

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di Toano



<p>Regione</p> <p><b>EMILIA-ROMAGNA</b></p>	<p>Soggetto realizzatore</p>  <p><b>Dott. Geol. Stefano Castagnetti</b></p> 	<p>Data</p> <p><b>GIUGNO 2020</b></p>
---	--	---------------------------------------

## INDICE

1.	INTRODUZIONE .....	1
2.	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO .....	4
2.1	INQUADRAMENTO .....	4
2.2	STORIA SISMICA.....	8
2.3	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	9
3.	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA .....	12
3.1	GEOLOGIA .....	12
3.2	GEOMORFOLOGIA.....	24
4.	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI .....	27
4.1	ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI .....	27
5.	MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	28
6.	INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE .....	30
7.	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI .....	32
8.	ELABORATI CARTOGRAFICI .....	34
8.1	Carta delle indagini .....	34
8.2	Carta geologico-tecnica per microzonazione sismica.....	35
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	38
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	39
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S.....	44
8.6	Carte di microzonazione sismica .....	45
9.	COMMENTI FINALI E CRITICITÀ.....	54
10.	ELENCO ELABORATI.....	55

---

Allegato n° 1 – Indagini MASW

## 1. INTRODUZIONE

Nella presente Relazione illustrativa vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello Studio di microzonazione sismica di Livello 2 del Comune di Toano (Provincia di Reggio Emilia), effettuato a seguito di Determinazione Dirigenziale n° 77 del 22/11/2018 (CUP: F79J17000510006 – CIG: Z9C25D1D0C) e finanziato con contributi derivanti dall'OCDPC n. 532 del 12 luglio 2018 "Attuazione dell'articolo 11 del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77 – Annualità 2016" e assegnati con Determinazione Dirigenziale n° 20804 del 22/12/2017.

Gli studi di Microzonazione Sismica hanno l'obiettivo di incrementare le conoscenze in merito alle alterazioni che lo scuotimento sismico può subire in superficie e di fornire informazioni utili al governo del territorio, alla progettazione, alla pianificazione per l'emergenza e alla ricostruzione post sisma.

La MS consente di suddividere il territorio esaminato in base alla presenza e alla distribuzione dei fenomeni di possibile amplificazione dello scuotimento, legati alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche delle singole aree considerate ed ai possibili fenomeni di instabilità e deformazione permanente in esse attivati dal sisma. L'insieme di queste conoscenze sul comportamento dei terreni durante un evento sismico e sui possibili effetti indotti dallo scuotimento, è un indispensabile strumento di prevenzione e di riduzione del rischio sismico, particolarmente efficace, se realizzato e applicato durante la pianificazione urbanistica, per indirizzare le scelte di trasformazione verso aree a minore pericolosità e più in generale concorrono alla riduzione del rischio sismico.

Le attività di ricerca, acquisizione ed implementazione dati oltre che la predisposizione degli elaborati prodotti nell'ambito del presente studio, sono stati condotti in ottemperanza delle direttive e agli atti tecnici sotto elencati:

- Allegato A della D.G.R. 29 aprile 2019, n° 630. Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017);
- "Indicazioni per l'archiviazione informatica, rappresentazione e fornitura dei dati degli studi di microzonazione sismica e dell'analisi della condizione limite per l'emergenza, di cui all'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 e decreto del 15 aprile 2013 del Capo del Dipartimento della Protezione

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	1 di 55

Civile” della deliberazione di Giunta *Regionale* n. 1919 del 16.12.2013 “Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 a favore degli Enti Locali” (Allegato D della delibera regionale);

- “Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” - Versione 4.1, Roma, novembre 2018 - Elaborato e approvato nell’ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica, nominata con DPCM 21 aprile 2011 (SRAI).
- “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (ICMS).

Il presente studio di Microzonazione Sismica, attuato in conformità a quanto stabilito dai riferimenti tecnici sopraelencati, è articolato in due distinti livelli di approfondimento:

➤ PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, con:

- individuazione delle aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica;
- descrizione delle caratteristiche delle unità geologiche del sottosuolo, in termini di litologia, stratigrafia, tettonica e geometria per definire il modello geologico di base per la microzonazione sismica;
- definizione del tipo di effetti attesi;
- indicazione, per ogni area, del livello di approfondimento necessario.

➤ SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, con:

- conferma delle condizioni di pericolosità indicate dal 1° livello ed eventuale nuova perimetrazione delle aree ove effettuare la microzonazione sismica;
- suddivisione dettagliata del territorio, in base all’amplificazione attesa, secondo aree a maggiore e minore pericolosità sismica;
- conferma o migliore definizione delle aree, indicate dal livello di approfondimento precedente, in cui si ritengono necessari approfondimenti di terzo livello con l'indicazione delle indagini e analisi da effettuare.

Le aree oggetto di microzonazione sismica ricomprendono i centri abitati di Toano Cavola, Cerredolo, Corneto, Fora, Vogno e Quara-Montebiotto-Castagnola (Fig. 1),

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	2 di 55

coprendo una superficie di circa 614 Ha, pari a circa il 9% del territorio comunale, dove risiede la stragrande maggioranza della popolazione.

Gli elaborati redatti sono stati predisposti in versione cartacea e in versione digitale (PDF con risoluzione di 300 dpi). I dati cartografici sono stati allestiti anche in formato vettoriale (*shapefile*).

Per l'archiviazione dei dati e l'editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti dall'Allegato D della DGR 1919/2013 e dagli SRAI (Standard di rappresentazione e archiviazione informatica) versione 4.1.

Per l'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri è stato utilizzato l'apposito software: "MS - SoftMS", versione 4.1.1.

Lo studio di MS è stato corredato dall'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza, le cui risultanze sono riportate in specifica relazione.

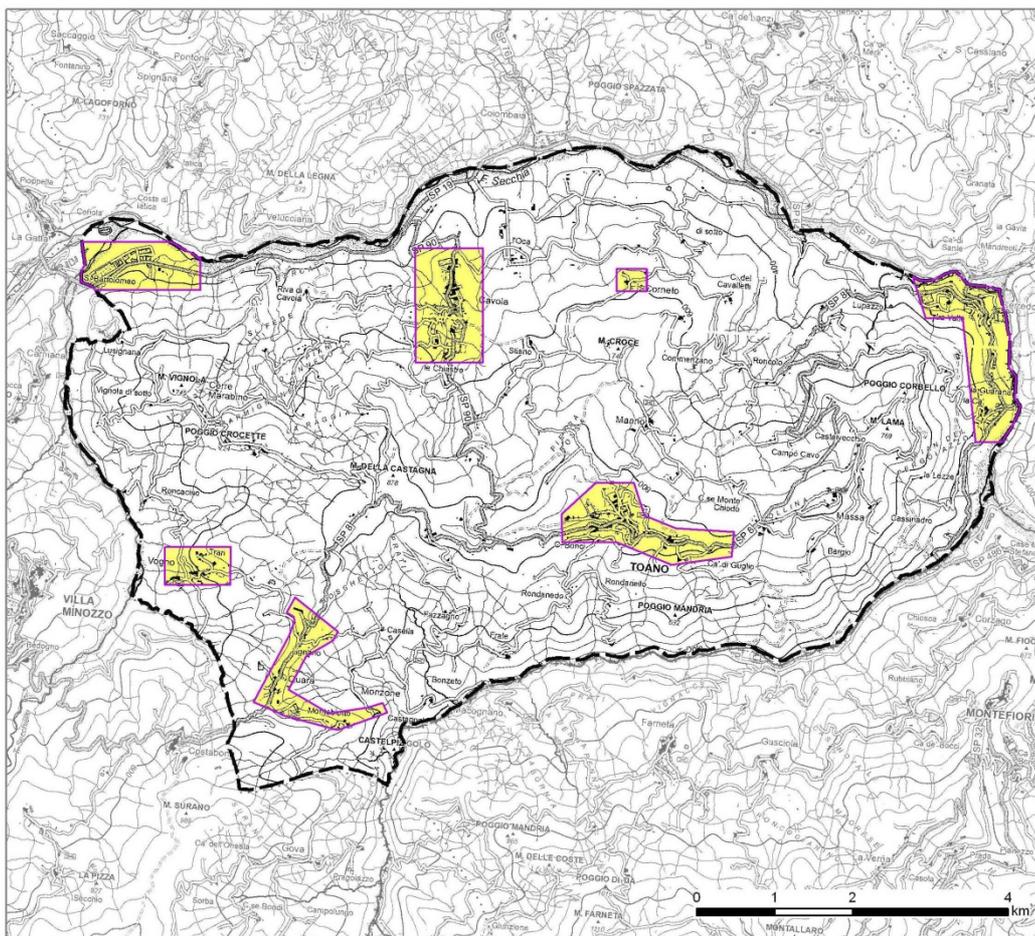


Fig. 1 – Aree oggetto di microzonazione sismica del Comune di Toano

 <b>Studio di geologia</b> <b>Dott. Stefano Castagnetti</b>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	3 di 55

## 2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 INQUADRAMENTO

Il Comune di Toano appartiene alla Regione Emilia-Romagna e ricade nella fascia di alta montagna della Provincia di Reggio Emilia (Fig. 2).



Fig. 2 - Ubicazione del Comune di Corniglio

Gli studi sulla pericolosità sismica, promossi dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), hanno portato alla definizione di una nuova zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata "ZS9", che prevede una suddivisione in 36 zone (cfr. Fig. 3), i cui limiti sono stati tracciati sulla base di informazioni tettoniche, geologico – strutturali e/o di differenti caratteristiche della sismicità (distribuzione spaziale, frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc.).

Essa risulta estremamente importante per gli studi pianificazione territoriale ed, in particolare, nelle valutazioni di pericolosità sismica.

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	4 di 55

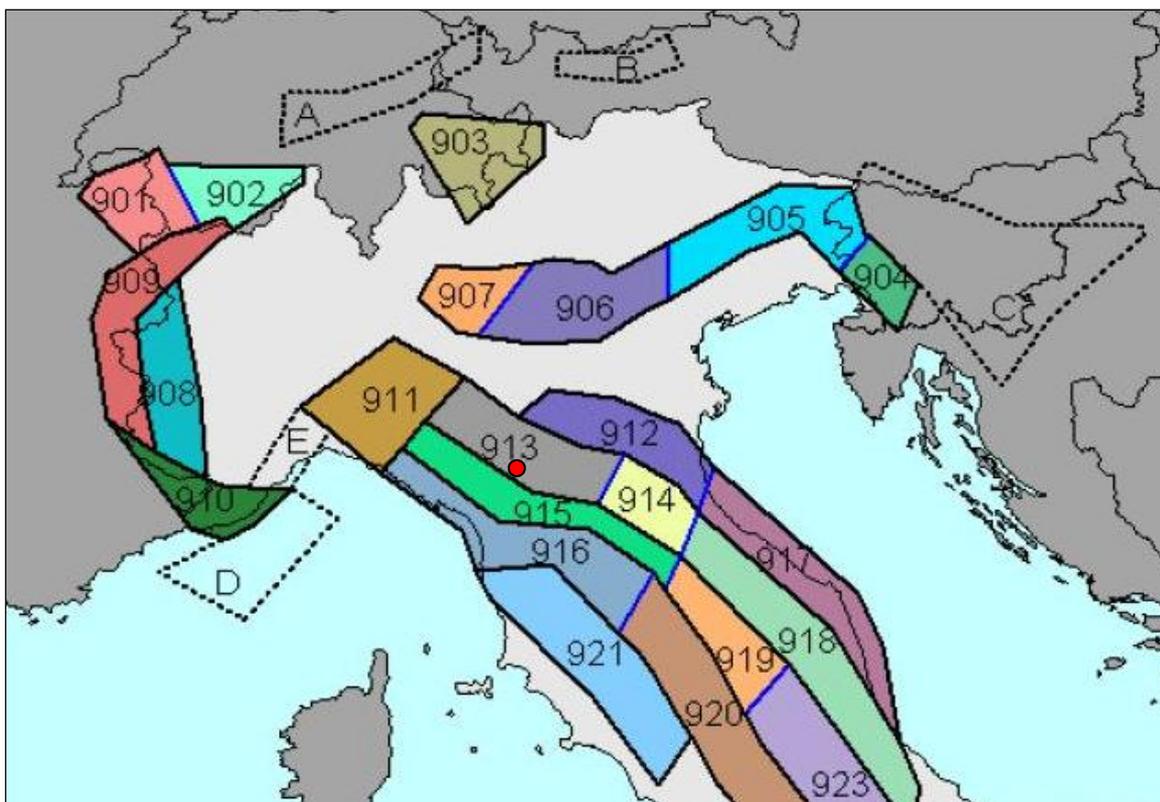


Fig. 3 – Zonazione sismogenetica ZS9 (Tratta da: “Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica – Rapporto conclusivo – bozza aprile 2004” - INGV). Il punto rosso segna approssimativamente il Comune di Toano.

Il territorio comunale di Toano ricade nei pressi del limite meridionale della zona sismogenetica “913”, che è caratterizzata da movimenti prevalentemente compressivi in direzione NW e da meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo, che interrompono la continuità longitudinale delle strutture attive. Il maggior numero di terremoti che si verificano in questa zona, presenta il proprio ipocentro a profondità comprese tra 12 e 20 km e i valori di magnitudo massima previsti, sulla base dei meccanismi focali, sono pari a  $M_{wmax} = 6,14$ .

Per quanto concerne le caratteristiche sismotettoniche, l'inquadramento generale delle principali strutture attive sismogenetiche dell'Emilia-Romagna, è rappresentato nella Mappa di sintesi realizzata dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli dell'Emilia-Romagna (Fig. 4).

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	5 di 55

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO

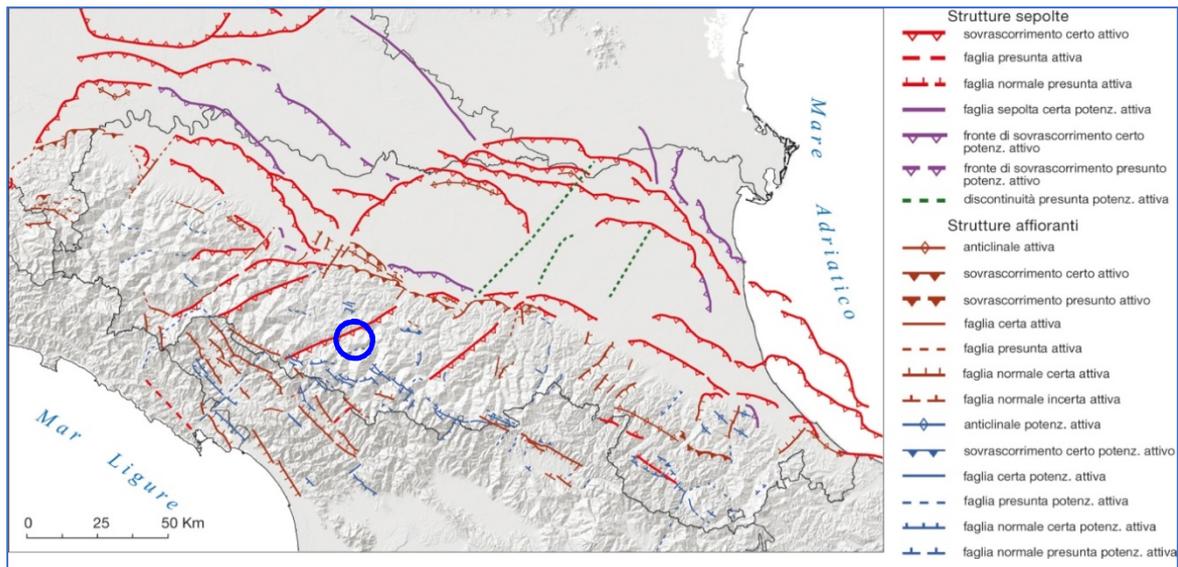


Fig. 4 - Mappa di sintesi delle strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riconosciute in Emilia-Romagna (da: “Note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe” - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna, 2017)

Le sorgenti sismogenetiche e le faglie potenzialmente attive e capaci, interessanti il territorio comunale di Toano, sono state ricavate dal *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Version 3.2.1, che costituisce il database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5,5 nell'area Italiana<sup>1</sup>.

Con riferimento a Fig. 5, la sorgente sismogenetica più significativa per l'area in studio è rappresentata dalla [ITCS027 – Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga](#), con magnitudo massima attesa Mw = 6,2.

<sup>1</sup> Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, *Tectonophysics*.

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	6 di 55

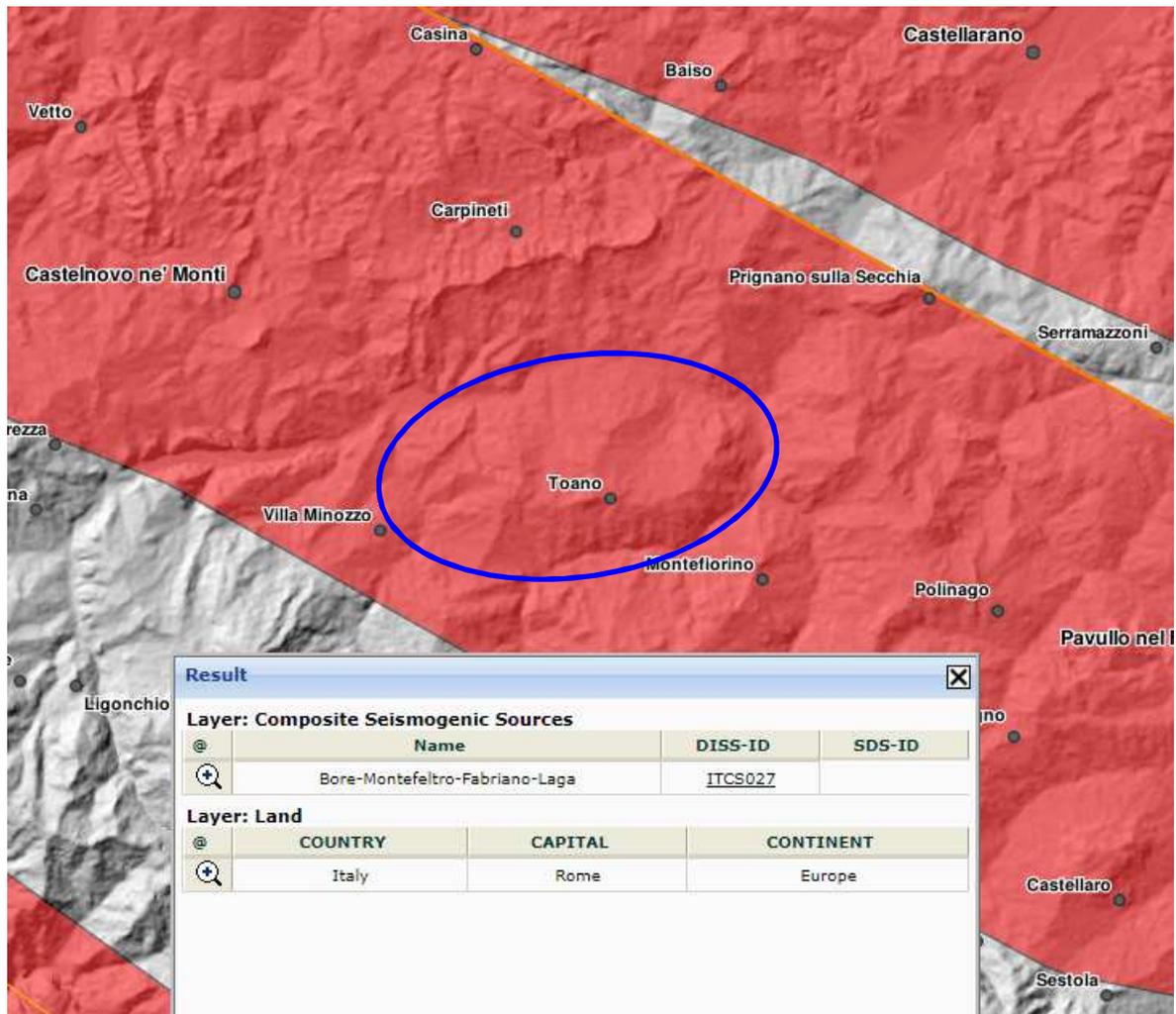


Fig. 5 - Ubicazione delle sorgenti sismogenetiche da DISS 3.2.1 <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml> Il cerchio blu individua approssimativamente il territorio del Comune di Toano

Per quanto siano più distanti dall'areale in studio, possono determinare significativo risentimento sul territorio comunale anche eventi sismici rilasciati dalle seguenti sorgenti:

- [ITCS046 – Langhirano-Sassuolo](#) (magnitudo massima attesa = 5,9)
- [ITCS083 – Garfagnana](#) (magnitudo massima attesa = 6,4)

## 2.2 STORIA SISMICA

La storia sismica del Comune di Toano è stata desunta dal Database Macrosismico Italiano, versione DBMI15 v2.0, e contiene 123.756 dati di intensità per 3.219 terremoti.

DBMI15 v2.0 Fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2017.

Secondo quanto riportato in DBMI15 v2.0, la storia sismica di Toano è riassunta graficamente nel diagramma riportato in Fig. 6, mentre in Tab. 1 sono elencati gli eventi di maggiore intensità, indicando per ciascuno di essi, oltre agli effetti provocati al sito, espressi come I(MCS), la data e l'ora in cui si è verificato, il numero di località in cui è stato registrato l'evento (Np), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

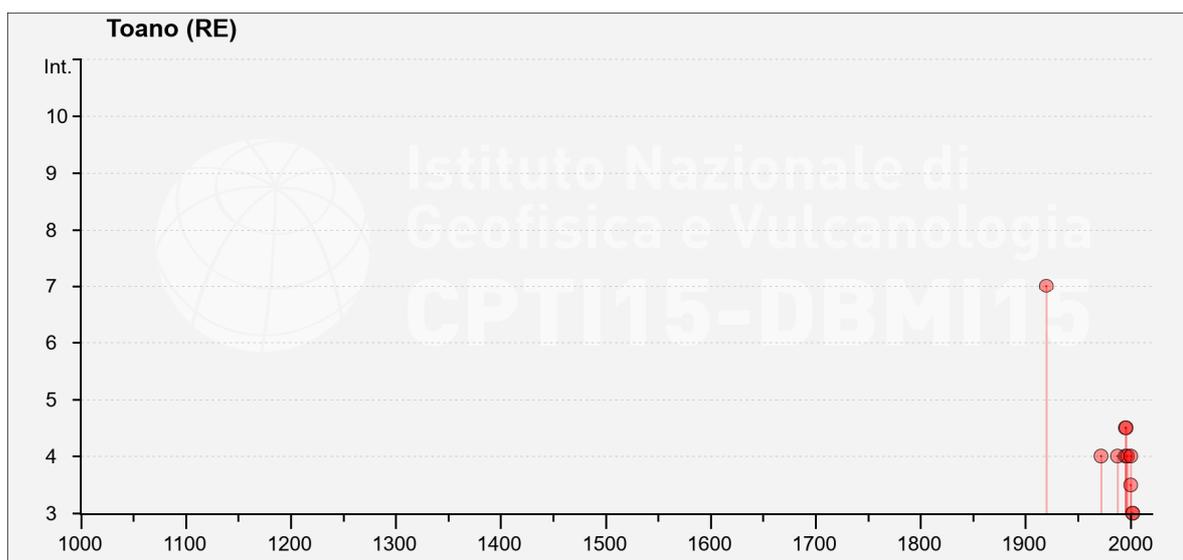


Fig. 6 – Eventi sismici di maggior intensità registrati nel Comune di Toano. Da: Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E., Antonucci A. (2019). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.2>

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	8 di 55

## STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
4-5	1995	12	31	21	29	4	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
4-5	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
4	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
4	1988	02	08	11	24	4	Garfagnana	75	6	4.34
4	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
4	1997	12	24	17	53	1	Garfagnana	98	5	4.33
4	2000	10	03	01	12	3	Frignano	62	5	4.22
3-4	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
3	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23
3	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
2-3	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
2	1957	10	25	23	02	0	Appennino reggiano	79	5-6	4.27
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
NF	1989	10	03	09	41	3	Appennino parmense	91	4	4.04

<b>I [MCS]</b>	Intensità macrosismica espressa in scala MCS. Alcuni effetti non sono esprimibili con la scala MCS per cui vengono utilizzati dei codici alternativi (si veda la relativa tabella)
<b>Data</b>	Data del terremoto
<b>Ax</b>	Area epicentrale, area geografica in cui sono stati riscontrati gli effetti maggiori del terremoto
<b>NMDP</b>	Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto
<b>Io</b>	Intensità macrosismica epicentrale, da CPTI15, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg [dettagli]
<b>Mw</b>	Magnitudo momento, da CPTI15

Tab. 1 - Elenco dei terremoti più forti risentiti nell'area di Toano tra il 1000 ed il 2017 (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., Antonucci A. (2019). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.2> - parzialmente modificato)

Dall'analisi di Fig. 6 e Tab. 1 si evidenzia che il massimo evento sismico censito e osservato a Toano si è verificato il 07 Settembre 1920 con un'intensità al sito del VII-VIII grado della scala MCS.

Dai documenti ufficiali e dalle notizie di cronaca si evince che in Comune di Toano il terremoto danneggiò varie abitazioni, ma non furono registrate vittime.

### 2.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA

A seguito dell'emanazione dell'OPCM n° 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative

 <b>Studio di geologia</b> Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	9 di 55

tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i., il Comune di Toano è stato classificato sismico in ZONA 2. In precedenza, sotto il profilo della normativa sismica, il Comune di Toano risultava classificato in seconda categoria.

Con la DGR n° 1164/2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna", il Comune di Toano è stato confermato sismico in ZONA 2 (Fig. 7).

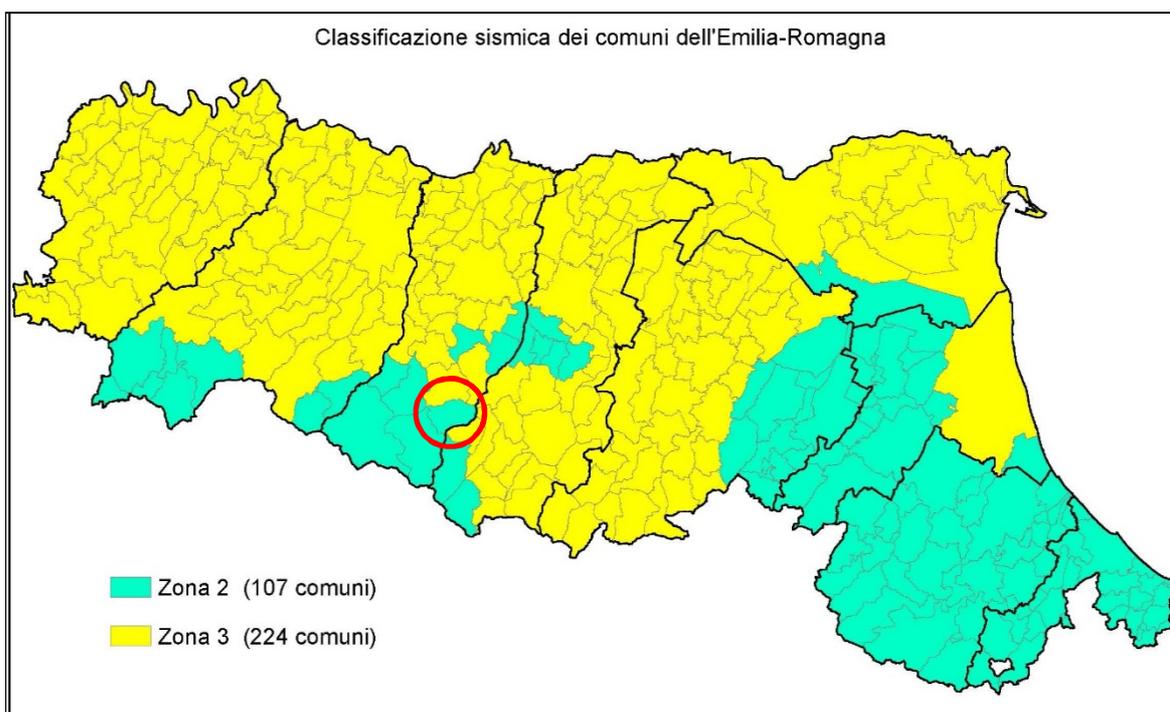


Fig. 7 - Classificazione sismica dell'Emilia-Romagna di cui alla DGR 1164 del 23.07.2018. Regione Emilia-Romagna. Il cerchio rosso individua il Comune di Toano

Sulla base della *Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale* elaborata dall'INGV (aprile 2004), il territorio di Toano si colloca in un areale in cui si possono verificare terremoti caratterizzati da un'accelerazione massima del suolo compresa tra  $0,150 \div 0,175 a_g$  (Figg. 8 e 9).

