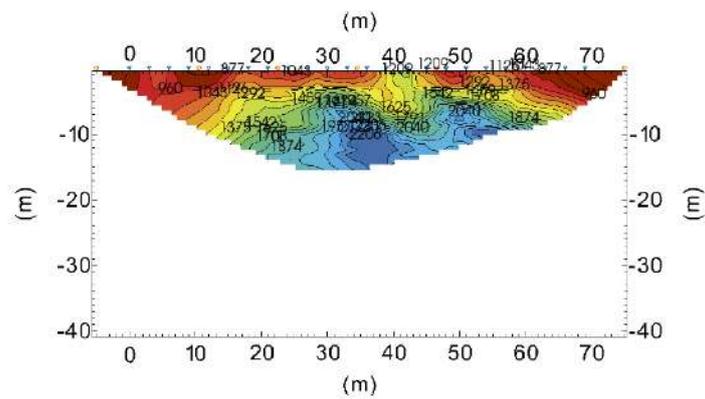




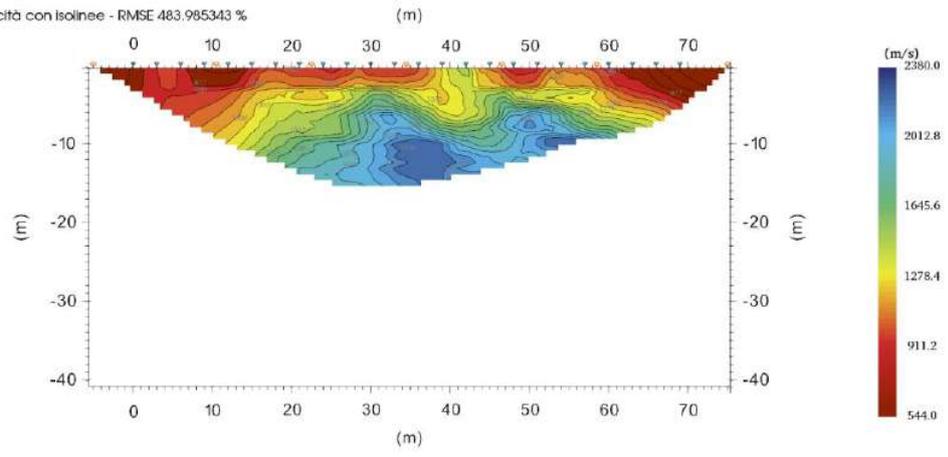
Tomographic Profile - Velocity with Isolines



Tomographic Profile - Velocity with Filled Isolines



- Profilo tomografico - velocità con isolinee - RMSE 483.985343 %



6.2 INDAGINE SISMICA TIPO MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f - k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

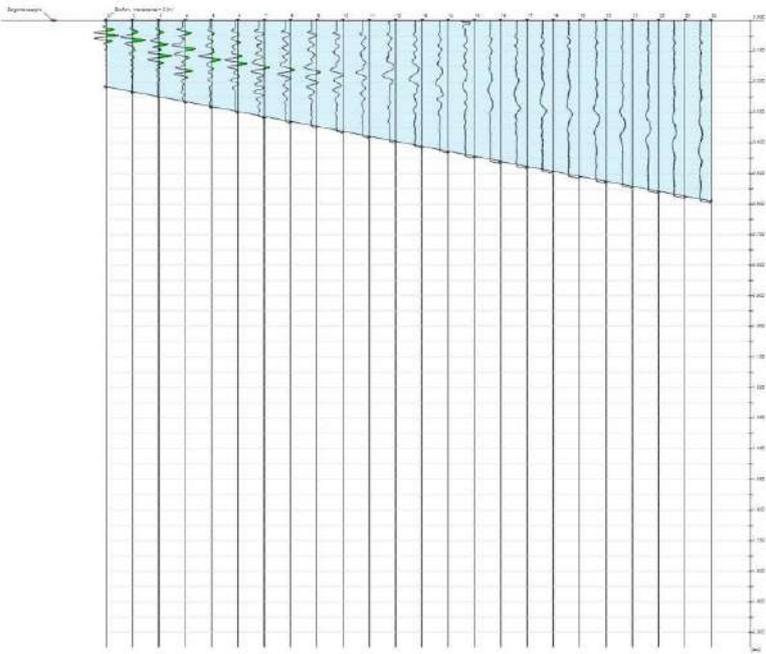
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

6.2.1 REPORT INDAGINI MASW

Masw diretta sism1

Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione	2048.0
[msec]	
Interdistanza geofoni	3.0
[m]	
Periodo di campionamento	0.50
[msec]	

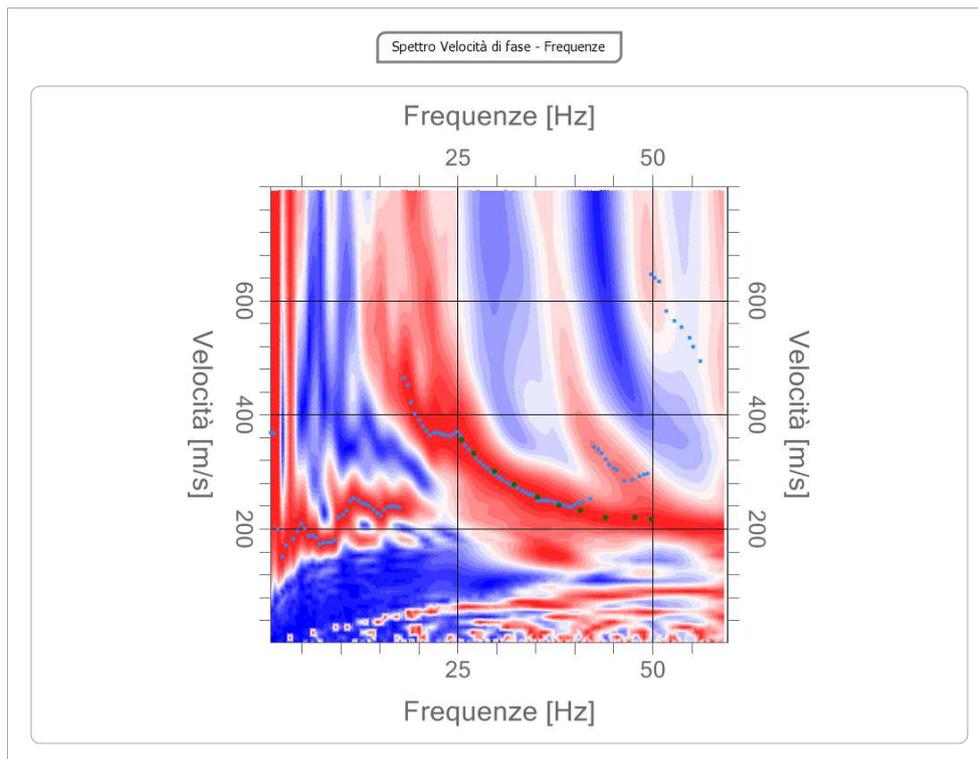


Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	25.5	355.6	0
2	27.1	332.7	0
3	29.7	301.6	0
4	32.2	277.1	0
5	35.2	255.9	0
6	38.0	241.2	0
7	40.7	231.4	0
8	44.0	219.9	0
9	47.7	219.9	0
10	49.9	216.7	0



Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3.03	3.03	1894.8	0.30	No	417.9	223.4
2		8.87	5.84	1961.6	0.30	No	903.0	482.7
3		15.55	6.68	1991.7	0.42	No	1394.1	517.8
4		23.47	7.92	2118.7	0.42	No	1423.5	528.7
5		32.36	8.88	2161.6	0.42	No	1762.2	654.5
6		oo	oo	2288.4	0.42	No	2093.1	777.4

