



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE TOSCANA



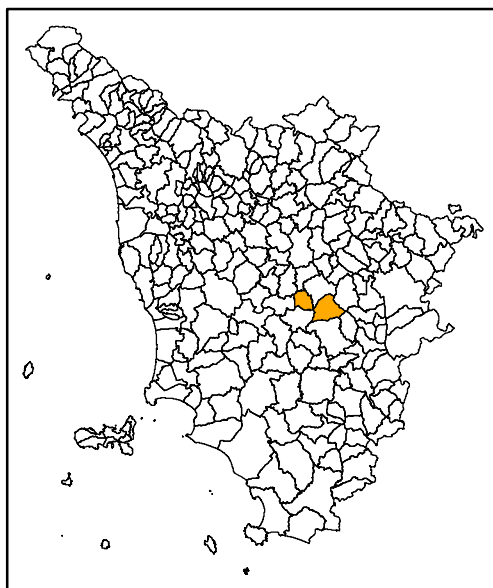
CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione tecnica illustrativa
dello studio di livello 2

Regione Toscana
Castelnuovo Berardenga



Regione Toscana Comune Castelnuovo Berardenga	Soggetto realizzatore STUDIO DI GEOLOGIA Dott.Geol.Alberto Tomei  con Dott.Geol.Nicolò Mantovani	Data Agosto 2022
--	--	-------------------------

INDICE

1. Premessa.....	1
1.1 Gli elaborati dello studio di MS di livello 2.....	2
1.2 Coerenza dello studio di MS con la cartografia del PS e del PAI "Dissesti geomorfologici".....	3
2. Inquadramento geologico e geomorfologico del territorio comunale.....	3
2.1. Inquadramento geologico.....	4
2.1.1. Stratigrafia.....	6
2.1.2. Evoluzione tettonica paleo-geografica della Toscana meridionale.....	9
2.1.3. Tettonica e termalismo.....	12
2.2. Geomorfologia.....	14
3. Sismicità del territorio.....	16
3.1. Sismicità storica (dal 1500 al 2001).....	16
3.2. Sismicità recente (dal 2001 al 2022).....	18
3.3. Faglie capaci.....	19
3.4. Strutture sismogenetiche.....	19
4. Definizione dell'azione sismica di base.....	21
5. La raccolta dei dati geognostici.....	24
5.1. Le nuove indagini geognostiche acquisite.....	24
6. Le nuove indagini geofisiche.....	24
7. La carta Geologico-tecnica per la microzonazione sismica.....	25
8. La carta delle Frequenze fondamentali dei depositi.....	26
9. La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS).....	27
9.1. La legenda della carta MOPS.....	28
9.1.1. Zone stabili.....	29
9.1.2. Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.....	29
9.1.3. Zone di attenzione per instabilità.....	31
10. Carte dei fattori di amplificazione.....	32
Appendice 1: Report delle nuove indagini sismiche elaborate per lo studio di livello 2.....	36



1. Premessa

Questo documento costituisce la relazione di sintesi dello studio di Microzonazione Sismica di secondo livello elaborato su incarico dell'Amm.ne Comunale di Castelnuovo Berardenga (SI) che ha usufruito del finanziamento regionale di cui al Decreto Dirigenziale di G.R.T.n.22090 del 02/12/2021. Tutto il lavoro prodotto è stato elaborato ed archiviato secondo lo *Standard di Rappresentazione Grafica e Archiviazione Informatica - Versione 4.2* utilizzando il software SoftMS per l'archiviazione dei dati geognostici.

La microzonazione sismica (MS) si propone l'obiettivo di definire la pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone o porzioni di territorio caratterizzate da un comportamento sismico omogeneo. Nello specifico la MS individua e caratterizza:

- Le **Zone Stabili**, sono zone nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e pertanto gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- Le **Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica**, sono le zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;
- Le **Zone suscettibili di instabilità**, sono le zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, faglie superficiali).

Il documento tecnico di riferimento per la realizzazione degli studi di MS è rappresentato dagli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (di seguito indicato con la sigla ICMS) approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome opportunamente integrato dalle "Specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica" approvate con la delibera G.R.Toscana n.261/2011 e successivamente aggiornate con la delibera G.R.T.n.1162/2018.

Gli ICMS individuano tre livelli di approfondimento, con complessità ed impegno crescenti, in funzione dei diversi contesti e dei diversi obiettivi da raggiungere:

- il **livello 1** è un livello propedeutico ai successivi studi di MS, che consiste esclusivamente in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e delle informazioni preesistenti e/o acquisite appositamente al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della carta delle "**Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)**";
- il **livello 2** è un livello successivo in cui si introduce l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee mediante metodologie di analisi numerica di tipo semplificato (abachi regionalizzati, modellazione 1D, leggi empiriche) e l'esecuzione di ulteriori e più mirate indagini. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della "**Carta di Microzonazione Sismica**";
- il **livello 3** rappresenta il livello più approfondito che permette di giungere ad una microzonazione specifica del territorio basata su metodologie analitiche di tipo quantitativo. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della "**Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti**".

Va sottolineato che i livelli 1 e 2 di MS servono solo per la pianificazione territoriale, mentre il livello 3 di MS può fornire utili indicazioni per la progettazione delle opere strutturali.

La normativa regionale della Toscana (DPGR.n.5/R/2020 "Regolamento di attuazione dell'art.104 della L.R. n.65/2014 in materia di indagini geologiche") prevede, come supporto agli strumenti urbanistici, la redazione obbligatoria di studi di microzonazione di livello 1 oppure di livello 2, se sono verificate le condizioni geologico-tecniche per l'applicabilità degli abachi regionali,



o di livello 3, nelle zone in cui è prevista la realizzazione di analisi di risposta sismica locale mono o bidimensionale.

Nel caso del Comune di Castelnuovo Berardenga le informazioni derivanti dall'insieme dei dati a disposizione permettono, attraverso l'utilizzo degli abachi regionali, di produrre la carta di microzonazione sismica dei fattori di amplificazione stratigrafici per tre specifici range di periodo (0,1-0,5 sec, 0,4-0,8 sec e 0,7-1,1 sec). Questa carta rappresenta il principale elaborato dello studio di livello 2 ed è finalizzata a definire l'amplificazione sismica per ciascuna delle microzone individuate nella carta delle MOPS elaborata con lo studio di livello 1 ed eventualmente modificata nel corso degli studi di secondo livello. La carta della pericolosità sismica prevista dal DPGR. 5/R/2020 nell'ambito degli studi geologici di supporto ai Piani Strutturali si costruisce, infatti, a partire dalla carta di microzonazione sismica. Nella tabella seguente viene riportato lo schema delle indagini e degli elaborati che, in generale, devono essere prodotti con lo studio di MS di secondo livello.

Tabella 1 – indagini, analisi ed elaborati del livello 2 di MS (da del.GRT n.1162/2018)

INDAGINI MINIME OBBLIGATORIE	<ul style="list-style-type: none">• <u>Programmazione ed esecuzione di nuove indagini</u>: indagini geofisiche attive di superficie, prove geofisiche in foro, sondaggi geognostici, prove geotecniche in situ e in laboratorio
ANALISI ED ELABORAZIONI	<ul style="list-style-type: none">• <u>Correlazioni e confronto con i risultati del livello 1.</u>• <u>Definizione del modello geologico-tecnico di sottosuolo.</u>• <u>Utilizzo di abachi regionali per i fattori di amplificazione litostratigrafici</u>
PRODOTTI FINALI OBBLIGATORI	<ul style="list-style-type: none">• <u>Carta delle indagini</u>, implementata rispetto a quella del livello 1 con le nuove indagini;• <u>Carte di Microzonazione Sismica</u> almeno alla scala 1:5.000-1.10.000 (compresa l'eventuale revisione della cartografia di MS di livello 1) per i vari fattori di amplificazione litostratigrafici;• <u>Relazione tecnica illustrativa della Carta di Microzonazione Sismica.</u>

Di particolare importanza risulta la definizione del modello geologico-tecnico degli areali indagati che dovrà focalizzarsi sulle “coperture” (depositi detritici, sedimenti sciolti, coltri di alterazione) e sulla individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato rigido (ovvero quei litotipi caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S – convenzionalmente assunta superiore a 800 m/sec) la cui velocità, significativamente maggiore rispetto ai terreni soprastanti (cosiddetti di copertura), determina un forte contrasto di impedenza sismica che, a seconda della profondità alla quale si rileva tale interfaccia, può determinare l'amplificazione dello scuotimento sismico in superficie.

Per quanto riguarda la delimitazione delle aree d'indagine, lo studio di microzonazione di livello 2 è stato realizzato all'interno dei medesimi areali dello studio di livello 1, che ricomprendono le località di Quercegrossa, Casetta, Castelnuovo Berardenga, Monteaperti, Pianella, Ponte a Bozzone, San Giovanni a Cerreto e Vagliagli, a cui è stato aggiunto il nuovo areale relativo alla località di San Gusmè, non studiata nel precedente primo livello.

1.1. Gli elaborati dello studio di MS di livello 2

Come specificato nel programma delle attività per le indagini e gli studi di MS di livello 2 predisposto per il Comune di Castelnuovo Berardenga dal Settore Sismica della Regione Toscana gli elaborati prodotti sono sostanzialmente di tipo cartografico, accompagnati da una relazione tecnica illustrativa:

- a) carta delle indagini;



- b) carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica;
- c) carta delle sezioni geologico-tecniche;
- d) carta delle frequenze fondamentali dei depositi,
- e) carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS),
- f) carta di microzonazione sismica in riferimento al fattore di amplificazione relativo al periodo 0,1s - 0,5s;
- g) carta di microzonazione sismica in riferimento al fattore di amplificazione relativo al periodo 0,4s - 0,8s;
- h) carta di microzonazione sismica in riferimento al fattore di amplificazione relativo al periodo 0,7s - 1,1s;
- i) relazione tecnica illustrativa (il presente documento);
- j) data-base delle indagini geognostiche.

Tutte le cartografie prodotte sono in scala 1:5.000. La carta delle indagini è stata aggiornata con l'inserimento delle indagini di nuova realizzazione e di quelle recuperate nei database comunali e regionali relative agli anni dal 2014 ad oggi. Le sezioni geologico-tecniche del primo livello sono state modificate alla luce dei risultati delle nuove indagini, confermando comunque in linea generale il modello geologico e strutturale individuato dallo studio di livello 1. Relativamente alla carta geologico-tecnica ed a quella delle frequenze fondamentali dei depositi sono stati predisposti due specifici elaborati cartografici, non presenti a supporto dello studio di microzonazione di livello 1. Anche per quanto riguarda la carta MOPS, gli areali definiti nello studio di livello 1 sono stati rivisti e modificati sulla base dei risultati delle nuove indagini svolte e di quelle recuperate.

I capitoli seguenti illustrano le modalità di redazione dei diversi elaborati e le considerazioni da essi desumibili per lo specifico territorio comunale di Castelnuovo Berardenga in modo da fornire anche gli elementi necessari alla realizzazione della carta della pericolosità sismica del Piano Strutturale che necessariamente verrà aggiornata secondo l'esito dello studio di secondo livello ai sensi del DPGR.n.5/R/2020.

1.2 Coerenza dello studio di MS con la cartografia del Piano Strutturale e del PAI "Dissesti Geomorfologici"

Ai fini della individuazione delle aree potenzialmente interessate da deformazioni permanenti in caso di evento sismico riportate nella Carta delle MOPS si è utilizzato lo studio geomorfologico elaborato specificatamente per la variante generale al Piano Strutturale e nuovo Piano Operativo a partire dalle foto aeree più recenti (2019) messe a disposizione della Regione Toscana, con il quale sono state realizzate sia le nuove carte di pericolosità geologica e sismica per il territorio di Castelnuovo Berardenga sia la proposta di revisione ed aggiornamento delle mappe del PAI "Dissesti geomorfologici" già formulata dall'Amm.ne Comunale all'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale, ai sensi dell'Art.15 comma 4 della relativa disciplina di piano.

2. Inquadramento geologico e geomorfologico del territorio comunale

Per meglio comprendere i capitoli che descrivono i risultati delle indagini di supporto alla redazione dello studio e le considerazioni, anche di natura interpretativa, sui comportamenti desumibili per le varie unità litologico-tecniche individuate, occorre procedere alla descrizione delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche generali del territorio.



2.1. Inquadramento geologico

La successione e la giacitura delle unità formazionali affioranti nell'area compresa tra il Bacino di Siena e i Monti del Chianti sono legate ad una lunga e complessa storia geologica, che è poi la storia del corrugamento e del sollevamento della Catena appenninica. L'età di queste formazioni va dal Cretaceo inferiore al Quaternario, ma la loro successione non è regolare né uniforme, quale ci si dovrebbe aspettare se si fossero depositate, con continuità, in un unico bacino di sedimentazione; al contrario essa si presenta disomogenea, discontinua e con ripetizioni di serie, mostrando la sovrapposizione di complessi eterogenei, separati l'uno dall'altro da discontinuità sia di natura tettonica, sia stratigrafica. Quasi tutti questi complessi si trovano oggi tettonicamente sovrapposti l'uno sull'altro e ciascuno di essi proviene da aree di sedimentazione distinte e con caratteristiche paleo-ambientali completamente diverse ("Domini paleo-geografici"). Sulla base dei rapporti di giacitura dei vari complessi e delle caratteristiche sedimentarie delle rispettive successioni, si ritiene che, per quanto riguarda l'area in esame, essi provengano da tre Domini che dovevano succedersi da Ovest verso Est nel seguente ordine: Dominio ligure, Dominio sub-ligure, Dominio toscano.

Il Dominio ligure

Questo dominio corrisponde ad un bacino oceanico, costituito, nella sua parte interna (Dominio ligure interno) da un basamento di rocce magmatiche basiche ed ultra basiche che vengono complessivamente indicate con il nome di "Ofioliti" alle quali si sovrappone una copertura sedimentaria, dello spessore complessivo di un migliaio di metri, depositatasi in un ambiente di mare profondo, paragonabile agli attuali fondi oceanici, e da una parte esterna, costituito da un basamento sialico metamorfico sormontata da una copertura sedimentaria (Dominio ligure esterno).

Il Dominio sub-ligure

In questo dominio è presente un gruppo di formazioni conosciute nell'Appennino settentrionale con il nome di Kalk-Ton-Serie o di "Complesso di Canetolo". Esso è costituito da una successione di terreni argilloso-calcarei ed arenacei di età terziaria, che si sovrappongono come Unità tettonica a se stante, sulle formazioni oligoceniche del Dominio toscano (Scaglia e Macigno). L'origine del Complesso di Canetolo rimane per alcuni aspetti ancora un pò enigmatica. Un'ipotesi suggestiva è che si abbia a che fare con il contenuto di una prima avanfossa di flysch, situata all'interno del bacino del Macigno toscano, in cui sopraggiungeva il primo fronte alloctono, costituito dalle Argille e calcari di Canetolo e dai flysch calcarei eocenici associati. Su questo fronte si sedimentavano in discordanza i flysch arenacei di Ponte Bratica e di Petriagnacola (quest'ultimo alimentato da un rilievo in cui era attivo anche un vulcanismo calco-alcalino). Il tutto doveva poi essere rimobilizzato nelle fasi tettoniche successive e spinto, con il progredire dell'orogenesi, prima sopra al Macigno e poi (una volta individuata la Falda Toscana e superato il fronte di quest'ultima mentre avanzava anche il grosso delle Liguridi) anche nella nuova avanfossa rappresentata dal bacino del Cervarola.

Il Dominio toscano

Questo dominio è costituito da un basamento sialico metamorfico, di età paleozoica (pre-Viseano superiore o pre-fase sudetica dell'Orogenesi ercinica) e da una copertura tardo-paleozoica e mesozoico-terziaria, solo in parte metamorfica. Nel Dominio toscano sono state distinte tre zone: una zona toscana interna (da cui proviene l'Unità metamorfica di Massa), una



zona toscana intermedia (corrispondente all'Unità metamorfica apuana o dell'Elba orientale: "Autoctono apuano"), una zona toscana esterna (corrispondente alla Falda Toscana non metamorfica) le cui formazioni più recenti affiorano nell'area in esame.

Al di sopra delle unità tettoniche che impilandosi hanno generato la struttura dell'appennino settentrionale si sono deposte, a partire dal Miocene superiore, i sedimenti facenti parte del Complesso Neoautoctono.

Il Neoautoctono

Nella Toscana a Sud dell'Arno, inizia quasi ovunque con depositi lacustri che attualmente costituiscono affioramenti di limitata estensione, soprattutto ai margini delle principali depressioni neogeniche. Questi depositi poggiano discordanti su un substrato corrugato, costituito per la maggior parte dalle unità alloctone liguri sub-liguri e toscane, e sono sormontati dai sedimenti marini del Pliocene.

I sedimenti del Miocene superiore.

La paleogeografia della Toscana Meridionale nel corso del Miocene superiore e del Pliocene era molto diversa da quella attuale ed in rapida evoluzione. Nel Tortonian superiore si estendevano in questa regione ampi laghi dei quali ci rimangono oggi poche e discontinue testimonianze. Nel Messiniano la parte occidentale fu invasa dal mare, mentre sul versante orientale della grande struttura positiva che divideva in due la Toscana (Dorsale Monticiano - Roccastrada) si estendeva una lunga e stretta depressione occupata da tutta una serie di bacini lacustri; questa situazione tettonica-stratigrafica è oggi rilevabile nei sedimenti miocenici del Bacino del Casino le cui formazioni affiorano nella parte occidentale del Comune di Castelnuovo Berardenga tra la Fattoria di Valiano e Quercegrossa.

I sedimenti del Pliocene.

Il ciclo sedimentario del Pliocene inizia nella Toscana Meridionale con una trasgressione marina di portata ben più estesa rispetto a quella del Miocene superiore. Essa oltrepassa i margini dei vecchi bacini evaporitici e raggiunge vaste aree mai sommerse nel corso del ciclo precedente. La lunga Dorsale medio-toscana, cui abbiamo fatto cenno in precedenza, viene superata ed in gran parte sommersa, ed il mare invade la fascia orientale della regione che, fino allora, era stata sede di prevalente sedimentazione continentale.

La trasgressione pliocenica pur essendo molto generalizzata, non presenta caratteri uniformi in tutta l'area: questo fatto può essere messo in relazione con la particolare situazione morfostrutturale che si era andata creando nel Miocene superiore; alla fine di questo periodo la regione appariva intensamente spezzettata dalla tettonica rigida, con alcuni compartimenti in fase di sprofondamento, altri stabili, altri con tendenza al sollevamento.

Queste brevi considerazioni ci possono rendere conto della situazione paleo-geografica al momento della trasgressione. Prescindendo infatti dalle aree dove questa si verificò sui terreni pre messiniani (complessi liguri, terreni di facies toscana ecc.) si notano spesso caratteri di trasgressività con discordanze angolari talvolta notevolissime, anche in corrispondenza dei sedimenti del Miocene superiore e solo in poche aree, localizzabili generalmente nelle parti centrali di alcuni grandi bacini (ad es. bacini di Volterra, della Val di Fine, della Val di Cecina ecc.), il passaggio Miocene-Pliocene è segnato da un cambiamento di facies senza apprezzabile discordanza angolare o in continuità "acqua su acqua".



Bacino di Siena.

Il Bacino di Siena si trova sul prolungamento di quello della Val d'Elsa, da cui è separato dalla soglia di Monteriggioni. Tale rilievo doveva esistere anche nel Pliocene inferiore come è dimostrato dalla diversa evoluzione sedimentaria e paleo-ambientale dei due bacini.

Anche il bacino di Siena, come gli altri bacini pliocenici, è occupato per gran parte della sua estensione da depositi clastici marini, che sono costituiti essenzialmente da argille, argille sabbiose e sabbie con lenti di conglomerati. Nella parte centrale del bacino prevalgono i sedimenti argillosi, pur con frequenti, e talora potenti, intercalazioni sabbiose.

Sui bordi settentrionali e occidentali compaiono invece depositi di ambiente più proximale, costituiti da sabbie con sporadiche intercalazioni conglomeratiche.

Per quanto riguarda l'evoluzione della sedimentazione da recenti ricerche inedite e da quelle tuttora in corso è emerso che gli affioramenti della fascia occidentale sono la testimonianza di una trasgressione iniziata pressoché alla base del Pliocene inferiore (nell'ambito della Zona a *Sphaeroidinellopsis seminulina* s.l.) e sviluppata diacronicamente fino ad un Pliocene inferiore inoltrato (Zona a *Globorotalia punctulata*); quelli del bordo orientale indicherebbero invece un locale arrivo più tardivo della trasgressione (verosimilmente solo a partire dalla Zona a *G. punctulata*).

Nei dettagli l'evoluzione paleo-geografica del bacino è stata in realtà alquanto articolata, specialmente ai suoi margini, in conseguenza soprattutto di un'attività tettonica intrapliocenica. Un esempio di tale attività è documentato sul bordo sud-occidentale, dove è stato individuato un episodio continentale rusciniano tra i sedimenti marini della Zona a *Globorotalia margaritae* e quelli della successiva Zona a *G. punctulata* - *G. margaritae*. Un'altra particolarità del bacino forse la più eclatante per le sue vaste dimensioni, è rappresentata dal fatto che il generale contesto di sedimentazione argillosa (a prescindere ovviamente dalle litofacies trasgressive conglomeratiche, calcaree, sabbiose, ecc.) è interrotto a più riprese dalla deposizione di potenti intervalli sabbiosi a partire dalla porzione superiore della Zona a *G. punctulata* e fino a quella a *Globorotalia aemiliana*. Questi corpi, nel passato interpretati come episodi litorali dovuti a ricorrenti oscillazioni del fondo marino sono stati recentemente riconosciuti come l'espressione di una probabile conoide sottomarina prodotta da risedimentazione innescata da eventi tettonici sinsedimentari.

Anche in base ai soli due esempi menzionati, è evidente il ruolo preminente dell'attività delle faglie ai bordi del bacino, le quali avrebbero fortemente condizionato la sedimentazione analogamente a quanto avvenuto nel più meridionale Bacino di Radicofani, dove l'attività tettonica sinsedimentaria è tra l'altro in evidenza dai numerosi olistostromi presenti sui margini.

Da quel che si conosce a tutt'oggi, il ciclo marino è verosimilmente concluso nella parte superiore del Pliocene medio, in armonia con quanto documentato nel resto della Toscana.

2.1.1. Stratigrafia

Di seguito sono riportate le formazioni affioranti nel territorio comunale di Castelnuovo Berardenga, suddivise per Domini paleo-geografici corredate di una breve descrizione litologica.

Sigla carta	FORMAZIONE	DESCRIZIONE	ETA'	UNITA' TETTONICHE
DOMINIO TOSCANO				
STO1	Scaglia toscana – Membro delle Argilliti di Brolio	Argilliti rosso vinate con locali aree verdastre, grigio-cerulee e nerastre (per impregnazioni manganesifere). Rare intercalazioni di calcari silicei grigi e verdastrati.	Aptiano/Albiano– Paleogene?	UNITA' DELLA FALDA TOSCANA



STO2	Scaglia Toscana – Membro delle Marne del Sugame	Calcarei marnosi rosa da rosa a violacei mal stratificati		UNITA' DELLA FALDA TOSCANA
STO3	Scaglia toscana – Membro delle Calcareniti di Montegrossi	Calcareniti e calcilutiti in strati spessi talvolta separati da sottili livelli di argilliti		UNITA' DELLA FALDA TOSCANA
STO4	Scaglia toscana – Membro delle Calcareniti di Dudda	Alternanza di argilliti, calcilutiti e calcareniti con subordinate marne e livelli di breccie a clasti calcareo - silicei		UNITA' DELLA FALDA TOSCANA
STO7	Scaglia toscana – Membro delle marne rosse	Alternanza di marne rosse, con subordinati livelli di argilliti		UNITA' DELLA FALDA TOSCANA
MAC	Formazione del Macigno	Arenarie torbiditiche quarzoso-feldspatiche-micacee spesso gradate di colore grigio, giallastre per alterazione, e a granulometria generalmente da media a grossolana, in strati di spessore fino a circa 4 metri con intercalazioni centimetrico-decimetriche di peliti siltose grigio-scare. Locali strati decimetrici di arenarie fini e di siltiti.	Oligocene su. – Miocene inf.	UNITA' DELLA FALDA TOSCANA
MACa	Formazione del Macigno – olistostroma	Intercalazioni di corpi lenticolari con assetto caotico formati da argilliti, arenarie e calcareniti la cui età è più antica di quella del Macigno che li ingloba. Tali depositi, avendo caratteristiche molto simili a quelle dei depositi dell'Unità delle Argille e calcari, sono stati interpretati come olistostromi, ossia come corpi originatisi per frane che, dislocatesi dalla fronte avanzante dell'Unità delle Argille e calcari, sono scivolati nel bacino del Macigno mentre questo si sedimentava.	Oligocene su. – Miocene inf.	UNITA' DELLA FALDA TOSCANA
MACb	Formazione del Macigno - Arenarie fini torbiditiche	Locali strati decimetrici di arenarie fini e di siltiti. Intercalazioni lenticolari di spessore fino ad alcune decine di metri e con litologie argillitico-calcaree		UNITA' DELLA FALDA TOSCANA

DOMINIO SUB-LIGURE

ACCb	Argille e calcari di Canetolo – membro torbiditico	Torbiditi argilloso-calcarei con intercalazioni di arenarie micacee	Paleocene- Eocene	UNITA' DI CANETOLO
ACCa	Argille e calcari di Canetolo – membro argillitico	Argilliti e siltiti nerastre con strati di calcari micritici di colore nocciola	Paleocene- Eocene	UNITA' DI CANETOLO
CGV	Calcari di groppo del Vescovo	Spessi banchi torbiditici calcareo-marnosi, spesso con base calcarenitica , di colore grigio scuro, intercalati con argilliti grigio scure presenti in porzioni variabili	Eocene	UNITA' DI CANETOLO

DOMINIO SUB-LIGURE ESTERNO

SILL	Formazione di Sillano	Argilliti avana-verdastre, grigio-verdi e nerastri con intercalazioni centimetriche-decimetriche di calcilutiti, talora silicee, grigie e grigio-verdi e calcareniti di colore grigio e bruno con patine verdastre e siltiti/arenarie fini calcaree da grigie a grigio scure. Localmente sono presenti impregnazioni nerastre di ossidi di manganese.	Cretaceo superiore- Eocene inferiore	UNITA' DI M. MORELLO
MLL	Formazione di M. Morello	Alternanza di calcari a grana fine, generalmente marnosi e di colore biancastro, bruno e grigio (bianco- giallastri per alterazione superficiale), in strati da centimetrici fino ad alcuni metri di spessore, di marne giallo-brune e grigiastre a frattura concoide e di	Eocene medio – sup.	UNITA' DI M. MORELLO



		argilliti marnose grigie; subordinatamente a queste litologie si intercalano strati in genere decimetrici di biocalcareni e arenarie calcaree torbiditiche di colore grigio. A luoghi negli strati calcarei possono essere presenti noduli e liste di selce grigia.		
COMPLESSO NEOAUTOCTONO – DEPOSITI LACUSTRI E LAGUNARI POST- EVAPORITICI				
ACN	Argille lignitifere	Argille marnose generalmente massicce di colore grigio	Turoliano sup.	
MESb	Conglomerati poligenici		Turoliano sup.	
COMPLESSO NEOAUTOCTONO – DEPOSITI MARINI PLIOCENICI				
PLIb	Conglomerati marini poligenici		Zancleano - Piacenziano	
FAAb	Argille sabbiose e limi di colore nocciola e grigio		Zancleano - Piacenziano	
FAA	Argille e argille siltose grigio-azzurre fossilifere		Zancleano - Piacenziano	
PLIs	Sabbie e arenarie gialle		Zancleano - Piacenziano	
COMPLESSO NEOAUTOCTONO – DEPOSITI CONTINENTALI RUSCINIANI E VILAFRANCHIANI				
VILa	Conglomerati poligenici		Rusciniano – Villafranchiano inf.	
VILc	Argille e argille sabbiose lacustri e fluvio-lacustri		Rusciniano – Villafranchiano inf.	
COMPLESSO NEOAUTOCTONO – DEPOSITI CONTINENTALI POST - VILAFRANCHIANI				
f1a	Travertini e calcari continentali		Pleistocene	
e2a	Depositi lacustri		Pleistocene	
bn2_g	Depositi alluvionali terrazzati – ghiaie prevalenti		Pleistocene	
bn2	Depositi alluvionali terrazzati – sabbie prevalenti		Pleistocene	
bn1_g	Depositi alluvionali terrazzati – ghiaie prevalenti		Olocene	
bn1	Depositi alluvionali terrazzati – sabbie prevalenti		Olocene	
b_g	Depositi alluvionali attuali – ghiaie prevalenti	Depositi dei letti fluviali attuali, soggetti ad evoluzione con ordinari processi fluviali.		
b	Depositi alluvionali attuali – sabbie prevalenti	Depositi dei letti fluviali attuali, soggetti ad evoluzione con ordinari processi fluviali.		



2.1.2. Evoluzione tettonica paleo-geografica della Toscana meridionale

Le formazioni affioranti nella Toscana Meridionale sono state quasi tutte interessate da deformazioni e dislocazioni verificatesi in più fasi dell'orogenesi alpina, durante le quali si è prodotto il corrugamento della Catena appenninica. Solo quelle più recenti, di età pleistocenica superiore e olocenica sembrano non conservare indizi di significative deformazioni.

La dorsale dei Monti del Chianti è sul prolungamento di una struttura regionale che, con direttrice appenninica, si estende dall'estremità settentrionale a quella meridionale della Toscana, lungo l'allineamento M.te Orsaro – Pania del Corfino – Val di Lima – M.te Albano – M.ti del Chianti – M.te Cetona, per una lunghezza complessiva di oltre 200 Km.

In corrispondenza del tratto dei Monti del Chianti si hanno formazioni di facies ligure e sub-ligure che si sovrappongono a quelle della Falda Toscana qui presente principalmente con i suoi termini più recenti. Ad oriente ed occidente dell'alto morfologico affiorano formazioni neo autoctone ampiamente diffuse all'interno di pronunciate depressioni. Tale assetto strutturale è esemplificato nelle sezioni allegate.

Dall'analisi dei dati derivati sia dal rilevamento geologico dell'area in esame che dai dati bibliografici possono essere definite importanti strutture tettoniche qui di seguito inserite in tre categorie:

1) Dislocazioni plicative e traslazioni su superfici orizzontali.

A questa categoria appartiene, oltre ad una serie di pieghe minori, un anticlinale rovesciata, il cui asse è in direzione NNW – SSE, che interessa la successione Scaglia – Macigno, compresa tra S. Gusmè e Badiaccia a Montemuro (Radda in Chianti).

A causa di una leggera immersione assiale verso i quadranti settentrionali, il fianco rovescio affiora tra S. Gusmè ed il Castello di Brolio (dove è ben esposta la zona di cerniera), mentre il fianco normale si estende a Nord di quest'ultima località. Questa struttura positiva risulta interessata da una successiva tettonica a stile fragile caratterizzata da faglie dirette a basso angolo a loro volta dislocate da altre faglie dirette ad elevata inclinazione.

I rapporti di sovrapposizione strutturali permettono di definire il seguente quadro tettonico che risulta composto da due fasi deformative:

1° fase deformativa: essa è associata all'anisotropia planare principale (C1), a carattere penetrativo; si tratta di un clivaggio di tipo continuo caratterizzato da un diffuse planar zones nei litotipi argillitici e marnosi e di tipo displaced cleavage nei tipi carbonatici. Generalmente i rapporti fra il clivaggio C1 e la stratificazione S0 sono di parallelismo; tuttavia localmente sono visibili i rapporti angolari fra le due superfici che hanno permesso di ricostruire l'andamento degli assi di 1° fase. L'estrema scarsità di pieghe trova la sua giustificazione nel carattere tangenziale della 1° fase, questa si sarebbe esplicata principalmente per tagli semplici.

2° fase deformativa: è la strutturazione più evidente in tutta l'area; ad essa sono associate numerose strutture plicative che generalmente non presentano clivaggio di piano assiale. L'orientamento degli assi di 2° fase risulta molto dispersa; essa è infatti compresa fra N 120 - 180 con immersioni che variano da 10° ai 30°.

Dal riconoscimento delle due fasi deformative è possibile definire il quadro tettonico dei M.ti del Chianti confrontato con altre aree dell'Appennino Settentrionale:

La 1° fase riconosciuta è associata alla tettonica compressiva che genera sovrascorrimenti e rare



pieghe con vergenza verso NE. L'estrema scarsità di strutture plicative trova la sua giustificazione proprio nel suo carattere spiccatamente tangenziale del tutto simili a quello riconosciuto a Nord dell'Arno, nella Falda Toscana. Le datazioni di cronologia assoluta e relativa permettono di prospettare che la 1° fase riconosciuta nelle formazioni del Dominio Toscano si esplica in un intervallo di tempo compreso fra i 27 Ma e i 19.6 Ma. Durante questa fase si ha la sovrapposizione delle unità liguri e sub-liguri sulla Falda Toscana osservabile rispettivamente nell'area di Vagliagli e in corrispondenza del confine orientale del comune.

La 2° fase si esplica con strutture plicative con vergenza anch'essa orientale e viene interpretata come conseguenza di una rapida esumazione della litosfera ispessita. Le pieghe a vergenza orientale di questa seconda fase vengono correlate con altre strutture dell'Appennino Settentrionale ritenute contemporanee.

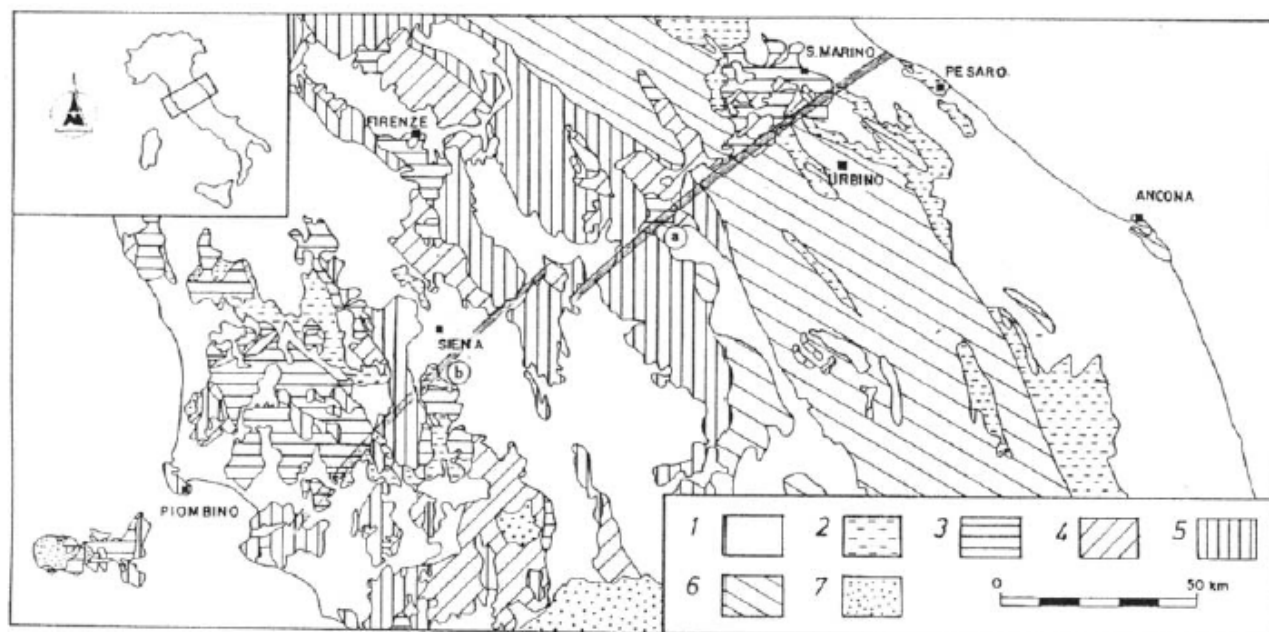
La piega rovesciata individuata nei M.ti del Chianti (che viene a trovarsi lungo la struttura regionale M.te Orsano - M.te Cetona) corrisponde ad una piega minore di una grande struttura antiforme di 2° fase che dall'area delle Alpi Apuane si estende, a sud, a quella tosco-laziale. La formazione di tale Paleoantiforme appenninica potrebbe essere messa in relazione con l'evento Burdigaliano, durante il quale si realizza la sovrapposizione del Macigno del Chianti sull'Arenaria del Cervarola-Falterona.

2) Dislocazioni rigide lungo piani subverticali e con rigetto a componente prevalentemente verticale.

Consistono in linee tettoniche che tagliano trasversalmente il Bacino di Siena e corrispondono a fasce di fratturazione e deformazione; l'area in esame è interessata dall'importante struttura tettonica denominata "Linea dell'Arbia", che corrisponde ad un settore della più ampia linea Arbia - Val Marecchia.

La linea Arbia - Val Marecchia fa parte di quegli elementi lineari genericamente orientati SW - NE che risultano ben evidenti dall'osservazione di foto da satellite ma anche di carte geologiche a piccola scala; essi, inoltre, sembrano tagliare con apparente continuità tutta la catena Appenninica. Di queste Linee trasversali senz'altro quella più significativa è la così detta " Livorno - Sillaro", studiata da Bortolotti nel 1966; secondo l'Autore si tratta di una discontinuità che ha avuto diversi ruoli cinematici durante l'evoluzione tettonica e sedimentaria dell'Appennino settentrionale, ipotizza infatti che durante il Giurassico tale linea era costituita da "un sistema di faglie normali con immersione verso nord"; diversamente, durante le fasi di corrugamento appenninico, la "Livorno - Sillaro", avendo il ruolo di un sistema di faglie trascorrenti, divideva la parte a Nord, dove si è verificato un forte raccorciamento della copertura, da quella a Sud dove la copertura è avanscorsa verso NE al livello delle evaporati triassiche.

In questa ottica la "Linea Arbia - Val Marecchia" sembra effettivamente rivestire una notevole importanza nel quadro evolutivo dell'Appennino settentrionale tanto che divide alcuni bacini mio - pliocenici della Toscana Meridionale e delimita i bacini pliocenici e quaternari del Valdarno superiore, della Val di Chiana e della Val Tiberina e delimita la parte meridionale della colata gravitativa mio - pliocenica della Val Marecchia.



Nel settore centrale di questa importante struttura tettonica, i lineamenti a direzione anti-appenninica sembrano disporsi sia lungo la Val d'Ambra, che delimita inferiormente il Valdarno superiore, sia lungo il limite superiore della Val di Chiana, al contatto tra le formazioni di serie toscana e i sedimenti neogenici.

Per quanto riguarda l'allineamento lungo la Val d'Ambra, è probabile che questo costituisca, in accordo con Bartolini & Pranzini (1980) una discontinuità trasversale; essa può quindi rappresentare un tratto della linea Arbia - Val Marecchia e, similmente a come ipotizzato da Bortolotti per la Livorno - Sillaro, che si sia sdoppiata in segmenti distinti in corrispondenza dei bacini intramontani toscani. E' importante notare come l'allineamento Ambra - Valdarno superiore è in continuità con la "linea dell'Arbia, già segnalata da Gelmini (1974) come allineamento Taverne d'Arbia - Castelnuovo Berardenga; è individuabile seguendo il percorso del Torrente Arbia che cambia repentinamente direzione scorrendo, per qualche decina di Km, in direzione NE - SW, per riprendere successivamente il percorso originario N - S. La linea dell'Arbia divide il Bacino di Siena in due settori, uno settentrionale ed uno meridionale; di questi, solo il secondo ha i caratteri tipici di fossa tettonica.

La linea Arbia - Val Marecchia nel quadro della geologia dell'Appennino settentrionale.

I risultati degli studi, condotti da diversi Autori, sui dati di superficie e attraverso l'interpretazione di linee sismiche e meccanismi focali, ha messo in evidenza il ruolo che ha avuto questa importante struttura tettonica che attraversa il territorio comunale di Castelnuovo, nell'evoluzione della copertura dell'Appennino settentrionale; la linea Arbia - Val Marecchia, infatti, ha avuto il ruolo di lateral ramp durante le fasi tettonogenetiche dell'appennino, costituendo un elemento strutturale pre-esistente alla distensione neogenica collegata con l'apertura del Bacino tirrenico; in questo nuovo regime tettonico, la linea Arbia - Val Marecchia ha assunto il ruolo di transfert fault.

Tra il Messiniano ed il Pleistocene sono state riconosciute almeno quattro fasi tettoniche durante le quali ha agito la linea tettonica in oggetto:

Fase infra-messiniana: nel settore Tirrenico, nel quadro di generale sollevamento dell'intera area toscana, la linea Arbia - Val Marecchia delimita a sud i Monti di Larderello.

Fase basso-pliocenica: in questa fase si riconosce una forte attività della linea Arbia - Val Marecchia che, durante una ampia trasgressione marina, delimita fosse tettoniche con diverso



grado di ampiezza.

Fase infra-pliocenica: in questo intervallo di tempo si verifica una generale regressione ; in questo quadro la linea tettonica delimita i bacini ancora con sedimentazione marina da quelli di neoformazione dove si instaura una sedimentazione fluvio-lacustre.

Fase infra-pleistocenica: l'Appennino settentrionale è soggetto ad un generale sollevamento; la Linea Arbia - Val Marecchia continua a dividere i bacini nei quali si sta concludendo la sedimentazione fluvio-lacustre. E' interessante notare come , nella carta geologica allegata al presente lavoro, l'affioramento di sedimenti Villafranchiani sia presente solamente a sud della linea tettonica dimostrando così una influenza decisiva durante la sedimentazione.

Ipotesi sull'origine delle linee trasversali all'Appennino settentrionale.

Da un punto di vista generale la Linea Arbia - Val Marecchia e le altre linee trasversali, essendo rilevabili anche in superficie per su distanze notevoli, sembra plausibile che interessino anche il basamento della catena. A questo proposito alcuni Autori, analizzando una sezione sismica orientata NNW-SSE che attraversa i Monti di Larderello, riconoscono un gradino nella Moho, indicante un sollevamento del mantello sotto Larderello, in corrispondenza della Linea Piombino - Faenza.

In questa ipotesi la genesi delle linee trasversali va inquadrata nella evoluzione del margine continentale paleo-appenninico.

3) Dislocazioni rigide a prevalente componente verticale.

Si tratta di faglie dirette orientate prevalentemente in senso appenninico (NNW – SSE) che interessano indistintamente i depositi neoautoctoni e il substrato.

Le faglie dirette di importanza regionale, quelle cioè che hanno generato i bacini mio – pliocenici e che a sud proseguono in continuità con la faglia di Rapolano, risultano dislocate dalla “Linea dell’Arbia”.

2.1.3. Tettonica e termalismo

Nel territorio comunale di Castelnuovo Berardenga sono presenti sorgenti termominerali di varia importanza tra le quali spicca la sorgente “Acqua Borra” (37°), situata nei pressi dello svincolo stradale di Casetta, e accompagnata da un gruppo di emergenze secondarie, tutte con abbondante emissione di CO₂ e da un esiguo deposito di travertino.

L'importanza di quest'area, da un punto di vista geotermico, era stata già evidenziata da diversi Autori negli anni '70 e successivamente, a metà anni ottanta, sono state effettuate approfondite indagini all'interno del Sottoprogetto Energia Geotermica del CNR per meglio comprendere il fenomeno idrotermale del Bacino di Siena.

Dall'interpretazione dei nuovi dati è scaturito un modello di assetto tettonico profondo molto articolato per la presenza di blocchi variamente dislocati lungo faglie, con rigetti orizzontali e verticali, che interessano indistintamente i complessi toscano e ligure.

In particolare le indagini profonde hanno permesso di ricostruire il tetto del serbatoio principale, il cui assetto tettonico è rappresentato nelle figure seguenti.

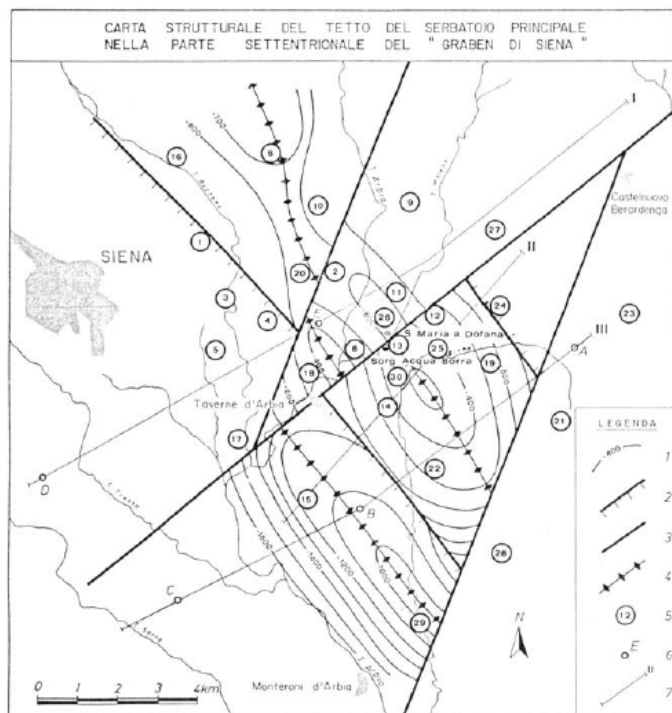
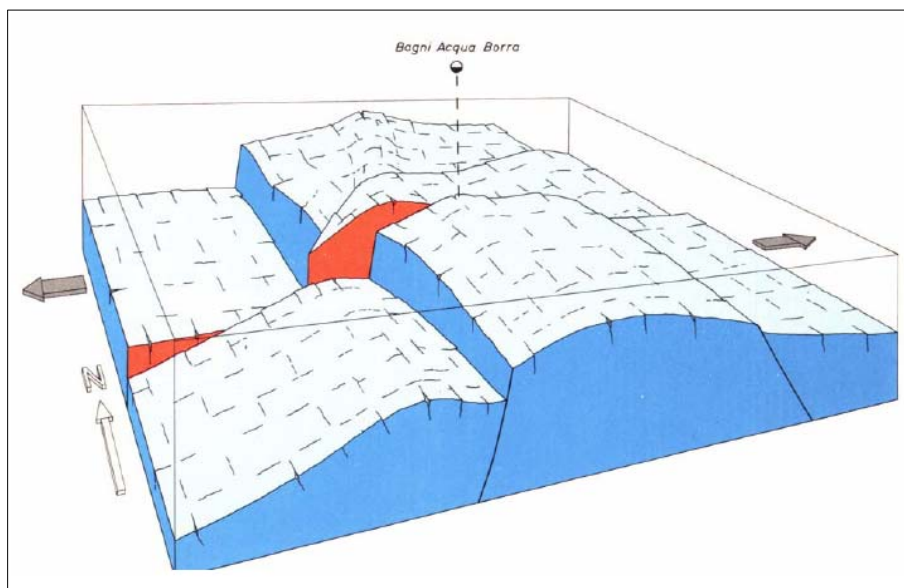


figura 1 - Rappresentazione schematica del tetto del serbatoio carbonatico principale

Come si può osservare è presente un alto strutturale allungato in direzione NNW-SSE; si tratta, con ogni probabilità, di un'anticlinale che si allinea a N con la struttura sollevata di Vagliagli, dove compaiono in finestra tettonica le formazioni della Serie Toscana. Tale struttura risulta tagliata trasversalmente dalla "Linea dell'Arbia" secondo un movimento di trascorrenza sinistra di circa un chilometro e mezzo.

Lungo la fascia di deformazione connessa con questa linea tettonica, sono presenti le numerose emanazioni termominerali e gassose; procedendo da SW verso NE si incontrano: Ropole, Bagnaccio, Acqua Borra, Guestrigona, Reggine, Bagnaccio del Colombaio e Ambra.





Con le indagini geofisiche sono state individuate altre linee trasversali di importanza minore associate alla Linea dell'Arbia e faglie dirette a direzione appenninica che trovano riscontro anche dai dati di superficie.

Recenti studi eseguiti nell'area di Rapolano Terme hanno messo in stretta correlazione l'attività di faglie di trasferimento antiappenniniche e l'attività termale.

Origine delle acque termominerali.

Le acque delle sorgenti termominerali presenti nell'area di S. Maria a Dofana (Acqua Borra, Bagnaccio, Ropole) costituiscono un raggruppamento omogeneo per chimismo e sistema idrotermale. Dalle analisi svolte su queste manifestazioni è stato possibile classificare queste sorgenti come clorurato-alcaline con acque che hanno circolato nel basamento regionale scistoso-quarzitico.

Tale ipotesi, basata essenzialmente su risultanze di carattere geochimico, appare non completamente soddisfacente in rapporto alle conoscenze geologico-strutturali dell'area, dato che le linee tettoniche, che permettono la risalita dei fluidi da notevole profondità dal basamento, dovrebbero permettere la risalita anche di fluidi provenienti dal serbatoio principale carbonatico che si trova a profondità minore.

Al contrario le acque della sorgente "Acqua borra" hanno un contenuto in Ca^{++} e HCO_3^- paragonabile a quelle delle sorgenti del sistema termale di Rapolano Terme; anche le sorgenti del Torrente Ambra, Bagnaccio del Colombaio e Reggine, presentano delle caratteristiche geochimiche che fanno supporre per queste una circolazione in serie carbonatica.

Tutto ciò porta ad ipotizzare che le acque emergenti nell'area di Santa Maria a Dofana siano il risultato di un mescolamento tra un fluido proveniente dal basamento cristallino (ad alta temperatura e ricco in Na e Cl) ed un'acqua di circolazione meno profonda in rocce carbonatiche del tipo di quelle costituenti il serbatoio dell'area di Rapolano Terme (meno calda e ricca in Ca^{++} e HCO_3^-).

Il passo successivo è quello di stabilire la temperatura del sottosuolo dal quale provengono le acque termali dell'Area di S. Maria a Dofana. Utilizzando le analisi delle sorgenti Acqua Borra, Bagnaccio e Ropole, e considerando i valori ottenuti dall'uso del geotermometro Na-K-Ca come indicativi della temperatura di profondità, a livello di basamento, e quelli derivanti dall'uso dell'elemento SiO_2 indicativi della temperatura del serbatoio carbonatico è stato possibile ipotizzare un livello termico di 80 - 100 °C.

Le stesse considerazioni valgono anche per il serbatoio carbonatico dal quale provengono le acque delle sorgenti Torrente Ambra, Bagnaccio del Colombaio e Reggine.

2.2. Geomorfologia

Rappresenta il riconoscimento delle varie forme fisiche prodotte dagli agenti morfogenetici naturali (tra i quali inseriamo anche l'attività antropica) come la gravità, lo scorrimento delle acque superficiali, la dissoluzione chimica, le arginature, i terrazzamenti, ecc. Questo tipo di rilievo permette di ricostruire il quadro dinamico delle modificazioni del territorio che avvengono in maniera lenta o veloce a seconda del prevalere delle dinamiche fisiche su quelle indotte dalle attività antropiche.

Lo studio delle caratteristiche morfologiche del territorio segue strettamente quello geolitologico in quanto l'individuazione delle dinamiche attive e/o quiescenti sul terreno costituisce



uno studio complementare e di approfondimento di quelle che sono le "risposte" dei vari litotipi agli agenti morfogenetici: la possibilità del verificarsi di determinati fenomeni geomorfologici è strettamente legata alle caratteristiche litotecniche dei terreni sulle quali agiscono gli agenti morfogenetici.

Il territorio comunale di Castelnuovo Berardenga si presenta con una forma complessa tipo una farfalla con le ali spiegate. Da Ovest verso Est è caratterizzato da una serie di dorsali e fondovalle, con andamento circa NW-SE, segnate dai corsi d'acqua Bozzone, Arbia, Ombrone ed Ambra.

Nel settore settentrionale del Comune, si individua una zona di alta collina con caratteri simili alle zone montuose, con quote comprese tra 400 e 600 m s.l.m.. (Vagliagli, Centamura e Rosennano). Tale area fa parte della Dorsale dei Monti del Chianti è costituita prevalentemente da litotipi flyschoidi, appartenenti al Dominio Ligure, Subligure e della Falda Toscana, che risultano incisi da piccoli corsi d'acqua a carattere torrentizio lungo i versanti principali; questi ultimi danno luogo a vallette, con andamento trasversale alle lineazioni principali, abbastanza accentuate e con pendii scoscesi.

Le aree a morfologia prevalentemente collinare, poste nella parte centro meridionale del comune ed anche in corrispondenza del Capoluogo, corrispondono agli affioramenti delle formazioni argilloso-sabbiose e conglomeratiche. Si tratta di rilievi collinari, intorno ai 400 m s.l.m., che acquistano caratteri del tutto peculiari soprattutto dove prevalgono le litologie argillose; tali litotipi conferiscono infatti al paesaggio un aspetto collinare con pendii generalmente dolci a causa dei fenomeni erosivi che con facilità ne modellano le forme. Nelle aree a maggior pendenza si osservano movimenti franosi di scivolamento e colamento; in altre zone si evidenziano forme di ruscellamento diffuso di varia intensità. Nella ampia area collinare più meridionale, compresa tra il Torrente Arbia, l'Ombrone e il Torrente Ambra, caratterizzata prevalentemente dai depositi argillosi pliocenici, si osservano numerosi movimenti gravitativi lenti, che interessano quasi esclusivamente lo strato alterato superficiale, tipo soliflusso e soil-creep. Questa zona a morfologia di medio-bassa collina si ricollega a quella di pianura alluvionale, caratterizzata da scarsa pendenza dei terreni, che presenta la maggiore estensione lungo il Torrente Bozzone, il Torrente Arbia, il Torrente Malena, l'Ombrone e marginalmente il Torrente Ambra.

Le zone di collina e di fondovalle, data la loro morfologia pseudo pianeggiante, sono state sfruttate per usi agricoli intensivi e, di conseguenza, hanno subito un modellamento artificiale che ha influito sugli effetti dell'erosione naturale. In tal senso, a conferma del buon grado di conservazione del territorio, non sono stati rilevati né fenomeni attivi inerenti l'azione di erosione di sponda dei corsi d'acqua né fenomeni di deflusso difficoltoso.

Solo in alcune porzioni delle valli principali si evidenziano aree potenzialmente esondabili; in particolare fra queste aree si pone l'attenzione sul tratto del Torrente Bozzone in Loc. Ponte a Bozzone, dell'Arbia tra Pianella ed Arbia, del Torrente Malena e del Torrente Arbia lungo il confine comunale orientale.



3. Sismicità del territorio

I paragrafi seguenti riportano una descrizione della sismicità storica e recente del territorio esaminato, oltre alla valutazione dell'azione sismica di progetto definita sulla base dei risultati dello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 del Comune di Castelnuovo Berardenga. I dati di base utili per la definizione degli elementi di sismica generale dell'area in esame sono stati ricavati dai seguenti documenti o siti internet:

- Sismicità storica dal 1000 al 2001: Database CPT15 - DBMI15 - a cura di Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15> - disponibile on-line all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>.
- Sismicità recente (dal 2001 al 2022): Database dell'I.N.G.V. disponibile on-line all'indirizzo <http://cnt.rm.ingv.it/>
- Faglie capaci: catalogo delle faglie capaci ITHACA (*ITaly HAZard from Capable faults*) dell'Istituto Superiore per la Protezione e per la Ricerca Ambientale, disponibile on-line all'indirizzo <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>
- Strutture sismogenetiche: Database DISS3 (*Database of Individual Seismogenetic Sources*) disponibile on-line all'indirizzo <https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>
- Classificazione sismica nazionale: disponibile on-line all'indirizzo <http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/classificazione.wp>

3.1 Sismicità storica (dal 1500 al 2001)

Con riferimento all'analisi della sismicità storica del territorio interessato, vengono esaminati i dati riportati nel D.B.M.I.15, che contiene 123.956 dati di intensità, relativi a 3.228 terremoti riferiti a circa 20.000 località di cui più di 15.000 in territorio italiano. L'ultima versione del Database Macrosismico Italiano, chiamata DBMI15 è stata rilasciata a luglio 2016 e aggiorna e sostituisce la precedente, DBMI11. DBMI fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2019. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti, in particolare sono stati estratti i dati disponibili per il Comune di Castelnuovo Berardenga. Nella tabella seguente viene riportato, l'elenco dei terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 3, i valori relativi alla intensità al sito, il tempo all'origine (anno, mese, giorno, ora UTC), l'area epicentrale, il numero progressivo, l'intensità epicentrale e la magnitudo momento.

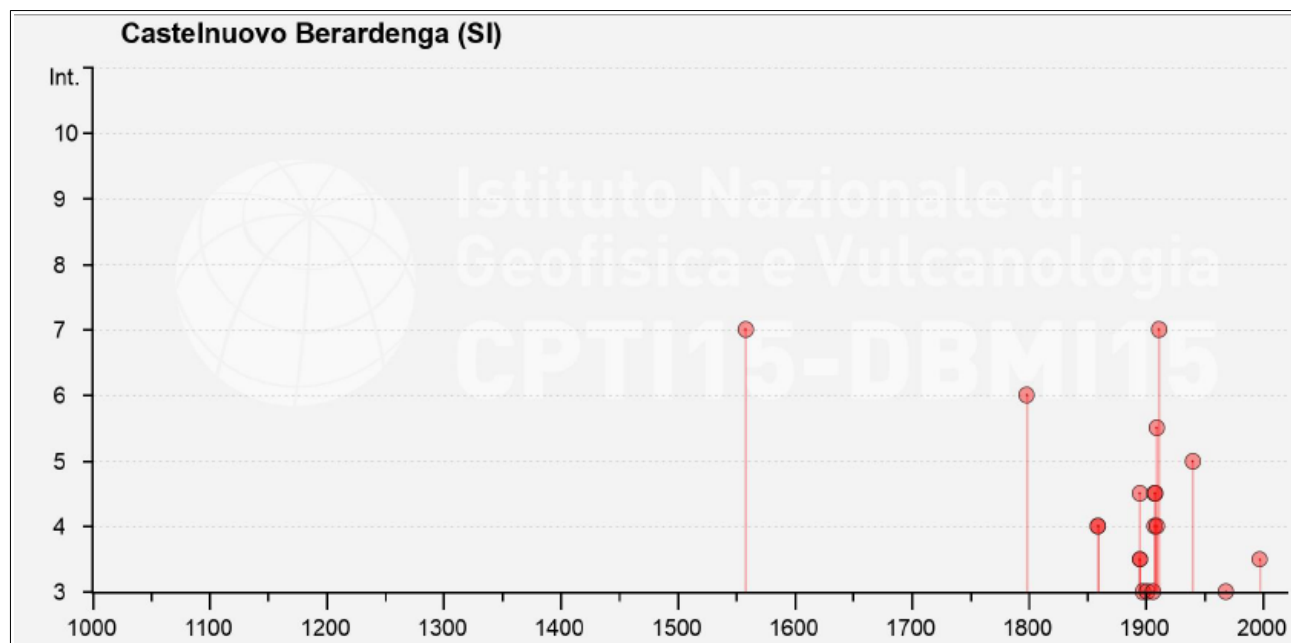
Seismic History of Castelnuovo Berardenga [43.345, 11.503]

Total number of earthquakes: 29



Int. at place	N	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	LatDef	LonDef	DepDef	IoDef	MwDef	ErMwDef
7	342	1558	4	13	9			Valdarno superiore	43,456	11,564		9	5,97	0,23
6	969	1798	5	26				Senese	43,343	11,417		6-7	4,85	0,34
4	1284	1859	4	12	3	28		Senese	43,326	11,306		6	4,46	0,32
4	1285	1859	4	12	13	3		Senese	43,331	11,349		6-7	4,83	0,53
4-5	1653	1895	5	18	19	55	12	Fiorentino	43,703	11,264		8	5,5	0,1
3-4	1656	1895	6	6	0	35	5	Fiorentino	43,762	11,241		5-6	4,55	0,21
3-4	1668	1895	10	25	0	24	58	Chianti	43,529	11,214		5-6	4,51	0,21
3	1722	1897	12	18	7	24	20	Alta Valtiberina	43,498	12,382		7	5,09	0,12
NF	1753	1899	6	26	23	17	22	Valle del Bisenzio	43,958	11,117		7	5,02	0,11
3	1799	1901	9	22	21	42	12	Valdelsa	43,564	10,952		6	4,68	0,26
3	1900	1906	4	21	6	35		Valdelsa	43,446	11,137		5-6	4,3	0,22
NF	1917	1906	12	20	2	38		Valdelsa	43,457	11,219		4	3,96	0,39
4	1934	1907	12	15	13	6	55	Chianti	43,402	11,353		5	4,19	0,49
4-5	1936	1907	12	20	10	29	15	Chianti	43,486	11,374		6	4,44	0,29
4-5	1955	1908	6	26	13	15		Senese	43,322	11,45		5	4,36	0,58
4	1976	1909	1	13	0	45		Emilia Romagna orient	44,579	11,688		6-7	5,36	0,08
5-6	1989	1909	8	25	0	22		Crete Senesi	43,15	11,403		7-8	5,34	0,08
7	2048	1911	9	13	22	29	2	Chianti	43,436	11,344		7	5,08	0,09
5	2560	1940	1	31	11			Siena	43,36	11,389		5-6	4,23	0,18
2-3	2626	1947	12	24				Crete Senesi	43,095	11,625		6	4,46	0,35
2	2747	1956	2	22	22	55	6	Senese	43,298	11,28		5	4,03	0,29
NF	2785	1958	5	30	6	26		Val di Paglia	42,896	11,769		5	4,05	0,35
NF	2794	1959	3	24	10	24		Fiorentino	43,698	11,297		7	4,85	0,27
NF	2900	1965	8	4	11	49	53	Alta Valtiberina	43,695	12,112		5	4,48	0,15
3	2969	1968	6	26	3	15		Senese	43,298	11,28		5	4,19	0,57
NF	3850	1997	9	26	0	33	12,9	Appennino umbro-march	43,022	12,891	3,5	7-8	5,66	0,07
3-4	3853	1997	9	26	9	40	26,6	Appennino umbro-march	43,014	12,853	9,8	8-9	5,97	0,07
NF	3890	1997	10	14	15	23	10,6	Valnerina	42,898	12,898	7,3		5,62	0,07
2	4116	2001	11	26	0	56	55,5	Casentino	43,6	12,108	5,5	5-6	4,63	0,07

figura 2 - Intensità macrosismiche dal 1500 al 2001 nel Comune di Castelnuovo Berardenga



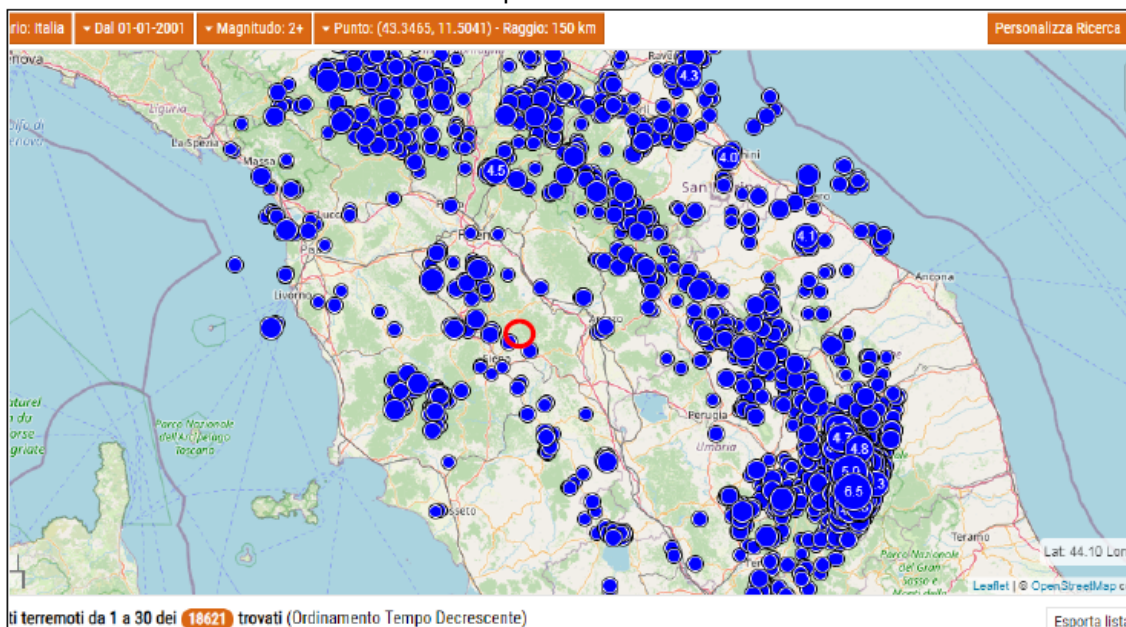
Dalla consultazione del catalogo emerge che cinque eventi presentano un'intensità sismica maggiore o uguale a 5; in particolare IS=7 per gli eventi del 1558 e del 1911, IS=6 per l'evento del 1798, IS=5-6 per l'evento del 1909 e IS=5 per l'evento del 1940.



3.2. Sismicità recente (dal 2001 al 2022)

Per quanto concerne i sismi che hanno interessato l'area di Castelnuovo Berardenga dal 2001 al 2022, i dati sono stati recuperati dal database dell'INGV considerando un'area di raggio 150 km dal territorio comunale, che include le aree epicentrali dei terremoti più intensi di cui al paragrafo precedente.

figura 3 -Database INGV: distribuzione terremoti periodo 2001-2022

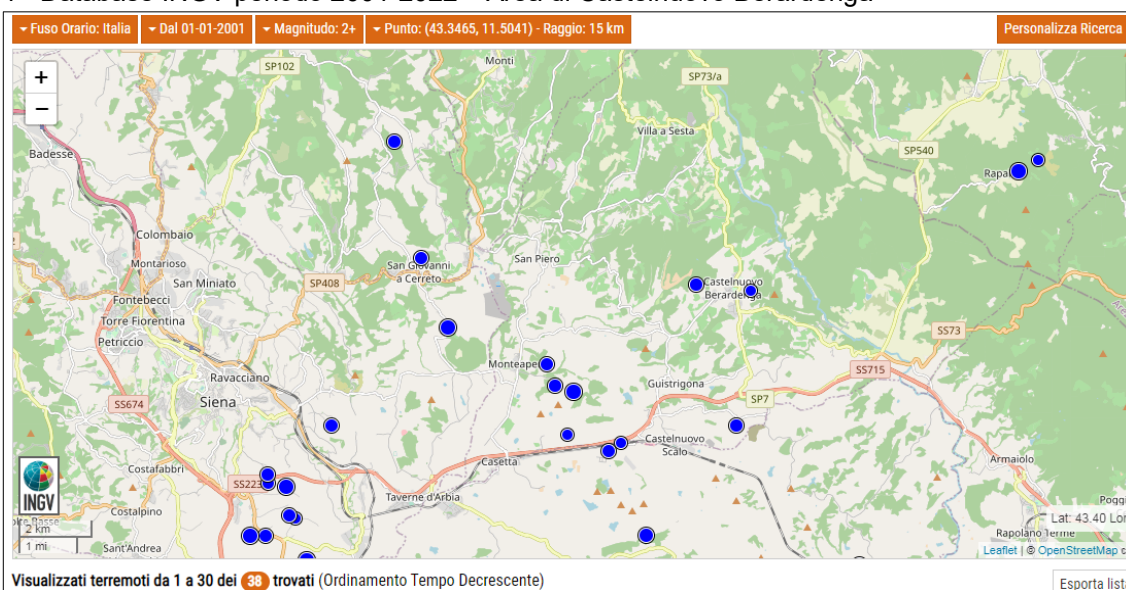


Dalla mappa rappresentata in figura 3 si possono distinguere le seguenti aree sorgenti:

- l'arco appenninico da Perugia a Piacenza;
- le colline del Chianti tra Firenze e Siena;
- la Pianura Padana tra le provincie di Modena e Ferrara;
- la zona tra Terni, Norcia e Macerata.

In generale le profondità sono per la maggior parte entro i 20 km e le magnitudo più rappresentate variano tra 2 e 3. Nella seguente immagine (figura 4) sono evidenziati i terremoti avvenuti nelle immediate vicinanze dell'area in esame.

figura 4 - Database INGV periodo 2001-2022 – Area di Castelnuovo Berardenga





Gli eventi all'interno del Comune di Castelnuovo Berardenga hanno le seguenti caratteristiche:

Località	Magnitudo	Profondità	Data
Castelnuovo Berardenga	2,1	6,1	02/09/13
Casetta - Castelnuovo Scalo	2,3	7,5	13/03/18
Casetta - Castelnuovo Scalo	2,0	7,6	05/07/12
Casetta - Castelnuovo Scalo	2,4	8,3	28/06/12
Casetta - Castelnuovo Scalo	2	9,6	26/06/12
Monteaperti	2,7	6,6	07/07/12
Monteaperti	2,3	6,4	07/07/12
Monteaperti	2,5	6,3	26/06/12
San Giovanni a Cerreto	2,8	5	10/06/01
San Giovanni a Cerreto	2,5	5	10/06/01
Vallenuova	2,3	9,8	06/09/17

3.3. Faglie capaci

Il termine “faglie capaci” è utilizzato per descrivere le faglie “sismiche” con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni potenzialmente “capaci” di produrre deformazioni in superficie. La riattivazione di faglie capaci è in grado di produrre fenomeni di neoformazione (ecosismi) che possono formarsi in superficie nelle aree epicentrali, in concomitanza con eventi sismici di intensità elevata, in genere \geq VIII-IX grado della scala ESI2007. La presenza di faglie capaci nel territorio di Castelnuovo Berardenga è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA “ITaly HAZard from Capable faults”, disponibile on-line all’indirizzo <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>.

Il data base del Progetto ITHACA, raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Dall’analisi della cartografia disponibile sul sito web non si rileva la presenza di faglie attive/capaci all’interno del territorio comunale di Castelnuovo Berardenga.

3.4. Strutture sismogenetiche

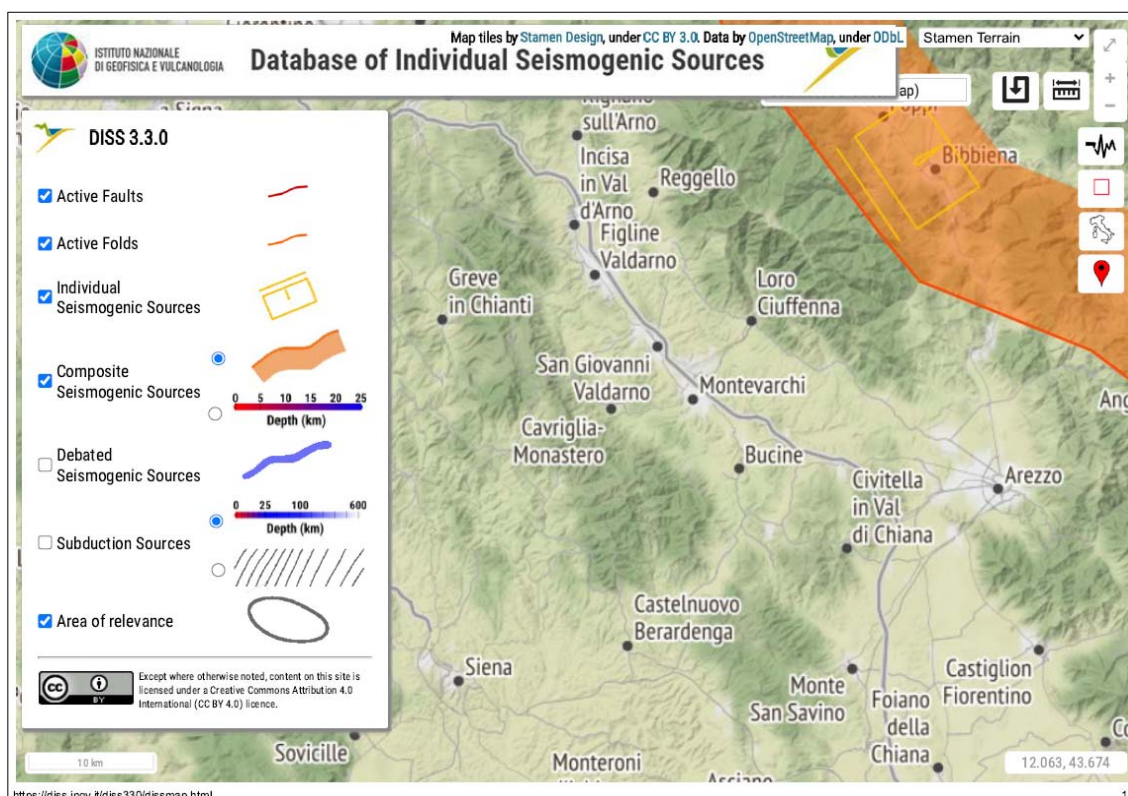
Benché le moderne investigazioni della sismotettonica regionale siano iniziate più di 30 anni fa, la conoscenza delle sorgenti sismogenetiche è ancora incerta. Questo dipende soprattutto dal fatto che l’attività tettonica è collegata ai movimenti di sistemi di faglie cieche, le cui caratteristiche (es. lunghezza del singolo segmento, entità del scivolamento ecc.) non può essere definita solamente attraverso la classica analisi geomorfologica ma derivano dall’applicazione di algoritmi che permettono di definire la geometria della sorgente dai dati puntuali di distribuzione dell’intensità dei terremoti storici. L’identificazione di tali sorgenti, concisamente definite silenti, permette di definire le aree potenzialmente affette da un alto livello di pericolosità sismica.

Con riferimento al “*Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3*” si osserva che l’area sismogenetica attiva più prossima al territorio comunale di Castelnuovo Berardenga è rappresentata da quella di Mugello-Città di Castello-Leonessa (ITCS037), posta ad una distanza di 30-40 KM in direzione NE.



La figura 5 evidenzia le aree sismogenetiche prossime all'area in esame (poligoni color giallo), definite quali proiezione in superficie dei sistemi di strutture sismogenetiche ritenuti attivi, caratterizzabili da un punto di vista geometrico e parametrico in maniera coerente con le sorgenti sismogenetiche incluse (poligoni arancioni); le campiture in rosso indicano i sistemi di faglia, mentre il poligono blu individua le aree sismogenetiche potenzialmente attive.

Figura 5 - mappa delle aree sismogenetiche di interesse (Fonte: Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3 - <http://diss.rm.ingv.it/diss/>)



Di seguito si riporta una tabella di sintesi relativa alle strutture sismogenetiche di interesse per l'area oggetto di studio. La codifica utilizzata nel database per identificare le strutture include 4 caratteri e 3 numeri:

- i primi due caratteri si riferiscono al Paese considerato (IT per Italia):
- gli altri due caratteri identificano il tipo di dati:
- IS per Individual Seismogenic Source
- CS per Composite Seismogenic Source
- DS per Debated Seismogenic Source

Tabella 1 – *strutture sismogenetiche d'interesse*

Code	Name	Compiled By	Latest Update	Min Depth (km)	Max Depth (km)	Strike (deg)	Dip (deg)	Rake (deg)	Slip Rate (mm/y)	Max Magnitude (Mw)
ITCS037	Mugello-Citta' di Castello-Leonessa	Burrato P., Vannoli P., Fracassi U.	08/01/2010	0,5	8	280-300	25-40	260-280	0,1-1	6,2



4. Definizione dell'azione sismica di base

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una pericolosità sismica di base del sito che è descritta dalla probabilità che in un determinato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. La pericolosità sismica, convenzionalmente, viene definita riferendosi ad un suolo rigido ("bedrock" sismico) con superficie topografica pianeggiante (pendenza inferiore a 15°) in condizioni di campo libero. Le caratteristiche del moto sismico atteso si ritengono individuate quando se ne conosca l'accelerazione. Il Comune di Castelnuovo Berardenga è classificato, ai sensi della DGRT n.421 del 26/05/2014, in zona sismica 3 ($0,15 < a_g/g < 0,175$) (figure 6 e 7).

figura 6 – mappa di aggiornamento della classificazione sismica della Regione Toscana 2014

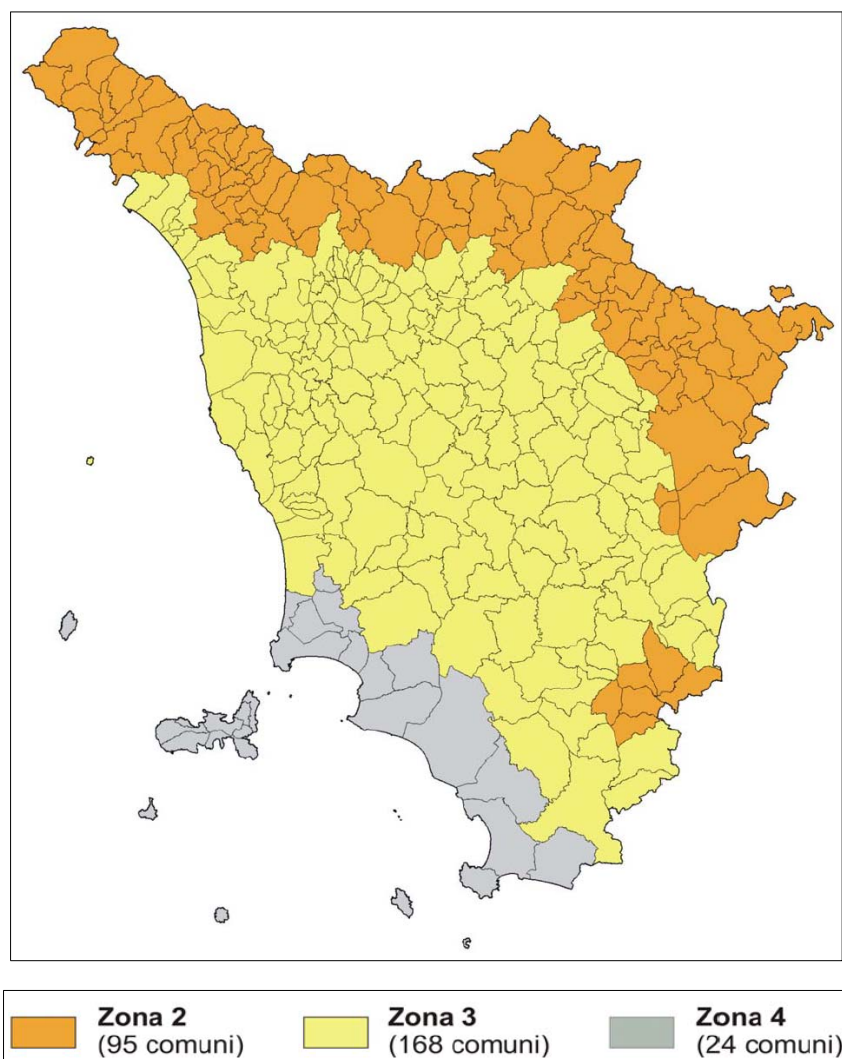
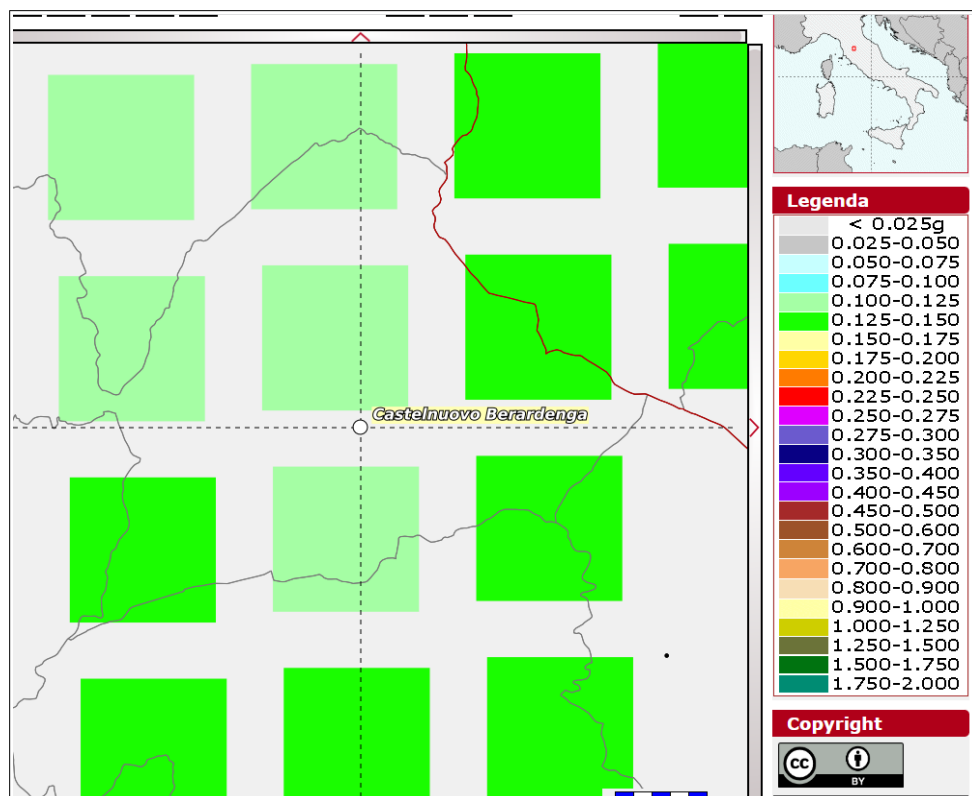


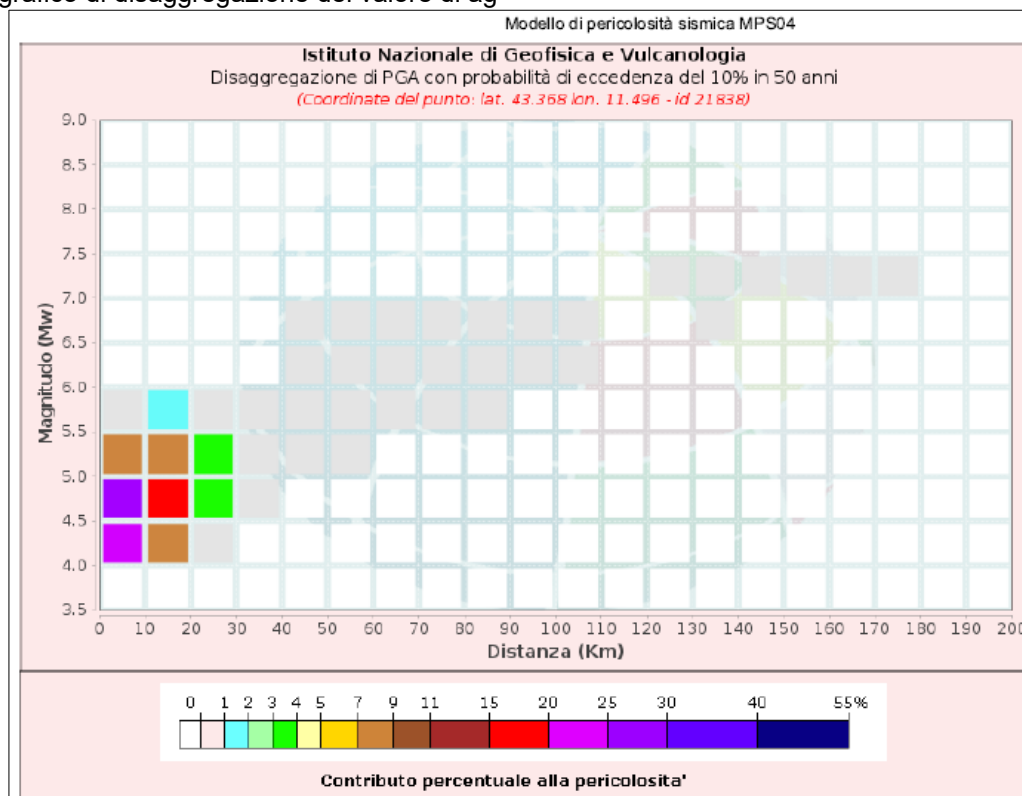


figura 7 – mappa del valore di accelerazione di base ag (INGV)



Di seguito è riportato il grafico di disaggregazione dei dati della pericolosità sismica che evidenzia come questa sia generata da coppie Magnitudo-Distanza comprese tra 20 e 30 Km.

figura 8 – grafico di disaggregazione del valore di ag





Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 43.368 lon. 11.496 - id 21838)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	21.1000	26.1000	8.0500	0.4680	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	8.1900	15.5000	8.3000	1.6700	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.6080	3.0400	3.0300	0.8780	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.1350	0.7850	0.3670	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.1060	0.2960	0.2330	0.0333	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.2080	0.4040	0.0439	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0400	0.2380	0.0245	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0055	0.0950	0.0080	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0360	0.0040	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0097	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0012	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0121	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0090	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.78	11.1	1.06

Utilizzando il foglio di calcolo “*Spettri-NTC*” messo a disposizione dal Consiglio superiore dei Lavori Pubblici, è possibile definire per il Comune di Castelnuovo Berardenga un valore di $a_g=0,123$ g per un tempo di ritorno di 475 anni (vedi tabella seguente).

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL				
SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,045	2,568	0,250
SLD	50	0,055	2,597	0,261
SLV	475	0,123	2,493	0,290
SLC	975	0,158	2,438	0,293

La verifica dell'ideoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.



5. La raccolta dei dati geognostici

Allo scopo di integrare le indagini geognostiche riportate nel database relativo allo studio di microzonazione di livello 1 che riporta le indagini raccolte fino al Febbraio 2014, sono stati ricercati e archiviati i risultati di indagini significative successive a quella data e fino ad oggi disponibili negli archivi delle pratiche edilizie del Comune di Castelnuovo Berardenga e nel portale regionale delle pratiche edilizie del Genio Civile “PORTOS”.

5.1. Le nuove indagini geognostiche acquisite

La raccolta delle indagini geognostiche esistenti ha portato alla acquisizione di ulteriori 7 indagini puntuali (tra sondaggi, prove penetrometriche DPSH e misure HVSR) e 16 indagini lineari costituite da indagini geofisiche tipo MASW. Nella successiva tabella sono riportati la tipologia ed il numero delle indagini geognostiche e geofisiche recuperate.

Come si può notare le indagini prevalenti sono rappresentate da sondaggi a carotaggio continuo e indagini geofisiche tipo MASW, che forniscono di per sé valide informazioni ai fini della Microzonazione Sismica.

Tabella 2 – Dati geognostici e geofisici recuperati relativi al periodo 2014 - 2022

	tipo indagine	numero indagine
area studio di Sismica di Livello 2	sondaggio a carotaggio continuo	3
	Prova penetrometrica DPSH	1
	misura di frequenza HVSR	3
	MASW	16

L'insieme di tutte le indagini geognostiche raccolte, sia quelle pregresse che di nuova realizzazione, sono state riportate nello specifico elaborato cartografico “*Carta delle Indagini*”, redatto in scala 1:5000 per ciascuna area di studio.

6. Le nuove indagini geofisiche

Dall'analisi preliminare delle indagini geognostiche e geofisiche già disponibili e implementate con la nuova ricerca negli archivi comunali e regionali è emersa la necessità di acquisire dati geofisici per la definizione del modello geologico-tecnico di base che, rispetto allo studio di livello 1, poteva essere affinato e migliorato in alcuni aspetti geologico-strutturali.

In definitiva le nuove indagini complessivamente realizzate sono state le seguenti:

In definitiva le nuove indagini complessivamente realizzate sono state le seguenti:

- **n.12** misure di rumore a stazione singola in assetto H/V;
- **n.5** indagini ESAC+MASW con Array 2D ortogonali con indagine MASW associata a ciascuna indagine ESAC;
- **n.14** indagini MASW.

Le indagini di nuova realizzazione, insieme a quelle recuperate, hanno permesso di dettagliare maggiormente l'andamento del bedrock sismico e dei terreni di copertura all'interno di ciascuna area di studio.

Tutte le indagini geognostiche e geofisiche sopra indicate vanno ad implementare il database dei dati della Carta delle Indagini per la Microzonazione Sismica secondo gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica nell'ultima versione (4.2).



Nel “*Report delle indagini sismiche elaborate per lo studio di livello 2*” sono descritte la tipologia e la metodologia di indagine adottata, oltre alle elaborazioni strumentali di ciascuna prova (vedi Appendice 1).

7. La Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

La cartografia di base geologico-tecnica per la microzonazione sismica, prevista per giungere alla definizione della carta delle MOPS, è stata elaborata, in scala 1:5.000, all'interno di ciascuna area di studio.

Questo elaborato è il risultato dell'integrazione delle cartografie geologiche, geomorfologiche e litotecniche prodotte per lo studio di supporto al Piano Strutturale unitamente a tutti i dati litologici, stratigrafici, litotecnici e bibliografici acquisiti con la raccolta dati geognostici e con le indagini di nuova realizzazione.

Particolare cura è stata rivolta ad individuare, anche attraverso rilevamenti di controllo in loco, la delimitazione dei depositi di copertura (con riferimento a quelli con spessore maggiore di 3 metri) e la ricostruzione delle forme geomorfologiche (in particolare dei fenomeni gravitativi di versante e delle aree instabili) nonché il substrato geologico.

La carta è corredata da 13 sezioni geologico-tecniche di cui: n.3 in località Casetta, n.1 in località Quercegrossa, n.2 in località Castelnuovo Berardenga, n.1 in località Monteaperti, n.1 in località Pianella, n.1 in località ponte a Bozzone, n.1 in località San Giovanni a Cerreto, n.1 in località San Gusmè e n.2 in località Vagliagli.

La legenda della carta, studiata in prospettiva sismica, prevede l'accorpamento delle informazioni sia geologico-formazionali che litologiche in unità che presentano una risposta analoga alla sollecitazione sismica; pertanto le informazioni risultano sintetizzate ed il numero di “tipi” geologico-tecnici è ridotto rispetto alle carte descrittive geologiche o esplicative delle modalità di comportamento geomeccanico legate alla litologia anche a scala ridotta.

In particolare le informazioni sul substrato geologico sono state raccolte in tre tipologie:

- *flysch arenacei e siltitici, con alternanza di litotipi, stratificati* [ALS della legenda ICMS 2018 versione 4.2] che comprende tutte le formazioni francamente lapidee, generalmente caratterizzate da $V_s > 800$ m/s, quali le litologie appartenenti alla Formazione del Macigno;
- *alternanza di litotipi stratificati, fratturati/alterati* [SFALS della legenda ICMS 2018 versione 4.2] raccoglie le formazioni massive ma che presentano un comportamento “non rigido” alla scala della sollecitazione sismica a causa dell'elevato grado di fratturazione, quali: alcune porzioni della Formazione del Macigno, Calcareniti di Dudda, Formazione di Sillano, Marne di San Polo e Olistostromi;
- *substrato incoerente o poco consolidato, fratturato/alterato* [SFIS della legenda ICMS 2018 versione 4.2] individua formazioni litoidi incoerenti o poco consolidate, che non rappresentano un substrato rigido essendo caratterizzate da velocità delle onde di taglio significativamente inferiori a 800 m/s. In questa categoria sono inseriti i travertini ed i calcari continentali affioranti nella zona di Acqua Borra in località Casetta.

Sulla base delle informazioni di carattere geologico-tecnico si è potuto individuare cinque diverse tipologie di terreni di copertura: *ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di depositi alluvionali terrazzati* [GMtf], *ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia di origine lacustre* [GWlc], *ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia di origine marina* [GWsp], *argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o*



sabbiose, argille limose, argille magre di origine continentale [Clzz] e sabbie pulite con granulometria poco assortita di origine marine [SPsp]. Ogni tipologia può essere generalmente considerata omogenea alla scala del sisma.

8. La carta delle Frequenze fondamentali dei depositi

La carta delle frequenze fondamentali dei depositi per la microzonazione sismica, è stata realizzata a partire dalle misure speditive di rumore ambientale mediante tecnica a stazione singola (HVSr) che vengono ubicate in carta attraverso un simbolo puntuale (O), ciascuna contraddistinta dal proprio nome identificativo. Il colore e la dimensione del simbolo variano rispettivamente in funzione della frequenza fondamentale (f_0) e dell'ampiezza (A_0) di picco. I valori della frequenza fondamentale (f_0) sono stati suddivisi in dieci classi mentre i valori dell'ampiezza di picco sono stati divisi in cinque classi (figura 9). In corrispondenza di ogni simbolo puntuale è stato inoltre riportato il valore di frequenza e quello del codice identificato dell'indagine geognostica.

figura 9 - estratto della legenda della carta delle frequenze fondamentali dei depositi

FREQUENZE FONDAMENTALI	
f_0 (hz)	A_0
● nessuna risonanza	● nessuna risonanza
● $0.1 < f_0 < 0.5$	○ $1.1 < A_0 < 2.0$
● $0.5 < f_0 < 1.0$	○ $2.0 < A_0 < 3.0$
● $1.0 < f_0 < 2.5$	○ $3.0 < A_0 < 5.0$
● $2.5 < f_0 < 5.0$	○ $5.0 < A_0$
● $5.0 < f_0 < 7.5$	
● $7.5 < f_0 < 10.0$	
● $10.0 < f_0 < 15.0$	
● $15.0 < f_0 < 20.0$	
● $20.0 < f_0$	
f_0 (hz)=frequenza di picco	
A_0 =ampiezza di picco	
in nero sono individuati i valori di f_0	

Come spiegato in precedenza, attraverso formulazioni empiriche è possibile risalire dal valore della frequenza fondamentale (f_0) all'ordine di grandezza dello spessore dei terreni di copertura e dal valore dell'ampiezza di picco (A_0) all'entità del contrasto d'impedenza tra le diverse litologie che compongono il substrato. Tramite queste relazioni si possono distinguere qualitativamente le zone caratterizzate da assenza di fenomeni di risonanza significativi (con nessun massimo relativo significativo di f_0 nell'intervallo 0,1-10 Hz) dalle zone caratterizzate dalla presenza di fenomeni di risonanza. Inoltre, sulla base della stima dell'ampiezza del picco fondamentale, possono essere distinte, in via del tutto qualitativa, le zone caratterizzate da alti contrasti di impedenza ed aree caratterizzate da minore contrasto.

L'informazione fornisce quindi in modo diretto, anche se semi-quantitativo, indicazioni sui possibili effetti attesi di amplificazione della sollecitazione sismica. Infatti dalla formula molto semplificata proposta da G. Pratt (da utilizzare solamente in prima approssimazione) che mette in correlazione il periodo proprio di vibrazione di un edificio con la sua altezza è possibile orientativamente individuare quale tipologia di edifici si potrebbe trovare a vibrare a frequenze



simili a quelle riscontrate nei terreni e quindi subire i pericolosi effetti di risonanza.

Il grafico seguente, utilizzando la correlazione empirica

$$T_{ed} \cong C h_{ed}^{3/4}$$

dove: T_{ed} indica il periodo proprio di vibrazione dell'edificio espresso in secondi,

C è un coefficiente che dipende dalla tipologia costruttiva dell'edificio (muratura o telaio c.a.)

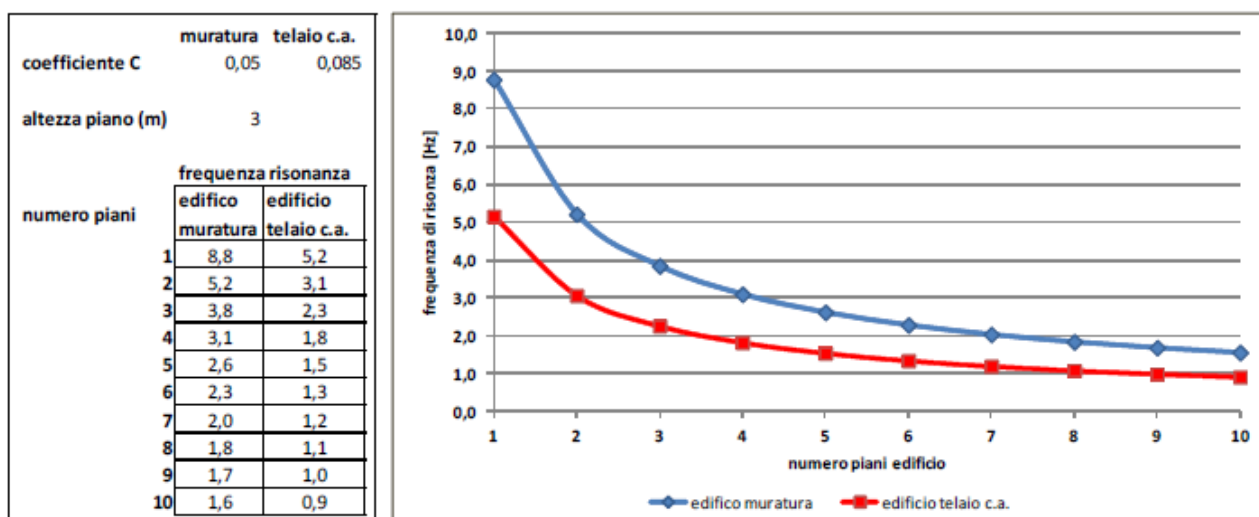
h_{ed} è l'altezza dell'edificio in metri

e ricordando che la frequenza è l'inverso del periodo

$$f = \frac{1}{T}$$

permette di valutare in modo speditivo le tipologie di edifici che possono risentire degli effetti di massima amplificazione connessi alla frequenza fondamentale di vibrazione espressa dal terreno (quando le due frequenze corrispondono si hanno gli effetti della cosiddetta risonanza catastrofica).

figura 10 – rapporti indicativi fra numero dei piani di un edificio e sua frequenza di vibrazione



9. La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

Questo elaborato rappresenta la principale sintesi dello studio di microzonazione in quanto individua gli areali (microzone) dove, sulla base di osservazioni geologiche, geomorfologiche, dei dati geognostici e geofisici, è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.).