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	10 di 55

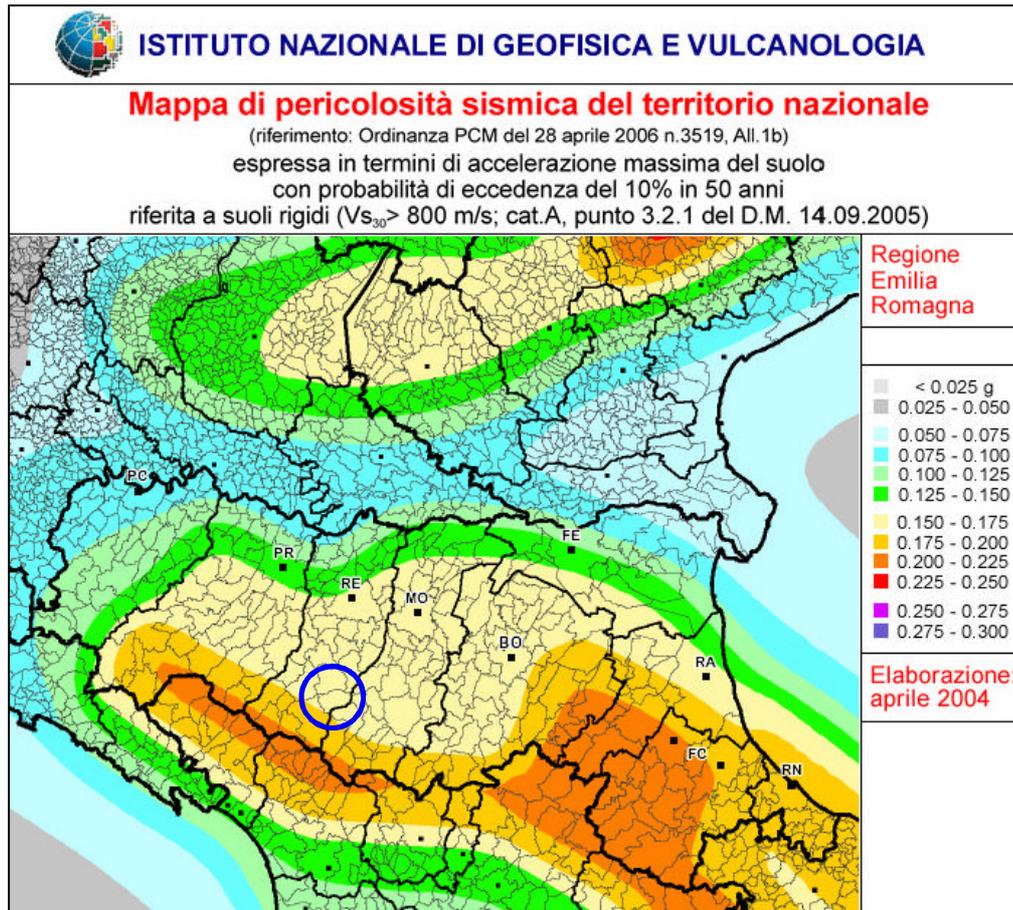


Fig. 8 - Estratto della Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale. Il cerchio di colore blu individua il Comune di Toano

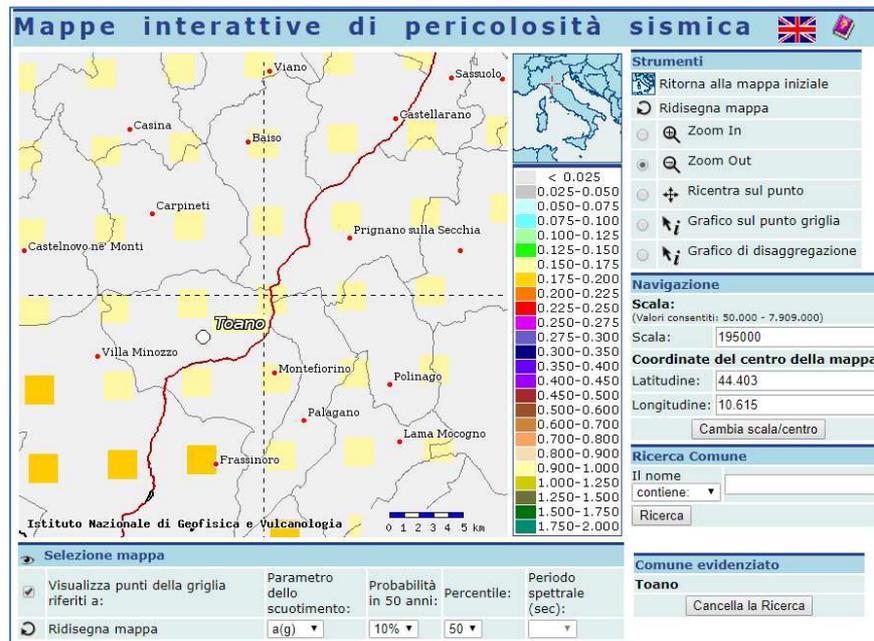


Fig. 9 - Stralcio della Mapa di pericolosità sismica del Comune di Toano espressa in termini di a(g) per un Tempo di ritorno di 475 anni

### 3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

#### 3.1 GEOLOGIA

L'assetto geologico-strutturale della catena montuosa nord-appenninica si può sinteticamente interpretare come un complesso impilamento di unità tettoniche che si generarono in seguito alla collisione della microplacca continentale, costituita dal blocco sardo-corso e dal Tirreno settentrionale, contro il margine della microplacca adriatica (Adria). Quest'ultimo, in seguito a questa collisione andò in subduzione verso ovest e le sue coperture sedimentarie furono "sradicate" dalla sottostante litosfera adriatica, generando una catena orogenica a falde di ricoprimento est-vergenti.

L'edificio strutturale a falde appenninico è molto simile, in questo senso (Principi e Treves, 1984), ai classici "prismi di accrezione" che in tutto il mondo si sono generati nelle aree di convergenza e di collisione di placche dove, per i molteplici scollamenti e "piallamenti" della copertura sedimentaria della crosta oceanica o continentale del margine di placca in subduzione si venne a formare, per successivi incrementi, un catena montuosa di tipo *fault and thrust belt*.

La storia appenninica è complicata dal fatto che una parte delle successioni rocciose che parteciparono all'orogenesi appenninica erano già state precedentemente coinvolte nell'orogenesi alpina che aveva portato nel Cretacico superiore - Eocene medio alla chiusura per subduzione dell'Oceano Ligure-Piemontese (Tetide), allo sradicamento delle successioni sedimentarie di origine marina che ne ricoprivano i fondali e alla loro traslazione, come falde di ricoprimento, verso la placca Europea. La successiva apertura nel mediterraneo occidentale, del bacino ligure-provenzale, cambiò l'assetto geodinamico dell'area e portò ad una progressiva rotazione antioraria del blocco continentale sardo-corso, spingendo una parte delle unità liguri-piemontesi verso NE.

Dall'Eocene superiore in avanti, questi terreni furono ripresi nella orogenesi appenninica e spinti ulteriormente verso nord-est attraverso estesi sovrascorrimenti, generando le Unità Liguri che oggi conosciamo, e andando ad accavallarsi su unità, più recenti ed esterne, che in origine costituivano la copertura sedimentaria del margine continentale occidentale della placca adriatica (Fig. 10).

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	12 di 55

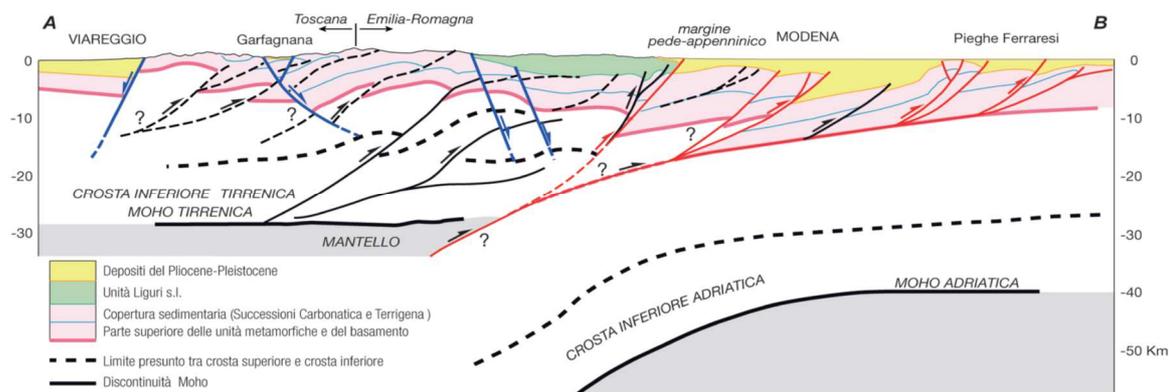


Fig. 10 – Ricostruzione geologica dell'edificio strutturale appenninico tra il Tirreno e l'Adriatico. Da notare (in verde) la posizione sommitale delle Unità Liguri (da Note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe (2017)

Le Unità Liguri sono unità tettoniche peculiari perché alla base delle successioni sedimentarie che le compongono, sono spesso contenute rocce ofiolitiche (serpentiniti) che testimoniano la loro sedimentazione su un originario substrato di tipo oceanico, scomparso a causa della subduzione. Inoltre, tutte le unità di tipo ligure sono composte nella loro porzione sommitale da spesse successioni di torbiditi calcareo-marnose (*flysch*) di età Cretacico superiore - Paleocene.

L'insieme Liguride è stato suddiviso in un dominio interno e in uno esterno e in diverse unità tettoniche indipendenti in base alle loro caratteristiche litologiche, di età e di posizione strutturale reciproca. Nell'area di interesse del presente studio affiorano solamente le due formazioni appartenenti all'Unità di Monghidoro: la Formazione di M. Venere (Cretacico sup.) e la Formazione di Monghidoro (Paleocene).

Nelle sue prime fasi, l'evoluzione orogenica della catena appenninica ebbe inizio su un fondale marino irregolare ed articolato (con depressioni locali), a causa del coinvolgimento nell'orogenesi alpina, e sul quale, durante la nuova orogenesi, continuò la sedimentazione (in discordanza) sulle Unità Liguri in gran parte già corrugate. Man mano che il fronte di sovrascorrimento avanzava, sulle unità in via di traslazione si deposero dei terreni che per la loro posizione sono stati definiti Successione Epiligure.

Come si può osservare schematicamente in Fig. 10, nell'edificio strutturale appenninico, in posizione geometrica più elevata si trovano le unità alloctone più antiche, appartenenti al Dominio Ligure, mentre sotto di esse andarono, via via, a sottoscorrere (come in un "nastro trasportatore parzialmente inceppato") unità tettoniche scollate e dislocate in tempi progressivamente più recenti dalla copertura sedimentaria del margine continentale adriatico, che stava andando in subduzione. La catena appenninica venne,

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	13 di 55

quindi, “costruita dal basso” attraverso successivi scatti incrementali legati ai sottoscorrimenti delle unità tettoniche che, via via, si andarono individuando, mentre le unità liguri al loro tetto, posto sul fondale marino, continuavano a ricevere la deposizione della successione epiligure, che subì solo variazioni batimetriche man mano che il sottostante prisma di accrezione cresceva.

Sul margine in subduzione, si individuarono per prime le unità tettoniche appartenenti al cosiddetto Dominio Toscano: una successione, carbonatica e poi pelagica ed emipelagica potente complessivamente alcune migliaia di metri e con età compresa tra il Trias superiore e l'Oligocene. La parte sommitale, di età oligo-miocenica della serie toscana, denominata “Macigno”, è una successione di torbiditi silicoclastiche di mare profondo, spesso più di 1500 m, che viene interpretata come il riempimento clastico della prima grande avanfossa appenninica.

Nella terminologia della Tettonica delle Placche, l'avanfossa è una depressione morfologica stretta e allungata che si forma nelle zone di subduzione, all'esterno della *fault and thrust belt* ed è causata in parte dal carico litostatico della nuova catena in formazione e, prevalentemente, dall'inflessione della litosfera che viene trascinata in sottoscorrimento. Poiché l'avanfossa della catena appenninica si venne a trovare molto vicina alla catena alpina, che nell'Oligocene superiore era in forte sollevamento ed intensamente sottoposta a processi erosivi, sul margine costiero meridionale delle Alpi si accumularono immense quantità di detriti, che poi vennero riversati nell'avanfossa appenninica attraverso estesi processi di risedimentazione gravitativa generando la successione torbiditica del Macigno.

Successivamente, dal margine continentale adriatico si individuò un'altra grande unità tettonica (Unità Cervarola), formata da una complessa ed articolata successione torbiditica d'avanfossa di difficile ricostruzione, perché oggi scomposta in una serie di sub-unità costituite da spesse successioni torbiditiche di facies, composizione ed età sommitali differenti e di cui, spesso, non affiora la base pre-torbiditica. Inoltre, la geometria d'insieme dei corpi torbiditici del Cervarola e la presenza al loro interno di numerosissime sismo-torbiditi porta a pensare all'esistenza una forte attività tettonica sin-depositazionale.

Per questa ragione le sotto-unità più esterne del Cervarola sono ancora oggetto di dibattito scientifico tra gli esperti che le attribuiscono, a seconda delle scuole di pensiero, ad un dominio indipendente o al cosiddetto Dominio Umbro-Marchigiano-Romagnolo (un dominio ancora più esterno e che, però, è conosciuto bene solo a SE della trasversale del

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	14 di 55

torrente Sillaro, tra Bologna e Forlì). Altri autori parlano di Unità Padano-Adriatiche per definire le unità tettoniche più esterne a quelle del Cervarola.

Indipendentemente dall'attribuzione, queste unità tettoniche sono le più basse nell'edificio strutturale appenninico e, proprio per questo, non appaiono quasi mai in superficie e sono conosciute soltanto dallo studio delle linee sismiche profonde e dai dati dei pozzi per la ricerca di idrocarburi.

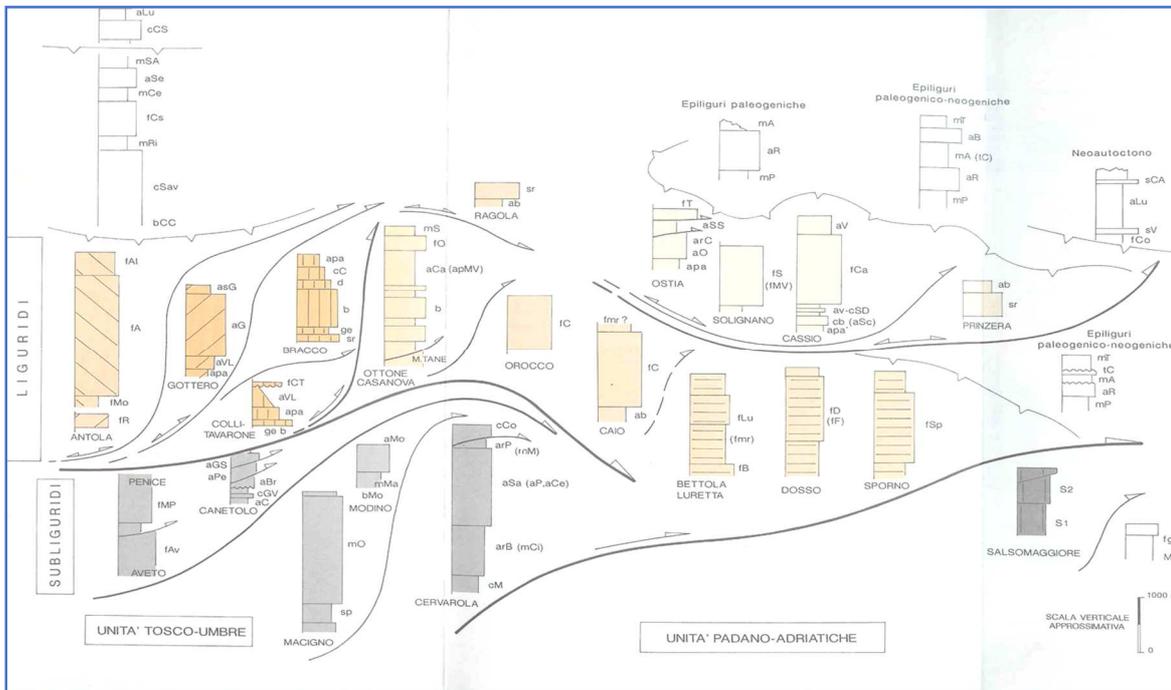


Fig. 11 – Schema dell'impilamento strutturale della porzione di Appennino in esame (da Guide geologiche regionali: Appennino Ligure-Emiliano (Vol. 6)

La complessità dell'edificio strutturale della catena appenninica è schematizzata in Fig. 11. Occorre precisare che tra le unità liguri e quelle toscane in realtà si trova interposto un sottile livello di terreni prevalentemente argillitici e calcarei, ma contenenti anche limitate successioni torbiditiche, che è stato attribuito ad un dominio di transizione definito Sub-Ligure a causa della sua attuale posizione tettonica.

La complessità dell'edificio strutturale appenninico è il risultato di una lunghissima storia tettonica, nella quale quanto più precoce è stata la strutturazione, tanto più rapida è stata la perdita di significato paleogeografico e di identità deposizionale.

Le fasi di questa storia possono essere raggruppate in tre cicli orogenici (Elter, 1973): il primo comprende le Fasi Liguri che hanno interessato esclusivamente l'insieme Interno, prima che si verificasse la sua traslazione sull'avampaese toscano, e si conclude nell'Eocene sup. Il secondo riguarda le Fasi Subliguri e corrisponde alla messa in posto dell'Unità Canetolo sul Macigno (Miocene inf.). Infine, il terzo ciclo, miocenico, comprende

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	15 di 55



La successione affiorante nella finestra tettonica di Gova presenta facies particolari. Si tratta di una sequenza di strati arenacei medi e spessi, tra loro fittamente amalgamati, potente complessivamente almeno 400-450 m. Le datazioni cronologiche più recenti di questa successione torbiditica eseguiti con l'analisi dei nanno-fossili calcarei hanno mostrato un'età attribuibile al Burdigaliano Sup. - Langhiano Inf. facendo esprimere ad alcuni autori la possibilità che si tratti di un'unità appartenente al Dominio Umbro-Marchigiano-Romagnolo.

Nella carta sismotettonica (Fig. 12) si può notare come l'area del Comune di Toano sia compresa tra due principali lineamenti tettonici. Quello più meridionale è una faglia, parzialmente attiva, che corre lungo il corso del torrente Dolo tra Quara e Rubbiano. Questa faglia costituisce il limite settentrionale della finestra tettonica di Gova e mette a contatto la successione torbiditica burdigaliano-langhiana dell'Unità Cervarola con il Flysch di Monte Venere dell'unità di Monghidoro. Lungo questa faglia viene mostrato in carta la presenza di un allineamento di salse e venute di gas metano.

Il secondo lineamento tettonico, quello più settentrionale, viene interpretato come un fronte di sovrascorrimento sepolto presunto, che metterebbe a contatto l'unità delle Evaporiti triassiche della Val Secchia con la sottostante unità torbiditica miocenica del Cervarola, affiorante nella finestra tettonica di Cerreto d'Alpi. A Nord di Collagna e Busana l'unità evaporitica dei Gessi della Val Secchia viene, a sua volta, ricoperta dalla successione "epi-subligure" di M. Modino (zona di M. Ventasso). La stessa successione ricopre tettonicamente, direttamente, le torbiditi mioceniche emergenti in Val Dolo nelle finestre tettoniche di Gazzano e Gova.

Sempre in Fig. 12 viene mostrato il tracciato di una sezione geologica che partendo dall'area di Frassinoro attraversa l'intero comune di Toano dove affiorano prevalentemente i terreni liguridi appartenenti all'unità Monghidoro. Nei pressi di Cavola la sezione prosegue verso Nord intersecando i terreni della successione epiligure presenti nella "placca" di Felina-Carpineti.

La sezione ci fa capire l'inquadramento geologico dell'area di Toano in un contesto regionale a respiro più ampio. Il profilo geologico qui presentato è stato costruito mettendo insieme parti di due sezioni geologiche presenti rispettivamente nei Fogli 218 e 235 della Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000 e ricostruendo la parte intermedia mancante, che attraversa quasi tutto il Comune di Toano.

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	17 di 55

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO

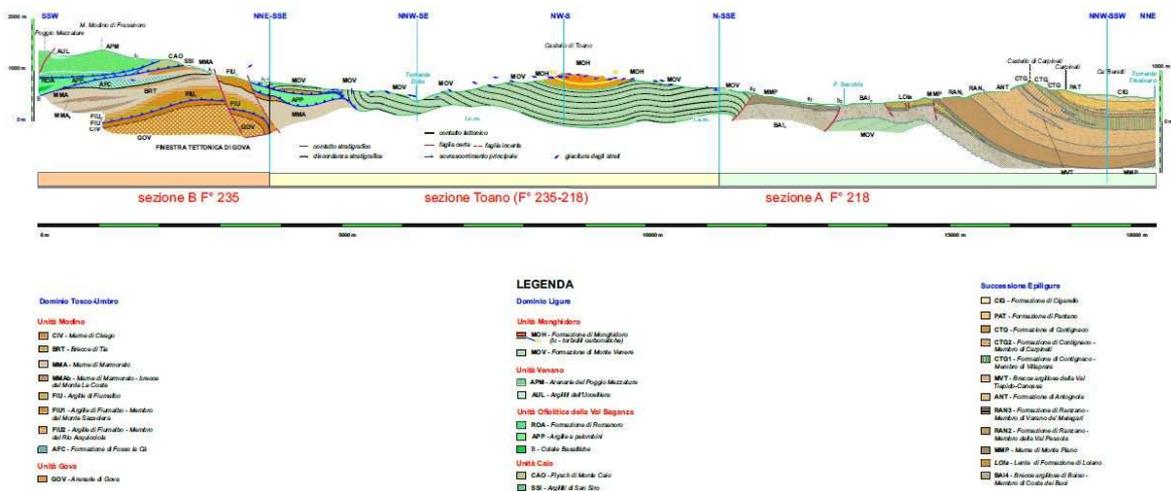


Fig. 13 - Sezione geologica composta ricostruita attraverso l'intero Comune di Toano mettendo insieme le due sezioni A e B presenti rispettivamente nei fogli 218 e 235 della Carta Geologica d'Italia e ricostruendo, nell'area compresa tra Farneta e Cavola, la sezione intermedia mancante (parte in giallo). La sezione viene mostrata con formato a tutta pagina anche nel Capitolo 8.2

Ciò permette di evidenziare come le unità cretatiche liguridi (Veneno, Caio, Val Baganza e Monghidoro) presenti a Sud di Toano siano sovrascorse, tramite l'interposizione di scaglie tettoniche della serie di base dell'unità Modino, sull'unità tettonica miocenica di Gova e vengano a loro volta ricoperte, più a Nord, dalla spessa successione epiligure presente nella zona di Carpineti.

I terreni Epiliguri presenti nell'area di Cavola-Carpineti si trovano in contatto stratigrafico discordante sulle Unità Liguridi. Questi terreni possono essere ricondotti ad un unico gruppo stratigrafico che mostra al suo interno discontinuità di sedimentazione e che è composto da numerose formazioni.

Tale gruppo si depositò in piccoli bacini minori, chiamati di "Piggy back" o "satelliti". Il primo termine descrive la situazione di appoggio discordante e di traslazione passiva di questi bacini sulle unità alloctone liguridi del prisma di accrezione, mentre il secondo esprime la posizione marginale e laterale dei bacini stessi rispetto al grande bacino di avanfossa presente al fronte del prisma di accrezione dove si andavano depositando, contemporaneamente alla epiliguri, ma in momenti via via successivi, le potenti successioni torbiditiche del Macigno, delle Arenarie di M. Cervarola e della Marnoso-Arenacea umbro-romagnola. Ognuna di queste successioni torbiditiche d'avanfossa mostra uno spessore complessivo che va dai 1500 ai 3000 m.

La parte centrale della sezione di Fig. 13 mostra le strutture plicative che hanno deformato la Formazione di M. Venere (MOV). Essa si presenta prevalentemente a

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	18 di 55

giacitura diritta ma, sul suo lato interno, è presente un piccolo elemento strutturale a polarità inversa, che si raccorda con quello, mostrante giacitura rovesciata, disegnato nella limitrofa Sezione B del F° 235. Questa scaglia inversa ricopre, in sovrascorrimento, le Argille a Palombini (APA) dell'Unità Ofiolitica della Val Baganza, che sono sovrascorse sulle Marne di Marmoreto (MMA) dell'unità Modino. Quest'ultime, a loro volta, ricoprono le arenarie mioceniche presenti nella finestra tettonica di Gova.

Dall'altro lato della placca di flysch di M. Venere è mostrato un locale accavallamento per faglia inversa sulla successione epiligure. Tale faglia inversa è cartografata nella sezione A del F° 218, ma nella stessa sezione si vede che, a partire dal F. Secchia in avanti, la successione epiligure ricopre in discordanza la Formazione di M. Venere. Probabilmente la faglia inversa qui descritta è legata ad una locale ripresa del movimento lungo il grande sovrascorrimento sepolto descritto in Fig. 12 nella Carta strutturale della Regione Emilia-Romagna, alla base delle evaporiti triassiche della Val Secchia.

La grande placca di flysch ligure presente nell'area di Toano è costituita prevalentemente dalla Formazione di M. Venere, una successione torbiditica campaniano-maastrichtiana, spessa alcune centinaia di metri, con facies arenaceo-pelitica a strati medi e sottili ma che contieni numerose megatorbiditi pluri-metriche arenaceo-marnose. In letteratura geologica si è descritta la similitudine di questa formazione con il Flysch di Solignano presente il Val Taro, nell'appennino parmense.

Nella area del Castello di Toano si può notare come il MOV faccia transizione, verso l'alto, ad una successione torbiditica silicoclastica (ma sono presenti calcareniti) a strati spessi e molto spessi di età terziaria (Paleocene inferiore). Essa è stata denominata Formazione di Monghidoro (MOH).

Lo stato deformativo, in aggiunta all'assetto lito-stratigrafico delle compagini rocciose, costituiscono i fattori geologici fondamentali che influiscono sulla risposta sismica dei terreni, in termini di amplificazione e velocità di propagazione delle onde S.

Pertanto, alla base degli studi di microzonazione sismica non deve mai mancare un'attenta ed approfondita analisi degli aspetti geologico-morfologici generali e di dettaglio delle aree in esame.

Il territorio in esame costituisce uno spaccato significativo ed esplicativo della struttura a falde costituente la catena appenninica: in esso, infatti, possiamo individuare prevalentemente le unità liguri alloctone sovrascorse (Flysch Cretacico superiore di M.

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	19 di 55

Venere e la sovrastante Formazione di Monghidoro, che arriva ad avere un'età paleocenica inferiore) e i terreni della Successione Epiligure.

Di seguito sono descritte le formazioni affioranti nel territorio comunale di Toano, seguendo la distinzione operata nelle Carte Geologiche dell'Appennino Emiliano – Romagnolo, alla scala 1:10.000, realizzate dalla Regione Emilia-Romagna nell'ambito del Progetto CARG (Fig. 14).

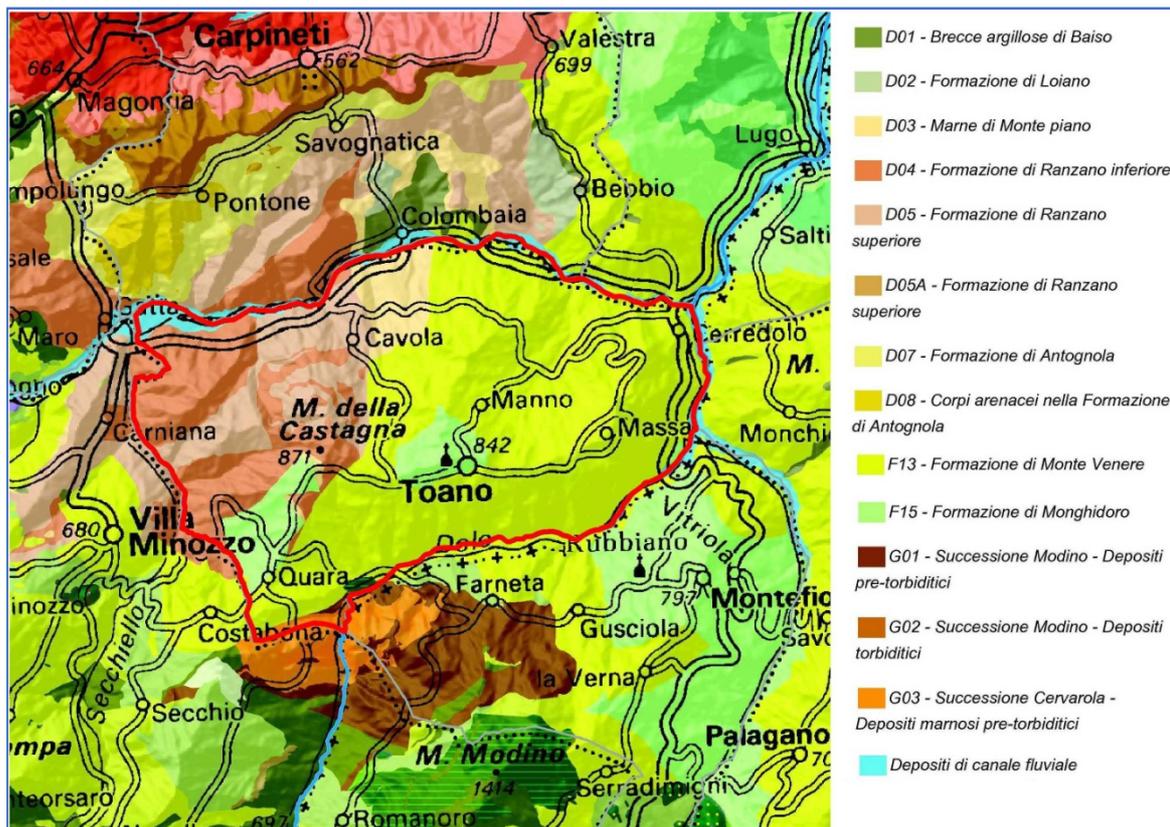


Fig. 14 - Inquadramento geologico schematico del Comune di Toano (Progetto CARG della Regione Emilia – Romagna, Servizio Geologico e Sismico dei Suoli)

L'analisi delle unità trattate è di tipo schematico e limitata alle principali caratteristiche petrografiche e giaciture, al fine di definire le proprietà geomeccaniche di resistenza caratteristiche di tali rocce.