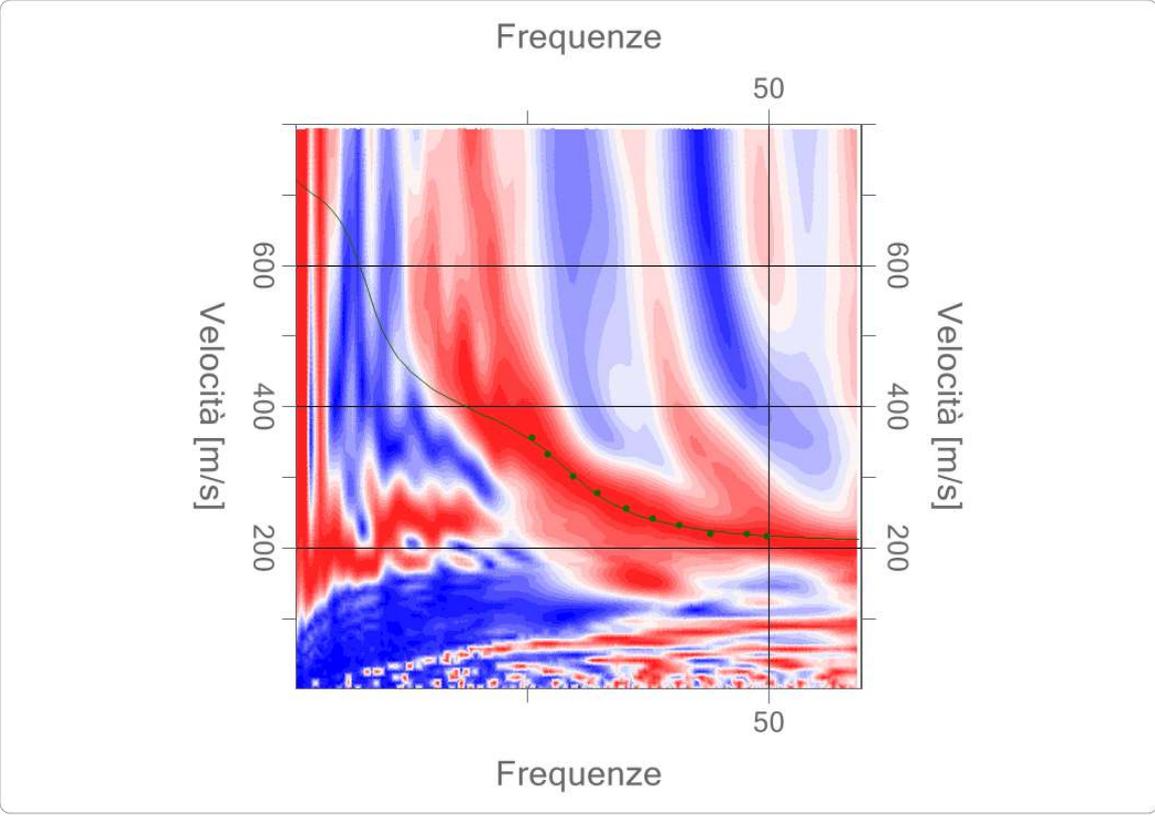
Percentuale di errore

0.008 %

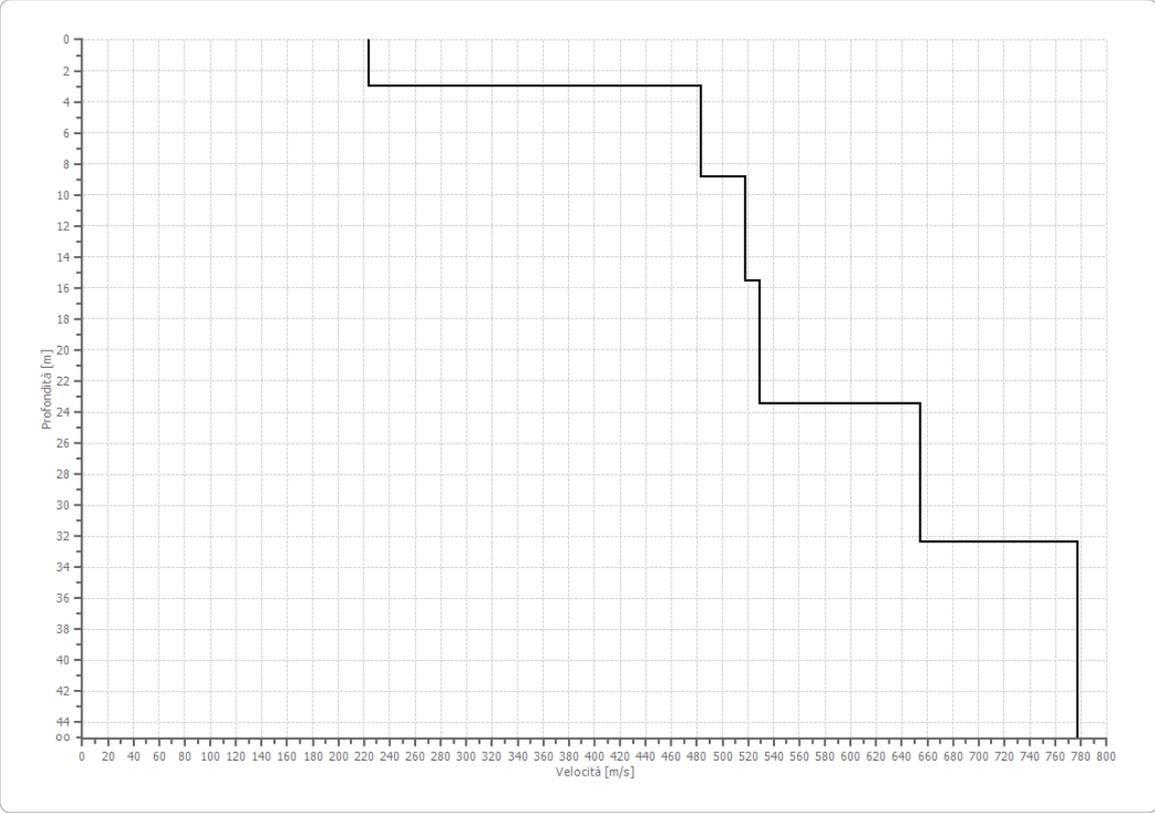
Fattore di disadattamento della soluzione

0.009

Inversione



Profilo di velocità



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	472.26
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo 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.

Altri parametri geotecnici

n.	Profo ndità [m]	Spess ore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densi tà [kg/m c]	Coeffi ciente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	3.03	3.03	223.4 0	417.9 5	1894. 83	0.30	94.57	330.9 9	204.9 0	245.8 8	N/A	1326. 11
2	8.87	5.84	482.7 0	903.0 4	1961. 62	0.30	457.0 5	1599. 67	990.2 7	1188. 32	N/A	N/A
3	15.55	6.68	517.7 7	1394. 14	1991. 68	0.42	533.9 4	3871. 09	3159. 17	1516. 40	N/A	N/A
4	23.47	7.92	528.6 6	1423. 46	2118. 71	0.42	592.1 4	4293. 00	3503. 48	1681. 67	N/A	N/A
5	32.36	8.88	654.4 8	1762. 23	2161. 55	0.42	925.8 8	6712. 62	5478. 11	2629. 50	N/A	N/A
6	oo	oo	777.3 7	2093. 14	2288. 39	0.42	1382. 90	10026 .02	8182. 16	3927. 43	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

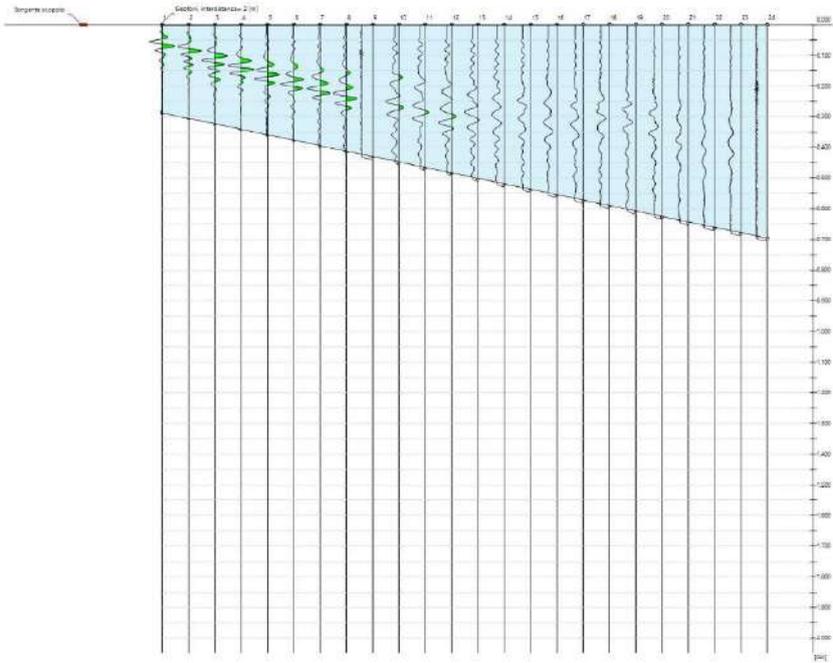
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione	2048.0
[msec]	
Interdistanza geofoni	2.0
[m]	
Periodo di campionamento	0.50
[msec]	



Analisi spettrale

Frequenza minima di 1
elaborazione [Hz]

Frequenza massima di 60
elaborazione [Hz]

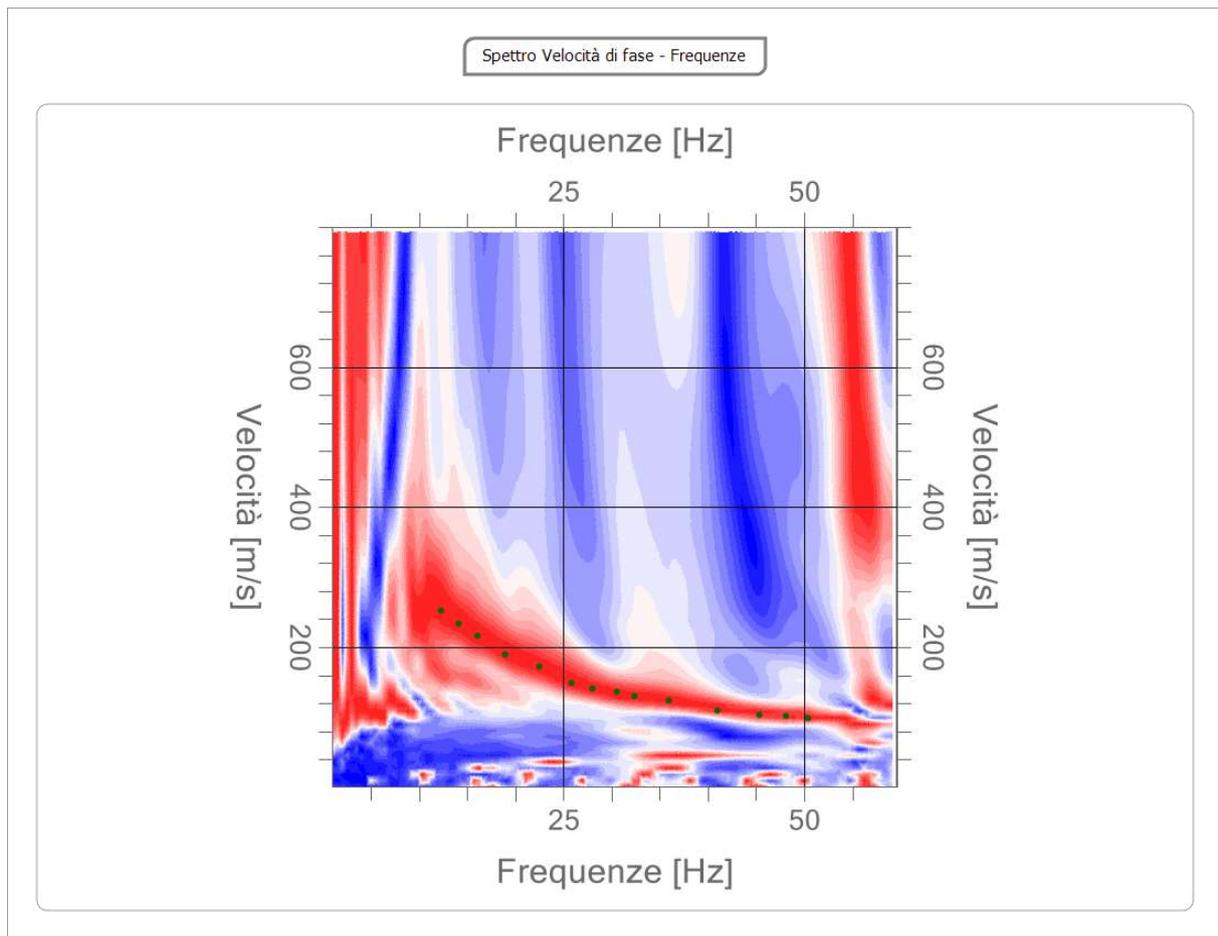
Velocità minima di 1
elaborazione [m/sec]