Di fondamentale importanza diviene quindi l'individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato da considerare "bedrock" rigido (ovvero delle litologie caratterizzate da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S – convenzionalmente superiori a 800 m/sec - significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti), accompagnata dalle informazioni che abbiamo visto nel capitolo precedente sulla frequenze fondamentali dei depositi (stima approssimativa della profondità del contrasto di impedenza sismica e della intensità attesa). Evidentemente assume particolarmente rilievo l'individuazione di eventuali discontinuità e morfologie sepolte potenzialmente in grado di causare inversioni della velocità di propagazione



delle onde di taglio ed effetti di risposta sismica locale bi e tri-dimensionali.

La carta delle MOPS è quindi finalizzata ad ottenere un adeguato dettaglio nella:

- caratterizzazione del substrato geologico,
- caratterizzazione dei terreni di copertura,
- ricostruzione delle aree potenzialmente interessate da deformazioni permanenti in caso di evento sismico,
- definizione di forme geomorfologiche di superficie e sepolte, particolarmente importanti per problematiche sismiche.

La sintesi delle informazioni e la perimetrazione delle diverse zone permette di:

- valutare le condizioni di pericolosità sismica ai sensi del DPGR n.5/R/2020;
- identificare le aree per le quali sono necessari ulteriori studi e indagini ed i relativi livelli di approfondimento;
- definire gli interventi ammissibili in una data area e le eventuali modalità di intervento nelle aree urbanizzate (condizioni o criteri costruttivi connessi al valore delle frequenze fondamentali delle coperture).

Per quanto riguarda il fenomeno della liquefazione, sulla base dei risultati delle indagini geofisiche disponibili è possibile verificare gli orizzonti litologici costituiti da sabbie prevalenti presentano un elevato livello di addensamento, essendo caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio mediamente variabili tra 350 m/sec e 450 m/sec. Per tale motivo non sono state ritrovate prove penetrometriche di tipo statico (CPT) eseguite su queste litologie ma soltanto prove penetrometriche dinamiche tipo super-pesante (DPSH), che mediamente non superano 5/7 m di profondità. Anche in base a quanto riportato nel “*Nuovo catalogo nazionale dei processi di liquefazione avvenuti in occasione di terremoti storici in Italia*” (P. Galli & F. Meloni – Il Quaternario, 1993), non vi sono fino ad oggi testimonianze di fenomeni di liquefazione avvenuti nella Provincia di Siena. Alla luce delle precedenti considerazioni, è pertanto possibile escludere che all'interno del territorio comunale, in occasione di un evento sismico, possa verificarsi il fenomeno della liquefazione.

9.1. La legenda della carta MOPS

Rispetto alle ultime indicazioni ad oggi disponibili (*Standard di rappresentazione e archiviazione informatica* versione 4.2 del Dicembre 2020) si è preferito mantenere nella legenda in carta la rappresentazione con le colonne stratigrafiche, poiché ci sembra risultare più intuitiva e capace di rendere maggiormente leggibile l'elaborato anche da parte delle professionalità che dovranno utilizzarne i risultati a fini pianificatori o di progettazione di dettaglio.

Come più volte richiamato nei capitoli precedenti, le carte MOPS accorpano in tre tipologie di zone le modalità di risposta alla sollecitazione sismica che ci si può attendere dalle caratteristiche del substrato:

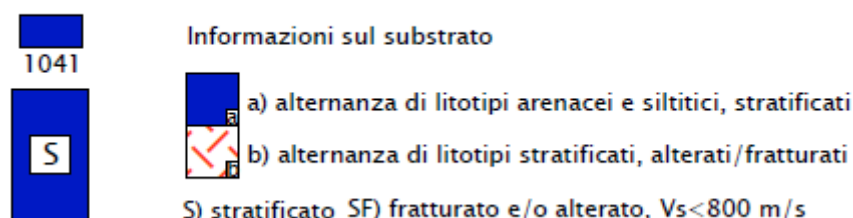
- le *zone stabili*, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e pertanto gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli calcolati dagli studi di pericolosità di base che forniscono i valori di accelerazione indicati per la categoria A di sottosuolo negli allegati alle NTC 2018 – D.M. 17.01.2018;
- le *zone stabili suscettibili di amplificazione sismica*, dove il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche (presenza di coperture sedimentarie) e/o morfometriche del territorio (pendenza dei versanti, creste, valli strette, ecc.), anche sepolte. In questo caso, si

- le *zone suscettibili di instabilità*, cioè passibili di attivazione/riattivazione di fenomeni di deformazione permanente del terreno indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazioni superficiali, cedimenti differenziali, ecc.) da indagare con specifiche indagini geotecniche e geofisiche in relazione allo stato di attività in accordo alle prescrizioni dettate per le aree a diversa pericolosità geologica.

La definizione della legenda segue quindi l'articolazione delle suddette zone.

9.1.1. Zone stabilisation

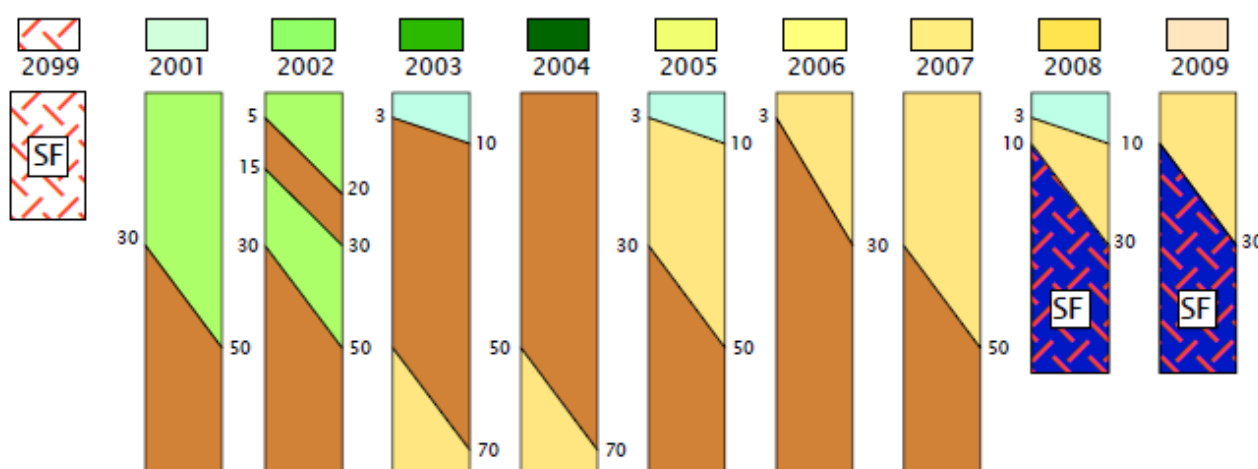
Zone stabilizzata

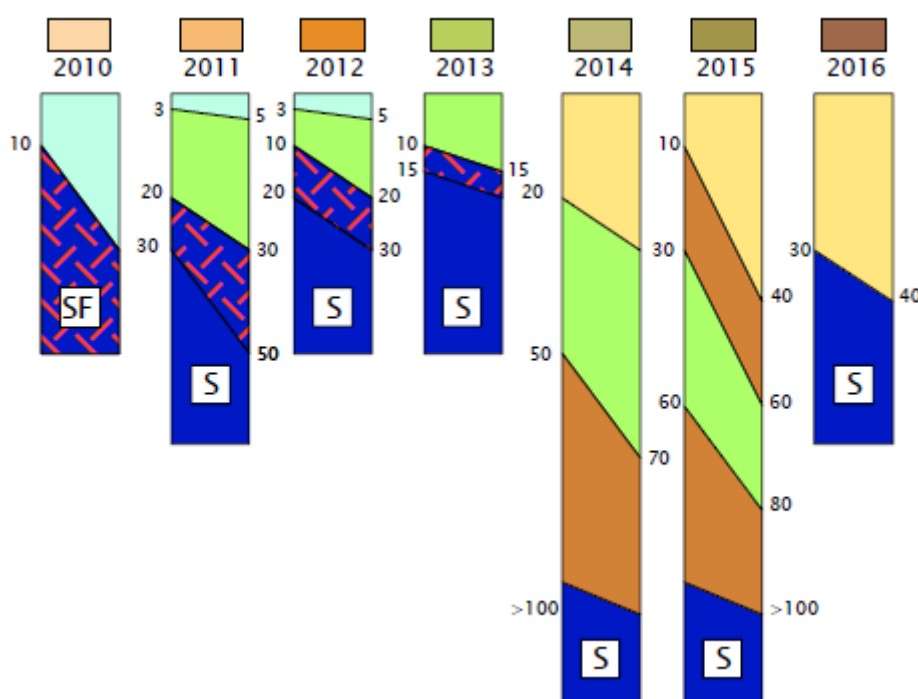


Ricomprendono le zone dove affiorano le formazioni rocciose in posto, con spessori di eventuali coltri di alterazione o depositi colluviali inferiori a 3 metri (spessore che non comporta fenomeni di amplificazione dell'onda sismica rilevanti per le strutture edilizie ed i manufatti in genere, assimilabili a "bedrock" sismico (ALS) con acclività $<15^\circ$. Queste zone sono state individuate in località Vagliagli, dove affiorano le litologie appartenenti alla Formazione del Macigno, caratterizzate da velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/sec.

9.1.2. Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali





Questa serie di microzone comprendono quelle dove si hanno terreni di copertura di spessore maggiore di 3 metri e con valori di Vs significativamente inferiori a quelli del substrato geologico (zone da 2001 a 2016). Con il codice 2099 si indica una microzona in cui il substrato geologico risulta molto fratturato e/o fortemente alterato a causa di intense deformazioni tettoniche. Per questo motivo può non rappresentare un substrato rigido ("bedrock") in termini di velocità delle onde S (Vs).

In queste condizioni, infatti, si possono generare fenomeni di amplificazione dello scuotimento sismico in superficie collegati alla presenza di una interfaccia fra materiali con una significativa differenza di impedenza sismica in prossimità della superficie.

Sulla base dei risultati delle varie indagini geofisiche disponibili, si è proceduto ad individuare i valori di velocità delle onde di taglio caratteristici delle varie unità litologico-tecnico individuate nella Carta geologico-tecnica precedentemente descritta (figura 11 seguente):

- ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di depositi alluvionali terrazzati [GMtf], mediamente addensate/consistenti, struttura omogenea, con Vs comprese mediamente tra 200 e 300 m/s;
- ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia di origine lacustre [GWlc] e marina [GWsp], da mediamente addensate ad addensate, struttura omogenea, con Vs comprese tra 350 e 500 m/s;
- argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di origine continentale [Clzz], da consistenti ad estremamente consistenti, stratificate, con Vs comprese tra 500 a 800 m/s;
- sabbie pulite con granulometria poco assortita di origine marine [SPsp], da mediamente addensate ad addensate, stratificate, con Vs comprese tra 350 e 450 m/s;
- alternanza di litotipi stratificati, fratturati/alterati [SFALS], con Vs comprese tra 600 e 700 m/s;
- substrato incoerente o poco consolidato, fratturato/alterato [SFIS], con Vs comprese tra



150 e 250 m/s. Allo scopo di evidenziare l'elevato grado di fratturazione dei travertini, interessati da un'intensa circolazione di acque termali, l'unico areale relativo a questa unità litotecnica viene rappresentato nella carta MOPS come zona di attenzione per cedimenti differenziali (cod. 3080).

figura 11 – litologia dei terreni di copertura della carta MOPS

Litologia dei terreni di copertura

GM	ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di depositi alluvionali terrazzati mediamente addensate/consistenti, struttura omogenea, con Vs comprese mediamente tra 200 e 300 m/s
GW	ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia da mediamente addensate ad addensate, struttura omogenea, con Vs comprese tra 350 e 500 m/s
CL	argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre, da consistenti ad estremamente consistenti, stratificate, con Vs comprese tra 500 a 800 m/s
SP	sabbie pulite con granulometria poco assortita, da mediamente addensate ad addensate, stratificate, con Vs comprese tra 350 e 450 m/s

9.1.3. Zone di attenzione per instabilità

Sono qui raccolte tutte le porzioni di territorio dove si hanno evidenze geomorfologiche di fenomeni che possono essere attivati o riattivati dall'evento sismico quali i movimenti franosi attivi e/o quiescenti e, in particolare, una zona di risalita dei fluidi idrotermali in località Acqua Borra dove si evidenzia un substrato costituito da depositi di travertino molto alterato e fratturato che può dar luogo a fenomeni di cedimenti differenziali.

figura 12 – zone suscettibili di instabilità

Zone di Attenzione per instabilità

	ZA _{cd} - zona di attenzione per cedimenti differenziali
	ZA _{rs} - zona di attenzione per instabilità di versante

La legenda della carta delle MOPS evidenzia anche quelle forme di superficie e sepolte che possono indicare l'insorgenza di fenomeni "2D" connessi alla presenza di strutture fortemente direzionali (orli di scarpate e di terrazzi fluviali, assi di paleo-alveo sepolti) che possono produrre l'effetto di "focalizzare" l'onda sismica in relazione alla particolare morfologia locale.

figura 13 – forme di superficie e sepolte

Forme di superficie e sepolte

	picco isolato
	orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale (10-20 m)
	orlo di terrazzo fluviale (10-20 m)

Punti di misura di rumore ambientale

	³ punto di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di f0
--	--



Infine, sono riportati, con apposita simbologia, i punti relativi alle indagini di microtremore a stazione singola (HVSr), con indicato il numero di riferimento di ciascuna misura per una facile consultazione dei relativi report dettagliati nel documento “*Report delle indagini sismiche elaborate per lo studio di livello 2*”.

10. Carte dei fattori di amplificazione

Facendo riferimento agli elaborati precedentemente descritti, in particolare alla carta delle frequenze fondamentali dei depositi ed a quella delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), si è proceduto alla realizzazione delle carte di Microzonazione sismica di livello 2, valutando tre intervalli di integrazione del fattore di amplificazione in accelerazione (FA): il primo tra 0,1 e 0,5 secondi ($FA_{0,1-0,5}$), significativo per le strutture più rigide, a basso periodo proprio; il secondo tra 0,4 e 0,8 secondi ($FA_{0,4-0,8}$), per strutture intermedie ed il terzo tra 0,7 e 1,1 secondi ($FA_{0,7-1,1}$) per strutture più flessibili, ad elevato periodo proprio.

Per l'attribuzione dei fattori di amplificazione sono stati utilizzati gli abachi regionali per la stesura degli studi di microzonazione di livello 2 (Appendice 5 del GRT n.1162/2018). Per l'utilizzo degli abachi di secondo livello si è seguito la seguente procedura:

- determinazione della macro-area di appartenenza del Comune, che in questo caso risulta essere “Toscana interna” (vedi figura 14);
- stima del valore di accelerazione di base (a_g) per un tempo di ritorno di 475 anni, variabile tra 0,100 e 0,125 g per il Comune di Castelnuovo Berardenga in base a quanto riportato dalle NTC2018 (paragrafo 4);
- una profondità del bedrock sismico valutata localmente per ciascuna area di studio (figura 15);
- infine, avendo a disposizione, per ogni verticale di analisi, il dato della frequenza fondamentale ed il valore di V_s considerato nella profondità di 30 metri (figura 16), è stato possibile ricavare i valori di $FA_{0,1-0,5}$, $FA_{0,4-0,8}$ e $FA_{0,7-1,1}$.

figura 14 – suddivisione del territorio toscano in macro-aree per la scelta degli abachi di secondo livello

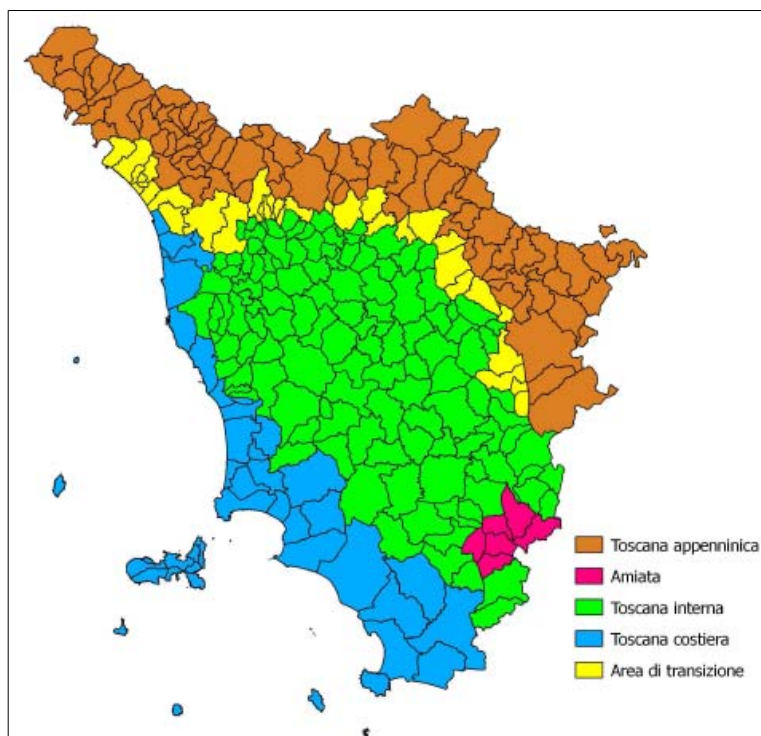




figura 15 – abachi per la realizzazione degli studi di livello 2 distinti per profondità del substrato sismico





<div><div></div><div>Toscana Interna (Substrato sismico > 30m) Valore di a_g ($T_r=475$ anni) < 0.125g</div></div>																																																																																																																																																																																																																																																											
<div><div>FA 0.1 < T < 0.5 s</div><table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="10">f0 (Hz)</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th><1</th><th>1.5</th><th>2.5</th><th>3.5</th><th>4.5</th><th>5.5</th><th>6.5</th><th>7.5</th><th>≥ 8</th><th>75° perc.</th></tr><tr><td rowspan="5">V30 (m/s)</td><td><200</td><td>1.1</td><td>1.4</td><td>1.3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1.2</td></tr><tr><td>300</td><td>1.1</td><td>1.4</td><td>1.7</td><td>1.8</td><td>1.7</td><td>1.9</td><td>2.0</td><td>2.0</td><td>1.8</td><td>1.4</td></tr><tr><td>500</td><td>1.1</td><td>1.3</td><td>1.5</td><td>1.6</td><td>1.6</td><td>1.6</td><td>1.5</td><td>1.6</td><td>1.6</td><td>1.4</td></tr><tr><td>700</td><td>0.9</td><td>1.1</td><td>1.3</td><td>1.5</td><td>1.4</td><td>1.3</td><td>1.2</td><td>1.2</td><td>1.3</td><td>1.2</td></tr><tr><td>≥800</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1.1</td><td>1.0</td></tr></table></div> <div><div>FA 0.4 < T < 0.8 s</div><table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="10">f0 (Hz)</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th><1</th><th>1.5</th><th>2.5</th><th>3.5</th><th>4.5</th><th>5.5</th><th>6.5</th><th>7.5</th><th>≥ 8</th><th>75° perc.</th></tr><tr><td rowspan="5">V30 (m/s)</td><td><200</td><td>1.6</td><td>2.1</td><td>2.1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2.0</td></tr><tr><td>300</td><td>1.4</td><td>1.9</td><td>2.0</td><td>1.7</td><td>1.6</td><td>1.7</td><td>1.5</td><td>1.6</td><td>1.8</td><td>1.8</td></tr><tr><td>500</td><td>1.2</td><td>1.6</td><td>1.7</td><td>1.5</td><td>1.5</td><td>1.6</td><td>1.4</td><td>1.6</td><td>1.6</td><td>1.5</td></tr><tr><td>700</td><td>1.0</td><td>1.2</td><td>1.5</td><td>1.4</td><td>1.2</td><td>1.4</td><td>1.3</td><td>1.1</td><td>1.2</td><td>1.2</td></tr><tr><td>≥800</td><td>1.1</td><td>1.2</td><td>1.2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1.1</td><td>1.1</td></tr></table></div> <div><div>FA 0.7 < T < 1.1 s</div><table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="10">f0 (Hz)</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th><1</th><th>1.5</th><th>2.5</th><th>3.5</th><th>4.5</th><th>5.5</th><th>6.5</th><th>7.5</th><th>≥ 8</th><th>75° perc.</th></tr><tr><td rowspan="5">V30 (m/s)</td><td><200</td><td>2.1</td><td>2.6</td><td>2.5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2.4</td></tr><tr><td>300</td><td>1.5</td><td>2.1</td><td>1.6</td><td>1.7</td><td>1.5</td><td>1.7</td><td>1.7</td><td>1.6</td><td>1.7</td><td>1.8</td></tr><tr><td>500</td><td>1.2</td><td>1.8</td><td>1.4</td><td>1.3</td><td>1.5</td><td>1.4</td><td>1.4</td><td>1.3</td><td>1.5</td><td>1.5</td></tr><tr><td>700</td><td>1.1</td><td>1.5</td><td>1.3</td><td>1.1</td><td>1.2</td><td>1.3</td><td>1.2</td><td>1.2</td><td>1.2</td><td>1.2</td></tr><tr><td>≥800</td><td>1.1</td><td>1.3</td><td>1.1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1.0</td><td>1.2</td></tr></table></div>														f0 (Hz)												<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.	V30 (m/s)	<200	1.1	1.4	1.3							1.2	300	1.1	1.4	1.7	1.8	1.7	1.9	2.0	2.0	1.8	1.4	500	1.1	1.3	1.5	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6	1.4	700	0.9	1.1	1.3	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.3	1.2	≥800	1.0	1.0	1.0						1.1	1.0			f0 (Hz)												<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.	V30 (m/s)	<200	1.6	2.1	2.1							2.0	300	1.4	1.9	2.0	1.7	1.6	1.7	1.5	1.6	1.8	1.8	500	1.2	1.6	1.7	1.5	1.5	1.6	1.4	1.6	1.6	1.5	700	1.0	1.2	1.5	1.4	1.2	1.4	1.3	1.1	1.2	1.2	≥800	1.1	1.2	1.2						1.1	1.1			f0 (Hz)												<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.	V30 (m/s)	<200	2.1	2.6	2.5							2.4	300	1.5	2.1	1.6	1.7	1.5	1.7	1.7	1.6	1.7	1.8	500	1.2	1.8	1.4	1.3	1.5	1.4	1.4	1.3	1.5	1.5	700	1.1	1.5	1.3	1.1	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	≥800	1.1	1.3	1.1						1.0	1.2
		f0 (Hz)																																																																																																																																																																																																																																																									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.																																																																																																																																																																																																																																																
V30 (m/s)	<200	1.1	1.4	1.3							1.2																																																																																																																																																																																																																																																
	300	1.1	1.4	1.7	1.8	1.7	1.9	2.0	2.0	1.8	1.4																																																																																																																																																																																																																																																
	500	1.1	1.3	1.5	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6	1.4																																																																																																																																																																																																																																																
	700	0.9	1.1	1.3	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.3	1.2																																																																																																																																																																																																																																																
	≥800	1.0	1.0	1.0						1.1	1.0																																																																																																																																																																																																																																																
		f0 (Hz)																																																																																																																																																																																																																																																									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.																																																																																																																																																																																																																																																
V30 (m/s)	<200	1.6	2.1	2.1							2.0																																																																																																																																																																																																																																																
	300	1.4	1.9	2.0	1.7	1.6	1.7	1.5	1.6	1.8	1.8																																																																																																																																																																																																																																																
	500	1.2	1.6	1.7	1.5	1.5	1.6	1.4	1.6	1.6	1.5																																																																																																																																																																																																																																																
	700	1.0	1.2	1.5	1.4	1.2	1.4	1.3	1.1	1.2	1.2																																																																																																																																																																																																																																																
	≥800	1.1	1.2	1.2						1.1	1.1																																																																																																																																																																																																																																																
		f0 (Hz)																																																																																																																																																																																																																																																									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.																																																																																																																																																																																																																																																
V30 (m/s)	<200	2.1	2.6	2.5							2.4																																																																																																																																																																																																																																																
	300	1.5	2.1	1.6	1.7	1.5	1.7	1.7	1.6	1.7	1.8																																																																																																																																																																																																																																																
	500	1.2	1.8	1.4	1.3	1.5	1.4	1.4	1.3	1.5	1.5																																																																																																																																																																																																																																																
	700	1.1	1.5	1.3	1.1	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2																																																																																																																																																																																																																																																
	≥800	1.1	1.3	1.1						1.0	1.2																																																																																																																																																																																																																																																
<div><div></div><div>Toscana Interna (Substrato sismico ≤ 30m) Valore di a_g ($T_r=475$ anni) < 0.125g</div></div>																																																																																																																																																																																																																																																											
<div><div>FA 0.1 < T < 0.5 s</div><table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="10">f0 (Hz)</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th><1</th><th>1.5</th><th>2.5</th><th>3.5</th><th>4.5</th><th>5.5</th><th>6.5</th><th>7.5</th><th>≥ 8</th><th>75° perc.</th></tr><tr><td rowspan="5">V30 (m/s)</td><td><200</td><td>1.1</td><td>1.5</td><td>1.9</td><td>2.5</td><td>2.1</td><td>2.1</td><td>2.1</td><td>2.1</td><td>1.5</td><td>1.9</td></tr><tr><td>300</td><td>0.6</td><td>1.3</td><td>1.8</td><td>2.0</td><td>1.9</td><td>1.8</td><td>1.8</td><td>1.8</td><td>1.6</td><td>1.9</td></tr><tr><td>500</td><td></td><td></td><td>1.6</td><td>1.6</td><td>1.6</td><td>1.6</td><td>1.4</td><td>1.5</td><td>1.3</td><td>1.4</td></tr><tr><td>700</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1.2</td><td>1.2</td><td>1.2</td><td>1.2</td><td>1.2</td><td>1.2</td></tr><tr><td>≥800</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table></div> <div><div>FA 0.4 < T < 0.8 s</div><table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="10">f0 (Hz)</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th><1</th><th>1.5</th><th>2.5</th><th>3.5</th><th>4.5</th><th>5.5</th><th>6.5</th><th>7.5</th><th>≥ 8</th><th>75° perc.</th></tr><tr><td rowspan="5">V30 (m/s)</td><td><200</td><td>1.5</td><td>2.4</td><td>2.4</td><td>1.8</td><td>1.4</td><td>1.3</td><td>1.2</td><td>1.1</td><td>1.1</td><td>2.2</td></tr><tr><td>300</td><td>1.0</td><td>2.2</td><td>2.1</td><td>1.7</td><td>1.4</td><td>1.2</td><td>1.2</td><td>1.1</td><td>1.1</td><td>1.7</td></tr><tr><td>500</td><td></td><td></td><td>1.6</td><td>1.5</td><td>1.3</td><td>1.2</td><td>1.1</td><td>1.1</td><td>1.1</td><td>1.1</td></tr><tr><td>700</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1.1</td><td>1.1</td><td>1.1</td><td>1.1</td><td>1.0</td><td>1.1</td></tr><tr><td>≥800</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table></div> <div><div>FA 0.7 < T < 1.1 s</div><table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="10">f0 (Hz)</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th><1</th><th>1.5</th><th>2.5</th><th>3.5</th><th>4.5</th><th>5.5</th><th>6.5</th><th>7.5</th><th>≥ 8</th><th>75° perc.</th></tr><tr><td rowspan="5">V30 (m/s)</td><td><200</td><td>2.3</td><td>2.5</td><td>1.6</td><td>1.2</td><td>1.1</td><td>1.1</td><td>1.1</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>2.1</td></tr><tr><td>300</td><td>1.5</td><td>2.0</td><td>1.5</td><td>1.2</td><td>1.1</td><td>1.1</td><td>1.1</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.3</td></tr><tr><td>500</td><td></td><td></td><td>1.2</td><td>1.2</td><td>1.1</td><td>1.1</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td></tr><tr><td>700</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td></tr><tr><td>≥800</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table></div>														f0 (Hz)												<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.	V30 (m/s)	<200	1.1	1.5	1.9	2.5	2.1	2.1	2.1	2.1	1.5	1.9	300	0.6	1.3	1.8	2.0	1.9	1.8	1.8	1.8	1.6	1.9	500			1.6	1.6	1.6	1.6	1.4	1.5	1.3	1.4	700					1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	≥800													f0 (Hz)												<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.	V30 (m/s)	<200	1.5	2.4	2.4	1.8	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	2.2	300	1.0	2.2	2.1	1.7	1.4	1.2	1.2	1.1	1.1	1.7	500			1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	700					1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1	≥800													f0 (Hz)												<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.	V30 (m/s)	<200	2.3	2.5	1.6	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	2.1	300	1.5	2.0	1.5	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.3	500			1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	700					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	≥800										
		f0 (Hz)																																																																																																																																																																																																																																																									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.																																																																																																																																																																																																																																																
V30 (m/s)	<200	1.1	1.5	1.9	2.5	2.1	2.1	2.1	2.1	1.5	1.9																																																																																																																																																																																																																																																
	300	0.6	1.3	1.8	2.0	1.9	1.8	1.8	1.8	1.6	1.9																																																																																																																																																																																																																																																
	500			1.6	1.6	1.6	1.6	1.4	1.5	1.3	1.4																																																																																																																																																																																																																																																
	700					1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2																																																																																																																																																																																																																																																
	≥800																																																																																																																																																																																																																																																										
		f0 (Hz)																																																																																																																																																																																																																																																									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.																																																																																																																																																																																																																																																
V30 (m/s)	<200	1.5	2.4	2.4	1.8	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	2.2																																																																																																																																																																																																																																																
	300	1.0	2.2	2.1	1.7	1.4	1.2	1.2	1.1	1.1	1.7																																																																																																																																																																																																																																																
	500			1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1																																																																																																																																																																																																																																																
	700					1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1																																																																																																																																																																																																																																																
	≥800																																																																																																																																																																																																																																																										
		f0 (Hz)																																																																																																																																																																																																																																																									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.																																																																																																																																																																																																																																																
V30 (m/s)	<200	2.3	2.5	1.6	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	2.1																																																																																																																																																																																																																																																
	300	1.5	2.0	1.5	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.3																																																																																																																																																																																																																																																
	500			1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0																																																																																																																																																																																																																																																
	700					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0																																																																																																																																																																																																																																																
	≥800																																																																																																																																																																																																																																																										



figura 16 – classi relative ai valori dei due parametri rappresentativi della situazione sismostratigrafica locale: frequenza di risonanza (f_0) e velocità media delle onde S (V_{s30} - V_{sh})

velocità (m/s)	$V_s < 200$	
	300	$200 \leq V_s < 400$
	500	$400 \leq V_s < 600$
	700	$600 \leq V_s < 800$
	$V_s \geq 800$	

frequenza (Hz)	$f_0 < 1$	
	1.5	$1 \leq f_0 < 2$
	2.5	$2 \leq f_0 < 3$
	3.5	$3 \leq f_0 < 4$
	4.5	$4 \leq f_0 < 5$
	5.5	$5 \leq f_0 < 6$
	6.5	$6 \leq f_0 < 7$
	7.5	$7 \leq f_0 < 8$
	≥ 8	

Nelle tabelle seguenti sono riportati per ogni microzona i range di V_{s30}/V_{sh} , quelli di f_0 ed i valori del fattore di amplificazione FA per gli intervalli di periodo considerati, oltre all'informazione relativa alla profondità del bedrock sismico.

QUERCEGROSSA

MOPS	Substrato Prof. (m)	V_{s30}/V_{sh} (m/sec)	f_0 (Hz)	FA 0,1-0,5 (sec)	FA 0,4-0,8 (sec)	FA 0,7-1,1 (sec)
2001	>30	457	3,2	1,6	1,5	1,3
2002	<30	356	3,5	2,0	1,7	1,2
2099	<30	700	<1,0	1,0	1,0	1,0

CASSETTA

MOPS	Substrato Prof. (m)	V_{s30}/V_{sh} (m/sec)	f_0 (Hz)	FA 0,1-0,5 (sec)	FA 0,4-0,8 (sec)	FA 0,7-1,1 (sec)
2003	>30	335	1,23/1,53	1,4	1,9	2,1
2004	>30	440	2,61	1,5	1,6	1,8
3080	>30	197	1,5	1,4	2,1	2,6

CASTELNUOVO BERARDENGA

MOPS	Substrato Prof. (m)	V_{s30}/V_{sh} (m/sec)	f_0 (Hz)	FA 0,1-0,5 (sec)	FA 0,4-0,8 (sec)	FA 0,7-1,1 (sec)
2014	>30	350	1,55	1,4	1,9	2,1
2015	>30	450	1,18/2,16	1,3	1,6	1,8

MONTEAPERTI

MOPS	Substrato Prof. (m)	V_{s30}/V_{sh} (m/sec)	f_0 (Hz)	FA 0,1-0,5 (sec)	FA 0,4-0,8 (sec)	FA 0,7-1,1 (sec)
2005	>30	500	0,88	1,1	1,2	1,2
2006	>30	574	0,88	1,1	1,2	1,2
2007	>30	463	0,88	1,1	1,2	1,2



PIANELLA						
MOPS	Substrato Prof. (m)	Vs30/Vsh (m/sec)	f0 (Hz)	FA 0,1-0,5 (sec)	FA 0,4-0,8 (sec)	FA 0,7-1,1 (sec)
2011	>30	428	2,72	1,5	1,7	1,4
2012	<30	300	3,09/4,12	2,0	1,7	1,2
2013	<30	374	3,95	2,0	1,7	1,2

PONTE A BOZZONE						
MOPS	Substrato Prof. (m)	Vs30/Vsh (m/sec)	f0 (Hz)	FA 0,1-0,5 (sec)	FA 0,4-0,8 (sec)	FA 0,7-1,1 (sec)
2008	>30	453	4,11	1,6	1,5	1,5
2009	>30	453	2,84	1,5	1,7	1,4
2010	>30	453	7,19	1,6	1,6	1,3
2010	>30	453	3,09	1,6	1,5	1,3

SAN GIOVANNI A CERRETO						
MOPS	Substrato Prof. (m)	Vs30/Vsh (m/sec)	f0 (Hz)	FA 0,1-0,5 (sec)	FA 0,4-0,8 (sec)	FA 0,7-1,1 (sec)
2009	>30	639	13	1,3	1,2	1,2
2016	>30	392	2,6/2,9	1,7	2,0	1,6
2099	<30	700	<1,0	1,0	1,0	1,0

VAGLIAGLI						
MOPS	Substrato Prof. (m)	Vs30/Vsh (m/sec)	f0 (Hz)	FA 0,1-0,5 (sec)	FA 0,4-0,8 (sec)	FA 0,7-1,1 (sec)
1041	<30	>800	NR	1,0	1,0	1,0
2099	<30	580	0,95/1,1	1,0	1,0	1,0
30222099	<30	450	7,35	1,5	1,1	1,0

SAN GUSME'						
MOPS	Substrato Prof. (m)	Vs30/Vsh (m/sec)	f0 (Hz)	FA 0,1-0,5 (sec)	FA 0,4-0,8 (sec)	FA 0,7-1,1 (sec)
2099	<30	700	7,9	1,2	1,1	1,0

Questo elaborato rappresenta il riferimento per la determinazione cautelativa della pericolosità sismica nell'ambito degli adempimenti previsti dal DPGR 5/R/2020 e, di conseguenza, la carta della pericolosità sismica di supporto al Piano Strutturale dovrà essere rielaborata in funzione degli esiti di questo studio.

Prato, 5 Agosto 2022

Dott. Geol. Alberto Tomei



Appendice 1

Report delle nuove indagini sismiche elaborate per lo studio di livello 2



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE TOSCANA



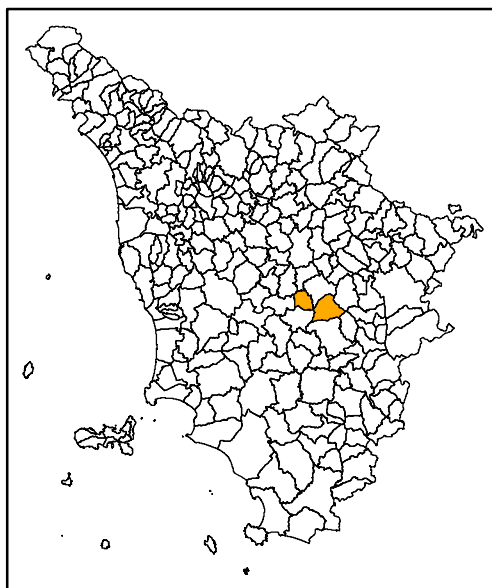
CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Report delle nuove indagini sismiche elaborate
per lo studio di livello 2

Regione Toscana Castelnuovo Berardenga



Regione Toscana Comune Castelnuovo Berardenga	Soggetto realizzatore STUDIO DI GEOLOGIA Dott.Geol.Alberto Tomei  con Dott.Geol.Nicolò Mantovani	Data Giugno 2022
--	--	-------------------------

INDICE

Premessa	1
1. Tipologia ed ubicazione delle indagini geofisiche ESAC, MASW e HVSR	1
2. Indagini ESAC	1
2.1. Generalità del metodo ESAC	1
2.2. Strumentazione ed acquisizione dei dati con metodologia ESAC	2
3. Indagini MASW	3
3.1. Generalità del metodo di rilevamento MASW	3
3.2. Strumentazione ed acquisizione dei dati con metodologia MASW	3
4. Misure di microtremore a stazione singola HVSR	4
4.1. Generalità sulla tecnica HVSR	4
4.2. Strumentazione ed elaborazione dei dati	5
Estratti cartografici in formato A3 delle aree MOPS con l'ubicazione delle prove geofisiche e geognostiche di archivio (MS1) e di quelle nuove	
Appendice 1 – Report prospezioni sismiche ESAC-MASW	7
Appendice 2 – Report prospezioni sismiche MASW	8
Appendice 3 – Report misure di microtremore HVSR	9

Premessa

Questo documento costituisce la relazione tecnica relativa alle indagini sismiche realizzate nel territorio di Castelnuovo Berardenga secondo il programma delle attività per le indagini e gli studi di Microzonazione Sismica di livello 2 predisposto dalla struttura regionale competente e calibrato al quadro conoscitivo esistente derivato dallo studio di MS di livello 1.

Il “*programma di minima indispensabile*” è stato stabilito dopo una verifica preliminare delle indagini geofisiche e geognostiche già disponibili e una nuova ricerca delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite dalla data dello Studio di Microzonazione di Livello 1 fino ad oggi, che ha portato alla acquisizione di ulteriori 9 indagini puntuali tra sondaggi, prove DPSH e misure HVSR e 18 indagini lineari tra indagini geofisiche tipo MASW, rifrazioni in onde P e rifrazioni in onde P e Sh.

In definitiva le nuove indagini complessivamente realizzate per lo studio di secondo livello sono le seguenti:

n.14 indagini geofisiche di sismica a rifrazione in onde P con elaborazione MASW;

n.5 indagini geofisiche ESAC+MASW con Array 2D ortogonali con indagine MASW associata a ciascuna indagine ESAC;

n.12 misure di rumore a stazione singola in assetto H/V (realizzate ed elaborate dallo studio Georicerche s.n.c. di Monteriggioni - Siena).

Tutte le indagini geognostiche e geofisiche sopra indicate andranno ad implementare il data-base dei dati della Carta delle Indagini per la Microzonazione Sismica secondo gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica Versione 4.2. Tale data-base ricomprenderà anche le indagini geognostiche e geofisiche utilizzate per lo studio di MS di livello 1, elaborato a suo tempo al di fuori del finanziamento regionale, a supporto del Piano Strutturale vigente.

Nei paragrafi seguenti si descrive la tipologia e la metodologia di indagine adottata mentre nelle relative Appendici si riportano le elaborazioni strumentali di ciascuna prova.

1. Tipologia ed ubicazione delle indagini geofisiche ESAC, MASW e HVSR

Il quadro delle prove esistenti e di quelle realizzate a supporto dello Studio di MS1 ha permesso di individuare alcune lacune informative da colmare attraverso la predisposizione di indagini geofisiche aggiuntive. In particolare, come indicato in premessa, sono state eseguite n.12 prove HVSR, n.14 indagini MASW n.5 indagini ESAC+MASW con array 2D ortogonali con indagine MASW associata a ciascuna indagine ESAC. Nel complesso con le nuove indagini effettuate e con quelle recuperate nell'archivio comunale si è potuto definire i valori di velocità delle onde di taglio delle litologie affioranti all'interno delle aree MOPS e caratterizzare con maggiore dettaglio il modello geologico e strutturale definito dallo studio di Microzonazione di Livello 1.

Nelle figure in fondo al testo si riporta l'ubicazione di tutte le indagini che costituiscono il quadro conoscitivo, articolate per ciascuna area MOPS dello studio di livello 1 e per la nuova microzona relativa al centro abitato di San Gusmè che si aggiunge alle precedenti con lo studio di livello 2.

2. Indagini ESAC

2.1. Generalità del metodo ESAC

Si tratta di una procedura sperimentale per la determinazione del profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo a partire da misure di vibrazioni ambientali condotte con geofoni verticali

posizionati con una geometria conosciuta (antenna sismica o “seismic array”). In particolare, la procedura è finalizzata alla determinazione delle velocità di propagazione delle onde superficiali presenti nel campo delle vibrazioni ambientali alle varie frequenze di vibrazione (“spettro di velocità”). Questa informazione verrà poi utilizzata all’interno di una procedura di inversione per dedurre il profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo nell’ipotesi che questo sia costituito da una “pila” di strati orizzontali sovrapposti ed omogenei al loro interno. Il metodo ESAC (Extended Spectral AutoCorrelation method) è frutto di una idea sviluppata inizialmente da Aki (1957). Secondo Aki, il campo d’onda delle vibrazioni ambientali può essere rappresentato come la combinazione lineare di onde piane di diverse frequenze e con fase ed ampiezza casuale che si muovono sul piano orizzontale e che provengono da direzioni differenti. Aki dimostrò che, sebbene ogni serie temporale dedotta dalla registrazione di questo campo di onde in un punto abbia un carattere stocastico, due registrazioni effettuate in punti diversi mostrano delle “somiglianze” (in senso statistico) e che da queste sia possibile dedurre informazioni sulle velocità di fase delle diverse onde misurate nelle due posizioni. Queste somiglianze sono rivelate dall’andamento di una funzione di correlazione. Dato che la stima della correlazione fra le due serie di registrazioni è effettuata senza tenere conto di alcuno sfasamento temporale, la funzione è detta di autocorrelazione. Aki dimostrò che sotto condizioni molto generali (in particolare che le onde siano tutte fra loro indipendenti e che le direzioni di provenienza siano distribuite con probabilità uniforme attorno ai geofoni) la funzione di autocorrelazione relativa alla componente verticale delle vibrazioni misurate in due posizioni ha la forma di una funzione di Bessel di ordine 0 e dipende solo dalla loro distanza relativa. Per una data frequenza vengono calcolate le diverse funzioni di autocorrelazione per tutte le distanze relative alle diverse coppie di sensori. La velocità di fase viene determinata in modo da riprodurre al meglio l’andamento osservato della funzione di correlazione in funzione della distanza.

2.2. Strumentazione ed acquisizione dei dati con metodologia ESAC

Le sette indagini effettuate a supporto dello Studio di MS2 del Comune di Prato sono state realizzate con geometria a “L” con lati della stessa lunghezza, variabile tra un massimo di 50 metri (25+25) ad un minimo di 30 metri (15+15) di sviluppo lineare, in relazione allo spazio disponibile in corrispondenza dei punti di prova. La configurazione utilizzata per la prova è quella con stendimento di 11 geofoni verticali da 4,5 Hz, posti ad una distanza intergeofonica variabile tra 3,0 m e 5,0 metri, di cui uno sul vertice della “L” e gli altri 10 disposti simmetricamente, cinque per ciascun lato. Le prove sono state eseguite impiegando un sismografo “DOREM” della SARA electronic instruments s.r.l. dove l’elettronica è distribuita lungo il cavo e la connessione al personal computer dedicato all’osservazione grafica e al management del sistema è svolta da una interfaccia “DoReMi master”. Il sismografo è pertanto distribuito con i suoi canali lungo la direttrice di rilevamento ed il software dedicato, che acquisisce il segnale analogico dai velocimetri al suolo impiegati per il rilievo, lo invia in forma digitale al sistema centrale in modo indipendente per ogni canale di registrazione. Per la registrazione è stata utilizzata una frequenza di campionamento di 500 Hz e registrazione magnetica di n.30 eventi della lunghezza di registrazione di 30 secondi. A ciascuna indagine ESAC è stata associata un’indagine MASW, eseguita utilizzando la stessa strumentazione sismografica a cui sono stati connessi n.12 sensori geofonici verticali da 4.5 Hz, posti ad una distanza reciproca variabile tra 3,0 m e 5,0 m.

In fase di elaborazione è stata utilizzata una tecnica di analisi congiunta, vincolando le velocità degli strati superficiali in funzione dei risultati dell’indagine MASW e quelle degli strati più profondi ai risultati dell’indagine ESAC.

3. Indagini MASW

3.1. Generalità del metodo di rilevamento MASW

La tecnica di investigazione ed elaborazione MASW dei dati consente di rilevare la situazione sismo-stratigrafica del sottosuolo in riferimento alle velocità delle onde S basandosi sulla misura delle onde superficiali di Rayleigh. Le onde di Rayleigh, onde di superficie prodotte da un movimento circolare retrogrado delle particelle del suolo, si presta ad una agevole elaborazione in considerazione del contenuto energetico, che risulta nettamente superiore a quello che compete alle componenti delle onde di volume P ed S, e della loro attenuazione geometrica, che risulta inferiore rispetto alle onde P e Sv, in quanto si propagano secondo fronti d'onda cilindrici a differenza delle onde di Rayleigh che si propagano secondo fronti d'onda sferici. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh subiscono il fenomeno della dispersione geometrica, nel quale le differenti lunghezze d'onda che descrivono il movimento delle particelle viaggiano a velocità differenti in relazione alla rigidità dei mezzi impegnati nel sottosuolo.

Lo studio della dispersione delle onde di Rayleigh consente di analizzare le variazioni di velocità delle onde S nel sottosuolo e di discriminare in profondità le principali variazioni di rigidità dei terreni, tenendo conto che le componenti d'onda ad alta frequenza impegnano e caratterizzano gli strati più superficiali dell'area di indagine, mentre le componenti d'onda a più bassa frequenza interessano spessori maggiori del sottosuolo e caratterizzano gli strati più profondi. La determinazione della velocità delle onde S si valuta considerando che la stessa risulta dell'ordine di 90-110% la velocità delle onde di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente parallelamente all'array) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30 m circa, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°, sia della superficie topografica sia delle diverse discontinuità elastiche.

La metodologia di elaborazione utilizzata consiste in quattro fasi:

- calcolo della curva di dispersione sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;
- calcolo della curva di dispersione apparente numerica;
- calcolo della curva di dispersione effettiva numerica;
- individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (o in alternativa il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato; l'affidabilità del profilo di velocità V_s trovato durante il processo di inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativo tra le due curve.

3.2. Strumentazione ed acquisizione dei dati con metodologia MASW

L'indagine microsismica Multichannels Analysis Surface Waves è stata eseguita, anche in

questo caso, impiegando un sismografo "DOREMI" multicanale della SARA Electronic Instruments s.r.l., utilizzando una frequenza di campionamento di 5.000 Hz ed un tempo di acquisizione di 2 secondi. Il rilievo MASW è stato condotto operando energizzazioni, mediante battuta di una mazza da 10 Kg, per l'acquisizione dei dati agli estremi della stesa geofonica. Alla strumentazione sismografica sono stati connessi n.12 sensori geofonici verticali da 4.5 Hz, posti ad una distanza reciproca variabile tra 3,0 m a 5,0 m in relazione allo spazio disponibile in corrispondenza dei punti di prova.

4. Misure di microtremore a stazione singola HVSR

4.1. Generalità sulla tecnica HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticali del rumore sismico ambientale misurato nelle tre direzioni ortogonali del moto. Le *frequenze di risonanza naturali* corrispondono ai massimi della curva dei rapporti spettrali in funzione della frequenza. L'ampiezza di questi massimi è qualitativamente proporzionale all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura. Considerazioni quali-quantitative, derivanti da valori mediamente osservati, permettono di poter assumere che la frequenza di risonanza f_0 di una copertura sedimentaria di spessore H sovrapposta a un basamento rigido e in condizioni di stratificazione piana è data dal rapporto fra la velocità media delle onde S nel sedimento (V_s) e 4 volte lo spessore H , (cioè $f_0 = V_s/4H$); è quindi possibile risalire dalla frequenza di risonanza misurata all'ordine di grandezza dello spessore H della copertura una volta nota la velocità delle onde di taglio (V_s) o, viceversa, a quest'ultima se lo spessore H è noto.

La misura della funzione H/V richiede l'acquisizione del rumore sismico ambientale in un singolo punto per tempi dell'ordine di diverse decine di minuti, allo scopo di garantire la misura del campo di rumore generato da una molteplicità di sorgenti dalle diverse direzioni dello spazio. La misura viene effettuata utilizzando un sistema di acquisizione tri-direzionale caratterizzato da sufficiente sensibilità. I dati raccolti sono quindi analizzati per determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore misurate sul piano orizzontale e verticale.

Per valutare l'adeguatezza delle condizioni sperimentali alle richieste del metodo (Sesame, 2002) ai quali si aggiungono ulteriori criteri "fisici" (D.Albarelli e S.Castellaro: *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola* – Ingegneria Sismica n.2/2011) per giungere ad una classificazione delle misure circa la qualità della singola misura H/V effettuata, sono stati sviluppati specifici test statistici i cui esiti costituiscono un "*warning*" per avvisare l'operatore sulla necessità di approfondire il risultato ottenuto attraverso correlazioni con altre misure (sia dirette che indirette).

L'interpretazione delle curve H/V risulta agevole in condizioni di stratificazione piano/parallela e in presenza di contrasti di impedenza significativi alla base dello strato sedimentario. Il progressivo allontanamento da queste condizioni rende sempre più problematico l'utilizzo dei dati H/V per caratterizzare il sottosuolo a partire da *modelli interpretativi semplici* (da cui l'ausilio dei "*warning*" della classificazione di qualità delle misure); pertanto entrano in gioco *criteri interpretativi* che cercano di mettere a sistema tutte le informazioni geologiche dirette ed indirette disponibili per lo specifico luogo in esame. Le misure HVSR ai fini dello Studio di MS2 si prestano a due ordini di interpretazioni:

- *qualitativo* – l'insieme dei dati ottenuti permette di identificare le aree dove esistono fenomeni di risonanza sismica nel campo delle frequenze di interesse ingegneristico (0.5-10 Hz – cioè il range di frequenze di risonanza di edifici e manufatti);



- *semi-qualitativo* – alle misure sono associate stime grossolane sia dello spessore delle coperture responsabili del fenomeno della risonanza, sia dell'entità del contrasto di impedenza responsabile degli effetti osservati; questo tipo di risultato non sostituisce un'analisi di dettaglio, ma ha lo scopo (sotto stretto controllo geologico) di fornire indicazioni preliminari sulla struttura di sottosuolo e dare indicazioni per orientare successive indagini geognostiche di approfondimento.

Tabella 1 – Abachi preliminari per una stima semi-qualitativa dello spessore coperture (a) e dell'entità del contrasto sismico (b)

a)

f_0 (Hz)	h (m)	
< 1	> 100	Centinaia di metri
1 – 2	50 – 100	
2 – 3	30 – 50	
3 – 5	20 – 30	Decine di metri
5 – 8	10 – 20	
8 – 20	5 – 10	
> 20	< 5	Qualche metro

H/V >3 Alto contrasto

2<H/V<3 Basso Contrasto

b)

f_0 (Hz)	h (m)	
< 1	> 100	Centinaia di metri
1 – 2	50 – 100	
2 – 3	30 – 50	
3 – 5	20 – 30	Decine di metri
5 – 8	10 – 20	
8 – 20	5 – 10	
> 20	< 5	Qualche metro

H/V >3 Alto contrasto

2<H/V<3 Basso Contrasto

4.2. Strumentazione ed elaborazione dei dati

Per l'effettuazione delle prove HVSR si è utilizzato la seguente strumentazione:

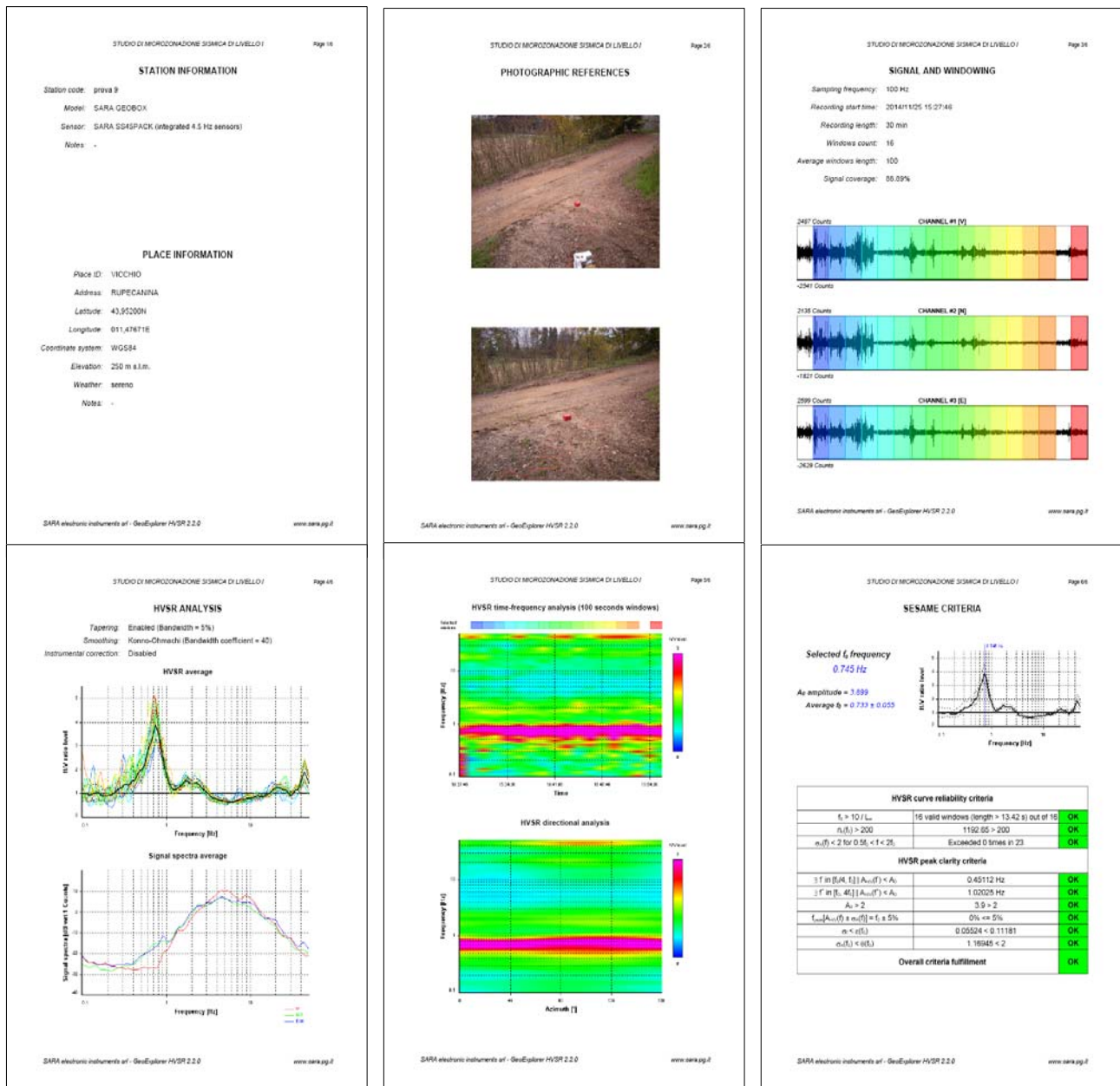
- Sismografo SR04S3 GeoBox della ditta Sara Electronic Instruments di Perugia, equipaggiato con tre velocimetri con frequenza 4,5Hz
- Alimentazione: 10-16Vdc o da batteria interna < 1W
- Numero canali: 3 a 24 bit ($\Sigma\Delta$)
- Range dinamico: 124dB (144dB, 24 bit effettivi [enob], fra 0.1 e 10Hz)
- Campionamento: simultaneo sui tre canali
- Sampling rates: da 10-600 Hz
- Real Time Clock: +/-10ppm (-20/+50°C)
- Precisione rispetto a UTC: <50µs
- Formato dati: protocollo binario SADC20HS
- Velocità: 115200 baud

I rilievi sono stati condotti operando registrazioni del rumore della durata opportuna in relazione alle sorgenti locali di rumore, alle caratteristiche ambientali del luogo ed alla profondità del bedrock sismico, in modo da disporre di un'adeguata finestra temporale tale da consentire l'acquisizione di dati significativi per le successive analisi. Le elaborazioni delle registrazioni effettuate sono state eseguite con il software *GeoExplorerHVSR* della ditta Sara Electronic Instruments di Perugia. Questo software permette la verifica della rispondenza ai criteri statistici definiti dal progetto Sesame in merito alla affidabilità della registrazione, opportunamente completati con i criteri definiti da Albarello-Castellaro 2011, fornendo una serie di uscite grafiche che vengono riportate nelle schede relative a ciascuna misura effettuata. L'elaborazione dei dati prevede che per ciascuna misura vengano individuati i picchi di H/V significativi da analizzare singolarmente per rilevarne la significatività anche in chiave di qualità della misura. Le schede di output di ciascuna misura (figura 2) riportano le informazioni "di campagna" del sito oggetto di indagine, le principali assunzioni adottate per l'analisi delle registrazioni e quindi i risultati "grafici"



dell'elaborazione e la verifica del soddisfacimento dei criteri per giungere all'attribuzione della classe di qualità della misura. Dove siano presenti più picchi, l'elaborazione prevede una prima scansione della registrazione su tutto il range di frequenze significative comprese fra 0.2 Hz e 50 Hz (sempre allegata al fine di rendersi conto della forma del grafico H/V), quindi una successiva scansione con range di frequenze campionate più ristretto (intorno al picco relativo) per evidenziare le caratteristiche dello specifico picco di interesse e valutare la qualità della misura in quello specifico range.

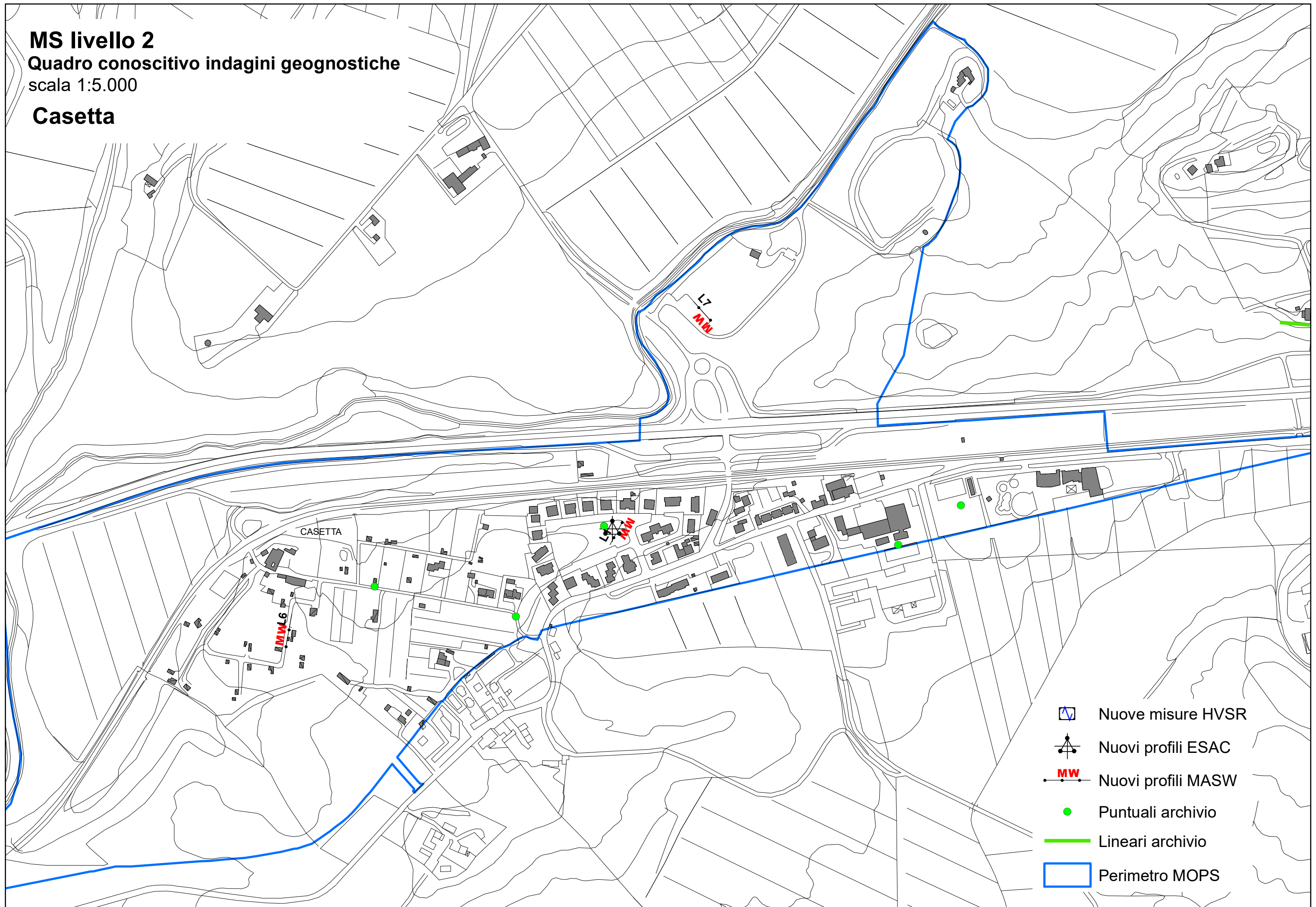
figura 2 – schede di output dell'elaborazione misure HVSR









Prato, 21 giugno 2022

Dott.Geol.Alberto Tomei

MS livello 2
Quadro conoscitivo indagini geognostiche
scala 1:5.000
Casetta



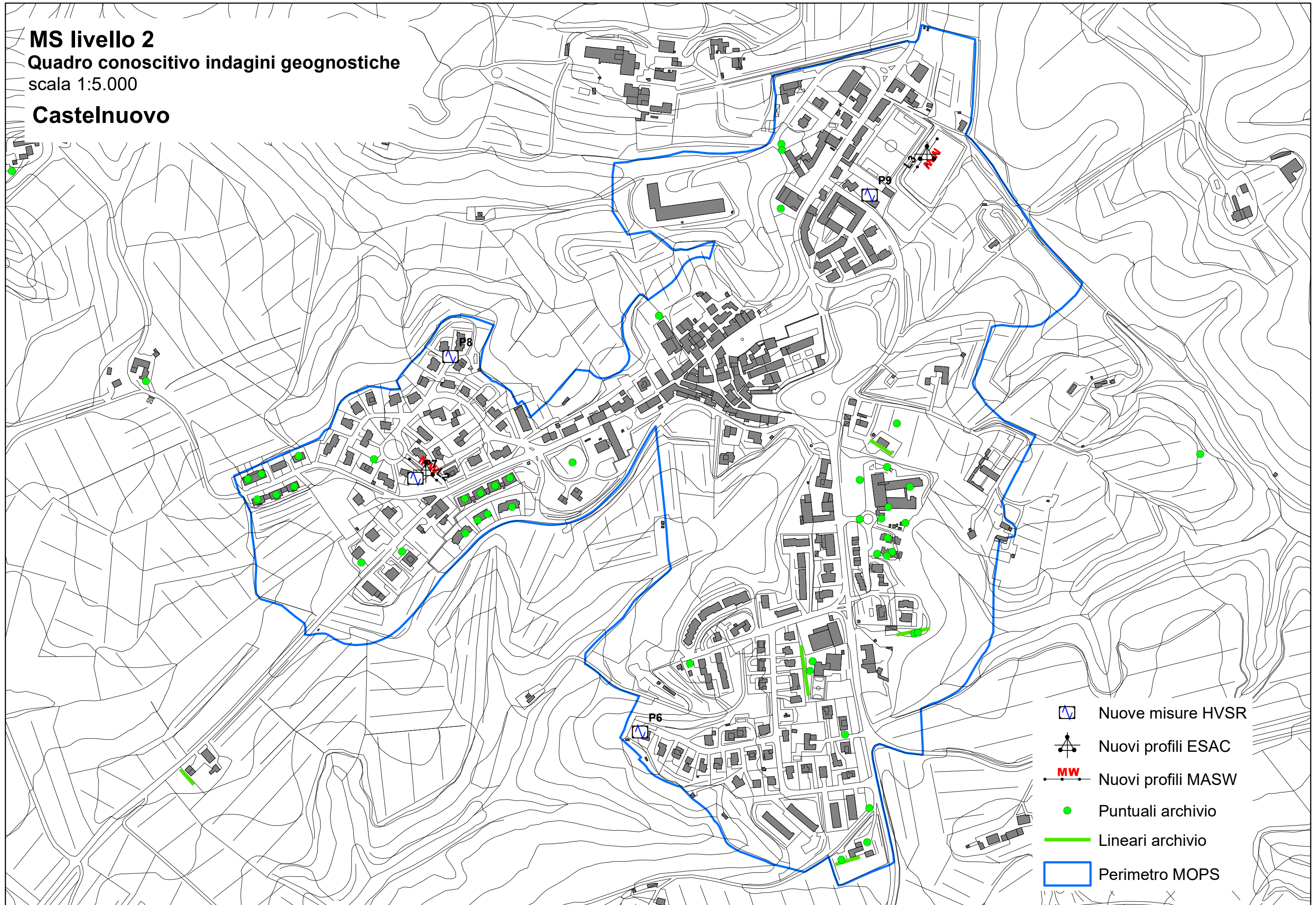
-  Nuove misure HVSR
-  Nuovi profili ESAC
-  Nuovi profili MASW
-  Puntuali archivio
-  Lineari archivio
-  Perimetro MOPS

MS livello 2

Quadro conoscitivo indagini geognostiche

scala 1:5.000

Castelnuovo

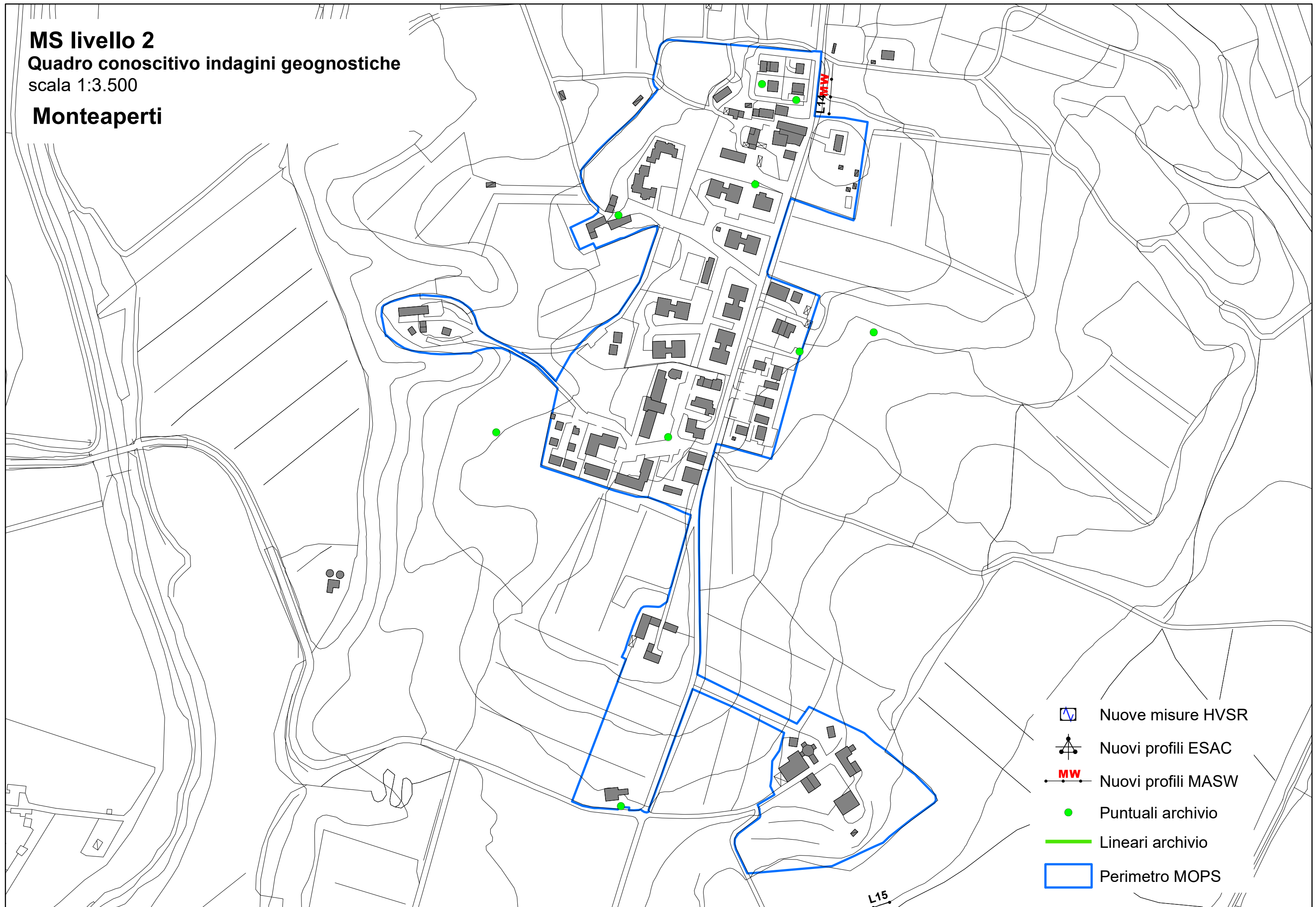


MS livello 2

Quadro conoscitivo indagini geognostiche

scala 1:3.500

Monteaperti

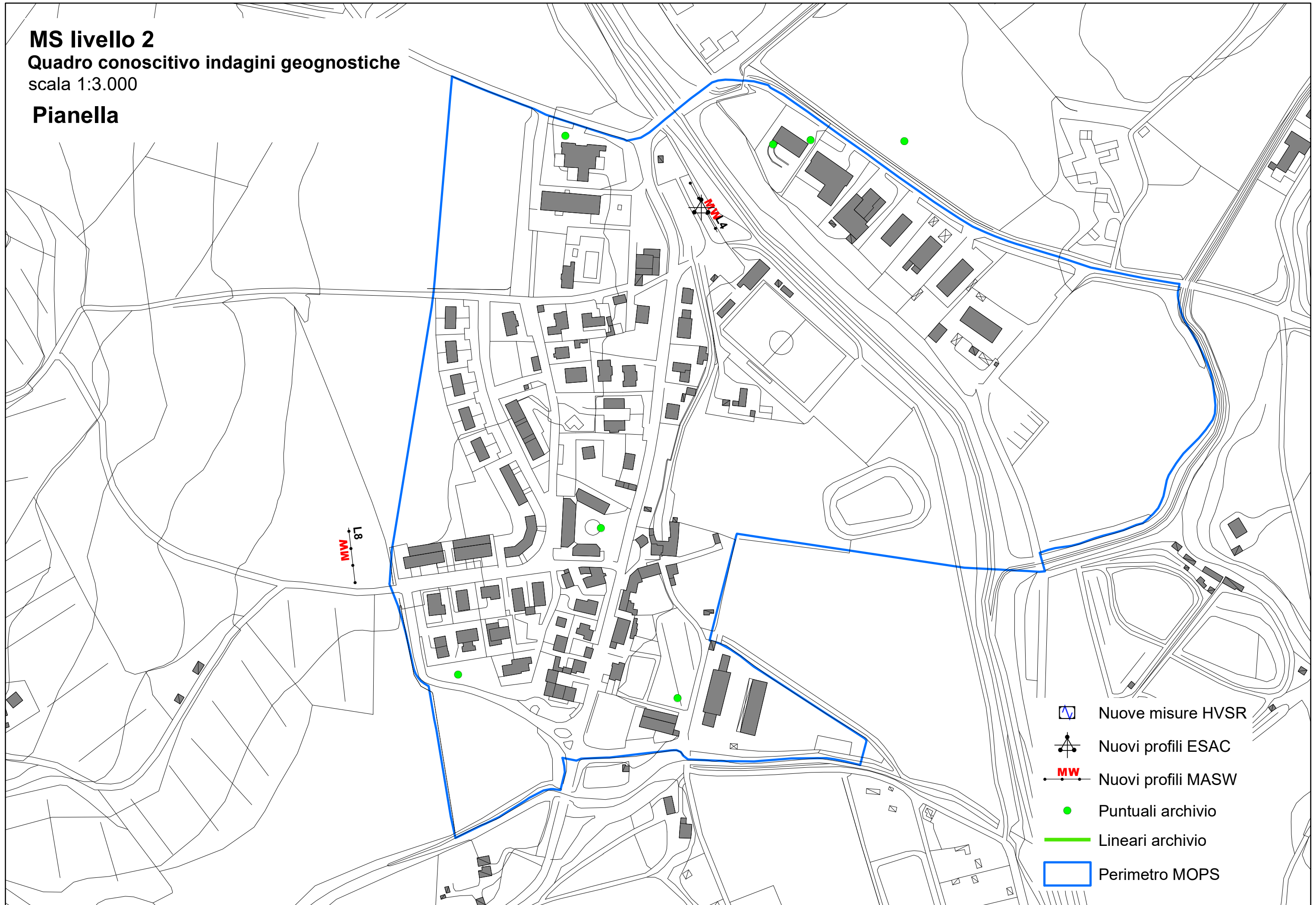


MS livello 2

Quadro conoscitivo indagini geognostiche

scala 1:3.000

Pianella

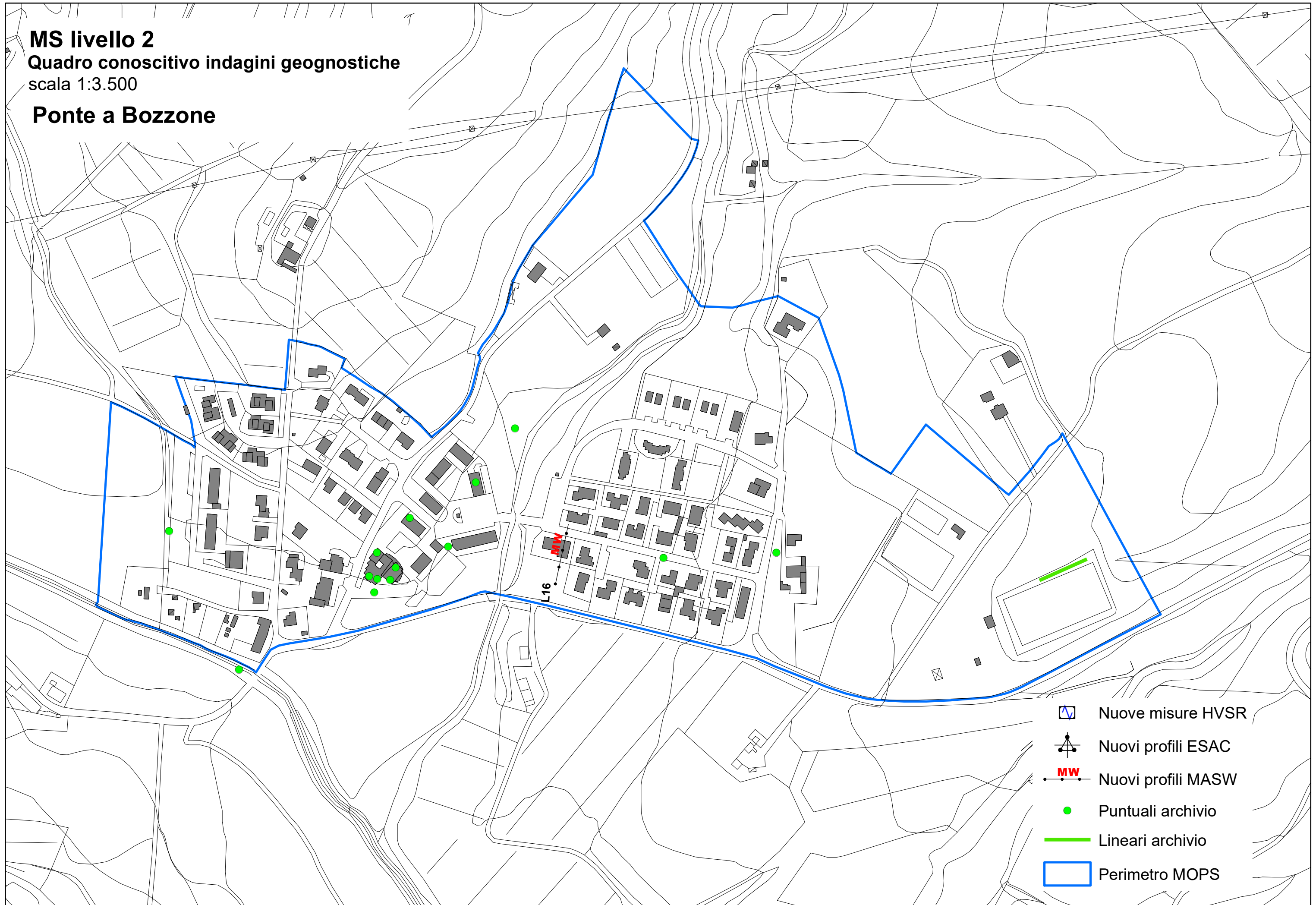


MS livello 2

Quadro conoscitivo indagini geognostiche

scala 1:3.500

Ponte a Bozzone

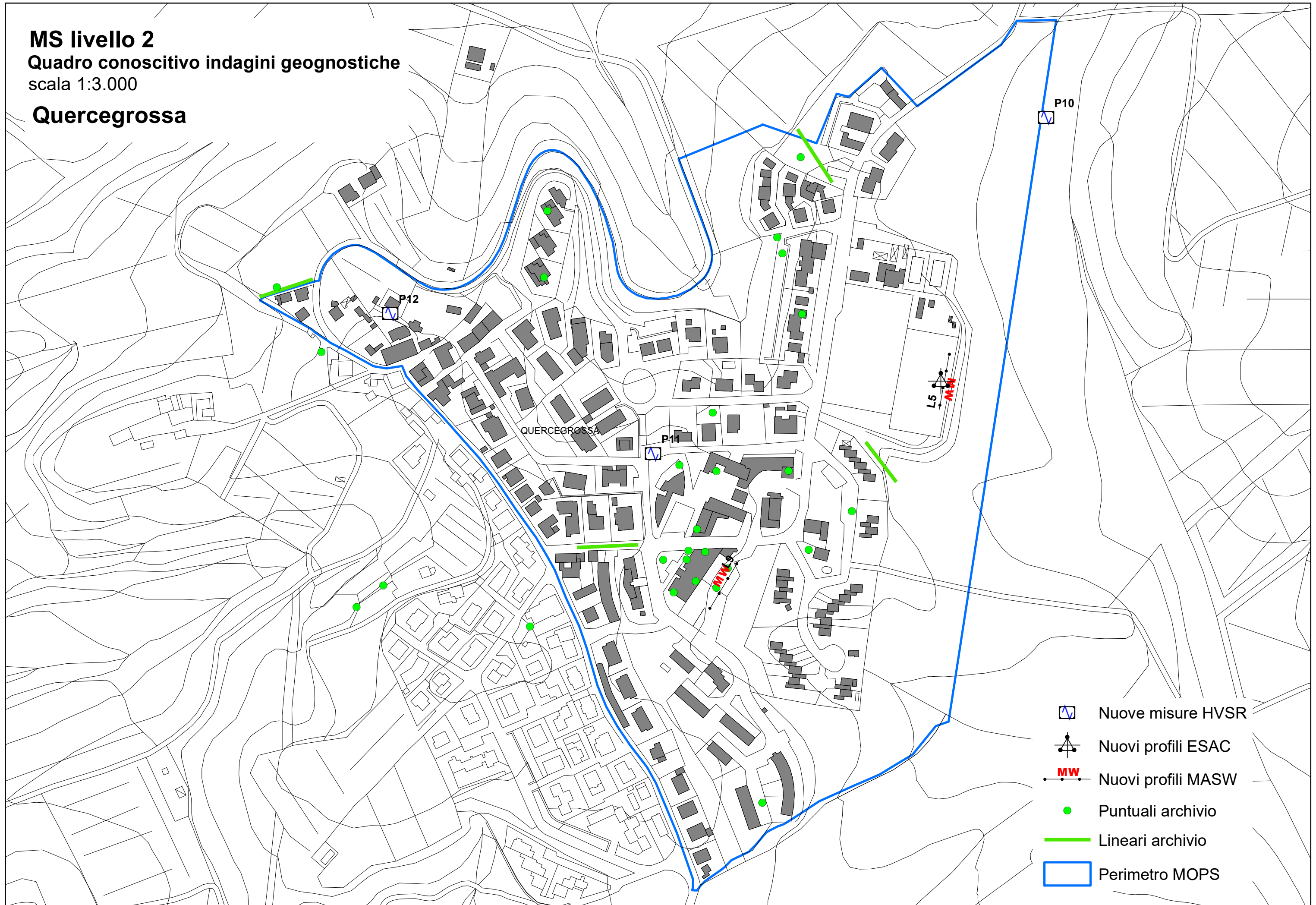


MS livello 2

Quadro conoscitivo indagini geognostiche

scala 1:3.000

Quercegrossa

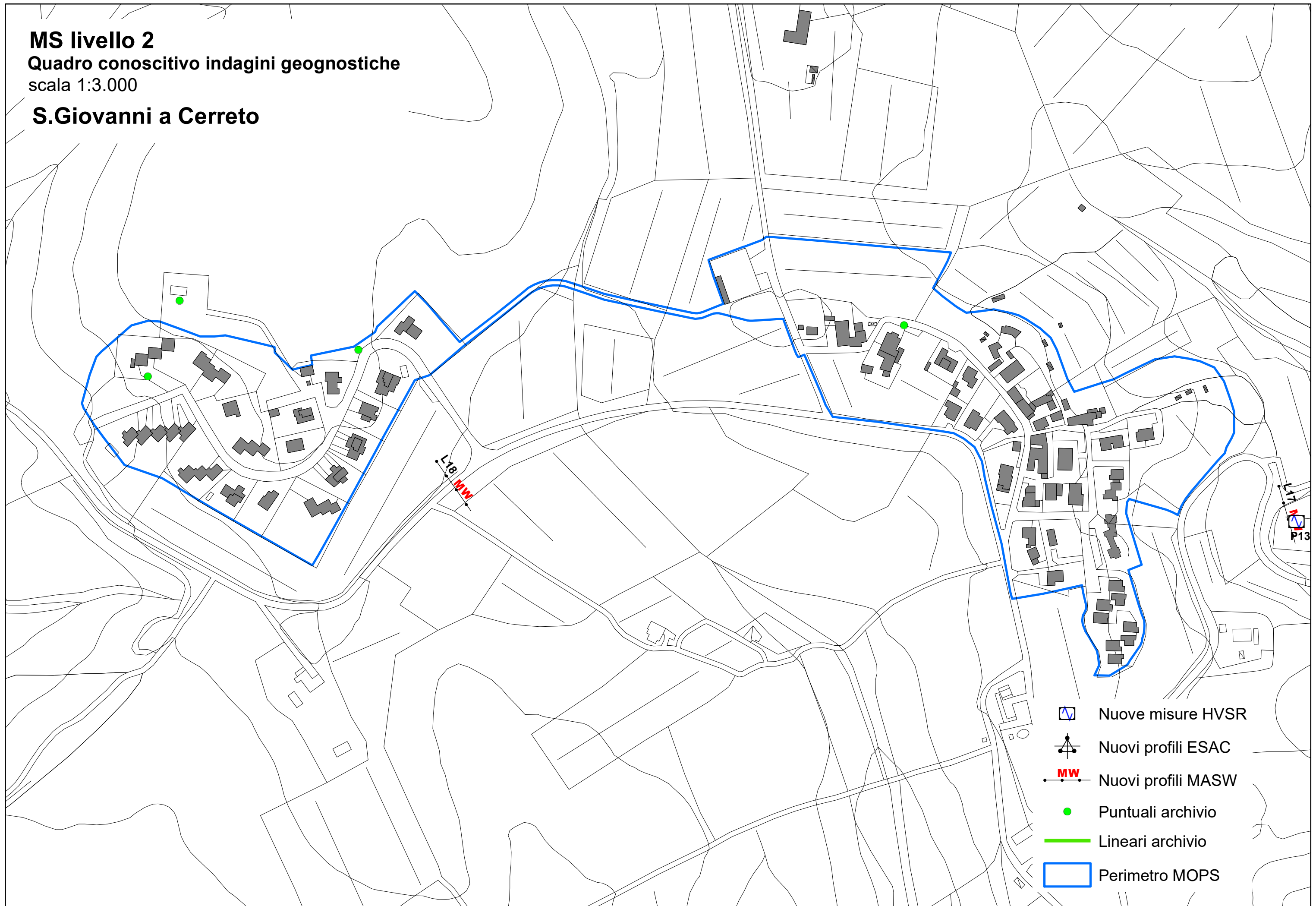


MS livello 2

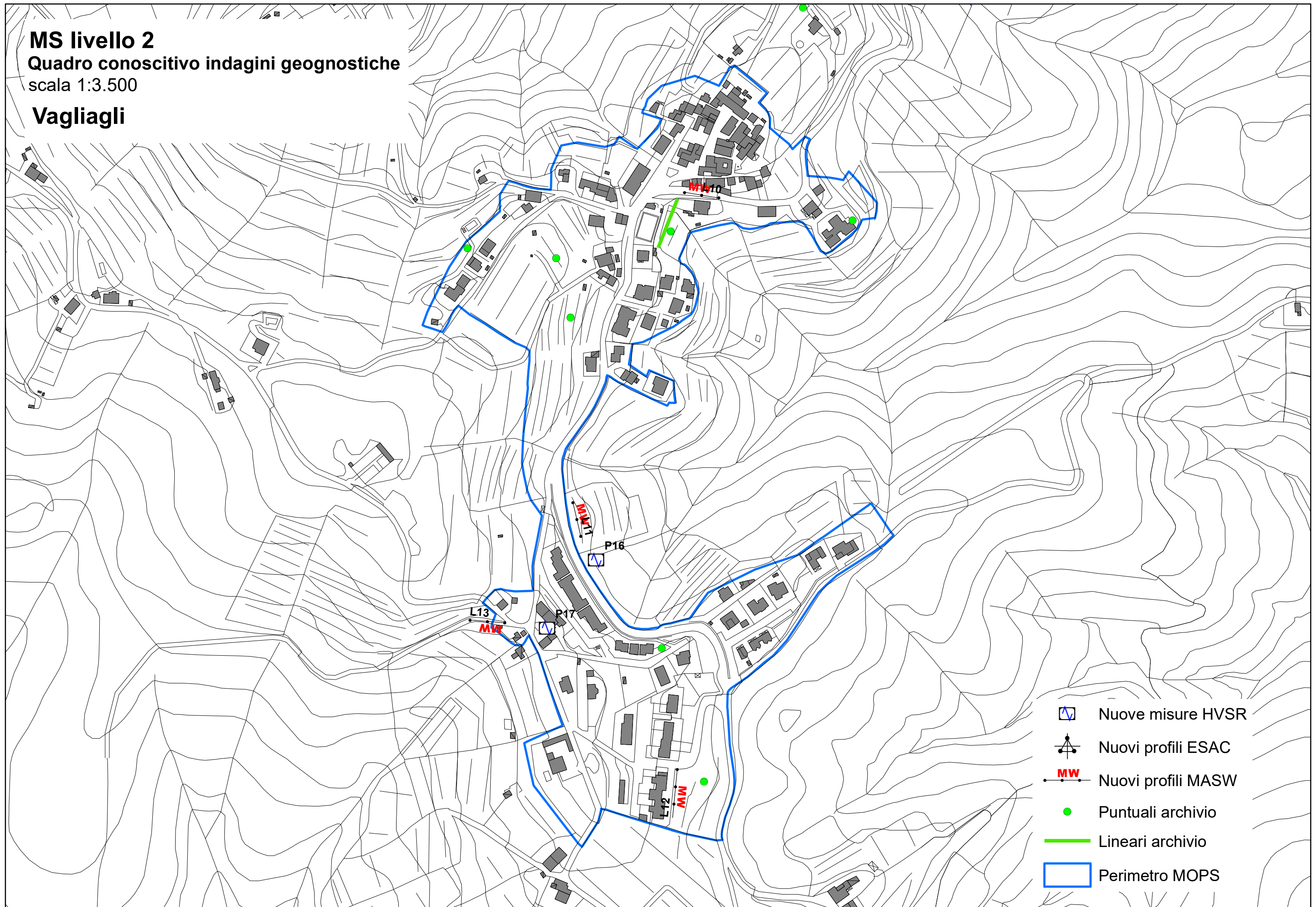
Quadro conoscitivo indagini geognostiche







scala 1:3.000

S.Giovanni a Cerreto



MS livello 2
Quadro conoscitivo indagini geognostiche
scala 1:3.500
Vagliagli



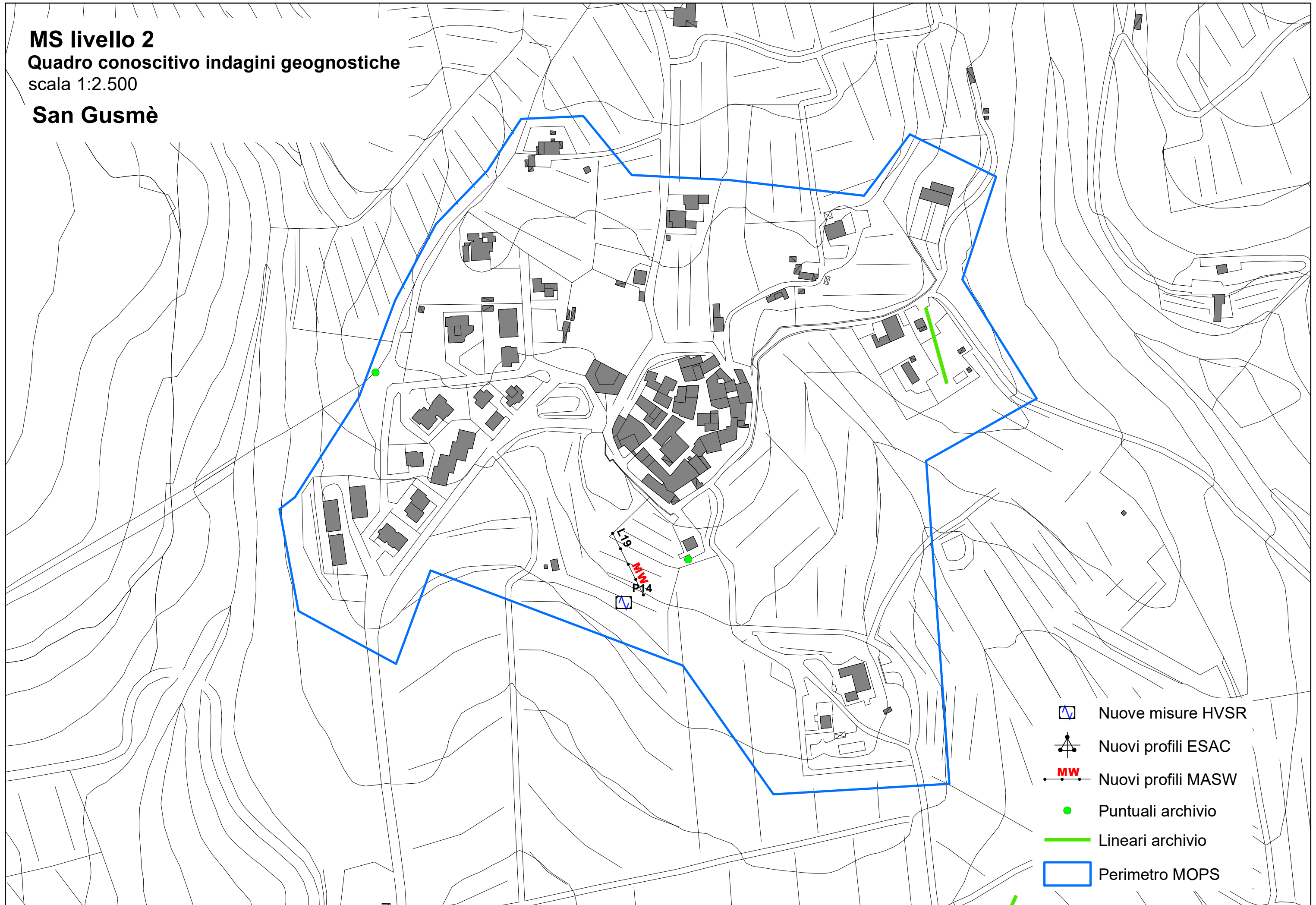
-  Nuove misure HVSR
-  Nuovi profili ESAC
-  Nuovi profili MASW
-  Puntuali archivio
-  Lineari archivio
-  Perimetro MOPS