Le unità tettonico-sedimentarie presenti nel territorio comunale di Toano sono state raggruppate nelle seguenti classi:

- Depositi Quaternari Continentali;
- Successione Neogenico – Quaternaria del margine appenninico – padano;
- Successione epiligure
- Unità liguri
- Unità ultratoscane (cfr. F°235 della *Carta Geologica d'Italia*)

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	20 di 55

- Unità Cervarola
- Unità umbro-marchigiano-romagnola.

### Depositi Quaternari Continentali

- **a1 – Depositi di Frane attive:** Deposito gravitativo con evidenze di movimenti in atto (indipendentemente dalla entità e dalla velocità degli stessi). L'attività può essere continua o, più spesso, intermittente ad andamento stagionale o pluriennale. Vengono inclusi in questa categoria anche depositi di frane che al momento del rilevamento non presentano sicuri segni di movimento ma che denotano comunque una recente attività segnalata da indizi evidenti (lesioni a manufatti, assente o scarsa vegetazione, terreno rimobilizzato) all'occhio del tecnico rilevatore. Sono altresì incluse anche frane con velocità recepibile solo attraverso strumenti di precisione (inclinometri, estensimetri, ecc.), qualora esistenti.
- **a2 – Depositi di frana quiescente:** Deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti. Generalmente si presenta con profili regolari, vegetazione con grado di sviluppo analogo a quello delle aree circostanti non in frana, assenza di terreno smosso e assenza di lesioni recenti a manufatti, quali edifici o strade. Per queste frane sussistono oggettive possibilità di riattivazione poiché le cause preparatorie e scatenanti che hanno portato all'origine e all'evoluzione del movimento gravitativo non hanno, nelle attuali condizioni morfoclimatiche, esaurito la loro potenzialità. Sono quindi frane ad attività intermittente con tempi di ritorno lunghi, generalmente superiori a vari anni. Rientrano in questa categoria anche i corpi franosi oggetto di interventi di consolidamento, se non supportati da adeguate campagne di monitoraggio o da evidenze di drastiche modifiche all'assetto dei luoghi.
- **a3 - Deposito di versante:** Accumulo di detrito su versante sulla cui attribuzione genetica permane un grado di incertezza, non escludendo che sia dovuto a fenomeni franosi, mancando spesso i caratteri di forma tipici delle frane stesse. Solo una indagine più approfondita del semplice rilevamento sul terreno potrebbe chiarire la natura dei processi che hanno generato il deposito. Generalmente l'accumulo si presenta con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi), solo localmente stratificato e/o cementato. Come indicato sopra la genesi può essere gravitativa, da ruscellamento superficiale, da soliflusso.
- **a4 - Deposito eluvio-colluviale:** Coltre di materiale detritico, generalmente fine (frammenti di roccia, sabbie, limi e peliti) prodotto da alterazione "in situ" o selezionato dall'azione mista delle acque di ruscellamento e della gravità (subordinata), con a luoghi clasti a spigoli vivi o leggermente arrotondati.
- **b1 - Depositi alluvionali in evoluzione:** Deposito costituito da materiale detritico generalmente non consolidato (ghiaie, talora embriciate, sabbie e limi argillosi) di origine fluviale, attualmente soggetto a variazioni dovute alla dinamica fluviale. Può essere talora fissato da vegetazione (b1a).
- **i1 - Conoide torrentizia in evoluzione:** Depositi alluvionali, prevalentemente ghiaiosi, a forma di ventaglio aperto verso valle, in corrispondenza dello sbocco di valli e vallecole trasversali ai corsi d'acqua principali ove la diminuzione di pendenza provoca la sedimentazione del materiale trasportato dall'acqua, soggetti ad evoluzione dovuta alla dinamica torrentizia

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	21 di 55

Successione Neogenico – Quaternaria del margine appenninico - padano

- **AES8a – Unità di Modena:** Depositi ghiaiosi e fini. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo e grigio-giallastro. Corrisponde al primo ordine dei terrazzi nelle zone intravallive. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C.. Potenza massima di alcuni metri (< 10 m) (*Post-VI secolo d.C.*)

Successione epiligure

- **RAN3 – Formazione di Ranzano – membro di Varano de' Melegari:** Torbiditi arenaceo-pelitiche con  $A/P < 1$ , in strati da sottili a spessi, tabulari o lenticolari; litareniti risedimentate fini o finissime, grigio verdastre, particolarmente ricche di frammenti di rocce carbonatiche, passanti a pelite e pelite marnosa scura. Le peliti possono localmente costituire anche l'intero strato. Nell'area del Foglio 218 sono frequenti gli intervalli caotici, sono presenti anche livelli ricchi di frammenti di serpentinoscisti e altre metamorfiti di alta pressione e strati sottili di vulcanoareniti feldspatiche di composizione andesitica. Passaggio inferiore netto su RAN2. Potenza massima di oltre 600 m (*Rupeliano medio - sup.*)
- **RAN2 – Formazione di Ranzano – membro della Val Pessola:** Unità data da areniti, conglomerati e peliti in rapporti molto variabili e locali livelli caotici. Strati da medi a molto spessi, con geometria generalmente tabulare, talora lenticolare. Litoareniti grigio scure e verdastre, ricche di frammenti di serpentiniti con un aumento di frammenti di rocce carbonatiche verso l'alto; localmente possono prevalere i frammenti litici ofiolitici o quelli provenienti da rocce sedimentarie. Solo localmente sono presenti sottili intervalli pelitici grigi e verdastri. Localmente distinta una litofacies arenaceo-pelitica (RAN2ap). Contatto discontinuo, spesso erosivo e a luoghi discordante su MMP. Spessore fino a 1000 m circa (*Priaboniano - Rupeliano*)
- **RAN2a – Formazione di Ranzano – membro della Val Pessola – litofacies arenaceo-conglomeratica:** Conglomerati e areniti litiche, grigio scuri e verdastri, in banchi e strati torbiditici spessi e molto spessi, frequentemente amalgamati, intercalati da peliti grigio scure e verdastre e livelli caotici da slump; clasti di metamorfiti, magmatiti e rocce sedimentarie con un'importante frazione derivante da unità liguri (ofioliti, con predominanza di serpentiniti; diaspri; calcari e marne). Litofacies potente fino ad alcune centinaia di metri, costituita da più corpi grossolani lenticolari. Base erosiva, talora direttamente sul substrato ligure (*Priaboniano - Rupeliano*).
- **RAN2sl – Formazione di Ranzano – membro della Val Pessola – litofacies caotica:** Litofacies prevalentemente pelitica con alta frequenza di livelli caotici e inclusi, di lenti di arenarie calcari e marne derivanti dalle unità liguri, dalle Marne di Monte Piano e dalla Formazione di Ranzano.
- **RAN1 – Formazione di Ranzano – membro di Pizzo d'Oca:** Areniti fini chiare, a composizione feldspatico-litica con abbondanti elementi metamorfici, e peliti grigio azzurre; strati da sottili a spessi,  $A/P > 1$ . Contatto netto su MMP. Potenza variabile da pochi metri a circa 20 m.
- **MMP – Marne di Monte Piano:** Argille, argille marnose e marne rosse, rosate, grigio chiaro e verdi, con rari e sottilissimi strati di feldspatoareniti risedimentate, siltiti nerastre e calcari marnosi grigio-verdi od oca. Nell'area del Foglio 218 verso l'alto stratigrafico, le argille rosate passano gradualmente a marne siltose grigie. Localmente è stata distinta una litofacies caotica (MMPa) rappresentata da argille grigio scure inglobanti blocchi calcarei, calcarenitici e marnosi di pertinenza ligure.

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	22 di 55

Localmente alla base della formazione, sono presenti calcareniti grigie e rosate in strati massivi molto spessi caratterizzati da intensa bioturbazione e da tracce di *Zoophycos*. Sono presenti slump. Stratificazione generalmente poco evidente. Sedimentazione di tipo pelagico, in ambiente confinato e profondo, con rari apporti torbiditici. Il limite inferiore è discordante sulle unità liguri deformate o netto su BAl. La potenza affiorante è non superiore a 80 m (*Luteziano sup. - Rupeliano inf.?*)

#### Unità Liguri

- **MOH – Formazione di Monghidoro:** Torbiditi arenaceo-pelitiche in strati spessi, raramente molto spessi, con rapporto A/P generalmente intorno a 2/1 cui si intercalano intervalli metrici di strati sottili e medi con rapporto A/P circa 1/2. Le arenarie sono gradate con base a granulometria da media a grossolana, localmente poco cementate, di colore grigio, marroni o giallastre per alterazione; passano ad argilliti più o meno siltose di colore nerastro. Nella parte bassa della formazione sono presenti rari strati sottili calcareo-marnosi o calcarei, talora cartografati (tc). Torbiditi di piana bacinale. Limite inferiore graduale su MOV. La potenza geometrica di qualche centinaio di metri (*Maastrichtiano sup. - Paleocene*)
- **MOV – Formazione di Monte Venere:** Torbiditi arenaceo-marnose con base fine grigio-chiaro, in strati da medi a molto spessi, al tetto intervalli sottili o medi di argille scure o nerastre. Intercalazioni metriche di strati arenaceo-pelitici da sottili a spessi grigio brunastri, con rapporto A/P >1, a luoghi prevalenti sugli strati calcareo-marnosi. Regolari intercalazioni di megatorbiditi calcareo-marnose in strati spessi fino a 15 m. Le areniti hanno composizione arcossica e possono avere cementazione scarsa, specie quelle a grana più grossolana. Paleocorrenti con provenienza dai quadranti meridionali. Contatto inferiore non preservato. Nella parte alta della formazione è localmente presente la litofacies del Torrente Lucola (MOVa), costituita da torbiditi siltoso-marnose in strati sottili. Torbiditi di ambiente marino profondo. Potenza fino a 600 m (*Campaniano sup. - Maastrichtiano*)
- **APM – Arenarie del Poggio Mezzature:** Torbiditi arenaceo-pelitiche in strati medi e sottili alternate a livelli di torbiditi arenacee spesse e molto spesse di colore grigio-bluastro a grana anche grossolana. Rapporto A/P >1. Torbiditi di ambiente marino profondo. In aree limitrofe contatto inferiore per alternanze alle Argilliti dell'Uccelliera. Potenza di alcune centinaia di metri (*Santoniano sup. - Campaniano inf.*)

#### Unità Ultrascolane (Successione Episubligure nella Carta Sismotettonica della RER)

- **MMA – Marne di Marmoreto:** Marne, marne siltose grigie, a stratificazione mal visibile con rare intercalazioni di siltiti ed arenarie fini grigio-chiare, giallastre per alterazione, anche di origine vulcanoclastica. Nella parte basale intercalazioni di brecce argillitico calcaree. Contatto inferiore discordante su FIU. Deposito di scarpata. Spessore massimo di circa 100 m (*Rupeliano p.p. - Chattiano p.p.*)
- **FIU – Argille di Fiumalbo:** Nella parte bassa argilliti varicolori, verdastre o rosse con intercalazioni di sottili strati calcarenitico-marnosi spesso riuniti in sequenze di spessore decimetrico e con bioturbazione a condriti e fucoidi negli intervalli marnosi. Nella parte alta argilliti marnose grigio-cenere con intercalazioni di siltiti e areniti fini in strati sottili. Locali intercalazioni di torbiditi arenacee a cemento calcareo in strati spessi (FIU2), e di torbiditi grossolane con clasti di ofioliti e diaspri (FIU1). Contatto

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	23 di 55

stratigrafico discordante sulle successioni sottostanti. Spessore massimo 200-300 m (*Bartoniano - Rupeliano p.p*)

#### Unità Cervarola

- **CIV – Marne di Civago:** Marne grigio-cenere, spesso siltose, a stratificazione mal distinguibile. Localmente livelli di selce nera. Intercalazioni di sottili strati arenacei discontinui anche di origine vulcanoclastica, di livelli arenitici grossolani a matrice marnosa con abbondante glauconite risedimentata. Nell'area del Foglio 234 sono comprese in questa formazione anche torbiditi siltoso pelitiche in strati sottili. Deposito di scarpata. Contatto inferiore discordante sulle unità ultratoscane sottostanti. Spessore di 50-100 m (*Aquitani*).

#### Elemento tettonico di Gova (unità umbro-marchigiano-romagnola ?)

- **GOV – Arenarie di Gova:** torbiditi silicoclastiche in strati spessi a grana frequentemente grossolana e scarsa percentuale di intervalli pelitico marnosi. Spessore affiorante di circa 400 m. (*Burdigaliano sup.- Langhiano inf.*).

### 3.2 GEOMORFOLOGIA

Dai dati contenuti nella Carta Inventario del dissesto (PAI-PTCP) e degli abitati da consolidare e trasferire (L. 445/1908) del PTCP 2010 della Provincia di Reggio Emilia, il Comune di Toano presenta un elevato INDICE DI FRANOSITÀ<sup>2</sup> pari a circa il 46%, riconducibile all'affioramento di litologie argillose-marnose, da una morfologia "giovane" in piena evoluzione e talora da interventi antropici non adeguati al contesto geomorfologico.

Infatti l'attuale assetto geomorfologico dell'ambito territoriale del Comune di Toano è il risultato dell'effetto combinato di alterne vicende climatiche di varia intensità, lente deformazioni tettoniche ed interventi antropici, che si sono imposti negli ultimi millenni ed hanno direttamente interagito sull'andamento morfologico del territorio.

In generale si può affermare che il territorio di Toano è contraddistinto da una morfologia "giovanile" caratterizzata da versanti più o meno acclivi, con incisioni vallive spesso pronunciate, dovute prevalentemente all'azione erosiva dei corsi d'acqua.

Le forme di accumulo fluviale hanno estensione piuttosto limitata occupando le aree di fondovalle del F. Secchia, del T. Secchiello e del T. Dolo.

Molto diffuse sono le forme di erosione fluviale, specialmente sulle sponde geologicamente instabili o costituite da depositi detritici o litologie "tenere" (argilliti, marne,

<sup>2</sup> Valutazione del grado di dissesto idrogeologico rapportata all'estensione del territorio comunale

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	24 di 55

formazioni flyschoidi, ecc.). Spesso tali fenomeni sono la causa dell'innescò di movimenti franosi di neoformazione sui versanti o della riattivazione di vecchie frane quiescenti.

I dissesti sono presenti sull'intero territorio comunale, ma sono particolarmente diffusi nel settore settentrionale compreso tra Cavola, il Capoluogo e Cerredolo.

Di seguito vengono sinteticamente descritte le principali situazioni di dissesto che determinano condizioni di rischio per edifici ed infrastrutture:

- **CAVOLA:** l'abitato è situato all'interno del microbacino definito dai Rii di Pietra Grossa e di Priolo tributari in destra del F. Secchia. Il nucleo storico dell'abitato si colloca sul corpo di una estesa paleofrana, caratterizzata nel tempo da diffusa instabilità. A causa del ripetersi di tali dissesti l'abitato fu incluso nel 1938 nell'elenco di quelli da consolidare ai sensi della Legge 445/1908. Attualmente risultano sufficientemente stabilizzati sia la porzione superiore, che il piede della paleofrana. Al contrario, sulla parte mediana della paleofrana, è presente un dissesto attivo che tende a coinvolgere gli edifici posti sul settore orientale dell'abitato di Cavola. Il fenomeno franoso è di tipo complesso con prevalenza della componente di scorrimento rotazionale su quella traslativa. Nel tempo sono state eseguite varie opere idrauliche e di consolidamento per rallentare l'evoluzione dei dissesti in atto.
- **CERREDOLO:** l'abitato è stato interessato in passato dall'evoluzione di un vasto fenomeno franoso che ha coinvolto il settore meridionale dell'abitato. A seguito di tale evento l'abitato è stato incluso nel 1941 fra quelli da consolidare ai sensi della Legge 445/1908. Si ritiene che l'esteso movimento franoso, che nel 1939 ha causato la parziale distruzione dell'abitato, sia stato innescato principalmente dallo scalzamento al piede del versante, in seguito all'abbassamento dei profili di fondo degli alvei del F. Secchia e del T. Dolo, e dall'azione delle acque di circolazione all'interno delle coperture. Il fenomeno sembra manifestarsi in modo costante e progressivo come confermano i ripetuti interventi di sistemazione eseguiti sui fabbricati.

Circa 1,5 km ad est di Cerredolo, poco prima dell'abitato di Lupazzo, si trova l'omonima frana, che nel 1960 coinvolse l'alveo del Secchia, determinando la formazione di un esteso lago temporaneo. Si trattò della mobilitazione in massa di una grande frana di scivolamento che interessò il versante settentrionale del M. Lama. Circa 13 milioni di mc di materiali andarono ad occludere completamente il

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	25 di 55

fondovalle, formando il cosiddetto Lago di Cerredolo che allagò circa 200 ha di terreno per una durata di 8 mesi. Nell'invaso si sedimentarono limi, argille e sabbie per uno spessore di circa 5 m, mentre la parte del corpo di frana che non venne inciso dalla corrente ha rialzato il fondo dell'alveo rendendo necessaria la costruzione di alcune traverse.

Ai fini della definizione dei movimenti gravitativi nel presente studio, come detto in precedenza, si è fatto riferimento alla Carta Inventario del dissesto (PAI-PTCP) e degli abitati da consolidare e trasferire (L. 445/1908) della Provincia di Reggio Emilia, che ne prevede l'identificazione e la classificazione sulla base dello stato di attività e della tipologia.

Più precisamente, sulla base dello stato di attività, si distinguono le seguenti classi:

- **frana attiva**: movimento gravitativo ritenuto attivo o riattivato (in un settore di corpo di frana quiescente) all'atto dell'indagine fotointerpretativa, ovvero rilevato o confermato da controllo sul terreno; l'attività può trovare conferma anche in dati documentali recenti (pubblicazioni, carte geologiche, relazioni tecniche, ecc.);
- **frana quiescente**: riguarda tutti i tipi di dissesto in cui è possibile desumere, da indizi di natura geomorfologica e considerazioni di evoluzione morfoclimatica del territorio appenninico, la temporanea inattività del corpo di frana e della scarpata principale ad essa connessa.

Quanto alla tipologia, tenendo conto delle classi stabilite dagli ICMS, nel territorio in esame, sono state distinte le seguenti frane:

- Scorrimento: classe in cui sono accorpati gli scivolamenti rotazionali e quelli traslazionali o planari
- Colata: che può essere di terra o di fango
- Complessa: data dalla combinazione di 2 o più movimenti di tipo semplice

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	26 di 55

## 4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

### 4.1 ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

La ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale ha consentito di esaminare le relazioni geologiche, prodotte a corredo di varianti agli strumenti urbanistici, di progetti edilizi, di PUA e di opere pubbliche e di acquisire copia delle indagini geognostiche eseguite.

Una volta completato il quadro dei dati disponibili, è stata pianificata e condotta una specifica campagna di indagini integrative consistita nell'esecuzione di n° 5 MASW e n° 41 misure di microtremori a stazione singola (HVSr).

Tutte le indagini sono state trasformate in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS. A tal proposito sia i dati di base, che i dati elaborati sono stati organizzati in formato vettoriale (*shapefile*).

In Tab. 2 è rappresentato il quadro d'insieme delle prove acquisite ricadenti nel territorio comunale o appositamente realizzate nelle aree interessate dal secondo livello d'approfondimento (campagna 2019-2020).

Prove in sito	Archivi locali	nuove prove	Totale
Sondaggi a carotaggio continuo	6		6
Sondaggi con inclinometro	6		6
Saggi esplorativi con escavatore	3		3
Prove penetrometriche dinamiche super-pesanti (DS)	18		18
Prove penetrometriche dinamiche pesanti (DP)	3		3
Prove penetrometriche dinamiche medie (DN)	12		12
Prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)	1		1
MASW	7	5	9
Stazione microtremore a stazione singola (HVSr)	4	41	45
Profilo sismico a rifrazione	6		6
Down Hole (DH)	2		2
Tomografia elettrica	1		1
Totali	<b>69</b>	<b>46</b>	<b>112</b>

Tab. 2 – Prove in sito disponibili per il Comune di Toano

L'ubicazione degli elementi stratigrafici e geofisici acquisiti è riportata nella Carta delle indagini in scala 1:10.000.

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	27 di 55

## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

La base per uno studio di microzonazione sismica è la definizione, quanto più accurata possibile, del modello geologico del sottosuolo, cercando di individuare come varia la successione stratigrafica all'interno delle aree in esame e a che profondità si possa trovare il substrato rigido.

A tale scopo, per il territorio in questione, sono stati esaminati e confrontati tra loro tutti i dati geognostici raccolti, oltre a differenti cartografie tematiche, con scale di diverso grado di dettaglio.

Rimandando al paragrafo 7.4 la descrizione specifica delle caratteristiche delle porzioni di territorio comunale oggetto del presente studio, di seguito ci si limita a proporre alcune considerazioni su come l'assetto geologico rilevato possa modificare il moto sismico in superficie e quali problematiche comporti per la determinazione degli effetti locali.

A riguardo, in primo luogo, va considerato che in tutta la zona in esame, al di sotto delle coperture quaternarie, sono presenti unità, talora stratificate e talora non stratificate, costituite da depositi a differente litologia (calcari, areniti, marne, peliti), all'interno dei quali le velocità di propagazione delle onde sismiche sono molto differenti tra loro, anche se in pochi casi raggiungono velocità da bedrock sismico, maggiori di 800 m/s.

Inoltre si consideri che dette velocità risultano fortemente condizionate anche dal grado di fratturazione degli ammassi rocciosi, determinato da vari fattori, primi fra tutti, l'azione tettonica, la gravità e gli agenti atmosferici. Ciò interessa, in particolare, il livello di roccia più superficiale, di spessore variabile, fortemente alterato (regolite).

Anche nelle coperture quaternarie si osservano significative variazioni nei profili delle Vs, sia in relazione allo stato di addensamento dei depositi, generalmente maggiore all'aumentare della profondità, che al tipo di litologie attraversate.

Le conoscenze geognostiche, quando possibile, consentono di individuare le prime superfici di discontinuità, ad esempio al contatto tra i depositi quaternari e il substrato marino. Quanto alle discontinuità più profonde, come potrebbe essere il limite regolite/roccia in posto o determinate dal passaggio tra strati costituiti da litotipi differenti, all'interno del substrato marino, è difficile che si abbiano informazioni attendibili.

D'altra parte, come verrà illustrato nel prosieguo della relazione, le indagini tromografiche effettuate restituiscono curve H/V in cui sono generalmente presenti più

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	28 di 55

picchi, con contrasti d'impedenza bassi e simili tra loro, a frequenze associabili a differenti profondità.

È evidente che, in un tale contesto, definire la risposta sismica locale non sia sempre facile, così come risulta spesso una discreta forzatura assimilare l'assetto geologico delle varie zone ad un modello fisico monodimensionale.

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	29 di 55

## 6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

La valutazione della risposta sismica locale, sia con approccio semplificato, sia con modellazioni avanzate, non può prescindere da un'accurata ricostruzione del modello geosismico del sottosuolo tramite l'utilizzo di indagini geofisiche specifiche. Le prove MASW e le misurazioni effettuate tramite stazione singola (HVSR), hanno permesso di ricostruire con una certa precisione i modelli sismo-stratigrafici locali, poiché spesso i segnali si presentano con un'elevata coerenza nel modo fondamentale.

Le misure HVSR si presentano chiare anche se, a volte, la presenza di disturbi antropici ne hanno alterato il naturale andamento; in generale i rapporti spettrali H/V, non sono particolarmente elevati e sono in genere compresi tra 2 e 3.

Per ciascuna prova è stato riportato il grafico del rapporto spettrale H/V naturale, in cui si possono osservare gli eventuali picchi caratteristici, in corrispondenza di determinate frequenze (Fig. 15).

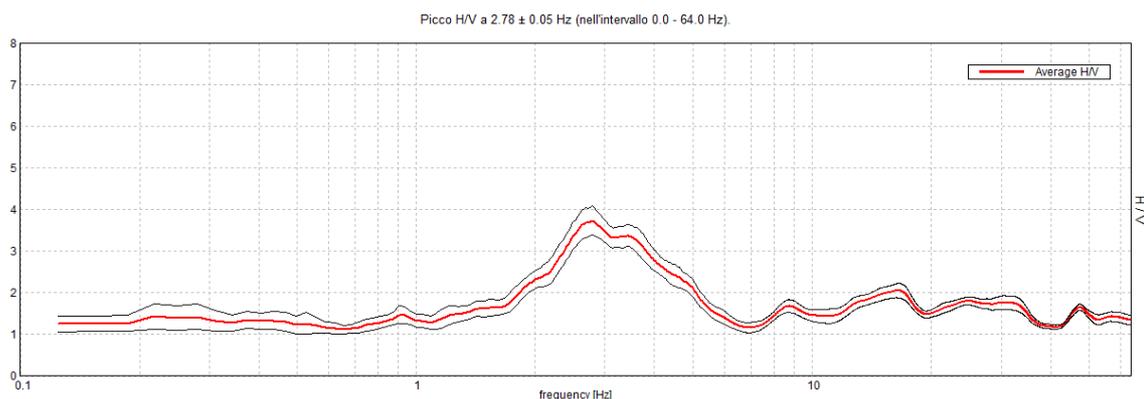


Fig. 15 – Esempio di curva H/V naturale della prova 035041P64HVSR68

Al fine di determinare la qualità delle singole misure HVSR effettuate e la loro relativa affidabilità, si è provveduto alla classificazione delle prove valutando, in accordo con i più recenti studi in materia, le caratteristiche dei fondamentali principi su cui si basa la tecnica di indagine a sismica passiva utilizzata.

Nello specifico si è proceduto all'analisi della durata complessiva delle singole registrazioni, utilizzando esclusivamente quelle capaci di produrre stime "robuste" del campo medio delle vibrazioni ambientali, soddisfacendo in tal senso i primi 3 criteri del progetto SESAME (linee guida 2005), relativi alla robustezza statistica del segnale. Inoltre, per ogni singola acquisizione è stato valutato l'andamento complessivo della curva H/V, prestando particolare attenzione, durante la fase di elaborazione, alla plausibilità

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	30 di 55

fisica della curva stessa, verificabile attraverso l'individuazione di massimi caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale.

In fase di elaborazione, sfruttando le possibilità di analisi direzionale e temporale del software utilizzato (GRILLA® – MOHO), è stata valutata la stazionarietà temporale dei rapporti spettrali misurati, prestando inoltre particolare attenzione alle variazioni azimuthali di ampiezza, nel rispetto della condizione di isotropia del segnale

Quanto ai criteri delle linee guida SESAME 2005 relativi alla “chiarezza” del picco di possibile risonanza, in alcuni casi non risultano soddisfatti, in quanto le caratteristiche geologiche del territorio esaminato fanno sì che spesso, nelle curve H/V, non siano presenti picchi ben pronunciati.