Velocità massima di 800
elaborazione [m/sec]

Intervallo velocità 1
[m/sec]

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	12.3	252.6	0
2	14.1	233.0	0
3	16.0	216.7	0
4	18.9	190.5	0
5	22.5	172.6	0
6	25.9	149.7	0
7	28.0	141.5	0
8	30.5	136.6	0
9	32.3	130.1	0
10	35.9	123.5	0
11	41.0	110.5	0
12	45.3	103.9	0
13	48.1	102.3	0
14	50.3	99.0	0



Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3.03	3.03	1770.7	0.32	No	253.6	129.7
2		7.44	4.41	1824.7	0.40	No	755.4	308.4
3		14.37	6.93	1929.5	0.40	No	755.8	308.5
4		20.41	6.04	2046.6	0.40	No	1102.3	450.0
5		28.72	8.31	2161.6	0.40	No	1266.3	517.0
6		oo	oo	2319.7	0.40	No	1268.0	517.7

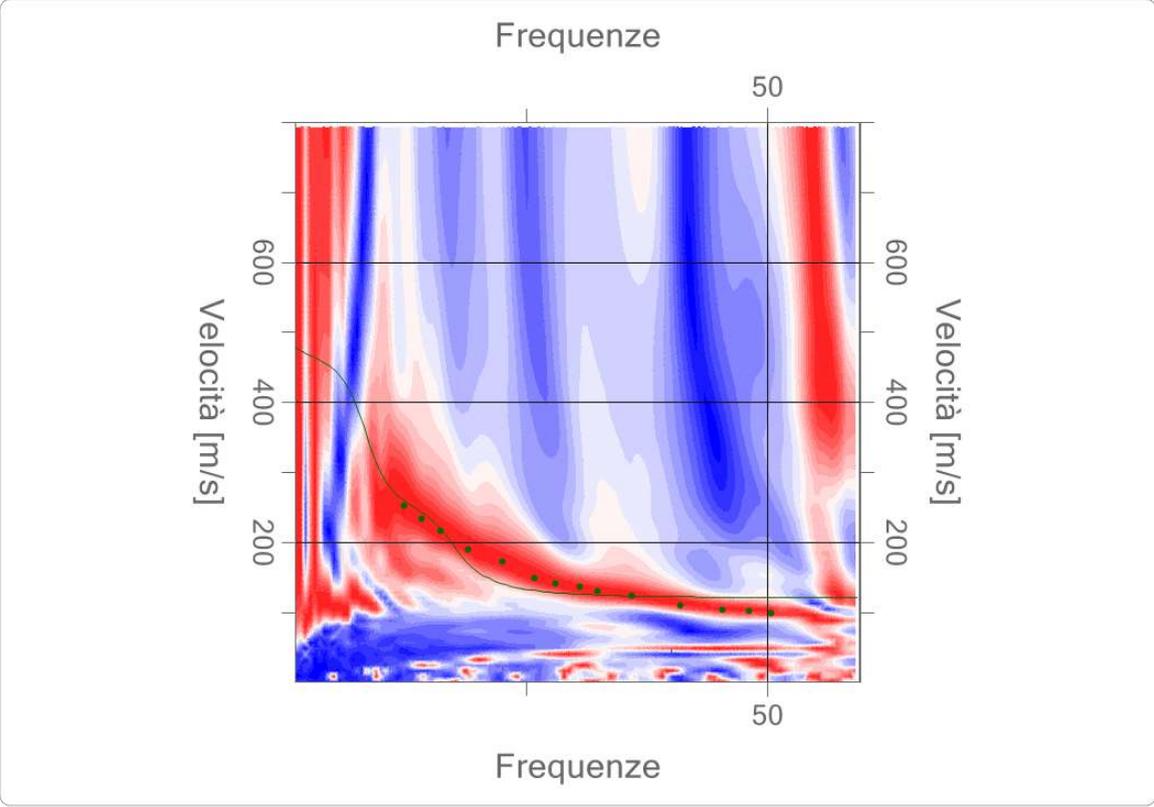
Percentuale di errore

0.965 %

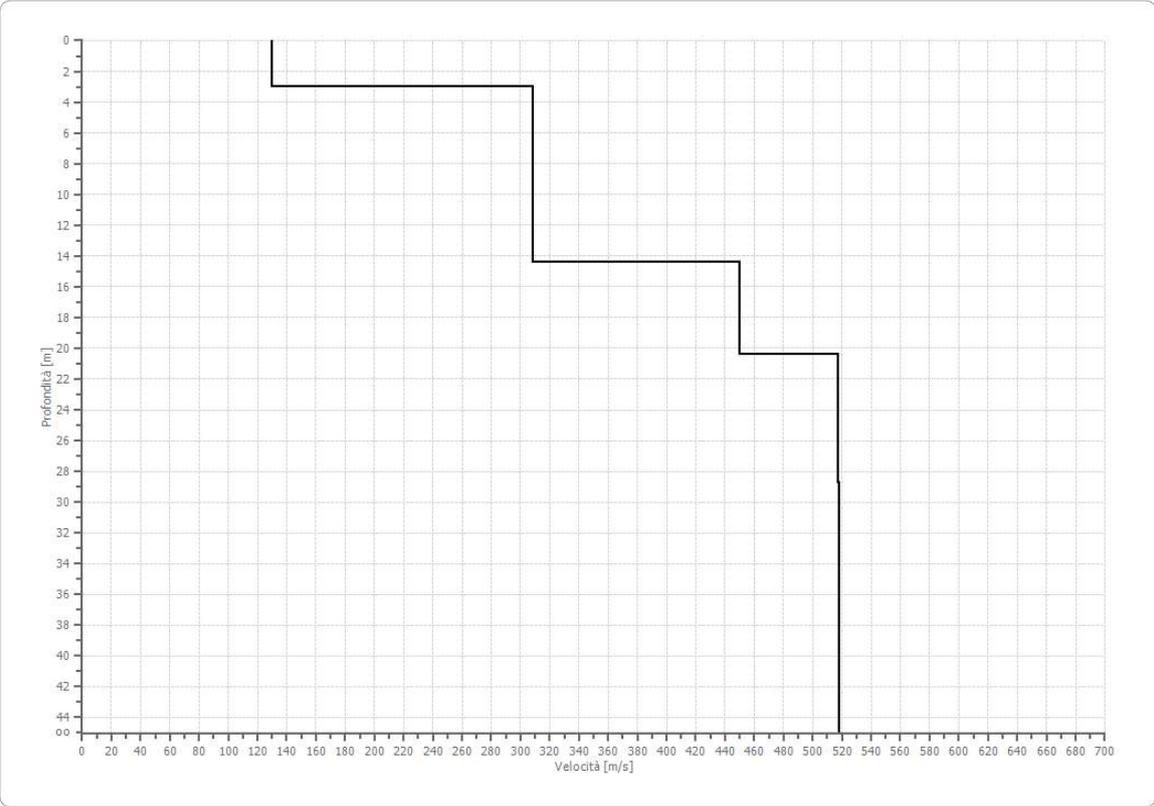
Fattore di disadattamento della soluzione

0.121

Inversione



Profilo di velocità



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	325.75
Categoria del suolo	C

Suolo di tipo 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.

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/m ³]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	3.03	3.03	129.67	253.61	1770.67	0.32	29.77	113.88	74.18	78.78	25	86.19
2	7.44	4.41	308.41	755.45	1824.71	0.40	173.56	1041.36	809.95	485.97	N/A	N/A
3	14.37	6.93	308.54	755.78	1929.46	0.40	183.68	1102.11	857.19	514.32	N/A	N/A
4	20.41	6.04	450.00	1102.27	2046.57	0.40	414.43	2486.60	1934.02	1160.41	N/A	N/A
5	28.72	8.31	516.95	1266.26	2161.55	0.40	577.65	3465.88	2695.69	1617.41	N/A	N/A
6	oo	oo	517.67	1268.02	2319.67	0.40	621.63	3729.75	2900.92	1740.55	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

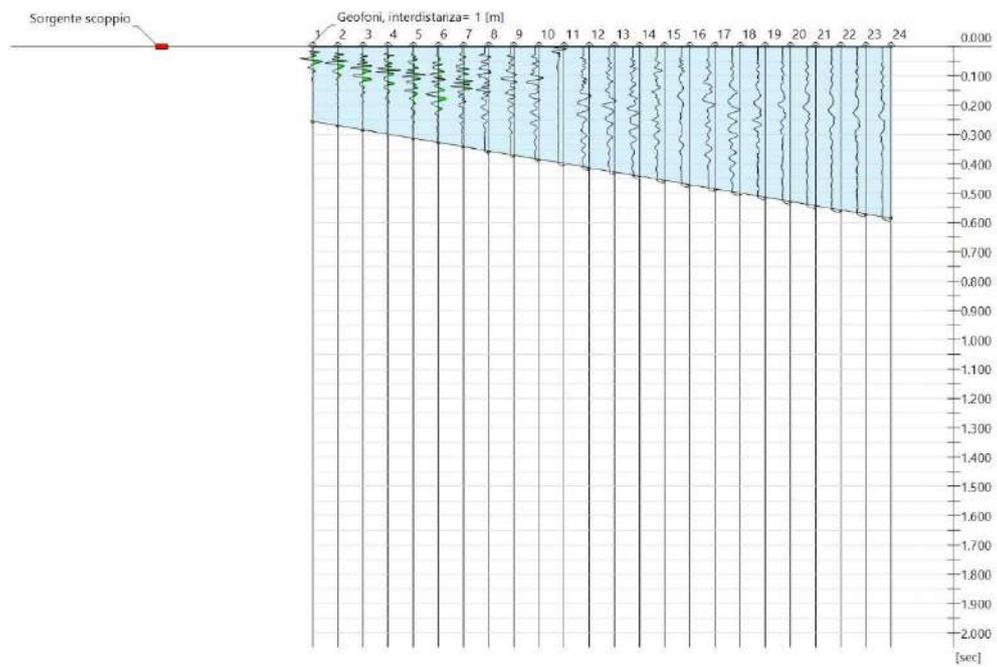
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2048.0
Interdistanza geofoni [m]	1.0
Periodo di campionamento [msec]	0.50

