



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna
Comune di Castelvetro Piacentino



Soggetto realizzatore

Geol. Emani Emanuele
Via dei Ciliegi, 4 - Villanova sull'Arda
tel. 0523/853200 cell. 335/1281389

Geol. Carpena Andrea

Geol. Ghiselli Irene



GEOLOGIA E GEOFISICA
Sede legale: Via Fioruzzi, 15 - 29121 PC
E-mail: andrea.carpena@georeflex.it
Sito web: www.georeflex.it

Data

Settembre 2016



INDICE

1. INTRODUZIONE	3
1.1 Scopo del lavoro	3
1.2 Definizione microzonazione (livelli di approfondimento)	3
1.3 Riferimenti normativi nazionali	8
1.4 Riferimenti normativi regionali	9
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	10
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	11
3.1 Assetto geologico – strutturale del margine meridionale del bacino perisuturale padano	12
3.2 Caratteristiche geologiche locali	14
4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	15
4.1 Sistema idrografico	16
5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	17
6. VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI	19
7. ASSETTO TETTONICO	21
8. SISMICITA' DEL TERRITORIO.....	22
8.1 Sismicità di base.....	24
8.2 Zone sismogenetiche.....	27
8.3 Definizione della sorgente sismogenetica pertinente.....	29
9. PERICOLOSITÀ SISMICA	30
10. SELEZIONE E DELIMITAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE	34
11. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	34
12. PROVA REFRACTION MICROTREMORS (ReMi).....	36
12.1 Descrizione del metodo	36
12.2 Strumentazione e criteri di acquisizione	37
12.3 Elaborazione dei dati	38
13. MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW)	39
13.1 Descrizione del metodo	39
13.2 Strumentazione e criteri di acquisizione	39
13.3 Elaborazione dei dati	40
14. NOTA TECNICA "INDAGINI GEOFISICHE MEDIANTE METODI MASW E REMI"	40



15.	PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE	42
15.1	Descrizione del metodo	42
15.2	Strumentazione e criteri di acquisizione	42
15.3	Elaborazione dei dati	43
16.	CALCOLO DELLE Vs30	44
17.	INDAGINE TROMOGRAFICA (HVSr)	46
18.	SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO	53
19.	POZZI PER ACQUA	53
20.	PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA MECCANICA (CPT)	54
20.1	Descrizione del metodo	54
20.2	Strumentazione utilizzata	56
21.	PROVA PENETROMETRICA CON PIEZOCONO (CPTU)	57
21.1	Descrizione del metodo	57
21.2	Strumentazione utilizzata	58
21.3	Modello del sottosuolo	60
22.	VERIFICHE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	67
22.1	Premessa e riferimenti normativi	67
22.2	Analisi numeriche – impostazione metodologica	69
22.2.1	<i>Metodo di Robertson e Wride (1998) modificato</i>	69
22.2.2	<i>Procedimento e risultati della verifica</i>	75
23.	CARATTERIZZAZIONE SEMI-QUANTITATIVA DEGLI EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE	78
24.	ELABORATI CARTOGRAFICI	80
24.1	Carta delle indagini	81
24.2	Carta geologico – tecnica per la microzonazione sismica	85
24.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	87
24.4	Carta delle aree suscettibili di effetti locali	87
24.5	Carta delle velocità delle onde di taglio (Vs)	88
24.6	Carta dei fattori di amplificazione	89
25.	BIBLIOGRAFIA	90

ALLEGATI

ALLEGATO 1 – Inquadramento territoriale ed elaborazione delle analisi dei microtremori con metodo REMI

ALLEGATO 2 – Inquadramento territoriale ed elaborazione tromografica (HVSr)

1. INTRODUZIONE

1.1 Scopo del lavoro

Il Comune di Castelvetro Piacentino rientra tra i Comuni, caratterizzati da $a_g < 0.125$, per i quali, con il Decreto n. 1688 del 10 dicembre 2013, è stata prevista l'assegnazione e concessione dei contributi per la redazione degli studi di Microzonazione Sismica e Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza.

1.2 Definizione microzonazione (livelli di approfondimento)

Gli studi di Microzonazione Sismica si propongono di:

- identificare e perimetrare le aree a differente pericolosità sismica locale (microzone omogenee);
- stimare le risposte dei terreni delle diverse microzone, in modo da stabilire gerarchie di pericolosità e fornire elementi conoscitivi per una pianificazione del territorio e progettazione delle opere, adeguate alla pericolosità sismica del sito.

I livelli di possibile approfondimento sono tre.

Livello 1

Il livello 1 di MS è propedeutico ai veri e propri studi di microzonazione e obbligatorio per affrontare i successivi livelli di approfondimento. Il quadro conoscitivo necessario a realizzare tale livello si basa sulla raccolta dei dati pregressi: rilievi geologici, geomorfologici e geologico – tecnici, sondaggi, indagini geofisiche. La sintesi dei dati e delle cartografie disponibili consente di realizzare i seguenti elaborati:

- carta delle indagini, nella quale sono ubicate e distinte per tipologia tutte le indagini puntuali e lineari disponibili;
- carta geologico tecnica e sezioni, nella quale sono descritte le diverse unità litologiche riconosciute e definiti i rapporti stratigrafici;
- carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Mops), scala 1:5000- 1:10.000;
- relazione illustrativa.

Nella “carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” o “carta di MS di livello 1” troviamo rappresentate:

- Zone stabili, senza effetti di modificazione del moto sismico rispetto ad un terreno rigido ($V_s \geq 800$ m/s) e pianeggiante (pendenza $< 15^\circ$);
- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: amplificazioni litostratigrafiche per $V_s < 800$ m/s e spessori > 5 m, amplificazioni topografiche su rilievi in roccia;
- Zone suscettibili di instabilità (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci, cedimenti differenziali).

I limiti di una MS di livello 1 sono rappresentati dalla possibile presenza di litologie delle quali non è noto lo spessore, elementi tettonici da ricostruire nel loro assetto e geometria, dalla presenza di aree instabili la cui geometria e dinamica risultano incerti. Pertanto, tale livello consente solo di definire qualitativamente le zone omogenee per finalità di pianificazione territoriale e risulta utile ad orientare le indagini di approfondimento previste dai livelli di MS successivi.

Livello 2

Per risolvere le incertezze del livello 1, gli ICMS prevedono un livello 2 di approfondimento che, attraverso l'esecuzione di indagini economiche e poco invasive, consente di meglio definire il modello geologico del sottosuolo e di fornire per ciascuna microzona identificata una quantificazione numerica degli effetti, ottenuta con metodi semplificati.

Le indagini sono fondamentalmente indagini di tipo geofisico, quali la sismica a rifrazione, le analisi strumentali con tecniche attive e passive per la stima delle Vs, misurando microtremiti ed eventi sismici.

Quando possibile, in funzione delle risorse a disposizione, possono essere eseguite prove geofisiche in foro (Down Hole, Cross Hole).

Attraverso correlazioni e confronti con i risultati del livello 1, si giunge ad una revisione del modello geologico, e alla realizzazione di una carta di MS nella quale le zone a comportamento omogeneo sono caratterizzate anche da un parametro numerico descrittivo degli effetti attesi (fattore di amplificazione), ottenuto con metodi semplificati. Si distinguono, dunque:

- zone stabili;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, caratterizzate da fattori di amplificazione relativi a due periodi dello scuotimento (FA ed FV);
- zone di deformazione permanente, caratterizzate da parametri quantitativi (spostamenti e aree accumulo per frana, calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione).

I parametri FA ed FV rappresentano il rapporto tra gli spettri di input e di output, rispettivamente in accelerazione e in pseudo velocità, calcolati in un intervallo intorno ai periodi TA e TV dove l'ampiezza è massima. L'intervallo di periodi considerato per FA varia tra 0,1 e 0,3 s (alte frequenze), mentre per gli FV l'intervallo varia tra 0,6 e 1,4 s (basse frequenze).

Gli abachi che consentono di definire il parametro di amplificazione del moto sismico da attribuire a ciascuna Mops sono costruiti per un modello ideale di sottosuolo, costituito da terreni omogenei a strati orizzontali, piani e paralleli, di estensione infinita e V_s costante, su un bedrock sismico ($V_s = 800$ m/s).

Le tabelle degli abachi contenute negli ICMS, costruiti adottando delle semplificazioni che li rendano applicabili all'intero territorio nazionale, sono ordinate per:

- litotipo (ghiaia, sabbia, argilla);
- tipo di profilo di V_s (costante, gradiente max, gradiente intermedio).

Per trovare il valore di FA o FV devo conoscere:

- ag, accelerazione dell'evento di riferimento. Gli abachi considerano tre livelli di pericolosità, basso, medio ed elevato (0,06-0,18-0,26 g);
- litotipo prevalente della copertura;
- spessore stimato della copertura;
- V_s media della copertura.

Il valore di amplificazione che si ottiene con gli abachi non è affidabile nel caso di:

- amplificazioni topografiche;
- forme sepolte (amplificazioni 2D);
- inversioni di velocità (rigido su soffice);
- presenza di instabilità.

Affinché tale strumento risulti più efficace e aderente ai diversi contesti fisici del territorio, è utile che gli abachi per il livello 2 di MS siano predisposti dalle Regioni a partire da:

- input sismici definiti attraverso studi regionali di pericolosità di base;
- modelli litologici coerenti con l'assetto geologico regionale;
- curve di decadimento della rigidità (G) e di incremento dello smorzamento (D) con la deformazione, per ciascun litotipo, definite da analisi di laboratorio;
- profili di V_s misurati attraverso indagini mirate.

In alternativa e in attesa della loro definizione possono essere utilizzati gli abachi di ICMS validi, come già detto, per l'intero territorio nazionale.

Livello 3

Il livello 3 è il livello di maggiore approfondimento per la definizione e caratterizzazione delle zone suscettibili di amplificazioni o di instabilità, perché consente di risolvere le situazioni geologiche e geotecniche complesse, ad esempio inversioni di velocità, non risolvibili con abachi o metodi semplificati, modificando sostanzialmente le carte di microzonazione di livello 1 e 2.

Il livello 3, naturalmente richiede un impegno di risorse economiche e professionali importante, giustificato, ad esempio, nel caso di una fase di ricostruzione post-terremoto ma anche, in fase preventiva, nelle aree a più elevato rischio sismico. Per raggiungere gli obiettivi del livello 3 occorre:

- un modello del sottosuolo affidabile;
- un evento di riferimento per le simulazioni numeriche;
- simulazioni numeriche per ottenere i parametri di amplificazione.

Il *modello del sottosuolo*, ossia la rappresentazione 3D con elementi quantitativi e qualitativi del sottosuolo, definisce le geometrie delle unità omogenee, l'assetto strutturale, le proprietà fisico meccaniche, la presenza della falda acquifera, il limite tra copertura e bedrock sismico.

Il modello si costruisce attraverso indagini geologiche, geofisiche e geotecniche, che consentono di identificare le unità omogenee, attribuendo loro parametri geotecnici e geofisici.

Le indagini consistono in campagne di acquisizione di dati sismometrici, sondaggi, prove in foro e in superficie per la determinazione di profili di Vs, sismica a rifrazione, prove geotecniche in situ e in laboratorio, analisi di microtremiti.

L'*evento di riferimento*, il cui moto dipende dal meccanismo di sorgente, dalla magnitudo e dalle caratteristiche fisico meccaniche del mezzo attraversato (sorgente-sito), può essere quello di normativa (derivante dalla pericolosità di base) o scelto su base deterministica qualora siano disponibili i dati. In questo caso, il moto (accelerogramma o spettro di risposta) andrà riferito, come previsto dalla normativa, a condizioni di suolo rigido affiorante, in assenza di effetti topografici e riportato alla base della copertura.

Il modello del sottosuolo e l'input sismico sono gli ingredienti necessari allo sviluppo della *analisi numeriche* che consentono di simulare il processo di propagazione delle onde attraverso il substrato e la copertura fino in superficie. Per fare questo si utilizzano codici di calcolo 1D, 2D e 3D (es. ProShake, BeSoil, Quad), lineari o non lineari, che tengono cioè conto delle deformazioni permanenti delle rocce, scelti in funzione del sito da analizzare e delle conoscenze disponibili. Risultato delle analisi sono i valori del parametro scelto per definire la modificazione del moto sismico, in termini di amplificazione e spettro di risposta, associati a ciascuna microzona in cui è stato suddiviso il territorio.

Le elaborazioni descritte consentono di giungere alla realizzazione di una carta di microzonazione sismica di livello 3, che comprende:

- Zone di deformazione permanente;
- Zone stabili suscettibili di amplificazione caratterizzate in funzione di un parametro di amplificazione da analisi numeriche (intervalli o valore medio di FA e FV);
- Zone stabili.

I prodotti realizzati nell'ambito dello studio di II livello sono:

- Carta geologico-tecnica (scala 1:10000) predisposta sulla base dei rilievi geologici e morfologici disponibili, corredata da sezioni geologiche significative, orientate sia trasversalmente sia longitudinalmente ai principali elementi geologici.
- Carta delle Indagini (scala 1:5000) dove sono state indicate le prove pregresse e quelle di nuova esecuzione; le prove sono divise in due classi (lineari e puntuali) e classificate in base al tipo.
- Carta delle frequenze naturali dei terreni (scala 1:5000) nella quale sono riportate, con opportuno simbolismo grafico, le prove di sismica passiva a stazione singola (HVSR) e, in formato testo, i valori di frequenza.
- Carta delle velocità delle onde di taglio S (scala 1:5000) che riporta l'ubicazione degli stendimenti sismici e i valori della velocità media delle onde di taglio dal piano campagna fino alla profondità di 30 metri.
- Carta dei fattori di amplificazione ($F_{a_{PGA}}$) (scala 1:5000) con i valori del fattore di amplificazione di PGA (Peak Ground Acceleration, accelerazione sismica di picco al bedrock).
- Carta dei fattori di amplificazione ($F_{a_{0.1-0.5s}}$) (scala 1:5000) con i valori dell'intensità spettrale I_s nell'intervallo di periodo 0.1-0.5 s.
- Carta dei fattori di amplificazione ($F_{a_{0.5-1s}}$) (scala 1:5000) con i valori dell'intensità spettrale I_s nell'intervallo di periodo 0.5-1 s.
- Carta dei fattori di amplificazione ($F_{a_{0.5-1.5s}}$) (scala 1:5000) con i valori dell'intensità spettrale I_s nell'intervallo di periodo 0.5-1.5 s.
- Carta delle aree suscettibili di effetti locali (scala 1:5000) dove sono indicate le diverse aree suscettibili di amplificazione sismica, dove si ritiene necessario effettuare ulteriori indagini ed analisi e i relativi livelli di approfondimento.
- Banche dati contenenti i dati relativi alle carte prodotte.
- Relazione illustrativa (il presente studio) dove sono descritte in dettaglio le metodologie di studio utilizzate, i risultati ottenuti, le cartografie e le banche dati prodotte.

1.3 Riferimenti normativi nazionali

Legge 2 febbraio 1974, n. 64, Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

Legge 10 dicembre 1981, n. 741, Ulteriori norme per l'accelerazione delle procedure per l'esecuzione di opere pubbliche.

Decreto del Ministro dei lavori pubblici 11 marzo 1988, Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Legge 24 febbraio 1992, n. 225, Istituzione del Servizio nazionale della protezione civile.

Decreto del Ministro dei lavori pubblici 16 gennaio 1996, Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

Decreto del Ministro dell'interno 13 Febbraio 2001, Adozione dei "Criteri di massima per l'organizzazione dei soccorsi sanitari nelle catastrofi" (pubblicati nella G.U. n. 116 del 12 maggio 2001).

Decreto legislativo 31 marzo 1998, n. 112, Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli Enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59.

Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia.

Legge 9 novembre 2001, n. 401, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 7 settembre 2001, n. 343, recante disposizioni urgenti per assicurare il coordinamento operativo delle strutture preposte alle attività di protezione civile.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274, Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Legge 27 luglio 2004, n. 186, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136, "Disposizioni urgenti per garantire la funzionalità di taluni settori della pubblica amministrazione. Disposizioni per la rideterminazione di deleghe legislative e altre disposizioni connesse".

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 12 ottobre 2007, Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni.

Decreto del Ministro delle infrastrutture 14 gennaio 2008, Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni.

Dipartimento della Protezione Civile e la Conferenza delle Regioni e Province Autonome 13 novembre 2008; Indirizzi e criteri per la micro zonazione sismica.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 29 febbraio 2012, n. 4007, Attuazione dell'articolo 11 del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77. Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2011".

1.4 Riferimenti normativi regionali

Legge Regionale 24 marzo 2000, n. 20, Disciplina generale sulla tutela e uso del territorio.

Delibera dell'assemblea legislativa 2 maggio 2007, 112, Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica.

Legge Regionale 30 ottobre 2009, n. 19, Norme per la riduzione del rischio sismico.

Delibera della Giunta Regionale 18 luglio 2011, 1051, Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 3907/2010 e ss.mm.

Delibera della Giunta Regionale 10 settembre 2012, 1302, Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 4007/2012 a favore degli Enti Locali.

Ordinanza n. 70 del 13 novembre 2012, Approvazione Programma per gli studi di microzonazione sismica.

Ordinanza n. 84 del 17 luglio 2013, Criteri e modalità di assegnazione dei contributi per gli studi di microzonazione sismica e le Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) nei Comuni interessati dagli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 caratterizzati da $a_g < 0,125g$.

Delibera della Giunta Regionale 16 dicembre 2013, n. 1919, Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all'OCDPC n. 52/2013 a favore degli Enti Locali.

Delibera della Giunta Regionale 21 dicembre 2015, n. 2193, Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n. 112.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il territorio comunale di Castelvetro Piacentino si colloca nella bassa pianura piacentina, all'estremità settentrionale della Regione Emilia Romagna, in prossimità del fiume Po, al confine con la provincia di Cremona.

L'intero territorio risulta racchiuso all'interno di un'ansa di meandro del Fiume Po: escludendo i rilevati arginali, il territorio è pianeggiante e risulta interamente compreso tra le quote di 30 e 40 metri s.l.m. I processi geomorfologici che nel corso del tempo hanno lasciato un'impronta più evidente nella forma del paesaggio, sono legati alla dinamica fluviale (del F. Po) e all'attività antropica.

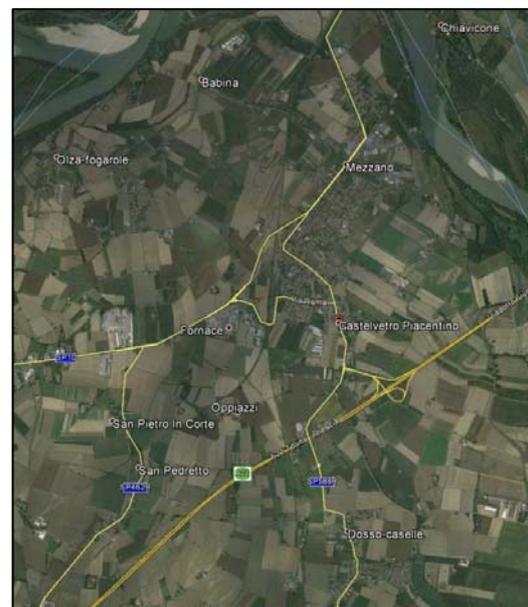


Figure 1-2: Ubicazione del Comune di Castelvetro Piacentino nella Provincia di Piacenza (a sinistra); inquadramento satellitare con principali arterie stradali (a destra).

L'area è individuabile cartograficamente entro le seguenti Carte Tecniche della Regione Emilia Romagna (scala 1:5000):

- Elemento 162081 Porto di Cremona
- Elemento 162082 Mezzano
- Elemento 162121 Castelvetro Piacentino
- Elemento 162122 San Giuliano
- Elemento 162123 Boschi
- Elemento 163053 Bosco ex Parmigiano
- Elemento 163093 Goriletto
- Elemento 163094 Bosella

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'assetto fisico del territorio comunale ha seguito le sorti della pianura padana e del fronte Appenninico settentrionale, nel corso della loro storia evolutiva.

Dal Cretaceo (circa 100 MA) fino ai giorni nostri la regione padana ed appenninica è stata soggetta ad alterne fasi di compressione e stasi tettoniche, instaurate dalle interazioni tra la placca africana e la placca euroasiatica e, più in dettaglio, dalla microplacca dell'Arco Appenninico Settentrionale e dalla microplacca Adriatica.

È a partire dall'Oligocene superiore che inizia la formazione della catena dell'Appennino settentrionale attraverso il meccanismo di sovrascorrimento della microplacca dell'Arco Appenninico Settentrionale a scapito della microplacca Adriatica e della sua copertura sedimentaria, che instaura un processo di deformazione continentale polifasica. In particolare, nell'ambito di tale processo, si possono riconoscere due stadi compressivi principali:

▣ primo stadio compressivo: si sviluppa dall'Oligocene superiore al Pliocene inferiore, durante il quale è definita la strutturazione dell'arco dell'Appennino Settentrionale (stadio collisionale) e, in zona antistante (avanfossa padana), la delimitazione del bacino perisuturale padano – adriatico (Bally e Snelson 1980); all'inizio del Pliocene tale bacino costituiva un grande golfo invaso dalle acque marine (propaggine occidentale del Mare Adriatico), limitato a nord dalle Alpi, a sud-ovest dagli Appennini e a nord-est dalle Dinaridi (Catena montuosa della Jugoslavia);

▣ secondo stadio compressivo: si sviluppa a partire dal Pliocene medio (circa 5,0 MA) in poi coinvolgendo anche il margine meridionale del bacino perisuturale padano nel processo di strutturazione della catena appenninica (in senso geografico dal margine appenninico settentrionale fino a circa l'asse del Fiume Po); il processo deformativo del margine meridionale del bacino perisuturale si sviluppa attraverso la formazione di sovrascorrimenti, faglie, duplicazioni e pieghe, in parte sepolte dalle coperture alluvionali quaternarie e in parte evidenti lungo il margine morfologico appenninico settentrionale.

Nell'epoca quaternaria, successivamente al pleistocene medio, la crescente estensione di terre emerse e soggette ad erosione consentì ai corsi d'acqua alpini ed appenninici di colmare di sedimenti il bacino padano conferendone l'attuale assetto e morfologia.

3.1 Assetto geologico – strutturale del margine meridionale del bacino perisuturale padano

Il territorio di Castelvetro Piacentino è situato in corrispondenza del settore meridionale del bacino perisuturale padano (margine padano meridionale). Il margine meridionale del bacino perisuturale padano è di tipo “complesso” (secondo Ricci Lucchi, 1986), perché interessato, a livello delle formazioni mesozoiche e mio – plioceniche, da sovrascorrimenti, faglie, duplicazioni, pieghe e bacini che si estendono da est ad ovest interessando per intero la pianura emiliana romagnola. Si tratta di zone di scollamento tettonico sepolte da una più o meno spessa coltre di sedimenti marini pliocenici e pleistocenici e di sedimenti continentali pleistocenici ed olocenici.

Le suddette strutture tettoniche sepolte che interessano il territorio comunale di Castelvetro sono raggruppate in un sistema di grandi pieghe asimmetriche con andamento anticlinalico, formatesi attraverso molteplici faglie inverse e sovrascorrimenti, immergenti verso SSO con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30°. Tale sistema in letteratura geologica è noto come “External Thrust Front” (ETF).

Questo è suddiviso in tre margini planimetricamente arcuati, denominati da ovest verso est “Piemonte Folds”, “Emilia Folds” e “Ferrara Folds”. A sud delle “Ferrara Folds”, si estendono altri sistemi di thrust, sempre associati al meccanismo di deformazione delle precedenti, noti come “Romagna Folds” e “Adriatico Folds”.

L’External Thrust Front è quindi caratterizzato da una serie di strutture ad arco, concave verso sud, che si raccordano in due zone di incrocio (Pavia e Reggio Emilia), dove il fronte appare notevolmente arretrato. Questo assetto strutturale è probabilmente dovuto alla presenza, nella crosta superiore padana, di zone con maggiore rigidità che hanno impedito lo scollamento delle successioni mesozoiche e terziarie dal basamento sottostante, bloccando in tal modo la traslazione verso nord (Bernini e Papani, 1987).

Le principali cause sono imputabili alle manifestazioni magmatiche effusive, subvulcaniche ed epiplutoniche del Paleozoico, Trias medio e Terziario (in parte accertate nei pozzi profondi AGIP), verosimilmente responsabili delle maggiori anomalie magnetiche positive della Pianura Padana (Bolis et al., 1981). Le anomalie risultano, infatti, in larga misura coincidenti con le porzioni più arretrate dell’External Thrust Front e delle zone di incrocio fra gli archi.

Le strutture tettoniche presenti, come manifestato dai recenti terremoti, sono sismicamente attive, a testimonianza che il processo orogenetico delle Alpi e degli Appennini è tutt’ora attivo.

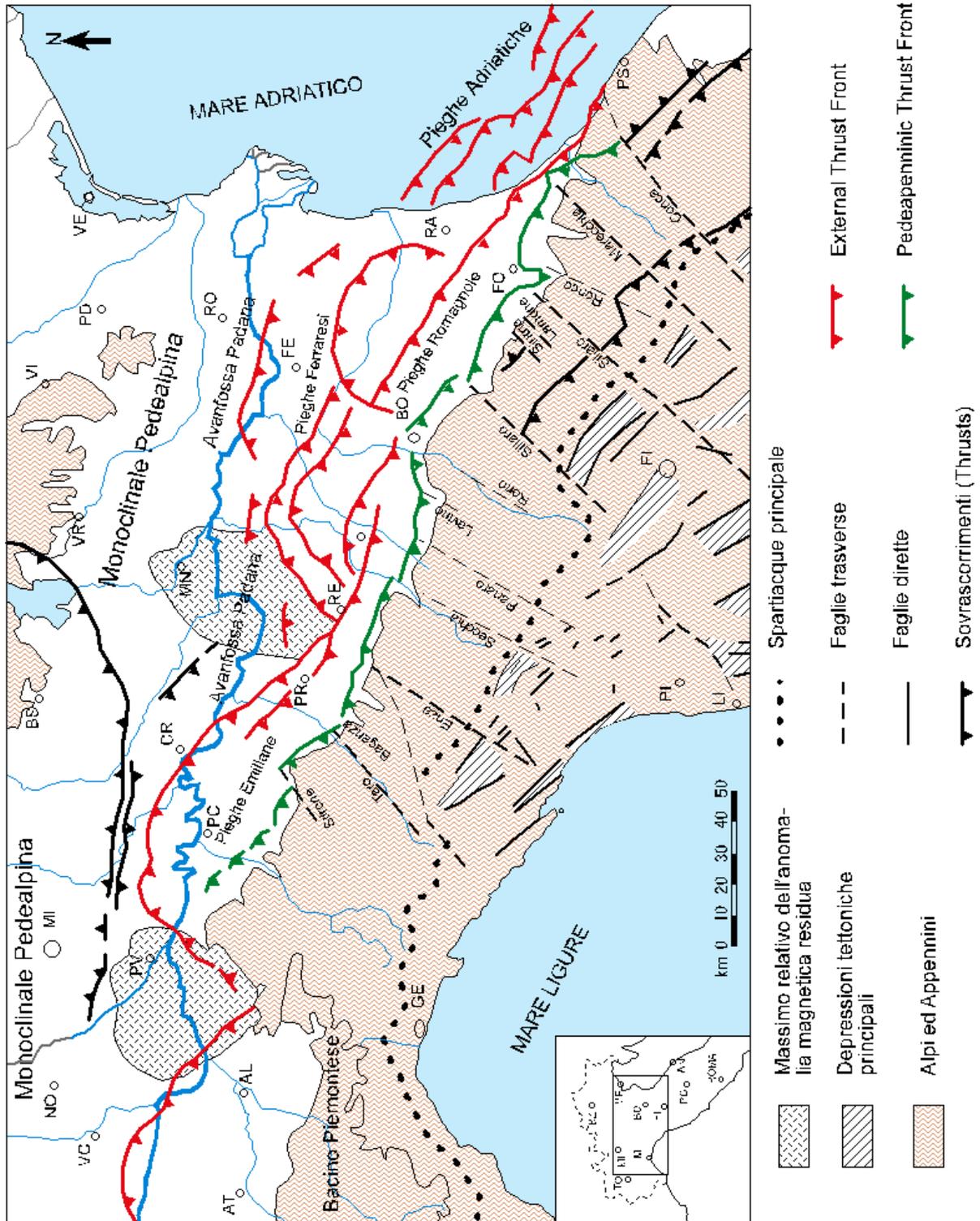


Figura 3: Schema strutturale della Pianura Padana.

3.2 Caratteristiche geologiche locali

Nella carta geologico – tecnica sono state distinte e cartografate due unità morfologiche differenti, corrispondenti ad altrettante unità stratigrafiche:

1. i depositi olocenici medio-recenti, costituiti da depositi sabbiosi, limosi o argillosi, organizzati in una serie di terrazzi di poco sospesi sugli alvei attuali anche se attualmente inondabili (all'interno dell'area golenale);
2. i depositi attuali, affioranti nelle aree maggiormente depresse poste all'interno dell'alveo ordinario del Po ed affioranti soprattutto in corrispondenza delle isole fluviali e delle rive convesse, separati altimetricamente dalle alluvioni medio-recenti lungo le scarpate fluviali.

Tali unità, caratteristiche di ambienti deposizionali fluviali, sono descritte dagli Autori della Carta Geologica d'Italia nel seguente modo:

- Alluvioni recenti (Olocene) - si tratta delle alluvioni affioranti con continuità lungo fasce più o meno ampie sulle sponde dei fiumi e sono costituite da depositi di granulometria variabile tra la sabbia e l'argilla. Sono depositi talora terrazzati, fissati e coltivati, di poco sospesi sugli alvei attuali del fiume Po.
- Alluvioni attuali - sono depositi ghiaiosi, sabbiosi o limo-argillosi del greto dei corsi d'acqua, in particolare del fiume Po. Occupano le aree maggiormente depresse poste all'interno dell'alveo ordinario dei corsi d'acqua, sono separate altimetricamente dalle alluvioni medio recenti lungo le sponde fluviali e vengono sommerse durante le piene ordinarie.

4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il territorio comunale di Castelvetro Piacentino è caratterizzato da depositi continentali di origine fluviale, con condizioni di giacitura decisamente uniformi.

Dal punto di vista fisiografico l'intera area è imperniata sull'esistenza della depressione nella quale scorre il Po che, a grandi linee, funge da asse di simmetria fra la pianura cremonese e quella piacentina. La prima degrada infatti verso sud, mentre la seconda si comporta in maniera esattamente opposta. Alla opposta vergenza si accompagna anche una diversa acclività, più blanda e relativamente uniforme nella pianura cremonese, più discontinua e mediamente più accentuata nel territorio piacentino.

Entrando nel dettaglio del territorio comunale di Castelvetro, esso occupa una consistente porzione della Bassa Pianura Piacentina ed, escludendo i rilevati arginali del fiume Po, risulta interamente compreso fra le quote di 30 e 40 m s.l.m., come risulta dalla base cartografica adottata per la stesura dello studio geologico.

L'analisi territoriale ha grande rilevanza per la valutazione dei fenomeni caratterizzanti un'area di pianura in quanto gli elementi geomorfologici costituiscono la testimonianza diretta dell'evoluzione che ha interessato la zona nell'ultimo periodo geologico.

Tra le forme legate alle acque correnti superficiali sono state cartografate le scarpate di erosione fluviale (attive, quiescenti o inattive), le tracce degli antichi alvei fluviali (anche se parzialmente mascherati dall'azione antropica), nonché i processi ed i fenomeni legati alla dinamica fluviale.

La valle di pianura all'interno della quale scorre il fiume Po non presenta un unico asse morfologico coincidente con il corso del fiume: la piana fluviale, infatti, è il prodotto morfogenetico e sedimentario di ripetute divagazioni del corso d'acqua, di cui esistono ancora significative tracce morfologiche (paleoalvei).

Nel riconoscimento delle forme inattive, la cartografia di Tavola 1 descrive le scarpate morfologiche di altezza variabile sino ad un massimo di 1.5 m ed i relativi rimaneggiamenti di natura antropica (rottture di pendenze) legate a chiari fenomeni fluviali (paleoalvei, scarpate fluviali relitte, ecc.); tra le forme più evidenti si cita il paleoalveo oggi ripercorso dal Cavo Fontana nella porzione meridionale del territorio comunale, la traccia fluviale compresa tra C.na S. Lucia e Avagli di sotto e quella accennata a N di Case Nuove ed il paleoalveo cartografato a partire dal margine orientale del capoluogo sino al confine con Villanova sull'Arda.

Le forme quiescenti, invece, presentano una maggior evidenza morfologica e risultano comprese entro l'area golenale; nel dettaglio, è stato cartografato l'alveo abbandonato del Po Morto, quello sviluppato nell'estremità orientale del territorio comunale (Bosco della Bragazza e Bosco Ospizio) ed alcune tracce nei pressi dei Boschi di Mezzano (tutti riattivabili in occasione di piene significative del Fiume).

Fra le forme di natura antropica, inoltre, sono stati cartografati tutti i rilevati arginali che proteggono dall'esonazioni del fiume Po tutto il territorio, oltre alle opere di difesa (massicciate e pennelli) che si sviluppano lungo le sponde del Fiume.

4.1 Sistema idrografico

L'elemento principale del reticolo idrografico di Castelvetro Piacentino è ovviamente costituito dal fiume Po a cui si aggiunge una fitta rete di vasi idrici secondari che assolvono alla funzione di raccolta delle acque di colo o alla distribuzione delle acque irrigue.

Nel complesso, i locali rapporti tra acque superficiali e acque sotterranee sono dominati dall'azione di drenaggio esercitata dal Fiume Po sull'acquifero più superficiale: in questa zona, in pratica, tutte le acque superficiali e quelle sotterranee meno profonde sono destinate a defluire nell'alveo padano.

Secondo lo schema introdotto da Trevisan (1968), il Po rappresenta, nel tratto che lambisce il territorio comunale, un alveo fluviale di tipo "E", cioè il caratteristico alveo a meandri di una pianura alluvionale soggetta a inondazioni durante le piene maggiori. Nel tratto studiato, è ormai presente un unico canale attivo, frutto anche della presenza di numerose e continue difese spondali che impediscono le tipiche divagazioni.

Fa eccezione la zona golenale, che è interessata periodicamente da eventi di piena che la possono sommergere con battenti idrici di qualche metro.

Di particolare intensità è stata la piena eccezionale del Novembre 1994 e del 2000, durante la quale la zona golenale è stata inondata per alcune settimane dalle acque fluviali. L'evento ha depositato uno strato di spessore variabile di terreno limoso – argilloso, che nel complesso non ha modificato in modo sostanziale la morfologia del territorio.

Per quanto riguarda il reticolo idrico secondario possiamo citare i seguenti corsi d'acqua, riportati nella Carta Idrogeologica:

1. Il Cavo Morta che percorre longitudinalmente l'intero territorio comunale, raccogliendo le acque di colo superficiali e drenando parzialmente, a partire dal capoluogo, le acque di falda più superficiale.
2. Il Cavo Fontana, che percorre il confine meridionale del territorio comunale e raccoglie acque di colo e di drenaggio sotterraneo; all'interno del Cavo Fontana si sviluppano numerose fenomeni di risorgiva, particolarmente evidenti nella porzione SW del Comune;
3. Lo Scolo Bragazza, il Cavo Gambina ed il Canalone Castelvetro, invece, assolvono fundamentalmente il compito di vasi colatori e confluiscono nei due corpi idrici presenti.

5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'assetto geometrico – strutturale del sottosuolo è assimilabile ad un materasso alluvionale nel quale i corpi acquiferi, di natura prevalentemente sabbiosa, si alternano a livelli impermeabili.

Si configura così un complesso acquifero di tipo "multifalda", all'interno del quale sono riconoscibili due circuiti chiaramente separati:

- il circuito più superficiale, che localmente assume caratteristiche da freatiche a confinate (vista la presenza di coperture limose o limo-argillose) e viene alimentato sia da monte (secondo la direzione di deflusso idrogeologico), sia per infiltrazione diretta (a seguito di precipitazioni meteoriche o durante la pratica irrigua);
- il circuito profondo (o confinato-artesiano), ospitato in orizzonti permeabili protetti al tetto da depositi argillosi di significativo spessore ed estensione laterale; contrariamente a quello di superficie, nel circuito profondo viene favorito un flusso in senso laterale con alimentazione da aree poste idrogeologicamente a monte.

