

COMUNE DI BERZO INFERIORE

PROVINCIA DI BRESCIA

REGIONE LOMBARDIA



PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

OGGETTO			TAVOLA
RELAZIONE GENERALE			1
DATA			SCALA
LUGLIO 2025			
MODIFICHE			
N°	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO
1	GIUGNO 2003	STUDIO GEO. TE. C.	DOTT. GEOL. FABIO ALBERTI
2	LUGLIO 2011	STUDIO GEOLOGICO MATTEO BIZIOLI	DOTT. GEOL. MATTEO BIZIOLI
3	LUGLIO 2025	AGGIORNAMENTO STUDIO GEOLOGICO E P.G.R.A.	DOTT. GEOL. DEVID STAIN

IL SINDACO:

IL SEGRETARIO:

ADOZIONE:

APPROVAZIONE:

DOTT. GEOL DEVID STAIN, VIA B. VIDILINI N°58 EDOLO (BS) EMAIL: DESTA@HOTMAIL.IT TEL: 3493524330

Sommario

1.0 PREMESSA	4
2.0 ADEGUAMENTO CARTOGRAFICO DATABASE TOPOGRAFICO REGIONALE	5
3.0 NORME TECNICHE DELLE COSTRUZIONI 2018	6
4.0 SISMICITÀ COMUNALE	8
4.1 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	13
4.2 ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA DI 2° LIVELLO	15
4.3 EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA	15
4.3.1 METODO “MASW”	16
4.3.1A STENDIMENTO MASW 1	18
4.3.1B STENDIMENTO MASW 2	28
4.3.1C STENDIMENTO MASW 3	37
5.0 PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)	46
6.0 PIANO SEMPLIFICATO DEL RISCHIO IDRAULICO	47
Figura 1. Mappa classificazione sismica in vigore dal 10 aprile 2016 (D.g.r. 11 luglio 2014 – n.X/2129)	9
Figura 2. Database Macrosismico Italiano chiamata DBMI15	11
Figura 3. Mappa di pericolosità sismica	12
Figura 4. Ubicazione delle aree dove sono state eseguite MASW nel Comune di Berzo Inferiore	16
Figura 5. Schema stendimento sismico MASW	17
Figura 6. Ubicazione stendimento MASW 1	18
Figura 7. Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)	19
Figura 8. Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)	19
Figura 9. Spettro di velocità, Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)	20
Figura 10. Inversione congiunta Full velocity spectral Rayleigh e Love	20
Figura 11. Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Rayleigh	21
Figura 12. Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Love	21
Figura 13. Diagramma distribuzione pareto ed errori attuale	22
Figura 14. Correlazione Vs30 median, minimum-distance model, mean model, pareto models	22
Figura 15. Correlazione VsE median, minimum-distance model, mean model, pareto models	22
Figura 16. Profilo VS	23
Figura 17. Scheda litologia ghiaiosa	26
Figura 18. Ubicazione stendimento MASW 2	28
Figura 19. Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)	29
Figura 20. Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)	29
Figura 21. Spettro di velocità, Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)	30
Figura 22. Inversione congiunta Full velocity spectral Rayleigh e Love	30
Figura 23. Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Rayleigh	31
Figura 24. Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Love	31
Figura 25. Diagramma distribuzione pareto ed errori attuale	32
Figura 26. Correlazione Vs30 median, minimum-distance model, mean model, pareto models	32

Figura 27. Correlazione VsE median, minimum-distance model, mean model, pareto models	32
Figura 28. Profilo VS	33
Figura 29. Scheda litologia ghiaiosa	35
Figura 30. Ubicazione stendimento MASW 3.....	37
Figura 31. Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)	38
Figura 32. Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)	38
Figura 33. Spettro di velocità, Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)	39
Figura 34. Inversione congiunta Full velocity spectral Rayleigh e Love	39
Figura 35. Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Rayleigh	40
Figura 36. Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Love	40
Figura 37. Diagramma distribuzione pareto ed errori attuale	41
Figura 38. Correlazione Vs30 median, minimum-distance model, mean model, pareto models.....	41
Figura 39. Correlazione VsE median, minimum-distance model, mean model, pareto models.....	41
Figura 40. Profilo VS	42
Figura 41. Scheda litologia ghiaiosa	44
Figura 41. Distribuzione Aree di criticità Idraulica e idrologica Regione Lombardia.....	47
 Tabella 1. Tavole aggiornamento dello studio geologico	 4
Tabella 2. Tavole del piano semplificato del rischio idraulico	5
Tabella 3. Tab. 3.2.II delle norme tecniche delle costruzioni 2018	7
Tabella 4. Accelerazione orizzontale per zona sismica.....	8
Tabella 5. Elenco scenari pericolosità sismica locale.....	15
Tabella 6. Dati modello medio e modello migliori	23
Tabella 7. Dati modello medio e modello migliori	33
Tabella 8. Dati modello medio e modello migliori	42
Tabella 9. Tabella estratta dall'allegato C del regolamento regionale.....	48

1.0 PREMESSA

Il Comune di Berzo Inferiore, nel percorso di gestione del PGT, intende proporre una variante al proprio strumento urbanistico comunale. In occasione di questo importante momento di revisione della pianificazione, si è colta l'occasione per adeguare anche la componente geologica, al fine di ottemperare agli obblighi normativi di settore e alle norme che nel frattempo, dall'ultima versione dello studio geologico comunale effettuata nel 2013, sono sopraggiunte e ora vigenti, in materia di difesa del suolo e pianificazione.

L'aggiornamento ha pertanto riguardato:

- Adeguamento cartografico, con l'utilizzo dell'aerofotogrammetrico del database topografico aggiornato (DBTR).
- Recepimento delle Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC) del DM 17 gennaio 2018, che aggiungono il concetto di Velocità delle onde S equivalente (VsE).
- Adeguamento dello studio geologico comunale alle recenti modifiche degli aspetti sismici di cui alla revisione delle zone sismiche di Regione Lombardia (D.G.R. 11 luglio 2014, n. 2129 con differimento del termine al 10 aprile 2016 - D.G.R. 8 ottobre 2015 - n. X/4144).
- Recepimento della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE - revisione 2022. Si sono riviste le problematiche idrauliche riferite al Fiume Oglio e alle aste minori a seguito della Direttiva Alluvioni, che impone una revisione critica delle zone potenzialmente esondabili.
- Redazione del documento di piano semplificato del rischio idraulico

Di seguito lo schema dei contenuti e delle parti integrate o sostituite che hanno contraddistinto questo aggiornamento dello studio geologico comunale. Per coerenza è stata mantenuta la stessa nomenclatura dello studio geologico comunale precedente.

1	RELAZIONE GENERALE	TAV 1	Relazione aggiornamento PGT	Integrazione
2	NORME GEOLOGICHE	TAV 2	Norme geologiche di Piano	Sostituzione
3	FATTIBILITÀ GEOLOGICA	TAV 3	Carta della fattibilità geologica – scala 1:10000	Modifica base cartografica
		TAV 3A	Carta della fattibilità geologica – scala 1:2000	Modifica base cartografica
4	COMPONENTE SISMICA	TAV 4	Carta pericolosità sismica scala 1:10000	Modifica base cartografica
5	VINCOLI	TAV 5	Carta dei vincoli scala 1:10000	Modifica base cartografica
6	PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO E PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI	TAV 6	Carta PAI-PGRA scala 1:10000	Modifica base cartografica-recepimento direttiva alluvioni

Tabella 1. Tavole aggiornamento dello studio geologico

Escluso dalla documentazione dello studio geologico, verrà realizzato il documento di piano semplificato del rischio idraulico, che consisterà:

1	RELAZIONE ILLUSTRATIVA DELLE AREE A RISCHIO IDRAULICO DEL TERRITORIO COMUNALE	TAV 7A	Relazione documento di piano semplificato del rischio idraulico	Nuovo documento
2	CARTA DELLE DOTAZIONI INFRASTRUTTURALI E DELLE AREE A RISCHIO IDRAULICO DEL TERRITORIO COMUNALE	TAV 7B	Carta delle dotazioni infrastrutturali e delle aree a rischio idraulico del territorio comunale – Berzo Inferiore	Nuovo documento

Tabella 2. Tavole del piano semplificato del rischio idraulico

Non sono state apportate modifiche alle altre cartografie dello studio geologico adottato e oggi vigente, fatto salvo quelle sopra elencate, in quanto non si è reso necessario integrare gli elaborati. Le nuove tavole oggetto del presente aggiornamento, sostituiscono pertanto integralmente i precedenti documenti. Nella fase temporanea di approvazione dello studio geologico, si farà riferimento alle presenti previsioni poiché più cautelative e a favore di sicurezza, rispetto alle precedenti.

2.0 ADEGUAMENTO CARTOGRAFICO DATABASE TOPOGRAFICO REGIONALE

Tutta la cartografia aggiornata è stata adeguata al Database Topografico Regionale, del territorio comunale di Berzo Inferiore.

Il Database Topografico Regionale (DBTR), costituisce la base cartografica digitale di riferimento per tutti gli strumenti di pianificazione predisposti sia dagli enti locali che dalla Regione, come definito all'art. 3 della legge regionale 12/2005 per il Governo del territorio. Il Database Topografico regionale (DBTR) è una banca dati geografica costituita da diverse informazioni territoriali digitali che rappresentano e descrivono gli oggetti topografici del territorio e nel loro insieme rappresentano la cartografia di base.

I contenuti principali del DBTR riguardano: strade, ferrovie, ponti, viadotti, gallerie, edifici e pertinenze, manufatti edilizi, corsi d'acqua naturali e artificiali, con relativi alvei, laghi, dighe, opere idrauliche, reti elettriche, cascate, altimetria, cave e discariche, coperture vegetali suddivise in boschi, pascoli, colture agricole, verde urbano, aree prive di vegetazione. Ogni oggetto è costituito da una componente cartografica e una tabellare, a cui si aggiungono la componente altimetrica e eventuali altre informazioni. La scala di rilievo è molto dettagliata per le aree urbane (1:1000- 1:2000) e di medio dettaglio per le aree extra urbane (1:5000- 1:10000).

Il DBTR è realizzato in collaborazione con gli enti locali per avere un riferimento cartografico unitario e omogeneo per tutti i comuni, le Province, la Regione e gli altri enti ed i professionisti, per organizzare un Sistema Informativo Territoriale (SIT) regionale in cui confluiscono i dati tematici e i piani dei diversi enti e settori. Il DBTR è la base idonea per la pianificazione comunale dei PGT e per altri strumenti di

pianificazione. Inoltre, è il riferimento per tutte le elaborazioni cartografiche per chiunque debba presentare all'amministrazione pubblica elaborati progettuali.

3.0 NORME TECNICHE DELLE COSTRUZIONI 2018

Le norme tecniche delle costruzioni 2018, rispetto quelle del 2008 hanno introdotto le seguenti modifiche:

- Per stabilire la categoria di suolo, il calcolo del V_s non è sempre relativo a 30 m. Per strati con $V_s \geq 800$ m/s posti a profondità inferiore ai 30 m, si considera solo tale profondità.
- Per la definizione della categoria di suolo non è più presente la classificazione in funzione di NSPT e C_u .
- Le definizioni dei suoli di tipo D ed E sono state modificate e sono state eliminate le cat. S1 ed S2.

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. 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:

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

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.

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Tabella 3. Tab. 3.2.II delle norme tecniche delle costruzioni 2018

4.0 SISMICITÀ COMUNALE

Il Comune di Berzo Inferiore prima del 2003 non era considerato comune sismico e non rientrava in alcuna classificazione. L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003 introdusse le nuove classificazioni sismiche per tutto il territorio nazionale lasciando alle Regioni la facoltà di poter modificare i parametri del proprio territorio.

Tutto il territorio Nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche, con grado di rischio decrescente dalla zona 1 alla zona 4, secondo il seguente schema:

- Zona 1 (rischio alto), è la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.
- Zona 2 (rischio medio), in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
- Zona 3 (rischio basso), in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
- Zona 4 (rischio molto basso), è la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.

La suddivisione in classi deriva dalla valutazione della pericolosità sismica su tutto il territorio nazionale, valutata come accelerazione orizzontale massima al suolo, dovuta al sisma, con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno del sisma di 475 anni), in base alla seguente distinzione:

Zona Sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (ag/g)
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Tabella 4. Accelerazione orizzontale per zona sismica

Con l'entrata in vigore dell'OPCM sopra riportata, tutto il territorio nazionale venne classificato sismico, con differenti livelli, ed anche il territorio di Berzo Inferiore entrò in questa classificazione in zona sismica 4, quella con il grado minore.

La Regione Lombardia con la D.g.r. 11 luglio 2014 – n.X/2129 ha approvato una nuova classificazione sismica del proprio territorio Regionale, entrata in vigore nel 10 aprile 2016. Dopo questo decreto regionale, il Comune di Berzo Inferiore passa da zona sismica 4 a zona sismica 3.

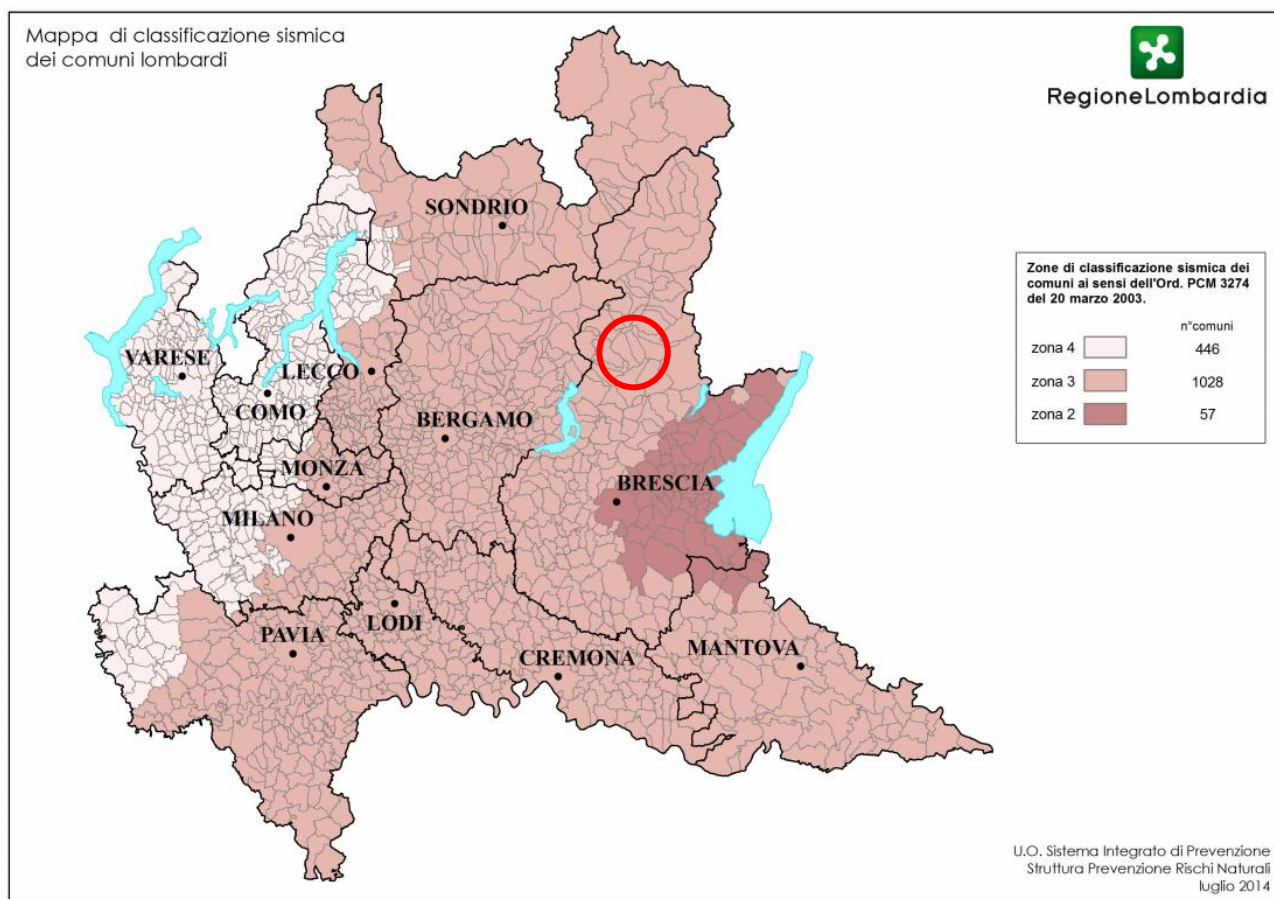


Figura 1. Mappa classificazione sismica in vigore dal 10 aprile 2016 (D.g.r. 11 luglio 2014 – n.X/2129)

La sismicità del nord Italia e della Lombardia in particolare è connessa, a grande scala, ai fenomeni attivi di convergenza tra la placca Adria e l'Europa (gli stessi che hanno generato la catena alpina), con fenomeni prevalentemente compressivi.