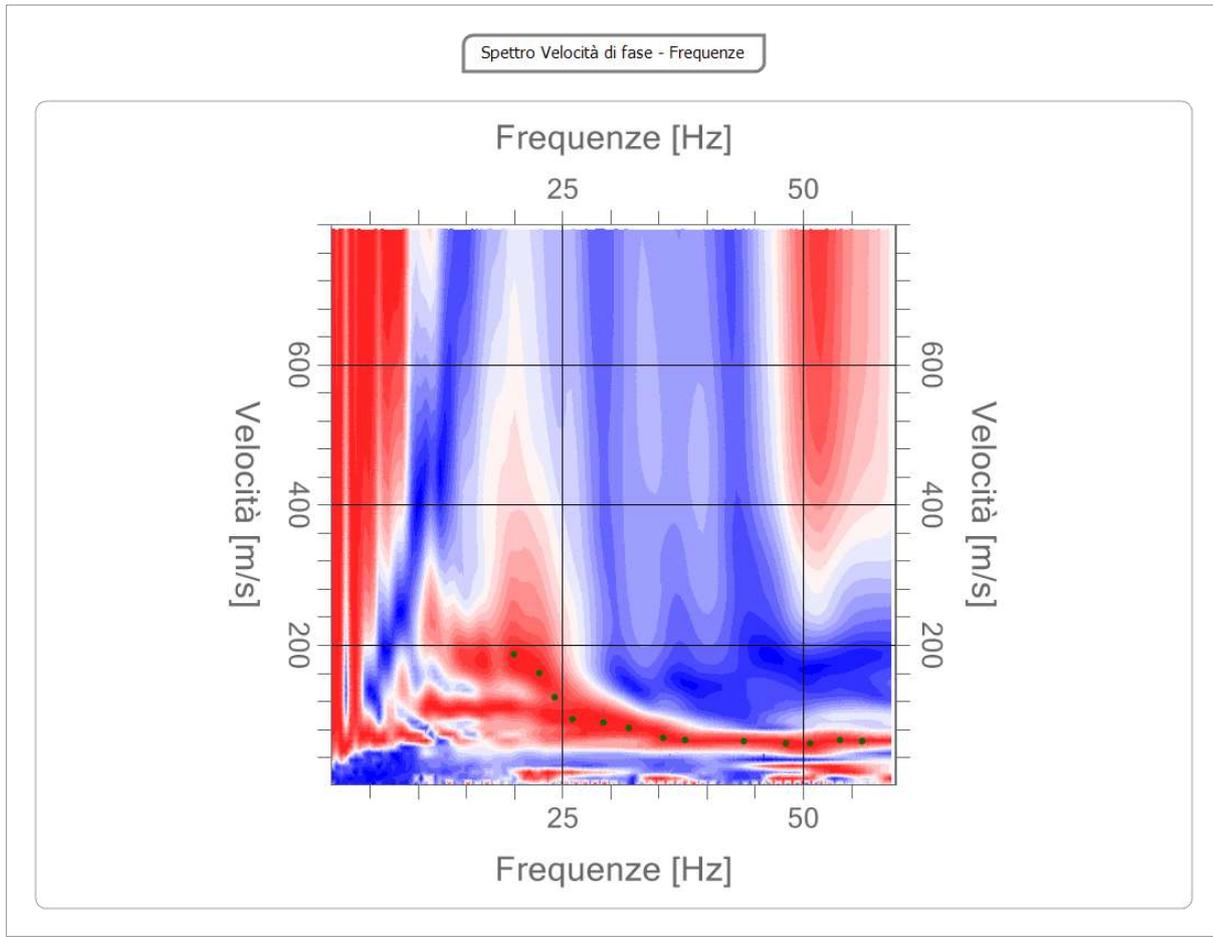


Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	20.0	187.3	0
2	22.6	159.5	0
3	24.2	125.2	0
4	26.1	94.1	0
5	29.2	89.2	0
6	31.9	81.1	0
7	35.5	68.0	0
8	37.7	64.7	0
9	43.9	63.1	0
10	48.2	59.8	0
11	50.7	59.8	0
12	53.8	64.7	0
13	56.1	63.1	0



Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3.00	3.00	1770.7	0.30	No	146.4	78.3
2		9.00	6.00	1816.2	0.40	No	635.8	259.6
3		14.10	5.10	1929.5	0.40	No	637.1	260.1
4		20.10	6.00	2046.6	0.40	No	1094.4	446.8
5		27.12	7.02	2161.6	0.40	No	1156.3	472.1
6		oo	oo	2319.7	0.40	No	1156.4	472.1

Percentuale di errore

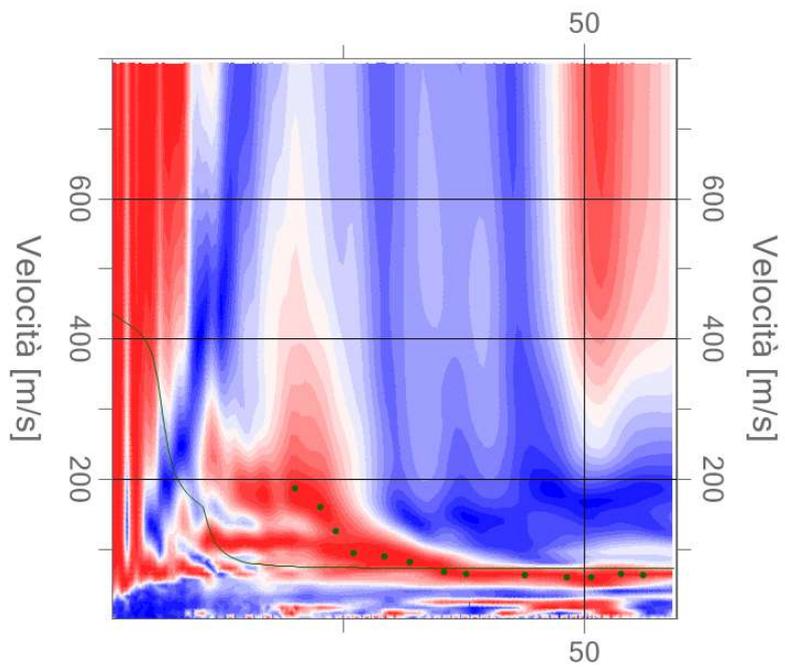
18.904 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.289

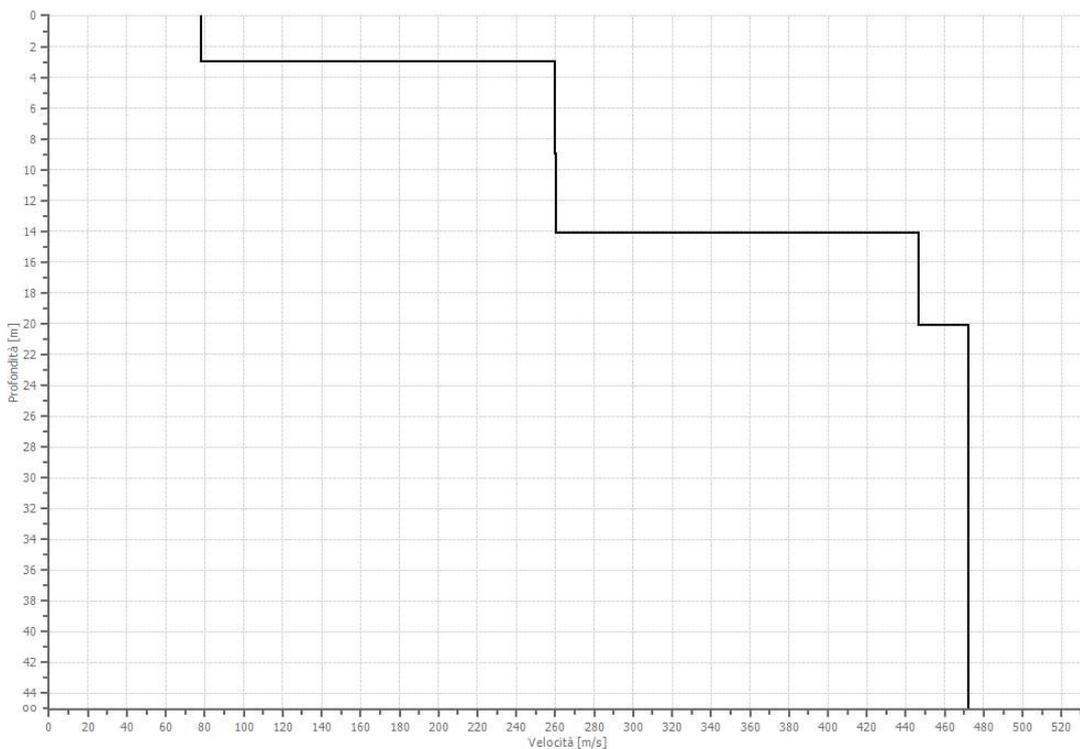
Inversione

Frequenze



Frequenze

Profilo di velocità



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	259.82
Categoria del suolo	C

Suolo di tipo 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.