MS livello 2

Quadro conoscitivo indagini geognostiche

scala 1:2.500

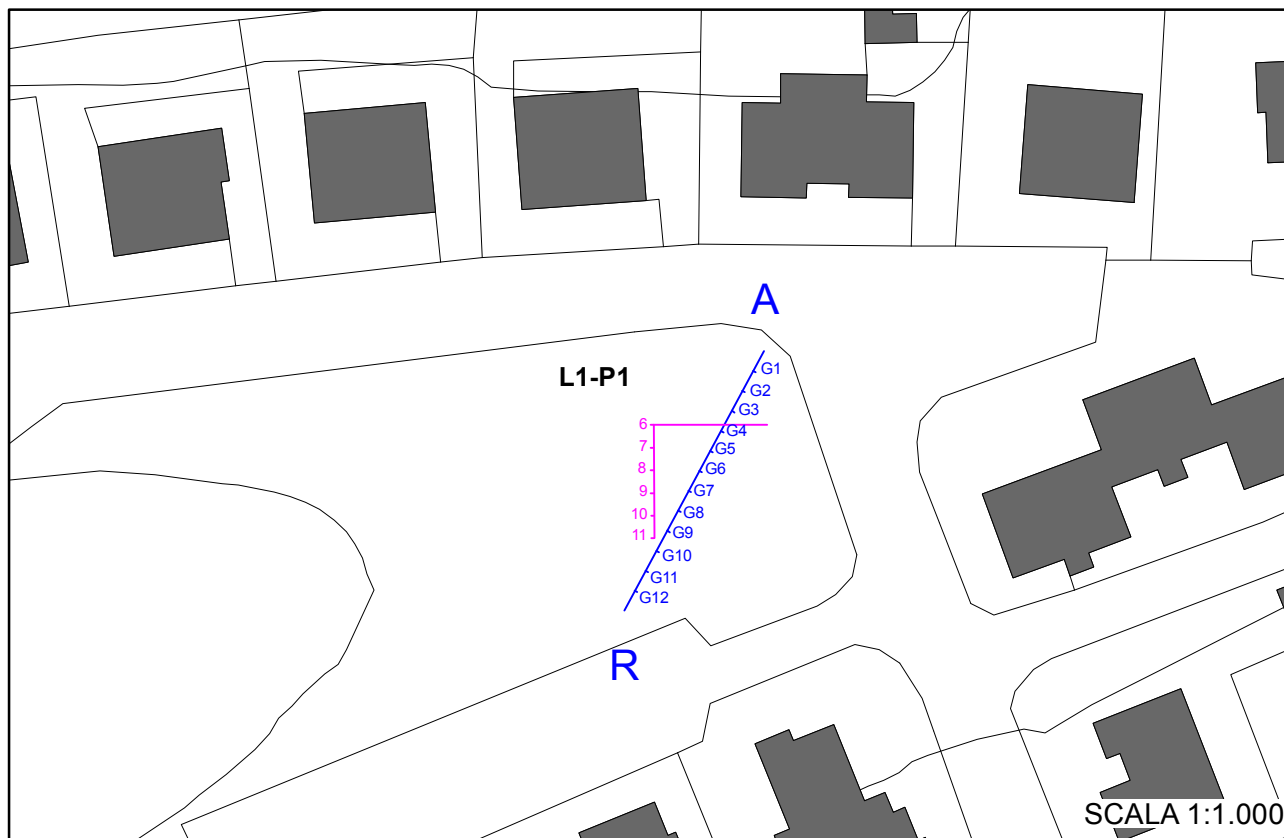
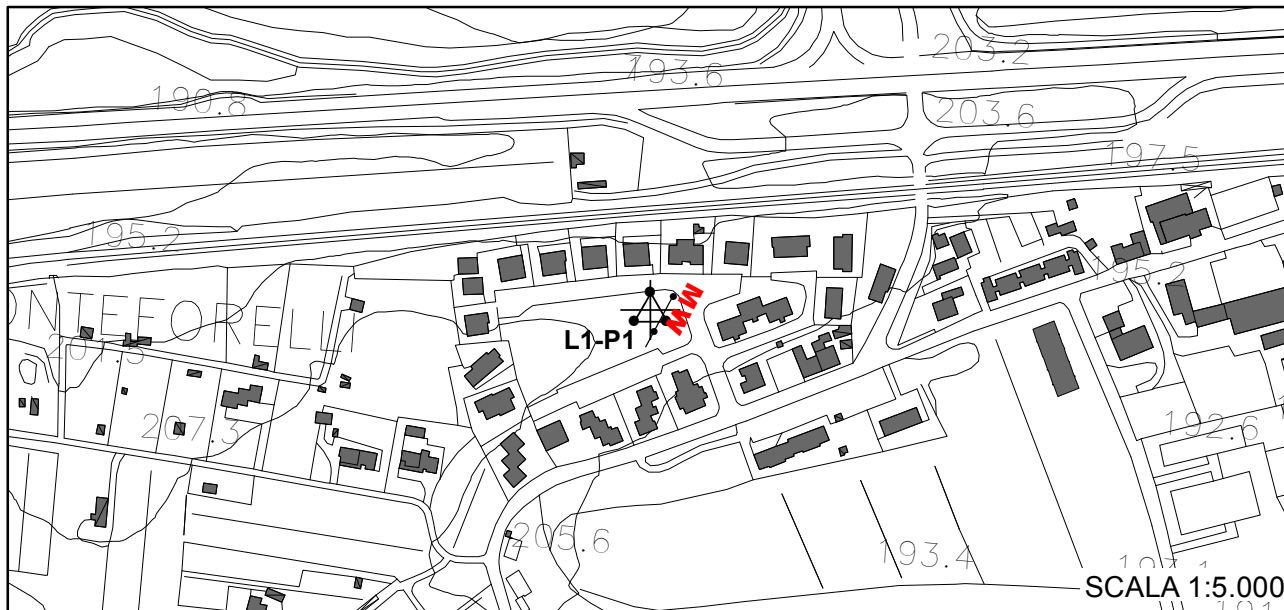
San Gusmè





Appendice 1

Prospezioni sismiche ESAC-MASW



STUDIO DI GEOLOGIA - Dott.Geol.Alberto Tomei
Dott.Geol.Nicolò Mantovani - Indagini geofisiche

COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA

MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW - ESAC

Indagine n°: L1 - P1

Località: Casetta
Data: 8 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

MW MASW
ESAC

MASW
ESAC

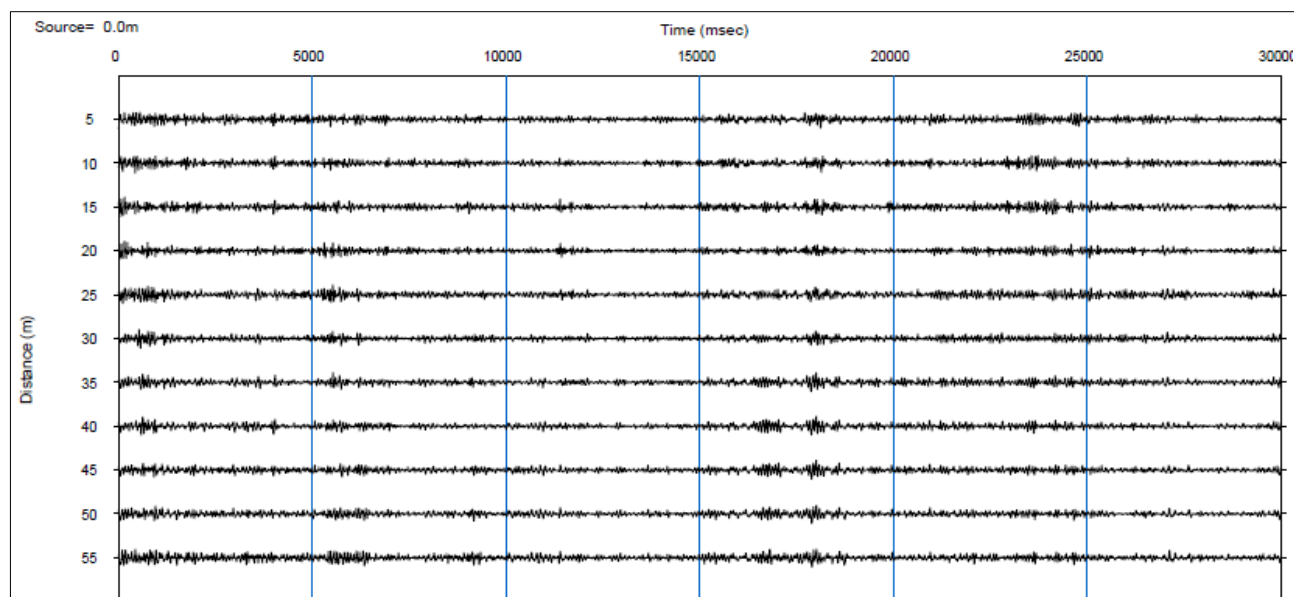
R
G12
G11
G10
G9
G8
G7
G6
G5
G4
G3
G2
G1
A

L XX lineari - P XXX puntuali

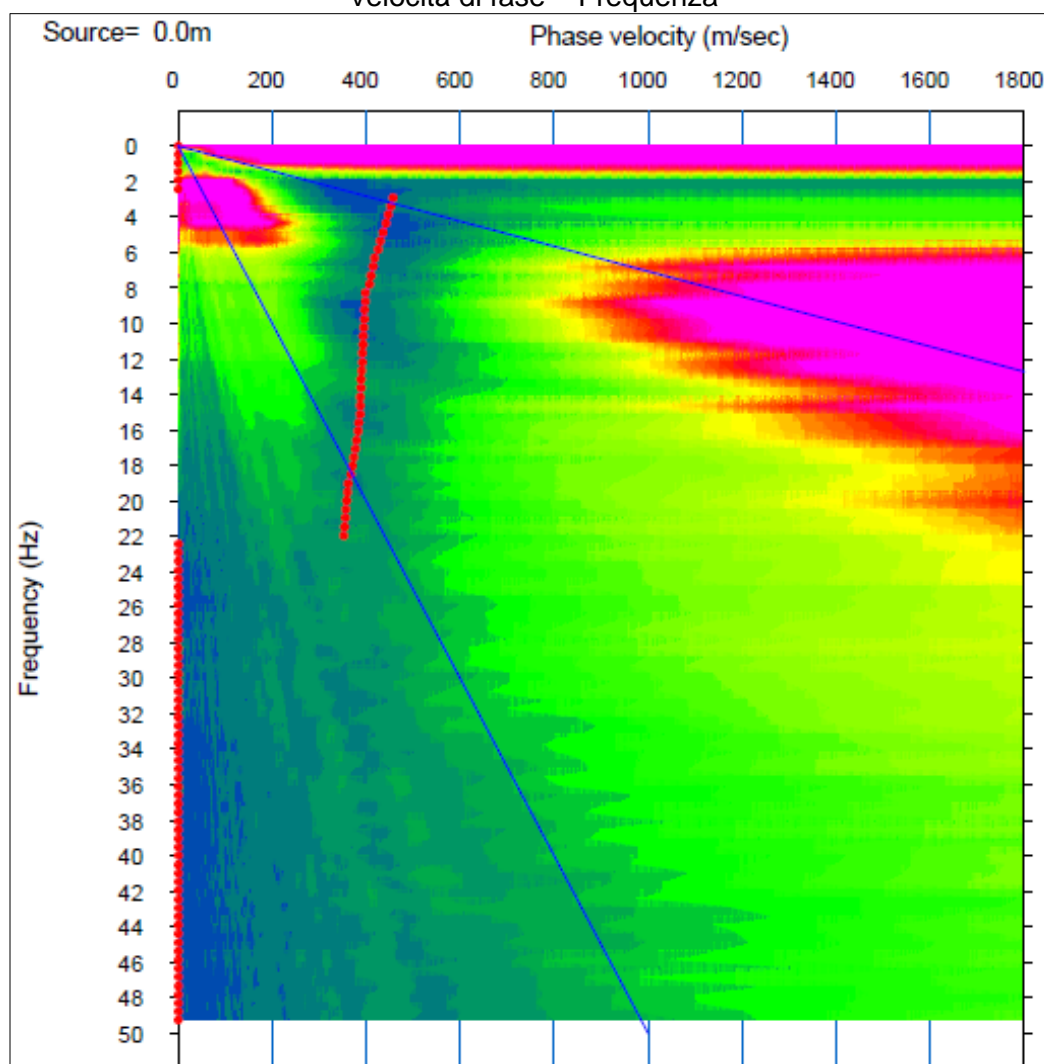
Profilo P1 - ESAC

Loc. Casetta – coord. WGS84-33N: 48.00788 , 21.0109

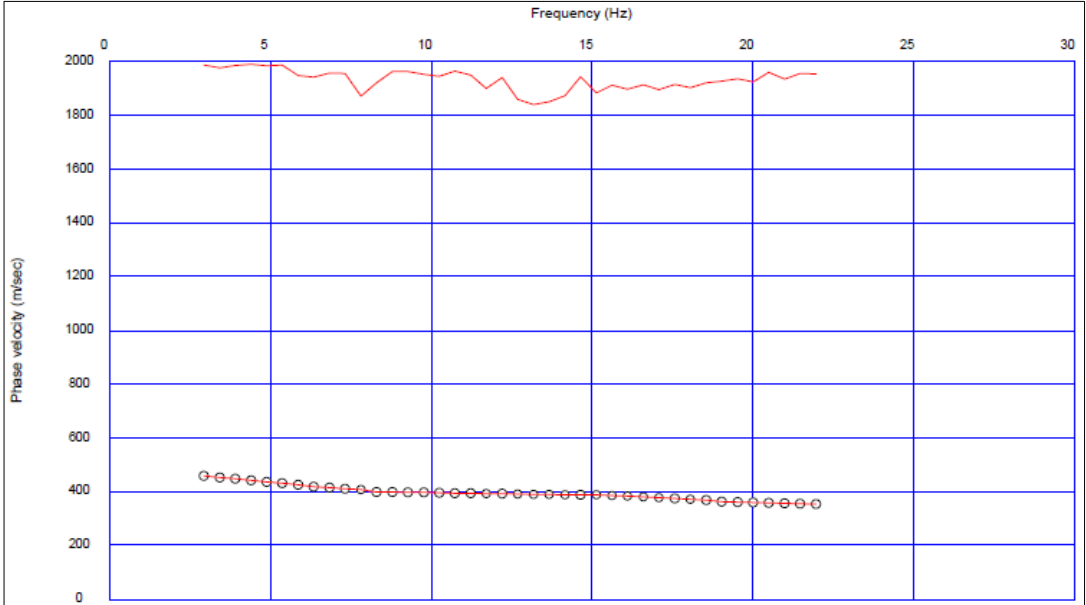
Time history



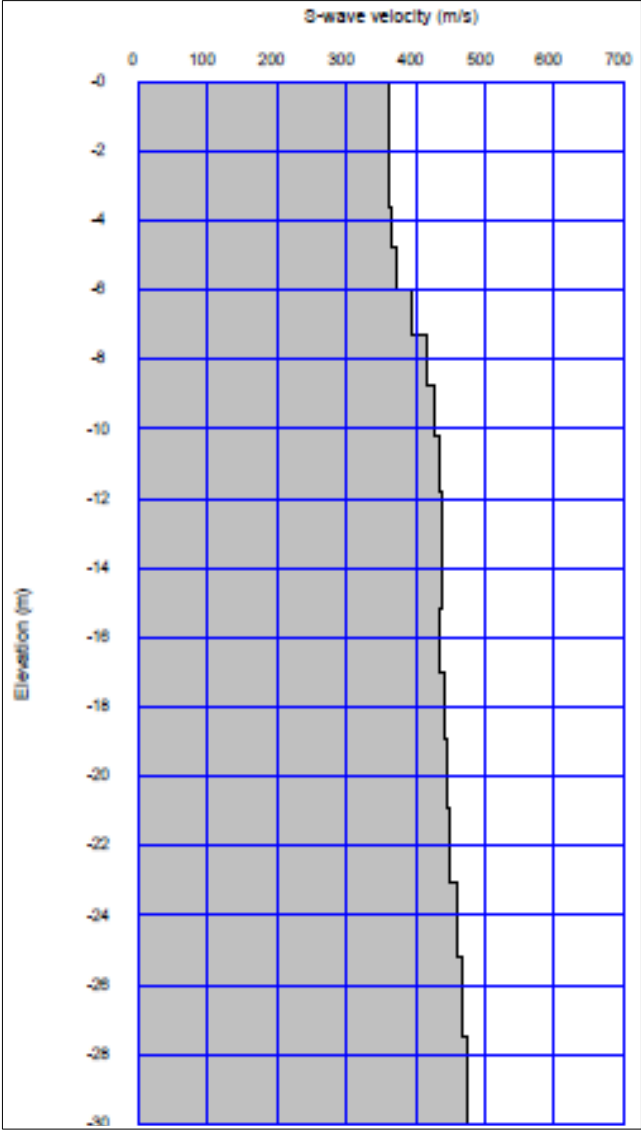
Velocità di fase – Frequenza



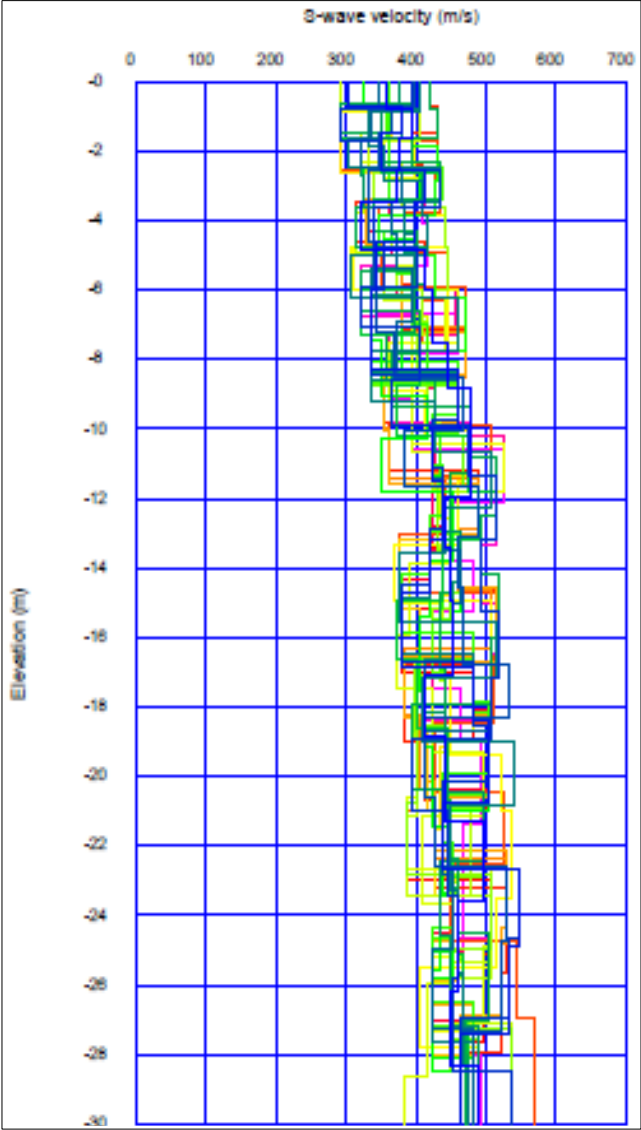
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



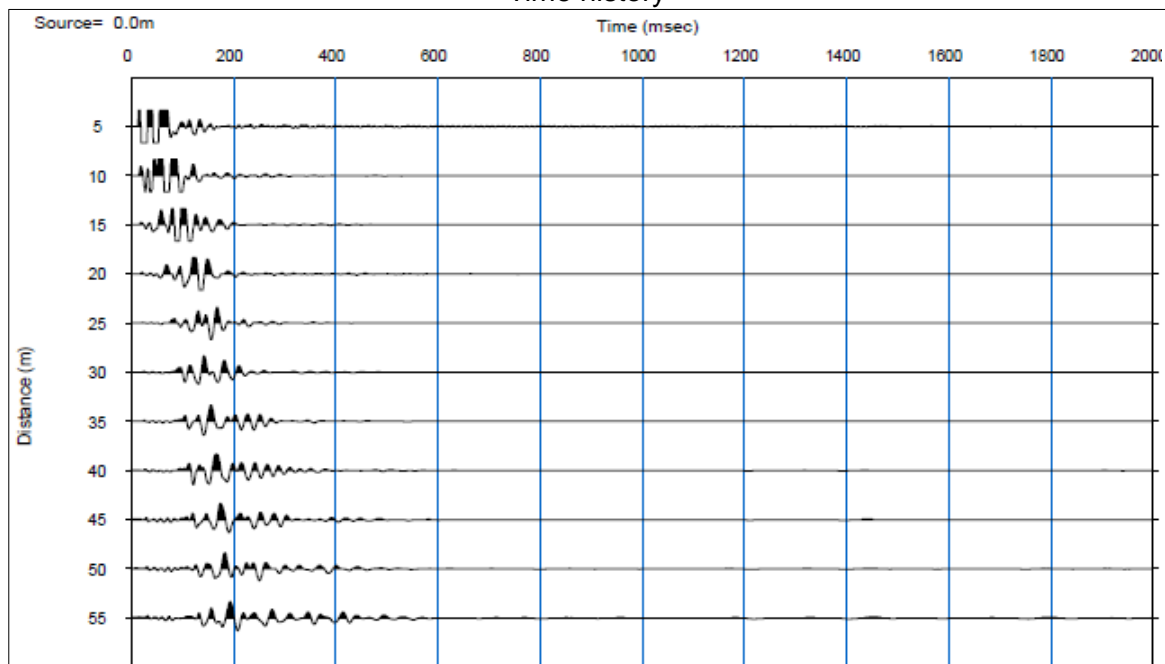
Modelli Equivalenti



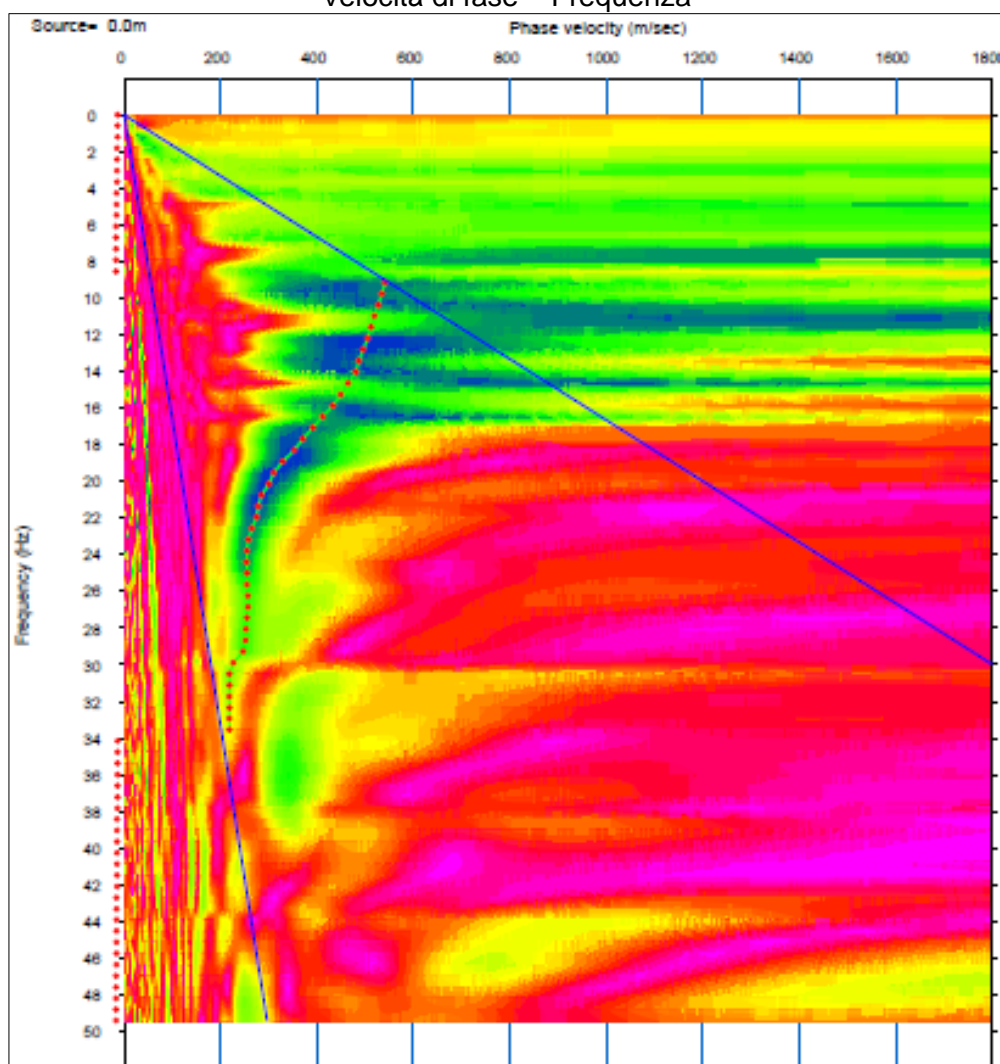
Profilo L1 - MASW

Loc. Casetta – coord. WGS84-33N: 48.00781, 21.0115

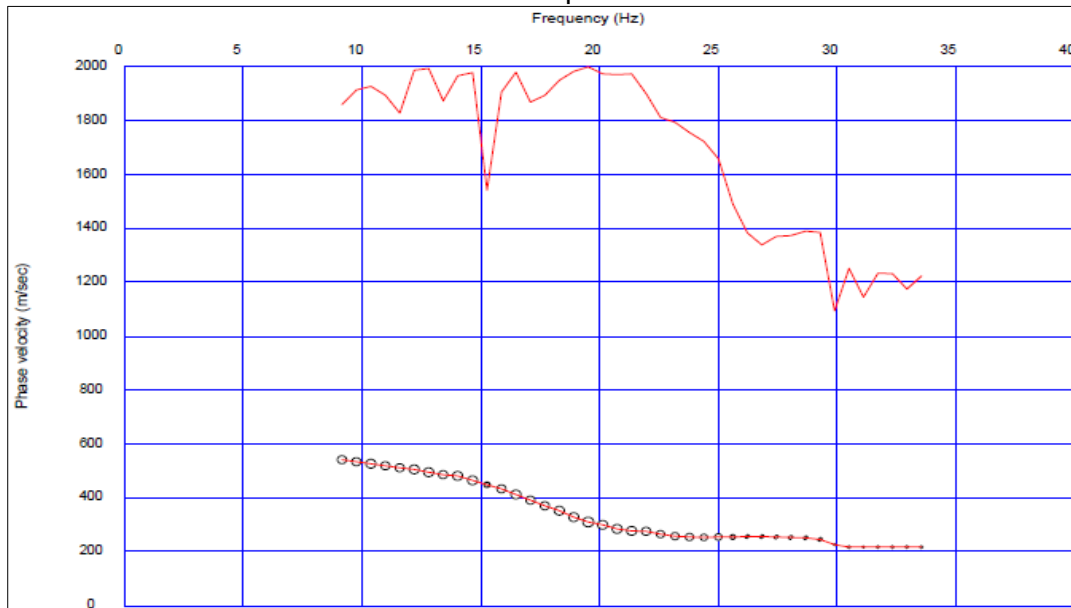
Time history



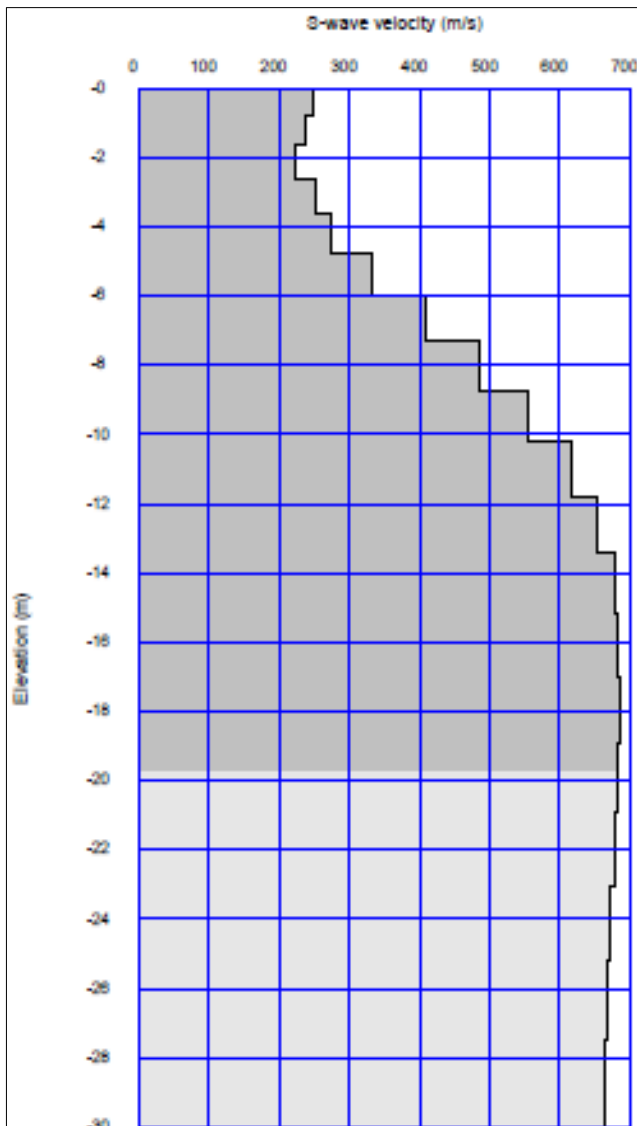
Velocità di fase – Frequenza



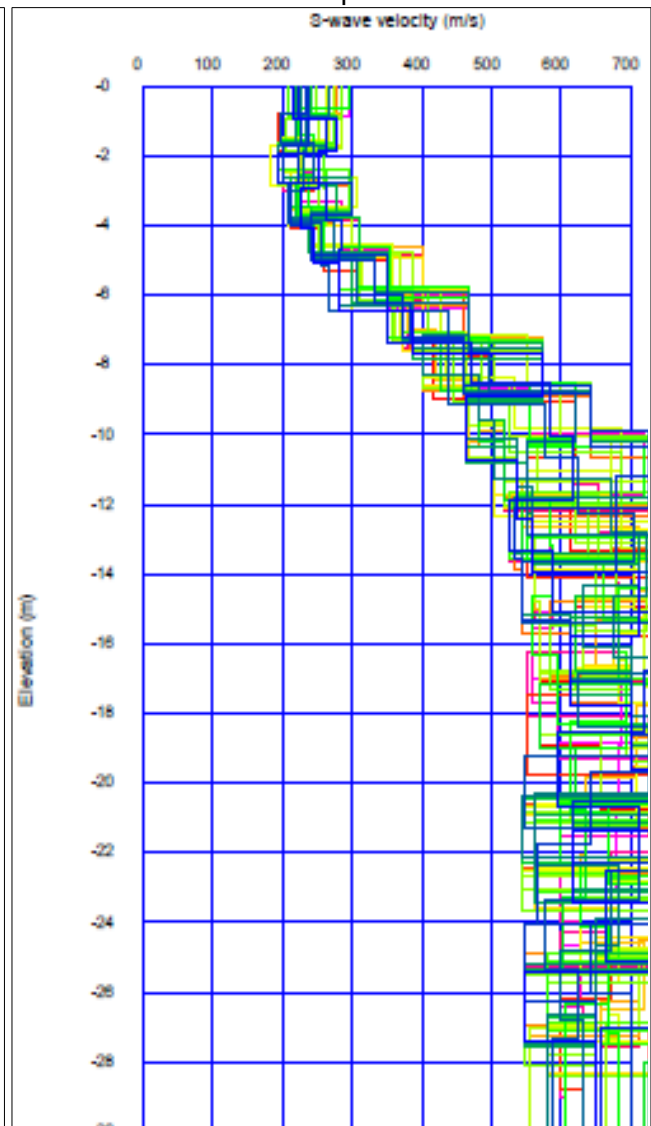
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



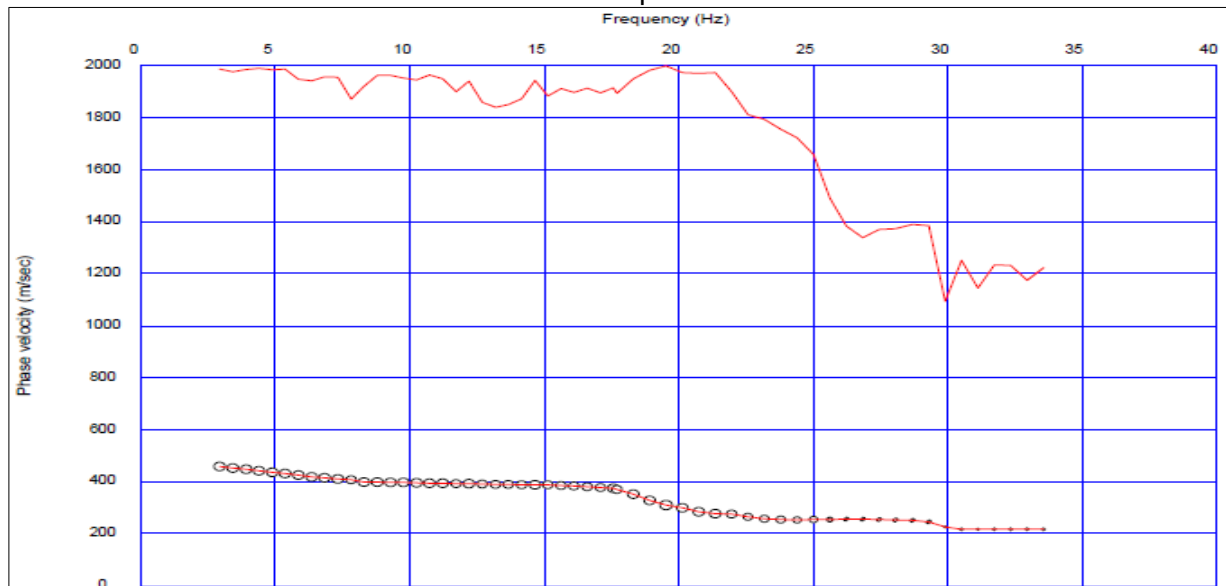
Modelli Equivalenti



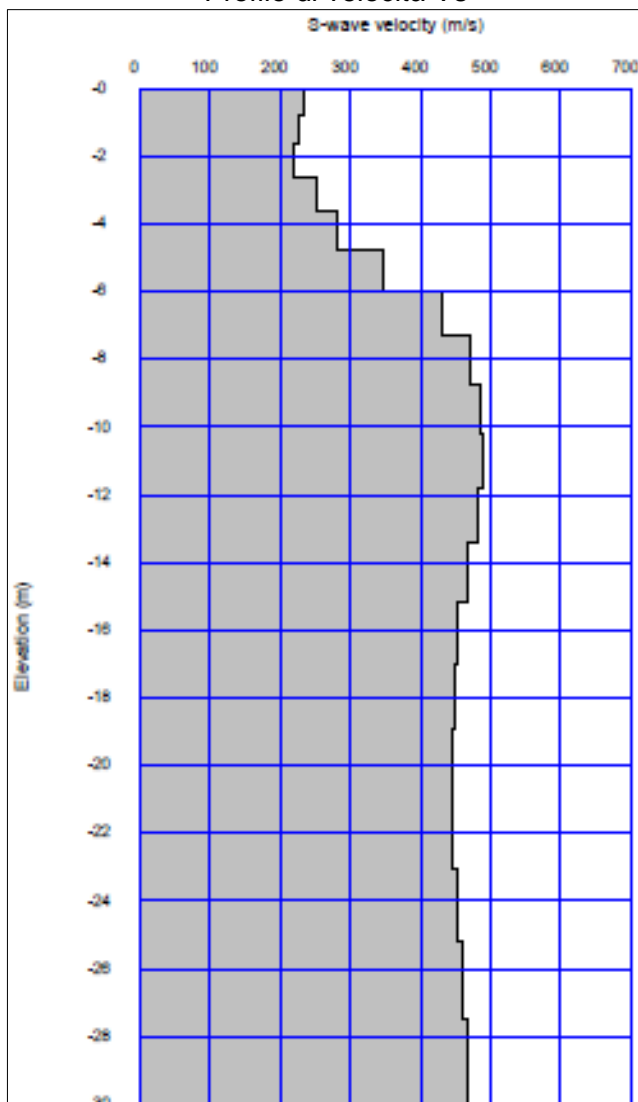
Profilo P1- L1 – ESAC/MASW

Loc. Casetta

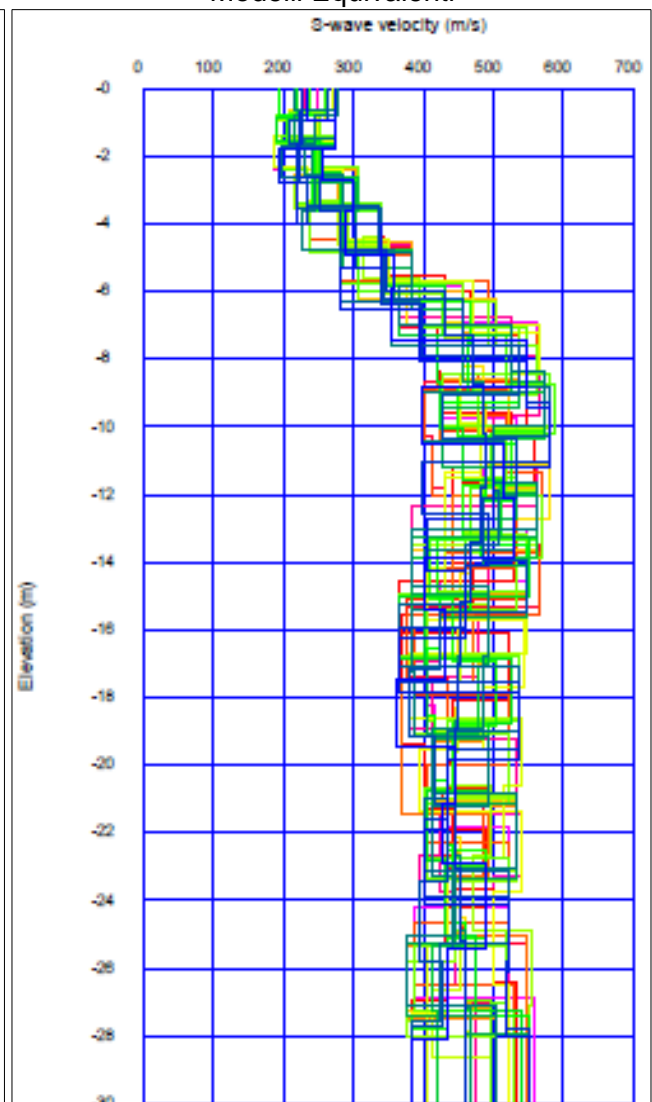
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



Modelli Equivalenti



ALLEGATO FOTOGRAFICO
ESAC



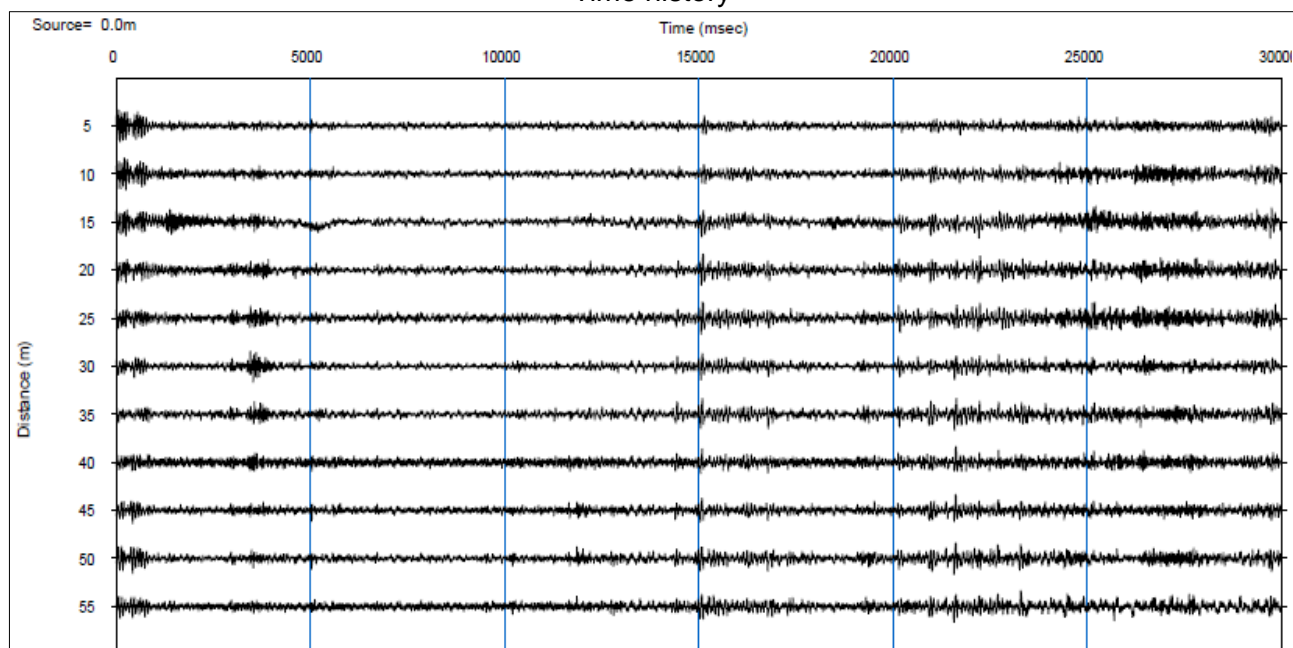
MASW



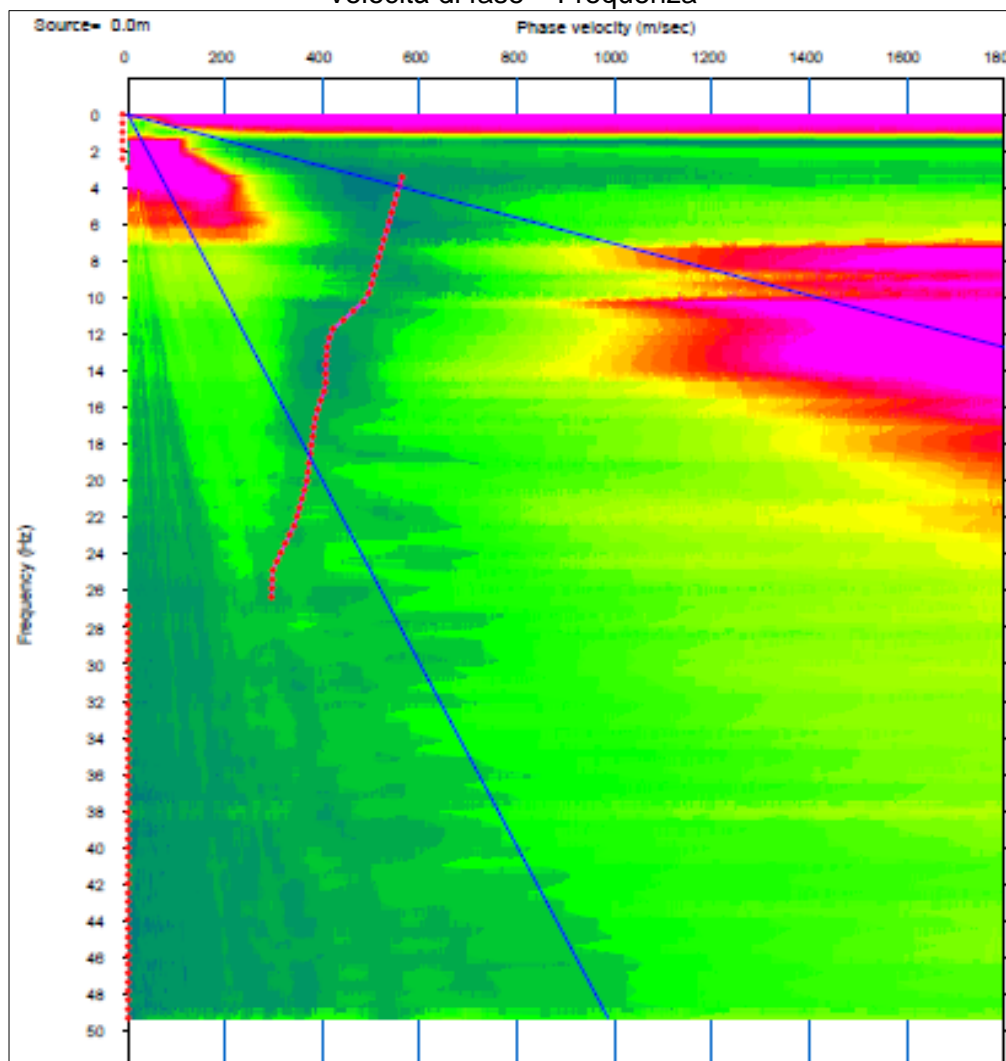
Profilo P2 - ESAC

Loc. Castelnuovo Berardenga – coord. WGS84-33N: 48.04992, 21.6044

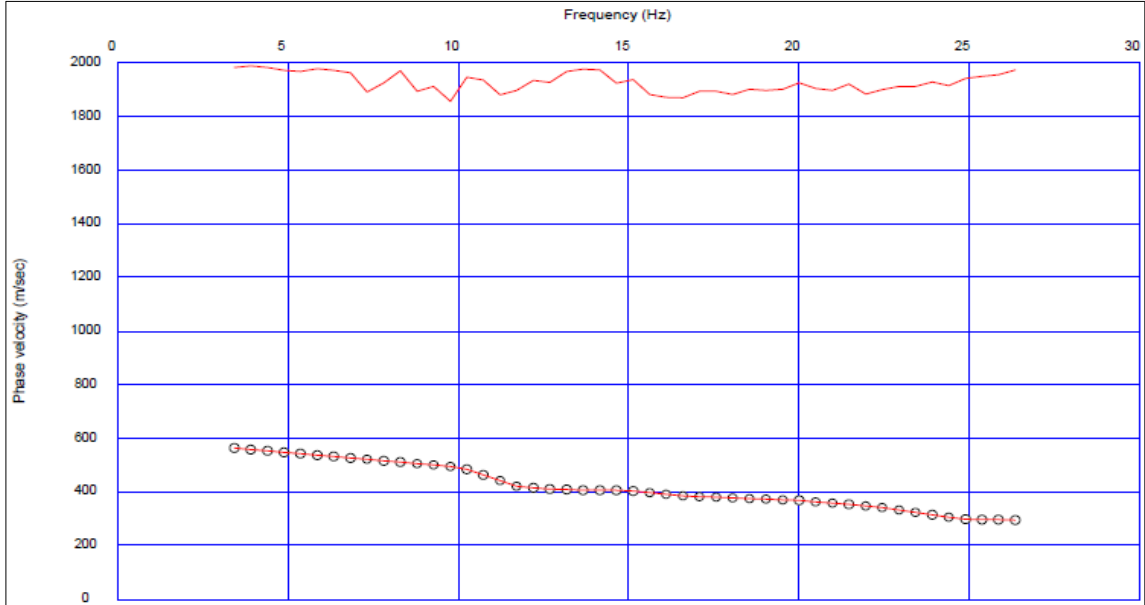
Time history



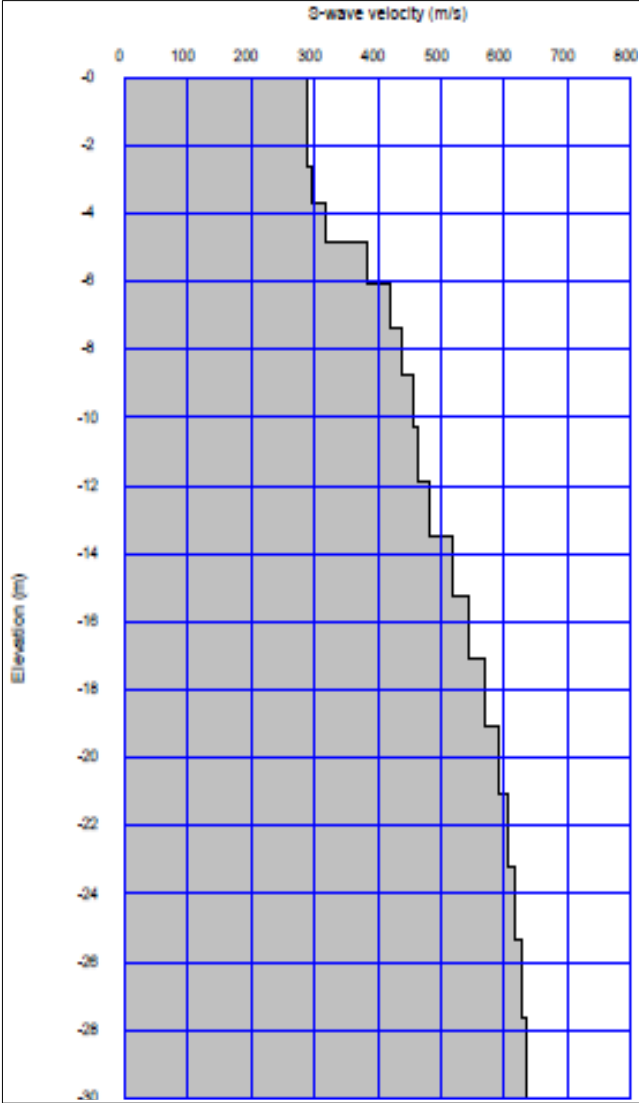
Velocità di fase – Frequenza



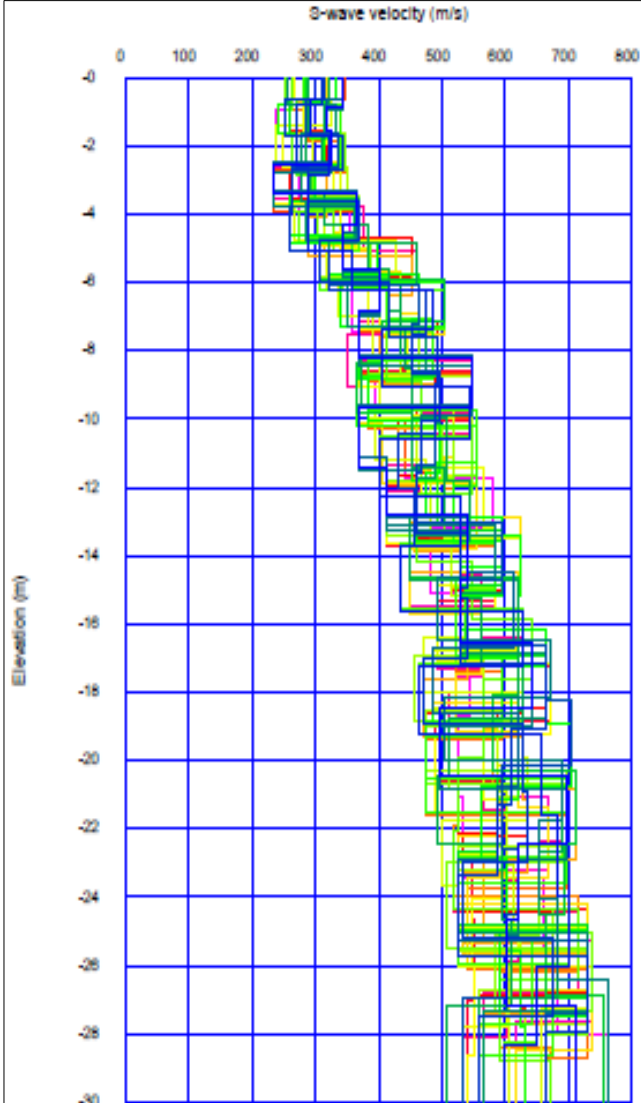
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



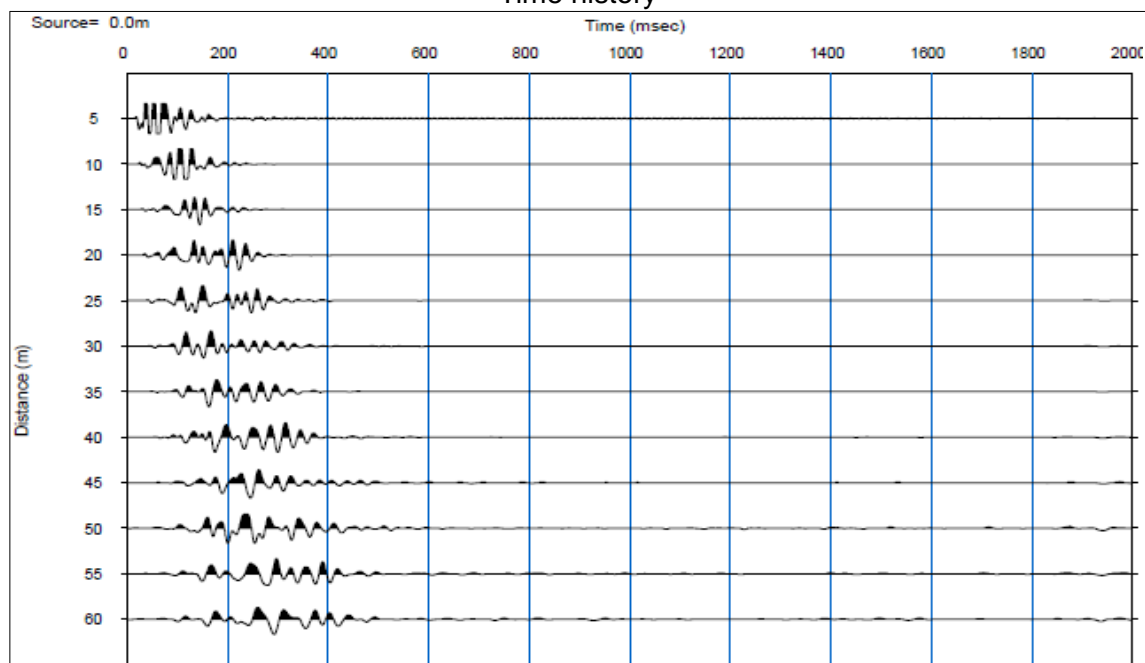
Modelli Equivalenti



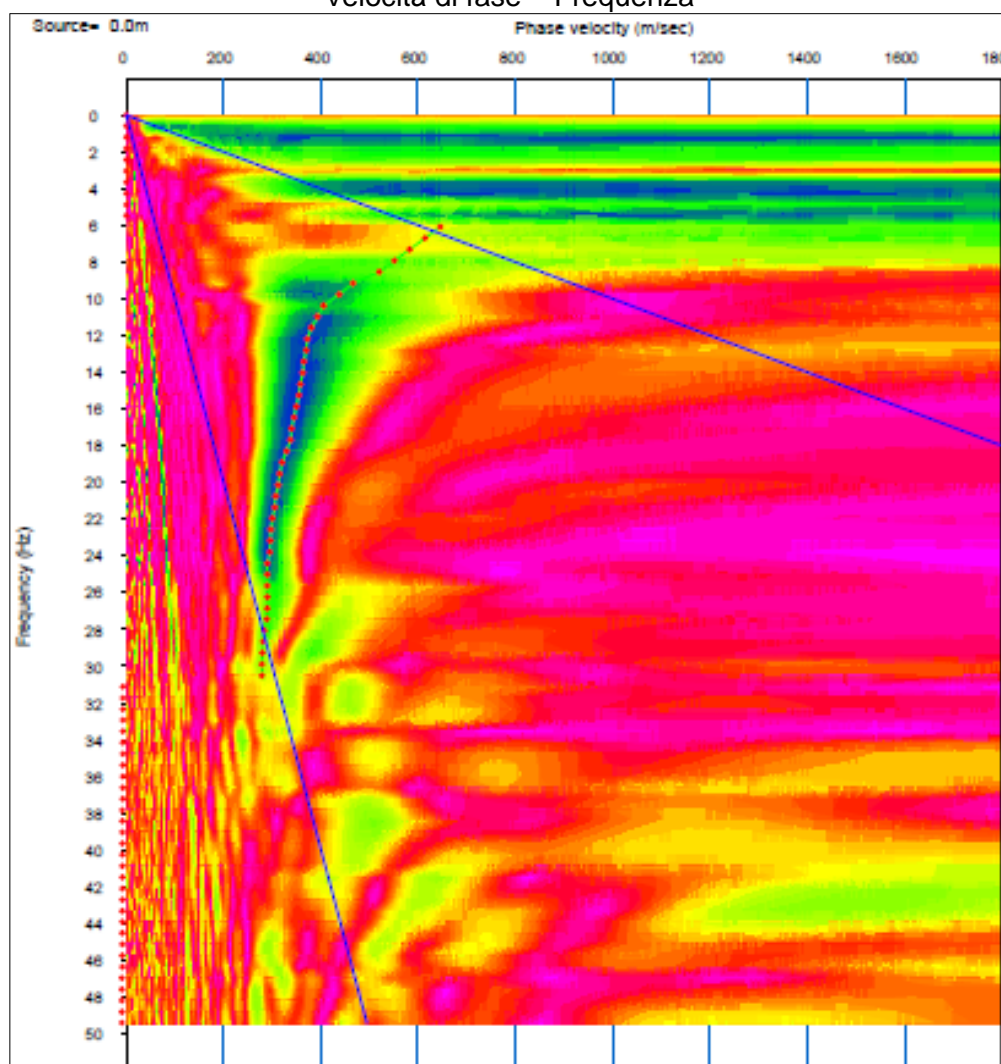
Profilo L2 - MASW

Loc. Castelnuovo Berardenga – coord. WGS84-33N: 48.04992, 21.6044

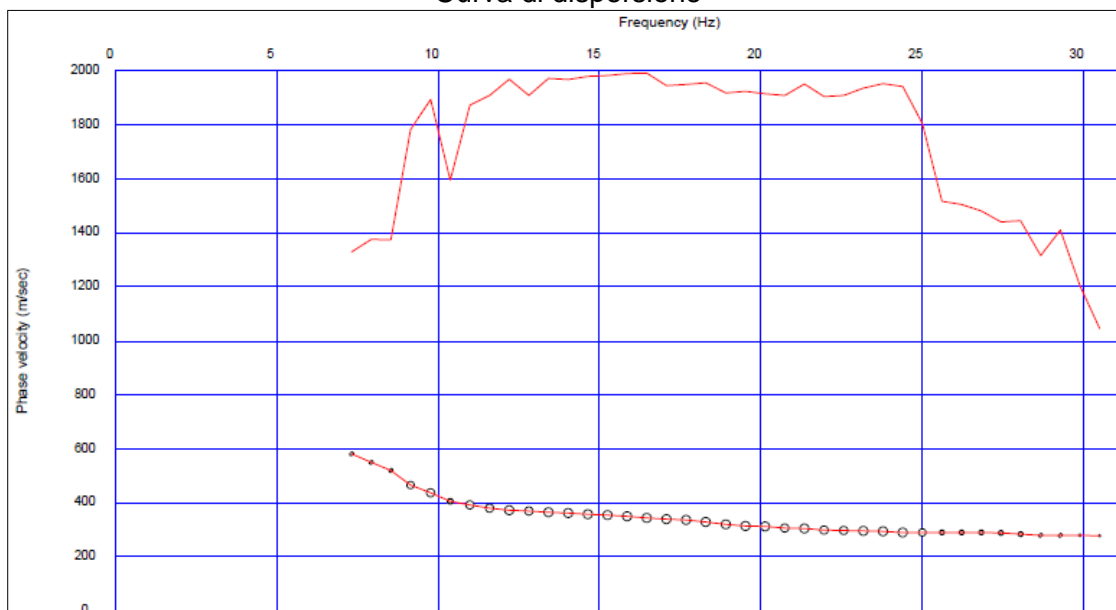
Time history



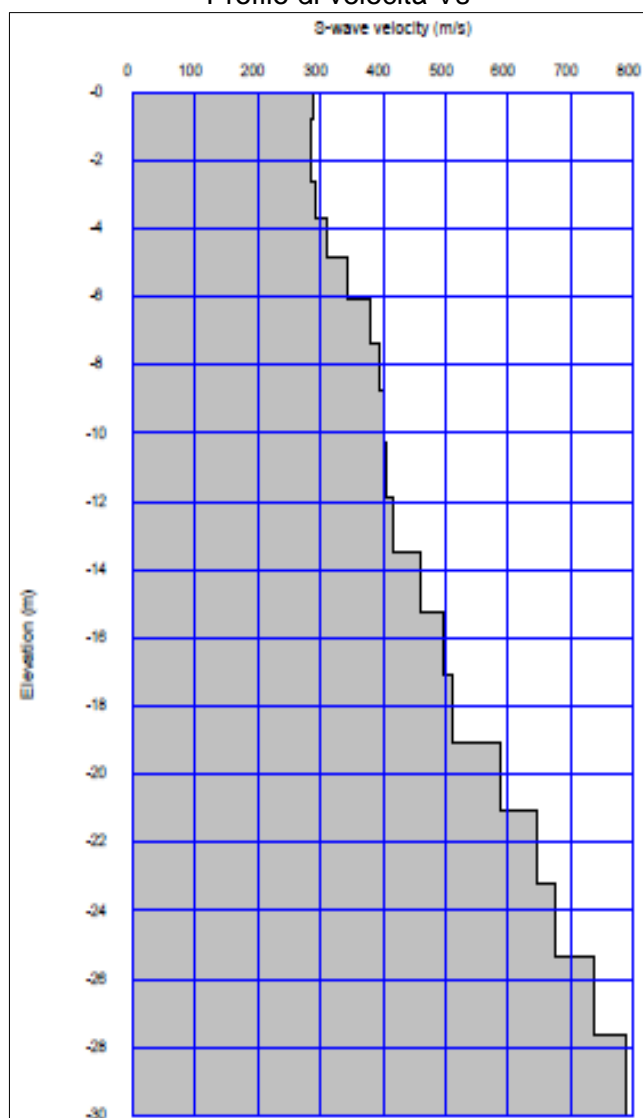
Velocità di fase – Frequenza



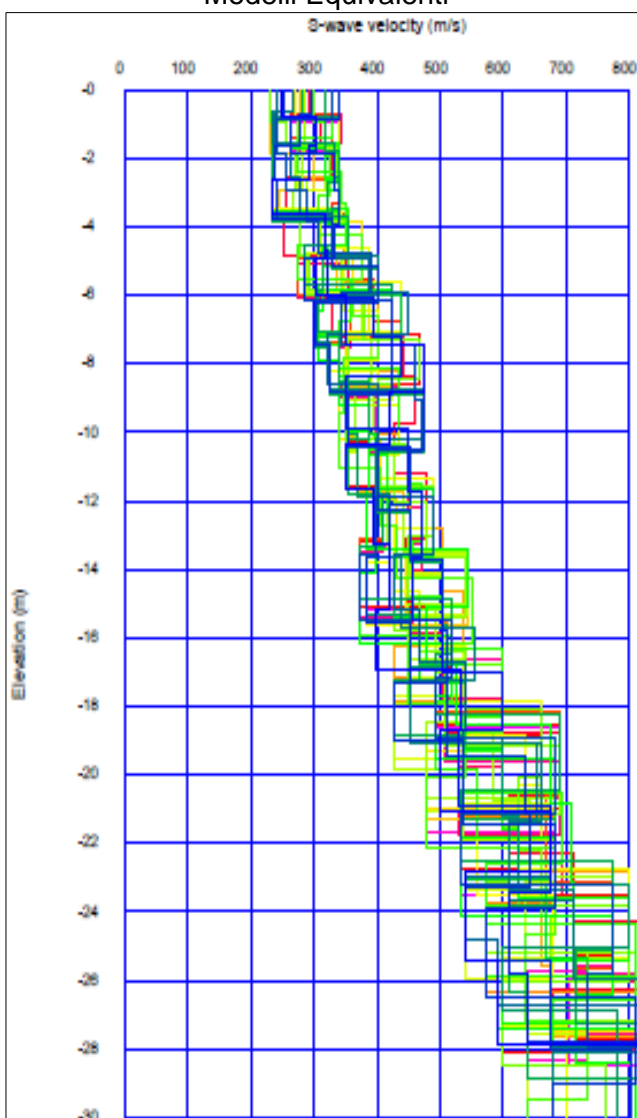
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



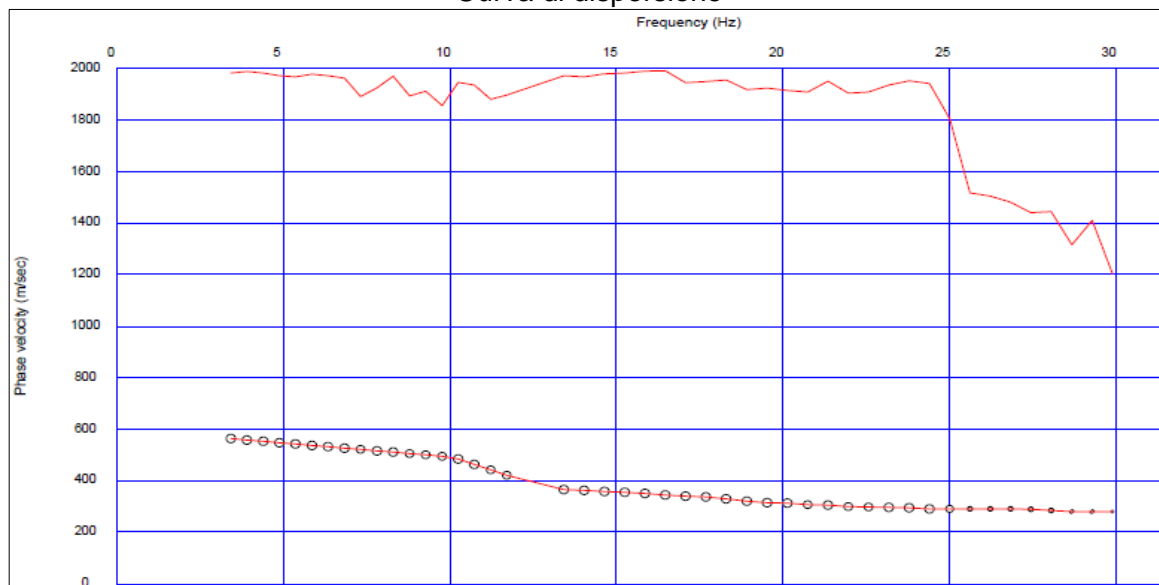
Modelli Equivalenti



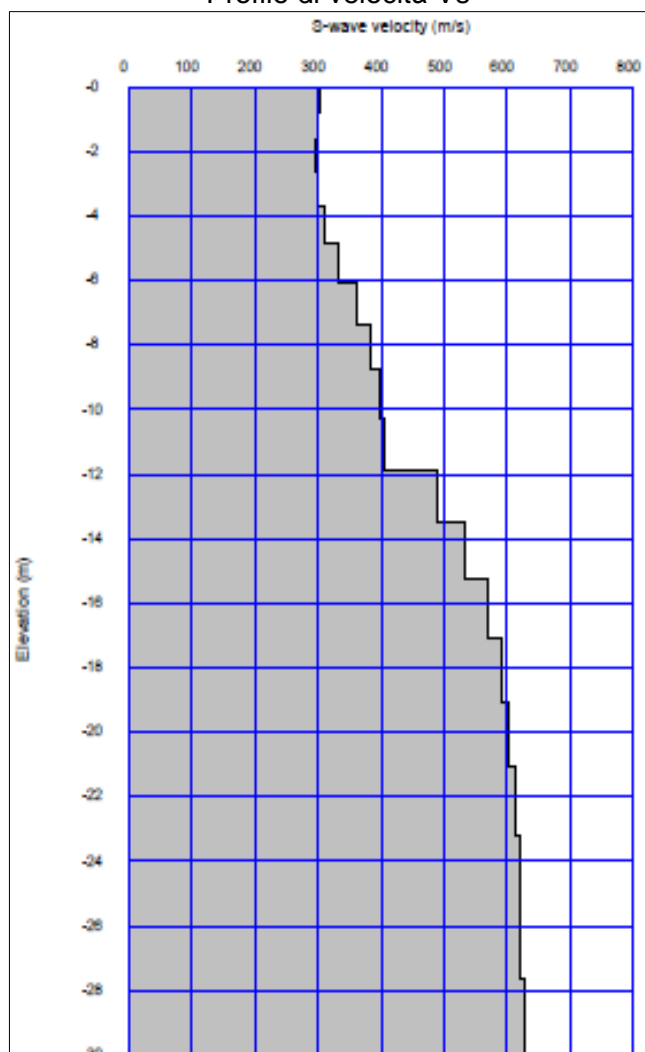
Profilo P2 - L2 – ESAC/MASW

Loc. Castelnuovo Berardenga

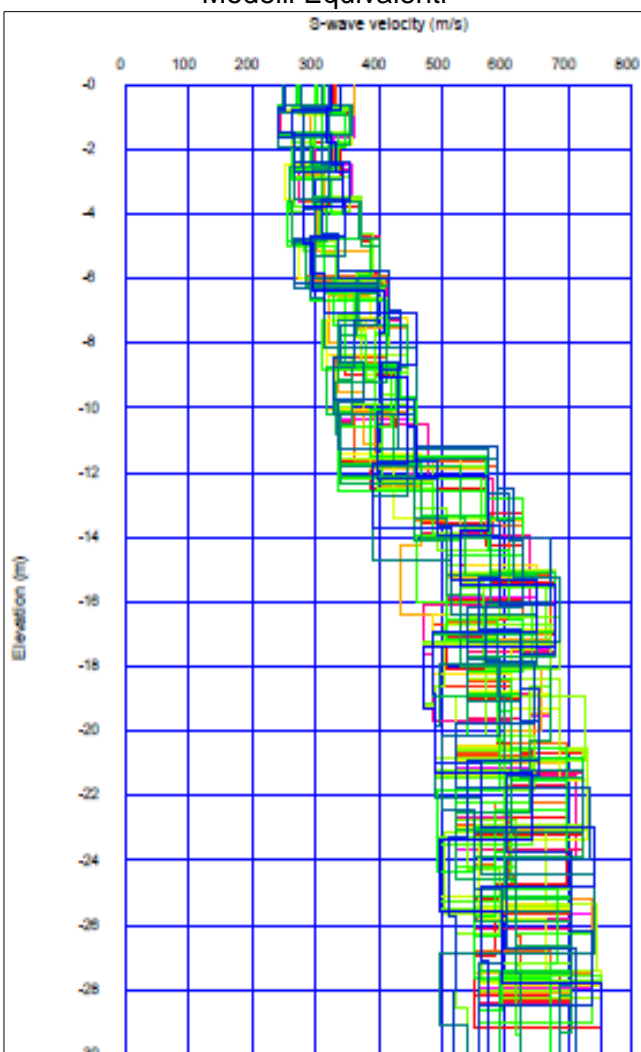
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



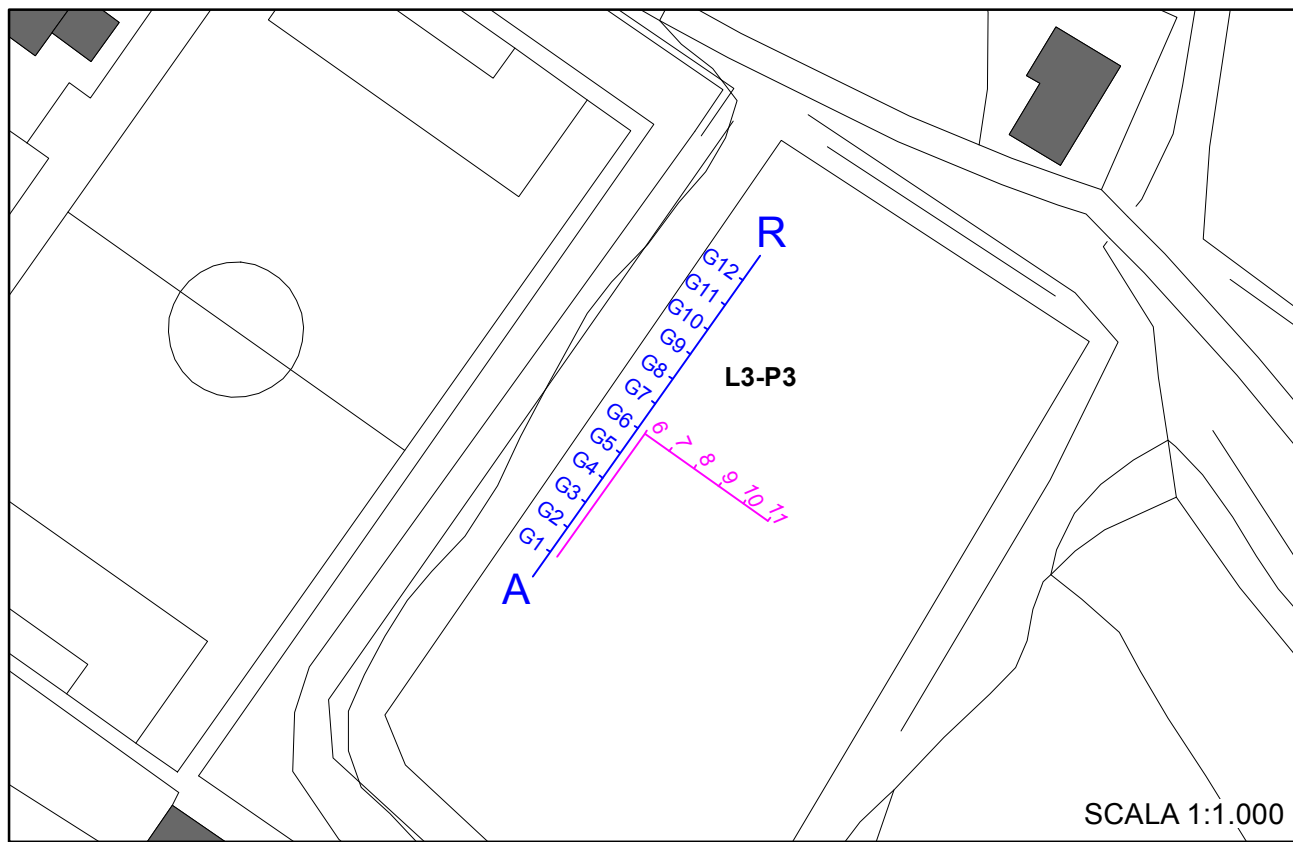
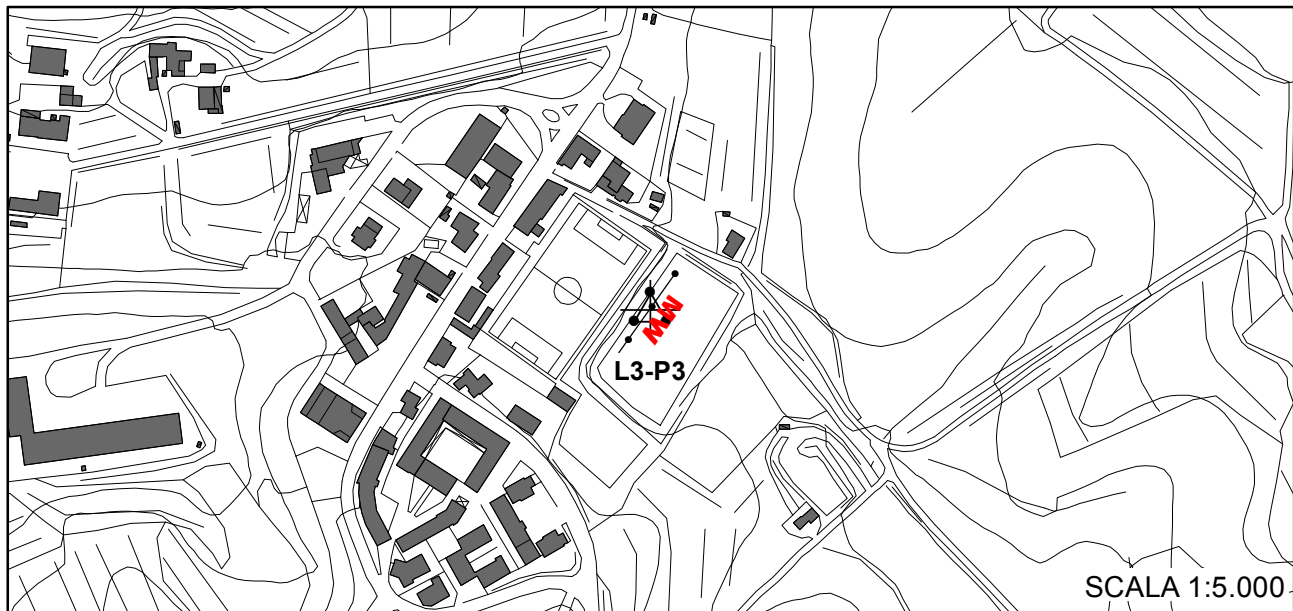
Modelli Equivalenti



ALLEGATO FOTOGRAFICO
ESAC



MASW



COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW - ESAC

Indagine n°: L3 - P3

Località: Castelnuovo Berardenga

Data: 8 Giugno 2022

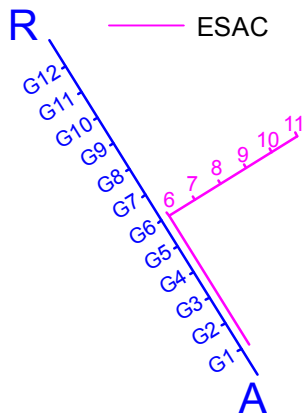
LEGENDA

Tipologia prova

MW MASW

ESAC

MASW
ESAC

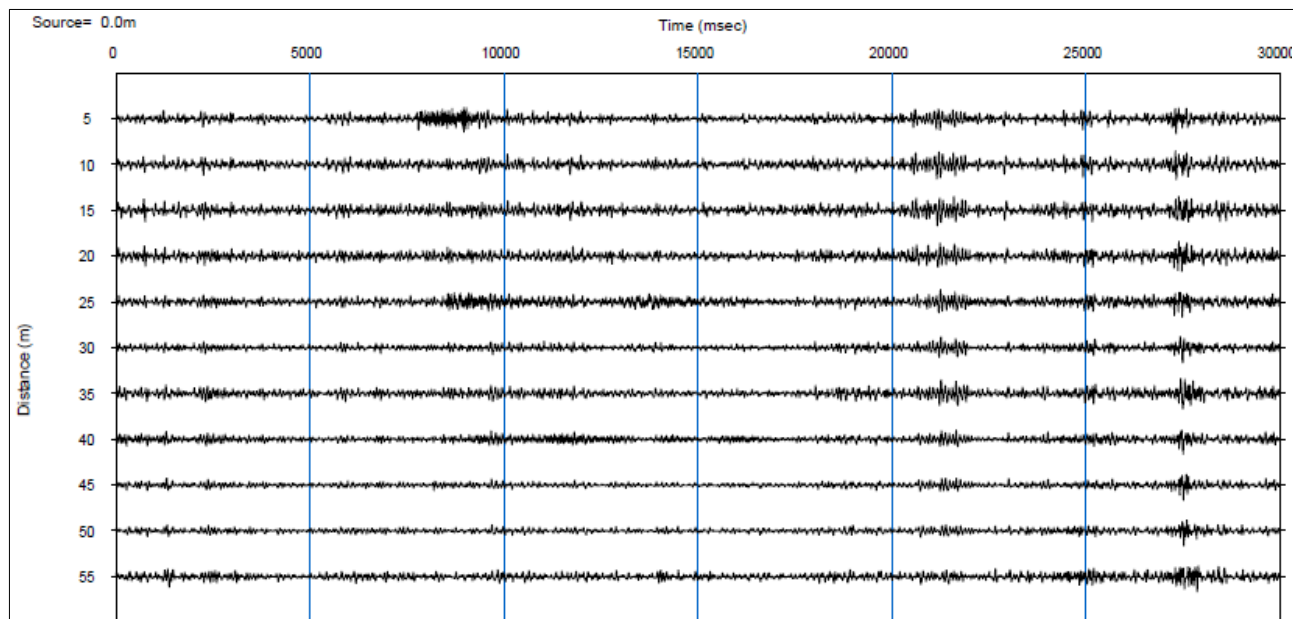


L XX lineari - P XXX puntuali

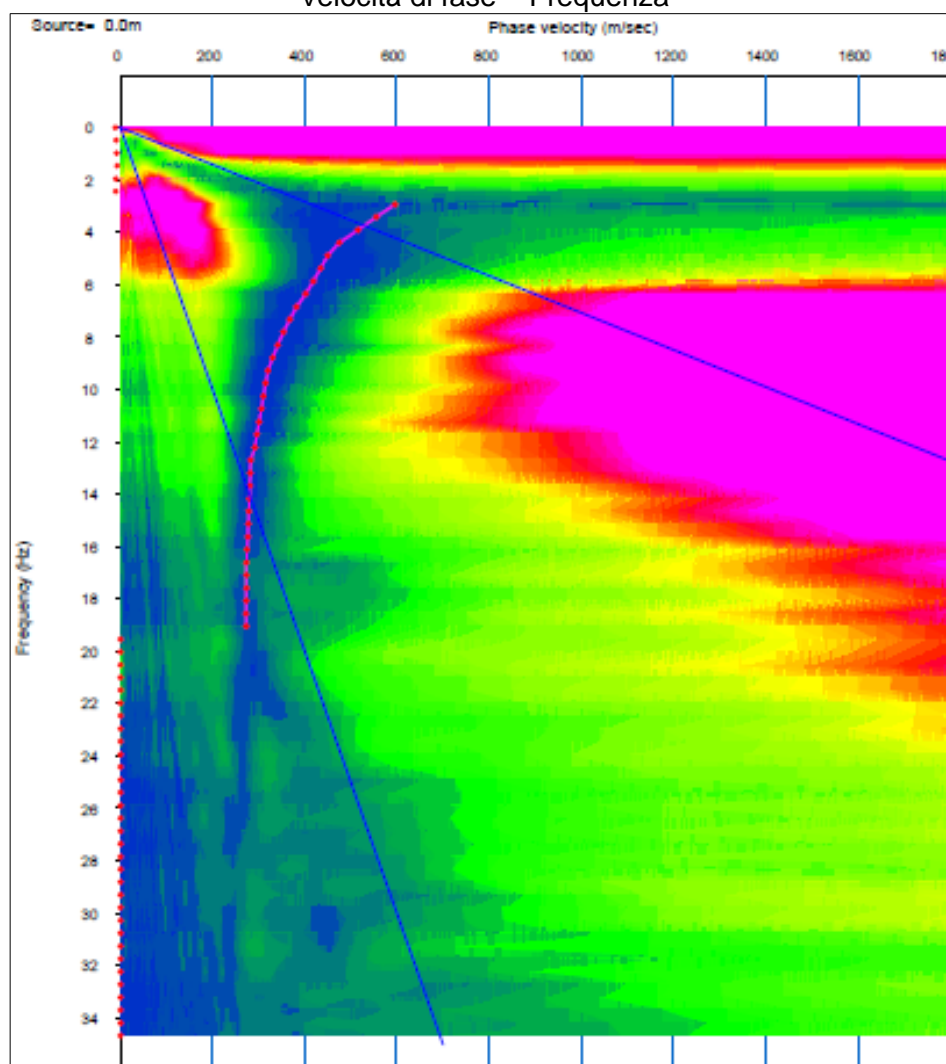
Profilo P3 - ESAC

Loc. Castelnuovo Berardenga – coord. WGS84-33N: 48.05476, 21.6811

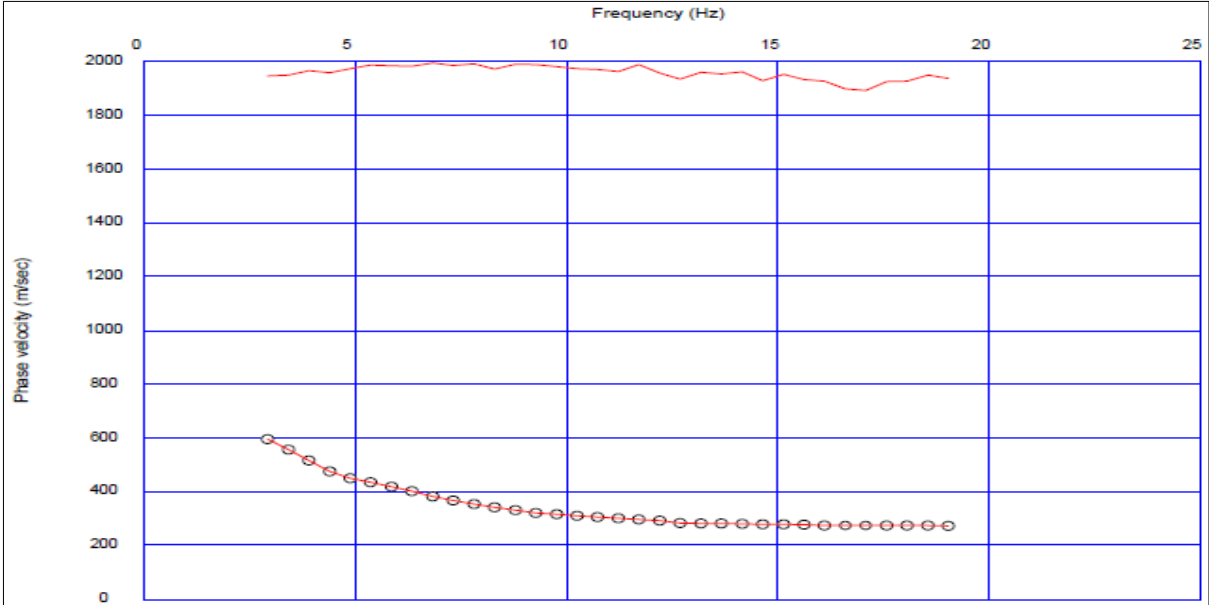
Time history



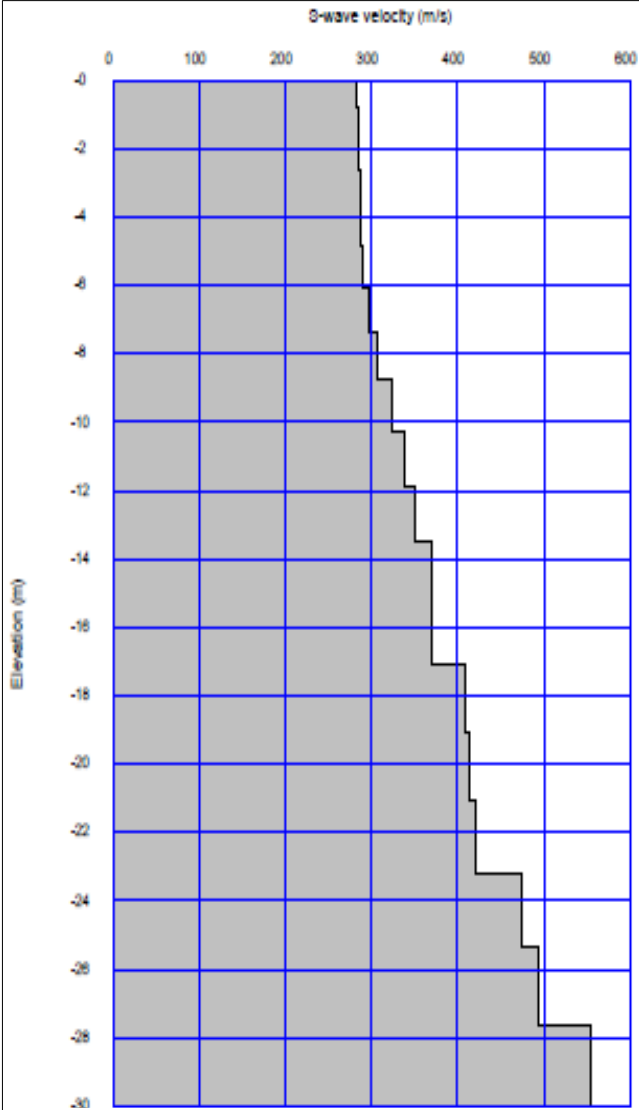
Velocità di fase – Frequenza



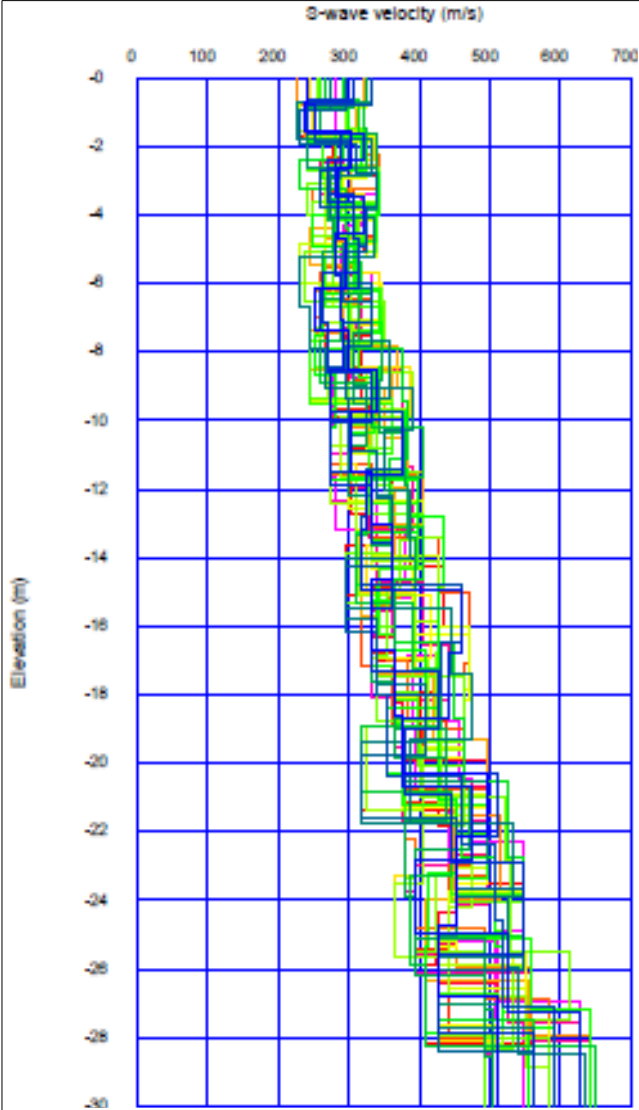
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



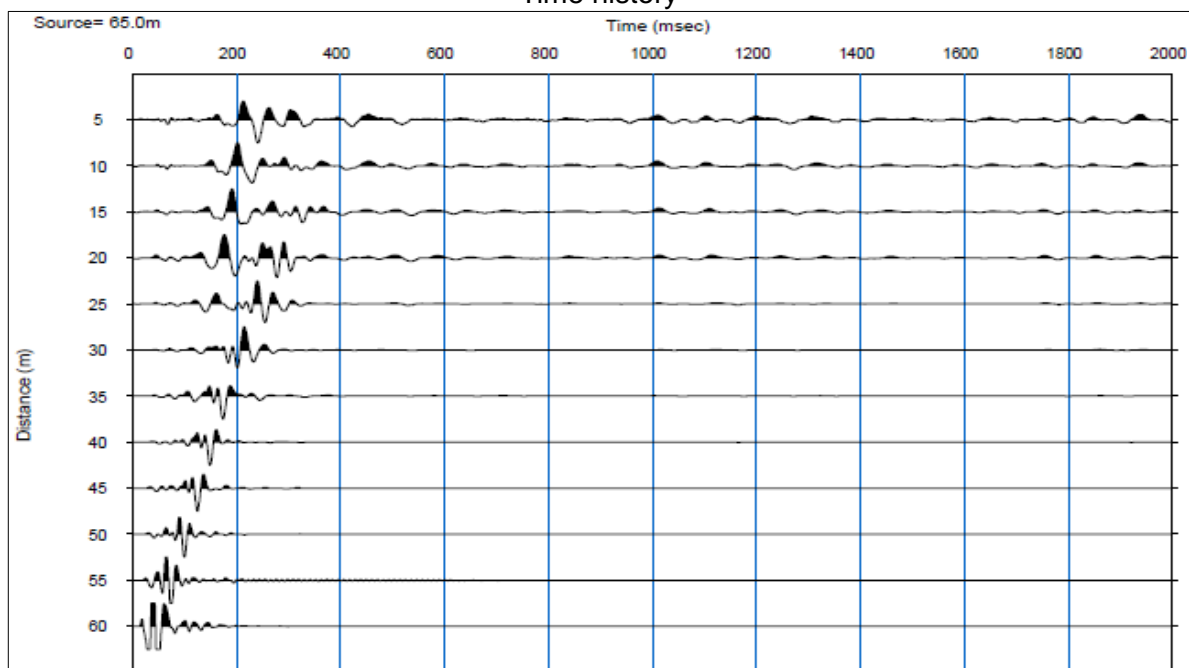
Modelli Equivalenti



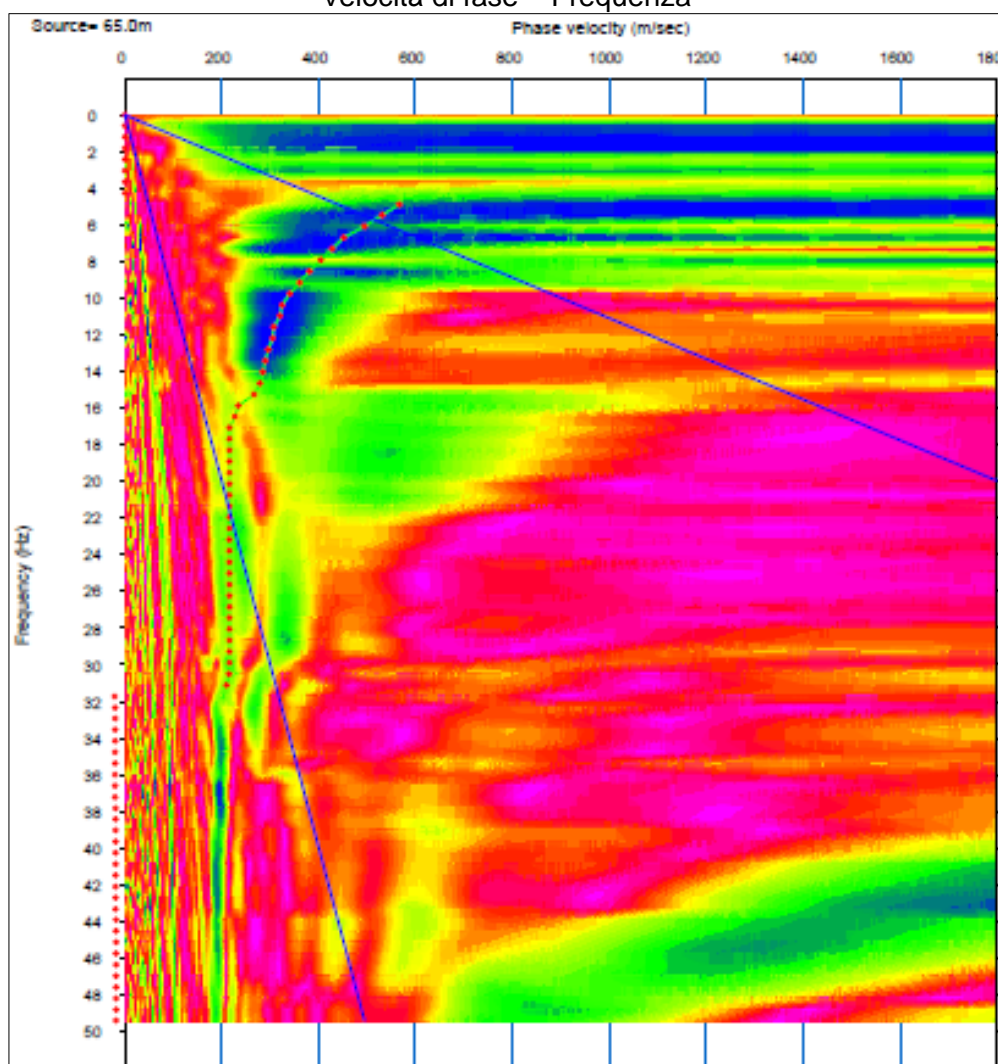
Profilo L3 - MASW

Loc. Castelnuovo Berardenga – coord. WGS84-33N: 48.05476, 21.6811

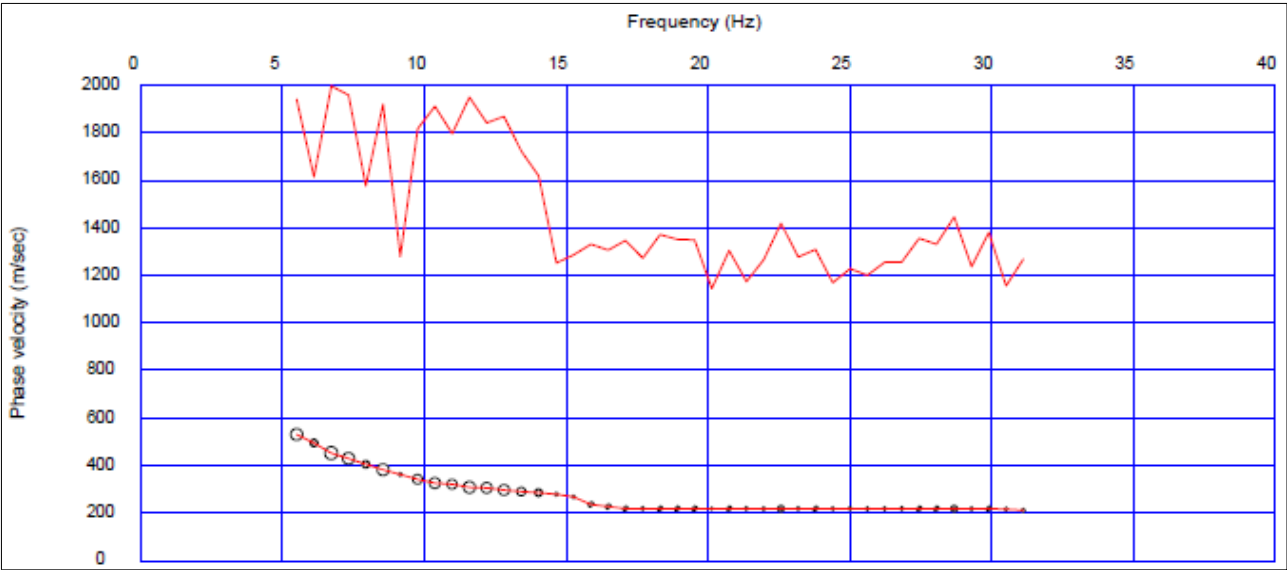
Time history



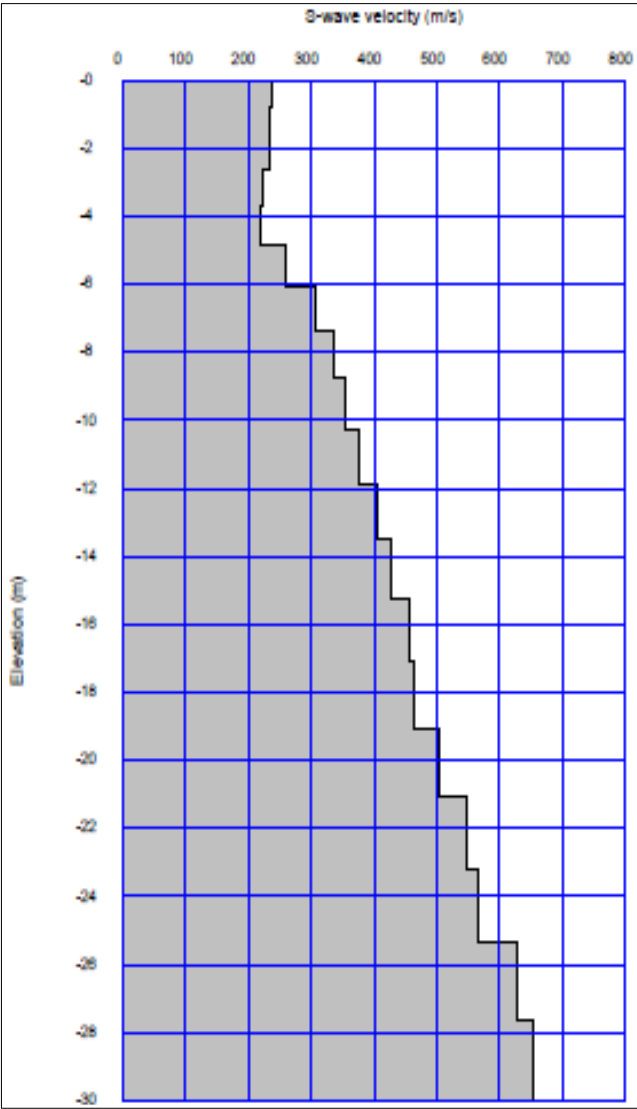
Velocità di fase – Frequenza



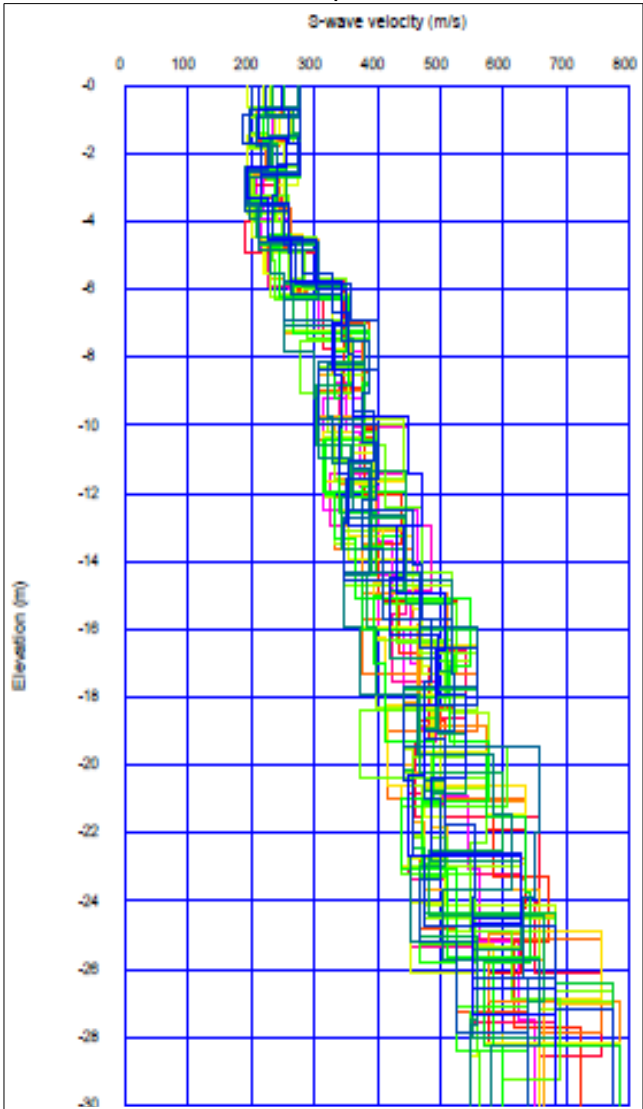
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