In questo contesto i terremoti avvengono tutti nella crosta superiore, con ipocentri a profondità variabili tra 5 e 15 km. In generale non si riscontra alcuna attività sismica nel mantello o nella crosta superiore.

In Lombardia la zona maggiormente sismica è al margine della Pianura Bresciana e nella zona del Lago di Garda, estremità sud del sistema di faglie delle Giudicarie.

La motivazione di tale sismicità è connessa alla struttura geologica: nella zona della pianura bresciana sono presenti nel sottosuolo numerose superfici di scorrimento delle falde, superfici connesse alla strutturazione delle Alpi Meridionali ed alla migrazione verso sud delle falde. Nella zona del Garda i terremoti sono connessi ai movimenti ed ai rilasci energetici lungo la linea delle Giudicarie.

Vediamo ora uno stralcio della zonazione sismogenetica ZS9, utilizzata per la valutazione della pericolosità sismica, come si vede l'attività sismica nella zona Lombarda si concentra nelle Alpi Occidentali (zona 903) e nel Subalpino Meridionale (zona 907).

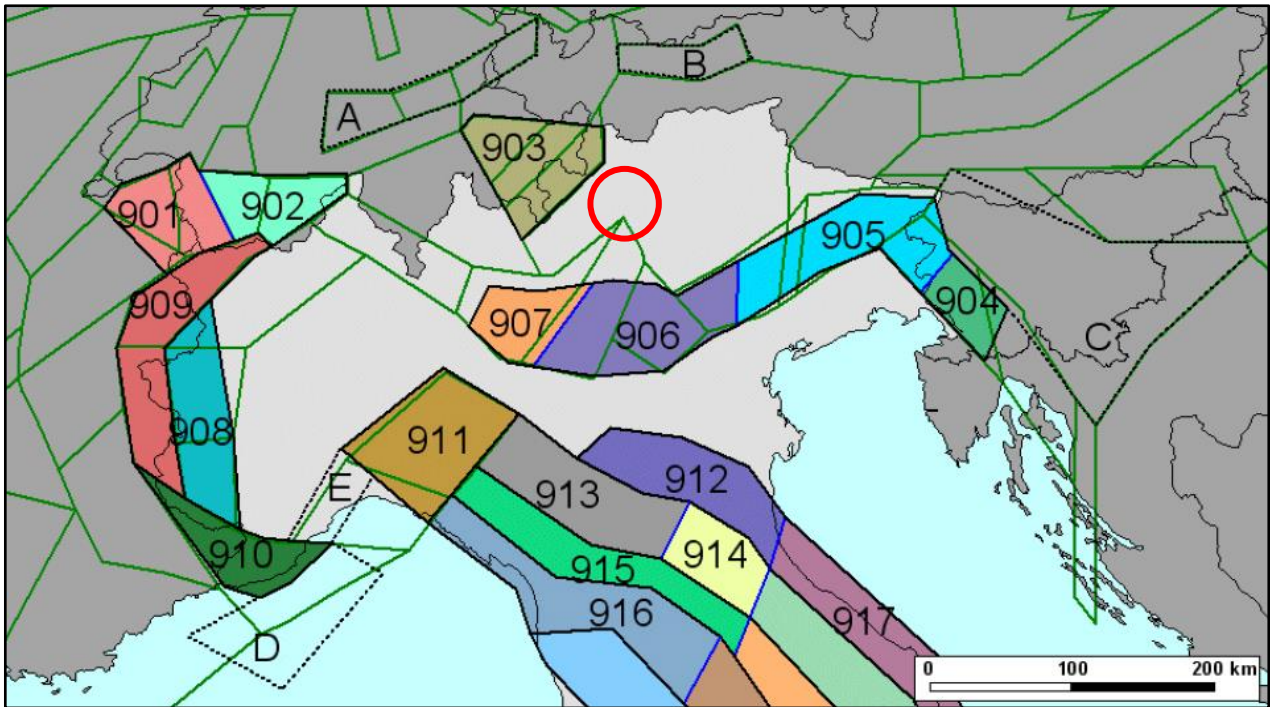


Figura 2: Stralcio della zonazione sismogenetica ZS9

Il Comune di Berzo Inferiore non è all'interno di nessuna zona sismogenetica, però è vicino alla zona 903 Grigioni-Valtellina. Le strutture sismogenetiche sono strutture in grado di produrre e generare terremoti. Dal “The European Database of Seismogenic Faults” (SHARE task 3.2) notiamo che la struttura sismogenetica più vicina al comune di Berzo Inferiore, è la ITCS010 “WesternS-Alps internal thrust”.

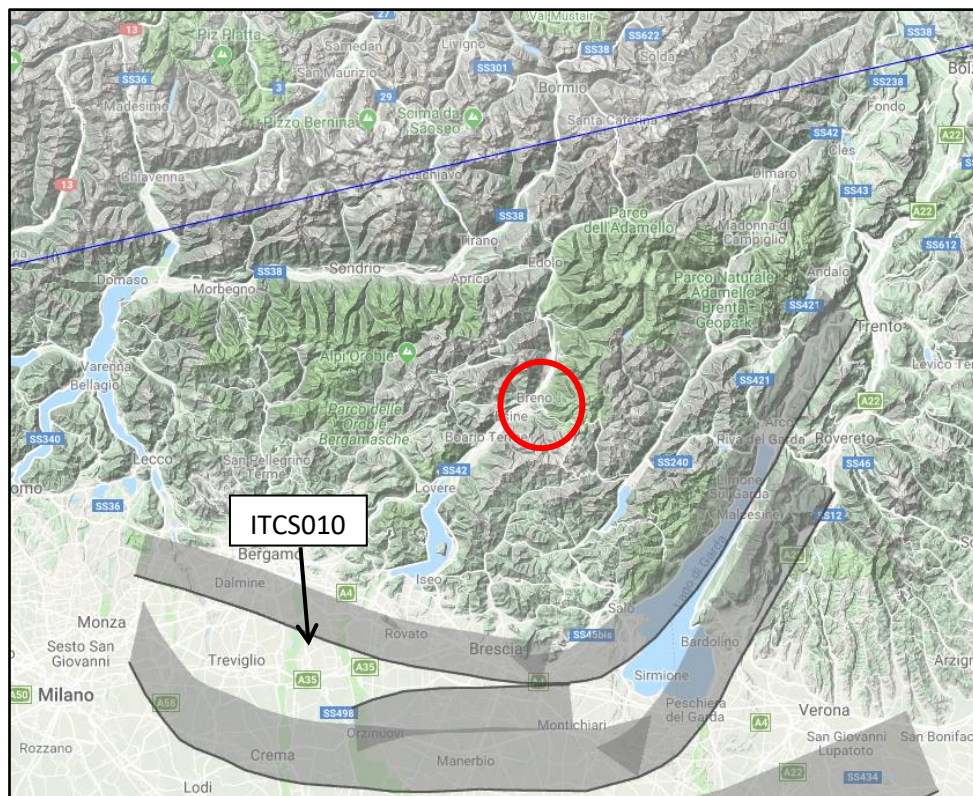


Figura 3: Stralcio the European Database of Seismogenic Faults” (SHARE task 3.2)

Relazione generale di Piano Governo del Territorio – Comune di Berzo Inferiore

Dott. Geol. Devid Stain

Cel: 3493524330

Email: devid@rscwork.it

La struttura ITCS010, è una struttura geologica complessa, che si sviluppa da sopra Trento fino a dopo Bergamo. Questa struttura appartiene ad un fronte di accavallamento interno, in connessione con il fronte di accavallamento tettonico del Sud Alpino (Giudicarie thrust system), con una direzione di vergenza delle falde verso sud ed una tettonica prevalentemente compressiva.

Dal database Macrosismico Italiano chiamata DBMI15 (Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. 2016), individuiamo i terremoti con intensità massima ≥ 5 dal anno 1850 al 2020.

Berzo Inferiore



PlaceID IT_15741
 Coordinate (lat, lon) 45.932, 10.279
 Comune (ISTAT 2015) Berzo Inferiore
 Provincia Brescia
 Regione Lombardia
 Numero di eventi riportati 6



► Personalizza il diagramma

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4	🔗	1989	09	13	21	54	0 Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85
NF	🔗	1991	11	20	01	54	1 Grigion, Vaz	468	6	4.70
3	🔗	1993	12	09	18	16	5 Lago d'Iseo	175	5	4.11
4	🔗	1995	10	29	13	00	2 Lago d'Iseo	408	5-6	4.35
NF	🔗	1999	12	31	04	55	5 Alpi Retiche	99		4.11
4-5	🔗	2001	07	17	15	06	1 Val Venosta	657	5-6	4.78

Figura 2. Database Macrosismico Italiano chiamata DBMI15

La ricerca effettuata per il Comune di Berzo Inferiore evidenzia la presenza di possibili effetti solo in 6 terremoti (Prealpi vicentine, Grigioni Vaz, Lago d'Iseo, Alpi Retiche e Val Venosta), con un'intensità epicentrale $I_0 = 4-7$ ed una magnitudo momento $M_w = 4,11 - 4,85$.

La disaggregazione della pericolosità sismica (McGuire, 1995; Bazzurro and Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. Per ottenere ulteriori elementi di riferimento in merito al possibile sisma atteso di riferimento ed alle relative accelerazioni al suolo per il Comune di Berzo Inferiore, si è fatto riferimento al Modello di pericolosità sismica MPS04-S1.

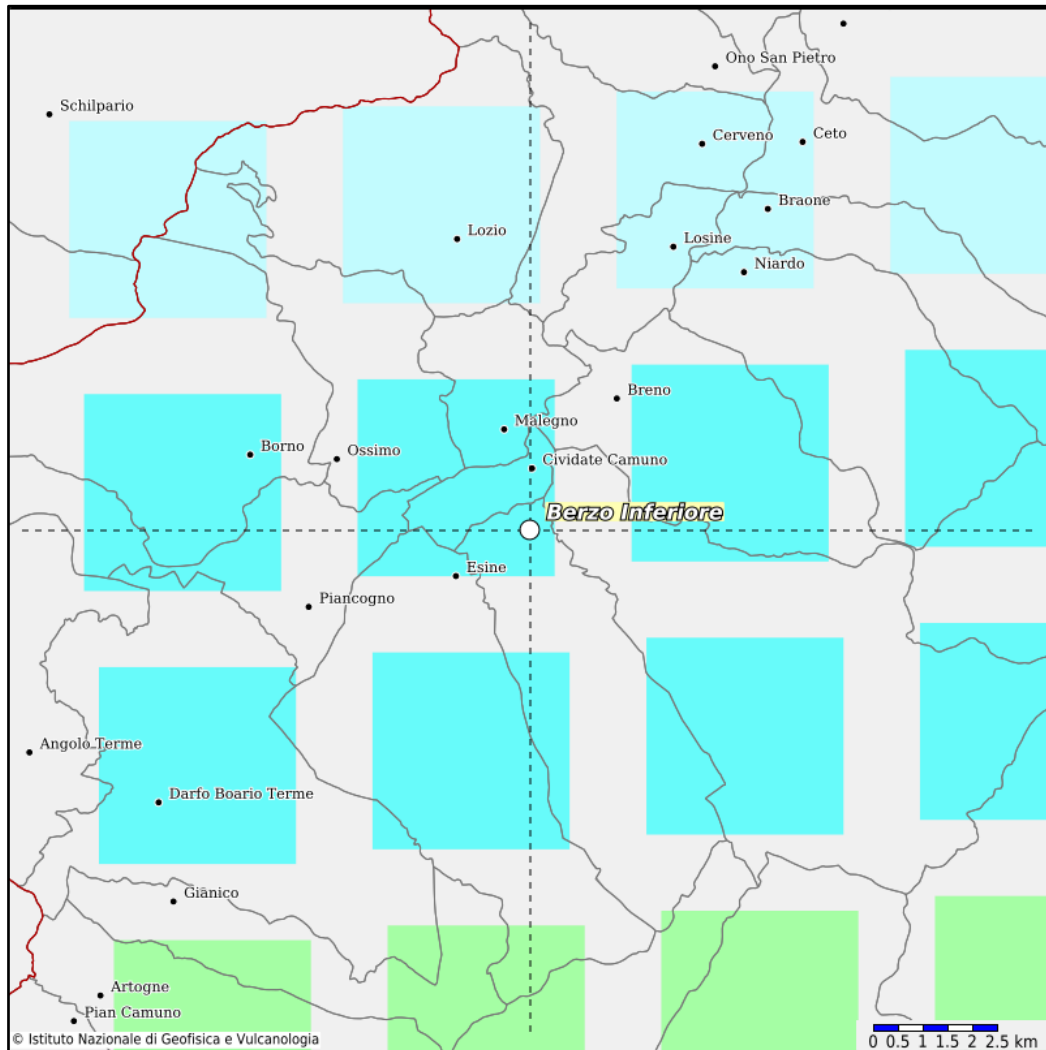


Figura 3. Mappa di pericolosità sismica

Per il territorio di Berzo Inferiore è possibile ricavare i seguenti valori statistici per un eventuale terremoto:

- il parametro dello scuotimento con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni è variabile tra 0,075 e 0,100.
- sisma: magnitudo = 5,04 – distanza = 34,30 Km.

4.1 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

La metodologia regionale per la valutazione della pericolosità sismica locale, prevede tre livelli di approfondimento.

I primi 2 livelli di approfondimento, per le zone sismiche 3 come il Comune di Berzo Inferiore, sono obbligatori in fase di pianificazione dopo avere recepito la D.g.r. 11 luglio 2014, mentre il 3° livello è richiesto in particolari casistiche.

I livelli previsti sono i seguenti:

- 1° livello: è una fase prettamente qualitativa che si basa sulle considerazioni dirette degli effetti dei terremoti e prevede l'individuazione partendo dalla carta geologica di una serie di zone possibilmente soggette di amplificazione sismica o in cui possono verificarsi particolari fenomeni in caso di sisma.
- 2° livello: si applica in base alle risultanze del livello 1° ed in relazione alla classificazione sismica del Comune e prevede un approccio semiquantitativo per valutare quali sono gli effetti di amplificazione attesi.
- 3° livello: è un approccio quantitativo e corrisponde ad un'analisi di risposta sismica locale, si effettua nelle seguenti situazioni:
 - per le aree suscettibili di amplificazioni sismiche (Z3 e Z4) che sono caratterizzate da un valore F_a (fattore di amplificazione) superiore al valore soglia corrispondente così come ricavato dall'applicazione del 2° livello.
 - per aree caratterizzate da effetti di instabilità (Z1b e Z1c)
 - per aree caratterizzate da cedimenti e/o liquefazione (Z2)
 - per aree caratterizzate da contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (Z5)
 - per la progettazione di edifici strategici-rilevanti

La norma prevede visto che il Comune di Berzo Inferiore è in classe sismica 3, in fase di pianificazione, l'obbligo del 1° livello con la redazione della carta della pericolosità sismica locale (effettuata già nel precedente aggiornamento del PGT), nonché il compito di questo aggiornamento assolvere l'obbligo delle analisi del 2° livello per gli scenari Z3 e Z4 per le aree edificate ed edificabili, con la sola esclusione delle aree già inedificabili per altri motivi.

Nel territorio del Comune di Berzo Inferiore sono stati individuati, con lo studio di 1° livello, alcuni scenari di possibili amplificazioni sismiche: è quindi necessario procedere agli approfondimenti di 2° livello, sulla base di quanto emerso. Si ricorda infatti che la carta della pericolosità sismica locale rappresenta, secondo le procedure da adottare, il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento che dovranno essere applicati in relazione all'utilizzo delle aree.

La carta della pericolosità sismica locale permette anche l'assegnazione diretta della classe di pericolosità e dei successivi livelli di approfondimento necessari:

SIGLA	SCENARIO PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	CLASSE DI PERICOLOSITÀ SISMICA
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	H3
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	H2 – livello di approfondimento 3°
Z1c	Zona potenzialmente franosa esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	H2 – livello di approfondimento 3°
Z3a	Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	H2 – livello di approfondimento 2°
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	H2 – livello di approfondimento 2°
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	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	H2 – livello di approfondimento 3°

Il 2° livello prevede la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione (zone Z3 e Z4), di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici. Per il Comune di Berzo Inferiore, che ricade in zona sismica 3, l'analisi di secondo livello è obbligatoria per gli scenari Z3 e Z4 per le aree edificate ed edificabili.