Le linee isopiezometriche rappresentate nella Carta Idrogeologica (Tav. 3 allegata al PRG 2004) confermano l'effetto drenante esercitato del fiume Po e denotano una direzione media di deflusso orientata verso settori orientali con gradienti piezometrici medi prossimi allo 0.1% e valori di soggiacenza crescenti spostandosi dai settori occidentali verso est (il livello di base del circuito sotterraneo è rappresentato dal fiume Po).

Il dettaglio delle isolinee, inoltre, evidenzia la presenza di un asse di drenaggio sotterraneo orientato W-E e centrato sul sistema Cavo Fontana-Cavo Morta, come confermato dai numerosi fenomeni di risorgenza in alveo che si osservano in campagna.

Quanto sopra, pertanto, conferma come il sistema idrografico di superficie, centrato sul complesso Po - reticolato di bonifica, ed il complesso delle acque sotterranee siano fra loro interconnessi secondo un delicato equilibrio: tale fattore gioca un importante ruolo sull'acquifero in termini di variazioni periodiche della superficie piezometrica in funzione sia delle oscillazioni idrometriche dei corpi idrici, sia dei cicli meteorologici ed irrigui annuali.

6. VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI

La vulnerabilità degli acquiferi è definita dalla possibilità di infiltrazione e propagazione degli agenti inquinanti provenienti dalla superficie o da altre falde più superficiali già compromesse.

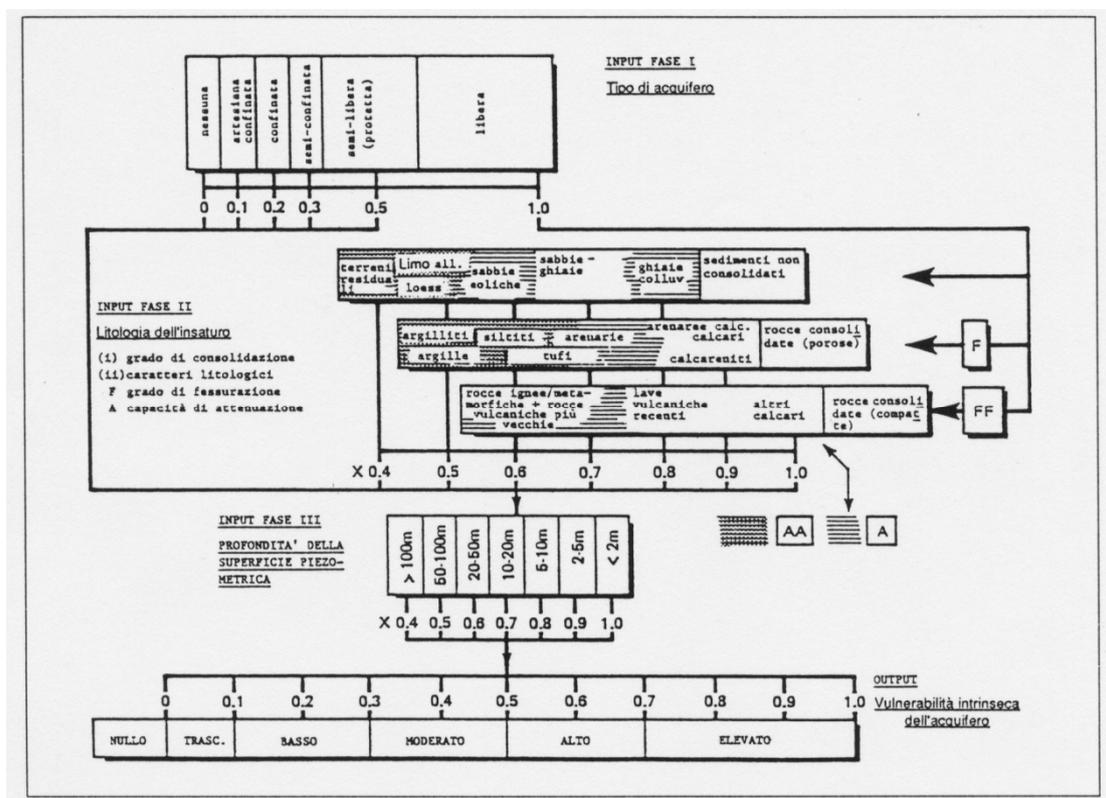
Questo concetto implica uno stato di potenziale minaccia della qualità originaria delle acque sotterranee, determinato unicamente dalle condizioni ambientali, sia naturali che antropiche, esistenti e indipendenti dalle sorgenti inquinanti.

In termini di vulnerabilità, hanno un peso preponderante i seguenti fattori geologici e idrogeologici:

- la idro-litologia, ovvero il tipo e il grado di permeabilità verticale e orizzontale, che determina la velocità di percolazione dell'inquinante e l'azione di attenuazione insita nei diversi terreni;
- il tipo e lo spessore di un'eventuale copertura fine a bassa permeabilità, quale elemento di protezione per l'acquifero sottostante;
- la soggiacenza della superficie piezometrica media dell'acquifero, la quale definisce lo spessore della zona insatura (direttamente proporzionale all'azione di autodepurazione);
- le condizioni di interscambio da parte di corsi d'acqua naturali e di canali artificiali, veicoli di inquinanti.

La vulnerabilità dell'acquifero è stata calcolata, nell'ambito dello studio geologico relativo al Piano Regolatore Generale (variante 2004), con il metodo GOD (messo a punto dal British Geological Survey - Foster, 1987) il quale rappresenta, secondo le indicazioni del C.N.R., uno dei più importanti ed utili nel settore (Civita, 1994).

Il metodo GOD utilizza come dati d'ingresso tre proprietà dell'acquifero (indicizzate), il cui prodotto ne rappresenta la vulnerabilità; ovviamente la valutazione è solamente di tipo puntuale ma, stimando le condizioni medie, restituisce con affidabilità la vulnerabilità idrogeologica del territorio.



Il metodo empirico GOD per la valutazione della vulnerabilità intrinseca (da "Foster e Hirata, 1988" in "Civita, 1994")

Le tre proprietà indici utilizzate dal metodo GOD sono: il tipo di acquifero, la litologia dell'insaturato e la profondità della superficie piezometrica.

Il metodo è stato applicato integrando le informazioni litostratigrafiche relative alle trincee esplorative realizzate e le informazioni stratigrafiche disponibili in letteratura.

In questo modo sono state individuate tre aree omogenee:

1. FASCIA CENTRO-ORIENTALE E CENTRO-OCCIDENTALE, con condizioni di bassa vulnerabilità, in cui l'acquifero superficiale, condizioni confinate o semiconfinate, risulta protetto da potenti coperture a bassa permeabilità.
2. FASCIA MERIDIONALE, caratterizzata dalla presenza di un acquifero in condizioni da semiconfinato a semilibero, con coperture a bassa permeabilità di spessore variabile tale determinare una situazione di vulnerabilità intrinseca da moderata ad alta.
3. FASCIA SETTEMRIONALE, CENTRALE E SUD-ORIENTALE, in cui l'acquifero, in condizioni di semilibero o libero ed in assenza di significative coperture fini, presenta situazioni di vulnerabilità da alta a elevata.

7. ASSETTO TETTONICO

Come abbiamo visto, al di sotto dei sedimenti della Pianura Padana esistono strutture tettoniche attive e capaci di generare terremoti, come testimonia sia la sismicità strumentale dell'area, sia il verificarsi di importanti terremoti storici. Nell'area emiliana ricordiamo la sequenza sismica di Ferrara del 1570, quella che ha colpito Argenta nel 1624 e i numerosi terremoti che hanno colpito Bologna nel 1929, tutti con magnitudo stimata tra 5.5 e 6.0. Recentemente, i *thrust* sepolti dell'Appennino Settentrionale si sono attivati durante la sequenza dell'Emilia del 2012. Una caratteristica comune delle sequenze emiliane del 1570, 1929 e 2012 è quella di essere costituite da più terremoti potenzialmente distruttivi, anche con magnitudo simile, che si susseguono nell'arco di giorni, settimane o mesi.

La Pianura Padana è interessata sia da terremoti superficiali sia da terremoti relativamente profondi (al di sotto di 15 km). I terremoti più superficiali tendono a causare effetti significativi ma molto concentrati nello spazio, mentre a parità di magnitudo un terremoto profondo farà meno danni ma su un'area molto più ampia: è la cosiddetta "firma macrosismica" dei terremoti, che ci consente di ipotizzare la profondità focale anche per quelli più antichi.

Un'importante caratteristica che accomuna i terremoti della Pianura Padana è che, in virtù della loro cinematica e del loro contesto geologico, anche i più superficiali tra essi non producono fagliazione della superficie topografica, o comunque non sono noti effetti di terremoti del passato che potrebbero essere ricondotti a fagliazione superficiale. In altre parole, le faglie della Pianura Padana non arrivano a tagliare la superficie terrestre ma si fermano in profondità, e prendono per questo il nome di *faglie cieche*.

Le faglie cieche della Pianura Padana sono state suddivise in quattro gruppi principali:

- Gruppo #1: i *thrust* superficiali delle Alpi e degli Appennini, che includono sia i sistemi di faglie che corrono ai piedi dei rispettivi rilievi sia i fronti più esterni in pianura;
- Gruppo #2: i *thrust* profondi dell'Appennino settentrionale;
- Gruppo #3: le strutture "ereditate";
- Gruppo #4: le strutture trasversali alle catene delle Alpi e dell'Appennino.

8. SISMICITA' DEL TERRITORIO

La Provincia di Piacenza è soggetta ad un'attività sismica bassa, testimoniata da alcuni terremoti documentati storicamente, con epicentro nell'ambito del territorio provinciale, e da eventi più intensi con epicentro nelle province limitrofe.

Dall'esame delle registrazioni dei terremoti, riportati nella specifica letteratura divulgativa (catalogo ENEL - PFG, bollettino sismico mensile dell'Istituto Nazionale di Geofisica e rapporti sull'attività sismica dell'Istituto di Geofisica e Geodetica dell'Università di Genova), si evince che la sismicità si concentra, in particolare modo, nel settore settentrionale.

Nel complesso il territorio provinciale può essere ritenuto potenzialmente pericoloso, anche se la sismicità è molto bassa. Nell'ambito territoriale della pianura piacentina gli epicentri dei terremoti sono concentrati lungo i piani di rottura del substrato terziario in corrispondenza del fascio di accavallamento dell'*External Thrust Front*.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, sulla base degli studi effettuati dal Servizio Sismico Nazionale (S.S.N.) e dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (G.N.D.T.), ha suddiviso il territorio nazionali in 4 classi con livelli decrescenti di pericolosità sismica.

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

Il territorio comunale è stato classificato, ai sensi dell'Ord. P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 in 'zona 4', con conseguente accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni < 0.05 e accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (NTC) pari a 0.05.

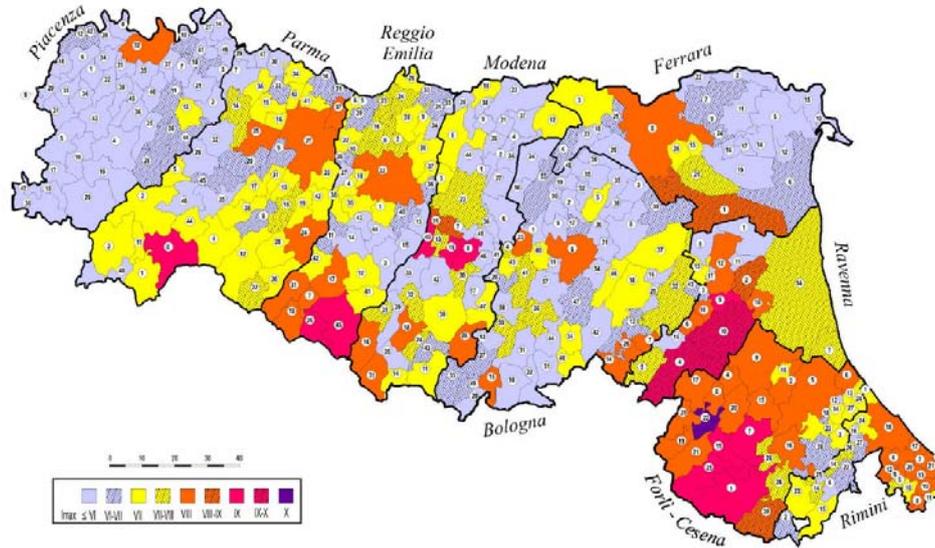


Figura 5: Sintesi in colore delle I_{max} MCS dei comuni dell'Emilia Romagna, prese dal Catalogo di dati macrosismici DBMI11 (Locati et alii, 2011).

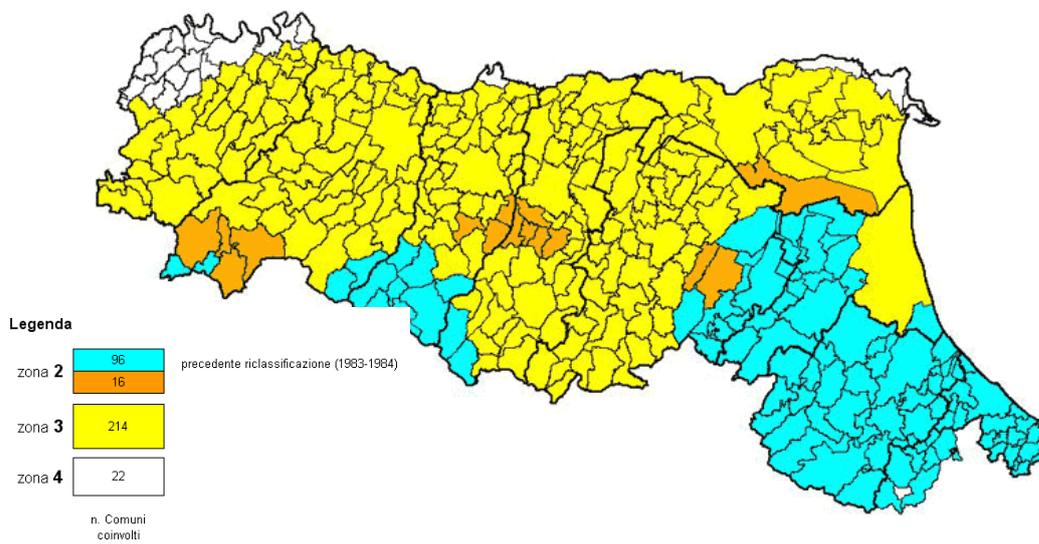


Figura 6: Riclassificazione sismica dell'Emilia Romagna secondo l'Ordinanza del PCM n. 3274/2003.

8.1 Sismicità di base

Le informazioni relative alla sismicità storica del Comune di Castelvetro Piacentino sono state desunte dal Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani, redatto grazie all'INGV dal Gruppo di lavoro CPTI nel 2011 (CPTI-11), che elenca tutti i terremoti avvenuti dal 1000 al 2006.

La versione 2011 del catalogo CPT rappresenta un'evoluzione significativa rispetto alla versione 2004, con particolare riferimento a contenuti e struttura.

Innanzitutto il catalogo si riferisce ad un database macrosismico (DBMI11; *Locati et alii*, 2011) e su una base di dati strumentali molto più ampia ed aggiornata. In aggiunta, sviluppando quanto già avviato con le versioni CPTI08 e CPTI08aq, il catalogo contiene anche un certo numero di record relativi a *foreshock* e repliche per cui sono disponibili dati macrosismici e/o strumentali.

I terremoti più prossimi all'area di Castelvetro Piacentino, estratti da questo catalogo, sono elencati nella Tabella 1 in ordine decrescente di Magnitudo (M_wM) con epicentro a distanza inferiore ai 40 km dalla superficie comunale e indicati nella mappa riportata in Figura 7.

La sismicità è classificabile come medio – bassa e la dimostrazione ci viene fornita dalle osservazioni storiche, dove gli unici eventi di rilievo, ubicati nelle vicinanze di Castelvetro Piacentino (Tabella 1), non raggiungono mai valori di Magnitudo uguali e/o superiori a 6. Come è possibile osservare nella mappa in Figura 7, i terremoti sono prevalentemente ubicati nel Parmense.

Anno	Area	Imx	Io	Lat	Lon	MwM
1971	Parmense	8	8	44,814	10,345	5,67
1802	VALLE DELL'OGLIO	8	8	45,424	9,839	5,64
1438	Parmense	8	8	44,844	10,239	5,57
1951	LODIGIANO	6-7	6-7	45,251	9,601	5,41
1983	Parmense	7	6-7	44,755	10,265	5,27
1980	Piacentino	7	6-7	44,801	9,757	5,22
1885	SCANDIANO	6	6	45,208	10,169	5,19
1409	Parma	7	7	44,801	10,329	5,14
1738	PARMA	7	7	44,906	10,028	5,14
1304	Pianura Padana	5	5	45,010	10,149	5,11
1786	Pianura Padana	6-7	6	45,298	9,595	5,05
1799	CASTENEDOLO	6-7	6-7	45,404	10,271	5,01
1628	Parma	6-7	6-7	44,801	10,329	4,93
1522	Pianura Padana	5	5	44,981	10,051	4,80
1572	PARMA	7	6	44,850	10,422	4,72
1969	Parmense	5-6		44,903	10,049	4,70
1732	Parma	6-7	5-6	44,871	10,468	4,65
1829	CREMONA	6-7	5-6	45,136	10,024	4,51
1910	PONTE DELL'OLIO		5-6	44,900	9,633	4,51
1961	Parmense	5-6	5-6	44,739	10,229	4,47
1991	Parmense	5-6	5	44,940	10,007	4,37
1653	Pianura Padana	6	5	45,033	10,200	4,30
1774	PARMA	6	5	44,801	10,329	4,30
1383	PARMA	5-6	4-5	44,801	10,329	4,09

Tabella 1: Sismicità storica nell'area di studio.

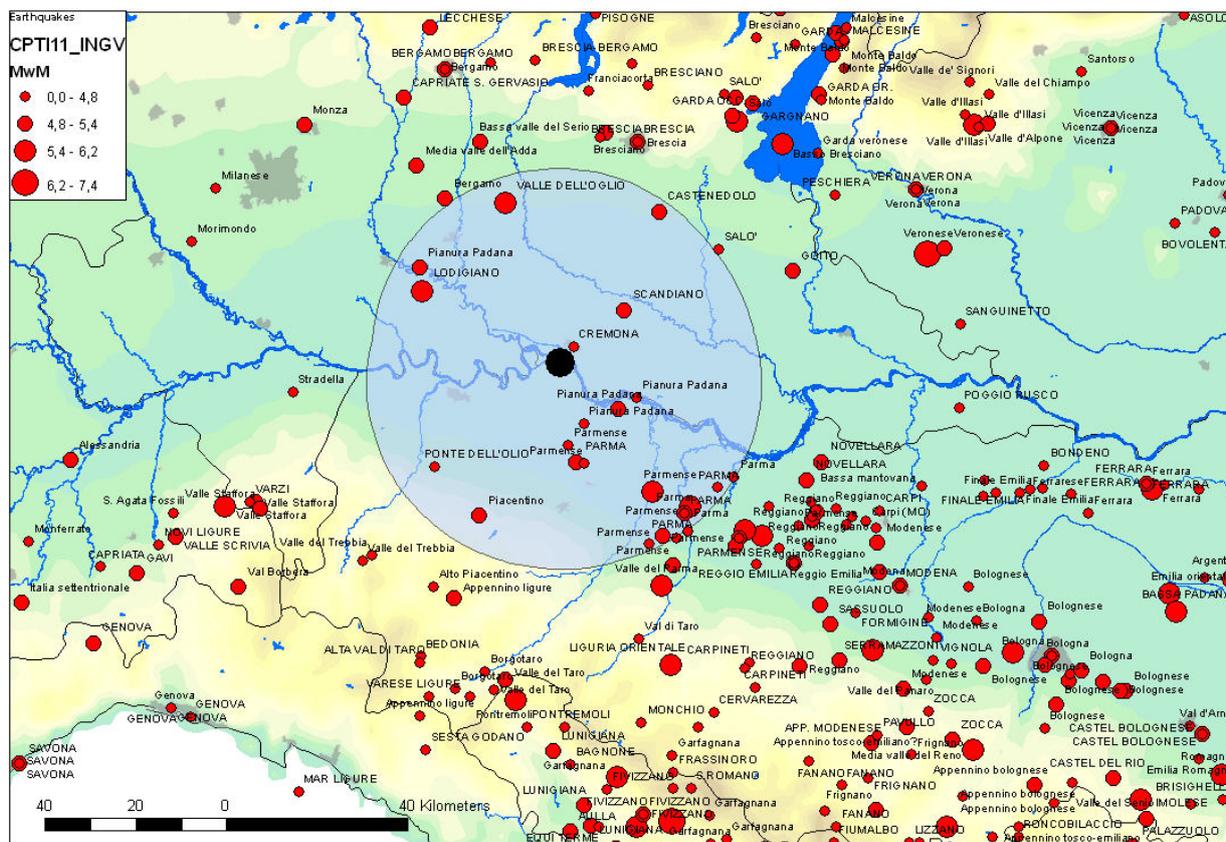


Figura 7: Distribuzione degli eventi sismici estratta dal catalogo parametrico dei terremoti italiani del 2011 (CPTI 11) che mostra gli epicentri dei terremoti più significativi avvenuti nell'area interessata e zone limitrofe.

8.2 Zone sismogenetiche

L'inquadramento macrosismico di riferimento si basa sulla zonazione sismogenetica del territorio italiano ZS9, elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

La zonazione, effettuata con lo scopo di creare una base per la stima della pericolosità sismica (hazard) del territorio nazionale, si fonda su un modello sismotettonico riferibile alla correlazione dei seguenti elementi:

1. Il modello strutturale 3D della penisola italiana e dei mari adiacenti;
2. la distribuzione spaziale dei terremoti storici e attuali per le diverse classi di magnitudo;
3. il modello cinematico dell'area mediterranea centrale, riferito agli ultimi 6 milioni di anni.

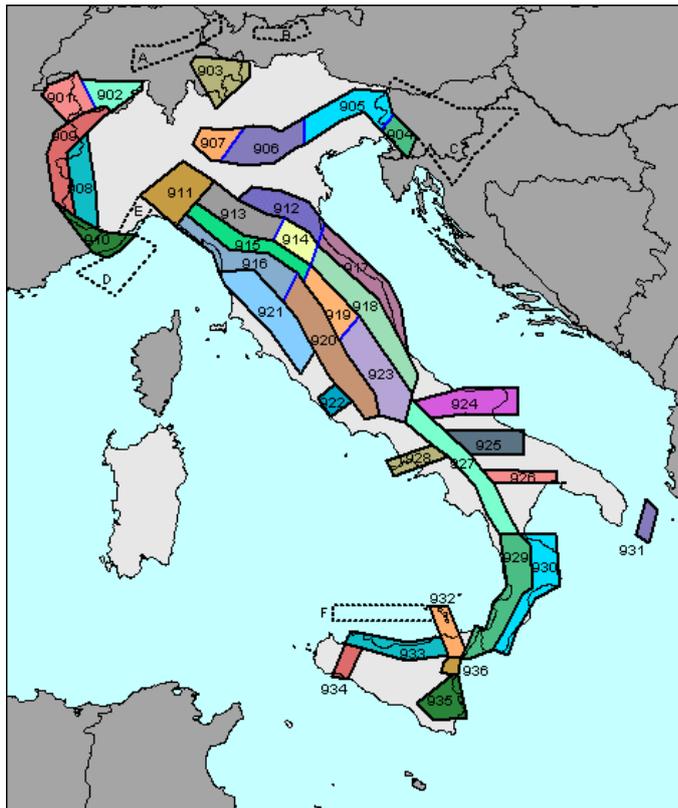


Figura 8: Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV).

Per zone sorgente, o sismogenetiche, si intendono quelle aree che si possono considerare omogenee dal punto di vista geologico – strutturale e soprattutto cinematico.

Il nuovo modello sismogenetico usato in Italia, introdotto appositamente per la redazione della mappa di pericolosità 2004, è la cosiddetta zonazione ZS9 per la quale il territorio italiano è stato suddiviso in 36 diverse zone, numerate da 901 a 936, più altre 6 zone, identificate con le lettere da “A” a “F” fuori dal territorio nazionale (A-C) o ritenute di scarsa influenza (D-F) (Figura 8):

- zone da 901 a 910: Arco Alpino (zone legate all’interazione Adria – Europa);
- zone dalla 911 alla 923: Appennino settentrionale e centrale;
- zone dalla 924 alla 928 e 931: Appennino meridionale e avampaese apulo;
- zone 929 e 930: Calabria;
- dalla 932 alla 936: Sicilia.

Per ogni zona sismogenetica è stata effettuata una stima della profondità media dei terremoti e del meccanismo di fagliazione prevalente; si è valutato, inoltre, il grado di incertezza nella definizione dei limiti delle zone.

L’area, ricadente nel Comune di Castelvetro Piacentino, oggetto di studio, ricade al di fuori delle zone sismogenetiche sopra descritte, a circa 2 km a nord – ovest della zona 911 (Tortona – Bobbio).

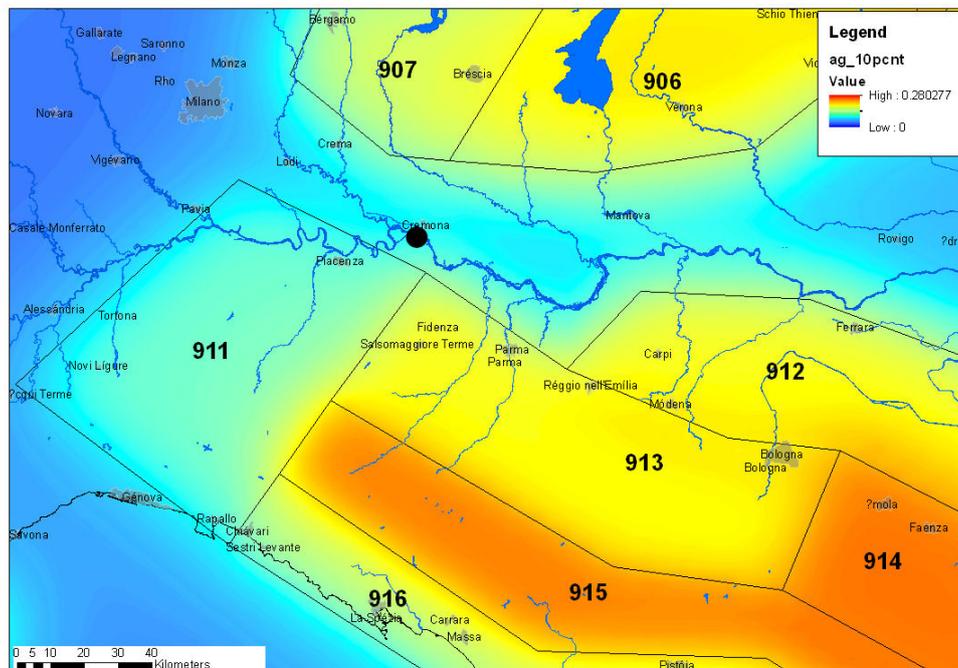


Figura 9: Zonazione sismogenetica ZS9: l’Italia del Nord (da Meletti C. & Valensise G., 2004).

8.3 Definizione della sorgente sismogenetica pertinente

L'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia mette in rete, nell'ambito del Progetto DISS3, le informazioni (<http://diss.rm.ingv.it>) riguardanti la distribuzione spaziale e le caratteristiche sismico-tettoniche delle Sorgenti Sismogenetiche presenti sul territorio nazionale.

Il territorio di Castelvetro Piacentino risulta compreso nella sorgente sismogenetica composta classificata come ITCS044 *Portalbera – Cremona*. Questa si estende al di sotto dell'area pavese meridionale – lodigiana – cremonese ed interessa una fascia di lunghezza pari a 50 km e larga circa 10 km; l'estremità orientale di tale struttura sepolta interessa direttamente l'area di studio. Di seguito sono riportati i parametri che definiscono questa sorgente sismogenetica:

Profondità minima	2.0 (km)	dati geologici da Autori vari
Profondità massima	7.0 (km)	dati geologici da Autori vari
Direzione (strike)	30° - 115°	dati geologici da Autori vari
Immersione (dip)	20° - 40°	dati geologici da Autori vari
Rake/pitch	80° - 100°	dati geologici
Velocità di scorrimento	0.48-0.54 (mm/a)	dati geologici da Maesano et al. (2015)
Ampiezza massima	5.5 (Mw)	dati sismici regionali

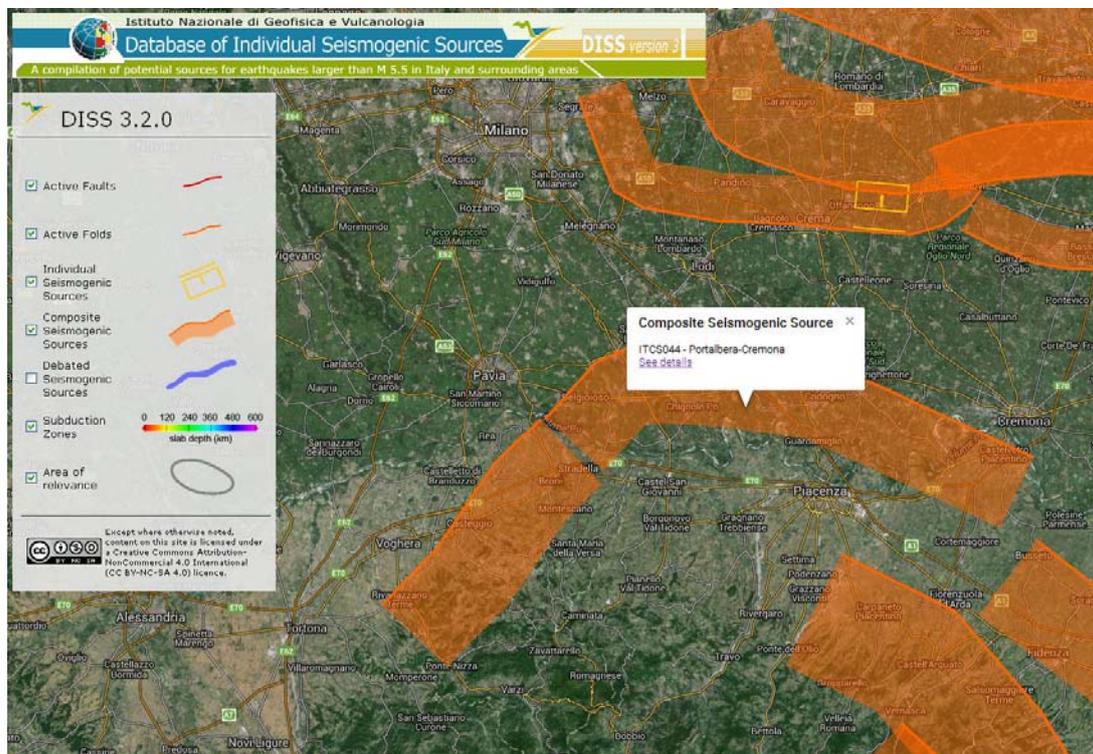


Figura 10: Distribuzione spaziale delle sorgenti sismogenetiche.

9. PERICOLOSITÀ SISMICA

La pericolosità sismica, intesa in senso probabilistico, è lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo. Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input (quali catalogo dei terremoti, zone sorgente, relazione di attenuazione del moto del suolo, ecc) e dei parametri di riferimento (per esempio: scuotimento in accelerazione o spostamento, tipo di suolo, finestra temporale, ecc).

In generale, la valutazione della Pericolosità sismica di un sito si realizza attraverso quattro diverse fasi:

- 1) Identificazione e caratterizzazione di tutte le sorgenti di eventi sismici in grado di produrre uno scuotimento significativo al sito. La caratterizzazione delle sorgenti include la definizione di ogni geometria di sorgente e relativo potenziale sismico.
- 2) Individuazione della distribuzione di probabilità dei terremoti o relazione di ricorrenza delle sorgenti considerate, che specifica il tasso medio di superamento di un terremoto di definita magnitudo.
- 3) Valutazione dello scuotimento del suolo prodotto dagli eventi sismici attraverso le relazioni di attenuazione.
- 4) Combinazione delle incertezze per ottenere la probabilità che un parametro descrittivo dello scuotimento del terreno sia superato in un determinato intervallo temporale.

Nuove carte sulla pericolosità sismica sono state recentemente prodotte dall'Istituto Nazionale di geofisica e Vulcanologia (INGV); tale cartografia, realizzata per tutto il territorio italiano, si basano quindi su studi accurati che prevedono l'utilizzo dei dati contenuti nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI04 e CPTI11), delle informazioni relative alla più recente Zonazione Sismogenetica ZS9 e dei relativi modelli cinematici di sviluppo della tettonica crostale, ed infine di una serie relazioni di attenuazione stimate sulla base di misurazioni accelerometriche effettuate sia sul territorio nazionale che europeo.

Il valore del parametro di scuotimento fornito dall'analisi di pericolosità sismica non corrisponde quindi ad un particolare evento, ma deve essere considerato come il prodotto, espresso in termini probabilistici, degli effetti combinati di tutti gli eventi di differente magnitudo e distanza rappresentativi dell'intera storia sismica dell'area in esame.

La carta di riferimento per valutazioni di pericolosità sismica (<http://esse1.mi.ingv.it>) è rappresentata dalla distribuzione probabilistica dell'accelerazione massima al suolo, definita PGA (*Peak Ground Acceleration*) ed espressa come frazione dell'accelerazione di gravità "g", pari a 9,81 m/sec².

Occorre tuttavia sottolineare che i valori di accelerazione massima vengono riferiti a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/sec; Cat. A); per tale motivo, le carte di pericolosità sismica non tengono conto dei possibili fenomeni di amplificazione dovuti a condizioni geologiche locali, che sono invece oggetto delle analisi di risposta sismica locale (RSL).

La “pericolosità sismica di base” è descritta:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (*reticolo di riferimento*) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un *intervallo di riferimento* compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

Il valore di riferimento della pericolosità sismica di base impiegato per le costruzioni ordinarie (Stato Limite Ultimo – SLV) è quello delle probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, equivalente a un tempo di ritorno di 475 anni.

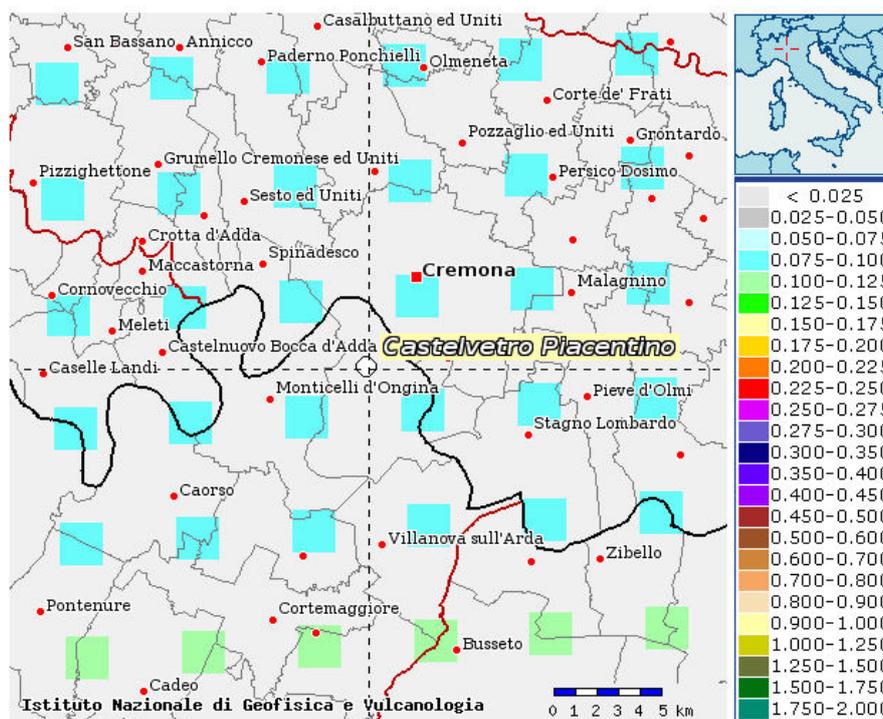


Figura 11: Mappa della pericolosità sismica centrata sul Comune di Castelvetto Piacentino.