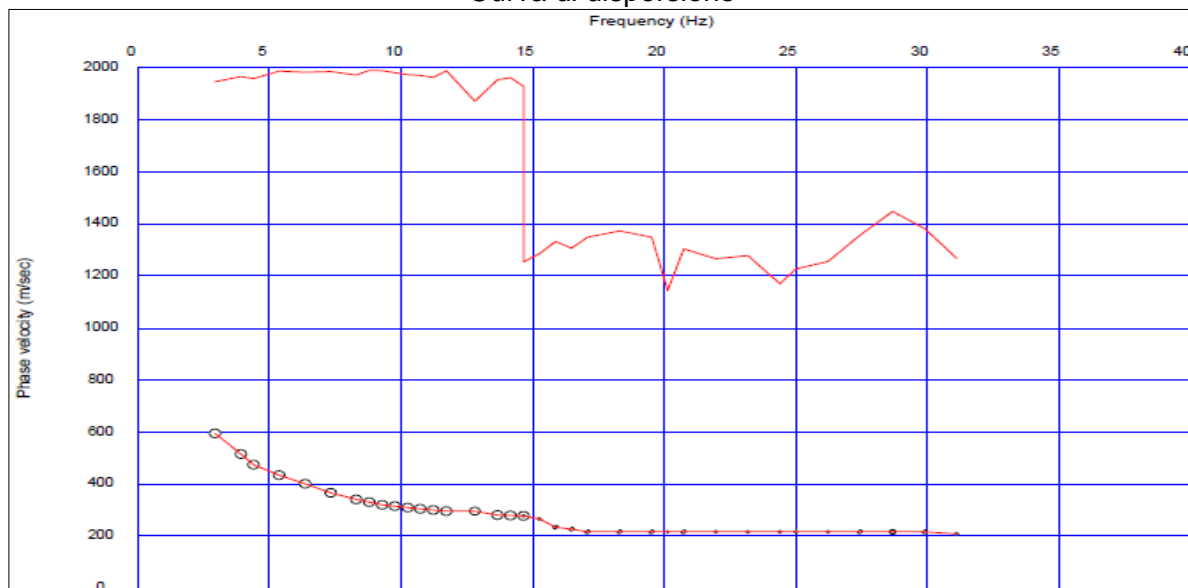
Modelli Equivalenti



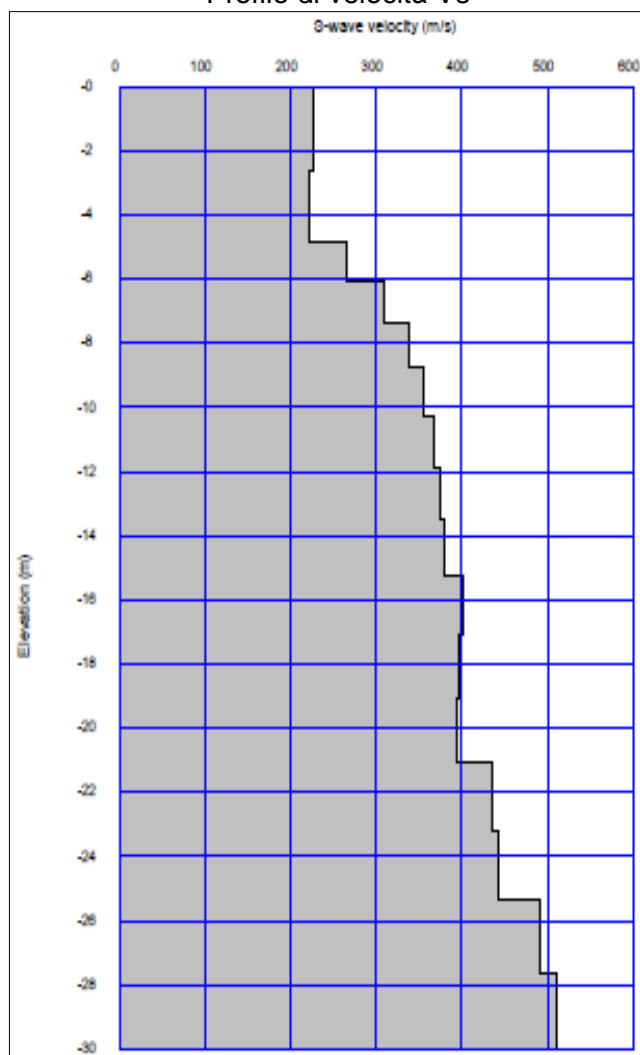
Profilo P3 - L3 – ESAC/MASW

Loc. Castelnuovo Berardenga

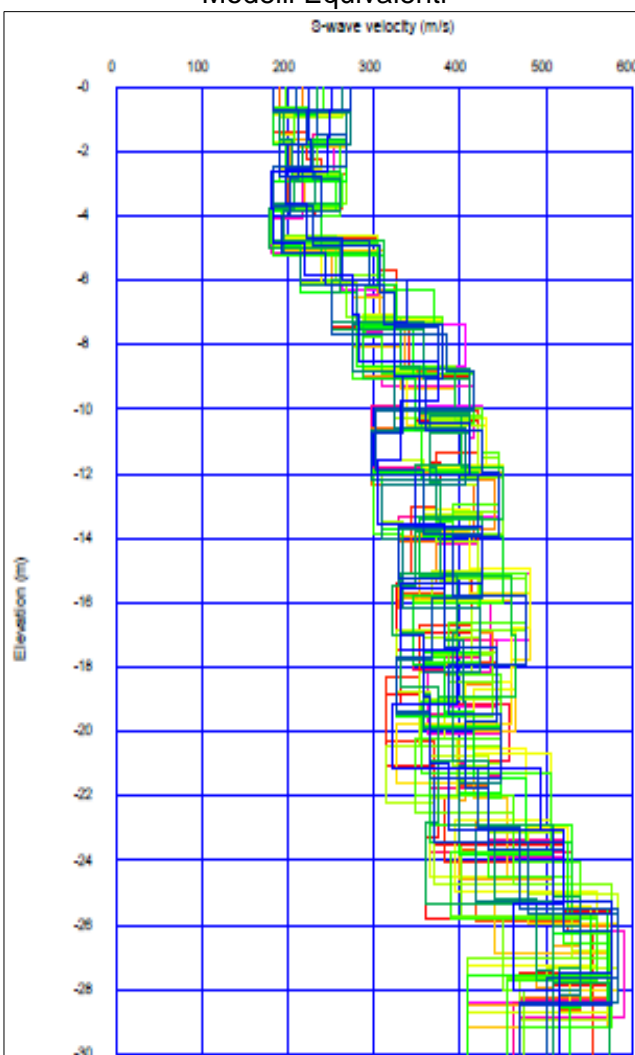
Curva di dispersione



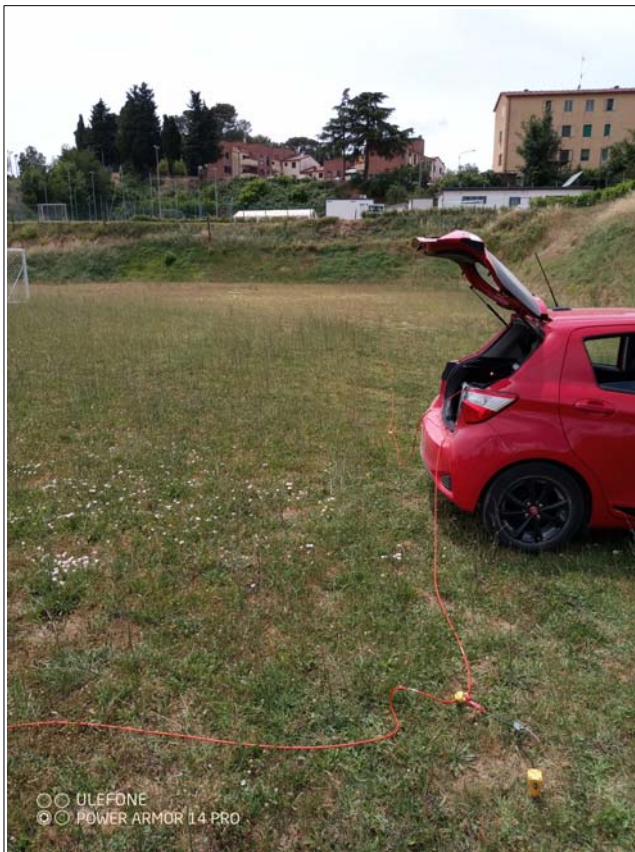
Profilo di velocità Vs



Modelli Equivalenti

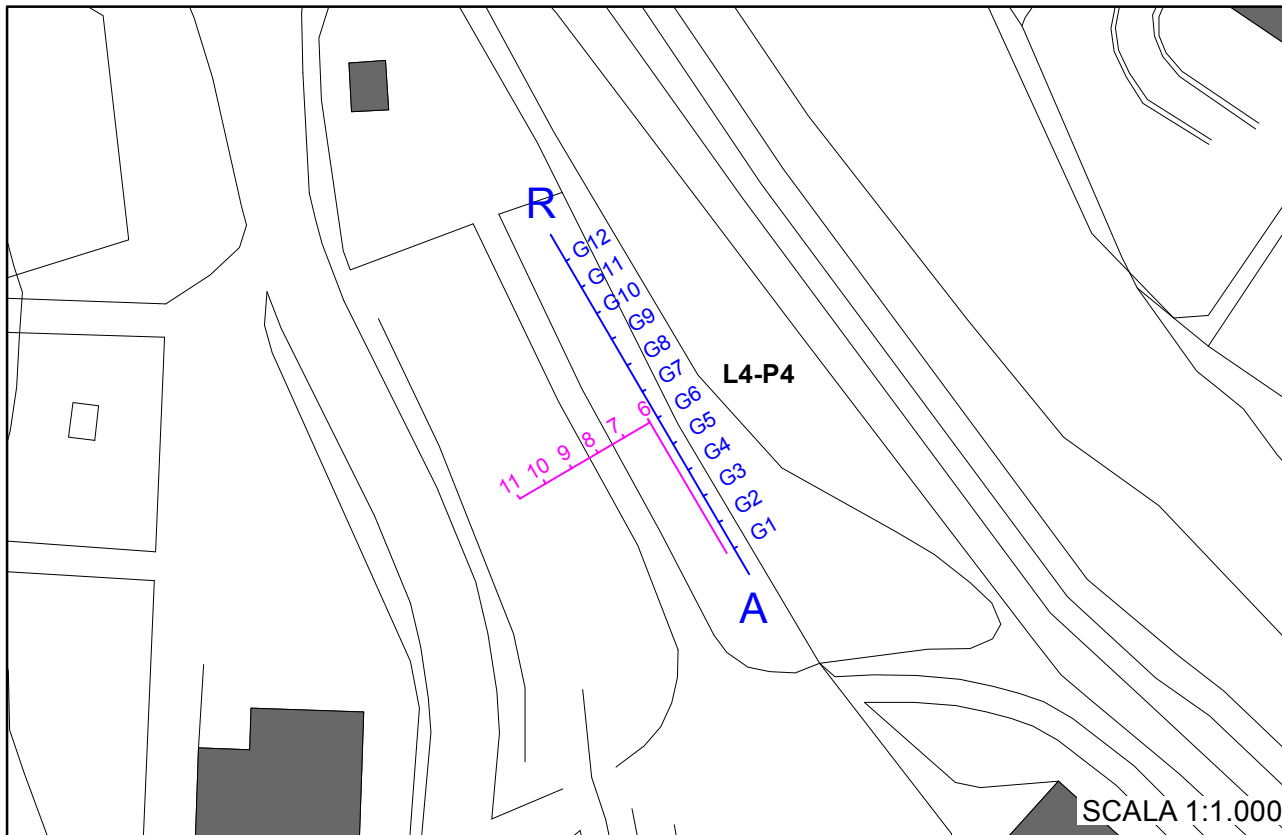
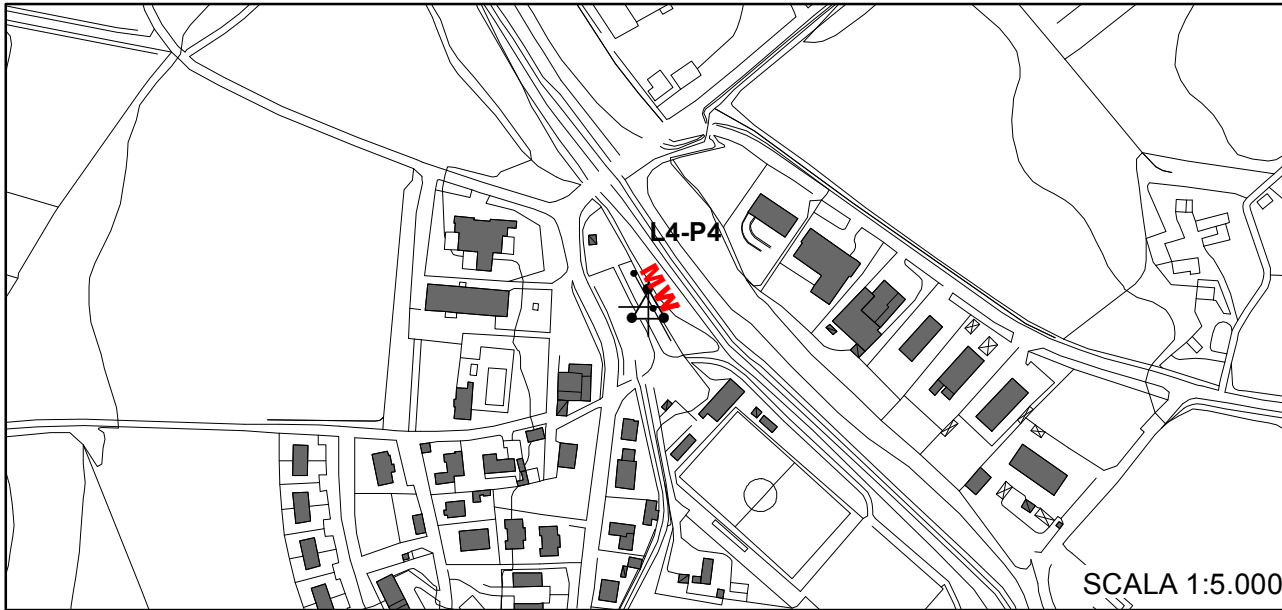


ALLEGATO FOTOGRAFICO
ESAC



MASW





STUDIO DI GEOLOGIA - Dott. Geol. Alberto Tomei
Dott. Geol. Nicolò Mantovani - Indagini geofisiche

COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA
MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW - ESAC

Indagine n°: L4 - P4

Località: Pianella
Data: 8 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

MW MASW
ESAC ESAC

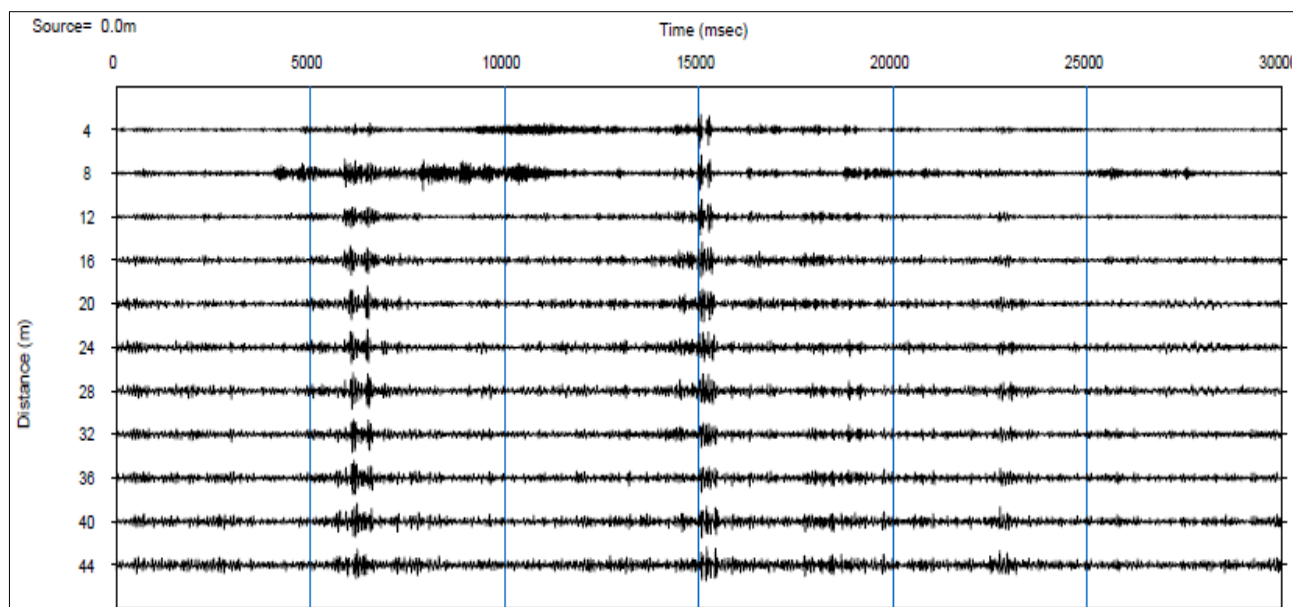
R MASW
A ESAC

L XX lineari - P XXX puntuali

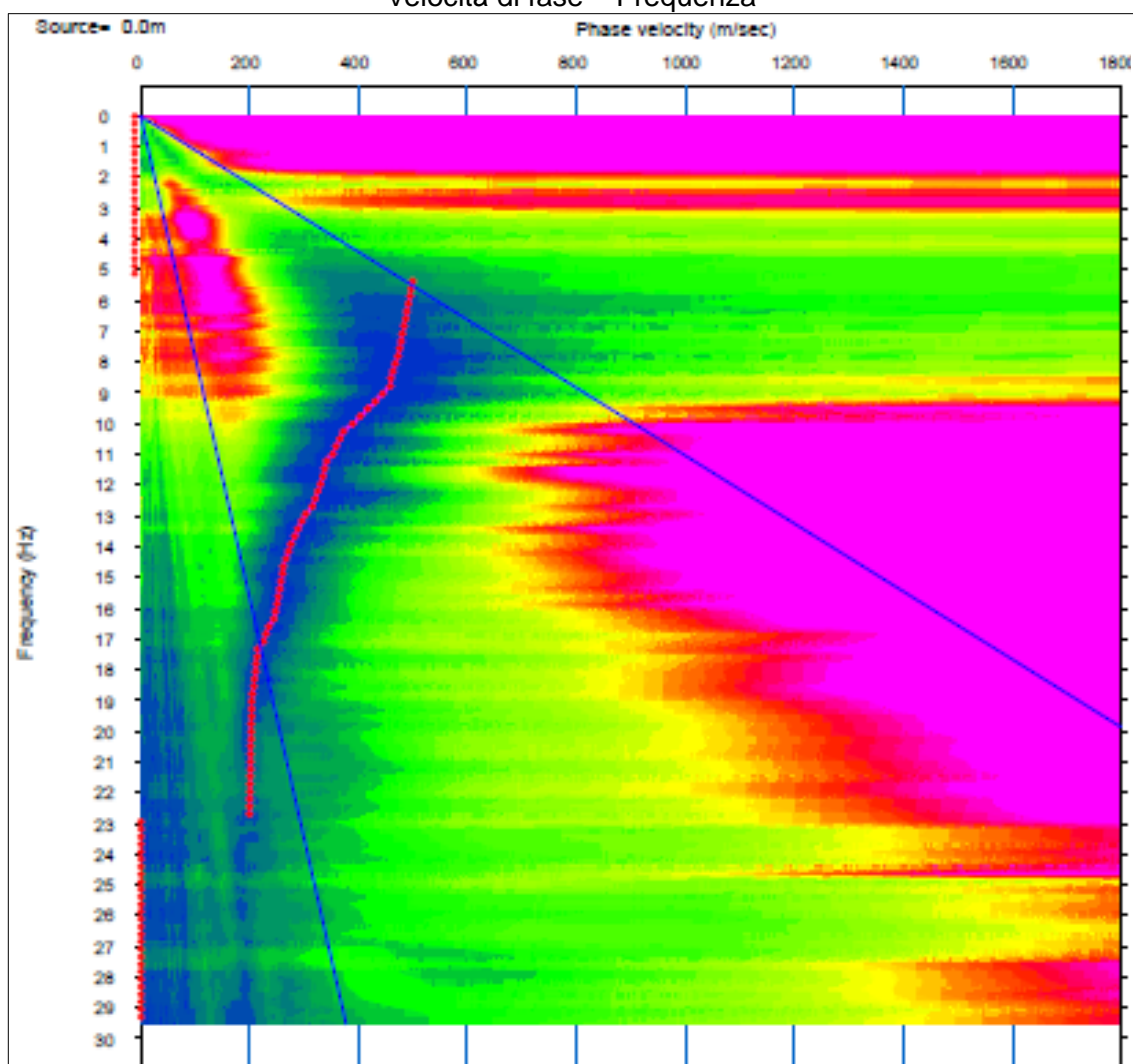
Profilo P4 - ESAC

Loc. Pianella – coord. WGS84-33N: 48.06562, 20.9596

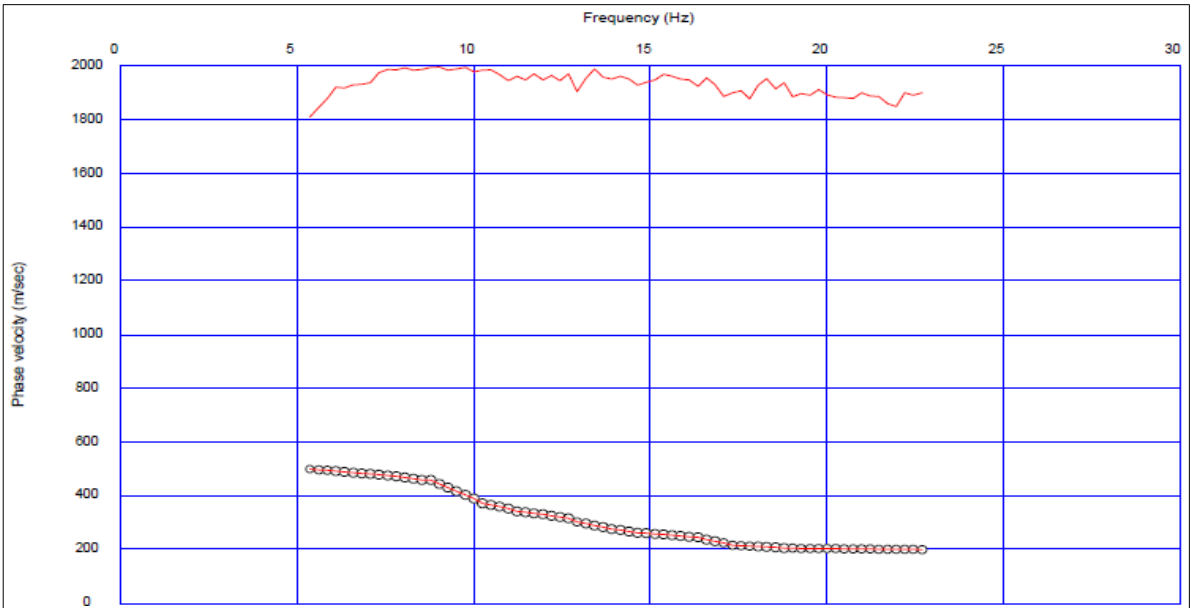
Time history



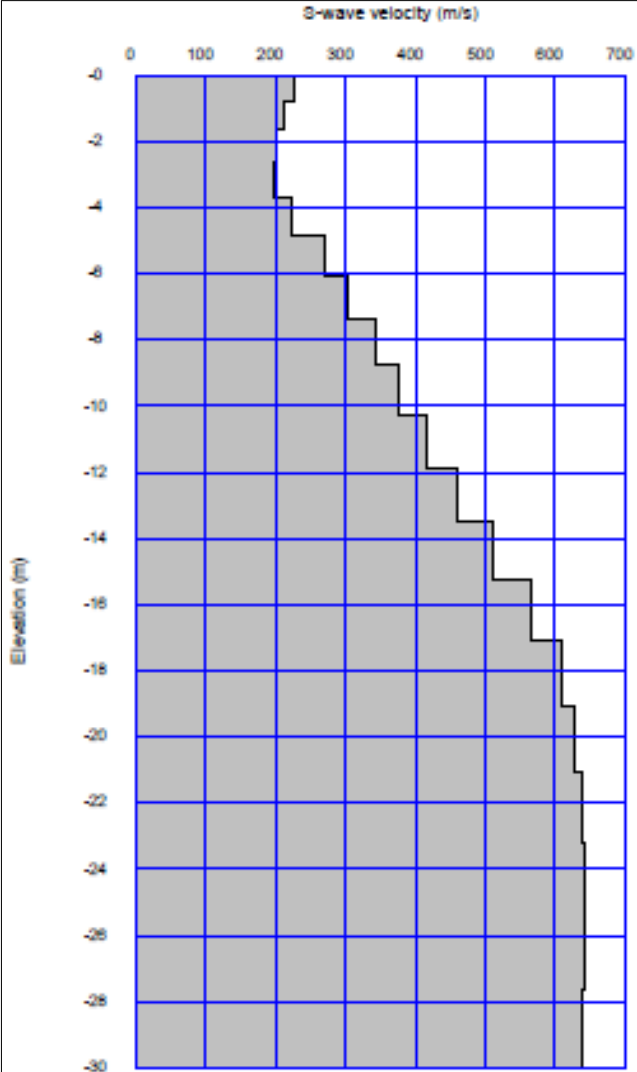
Velocità di fase – Frequenza



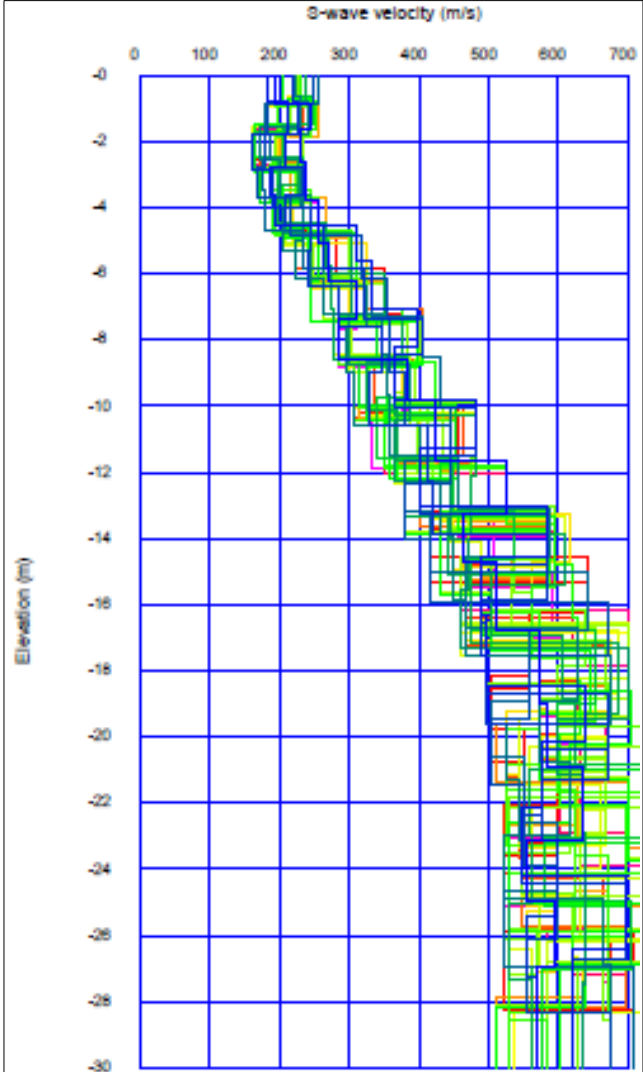
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



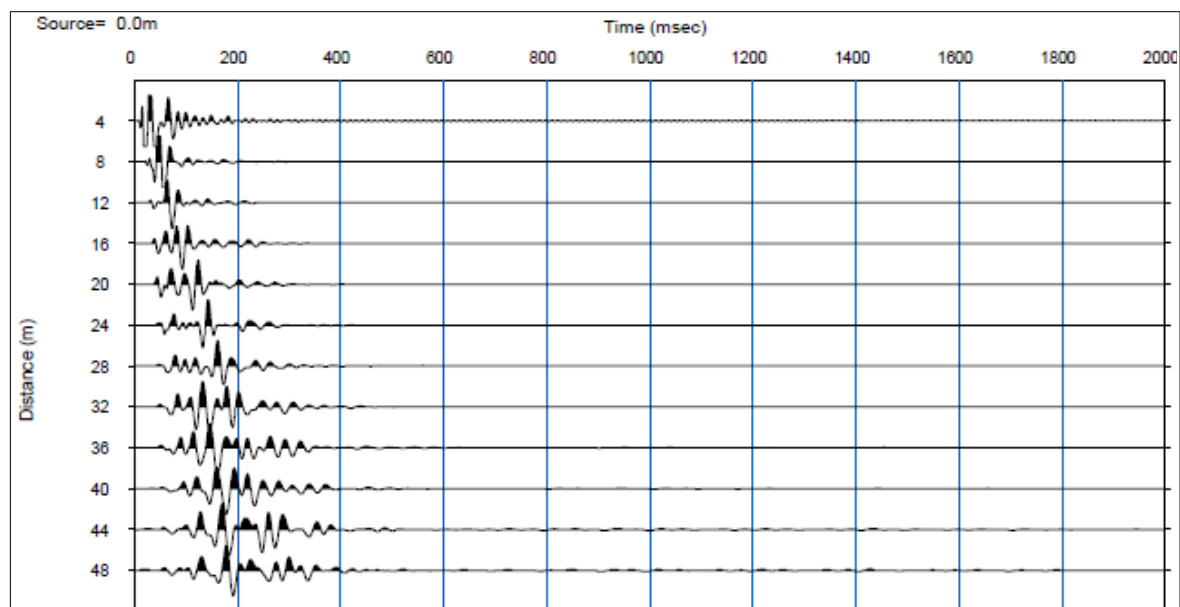
Modelli Equivalenti



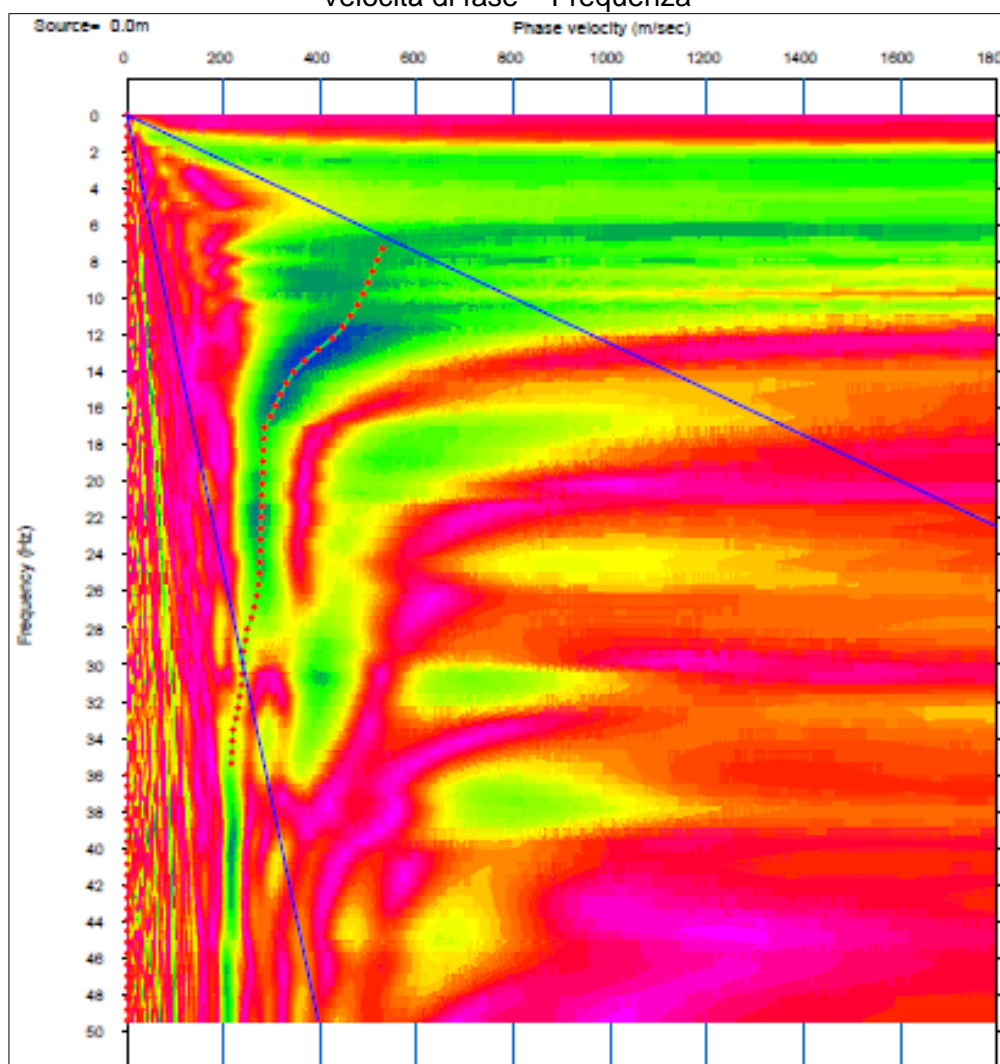
Profilo L4 - MASW

Loc. Pianella – coord. WGS84-33N: 48.06562, 20.9596

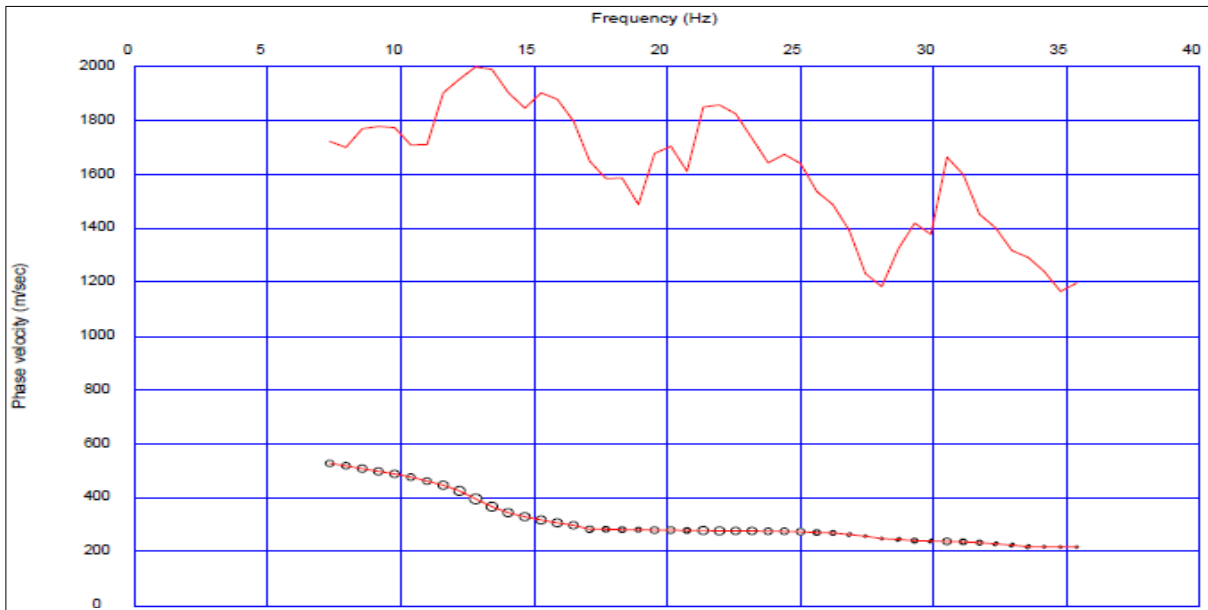
Time history



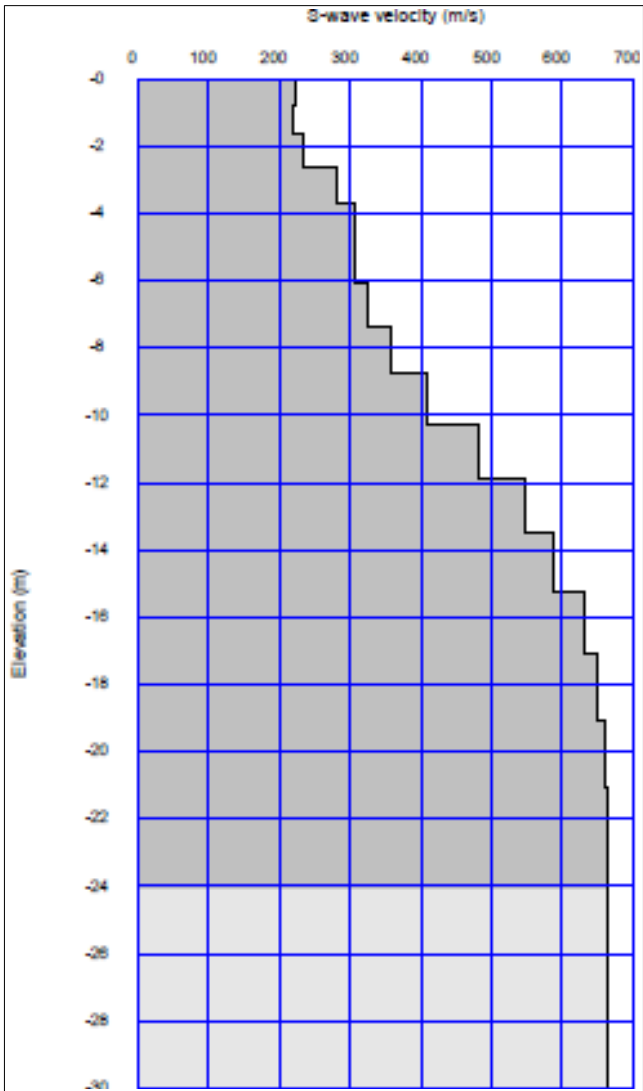
Velocità di fase – Frequenza



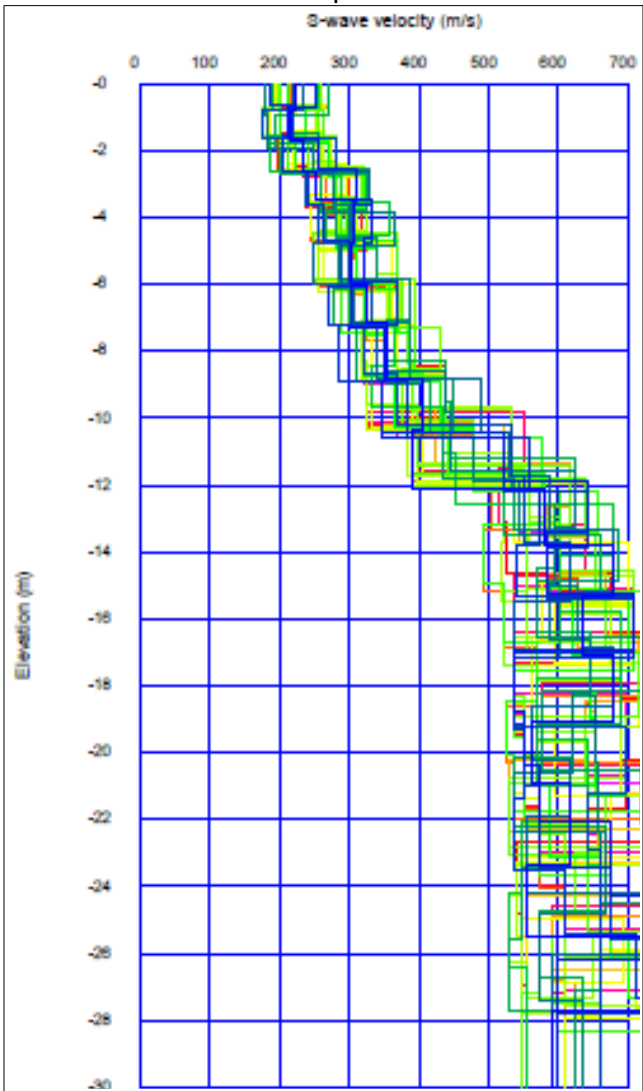
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



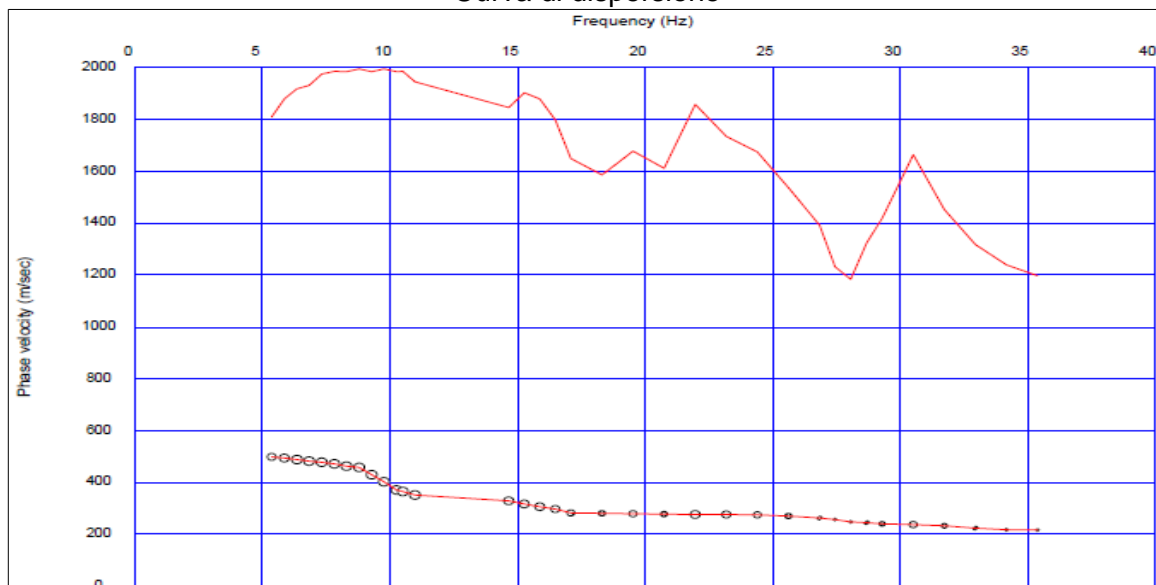
Modelli Equivalenti



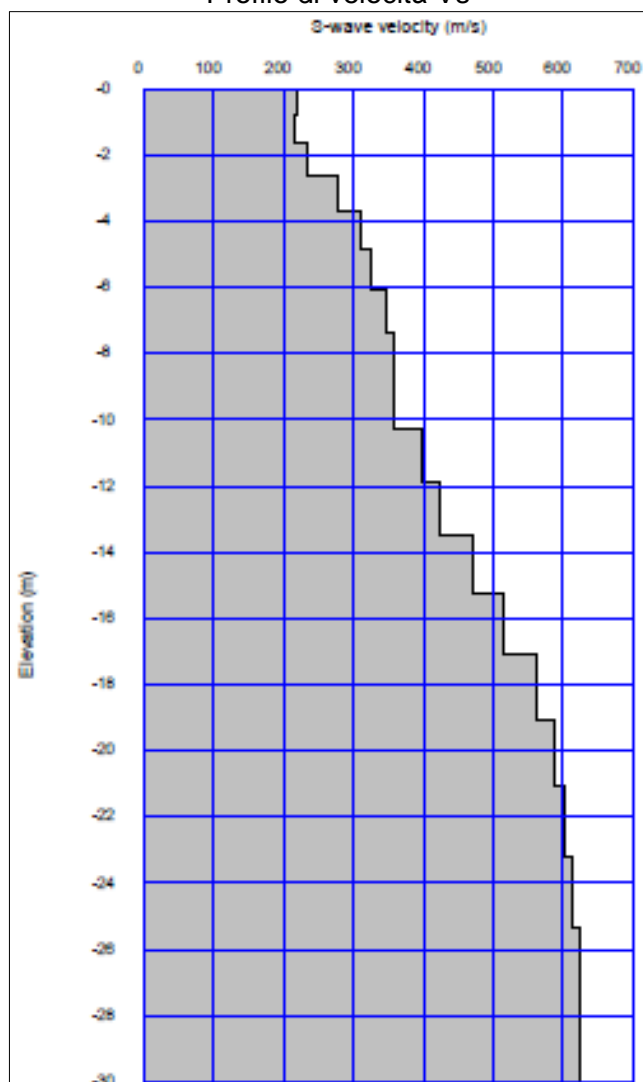
Profilo P4 - L4 – ESAC/MASW

Loc. Pianella

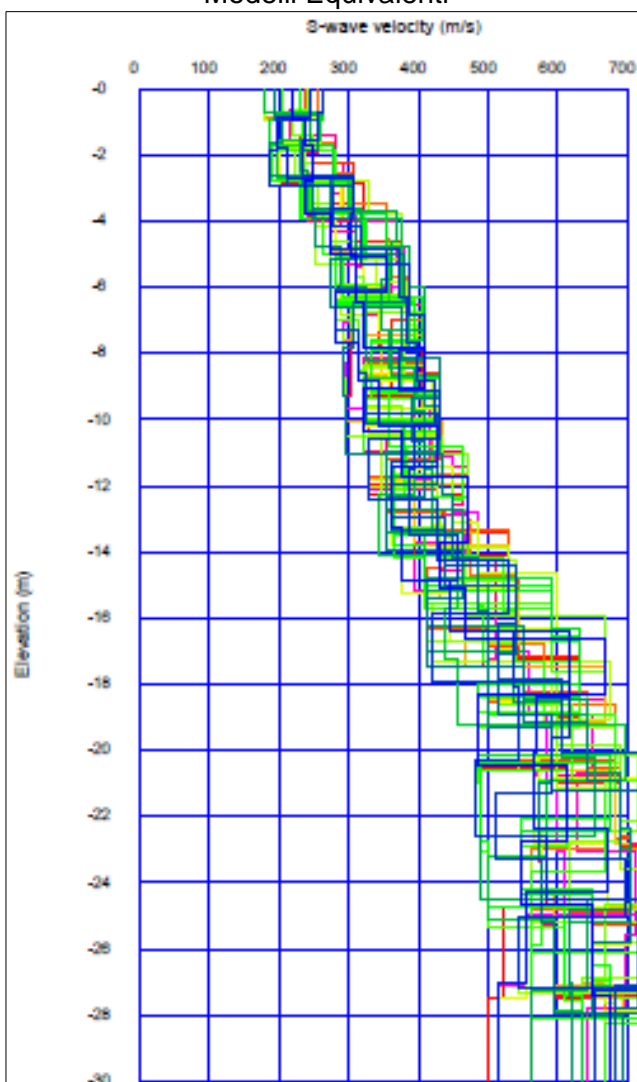
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs

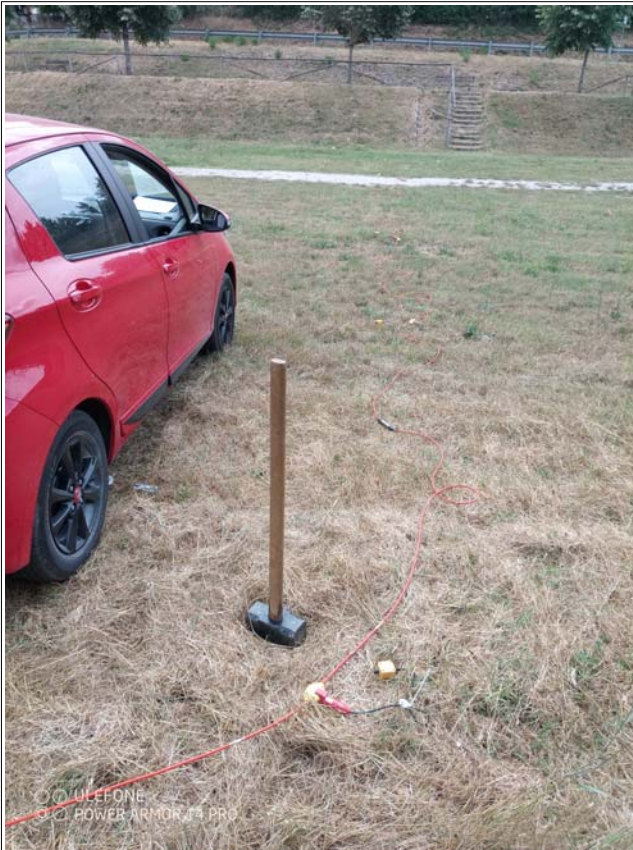


Modelli Equivalenti



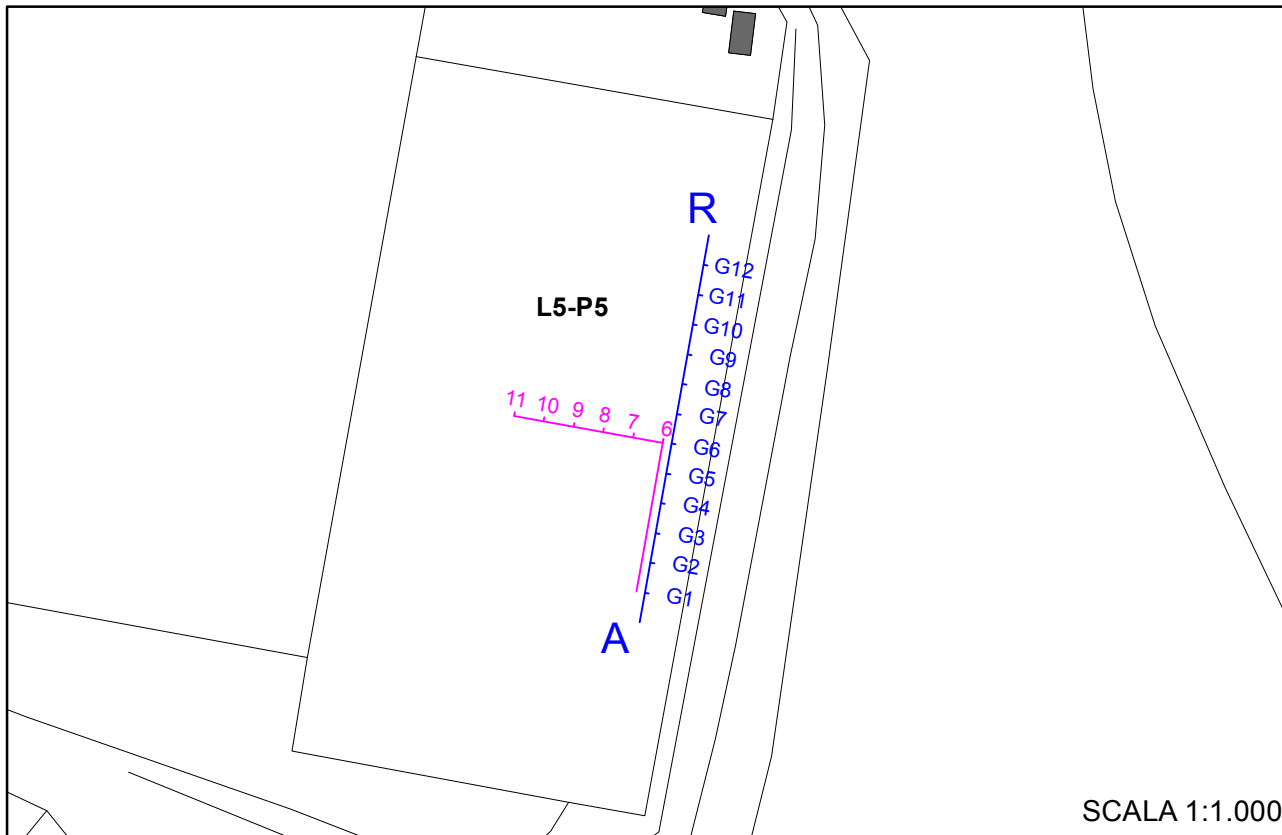
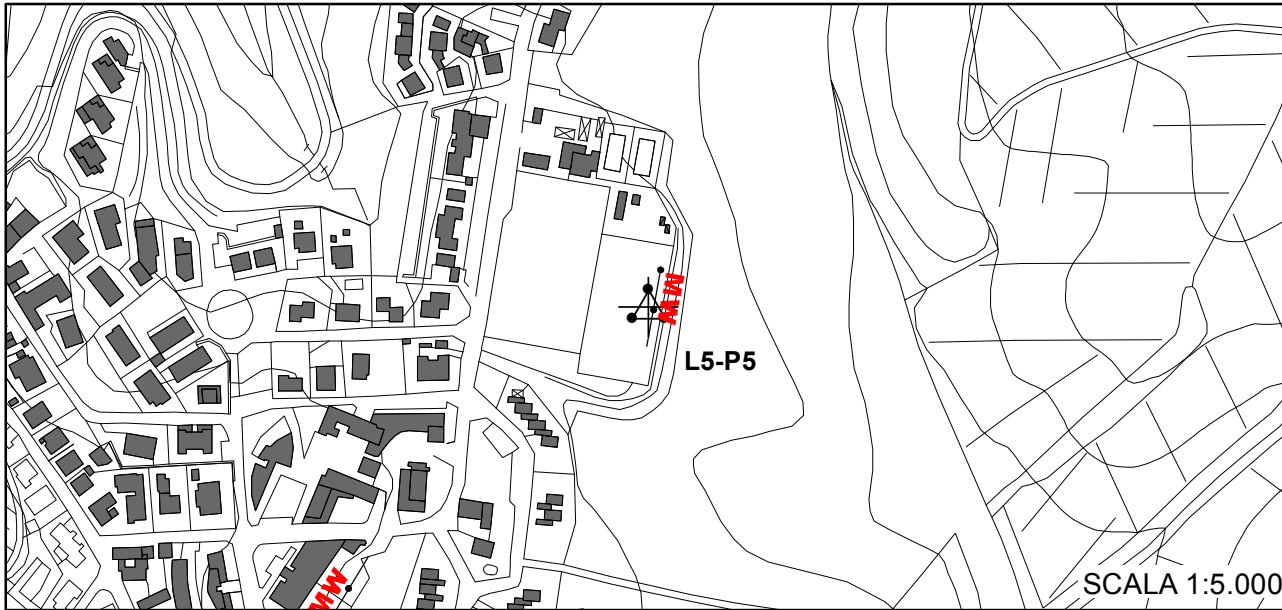
ALLEGATO FOTOGRAFICO

ESAC



MASW





STUDIO DI GEOLOGIA - Dott. Geol. Alberto Tomei
Dott. Geol. Nicolò Mantovani - Indagini geofisiche

COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA
MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW - ESAC

Indagine n°: L5 - P5

Località: Quercegrossa
Data: 8 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

MW MASW
ESAC

MASW
ESAC

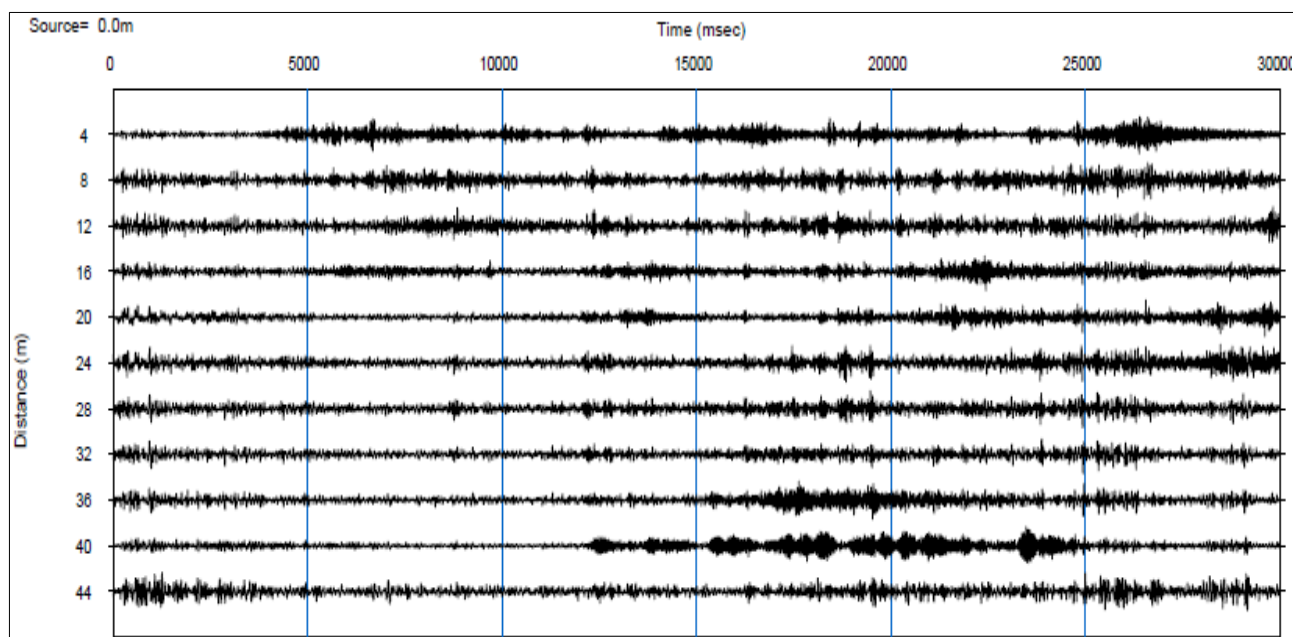
R
G12
G11
G10
G9
G8
G7
G6
G5
G4
G3
G2
G1
A

L XX lineari - P XXX puntuali

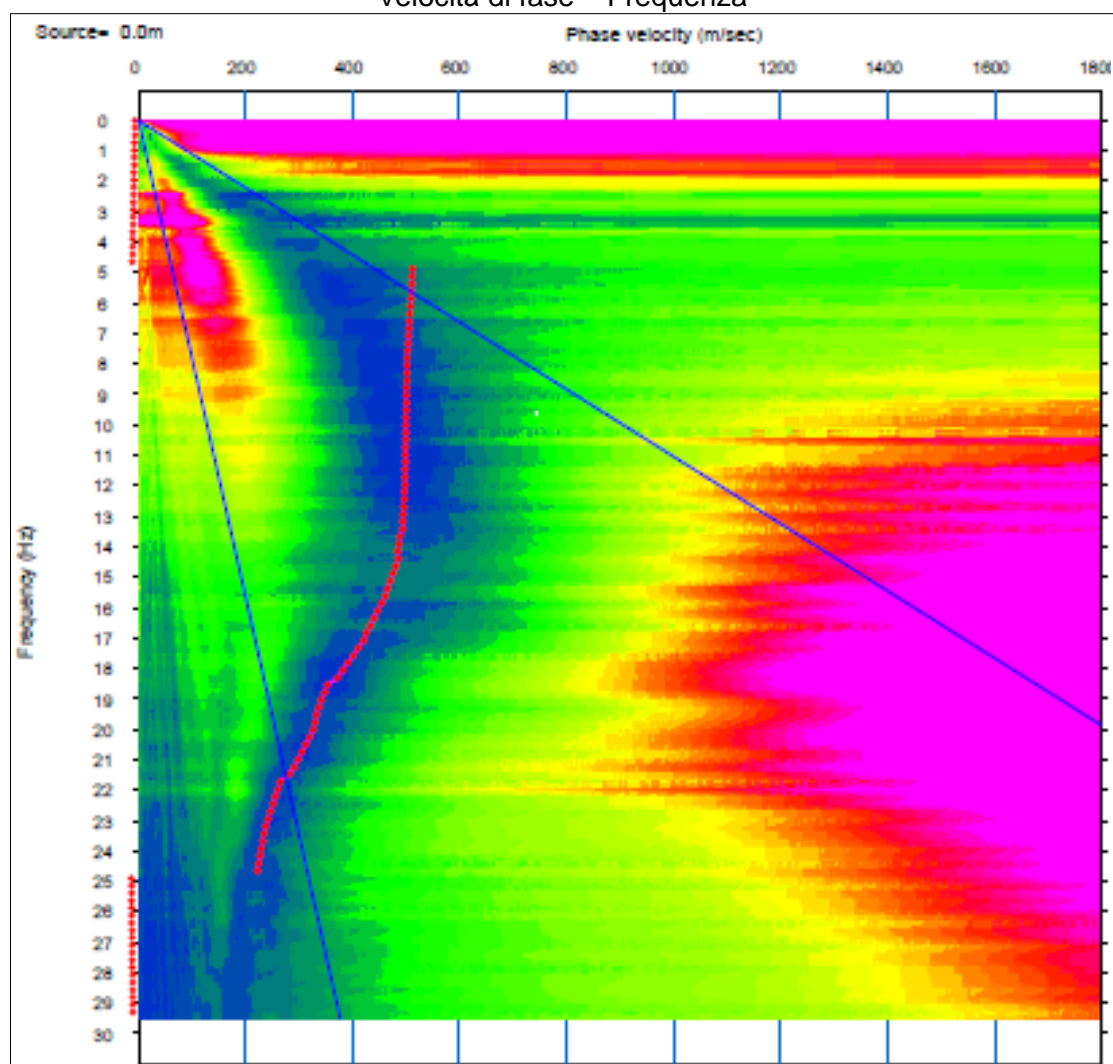
Profilo P5 - ESAC

Loc. Querciagrossa – coord. WGS84-33N: 48.11264, 20.1404

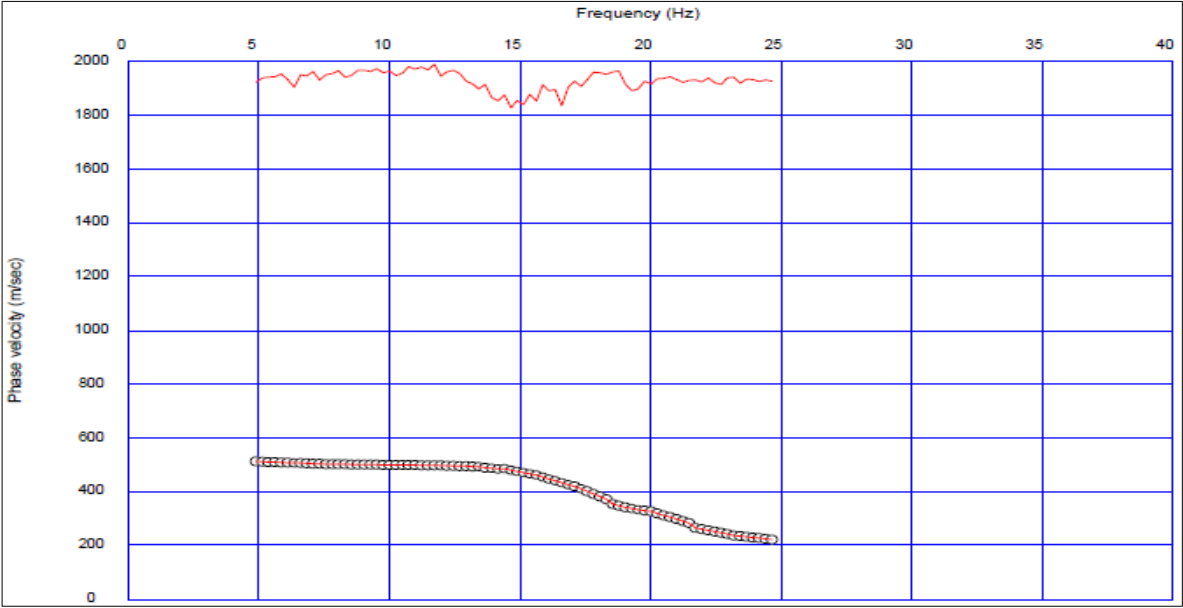
Time history



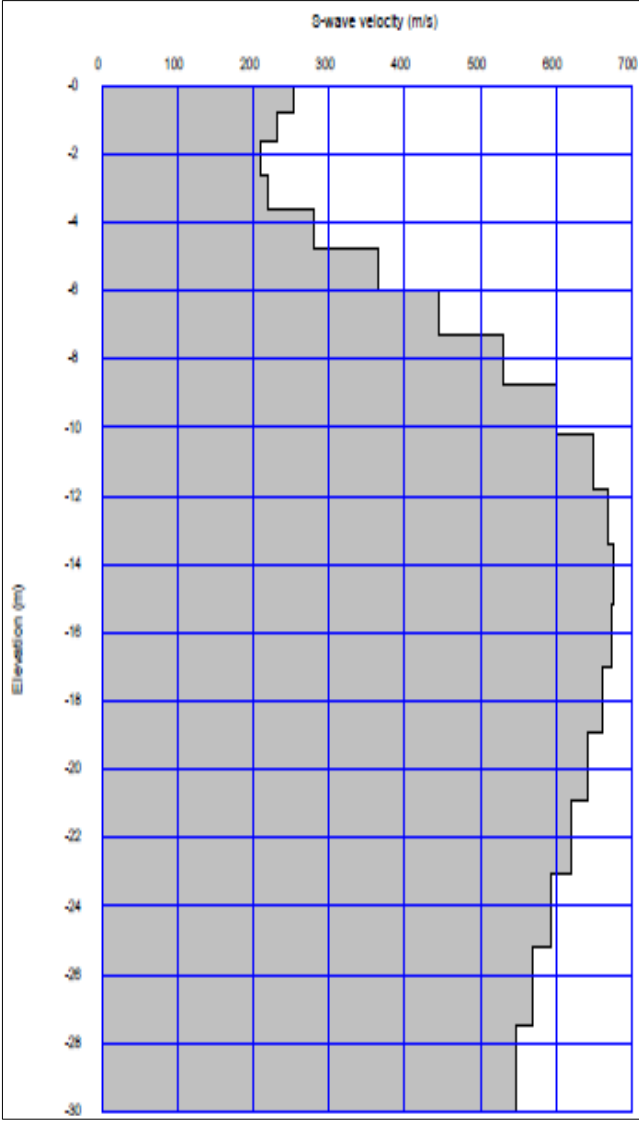
Velocità di fase – Frequenza



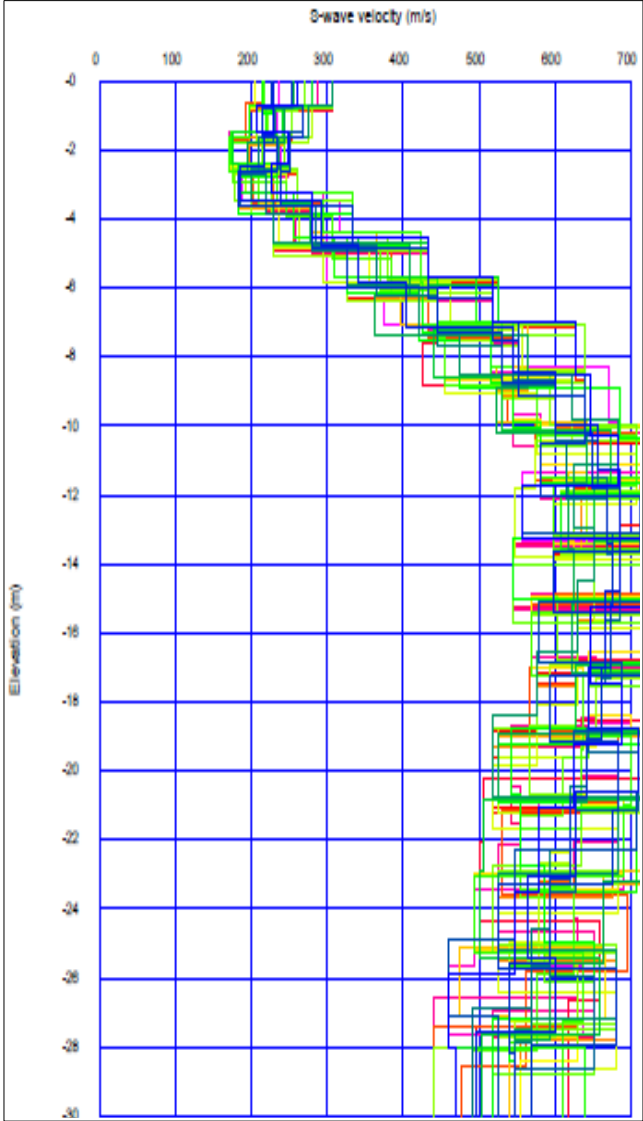
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



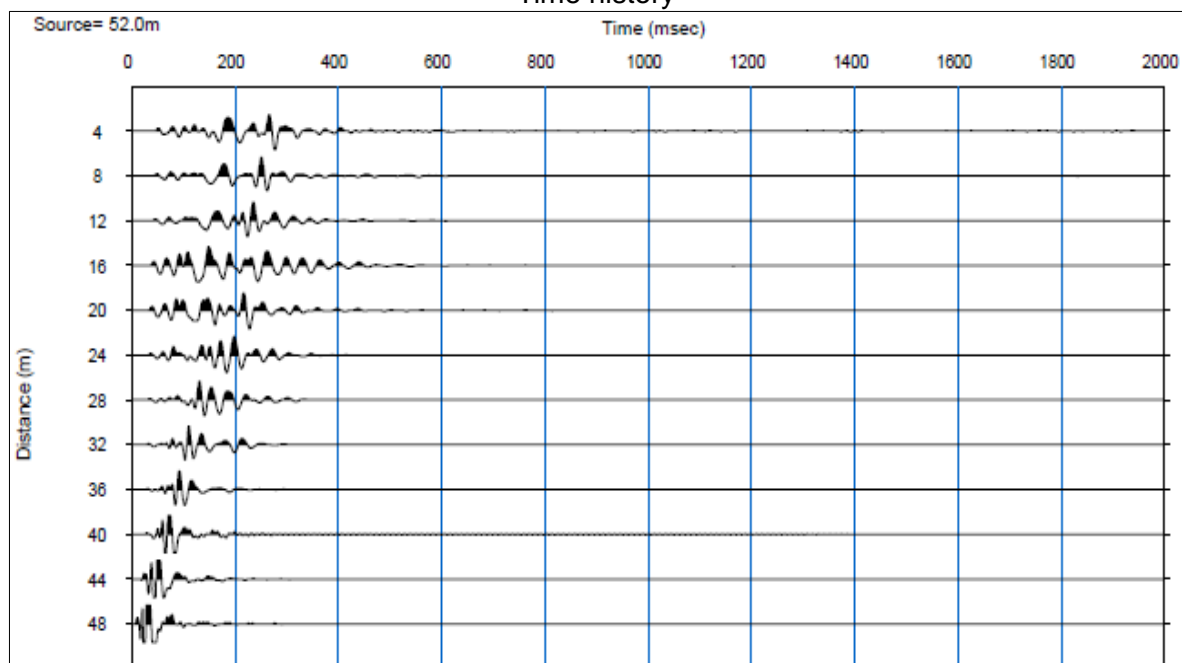
Modelli Equivalenti



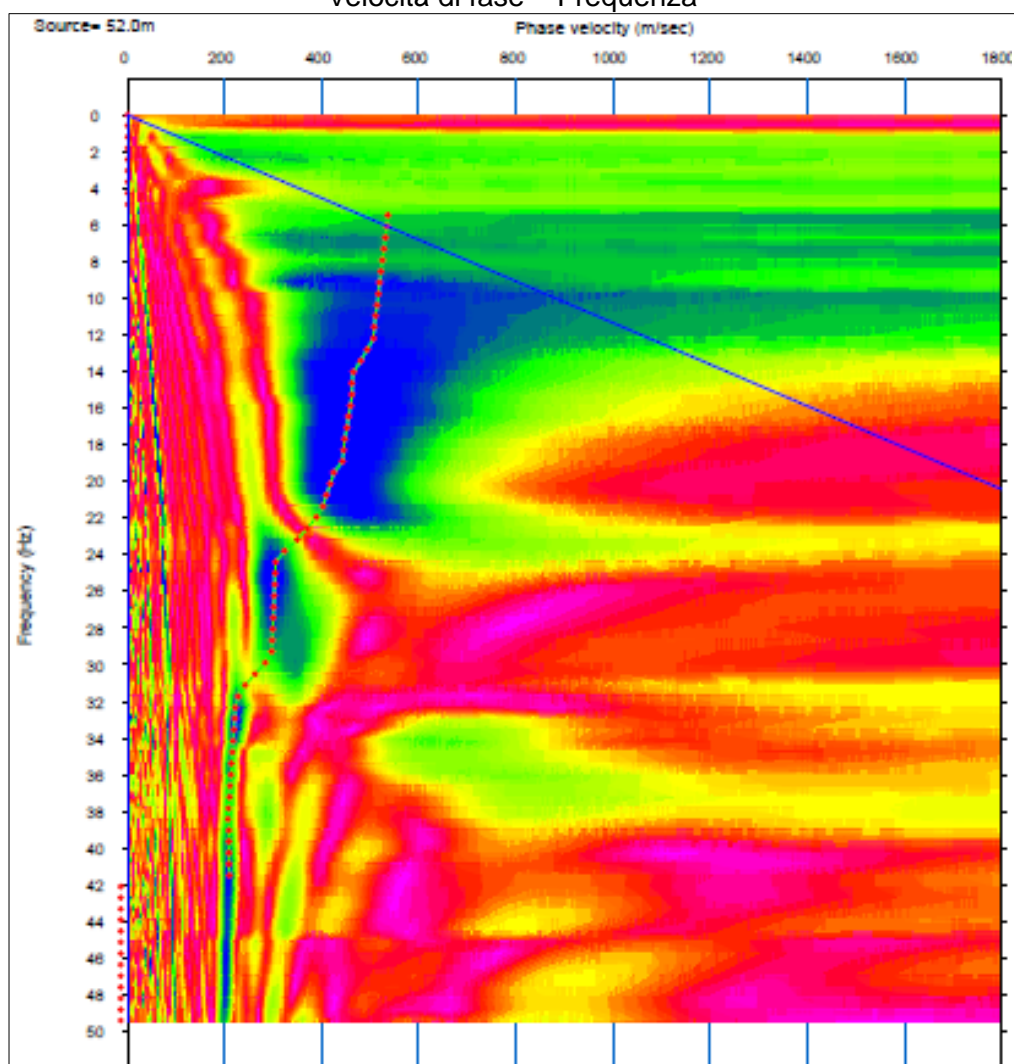
Profilo L5 - MASW

Loc. Querciagrossa – coord. WGS84-33N: 48.11264, 20.1404

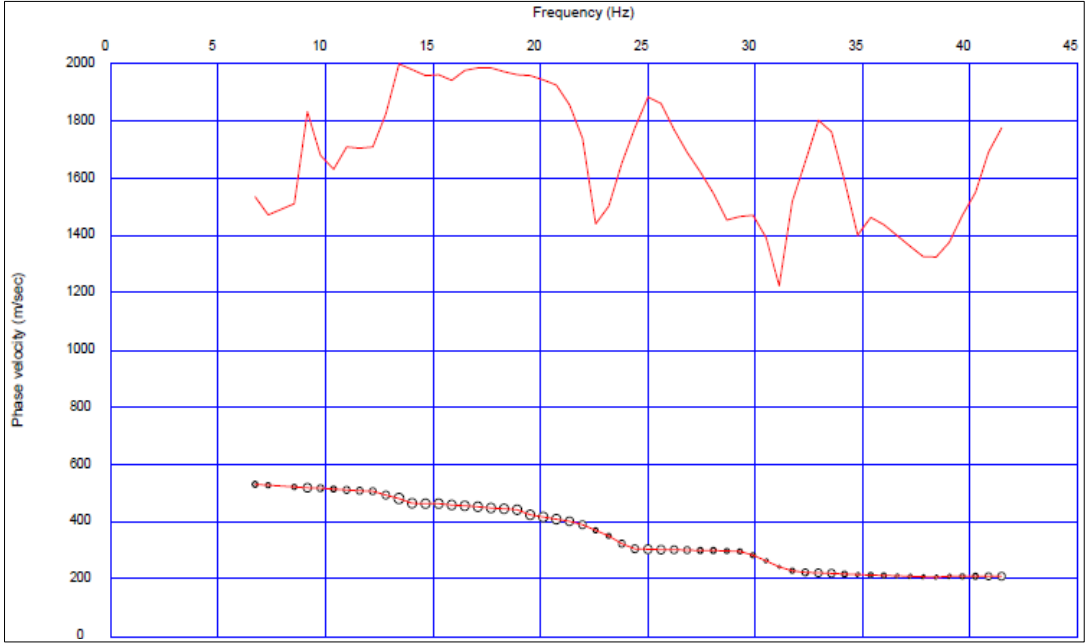
Time history



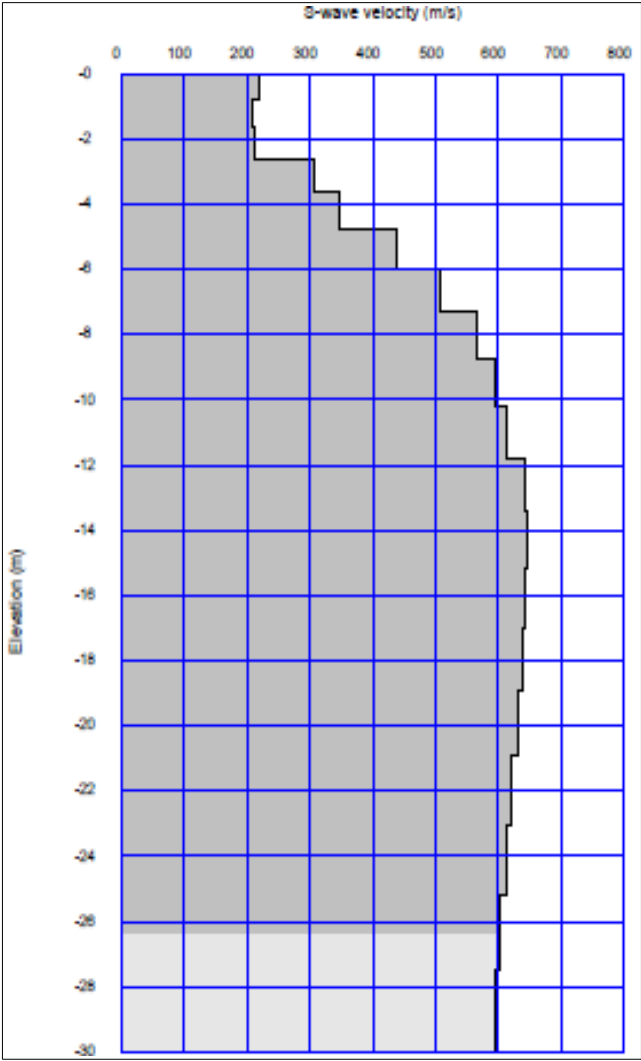
Velocità di fase – Frequenza



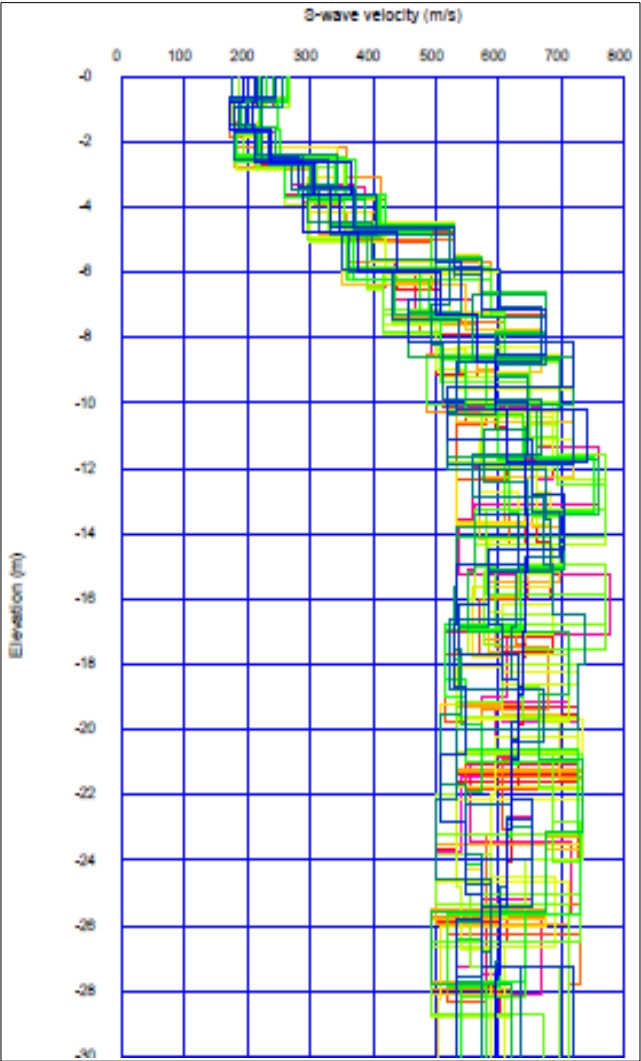
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



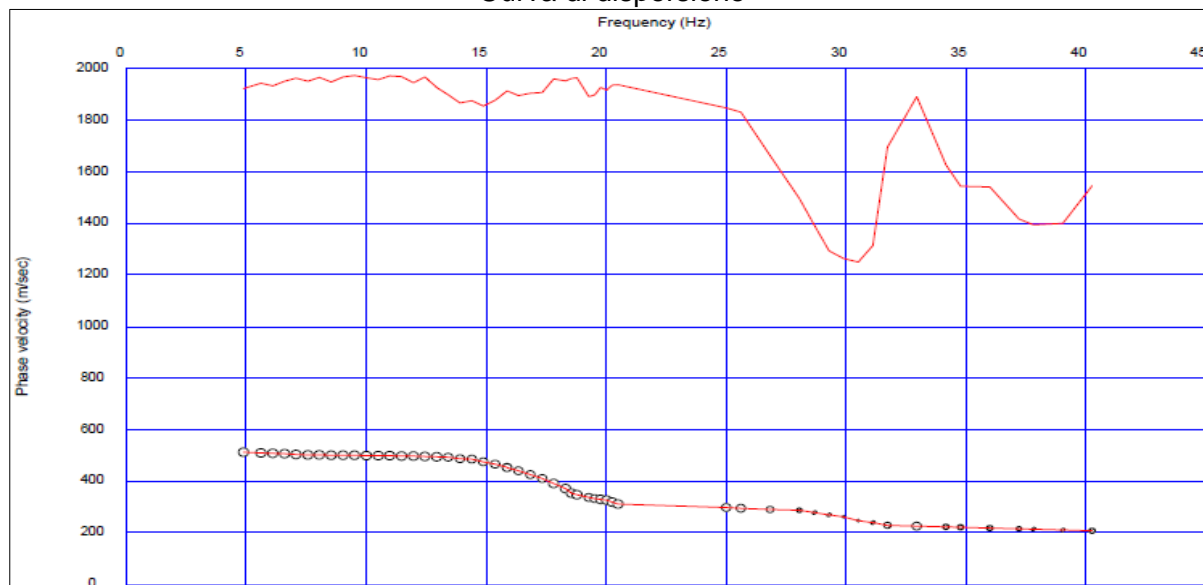
Modelli Equivalenti



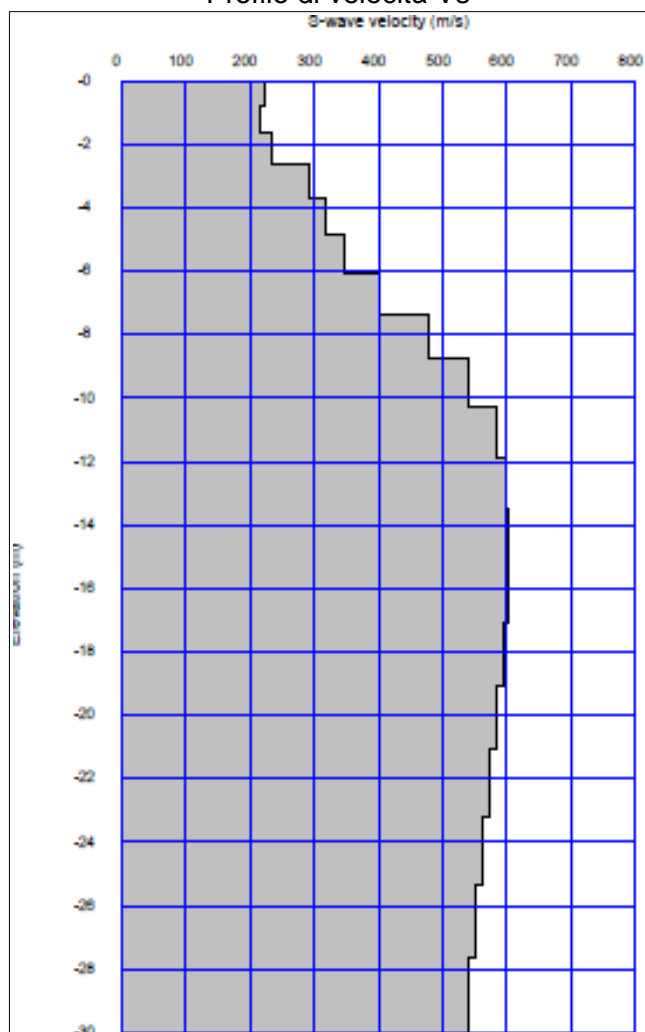
Profilo P5 - L5 – ESAC/MASW

Loc. Querciagrossa

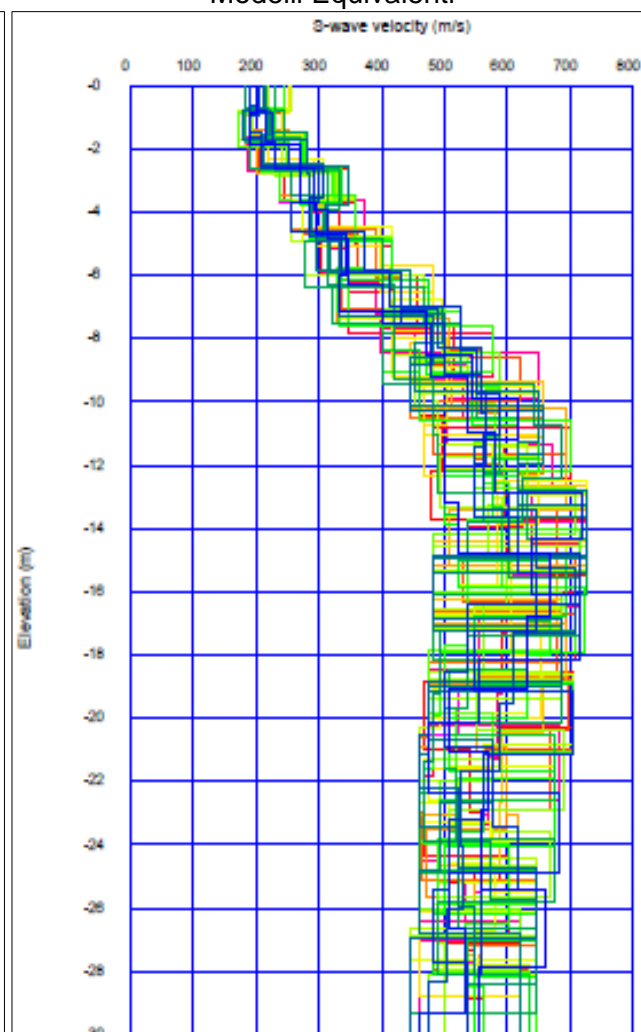
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



Modelli Equivalenti



ALLEGATO FOTOGRAFICO

ESAC



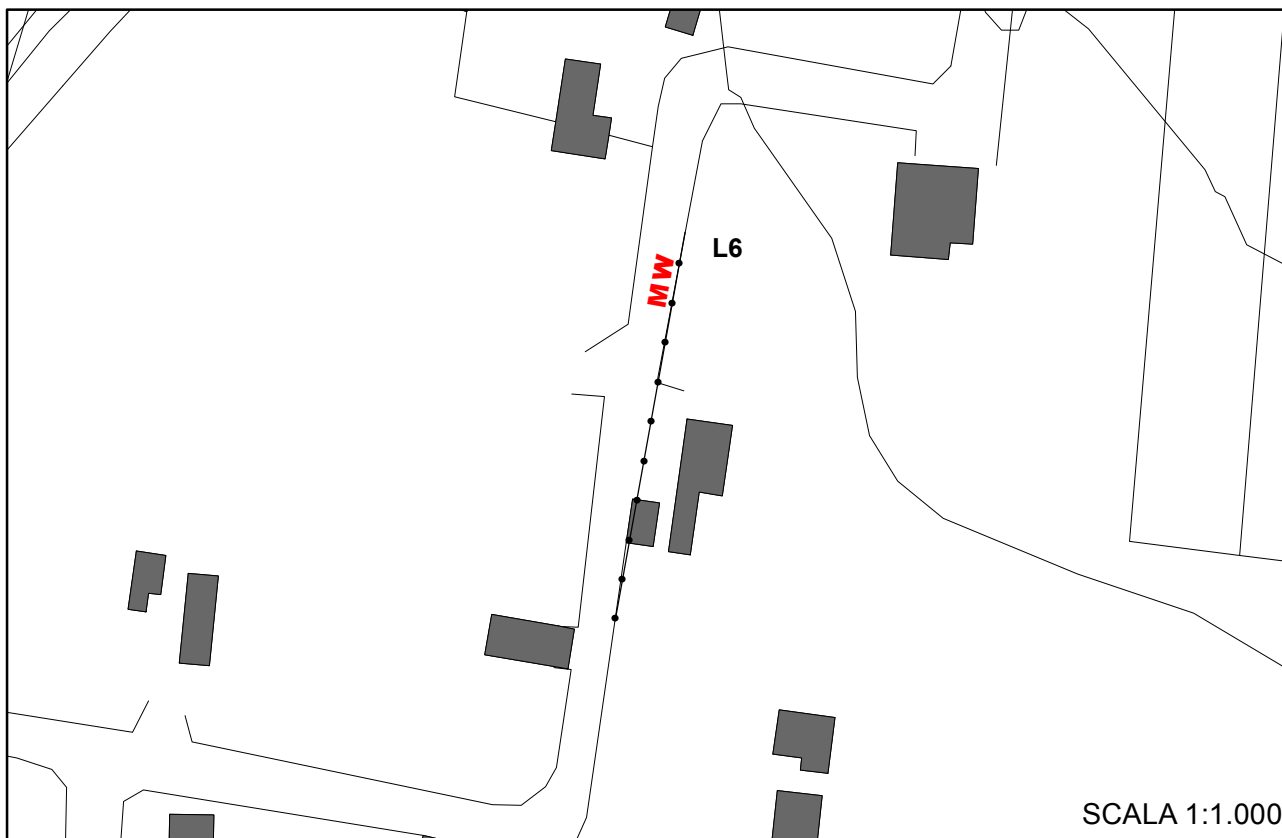
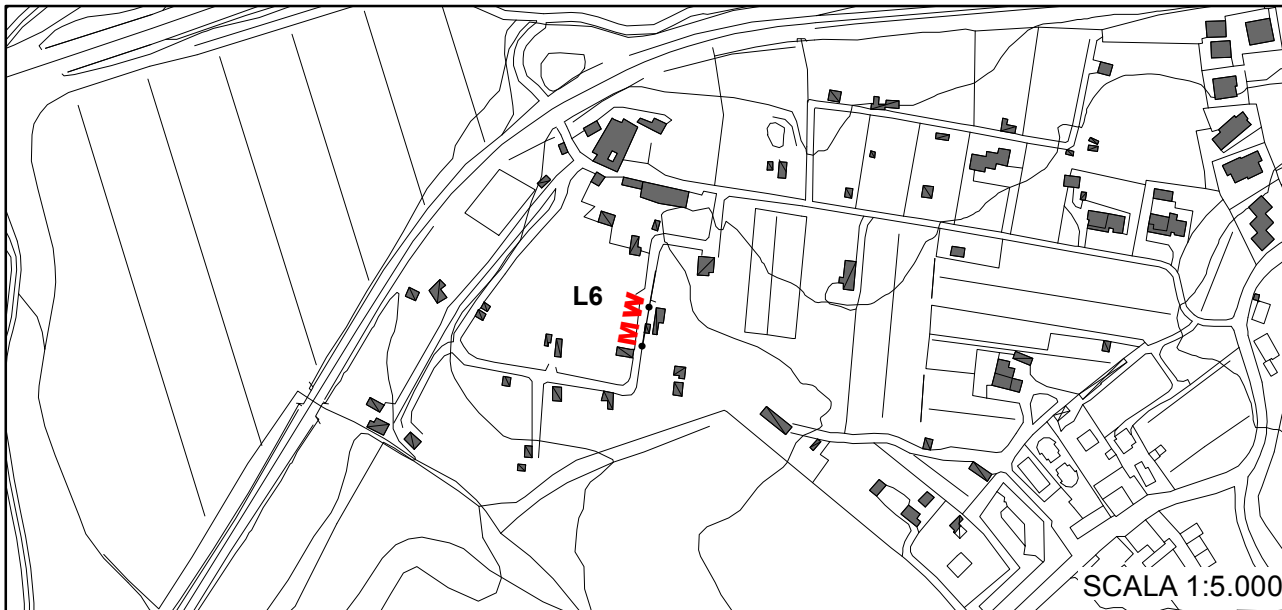
MASW