Gli approfondimenti da eseguire sono quindi di due differenti tipi: morfologici e litologici.

Per quanto riguarda le verifiche morfologiche (Z3a e Z3b) si valutano, rapportando le sezioni topografiche alle tabelle ed ai grafici che Regione Lombardia, mette a disposizione.

Per quanto riguarda gli aspetti litologici (Z4a), per poter effettuare le verifiche con le schede predisposte dalla Regione Lombardia è necessaria una conoscenza corretta del sottosuolo oltre che in termini litologici, anche in termini di Velocità delle onde di superficie (V_s) e di struttura geologica. Per l'adeguamento alle norme, a supporto dell'analisi di 2° livello, sono state eseguite 3 indagini geofisiche specifiche, per 3 zone del territorio comunale, al fine di acquisire i dati ed i parametri necessari.

4.2 ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA DI 2° LIVELLO

Per gli scenari Z4a, Z4b, Z4c, Z4d evidenziati nel territorio di Berzo Inferiore, interferenti con l'edificato, la normativa prevede l'applicazione del 2° livello di approfondimento per le aree urbanizzate e di possibile espansione.

Di seguito si illustrano, in dettaglio, le analisi eseguite, le procedure adottate, le scelte effettuate ed i risultati delle stesse.

4.3 EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA

Gli effetti di amplificazione litologica avvengono in presenza dei depositi quaternari, nello specifico vediamo con quali depositi:

Z4a	Zona di fondovalle e di pianura 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	

Tabella 5. Elenco scenari pericolosità sismica locale

Nel territorio di Berzo Inferiore, in accordo con l'amministrazione comunale sono state effettuate 3 analisi sismiche per l'individuazione delle onde di superficie (Vs) e sono state distribuite in modo da avere la maggior rappresentatività del Comune.

Le indagini sismiche realizzate sono state di tipo MASW e le ubicazioni sono state richieste dall'Ufficio tecnico, cercando di mappare al meglio il comune.

Nell'immagine sottostante possiamo notare le aree di Berzo Inferiore dove sono state effettuate le indagini sismiche, mentre in successione si dettaglierà ogni singola analisi.

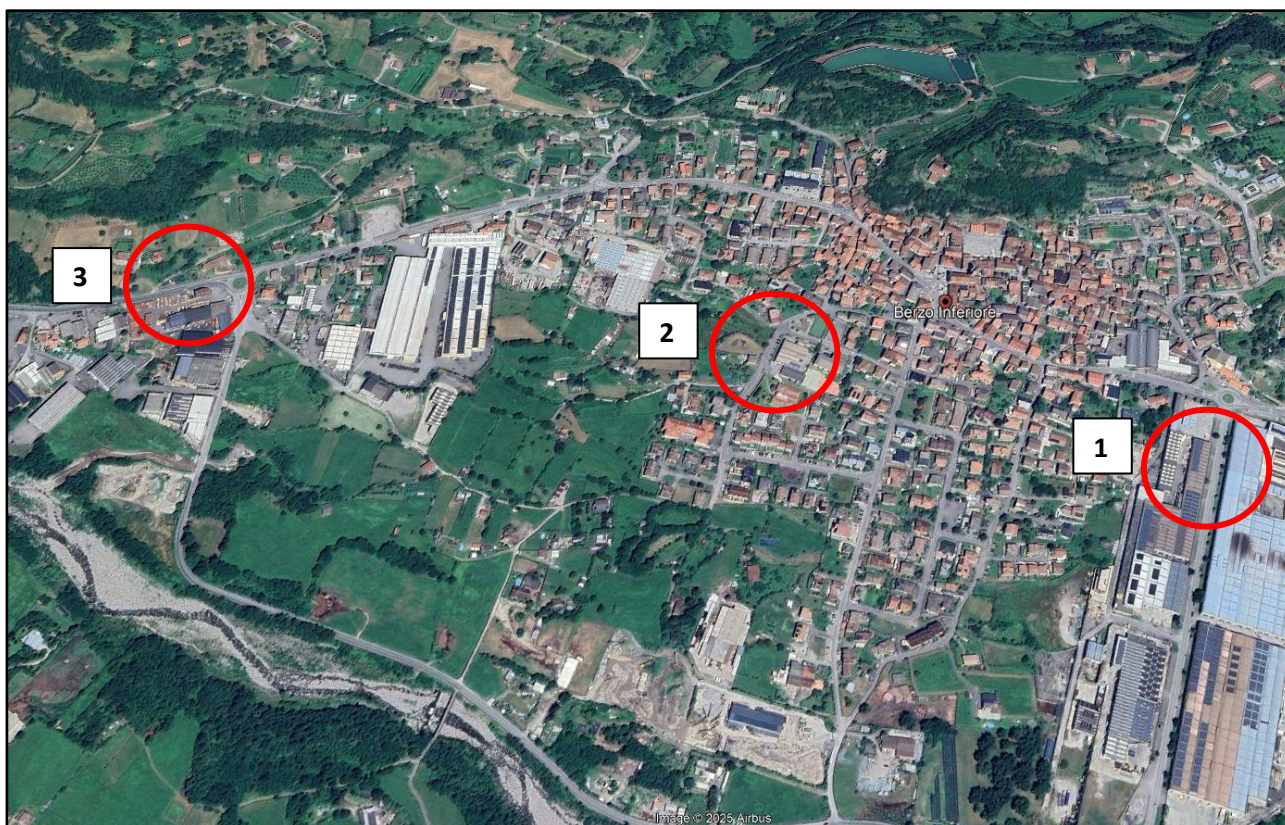


Figura 4. Ubicazione delle aree dove sono state eseguite MASW nel Comune di Berzo Inferiore

4.3.1 METODO “MASW”

Il metodo MASW “Multichannel Analysis of Surface Waves” è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio VS, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori, geofoni posti sulla superficie del suolo. Le onde di superficie sono due: quelle di Rayleigh e quelle di Love, sono dette superficiali perché la loro ampiezza decrementa in modo esponenziale con la profondità e la loro propagazione interessa quindi un limitato spessore di superficie, rispetto le onde di corpo la loro ampiezza è notevolmente maggiore e per questo motivo tipicamente dominano qualsiasi dataset sismico.

Le onde di Rayleigh si muovono su un piano radiale secondo un moto detto retrogrado, l'andamento del moto indica che queste onde hanno sia una componente verticale che una componente orizzontale radiale. Le onde di Love si muovono solamente sul piano orizzontale con un'oscillazione la cui direzione è perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere uno spettro delle velocità di fase sperimentale, che fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30-50 m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

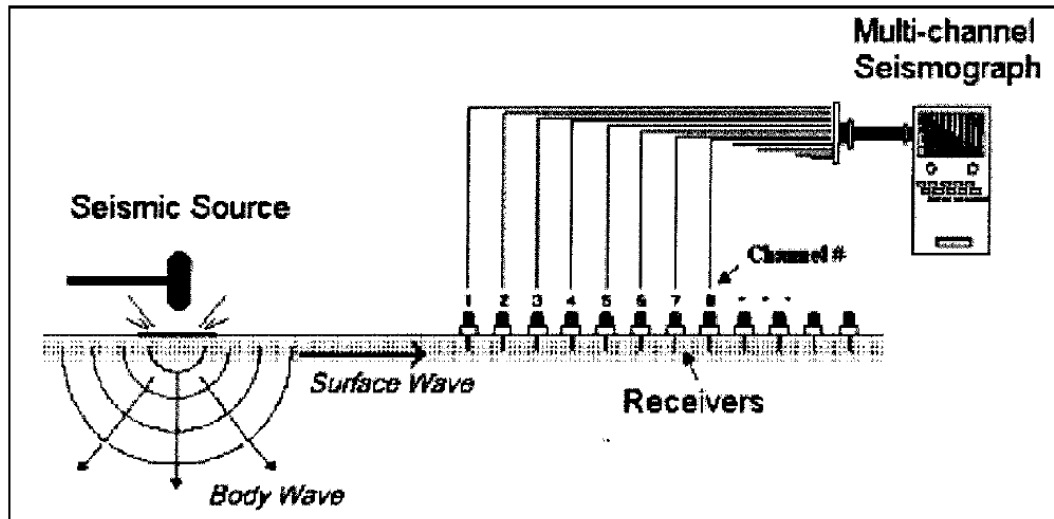


Figura 5. Schema stendimento sismico MASW

La Normativa antisismica (Ordinanza n° 3274 e N.T.C. 2008) ha introdotto la classificazione dei terreni secondo la velocità delle Onde di taglio “Onde S” con precisione il fattore discriminante è il Vs30. Il parametro Vs30 rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S nei primi 30 metri di profondità ed è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Dove h_i è lo spessore dello strato i -esimo

V_i è la velocità dello strato i -esimo

Attualmente con le nuove N.T.C. 2018 è stato introdotto il concetto di Vs equivalente (VsE):

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

in cui la profondità H è quella a cui la velocità V_S è pari o superiore a 800 m/s (bedrock sismico).

Si tratta in pratica di una variazione sul tema rispetto al parametro Vs30, in quel caso il valore di H era ed è fissato a 30 m. Di fatto se il bedrock sismico è più profondo di 30 m dal piano di fondazione la Vs equivalente è uguale alla Vs30.

4.3.1A STENDIMENTO MASW 1



Figura 6. Ubicazione stendimento MASW 1

L'acquisizione di campagna è stata condotta con il sismografo Pasi 16S24-U, con geofoni verticali e orizzontali di 4,5 Hz spaziatati di 5 m con offset a 10 m, l'energizzazione è costituita da una mazza del peso di 10 Kg.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (MASW), sono stati acquisiti 3 dataset differenti, tramite altrettante modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)
 - 12 geofoni verticali da 4,5 Hz
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio
- Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)
 - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono parallelo allo stendimento
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio
- Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)
 - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono perpendicolare allo stendimento
 - Energizzazione orizzontale su traversina in legno

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW 2024 Academy. Nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF o RVF), per le Onde di Love (THF). Una volta individuati sono stati determinati gli spettri di velocità per ogni

dataset, a questo punto dopo svariate elaborazioni si è scelta l'analisi congiunta migliore tra le combinazioni (ZVF-THF) o (RVF-THF). Scelta la combinazione per l'elaborazione da utilizzare è stata effettuata una modellazione congiunta, utilizzata come modello per lanciare l'inversione con l'utilizzo del fronte di Pareto per la validazione dell'interpretazione dei dati. La combinazione utilizzata è stata (ZVF-THF).

MASW 1

Stendimento: 65 metri Offset 10 metri Durata acquisizione 1024 ms Campionamento 1 ms

SPETTRI DI VELOCITÀ

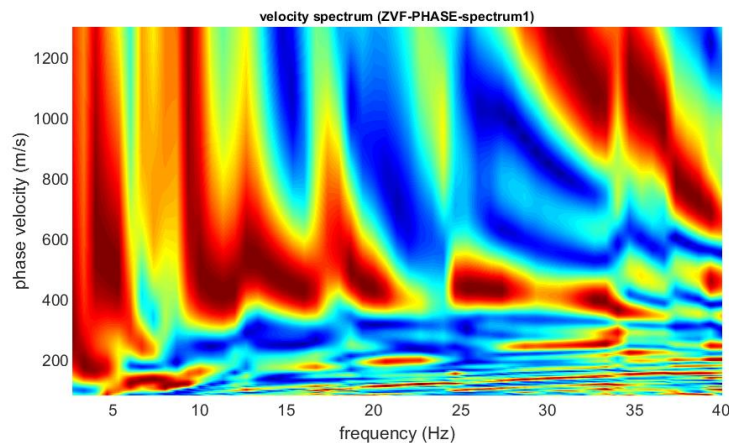


Figura 7. Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)

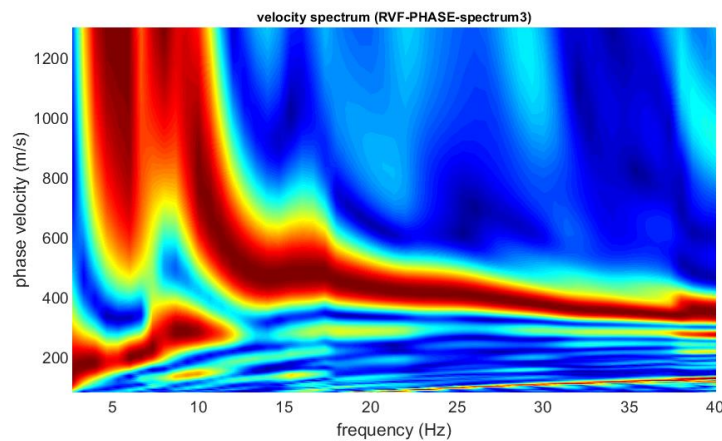


Figura 8. Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)

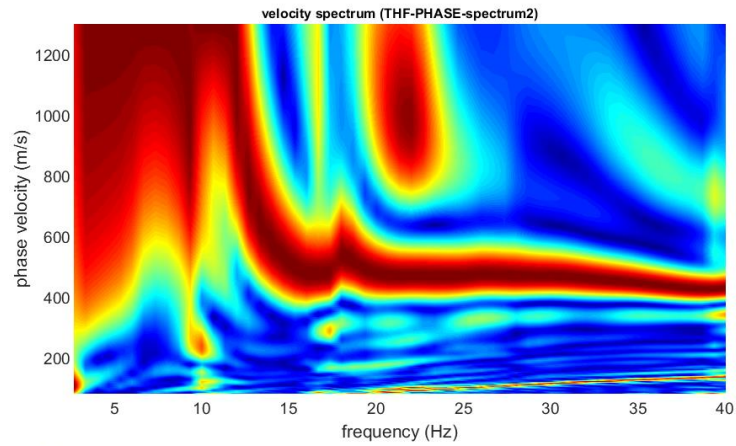


Figura 9. Spetto di velocità, Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)