Nel caso specifico, il Comune di Castelvetto Piacentino è caratterizzato da valori di $a(g)$ compresi tra 0.075 e 0.100.

Dai tabulati della Delibera Regionale n. 112 del maggio 2007, è possibile ottenere per il Comune di Castelvetto Piacentino un valore di a_{refg} pari a 0,084 g per un tempo di ritorno di 475 anni.

Inoltre, la documentazione allegata al Nuovo Testo Unico 2008 permette di estrapolare il grafico rappresentativo degli spettri di risposta elastica per determinati tempi di ritorno (Figura 12), e i valori di tali parametri esplicitati in tabella.

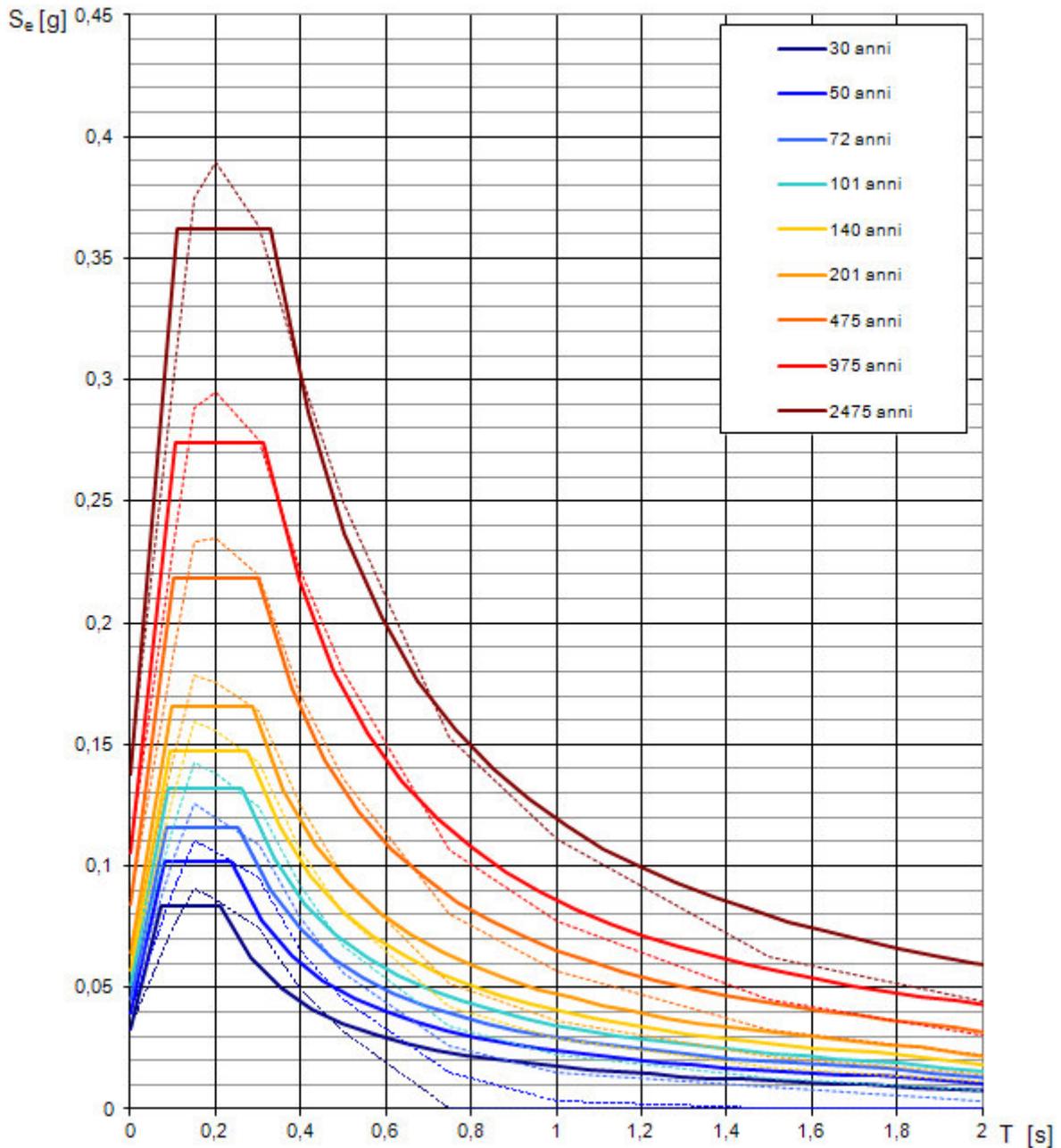
Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0,033	2,548	0,210
50	0,039	2,583	0,235
72	0,045	2,552	0,254
101	0,051	2,575	0,262
140	0,057	2,595	0,275
201	0,064	2,587	0,286
475	0,084	2,590	0,300
975	0,105	2,607	0,314
2475	0,138	2,621	0,329

Come si può notare esiste una perfetta coincidenza con i valori regionali sopra riportati, specificatamente riguardo al valore di a_{refg} per un tempo di ritorno di 475 anni.

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Figura 12: Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento.

10. SELEZIONE E DELIMITAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE

Le aree di indagine sono state scelte e localizzate in corrispondenza dei centri urbani maggiormente significativi ("Territorio urbanizzato") che il Comune di Castelvetro Piacentino ha perimetrato – secondo i criteri definiti al par. 3.4.2 degli ICMS – così come riportato nelle Tavole da P4.1 a P4.5 (Zonizzazione dei centri abitati in scala 1:2000) allegate al Piano Regolatore Generale del 2004.

Lo studio di microzonazione di II livello è stato esteso, in accordo con l'Ufficio Tecnico comunale, ad una fascia che si estende da nord verso sud, nel settore occidentale del territorio comunale, laddove è prevista la realizzazione del raccordo autostradale Porto di Cremona-A21 a Castelvetro Piacentino (Progetto Terzo Ponte).

Sulle cartografie allegate al presente studio è stato riportato il tracciato della nuova tangenziale e un buffer che circonda le zone più prossime all'area di intervento e, quindi, oggetto di indagine.

11. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

In prima battuta sono stati raccolti ed analizzati i dati pregressi in possesso dell'Ufficio Tecnico del Comune di Castelvetro Piacentino e in particolare le indagini geofisiche, i sondaggi e le prove penetrometriche spinte a profondità superiore ai 10 metri; dal portale cartografico della Regione Emilia Romagna sono state prelevate le stratigrafie dei pozzi d'acqua realizzati sul territorio comunale (per quanto questi ultimi si siano dimostrati molto datati e spesso sommari nella descrizione della litostratigrafia).

I dati pregressi raccolti e archiviati per lo studio di microzonazione possono essere così sintetizzati:

- dati di base allegati al P.R.G. vigente del Comune di Castelvetro Piacentino;
- dati raccolti presso l'Ufficio Tecnico del Comune di Castelvetro Piacentino, Pratiche Edilizie private e pubbliche (interventi diretti e piani attuativi), Varianti e le indagini a supporto degli interventi depositati presso l'Ufficio SUAP;
- banca dati del Servizio Geologico, sismico e dei suoli della Regione Emilia Romagna (indagini del sottosuolo, sondaggi profondi, pozzi per acqua).

In particolare sono stati acquisiti nr. 9 dati lineari (nr. 4 ReMi, nr. 4 MASW, nr. 1 indagine sismica a rifrazione) e nr.79 dati puntuali (nr. 8 sondaggi, nr. 2 prove penetrometriche con punta elettrica, nr. 27 prove penetrometriche statiche, nr. 41 pozzi d'acqua, nr. 1 HVSR).

I dati pregressi sono stati integrati con una serie di nuove indagini, atte a completare l'informazione geotecnica e sismica che permette la caratterizzazione dei terreni. Per meglio definire il modello di sottosuolo sono state realizzate:

- nr. 15 analisi dei microtremiti (ReMi)
- nr. 20 registrazioni a stazione singola (HVSr)
- nr. 11 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)
- nr. 4 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)

La campagna di indagini geognostiche è stata eseguita dalla ditta Geotecnica Veneta, per quanto riguarda le prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU), mentre la società Soil System s.n.c. si è occupata delle prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT).

L'insieme dei dati raccolti, ha permesso di disporre di un totale di 114 dati puntuali e di 24 dati lineari, suddivisi e rappresentati, in forma simbolica e per tipologia, secondo la legenda prevista negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica disposti dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (art. 5, comma 7 dell'OPCM 13.11.2010, n. 3907) nella Carta delle Indagini. I dati rappresentati in carta sono affiancati da un record numerico progressivo che ne rappresenta l'identificativo rintracciabile nell'archivio "CdI_Tabelle_033014" creato con il software SoftMS versione 3.0.

Descrizione	Sigla	Quantità
Prova Refraction Microtremors	ReMi	19
Multichannel Analysis Of Surface Waves	MASW	4
Prospezione sismica a rifrazione	SR	1
Analisi di microtremore a stazione singola	HVSr	21
Prova penetrometrica statica	CPT	31
Prova penetrometrica con piezocono	CPTU	13
Sondaggio a carotaggio	S	8
Pozzo per acqua	P	41

Totale	138
--------	-----

12. PROVA REFRACTION MICROTREMORS (ReMi)

In totale sono state eseguite, sul territorio comunale, nr. 19 analisi dei microtremori con metodo ReMi (Refraction Microtremor). Di seguito si riportano le principali caratteristiche tecniche di acquisizione ed elaborazione del dato grezzo.

12.1 Descrizione del metodo

La determinazione delle Vs30 risulta essere fondamentale per la definizione dei suoli secondo l'inquadramento della nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica.

Per tale valutazione, oltre alla sismica in foro (downhole e crosshole) ed alla sismica di superficie (rifrazione e riflessione ad onde S) metodi alternativi di modellazione del sottosuolo basati sull'analisi delle onde superficiali (Rayleigh) hanno assunto importanza progressivamente crescente negli ultimi anni.

Tra le varie tecniche disponibili, l'analisi dei microtremori risulta essere particolarmente soddisfacente sia dal punto di vista dei risultati che dal punto di vista economico, essendo realizzabile con procedure operative molto simili a quelle impiegate per la sismica di superficie convenzionale.

L'analisi dei microtremori viene effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione (a geofono singolo) disposta sul terreno con array lineare, da 12 a 48 geofoni; per ottenere una buona risoluzione in termine di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni con bassa frequenza di risonanza (4-14 Hz raccomandati), è indispensabile allungare il tempo di registrazione (15-30 s) rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale.

Si possono così registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range da 25-30Hz fino a 2 Hz che, in condizioni ottimali, offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle Vs relativamente ai primi cento metri di profondità.

Le metodiche analitiche del sistema rendono possibile operare in ambienti fortemente "inquinati" da rumore urbano e industriale tanto che ogni sito si presta ad essere studiato a patto che ci sia la possibilità di gestire in "sicurezza" uno stendimento complessivo di 50-200 ml.

Osservate le comuni precauzioni che si adottano in qualsiasi campagna sismica (accoppiamento e verticalità dei geofoni, ad es.) si stabilisce la distanza intergeofonica (che sarà funzionale al target e compatibile con l'area disponibile), si impostano i parametri di acquisizione, intervallo di campionamento (sample rate, che varia da 2 a 4 ms) e tempo di registrazione (record length, da 15 a 30 s).

Nel caso in cui si sia in presenza di una sorgente fissa di rumore è consigliabile ruotare di 90° l'intero stendimento e ripetere alcune acquisizioni; l'analisi complessiva del segnale mitiga l'effetto della unidirezionalità della sorgente e evita di incorrere nella sottostima della velocità di fase durante la più delicata operazione di picking.

La spaziatura geofonica rappresenta una sorta di filtro in frequenza per il segnale che può arrivare da tutte le direzioni. E' quindi implicito che maggiore è la spaziatura minore è la frequenza del segnale utile campionabile e di conseguenza maggiore è la profondità di investigazione. Questo fattore diventa interessante, e fondamentale, qualora l'oggetto dell'indagine sia la modellazione profonda, mentre può essere trascurabile se la finalità della misura è la definizione del profilo sismico verticale relativo a poche decine di metri.

Anche se l'esperienza fin qui maturata consente di affermare che la gran parte delle aree di fondovalle o prossime a centri abitati o a vie di comunicazione è in grado di produrre un "noise" utile è tuttavia preferibile poter disporre di una fonte di rumore vicina per arricchire lo spettro di frequenze medio alte (25-35Hz). In questo modo si potrà dettagliare il modello della porzione superficiale di sottosuolo che è quello di maggiore interesse ai fini del calcolo del parametro V_{s30} .

12.2 Strumentazione e criteri di acquisizione

Per l'acquisizione sismica è stato impiegato un sismografo a 24 canali (GEODE) facente parte della gamma dei prodotti Geometrics Ltd; questo strumento è dotato di un convertitore analogico – digitale a 24 bit che permette intervalli di campionamento estremamente ridotti (da 0.02 ms a 16 ms), di un *range* dinamico di sistema di ben 144 dB e di un'ampia banda di ingresso (da 1.75 Hz a 20 kHz), in grado di riprodurre in modo molto accurato il segnale sismico. I sensori disposti sul terreno sono geofoni caratterizzati da una frequenza di smorzamento di 4.5 Hz.

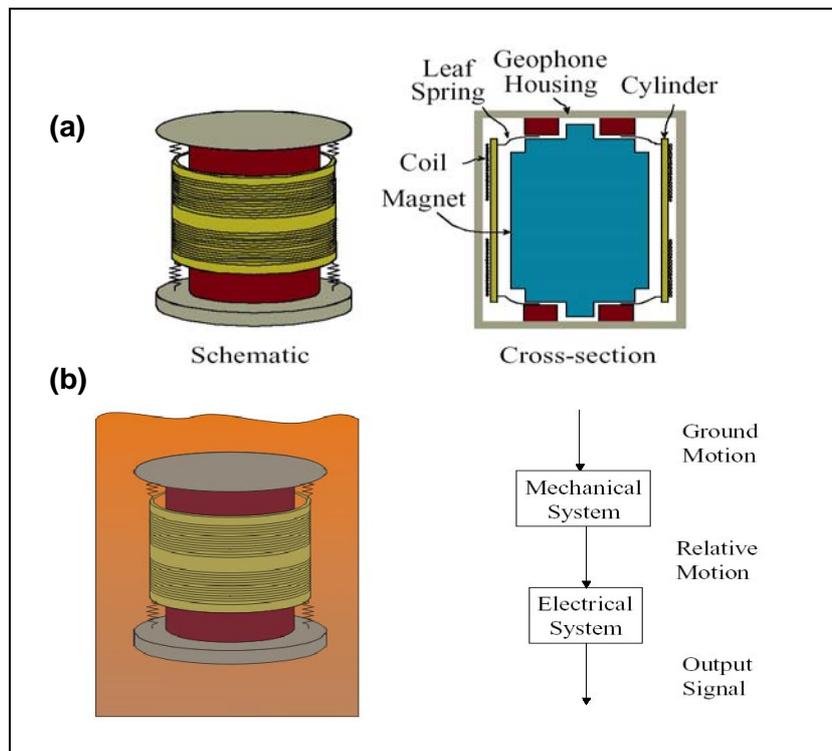


Figura 13: Schema del funzionamento dei geofoni rilevatori.

La geometria di acquisizione in campagna è stata realizzata mediante l'allineamento di nr. 24 geofoni con spaziatura variabile (tra 3 e 5 metri) in base alla disponibilità areale e ai vincoli infrastrutturali. Inoltre, laddove fosse presente una sorgente fissa di rumore (ad esempio arterie ad alto scorrimento), si è cercato di posizionare lo stendimento sismico lungo una direzione perpendicolare ad essa.

In taluni casi i profili ReMi sono stati realizzati anche su terreni duri quali ad esempio le pavimentazioni stradali, adottando dei supporti in teflon.

I parametri di acquisizione, riportati di seguito, sono standard per tutti gli stendimenti:

intervallo di campionamento (sample rate) = 2 ms
tempo di registrazione (record length) = 32.768 s

12.3 Elaborazione dei dati

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency" (p-f) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentarne lo spettro di potenza su un grafico p-f. A questo punto l'operatore, in maniera arbitraria ed in base all'esperienza, esegue un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (p o $1/\text{velocità di fase}$) per alcune frequenze. Tali valori vengono in seguito plottati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello diretto.

Il software con cui è stato realizzato questo tipo di elaborazione è denominato ReMi e viene prodotto dalla Optim LLC (Reno, Nevada, USA).

Nell'Allegato 1 sono riportati, per ciascuno stendimento sismico, l'ubicazione su ortofoto, la documentazione fotografica, gli spettri di tipo "slowness-frequency" con il picking, i grafici illustranti i risultati dell'inversione della curva di dispersione stimata e i profili di velocità V_s in funzione della profondità.

13. MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW)

Nella fase preliminare dello studio di microzonazione di II livello, sono stati presi in considerazione anche i dati relativi a nr. 4 indagini geofisiche con metodo MASW eseguite sul territorio comunale. Di seguito si riporta una descrizione sintetica del metodo.

13.1 Descrizione del metodo

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde di taglio S in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

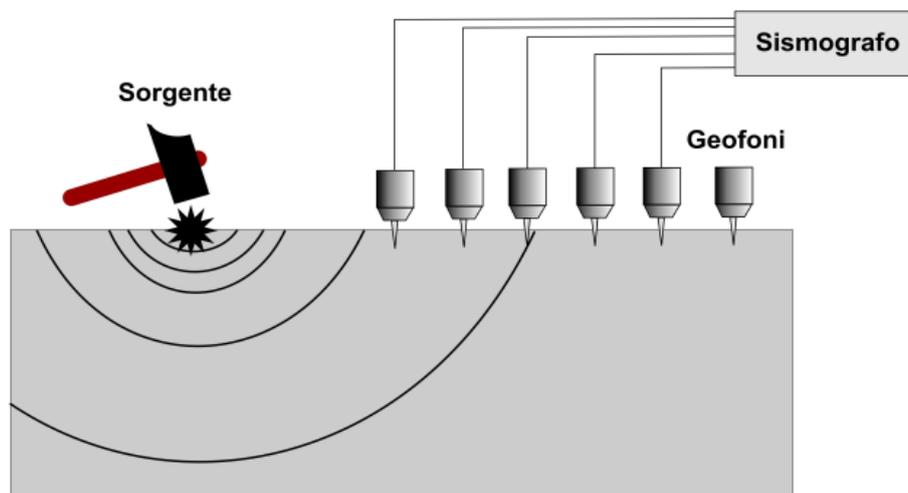
Il metodo di indagine MASW si distingue dal REfraction Microtremors method in quanto le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva posta sulla superficie del suolo e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza.

13.2 Strumentazione e criteri di acquisizione

L'analisi delle onde superficiali, in genere, viene eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un *array* lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 2-3 m.

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, viene utilizzato un sismografo a 24 bit.

L'energizzazione necessaria per generare le onde superficiali viene comunemente prodotta mediante un cannoncino sismico calibro 8 o, in alternativa, con un martello sismico da 8-10 kg.



13.3 Elaborazione dei dati

Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che consente di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di "picking" del segnale ad elevata intensità si ottiene la "curva di dispersione", dalla cui inversione si calcola il modello sismo stratigrafico espresso in termini di velocità delle onde di taglio (V_s).

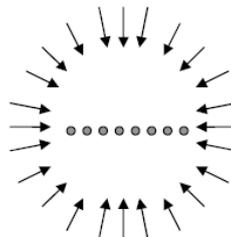
Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(fase)/freq.$, può essere convertito nel profilo $V_s/profondità$. Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura onde ricavare il modello reale.

14. NOTA TECNICA "INDAGINI GEOFISICHE MEDIANTE METODI MASW E REMI"

MASW e ReMI sono le tecniche principali per la definizione delle V_{s30} .

Le geometrie di acquisizione impiegate sono praticamente le stesse, ciò che cambia è il tipo di onde superficiali registrate. Nel primo caso vengono registrate quelle prodotte artificialmente da sorgenti attive (es. masse battenti); nel secondo si registrano invece quelle derivanti dal rumore ambientale (microtremori).

L'ipotesi alla base del metodo Remi è che i microtremori siano isotropici, cioè omnidirezionali.



La presenza di forti fonti di rumore direzionali (es. impianti industriali) può risultare essere vantaggioso se lo stendimento viene disposto ortogonalmente rispetto alla sorgente. In caso contrario, la stima delle velocità sismiche viene ad essere sovrastimata.

In assenza di fonti di rumore note, ciò che viene registrato è il rumore ambientale generato dall'insieme delle attività umane e dell'attività naturale della terra. L'esperienza ci dice che nella maggioranza dei casi l'omnidirezionalità della sorgente può essere considerata un'ipotesi valida. (risultati comparabili con stendimenti orientati ortogonalmente).

L'acquisizione di dati con doppio stendimento ortogonale, quando possibile, è buona norma.



Sfruttando il rumore ambientale, la tecnica ReMi può disporre delle basse frequenze (1-8 Hz) necessarie per la stima delle Vs30. Sono infatti queste le frequenze che permettono di “indagare” a maggiore profondità.

Le basse frequenze sono tuttavia anche quelle più difficili da generare artificialmente in superficie.

Le tradizionali masse battenti, utilizzate per l'acquisizione dei dati con metodo MASW, generano onde i cui spettri possiedono frequenze dominanti ben superiori (12-20 Hz), le quali sono in grado di dare informazioni di velocità in relazione ai primissimi metri sotto la superficie, ma che difficilmente possono raggiungere i 20-30 metri necessari per la valutazione delle Vs30.

Premesso questo, riteniamo che il Metodo Remi sia preferibile per la definizione delle Vs30 proprio in virtù della possibilità di sfruttare le informazioni fornite delle basse frequenze contenute nel rumore ambientale.

15. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

In totale è stato monitorato un unico sito mediante prospezione sismica a rifrazione. Di seguito sono riportate alcune informazioni sulla tecnica di acquisizione e la strumentazione utilizzata nell'indagine eseguita in località Picchetto.

15.1 Descrizione del metodo

L'indagine sismica a rifrazione ad onde di compressione consiste nell'energizzazione del sottosuolo e nella registrazione degli arrivi delle onde rifratte mediante geofoni in serie infissi nel terreno con interasse tale da costituire uno stendimento, lungo un allineamento prestabilito, la cui lunghezza totale consenta di spingere l'indagine sino alla profondità prevista. In genere è la misura dei tempi di arrivo delle onde P ai diversi geofoni che consente di ricostruire l'andamento e la profondità del rifratte e permette anche di calcolare le caratteristiche elastiche dinamiche dei terreni e degli ammassi rocciosi investigati.

15.2 Strumentazione e criteri di acquisizione

L'indagine è consistita in uno stendimento di 80 metri, lungo il quale sono stati posizionati 12+3 geofoni monocomponente, del tipo elettromagnetico a bobina mobile con frequenza propria di 10 Hz, in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche prodotte da una sorgente energizzante.

La distanza tra i geofoni è stata fissata in 5 m. Si sono utilizzati due punti di energizzazione posti all'estremità, a 5 m di distanza dal primo e dall'ultimo geofono.

Per l'indagine si è impiegata un'attrezzatura PASI CE, avente le seguenti caratteristiche:

- convertitore A/D: 12 bit
- trattamento dati: 16 bit *floating point*
- durata della registrazione: da 1,8 a 239 ms
- delay: post-trigger 1-1000 ms
- memoria interna: 74 acquisizioni
- uscita: RS 232
- formato dati in uscita: proprietario ASCII
- alimentazione: 2 batterie interne ricaricabili 6V – 4 A/h
- software di acquisizione dati: PASI sismo-ce



L'attrezzatura è completata da un cavo sismico con attacchi doppi dei geofoni spazati a 10 m della lunghezza di 100 m, montato su rullo, geofoni verticali "Geospace" a 10 Hz, geofono *starter* con cavo schermato montato su rullo della lunghezza di 100 m, dispositivo di battuta da 18 Kg, piastra di battuta.

15.3 Elaborazione dei dati

Per l'interpretazione dei dati è stato utilizzato il software Intersism 2.0 della geo&soft international. Tale programma è in grado di visualizzare i sismogrammi per la definizione dei tempi di primo arrivo ed il successivo tracciamento delle dromocrone (*travel-time curves*).

Può essere successivamente effettuato il calcolo di velocità e velocità reali, arrivando quindi alla determinazione delle profondità dei vari strati con il metodo dell'intercetta o della distanza critica.

16. CALCOLO DELLE V_{s30}

L'Ordinanza 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri ha introdotto la nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica, che ci adegua allo standard europeo e mondiale. Oltre alle importanti novità relative alle metodologie di calcolo ingegneristico è stata introdotta la classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto in 5 categorie principali (dalla A alla E) a cui ne sono aggiunte altre 2 (S1 ed S2 per le quali sono richiesti studi speciali per definire l'azione sismica da considerare), sulla base del parametro V_{s30} . Questo rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S entro 30m di profondità (al di sotto del piano di fondazione) ed è calcolato mediante la seguente espressione:

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

dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{EPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{EPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{EPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 2: Tab. 3.2.II delle Norme Tecniche delle Costruzioni 2008.

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 3: Tab. 3.2.III delle Norme Tecniche delle Costruzioni 2008 – Categorie aggiuntive del sottosuolo.

Sulla base dei dati acquisiti con le indagini geofisiche precedentemente descritte, si è calcolato il parametro V_{s30} , ovvero la velocità media di propagazione delle onde S entro 30m di profondità; le risultanze, riportate nella tabella sottostante, mostrano valori di V_{s30} compresi tra 198 e 301 m/sec.

Sigla	Ubicazione	Velocità S nei primi 30 metri [m/sec]
033014L1	località Babina	215
033014L2	località Mezzano	227
033014L3	Via Bondiocca	226
033014L4	Via Dante Alighieri	244
033014L5	località Monticelli Santi	232
033014L6	polo commerciale Bennet	294
033014L7	Via Pomello	221
033014L8	vicinanze autostrada A21	216
033014L9	località S. Pietro in Corte	216
033014L10	località Dosso Caselle	212
033014L11	località S. Giuliano	215
033014L12	vicinanze argine Fiume Po	231
033014L13	località S. Giuliano – sud	205
033014L14	C. Colombara al Bosco	213
033014L15	località Croce S. Spirito	258
033014L16	località Morta Inferiore	208
033014L17	Via Bernini	235
033014L18	località Picchetto	215
033014L19	località S. Giuliano	198
033014L20	Via Morta Superiore	301
033014L21	strada statale dei Due Ponti	234
033014L22	Via Cantarana	223
033014L23	località Mezzano	221
033014L24	Via Franco Titani	235

Il territorio indagato del comune di Castelvetro Piacentino, rappresentato dalle aree urbanizzate e di futura urbanizzazione, ricade quindi nella categoria di suolo C.



17. INDAGINE TROMOGRAFICA (HVSr)

Sul territorio di Castelvetro Piacentino sono state monitorate nr. 21 postazioni.

Di seguito viene riportata una breve descrizione del metodo HVSr e dei processi per l'elaborazione delle misure.

17.1 Descrizione del metodo

L'indagine HVSr consente di calcolare la frequenza di risonanza fondamentale del sito investigato.

L'importanza di conoscere la frequenza di risonanza del sito risiede nella necessità di prevedere ed evitare eventuali fenomeni di risonanza tra il suolo e le strutture insistenti durante un terremoto.

Tale informazione, ricercata anche da Nakamura con il metodo HVSr nel 1989, risulta particolarmente preziosa al progettista delle opere civili, in quanto è opportuno dimensionare la struttura e le sue fondazioni in maniera da evitare fenomeni di risonanza tra la struttura e il sito sottostante. Occorre cioè evitare la coincidenza tra le frequenze naturali di vibrazione della struttura (edificio, ponte, torre, opera di sostegno, serbatoi, ecc) e la frequenza di risonanza del sito. Si osservi però che la struttura potrebbe andare in risonanza in corrispondenza di diverse frequenze, corrispondenti ai vari tipi di onde: S, P, Rayleigh (componente orizzontale piuttosto che verticale), Love.

Dato che le strutture sono generalmente più vulnerabili per la componente orizzontale del sisma, piuttosto che per la componente verticale, allora in genere si attribuisce maggiore importanza alla frequenza di risonanza delle onde S verticali.

17.2 Strumentazione e acquisizione

Il Tromometro digitale (Tromino) è costituito da una centralina ed un geofono a tre componenti (velocimetri) per la registrazione dei microtremori ambientali nell'intervallo di frequenze compreso fra 0.1 e 200 Hz.

Tale strumento è inoltre dotato di bussola per orientare l'apparato di registrazione affinché il suo asse maggiore sia parallelo alla direzione N-S (nel caso di misure all'aperto destinate allo studio delle successioni stratigrafiche) oppure parallelo all'asse principale degli edifici (nel caso di misure finalizzate alla stima delle frequenze di risonanza di infrastrutture – DIN4150).



Figura 14: Tromometro digitale: centralina e geofono a tre componenti.

La tecnica, molto rapida ed efficace, è totalmente non invasiva; ciò significa che non necessita di alcun tipo di perforazione e neppure di cavi sismici o sorgenti esterne differenti dal rumore ambientale.



17.3 Elaborazione

I dati acquisiti sono stati elaborati attraverso l'impiego di un software specifico (Geopsy) che consente di analizzare le misure in sito per il calcolo della curva H/V sperimentale e quindi le frequenze di risonanza sperimentali del sito.

Sul grafico del segnale nel dominio del tempo sono visualizzate graficamente le finestre temporali sulle quali il programma Geopsy esegue in automatico l'elaborazione; vengono scartati i transienti più importanti. Al termine dell'elaborazione Geopsy mostra il grafico della curva H/V risultante e colora in modo diverso ogni finestra temporale selezionata.

La curva H/V, detta di ellitticità, rappresenta il rapporto spettrale tra il segnale delle componenti orizzontali e quello della componente verticale.

Nel grafico, la curva nera continua rappresenta il rapporto H/V medio, mentre le curve nere tratteggiate, dette "curve di confidenza", sono il risultato della moltiplicazione (curva superiore) e divisione (curva inferiore) dei valori del rapporto H/V medio per la deviazione standard dei valori delle singole curve H/V.

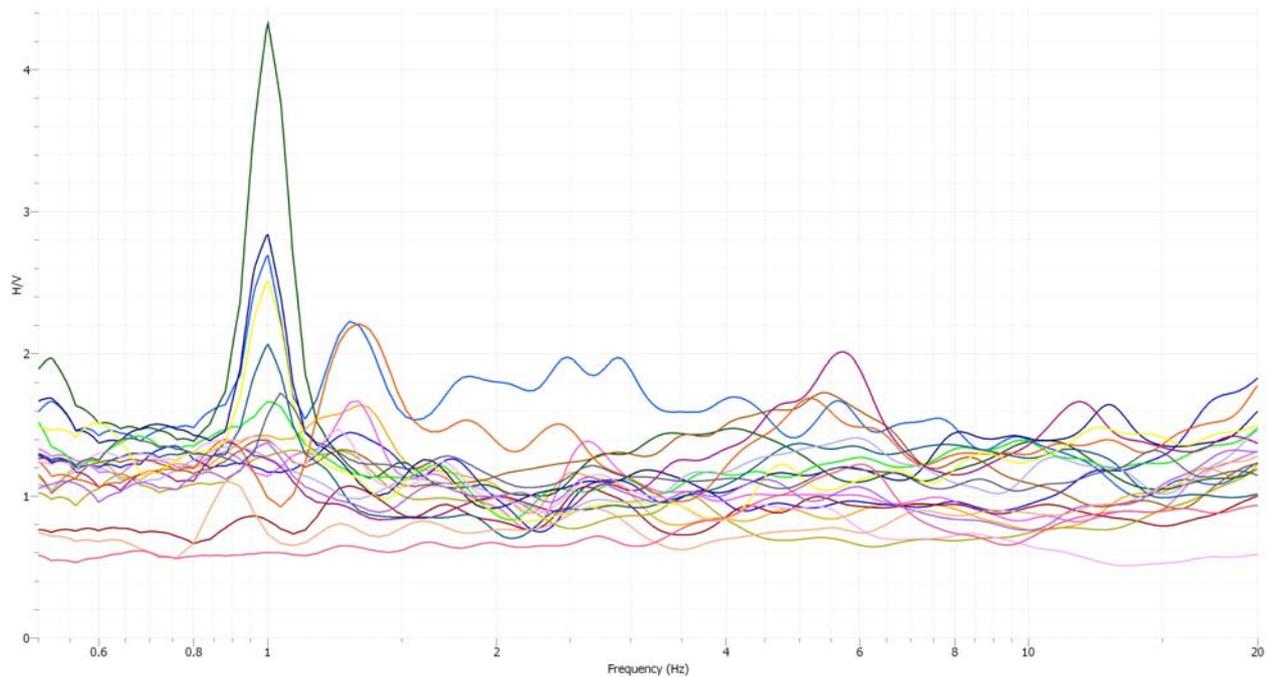
17.4 Analisi delle risultanze

Di seguito si riporta una sintesi delle misure effettuate, comprensive del valore della frequenza fondamentale (f_0) e dell'ampiezza massima del picco di risonanza.

Sigla	Ubicazione	Frequenza fondamentale f_0 [Hz]	Ampiezza picco
033014P47	località Babina	1.004	2.69
033014P48	località Mezzano	1.318	1.65
033014P49	Via Bondiocca	1.288	1.45
033014P50	Via Dante Alighieri	1.272	1.07
033014P51	località Monticelli Santi	5.352	1.74
033014P52	Via Pomello	0.965	1.57
033014P53	vicinanze autostrada A21	0.988	2.78
033014P54	località S. Pietro in Corte	5.644	2.02
033014P55	località Dosso Caselle	0.955	1.81
033014P56	località S. Giuliano	5.384	1.73
033014P57	vicinanze argine Fiume Po	1.326	2.21
033014P58	località Croce S. Spirito	1.235	1.45
033014P59	strada statale dei Due Ponti	0.878	1.10
033014P60	Via Cantarana	0.981	2.40
033014P61	località Mezzano	1.295	1.68
033014P62	Via Franco Titani	0.970	3.80
033014P63	Via Politi	1.041	1.73
033014P64	polo commerciale Bennet	1.080	1.32
033014P65	località Mezzano	0.981	1.35
033014P113	Castelvetro Piacentino	0.650	-
033014P114	S. Pietro in Corte	5.951	1.22

Nell'Allegato 2 sono riportate l'ubicazione del punto di misura, la documentazione fotografica, i grafici del segnale nel dominio del tempo e le curve H/V; i risultati dell'indagine HVSR sono riportati nella Carta delle frequenze (scala 1:5000).

Le indagini hanno mostrato, in linea generale, la presenza di un picco a bassa frequenza (compreso tra 0.65 Hz e 1.32 Hz): si può notare che i valori di frequenza diminuiscono spostandosi da nord (postazione 033014P57) verso sud, con valori inferiori a 1 Hz nella parte meridionale dell'abitato di Castelvetro Piacentino e nella frazione di San Giuliano – Dosso Caselle. Nel settore occidentale del territorio comunale, nelle località di Fogarole e di San Pedretto – S. Pietro in Corte, così come nel settore meridionale della frazione di S. Giuliano, si hanno valori di frequenza pari a circa 5-6 Hz.



Sulla base delle misure determinate sperimentalmente è possibile fornire indicazioni qualitative sull'entità del contrasto di impedenza responsabile del fenomeno di risonanza e una stima di massima degli spessori delle coperture.

Un abaco utile in questo senso è quello fornito da Albarello D. & Castellaro S. (2011) e riportato qui sotto.

F_0 (Hz)	h (m)
<1	>100
1 -2	50-100
2 -3	30-50
3 -5	20-30
5 -8	10-20
8 -20	5-10
>20	<5

Le misure di frequenza di risonanza comprese tra 0.65 Hz e 1.32 Hz indicano quindi la presenza di un contrasto di impedenza a profondità > 100 metri e profondità comprese tra 50 e 100 metri, il che è compatibile con lo scenario geologico di piana alluvionale in cui ricade il Comune di Castelvetro Piacentino.

La frequenza di risonanza pari a 5-6 Hz, che è stata registrata su alcune postazioni di misura, sta ad indicare un contrasto d'impedenza a profondità di circa 15-20 metri.