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/m ³]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	3.00	3.00	78.25	146.39	1770.67	0.30	10.84	37.95	23.49	28.19	1	6.81
2	9.00	6.00	259.57	635.82	1816.17	0.40	122.37	734.21	571.05	342.63	N/A	2818.76
3	14.10	5.10	260.08	637.06	1929.46	0.40	130.51	783.06	609.05	365.43	N/A	2846.56
4	20.10	6.00	446.80	1094.43	2046.57	0.40	408.56	2451.34	1906.60	1143.96	N/A	N/A
5	27.12	7.02	472.06	1156.30	2161.55	0.40	481.67	2890.04	2247.81	1348.68	N/A	N/A
6	oo	oo	472.08	1156.35	2319.67	0.40	516.96	3101.74	2412.46	1447.48	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

6.3 INDAGINI HVSR

RIBABOTTONI-MONACILONI-SANT'ELIA A PIANISI, RIPABOTTONI 0002

Strumento: TZB-0138/01-20

Formato dati: 32 bit

Fondo scala [mV]: 179

Inizio registrazione: 22/06/2023 07:50:01 Fine registrazione: 22/06/2023 08:06:01

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h16'00".

Analizzato 81% tracciato (selezione automatica)

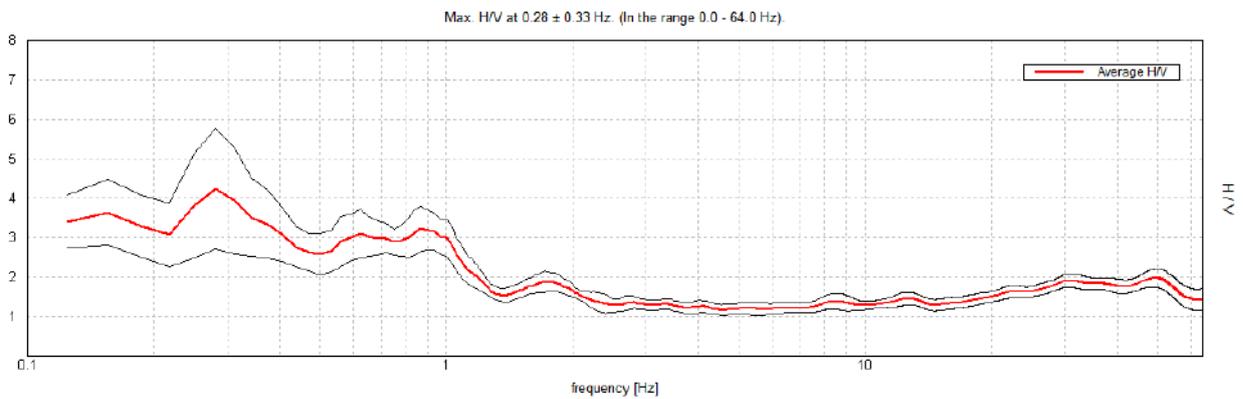
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

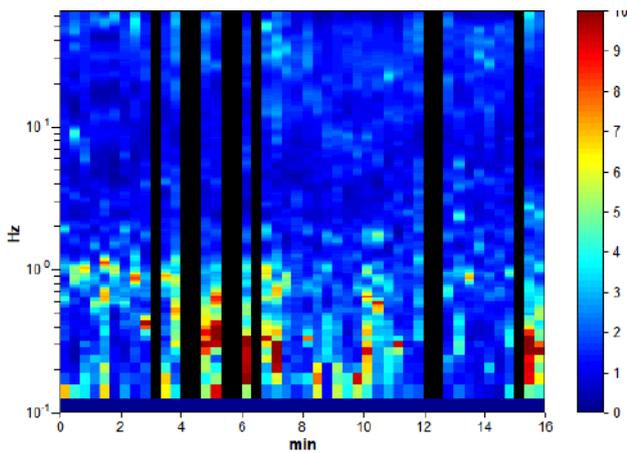
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

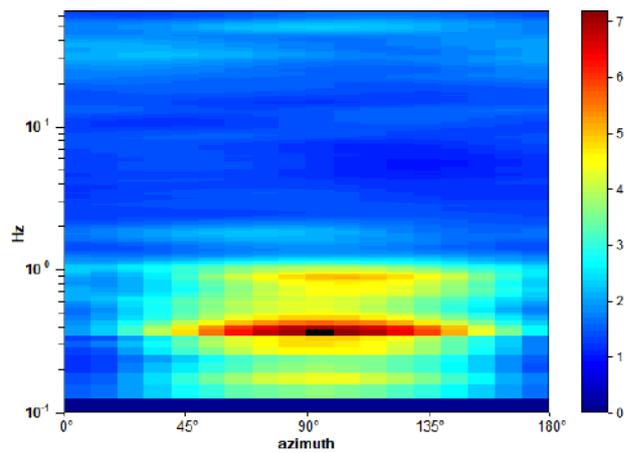
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



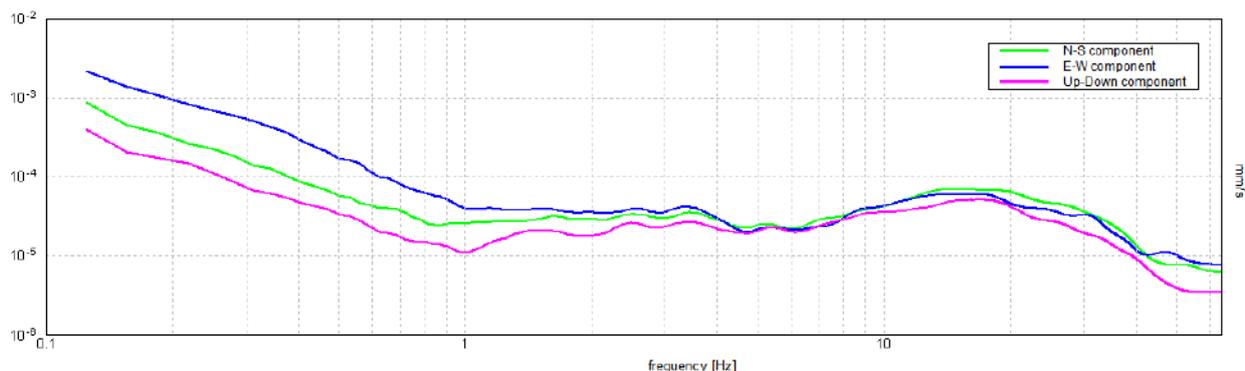
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 0.28 ± 0.33 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$0.28 > 0.50$		NO
$n_c(f_0) > 200$	$219.4 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 15	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$4.24 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 1.16575 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.32787 < 0.05625$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.5237 < 2.5$	OK	

L_w	lunghezza della finestra				
n_w	numero di finestre usate nell'analisi				
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi				
f	frequenza attuale				
f_0	frequenza del picco H/V				
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V				
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$				
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0				
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f				
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$				
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$				
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa				
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$				
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$				
Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RIBABOTTONI-MONACILONI-SANT'ELIA A PIANISI, RIPABOTTONI 0003

Strumento: TZB-0138/01-20

Formato dati: 32 bit

Fondo scala [mV]: 179

Inizio registrazione: 22/06/2023 08:41:00 Fine registrazione: 22/06/2023 08:57:00

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h16'00".

Analizzato 77% tracciato (selezione automatica)

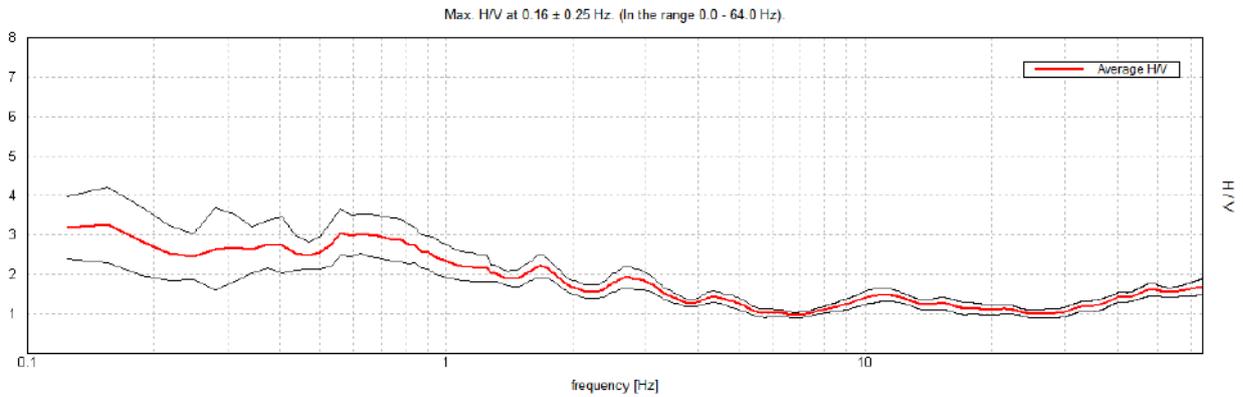
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

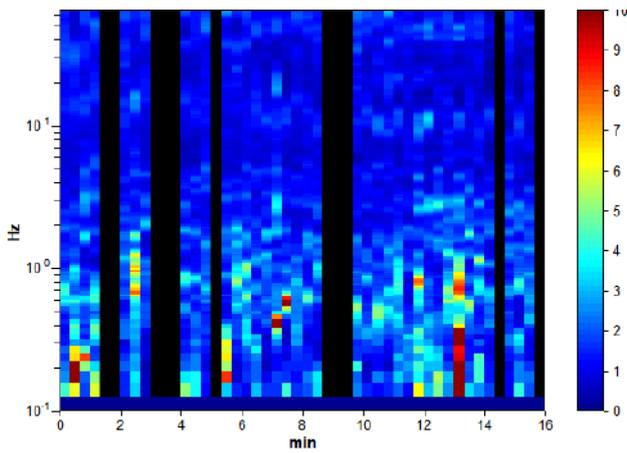
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

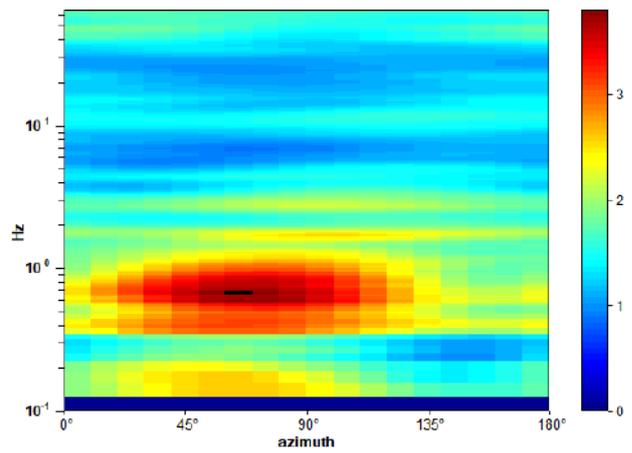
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