ANALISI CONGIUNTA ONDE RAYLEIGH E LOVE

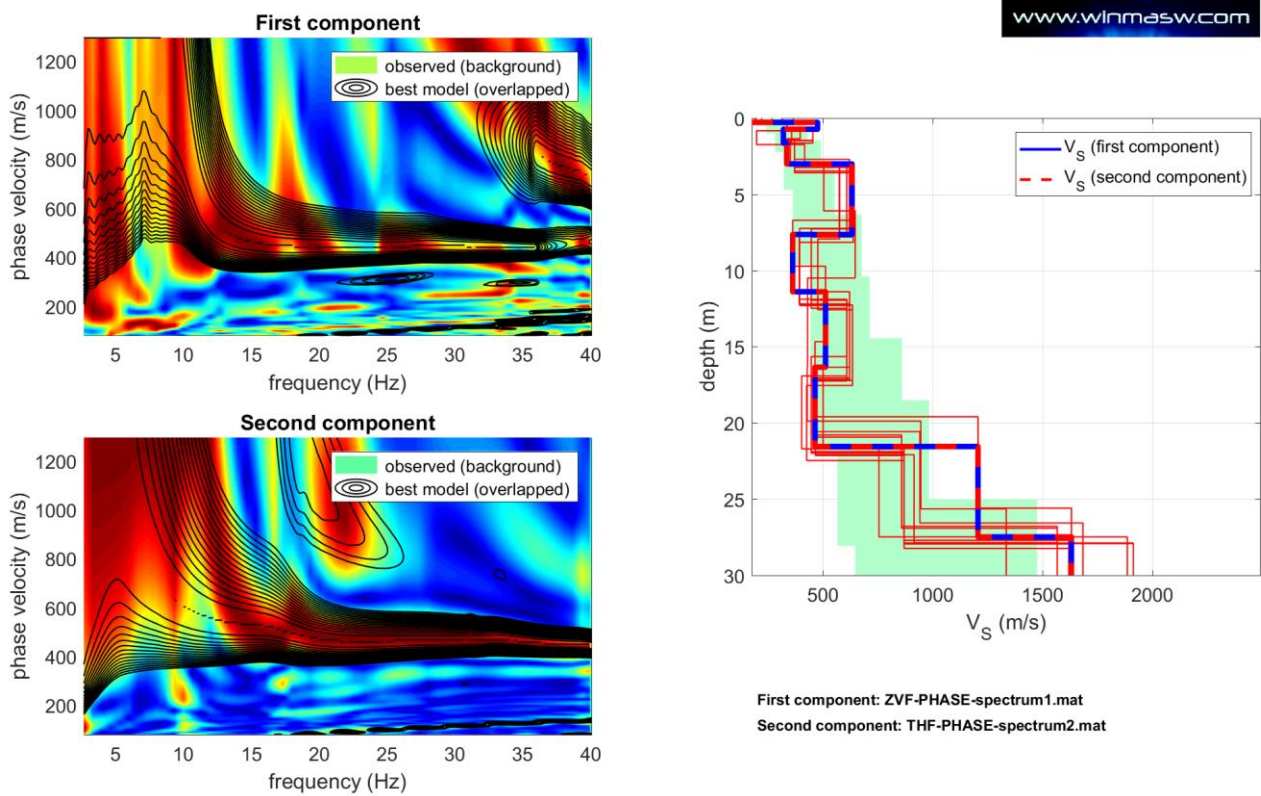


Figura 10. Inversione congiunta Full velocity spectral Rayleigh e Love

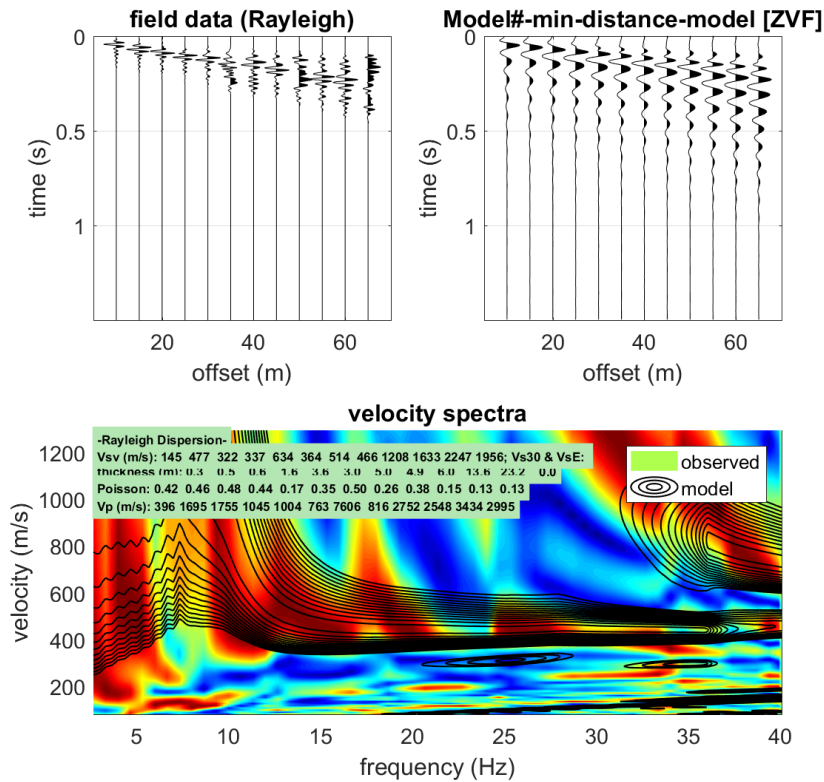


Figura 11. Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Rayleigh

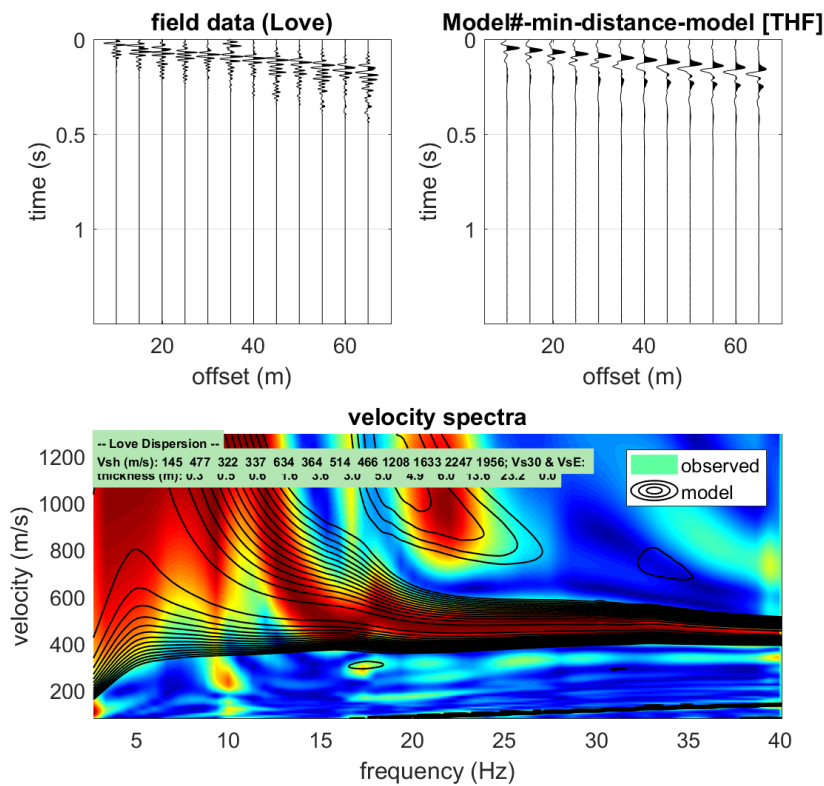


Figura 12. Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Love

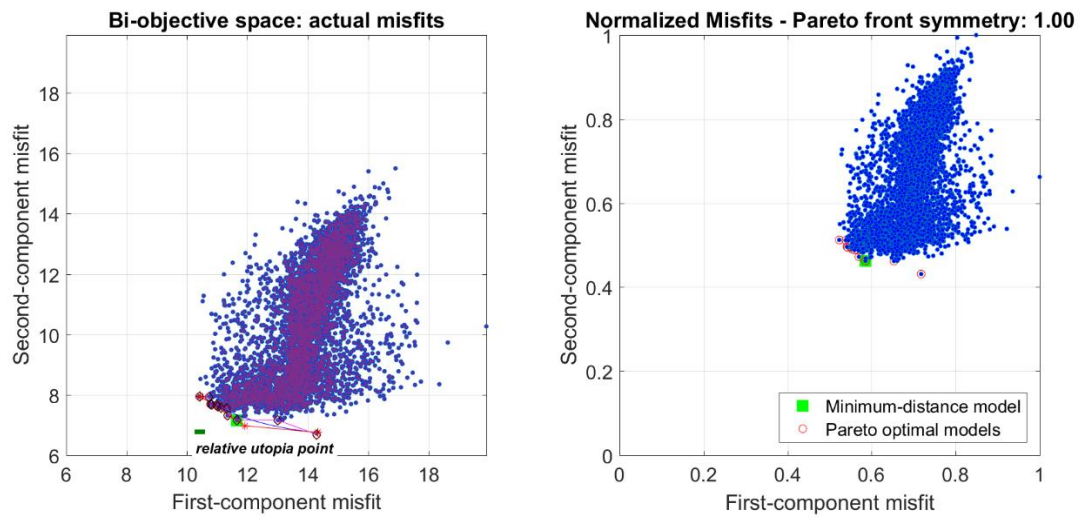


Figura 13. Diagramma distribuzione pareto ed errori attuale

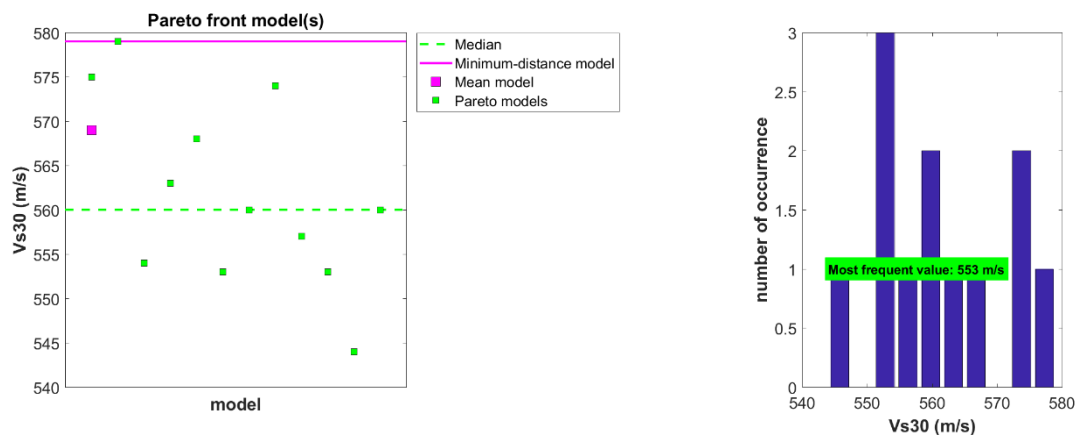


Figura 14. Correlazione Vs30 median, minimum-distance model, mean model, pareto models

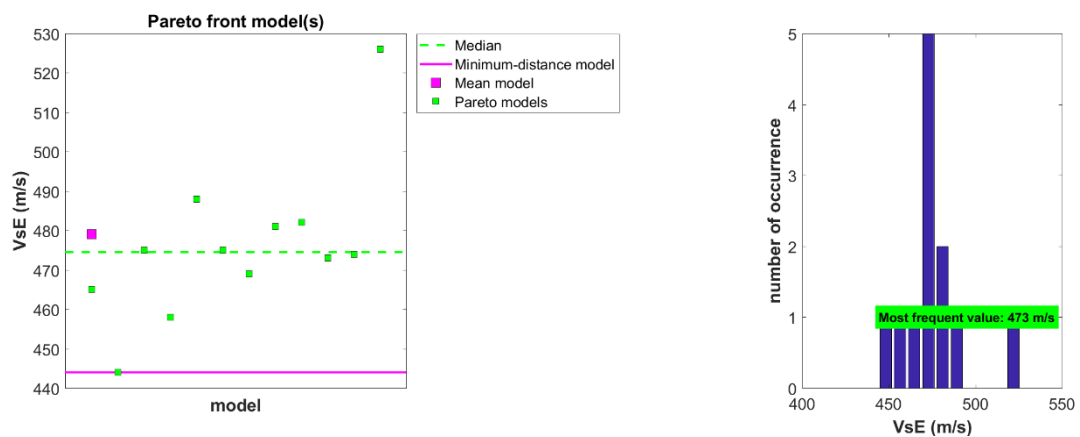


Figura 15. Correlazione VsE median, minimum-distance model, mean model, pareto models

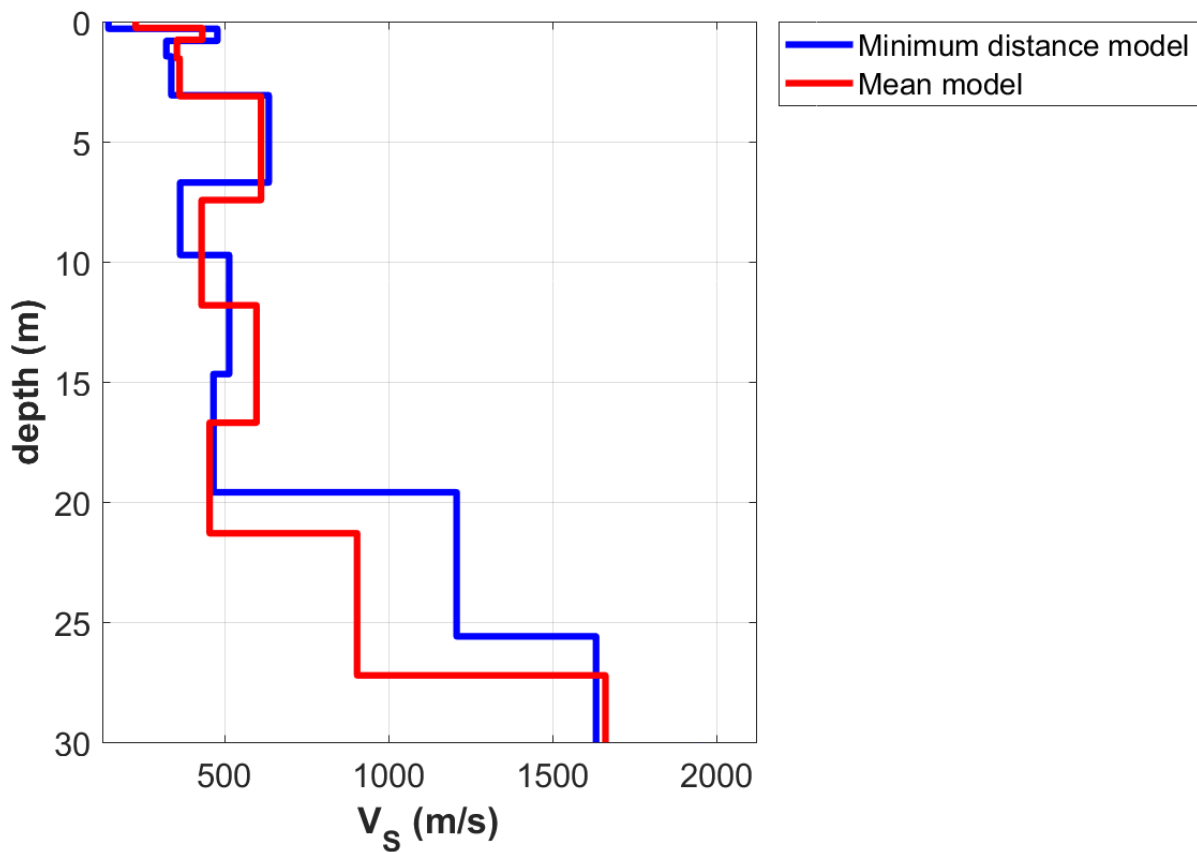


Figura 16. Profilo VS

Dati Mean Model

228	0.3	0.3
432	0.5	0.8
354	0.8	1.6
362	1.6	3.2
611	4.3	7.5
429	4.4	11.9
597	4.9	16.8
454	4.6	21.4
904	5.9	27.3
1662	14.6	41.9
2307	23.6	65.5
2824		

Dati Best Model

145	0.3	0.3
477	0.5	0.8
322	0.6	1.4
337	1.6	3.0
634	3.6	6.6
364	3.0	9.6
514	5.0	14.6
466	4.9	19.5
1208	6.0	25.5
1633	13.6	39.1
2247	23.2	62.3
1956		

Tabella 6. Dati modello medio e modello migliori

Minimum Vs30 (m/s): 544

Maximum Vs30 (m/s): 579

Minimum VsE (m/s): 444

Maximum VsE (m/s): 526

Best model:

Vs (m/s): 145, 477, 322, 337, 634, 364, 514, 466, 1208, 1633, 2247, 1956

Vs30 (m/s): 579

VsE (m/s): 444

Thickness (m): 0.3, 0.5, 0.6, 1.6, 3.6, 3.0, 5.0, 4.9, 6.0, 13.6, 23.2

Mean model: (Modello utilizzato per il II livello sismico)

Vs (m/s): 228, 432, 354, 362, 611, 429, 597, 454, 904, 1662, 2307, 2824

Vs30 (m/s): 553

VsE (m/s): 473

Thickness (m): 0.3, 0.5, 0.8, 1.6, 4.3, 4.4, 4.9, 4.6, 5.9, 14.6, 23.6

VERIFICA ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO

La verifica di secondo livello è stata effettuata considerando sia l'intervallo di periodo tra 0.1-0.5 s per strutture relativamente basse e regolari, che per l'intervallo di periodo tra 0.5-1.5 s per strutture alte e strette. Adesso verificheremo il fattore di amplificazione (F_a) in base al modello medio "mean" individuato con la MASW nel paragrafo precedente. Prima di tutto calcoliamo 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 V_s è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)} = \boxed{T = 0,05s}$$

ove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del modello.

Per trovare il fattore di amplificazione (F_a) è stata scelta la scheda litologia ghiaiosa, in base alle condizioni geologiche locali, che si può vedere nella figura sottostante.