Appendice 2

Prospezioni sismiche MASW



STUDIO DI GEOLOGIA - Dott. Geol. Alberto Tomei
Dott. Geol. Nicolò Mantovani - Indagini geofisiche

COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA
MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW

Indagine n°: L6

Località: Casetta
Data: 8 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

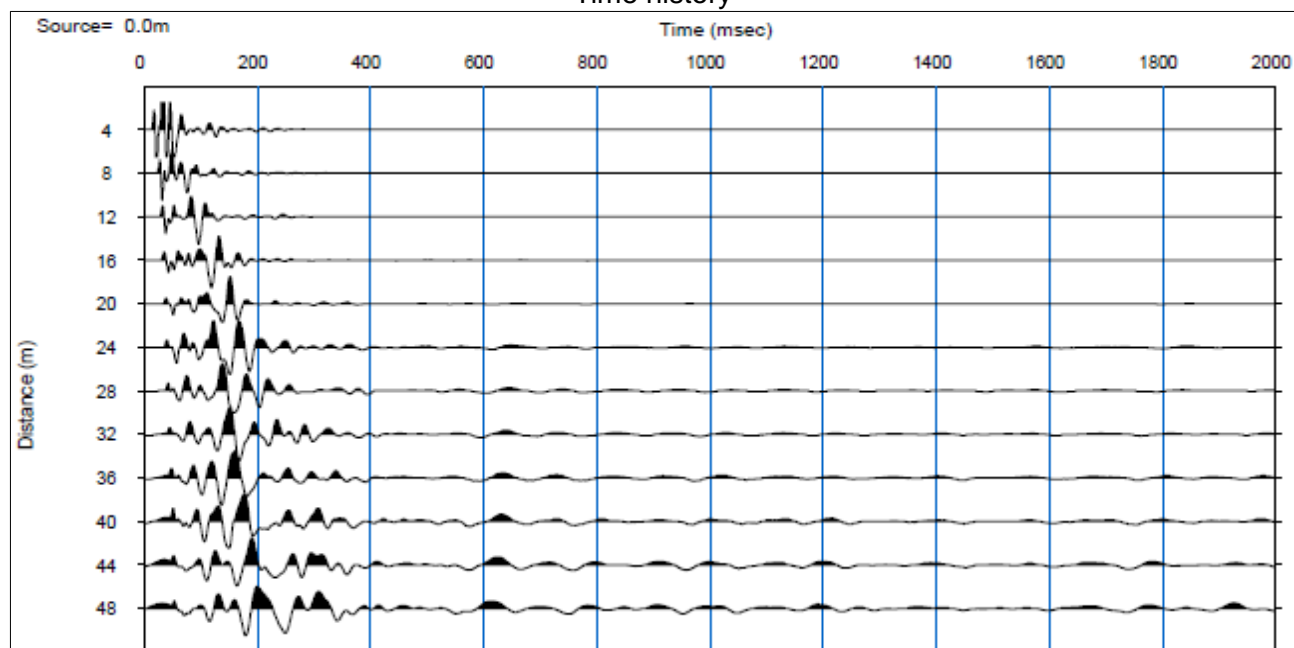
MW — MASW

LXXX lineari

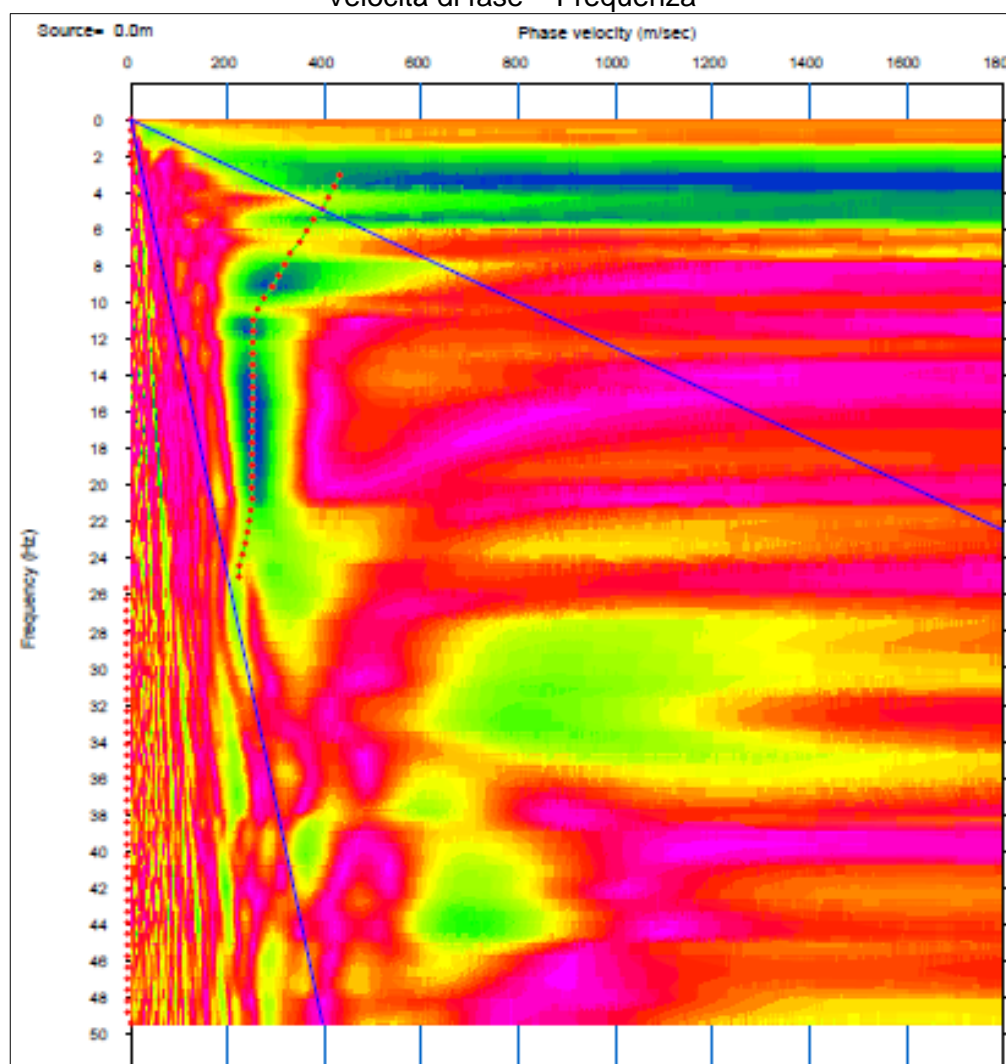
Profilo L6 - MASW

Loc. Casetta – coord. WGS84-33N: 48.00632, 20.9614

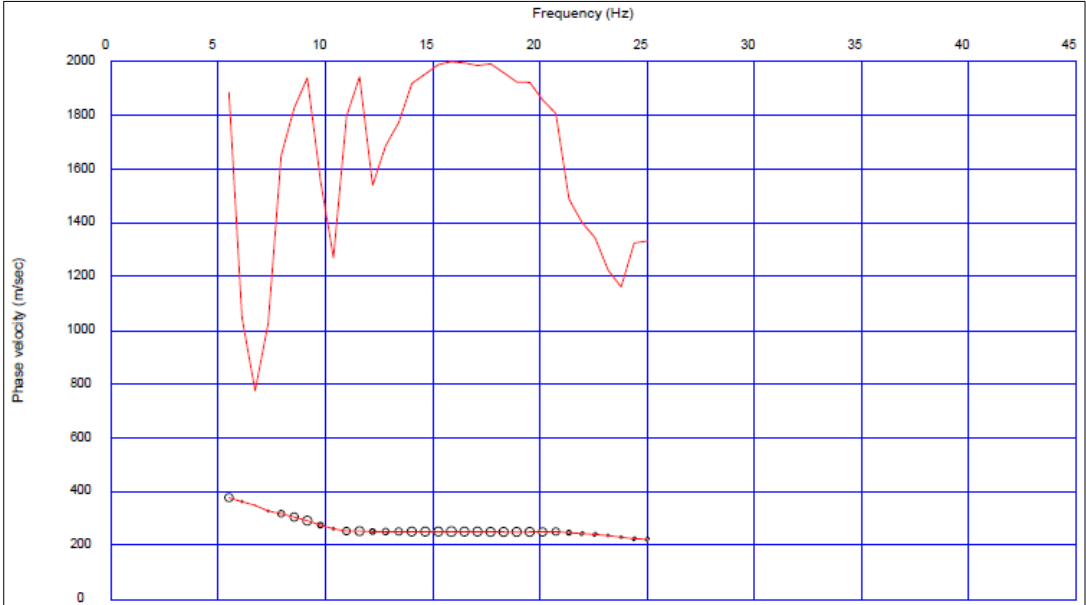
Time history



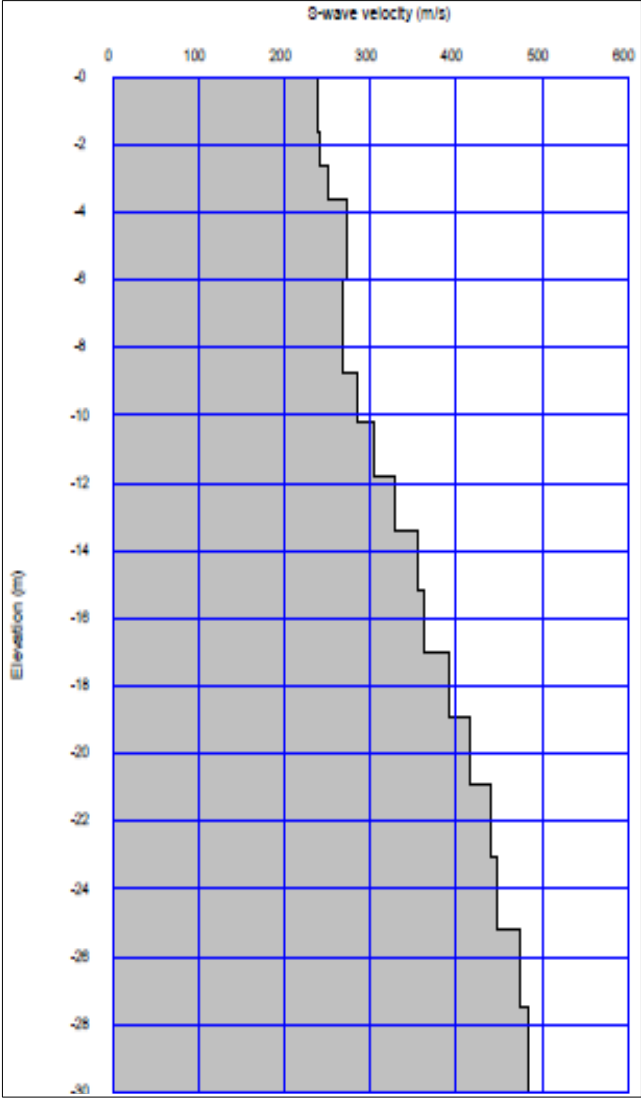
Velocità di fase – Frequenza



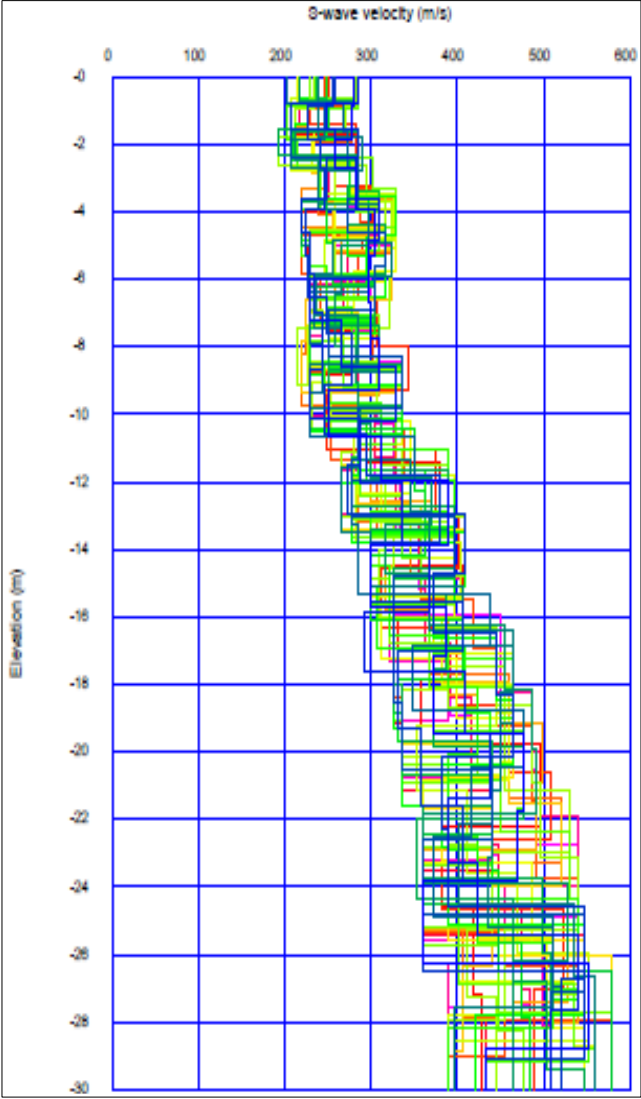
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs

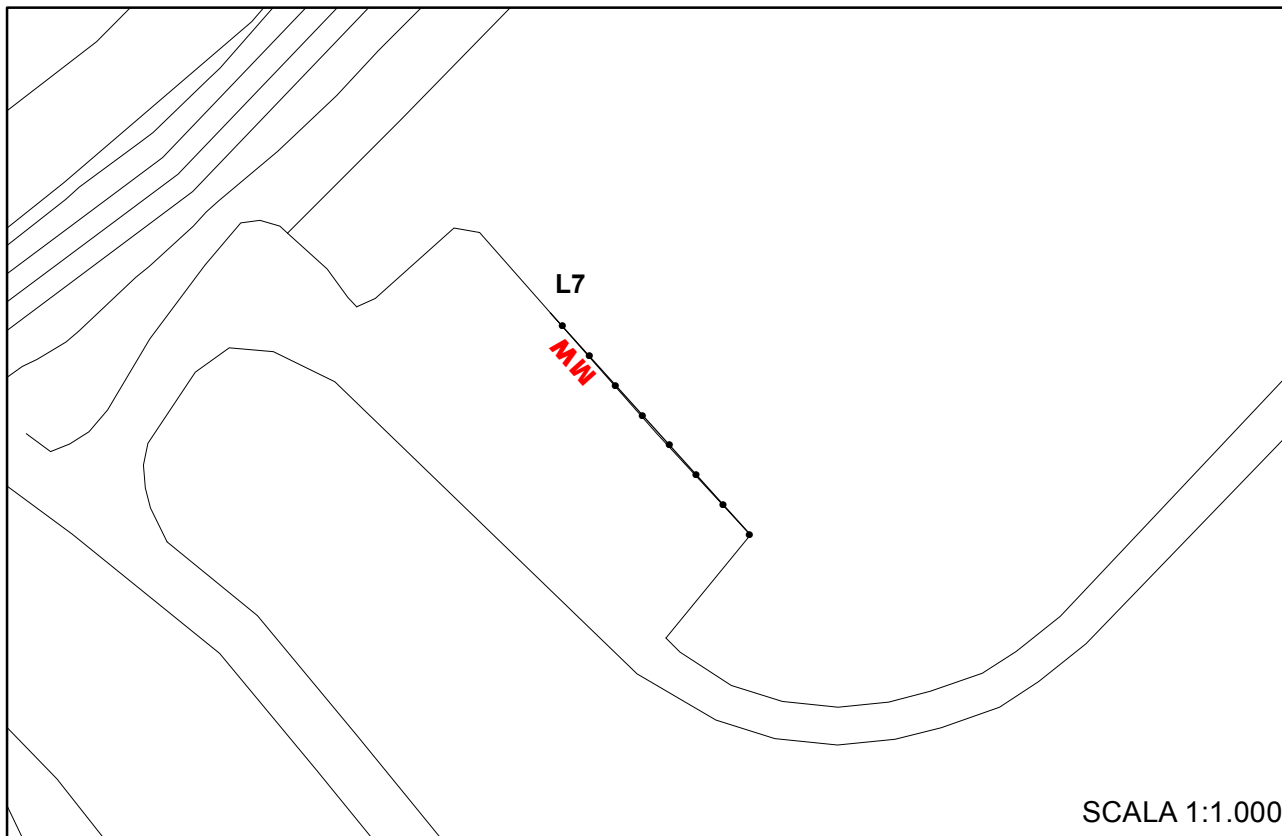
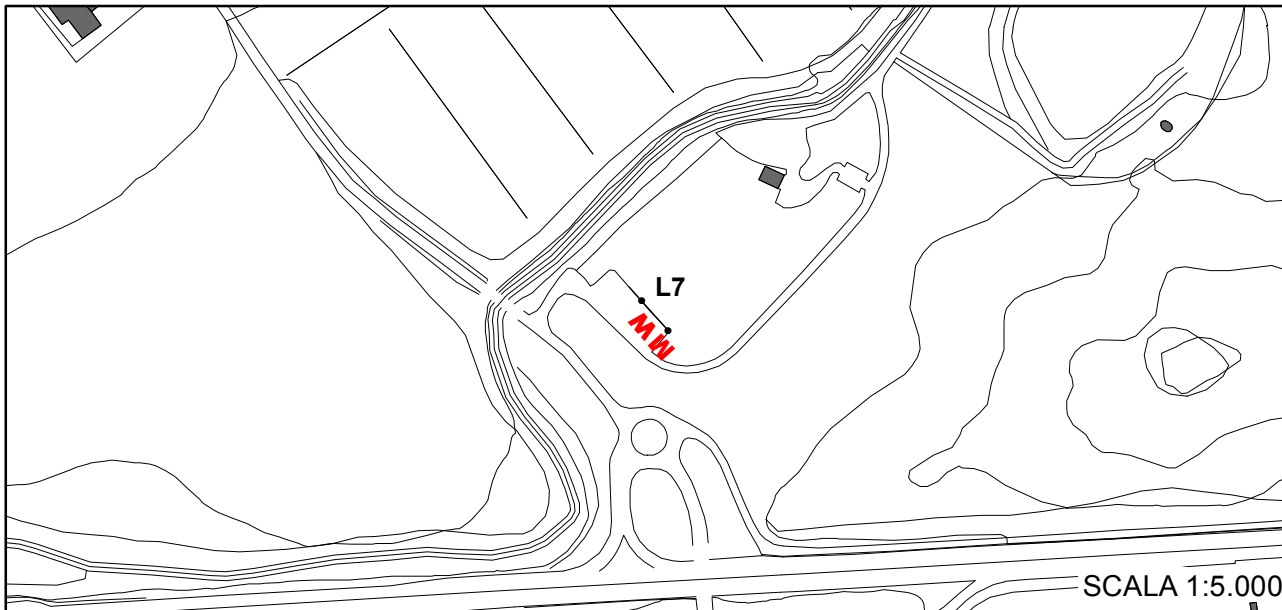


Modelli Equivalenti



ALLEGATO FOTOGRAFICO





STUDIO DI GEOLOGIA - Dott. Geol. Alberto Tomei
Dott. Geol. Nicolò Mantovani - Indagini geofisiche

COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA
MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW
Indagine n°: L7

Località: Acqua Borra (Casetta)
Data: 8 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

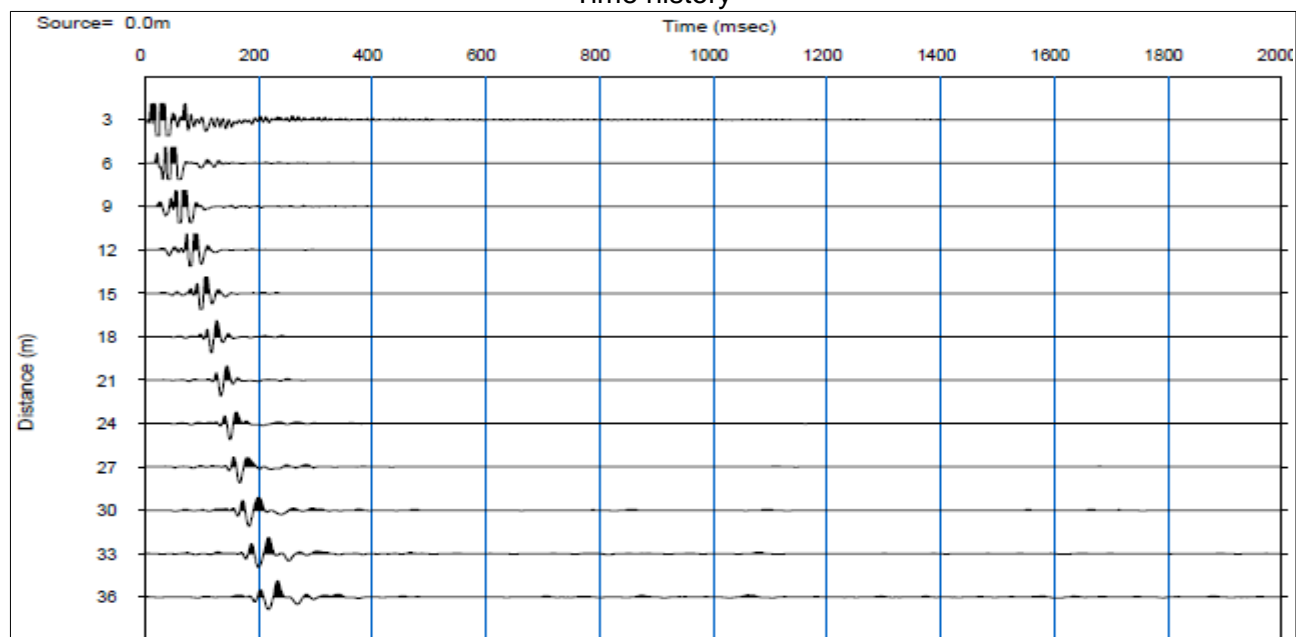
MW MASW

L XXX lineari

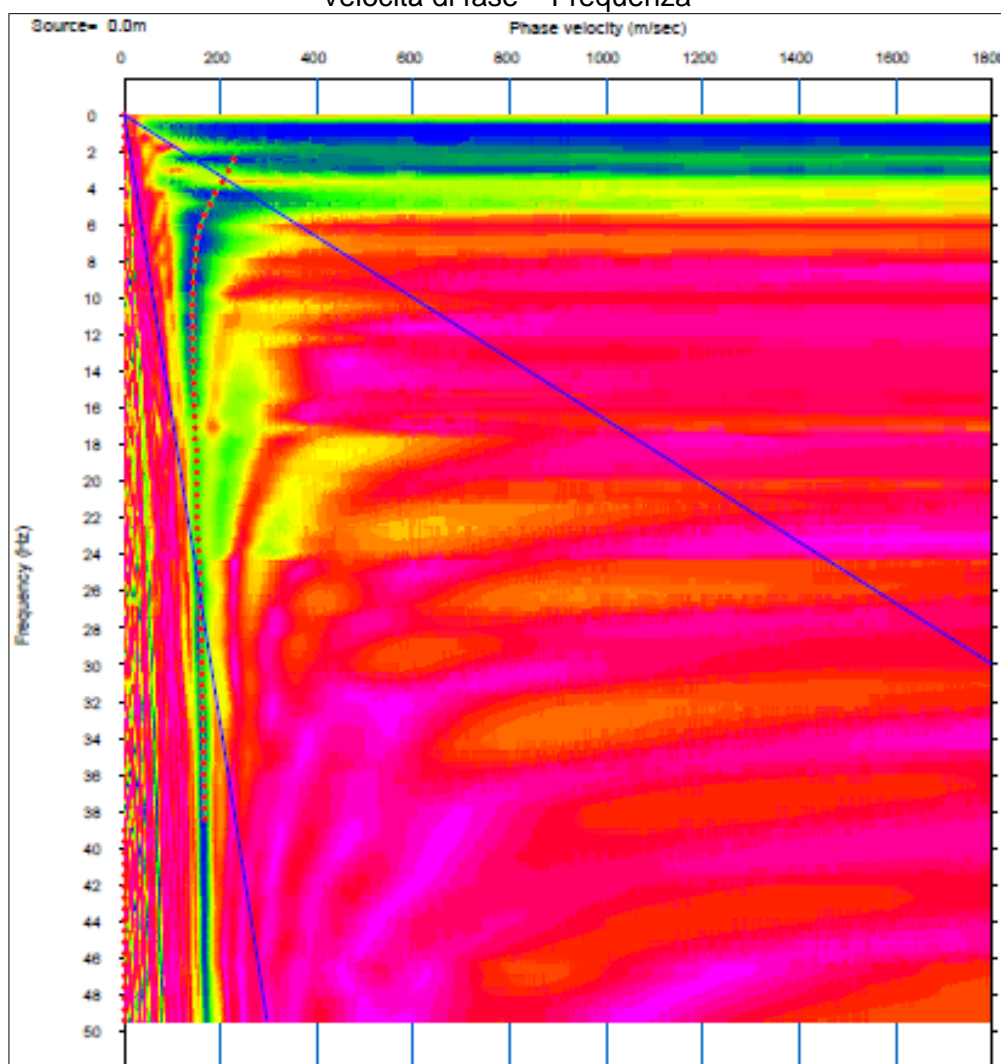
Profilo L7 - MASW

Loc. Casetta – coord. WGS84-33N: 48.01121, 21.0247

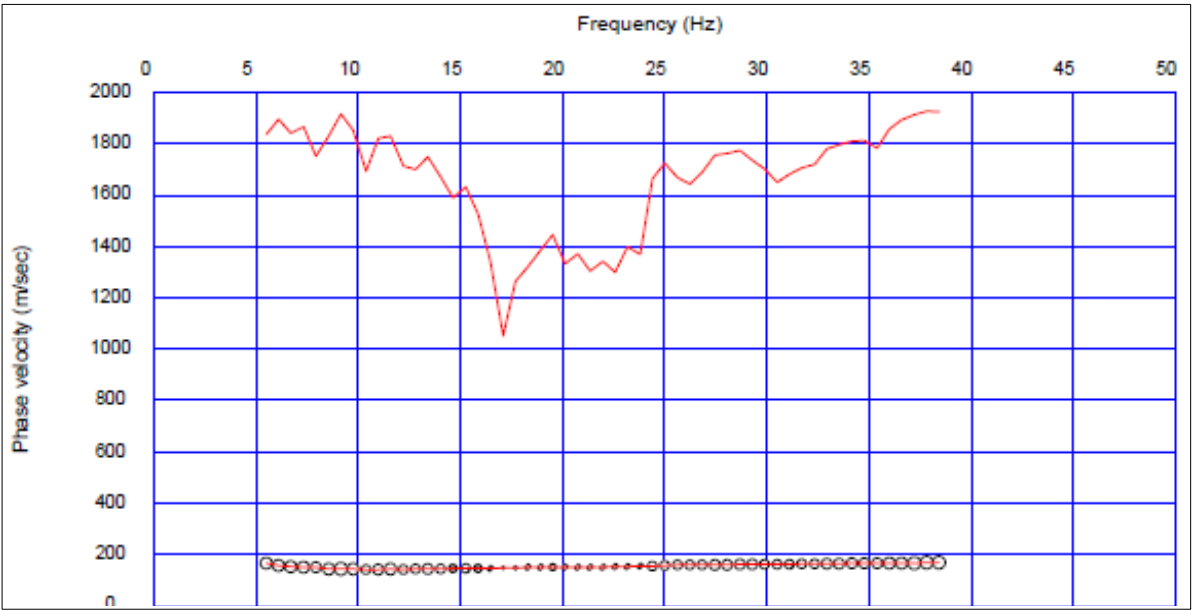
Time history



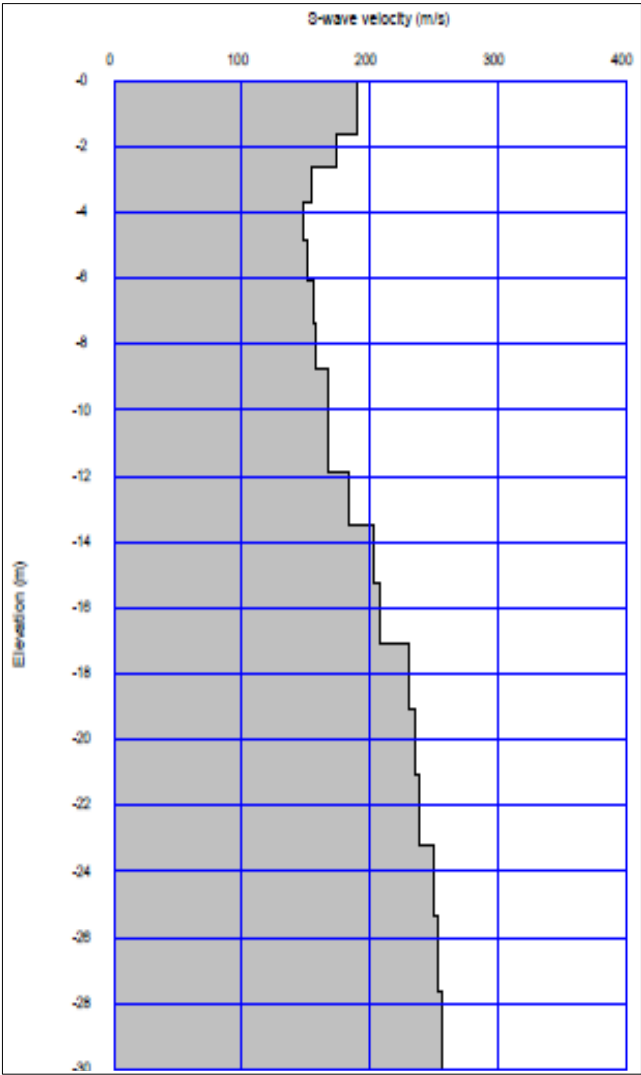
Velocità di fase – Frequenza



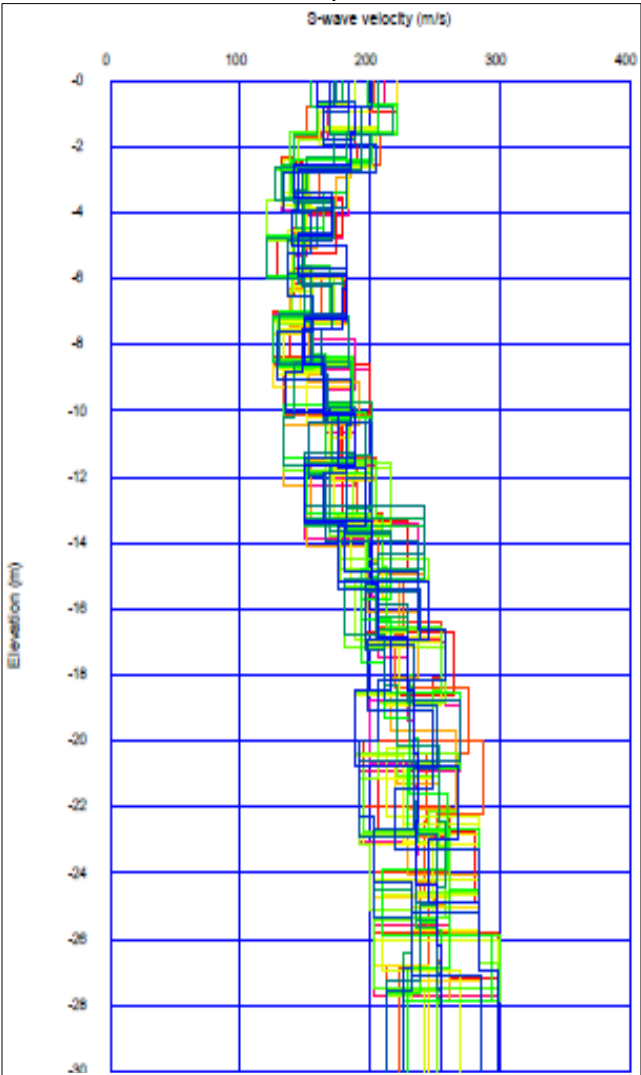
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



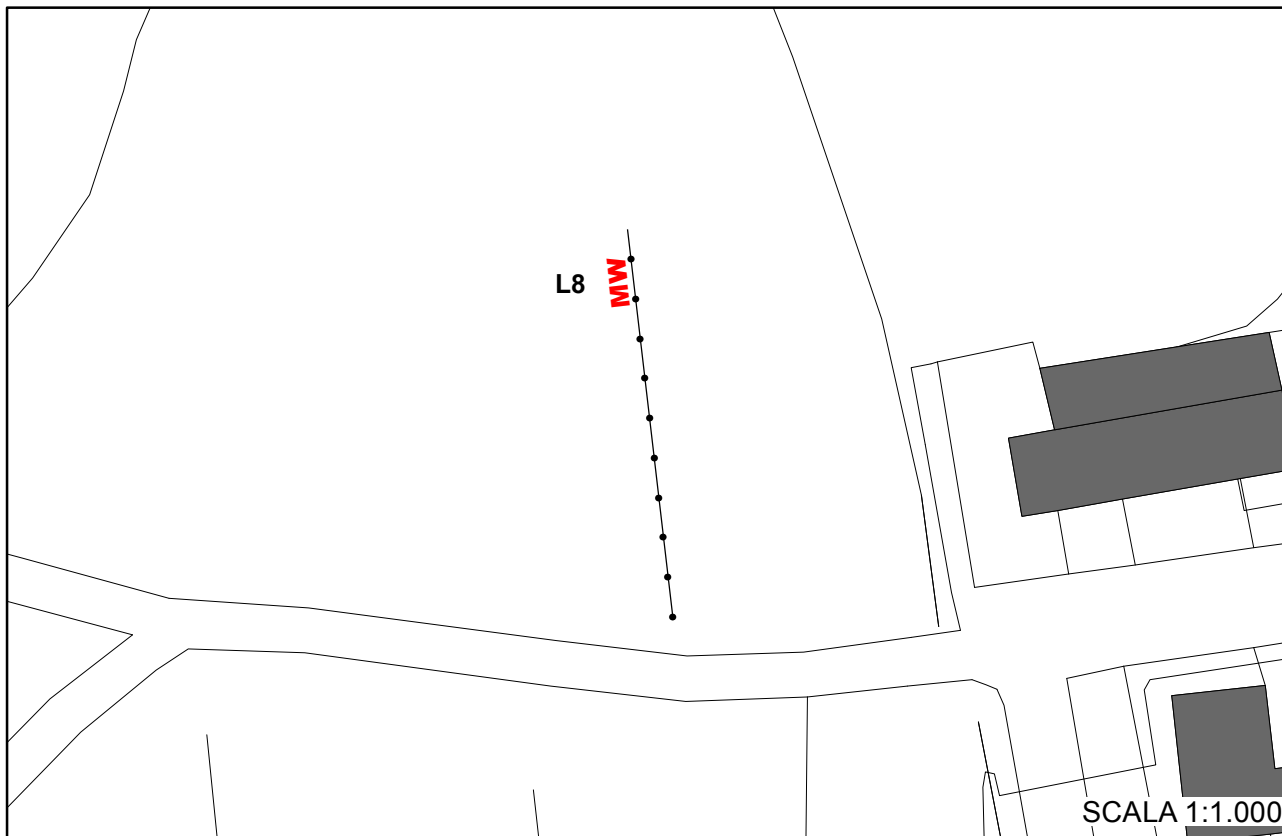
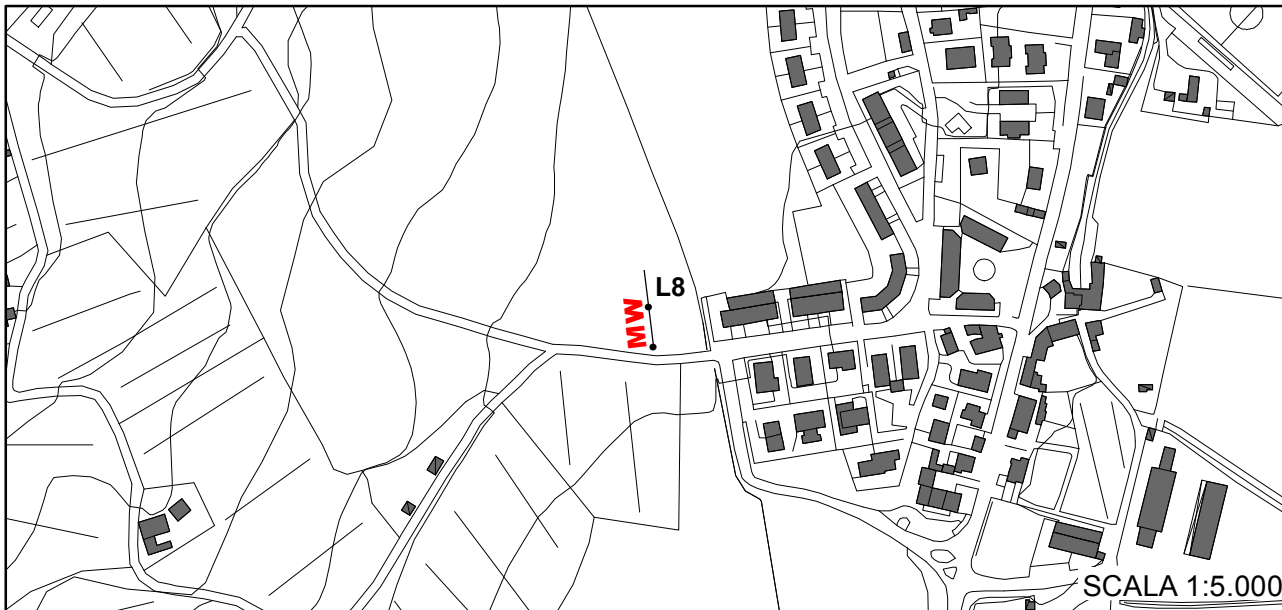
Modelli Equivalenti



ALLEGATO FOTOGRAFICO

MASW





STUDIO DI GEOLOGIA - Dott. Geol. Alberto Tomei
Dott. Geol. Nicolò Mantovani - Indagini geofisiche

COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA
MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW
Indagine n°: L8

Località: Pianella
Data: 8 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

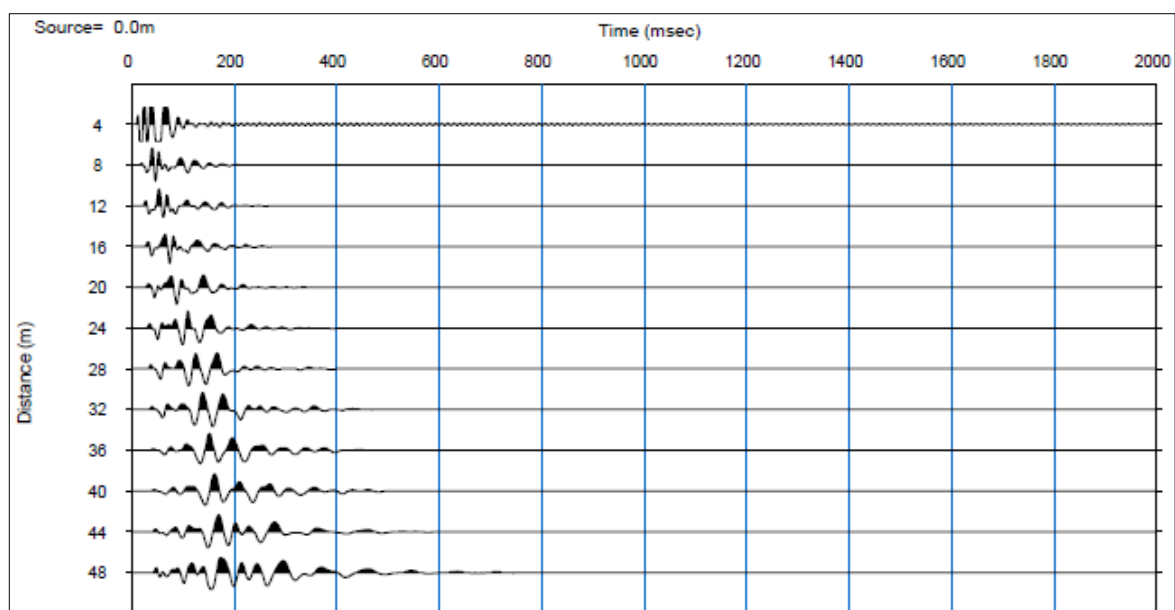
MW — MASW

L XXX lineari

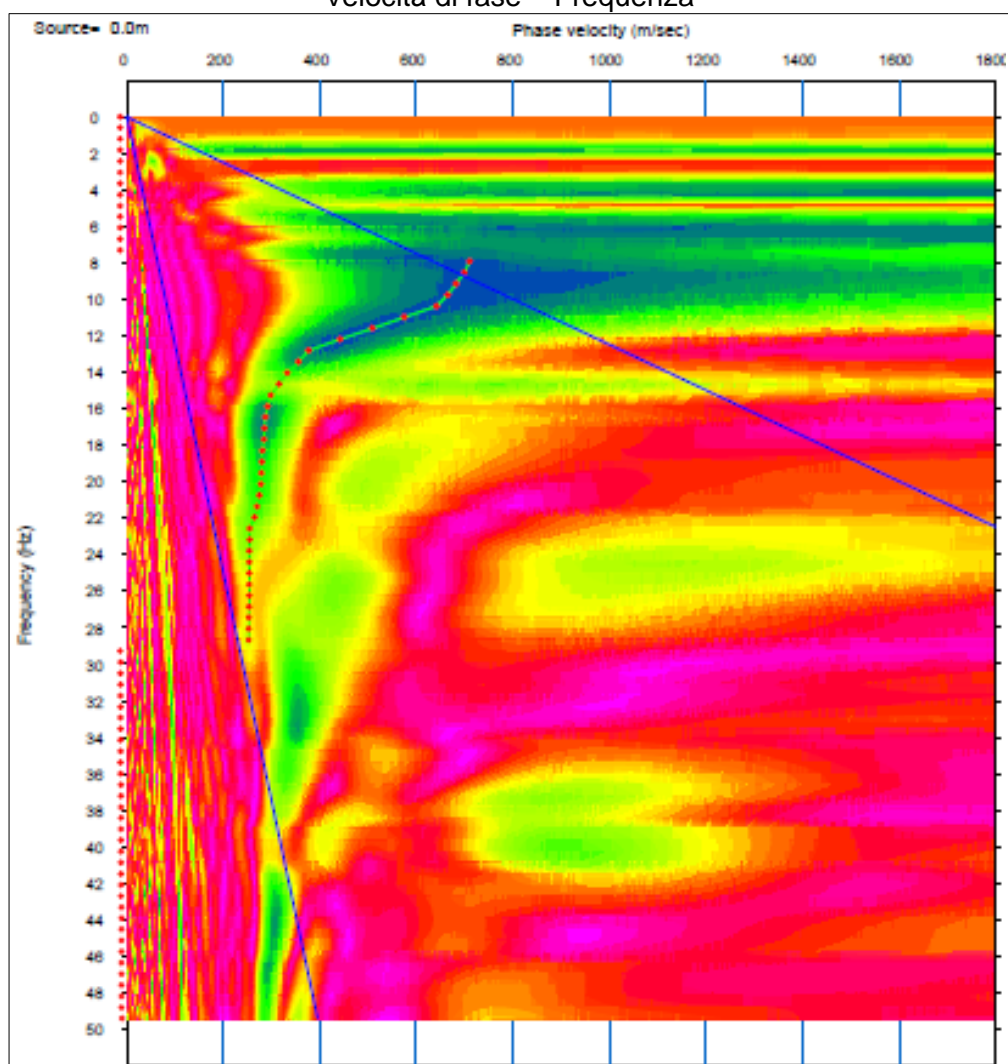
Profilo L8 - MASW

Loc. Pianella – coord. WGS84-33N: 48.06242, 20.9275

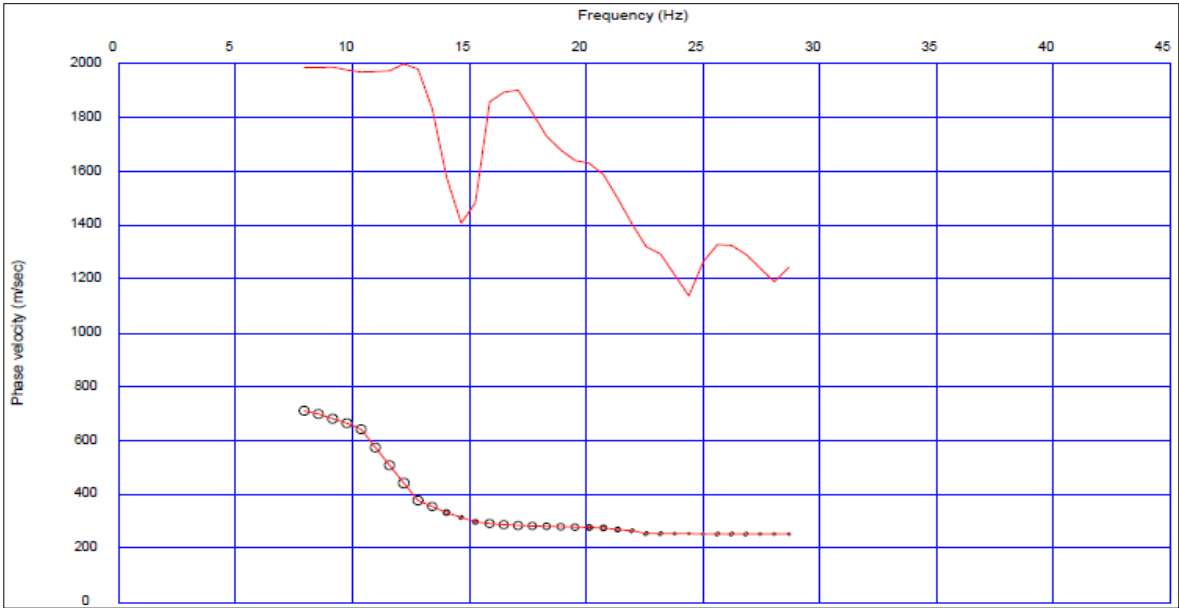
Time history



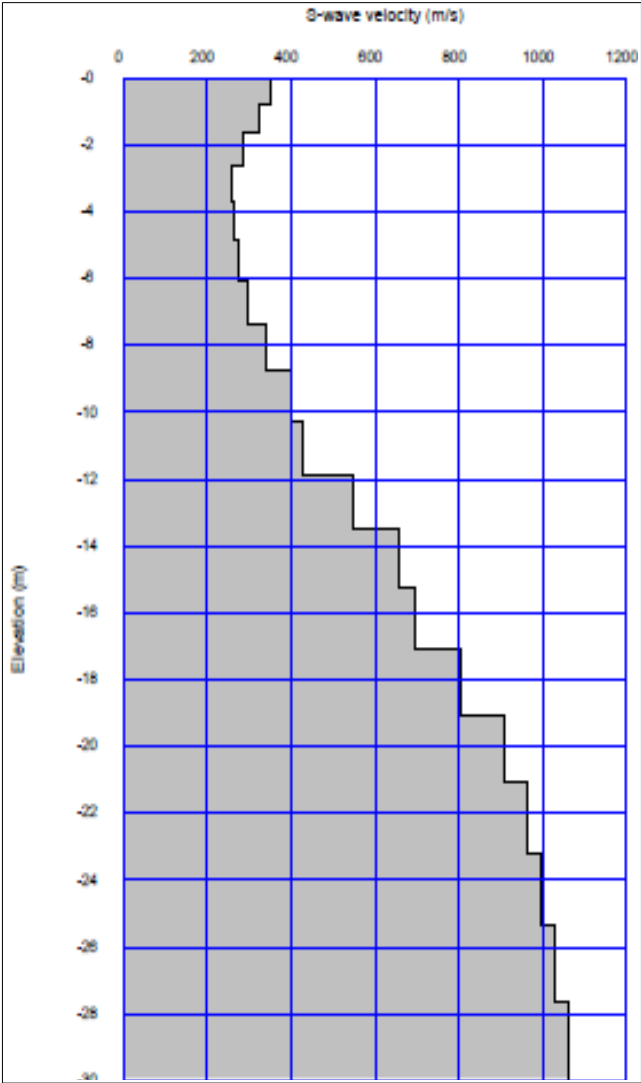
Velocità di fase – Frequenza



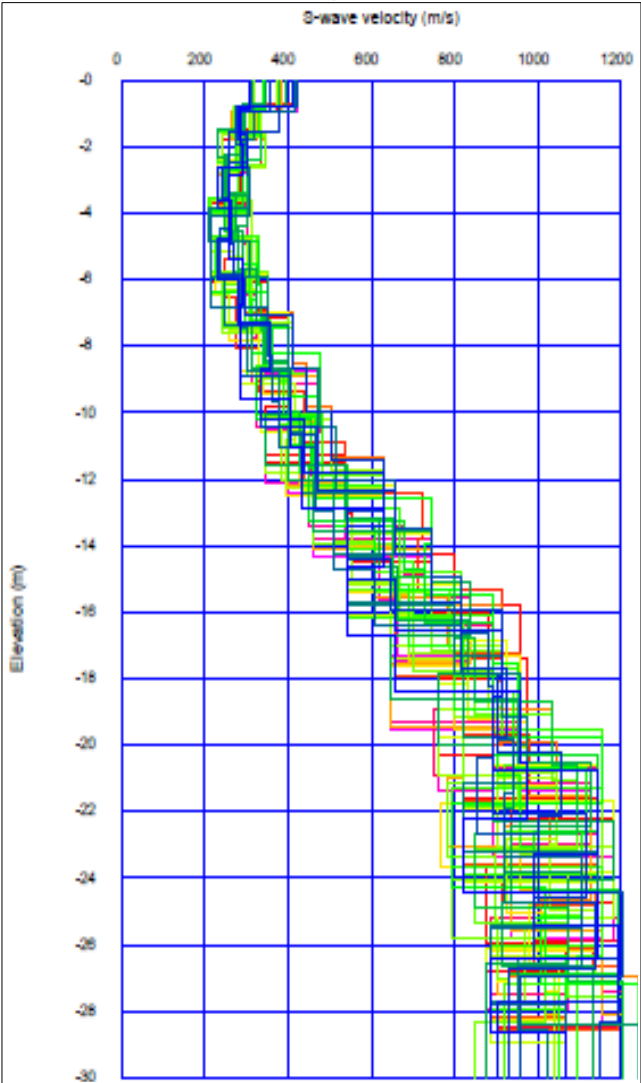
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



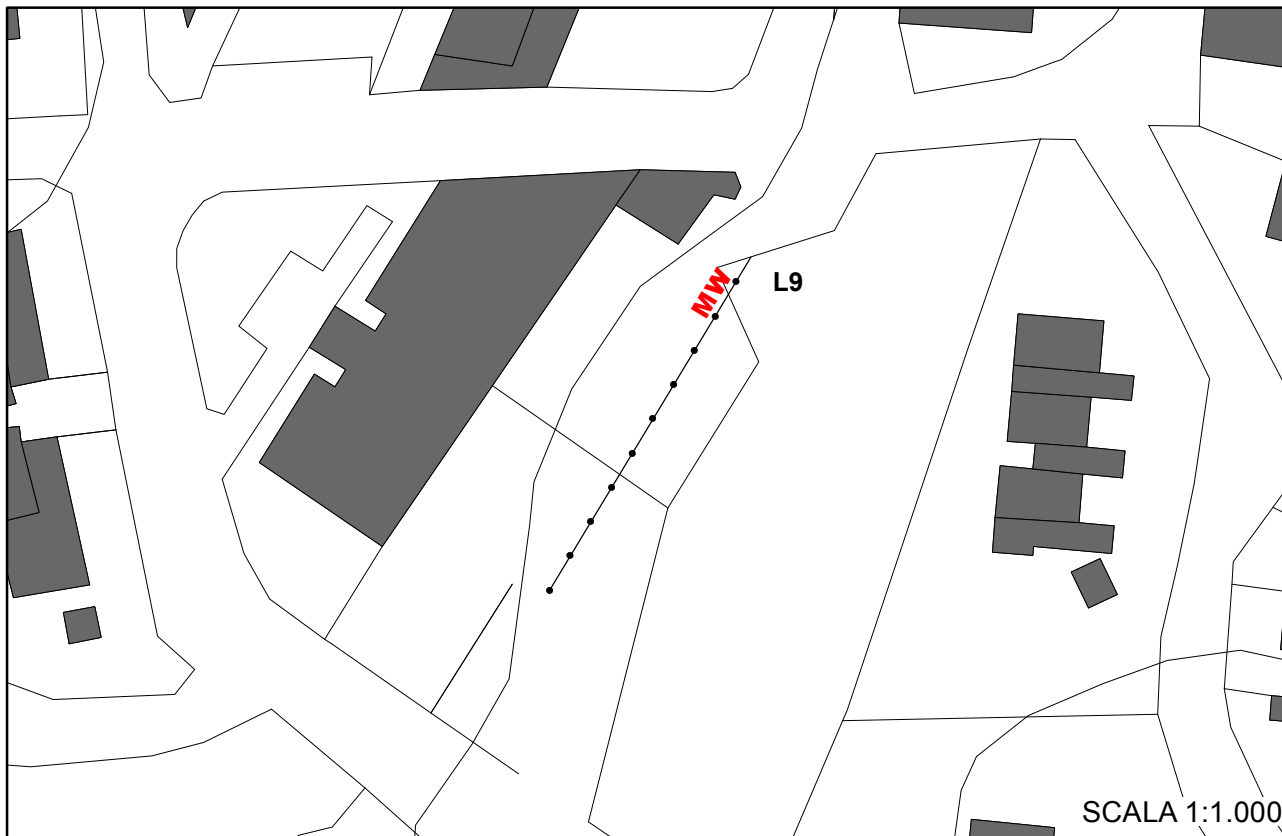
Modelli Equivalenti



ALLEGATO FOTOGRAFICO

MASW





STUDIO DI GEOLOGIA - Dott. Geol. Alberto Tomei
Dott. Geol. Nicolò Mantovani - Indagini geofisiche

COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA
MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW
Indagine n°: L9

Località: Quercegrossa
Data: 10 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

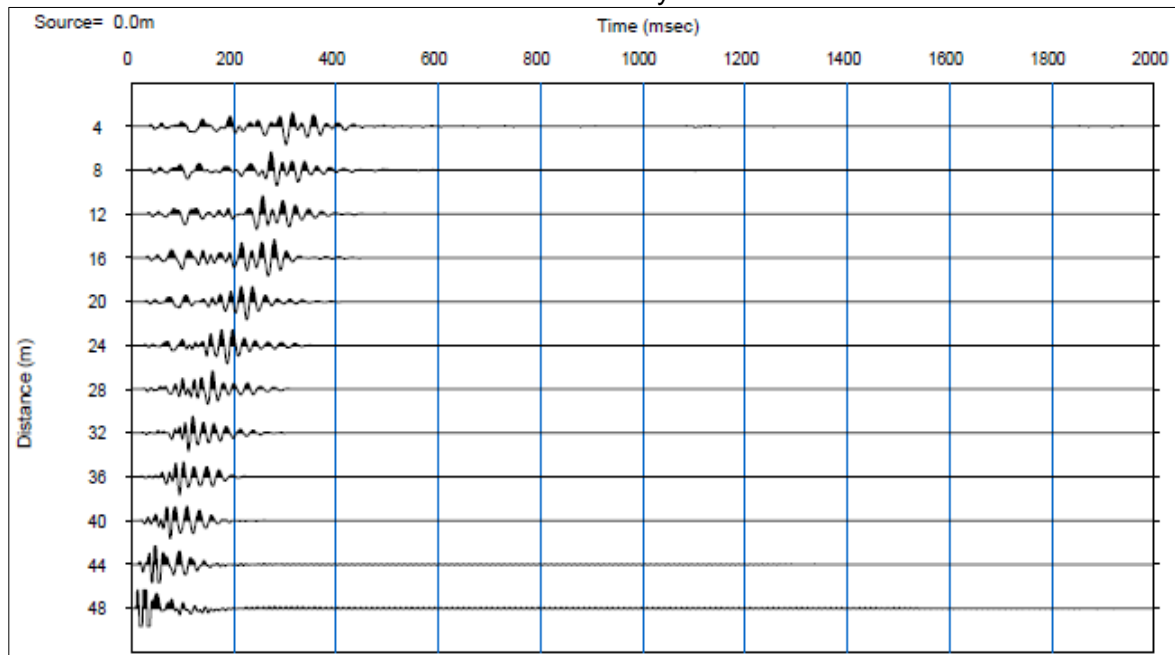
MW — MASW

L XXX lineari

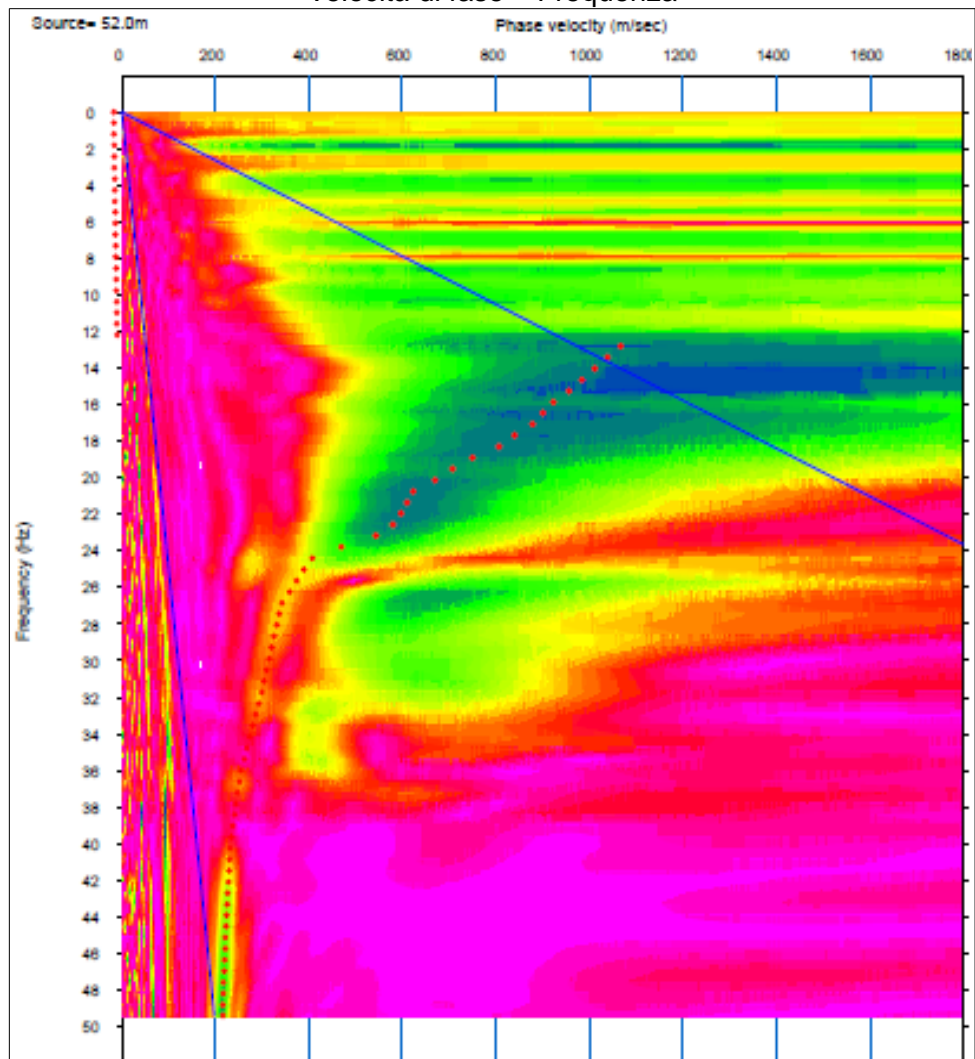
Profilo L9 - MASW

Loc. Querciagrossa- coord. WGS84-33N: 48.11078, 20.1205

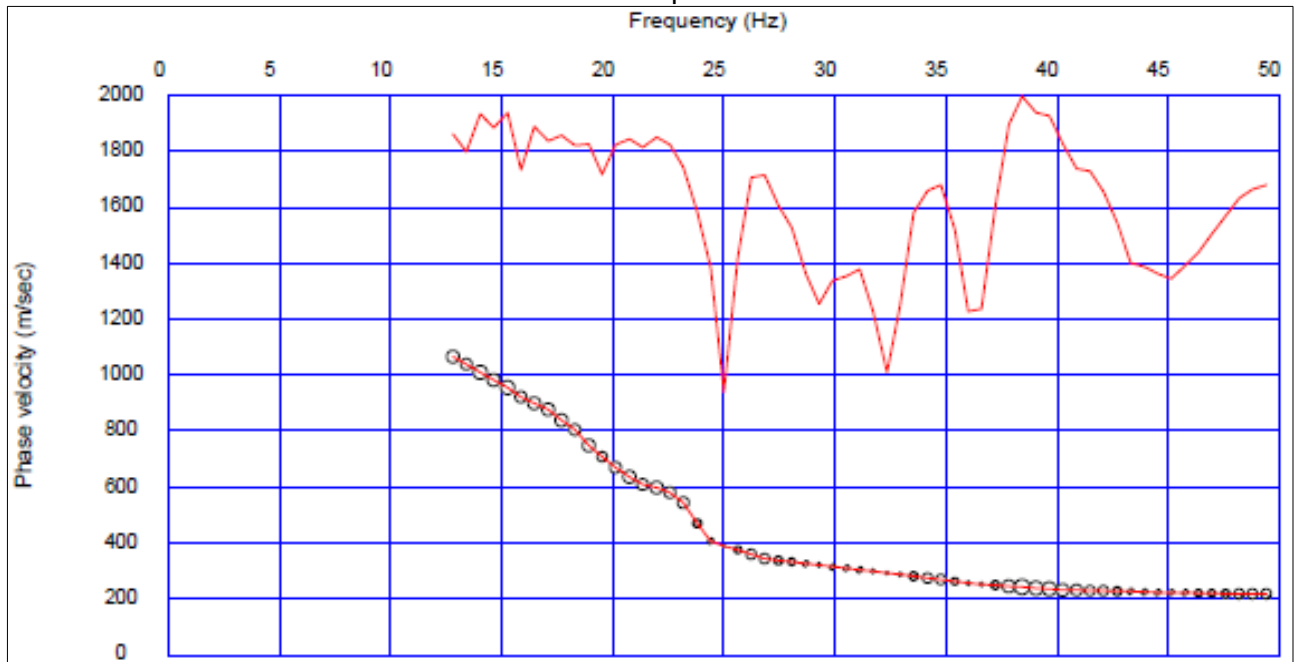
Time history



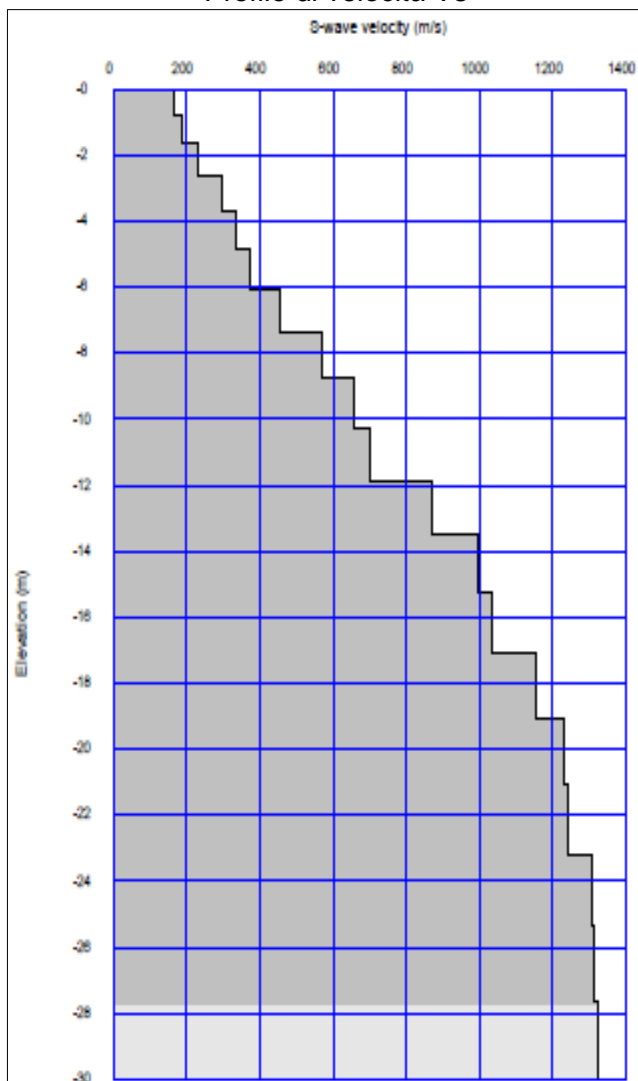
Velocità di fase – Frequenza



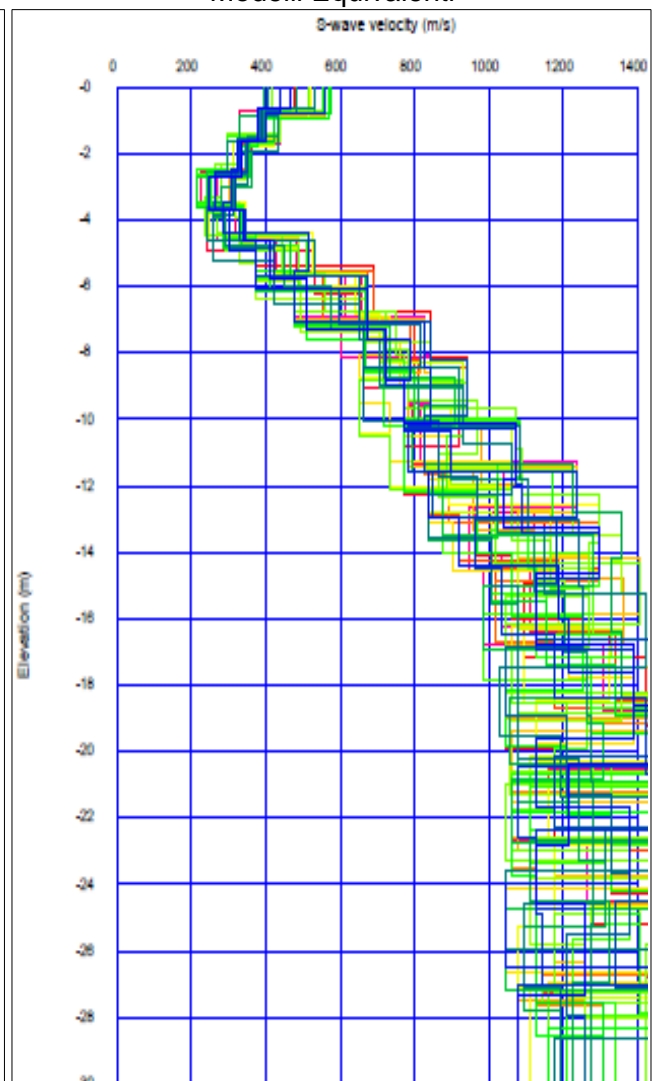
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



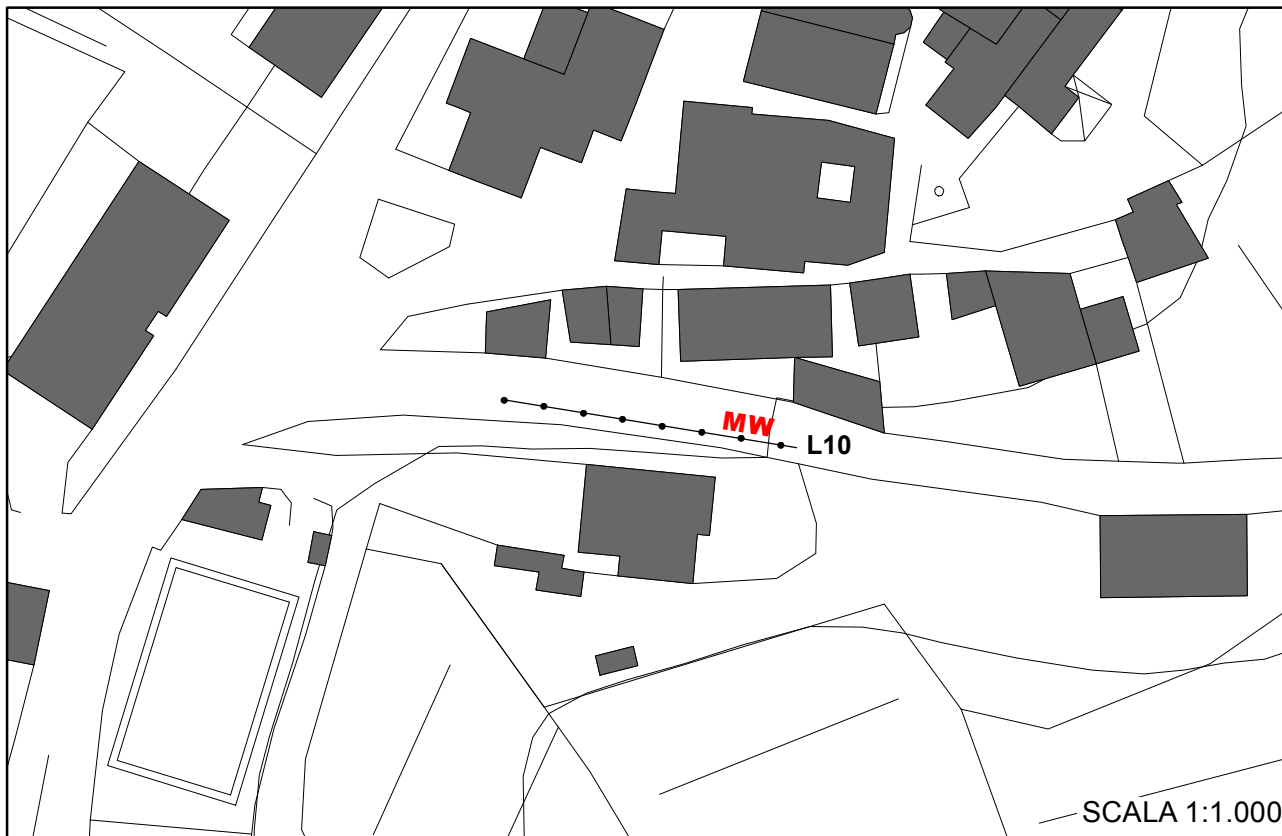
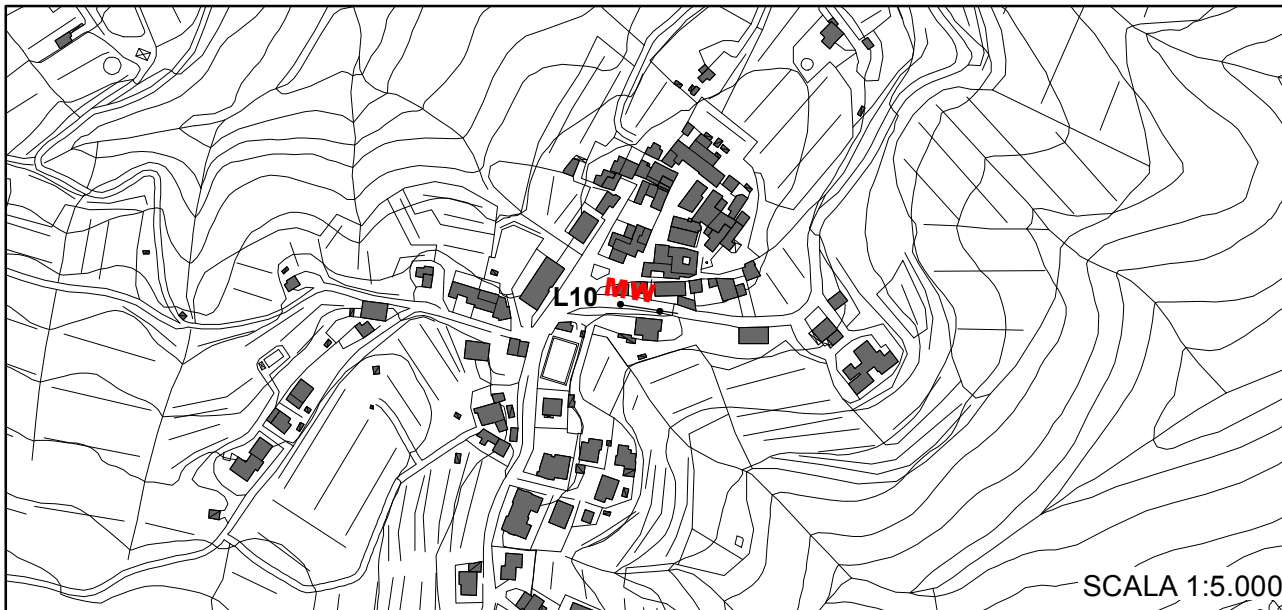
Modelli Equivalenti



ALLEGATO FOTOGRAFICO

MASW





STUDIO DI GEOLOGIA - Dott. Geol. Alberto Tomei
Dott. Geol. Nicolò Mantovani - Indagini geofisiche

COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA
MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW
Indagine n°: L10

Località: Vagliagli
Data: 10 Giugno 2022

LEGENDA

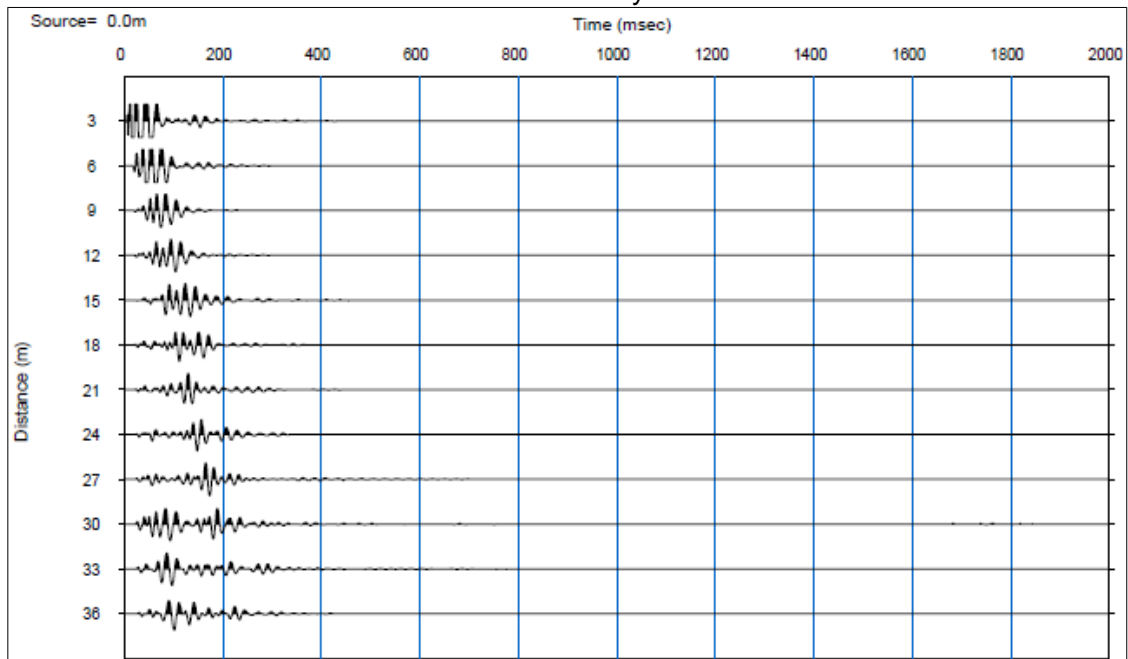
Tipologia prova
MW — MASW

L XXX lineari

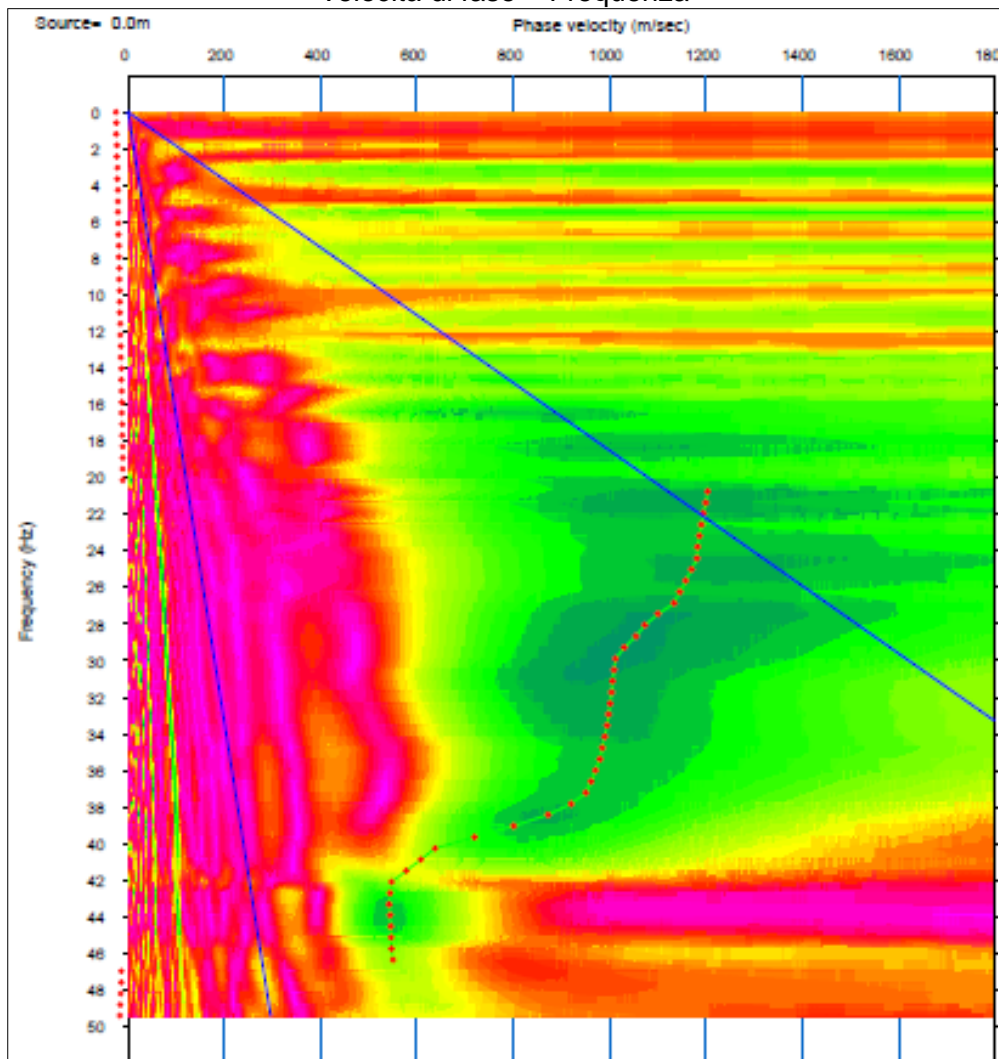
Profilo L10 - MASW

Loc. Vagliagli – coord. WGS84-33N: 48.14087, 20.4378

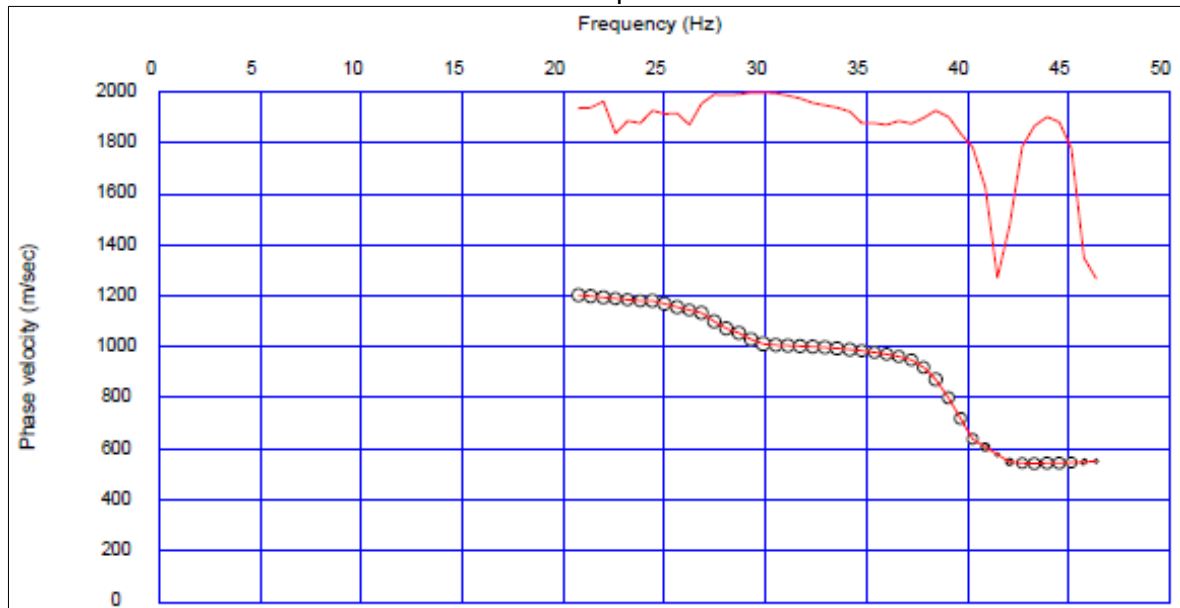
Time history



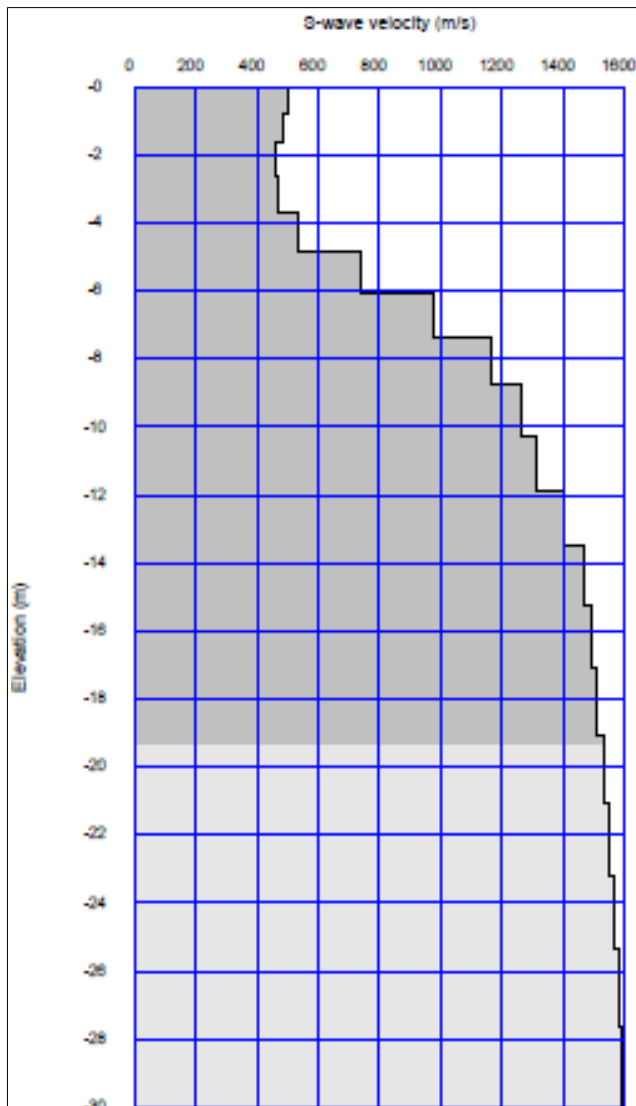
Velocità di fase – Frequenza



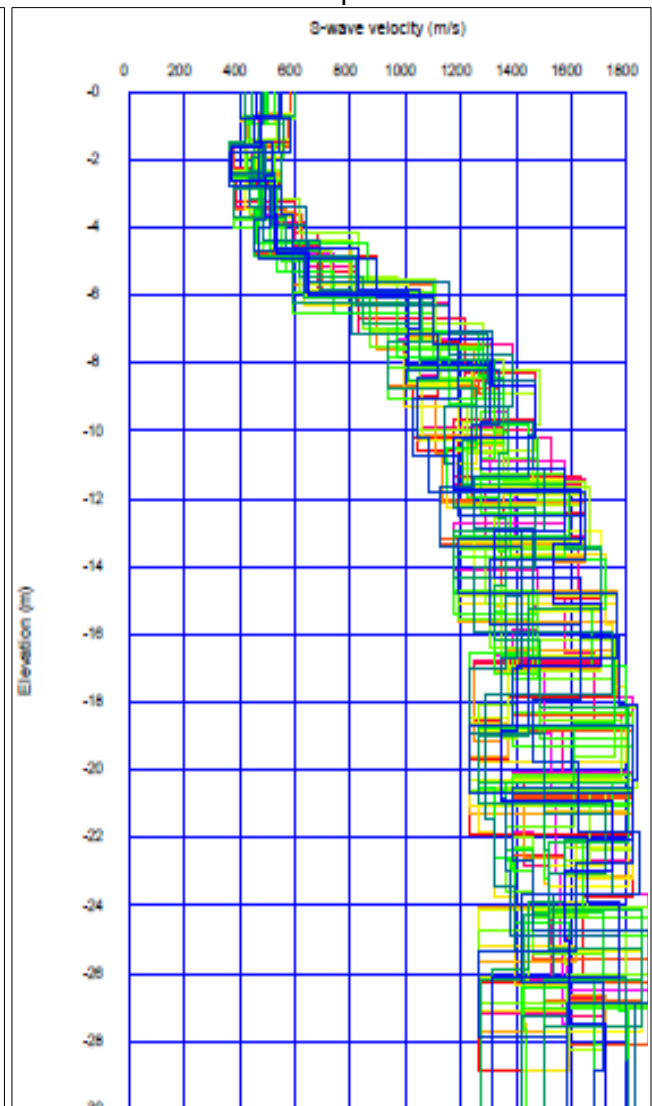
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



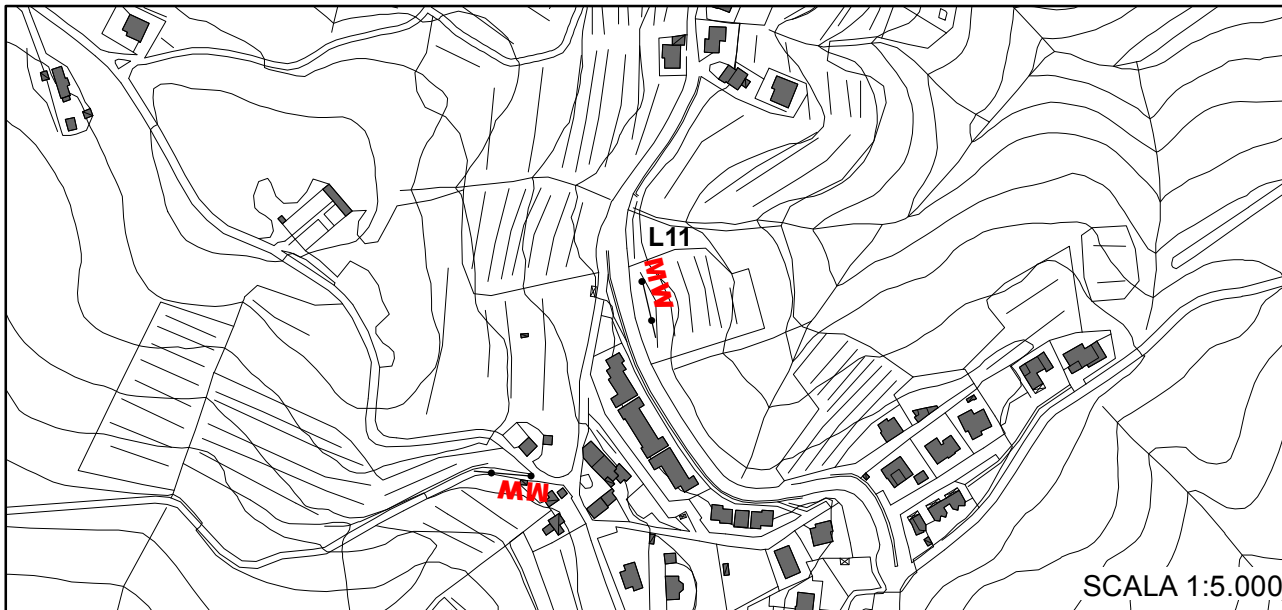
Modelli Equivalenti



ALLEGATO FOTOGRAFICO

MASW





STUDIO DI GEOLOGIA - Dott.Geol.Alberto Tomei
Dott.Geol.Nicolò Mantovani - Indagini geofisiche

COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA
MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW
Indagine n°: L11

Località: Vagliagli
Data: 10 Giugno 2022

LEGENDA

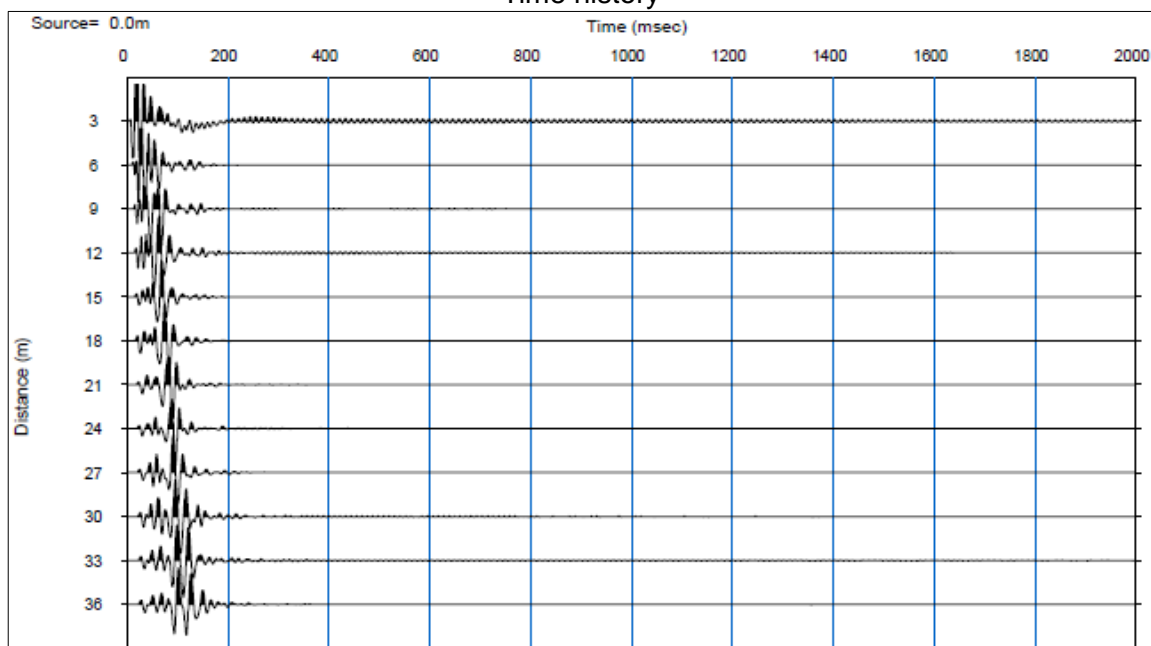
Tipologia prova
MW — MASW

L XXX lineari

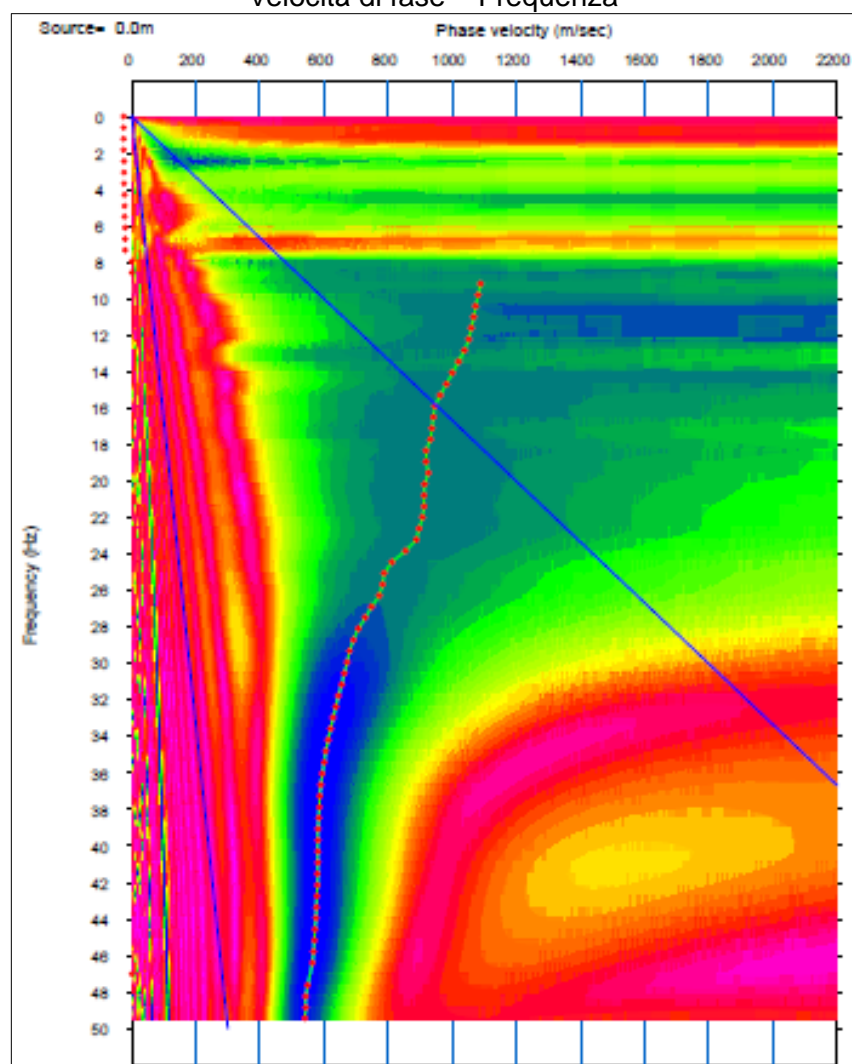
Profilo L11 - MASW

Loc. Vagliagli – coord. WGS84-33N: 48.13739, 20.4244

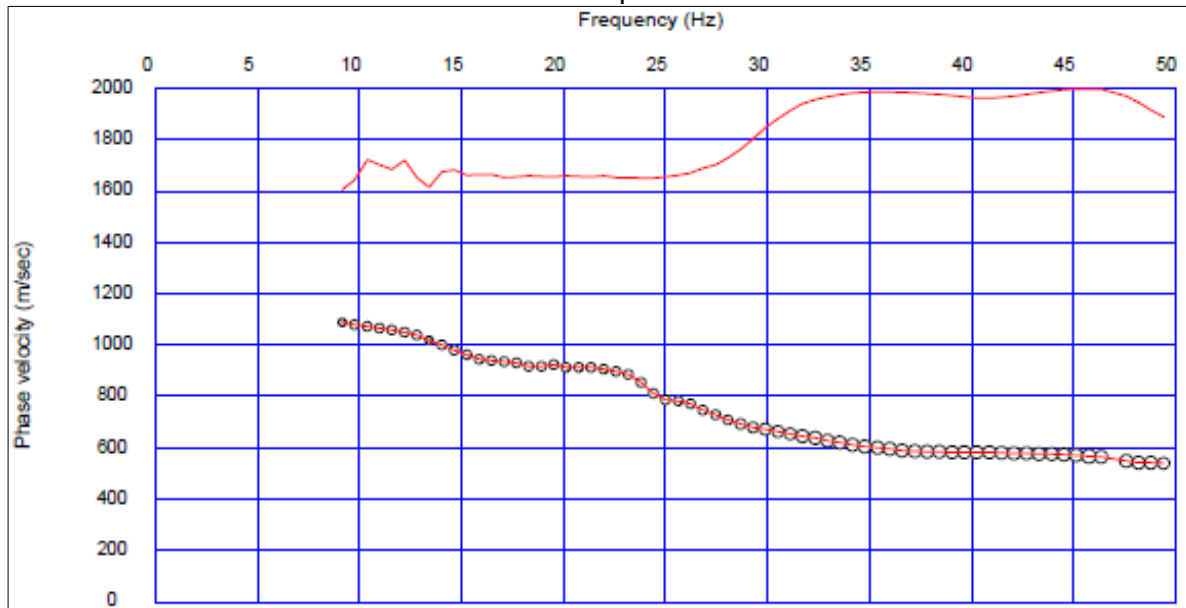
Time history



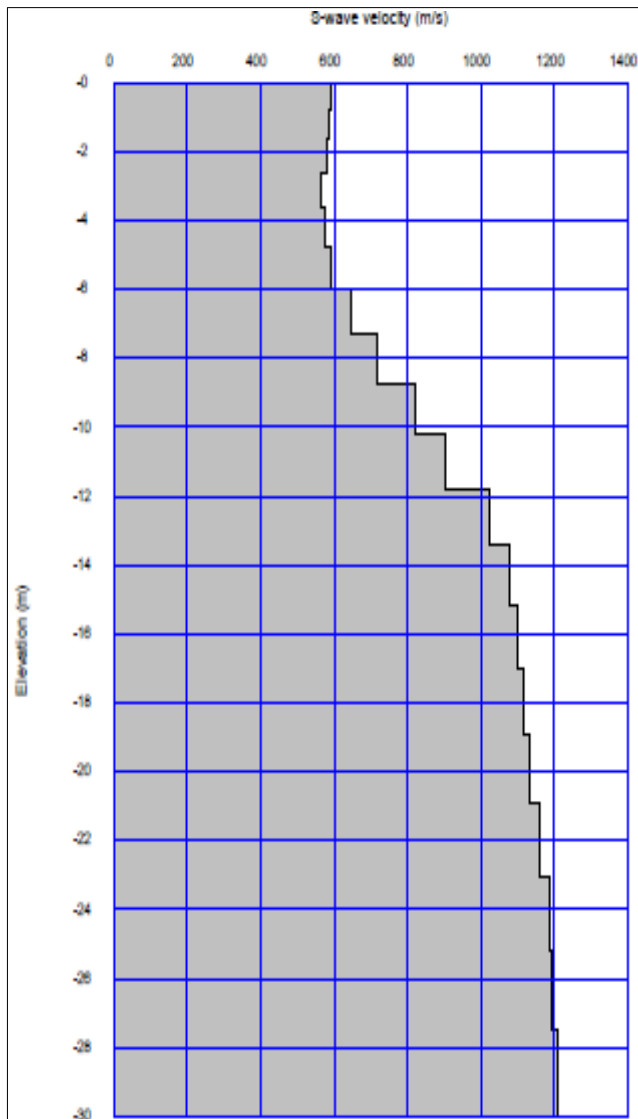
Velocità di fase – Frequenza



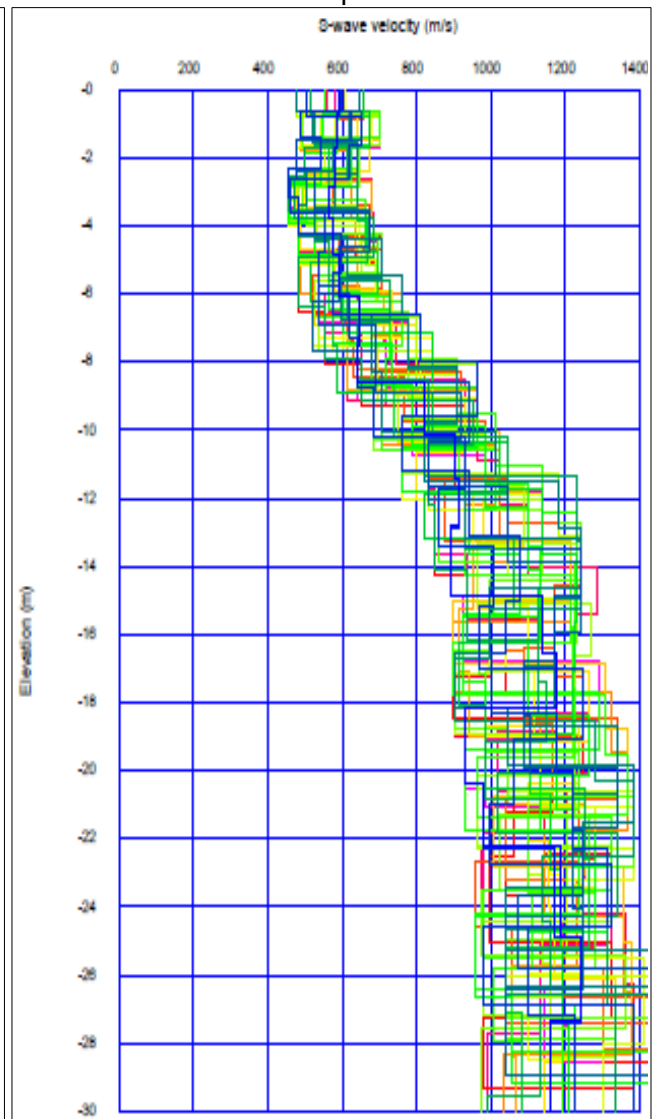
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