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	31 di 55

## 7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nella prima fase di lavoro, come descritto in precedenza, sono stati acquisiti tutti i dati bibliografici e di archivio disponibili, sono stati condotti puntuali rilievi sul territorio ed è stata analizzata la cartografia geologica e geomorfologica fruibile. In seguito, tenendo conto dell'insieme degli elementi acquisiti, è stata predisposta ed eseguita una campagna di rilievi integrativi e di controllo. A conclusione di questa fase sono stati predisposti i seguenti elaborati:

- **Carta delle indagini (scala 1:10.000)** - In questa carta è riportata l'ubicazione, di tutte le indagini in sito acquisite o realizzate in questa sede, distinte in base alla specifica tipologia: sondaggi, penetrometrie, prove geofisiche, ecc.;
- **Carta geologico-tecnica (scala 1:10.000)** - Questa carta, estesa all'intero territorio comunale, prende in esame i terreni di copertura, il substrato geologico, le instabilità dei versanti, gli elementi geologici, morfologici e idrogeologici e gli ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura;
- **Carta delle frequenze naturali dei terreni (scala 1:10.000)** - In questa carta sono riportate le ubicazioni dei punti ove sono state eseguite le indagini sismiche HVSR, con simbolicamente rappresentato il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (*frequenza principale*). A fianco di ciascun simbolo è riportata la frequenza relativa al primo picco significativo e, qualora presente, è indicata anche la frequenza di un secondo picco (*frequenza secondaria*). Le misure inoltre sono state suddivise in classi sulla base delle frequenze e dell'ampiezza del picco;
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (scala 1:10.000)** - In questa carta, estesa all'intero territorio comunale, sono state individuate le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, distinte in nove zone, le zone di attenzione per instabilità di versante e i punti di misura di rumore ambientale.

In tutte le cartografie sono stati riportati i perimetri delle aree relative ai centri abitati di Toano, Cavola, Cerredolo, Corneto, Fora, Vogno e Quara-Montebiotto-Castagnola sottoposte a Microzonazione Sismica.

In una fase successiva è stato predisposto il seguente elaborato:

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	32 di 55

- **Carta delle velocità delle onde di taglio S (scala 1:10.000)** - In questa carta è stata riportata l'ubicazione delle prove MASW e a fianco di ciascuna prova è stato riportato il rispettivo valore di  $V_{S30}$  e/o  $V_{SH}$  in m/s. Anche in questa tavola sono stati riportati i perimetri delle aree relative ai centri abitati di Toano, Cavola, Cerredolo, Corneto, Fora, Vogno e Quara-Montebiotto-Castagnola sottoposte a Microzonazione Sismica.

Infine si è proceduto con la terza ed ultima fase di lavoro, che ha portato alla determinazione dei fattori di amplificazione (F.A.) e sono stati prodotti i seguenti elaborati:

- **Carte di microzonazione sismica (scala 1:5.000)** - In queste carte sono raffigurate le amplificazioni stimate, tramite procedure semplificate, per i vari settori di territorio in esame. Per ciascuna tavola sono state realizzate "finestre" relative ai centri abitati di Toano Cavola, Cerredolo, Corneto, Fora, Vogno e Quara-Montebiotto-Castagnola

Più in particolare sono stati predisposti i seguenti elaborati cartografici:

- Carta di microzonazione sismica - FA PGA
- Carta di microzonazione sismica - FA SA 0,1 - 0,5 s
- Carta di microzonazione sismica - FA SA 0,4 - 0,8 s
- Carta di microzonazione sismica - FA SA 0,7 - 1,1 s
- Carta di microzonazione sismica - FA SI 0,1 - 0,5 s
- Carta di microzonazione sismica - FA SI 0,5 - 1,0 s
- Carta di microzonazione sismica - HSM

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	33 di 55

## 8. ELABORATI CARTOGRAFICI

### 8.1 Carta delle indagini

Nell'aggiornamento della Carta delle indagini sono state riportate le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione, unitamente ai dati pregressi, relativi a indagini geognostiche e/o geofisiche a corredo di pratiche edilizie depositate presso l'Ufficio Tecnico Comunale.

Esse sono state distinte in base alla tipologia (Fig. 16).

	Sondaggio a carotaggio continuo
	Prova sismica in foro tipo Downhole
	Sondaggio con inclinometro
	Trincea o pozzetto esplorativo
	Prova penetrometrica statica con punta meccanica
	Prova penetrometrica dinamica superpesante
	Prova penetrometrica dinamica pesante
	Prova penetrometrica dinamica media
	Stazione microtremore a stazione singola
	Stratigrafia zona MS (teorica)
	MASW
	Profilo sismico a rifrazione
	Tomografia elettrica

Fig. 16 – Legenda della Carta delle indagini

Nelle carte sono indicate anche alcune indagini esterne ai perimetri delle aree oggetto di microzonazione sismica di Livello 2 dove sono state indirizzate le analisi, ma ugualmente utili a definire le caratteristiche litostratigrafiche e/o geofisiche dei terreni.

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	34 di 55

## 8.2 Carta geologico-tecnica per microzonazione sismica

Nella Carta geologico-tecnica sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti e da indagini geognostiche pregresse.

La legenda della carta geologico-tecnica è la seguente (Fig. 17):

### Terreni di copertura

GM	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
GP	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
CL	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità

### Substrato geologico

ALS	Alternanza di litotipi, stratificato
AL	Alternanza di litotipi
LPS	Lapideo, stratificato
LP	Lapideo
CO	Coesivo sovraconsolidato

### Elementi tettonico strutturali

	Faglia inversa non attiva (certa)
	Faglia con cinematisimo non definito (certa)
	Faglia con cinematisimo non definito (incerta)

### Elementi geologici e idrogeologici

15		Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)
10		Giacitura strati
		Traccia di sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo

### Ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura

ca	Conoide alluvionale
tf	Terrazzo fluviale
ec	Eluvi / colluvi

### Instabilità di versante

	Scorrimento - attiva
	Colata - attiva
	Complessa - attiva
	Scorrimento - quiescente
	Colata - quiescente
	Complessa - quiescente

### Forme di superficie e sepolte

	Conoide alluvionale
--	---------------------

Fig. 17 – Legenda della Carta geologico tecnica

L'assetto giaciturale e strutturale delle formazioni geologiche è rappresentato dalla sezione geologica rappresentata nella Fig. 18, la cui traccia è riportata nella carta geologico-tecnica e la cui ubicazione viene riproposta nella Fig. 17.

<b>Studio di geologia</b> <b>Dott. Stefano Castagnetti</b>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	35 di 55

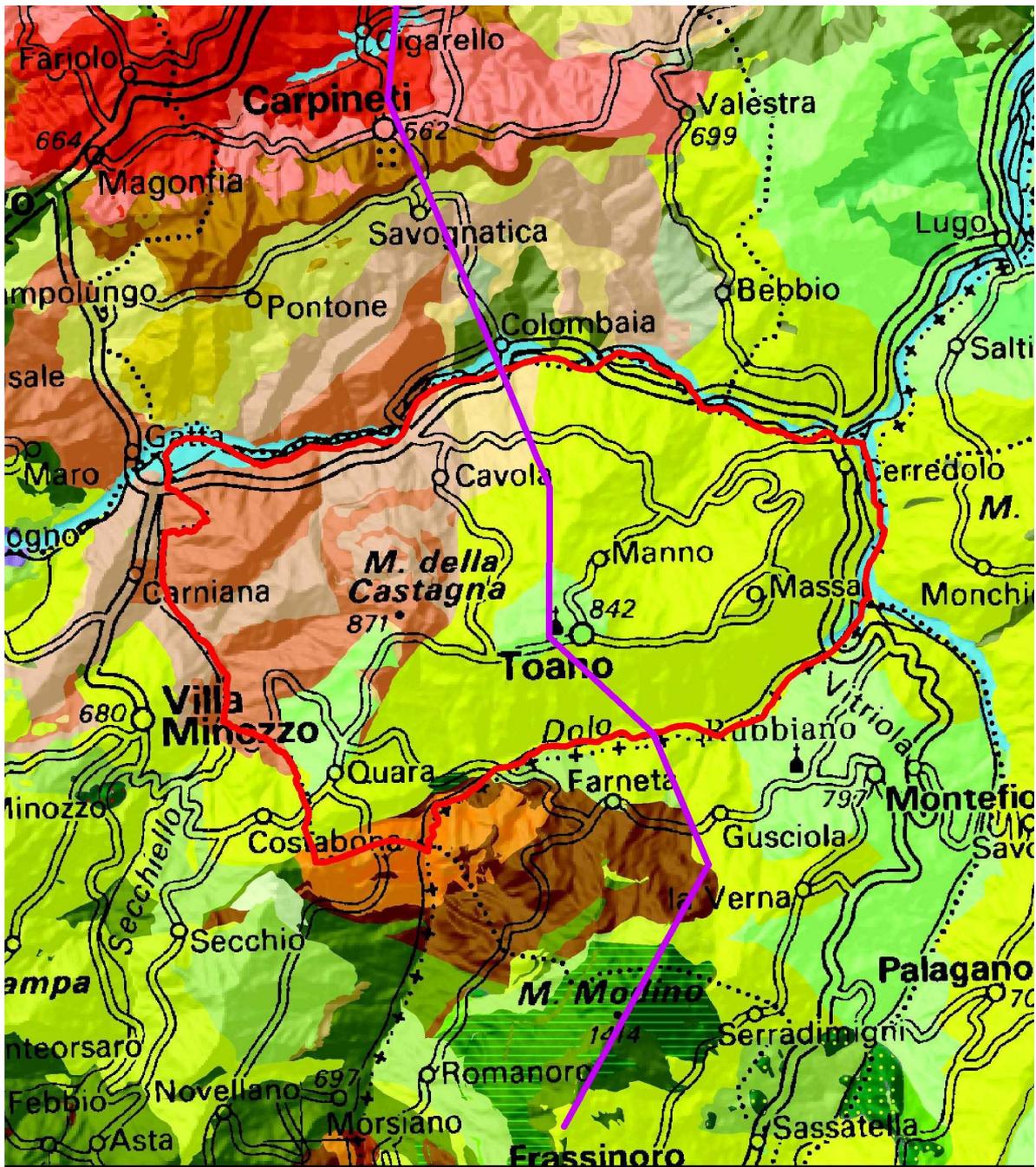


Fig. 17 – Ubicazione della sezione geologica interpretativa

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	36 di 55

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO

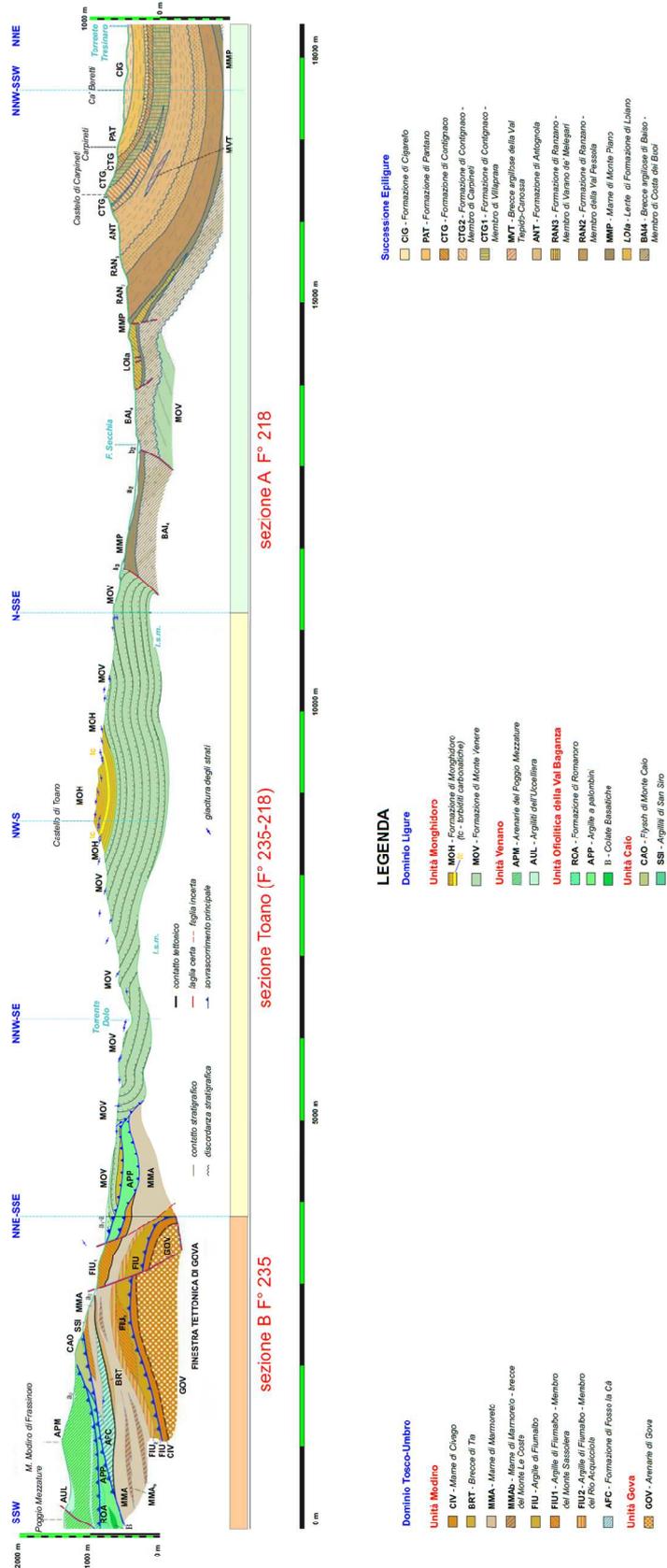


Fig. 18 – Sezione geologica (elaborazione: dott. Maurizio Andreozzi)

<p><b>Studio di geologia</b> Dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	37 di 55

### 8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili, sia contenuti nell'archivio comunale, sia di nuova acquisizione, è stata redatta la Carta delle frequenze naturali dei terreni a scala 1:5.000.

Si tratta di una carta derivata dalle indagini speditive di sismica passiva (HVSR sulle vibrazioni ambientali). In questa carta sono stati riportati tutti i punti di misura, con associato il risultato della prova (valore di  $F_0$  del picco significativo a più bassa frequenza corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale e di eventuali altri picchi significativi a più alta frequenza).

Gli indirizzi tecnici a cui si è fatto riferimento prescrivono, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

- $F_0 \leq 0,6$  Hz
- $0,6 \text{ Hz} < F_0 \leq 1$  Hz
- $1 \text{ Hz} < F_0 \leq 2$  Hz
- $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8$  Hz
- $F_0 > 8$  Hz

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un contrasto d'impedenza più o meno alto. In Fig. 19 si riporta uno stralcio della legenda di tale elaborato cartografico.

frequenza picco significativo (Hz)	ampiezza picco			spessore atteso (m)
	$1,5 \leq \text{HVSR} < 2$	$2 \leq \text{HVSR} < 3$	$\text{HVSR} \geq 3$	
$F_0 \leq 0,6$				> 200
$0,6 < F_0 \leq 1$				200 - 100
$1 < F_0 \leq 2$				100 - 30
$2 < F_0 \leq 8$				30 - 10
$F_0 > 8$				< 10
Assenza di picchi significativi				

A lato del simbolo sono riportate la frequenza relative al primo picco significativo (in rosso) e al secondo picco (in blu) se presente

Fig. 19 – Legenda della Carta delle frequenze

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	38 di 55

## 8.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), rappresenta il documento fondamentale del primo livello di approfondimento. In tale elaborato l'intero territorio comunale viene distinto a seconda dell'appartenenza a una delle seguenti categorie:

- 1) **zone stabili:** si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido. In queste zone non sono richiesti ulteriori approfondimenti;
- 2) **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:** si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello;
- 3) **zone suscettibili di instabilità.** Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni (queste ultime non presenti sul territorio comunale) e densificazione. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

Le zone stabili sono state individuate dove affiora il substrato lapideo e risultano particolarmente estese in corrispondenza del settore centro-orientale del territorio comunale. Le aree che presentano maggiore estensione sono caratterizzate da alternanza di litotipi (Formazione di Monte Venere) e, in percentuale residuale, da substrato lapideo (Marne di Civago).

La categoria delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali è rappresentata in particolare nel settore occidentale del territorio comunale, nell'areale del Capoluogo e lungo i fondovalle di Secchia, Secchiello ed Ozola.

All'interno di questa categoria sono state operate ulteriori distinzioni. Infatti, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, sono stati identificate 8 microzone omogenee ognuna con un proprio profilo stratigrafico tipo (cfr. Fig. 20):

- Zona 1 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido ( $V_s < 800$  m/s) di tipo ALS, ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3,00 m;

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	39 di 55

- Zona 2 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido ( $V_s < 800$  m/s) di tipo AL o CO o COS, ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3,00 m;
- Zona 3 - Successione stratigrafica costituita da substrato geologico non rigido ( $V_s < 800$  m/s), ricoperto da depositi di versante s.l., a granulometria prevalentemente argillosa e spessore medio pari a circa 5,00 m;
- Zona 4 - Successione stratigrafica costituita da substrato geologico rigido ( $V_s > 800$  m/s), ricoperto da depositi di versante s.l., a granulometria prevalentemente argillosa e spessore medio pari a circa 5,00 m;
- Zona 5 - Successione stratigrafica costituita da un orizzonte superficiale ghiaioso con ridotta copertura fine, dello spessore di 5÷10 m, che ricopre un substrato geologico di tipo non rigido ( $V_s < 800$  m/s);
- Zona 6 - Successione stratigrafica costituita da un substrato non rigido ( $V_s < 800$  m/s), ricoperto da una coltre di depositi a granulometria prevalentemente fine, di spessore non definibile per insufficienza di dati litostratimetrici;
- Zona 7 - Successione stratigrafica costituita da un orizzonte superficiale ghiaioso con ridotta copertura fine, dello spessore medio di 5 m, che ricopre un substrato geologico di tipo rigido ( $V_s > 800$  m/s);
- Zona 8 - Successione stratigrafica costituita da un substrato rigido ( $V_s > 800$  m/s), ricoperto da una coltre di depositi a granulometria prevalentemente fine, di spessore non definibile per insufficienza di dati litostratimetrici;

Le Fig. 20 mostra le colonne stratigrafiche sintetiche che caratterizzano le MOPS delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	40 di 55

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO

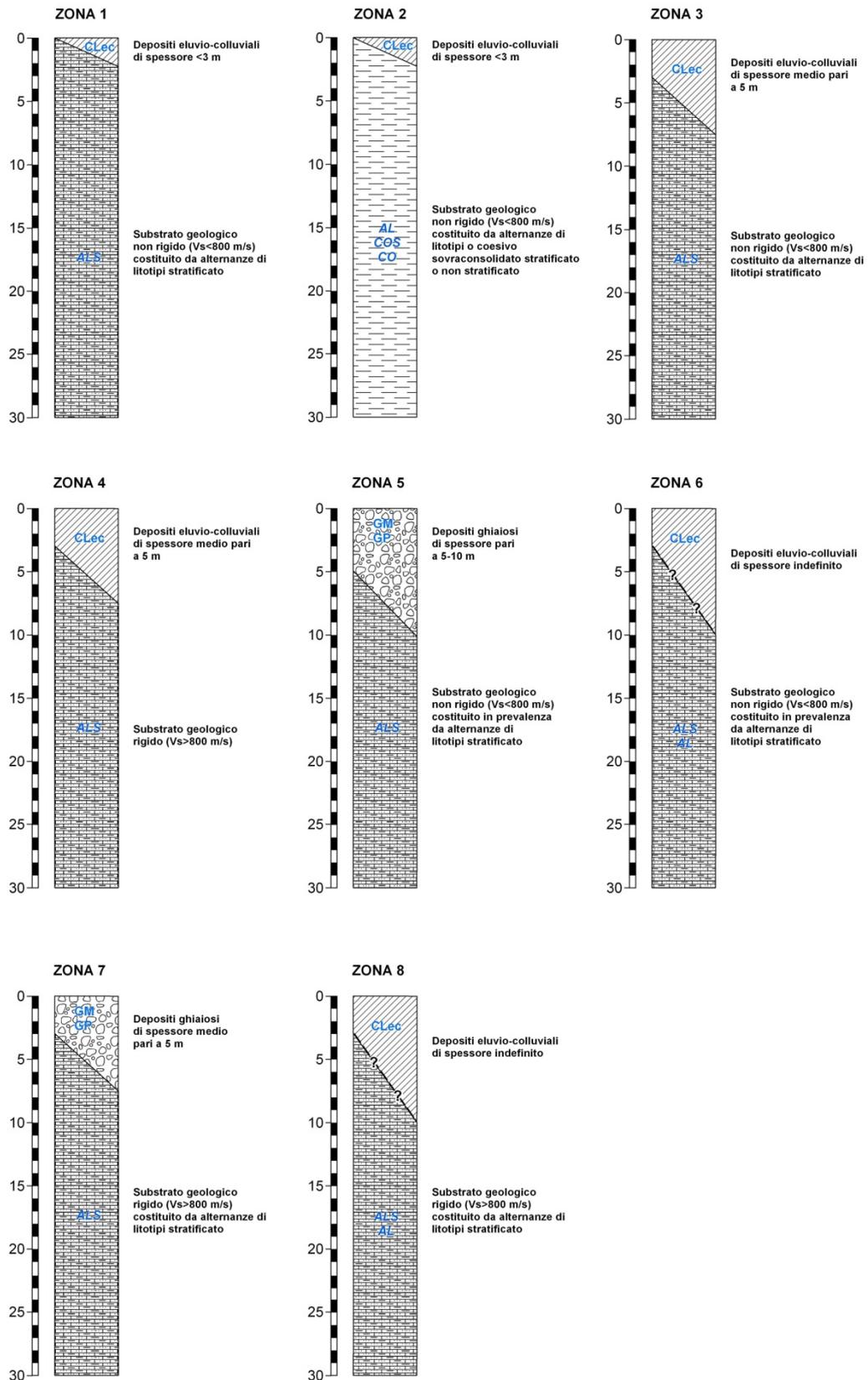


Fig. 20 - Colonne stratigrafiche sintetiche relative alle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	41 di 55

Per le zone di attenzione per instabilità sono state cartografate altre 8 zone, riconducibili a fenomeni di instabilità di versante attivi e quiescenti come di seguito descritte (cfr. Fig. 21):

- ZAFR - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 9. Coltre di spessore <7,5 m, costituita da materiali prevalentemente argilloso-limosi con frammenti lapidei eterometrici, sovrastante ad un substrato di tipo non rigido ( $V_s < 800$  m/s);
- ZAFR - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 10. Coltre di spessore <7,5 m, costituita da materiali prevalentemente argilloso-limosi con frammenti lapidei eterometrici, sovrastante ad un substrato di tipo rigido ( $V_s > 800$  m/s);
- ZAFR - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 11. Coltre di spessore compreso tra 7,5 e 15 m, costituita da materiali prevalentemente argilloso-limosi con frammenti lapidei eterometrici, sovrastante un substrato di tipo non rigido ( $V_s < 800$  m/s);
- ZAFR - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 12. Coltre di spessore compreso tra 7,5 e 15 m, costituita da materiali prevalentemente argilloso-limosi con frammenti lapidei eterometrici, sovrastante un substrato di tipo rigido ( $V_s > 800$  m/s);
- ZAFR - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 13. Coltre di spessore > 15 m, costituita da materiali prevalentemente argilloso-limosi con frammenti lapidei eterometrici, sovrastante un substrato di tipo non rigido ( $V_s < 800$  m/s);
- ZAFR - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 14. Coltre di spessore > 15 m, costituita da materiali prevalentemente argilloso-limosi con frammenti lapidei eterometrici, sovrastante un substrato di tipo rigido ( $V_s > 800$  m/s);
- ZAFR - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 15. Corpo di frana di spessore non definibile per insufficienza di dati litostratimetrici, impostato su un substrato di tipo non rigido ( $V_s < 800$  m/s);
- ZAFR - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 16. Corpo di frana di spessore non definibile per insufficienza di dati litostratimetrici, impostato su un substrato di tipo rigido ( $V_s > 800$  m/s).

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	42 di 55

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO

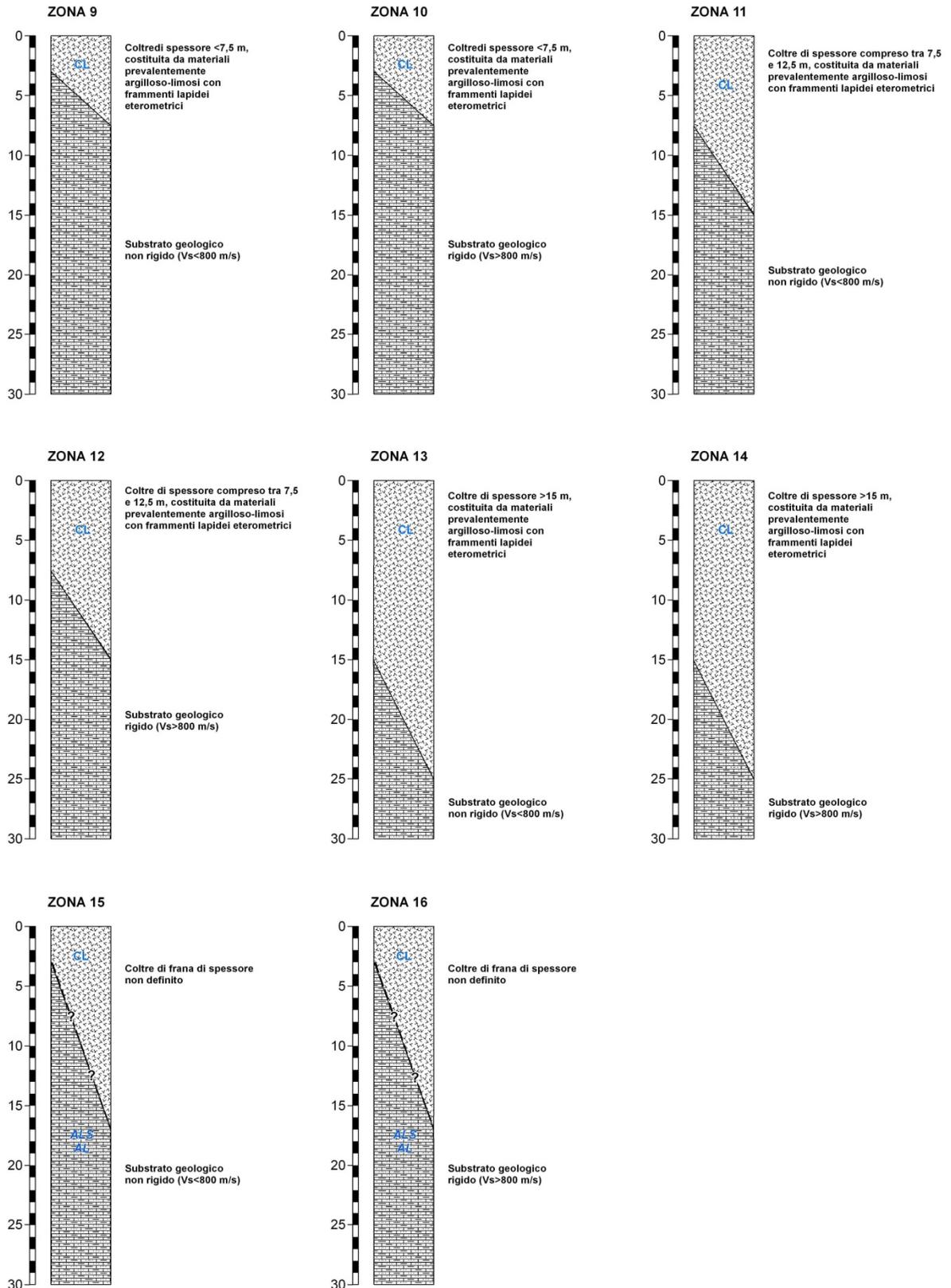


Fig. 21 - Colonne stratigrafiche sintetiche relative alle zone di attenzione per instabilità di versante

Infine nella carta delle MOPS sono state riportate le conoidi alluvionali quali forme di superficie e sepolte e le tracce per gli approfondimenti delle amplificazioni topografiche.

## 8.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, per tutte le aree oggetto di studio è stata redatta la Carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_S$ ).

In tali elaborati sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (HVSR, MASW) e indicando il corrispondente valore di  $V_{SH}$  (in m/s), dove:

$$V_{SH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

$H$  = spessore totale (in metri) dei terreni di copertura o profondità del *bedrock*  
 $h_i$  = spessore (in metri) dello strato  $i$ -esimo (fino al *bedrock*)  
 $V_{S_i}$  = velocità (in m/s) dello strato  $i$ -esimo (fino al *bedrock*);

o di  $V_{S30}$  (sempre in m/s), dove:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

$h_i$  = spessore (in metri) dello strato  $i$ -esimo (fino alla profondità di 30 m);  
 $V_{S_i}$  = velocità (in m/s) dello strato  $i$ -esimo (fino alla profondità di 30 m).