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA GHIAIOSA

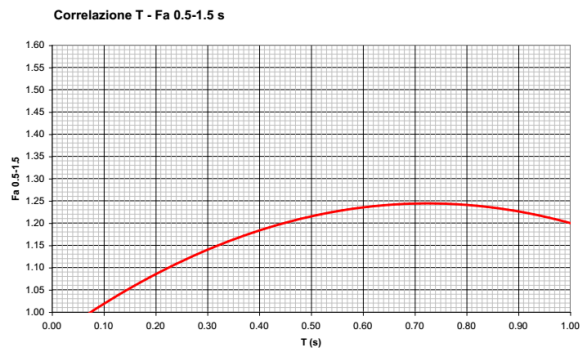
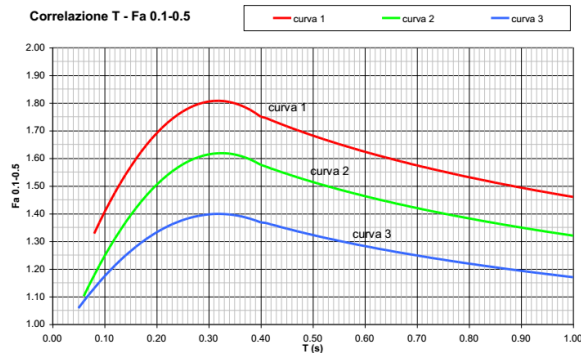
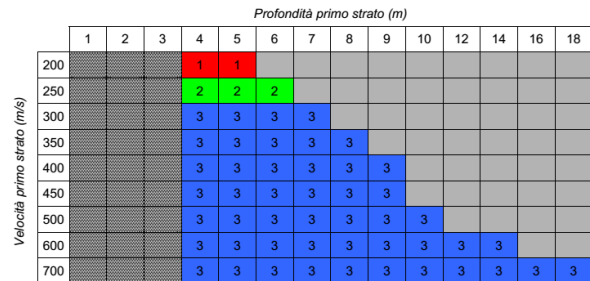
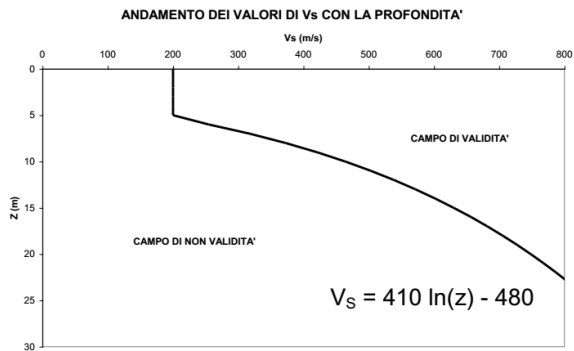
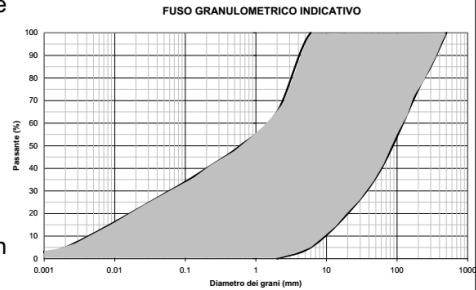
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

Da ghiaie e ciottoli con blocchi a ghiaie e sabbie limose debolmente argillose passando per ghiaie con sabbie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie con limo debolmente sabbiose e sabbie con ghiaie

NOTE:

Comportamento granulare
Struttura granulo-sostenuta
Frazione ghiaiosa superiore al 35%
Frequenti clasti con $D_{max} > 20$ cm
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 65%
Matrice limoso - argillosa fino ad un massimo del 30% con frazione argillosa subordinata (fino al 5%)
Presenza di eventuali trovanti con $D > 50$ cm
Presenza di eventuali orizzonti localmente cementati



$$Fa_{0.5-1.5} = -0.58T^2 + 0.84T + 0.94$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -8.5T^2 + 5.4T + 0.95$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.46 - 0.32\ln T$
2	$0.06 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -7.4T^2 + 4.8T + 0.84$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.32 - 0.28\ln T$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -4.7T^2 + 3.0T + 0.92$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.17 - 0.22\ln T$

Figura 17. Scheda litologia ghiaiosa

Nella scheda litologia ghiaiosa sono stati considerati i primi 5 sismostrati come un unico strato di 7,5 metri ~ 8 metri con una velocità media di 500 m/s. Per l'intervallo di periodo 0.1 - 0.5 è stata utilizzata la formula della curva 3 blu mentre per l'intervallo di periodo 0.5 - 1.5 l'unica formula disponibile.

Fa $0.1-0.5 = 1,06 \leq 1.4$ (soglia B)

Fa $0.5-1.5 = 1,00 < 1.7$ (soglia B)

Valori Soglia Comunali	Intervallo di periodo	Categoria di Suolo B	Categoria di Suolo C	Categoria di Suolo D	Categoria di Suolo E
Berzo Inferiore	0.1 – 0.5	1.4	1.8	2.2	1.9
Berzo Inferiore	0.5 – 1.5	1.7	2.4	4.1	3.0

La **velocità delle onde equivalente (VsE)** è uguale a **473 m/s**. Valutando le amplificazioni litologiche di sito e il fattore di amplificazione otteniamo che sia **per l'intervallo di periodo 0.1-0.5 che per l'intervallo di periodo 0.5-1.5** la classe di suolo è **corrispondente alla categoria B**.

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

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

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

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

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

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

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

4.3.1B STENDIMENTO MASW 2



Figura 18. Ubicazione stendimento MASW 2

L'acquisizione di campagna è stata condotta con il sismografo Pasi 16S24-U, con geofoni verticali e orizzontali di 4,5 Hz spaziatati di 3 m con offset a 10 m, l'energizzazione è costituita da una mazza del peso di 10 Kg.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (MASW), sono stati acquisiti 3 dataset differenti, tramite altrettante modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)
 - 12 geofoni verticali da 4,5 Hz
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio
- Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)
 - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono parallelo allo stendimento
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio
- Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)
 - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono perpendicolare allo stendimento
 - Energizzazione orizzontale su traversina in legno

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW 2024 Academy. Nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF o RVF), per le Onde di Love (THF). Una volta individuati sono stati determinati gli spettri di velocità per ogni dataset, a questo punto dopo svariate elaborazioni si è scelta l'analisi congiunta migliore tra le combinazioni (ZVF-THF) o (RVF-THF). Scelta la combinazione per l'elaborazione da utilizzare è stata effettuata una modellazione congiunta, utilizzata come modello per lanciare l'inversione con l'utilizzo del fronte di Pareto per la validazione dell'interpretazione dei dati. La combinazione utilizzata è stata **(RVF-THF)**.

MASW 2

Stendimento: 43 metri Offset 10 metri Durata acquisizione 1024 ms Campionamento 1 ms

SPETTRI DI VELOCITÀ

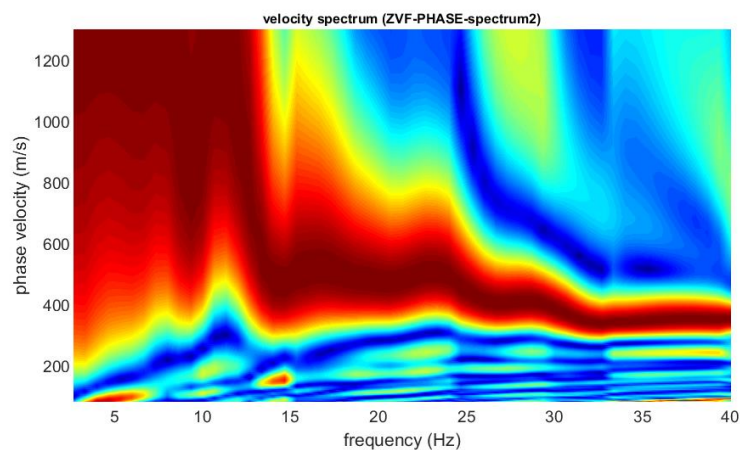


Figura 19. Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)

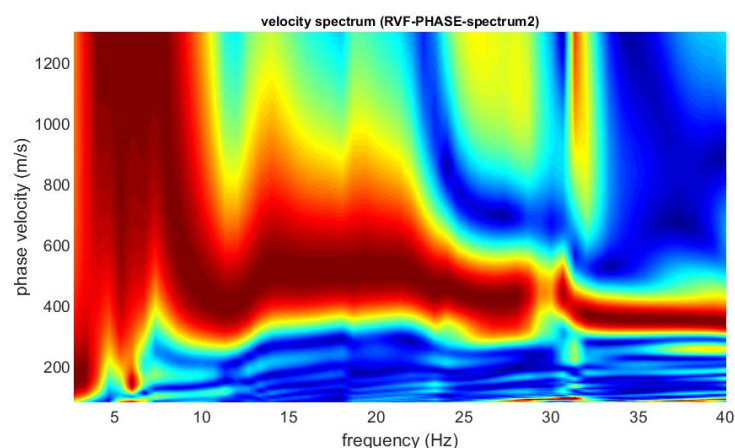


Figura 20. Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)

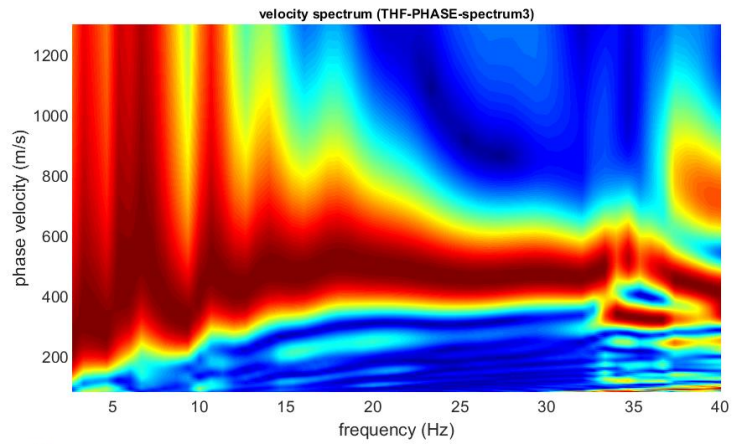


Figura 21. Spettro di velocità, Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)