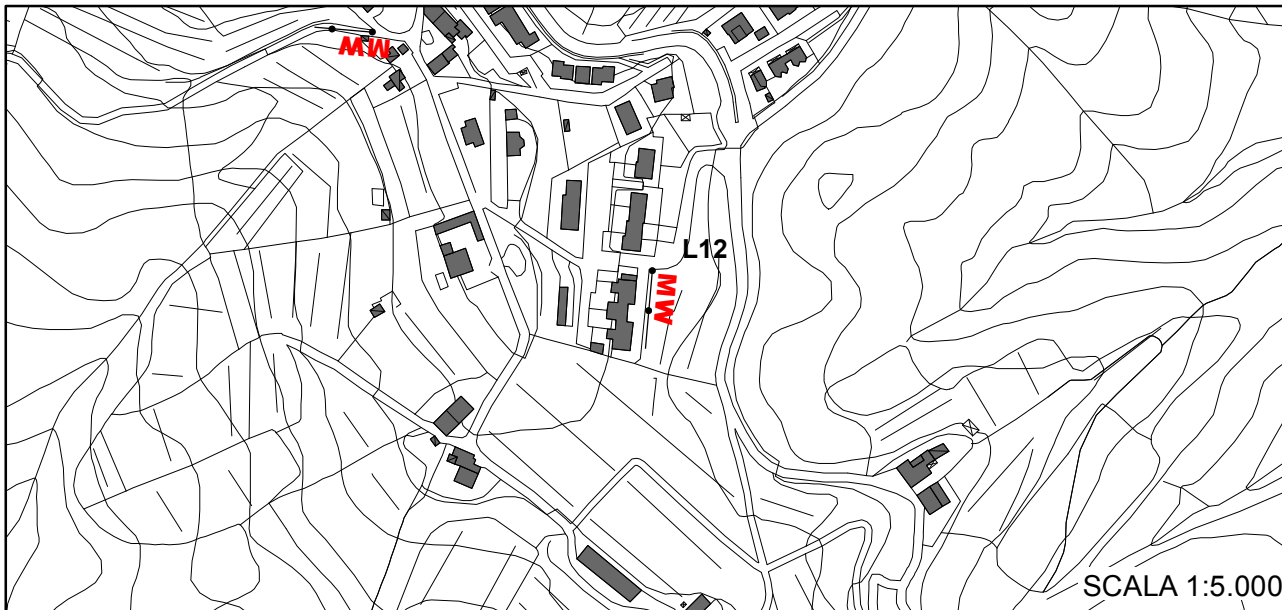
Modelli Equivalenti



ALLEGATO FOTOGRAFICO

MASW





STUDIO DI GEOLOGIA - Dott.Geol.Alberto Tomei
Dott.Geol.Nicolò Mantovani - Indagini geofisiche

COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA
MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW
Indagine n°: L12

Località: Vagliagli
Data: 10 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

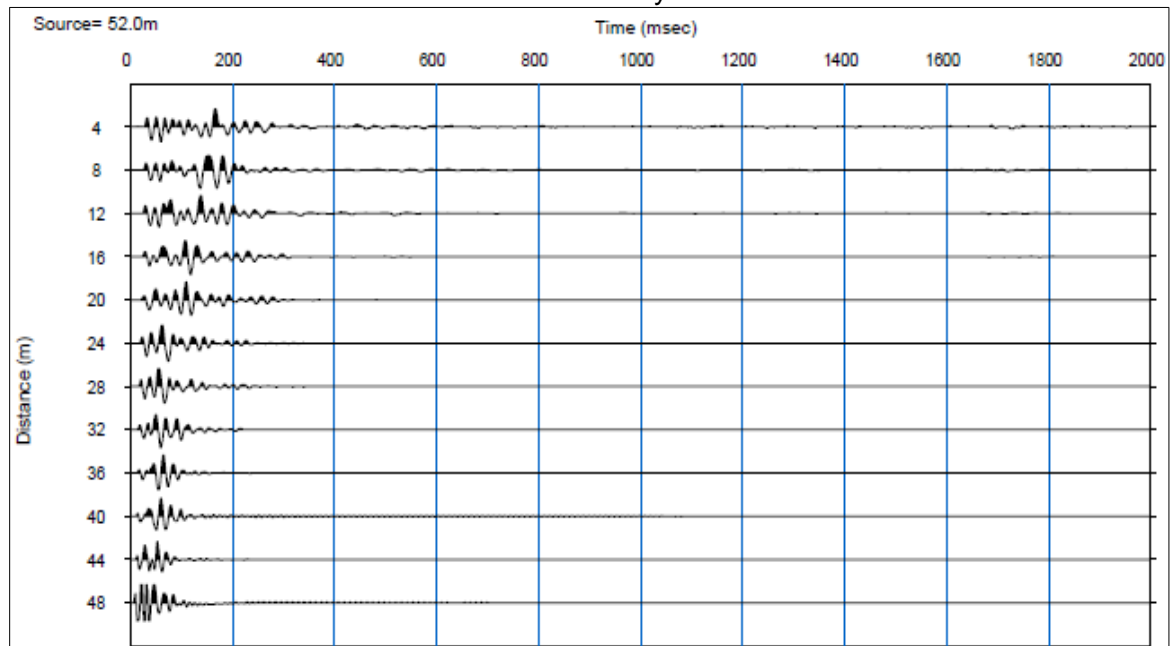
MW — MASW

L XXX lineari

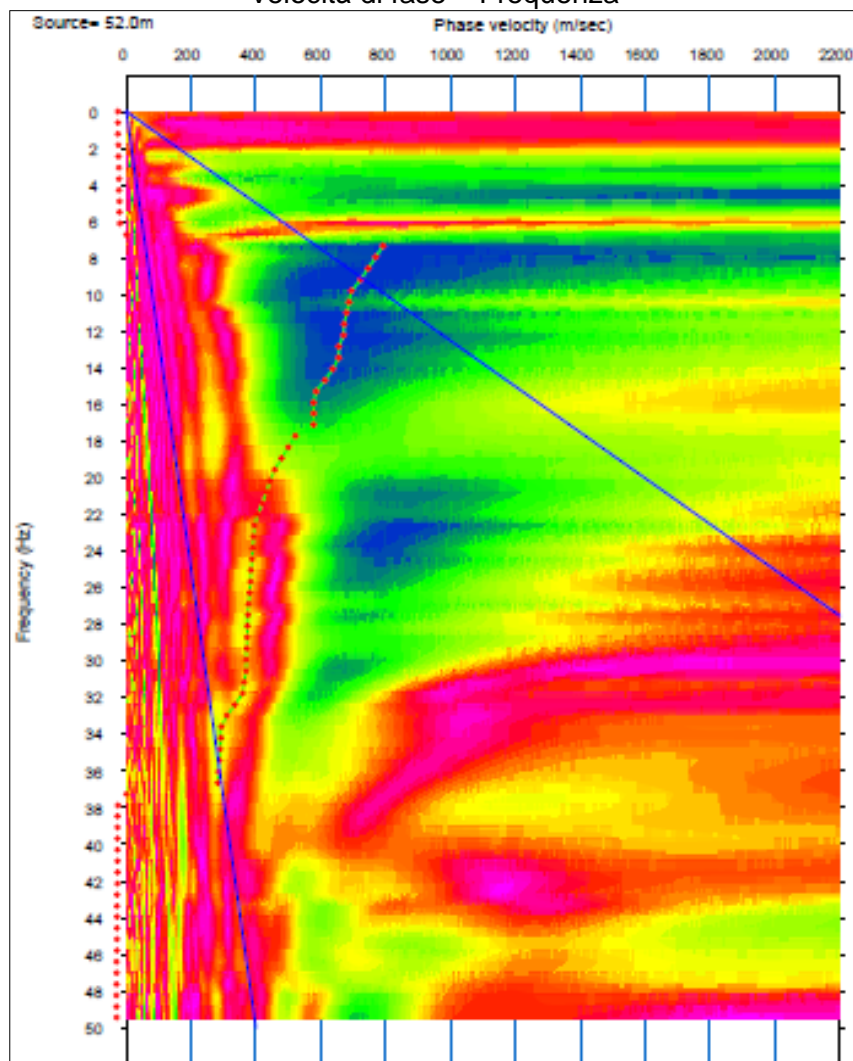
Profilo L12 - MASW

Loc. Vagliagli – coord. WGS84-33N: 48.13446, 20.4349

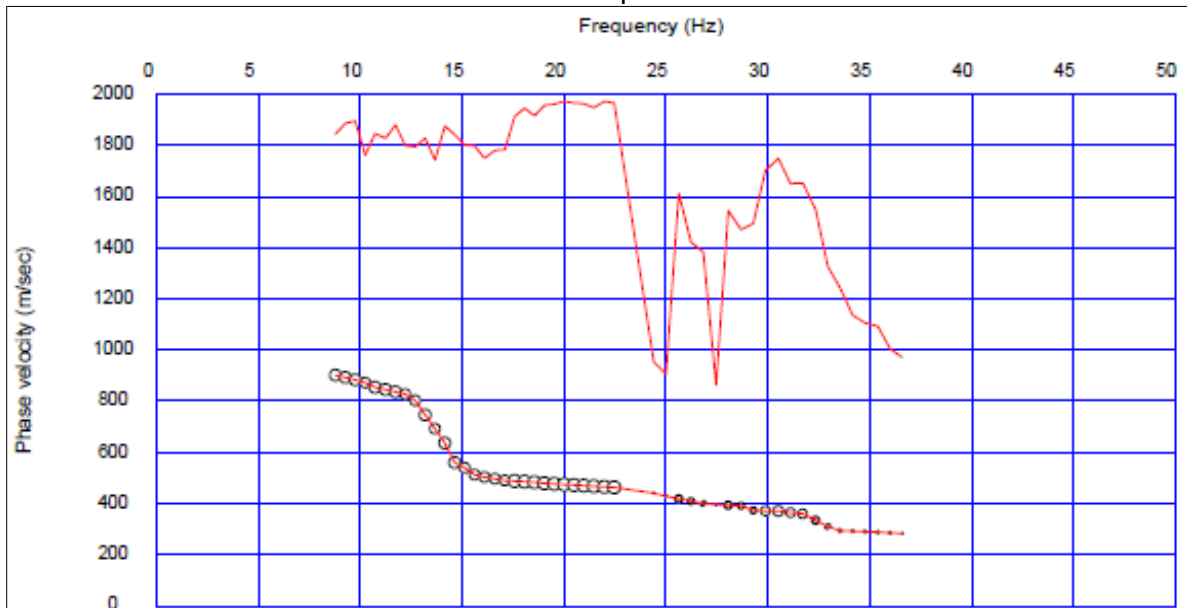
Time history



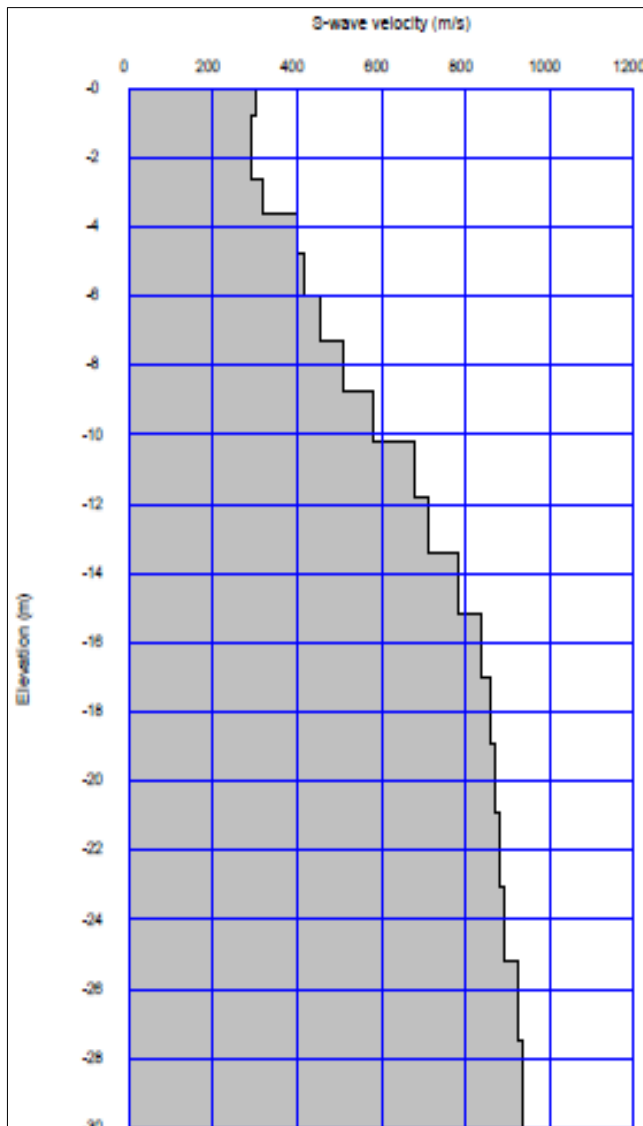
Velocità di fase – Frequenza



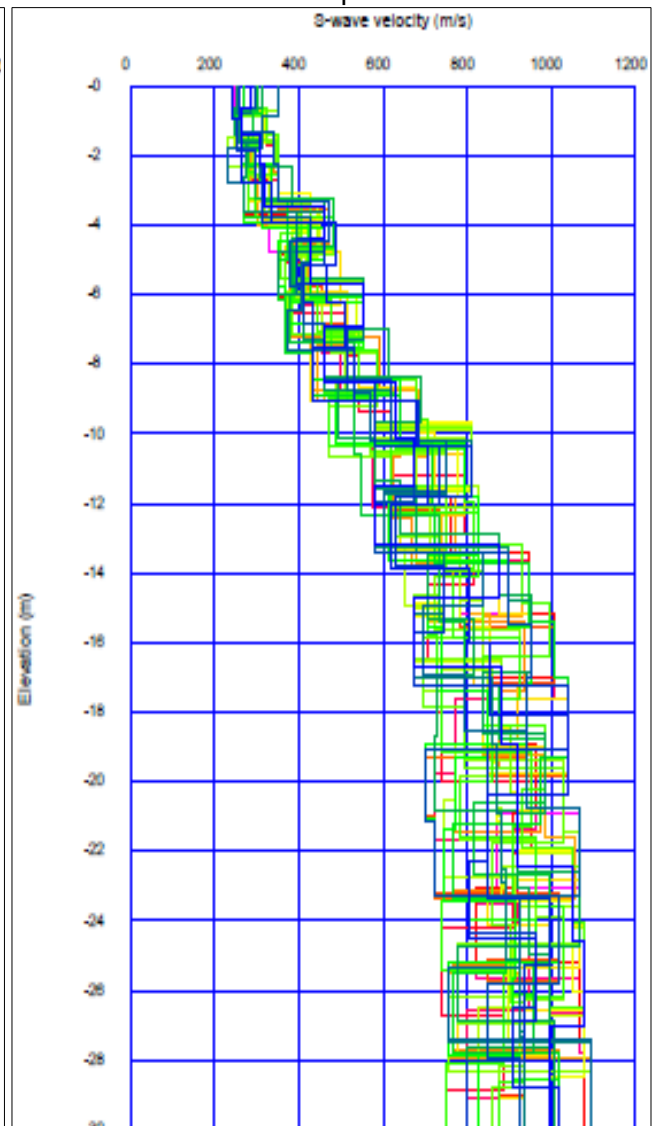
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs



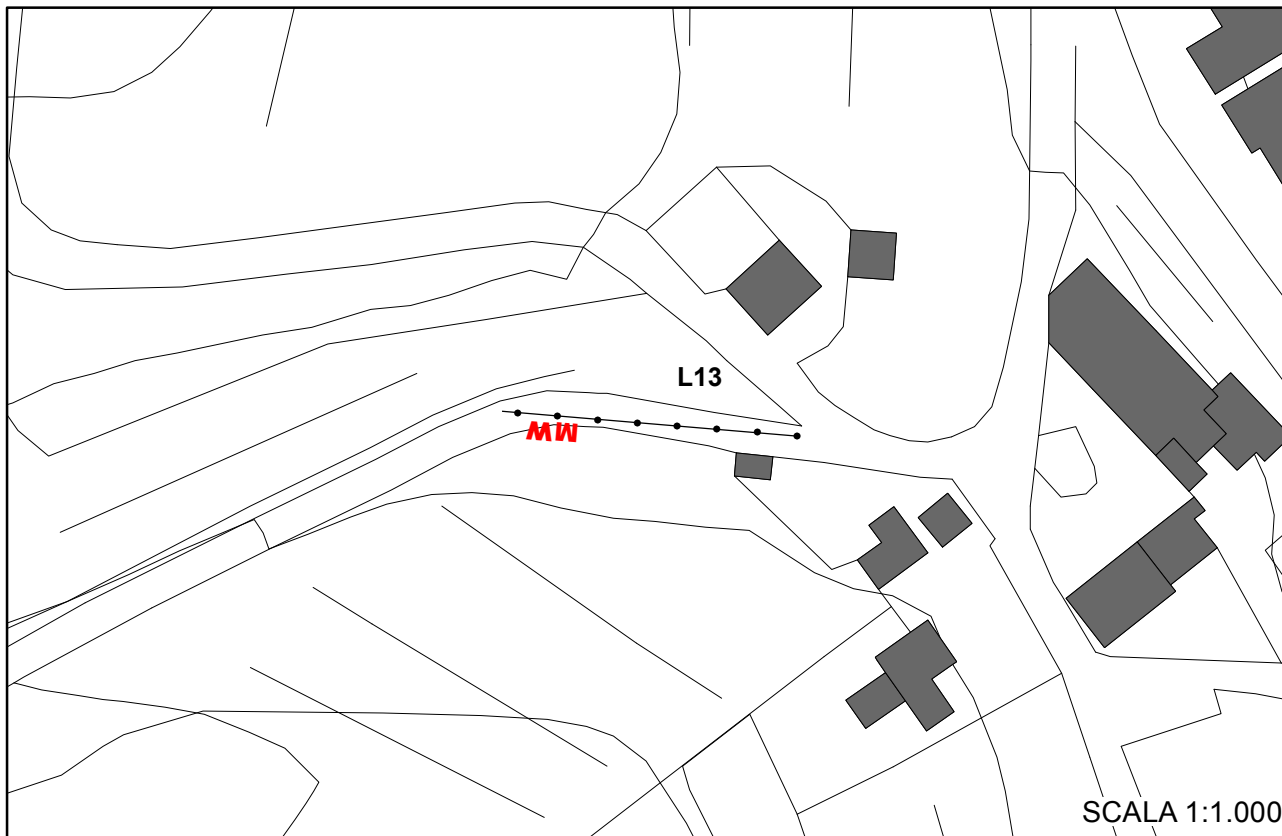
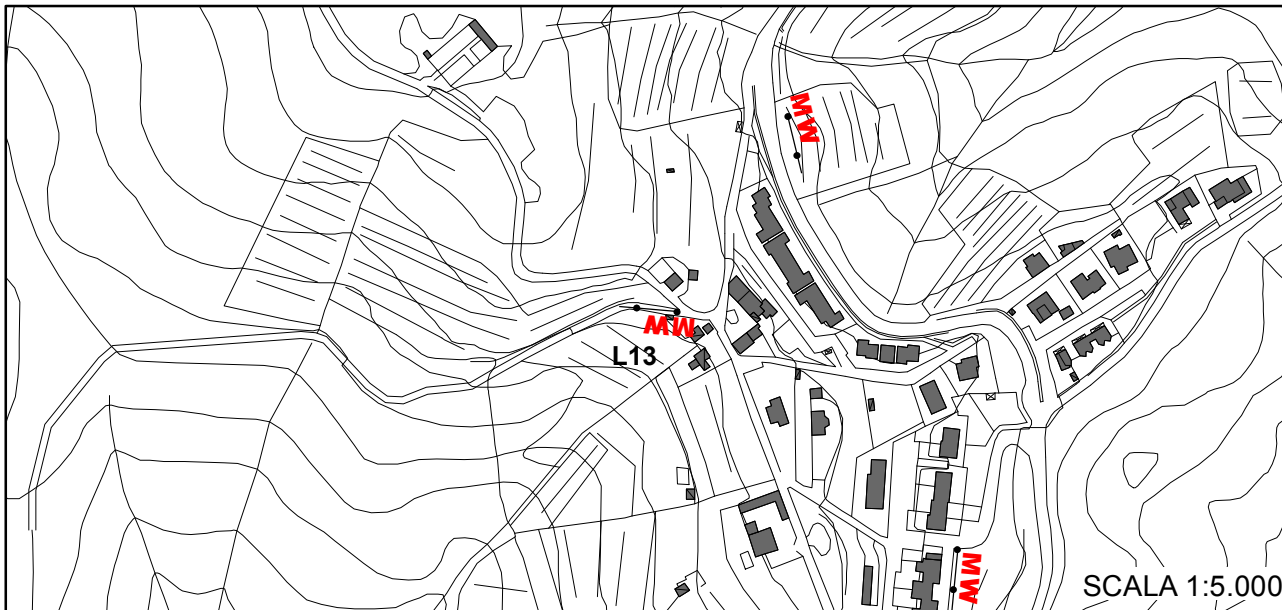
Modelli Equivalenti



ALLEGATO FOTOGRAFICO

MASW





STUDIO DI GEOLOGIA - Dott. Geol. Alberto Tomei
Dott. Geol. Nicolò Mantovani - Indagini geofisiche

COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA
MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW
Indagine n°: L13

Località: Vagliagli
Data: 10 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

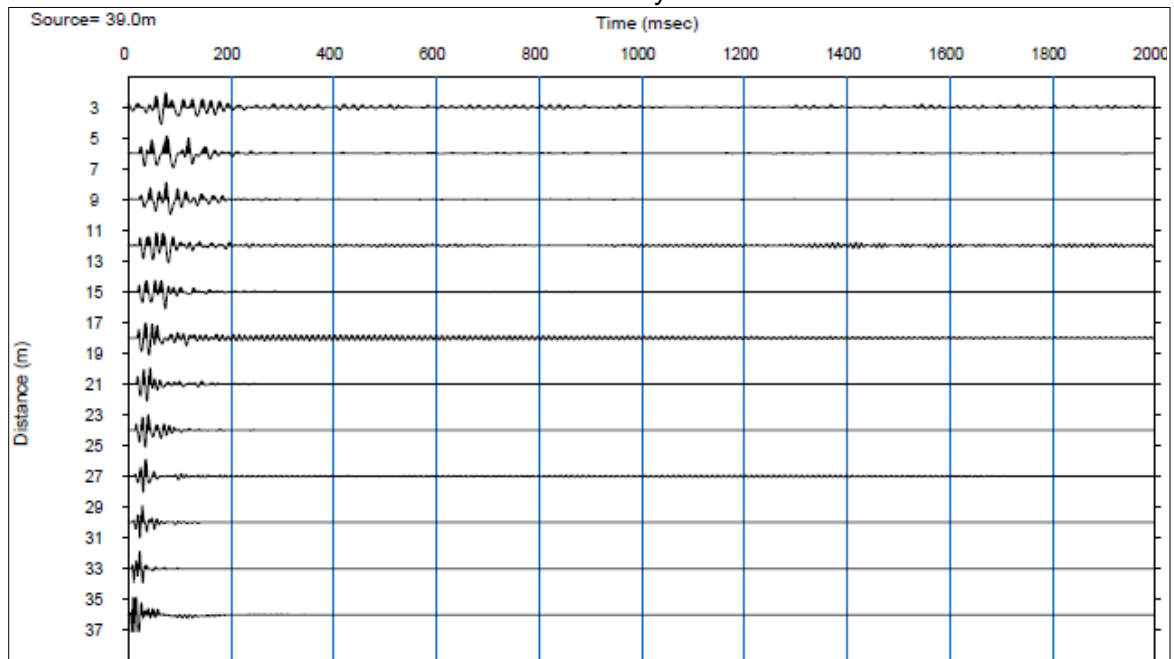
MW — MASW

L XXX lineari

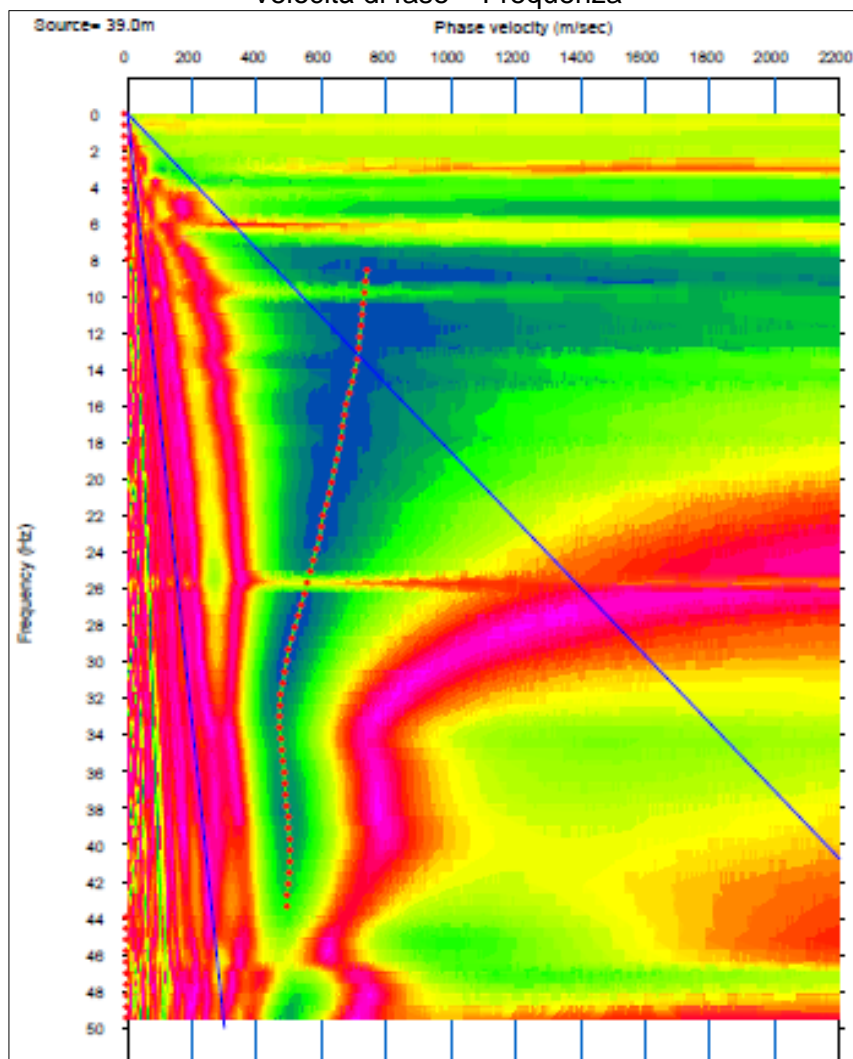
Profilo L13 - MASW

Loc. Vagliagli – coord. WGS84-33N: 48.13630, 20.4148

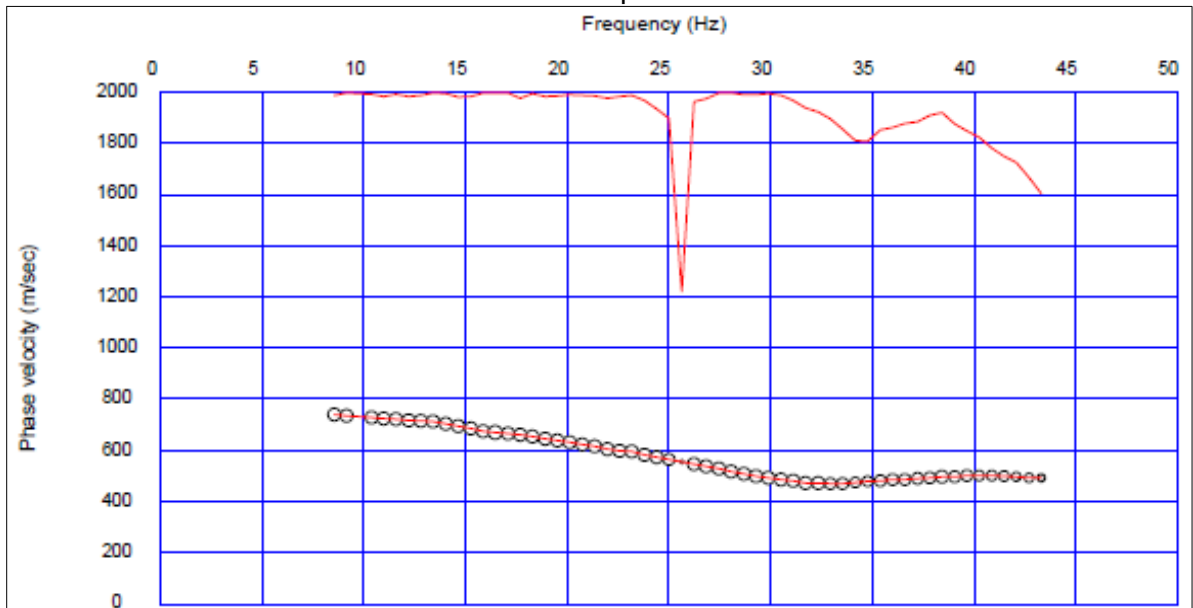
Time history



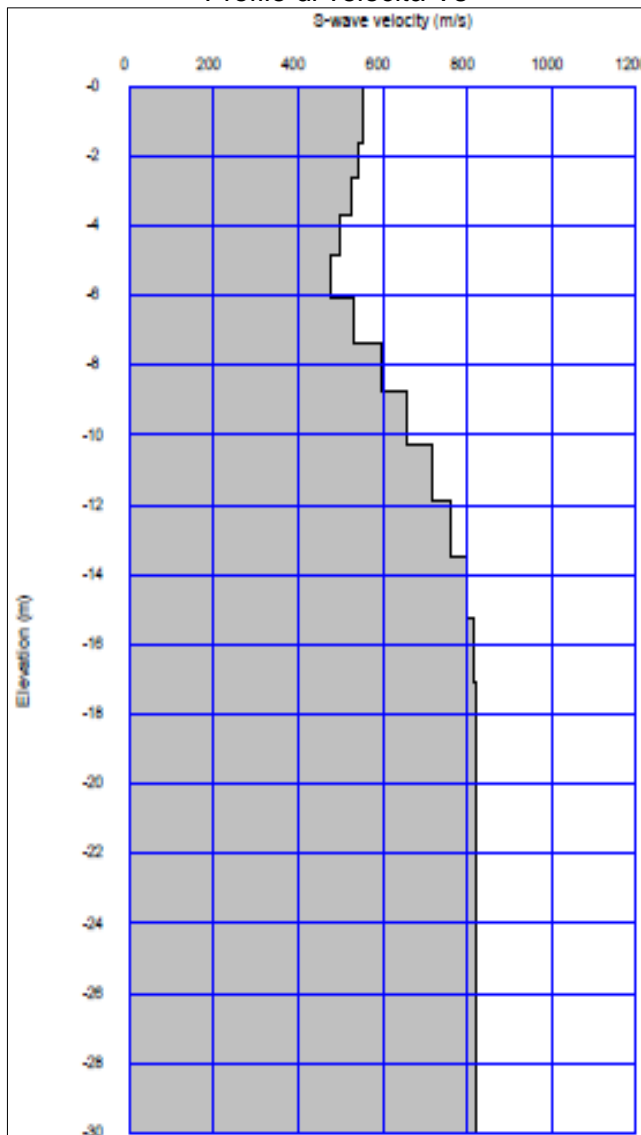
Velocità di fase – Frequenza



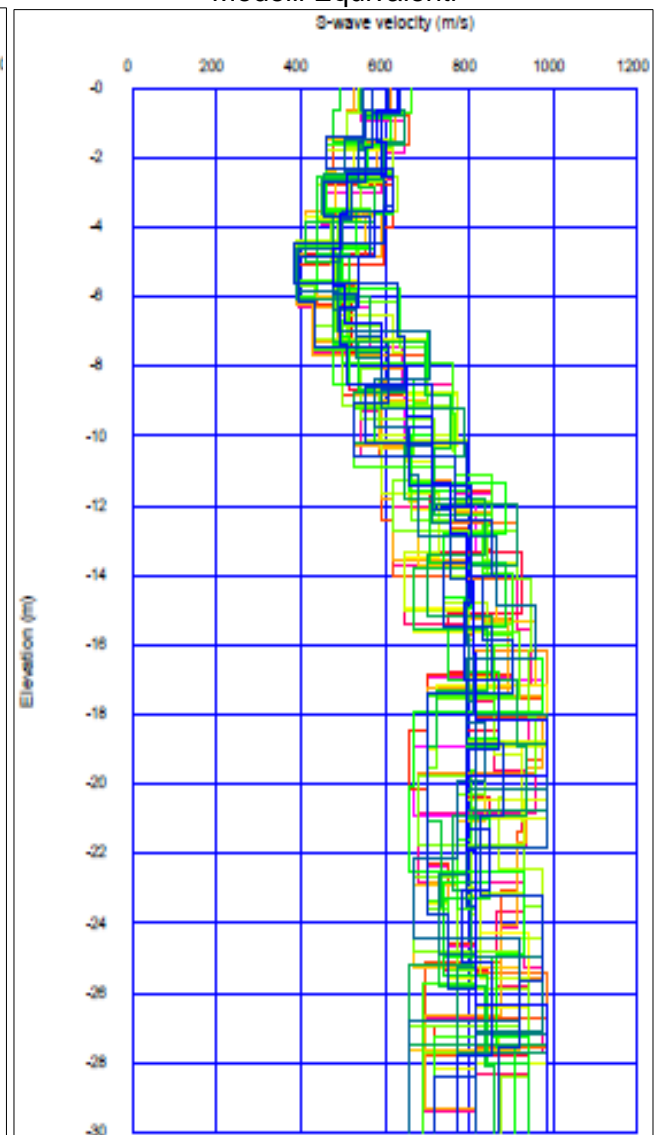
Curva di dispersione



Profilo di velocità Vs

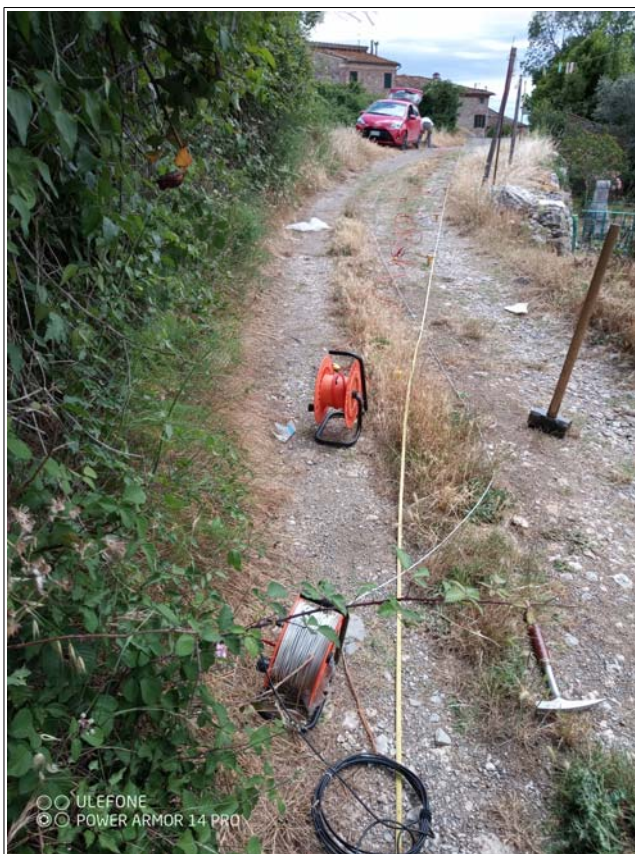


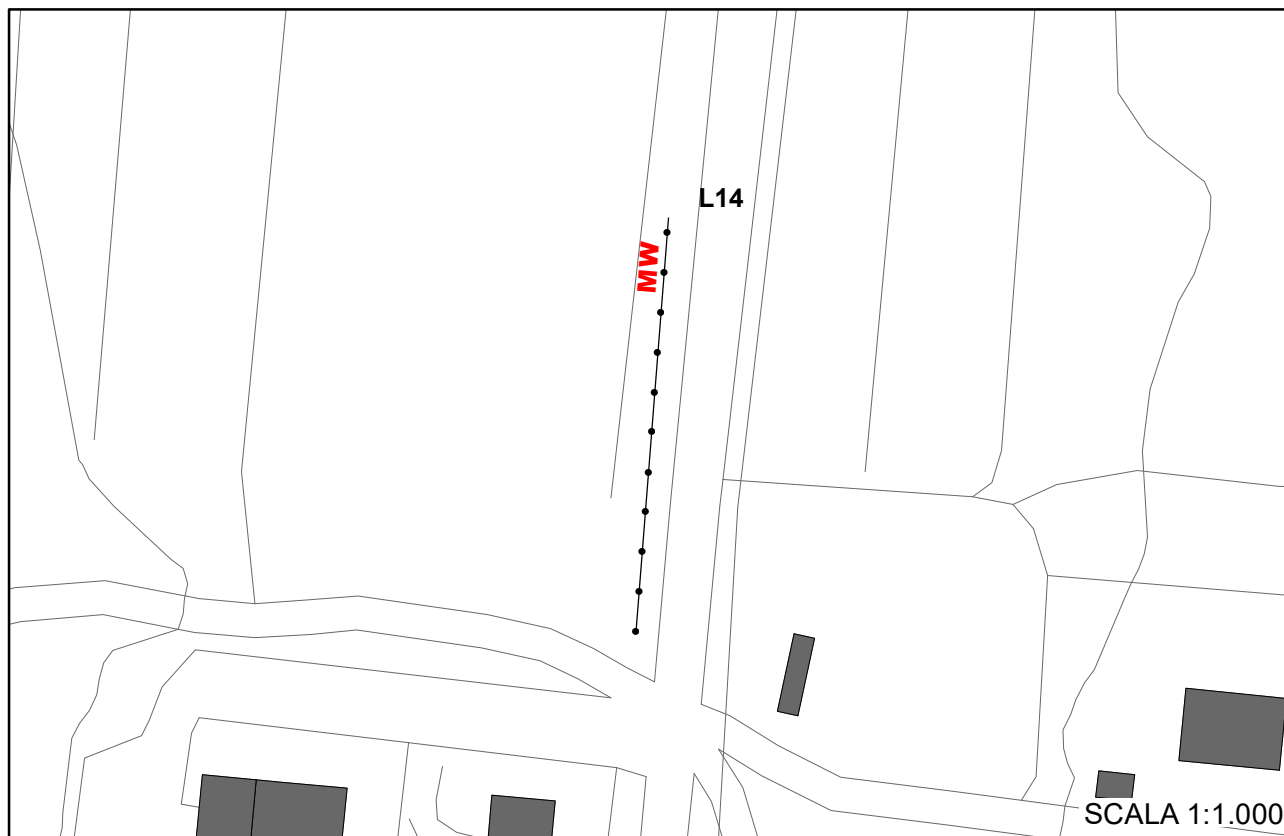
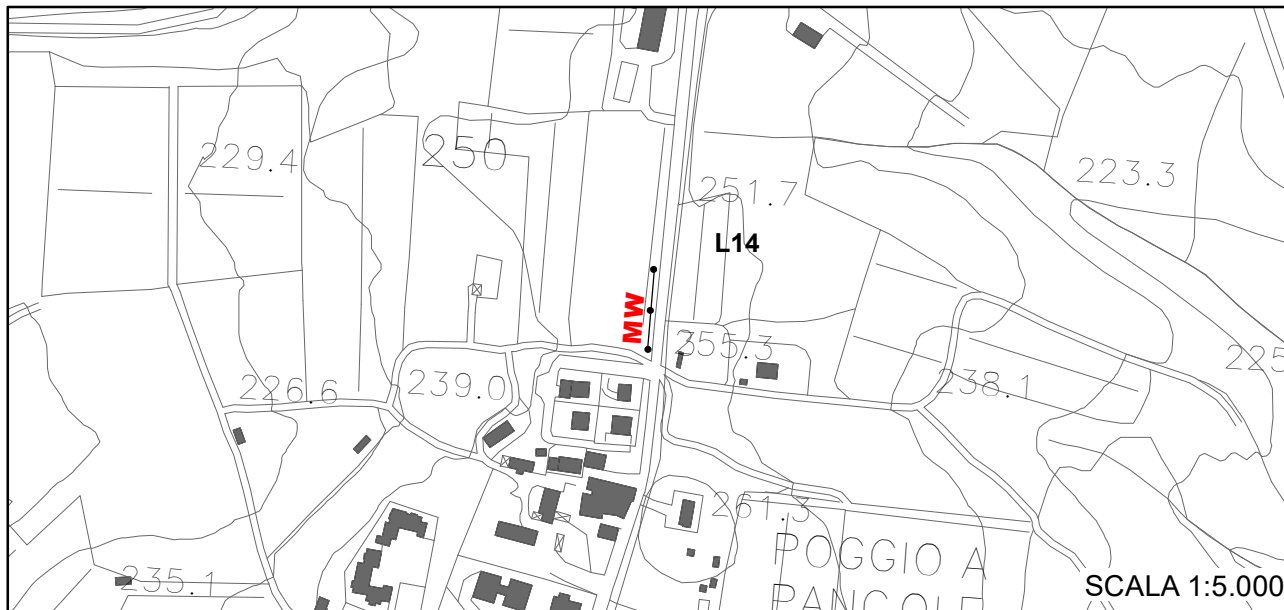
Modelli Equivalenti



ALLEGATO FOTOGRAFICO

MASW





COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW

Indagine n°: L14

Località: Monteaperti

Data: 17 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

MW — MASW

L XXX lineari

Riferimento misura: **MASW Monteaperti_1**

Durata delle registrazione sec.: **2.09**

Frequenza di campionamento: **4000 Hz**

Frequenza di Nyquist: **2000 Hz**

Numero di campioni: **8192**

Sample Rate : **256 μ s**

Studio
Georicerche snc

PI e CF: 01232900520

di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi

Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE

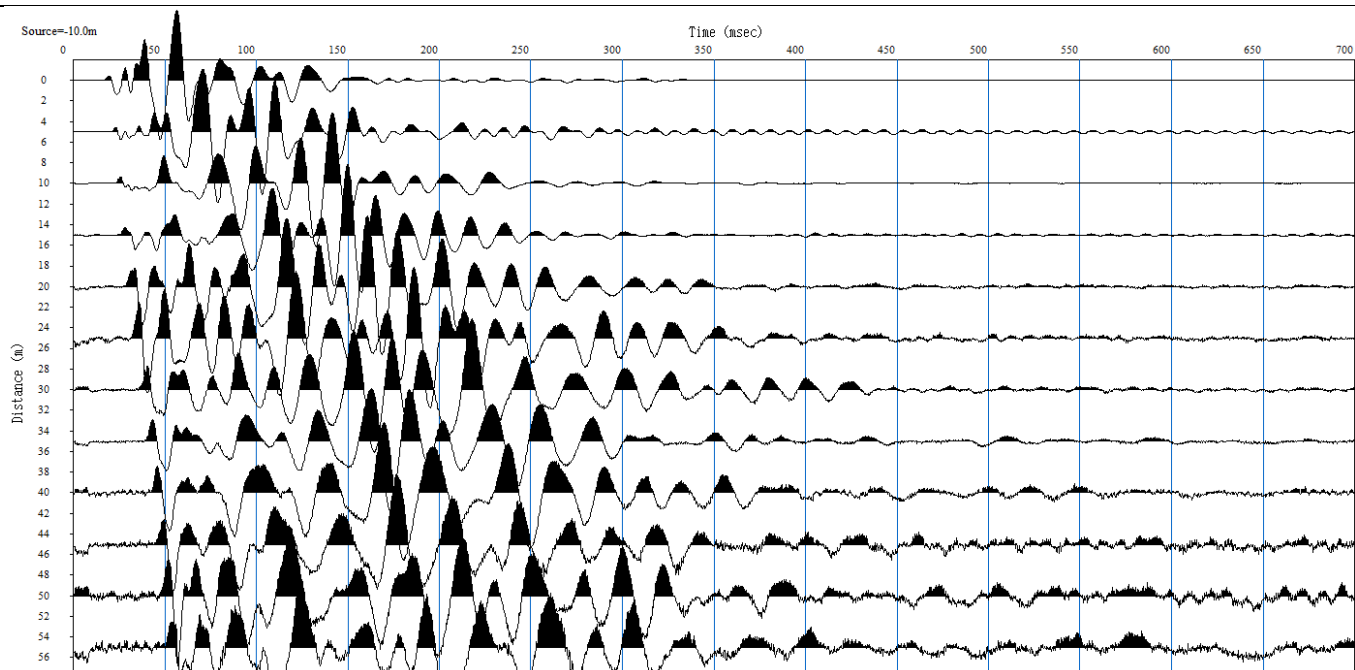
53035 - MONTERIGGIONI (SI)

Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

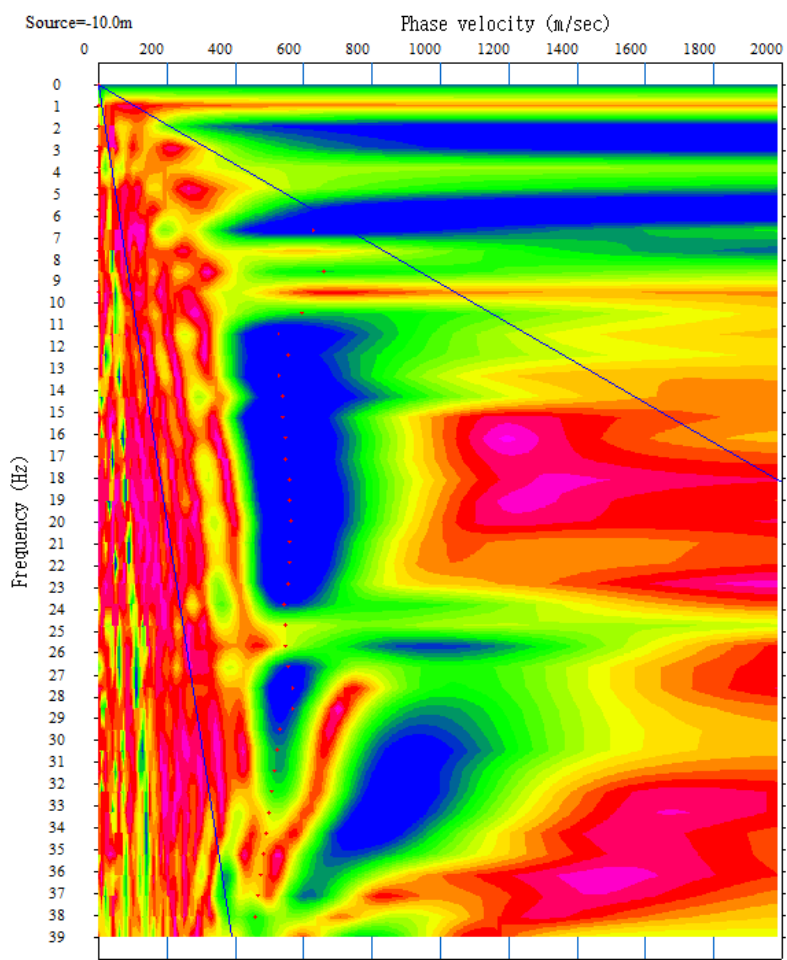
UBICAZIONE PROVA



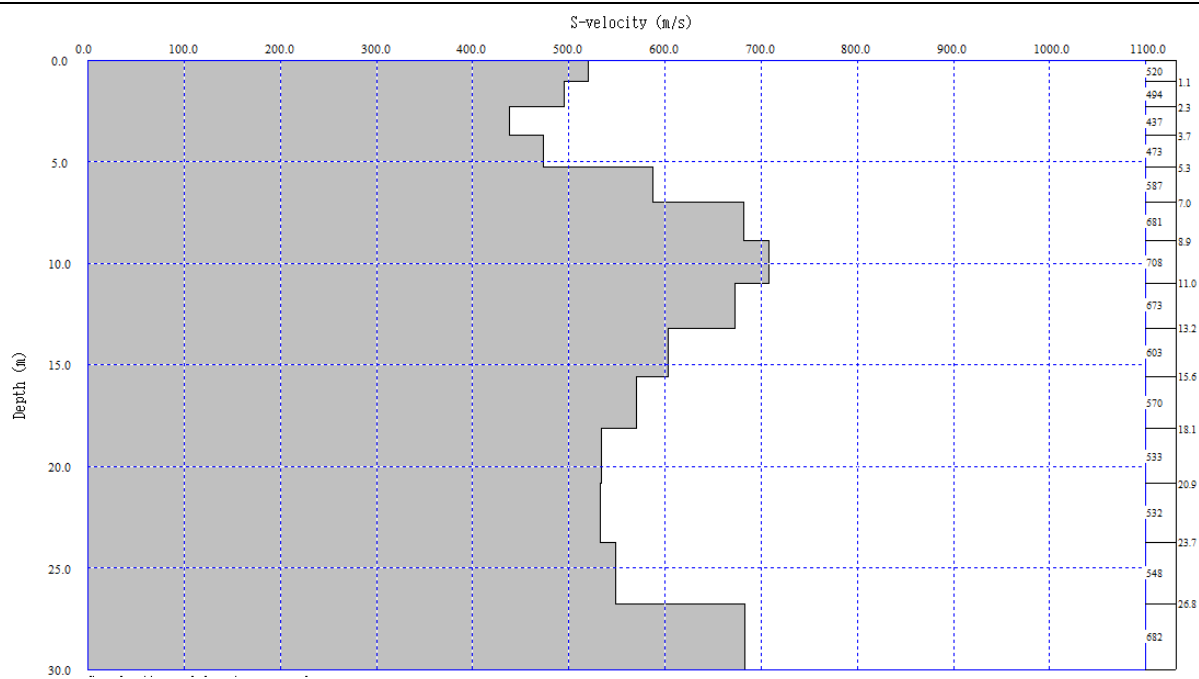
TRACCE SISMICHE



SPETTRO FV

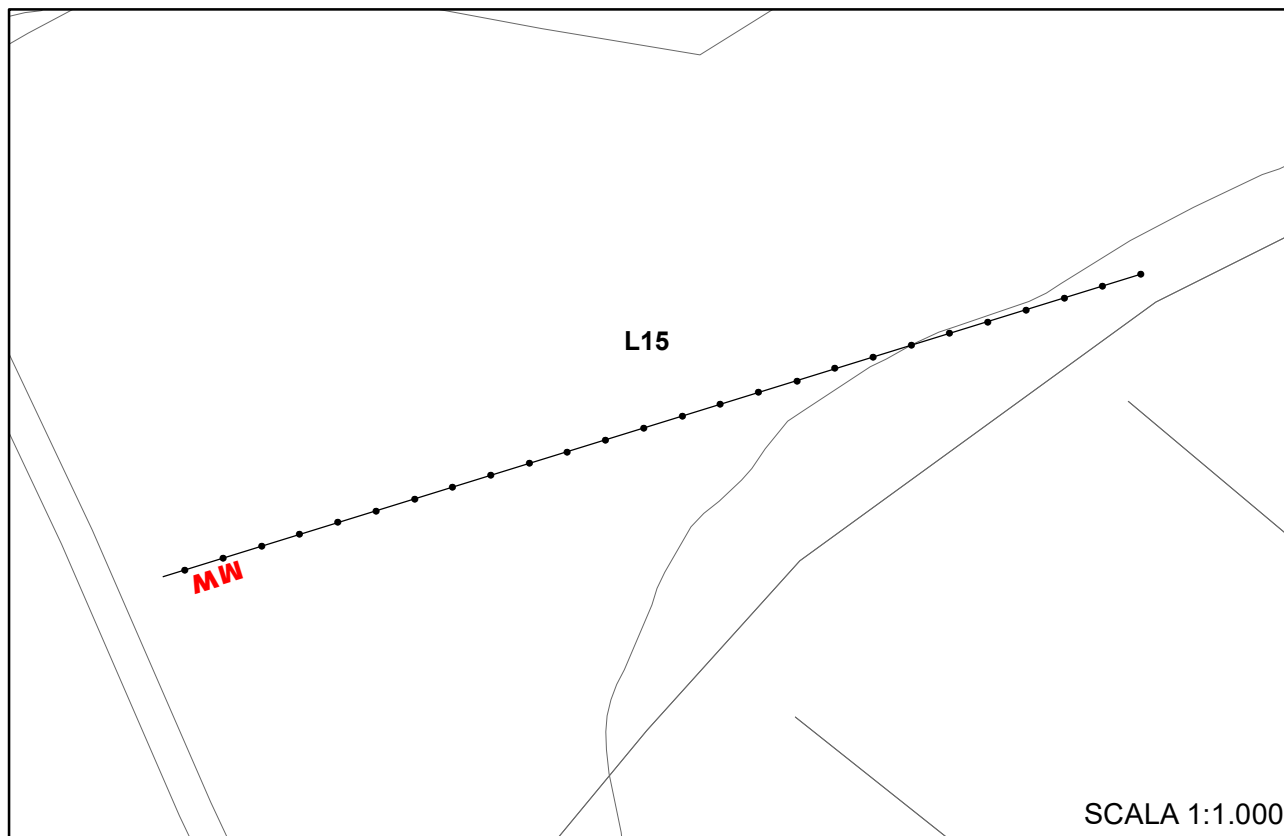
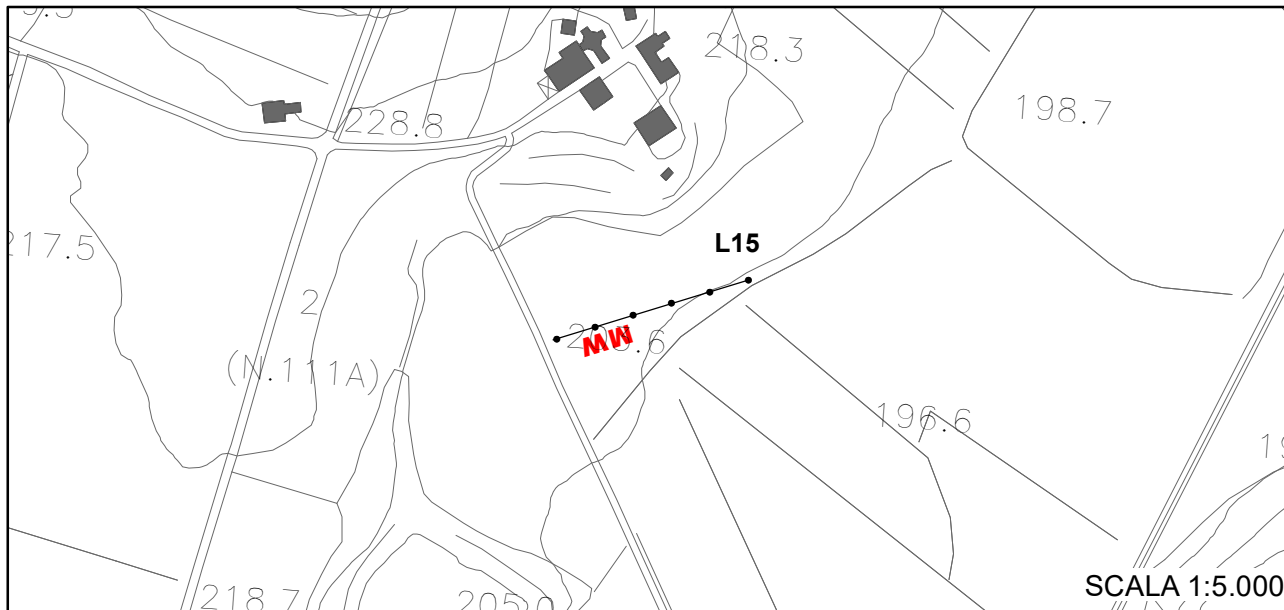


PROFILO DI VELOCITA'



		Suolo tipo	B			
		hi	zi	Vsi	hi/Vsi	Vs, equ
	spessori	(m)		(m/s)	(s)	(m/s)
H	h1=	1.1	0	520	0.002115	574
(m)	h2=	1.2	1.1	494	0.002429	
30	h3=	1.4	2.3	437	0.003204	
	h4=	1.6	3.7	473	0.003383	
	h5=	1.7	5.3	587	0.002896	
	h6=	1.9	7	681	0.00279	
	h7=	2.1	8.9	708	0.002966	
	h8=	2.2	11	673	0.003269	
	h9=	2.4	13.2	603	0.00398	
	h10=	2.5	15.6	570	0.004386	
	h11=	2.8	18.1	533	0.005253	
	h12=	2.8	20.9	532	0.005263	
	h13=	3.1	23.7	548	0.005657	
	h10=	3.2	26.8	682	0.004692	
	somma	30			0.052284	

	Vs_equ (m/s)				Vs (m/s)		
H (m)	100	180	360	800	> 800		
3	RSL	E	E	B	A		
20							
30							
>30			D		C		



COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW

Indagine n°: L15

Località: Monteperti

Data: 17 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

MW — MASW

L XXX lineari

Riferimento misura: **MASW Monteaperti_2**

Durata della registrazione sec.: **2.09**

Frequenza di campionamento: **4000 Hz**

Frequenza di Nyquist: **2000 Hz**

Numero di campioni: **8192**

Sample Rate : **256 μ s**

Studio
Georicerche snc

PI e CF: 01232900520

di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi

Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE

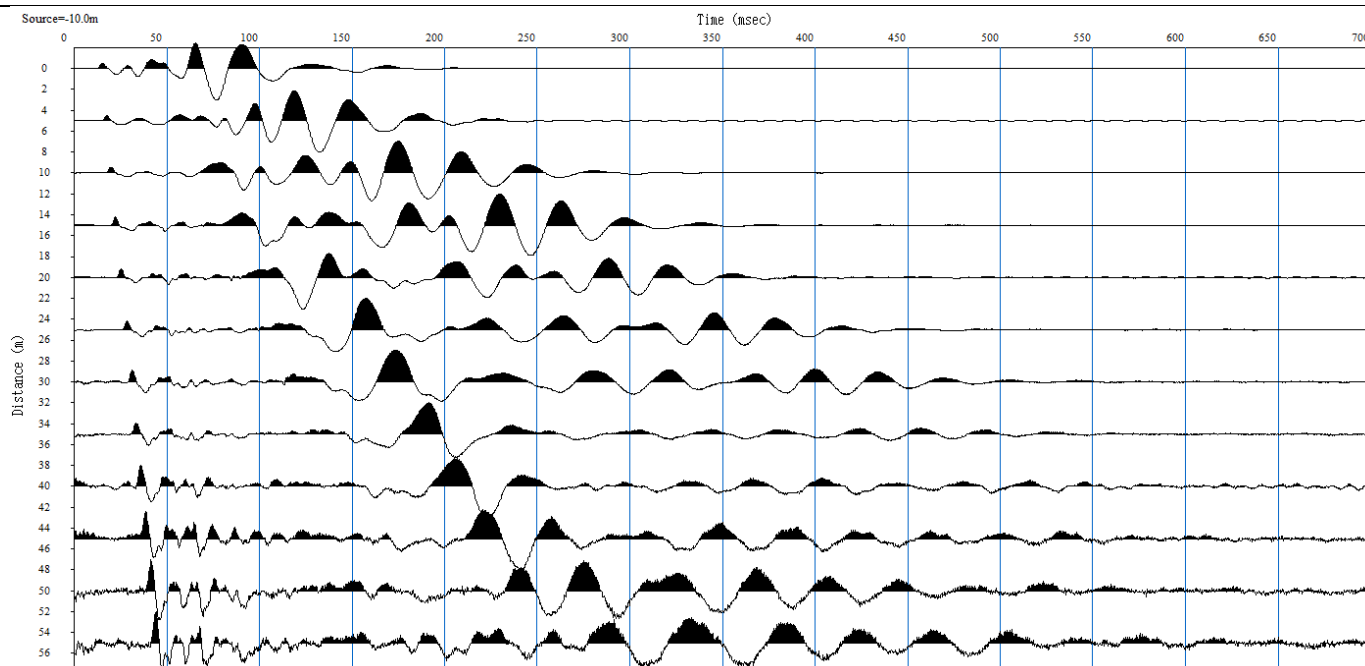
53035 - MONTERIGGIONI (SI)

Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

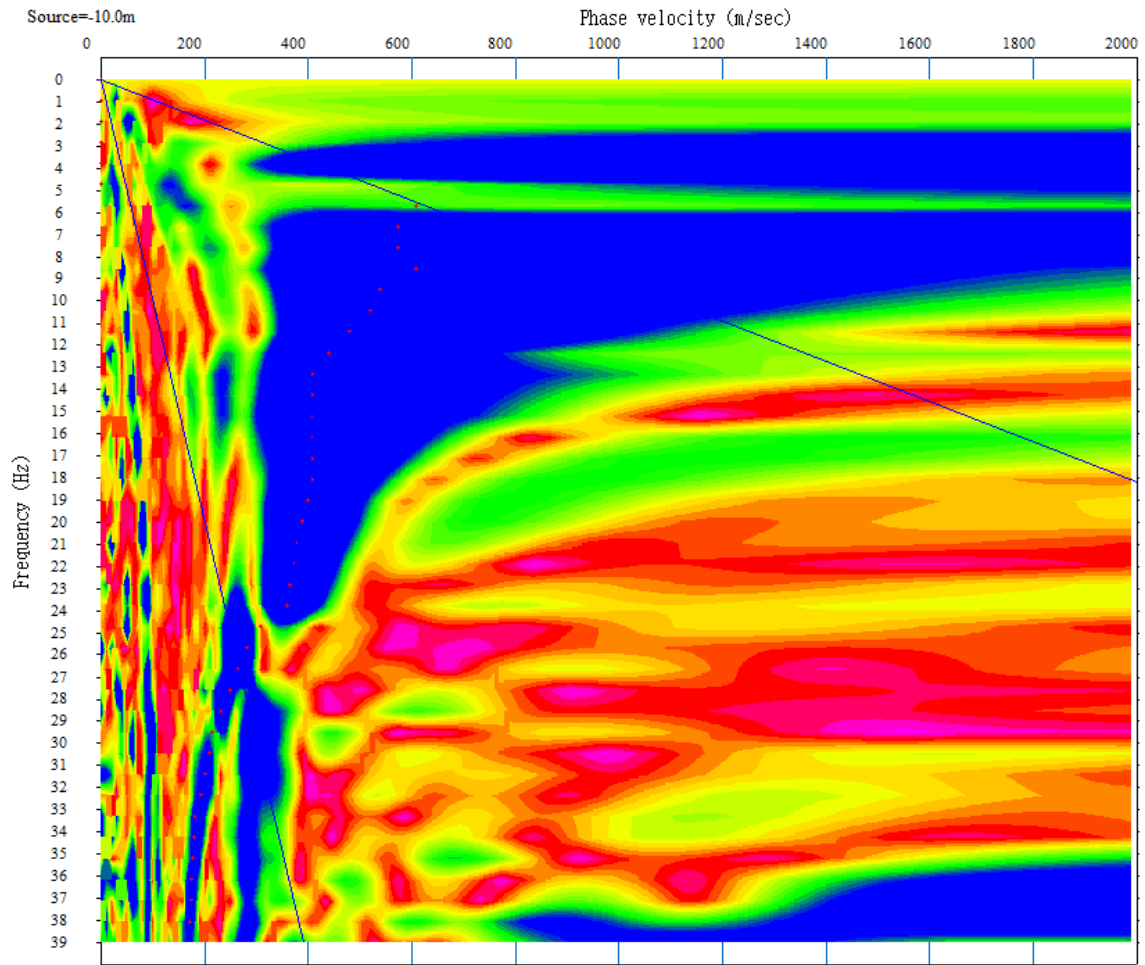
UBICAZIONE PROVA



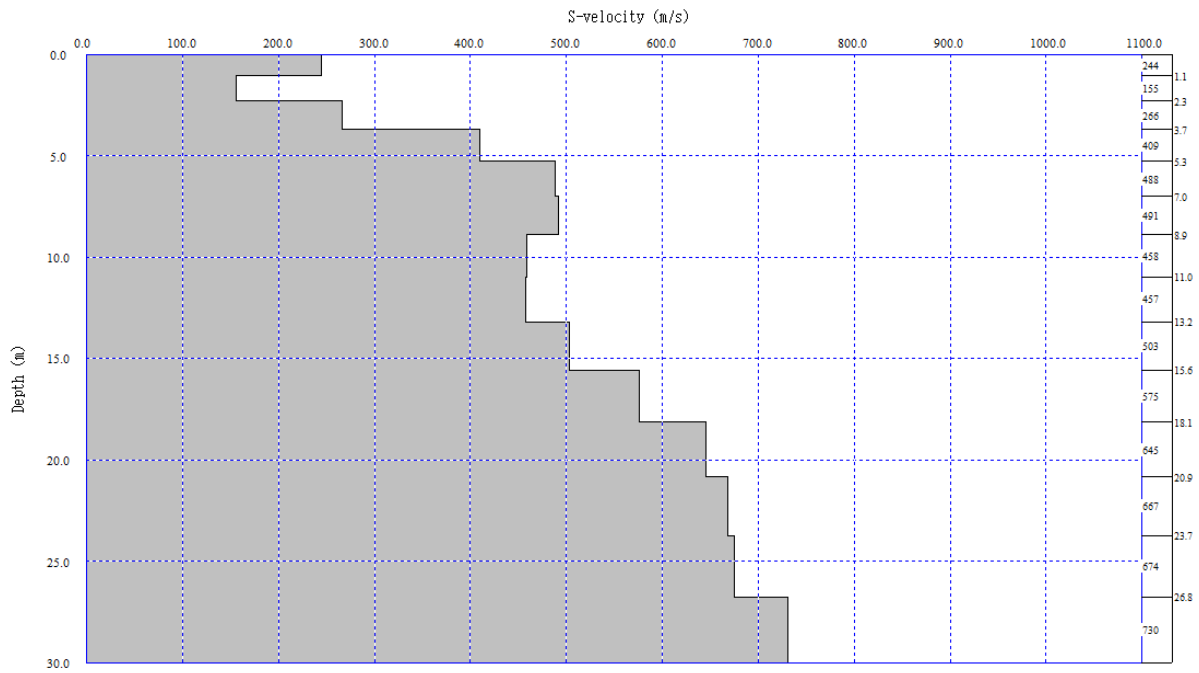
TRACCE SISMICHE



SPETTRO FV

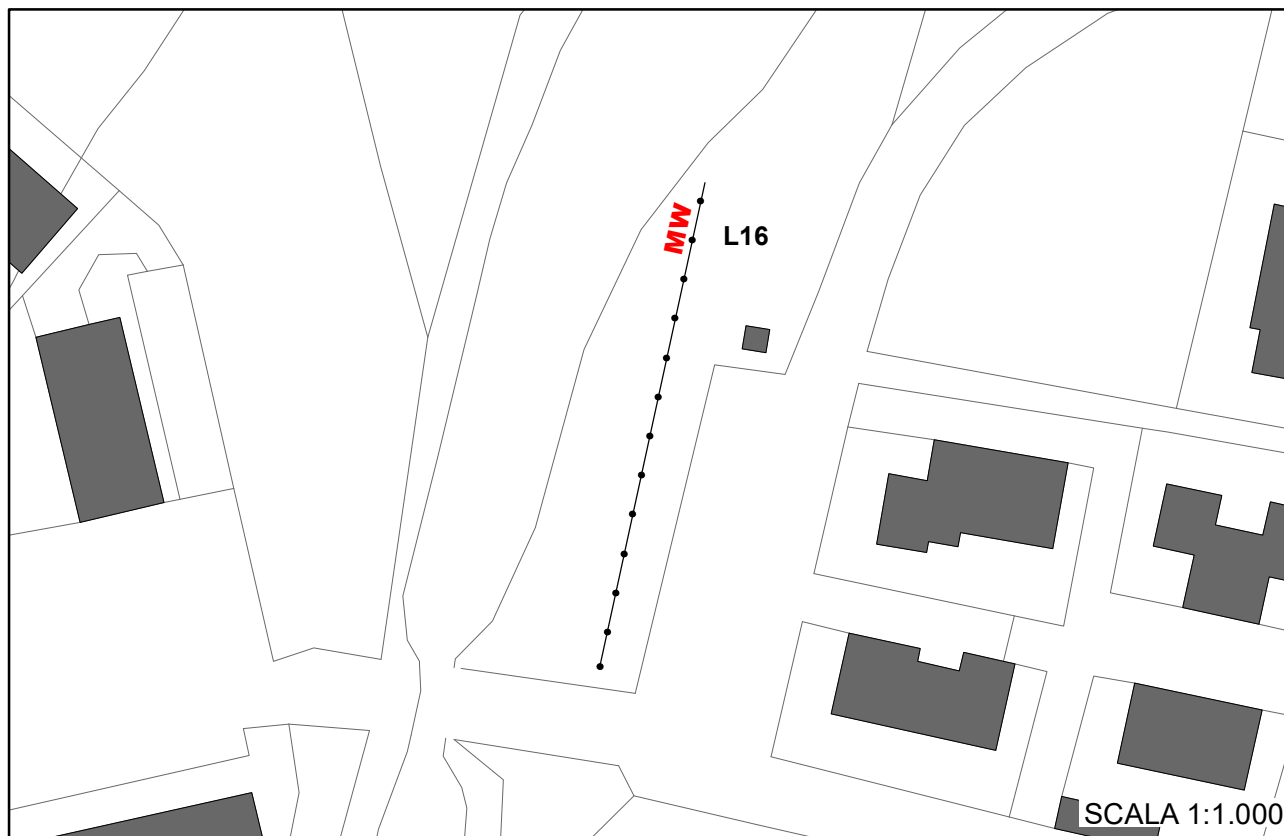


PROFILO DI VELOCITA'



		Suolo tipo	B			
		hi	zi	Vsi	hi/Vsi	Vs, equ
	spessori	(m)		(m/s)	(s)	(m/s)
H	h1=	1.1	0	244	0.004508	463
(m)	h2=	1.2	1.1	155	0.007742	
30	h3=	1.4	2.3	266	0.005263	
	h4=	1.6	3.7	409	0.003912	
	h5=	1.7	5.3	488	0.003484	
	h6=	1.9	7	491	0.00387	
	h7=	2.1	8.9	458	0.004585	
	h8=	2.2	11	457	0.004814	
	h9=	2.4	13.2	503	0.004771	
	h10=	2.5	15.6	575	0.004348	
	h11=	2.8	18.1	645	0.004341	
	h12=	2.8	20.9	667	0.004198	
	h13=	3.1	23.7	674	0.004599	
	h10=	3.2	26.8	730	0.004384	
	somma	30			0.064819	

	Vs_equ (m/s)				Vs (m/s)			
H (m)	100	180	360	800	> 800			
3	RSL	E	E	B	A			
20								
30								
>30		D	C					



COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW

Indagine n°: L16

Località: Ponte a Bozzone

Data: 17 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

MW — MASW

L XXX lineari

Riferimento misura: **MASW Ponte a Bozzone_1**

Durata delle registrazione sec.: **2.09**

Frequenza di campionamento: **4000 Hz**

Frequenza di Nyquist: **2000 Hz**

Numero di campioni: **8192**

Sample Rate : **256 μ s**

Studio
Georicerche snc

PI e CF: 01232900520

di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi

Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE

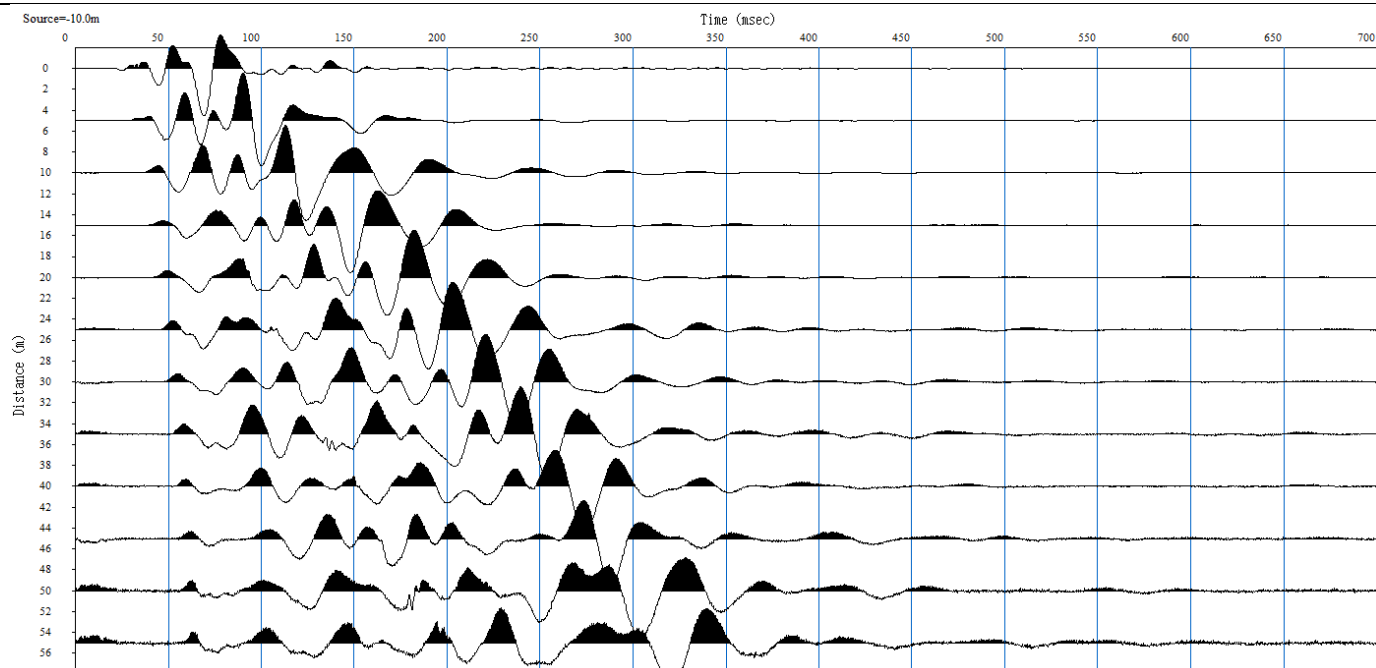
53035 - MONTERIGLIONI (SI)

Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

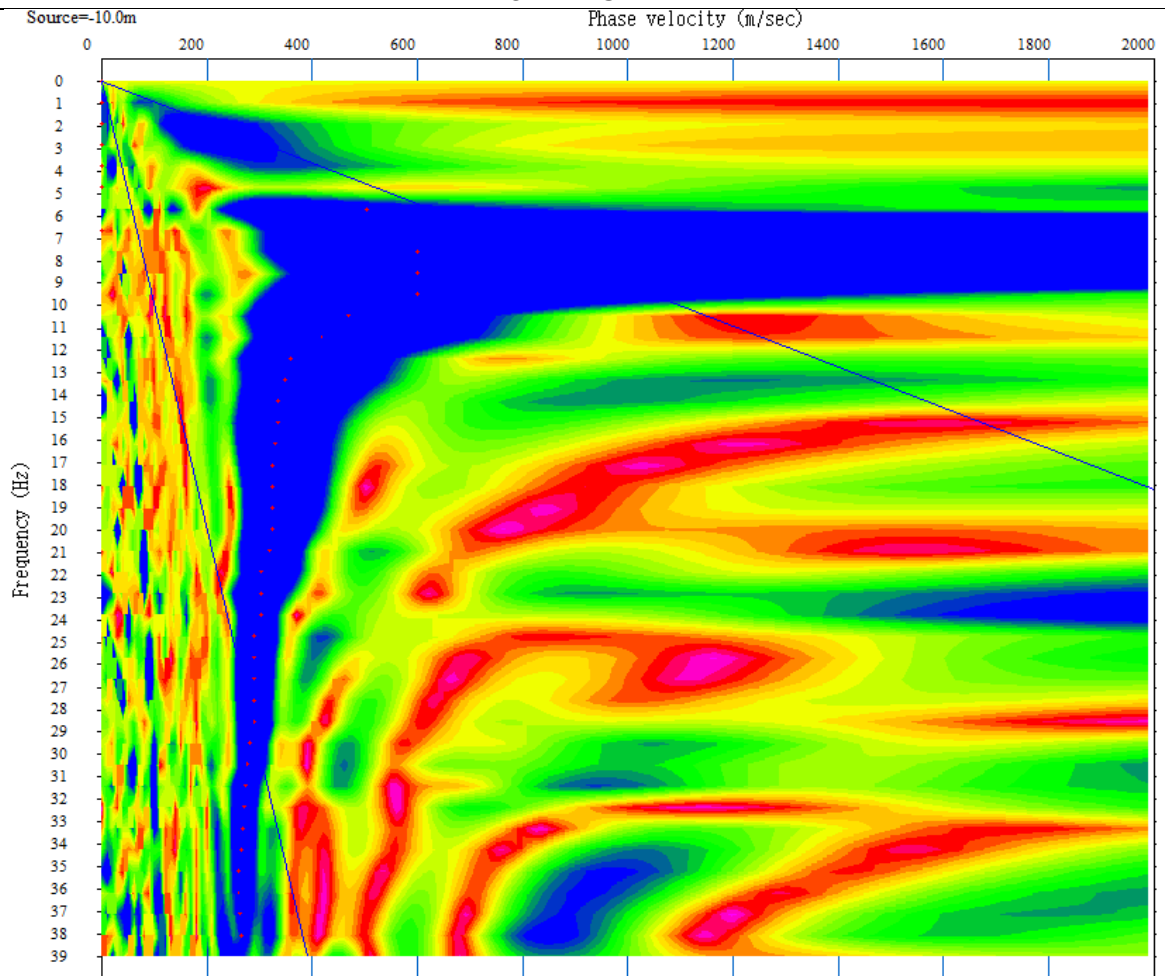
UBICAZIONE PROVA



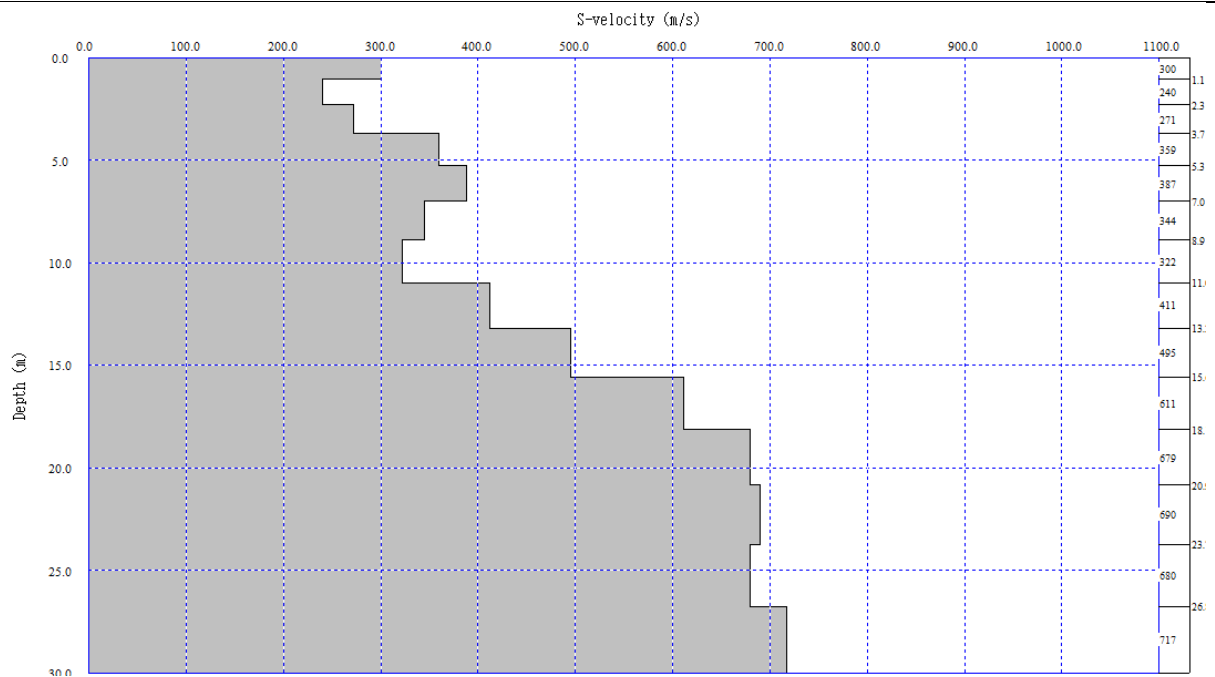
TRACCE SISMICHE



SPETTRO FV

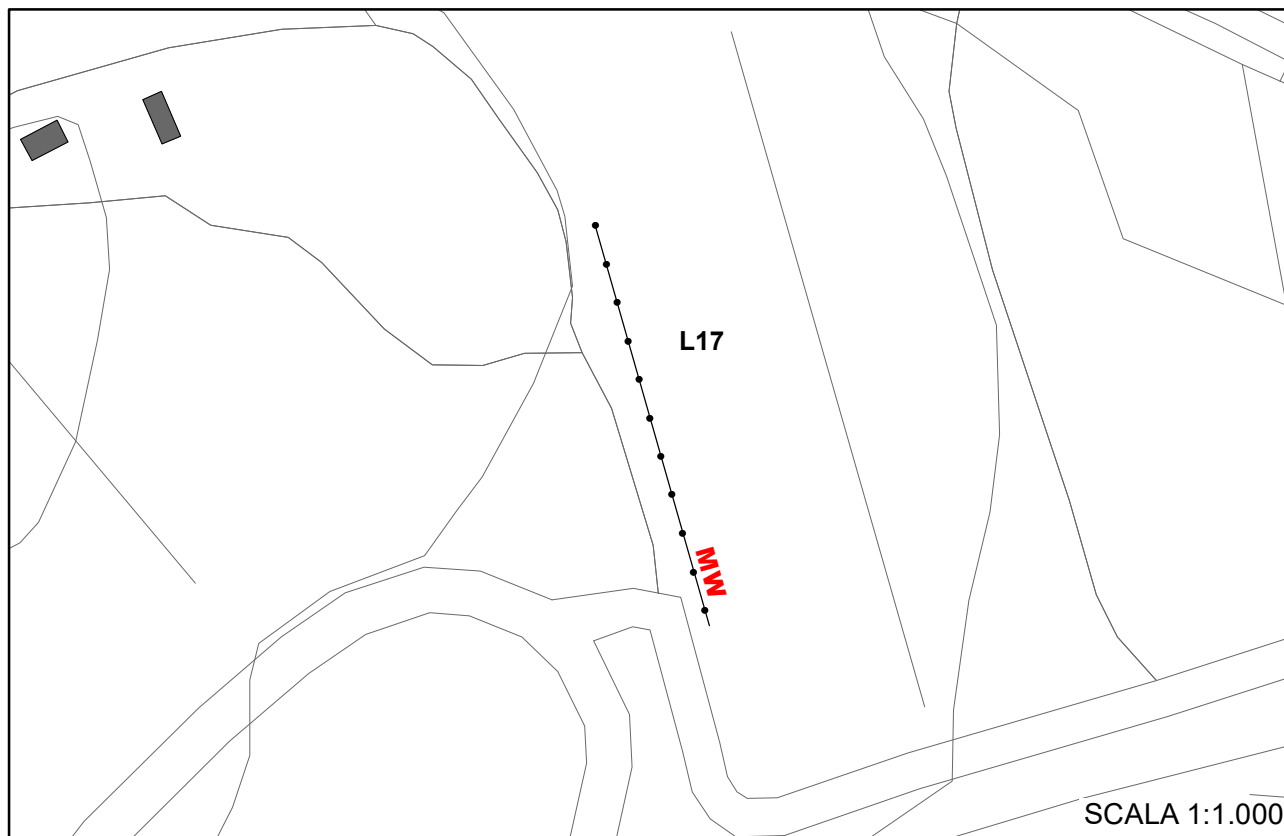


PROFILO DI VELOCITA'



		Suolo tipo	B			
		hi	zi	Vsi	hi/Vsi	Vs, equ
	spessori	(m)		(m/s)	(s)	(m/s)
H	h1=	1.1	0	300	0.003667	453
(m)	h2=	1.2	1.1	240	0.005	
30	h3=	1.4	2.3	271	0.005166	
	h4=	1.6	3.7	359	0.004457	
	h5=	1.7	5.3	387	0.004393	
	h6=	1.9	7	344	0.005523	
	h7=	2.1	8.9	322	0.006522	
	h8=	2.2	11	411	0.005353	
	h9=	2.4	13.2	495	0.004848	
	h10=	2.5	15.6	611	0.004092	
	h11=	2.8	18.1	679	0.004124	
	h12=	2.8	20.9	690	0.004058	
	h13=	3.1	23.7	680	0.004559	
	h10=	3.2	26.8	717	0.004463	
	somma	30			0.066224	

	Vs_equ (m/s)				Vs (m/s)	
H (m)	100	180	360	800	> 800	
3	RSL	E	E	B	A	
20						
30						
		D	C			
>30						



STUDIO DI GEOLOGIA - Dott. Geol. Alberto Tomei
Dott. Geol. Nicolò Mantovani - Indagini geofisiche

COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA
MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW
Indagine n°: L17

Località: San Giovanni a Cerreto
Data: 17 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova
MW — MASW

L XXX lineari

Riferimento misura: **MASW San Giovanni a Cerreto_1**

Durata delle registrazione sec.: **2.09**

Frequenza di campionamento: **4000 Hz**

Frequenza di Nyquist: **2000 Hz**

Numero di campioni: **8192**

Sample Rate : **256 μ s**

Studio
Georicerche snc

PI e CF: 01232900520

di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi

Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE

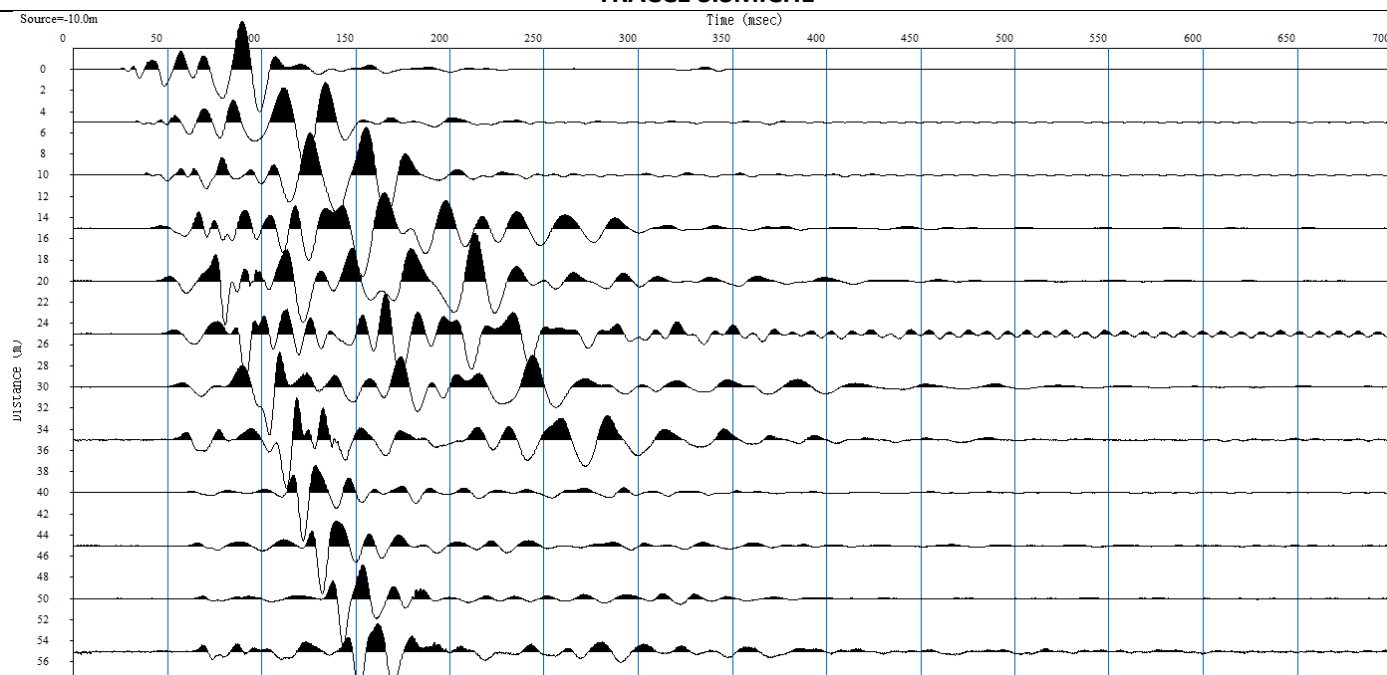
53035 - MONTERIGLIONI (SI)

Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

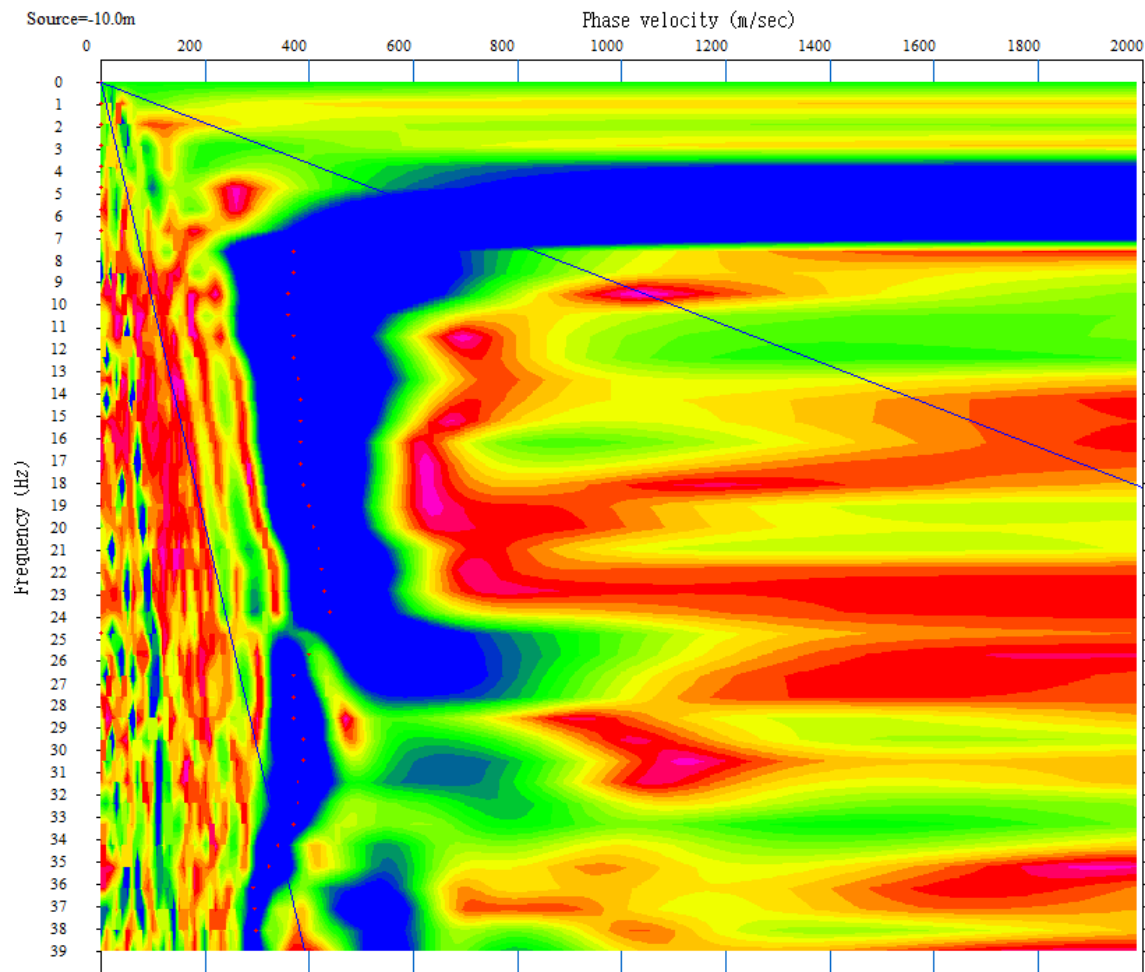
UBICAZIONE PROVA



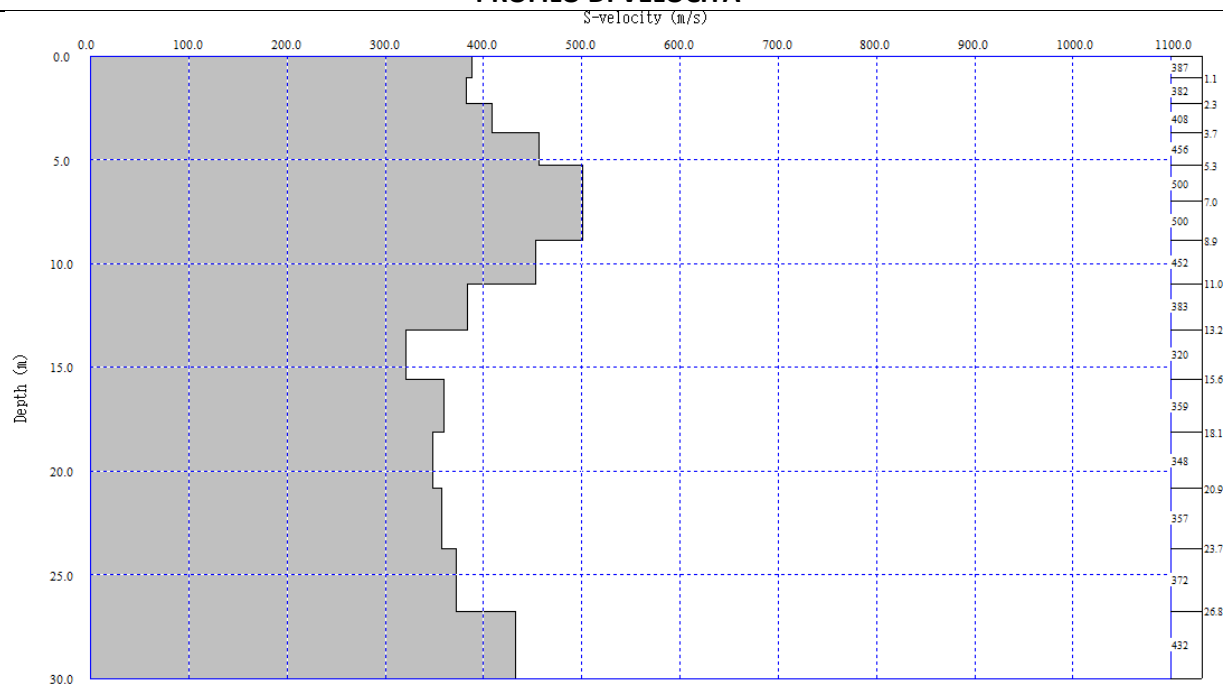
TRACCE SISMICHE



SPETTRO FV

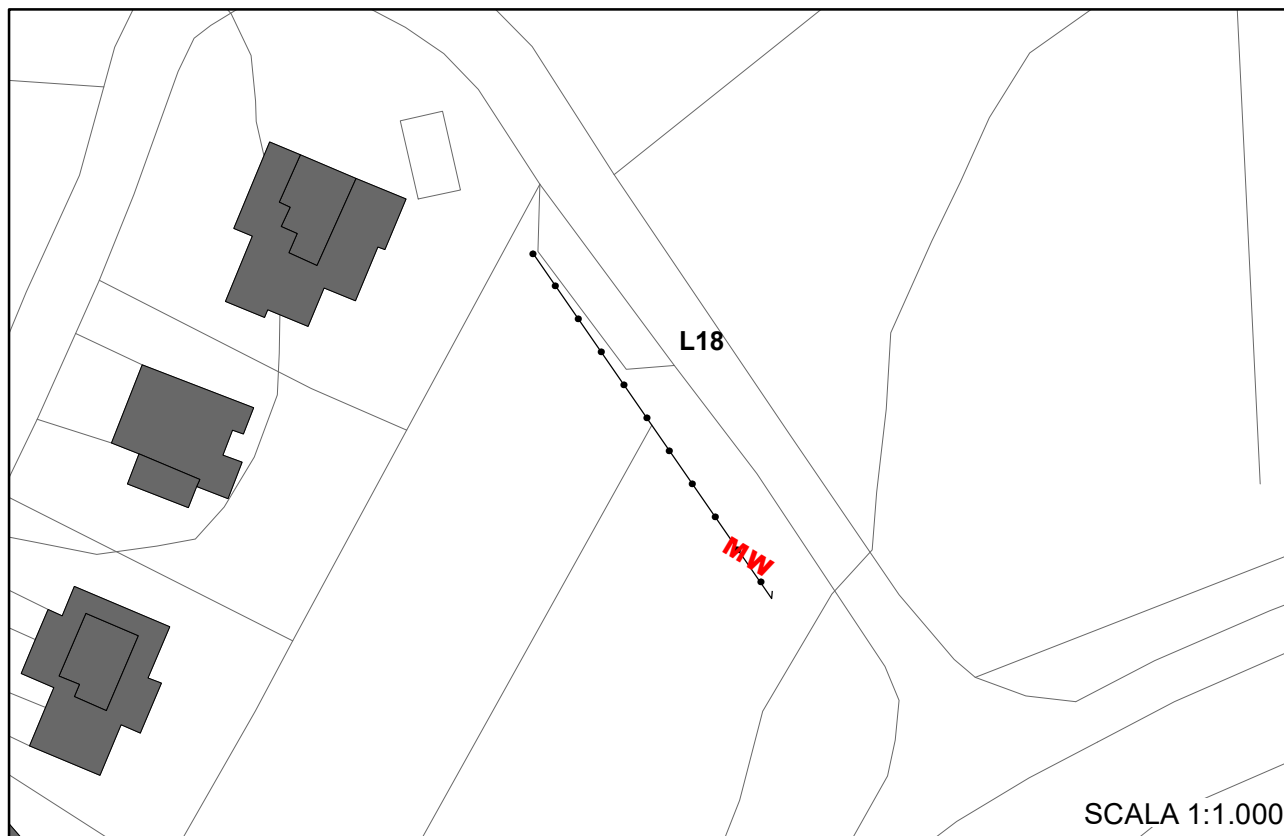


PROFILO DI VELOCITA'



		Suolo tipo	B			
		hi	zi	Vsi	hi/Vsi	Vs, equ
	spessori	(m)		(m/s)	(s)	(m/s)
H	h1=	1.1	0	387	0.002842	392
(m)	h2=	1.2	1.1	382	0.003141	
30	h3=	1.4	2.3	408	0.003431	
	h4=	1.6	3.7	456	0.003509	
	h5=	1.7	5.3	500	0.0034	
	h6=	1.9	7	500	0.0038	
	h7=	2.1	8.9	452	0.004646	
	h8=	2.2	11	383	0.005744	
	h9=	2.4	13.2	320	0.0075	
	h10=	2.5	15.6	359	0.006964	
	h11=	2.8	18.1	348	0.008046	
	h12=	2.8	20.9	357	0.007843	
	h13=	3.1	23.7	372	0.008333	
	h10=	3.2	26.8	432	0.007407	
	somma	30			0.076608	

	Vs_equ (m/s)				Vs (m/s)
H (m)	100	180	360	800	> 800
3	RSL	E	E	B	A
20					
30					
>30					
	D	C			



COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW

Indagine n°: L18

Località: San Giovanni a Cerreto

Data: 17 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

MW — MASW

L XXX lineari

Riferimento misura: **MASW San Giovanni a Cerreto_2**

Durata delle registrazione sec.: **2.09**

Frequenza di campionamento: **4000 Hz**

Frequenza di Nyquist: **2000 Hz**

Numero di campioni: **8192**

Sample Rate : **256 μ s**

Studio
Georicerche snc

PI e CF: 01232900520

di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi

Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE

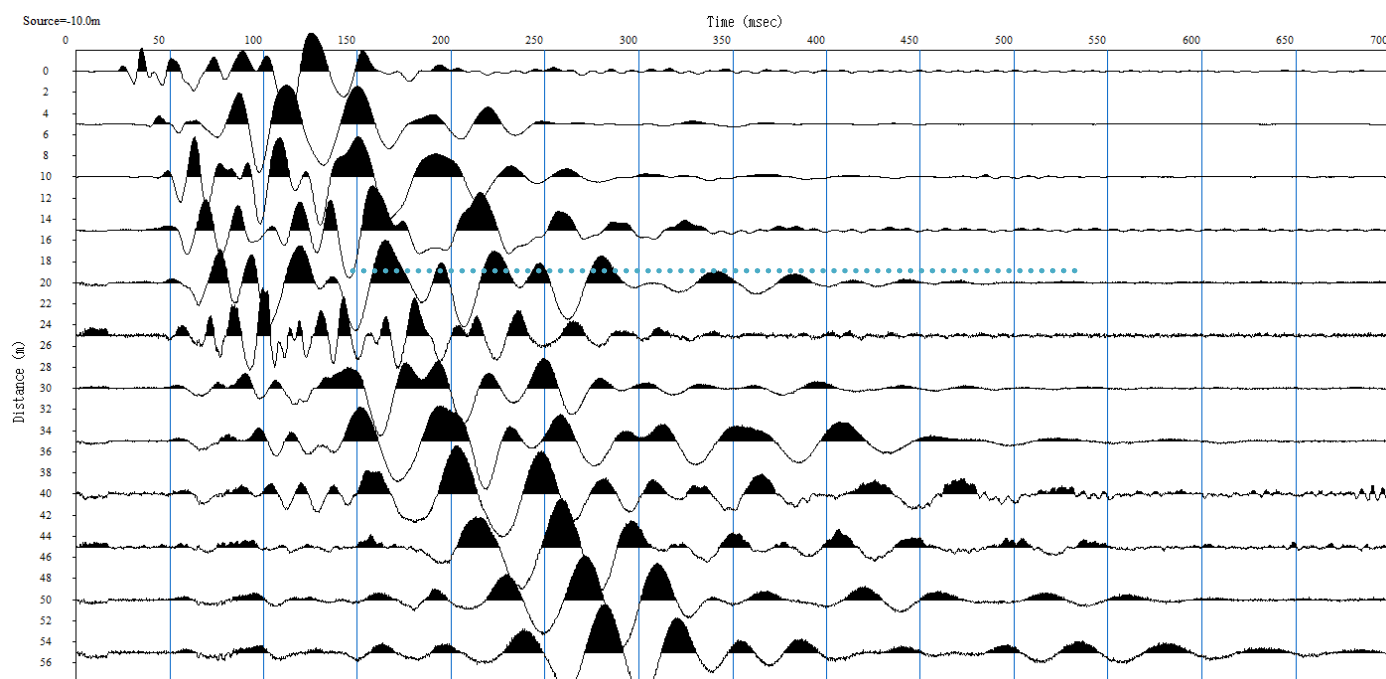
53035 - MONTERIGGIONI (SI)

Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

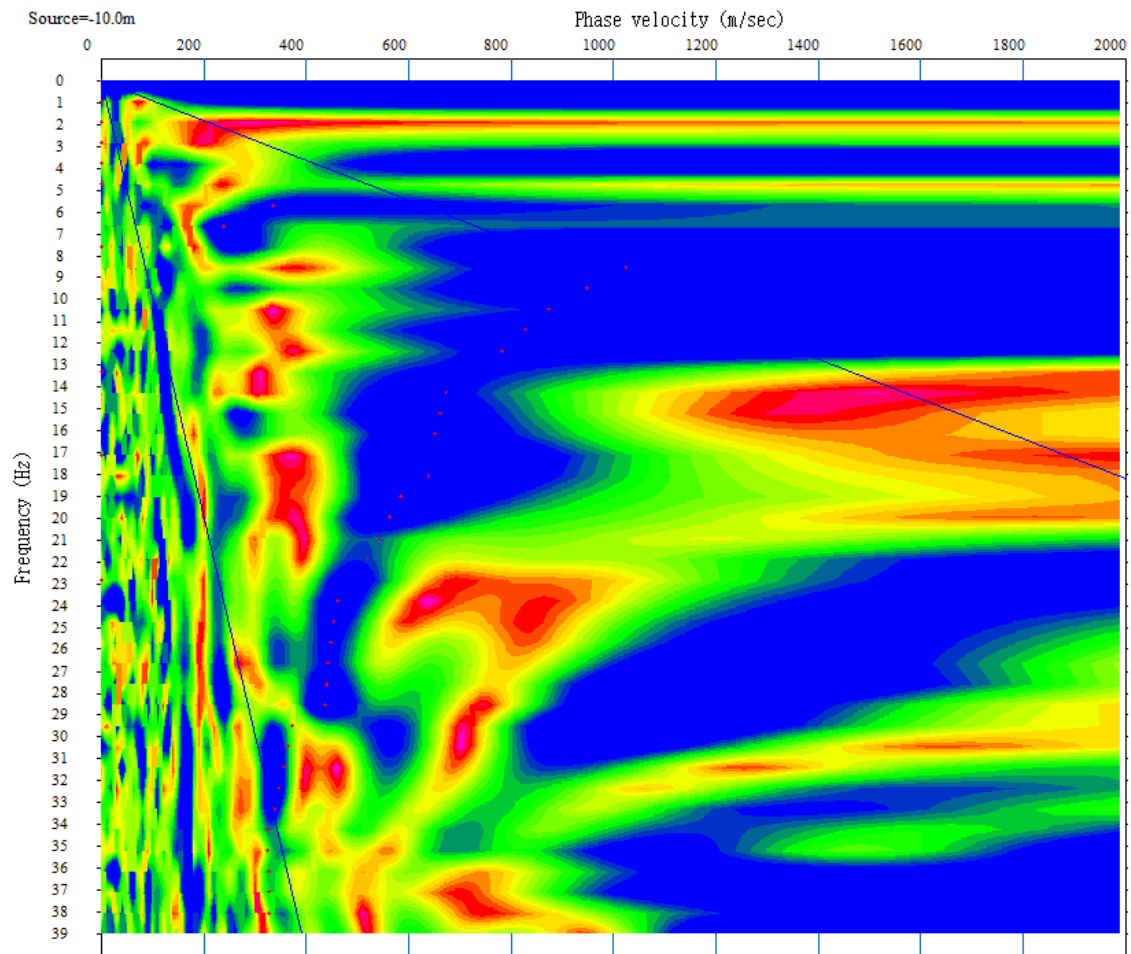
UBICAZIONE PROVA



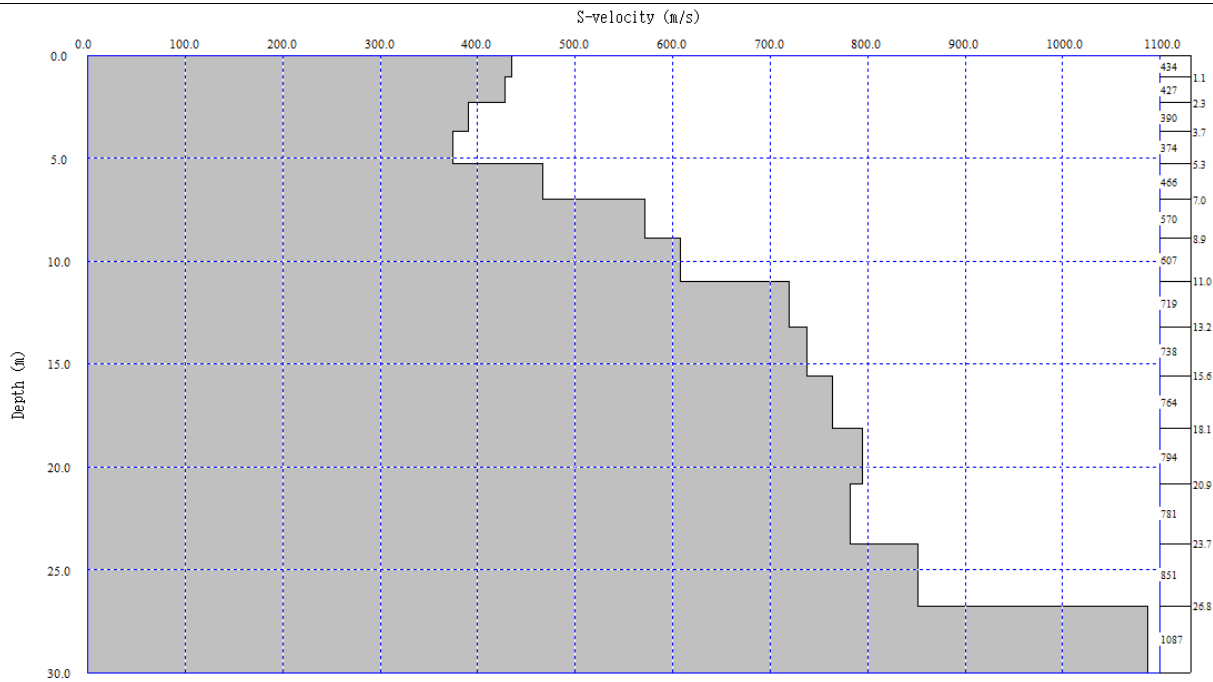
TRACCE SISMICHE



SPETTRO FV

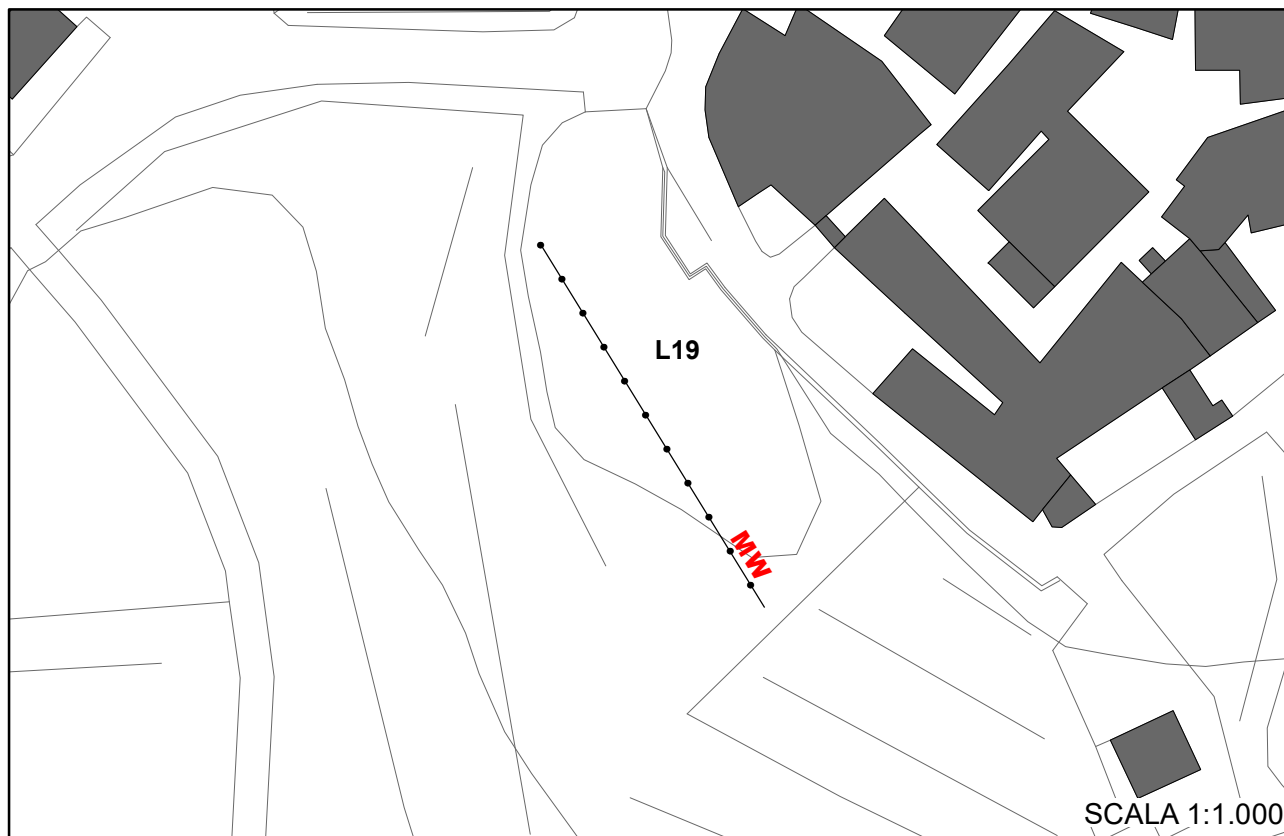
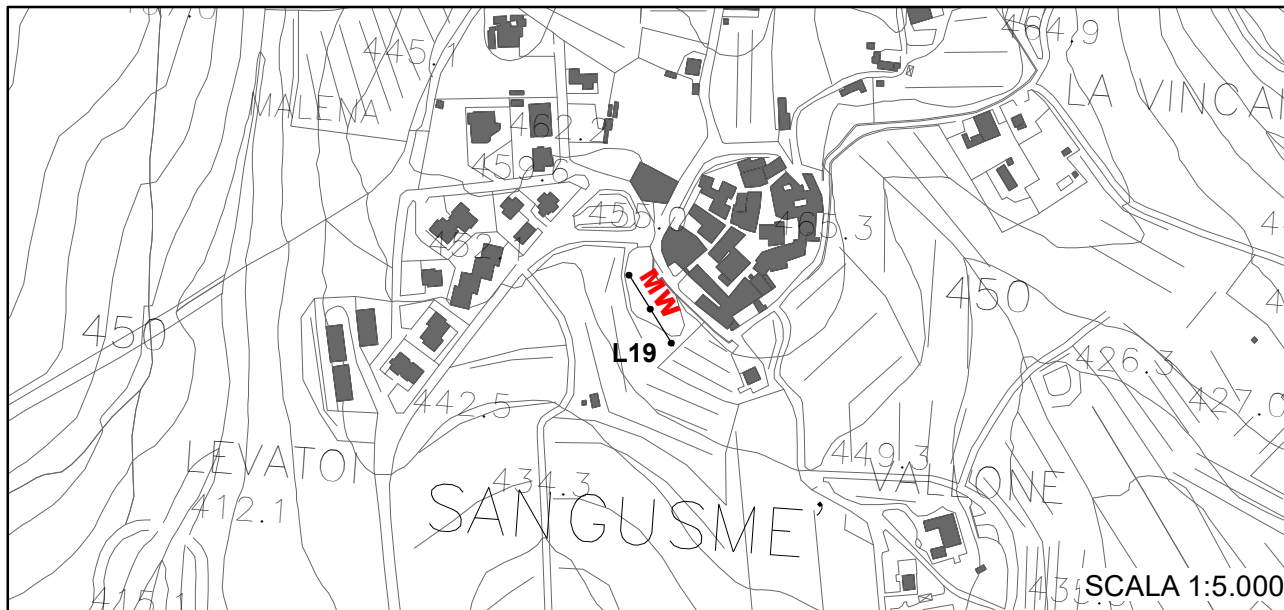


PROFILO DI VELOCITA'



		Suolo tipo	B			
		hi	zi	Vsi	hi/Vsi	Vs, equ
	spessori	(m)		(m/s)	(s)	(m/s)
H	h1=	1.1	0	434	0.002535	639
(m)	h2=	1.2	1.1	427	0.00281	
30	h3=	1.4	2.3	390	0.00359	
	h4=	1.6	3.7	374	0.004278	
	h5=	1.7	5.3	466	0.003648	
	h6=	1.9	7	570	0.003333	
	h7=	2.1	8.9	607	0.00346	
	h8=	2.2	11	719	0.00306	
	h9=	2.4	13.2	738	0.003252	
	h10=	2.5	15.6	764	0.003272	
	h11=	2.8	18.1	794	0.003526	
	h12=	2.8	20.9	781	0.003585	
	h13=	3.1	23.7	851	0.003643	
	h10=	3.2	26.8	1087	0.002944	
	somma	30			0.046936	

	Vs_equ (m/s)				Vs (m/s)		
H (m)	100	180	360	800	> 800		
3	RSL	E	E	B	A		
20							
30							
>30		D	C				



STUDIO DI GEOLOGIA - Dott.Geol.Alberto Tomei
Dott.Geol.Nicolò Mantovani - Indagini geofisiche

COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA
MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Prospezioni sismiche MASW
Indagine n°: L19

Località: San Giovanni a Cerreto
Data: 17 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova
MW — MASW

L XXX lineari

Riferimento misura: **MASW San Gusmè_1**

Durata della registrazione sec.: **2.09**

Frequenza di campionamento: **4000 Hz**

Frequenza di Nyquist: **2000 Hz**

Numero di campioni: **8192**

Sample Rate : **256 μ s**

Studio
Georicerche snc

PI e CF: 01232900520

di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi

Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE

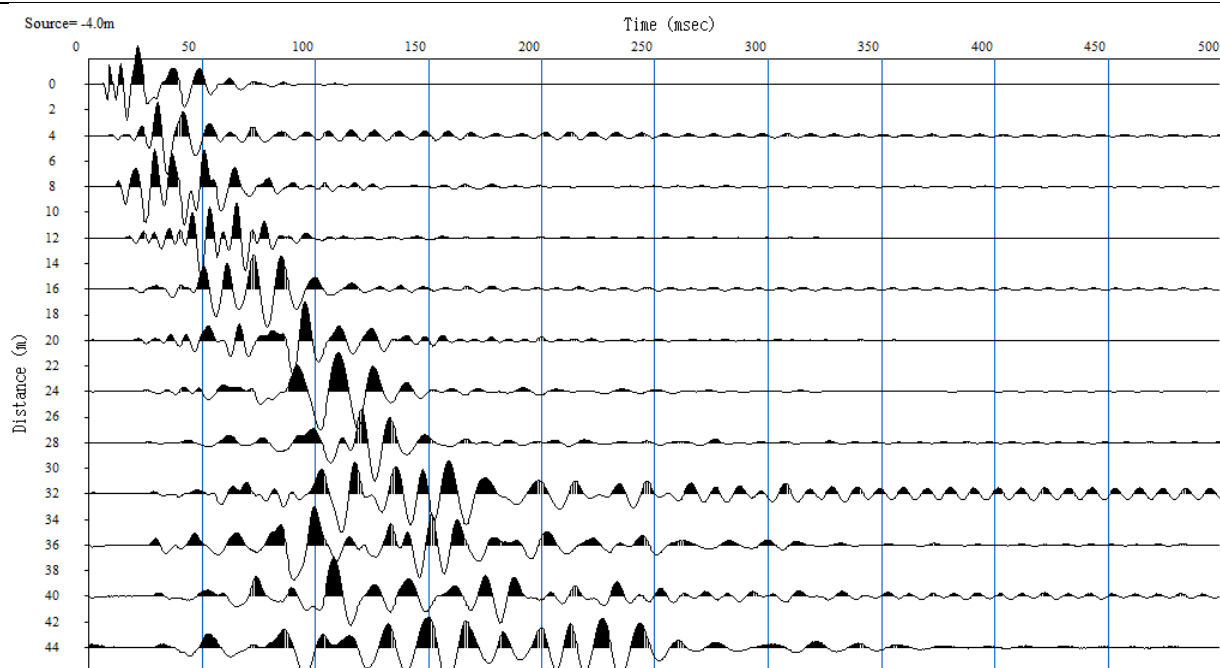
53035 - MONTERIGGIONI (SI)

Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

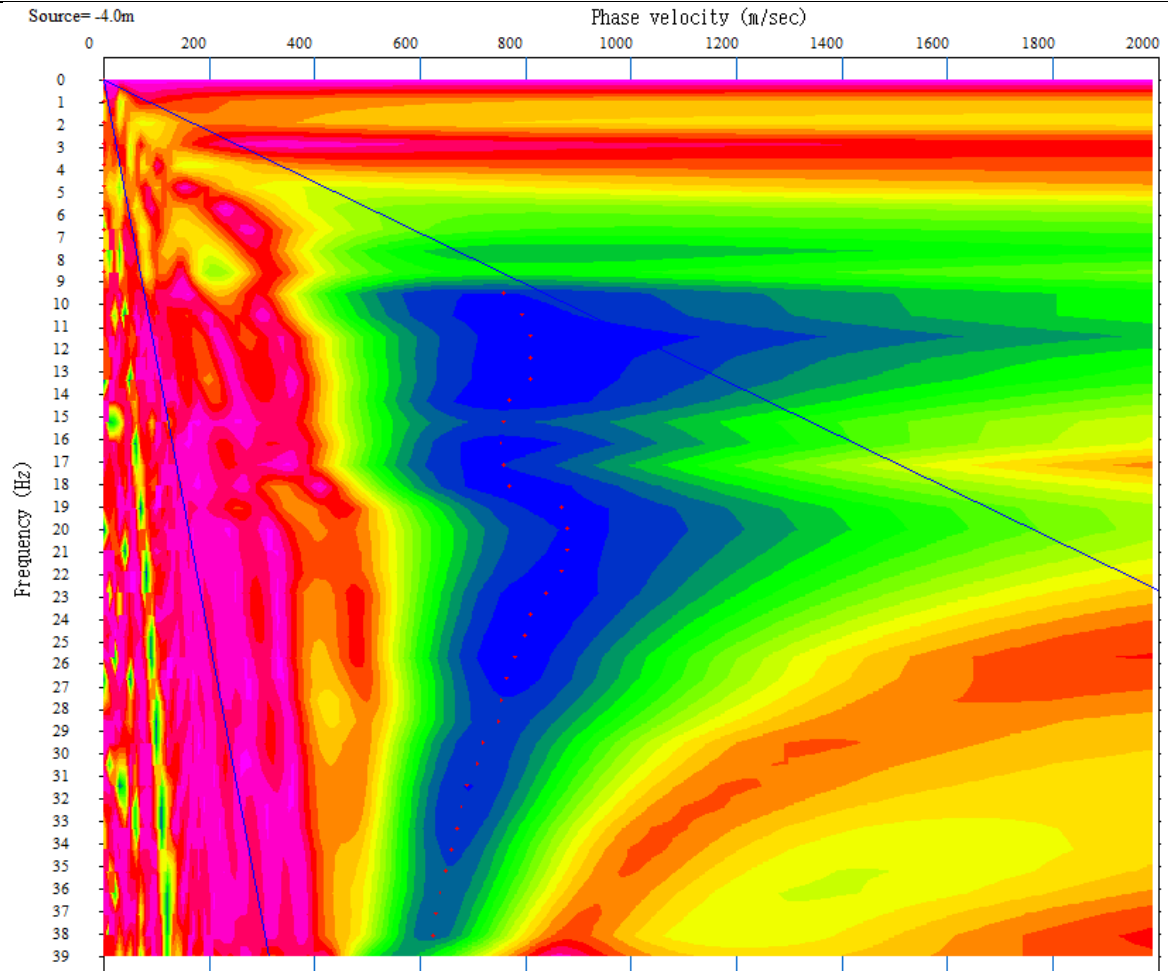
UBICAZIONE PROVA



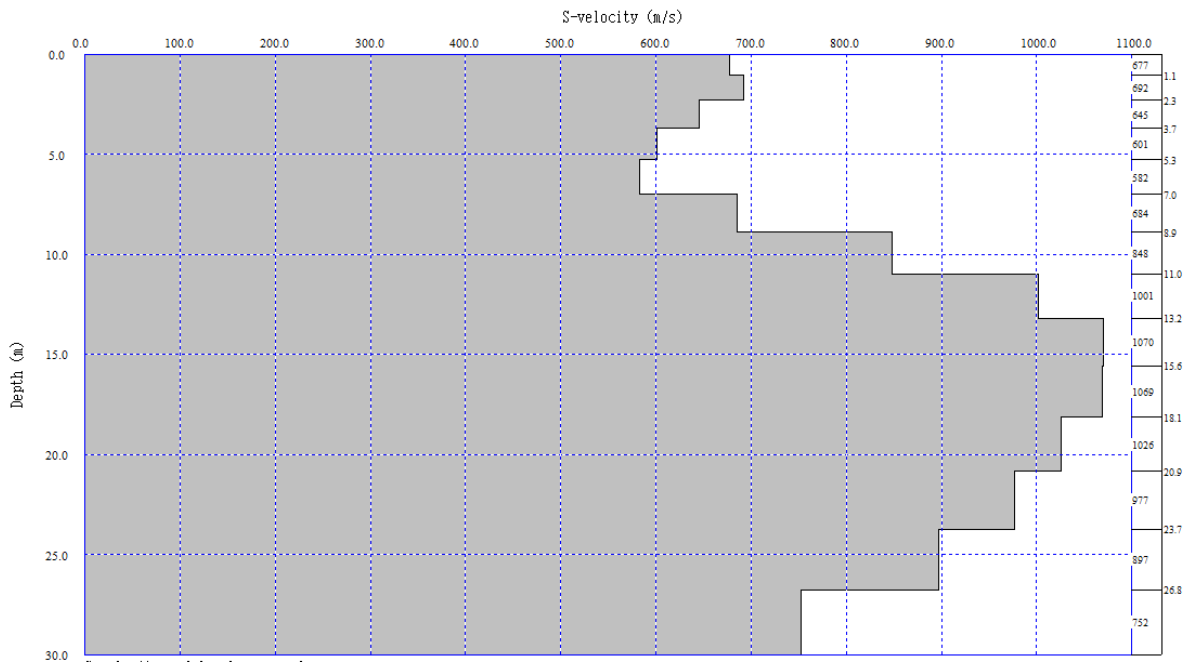
TRACCE SISMICHE



SPETTRO FV



PROFILO DI VELOCITA'



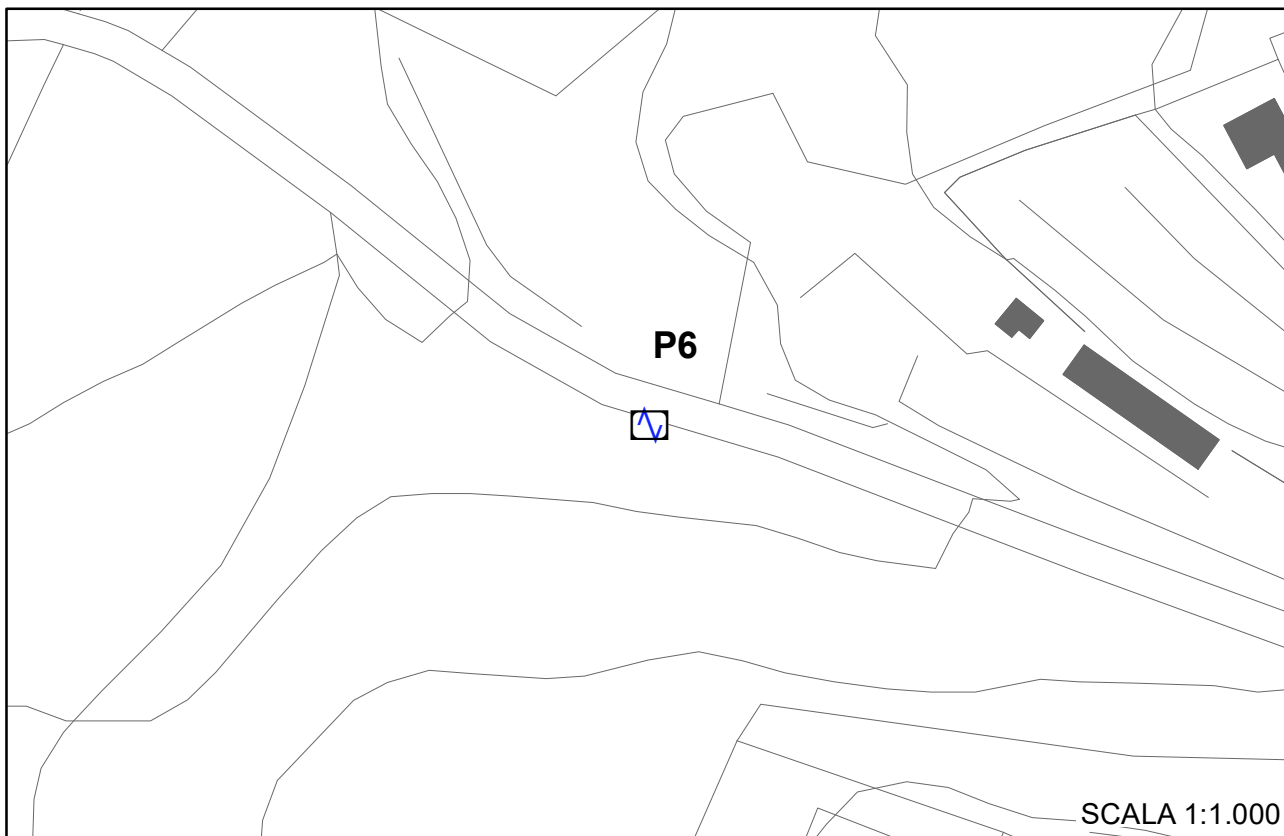
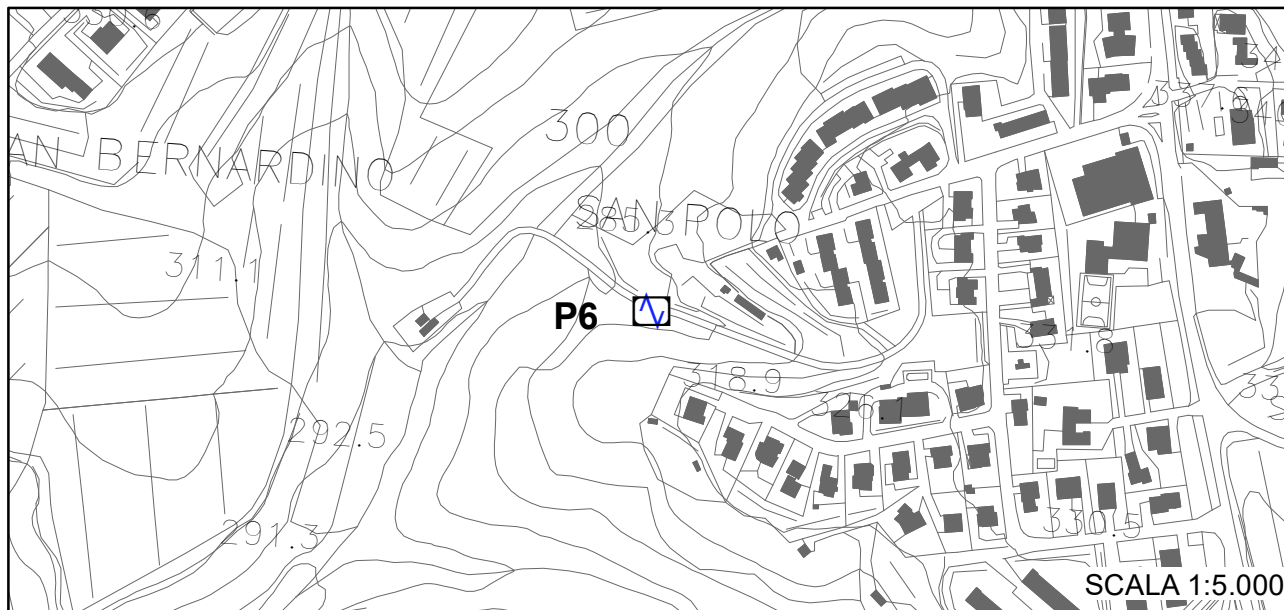
		Suolo tipo	A			
		hi	zi	Vsi	hi/Vsi	Vs, equ
	spessori	(m)		(m/s)	(s)	(m/s)
H	h1=	1.1	0	677	0.001625	823
(m)	h2=	1.2	1.1	692	0.001734	
30	h3=	1.4	2.3	645	0.002171	
	h4=	1.6	3.7	601	0.002662	
	h5=	1.7	5.3	582	0.002921	
	h6=	1.9	7	684	0.002778	
	h7=	2.1	8.9	848	0.002476	
	h8=	2.2	11	1001	0.002198	
	h9=	2.4	13.2	1070	0.002243	
	h10=	2.5	15.6	1069	0.002339	
	h11=	2.8	18.1	1026	0.002729	
	h12=	2.8	20.9	977	0.002866	
	h13=	3.1	23.7	897	0.003456	
	h10=	3.2	26.8	752	0.004255	
	somma	30			0.036453	

	Vs_equ (m/s)				Vs (m/s)		
H (m)	100	180	360	800	> 800		
3	RSL	E	E	B	A		
20							
30							
		D	C				
>30							



Appendice 3

Misure di microtremore HVSR



COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO


Misure di microtremore a stazione singola HVSR
Indagine n°: P6

Località: Castelnuovo Berardenga

Data: 10 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

 HVSR

P xxx indagine puntuale

Riferimento misura: **HVSR Castelnuovo_1**

File saf: **MT_20220527_100146.SAF**

Durata delle registrazione min.: **30**

Frequenza di campionamento: **300 Hz**

Lunghezza delle finestre: **60 s**

N° finestre selezionate: **27**

Tipo di lisciamento: **coseno**

Lisciamento: **10%**

Picco H/V : $f_0 = 9.05 \text{ Hz}$, $A_0=2.73$

Studio
Georicerche snc

PI e CF: 01232900520

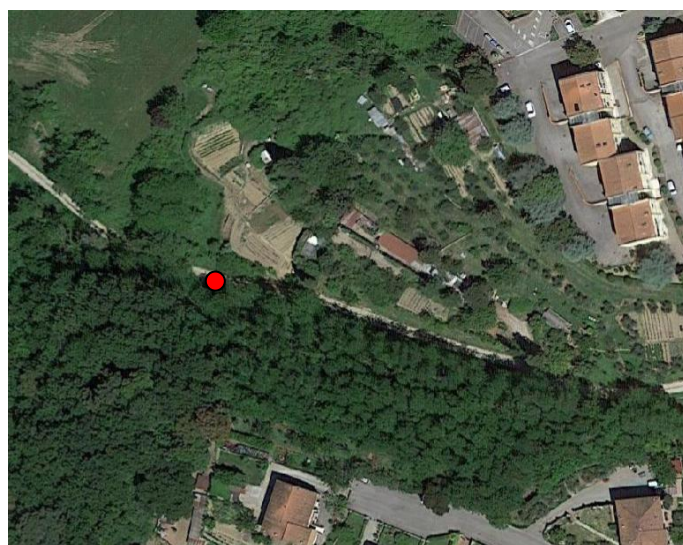
di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi

Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE

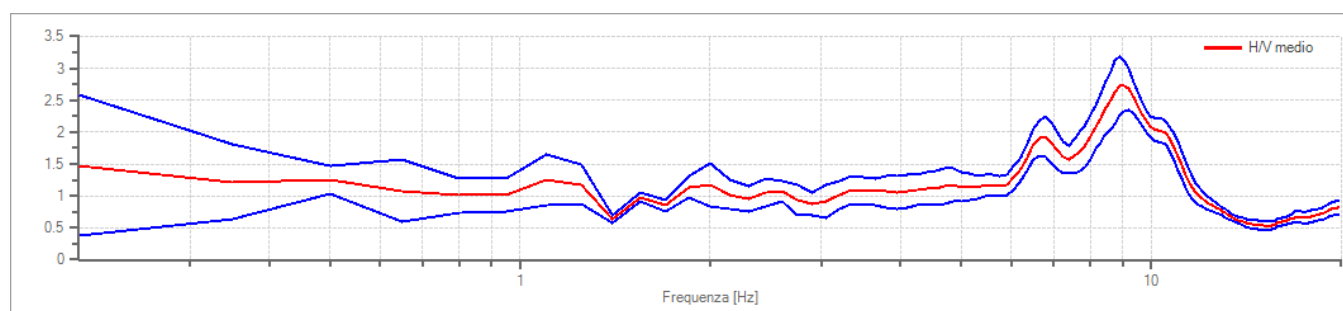
53035 - MONTERIGGIONI (SI)

Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

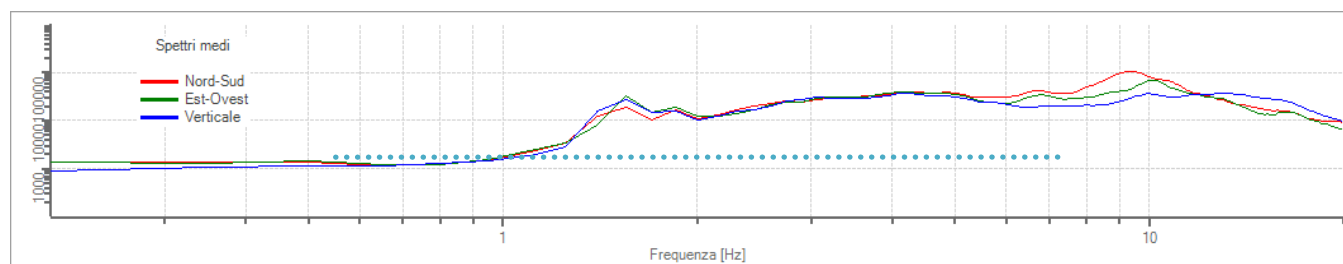
Ubicazione prova



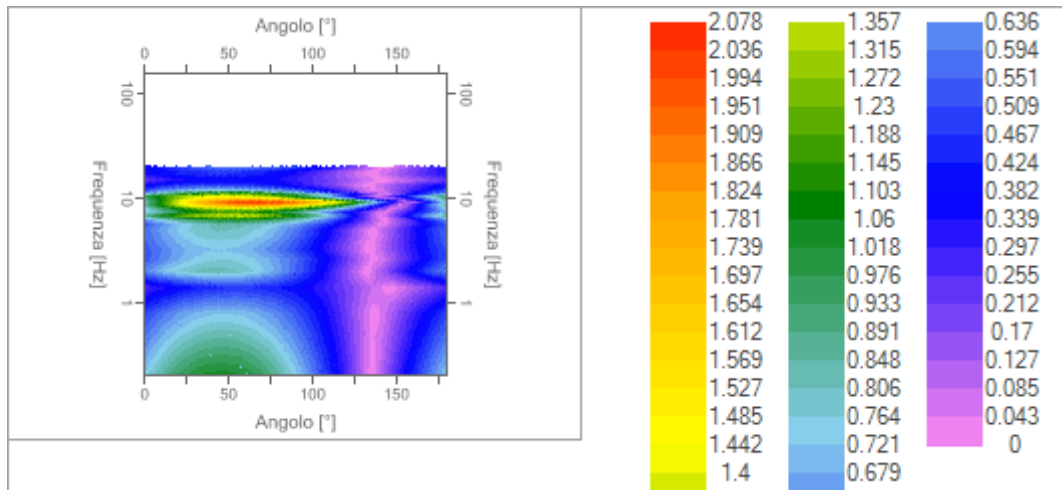
Curva HVSR



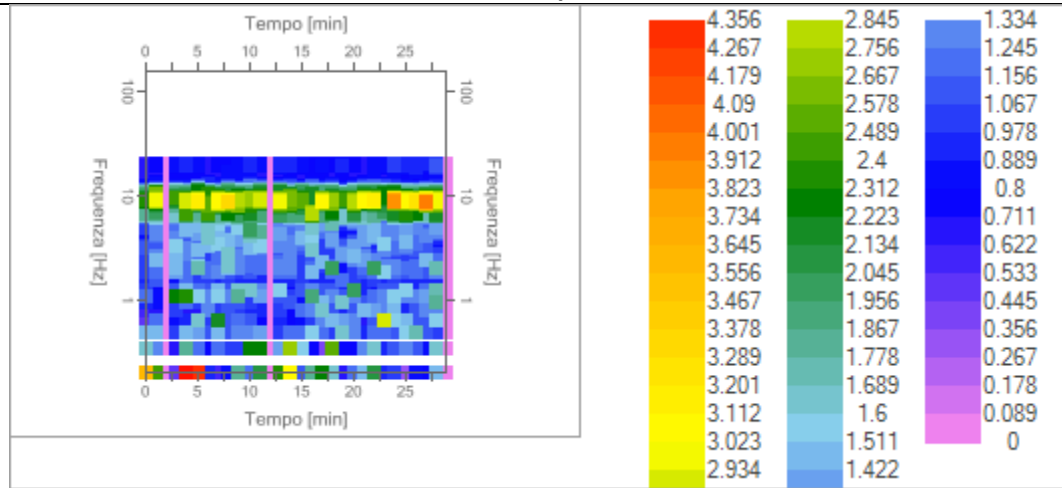
Spettri delle singole componenti



Direzionalità



Serie temporale



Picco H/V a 9.05 ± 0.16 Hz (nell'intervallo 0.5 -20 Hz)

Criteri per una curva H/V affidabile

(Tutti e tre i criteri devono essere soddisfatti)

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H_z$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H_z$	Ok
Criteri per un picco H/V chiaro (Almeno cinque criteri su sei devono essere soddisfatti)	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok

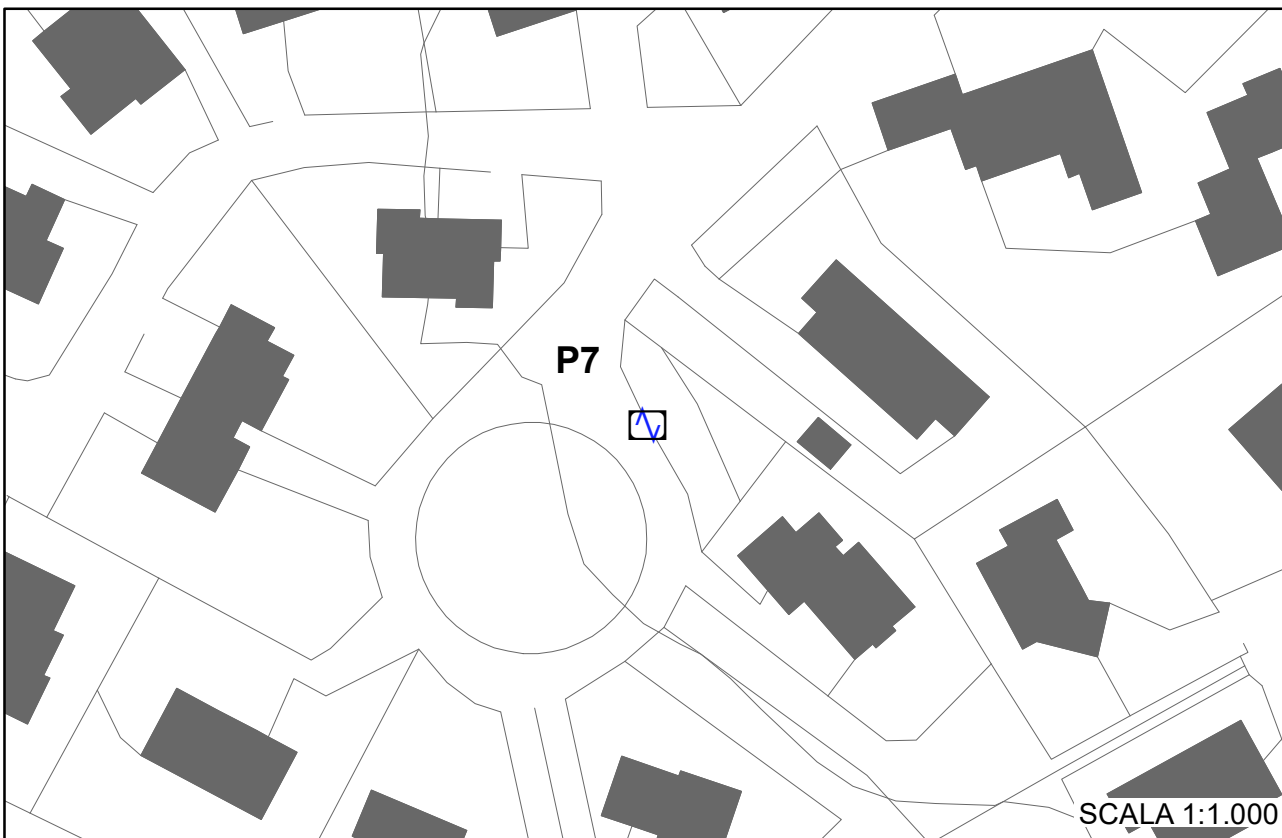
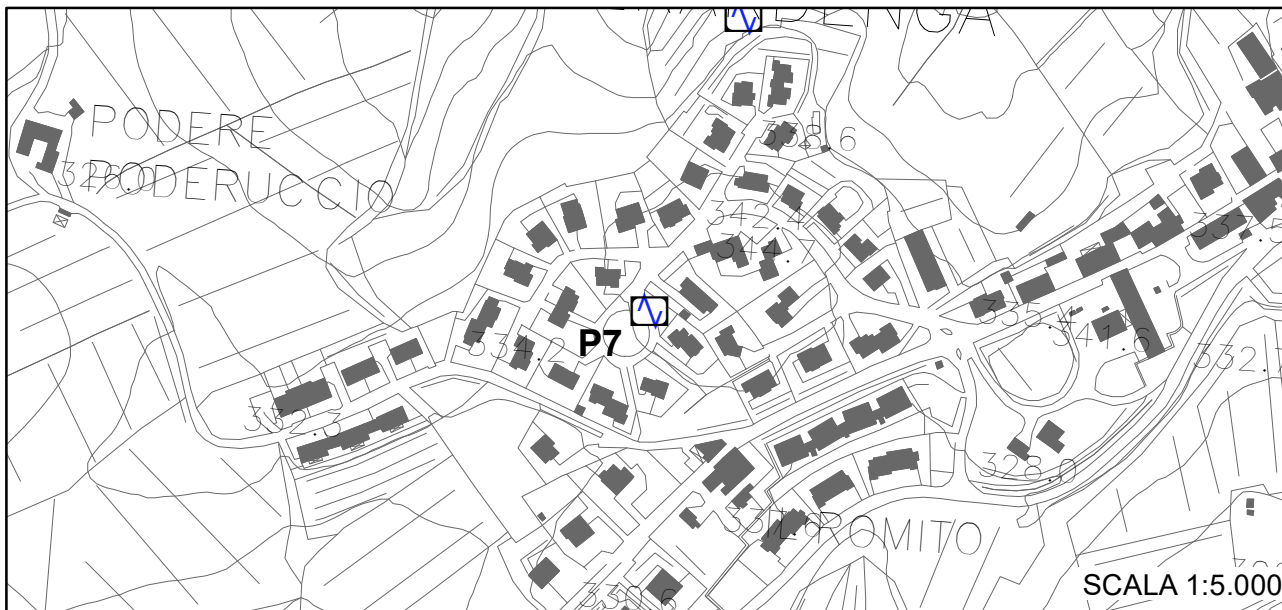
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Legenda

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Misure di microtremore a stazione singola HVSR
Indagine n°: P7

Località: Castelnuovo Berardenga 2

Data: 10 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

 HVSR

P xxx indagine puntuale

Riferimento misura: **HVSR Castelnuovo_2**

File saf: **MT_20220527_110325.SAF**

Durata delle registrazione min.: **30**

Frequenza di campionamento: **300 Hz**

Lunghezza delle finestre: **60 s**

N° finestre selezionate: **27**

Tipo di lisciamento: **coseno**

Lisciamento: **10%**

Picco H/V : $f_0 = 0.8 \text{ hz}$, $A_0=1.67$

Studio
Georicerche snc

PI e CF: 01232900520

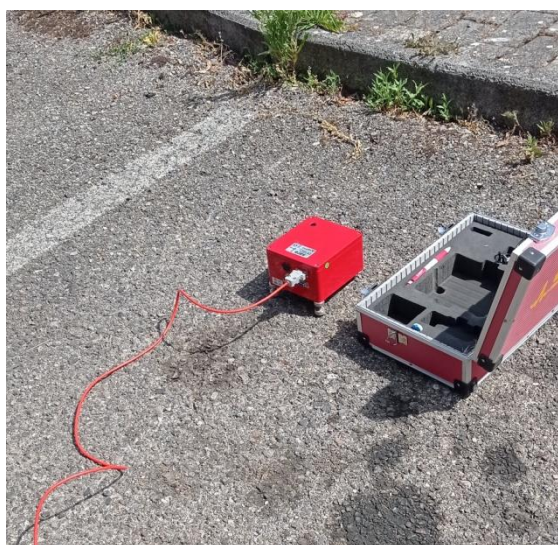
di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi

Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE

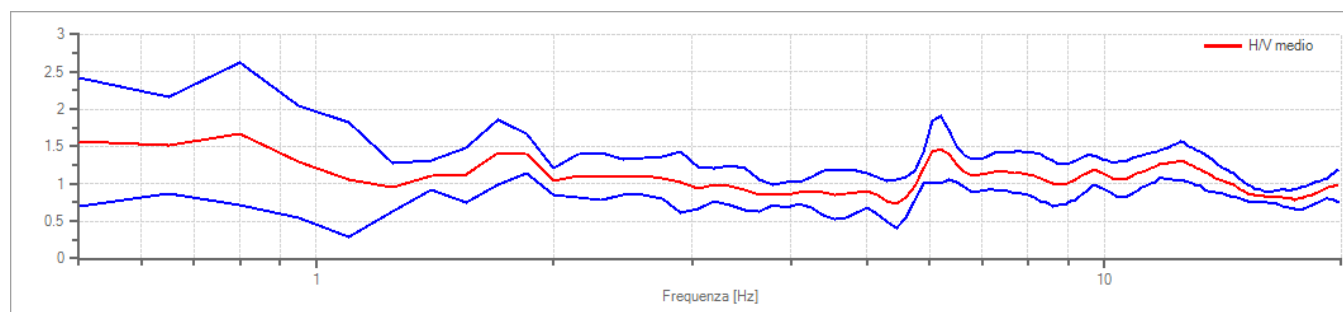
53035 - MONTERIGGIONI (SI)

Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

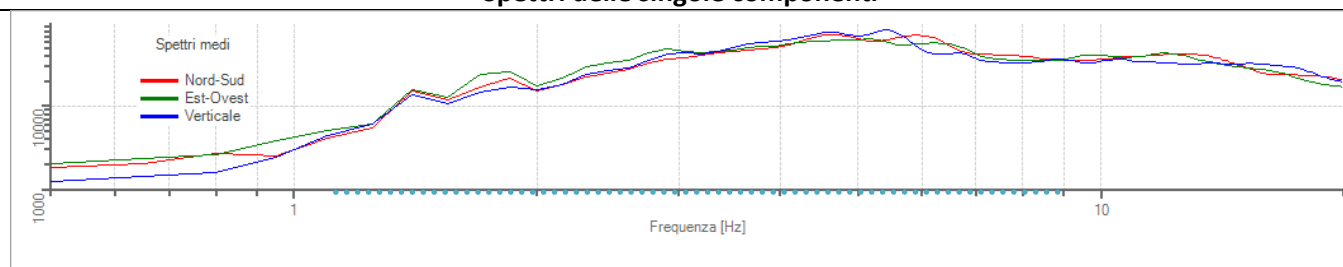
Ubicazione prova

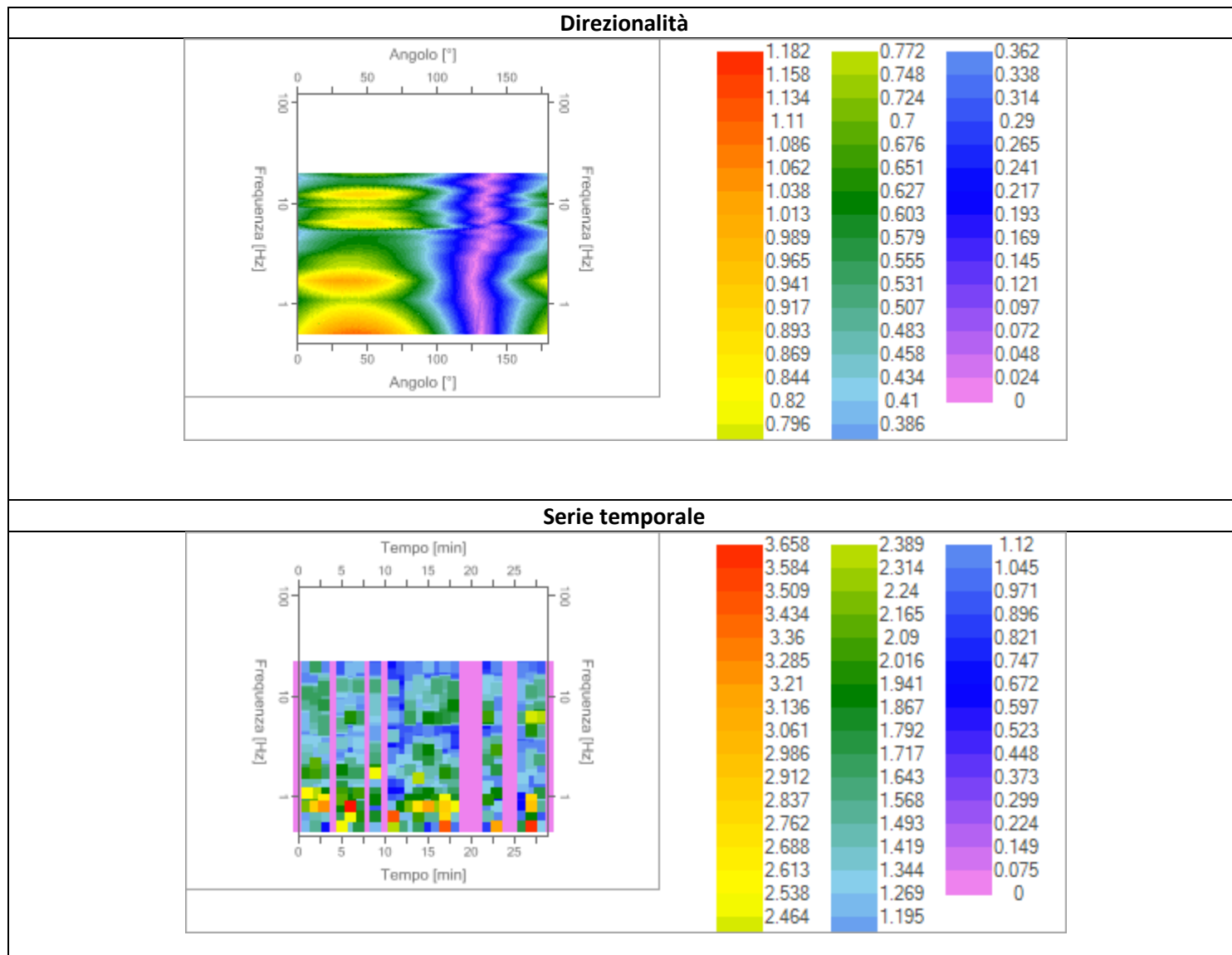


Curva HVSR



Spettri delle singole componenti





Picco H/V a 0.8 ± 0.57 Hz (nell'intervallo 0.5 -20 Hz) Criteri per una curva H/V affidabile (Tutti e tre i criteri devono essere soddisfatti)	
Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H_z$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H_z$	Ok
Criteri per un picco H/V chiaro (Almeno cinque criteri su sei devono essere soddisfatti)	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	NO

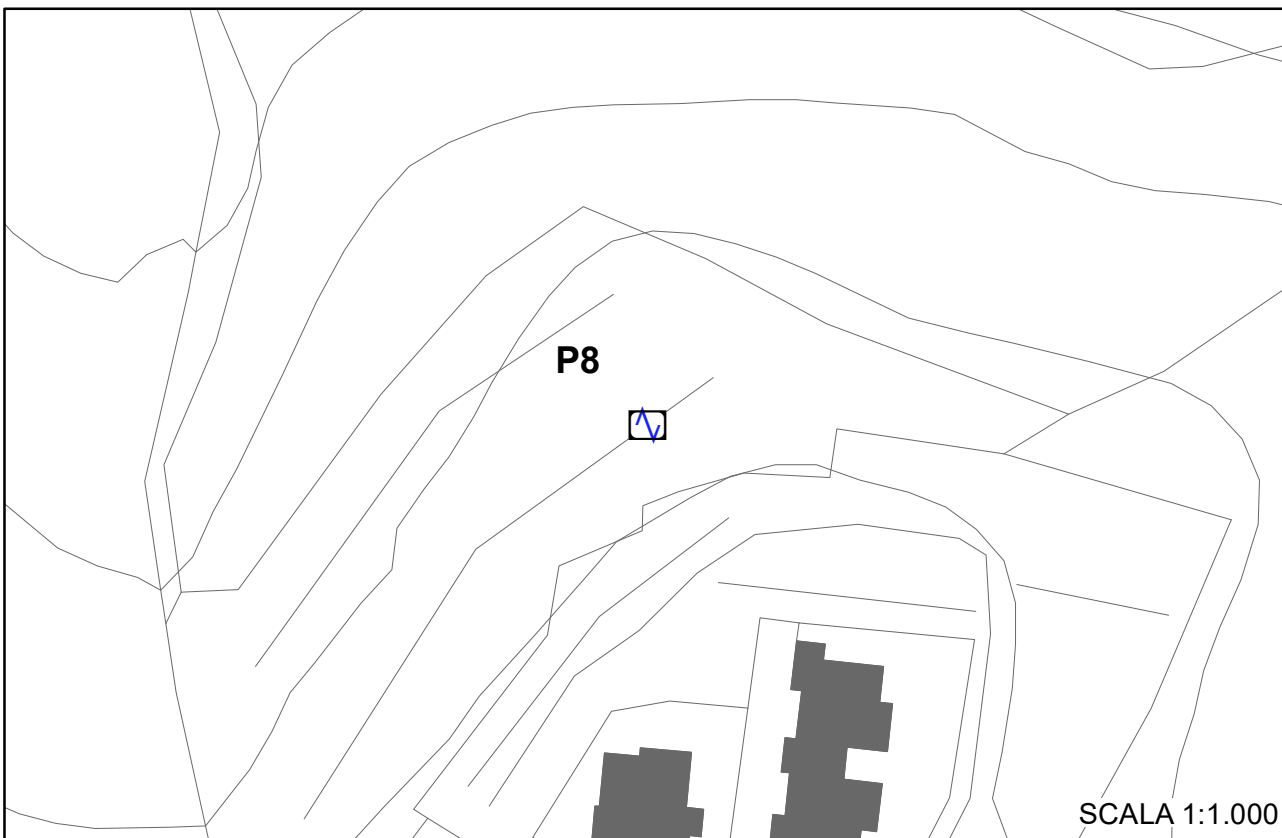
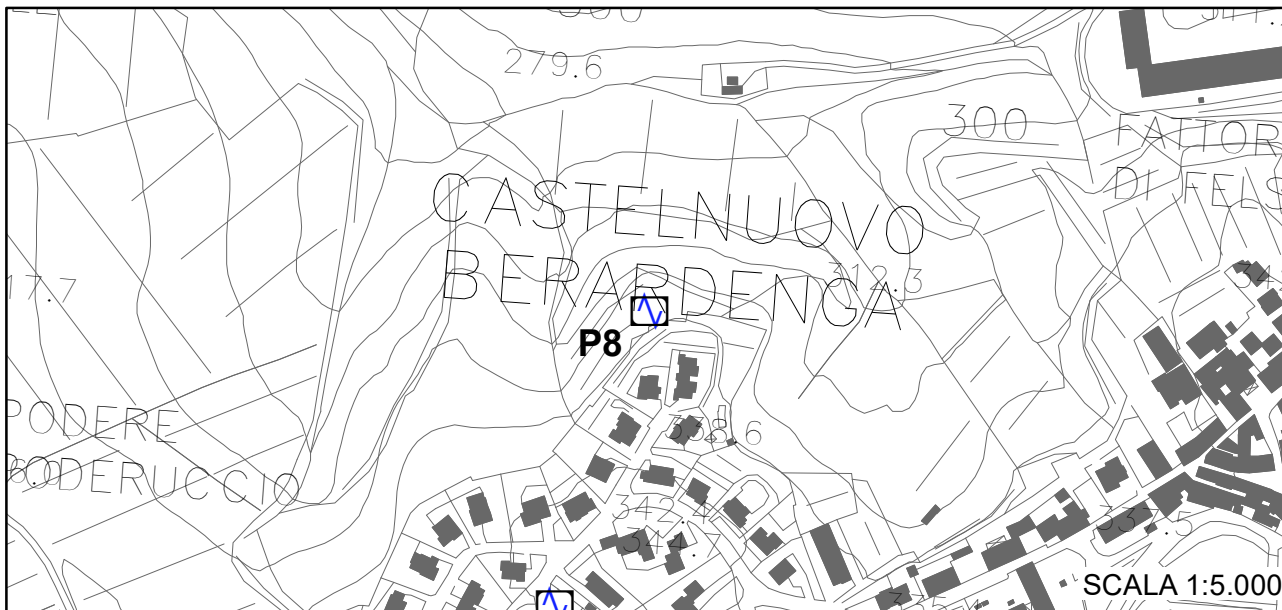
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	NO
$A_0 > 2$	NO
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Legenda

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Misure di microtremore a stazione singola HVSR
Indagine n°: P8

Località: Castelnuovo Berardenga 3

Data: 10 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

 HVSR

P xxx indagine puntuale

Riferimento misura: **HVSR Castelnuevo_3**

File saf: **MT_20220527_120107.SAF**

Durata delle registrazione min.: **30**

Frequenza di campionamento: **300 Hz**

Lunghezza delle finestre: **60 s**

N° finestre selezionate: **18**

Tipo di lisciamento: **coseno**

Lisciamento: **10%**

Picco H/V : $f_0 = 2.16 \text{ hz}$, $A_0=1.41$

Studio
Georicerche snc

PI e CF: 01232900520

di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi

Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE

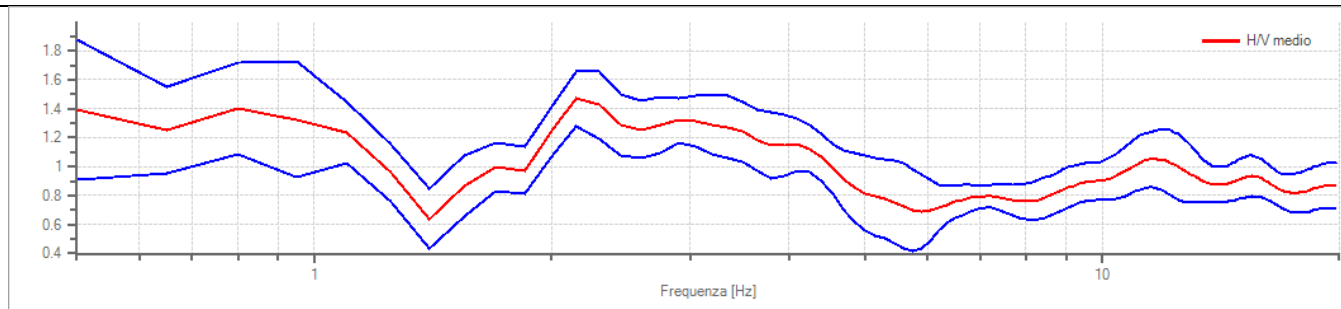
53035 - MONTERIGGIONI (SI)

Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

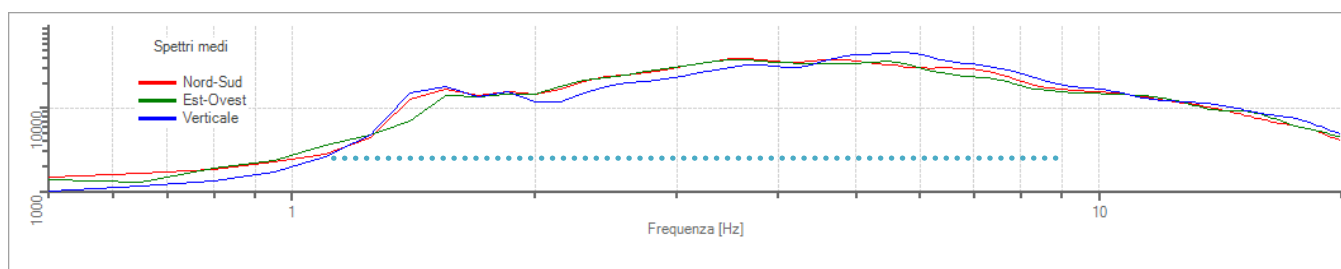
Ubicazione prova



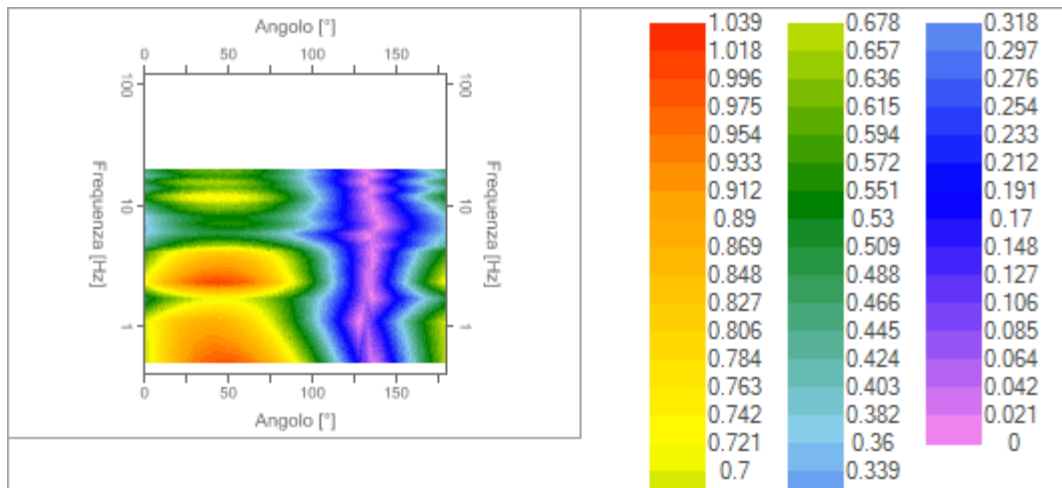
Curva HVSR



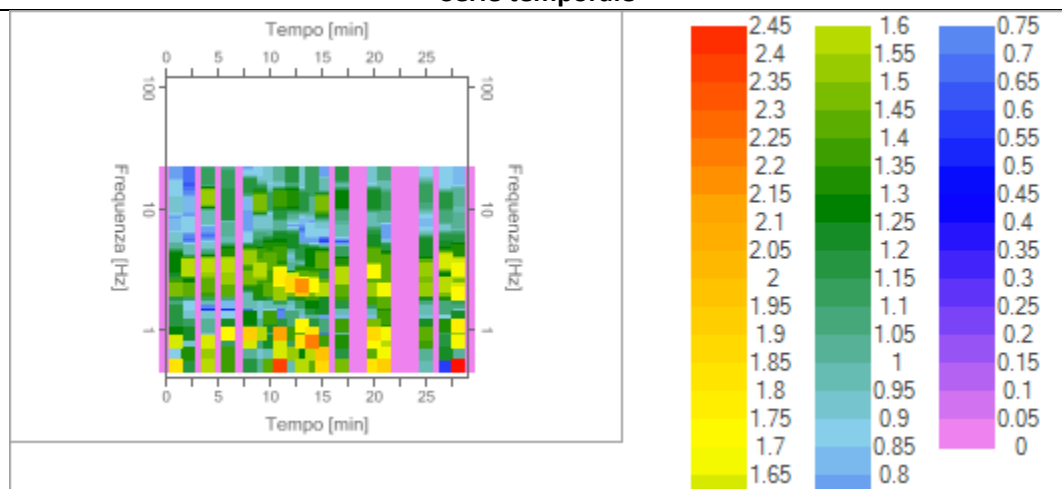
Spettri delle singole componenti



Direzionalità



Serie temporale



Picco H/V a 2.16 ± 0.13 Hz (nell'intervallo 0.5 -20 Hz) Criteri per una curva H/V affidabile (Tutti e tre i criteri devono essere soddisfatti)	
Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H_z$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H_z$	Ok
Criteri per un picco H/V chiaro (Almeno cinque criteri su sei devono essere soddisfatti)	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok

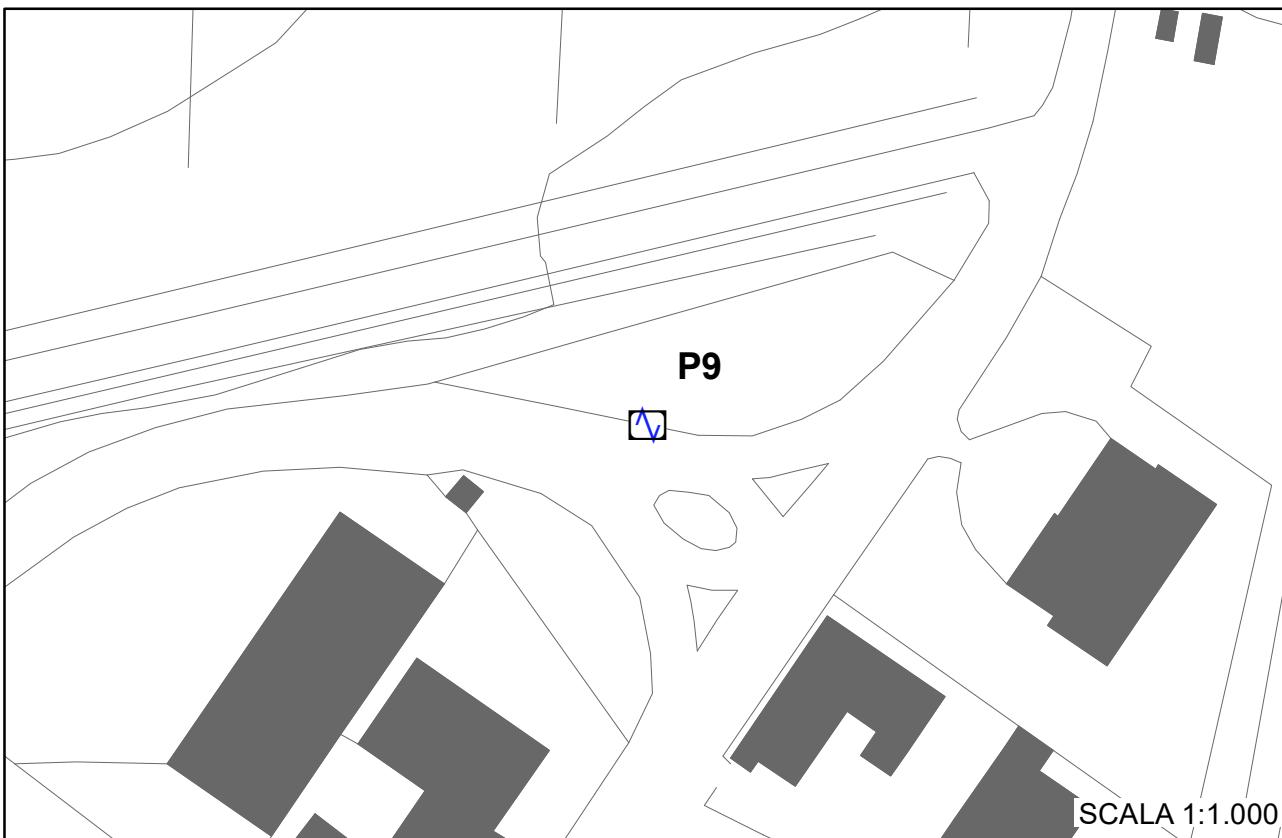
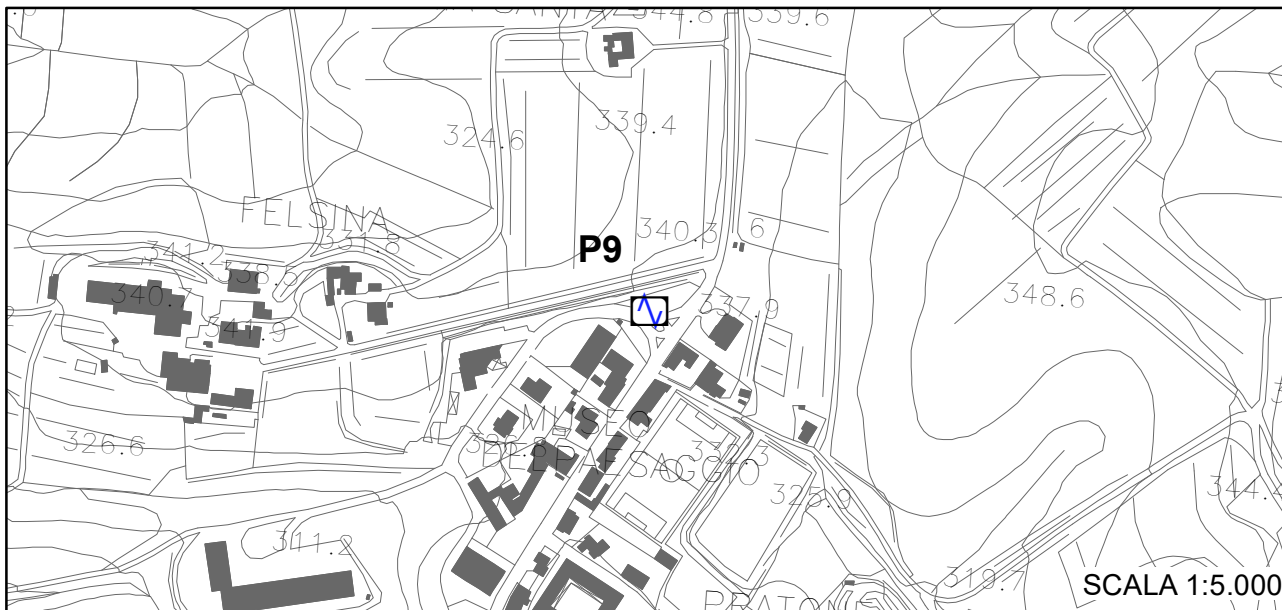
$A_0 > 2$	NO
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Legenda

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO


Misure di microtremore a stazione singola HVSR
Indagine n°: P9

Località: Castelnuovo Berardenga 4

Data: 10 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

 HVSR

P xxx indagine puntuale

Riferimento misura: **HVSR Castelnuovo_4**

File saf: **MT_20220527_124426.SAF**

Durata delle registrazione min.: **30**

Frequenza di campionamento: **300 Hz**

Lunghezza delle finestre: **60 s**

N° finestre selezionate: **23**

Tipo di lisciamento: **coseno**

Lisciamento: **10%**

Picco H/V : $f_0 = 1.55 \text{ Hz}$, $A_0 = 2.20$

Studio
Georicerche snc

PI e CF: 01232900520

di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi

Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE

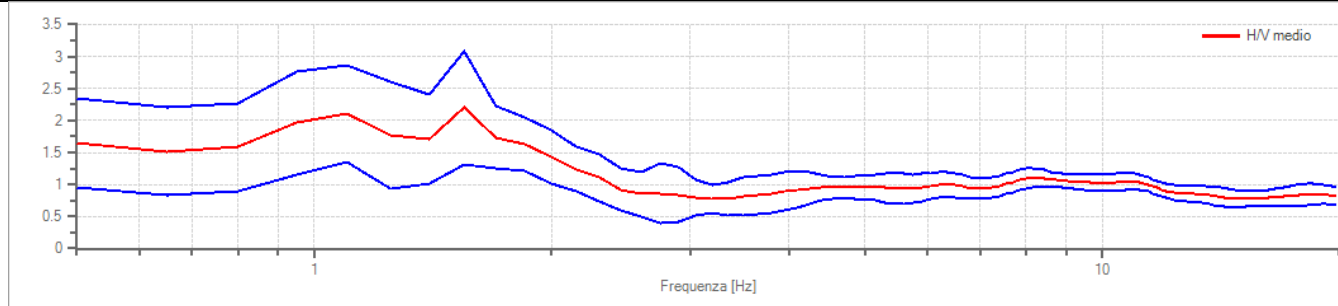
53035 - MONTERIGGIONI (SI)

Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

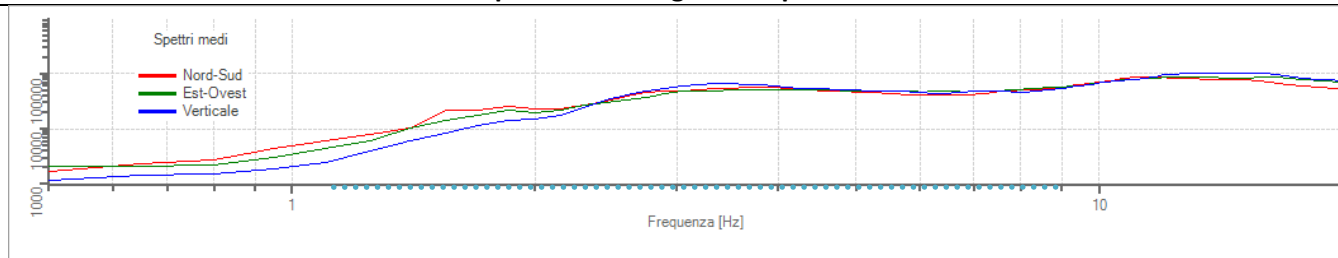
Ubicazione prova



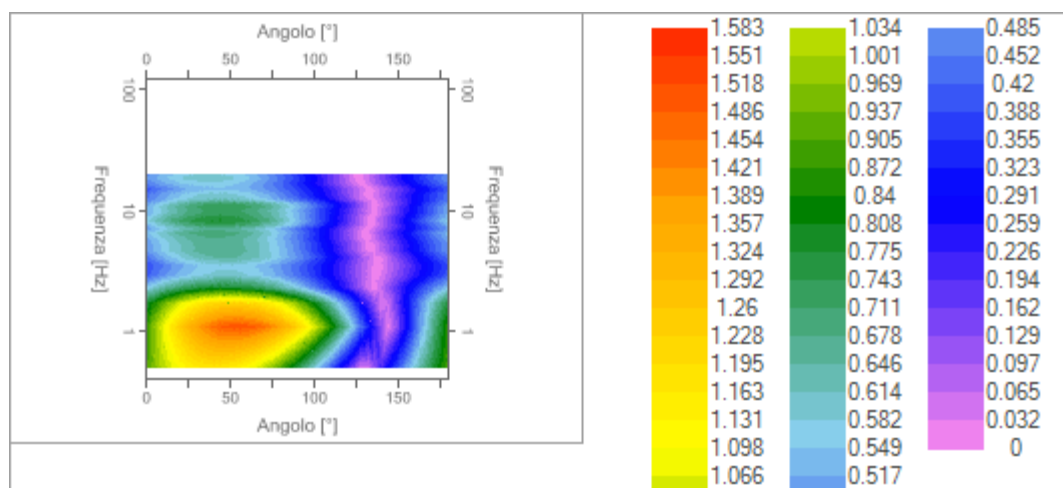
Curva HVSR



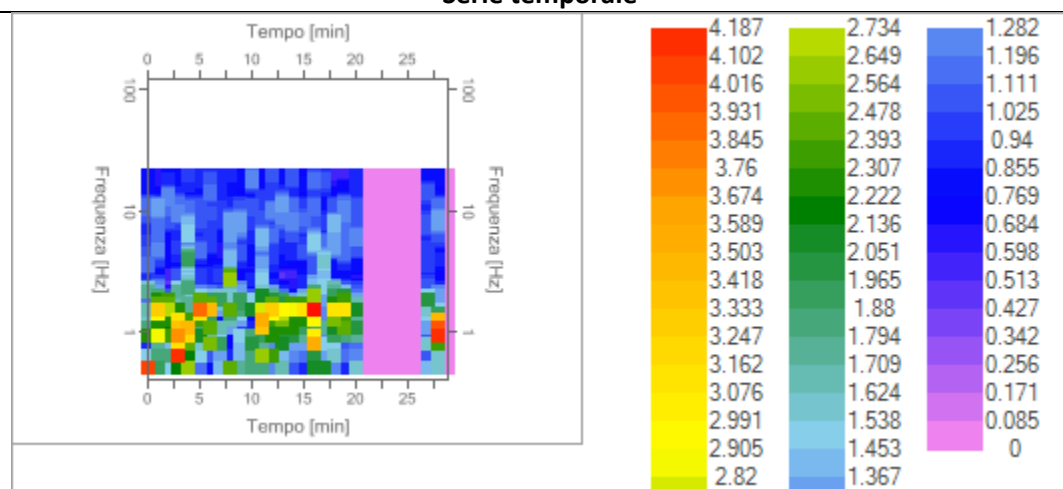
Spettri delle singole componenti



Direzionalità



Serie temporale



Picco H/V a 1.55 ± 0.4 Hz (nell'intervallo 0.5 -20 Hz) Criteri per una curva H/V affidabile (Tutti e tre i criteri devono essere soddisfatti)	
Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H_z$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H_z$	Ok
Criteri per un picco H/V chiaro (Almeno cinque criteri su sei devono essere soddisfatti)	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	NO
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok

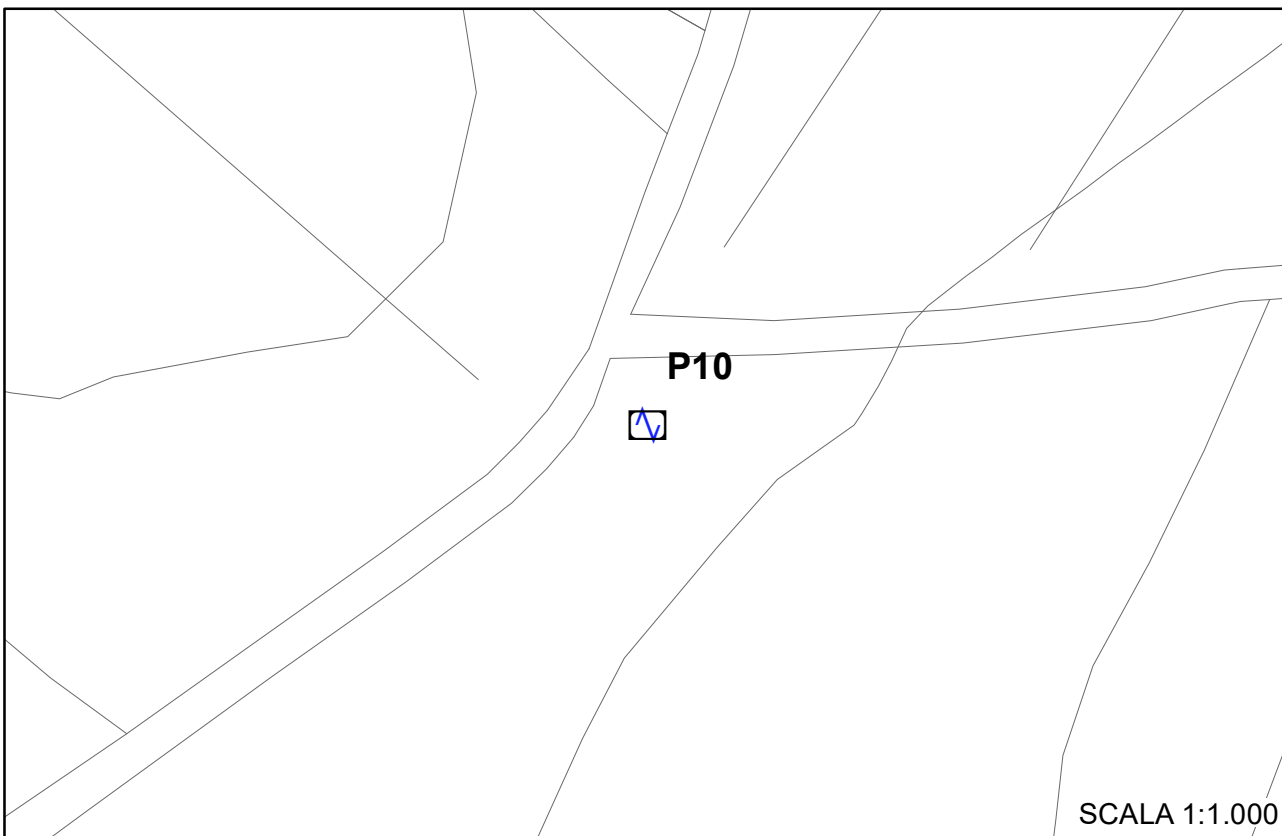
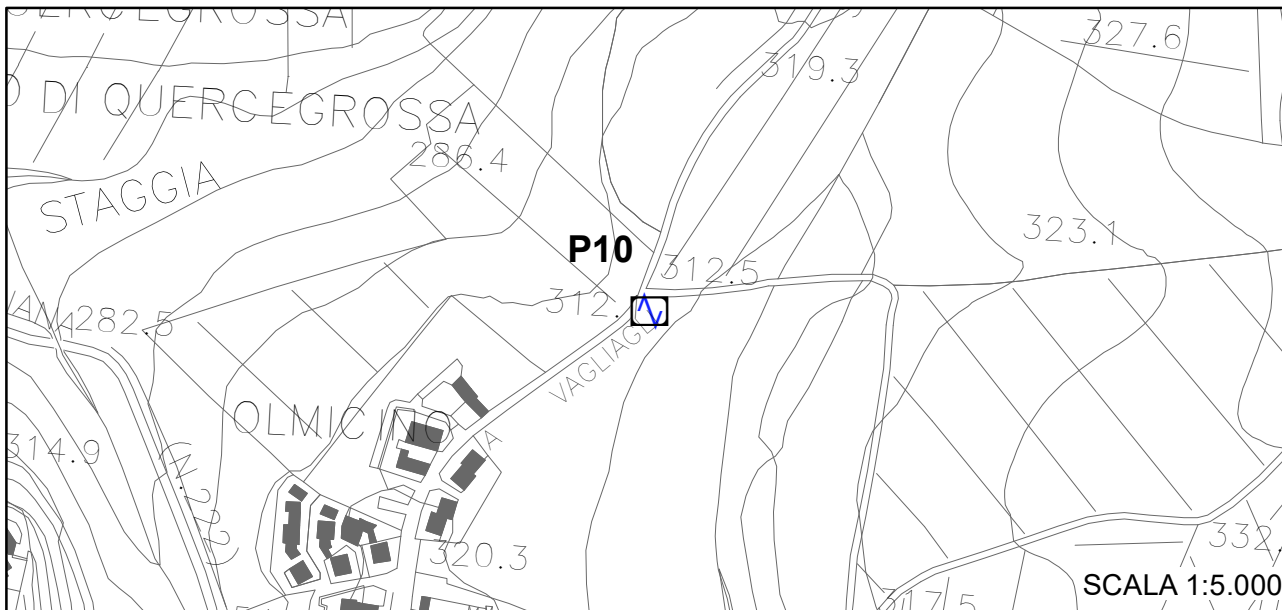
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Legenda

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Misure di microtremore a stazione singola HVSR
Indagine n°: P10

Località: Quercegrossa 1

Data: 10 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

 HVSR

P xxx indagine puntuale

Riferimento misura: **HVSR Quercegrossa_1**

File saf: **MT_20220530_132527.SAF**

Durata delle registrazione min.: **30**

Frequenza di campionamento: **300 Hz**

Lunghezza delle finestre: **60 s**

N° finestre selezionate: **29**

Tipo di lisciamento: **coseno**

Lisciamento: **10%**

Picco H/V : $f_0 = 0.95 \text{ hz}$, $A_0 = 1.82$

Studio
Georicerche snc

PI e CF: 01232900520

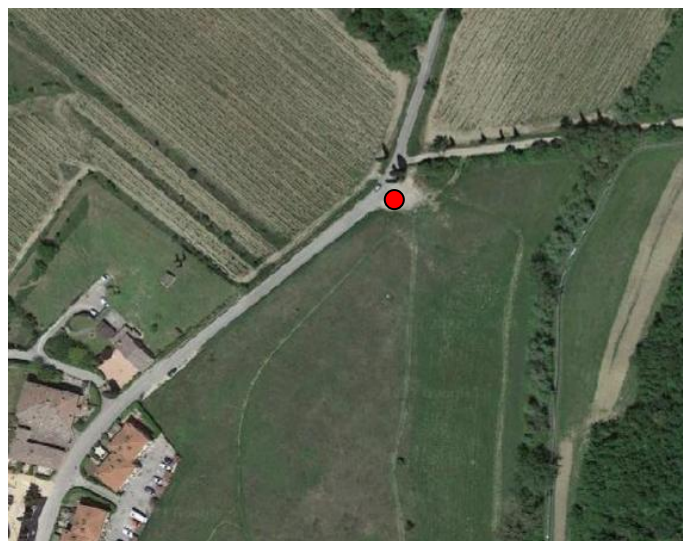
di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi

Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE

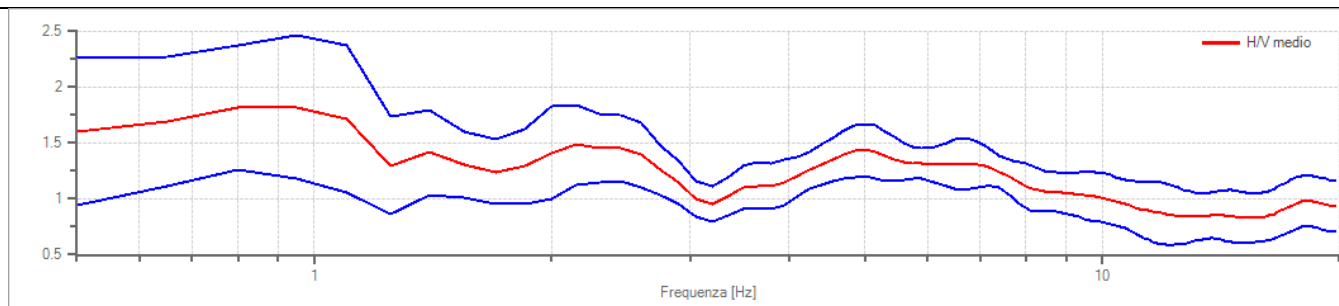
53035 - MONTERIGGIONI (SI)

Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

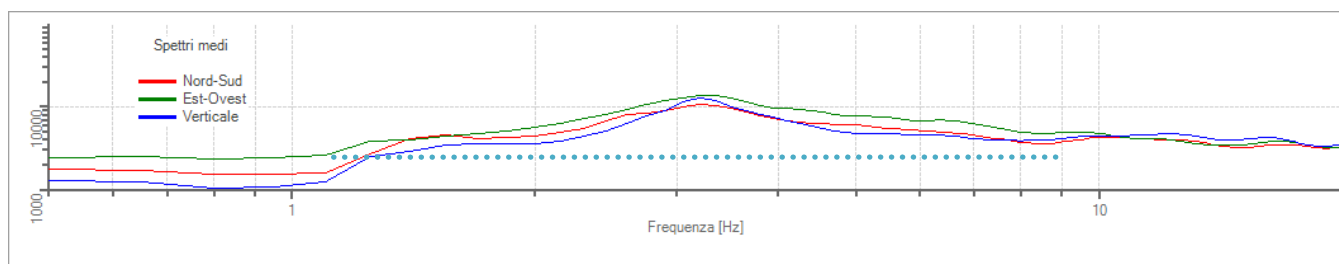
Ubicazione prova



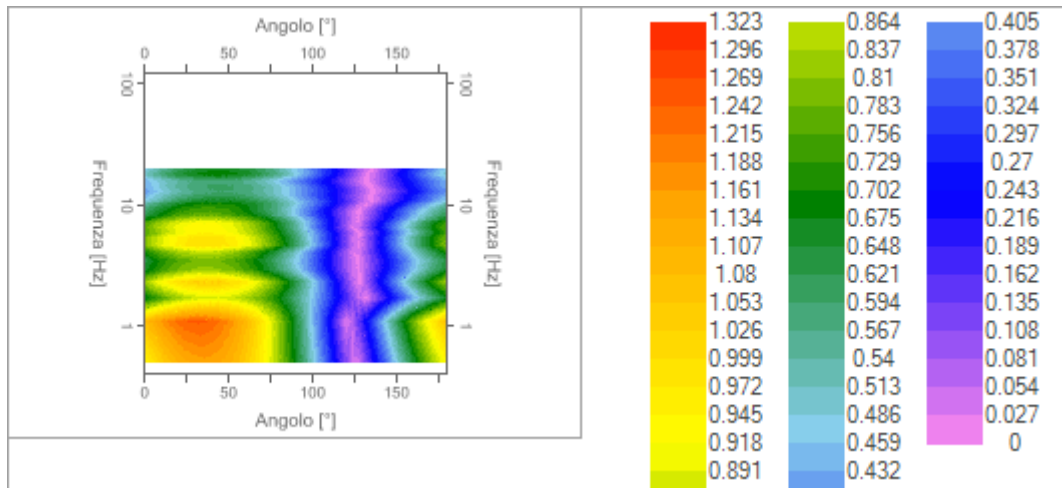
Curva HVSR



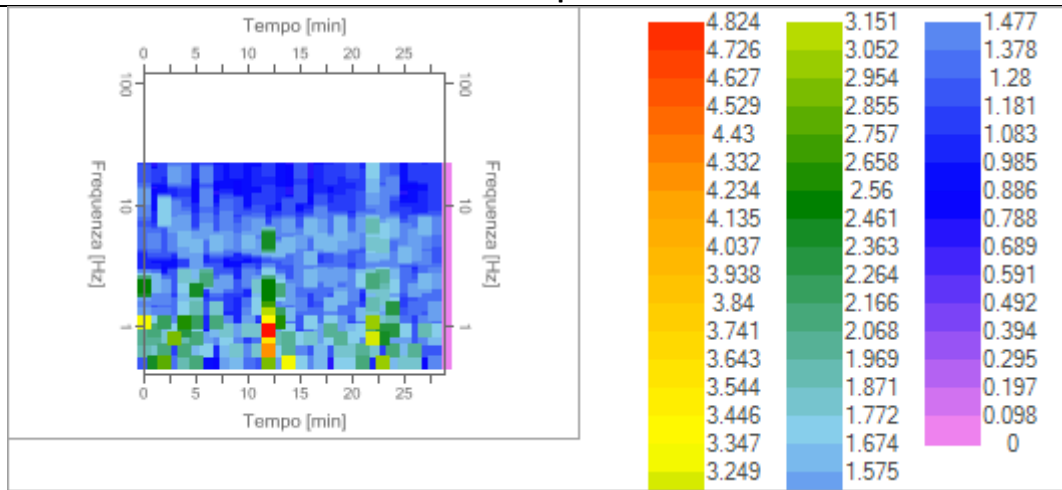
Spettri delle singole componenti



Direzionalità



Serie temporale



Picco H/V a 0.95 ± 0.35 Hz (nell'intervallo 0.5 -20 Hz)

Criteri per una curva H/V affidabile

(Tutti e tre i criteri devono essere soddisfatti)

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5 \text{ Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5 \text{ Hz}$	Ok
Criteri per un picco H/V chiaro (Almeno cinque criteri su sei devono essere soddisfatti)	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	NO

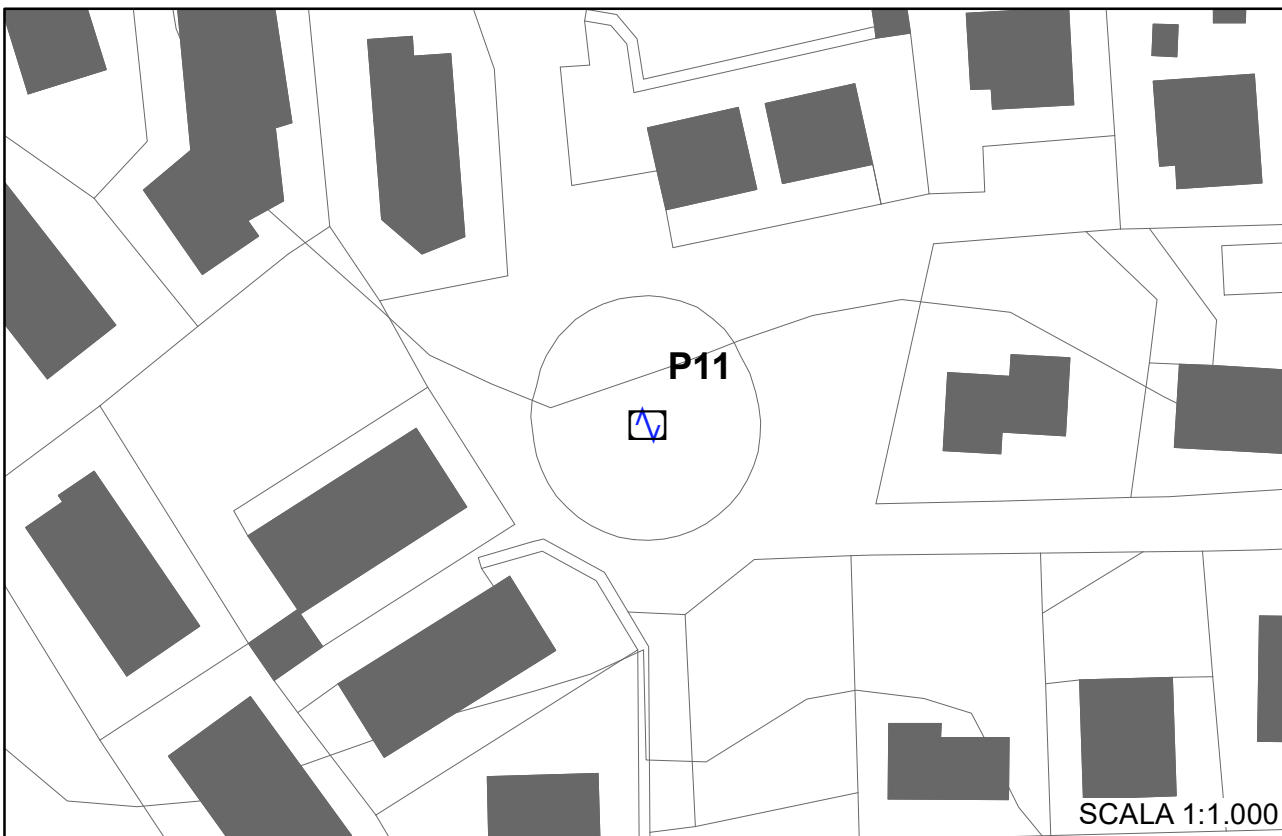
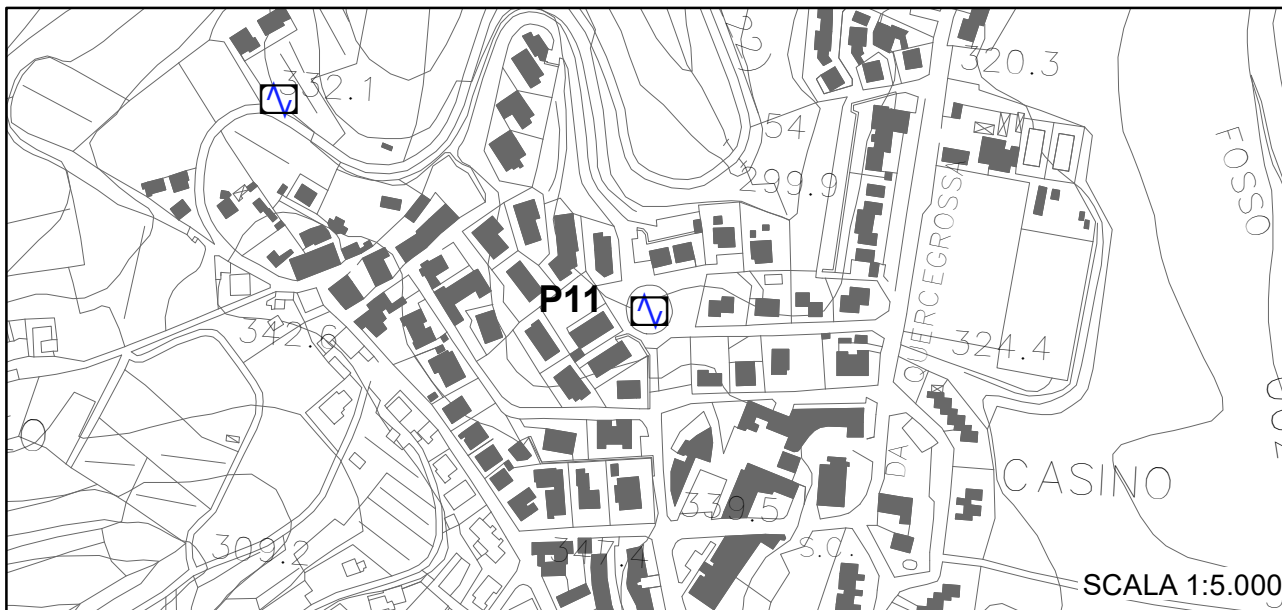
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	NO
$A_0 > 2$	NO
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Legenda

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO


Misure di microtremore a stazione singola HVSR
Indagine n°: P11

Località: Quercegrossa 2

Data: 10 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

 HVSR

P xxx indagine puntuale

Riferimento misura: **HVSR Quercegrossa_2**

File saf: **MT_20220615_091827.SAF**

Durata delle registrazione min.: **30**

Frequenza di campionamento: **300 Hz**

Lunghezza delle finestre: **60 s**

N° finestre selezionate: **20**

Tipo di lisciamento: **coseno**

Lisciamento: **10%**

Picco H/V : $f_0 = 0.80 \text{ hz}$, $A_0 = 2.24$

Studio
Georicerche snc

PI e CF: 01232900520

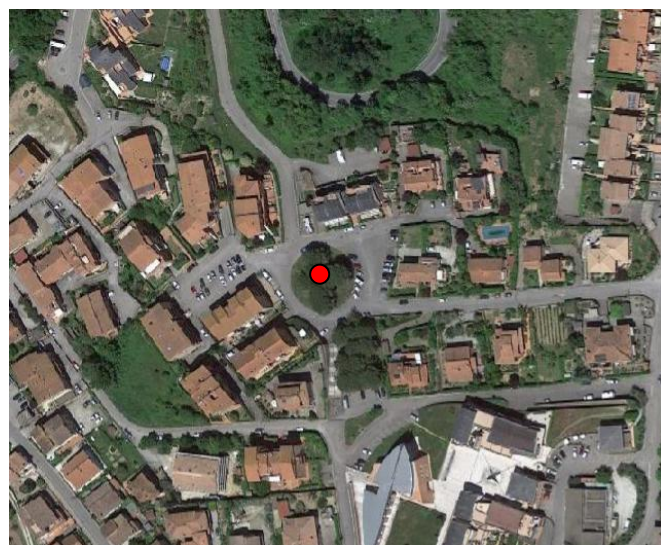
di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi

Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE

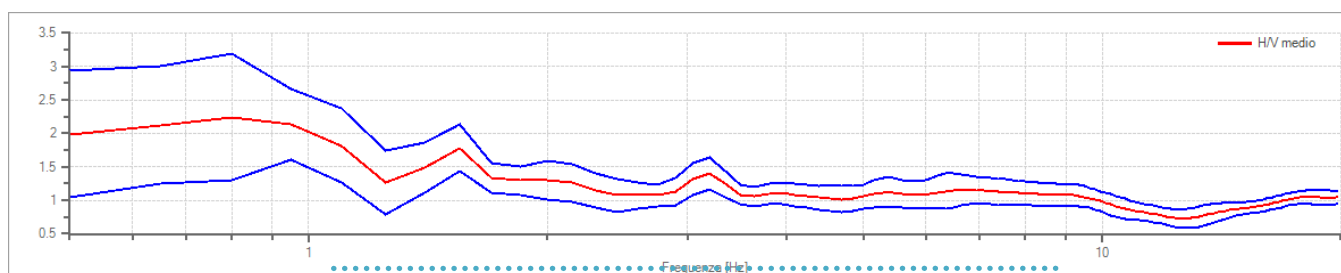
53035 - MONTERIGGIONI (SI)

Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

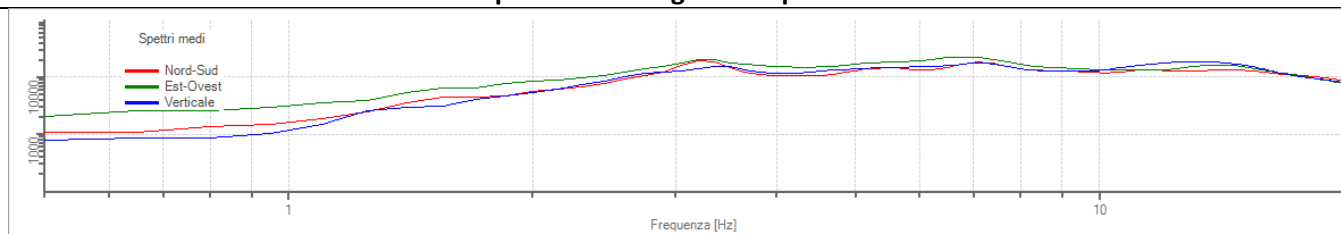
Ubicazione prova

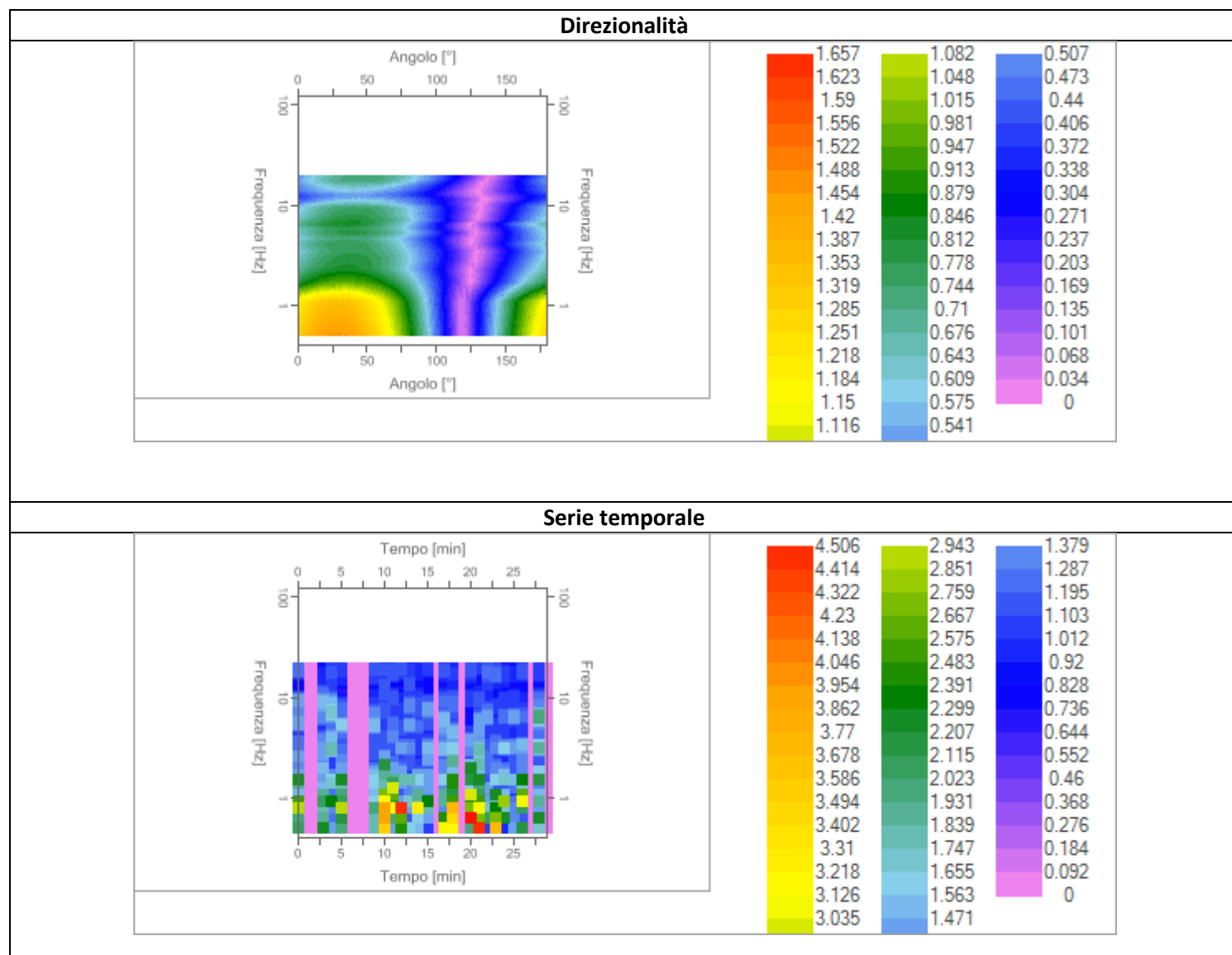


Curva HVSR



Spettri delle singole componenti





Picco H/V a 0.80 ± 0.42 Hz (nell'intervallo 0.5 -20 Hz)	
Criteri per una curva H/V affidabile	
(Tutti e tre i criteri devono essere soddisfatti)	
Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H_z$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H_z$	Ok
Criteri per un picco H/V chiaro	
(Almeno cinque criteri su sei devono essere soddisfatti)	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	NO

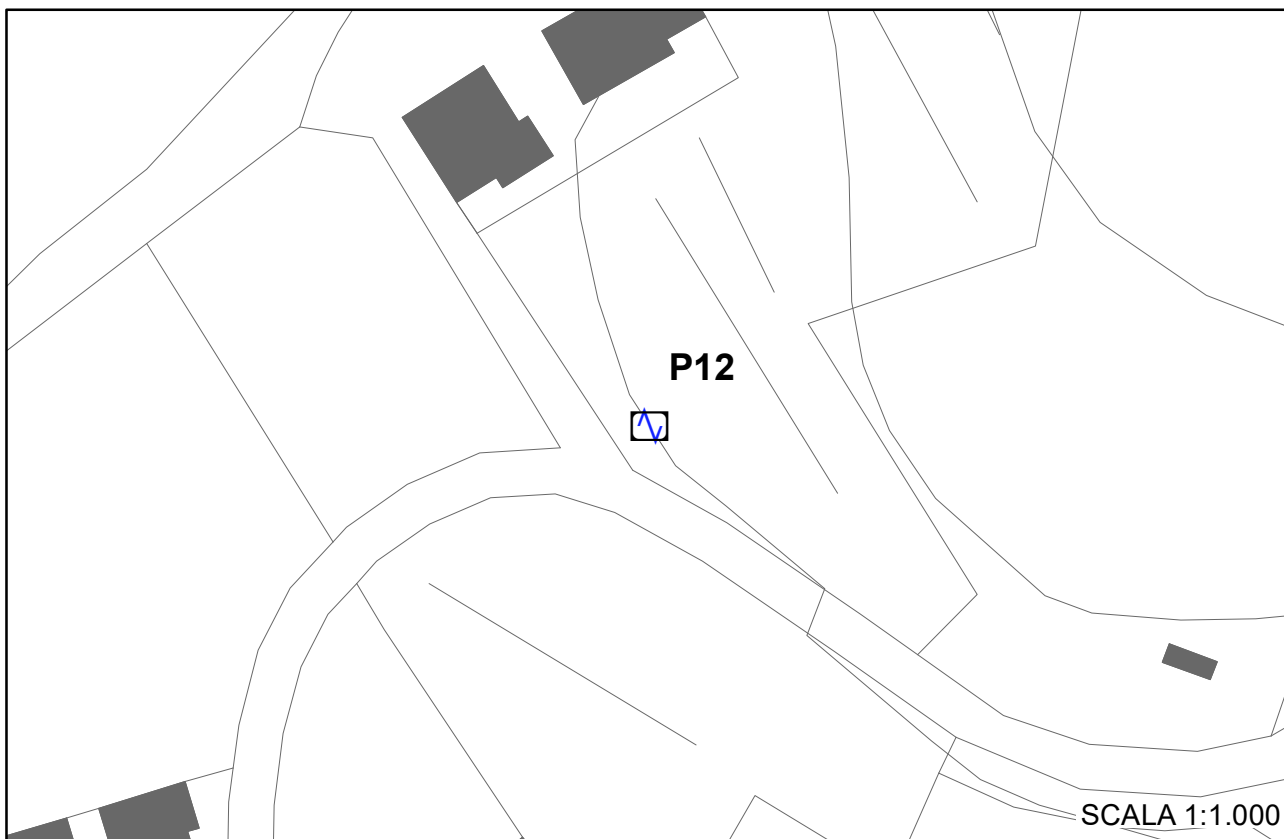
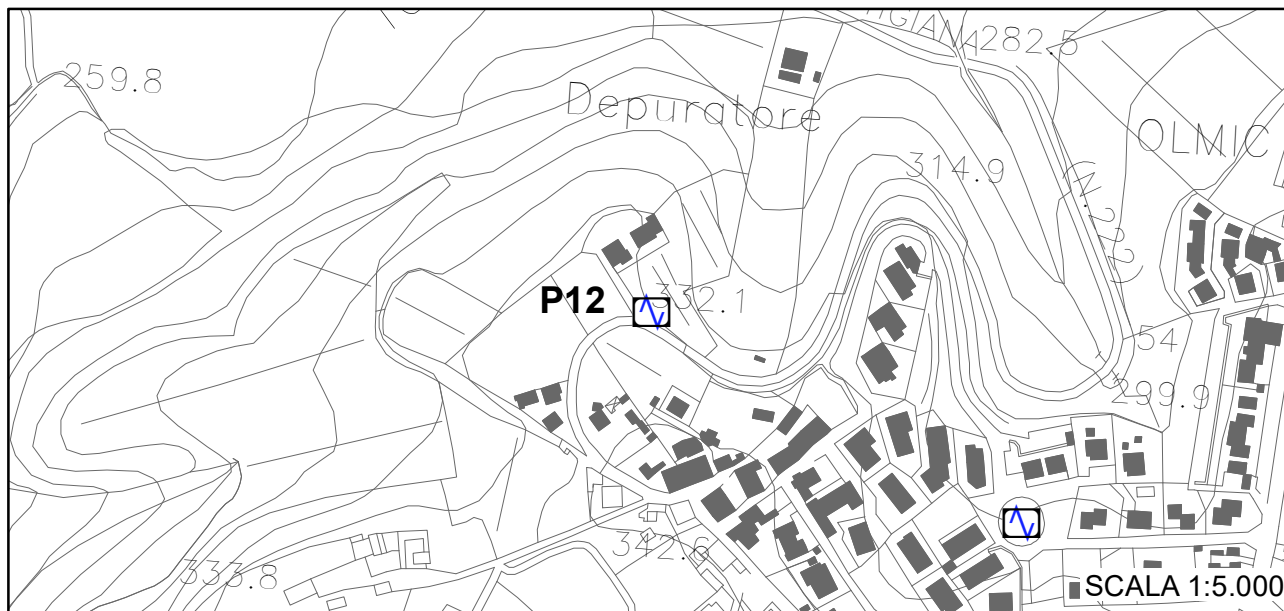
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Legenda

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Misure di microtremore a stazione singola HVSR
Indagine n°: P12

Località: Quercegrossa 3

Data: 10 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

 HVSR

P xxx indagine puntuale

Riferimento misura: **HVSR Quercegrossa_3**

File saf: **MT_20220615_101431.SAF**

Durata delle registrazione min.: **30**

Frequenza di campionamento: **300 Hz**

Lunghezza delle finestre: **30 s**

N° finestre selezionate: **20**

Tipo di lisciamento: **coseno**

Lisciamento:10%

Picco H/V : $f_0 = 3.35 \text{ hz}$, $A_0=2.38$

Studio
Georicerche snc

PI e CF: 01232900520

di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi

Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE

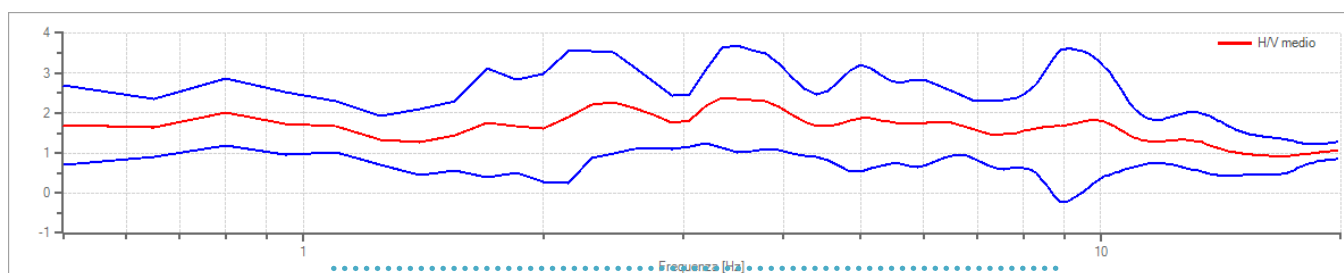
53035 - MONTERIGGIONI (SI)

Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

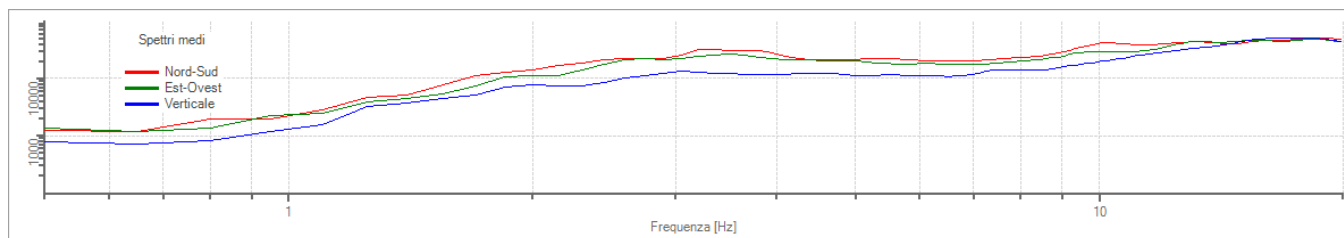
Ubicazione prova



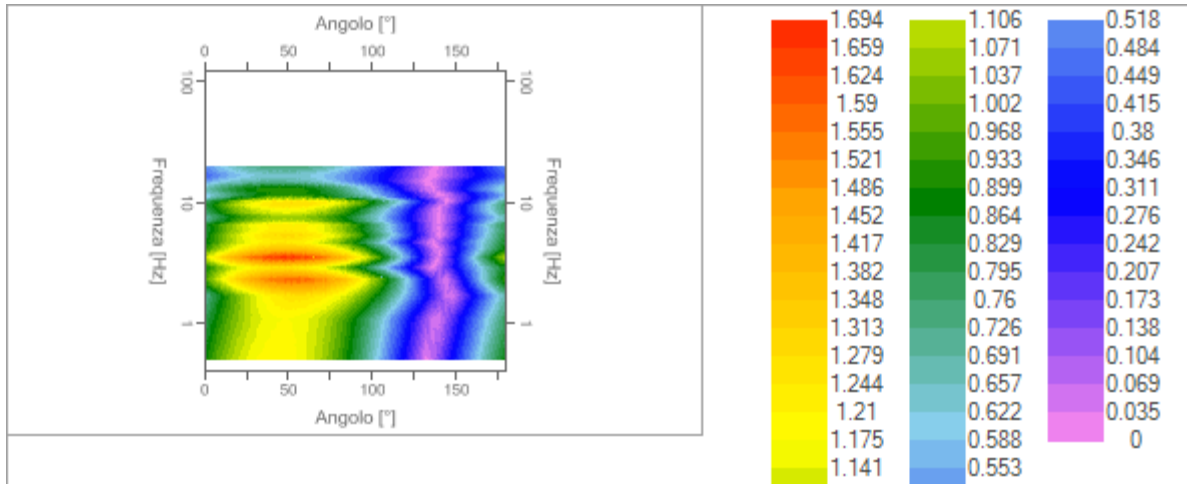
Curva HVSR



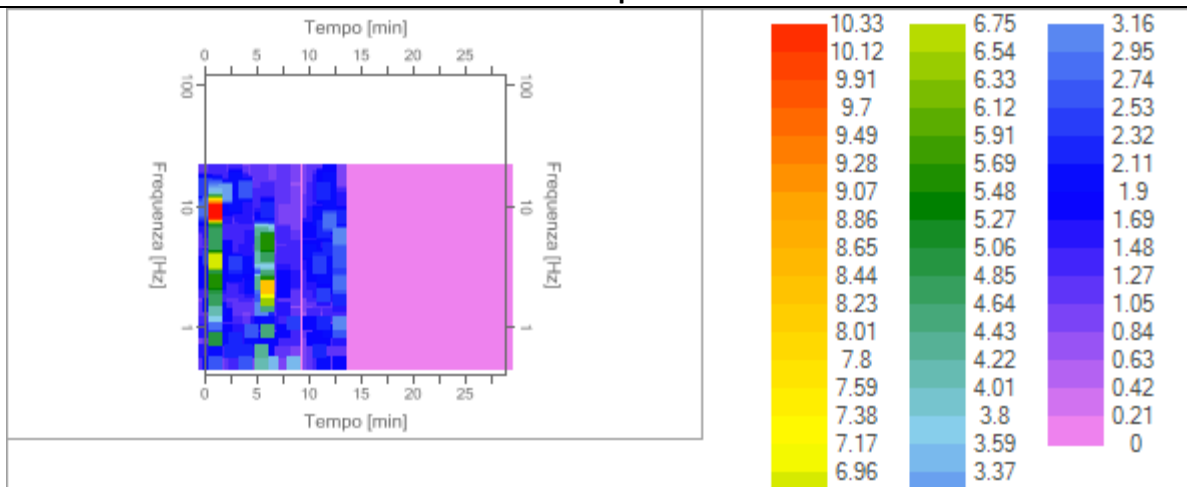
Spettri delle singole componenti



Direzionalità



Serie temporale



Picco H/V a 3.35 ± 0.52 Hz (nell'intervallo 0.5 -20 Hz)

Criteri per una curva H/V affidabile

(Tutti e tre i criteri devono essere soddisfatti)

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H_s$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H_s$	Ok
Criteri per un picco H/V chiaro (Almeno cinque criteri su sei devono essere soddisfatti)	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	NO

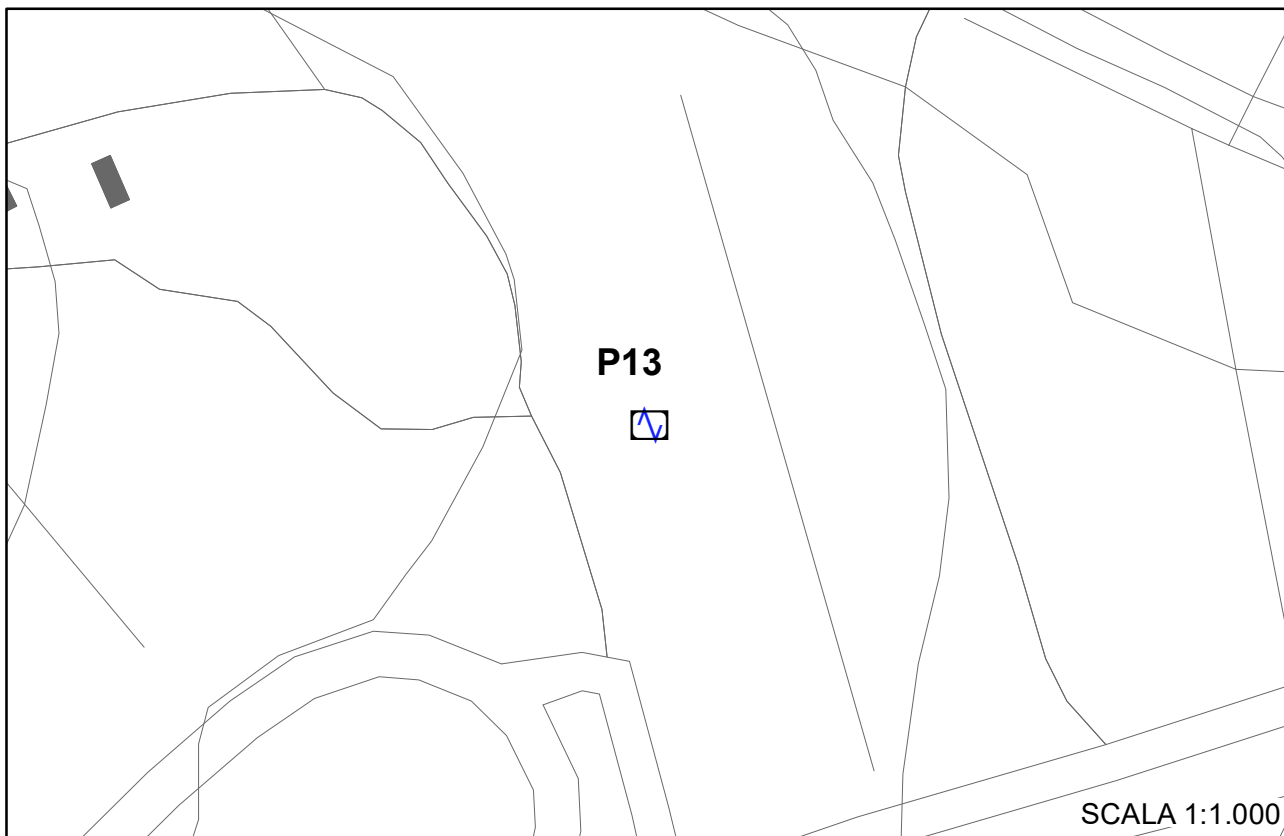
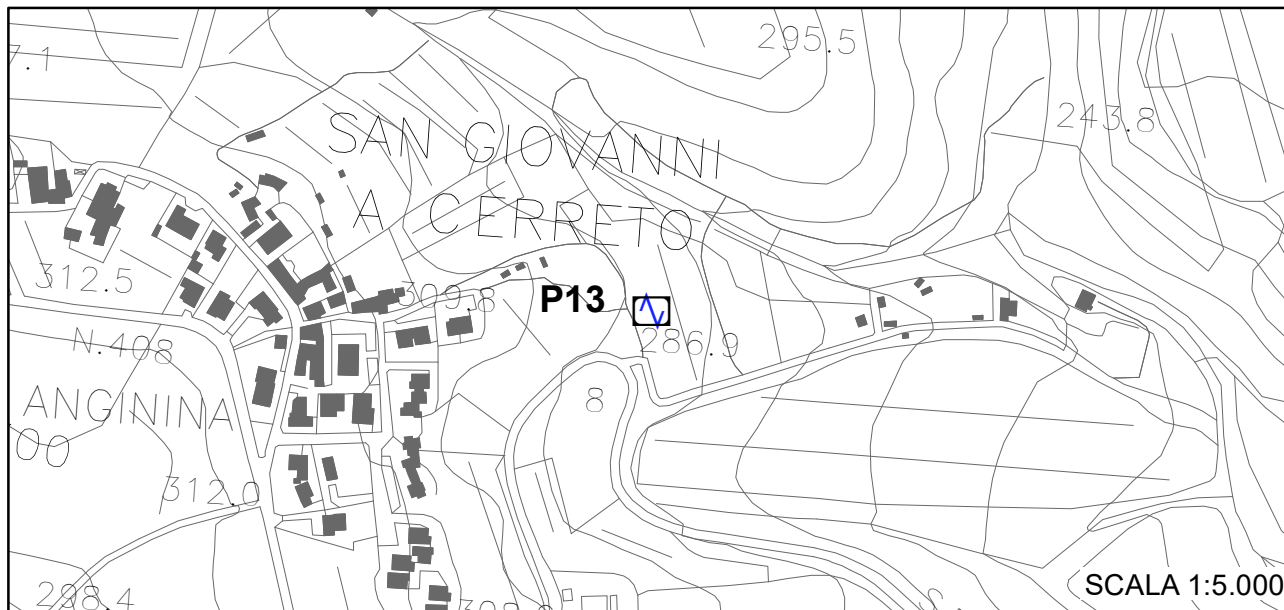
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Legenda

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Misure di microtremore a stazione singola HVSR
Indagine n°: P13

Località: San Giovanni a Cerreto

Data: 12 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

 HVSR

P xxx indagine puntuale

Riferimento misura: **HVSR San Giovanni a Cerreto**

File saf: **MT_20220610_111231.SAF**

Durata delle registrazione min.: **30**

Frequenza di campionamento: **300 Hz**

Lunghezza delle finestre: **60 s**

N° finestre selezionate: **29**

Tipo di lisciamento: **coseno**

Lisciamento:10%

Picco H/V : $f_0 = 2.90 \text{ hz}$, $A_0=3.28$

Studio
Georicerche snc

PI e CF: 01232900520

di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi

Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE

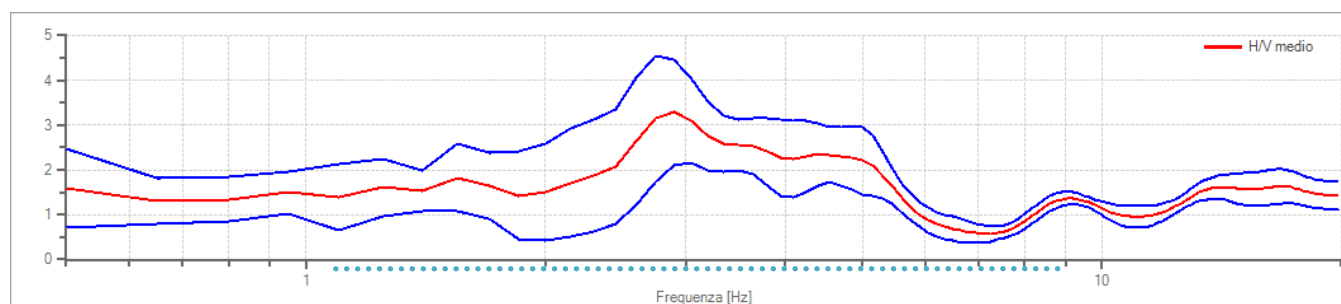
53035 - MONTERIGGIONI (SI)

Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

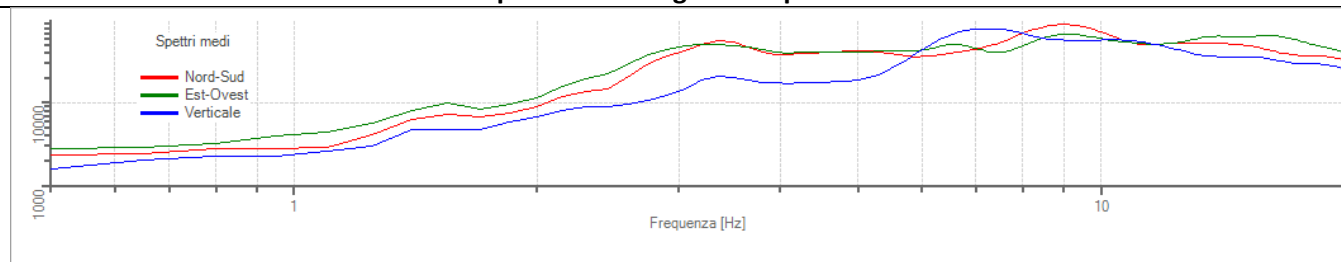
Ubicazione prova



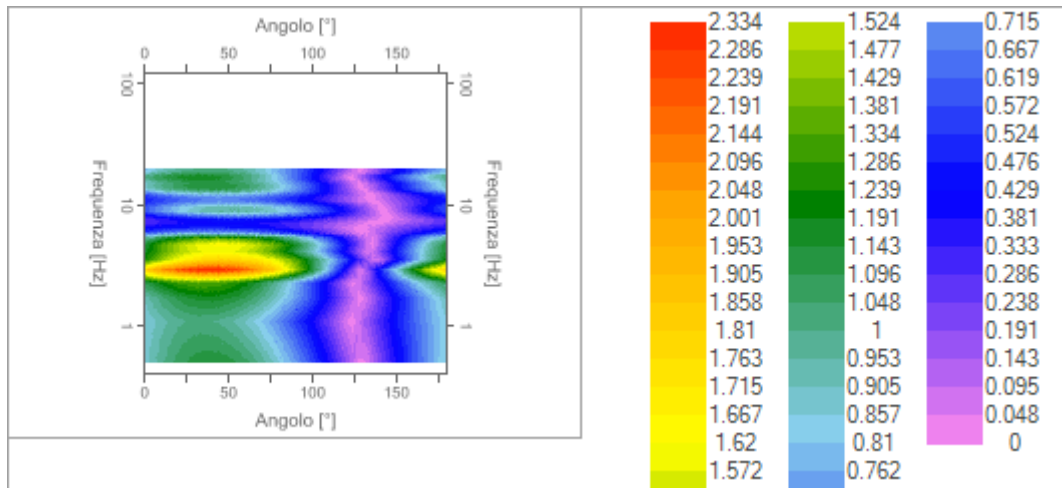
Curva HVSR



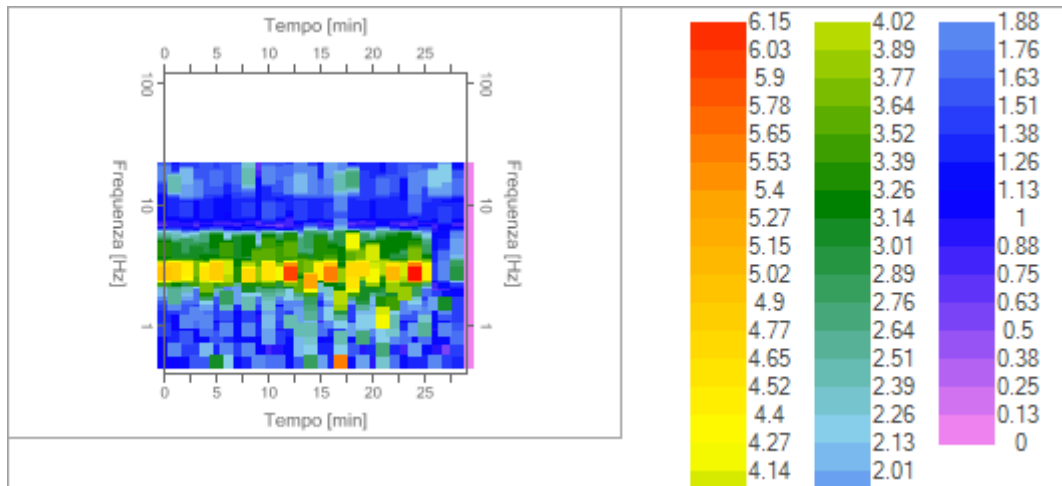
Spettri delle singole componenti



Direzionalità



Serie temporale



Picco H/V a 2.90 ± 0.36 Hz (nell'intervallo 0.5 -20 Hz)

Criteri per una curva H/V affidabile

(Tutti e tre i criteri devono essere soddisfatti)

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
Criteri per un picco H/V chiaro (Almeno cinque criteri su sei devono essere soddisfatti)	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok

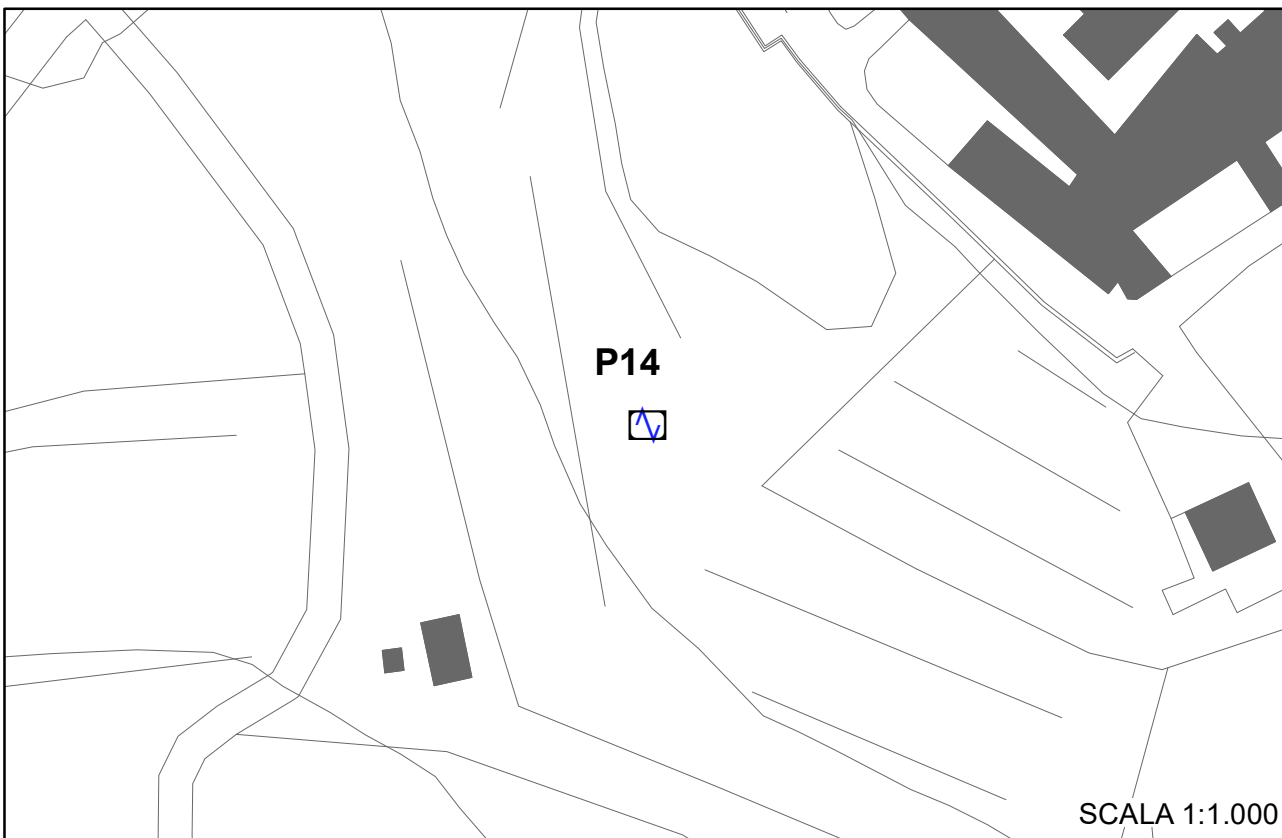
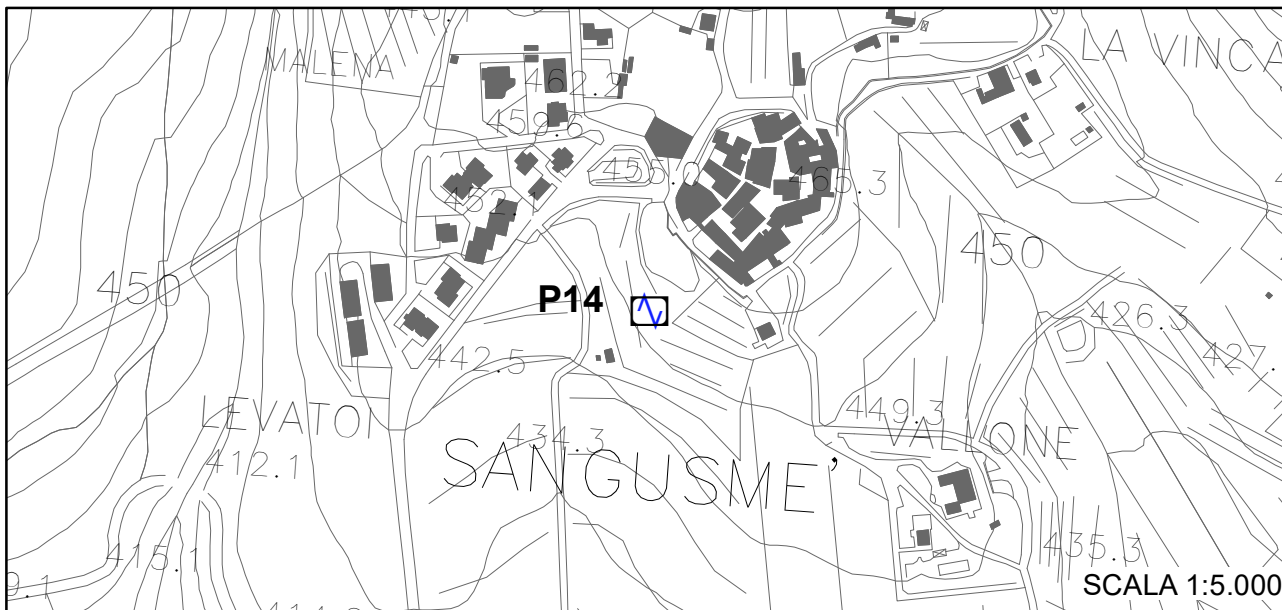
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Legenda

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Misure di microtremore a stazione singola HVSR
Indagine n°: P14

Località: San Gusmè

Data: 12 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

 HVSR

P xxx indagine puntuale

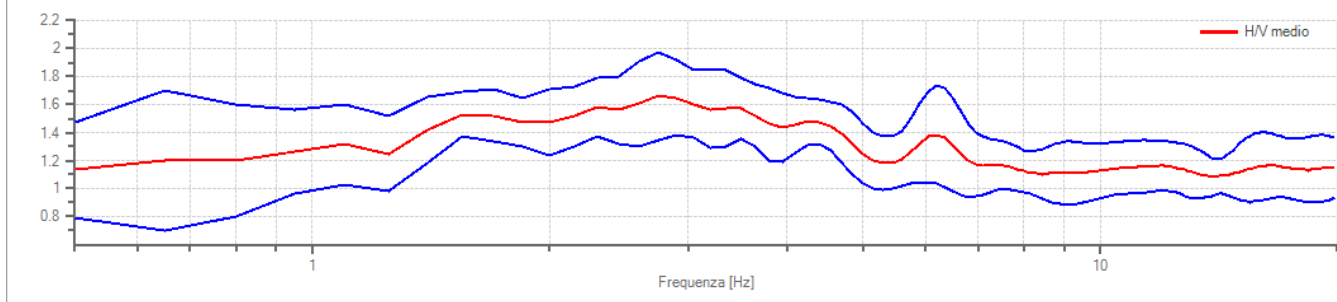
Riferimento misura: **HVSR San Gusmè**
 File saf: **MT_20220526_122543.SAF**
 Durata delle registrazione min.: **30**
 Frequenza di campionamento: **300 Hz**
 Lunghezza delle finestre: **60 s**
 N° finestre selezionate: **22**
 Tipo di lisciamento: **coseno**
 Lisciamento: 10%
 Picco H/V : $f_0 = 2.75 \text{ hz}$, $A_0=1.66$

Studio
Georicerche snc
 PI e CF: 01232900520
 di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi
 Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE
 53035 - MONTERIGGIONI (SI)
 Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

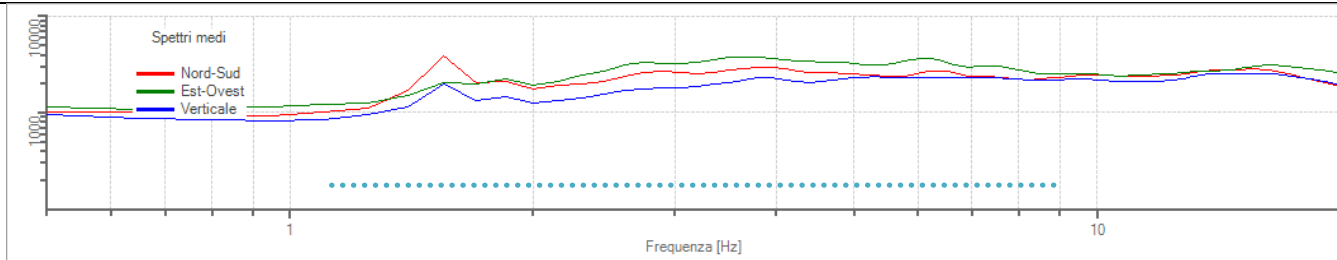
Ubicazione prova



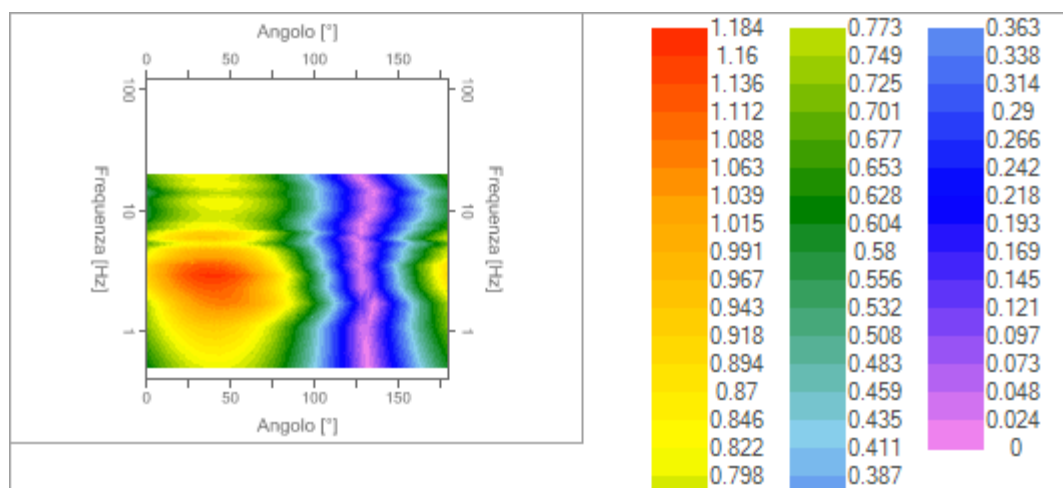
Curva HVSR



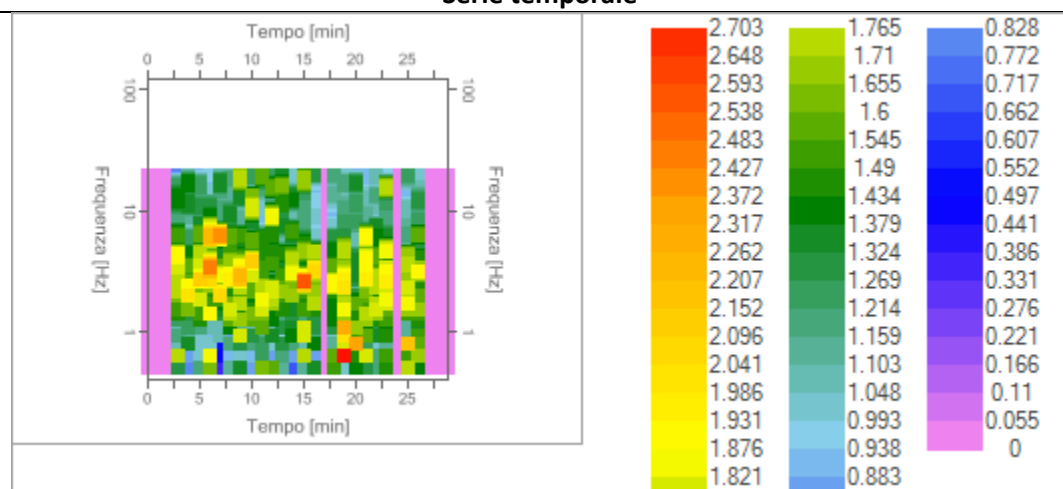
Spettri delle singole componenti



Direzionalità



Serie temporale



Picco H/V a 2.75 ± 0.19 Hz (nell'intervallo 0.5 -20 Hz) Criteri per una curva H/V affidabile (Tutti e tre i criteri devono essere soddisfatti)	
Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H_z$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H_z$	Ok
Criteri per un picco H/V chiaro (Almeno cinque criteri su sei devono essere soddisfatti)	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	NO
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	NO

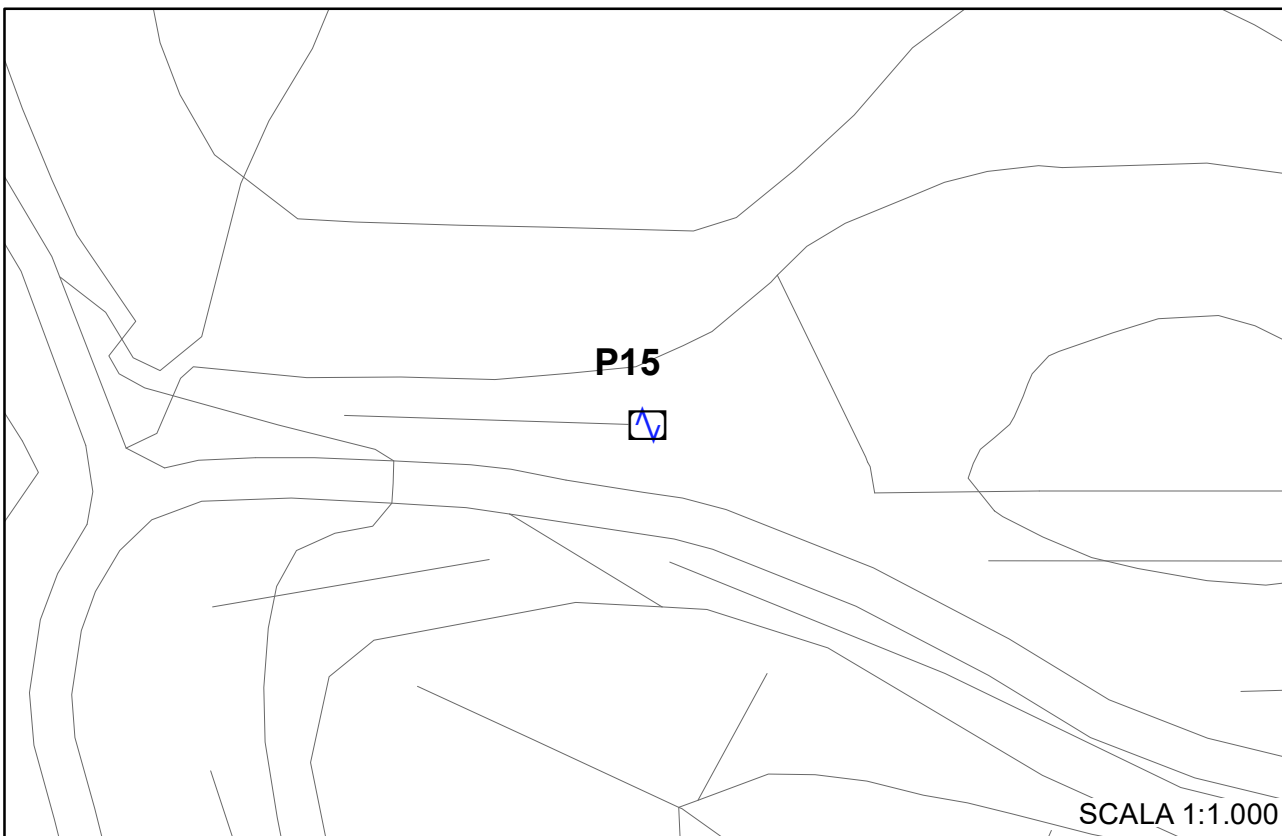
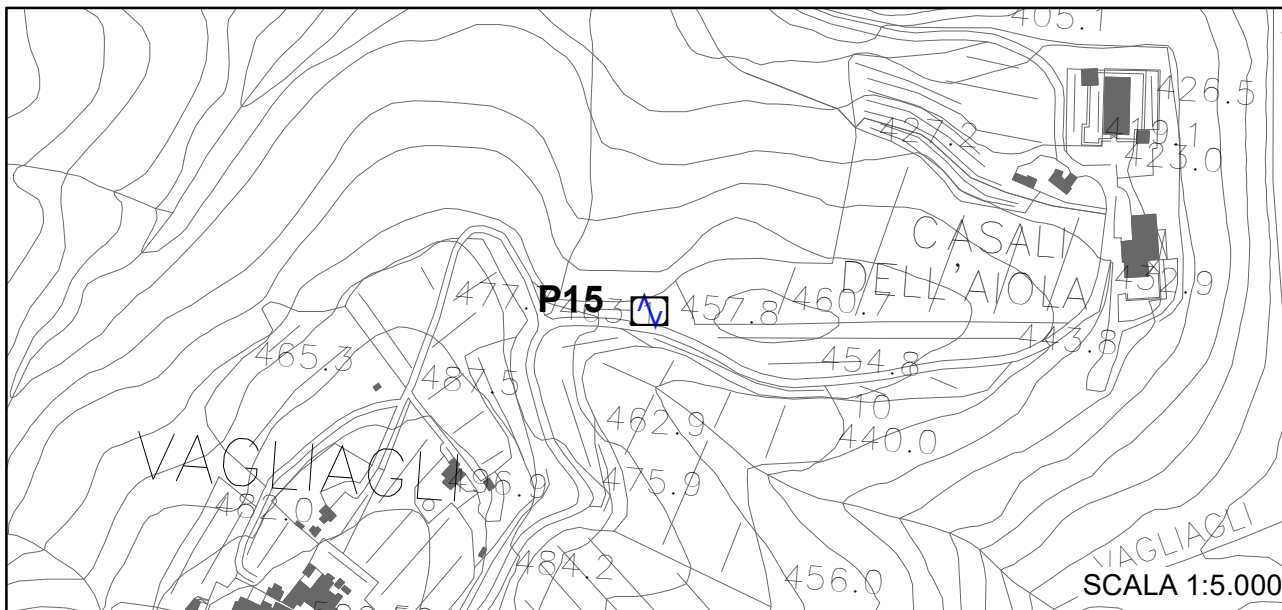
$A_0 > 2$	NO
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Legenda

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Misure di microtremore a stazione singola HVSR
Indagine n°: P15

Località: Vagliagli 1

Data: 12 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

 HVSR

P xxx indagine puntuale

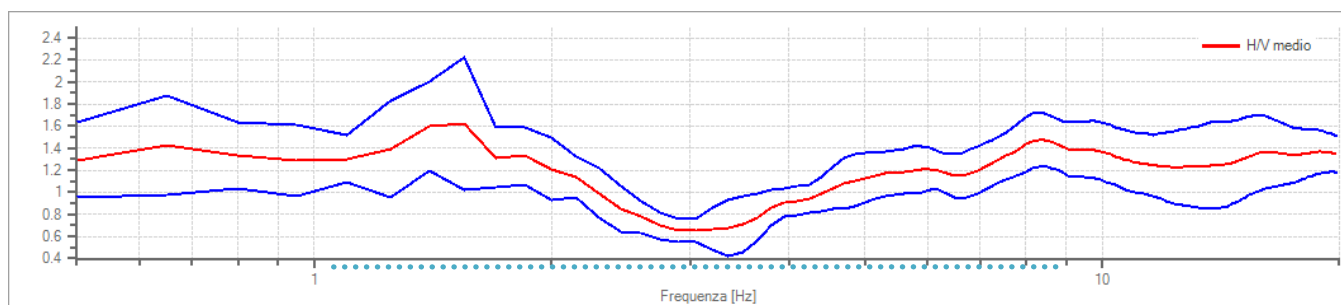
Riferimento misura: **HVSR Vagliagli_1**
 File saf: **MT_20220530_102353.SAF**
 Durata delle registrazione min.: **30**
 Frequenza di campionamento: **300 Hz**
 Lunghezza delle finestre: **60 s**
 N° finestre selezionate: **19**
 Tipo di lisciamiento: **coseno**
 Lisciamiento: 10%
 Picco H/V : $f_0 = 1.55 \text{ hz}$, $A_0=1.62$

Studio
Georicerche snc
 PI e CF: 01232900520
 di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi
 Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE
 53035 - MONTERIGGIONI (SI)
 Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

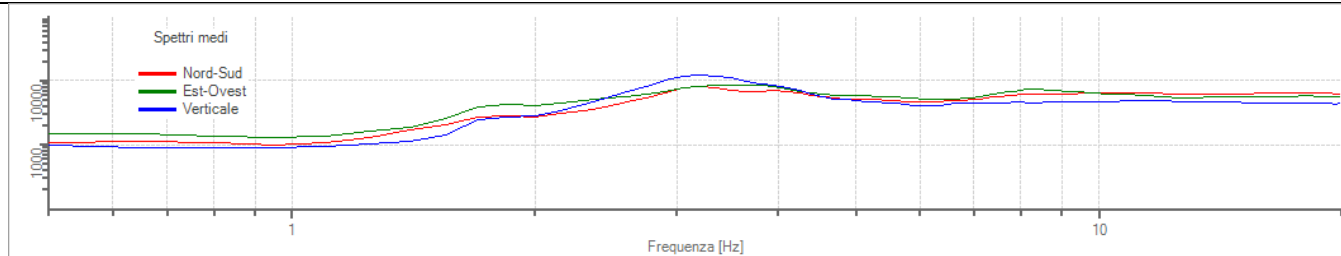
Ubicazione prova



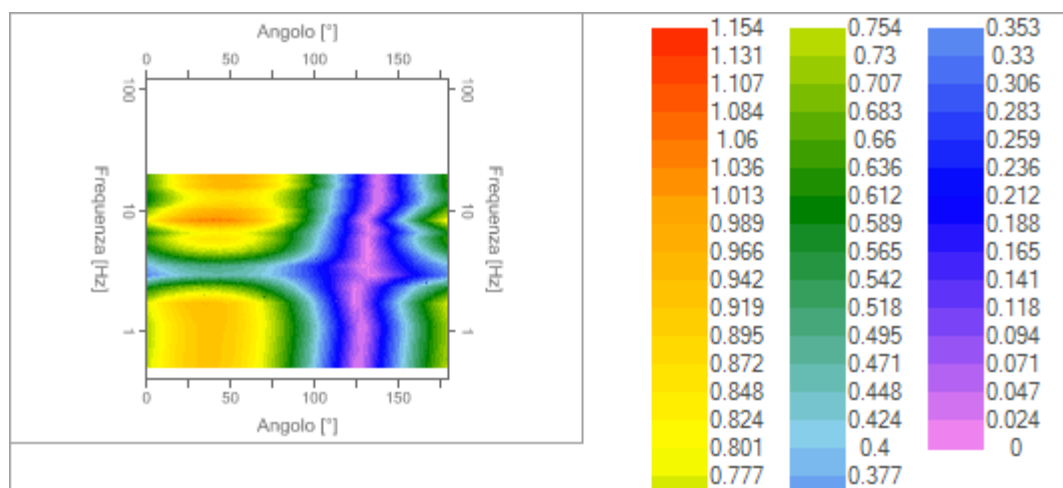
Curva HVSR



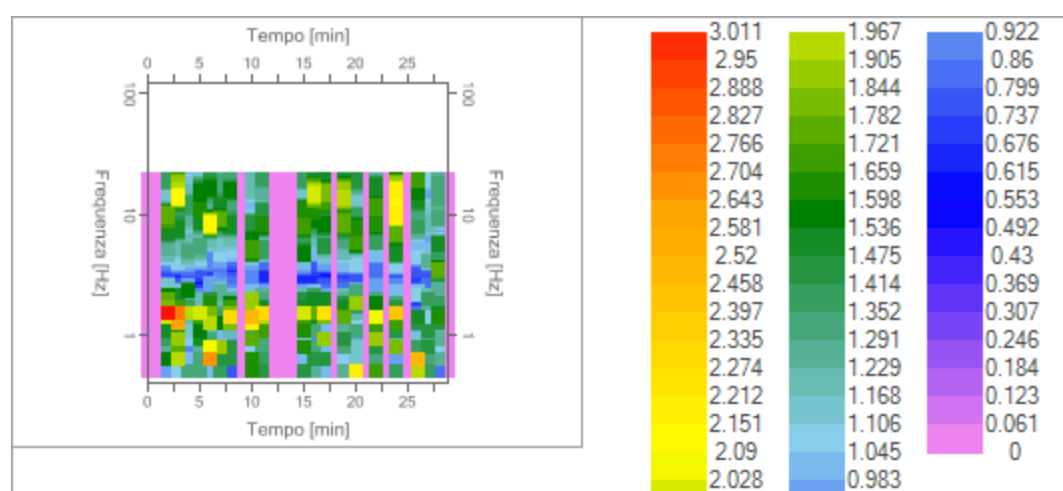
Spettri delle singole componenti



Direzionalità



Serie temporale



Picco H/V a 1.55 ± 0.37 Hz (nell'intervallo 0.5 -20 Hz) Criteri per una curva H/V affidabile (Tutti e tre i criteri devono essere soddisfatti)	
Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H_z$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H_z$	Ok
Criteri per un picco H/V chiaro (Almeno cinque criteri su sei devono essere soddisfatti)	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	NO
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok

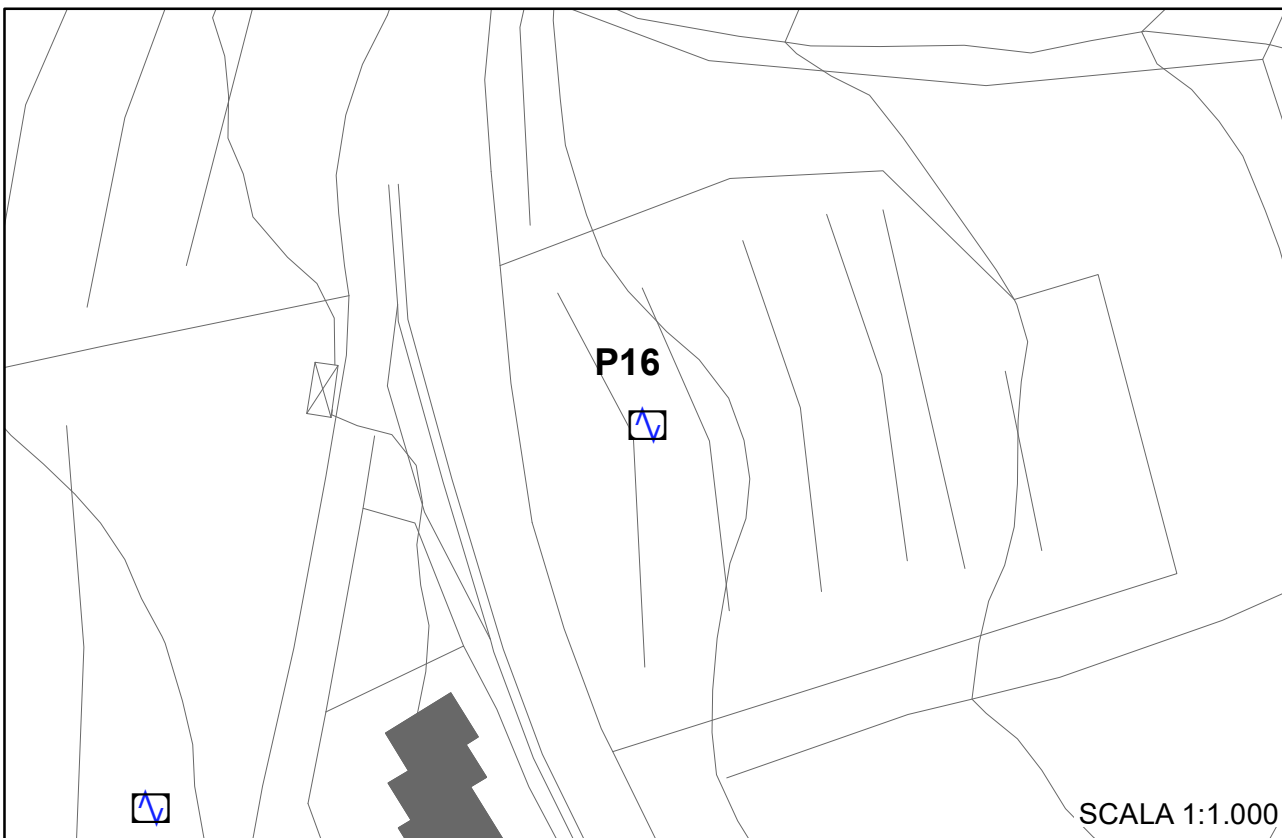
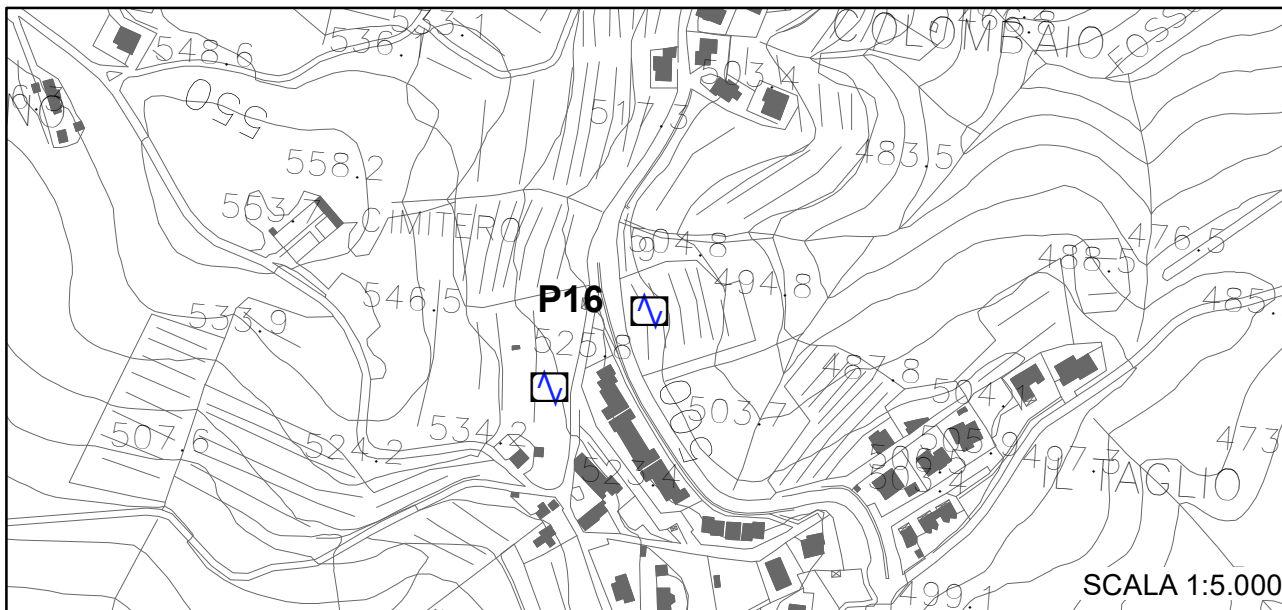
$A_0 > 2$	NO
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Legenda

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO


Misure di microtremore a stazione singola HVSR
Indagine n°: P16

Località: Vagliagli 2

Data: 12 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

 HVSR

P xxx indagine puntuale

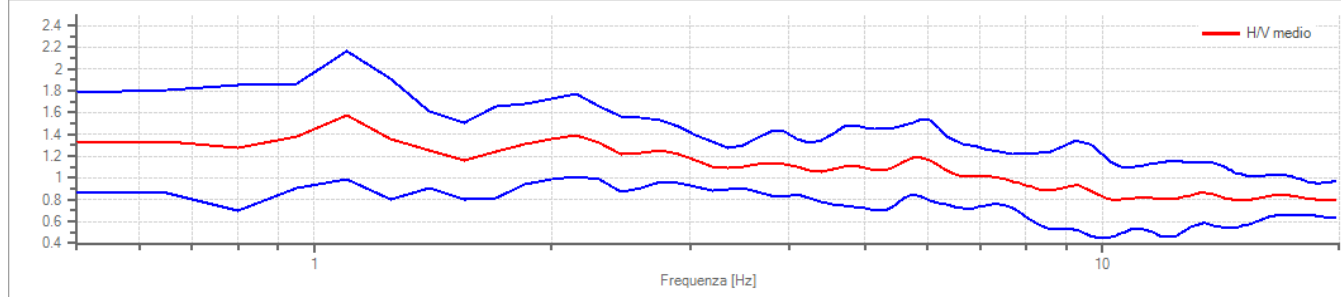
Riferimento misura: **HVSR Vagliagli_2**
 File saf: **MT_20220530_114351.SAF**
 Durata delle registrazione min.: **30**
 Frequenza di campionamento: **300 Hz**
 Lunghezza delle finestre: **60 s**
 N° finestre selezionate: **29**
 Tipo di lisciamento: **coseno**
 Lisciamento: 10%
 Picco H/V : $f_0 = 1.10 \text{ Hz}$, $A_0=1.58$

Studio
Georicerche snc
 PI e CF: 01232900520
 di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi
 Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE
 53035 - MONTERIGGIONI (SI)
 Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

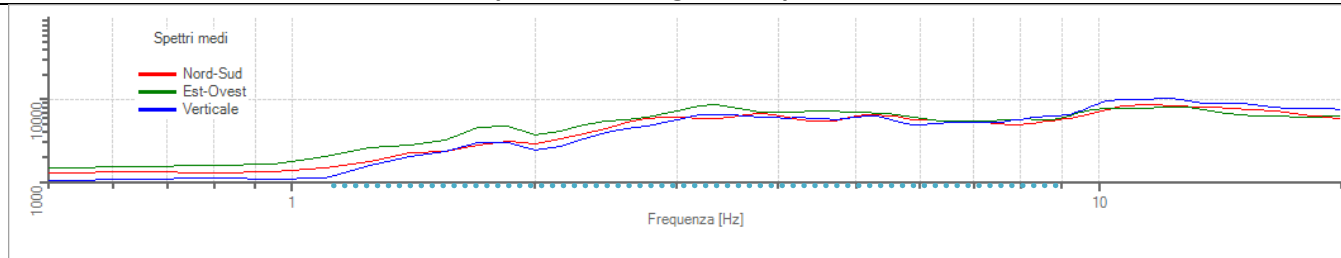
Ubicazione prova



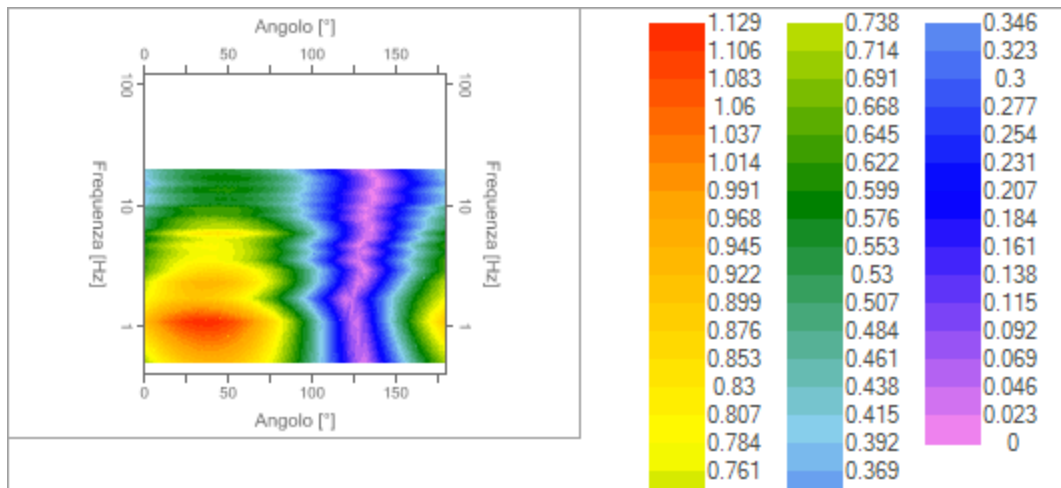
Curva HVSR



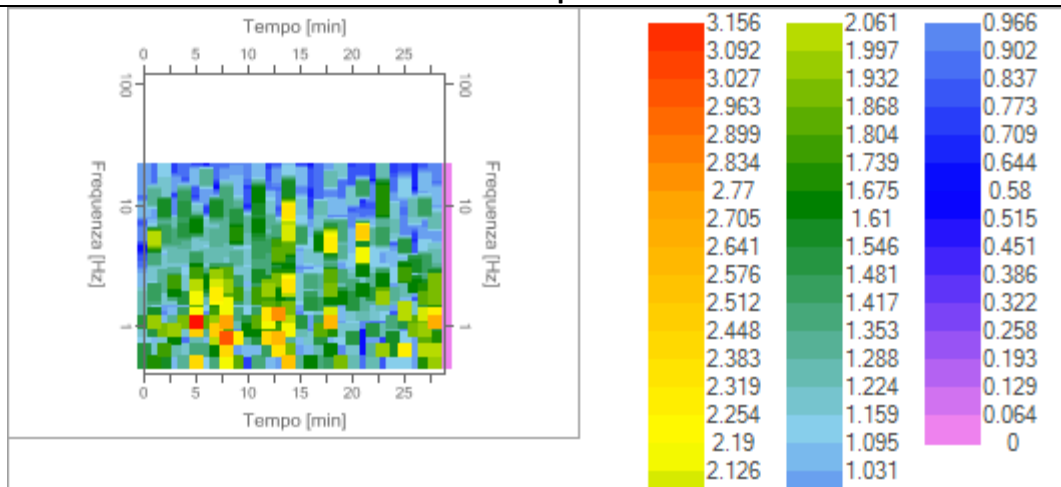
Spettri delle singole componenti



Direzionalità



Serie temporale



Picco H/V a 1.10 ± 0.37 Hz (nell'intervallo 0.5 -20 Hz) Criteri per una curva H/V affidabile (Tutti e tre i criteri devono essere soddisfatti)	
Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H_s$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H_s$	Ok
Criteri per un picco H/V chiaro (Almeno cinque criteri su sei devono essere soddisfatti)	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	NO
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	NO

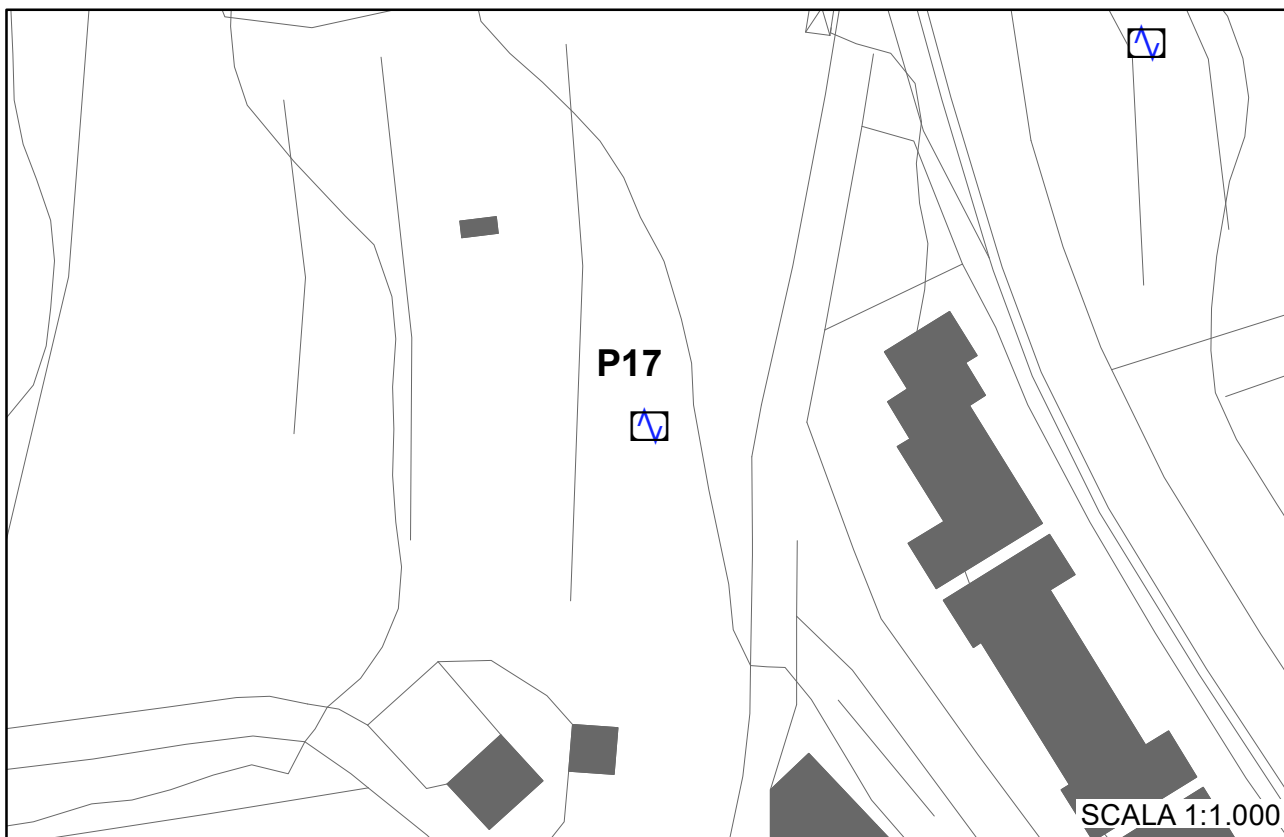
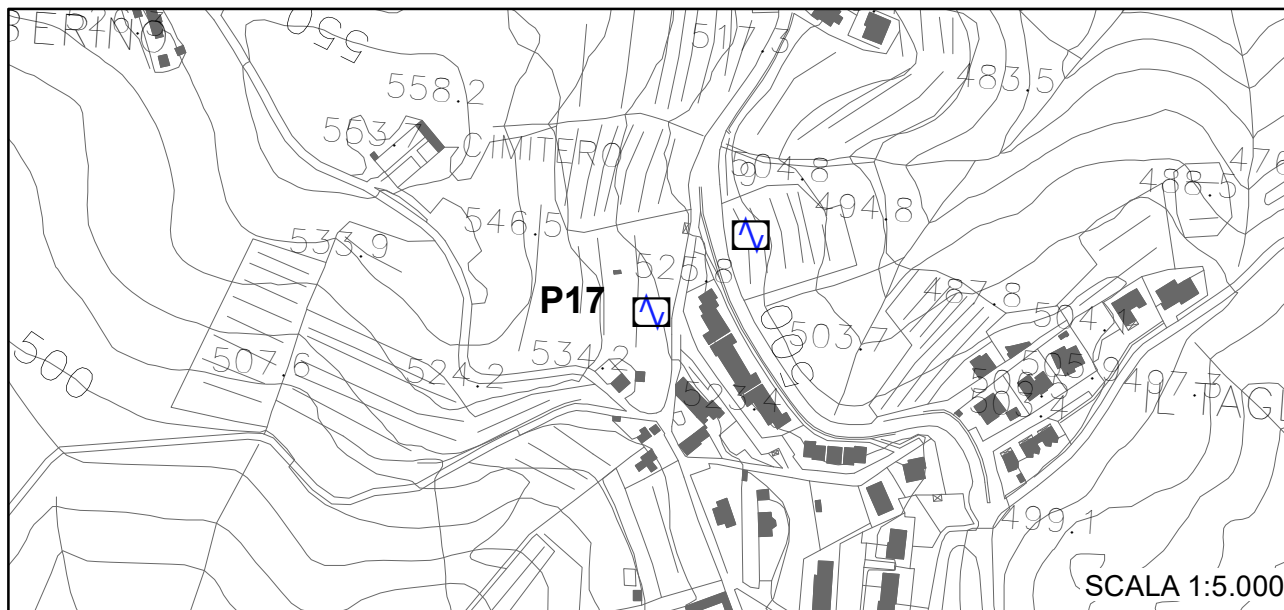
$A_0 > 2$	NO
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Legenda

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



COMUNE DI CASTELNUOVO BERARDENGA MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO

Misure di microtremore a stazione singola HVSR
Indagine n°: P17

Località: Vagliagli 3

Data: 12 Giugno 2022

LEGENDA

Tipologia prova

 HVSR

P xxx indagine puntuale

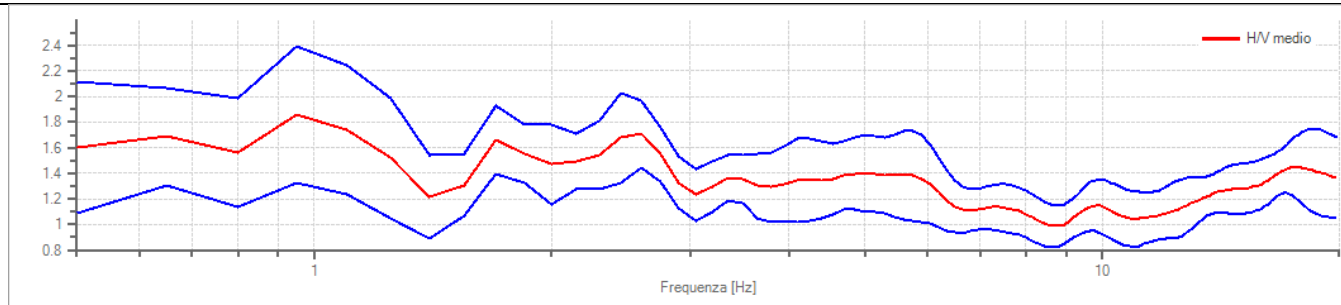
Riferimento misura: **HVSR Vagliagli_3**
 File saf: **MT_20220530_123105.SAF**
 Durata delle registrazione min.: **30**
 Frequenza di campionamento: **300 Hz**
 Lunghezza delle finestre: **60 s**
 N° finestre selezionate: **22**
 Tipo di lisciamento: **coseno**
 Lisciamento: 10%
 Picco H/V : $f_0 = 0.95 \text{ Hz}$, $A_0 = 1.86$

Studio
Georicerche snc
 PI e CF: 01232900520
 di Luca Caselli & Roberto Cerri - geologi
 Via Pietro Nenni, 82/2 Loc. BADESSE
 53035 - MONTERIGGIONI (SI)
 Tel & Fax 0577/310021 E-mail geo.ricerche@virgilio.it

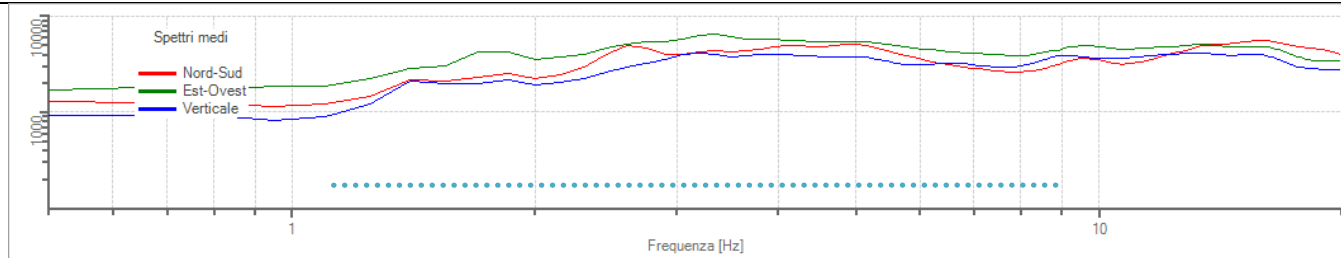
Ubicazione prova



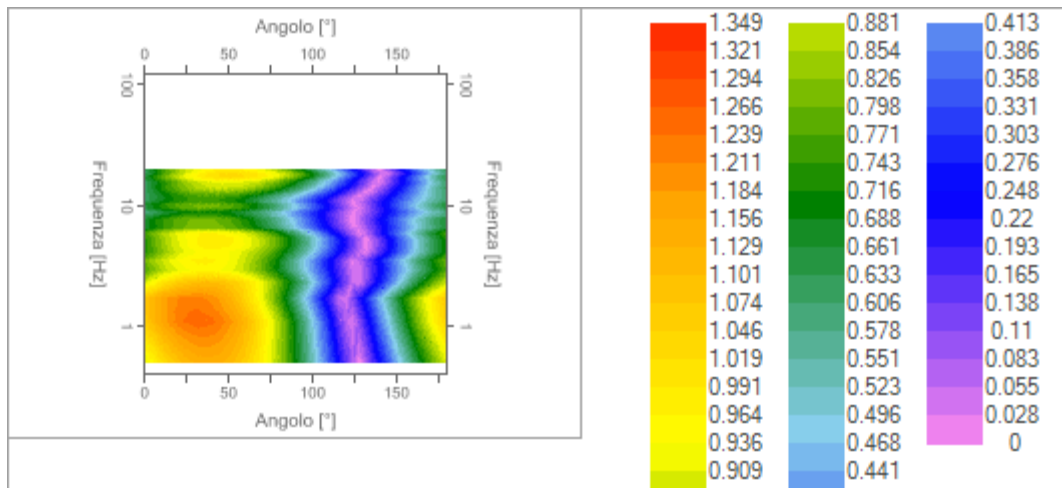
Curva HVSR



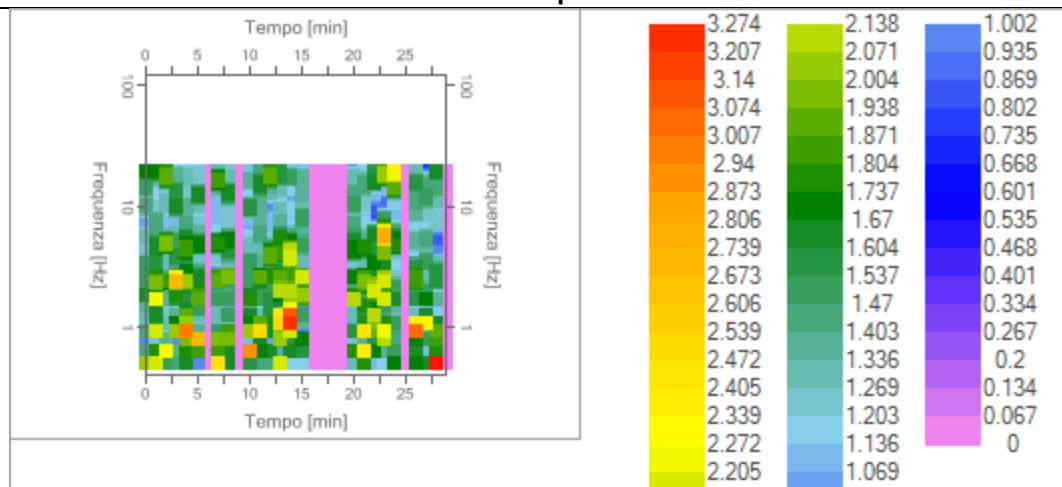
Spettri delle singole componenti



Direzionalità



Serie temporale



Picco H/V a 0.95 ± 0.29 Hz (nell'intervallo 0.5 -20 Hz)

Criteri per una curva H/V affidabile

(Tutti e tre i criteri devono essere soddisfatti)

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H_z$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H_z$	Ok
Criteri per un picco H/V chiaro (Almeno cinque criteri su sei devono essere soddisfatti)	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	NO
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	NO

$A_0 > 2$	NO
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Legenda

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20