In Fig. 22 si riporta uno stralcio della legenda di tale elaborato cartografico:

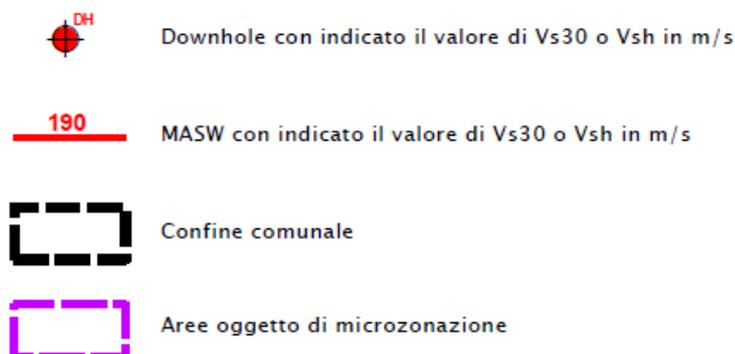


Fig. 22 – Legenda della Carta delle velocità delle onde di taglio S

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	44 di 55

## 8.6 Carte di microzonazione sismica

Le Carte di microzonazione sismica di Livello 2 in scala 1:5.000 fanno parte degli elaborati grafici conclusivi del presente studio.

L'amplificazione è stata quantificata in termini di:

- $F_{PGA} = PGA/PGA_0$ , dove  $PGA_0$  è l'accelerazione massima orizzontale a periodo  $T=0$  al suolo di riferimento e  $PGA$  è l'accelerazione massima orizzontale a periodo  $T=0$  alla superficie del sito;
- $FA = SA/SA_0$ , dove  $SA_0$  è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento e  $SA$  è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi  $T$ :  $SA1$  per  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ,  $SA2$  per  $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ,  $SA3$  per  $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ;
- $FH = SI/SI_0$ , dove  $SI_0$  è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento e  $SI$  è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi  $T$ :  $SI1$  per  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ,  $SI2$  per  $0,5s \leq T \leq 1,0s$ .

Per le aree sottoposte ad analisi di secondo livello i valori dei fattori di amplificazione (FA) sono stati ricavati dalle tabelle allegate alla DGR n. 630 del 29 aprile 2019 della Regione Emilia-Romagna (Tabb. 3-4-56).

La scelta dell'abaco per la stima dei fattori di amplificazione è stata effettuata sulla base delle caratteristiche sismo stratigrafiche del sottosuolo.

In Fig. 23 sono state rappresentate le Zone oggetto di studio, distinte sulla base delle tabelle utilizzate per l'attribuzione dei fattori di amplificazione.

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	45 di 55

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO

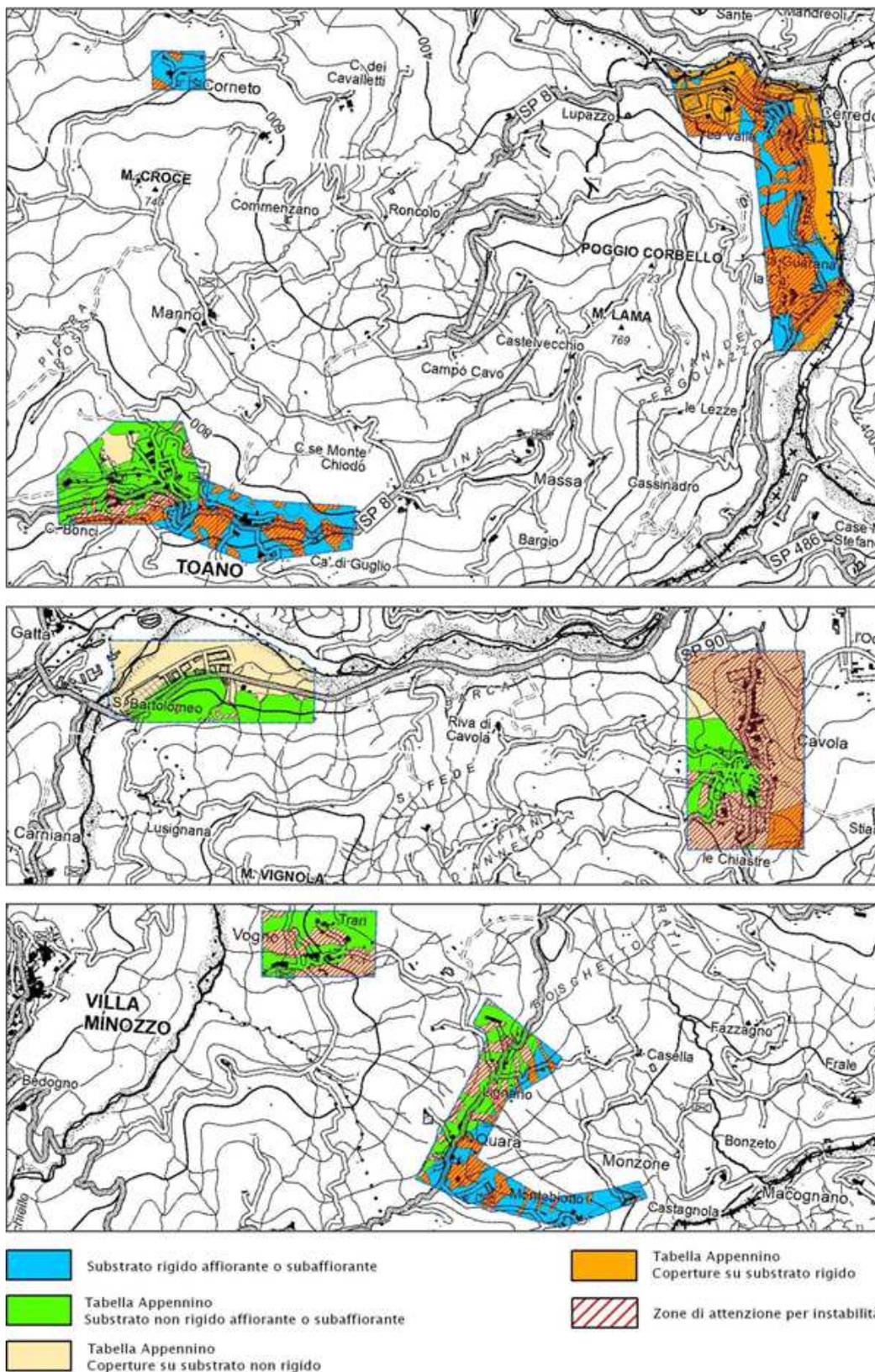


Fig. 23 - Suddivisione delle zone in base alle tabelle allegate alla DGR n. 630/2019 utilizzate per la determinazione dei fattori di amplificazione

 <p>Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	46 di 55

## STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO

$V_{s30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
PGA					1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1

Fattore di Amplificazione **PGA**

$V_{s30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
SA1					1,9	1,7	1,6	1,4	1,2	1,1
SA2					1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3
SA3					1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2

Fattori di Amplificazione **SA1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SA2** ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ), **SA3** ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ )

$V_{s30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
SI1					1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2
SI2					1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3

Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SI2** ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ )

Tab. 3 – Tabella da utilizzare per la stima di F.A., in termini di PGA, SA e SI, nel caso di substrato marino non rigido con  $V_s \ll 800$  m/s affiorante o subaffiorante (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,8	1,7	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
15	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,0
20	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,0
25	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,6	1,5	1,3	1,0
30		1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,2
35		1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,6	1,4	1,4	1,2
40		1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,6	1,4	1,4	1,2
50		1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,4	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione PGA

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,5	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,2	1,8	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,8	2,5	1,9	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,9	2,8	2,4	1,7	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
30		3,0	2,7	2,0	1,7	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
35		3,1	2,9	2,4	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1
40		3,1	3,0	2,6	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1
50		2,9	2,9	2,7	2,5	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione SA2 (0,4s ≤ T ≤ 0,8s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,7	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,1	2,0	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,2	2,2	2,0	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
20	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1	1,1
25	2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1
30		2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2
35		2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,6	1,4	1,2
50		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5	1,2

Fattore di Amplificazione SA1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,0	1,5	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,7	1,9	1,5	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
30		2,5	1,8	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
35		3,1	2,3	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0
40		3,4	2,9	1,9	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0
50		3,5	3,3	2,8	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1

Fattore di Amplificazione SA3 (0,7s ≤ T ≤ 1,1s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,1	2,0	1,6	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,4	2,3	2,1	1,7	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0
20	2,4	2,4	2,3	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0
25	2,4	2,4	2,4	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,0
30		2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,1
35		2,3	2,3	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
50		2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione SI1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,6	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,6	1,9	1,5	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,9	2,5	1,9	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
30		2,9	2,3	1,6	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
35		3,2	2,8	1,9	1,5	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0
40		3,4	3,1	2,4	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0
50		3,2	3,2	2,9	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1

Fattore di Amplificazione SI2 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)

Tab. 4 – Tabella da utilizzare per la stima di F.A., in termini di PGA, SA e SI, nel caso di substrato marino rigido con Vs >800 m/s con sovrastanti depositi di copertura maggiori di 2,5 metri (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,3	2,0	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	
10	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	
20	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2		
25	2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3		
30		2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3		
35		2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2	
40		2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2	
50		1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2	

Fattore di Amplificazione PGA

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,2	1,8	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	
10	2,5	2,3	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,5	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	
20	2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,3	
25	2,4	2,4	2,3	2,2	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,3	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
50		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione SA1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,1	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,7	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	
20	2,6	2,6	2,4	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	
25	2,6	2,6	2,5	2,3	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,4	2,4	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
50		2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione SI1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	1,8	1,6	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,3	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	
20	2,9	2,6	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	
25	3,6	3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	
30		3,3	2,7	1,9	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	
35		3,5	3,0	2,2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1
40		3,5	3,2	2,6	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
50		3,3	3,3	3,0	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione SI2 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	
10	2,3	1,8	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	
15	2,8	2,3	1,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	
20	3,2	2,9	2,3	1,8	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	
25	3,4	3,2	2,7	2,0	1,7	1,5	1,5	1,4	1,3	
30		3,3	2,9	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,4	
35		3,3	3,0	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
40		3,2	3,1	2,7	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	1,2
50		3,0	3,0	2,8	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione SA2 (0,4s ≤ T ≤ 0,8s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
15	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
20	2,4	2,1	1,6	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
25	3,4	2,5	1,9	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	
30		3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	
35		3,3	2,7	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,1
40		3,6	3,1	2,2	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
50		3,6	3,4	2,9	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione SA3 (0,7s ≤ T ≤ 1,1s)

Tab. 5 – Tabella da utilizzare per la stima di F.A., in termini di PGA, SA e SI, nel caso di substrato marino non rigido con Vs <<800 m/s con sovrastanti depositi di copertura maggiori di 2,5 metri (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)

La Tab. 6 riporta i Fattori di Amplificazione determinati secondo la DGR 29 aprile 2019, n. 630.

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	49 di 55

## STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO

MOPS	ZONA	TABELLA F.A.	VS (m/s)	NOTE	FATTORI DI AMPLIFICAZIONE					
					PGA	SA 0,1-0,5S	SA 0,4-0,8S	SA 0,7-1,1S	SI 0,1-0,5S	SI 0,5-1,0S
STAB	2001	Appennino - Substrato affiorante con Vs <<800 m/s	Vs30 = 450	RAN1, RAN2, RAN2a, RAN3	1,6	1,6	1,5	1,3	1,6	1,4
	2001	Appennino - Substrato affiorante con Vs <<800 m/s	Vs30 = 500	MOH	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4
	2003	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs5 = 200		2,0	1,8	1,4	1,3	1,7	1,4
	2004	Appennino - Substrato con Vs >800 m/s	Vs5 = 200		1,7	1,4	1,0	1,0	1,2	1,0
	2005	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs10 = 400		1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4
	2007	Appennino - Substrato con Vs >800 m/s	Vs5 = 300		1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
INSTAB	2009	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs5 = 200		2,0	1,8	1,4	1,3	1,7	1,4
	2010	Appennino - Substrato con Vs >800 m/s	Vs5 = 200		1,7	1,4	1,0	1,0	1,2	1,0
	2010	Appennino - Substrato con Vs >800 m/s	Vs5 = 300		1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	2011	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs10 = 200		2,2	2,3	1,8	1,5	2,3	1,6
	2012	Appennino - Substrato con Vs >800 m/s	Vs10 = 350		1,5	1,2	1,0	1,0	1,1	1,0
	2012	Appennino - Substrato con Vs >800 m/s	Vs15 = 300		1,9	1,8	1,1	1,0	1,7	1,0
	2013	Appennino - Substrato con Vs <<800 m/s	Vs25 = 350		1,9	2,0	1,7	1,4	2,0	1,5
	2014	Appennino - Substrato con Vs >800 m/s	Vs20 = 300		2,0	2,0	1,4	1,1	2,0	1,2

Tab. 6 – Fattori di Amplificazione

Dal momento che alcuni settori degli abitati di Toano e di Montebiotto-Castagnola ricadono in contesti morfologici caratterizzati da pendii di altezza > 30 m e con inclinazione media > 15°, sono state eseguite le verifiche al fine di valutare l'amplificazione dell'impulso sismico generata dalle condizioni topografiche (Fig. 24 e 25).

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO



Fig. 24 – Ubicazione tracce sezioni topografiche Toano

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	51 di 55

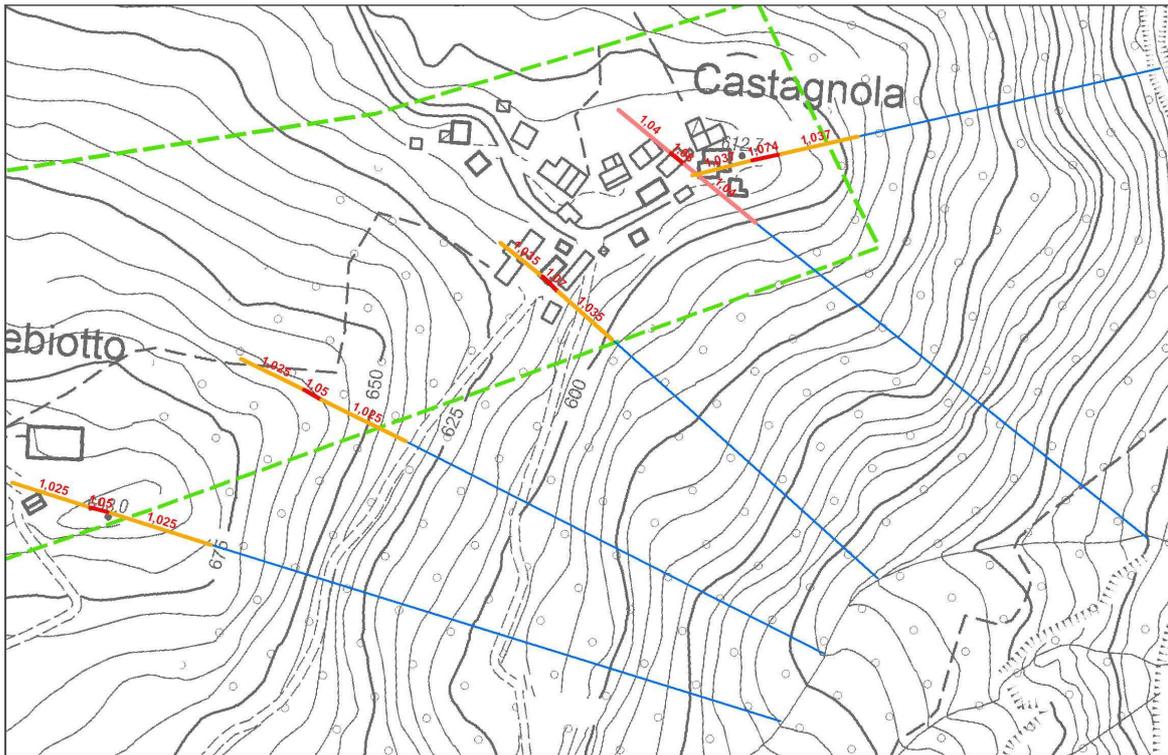


Fig. 25 – Ubicazione tracce sezioni topografiche Montebiotto – Castagnola

Per il calcolo del Fattore di Amplificazione topografica  $S_T$ , sono state seguite le disposizioni e i suggerimenti contenuti nell'Allegato A2.2 degli indirizzi regionali (Fig. 26).

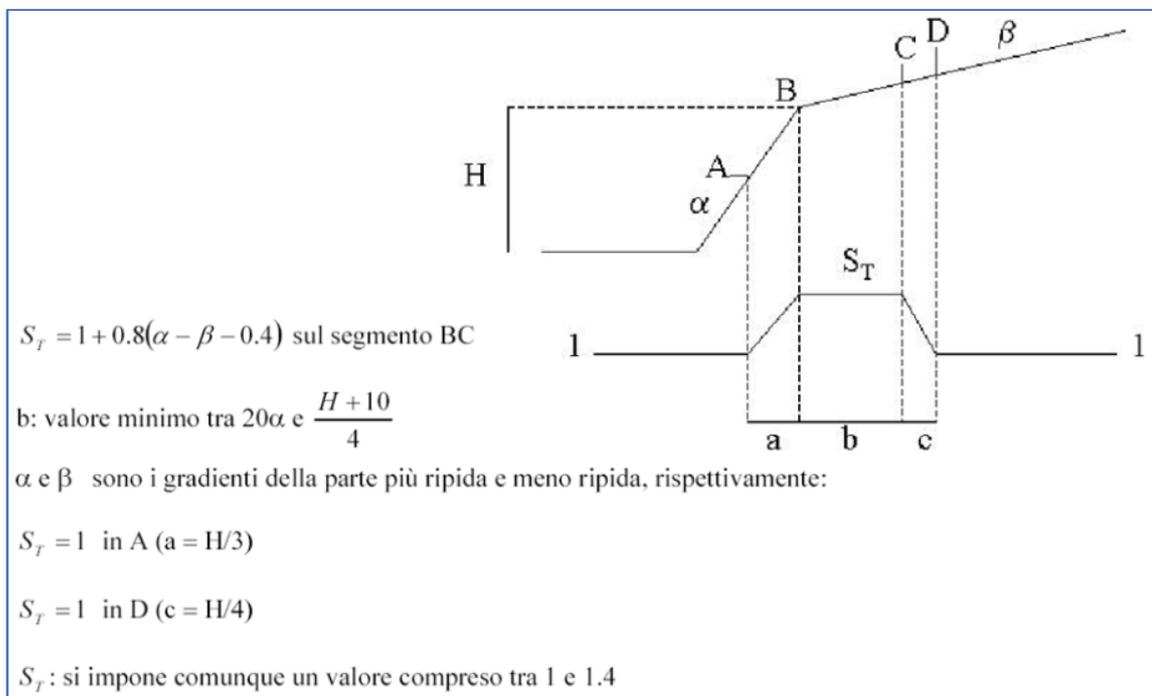


Fig. 26 – Calcolo del fattore di amplificazione topografica secondo gli indirizzi regionali.

Infine è stata inoltra prodotta la carta Hsm, che rappresenta lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in  $\text{cm/s}^2$ ) per l'intervallo di periodo  $0,1 \leq T \leq 0,5\text{s}$ .

Tale scuotimento è espresso attraverso il parametro H, dato dal prodotto dell'Acceleration Spectrum Intensity (ASI), integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per determinati intervallo di periodi, diviso per  $\Delta T$  e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$H = \frac{ASI}{\Delta T} \times FA$$

I valori di ASI sono stati determinati attraverso gli spettri di risposta a pericolosità uniforme in pseudo-accelerazione con Tr pari a 475 anni, riferiti al baricentro di ogni MOPS.

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	53 di 55

## 9. COMMENTI FINALI E CRITICITÀ

Innanzitutto, va precisato che il presente studio di microzonazione sismica è stato condotto mediante l'applicazione dei criteri contenuti negli ICMS e negli indirizzi regionali riferiti agli studi con approfondimento di secondo livello e, pertanto, ricorrendo a metodi semplificati per la stima dell'amplificazione sismica.

Nei capitoli precedenti, è stato ampiamente evidenziato come l'assetto geologico delle aree indagate sia tale per cui la risposta sismica locale risulti condizionata da vari fattori, spesso di non facile definizione, con le informazioni litostratigrafiche e sismiche, sia già disponibili che reperibili a costi sostenibili, primo fra tutti, la definizione della profondità del *bedrock sismico* (sequenza litostratigrafica caratterizzata da una velocità delle onde di taglio  $V_s$  maggiore o uguale a 800 m/s) e l'attribuzione di substrato rigido o non rigido alle formazioni geologiche affioranti.

In particolare la stima dell'amplificazione nelle aree di attenzione per instabilità di versante deve essere considerata puramente indicativa, in quanto in tali aree risulta necessario effettuare approfondimenti di terzo livello che consentono una quantificazione più precisa dell'amplificazione a seguito di studi di risposta sismica locale.

Ciononostante, per l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile, è stato possibile effettuare, una microzonazione del territorio con attribuzione dei fattori di amplificazione.

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	54 di 55

## 10. ELENCO ELABORATI

- Relazione illustrativa
- Carta delle indagini in scala 1:10.000
- Carta geologico-tecnica in scala 1:10.000
- Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:10.000
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica in scala 1:10.000
- Carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ ) in scala 1:10.000
- Carta di microzonazione sismica -  $FA_{PGA}$  in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica -  $FA_{SA\ 0,1 - 0,5\ s}$  in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica -  $FA_{SA\ 0,4 - 0,8\ s}$  in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica -  $FA_{SA\ 0,7 - 1,1\ s}$  in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica -  $FA_{SI\ 0,1 - 0,5\ s}$  in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica -  $FA_{SI\ 0,5 - 1,0\ s}$  in scala 1:5.000
- Carta di microzonazione sismica -  $H_{SM}$  in scala 1:5.000

---

Allegato n° 1 – Indagini MASW

 Studio di geologia Dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Giugno 2020	0	55 di 55

**Località:** Campo sportivo, via della Chiesa, Vogno, Toano (RE)

**Progetto:** Studio di microzonazione sismica 2° livello

### INDAGINE MASW

<b>Località</b> Campo sportivo, via della Chiesa, Vogno	<b>Comune</b> Toano (RE)		
<b>Cantiere</b> MS 2° livello	<b>Data</b> 05/07/2019	<b>Ora</b> 15.00	
<b>Codice lavoro</b> 19_002_CSTG	<b>Committente</b> Dott. Geol. Stefano Castagnetti		
<b>Codice Prova</b> MASW4	<b>File</b> Vogno A2_STK_SEG2.dat		
<b>Operatore:</b> Dott. Geol. Alessandro Ferrari			

### STRUMENTAZIONE

<b>Marca:</b> Sara Electronic Instruments	<b>Modello:</b> Sismografo digitale DoReMi
<b>Marca Geofoni:</b> Geo Space	<b>Orientamento:</b> <input type="checkbox"/> H <input checked="" type="checkbox"/> V <b>Frequenza (Hz):</b> 4.5

### SPECIFICHE INDAGINE

	<b>Tipo:</b> MASW	<b>Onde:</b> <input checked="" type="checkbox"/> P <input type="checkbox"/> SH
	<b>N°canali:</b> 24	<b>Lunghezza stendimento (m):</b> 46
	<b>Offset minimo (m):</b> 5	<b>N° shot:</b> 5
	<b>Durata registrazioni (sec):</b> 1.0	
	<b>Frequenza di campionamento (Hz):</b> 5000	
	<b>Tipologia energizzazione:</b>	
	<input type="checkbox"/> Fucile sismico	Modello:
	<input checked="" type="checkbox"/> Mazza	Kg: 5
	<input type="checkbox"/> Grave	Kg:
	<input type="checkbox"/> Mazza su trave	Kg:
<b>Stacking:</b> usate 5 acquisizioni su 5: <input checked="" type="checkbox"/> Vogno A2 0105.drm <input checked="" type="checkbox"/> Vogno A2 0205.drm <input checked="" type="checkbox"/> Vogno A2 0305.drm <input checked="" type="checkbox"/> Vogno A2 0405.drm <input checked="" type="checkbox"/> Vogno A2 0505.drm		

### Geometrie stendimento:



### TERRENO INDAGATO

<b>Superficie:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> vegetale	<input type="checkbox"/> riporto	<input type="checkbox"/> roccia	<input type="checkbox"/> pavimentazione:
<b>Condizioni terreno:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> asciutto	<input type="checkbox"/> bagnato	<input type="checkbox"/> saturo	

### OSSERVAZIONI:

### Tracce

Numero tracce: 24

Durata acquisizione: 1.0 s

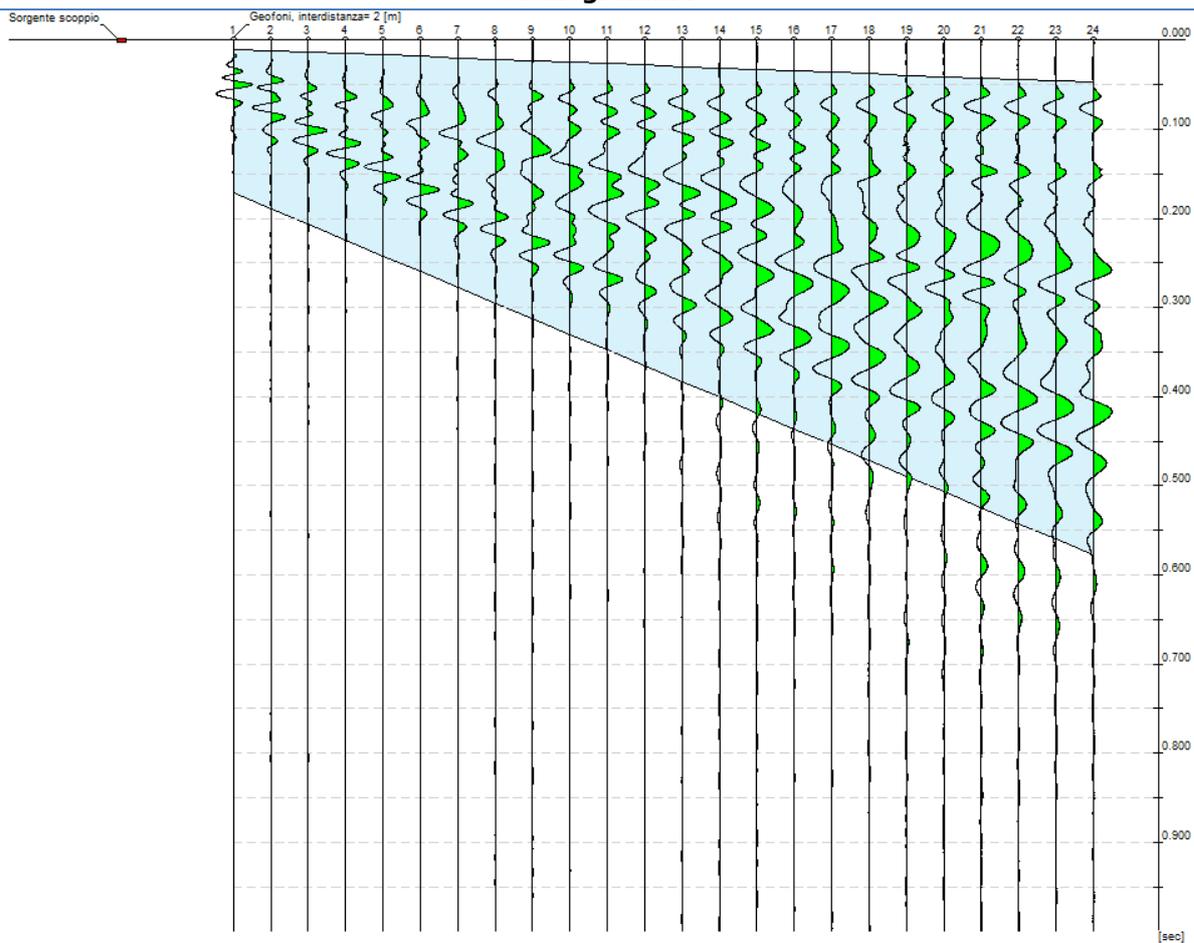
Periodo di campionamento: 0.2 ms

Interdistanza geofoni: 2 m

Distanza sorgente - primo geofono: 5 m

Selezione temporale: selezione manuale

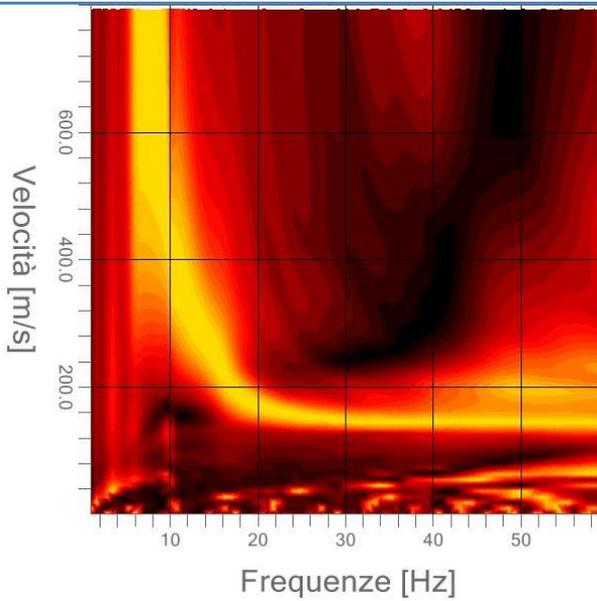
### Sismogramma



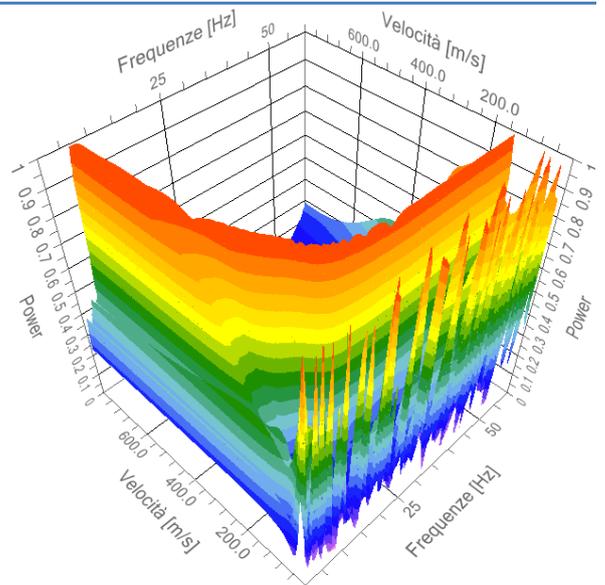
**Analisi spettrale**

Numero tracce utilizzate: 24  
Frequenza minima di elaborazione: 1 Hz  
Frequenza massima di elaborazione: 60 Hz  
Velocità minima di elaborazione: 1 m/s  
Velocità massima di elaborazione: 800 m/s