E' stato possibile ottenere una stima più accurata utilizzando la formula che correla la frequenza di risonanza con la velocità V_s e lo spessore delle coperture:

$$F_{0_sito} = V_s / 4H$$

Considerando che la velocità media V_s è compresa tra 330 e 400 m/sec, possiamo ipotizzare spessori di copertura (H) pari a:

- H = 65-70 m in località Babina e Mezzano Chitantolo nord;
- $70 < H < 80$ m nel settore settentrionale dell'abitato di Castelvetro Piacentino;
- $80 < H \leq 100$ m nel settore meridionale dell'abitato di Castelvetro Piacentino e nella frazione di S. Giuliano nord-est;
- H ~ 15 m in località Fogarole sud-est e nelle frazioni di S. Pedretto e S. Giuliano sud.

Va sottolineato che i risultati prodotti a partire da un'interpretazione semplificata delle misure H/V, hanno carattere statistico e semi-quantitativo e vanno considerati solo previo confronto con le indicazioni derivanti da prove indipendenti (sezioni geologiche di dettaglio, sondaggi geognostici, ecc).

Sulla base dei dati in nostro possesso, è difficile stabilire la natura del contrasto di impedenza per profondità comprese tra 65 e 100 metri dal piano campagna; le cartografie allegare al PTCP (2007) indicano che, nell'area del Comune di Castelvetro Piacentino, il substrato marino si trova a profondità > 100 metri, ma non abbiamo dati sufficienti per riconoscere nei dati acquisiti tale elemento geostatigrafico.

Invece, il contrasto di impedenza evidenziato a profondità di circa 15 metri, nelle frazioni di S. Pedretto e S. Giuliano sud, può essere associato al tetto delle argille limose molto consistenti che vediamo analizzando le stratigrafie ottenute dall'elaborazione delle prove penetrometriche con piezocono (CPTU). In località Fogarole, la stratigrafia si ferma a 15 metri, quindi, in questo caso, il passaggio a litotipi di natura coesiva, molto consistenti, è puramente ipotetico e giustificato dal valore di misura della frequenza di risonanza.

18. SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

Nell'ambito del territorio comunale di Castelvetro Piacentino sono stati presi in considerazione 8 profili di sondaggi a carotaggio continuo che presentano profondità variabili da un minimo di 20 metri ad un massimo di 35 metri.

Il sondaggio a rotazione a carotaggio continuo è realizzato mediante l'utilizzo di sonde perforatrici che utilizzano attrezzature a rotazione idraulica, con carotieri semplici della lunghezza da 150 cm e di diametro esterno pari a 101 mm. La stabilità delle pareti dei fori è stata assicurata mediante l'impiego di rivestimenti metallici provvisori, i quali seguono immediatamente ogni manovra di avanzamento del carotiere, e sono poi estratti e recuperati a fine perforazione.

19. POZZI PER ACQUA

Nel territorio comunale sono disponibili nr. 41 profili stratigrafici che presentano profondità variabili da un minimo di 8 metri ad un massimo di 107 metri.

I pozzi idrici sono generalmente realizzati mediante sonda perforatrice a rotazione o a percussione con distruzione di nucleo. La perforazione viene condotta con l'utilizzo di acqua come fluido di circolazione, con una percentuale di recupero limitata (essendo il nucleo completamente distrutto) ma sufficiente per consentire una ricostruzione stratigrafica del sottosuolo, anche se sommaria.

20. PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA MECCANICA (CPT)

Per la definizione stratigrafica e delle caratteristiche geotecniche del terreno, sono state prese in considerazione nr. 27 prove penetrometriche statiche messe a disposizione dall'Ufficio tecnico del Comune di Castelvetro Piacentino e, ad integrazione dei dati esistenti, sono state eseguite nr. 4 nuove indagini.

20.1 Descrizione del metodo

La prova penetrometrica statica CPT (Cone Penetration Test), che consiste nell'infissione a pressione nel terreno di una punta d'acciaio chiusa di forma conica, ha lo scopo di misurare la forza necessaria alla penetrazione della punta (Q_c) e la forza di attrito laterale tra il terreno ed un manicotto d'acciaio situato al di sopra della punta (Q_s).

La prova penetrometrica statica viene realizzata infiggendo nel terreno, dalla superficie, alla velocità standardizzata di 20 mm/sec, una punta conica collegata ad una batteria di aste. Per determinare separatamente la resistenza alla punta da quella dovuta all'attrito laterale, si agisce su una serie di aste, interne ed indipendenti da quelle principali, che agiscono direttamente solo sulla punta che può penetrare di qualche centimetro prima di trascinare anche le aste esterne.

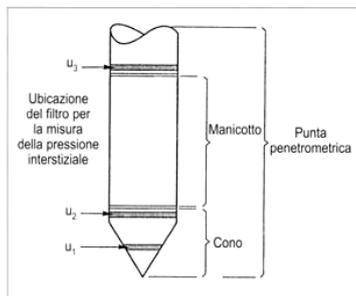


Figura 1. Terminologia di una punta penetrometrica

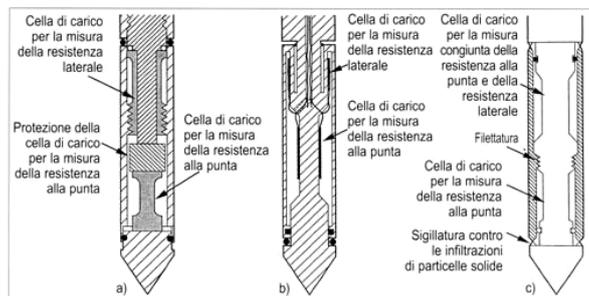


Figura 2. Differenti tipi di punta penetrometrica: a) punta nella quale le celle di carico sono indipendenti e funzionano in compressione, b) punta nella quale la cella per la misura della resistenza alla punta funziona in compressione mentre la cella di carico per la misura della resistenza laterale funziona in tensione, c) punta nella quale la cella di carico per la misura della resistenza laterale, funzionante in compressione, registra la somma della resistenza alla punta più quella laterale

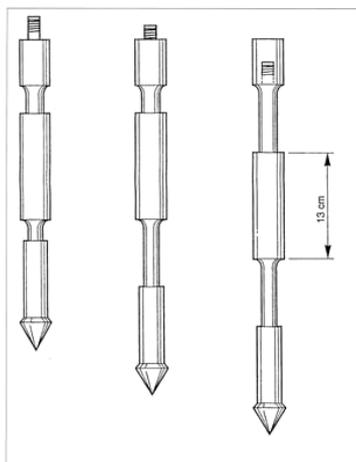


Figura 3. Penetrometro messo a punto da Begemann (Sanglerat, 1972)

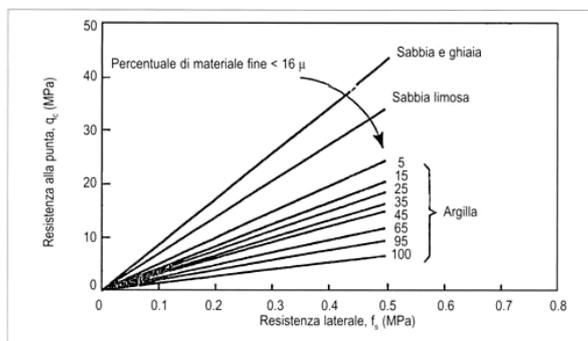


Figura 4. Classificazione dei terreni sulla base della misura della resistenza alla punta e della resistenza laterale (da Begemann, 1965)

Figura 15: Illustrazioni relative alla prova penetrometrica statica (CPT).



La punta meccanica cosiddetta “di Begemann”, dal nome dell'ingegnere che l'ha progettata, è dotata di un manicotto cilindrico, posto sopra la punta. Spingendo sulle aste interne si fa penetrare dapprima la punta (1° lettura); dopo circa 40 mm di penetrazione, viene agganciato anche il manicotto cilindrico e si misura la resistenza alla punta più quella dovuta all'attrito sul manicotto (2° lettura). Per differenza si può ottenere pertanto anche il valore dell'attrito laterale (adesione terreno-acciaio). Spingendo sulle aste esterne, si ricompatta dapprima la punta precedentemente estesa e, insistendo, si può misurare lo sforzo totale necessario per far avanzare la punta, il manicotto e la batteria di aste esterne.

I valori misurati vengono rilevati da una cella di carico che, nel penetrometro Pagani, è elettrica; la cella è collegata ad una unità di acquisizione e trasformazione dei segnali elettrici in sforzi totali o sforzi per unità di superficie.

Le letture vengono eseguite, per praticità, ogni 200 mm di penetrazione.

Le prove penetrometriche statiche costituiscono uno standard ormai consolidato nell'indagine in terreni coesivi come limi e argille e in terreni limoso-sabbiosi. La profondità d'indagine è variabile, dipende dalla resistenza dei terreni incontrati e dalla presenza di orizzonti ghiaiosi e/o litoidi, che ne limitano o ne impediscono l'esecuzione.

I dati acquisiti, oltre a restituire una dettagliata stratigrafia, possono fornire, tramite formule di correlazione, indicazioni su numerosi parametri geotecnici.

20.2 Strumentazione utilizzata

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche statiche (CPT), è stato utilizzato un penetrometro Pagani Tg 63/200 le cui caratteristiche sono riassunte nella tabella seguente:



Figura 16: Penetrometro Pagani Tg 63/200 e caratteristiche tecniche.

21. PROVA PENETROMETRICA CON PIEZOCONO (CPTU)

Ad integrazione dei dati geotecnici messi a disposizione dall'Ufficio tecnico del Comune di Castelvetro Piacentino (nr. 27 CPT + nr. 2 CPTU), si è deciso di eseguire nr. 11 nuove indagini, privilegiando l'utilizzo di un penetrometro dotato di punta elettrica, in quanto consente di meglio discriminare i terreni a scarsa permeabilità e bassa resistenza, oltre a fornire un maggior dettaglio stratigrafico dovuto all'acquisizione in automatico del dato, con una precisione centimetrica all'avanzamento.

21.1 Descrizione del metodo

La prova penetrometrica con piezocono (CPTU) permette di valutare la resistenza meccanica dei terreni e mediante l'utilizzo del piezocono, ovvero una particolare punta elettrica munita anche di un filtro poroso, situato o nel cono o subito dietro la base del cono, consente la misura, senza soluzioni di continuità, durante la penetrazione, della resistenza alla punta (q_c), dell'attrito laterale locale (f_s), e della pressione interstiziale (U) in corrispondenza dell'elemento poroso.

La prova con piezocono viene eseguita con un'attrezzatura per prove penetrometriche statiche nella quale la punta elettrica è strumentata per la misura in forma continua di:

- resistenza alla penetrazione statica (Q_c) della punta conica e resistenza per attrito laterale (F_s);
- pressione idrostatica del terreno, inclusa la sovrappressione indotta dall'avanzamento della punta.

La prova si esegue infiggendo a velocità costante ($V = 2 \text{ cm/s} \pm 0.5 \text{ cm/s}$) nel terreno una punta conica, di dimensioni e caratteristiche standardizzate, tramite un dispositivo di spinta che agisce su una batteria di aste cave, alla cui estremità inferiore è connessa la punta con piezocono.

Il piezocono è una punta penetrometrica elettrica, dotata di un trasduttore di pressione per la misura della pressione interstiziale dei pori, cioè del carico idraulico istantaneo presente nell'intorno della punta.

La pressione indotta dalla punta produce un incremento della pressione interstiziale u , che viene dissipata più o meno rapidamente secondo la permeabilità degli strati.

La pressione dell'acqua interstiziale del terreno viene trasmessa al trasduttore attraverso un filtro opportunamente saturato e disareato, che è posto tra la base dell'estremità conica della punta ed il manicotto di attrito. Il range di misura del trasduttore di pressione va da 0 a 2000 kPa.

I dati delle resistenze alla punta, al manicotto laterale, della pressione dei pori e dell'inclinazione della punta vengono registrati dal computer di pilotaggio della prova e successivamente elaborati.

21.2 Strumentazione utilizzata



Figura 17-18: Penetrometro Pagani utilizzato per le prove penetrometriche con piezocono (CPTU) e particolare.

Le attrezzature previste per l'esecuzione della prova sono le seguenti:

Dispositivo di spinta

Martinetto idraulico in grado di esercitare sulla batteria di aste cave la spinta pari a $10\div 20$ t.

La corsa è pari a 1 metro. La velocità di infissione della batteria di aste è di 2 cm/s ($\pm 0.5\text{ cm/s}$), costante nel corso della prova, indipendentemente dalla resistenza offerta dal terreno.

Il dispositivo di spinta viene ancorato e/o zavorrato in modo tale da poter usufruire per intero della propria capacità di spinta totale.

Piezocono

Il parametro $u + \Delta u$ (pressione neutra + sovrappressione interstiziale indotta) viene misurato con filtro poroso intercambiabile, posto preferibilmente alla base del cono. La punta di tipo elettrico è strumentata con celle di carico estensimetriche con i seguenti fondo scala:

- 5000 kg. per Q_c ;
- 750 kg. per F_s .

La punta sarà dotata di sensore inclinometrico per la misura della deviazione dalla verticale.

Il trasduttore di pressione deve essere a piccola variazione di volume, con fondo scala proporzionale alla pressione idrostatica prevedibile alla quota di fine prova prevista in programma; la misurazione della pressione deve avvenire in forma continua.

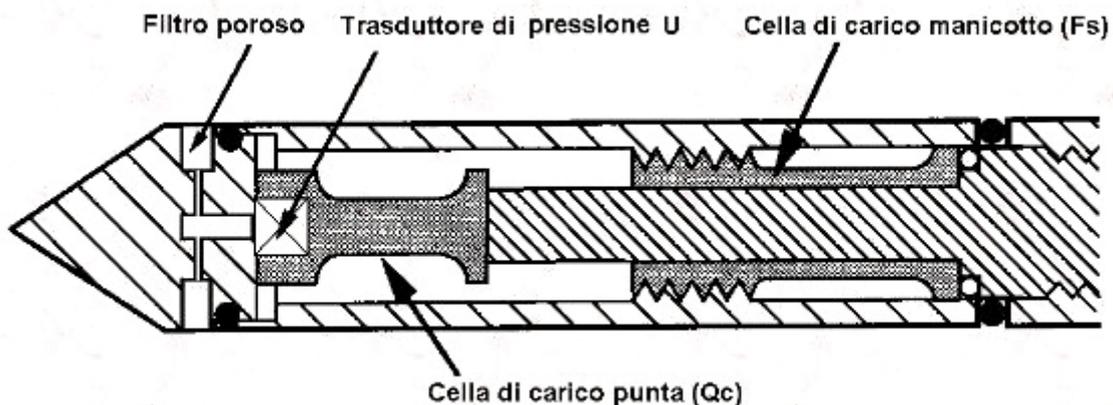


Figura 19: Schema della punta montata dal penetrometro.

Dispositivo di misura

Oltre alle celle di carico estensimetriche della punta, sono previsti:

- centralina elettronica per la ricezione e la trasmissione dei dati;
- registratore grafico di Q_c , F_s , $u + \Delta u$;
- visore per la lettura istantanea dei valori delle grandezze misurate, in forma digitale;
- registratore su nastro magnetico dei dati misurati;
- sincronizzatore della velocità di avanzamento punta/registratore grafico.

I dati acquisiti con le nuove prove sono stati elaborati con il programma CPeT-IT v.1.6 della Geologismiki Geitechnical Software. Tale programma permette una facile interpretazione dei dati acquisiti con le prove ed esegue interpretazioni sulla base delle condizioni di comportamento del suolo (SBT: Soil Behaviour Type) e vari altri parametri geotecnici basati sulle correlazioni pubblicate da Lunne, Robertson and Powell (1997) e i più recenti aggiornamenti del professor Robertson.

21.3 Modello del sottosuolo

Le indagini geognostiche sono state analizzate allo scopo di definire l'andamento stratigrafico e le proprietà fisico – meccaniche del terreno del territorio comunale.

Le indagini eseguite, unitamente ai dati bibliografici in nostro possesso, hanno mostrato una situazione litologica uniforme caratterizzata da n. 4 unità con proprietà geomeccaniche relativamente omogenee.

Nel dettaglio è stata riconosciuta la seguente stratigrafia schematica:

- **Unità A** è caratterizzata da un'argilla limosa da mediamente a molto consistente, caratterizzata da una resistenza media alla punta Q_c compresa tra 1.6 e 3.4 MPa. Lo spessore varia da 1 a 7 metri dal p.c.: lo spessore minimo si ha in corrispondenza del sondaggio 033014P41, mentre lo spessore massimo si ha lungo la verticale di prova 033014P6 (località Fornace). Spostandosi da nord verso sud, dalla località Croce S. Spirito fino alla frazione di S. Giuliano, tale unità si arricchisce nella componente argillosa, per quanto riguarda i primi 2 metri circa.

- **Unità B** si tratta di sabbie e sabbie limose, mediamente addensate, caratterizzate da una resistenza media alla punta Q_c compresa tra 6.6 e 10.5 MPa; lo spessore è minimo (11 metri) in località S. Pietro in Corte (033014P9) ed è massimo (25 metri) in località Picchetto (033014P71). Localmente, all'interno dell'unità B, si possono trovare corpi costituiti da sabbie ghiaiose ($Q_c = 33 - 42$ MPa) e/o ghiaie (\emptyset max = 4 cm) in matrice sabbiosa.

- **Unità C** lungo alcune verticali di prova, a profondità comprese tra 15.5 e 18.5 metri dal p.c., si è riscontrata la presenza di argille e argille limose, da mediamente a molto consistenti, con valori di resistenza media alla punta Q_c compresa tra 1.5 e 2.1 MPa.
- **Unità D** in località Picchetto, in corrispondenza dei sondaggi 033014P70 e 033014P71, a profondità di 30 metri circa dal p.c., si hanno ghiaie eterogenee ed eterometriche in matrice sabbiosa, satura.

Di seguito sono sintetizzate le caratteristiche delle n. 4 unità:

Unità	Descrizione	Profondità (m)	Q_c (MPa)
A	argilla limosa	p.c. – 1-7	1.6 – 3.4
B	sabbie/sabbie limose	1-7 – 15-30	6.6 – 10.5
C	argille/argille limose	15-18 – n.d.	1.5 – 2.1
D	ghiaie	30 – n.d.	n.d.

Nelle Figure 20-21 sono riportate n. 2 sezioni litostratigrafiche che ci permettono di osservare i rapporti stratigrafici tra le quattro unità sopra descritte, gli spessori e le variazioni laterali delle stesse. Le sezioni interpretative sono state redatte sulla base dei dati geognostici acquisiti (CPTU; CPT) attraverso la campagna di indagini e i dati pregressi (CPT; sondaggi).



— Traccia delle sezioni litostratigrafiche

LEGENDA SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE



Sabbie limose, miscela di sabbia e limo



Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose



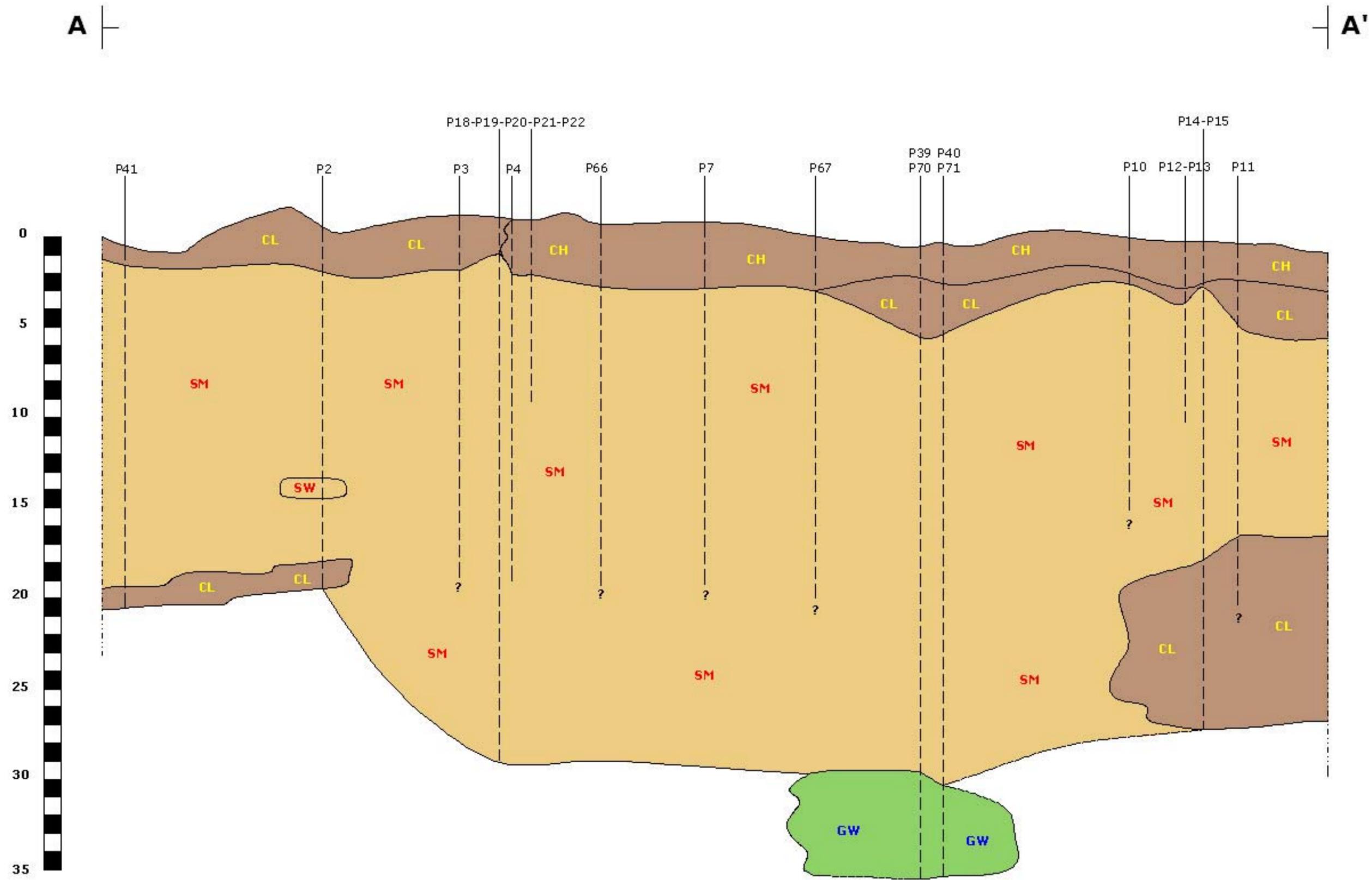
Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre

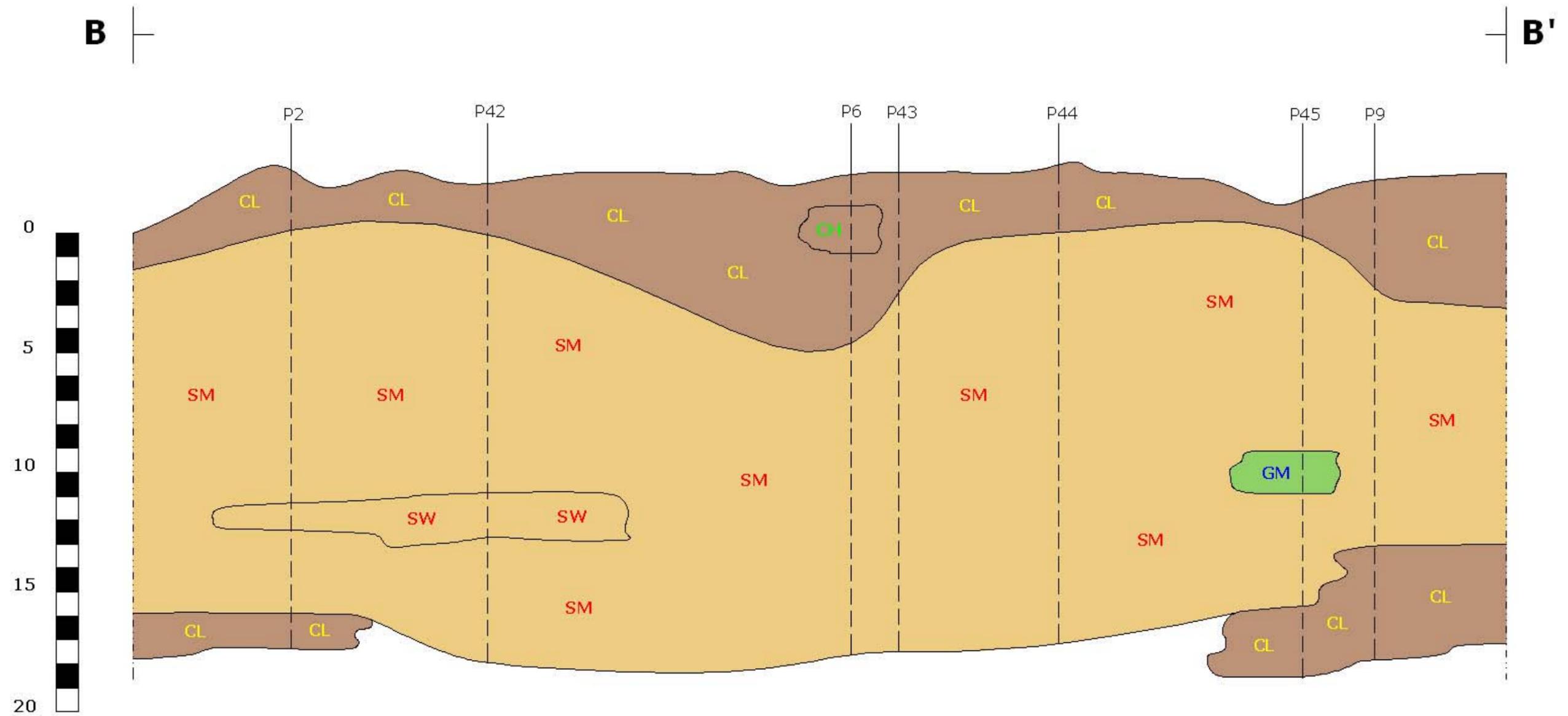


Argille inorganiche di alta plasticità, argille grasse

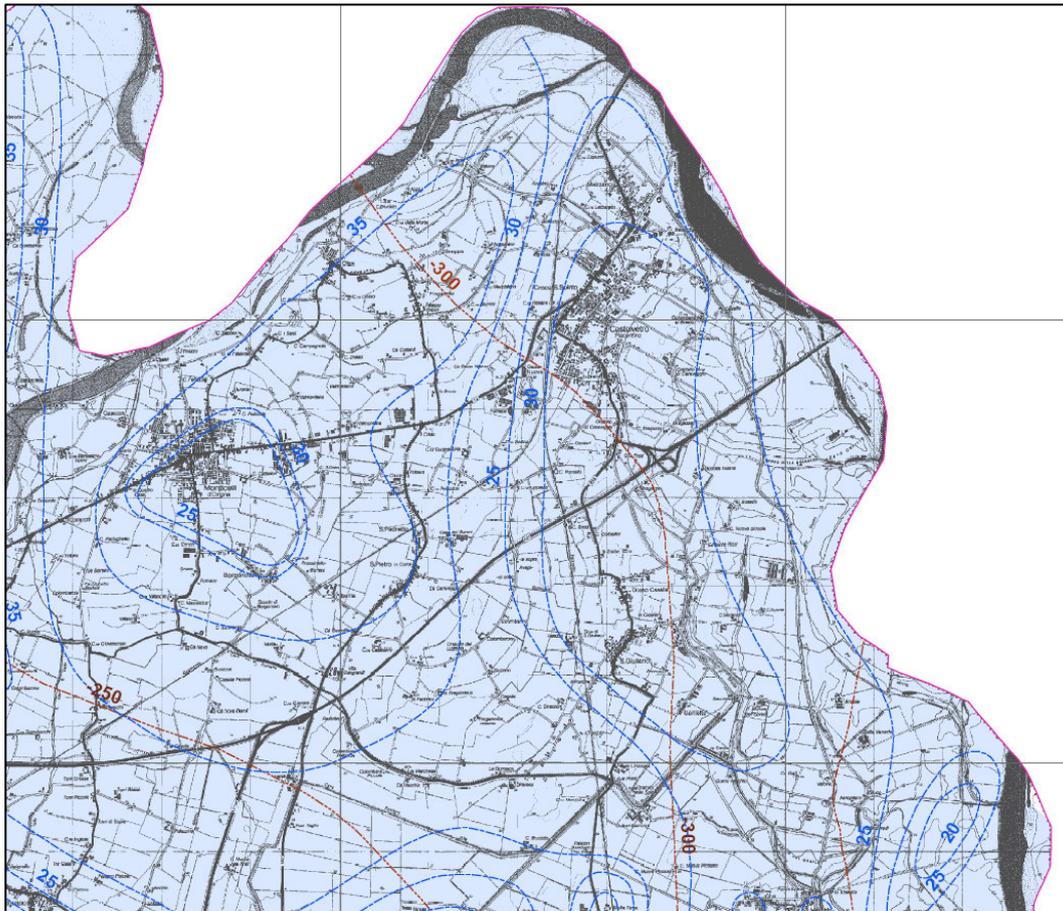


Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo





I depositi quaternari continentali, sopra descritti, si estendono fino a 350-400 metri dal p.c., profondità alla quale si trova il tetto dei depositi marini. Tale informazione si ricava sia dagli allegati cartografici del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP 2007) sia dalle stratigrafie di pozzo compilate dall'AGIP – Servizio geologico del sottosuolo negli anni Sessanta.



Tetto dei depositi marini - Base dei depositi continentali

- Base dei depositi alluvionali (*metri rispetto al livello del mare*)
derivato da: base del Gruppo Acquifero B dello Studio
"Riserve Idriche Sotterranee" della Regione Emilia-Romagna – 1998

Figura 22: Estratto da Allegato B1.5 (T) Dati utili per la valutazione della pericolosità sismica locale. Settore di pianura. (PTCP 2007).

La base dei depositi continentali corrisponde alla profondità del limite basale del Gruppo Acquifero B e al passaggio al Supersistema del Quaternario Marino, sede del Gruppo Acquifero C. Tali rapporti stratigrafici possono essere apprezzati nella sezione sotto riportata (stralcio della sezione geologica e idrostratigrafica n. 9 contenuta nella pubblicazione Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna).

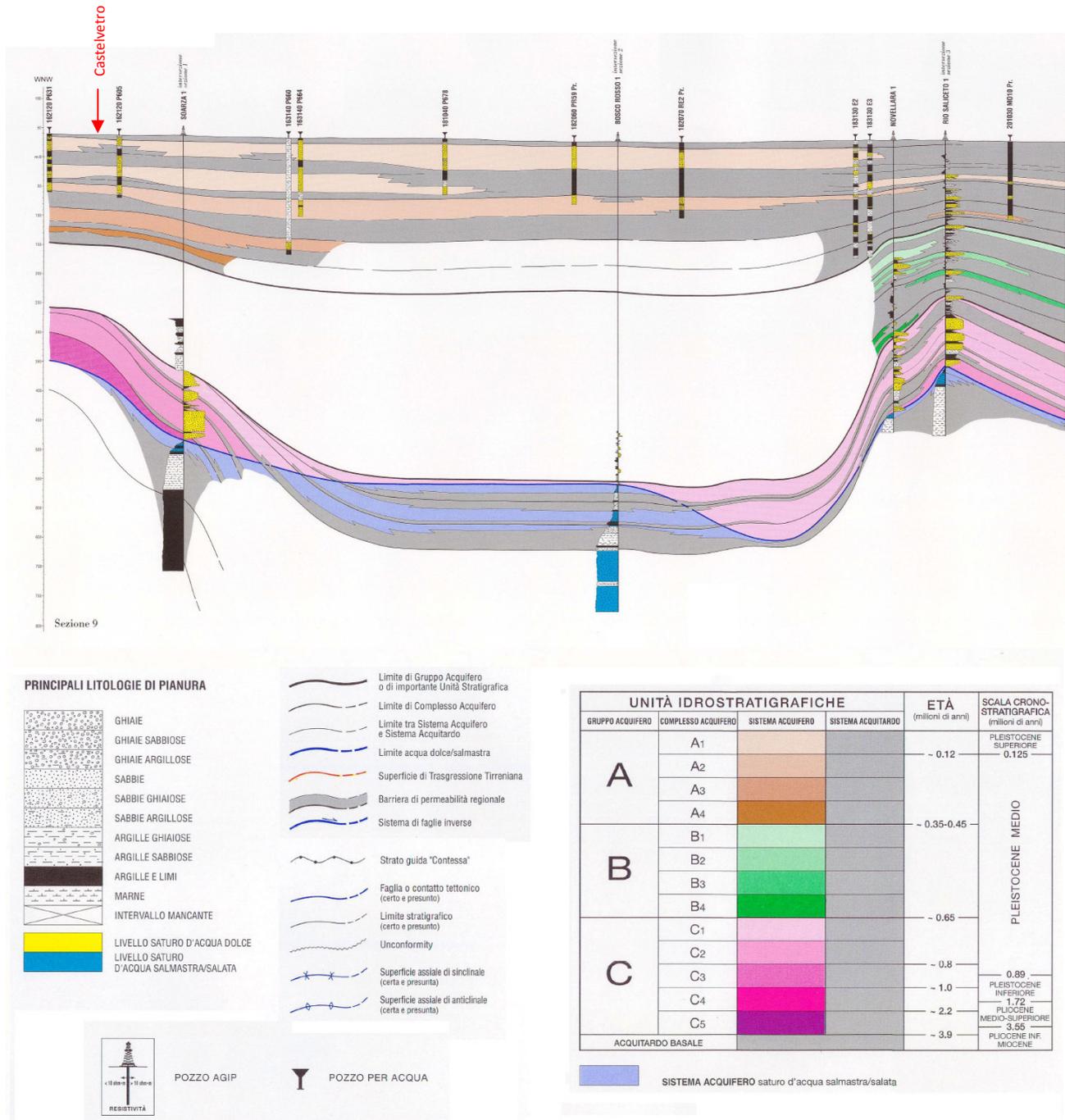


Figura 23: Stralcio della sezione geologica e idrostratigrafica 9 (da Riserve idriche sotterranee della Regione E-R).

22. VERIFICHE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

22.1 Premessa e riferimenti normativi

Il fenomeno della liquefazione interessa depositi sabbiosi e sabbioso – limosi saturi che durante e immediatamente dopo una sollecitazione di tipo ciclico subiscono una drastica riduzione della resistenza al taglio, a seguito della quale le condizioni di stabilità non sono più garantite e la massa di terreno interessata dal fenomeno comincia ad assestarsi fino a che la nuova configurazione del terreno non è compatibile con la diminuita resistenza al taglio. I parametri che governano il fenomeno sono rappresentati in generale da:

- condizioni di drenaggio e grado di saturazione del deposito;
- granulometria del deposito;
- stato di addensamento;
- intensità, forma spettrale e durata delle sollecitazioni cicliche;
- stato tensionale iniziale;
- storia tensionale e deformativa del deposito;
- fenomeni di aging.

Durante un evento sismico vengono indotte nel terreno sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la tensione geostatica rimane invariata. In seguito a sollecitazioni cicliche, la struttura granulare del terreno tende a diventare più compatta, ma essendo molto più compressibile dell'acqua, la sollecitazione viene trasmessa all'acqua interstiziale. Se l'incremento della pressione interstiziale è tale da raggiungere il valore della tensione geostatica di confinamento, il terreno inizia a subire deformazioni, la cui entità dipende essenzialmente dal suo grado di addensamento.

Se il terreno ha una modesta densità relativa la pressione interstiziale aumenterà molto rapidamente fino a valori prossimi a quelli della tensione geostatica di confinamento e il terreno comincerà a subire grosse deformazioni, con totale annullamento della resistenza a taglio. Diversamente, se il terreno è addensato, esso potrà avere alla fine dei cicli di carico una pressione interstiziale pari alla tensione geostatica di confinamento ma, poiché i terreni addensati si deformano con aumento di volume per il fenomeno della dilatanza, la pressione interstiziale subirà una brusca caduta e il terreno riuscirà a sviluppare una resistenza a taglio sufficiente a sostenere le sollecitazioni applicate.

Poiché la tensione geostatica aumenta con la profondità mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce, ne consegue che la resistenza alla liquefazione di un terreno cresce con la profondità.

Numerose evidenze sperimentali dimostrano infatti che il fenomeno della liquefazione può generarsi fino a profondità massime di circa 20 m.