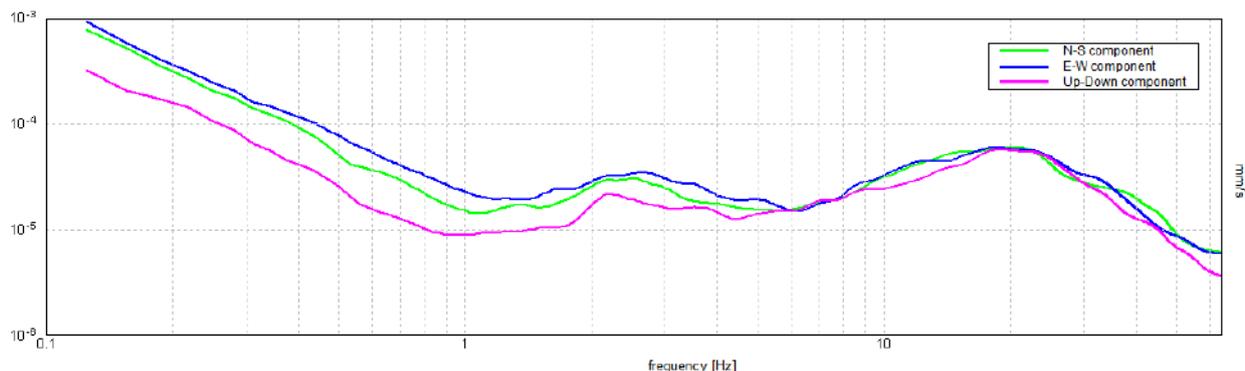
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 0.16 ± 0.25 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.16 > 0.50$		NO
$n_c(f_0) > 200$	$115.6 > 200$		NO
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 9	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$3.26 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 1.58507 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.24767 < 0.03906$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.9544 < 3.0$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

RIBABOTTONI-MONACILONI-SANT'ELIA A PIANISI, RIPABOTTONI 0005

Strumento: TZB-0138/01-20

Formato dati: 32 bit

Fondo scala [mV]: 179

Inizio registrazione: 22/06/2023 09:53:36 Fine registrazione: 22/06/2023 10:09:36

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h16'00".

Analisi effettuata sull'intera traccia.

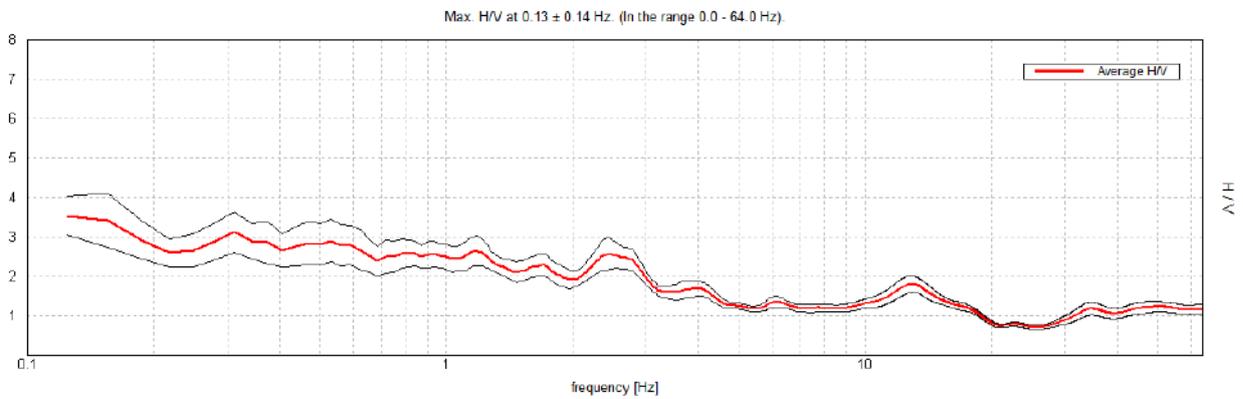
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

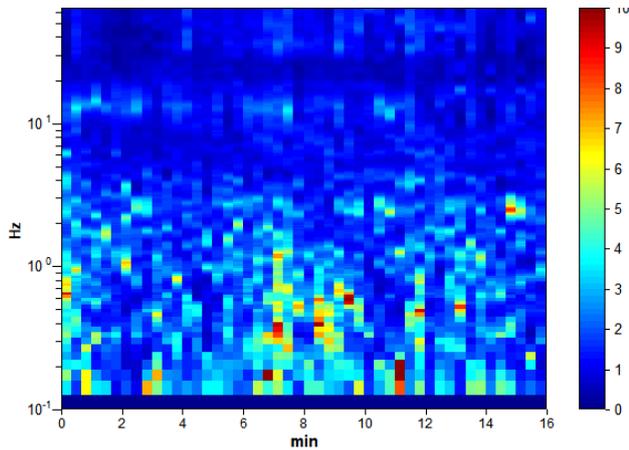
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

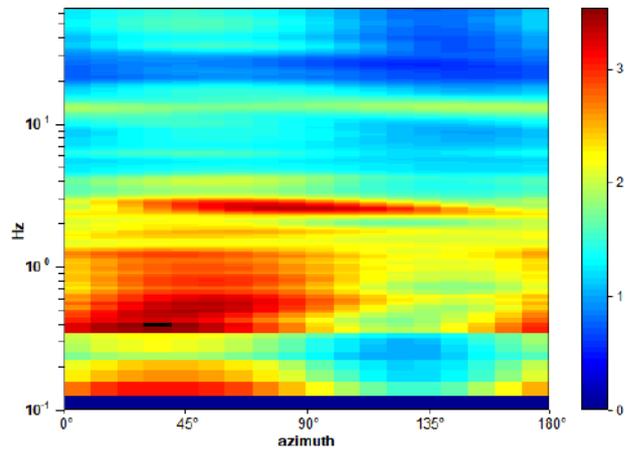
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



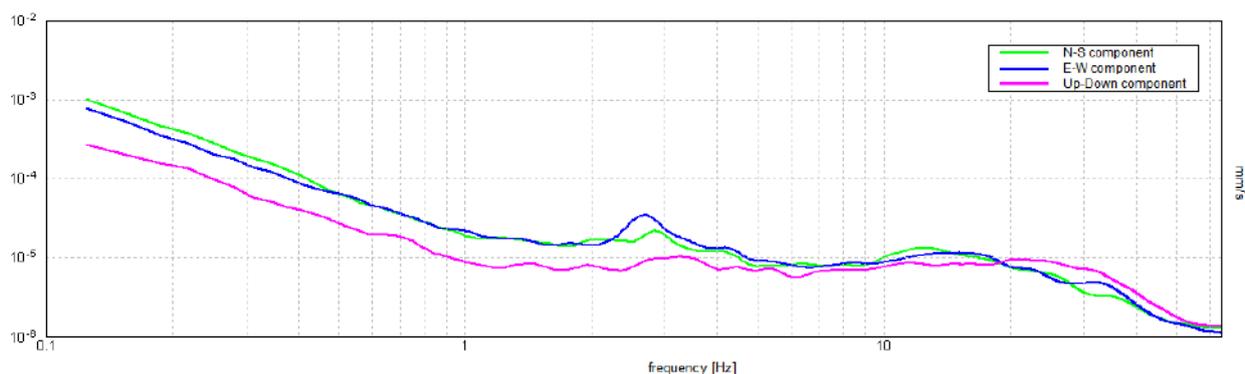
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 0.13 ± 0.14 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).					
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]					
$f_0 > 10 / L_w$	$0.13 > 0.50$				NO
$n_c(f_0) > 200$	$120.0 > 200$				NO
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 7	OK			
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]					
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	OK			
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$					NO
$A_0 > 2$	$3.54 > 2$	OK			
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 1.11862 < 0.05$				NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.13983 < 0.03125$				NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4727 < 3.0$	OK			
L_w n_w $n_c = L_w n_w f_0$ f f_0 σ_f $\varepsilon(f_0)$ A_0 $A_{H/V}(f)$ f^- f^+ $\sigma_A(f)$ $\sigma_{\log H/V}(f)$ $\theta(f_0)$	lunghezza della finestra numero di finestre usate nell'analisi numero di cicli significativi frequenza attuale frequenza del picco H/V deviazione standard della frequenza del picco H/V valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0 ampiezza della curva H/V alla frequenza f frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$ valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$				
Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	$0.2 - 0.5$	$0.5 - 1.0$	$1.0 - 2.0$	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