Spettro Velocità di fase - Frequenze



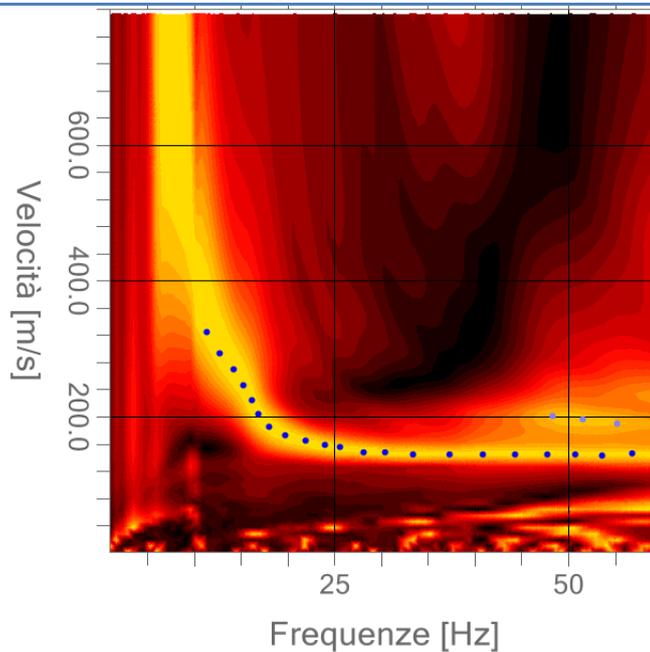
Spettro 3D Velocità di fase - Frequenze



**Curva di dispersione**

N° punti di picking: 24

Picking su spettro F-V



Modi vibrazionali identificati

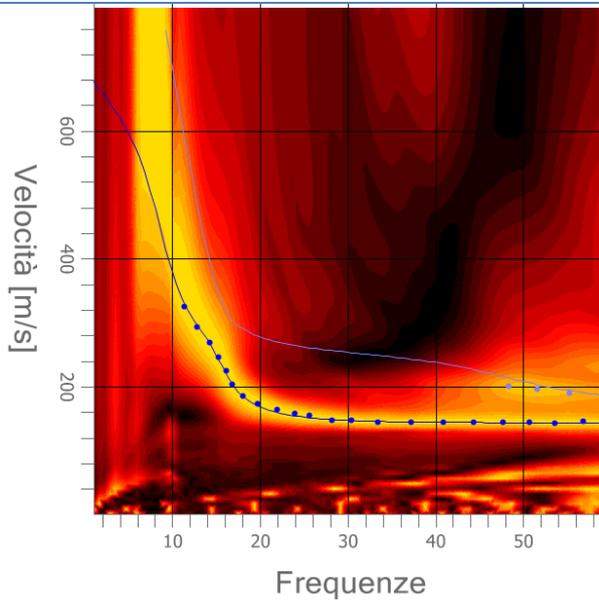
<input checked="" type="checkbox"/> Modo fondamentale	<input checked="" type="checkbox"/> 1° modo superiore	<input type="checkbox"/> 2° modo superiore	<input type="checkbox"/> 3° modo superiore	<input type="checkbox"/> 4° modo superiore
--	--	---	---	---

**Inversione:**

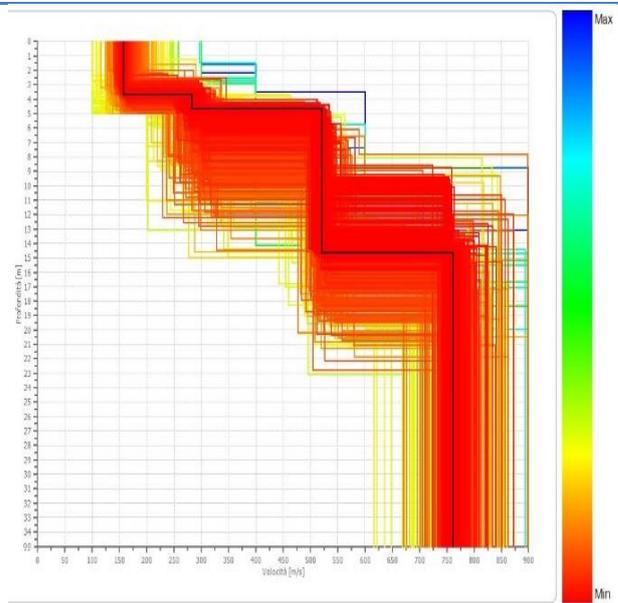
Fattore di disadattamento della soluzione (misfit): 0.022

Percentuale di errore: 0.050%

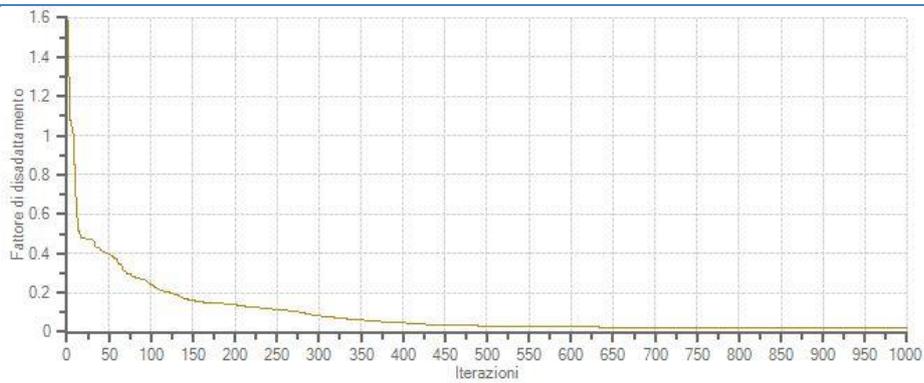
Modello sintetico su picking



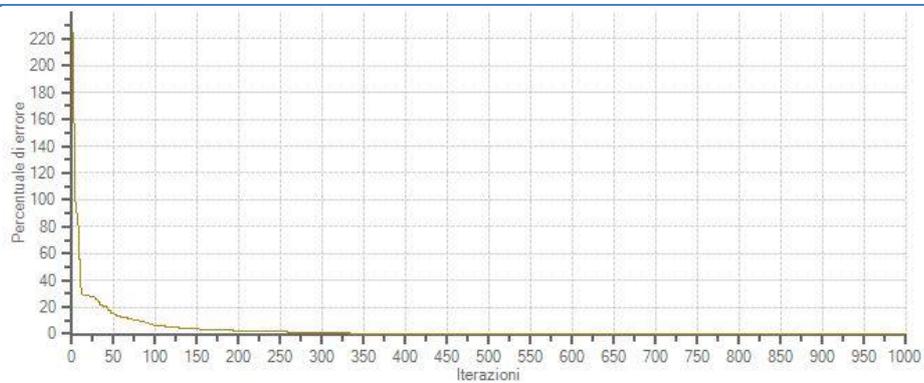
Profili di Vs considerati



Profilo di disadattamento



Profilo di errore percentuale

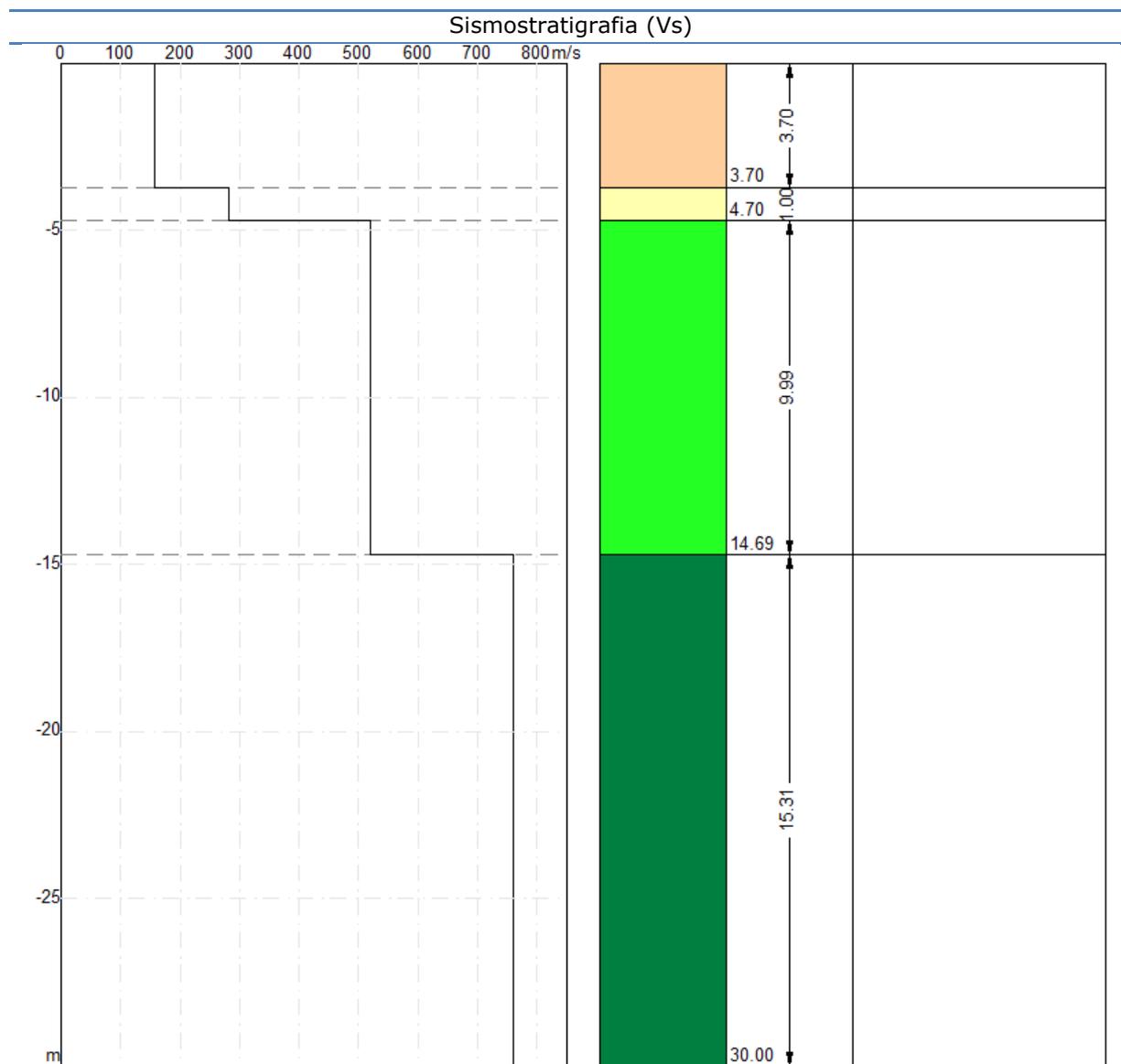


**Modello sismostratigrafico:**

N° di strati: 4

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità onde di taglio [m/s]
1	3.70	3.70	157.2
2	4.70	1.00	281.9
3	14.69	9.99	520.7
4	∞	∞	760.8

**Valore  $V_{s30}$ : 451.9 m/s**



**Località:** Piazza Don Giulio Vincenzi, Cerredolo, Toano (RE)

**Progetto:** Studio di microzonazione sismica 2° livello

### INDAGINE MASW

<b>Località</b> Piazza Don Giulio Vincenzi, Cerredolo	<b>Comune</b> Toano (RE)		
<b>Cantiere</b> MS 2° livello	<b>Data</b> 05/07/2019	<b>Ora</b> 11.20	
<b>Codice lavoro</b> 19_002_CSTG	<b>Committente</b> Dott. Geol. Stefano Castagnetti		
<b>Codice Prova</b> MASW1	<b>File</b> Cerredolo 1 B_STK_SEG2.dat		
<b>Operatore:</b> Dott. Geol. Alessandro Ferrari			

### STRUMENTAZIONE

<b>Marca:</b> Sara Electronic Instruments	<b>Modello:</b> Sismografo digitale DoReMi
<b>Marca Geofoni:</b> Geo Space	<b>Orientamento:</b> <input type="checkbox"/> H <input checked="" type="checkbox"/> V <b>Frequenza (Hz):</b> 4.5

### SPECIFICHE INDAGINE

	<b>Tipo:</b> MASW	<b>Onde:</b> <input checked="" type="checkbox"/> P <input type="checkbox"/> SH
	<b>N°canali:</b> 24	<b>Lunghezza stendimento (m):</b> 46
	<b>Offset minimo (m):</b> 5	<b>N° shot:</b> 5
	<b>Durata registrazioni (sec):</b> 1.0	
	<b>Frequenza di campionamento (Hz):</b> 5000	
	<b>Tipologia energizzazione:</b>	
	<input type="checkbox"/> Fucile sismico	Modello:
	<input checked="" type="checkbox"/> Mazza	Kg: 5
	<input type="checkbox"/> Grave	Kg:
	<input type="checkbox"/> Mazza su trave	Kg:
<b>Stacking:</b> usate 5 acquisizioni su 5: <input checked="" type="checkbox"/> Cerredolo 1 B 0105.drm <input checked="" type="checkbox"/> Cerredolo 1 B 0205.drm <input checked="" type="checkbox"/> Cerredolo 1 B 0305.drm <input checked="" type="checkbox"/> Cerredolo 1 B 0405.drm <input checked="" type="checkbox"/> Cerredolo 1 B 0505.drm		

### Geometrie stendimento:



### TERRENO INDAGATO

<b>Superficie:</b>	<input type="checkbox"/> vegetale	<input type="checkbox"/> riporto	<input type="checkbox"/> roccia	<input checked="" type="checkbox"/> pavimentazione: asfalto
<b>Condizioni terreno:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> asciutto	<input type="checkbox"/> bagnato	<input type="checkbox"/> saturo	

### OSSERVAZIONI:

### Tracce

Numero tracce: 24

Durata acquisizione: 1.0 s

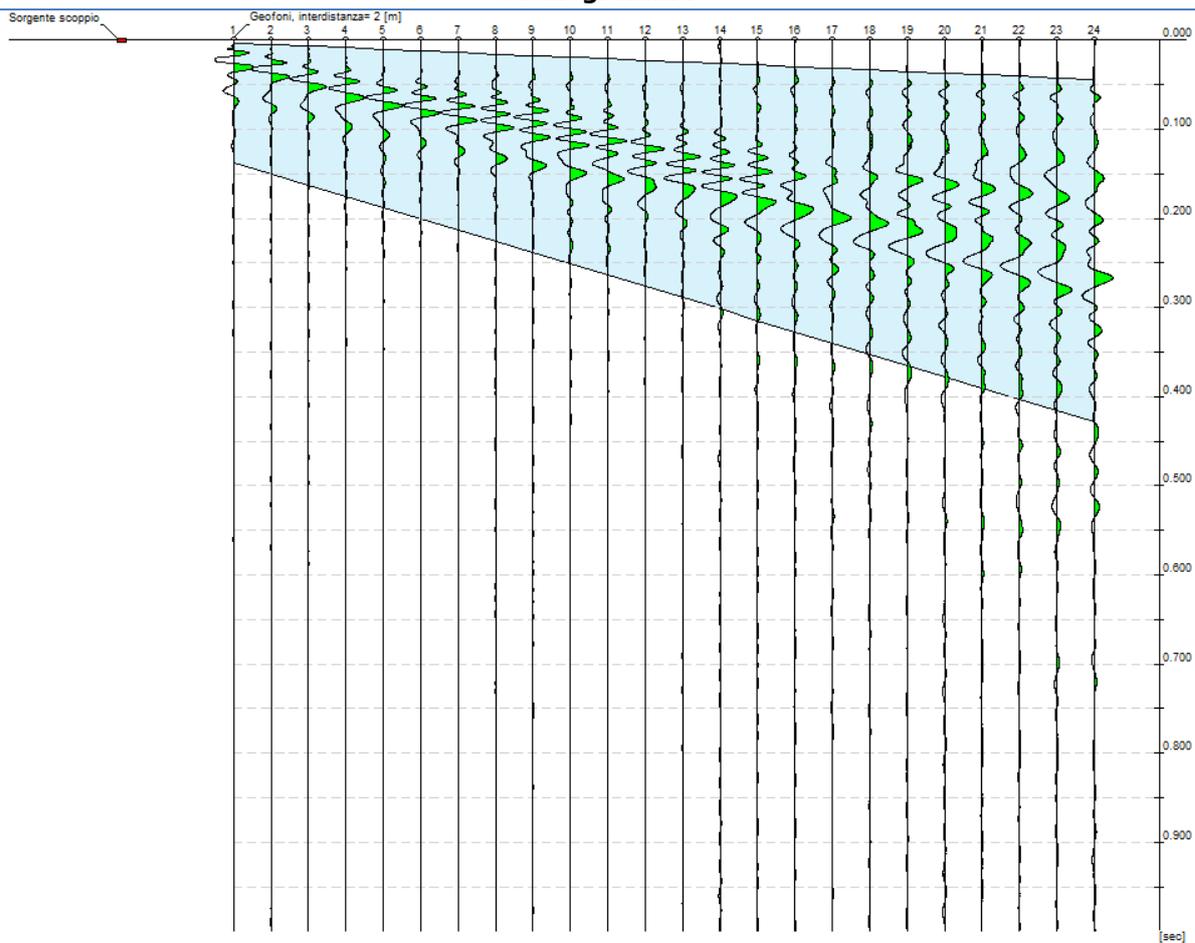
Periodo di campionamento: 0.2 ms

Interdistanza geofoni: 2 m

Distanza sorgente - primo geofono: 5 m

Selezione temporale: selezione manuale

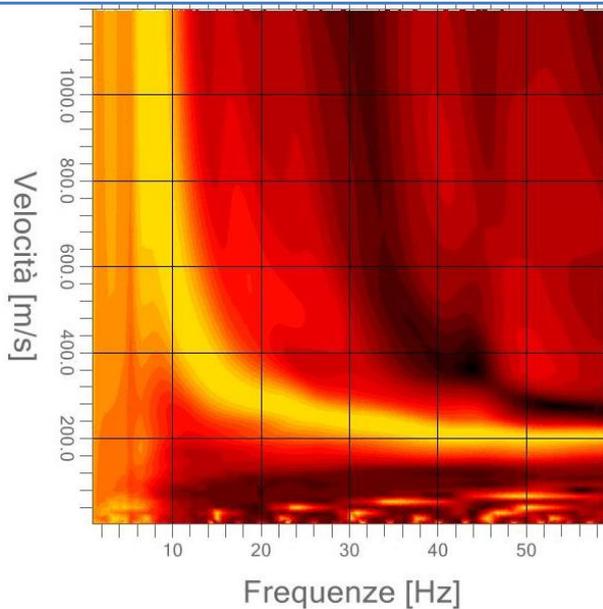
### Sismogramma



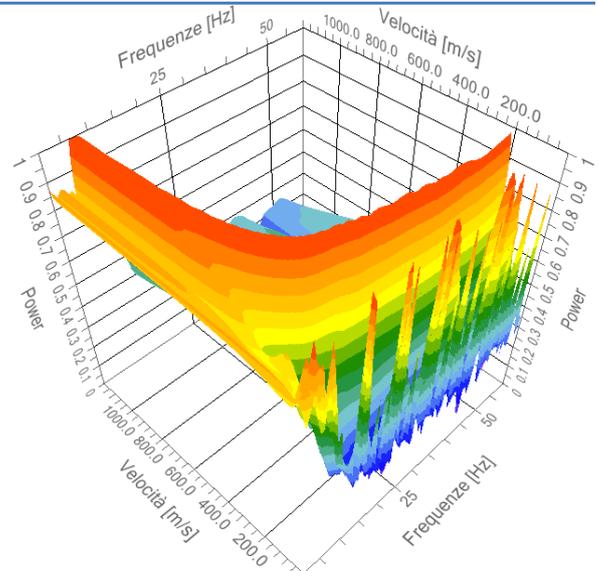
**Analisi spettrale**

Numero tracce utilizzate: 24  
Frequenza minima di elaborazione: 1 Hz  
Frequenza massima di elaborazione: 60 Hz  
Velocità minima di elaborazione: 1 m/s  
Velocità massima di elaborazione: 1200 m/s

Spettro Velocità di fase - Frequenze



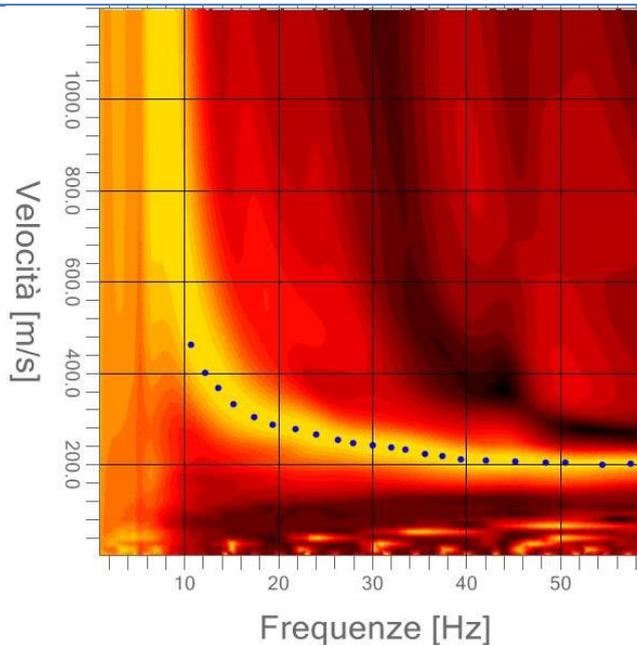
Spettro 3D Velocità di fase - Frequenze



**Curva di dispersione**

N° punti di picking: 22

Picking su spettro F-V



Modi vibrazionali identificati

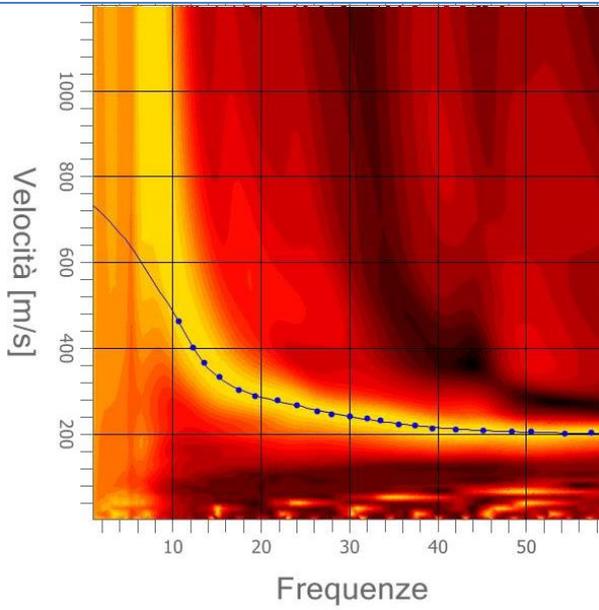
- |   |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Modo fondamentale | <input type="checkbox"/> 1° modo superiore | <input type="checkbox"/> 2° modo superiore | <input type="checkbox"/> 3° modo superiore | <input type="checkbox"/> 4° modo superiore |
|---|--|--|--|--|

**Inversione:**

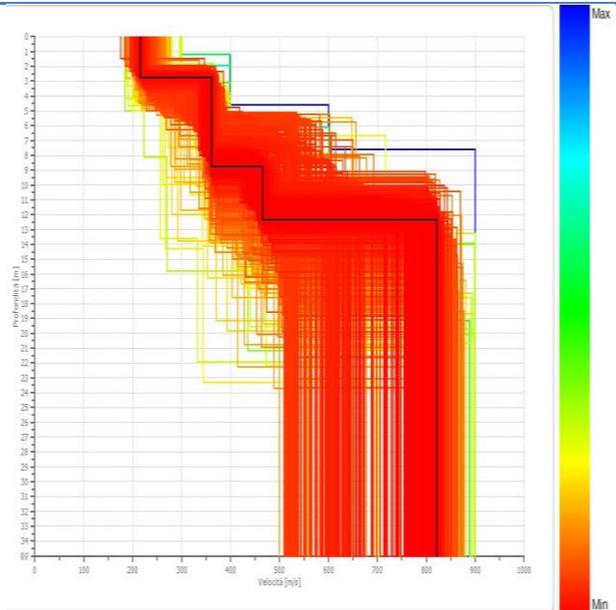
Fattore di disadattamento della soluzione (misfit): 0.008

Percentuale di errore: 0.005%

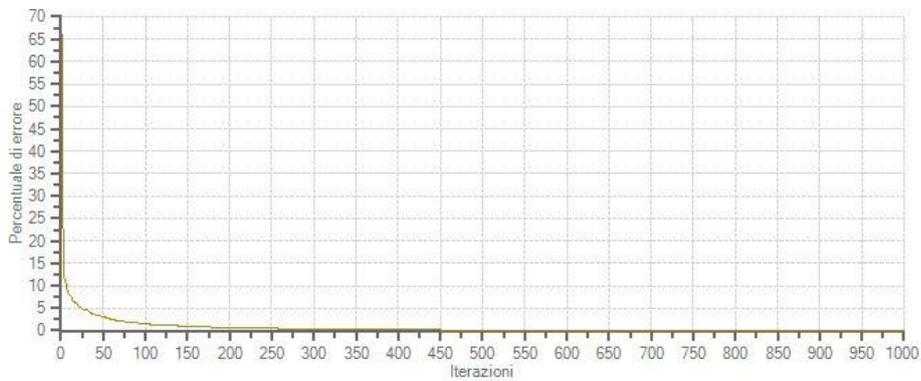
Modello sintetico su picking



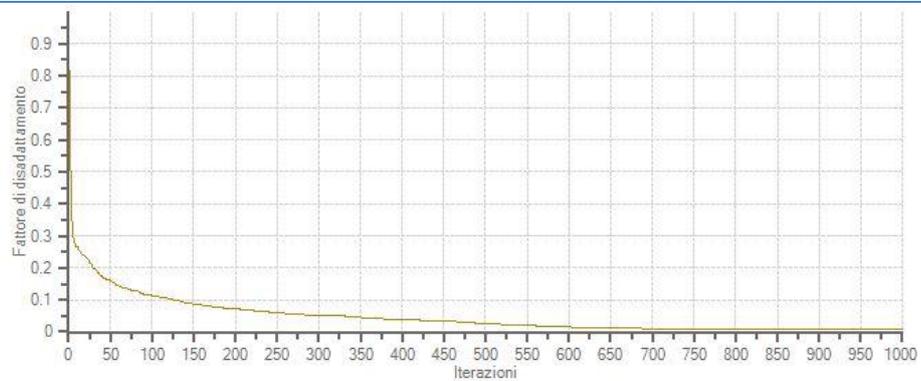
Profili di Vs considerati



Profilo di disadattamento



Profilo di errore percentuale

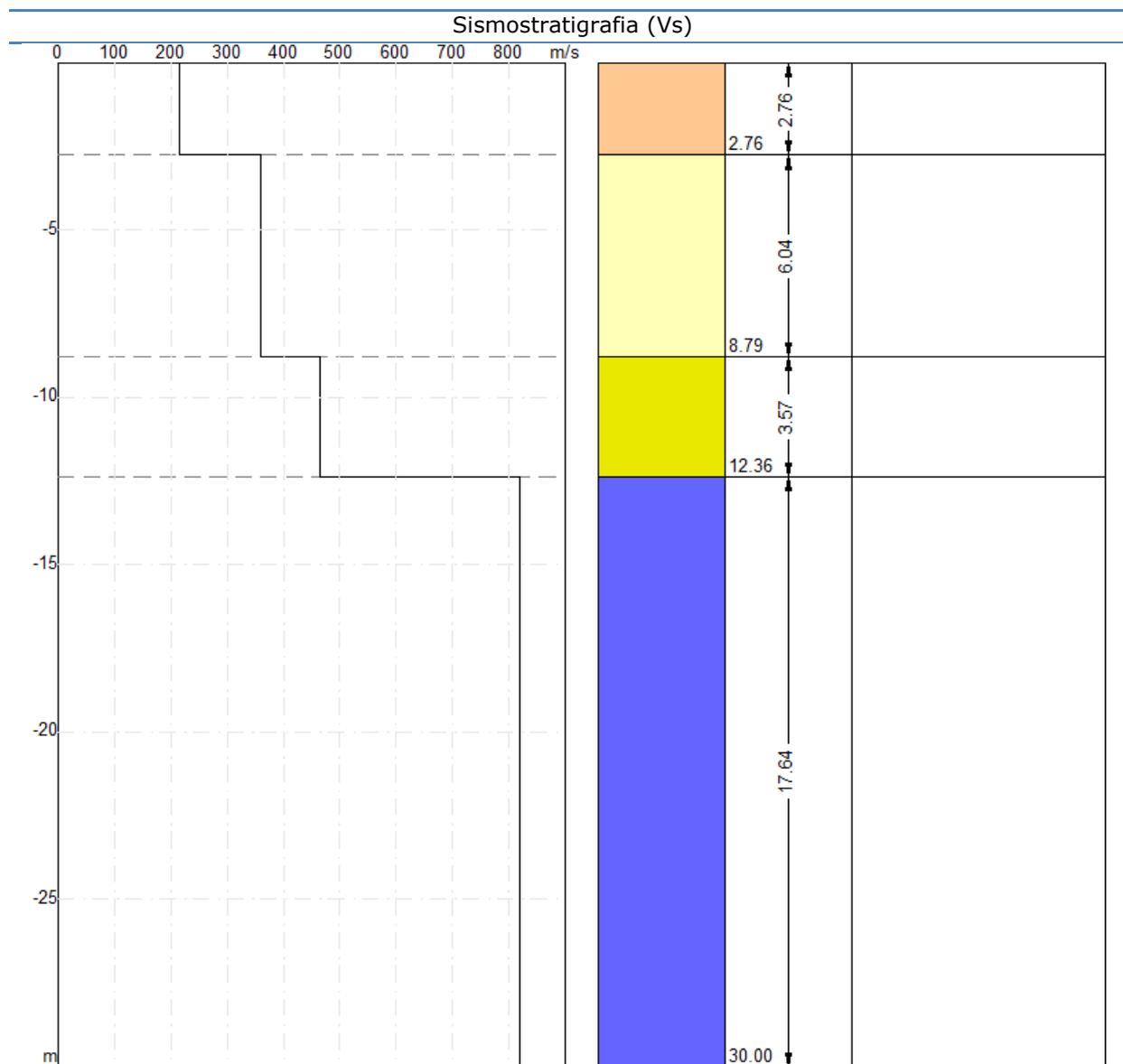


**Modello sismostratigrafico:**

N° di strati: 4

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità onde di taglio [m/s]
1	2.76	2.76	215.7
2	8.79	6.04	360.5
3	12.36	3.57	465.1
4	∞	∞	820.9