Occorre inoltre considerare che il terreno può essere soggetto a sforzi di taglio statici dovuti alla presenza di strutture in superficie; in tali condizioni l'innescò del fenomeno della liquefazione è condizionato anche dal rapporto tra le tensioni di taglio indotte dalla sollecitazione sismica e quelle statiche preesistenti.

La resistenza alla liquefazione è infine influenzata dall'entità dei legami intergranulari e di cementazione connessi a fenomeni di *aging* che si sviluppano nel tempo. Inoltre la struttura di un deposito antico è in genere più stabile per gli effetti di ripetute sollecitazioni cicliche subite nel tempo che, qualora non abbiano dato luogo a fenomeni di liquefazione, avranno prodotto un significativo incremento della resistenza a taglio ciclica.

Il DM 14.01.2008 (paragrafo 7.11.3.4) e successiva Circolare esplicativa n. 617/2009 (paragrafo C7.11.3.4) impongono che sia valutata la stabilità nei confronti della liquefazione mediante il ricorso a metodologie analitiche o a carattere semiempirico. Tali verifiche, secondo le NTC 2008, devono essere condotte tutte le volte che il manufatto in progetto interagisce con terreni saturi a prevalente componente sabbiosa ed in presenza, ovviamente, di sollecitazioni cicliche e dinamiche per le quali il sottosuolo tende a comportarsi come un sistema idraulicamente chiuso, ovvero come un sistema non drenato; nel contempo, al fine di facilitare le procedure di analisi, al paragrafo 7.11.3.4.2 è ribadito che tali analisi possono essere omesse in presenza dei seguenti casi:

- eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizione di campo libero) inferiori a 0.1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano di campagna, quest'ultimo inteso ad andamento sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $N_{1,60} > 30$;
- elevata presenza, nel fuso granulometrico, di terreni a componente fine (limi e argille) o di ghiaie.

22.2 Analisi numeriche – impostazione metodologica

Nell'ambito dello studio di microzonazione di II livello è stato espletato un approfondimento relativamente alle verifiche quantitative della propensione alla liquefazione e dei cedimenti potenziali indotti da sisma, valutati utilizzando correlazioni empiriche basate sui risultati delle prove CPTU.

Esperienze e raffronti diretti dimostrano come l'applicazione di tali correlazioni a dati ottenuti da prove penetrometriche con punta meccanica porti a risultati a volte sensibilmente differenti ed in genere ad una sottostima dell'indice del potenziale di liquefazione PL (Veronese e Romagnoli, 2014).

Per tale motivo, si è deciso di eseguire il calcolo esclusivamente sulle verticali indagate con prove penetrometriche con punta elettrica (CPTU), ritenute maggiormente affidabili da questo punto di vista.

Al fine di valutare la reale entità dei potenziali fenomeni di liquefazione, nell'area in esame, si è utilizzato il metodo semplificato di Robertson e Wride (1998), che prende in considerazione i risultati delle prove penetrometriche realizzate nell'area di studio.

22.2.1 Metodo di Robertson e Wride (1998) modificato

Il metodo di Robertson e Wride (1998), è stato recentemente aggiornato dallo stesso Robertson (2009; 2010) per la valutazione della liquefazione e delle condizioni di "cyclic softening" dei sedimenti poco coesivi, sulla base dei concetti descritti da Boulanger e Idriss (2004-2007). Il metodo di Robertson e Wride modificato prevede una nuova procedura di normalizzazione delle tensioni ed evita la necessità di correzione K_c . Il metodo è stato esteso per includere anche i terreni argillosi e a comportamento simile a quelli argillosi ("clay-like-soil"). L'estensione della verifica nella zona argillosa evita, inoltre, la necessità di un limite di I_c nella carta SBTn per separare terreni sabbiosi da quelli a comportamento argilloso.

Il metodo di Robertson e Wride (1998; 2009; 2010) si basa sulle prove geotecniche eseguite nell'area in esame e sulla valutazione, ad ogni quota z del deposito, compresa nei primi 20 metri, del coefficiente di sicurezza, FSL .

$$FSL = (CRR/CSR)$$

La resistenza alla liquefazione dei terreni è espressa in termini di rapporto tra la resistenza ciclica CRR e lo sforzo di taglio ciclico, generato dalla sollecitazione sismica, espresso in termini di rapporto di sollecitazione ciclica CSR .

Il metodo di Robertson e Wride utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo I_c che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_c = \left[(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2 \right]^{0.5}$$

$$Q = \left[\frac{(q_c - \sigma_{v0})}{p_a} \right] \cdot \left[\left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n \right]$$

$$F = \left[\frac{f_s}{(q_c - \sigma_{v0})} \right] \cdot 100\%$$

q_c : resistenza alla punta misurata

σ_{v0} : tensione geostatica totale alla profondità considerata

σ'_{v0} : tensione geostatica efficace alla profondità considerata

p_a : tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di σ'_{v0}

f_s : attrito del manicotto

n : esponente che dipende della granulometria del terreno.

Inizialmente si assume $n = 1$, come per un suolo argilloso e si procede al calcolo di I_c .

Se il valore di I_c calcolato con $n = 1.0$ è superiore al valore di soglia di 2.6 il terreno è probabilmente di natura argillosa e l'analisi si ferma dato che il terreno non è liquefacibile.

Se invece il valore calcolato di I_c è minore di 2.6 il terreno è di natura granulare e quindi l'ipotesi assunta è errata e I_c deve essere ricalcolato nuovamente, assumendo, questa volta, $n = 0.5$.

Nel caso in cui il nuovo valore di I_c risulti inferiore a 2.6 il terreno è classificabile come granulare non plastico ed il valore di così I_c calcolato è da considerarsi corretto.

Se il valore di I_c ricalcolato è superiore a 2.6 il terreno è da considerarsi limoso e plastico. In questo caso I_c viene ricalcolato usando un esponente $n = 0.75$.

Sulla base dei valori finali di I_c è possibile classificare i terreni indagati in accordo alla seguente tabella:

Indice di terreno (I_c)	Classe di terreno
$I_c \leq 1.31$	sabbia ghiaiosa e sabbia addensata
$1.31 < I_c \leq 2.05$	da sabbia a sabbia limosa
$2.05 < I_c \leq 2.60$	da sabbia limosa a limo sabbioso
$2.60 < I_c \leq 2.95$	da limo argilloso ad argilla limosa
$2.95 < I_c \leq 3.60$	da argilla limosa ad argilla
$I_c > 3.60$	terreni organici: torbe

Il valore di I_c pari a 2.6 costituisce la soglia che separa i terreni potenzialmente liquefacibili dai terreni non liquefacibili per i quali l'analisi può considerarsi conclusa.

Per i terreni potenzialmente liquefacibili si calcola quindi la resistenza alla penetrazione normalizzata, a mezzo delle seguenti relazioni:

$$q_{c1N} = C_Q \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \quad C_Q = \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

q_c : resistenza alla punta misurata

p_a : tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di σ'_{v0}

n : esponente funzione della granulometria del terreno (si utilizza lo stesso del calcolo di I_c)

σ'_{v0} = tensione geostatica efficace alla profondità considerata

La correzione alla resistenza alla punta, dovuta al contenuto di materiale fine, viene valutata con la seguente relazione:

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c * q_{c1N}$$

dove il fattore correttivo K_c è definito sulla base delle seguenti relazioni:

$$K_c = 1.0 \text{ per } I_c \leq 1.64$$

$$K_c = -0.403 I_c^4 + 5.581 I_c^3 - 21.63 I_c^2 + 33.75 I_c - 17.88 \quad \text{per } I_c > 1.64$$

A partire dai valori di $(q_{c1N})_{cs}$ si determina quindi il rapporto di resistenza ciclica per eventi di magnitudo pari a 7.5, sulla base delle seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} CRR(7.5) &= 0.833 [(q_{c1N})_{cs}/1000] + 0.05 && \text{per } (q_{c1N})_{cs} < 50 \\ CRR(7.5) &= 93 [(q_{c1N})_{cs}/1000] + 0.08 && \text{per } (q_{c1N})_{cs} \geq 50 \end{aligned}$$

Il valore di $CRR(7.5)$ viene poi scalato in funzione della magnitudo dell'evento sismico atteso in base alle seguenti relazioni:

$$CRR = CRR(7.5) * MSF$$

con MSF (fattore di scala per la magnitudo) calcolato come segue:

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}} \quad (\text{Idriss, 1990}) \quad \text{per } M > 7.5$$

per valori di $M < 7.5$ il fattore correttivo MSF si ricava come media tra il valore ottenuto con la precedente relazione ed il valore ottenuto con la seguente relazione:

$$MSF = \left(\frac{M}{7.5} \right)^{-3.3} \quad (\text{Andrus \& Stokoe, 1997})$$

I valori del rapporto di resistenza ciclica CRR vanno confrontati con i valori del rapporto di sollecitazione ciclica generati dal sisma di progetto CRS determinati con la seguente relazione:

$$CSR = 0.65 (a_{max}/g) (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo}) r_d \quad (\text{Seed \& Idriss, 1971})$$

a_{max} = accelerazione massima di progetto

σ_{vo} = tensione geostatica totale alla profondità considerata

σ'_{vo} = tensione geostatica efficace alla profondità considerata

r_d = fattore di riduzione dello sforzo

Il valore di riduzione dello sforzo r_d viene calcolato mediante la seguente procedura:

$$r_d = 1 - 0.00765z \quad \text{se } z < 9.15$$
$$r_d = 1.174 - 0.00267z \quad \text{se } 9.15 < z < 23$$

z = profondità [m]

I valori di CSR e di CRR determinati consentono il calcolo del fattore di sicurezza alla liquefazione FSL che permette l'immediata individuazione dei livelli di terreno realmente soggetti a liquefazione nelle ipotesi di calcolo considerate. Dal momento che la metodologia di calcolo adottata comporta il calcolo di valori puntuali di FSL , al fine di determinare le condizioni di sicurezza del sito e le possibili ripercussioni in superficie dei singoli livelli di terreno soggetti a liquefazione occorre tener conto anche dello spessore dei singoli livelli e della loro distanza dalla superficie libera superiore.

A tale proposito si calcola un potenziale di liquefazione PL in accordo alla seguente relazione:

$$PL = \sum F_{(z)} w_{(z)} h_i \quad (\text{Iwasaki et al., 1982})$$

$F(z)$ = funzione del fattore di sicurezza alla liquefazione FSL

$w(z)$ = funzione della profondità;

h_i = spessore dello strato considerato

Il valore di $F(z)$ risulta pari a:

$$F(z) = 0 \quad \text{per } FSL \geq 1$$

$$F(z) = 1 - FSL \quad \text{per } FSL < 1$$

mentre la funzione di profondità $w(z)$ si calcola in accordo alla:

$$w(z) = 10 - 0.5z \quad \text{con } z = \text{profondità [m]}$$



La sommatoria va estesa fino alla profondità di 20 m, oltre la quale il fenomeno di liquefazione può essere escluso.

Il valore di PL può variare tra 0 e 100, e sulla base del suo valore si può stabilire l'entità del rischio di liquefazione secondo la seguente tabella:

<i>PL</i>	<i>Rischio di liquefazione</i>
0	nullo
$0 < PL \leq 5$	basso
$5 < PL \leq 15$	alto
$PL > 15$	molto alto

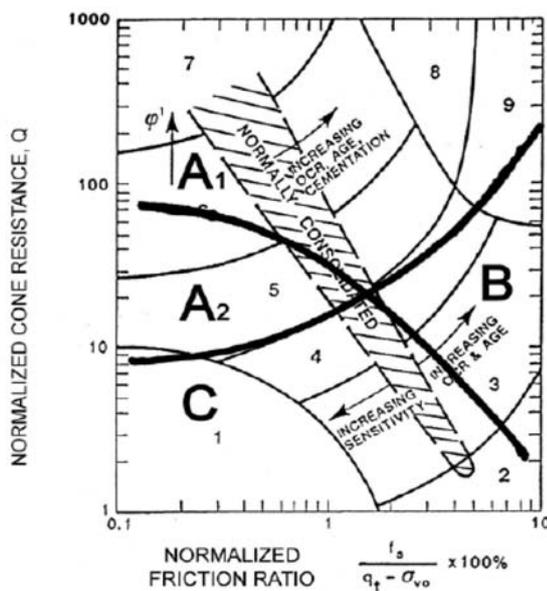
Il valore di $PL = 5$ rappresenta la soglia oltre la quale il fenomeno della liquefazione risulta significativo ai fini ingegneristici.

22.2.2 Procedimento e risultati della verifica

Si è proceduto al calcolo automatico della liquefacibilità e dei cedimenti post sisma con il software “CLiq”, sviluppato dalla Geologismiki Geotechnical Software (versione 1.7.6.49) in collaborazione con lo stesso P.K. Roberson, utilizzando i seguenti dati di input di pericolosità sismica:

1. magnitudo del terremoto $M_W = 6,14$
2. $a_{\max} \text{ suolo} = a_g * S_s * S_T = 0,126$
3. come condizioni idrogeologiche pre – sisma si sono considerate le quote d'acqua del freatico (soggiacenza compresa tra 2 e 6.8 m dal p.c.), mentre come condizioni in caso di sisma si è imposta, a titolo cautelativo, una soggiacenza della quota piezometrica al tetto dell'unità B (sabbie e sabbie limose).

Per la valutazione della liquefacibilità si è proceduto alla verifica basata sulla classificazione di comportamento di tutti i terreni proposta da Robertson (1990; 2009).



Cohesionless soils (A₁ & A₂) - Evaluate potential behavior using CPT-based case-history liquefaction correlations.

A₁ Cyclic liquefaction possible depending on level and duration of cyclic loading.

A₂ Cyclic liquefaction and post earthquake strength loss possible depending on loading and ground geometry.

Cohesive soils (B & C) - Evaluate potential behavior based on in-situ or laboratory test measurements or estimates of monotonic and cyclic undrained shear strengths.

B Cyclic softening possible depending on level and duration of cyclic loading.

C Cyclic softening and post earthquake strength loss possible depending on soil sensitivity, loading and ground geometry.

La figura sopra riportata propone il diagramma (Q_n-F) di classificazione nel quale si distinguono le zone di potenziale liquefazione e/o di “cyclic softening”: le zone “A1” e “A2” corrispondono ai sedimenti poco coesivi o a comportamento granulare e suscettibili di liquefazione ciclica, in particolare i sedimenti che ricadono nella zona “A2” risultano più suscettibili a perdite anche significative di resistenza in caso di sisma.

Le zone “B” e “C” corrispondono invece ai terreni coesivi e a comportamento argilloso, per i quali è opportuno utilizzare procedure dirette che consentano di valutare la resistenza al taglio non drenata nei casi limite (es. $c_u < 70$ kPa).

I sedimenti ricadenti nelle zone “B” e “C” sono entrambi suscettibili a “cyclic softening”, in particolare i sedimenti meno consistenti in zona “C” risultano più sensibili a perdite di resistenza sottoposte a impulsi ciclici e dunque a cedimenti post-sisma. Limi sciolti, non plastici e saturi spesso cadono nella zona C, tuttavia, il loro CRR è fortemente controllato dalla coesione non drenata: in questo caso sarebbe opportuno prelevare campioni per determinare limiti di Atterberg e contenuto d'acqua.

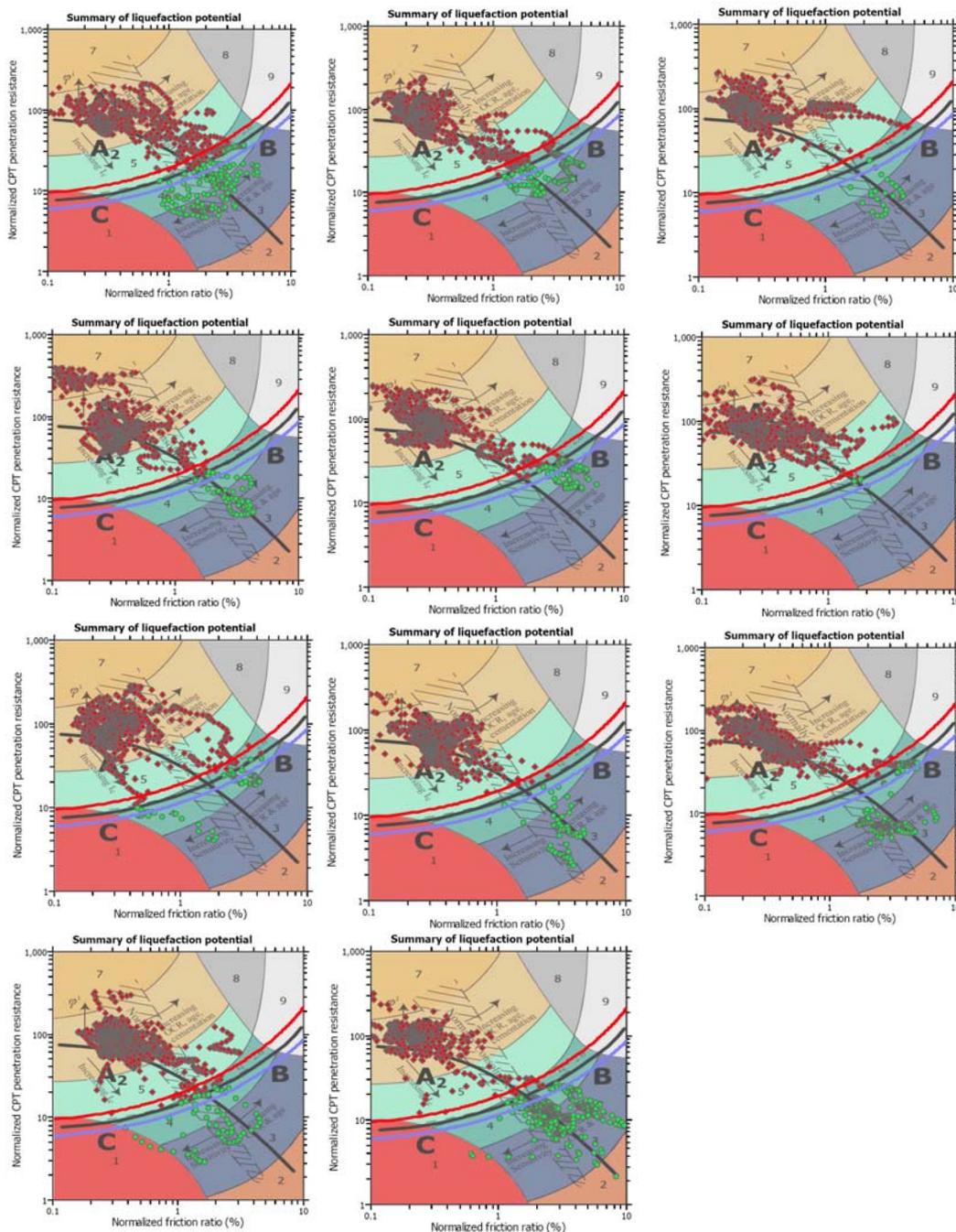


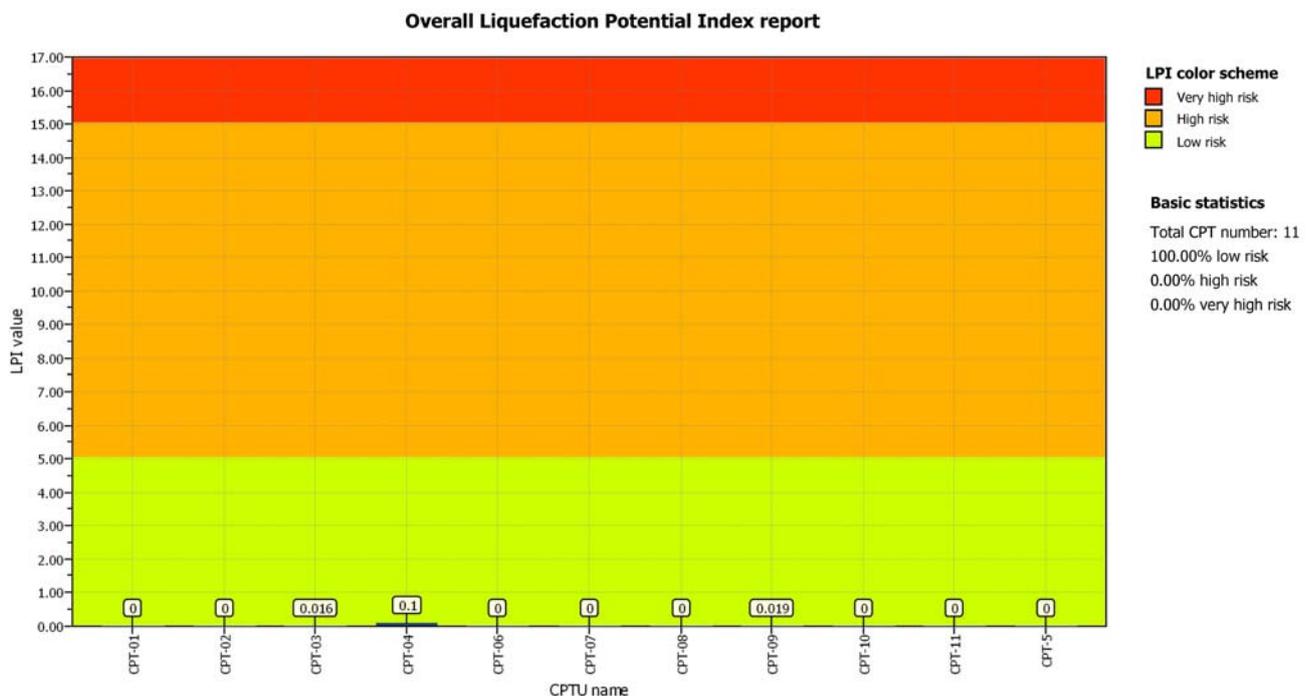
Figura 24: Diagrammi Qtn-F relativi alle prove penetrometriche con punta elettrica (CPTU).

Dal plottaggio dei parametri riferiti alle nr. 11 prove penetrometriche con punta elettrica (CPTU) sul diagramma Qtn-F (Figura 24), i terreni attraversati dalle indagini, risultando prevalentemente sabbioso-limosi e sabbiosi, ricadono in modo preponderante nel campo "A1".

Pur trattandosi di materiali in prevalenza granulari (sabbie – sabbie limose mediamente addensate), attraverso il calcolo del fattore di sicurezza FS, non si riscontrano tuttavia effetti di liquefacibilità significativi, in relazione alle caratteristiche geotecniche dei depositi in questione.

Lungo le verticali di prova CPTU3, CPTU4 e CPTU9 sono stati rilevati livelli decimetrici (< 1 m) all'interno dell'unità sabbioso – limosa (unità B) con scarsi effetti di liquefazione. Per tale motivo, si è deciso di non riportare tale informazione sulla cartografia delle aree suscettibili di effetti locali, in quanto ininfluyente a scala comunale.

L'indice del potenziale di liquefazione (PL) risulta sempre prossimo a 0 ad indicare un rischio basso/nulla.



Per quanto riguarda i cedimenti, è stato constatato che, in riferimento alle verticali di prova considerate, si hanno spostamenti verticali (potenziali) sempre inferiori a 0.5 cm.

23. CARATTERIZZAZIONE SEMI-QUANTITATIVA DEGLI EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE

La procedura per la caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti d'amplificazione consiste nella stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (F_a); lo studio di microzonazione di II livello nel Comune di Castelvetro Piacentino è stato condotto con metodi quantitativi semplificati, basati, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologico, su prove geofisiche in sito e su prove geotecniche di tipo standard.

L'analisi semplificata del secondo livello prevede la valutazione dei fattori di amplificazione F_a sulla base delle velocità medie delle onde di taglio nei primi 30 metri dalla superficie (V_{s30}), calcolate secondo la seguente formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^M h_i / V_{s_i}}$$

dove M è il numero di strati del profilo sismico fino alla profondità di 30 m, h_i = spessore (in m) dello strato i -esimo (fino alla profondità di 30 m), V_{s_i} = velocità (in m/s) dello strato i -esimo (fino alla profondità di 30 m).

La Delibera Regionale 112/2007, per un'analisi semplificata di secondo livello, propone l'utilizzo di una serie di tabelle di carattere empirico che mettono in relazione i valori di V_{s30} con i fattori di amplificazione. Le varie Tabelle rispecchiano situazioni geologiche tipiche del territorio regionale, tra le quali occorre scegliere quella che meglio corrisponde alle caratteristiche dell'area di studio.

I fattori stimati esprimono l'amplificazione del moto sismico al passaggio dal *bedrock* alla superficie. Essi sono espressi in termini di due parametri rappresentativi dello scuotimento sismico. Il primo è l'accelerazione di picco orizzontale (PGA), il secondo è l'intensità spettrale, così definita:

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

dove PSV è il pseudospettro di risposta in velocità, T_0 è il periodo proprio e ξ è lo smorzamento. E' stato considerato uno smorzamento $\xi = 5\%$ e tre intervalli di periodo proprio T_0 ottenendo tre valori di intensità spettrale:

SI1 : $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$

SI2 : $0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$

SI3 : $0.5s \leq T_0 \leq 1.5s$

La tabella di riferimento per la valutazione dei fattori di amplificazione (F_a) per il Comune di Castelvetro Piacentino è riportata in Figura 25.

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

Figura 25: Tabella $V_{s30}/F.A.$ in relazione al PGA ed alle Intensità Spettrali

La tabella è relativa ad una stratigrafia associata alla categoria PIANURA 2 (Allegato A2 della D.G.R. 2193 del 21 dicembre 2015) *caratterizzata da* sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di un'importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c., *che corrisponde, con le naturali approssimazioni insite in ogni tipo di suddivisione o classificazione, alle conoscenze geologiche disponibili nell'area di studio basate su pregresse indagini geognostiche.*

Nel caso di studio, il substrato rigido, poiché presente a profondità inaccessibili dalle normali metodologie di indagine, non è stato rilevato, ma si suppone che il passaggio al bedrock avvenga a profondità > 100 metri dal piano campagna, come indicato nell'Allegato B1.5 del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP 2007).

24. ELABORATI CARTOGRAFICI

In base a quanto espresso nell'Allegato A della DGR 2193/2015, per lo studio di microzonazione di II livello, oggetto del presente elaborato, sono stati prodotti i seguenti elaborati cartografici:

- 1) carta delle velocità delle onde di taglio (V_s)
- 2) carta dei fattori di amplificazione

Sono state inoltre prodotte, per ovviare alla mancanza di uno studio di microzonazione di I livello, le seguenti carte:

- 1) carta delle indagini
- 2) carta geologico – tecnica
- 3) carta delle frequenze naturali dei terreni
- 4) carta delle aree suscettibili di effetti locali (*cf*r carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica degli ICMS 2008).

I dati cartografici sono stati realizzati e archiviati secondo le specifiche linee guida emanate dalla Protezione Civile, seguendo, in particolare, quanto riportato negli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” versione 4.0 (giugno 2015).

Il sistema di riferimento utilizzato in tutti i file vettoriali e *raster* è “WGS_1984_UTM_Zone_33N”.

24.1 Carta delle indagini

La carta delle indagini, alla scala 1:5000, è stata realizzata ubicando le prove raccolte dai vari archivi e quelle di nuova esecuzione.

Identificativo	Tipo di prova	Ubicazione	Profondità indagine [m]
033014L1	REMI	località Babina	-
033014L2	REMI	località Mezzano	-
033014L3	REMI	Via Bondiocca	-
033014L4	REMI	Via Dante Alighieri	-
033014L5	REMI	località Monticelli Santi	-
033014L6	REMI	polo commerciale Bennet	-
033014L7	REMI	Via Pomello	-
033014L8	REMI	vicinanze autostrada A21	-
033014L9	REMI	località S. Pietro in Corte	-
033014L10	REMI	località Dosso Caselle	-
033014L11	REMI	località S. Giuliano	-
033014L12	REMI	vicinanze argine Fiume Po	-
033014L13	REMI	località S. Giuliano – sud	-
033014L14	REMI	C. Colombara al Bosco	-
033014L15	REMI	località Croce S. Spirito	-
033014L16	MASW	località Morta Inferiore	-
033014L17	MASW	Via Bernini	-
033014L18	sismica a rifrazione	località Picchetto	-
033014L19	MASW	località S. Giuliano	-
033014L20	MASW	Via Morta Superiore	-
033014L21	REMI	strada statale dei Due Ponti	-
033014L22	REMI	Via Cantarana	-
033014L23	REMI	località Mezzano	-
033014L24	REMI	Via Franco Titani	-
033014P1	CPTU	località Babina	18.30
033014P2	CPTU	località Mezzano	20.30
033014P3	CPTU	Via Bondiocca	20.30
033014P4	CPTU	Via Dante Alighieri	20.40
033014P5	CPTU	località Monticelli Santi	15.40
033014P6	CPTU	polo commerciale Bennet	20.30



033014P7	CPTU	Via Pomello	20.00
033014P8	CPTU	vicinanze autostrada A21	20.10
033014P9	CPTU	località S. Pietro in Corte	20.20
033014P10	CPTU	località Dosso Caselle	15.40
033014P11	CPTU	località S. Giuliano	20.20
033014P12	CPT	località S. Giuliano	9.80
033014P13	CPT		9.80
033014P14	CPT	località Palazzo	12.60
033014P15	CPT		27.00
033014P16	CPT	quartiere Aldo Moro	14.80
033014P17	CPT		12.40
033014P18	CPT		14.80
033014P19	CPT	Castelvetro Piacentino	10.00
033014P20	CPT		30.00
033014P21	CPT		10.00
033014P22	CPT		10.00
033014P23	CPT	località Croce S. Spirito	15.00
033014P24	CPT	località S. Pedretto	12.60
033014P25	CPT	località Picchetto	12.60
033014P26	CPT		12.60
033014P27	CPT		20.20
033014P28	CPT		12.60
033014P29	CPT		20.20
033014P30	CPT		19.20
033014P31	CPT		23.00
033014P32	CPT		21.80
033014P33	CPT		15.00
033014P34	CPT		15.00
033014P35	CPT		15.00
033014P36	CPT		15.00
033014P37	CPT		15.00
033014P38	CPT		12.00
033014P39	CPTU		20.35
033014P40	CPTU		20.48
033014P41	sondaggio	cascina Capuzzi	20.00
033014P42	sondaggio	Croce S. Spirito	20.00
033014P43	sondaggio	località Fornace	20.00
033014P44	sondaggio	cascina Curavecchia	20.00



033014P45	sondaggio	località S. Pedretto	20.00
033014P46	sondaggio	località Avogli di Sotto	20.00
033014P47	HVSR	località Babina	-
033014P48	HVSR	località Mezzano	-
033014P49	HVSR	Via Bondiocca	-
033014P50	HVSR	Via Dante Alighieri	-
033014P51	HVSR	località Monticelli Santi	-
033014P52	HVSR	Via Pomello	-
033014P53	HVSR	vicinanze autostrada A21	-
033014P54	HVSR	località S. Pietro in Corte	-
033014P55	HVSR	località Dosso Caselle	-
033014P56	HVSR	località S. Giuliano	-
033014P57	HVSR	vicinanze argine Fiume Po	-
033014P58	HVSR	località Croce S. Spirito	-
033014P59	HVSR	strada statale dei Due Ponti	-
033014P60	HVSR	Via Cantarana	-
033014P61	HVSR	località Mezzano	-
033014P62	HVSR	Via Franco Titani	-
033014P63	HVSR	Via Politi	-
033014P64	HVSR	polo commerciale Bennet	-
033014P65	HVSR	località Mezzano	-
033014P66	CPT	strada statale dei Due Ponti	19.60
033014P67	CPT	Via Cantarana	19.80
033014P68	CPT	località Mezzano	19.60
033014P69	CPT	Via Franco Titani	19.60
033014P70	sondaggio	località Picchetto	35.00
033014P71	sondaggio		35.00
033014P72	pozzo per acqua	Via Nuova	40.00
033014P73	pozzo per acqua	località Mezzano	20.00
033014P74	pozzo per acqua	località Mezzano	17.00
033014P75	pozzo per acqua	Croce S. Spirito	22.00
033014P76	pozzo per acqua	Castelvetro Piacentino	83.50
033014P77	pozzo per acqua	località Mezzano	39.80
033014P78	pozzo per acqua	località Mezzano	74.80
033014P79	pozzo per acqua	Castelvetro Piacentino	49.00
033014P80	pozzo per acqua		43.50



033014P81	pozzo per acqua		49.00
033014P82	pozzo per acqua	località Bondiocca	22.60
033014P83	pozzo per acqua	località Morta	15.00
033014P84	pozzo per acqua	località Bondiocca	20.00
033014P85	pozzo per acqua	località Morta	20.00
033014P86	pozzo per acqua	Castelvetro Piacentino	61.00
033014P87	pozzo per acqua	argine Bragazza	17.00
033014P88	pozzo per acqua	cascina Bosella	18.00
033014P89	pozzo per acqua	località Pomello	60.00
033014P90	pozzo per acqua		13.00
033014P91	pozzo per acqua	località S. Giuliano	107.00
033014P92	pozzo per acqua		40.00
033014P93	pozzo per acqua	località Palazzo	8.00
033014P94	pozzo per acqua	Castelvetro Piacentino	70.00
033014P95	pozzo per acqua	località Fornace	35.00
033014P96	pozzo per acqua	Colombaia Volpini	24.00
033014P97	pozzo per acqua		24.00
033014P98	pozzo per acqua	località S. Giuliano	23.00
033014P99	pozzo per acqua		18.00
033014P100	pozzo per acqua		20.00
033014P101	pozzo per acqua	Ca' Nolli	15.00
033014P102	pozzo per acqua		23.50
033014P103	pozzo per acqua	cascina Bosella	23.50
033014P104	pozzo per acqua		23.30
033014P105	pozzo per acqua	località S. Giuliano	16.00
033014P106	pozzo per acqua		10.00
033014P107	pozzo per acqua	località Brasile	16.00
033014P108	pozzo per acqua	località S. Giuliano	21.10
033014P109	pozzo per acqua		29.50
033014P110	pozzo per acqua	Castelvetro Piacentino	20.00
033014P111	pozzo per acqua		18.00
033014P112	pozzo per acqua	località Goriletto	63.00
033014P113	HVSR	Castelvetro Piacentino	-
033014P114	HVSR	S. Pietro in Corte	-

Le indagini, ubicate principalmente in corrispondenza delle aree urbanizzate ed urbanizzabili, sono descritte da un identificativo composto da un valore numerico (033014, dove 033 rappresenta la provincia di Piacenza e 014 è il codice del comune di riferimento) seguito da una sigla (P per le indagini puntuali e L per le indagini lineari) e un numero progressivo. Tale identificativo è stato generato dal software SoftMS (versione 3.0), utilizzato per la catalogazione delle indagini e l'annotazione di informazioni relative ad ubicazione e profondità di investigazione.

Qualora disponibili, gli elaborati delle indagini di tipo geotecnico, geologico e geofisico, sono stati memorizzati, in formato pdf, nella cartella Indagini\Documenti all'interno del sistema di archiviazione adottato.

24.2 Carta geologico – tecnica per la microzonazione sismica

La carta geologico – tecnica per la microzonazione sismica è stata realizzata in scala 1:10000, come indicato negli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" versione 4.0.

Tale elaborato è stato redatto a partire dalla "Carta geologica e geomorfologica" allegata allo "Studio geologico relativo al Piano Regolatore Generale" (2004), la quale descrive i depositi presenti sul territorio comunale di Castelvetro Piacentino. In particolare si riconoscono due unità, caratteristiche di ambienti deposizionali fluviali:

1. i depositi olocenici medio-recenti, costituiti da depositi sabbiosi, limosi o argillosi,
2. i depositi attuali, formati da depositi ghiaiosi, sabbiosi o limo-argillosi del greto dei corsi d'acqua, in particolare del fiume Po.

Data la diversa natura litologica, i depositi sono stati classificati gli uni (1) come depositi coesivi moderatamente consistenti (24) costituiti da sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla (SC) e gli altri (2) come depositi moderatamente addensati (12), a prevalenti sabbie limose, miscela di sabbia e limo.

Le alluvioni medio-recenti vengono identificati in depositi di argini/barre/canali (es), mentre le alluvioni attuali sono identificate in depositi di terrazzo fluviale (ff).