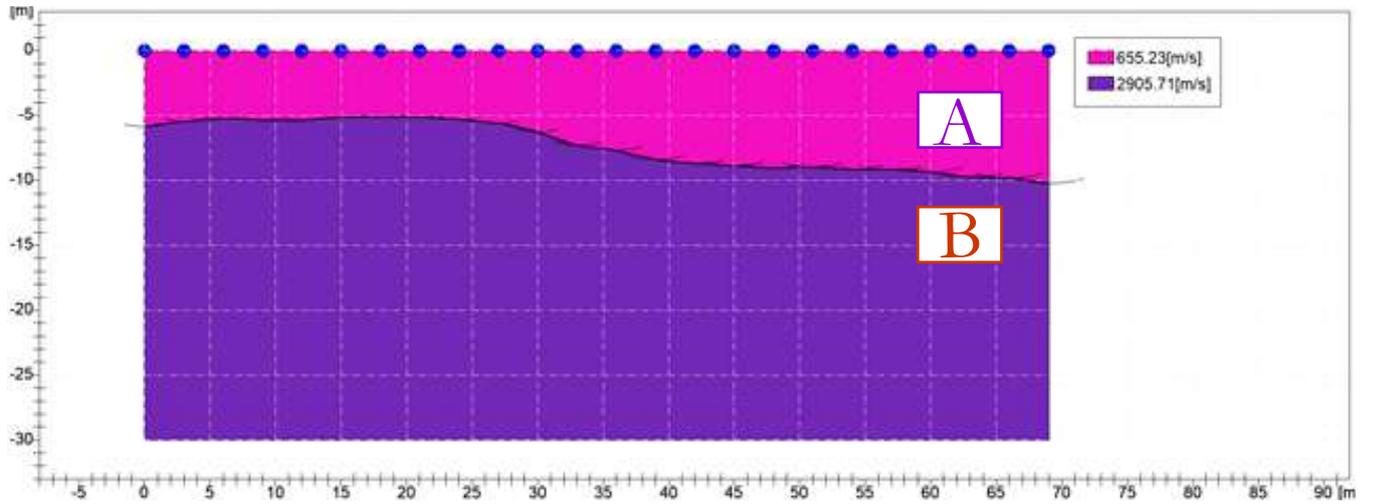
7. MODELLO GEOLOGICO TECNICO E CONSIDERAZIONI GEOLOGICO-TECNICHE CONCLUSIVE

L'area in cui verrà installato l'impianto ricopre un vasto territorio caratterizzato dall'alternarsi di formazioni arenarie, argillose e arenaceo marnose tipiche dei Flysch. La zona è caratterizzata da un'alta variabilità litologica e morfologica. Di particolare rilevanza è la presenza di un diffuso reticolo idrografico e diverse scaturigini sorgentizie. Il territorio è a prevalente destinazione agricola e, spesso, il lavoro delle macchine agricole tomba le linee di impluvio, favorendo la generazione di fenomeni franosi. Pertanto, posto che nelle successive fasi di progettazione si provvederà a eseguire sondaggio geognostico con prelievo di campioni indisturbati, si porrà particolare attenzione nelle fasi sia di progettazione che esecutive al rispetto delle linee di impluvio e alla regimazione delle acque superficiali e di falda, prevedendo intanto fondazioni profonde per ogni torre.

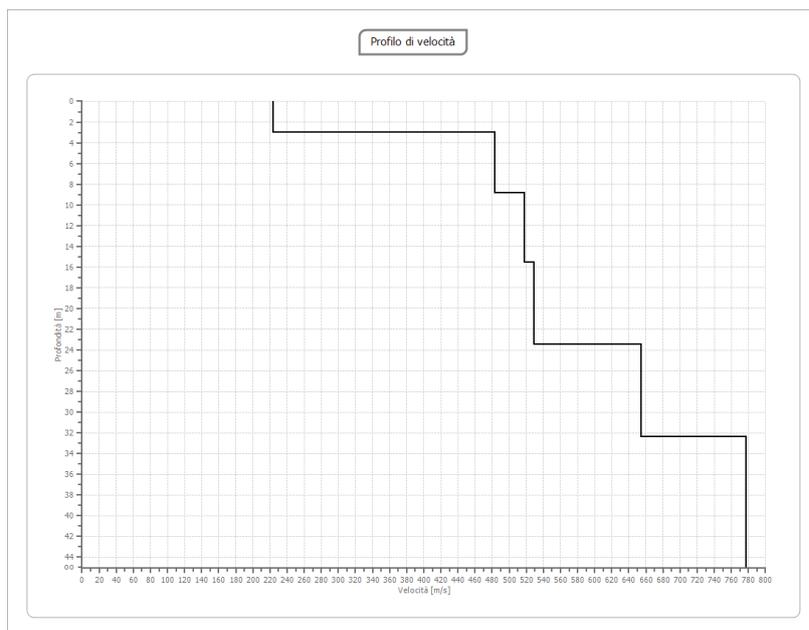
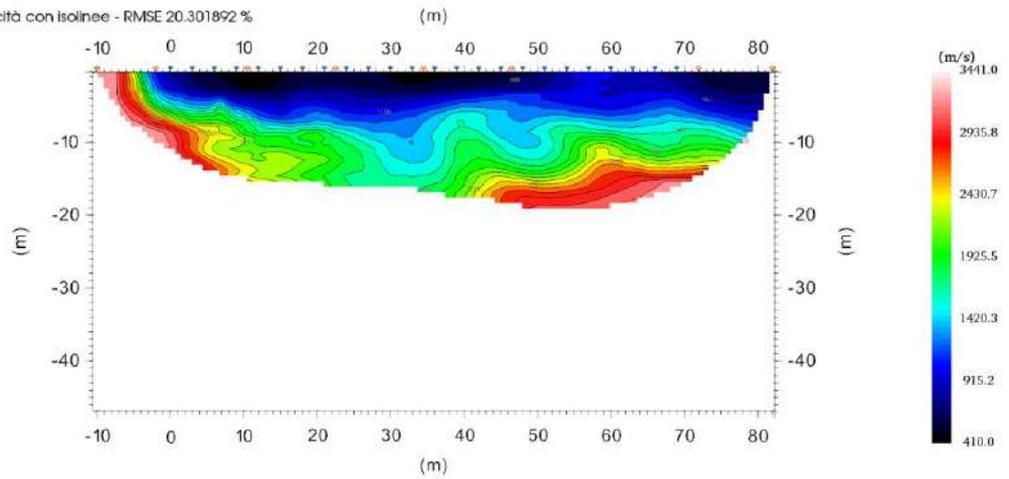
- a)** L'analisi dei dati risultati delle indagini MASW hanno fornito valori della v_{seq} compatibili con categoria di sottosuolo B o C;
- b)** La categoria topografica è T2.
- c)** Dall'analisi sismica a rifrazione si rileva un miglioramento delle caratteristiche geotecniche con la profondità.

Si riportano i risultati sintetici delle indagini effettuate.

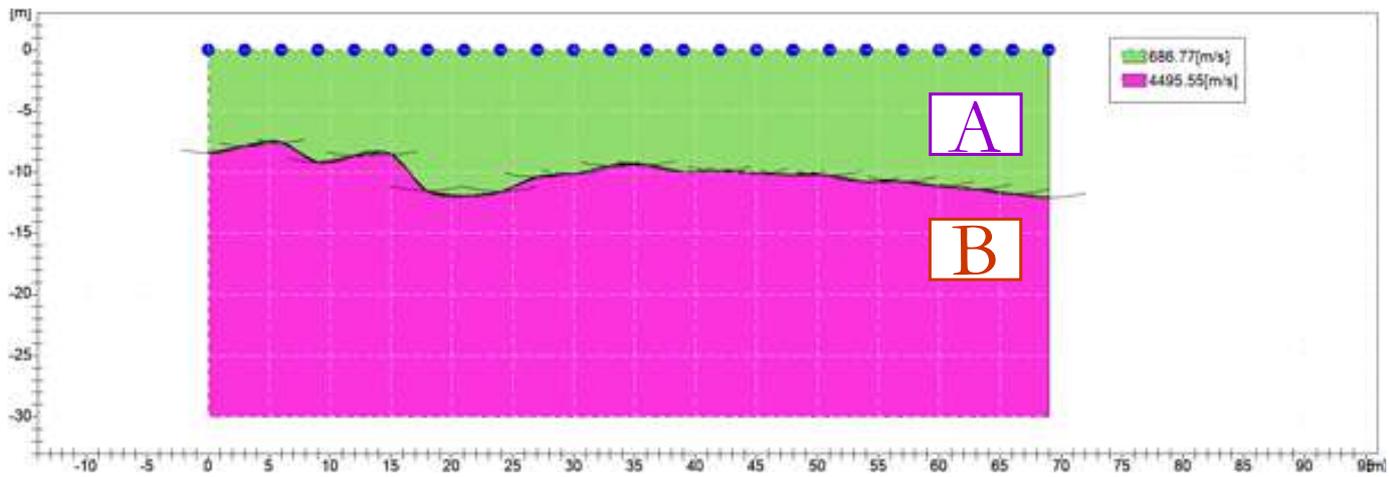
RISULTATI SISM 1



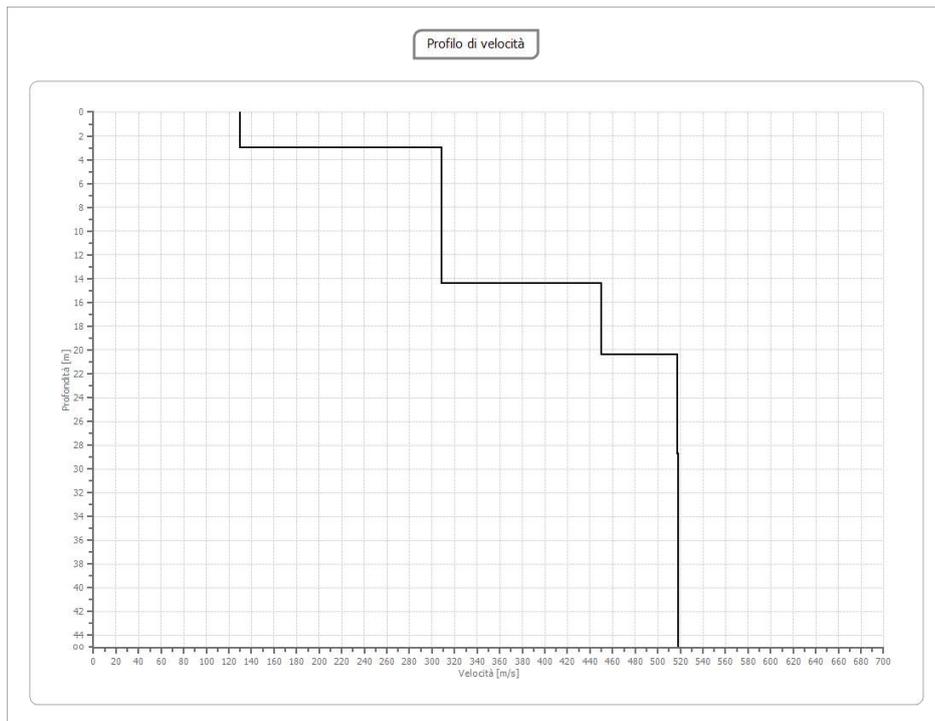
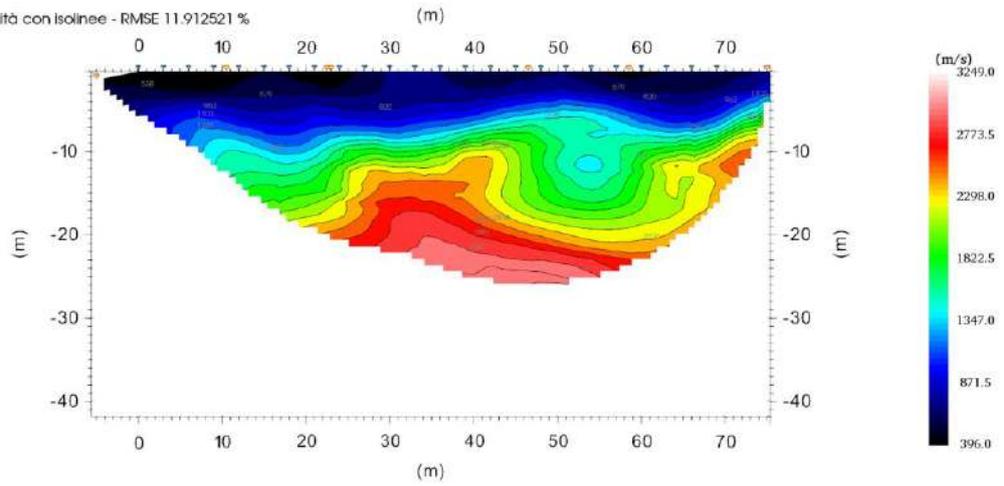
- Profilo tomografico - velocità con isoinee - RMSE 20.301892 %