**Valore  $V_{seq}$  (H = 12.36 m): 332.0 m/s**



**INDAGINE MASW**

<b>Località</b> Scuola Elementare, Cerredolo		<b>Comune</b> Toano (RE)		
<b>Cantiere</b> MS 2° livello		<b>Data</b> 05/07/2019	<b>Ora</b> 12.25	
<b>Codice lavoro</b> 19_002_CSTG	<b>Committente</b> Dott. Geol. Stefano Castagnetti			
<b>Codice Prova</b> MASW2	<b>File</b> Cerredolo 2 B_STK_SEG2.dat			
<b>Operatore:</b> Dott. Geol. Alessandro Ferrari				

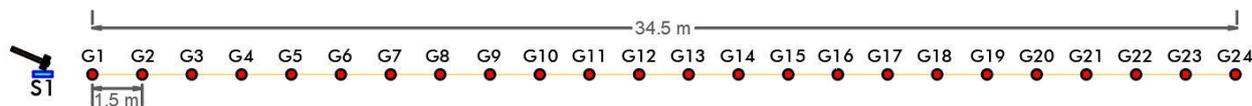
**STRUMENTAZIONE**

<b>Marca:</b> Sara Electronic Instruments	<b>Modello:</b> Sismografo digitale DoReMi
<b>Marca Geofoni:</b> Geo Space	<b>Orientamento:</b> <input type="checkbox"/> H <input checked="" type="checkbox"/> V <b>Frequenza (Hz):</b> 4.5

**SPECIFICHE INDAGINE**

	<b>Tipo:</b> MASW	<b>Onde:</b> <input checked="" type="checkbox"/> P <input type="checkbox"/> SH
	<b>N° canali:</b> 24	<b>Lunghezza stendimento (m):</b> 34.5
	<b>Offset minimo (m):</b> 5	<b>N° shot:</b> 5
	<b>Durata registrazioni (sec):</b> 0.5	
	<b>Frequenza di campionamento (Hz):</b> 5000	
	<b>Tipologia energizzazione:</b>	
	<input type="checkbox"/> Fucile sismico	Modello:
	<input checked="" type="checkbox"/> Mazza	Kg: 5
	<input type="checkbox"/> Grave	Kg:
	<input type="checkbox"/> Mazza su trave	Kg:
<b>Stacking:</b> usate 5 acquisizioni su 5: <input checked="" type="checkbox"/> Cerredolo 2 B 0105.drm <input checked="" type="checkbox"/> Cerredolo 2 B 0205.drm <input checked="" type="checkbox"/> Cerredolo 2 B 0305.drm <input checked="" type="checkbox"/> Cerredolo 2 B 0405.drm <input checked="" type="checkbox"/> Cerredolo 2 B 0505.drm		

**Geometrie stendimento:**



**TERRENO INDAGATO**

<b>Superficie:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> vegetale	<input type="checkbox"/> riporto	<input type="checkbox"/> roccia	<input type="checkbox"/> pavimentazione:
<b>Condizioni terreno:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> asciutto	<input type="checkbox"/> bagnato	<input type="checkbox"/> saturo	

**OSSERVAZIONI:**

### Tracce

Numero tracce: 24

Durata acquisizione: 0.5 s

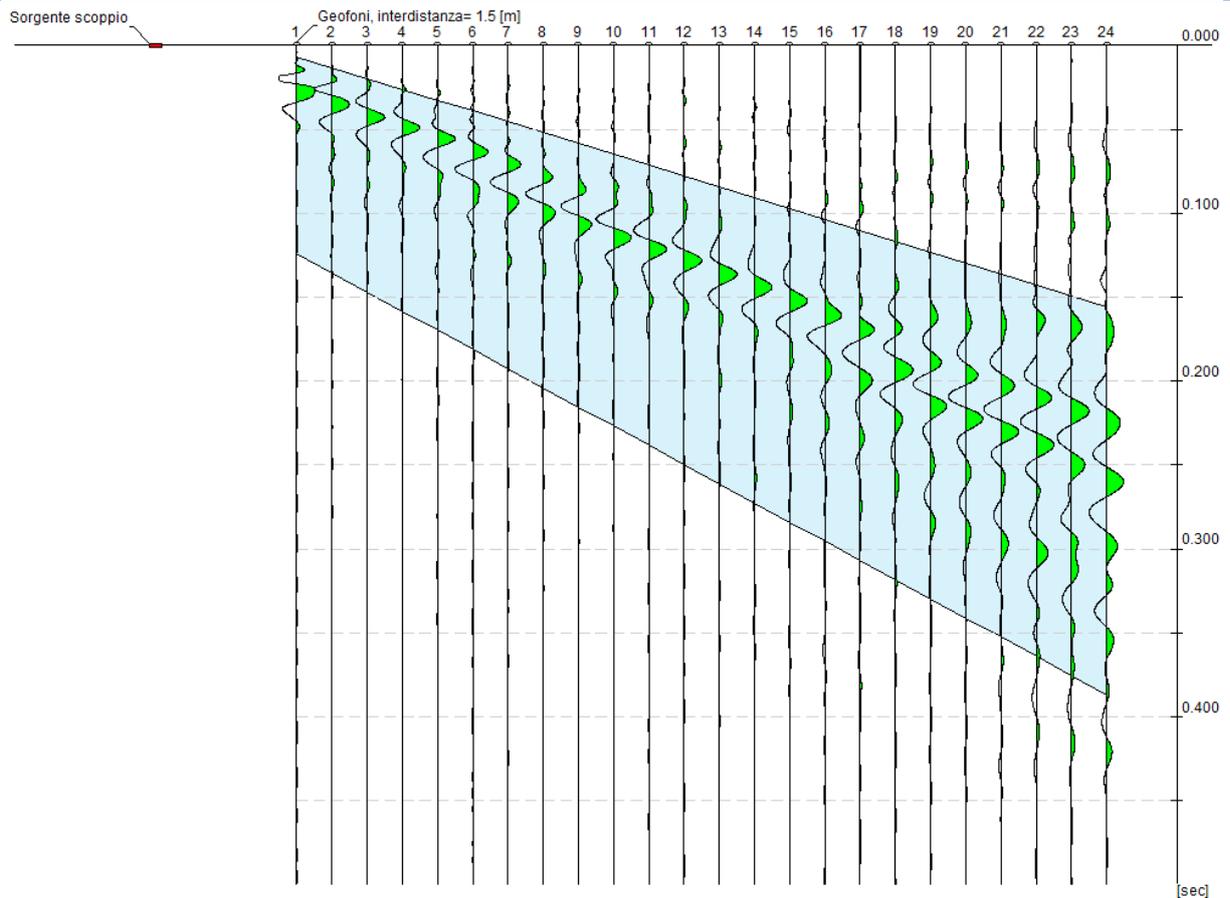
Periodo di campionamento: 0.2 ms

Interdistanza geofoni: 1.5 m

Distanza sorgente - primo geofono: 5 m

Selezione temporale: selezione manuale

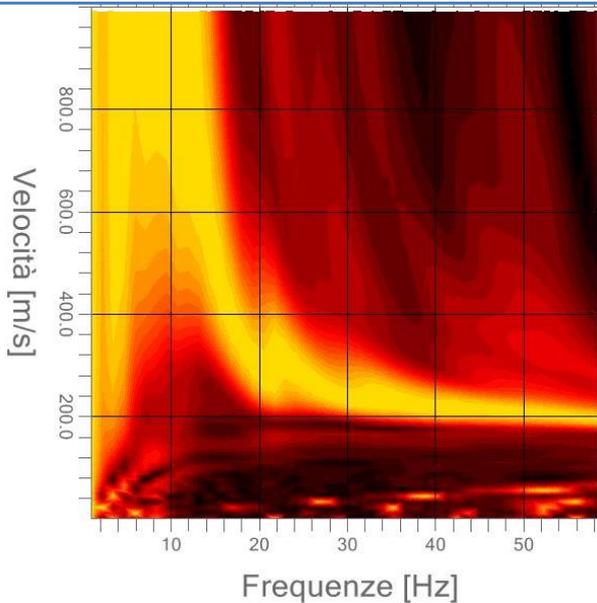
### Sismogramma



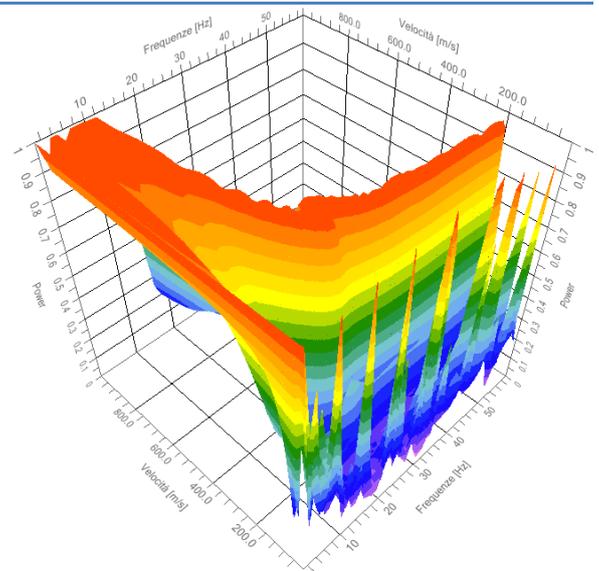
### Analisi spettrale

Numero tracce utilizzate: 24  
Frequenza minima di elaborazione: 1 Hz  
Frequenza massima di elaborazione: 60 Hz  
Velocità minima di elaborazione: 1 m/s  
Velocità massima di elaborazione: 1000 m/s

Spettro Velocità di fase - Frequenze



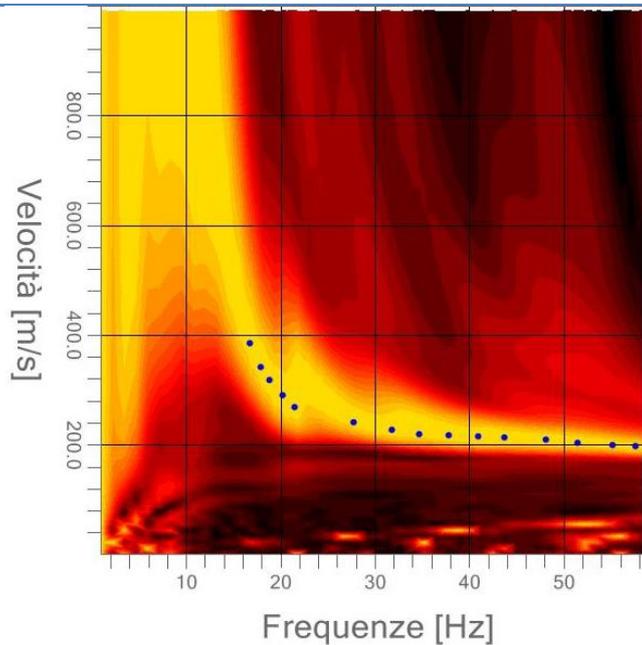
Spettro 3D Velocità di fase - Frequenze



### Curva di dispersione

N° punti di picking: 15

Picking su spettro F-V



Modi vibrazionali identificati

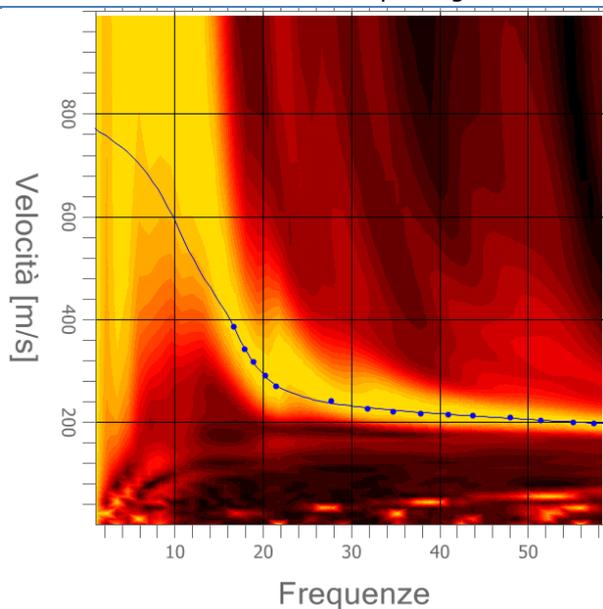
Modo fondamentale     1° modo superiore     2° modo superiore     3° modo superiore     4° modo superiore

**Inversione:**

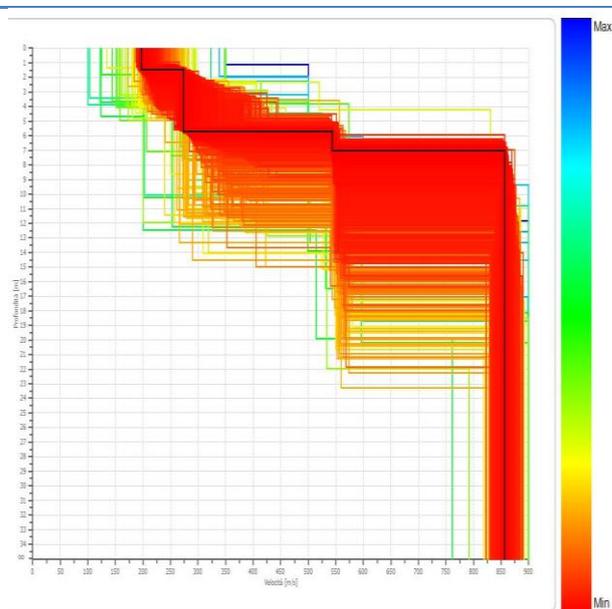
Fattore di disadattamento della soluzione (misfit): 0.008

Percentuale di errore: 0.006%

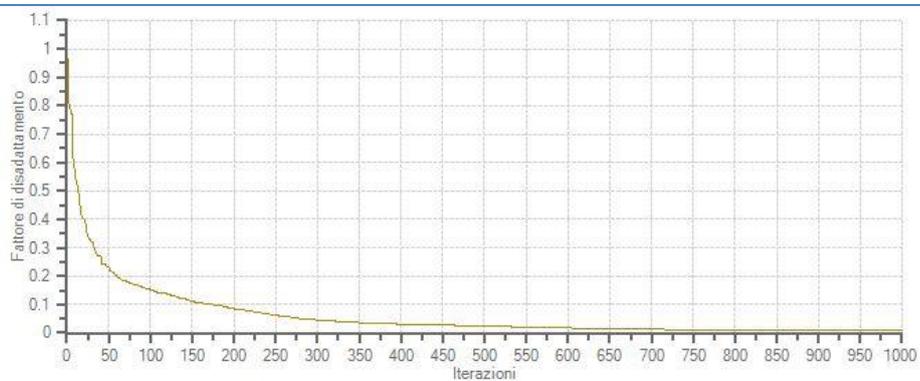
Modello sintetico su picking



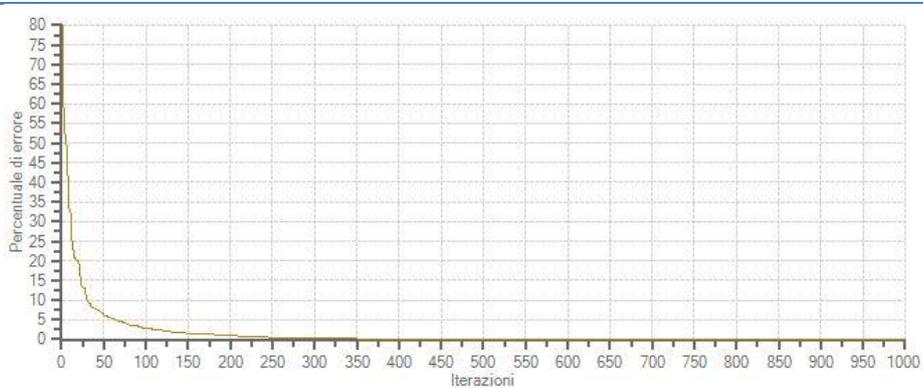
Profili di Vs considerati



Profilo di disadattamento



Profilo di errore percentuale



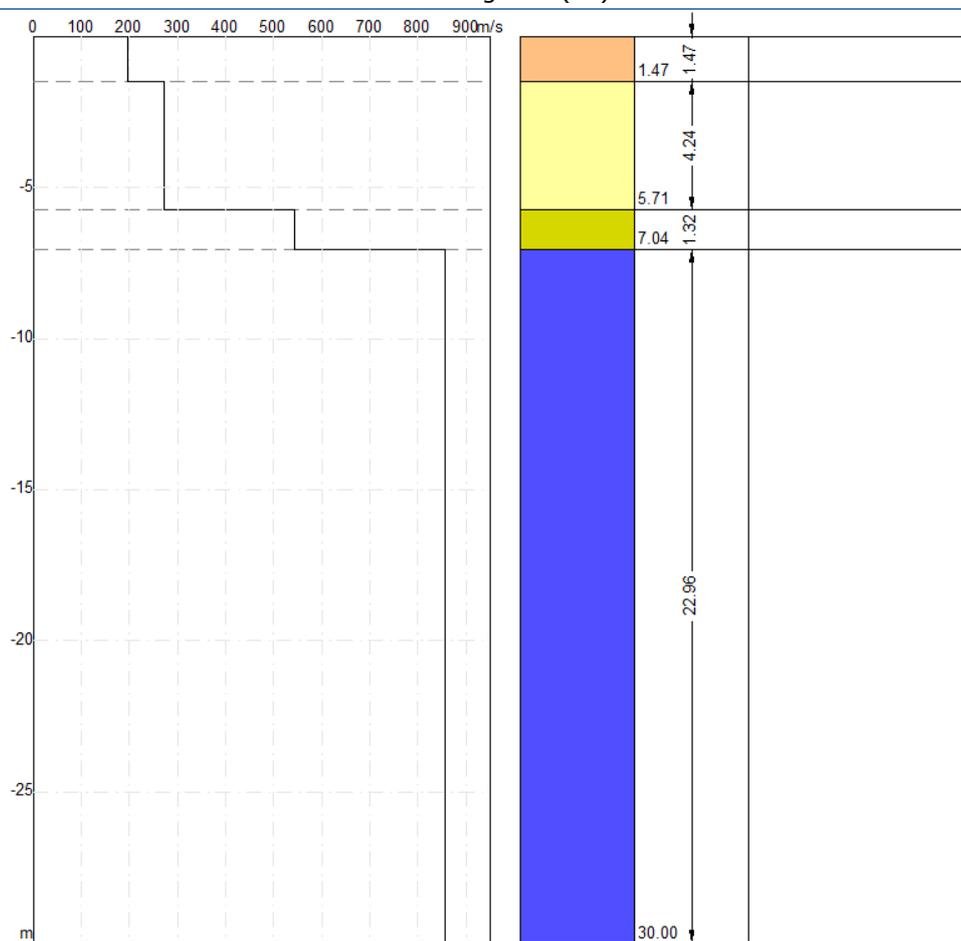
**Modello sismostratigrafico:**

N° di strati: 4

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità onde di taglio [m/s]
1	1.50	1.50	197.7
2	5.74	4.23	274.4
3	7.07	1.33	542.9
4	∞	∞	856.6

**Valore  $V_{seq}$  (H = 7.07 m): 277.8 m/s**

Sismostratigrafia (Vs)



**INDAGINE MASW**

<b>Località</b> Campo sportivo, Cavola		<b>Comune</b> Toano (RE)		
<b>Cantiere</b> MS 2° livello		<b>Data</b> 05/07/2019	<b>Ora</b> 16.00	
<b>Codice lavoro</b> 19_002_CSTG	<b>Committente</b> Dott. Geol. Stefano Castagnetti			
<b>Codice Prova</b> MASW5	<b>File</b> Cavola A_STK_SEG2.dat			
<b>Operatore:</b> Dott. Geol. Alessandro Ferrari				

**STRUMENTAZIONE**

<b>Marca:</b> Sara Electronic Instruments	<b>Modello:</b> Sismografo digitale DoReMi
<b>Marca Geofoni:</b> Geo Space	<b>Orientamento:</b> <input type="checkbox"/> H <input checked="" type="checkbox"/> V <b>Frequenza (Hz):</b> 4.5

**SPECIFICHE INDAGINE**

	<b>Tipo:</b> MASW	<b>Onde:</b> <input checked="" type="checkbox"/> P <input type="checkbox"/> SH
	<b>N°canali:</b> 24	<b>Lunghezza stendimento (m):</b> 46
	<b>Offset minimo (m):</b> 5	<b>N° shot:</b> 5
	<b>Durata registrazioni (sec):</b> 1.0	
	<b>Frequenza di campionamento (Hz):</b> 5000	
	<b>Tipologia energizzazione:</b>	
	<input type="checkbox"/> Fucile sismico	Modello:
	<input checked="" type="checkbox"/> Mazza	Kg: 5
	<input type="checkbox"/> Grave	Kg:
	<input type="checkbox"/> Mazza su trave	Kg:
<b>Stacking:</b> usate 5 acquisizioni su 5: <input checked="" type="checkbox"/> Cavola A 0105.drm <input checked="" type="checkbox"/> Cavola A 0205.drm <input checked="" type="checkbox"/> Cavola A 0305.drm <input checked="" type="checkbox"/> Cavola A 0405.drm <input checked="" type="checkbox"/> Cavola A 0505.drm		

**Geometrie stendimento:**



**TERRENO INDAGATO**

<b>Superficie:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> vegetale	<input type="checkbox"/> riporto	<input type="checkbox"/> roccia	<input type="checkbox"/> pavimentazione:
<b>Condizioni terreno:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> asciutto	<input type="checkbox"/> bagnato	<input type="checkbox"/> saturo	

**OSSERVAZIONI:**

### Tracce

Numero tracce: 24

Durata acquisizione: 1.0 s

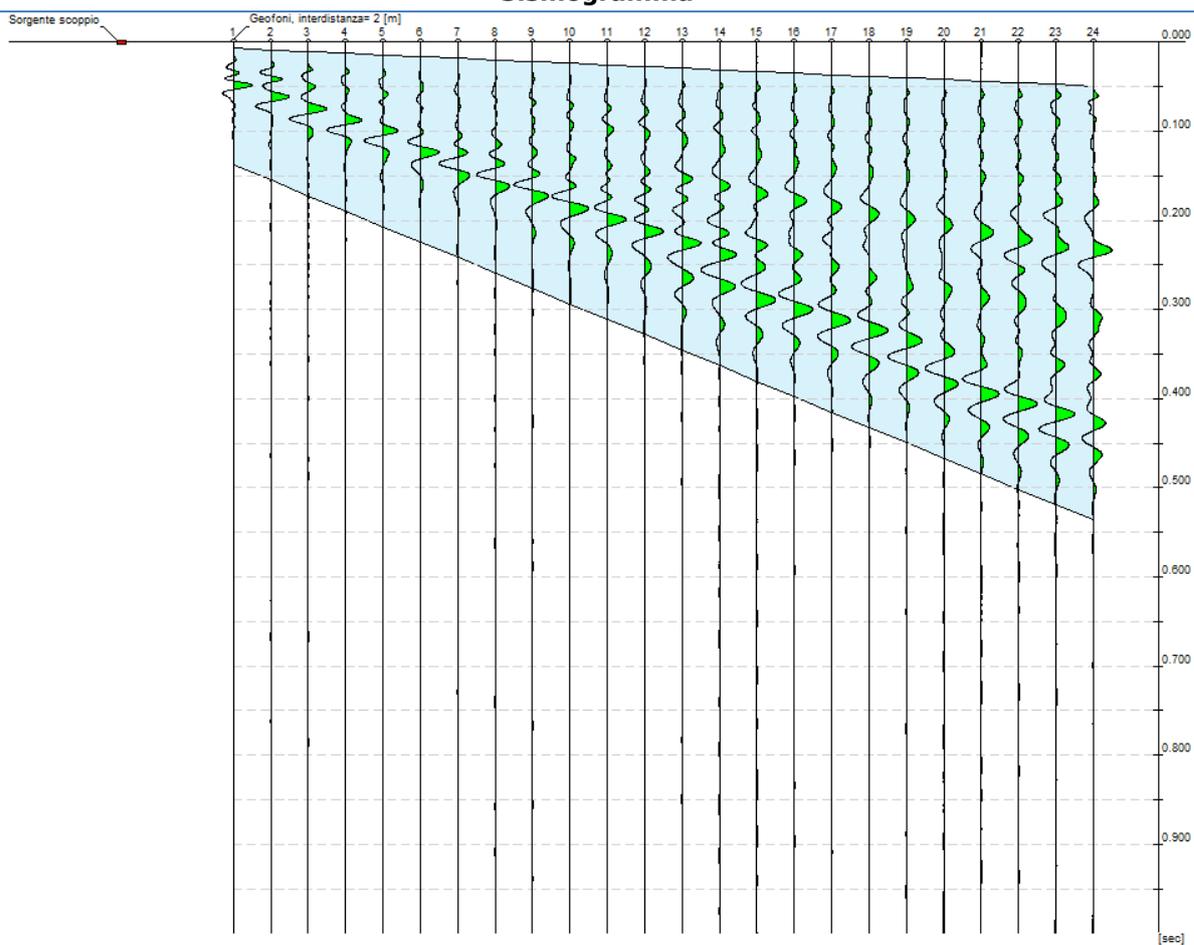
Periodo di campionamento: 0.2 ms

Interdistanza geofoni: 2 m

Distanza sorgente - primo geofono: 5 m

Selezione temporale: selezione manuale

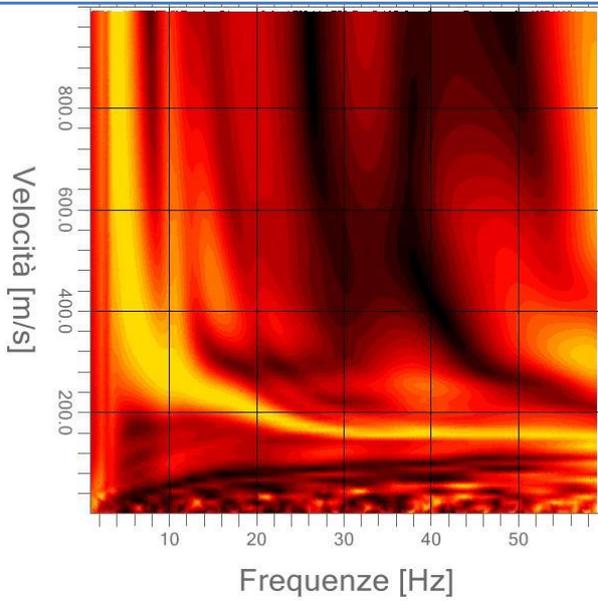
### Sismogramma



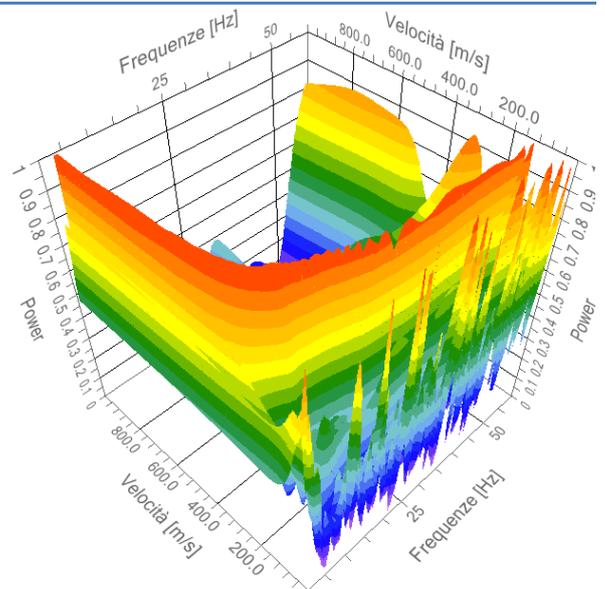
**Analisi spettrale**

Numero tracce utilizzate: 24  
 Frequenza minima di elaborazione: 1 Hz  
 Frequenza massima di elaborazione: 60 Hz  
 Velocità minima di elaborazione: 1 m/s  
 Velocità massima di elaborazione: 1000 m/s