Dal punto di vista grafico, i terreni di copertura olocenici sono descritti in un'unica classe così definita: alluvioni medio-recenti, ovvero depositi da sabbiosi ad argillosi; in prossimità del F. Po alluvioni attuali, ovvero depositi prevalentemente sabbiosi o sabbioso-limosi. Tale descrizione è coerente con la Carta geologica e geomorfologica allegata allo Studio geologico relativo al Piano Regolatore Generale (variante 2004) del Comune di Castelvetro Piacentino, che a sua volta riporta fedelmente i contenuti delle cartografie geologiche ufficiali (Carta geologica della Lombardia alla scala 1:250.000 e Foglio n. 61 "Cremona" della C.G.I. alla scala 1:100.000).

Di fatto la classe sopra descritta (comparabile con l'Unità di Modena - AES8a - carta geologica regionale dell'E-R) comprende terreni di copertura costituiti prevalentemente da sabbie limose (SM) - in minor misura sabbie pulite o ben assortite, sabbie ghiaiose (SW) - ricoperte da una coltre argillosa e argilloso-limosa (distinte in CL e CH in base al grado di plasticità) con spessori inferiori a 5 metri; talvolta a profondità maggiori di 15 metri si rinvencono argille o argille limose da mediamente a molto consistenti (CL). Tali distinzioni sono state possibili sulla base dei dati geognostici (prove CPTU, CPT, sondaggi) e hanno valore (in base agli spessori della coltre argillosa e alla discontinuità laterale dei livelli argillosi profondi) ad una scala d'indagine maggiore rispetto a quella di rappresentazione della carta geologico-tecnica (1:10.000).

I principi che hanno quindi guidato la scelta di rappresentare i terreni di copertura in un'unica classe sono:

- uniformità con le cartografie ufficiali (PRG, carte geologiche regionali, carta geologica d'Italia);
- scala di rappresentazione della carta geologico-tecnica (1:10.000); il quadro geolitologico è stato dettagliato nel testo, sulla base dei risultati delle indagini geognostiche (nuove e pregresse), con la restituzione di un modello del sottosuolo e sezioni geologiche di dettaglio.

Ghiaie eterogenee ed eterometriche in matrice sabbiosa, satura, sono state rinvenute lungo due verticali di prova (sondaggi), a profondità di circa 30 dal p.c.; ghiaie in matrice limo-sabbiosa si trovano, invece, in località S. Pedretto, a profondità di circa 10 metri dal p.c. I terreni ghiaiosi non vengono rappresentati in carta in quanto riconducibili a evidenze puntuali, prive di continuità laterale.

Il territorio del Comune di Castelvetro Piacentino non è caratterizzato dalla presenza di substrato rigido affiorante. Il substrato rigido, poiché presente a profondità inaccessibili dalle normali metodologie di indagine, non è stato rilevato.

Dal punto di vista morfologico, sono state riportate in carta le scarpate di erosione fluviale, gli assi delle tracce dei paleoalvei e i rilevati arginali, principale e secondario.

La reperibilità delle stratigrafie di nr. 2 pozzi AGIP ubicati a nord (Cremona nord) e a sud (Cortemaggiore) del Comune di Castelvetro Piacentino, ha permesso di ricostruire una sezione geologica a grande scala, con profondità dell'ordine dei 1500-2000 metri dal p.c. La sezione, corredata di legenda, è riportata in calce della Carta geologico – tecnica.

24.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

La carta delle frequenze naturali dei terreni riporta, alla scala 1:5000, i punti di misura a stazione singola (HVSR), con identificazione del picco di frequenza fondamentale.

Quello che si può osservare è che i valori di frequenza diminuiscono spostandosi da nord ($f_0 = 1.32$ Hz) verso sud, con valori inferiori a 1 Hz nella parte meridionale dell'abitato di Castelvetro Piacentino e nella frazione di San Giuliano – Dosso Caselle. Nel settore occidentale del territorio comunale, nelle località di Fogarole e di San Pedretto – S. Pietro in Corte, così come nel settore meridionale della frazione di S. Giuliano, si hanno valori di frequenza pari a circa 5-6 Hz.

24.4 Carta delle aree suscettibili di effetti locali

Tale elaborato, che corrisponde alla Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica definita negli ICMS del 2008, ha la finalità di individuare le aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica e per definire il tipo di effetti attesi.

In particolare, l'obiettivo è individuare le seguenti zone omogenee:

1. **Zone stabili:** sono le zone dove è affiorante il bedrock sismico con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a circa 15°), nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura.
2. **Zone stabili suscettibili di amplificazione,** ovvero zone dove sono attese amplificazione del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafia e morfologica locale; in tali zone sono presenti terreni di copertura, coltri di alterazione del substrato, substrato molto fratturato o substrato caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio ($V_s < 800$ m/s) con spessori superiori ai 5 m.
3. **Zone suscettibili d'instabilità:** si distinguono quattro categorie di effetti deformativi: (1) instabilità di versante; (2) liquefazione; (3) cedimenti differenziali; (4) faglie attive e capaci.

Come si evince dalla cartografia, il territorio indagato non presenta zone definibili stabili e non sono state evidenziate zone di instabilità (per quanto riguarda la verifica della possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione si rimanda al capitolo 22).



Il Comune di Castelvetro Piacentino, nel complesso, è caratterizzato da zone stabili suscettibili di amplificazione, riconducibili a nr. 4 microzone omogenee principali, definite come segue:

Zona 1: alternanza di argille e argille limose e sabbie limose.

Zona 2: limi sovrastanti prevalenti sabbie e sabbie limose mediamente addensate, localmente molto addensate; a profondità > 18.5 metri argille e argille da mediamente a molto consistenti.

Zona 3: argille e argille limose da mediamente a molto consistente passanti a sabbie e sabbie limose mediamente addensate

Zona 4: alternanza di argille e argille limose da mediamente a molto consistenti con sabbie e sabbie limose mediamente addensate

Nella Carta delle aree suscettibili di effetti locali sono riportate le colonnine stratigrafiche proprie di ciascuna microzona omogenea, ricostruite sulla base dei dati acquisiti durante la campagna geognostica (profondità di indagine ≤ 20 metri). Le zone stabili suscettibili di amplificazione sono definite, inoltre, in termini di spessore della copertura (H) e velocità VsH. Tali valori sono stati definiti utilizzando la formula $F0_{\text{sito}} = Vs/4H$ che correla la frequenza di risonanza con la velocità Vs e lo spessore delle coperture.

24.5 Carta delle velocità delle onde di taglio (Vs)

Nell'ambito del presente studio sono state analizzate nr. 24 prove in sito di tipo geofisico (MASW, ReMi, sismica a rifrazione), svolte nel territorio del Comune di Castelvetro Piacentino, dalle quali è possibile estrapolare il parametro Vs. La carta delle velocità delle onde di taglio, a scala 1:5000, riporta l'ubicazione di tutti i punti di misura di Vs con indicazione, per ogni postazione, del valore di Vs30 espresso in m/sec.

Nel complesso i valori di velocità Vs che si ottengono sono compresi tra 198 m/sec e 301 m/sec.

24.6 Carta dei fattori di amplificazione

In base alle velocità delle onde Vs30 e alle valutazioni riportate nel capitolo 23, sono state prodotte la carta dei fattori di amplificazione PGA e le carte dei fattori di amplificazione relative agli intervalli di periodi 0.1-0.5 sec, 0.5-1.0 sec e 0.5-1.5 sec.

Tali coefficienti di amplificazione sono stati stimati impiegando le tabelle e le formule dell'Allegato A2 della DGR 2193/2015 che permettono di calcolare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento. Questi fattori sono espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale ($FA_{PGA} = PGA/PGA_0$) sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodi ($FA_{0,1-0,5s}$, $FA_{0,5-1s}$, $FA_{0,5-1,5s}$), dove PGA_0 e SI_0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento ricavabili dal data base regionale (disponibile nel sito internet del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale) e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati.

Nello specifico, la tabella utilizzata per ricavare i fattori di amplificazione sopra descritti è la tabella "Pianura 2" riportata nel paragrafo A2.1.2 della DGR 2193/2015.

La tabella è relativa ad una stratigrafia caratterizzata da sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, con la presenza di un'importante discontinuità stratigrafica - responsabile di un significativo contrasto di impedenza - a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.

La decisione di utilizzare tale tabella si basa sul fatto che l'area di studio si trova in un settore in cui il substrato marino ha profondità > 100 metri dal p.c., come si evince dall'Allegato B1.5 del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP 2007). Altri dati a supporto di questo "scenario" sono le stratigrafie di pozzo AGIP e le sezioni geologiche e idrostratigrafiche, frutto della collaborazione tra l'Ufficio geologico della Regione E-R e la Direzione Esplorazione Italia dell'ENI - AGIP S.p.A.

25. BIBLIOGRAFIA

Albarelo D. e Castellaro S. Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. Supplemento alla rivista trimestrale *Ingegneria sismica*. Anno XXVIII – n. 2, 2011.

Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Severi P., Vannucci G., 2004. Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna, scala 1:250.000. S.E.L.C.A. Firenze.

Castenetto S. "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica": un riferimento per la caratterizzazione sismica del territorio. Supplemento alla rivista trimestrale *Ingegneria sismica*. Anno XXVIII – n. 2, 2011.

Commissione tecnica per la microzonazione sismica, giugno 2015. Standard di rappresentazione e archiviazione informatica, versione 4.0.

Comune di Castelvetro, 2004. Piano Regolatore Generale (PRG).

Di Dio G. et Alii, 1998. Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna. S.E.L.C.A. Firenze.

Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome, 2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica.

Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Conferenza delle Regioni e Province autonome – Dipartimento della Protezione Civile.

Locati M., Camassi R. e Stucchi M., 2011. Database Macrosismico Italiano; versione DBMI11. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.

Meletti C. e Valensise G., 2004. Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al rapporto Conclusivo. In: "Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003 ". Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

Norme Tecniche per le Costruzioni, NTC (2008). Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, Gazzetta Ufficiale n. 29, 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30.

Petrucci F. e Tagliavini S. – Regione Emilia Romagna, Servizio geologico d'Italia, 1969. Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 61 – Cremona.

Provincia di Piacenza, 2007. Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP).



Regione Emilia Romagna. Deliberazione dell'assemblea legislativa della Regione Emilia Romagna n. 112 del 2/05/2007: approvazione dell'atto d'indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16 comma 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per pianificazione territoriale ed urbanistica".

Regione Emilia Romagna. Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 2193 del 21/12/2015: approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica", di cui alla deliberazione dell'assemblea legislativa 2 maggio 2007, n. 112.

Regione Emilia Romagna. Ordinanza n. 70 del 13 novembre 2012. Approvazione programma per gli studi di microzonazione sismica.

Robertson P.K. e Wride C.E., 1998. Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Can. Geotech. J., Ottawa, 35(3), 442-459.

Rovida A., Camassi R., Gasperini P., Stucchi M. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani.

Geol. Emani Emanuele
Via dei Ciliegi, 4 – Villanova sull'Arda
tel. 0523/853200 cell. 335/1281389



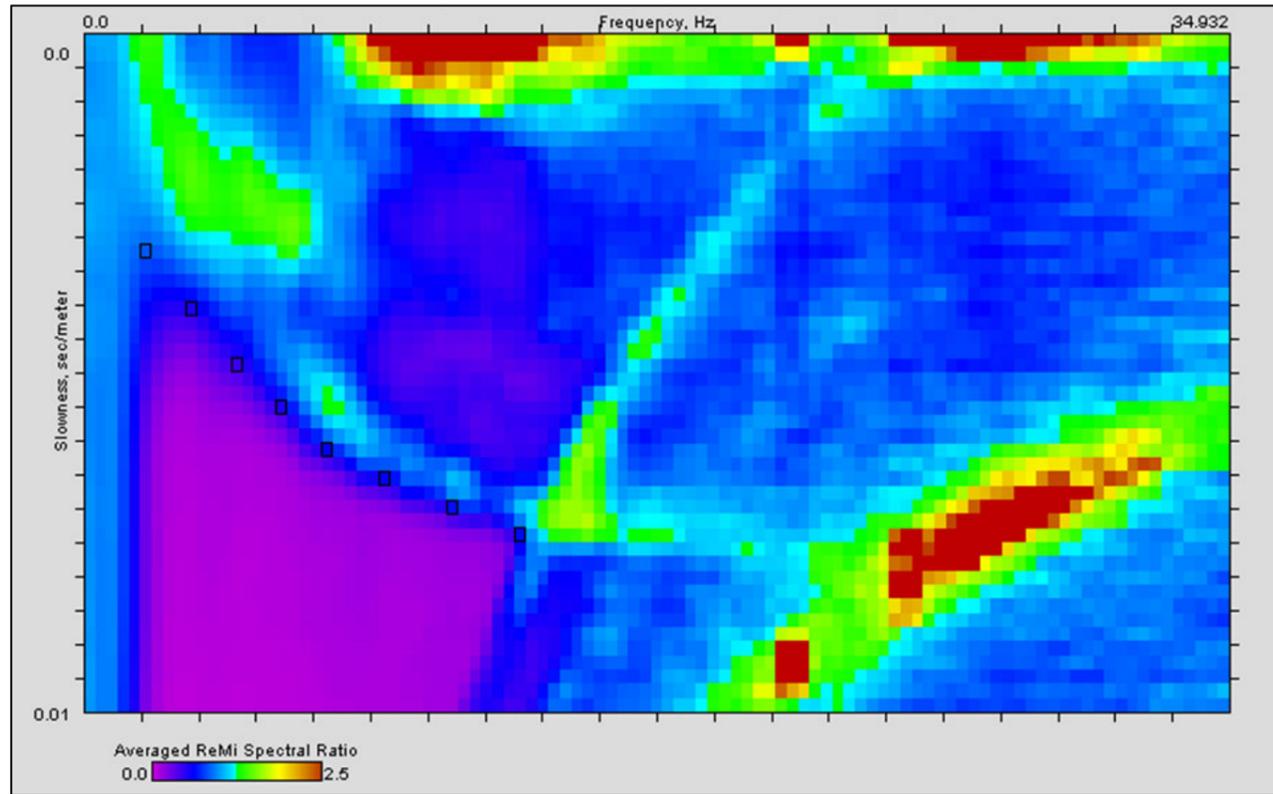
GEOREFLEX s.r.l.
Via Fioruzzi, 15 – 29121 Piacenza
sito web: www.georeflex.it

ALLEGATO 1 – Analisi dei microtremori con metodo REMI

Indagine lineare (REMI) – Rif. 033014L1



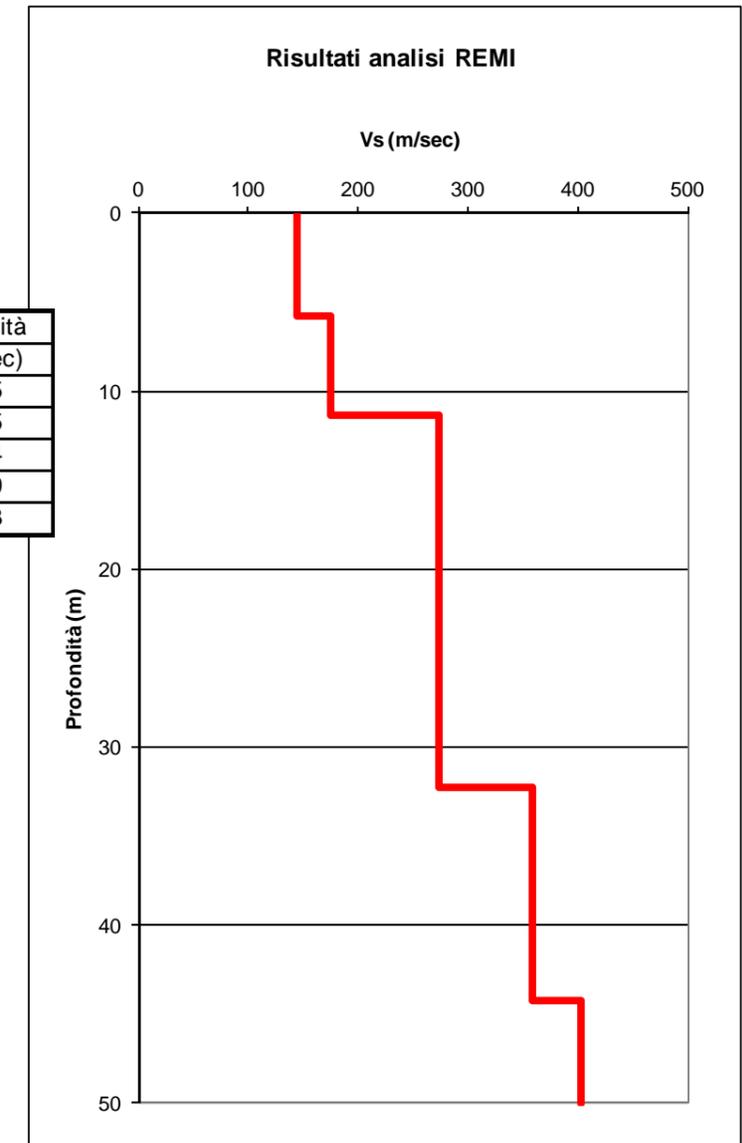
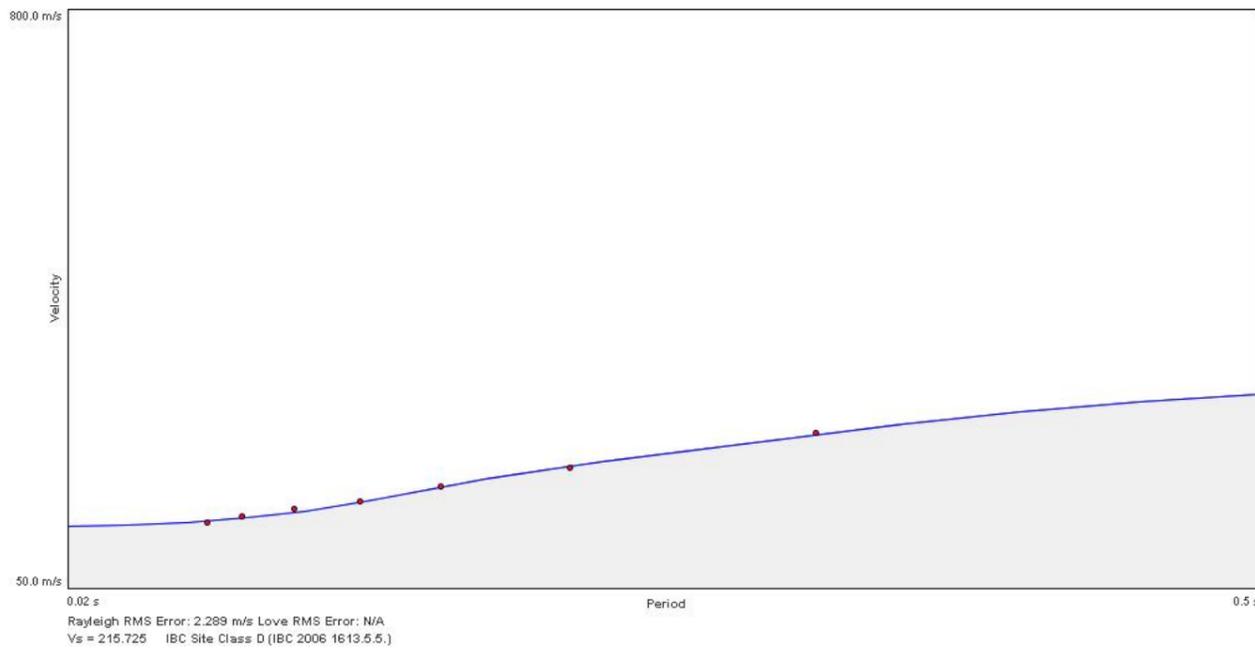
Ubicazione su ortofoto – stendimento a 24 canali (interasse costante = 5 metri)



	Density	Shear Velocity
5.75 m	1.832 g/cc	145.226 m/s
11.344 m	1.868 g/cc	175.419 m/s
32.25 m	1.904 g/cc	274.129 m/s
44.217 m	1.94 g/cc	358.903 m/s
50.0 m	1.977 g/cc	403.032 m/s

Strato (n)	Spessore (m)	Velocità (m/sec)
1	5,75	145
2	5,59	175
3	20,91	274
4	11,97	359
5	5,78	403

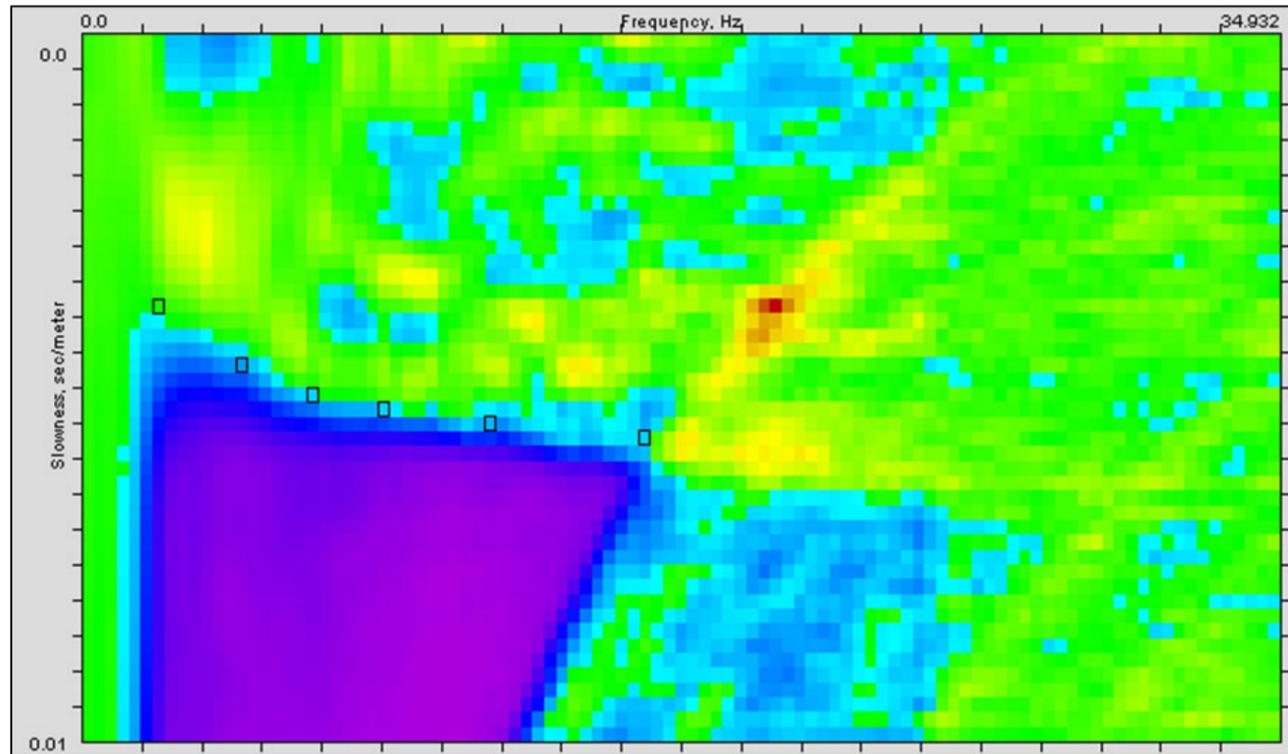
Vs30 = 215 m/sec



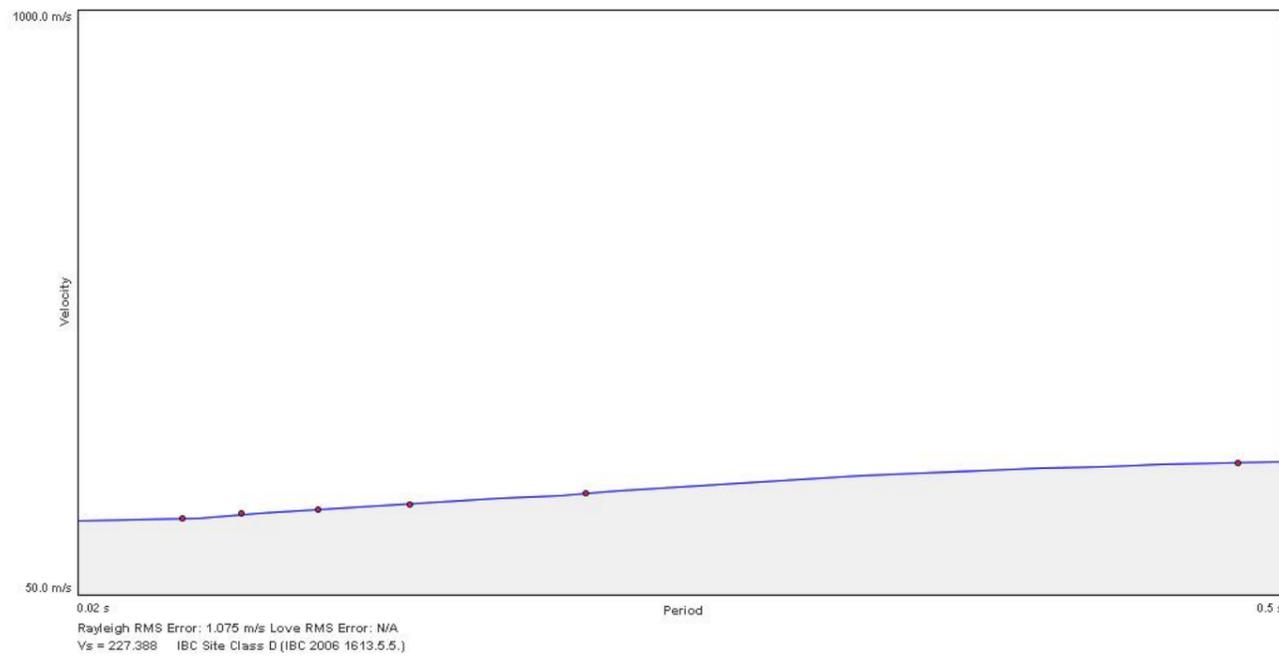
Indagine lineare (REMI) – Rif. 033014L2



Ubicazione su ortofoto – stendimento a 24 canali (interasse costante = 5 metri)

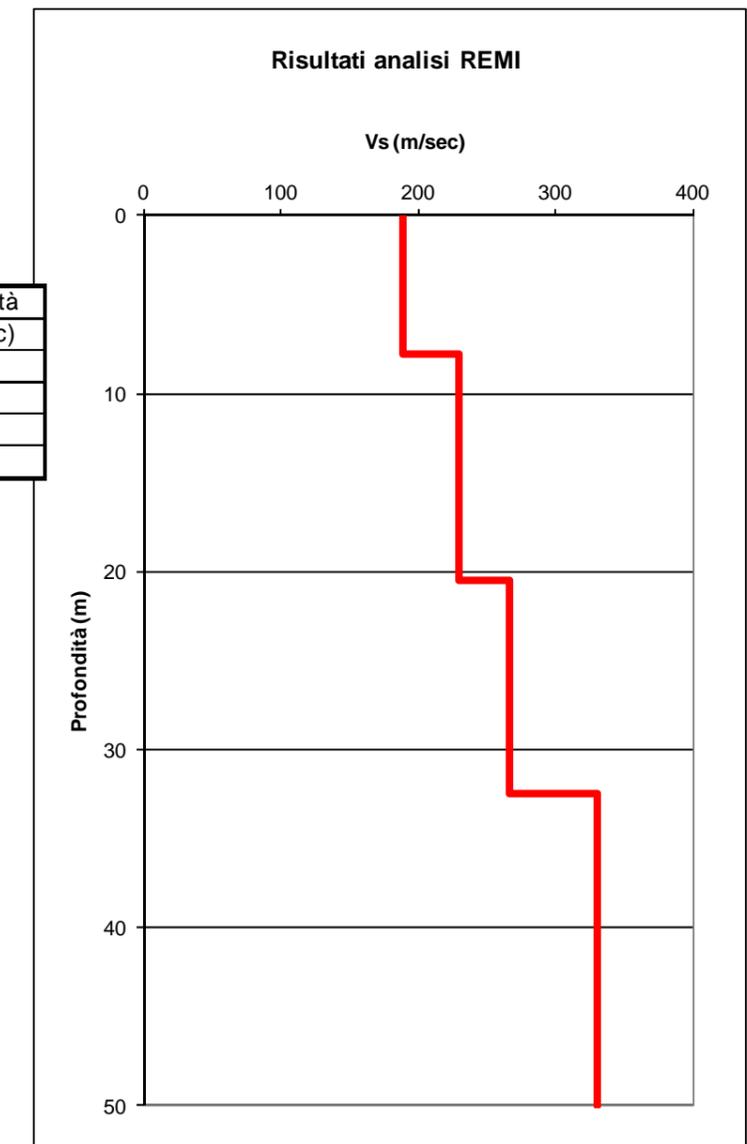


	Density	Shear Velocity
7.75 m	1.807 g/cc	188.813 m/s
20.5 m	1.876 g/cc	229.3 m/s
32.5 m	1.922 g/cc	266.895 m/s
50.0 m	1.944 g/cc	330.685 m/s



Strato (n)	Spessore (m)	Velocità (m/sec)
1	7,75	189
2	12,75	229
3	12,00	267
4	17,50	331

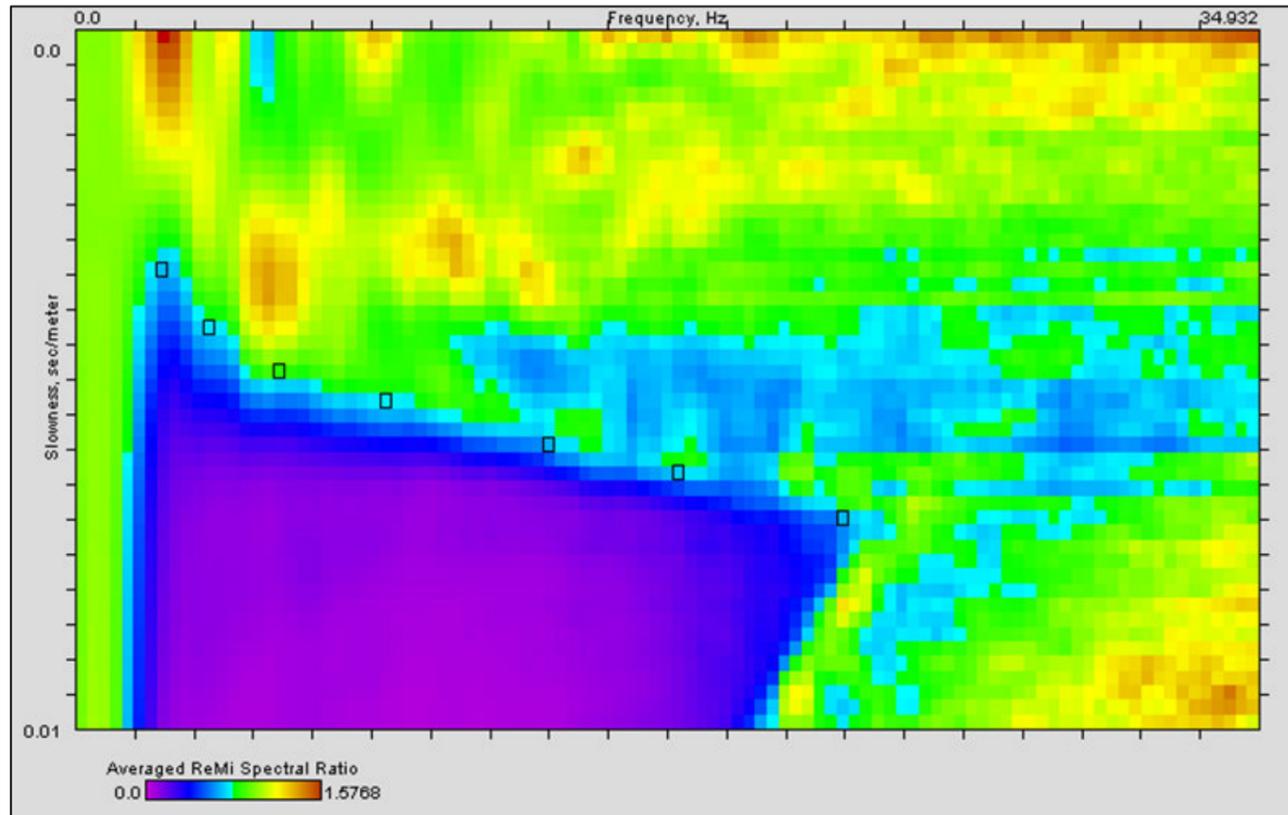
Vs30 = 227 m/sec



Indagine lineare (REMI) – Rif. 033014L3



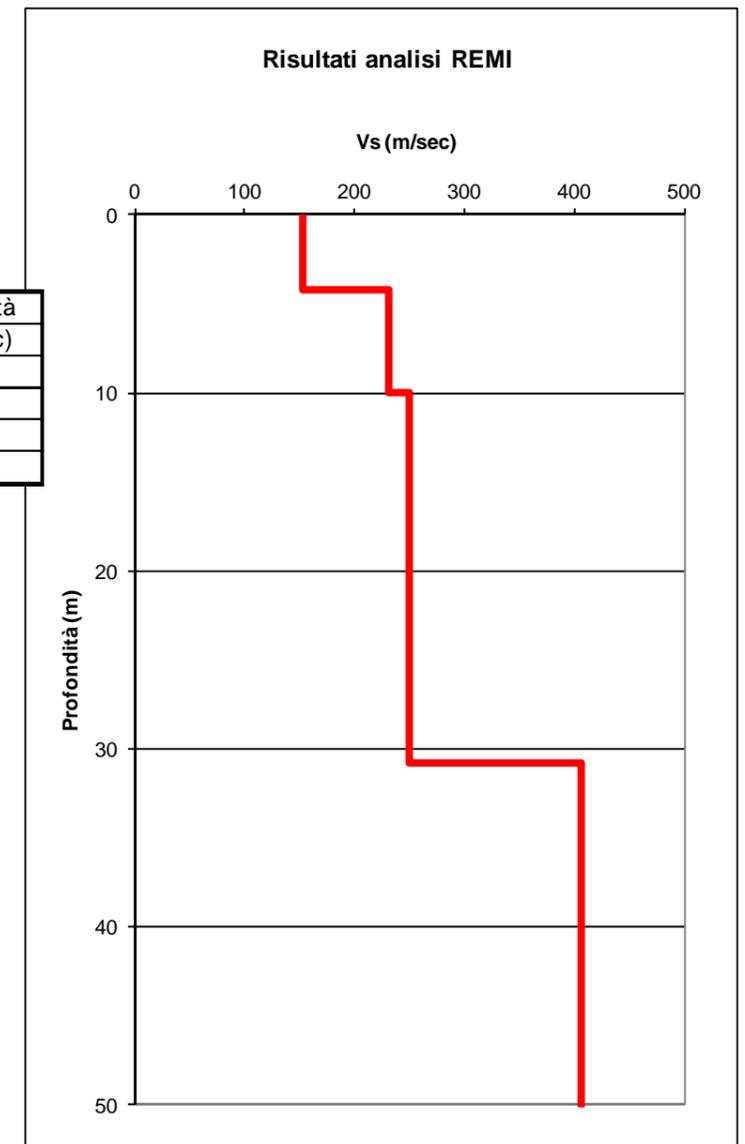
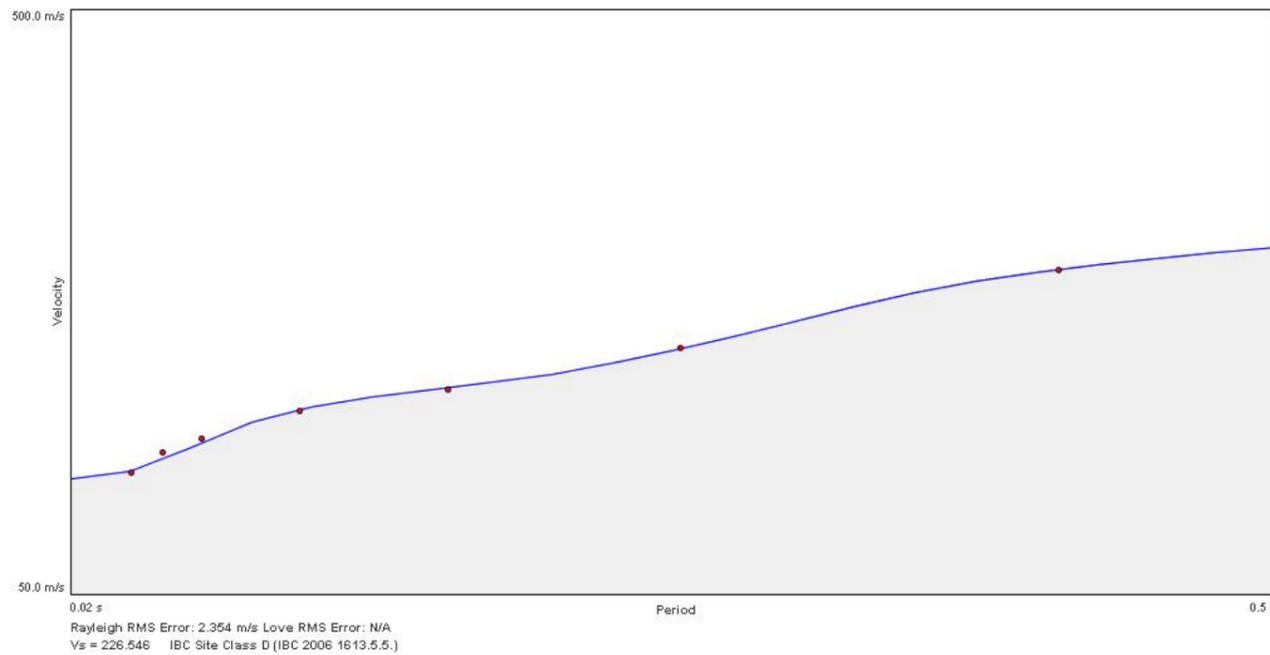
Ubicazione su ortofoto – stendimento a 24 canali (interasse costante = 3 metri)