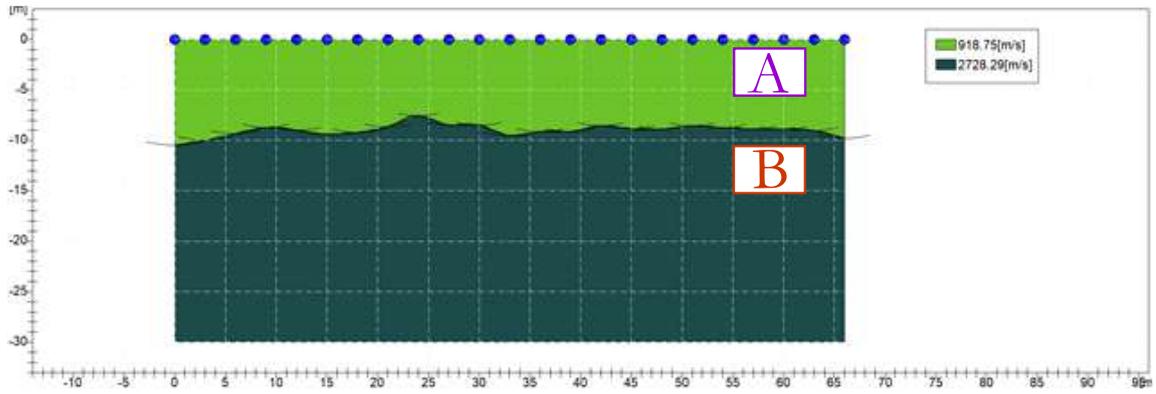
RISULTATI SISM 2



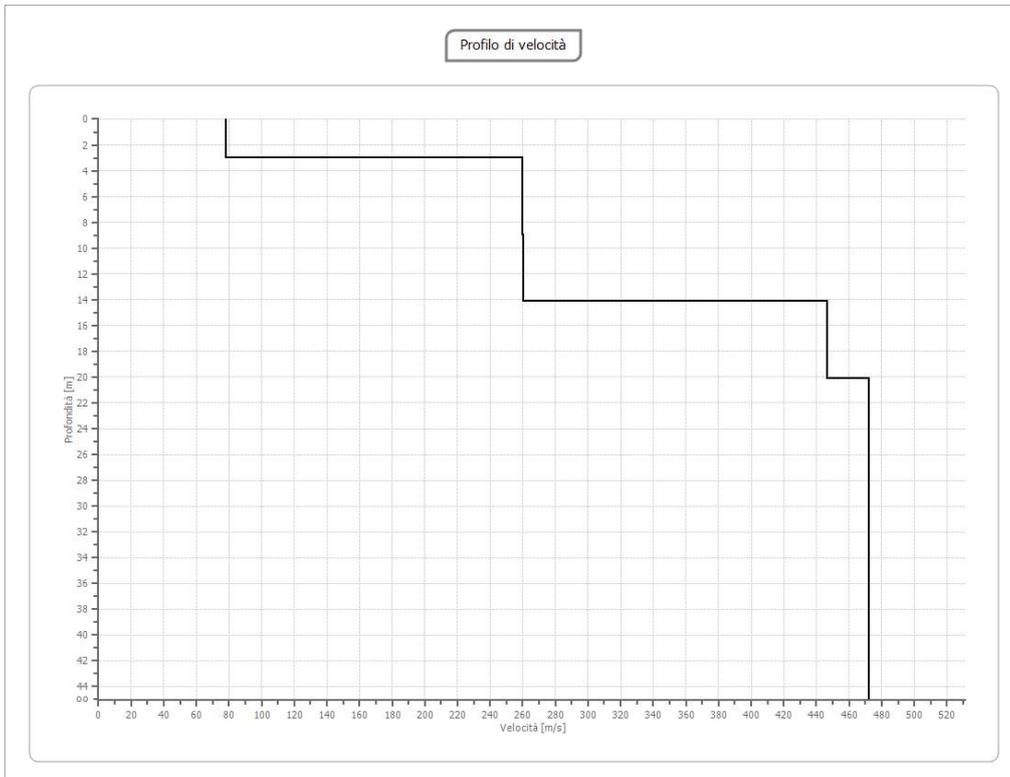
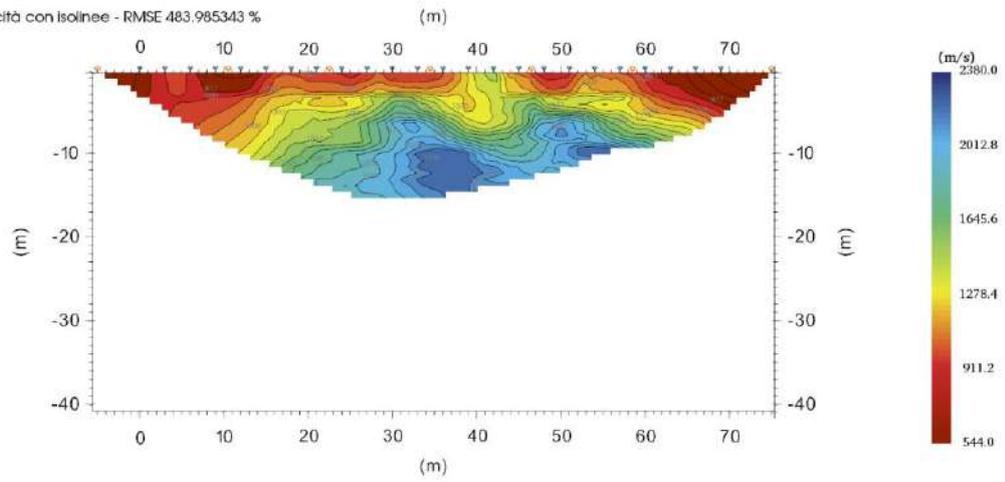
- Profilo tomografico - velocità con isolinee - RMSE 11.912521 %



RISULTATI SISM 3



- Profilo tomografico - velocità con isolinee - RMSE 483.985343 %



Si riporta di seguito il modello geologico tecnico ottenuto da indagini limitrofe:

UNITA' GEOTECNICHE

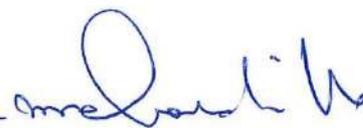
UNITA' GEOTECNICA	γ	γ_{sat}	c	φ
	20,00	22,3	0,5	22,3°
	20,02	21,4	0,3	28,30

γ =peso di volume (KN/mc); γ_{sat} =peso di volume saturo(KN/mc);
c =coesione (KPa); φ =angolo di attrito(°)

Campobasso, li 26/07/2023

LA GEOLOGA

Dott.ssa Giovanna Cardillo



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Giovanna Cardillo', written over the right side of the professional stamp.

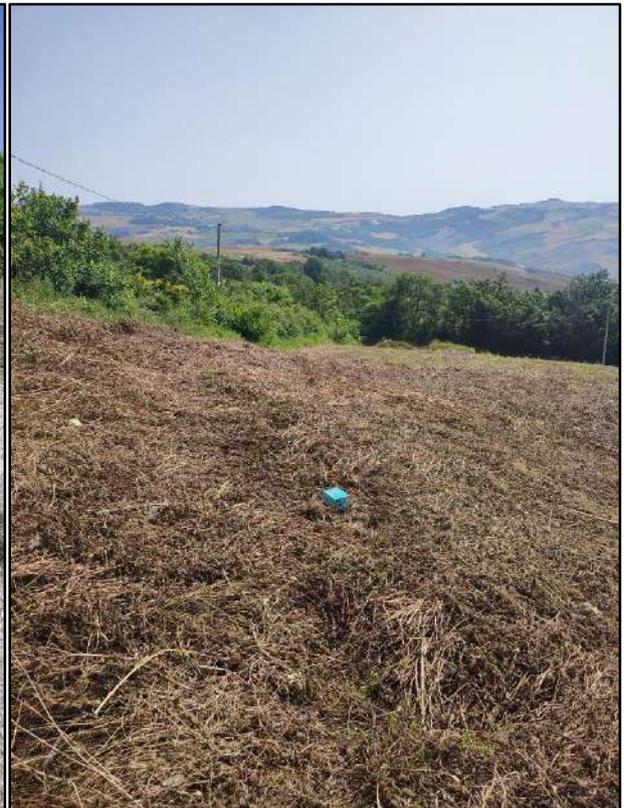
8. REPERTO FOTOGRAFICO

SISM1



SISM2





SISM 3