ANALISI CONGIUNTA ONDE RAYLEIGH E LOVE

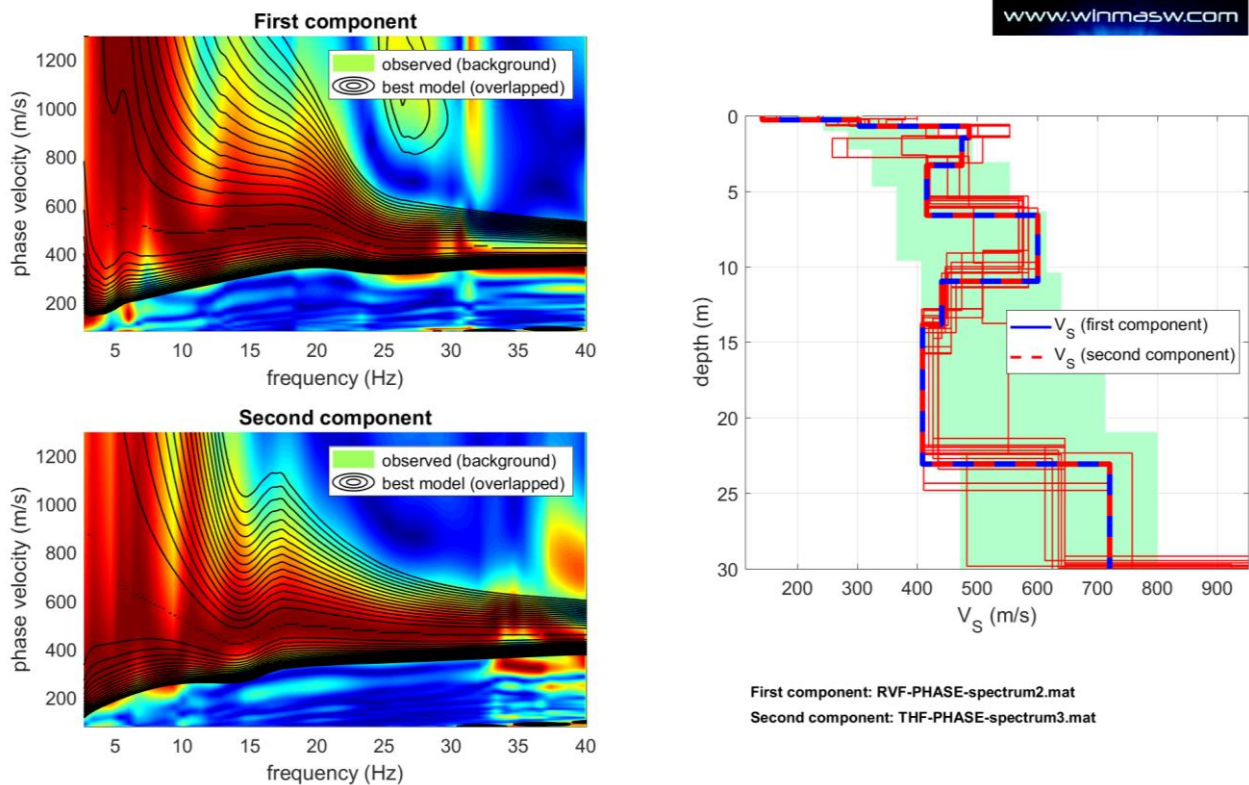


Figura 22. Inversione congiunta Full velocity spectral Rayleigh e Love

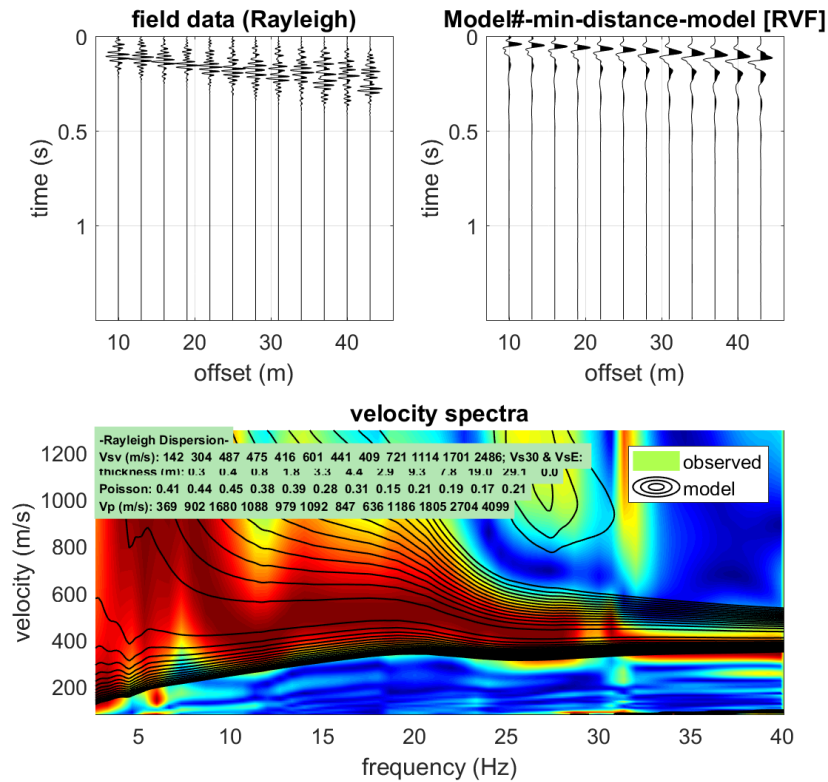


Figura 23. Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Rayleigh

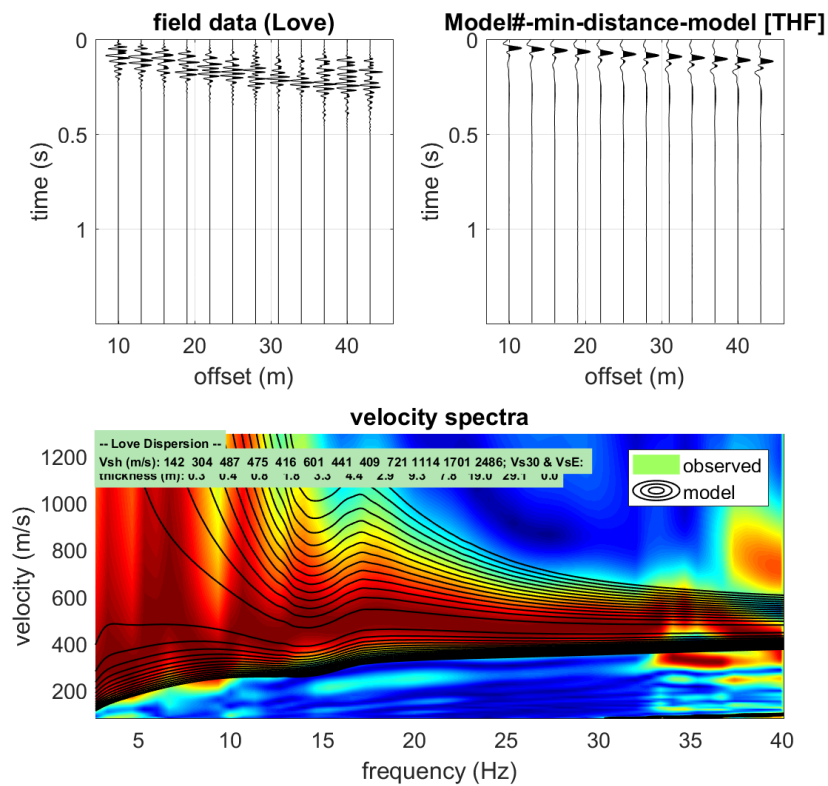


Figura 24. Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Love

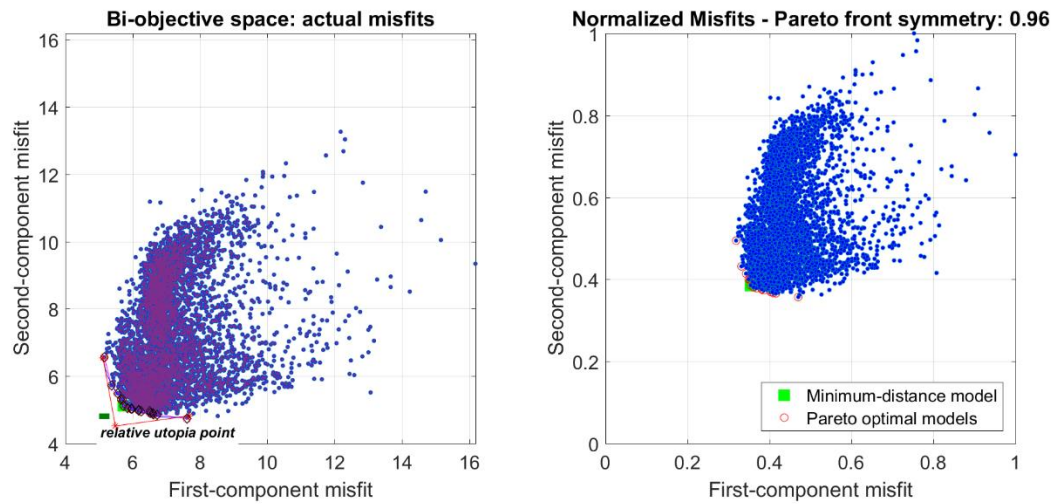


Figura 25. Diagramma distribuzione pareto ed errori attuale

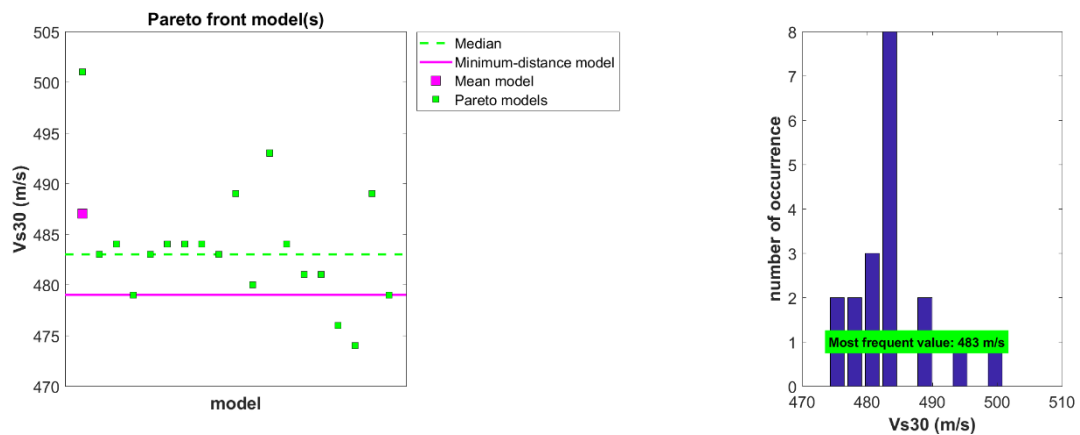


Figura 26. Correlazione Vs30 median, minimum-distance model, mean model, pareto models

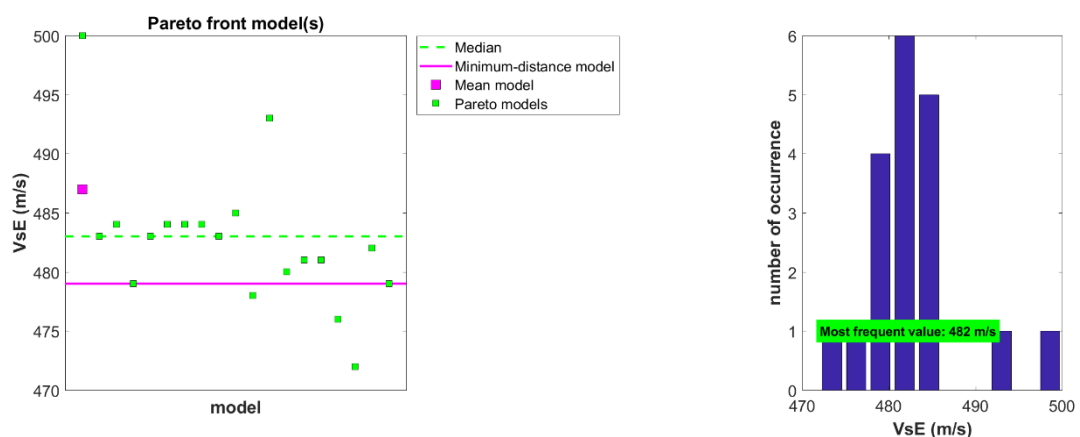


Figura 27. Correlazione VsE median, minimum-distance model, mean model, pareto models

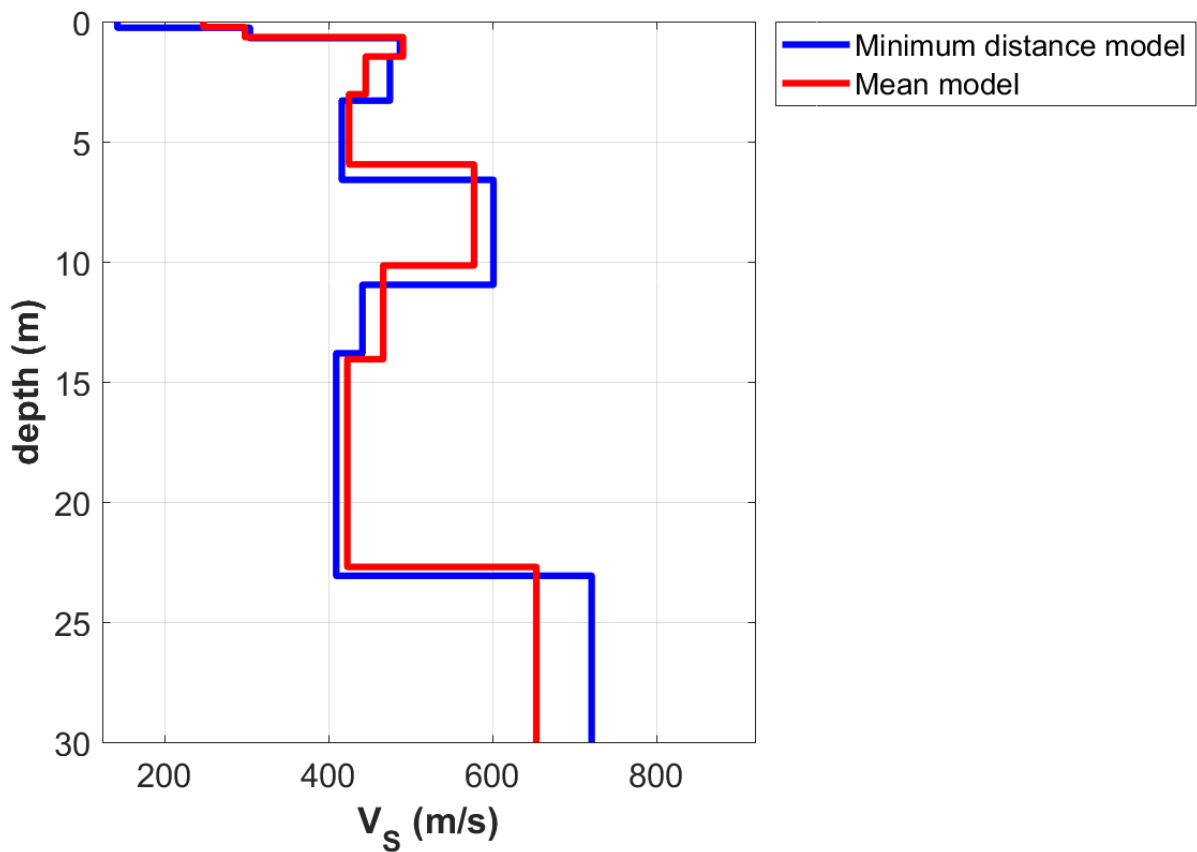


Figura 28. Profilo VS

Dati Mean Model

247	0.2	0.2
298	0.4	0.6
491	0.8	1.4
445	1.6	3.0
425	2.9	5.6
577	4.2	9.8
466	3.9	13.7
423	8.6	22.3
653	7.7	30.0
1096	17.3	47.3
1775	26.0	73.3
2707		

Dati Best Model

142	0.3	0.3
304	0.4	0.7
487	0.8	1.5
475	1.8	3.3
416	3.3	6.6
601	4.4	11.0
441	2.9	13.9
409	9.3	23.2
721	7.8	31.0
1114	19.0	50.0
1701	29.1	79.1
2486		

Tabella 7. Dati modello medio e modello migliori

Minimum Vs30 (m/s): 474

Maximum Vs30 (m/s): 501

Minimum VsE (m/s): 472

Maximum VsE (m/s): 500

Best model:

Vs (m/s): 142, 304, 487, 475, 416, 601, 441, 409, 721, 1114, 1701, 2486

Vs30 (m/s): 479

VsE (m/s): 479

Thickness (m): 0.3, 0.4, 0.8, 1.8, 3.3, 4.4, 2.9, 9.3, 7.8, 19.0, 29.1

Mean model: (Modello utilizzato per il II livello sismico)

Vs (m/s): 247, 298, 491, 445, 425, 577, 466, 423, 653, 1096, 1775, 2707

Vs30 (m/s): 483

VsE (m/s): 483

Thickness (m): 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 2.9, 4.2, 3.9, 8.6, 7.7, 17.3, 26.0

VERIFICA ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO

La verifica di secondo livello è stata effettuata considerando sia l'intervallo di periodo tra 0.1-0.5 s per strutture relativamente basse e regolari, che per l'intervallo di periodo tra 0.5-1.5 s per strutture alte e strette.

Adesso verificheremo il fattore di amplificazione (Fa) in base al modello medio “mean” individuato con la MASW nel paragrafo precedente. Prima di tutto calcoliamo 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:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)} = \boxed{T = 0,05 \text{ s}}$$

ove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello.

Per trovare il fattore di amplificazione (Fa) è stata scelta la scheda litologia ghiaiosa, in base alle condizioni geologiche locali, che si può vedere nella figura sottostante.

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA GHIAIOSA

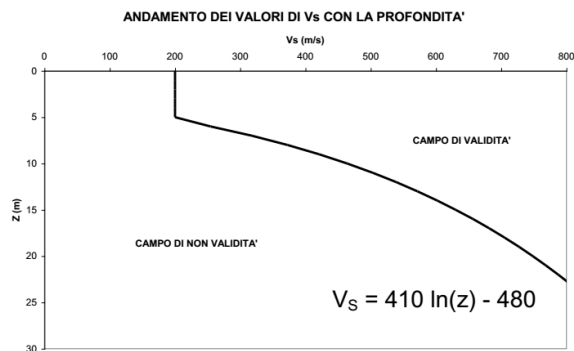
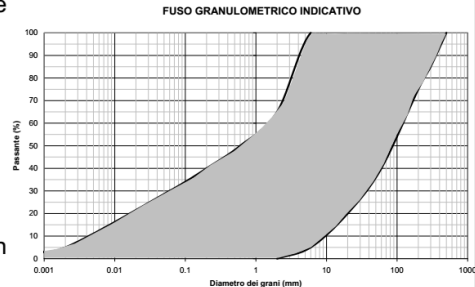
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

Da ghiaie e ciottoli con blocchi a ghiaie e sabbie limose debolmente argillose passando per ghiaie con sabbie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie con limo debolmente sabbiose e sabbie con ghiaie

NOTE:

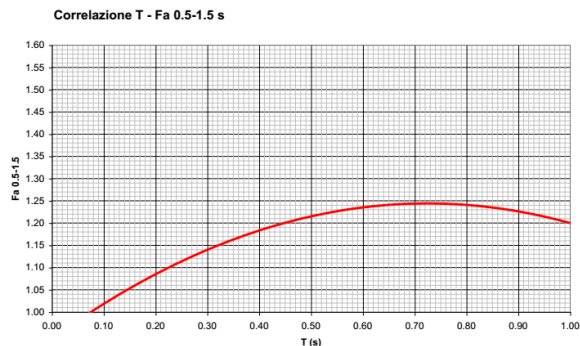
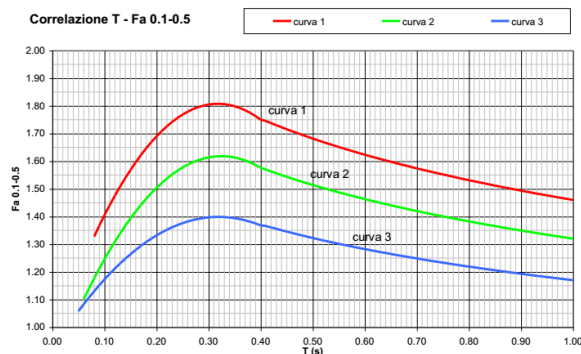
Comportamento granulare
Struttura granulo-sostenuta
Frazione ghiaiosa superiore al 35%
Frequenti clasti con $D_{max} > 20$ cm
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 65%
Matrice limoso - argillosa fino ad un massimo del 30% con frazione argillosa subordinata (fino al 5%)
Presenza di eventuali trovanti con $D > 50$ cm
Presenza di eventuali orizzonti localmente cementati



Profondità primo strato (m)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18
200				1	1									
250				2	2									
300				3	3	3	3							
350				3	3	3	3	3						
400				3	3	3	3	3	3					
450				3	3	3	3	3	3					
500				3	3	3	3	3	3	3				
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3		
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Velocità primo strato (m/s)



$$Fa_{0.5-1.5} = -0.58T^2 + 0.84T + 0.94$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -8.5T^2 + 5.4T + 0.95$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.46 - 0.32\ln T$
2	$0.06 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -7.4T^2 + 4.8T + 0.84$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.32 - 0.28\ln T$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -4.7T^2 + 3.0T + 0.92$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.17 - 0.22\ln T$

Figura 29. Scheda litologia ghiaiosa

Nella scheda litologia ghiaiosa sono stati considerati i primi 5 sismostrati come un unico strato di 5,6 metri ~ 6 metri con una velocità media di 350 m/s. Per l'intervallo di periodo 0.1 - 0.5 è stata utilizzata la formula della curva 3 blu mentre per l'intervallo di periodo 0.5 - 1.5 l'unica formula disponibile.

Fa $0.1-0.5 = 1,06 \leq 1.4$ (soglia B)

Fa $0.5-1.5 = 1,00 < 1.7$ (soglia B)

Valori Soglia Comunali	Intervallo di periodo	Categoria di Suolo B	Categoria di Suolo C	Categoria di Suolo D	Categoria di Suolo E
Berzo Inferiore	0.1 – 0.5	1.4	1.8	2.2	1.9
Berzo Inferiore	0.5 – 1.5	1.7	2.4	4.1	3.0

La **velocità delle onde equivalente (VsE)** è uguale a **483 m/s**. Valutando le amplificazioni litologiche di sito e il fattore di amplificazione otteniamo che sia **per l'intervallo di periodo 0.1-0.5 che per l'intervallo di periodo 0.5-1.5** la classe di suolo è **corrispondente alla categoria B**.

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

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

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

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

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

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

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

4.3.1C STENDIMENTO MASW 3



Figura 30. Ubicazione stendimento MASW 3

L'acquisizione di campagna è stata condotta con il sismografo Pasi 16S24-U, con geofoni verticali e orizzontali di 4,5 Hz spazati di 5 m con offset a 10 m, l'energizzazione è costituita da una mazza del peso di 10 Kg.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (MASW), sono stati acquisiti 3 dataset differenti, tramite altrettante modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)
 - 12 geofoni verticali da 4,5 Hz
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio
- Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)
 - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono parallelo allo stendimento
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio
- Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)
 - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono perpendicolare allo stendimento
 - Energizzazione orizzontale su traversina in legno

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW 2024 Academy. Nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF o RVF), per le Onde di Love (THF). Una volta individuati sono stati determinati gli spettri di velocità per ogni dataset, a questo punto dopo svariate elaborazioni si è scelta l'analisi congiunta migliore tra le combinazioni (ZVF-THF) o (RVF-THF). Scelta la combinazione per l'elaborazione da utilizzare è stata effettuata una modellazione congiunta, utilizzata come modello per lanciare l'inversione con l'utilizzo del fronte di Pareto per la validazione dell'interpretazione dei dati. La combinazione utilizzata è stata (ZVF-THF).