	Density	Shear Velocity
4.25 m	1.791 g/cc	152.62 m/s
10.0 m	1.853 g/cc	231.657 m/s
30.75 m	1.894 g/cc	250.142 m/s
50.0 m	1.956 g/cc	406.941 m/s

Strato (n)	Spessore (m)	Velocità (m/sec)
1	4,25	153
2	5,75	232
3	20,75	250
4	19,25	407

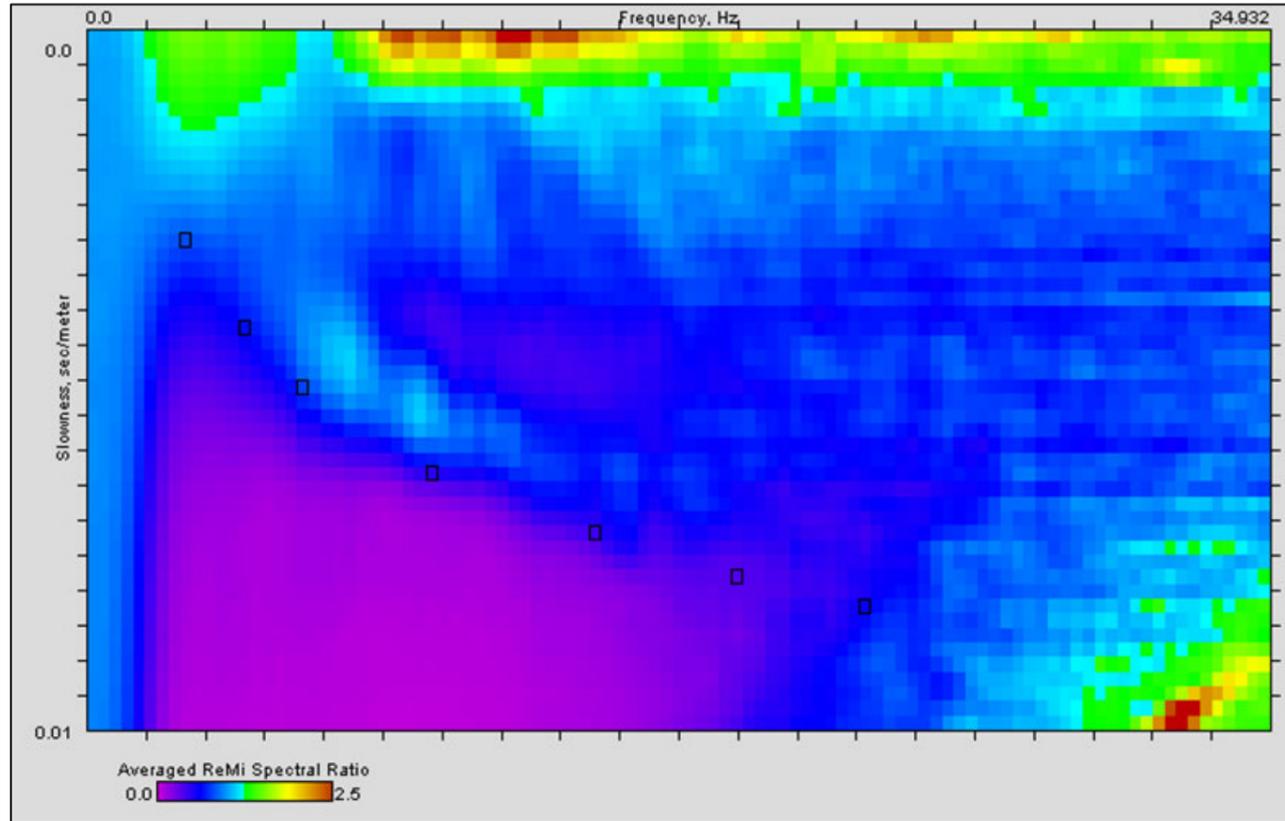
Vs30 = 226 m/sec



Indagine lineare (REMI) – Rif. 033014L5

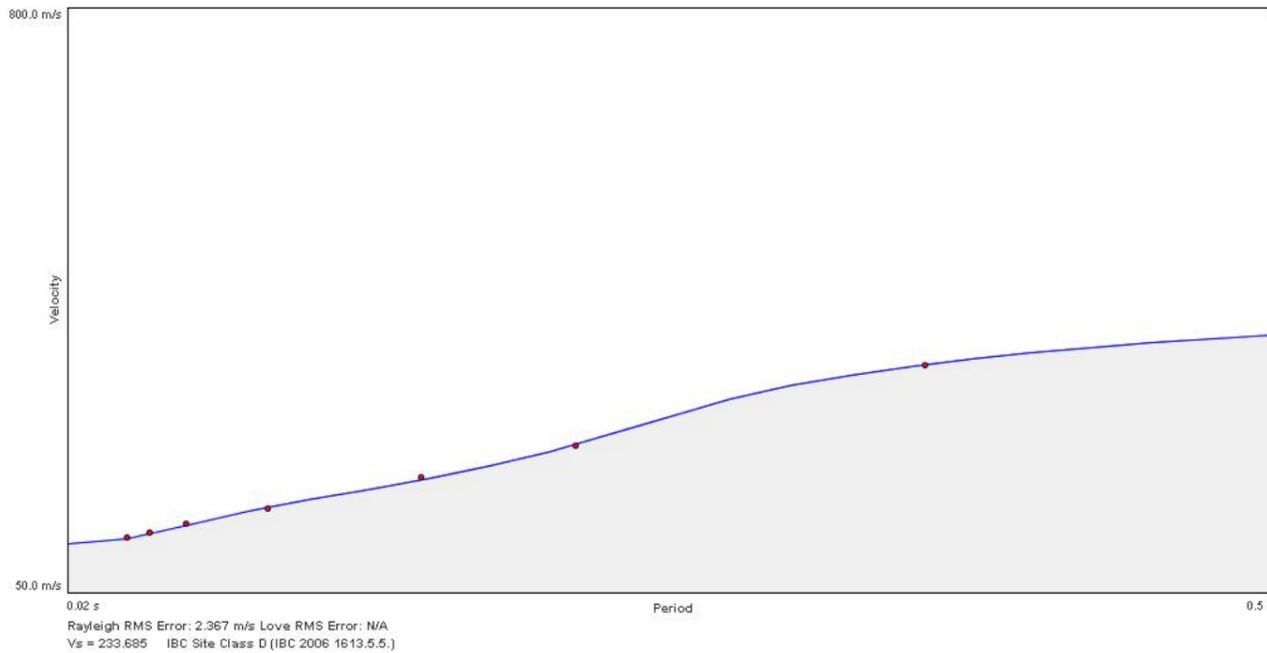


Ubicazione su ortofoto – stendimento a 24 canali (interasse costante = 3 metri)

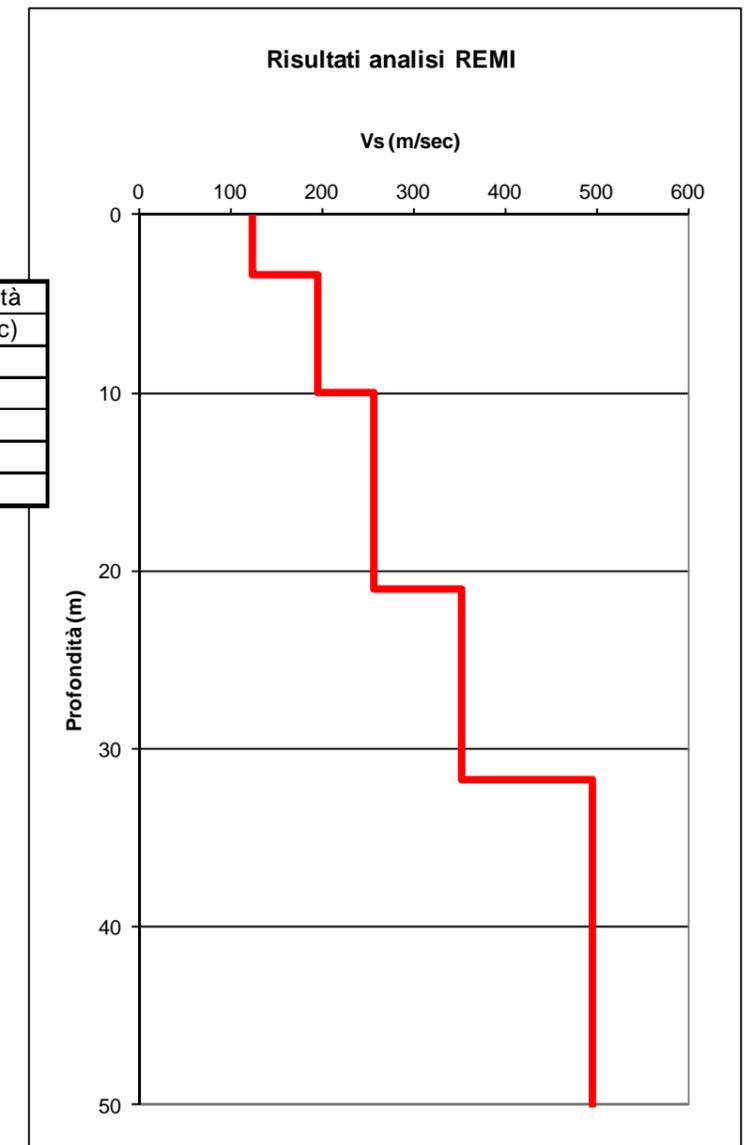


Depth (m)	Density (g/cc)	Shear Velocity (m/s)
3.333	1.797	125.223
10.0	1.834	195.265
21.0	1.855	256.6
31.75	1.919	353.443
50.0	1.982	496.557

Strato (n)	Spessore (m)	Velocità (m/sec)
1	3,33	125
2	6,67	195
3	11,00	257
4	10,75	353
5	18,25	497



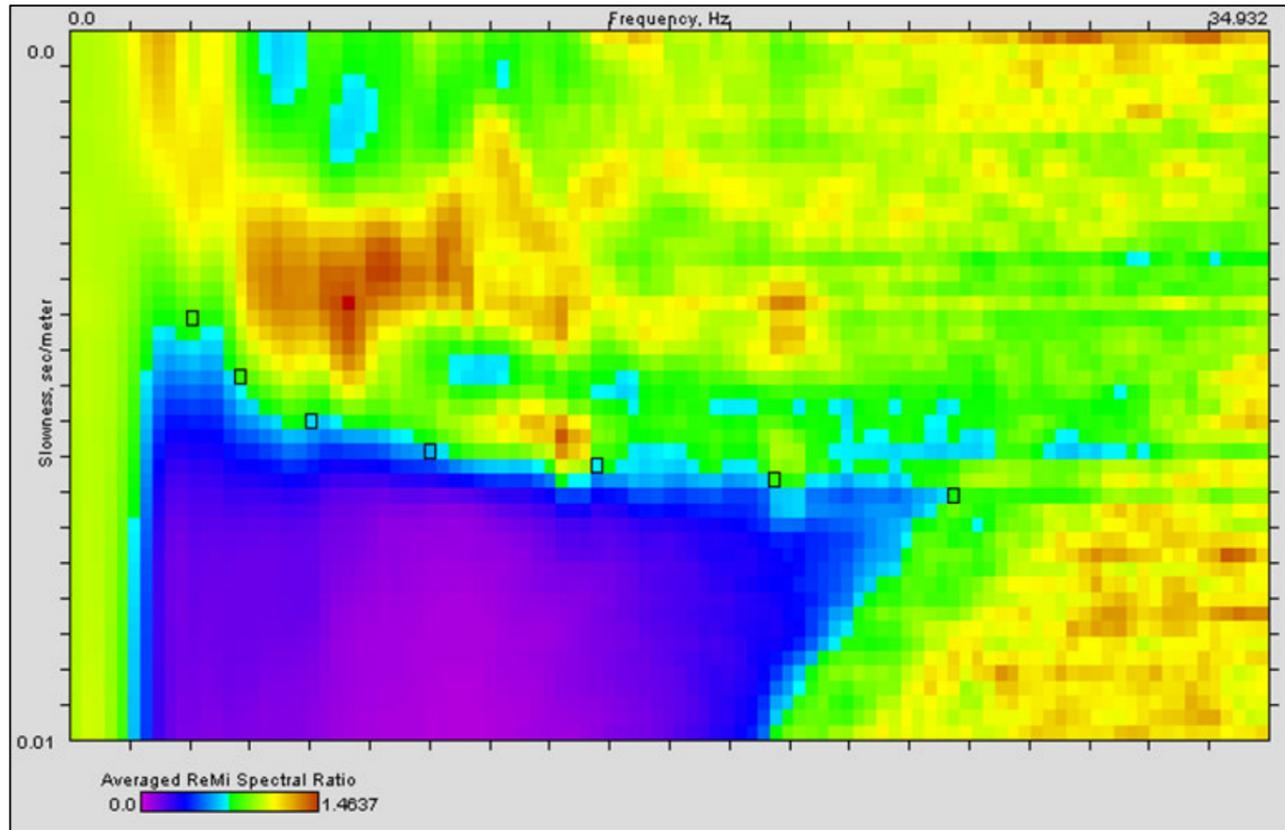
Vs30 = 232 m/sec



Indagine lineare (REMI) – Rif. 033014L7



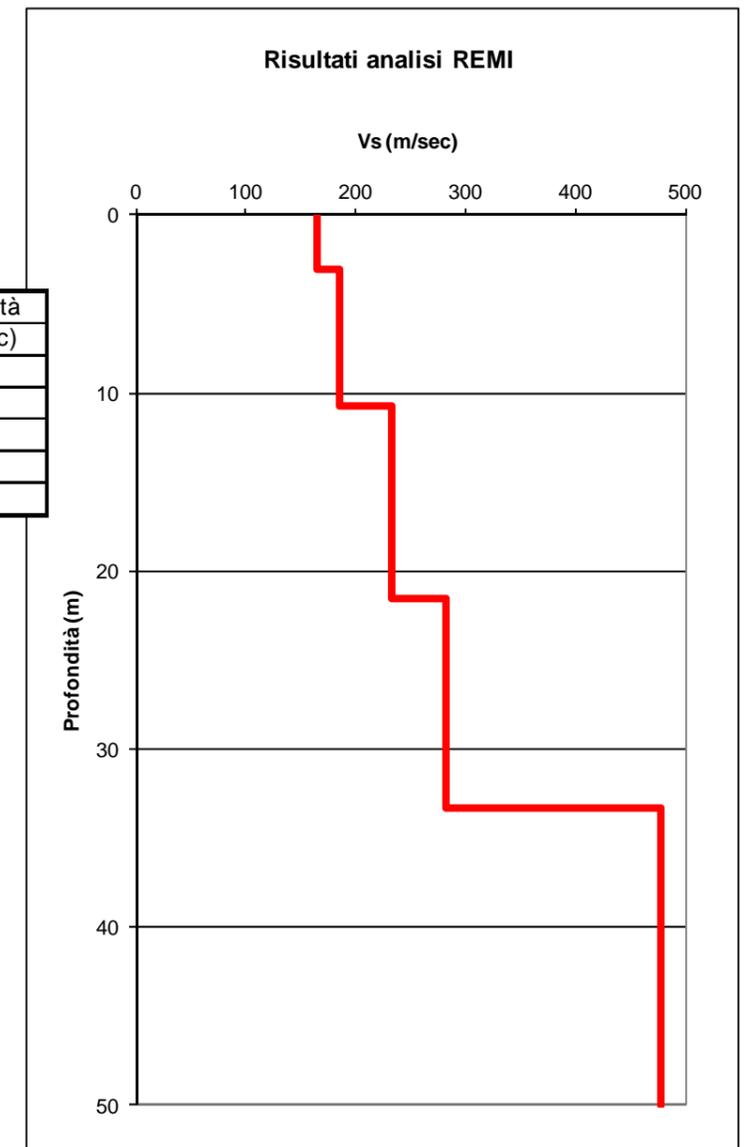
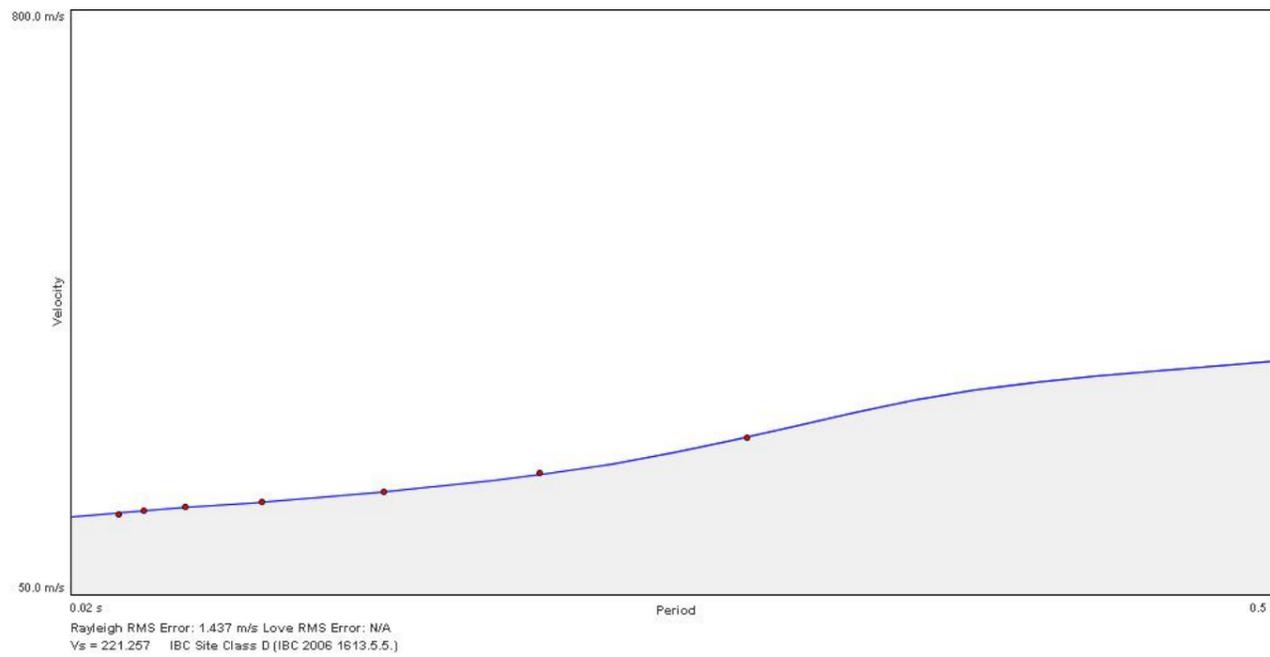
Ubicazione su ortofoto – stendimento a 24 canali (interasse costante = 3 metri)



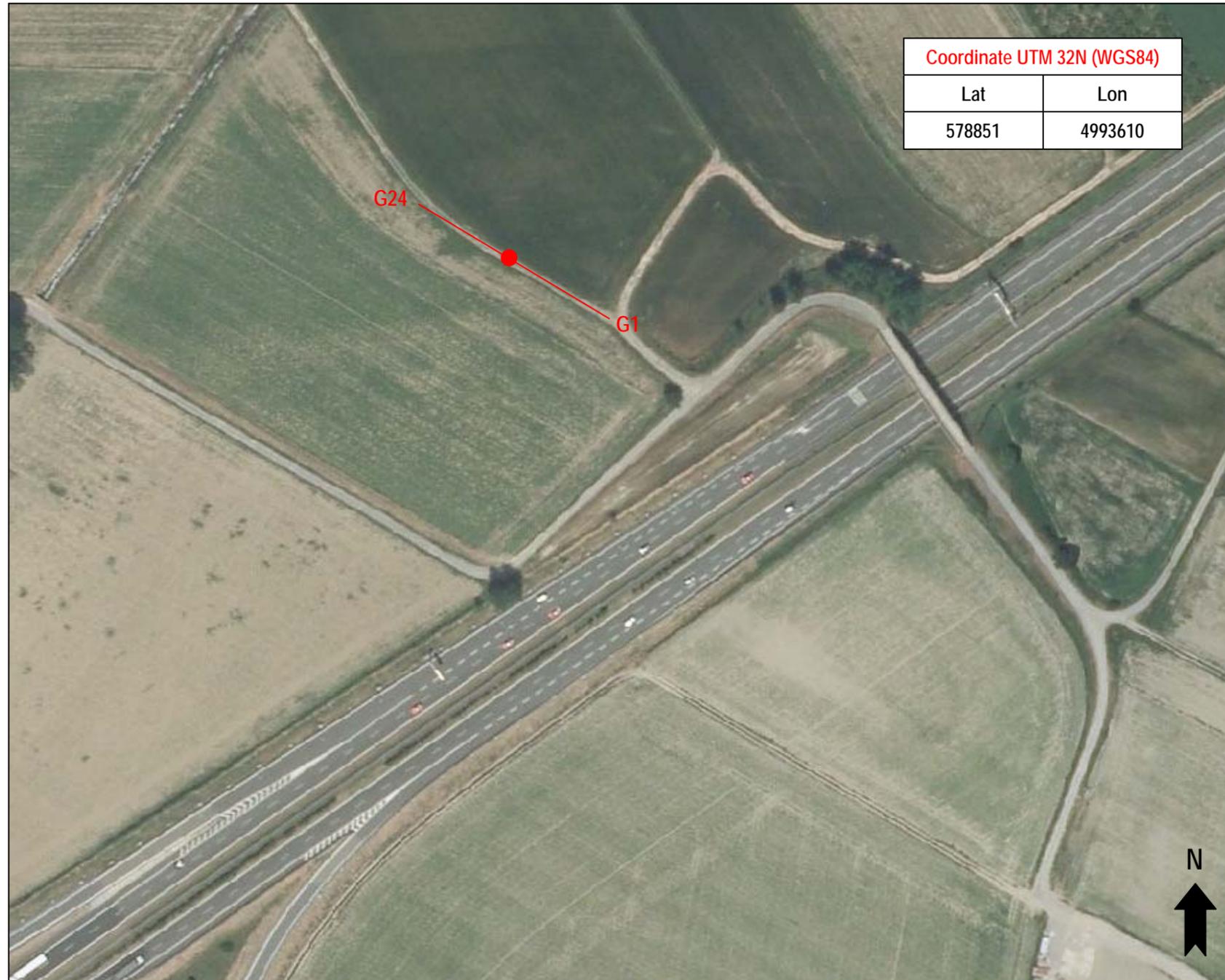
Depth (m)	Density (g/cc)	Shear Velocity (m/s)
3.0 m	1.874 g/cc	185.977 m/s
10.75 m	1.894 g/cc	233.782 m/s
21.5 m	1.935 g/cc	281.586 m/s
33.333 m	1.956 g/cc	478.116 m/s
50.0 m		

Strato (n)	Spessore (m)	Velocità (m/sec)
1	3,00	165
2	7,75	186
3	10,75	234
4	11,83	282
5	16,67	478

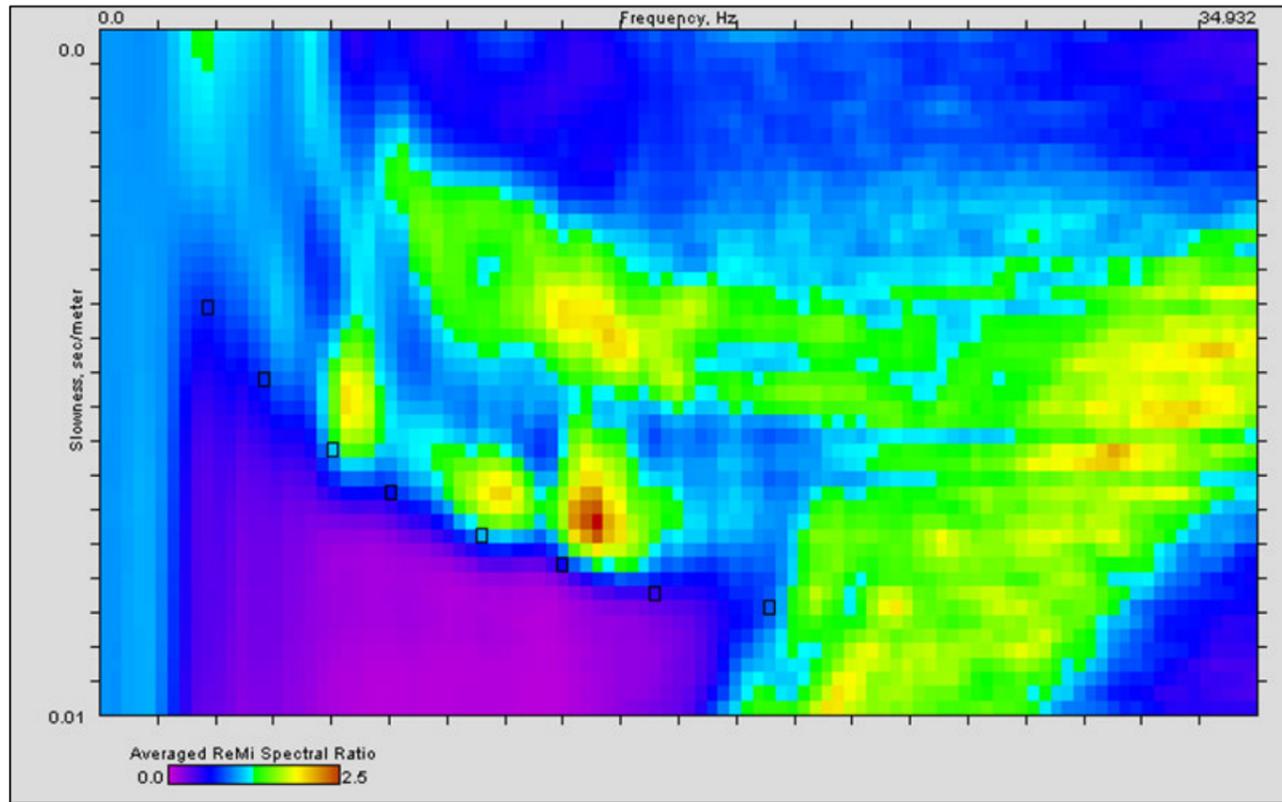
Vs30 = 221 m/sec



Indagine lineare (REMI) – Rif. 033014L8

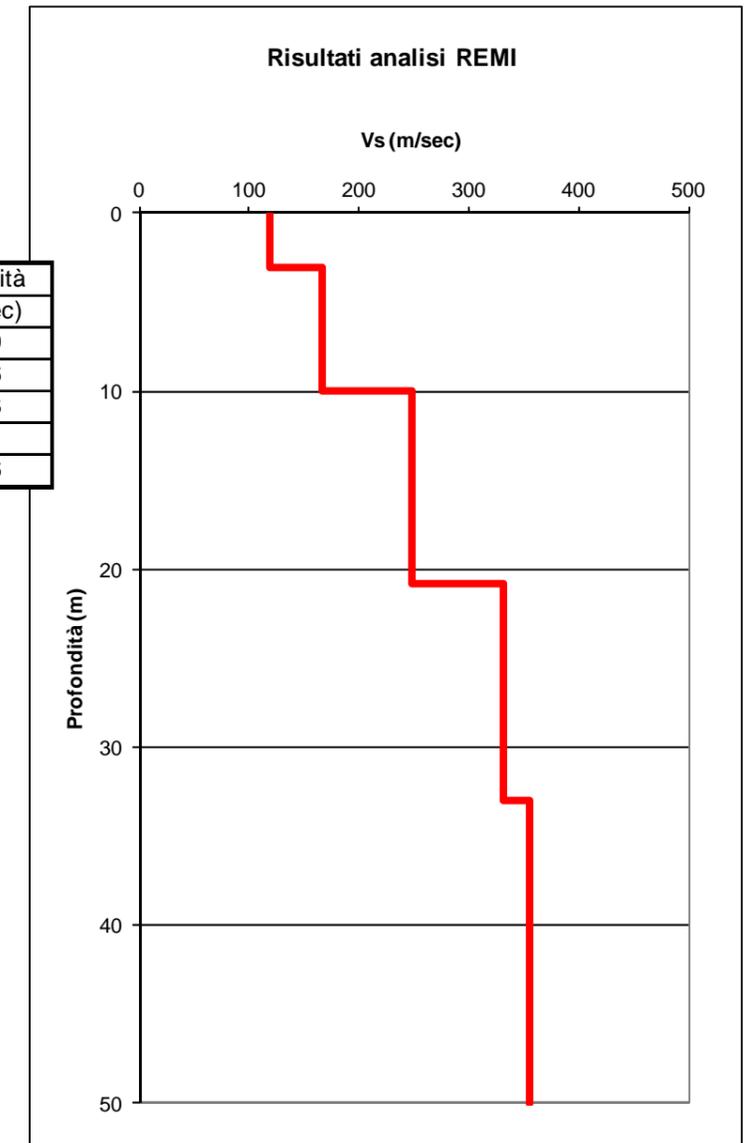


Ubicazione su ortofoto – stendimento a 24 canali (interasse costante = 3 metri)

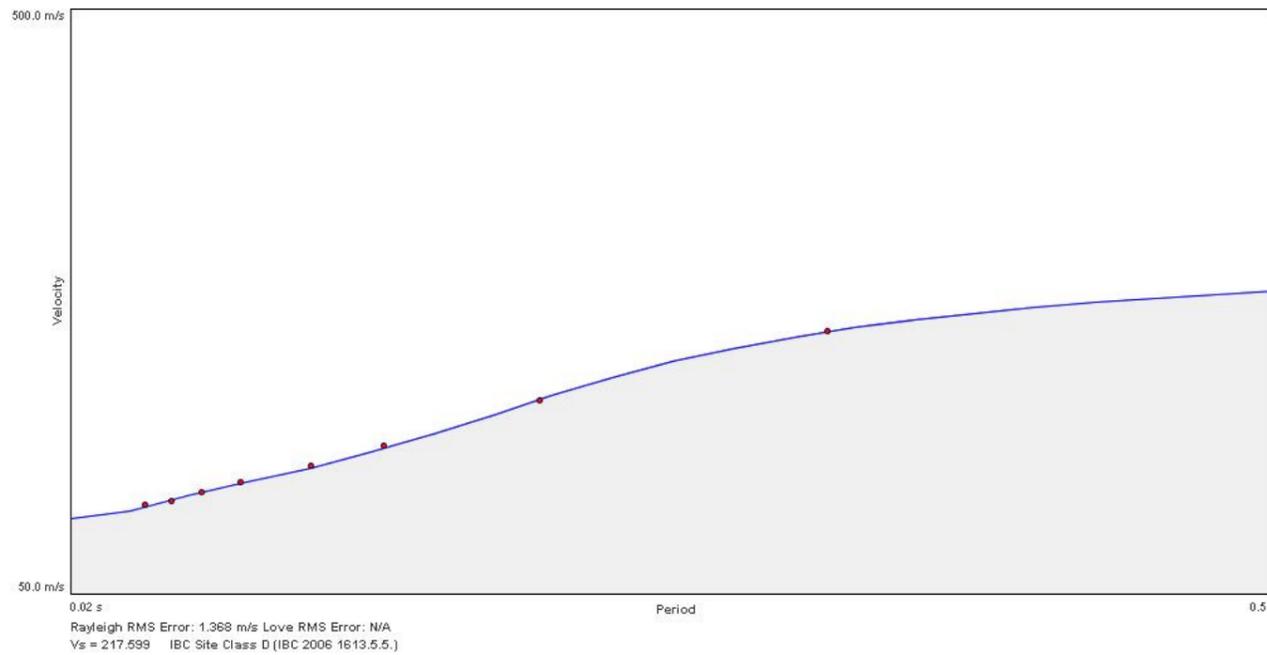


Depth (m)	Density (g/cc)	Shear Velocity (m/s)
3.0 m	1.817 g/cc	119.194 m/s
10.0 m	1.855 g/cc	166.11 m/s
20.75 m	1.893 g/cc	247.928 m/s
33.0 m	1.913 g/cc	330.949 m/s
50.0 m	1.97 g/cc	355.615 m/s

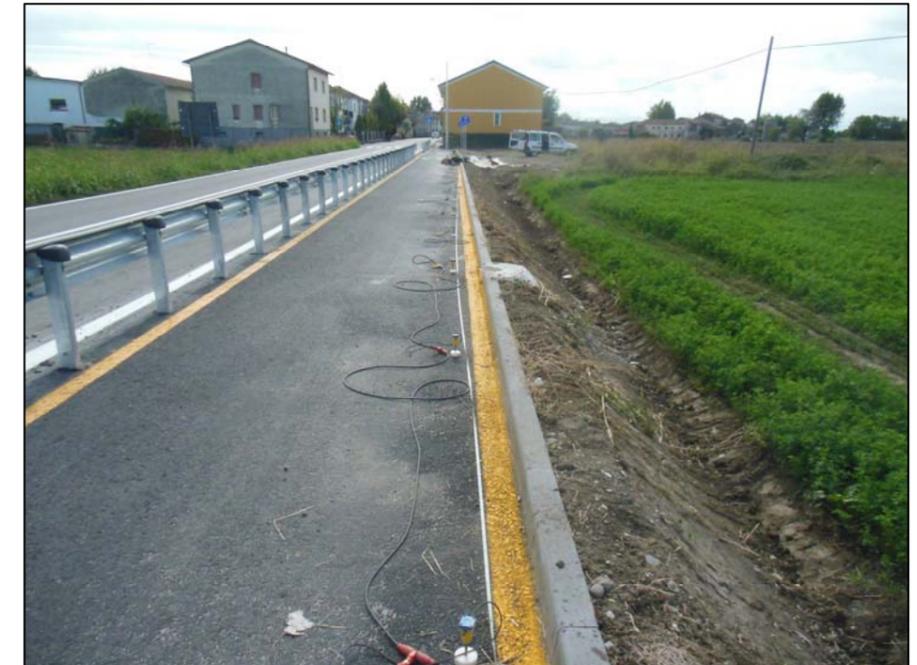
Strato (n)	Spessore (m)	Velocità (m/sec)
1	3,00	119
2	7,00	166
3	10,75	248
4	12,25	331
5	17,00	356