Spettro Velocità di fase - Frequenze



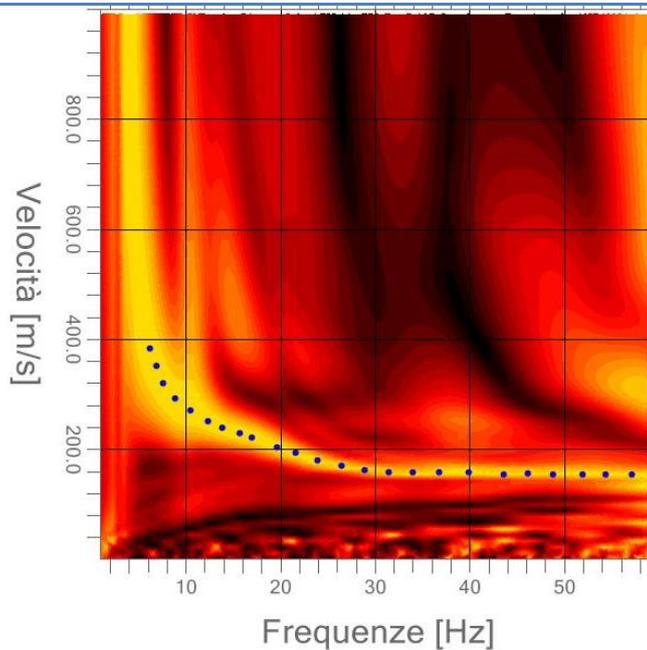
Spettro 3D Velocità di fase - Frequenze



**Curva di dispersione**

N° punti di picking: 24

Picking su spettro F-V



Modi vibrazionali identificati

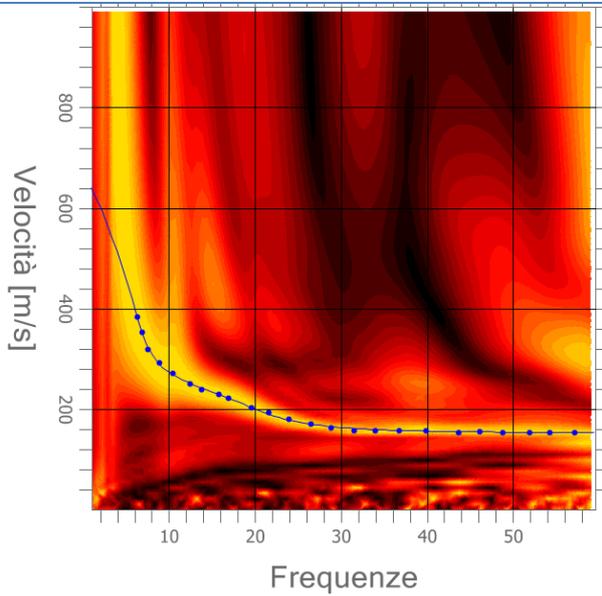
- |   |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Modo fondamentale | <input type="checkbox"/> 1° modo superiore | <input type="checkbox"/> 2° modo superiore | <input type="checkbox"/> 3° modo superiore | <input type="checkbox"/> 4° modo superiore |
|---|--|--|--|--|

**Inversione:**

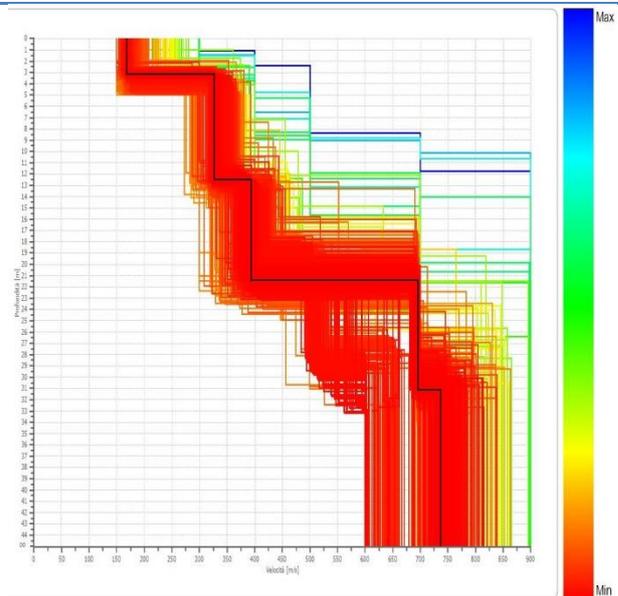
Fattore di disadattamento della soluzione (misfit): 0.009

Percentuale di errore: 0.007%

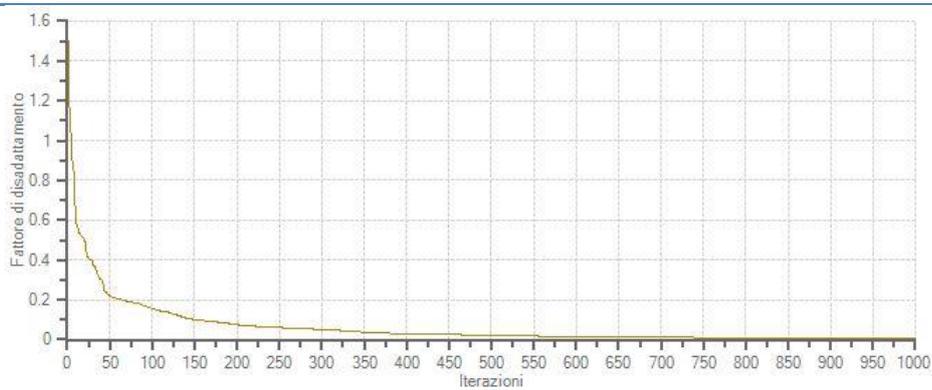
Modello sintetico su picking



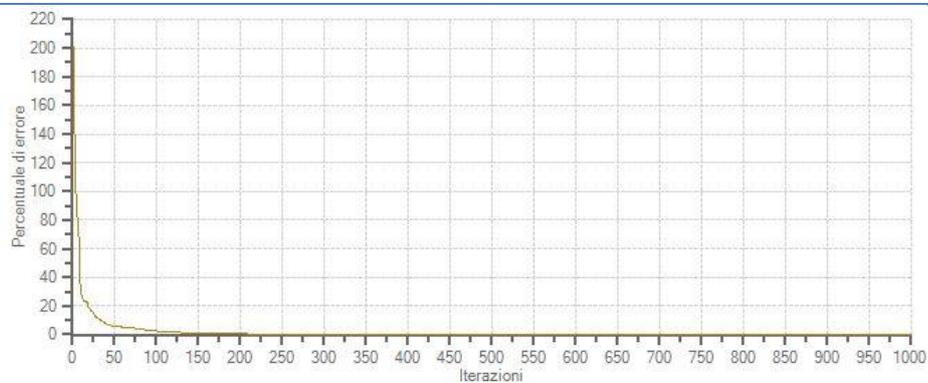
Profili di Vs considerati



Profilo di disadattamento



Profilo di errore percentuale

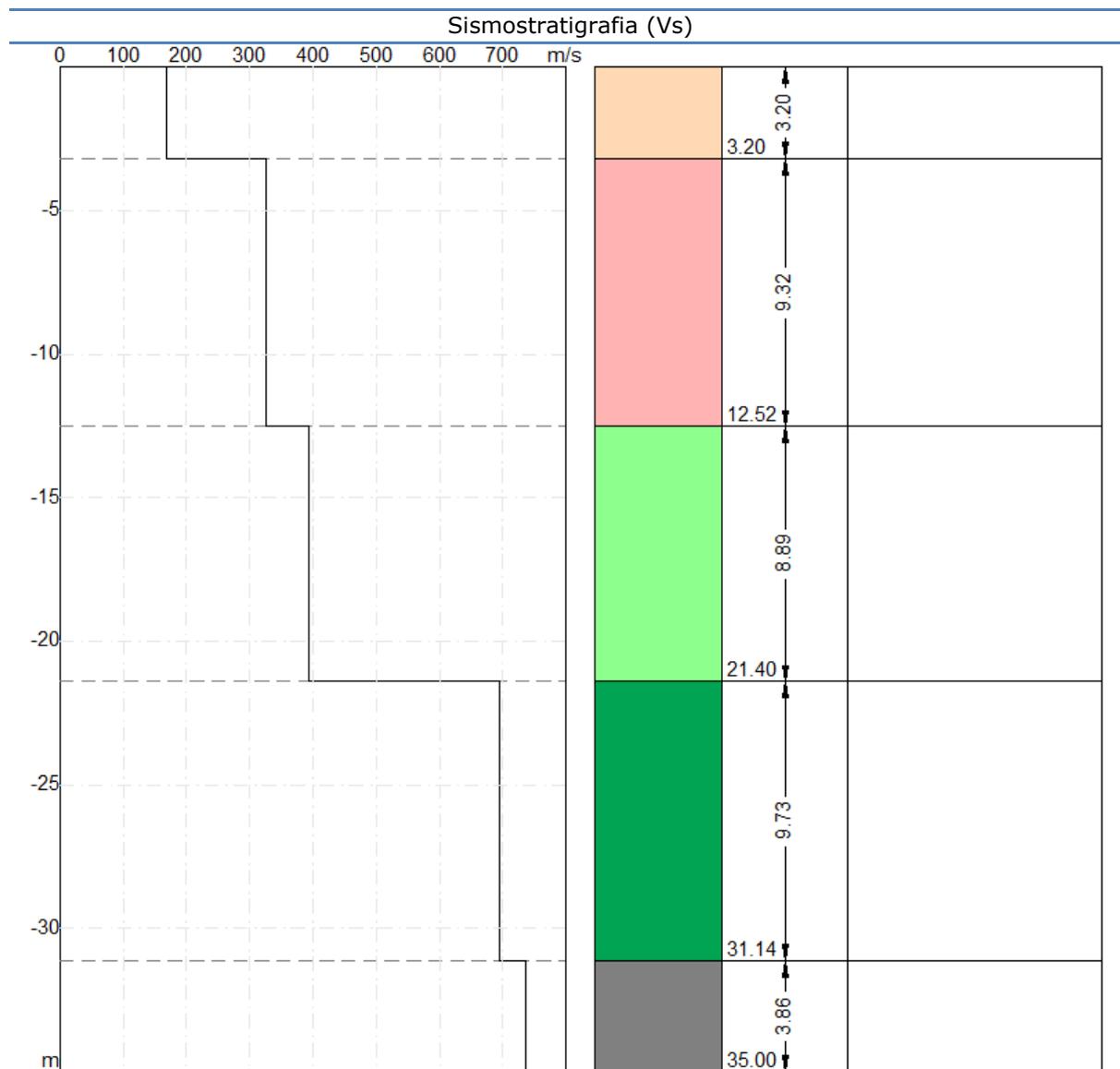


**Modello sismostratigrafico:**

N° di strati: 5

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità onde di taglio [m/s]
1	3.23	3.23	168.4
2	12.41	9.19	327.6
3	21.38	8.97	391.6
4	31.12	9.74	695.5
5	∞	∞	737.6

**Valore  $V_{s30}$ : 363.7 m/s**



**INDAGINE MASW**

<b>Località</b> via Fora, Fora		<b>Comune</b> Toano (RE)		
<b>Cantiere</b> MS 2° livello		<b>Data</b> 05/07/2019	<b>Ora</b> 14.15	
<b>Codice lavoro</b> 19_002_CSTG	<b>Committente</b> Dott. Geol. Stefano Castagnetti			
<b>Codice Prova</b> MASW6	<b>File</b> Fora A_STK_SEG2.dat			
<b>Operatore:</b> Dott. Geol. Alessandro Ferrari				

**STRUMENTAZIONE**

<b>Marca:</b> Sara Electronic Instruments	<b>Modello:</b> Sismografo digitale DoReMi
<b>Marca Geofoni:</b> Geo Space	<b>Orientamento:</b> <input type="checkbox"/> H <input checked="" type="checkbox"/> V <b>Frequenza (Hz):</b> 4.5

**SPECIFICHE INDAGINE**

	<b>Tipo:</b> MASW	<b>Onde:</b> <input checked="" type="checkbox"/> P <input type="checkbox"/> SH
	<b>N°canali:</b> 24	<b>Lunghezza stendimento (m):</b> 46
	<b>Offset minimo (m):</b> 5	<b>N° shot:</b> 5
	<b>Durata registrazioni (sec):</b> 1	
	<b>Frequenza di campionamento (Hz):</b> 5000	
	<b>Tipologia energizzazione:</b>	
	<input type="checkbox"/> Fucile sismico	Modello:
	<input checked="" type="checkbox"/> Mazza	Kg: 5
	<input type="checkbox"/> Grave	Kg:
	<input type="checkbox"/> Mazza su trave	Kg:
<b>Stacking:</b> usate 5 acquisizioni su 5: <input checked="" type="checkbox"/> Fora A 0105.drm <input checked="" type="checkbox"/> Fora A 0205.drm <input checked="" type="checkbox"/> Fora A 0305.drm <input checked="" type="checkbox"/> Fora A 0405.drm <input checked="" type="checkbox"/> Fora A 0505.drm		

**Geometrie stendimento:**



**TERRENO INDAGATO**

<b>Superficie:</b>	<input type="checkbox"/> vegetale	<input type="checkbox"/> riporto	<input type="checkbox"/> roccia	<input checked="" type="checkbox"/> pavimentazione: asfalto
<b>Condizioni terreno:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> asciutto	<input type="checkbox"/> bagnato	<input type="checkbox"/> saturo	

**OSSERVAZIONI:**

**Tracce**

Numero tracce: 24

Durata acquisizione: 1.0 s

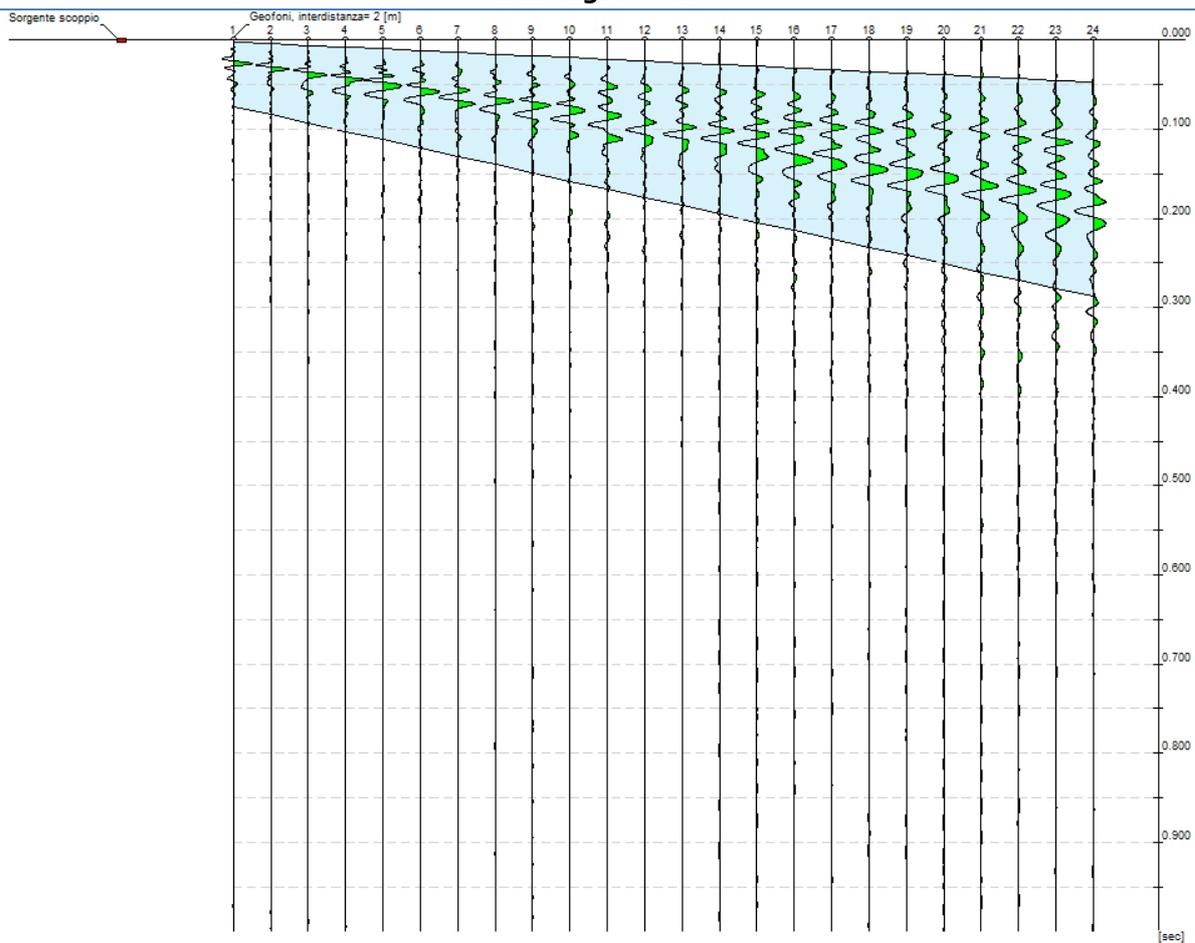
Periodo di campionamento: 0.2 ms

Interdistanza geofoni: 2 m

Distanza sorgente - primo geofono: 5 m

Selezione temporale: selezione manuale

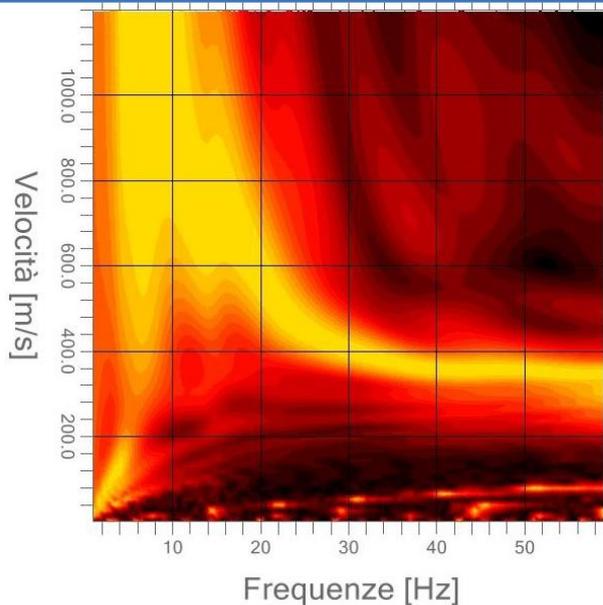
**Sismogramma**



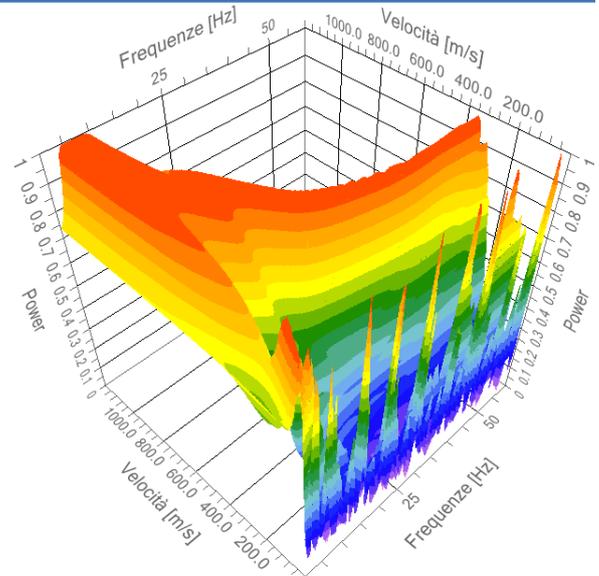
**Analisi spettrale**

Numero tracce utilizzate: 24  
 Frequenza minima di elaborazione: 1 Hz  
 Frequenza massima di elaborazione: 60 Hz  
 Velocità minima di elaborazione: 1 m/s  
 Velocità massima di elaborazione: 1200 m/s

Spettro Velocità di fase - Frequenze



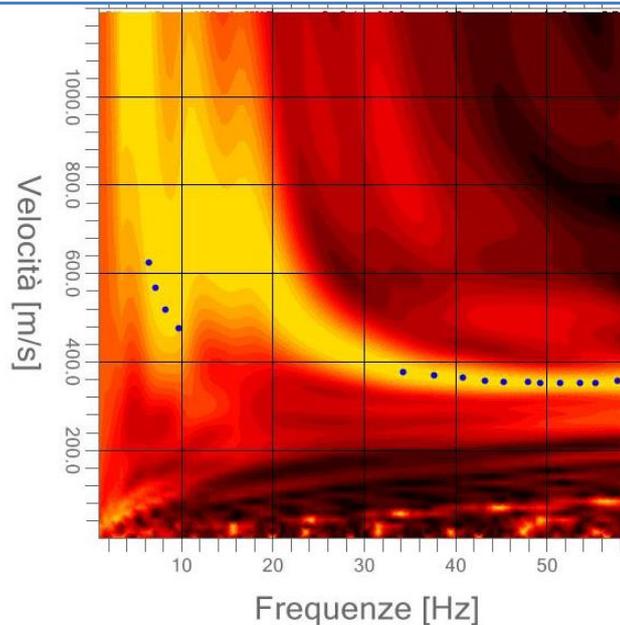
Spettro 3D Velocità di fase - Frequenze



**Curva di dispersione**

N° punti di picking: 15

Picking su spettro F-V



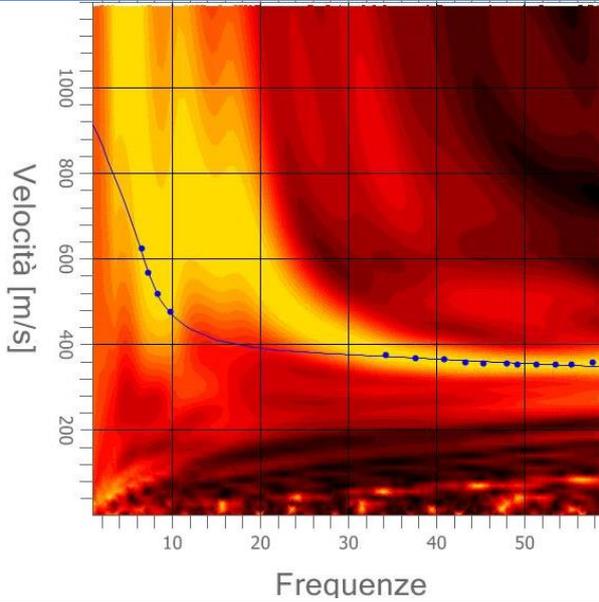
Modi vibrazionali identificati

- |   |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Modo fondamentale | <input type="checkbox"/> 1° modo superiore | <input type="checkbox"/> 2° modo superiore | <input type="checkbox"/> 3° modo superiore | <input type="checkbox"/> 4° modo superiore |
|---|--|--|--|--|

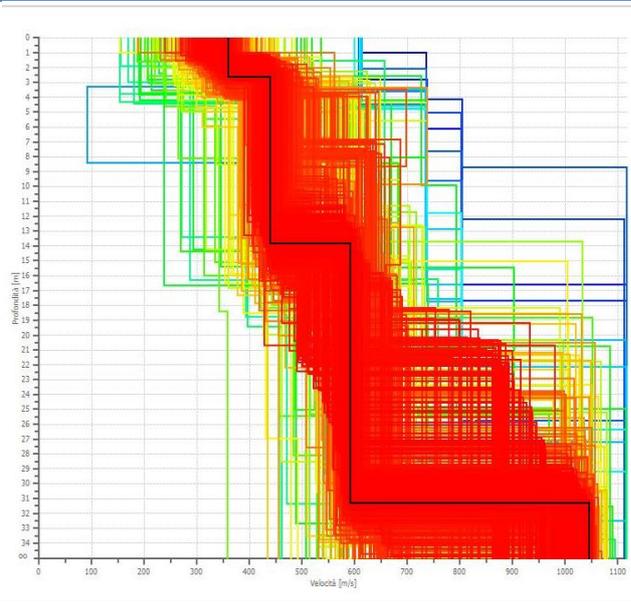
**Inversione:**

Fattore di disadattamento della soluzione (misfit): 0.011  
Percentuale di errore: 0.010%

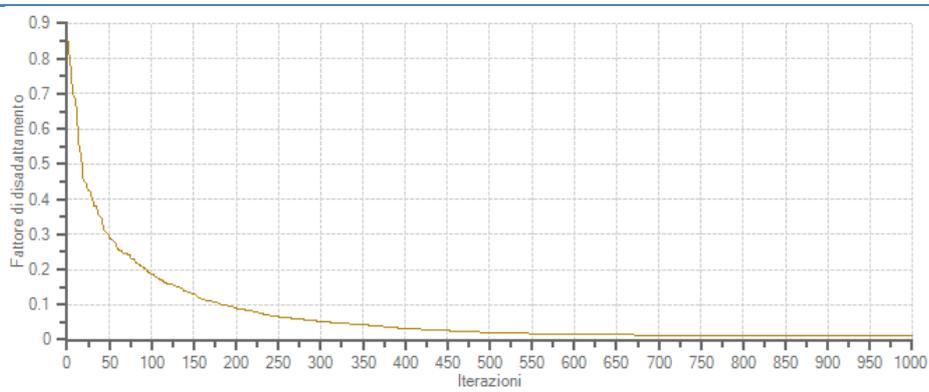
Modello sintetico su picking



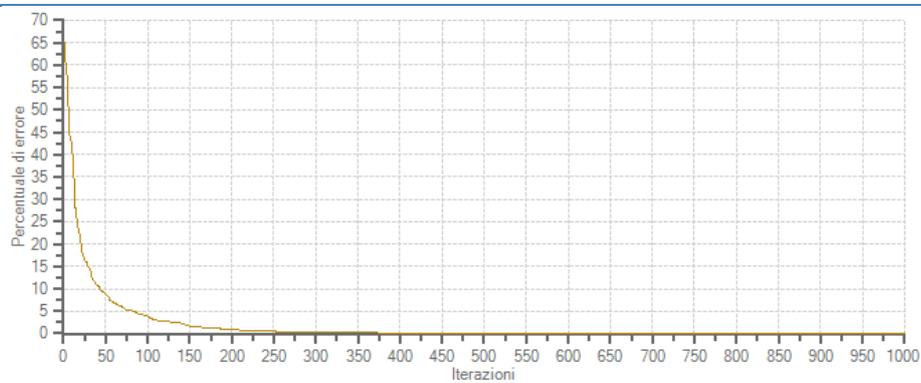
Profili di Vs considerati



Profilo di disadattamento



Profilo di errore percentuale



**Modello sismostratigrafico:**

N° di strati: 4

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità onde di taglio [m/s]
1	2.66	2.66	359.6
2	13.84	11.18	439.7
3	31.31	17.47	592.1
4	∞	∞	1045.5

**Valore  $V_{seq} = V_{s30}$ : 499.0 m/s**