MASW 3

Stendimento: 65 metri Offset 10 metri Durata acquisizione 1024 ms Campionamento 1 ms

SPETTRI DI VELOCITÀ

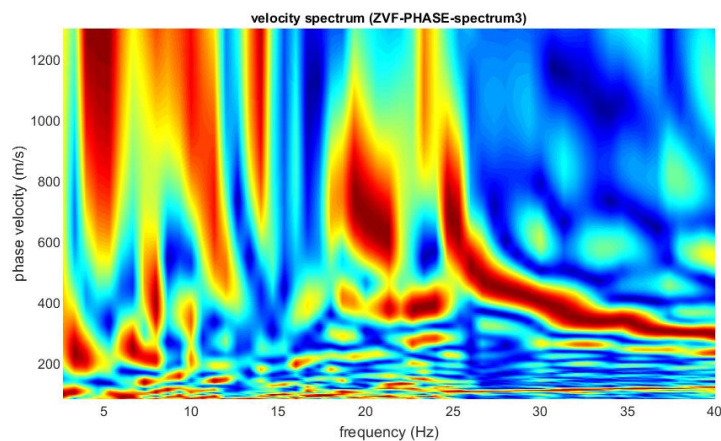


Figura 31. Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)

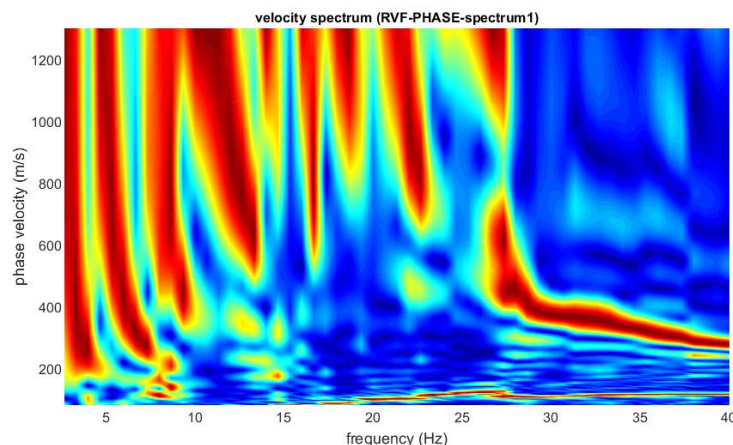


Figura 32. Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)

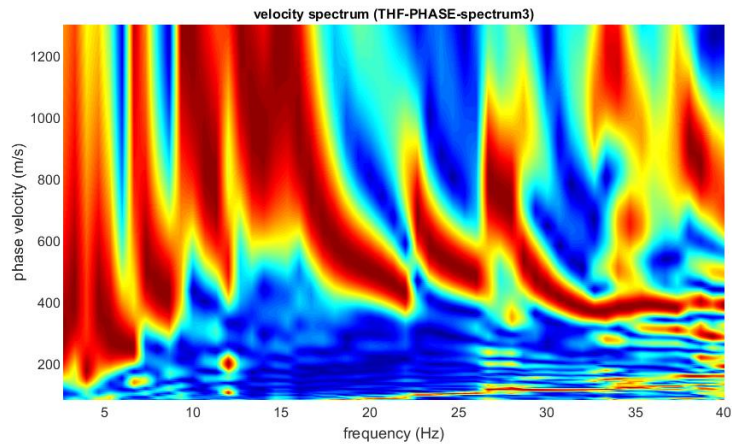


Figura 33. Spettro di velocità, Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)

ANALISI CONGIUNTA ONDE RAYLEIGH E LOVE

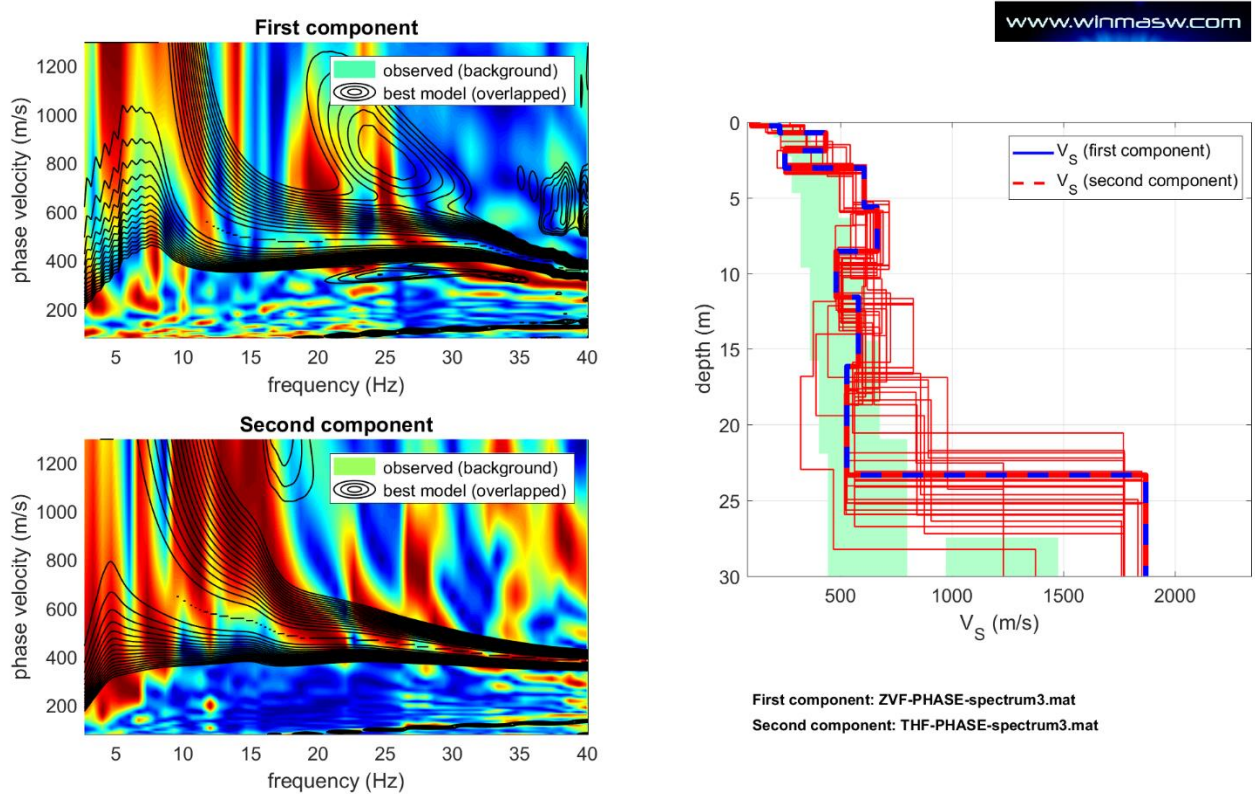


Figura 34. Inversione congiunta Full velocity spectral Rayleigh e Love

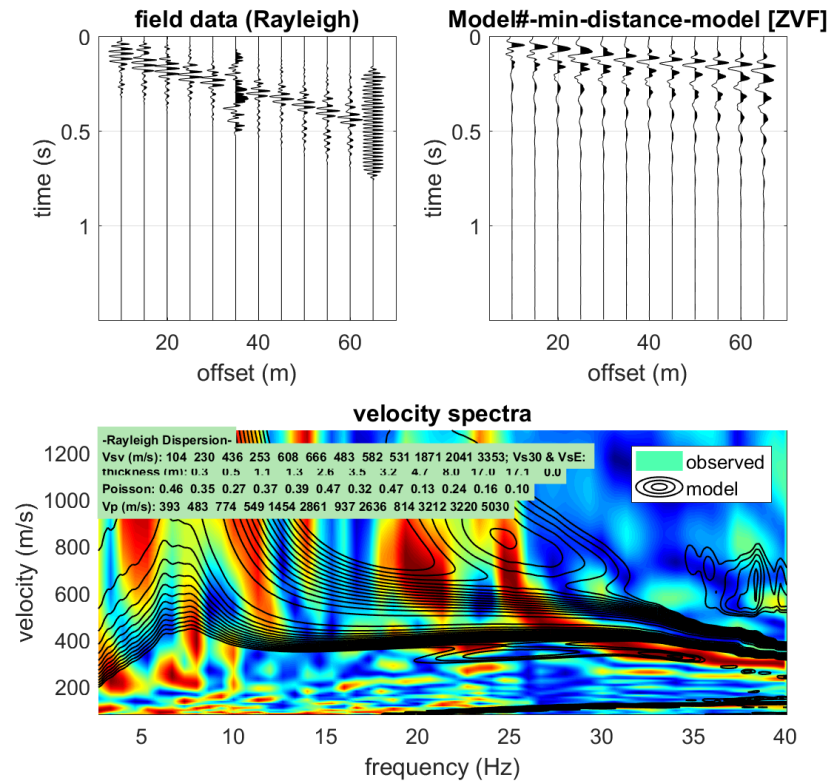


Figura 35. Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Rayleigh

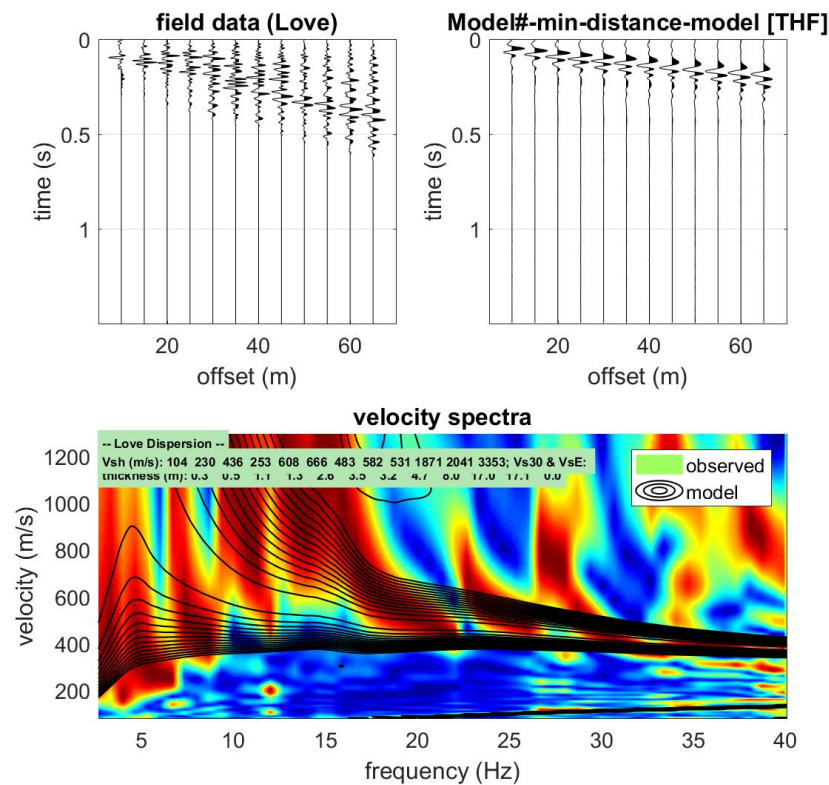


Figura 36. Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Love

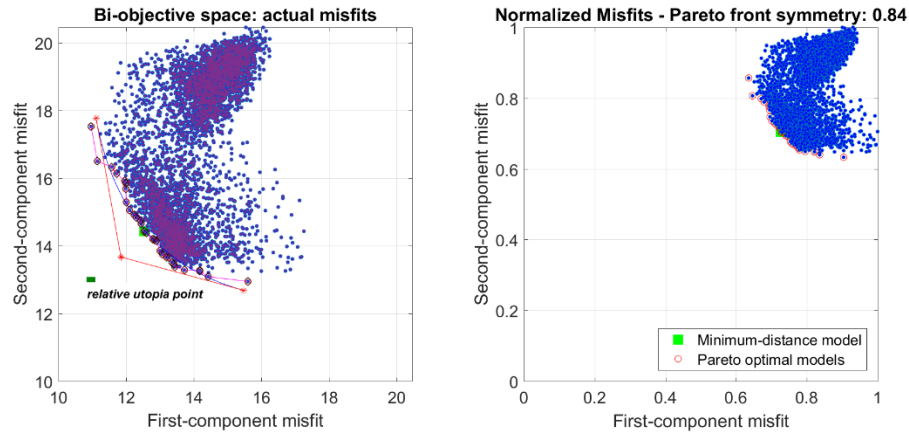


Figura 37. Diagramma distribuzione pareto ed errori attuale

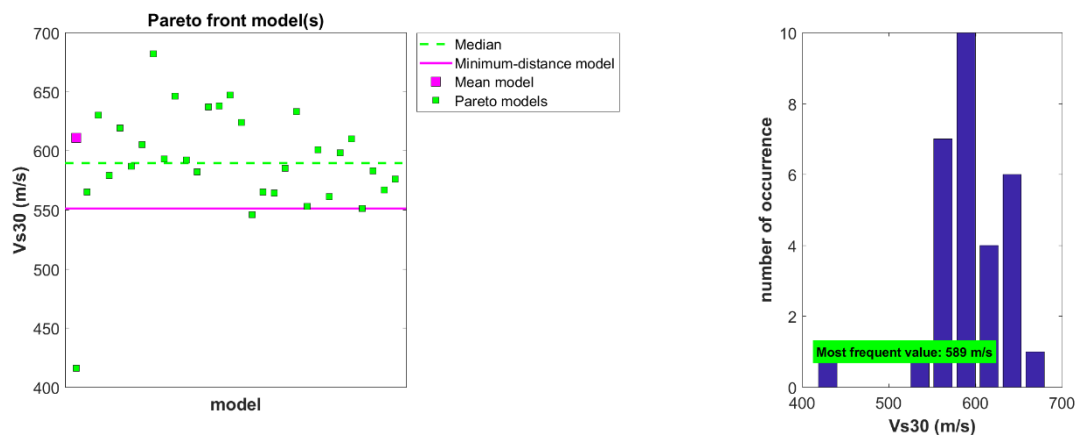


Figura 38. Correlazione Vs30 median, minimum-distance model, mean model, pareto models

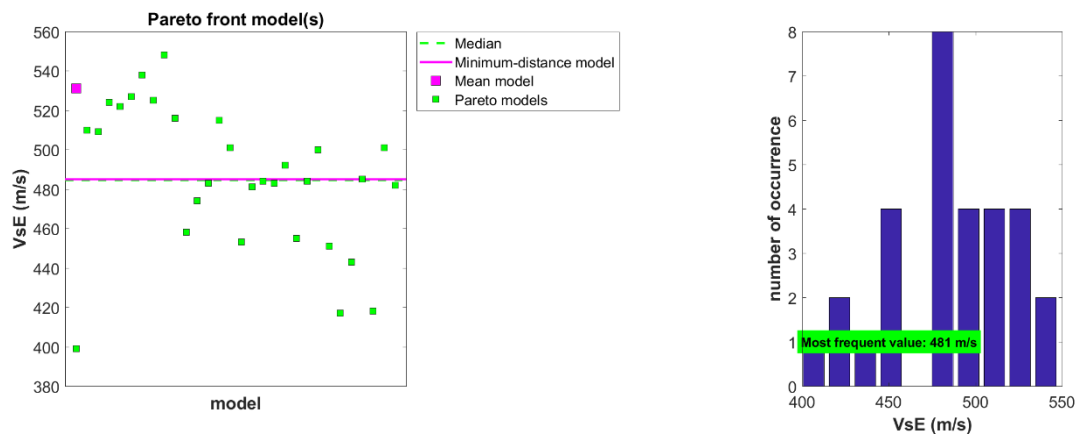


Figura 39. Correlazione VsE median, minimum-distance model, mean model, pareto models

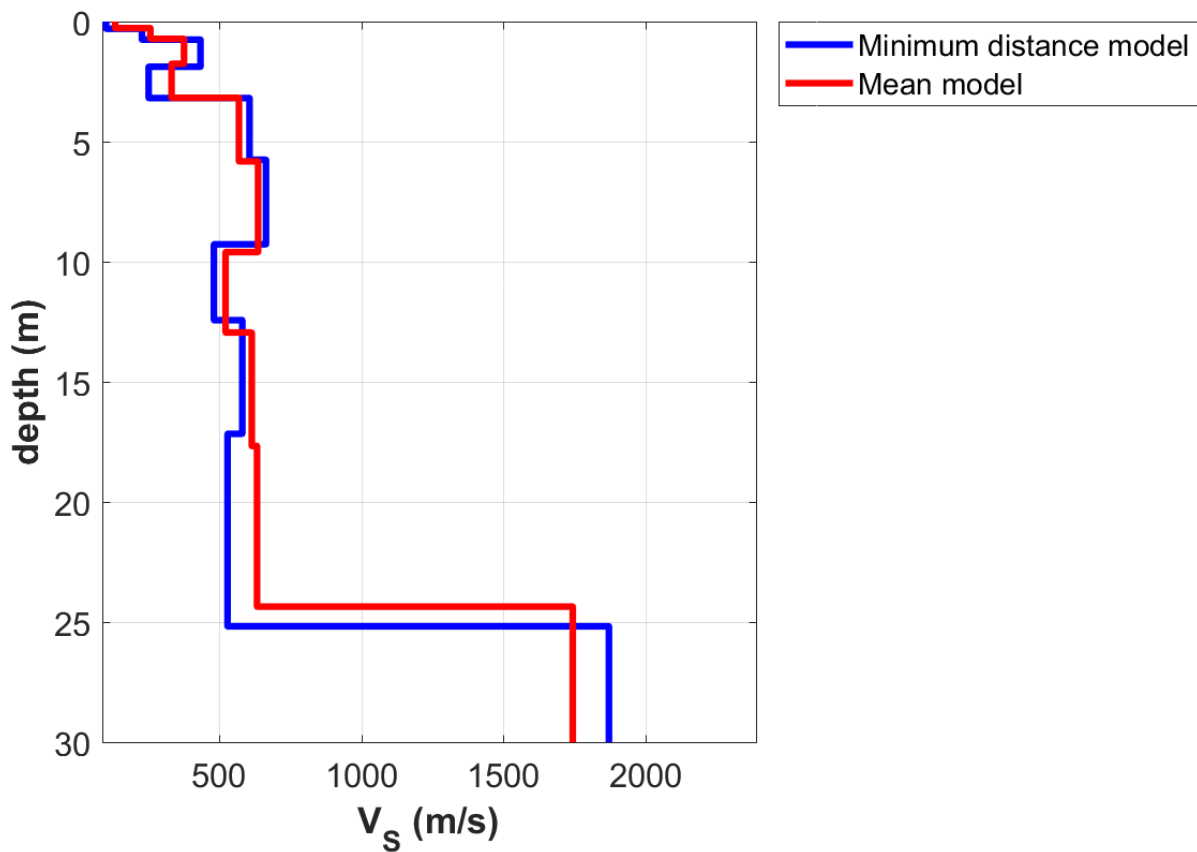


Figura 40. Profilo VS

Dati Mean Model

136	0.3	0.3
259	0.4	0.7
377	1.0	1.7
334	1.4	3.1
571	2.6	5.7
638	3.8	9.5
524	3.4	12.9
616	4.7	17.6
634	6.7	24.3
1743	15.1	39.4
1958	20.8	60.2
3350		

Dati Best Model

104	0.3	0.3
230	0.5	0.8
436	1.1	1.9
253	1.3	3.2
608	2.6	5.8
666	3.5	9.3
483	3.2	12.5
582	4.7	17.2
531	8.0	25.2
1871	17.0	42.2
2041	17.1	59.3
3353		

Tabella 8. Dati modello medio e modello migliori

Minimum Vs30 (m/s): 416

Maximum Vs30 (m/s): 682

Minimum VsE (m/s): 399

Maximum VsE (m/s): 548

Best model:

Vs (m/s): 104, 230, 436, 253, 608, 666, 483, 582, 531, 1871, 2041, 3353

Vs30 (m/s): 551

VsE (m/s): 485

Thickness (m): 0.3, 0.5, 1.1, 1.3, 2.6, 3.5, 3.2, 4.7, 8.0, 17.0, 17.1

Mean model: (Modello utilizzato per il II livello sismico)

Vs (m/s): 136, 259, 377, 334, 571, 638, 524, 616, 634, 1743, 1958, 3350

Vs30 (m/s): 589

VsE (m/s): 481

Thickness (m): 0.3, 0.4, 1.0, 1.4, 2.6, 3.8, 3.4, 4.7, 6.7, 15.1, 20.8

VERIFICA ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO

La verifica di secondo livello è stata effettuata considerando sia l'intervallo di periodo tra 0.1-0.5 s per strutture relativamente basse e regolari, che per l'intervallo di periodo tra 0.5-1.5 s per strutture alte e strette.

Adesso verificheremo il fattore di amplificazione (Fa) in base al modello medio “mean” individuato con la MASW nel paragrafo precedente. Prima di tutto calcoliamo 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:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)} = \boxed{T = 0,05 \text{ s}}$$

ove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello.

Per trovare il fattore di amplificazione (Fa) è stata scelta la scheda litologia ghiaiosa, in base alle condizioni geologiche locali, che si può vedere nella figura sottostante.

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA GHIAIOSA

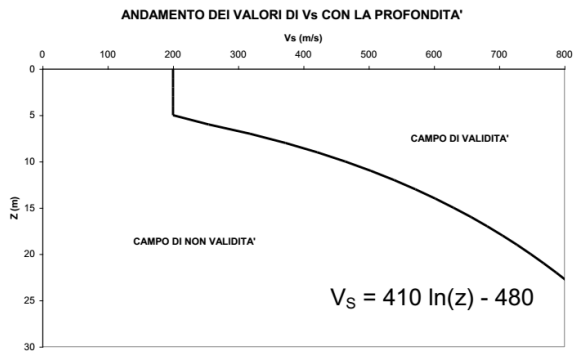
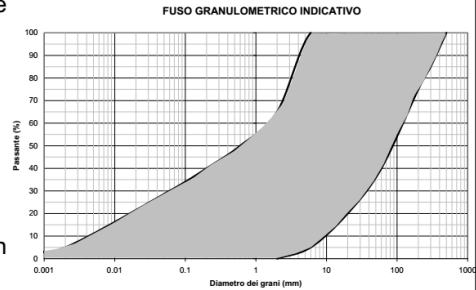
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

Da ghiaie e ciottoli con blocchi a ghiaie e sabbie limose debolmente argillose passando per ghiaie con sabbie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie con limo debolmente sabbiose e sabbie con ghiaie

NOTE:

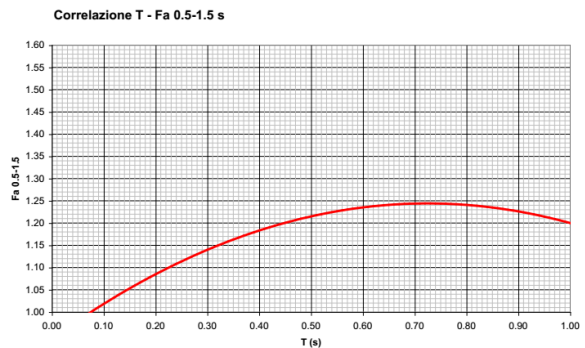
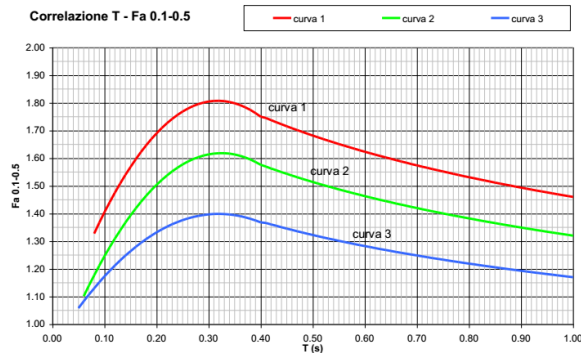
Comportamento granulare
Struttura granulo-sostenuta
Frazione ghiaiosa superiore al 35%
Frequenti clasti con $D_{max} > 20$ cm
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 65%
Matrice limoso - argillosa fino ad un massimo del 30% con frazione argillosa subordinata (fino al 5%)
Presenza di eventuali trovanti con $D > 50$ cm
Presenza di eventuali orizzonti localmente cementati



Profondità primo strato (m)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18
200				1	1									
250				2	2									
300				3	3	3	3							
350				3	3	3	3	3						
400				3	3	3	3	3	3					
450				3	3	3	3	3	3					
500				3	3	3	3	3	3	3				
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3		
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Velocità primo strato (m/s)



$$Fa_{0.5-1.5} = -0.58T^2 + 0.84T + 0.94$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -8.5T^2 + 5.4T + 0.95$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.46 - 0.32\ln T$
2	$0.06 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -7.4T^2 + 4.8T + 0.84$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.32 - 0.28\ln T$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -4.7T^2 + 3.0T + 0.92$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.17 - 0.22\ln T$

Figura 41. Scheda litologia ghiaiosa

Nella scheda litologia ghiaiosa sono stati considerati i primi 5 sismostrati come un unico strato di 5,7 metri ~ 6 metri con una velocità media di 350 m/s. Per l'intervallo di periodo 0.1 - 0.5 è stata utilizzata la formula della curva 3 blu mentre per l'intervallo di periodo 0.5 - 1.5 l'unica formula disponibile.

Fa $0.1-0.5 = 1,06 \leq 1.4$ (soglia B)

Fa $0.5-1.5 = 1,00 < 1.7$ (soglia B)

Valori Soglia Comunali	Intervallo di periodo	Categoria di Suolo B	Categoria di Suolo C	Categoria di Suolo D	Categoria di Suolo E
Berzo Inferiore	0.1 – 0.5	1.4	1.8	2.2	1.9
Berzo Inferiore	0.5 – 1.5	1.7	2.4	4.1	3.0

La **velocità delle onde equivalente (VsE)** è uguale a **481 m/s**. Valutando le amplificazioni litologiche di sito e il fattore di amplificazione otteniamo che sia **per l'intervallo di periodo 0.1-0.5 che per l'intervallo di periodo 0.5-1.5** la classe di suolo è **corrispondente alla categoria B**.

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

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

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

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

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

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

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

5.0 PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)

La tavola 6 non contiene, più solamente i dissesti PAI ma anche le informazioni del piano di gestione rischio alluvioni (PGRA).

Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) è lo strumento operativo previsto dalla legge italiana, per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali (d.lgs. n. 49 del 2010), in attuazione della Direttiva Europea 2007/60/CE, "Direttiva Alluvioni"). Il PGRA viene predisposto a livello di distretto idrografico e aggiornato ogni 6 anni. Per il Distretto Padano, cioè il territorio interessato dalle alluvioni di tutti i corsi d'acqua che confluiscono nel Po, dalla sorgente fino allo sbocco in mare, è stato predisposto il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del fiume Po (PGRA-Po). Il primo PGRA (PGRA 2015) è adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po con delibera n. 4 del 17 dicembre 2015 e approvato con delibera n. 2 del 3 marzo 2016; è definitivamente approvato con d.p.c.m. del 27 ottobre 2016.

Il PGRA contiene:

- la mappatura delle aree allagabili, classificate in base alla pericolosità e al rischio
- l'individuazione delle Aree a Potenziale Rischio Significativo (APSR)
- le misure da attuare per ridurre il rischio nelle fasi di prevenzione e protezione (SEZIONE A) e nelle fasi di preparazione, ritorno alla normalità ed analisi (SEZIONE B)

Le mappe di pericolosità evidenziano le aree potenzialmente interessate da eventi alluvionali secondo gli scenari di:

- bassa probabilità: alluvioni rare con $T = 500$ anni
- media probabilità: alluvioni poco frequenti con $T = 100-200$ anni
- alta probabilità: alluvioni frequenti con $T = 20-50$ anni.

Le mappe identificano ambiti territoriali omogenei distinti in relazione alle caratteristiche e all'importanza del reticolo idrografico e alla tipologia e gravità dei processi di alluvioni prevalenti ad esso associati, secondo la seguente classificazione:

- Reticolo idrografico principale (RP)
- Reticolo idrografico secondario collinare e montano (RSCM)
- Reticolo idrografico secondario di pianura artificiale (RSP)
- Aree costiere lacuali (ACL).

Le mappe del rischio di alluvioni indicano le potenziali conseguenze negative derivanti dell'evento alluvionale, individuando il numero indicativo di abitanti interessati, le infrastrutture e strutture strategiche, i beni ambientali, storici e culturali esposti, la distribuzione e la tipologia delle attività

economiche, gli impianti a rischio di incidente rilevante, e per ultimo le aree soggette ad alluvioni con elevata volume di trasporto solido e/o colate detritiche.

6.0 PIANO SEMPLIFICATO DEL RISCHIO IDRAULICO

Il Documento semplificato del rischio idraulico per il Comune di Berzo Inferiore, ai sensi dell'art. 14, commi 1 e 8 del Regolamento Regionale n. 7 del 2017 della Regione Lombardia.

L'art 14 del Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12, "Legge per il governo del territorio" prevede che i comuni non ricadenti nelle aree alta e media criticità, sono tenuti a redigere il documento semplificato del rischio idraulico comunale, ad approvarlo con atto del consiglio comunale e ad adeguare di conseguenza il PGT.

Ai sensi della D.g.r. del 20 novembre 2017, n. 7372, il territorio Lombardo è stato suddiviso in tre ambiti in cui sono inseriti i Comuni, in base alla criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori.

Ad ogni Comune è associata una criticità (Allegato B della Dgr):

A –alta criticità

B –media criticità

C –bassa criticità

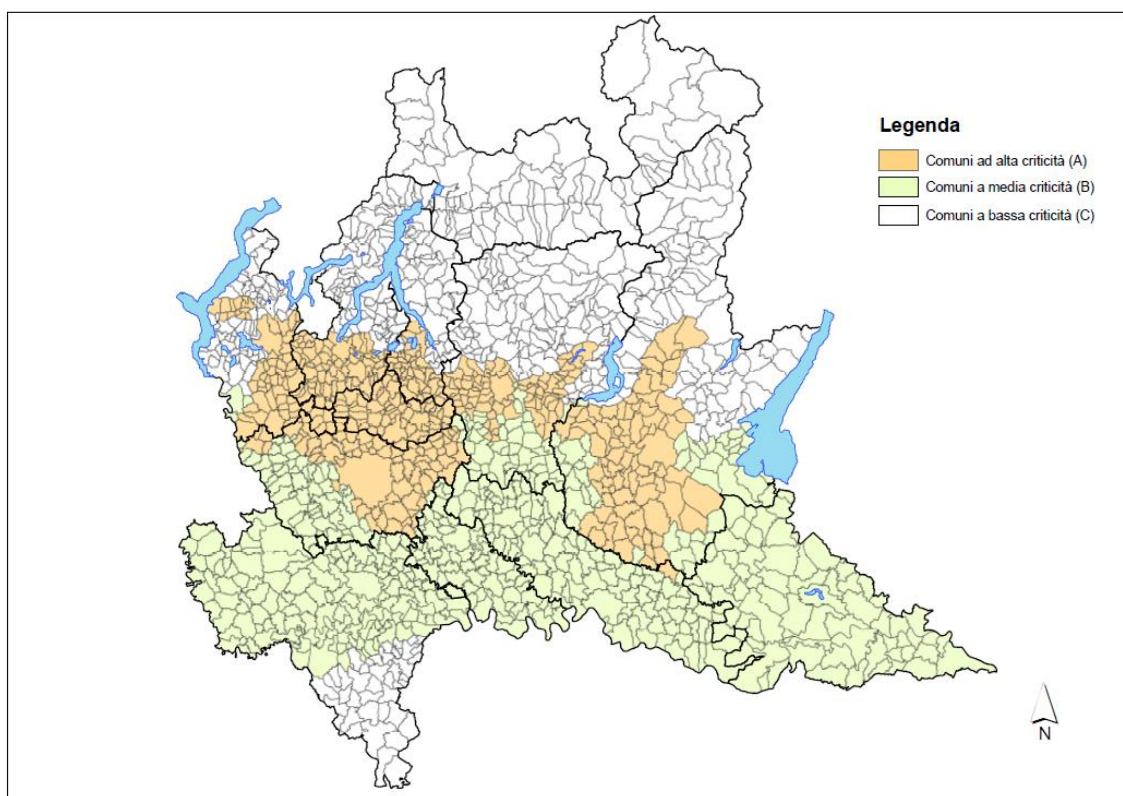


Figura 42. Distribuzione Aree di criticità Idraulica e idrologica Regione Lombardia

Il comune di Berzo Inferiore appartiene a un'area considerata a bassa criticità idraulica (classe C - allegato C del Regolamento Regionale), per questo motivo è stato effettuato il documento semplificato del rischio idraulico comunale, come possiamo notare dalla tabella successiva.

BERTONICO	LO	B	
BERZO DEMO	BS	C	
BERZO INFERIORE	BS	C	
BERZO SAN FERMO	BG	A	1
BESANA IN BRIANZA	MB	A	1

Tabella 9. Tabella estratta dall'allegato C del regolamento regionale