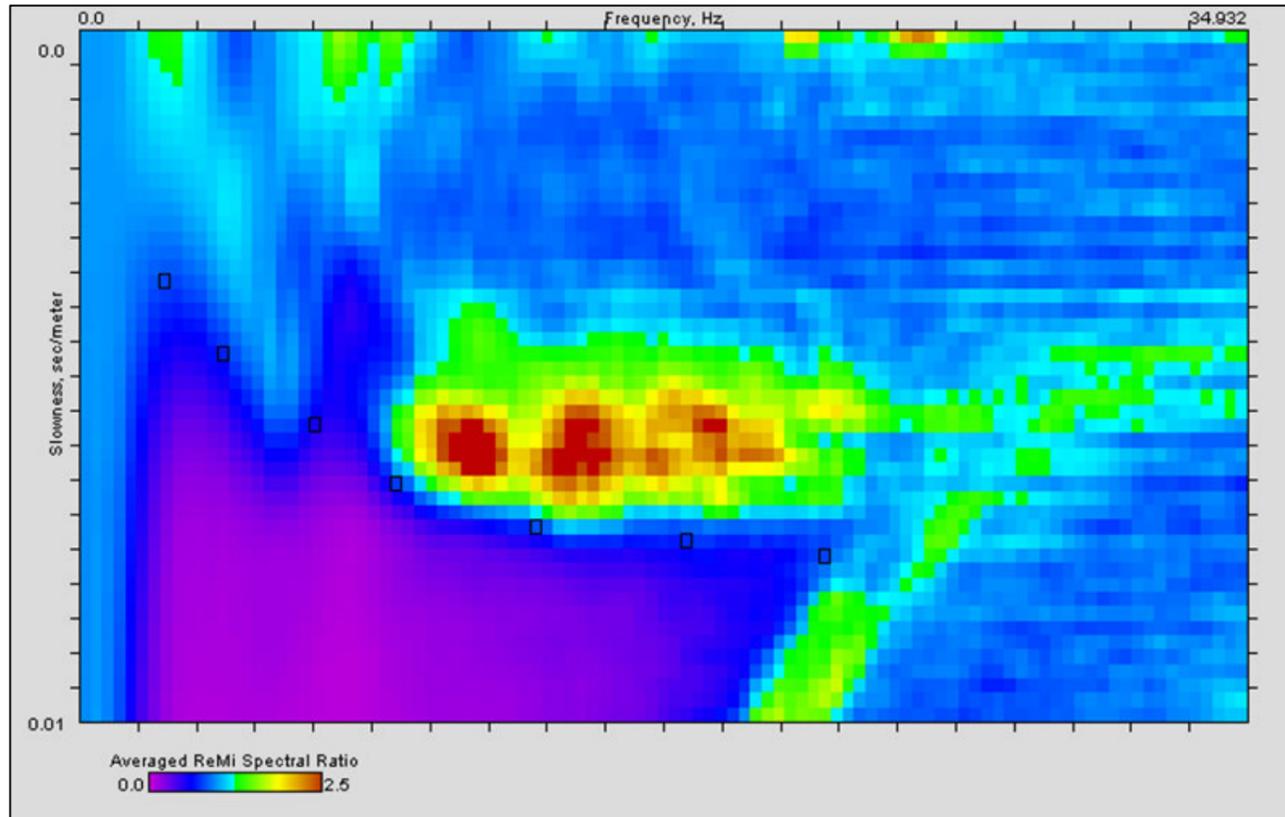
Vs30 = 216 m/sec



Indagine lineare (REMI) – Rif. 033014L9

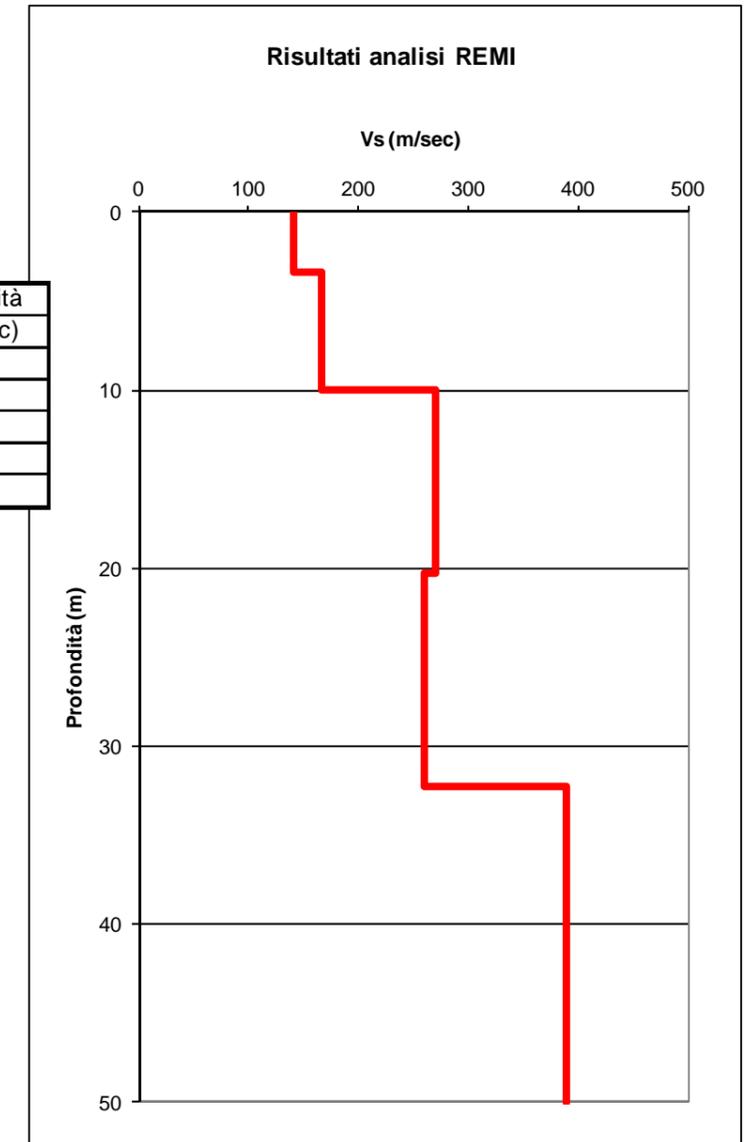


Ubicazione su ortofoto – stendimento a 24 canali (interasse costante = 3 metri)

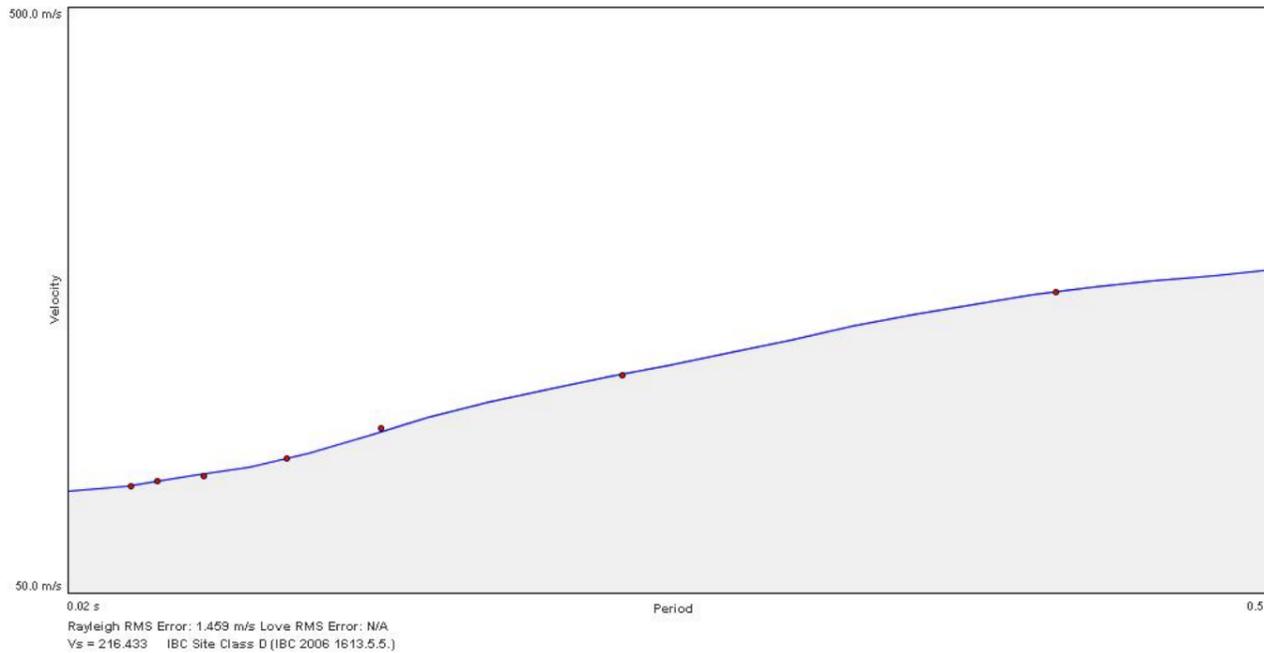


Depth (m)	Density (g/cc)	Shear Velocity (m/s)
3.333	1.806	141.184
10.0	1.824	166.053
20.25	1.88	270.855
32.25	1.899	260.789
50.0	1.936	388.684

Strato (n)	Spessore (m)	Velocità (m/sec)
1	3,33	141
2	6,67	166
3	10,25	271
4	12,00	261
5	17,75	389



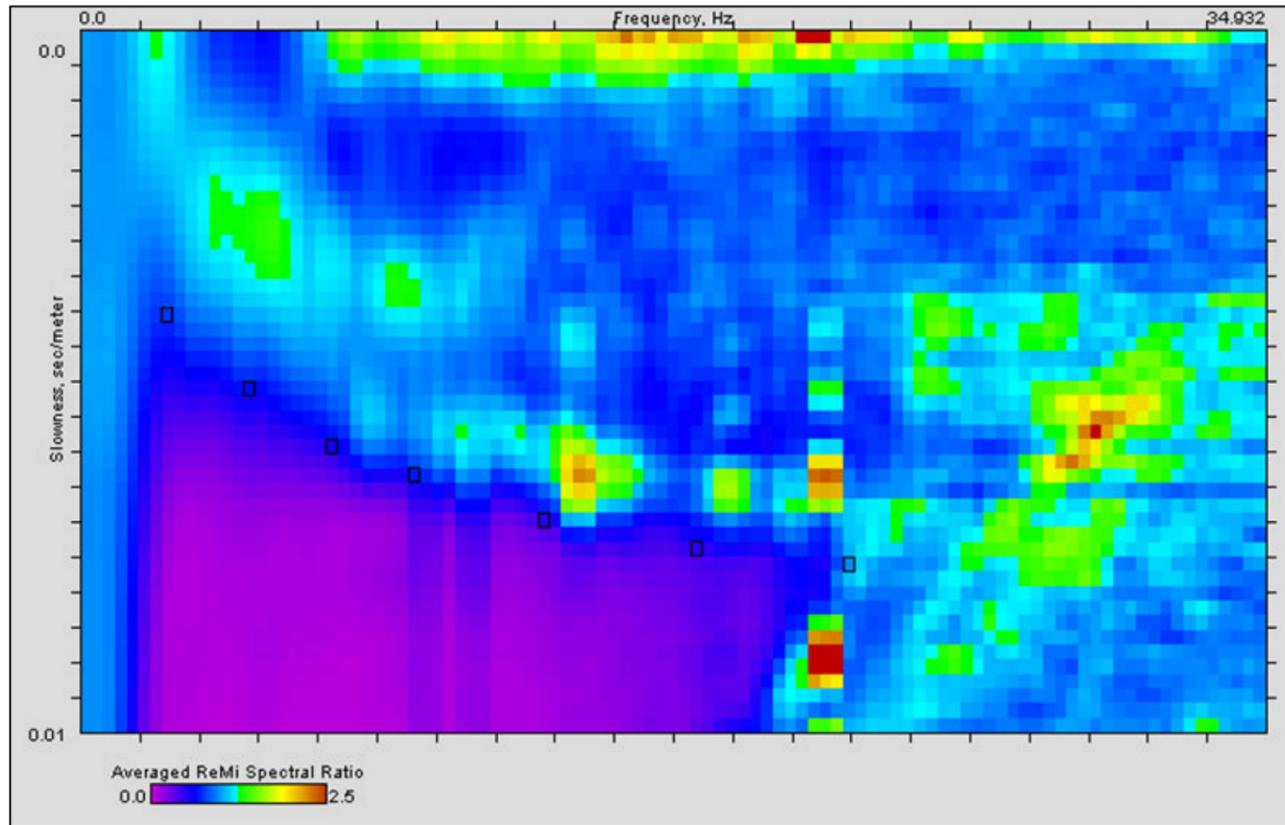
Vs30 = 216 m/sec



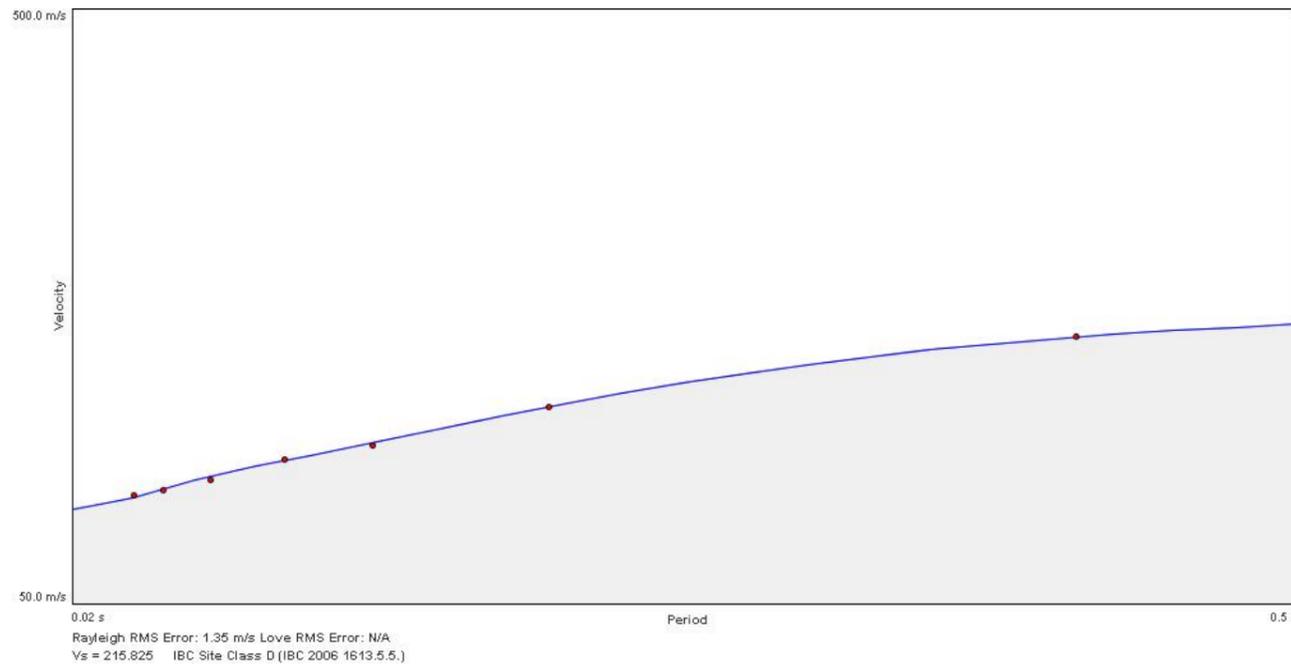
Indagine lineare (REMI) – Rif. 033014L11



Ubicazione su ortofoto – stendimento a 24 canali (interasse costante = 3 metri)

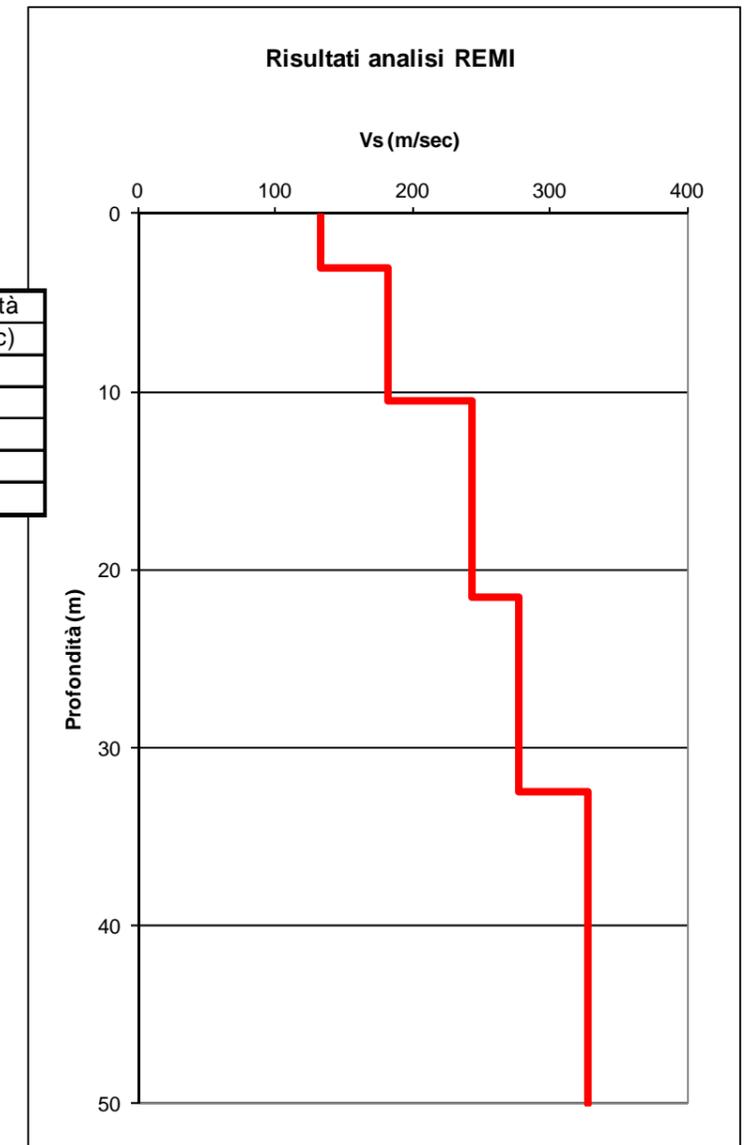


Depth (m)	Density (g/cc)	Shear Velocity (m/s)
3.0	1.832	182.203
10.5	1.874	243.22
21.5	1.915	276.907
32.5	1.935	327.754
50.0		



Strato (n)	Spessore (m)	Velocità (m/sec)
1	3,00	134
2	7,50	182
3	11,00	243
4	11,00	277
5	17,50	328

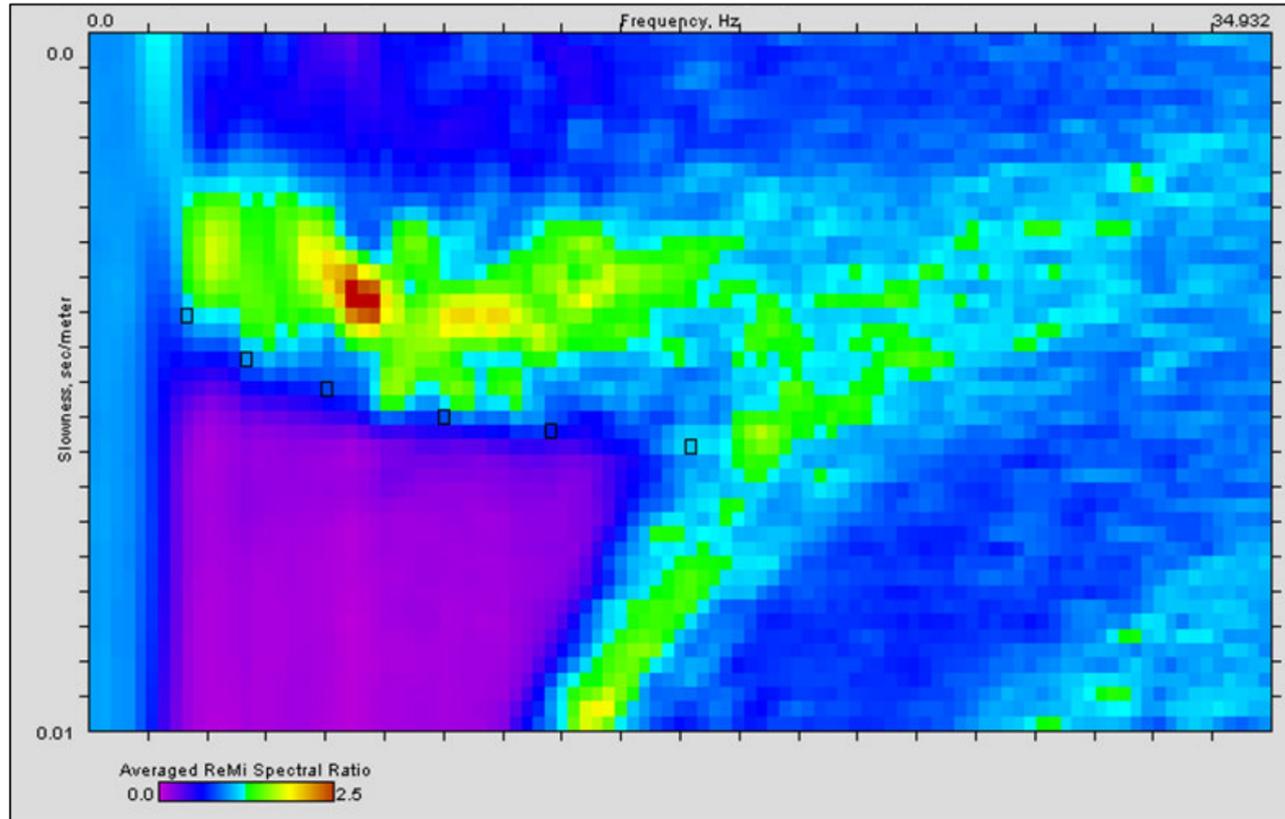
Vs30 = 215 m/sec



Indagine lineare (REMI) – Rif. 033014L12



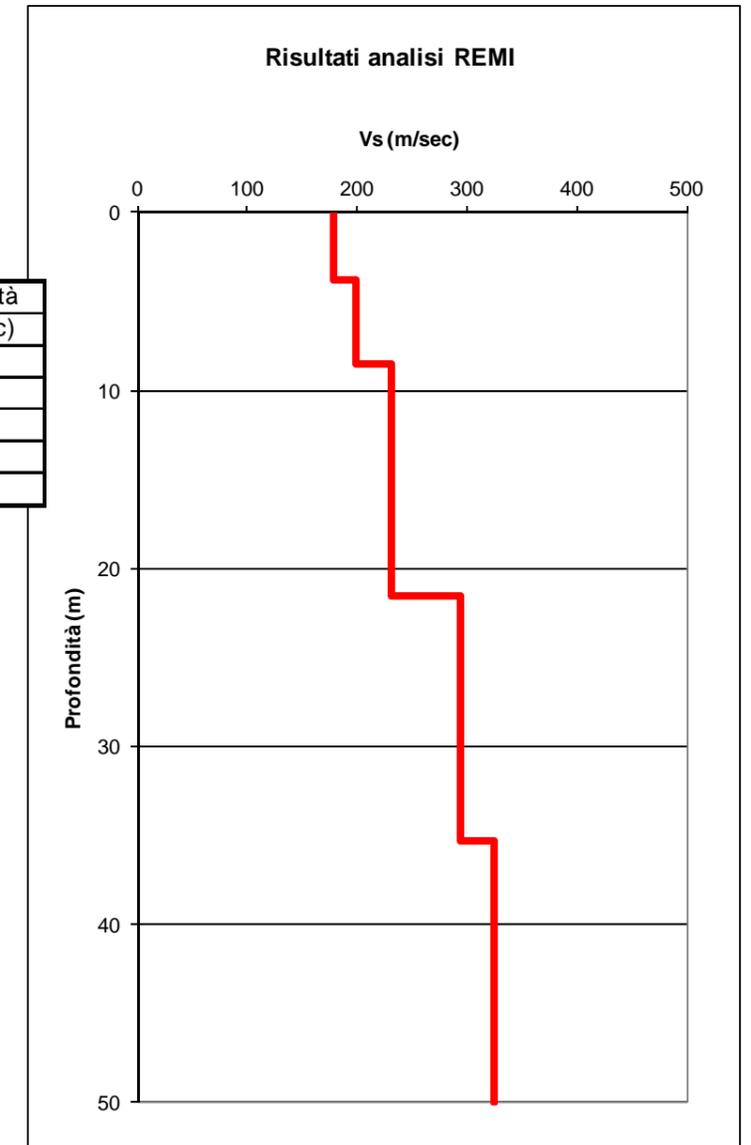
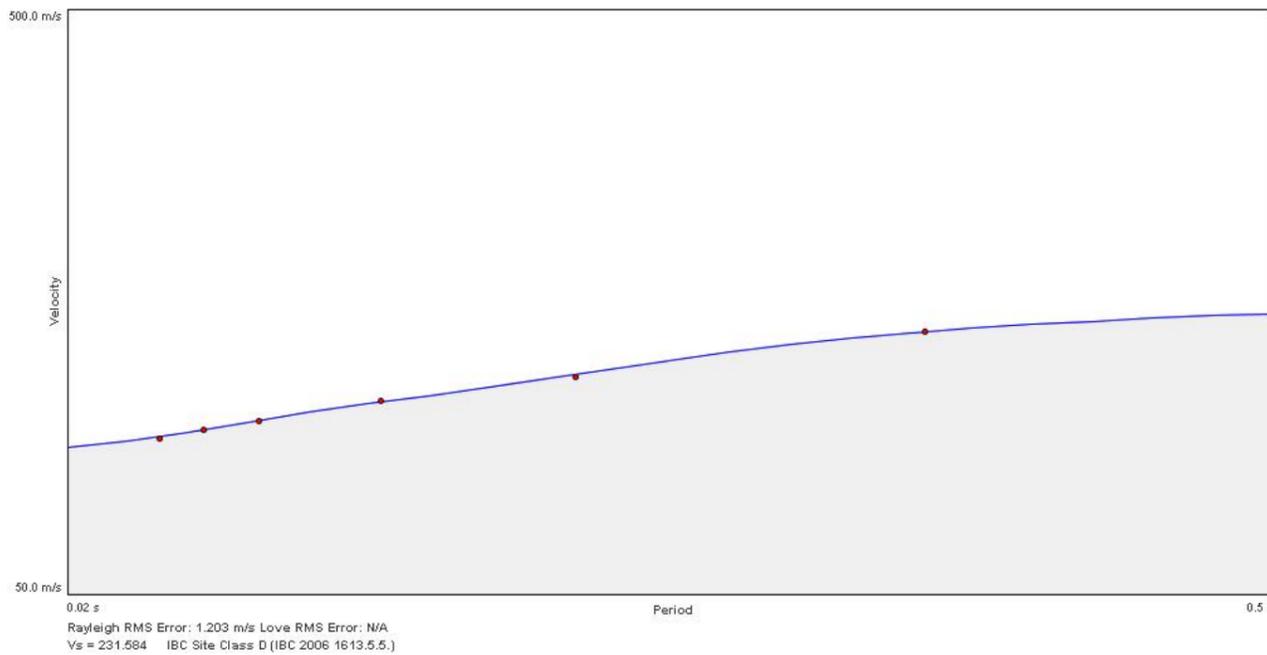
Ubicazione su ortofoto – stendimento a 24 canali (interasse costante = 5 metri)



Depth (m)	Density (g/cc)	Shear Velocity (m/s)
3.75	1.811	178.121
8.5	1.852	198.317
21.5	1.913	231.767
35.25	1.933	294.25
50.0	1.974	324.544

Strato (n)	Spessore (m)	Velocità (m/sec)
1	3,75	178
2	4,75	198
3	13,00	232
4	13,75	294
5	14,75	325

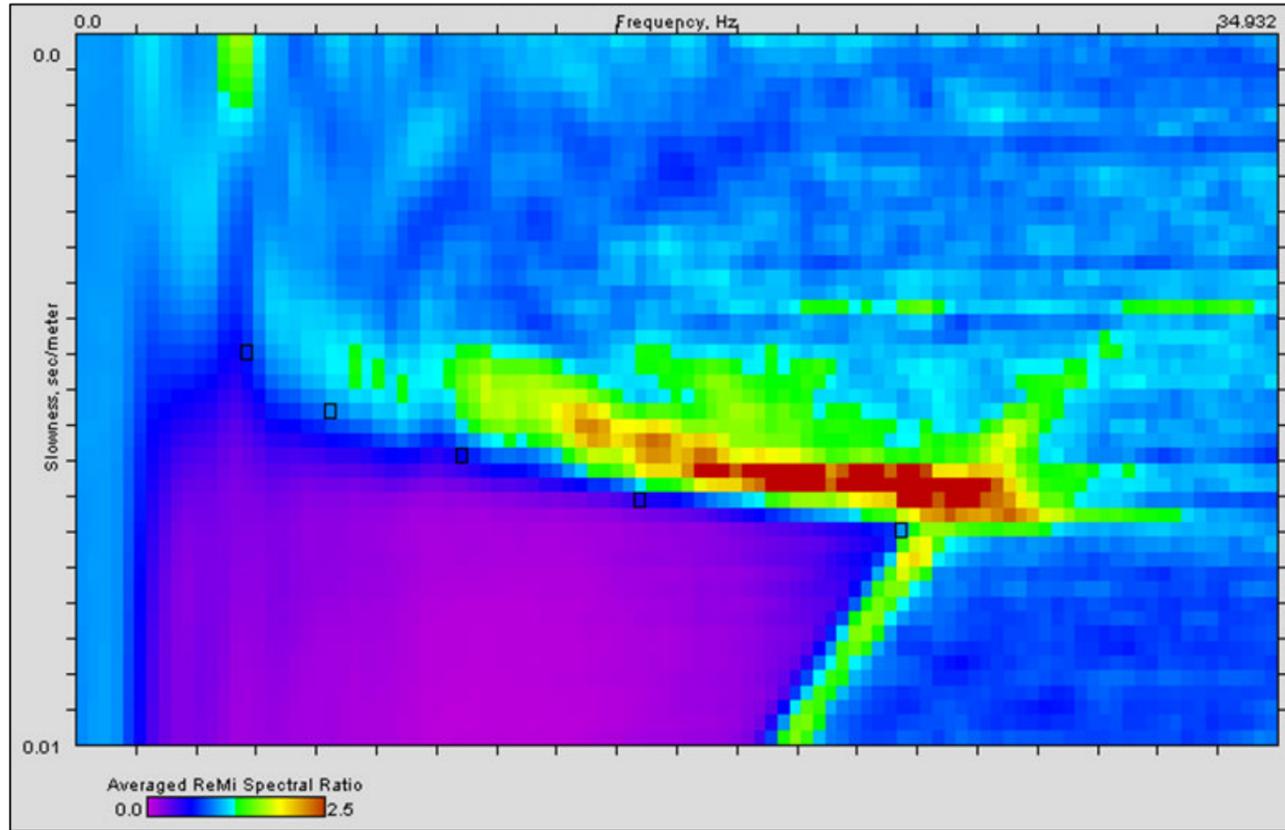
Vs30 = 231 m/sec



Indagine lineare (REMI) – Rif. 033014L21

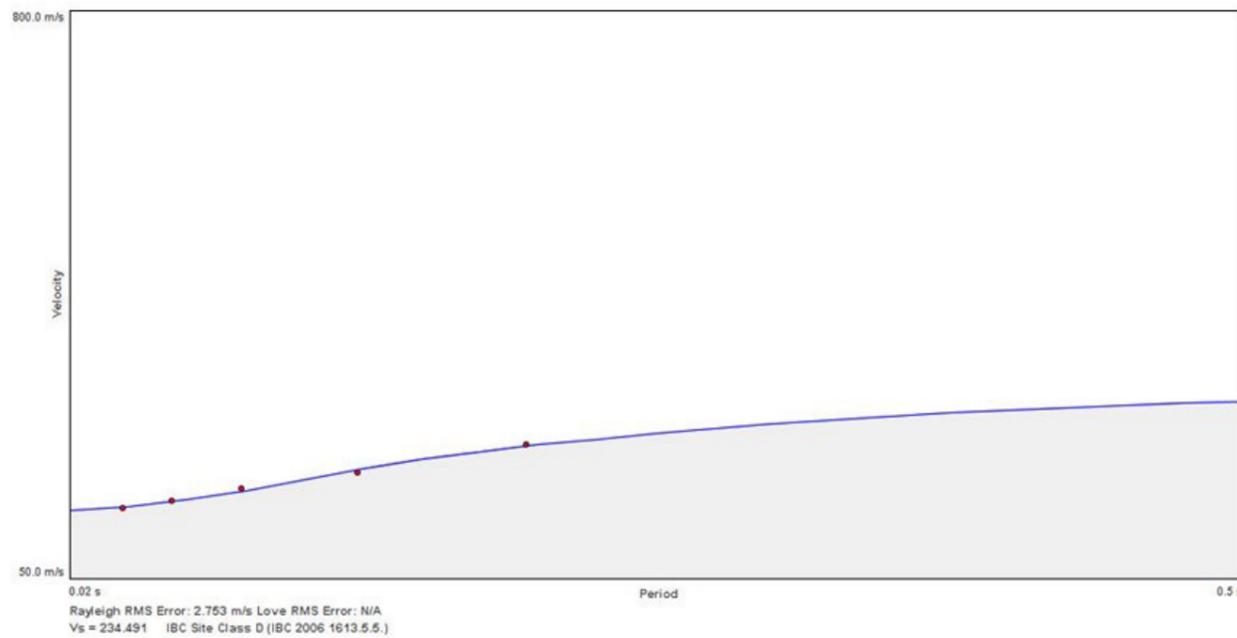
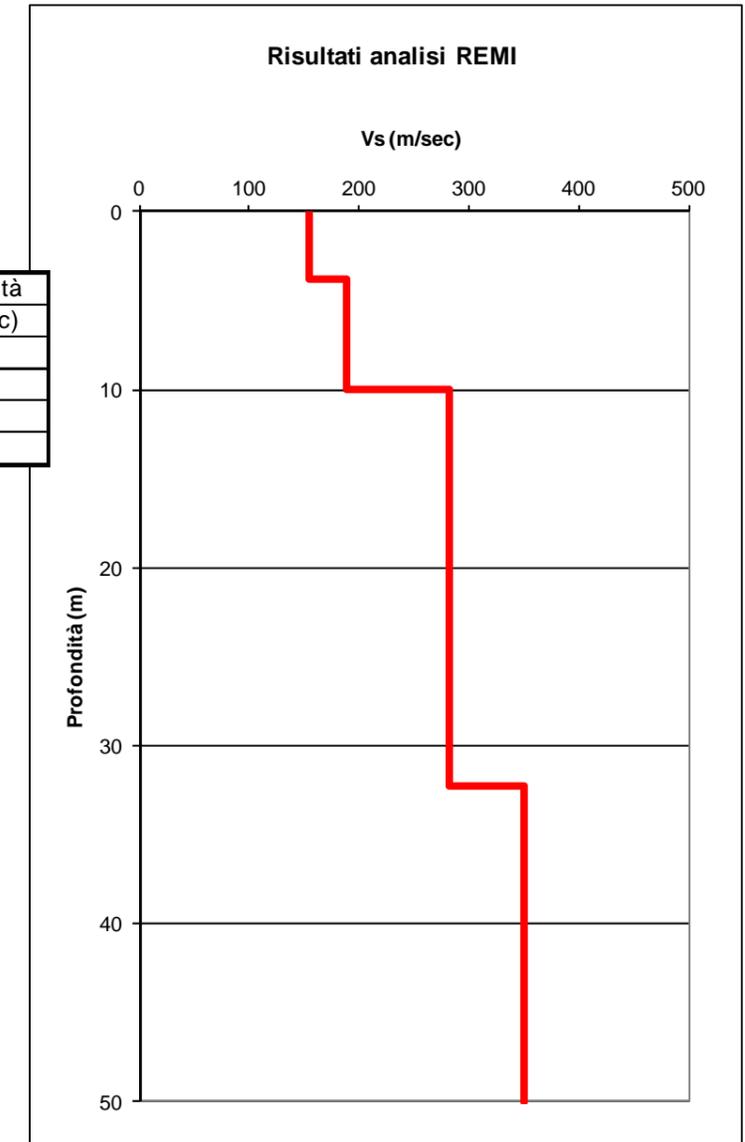


Ubicazione su ortofoto – stendimento a 24 canali (interasse costante = 3 metri)



	Density	Shear Velocity
3.75 m	1.815 g/cc	154.478 m/s
10.0 m	1.867 g/cc	188.06 m/s
32.25 m	1.919 g/cc	282.587 m/s
50.0 m	1.97 g/cc	350.995 m/s

Strato (n)	Spessore (m)	Velocità (m/sec)
1	3,75	154
2	6,25	188
3	22,25	283
4	17,75	351

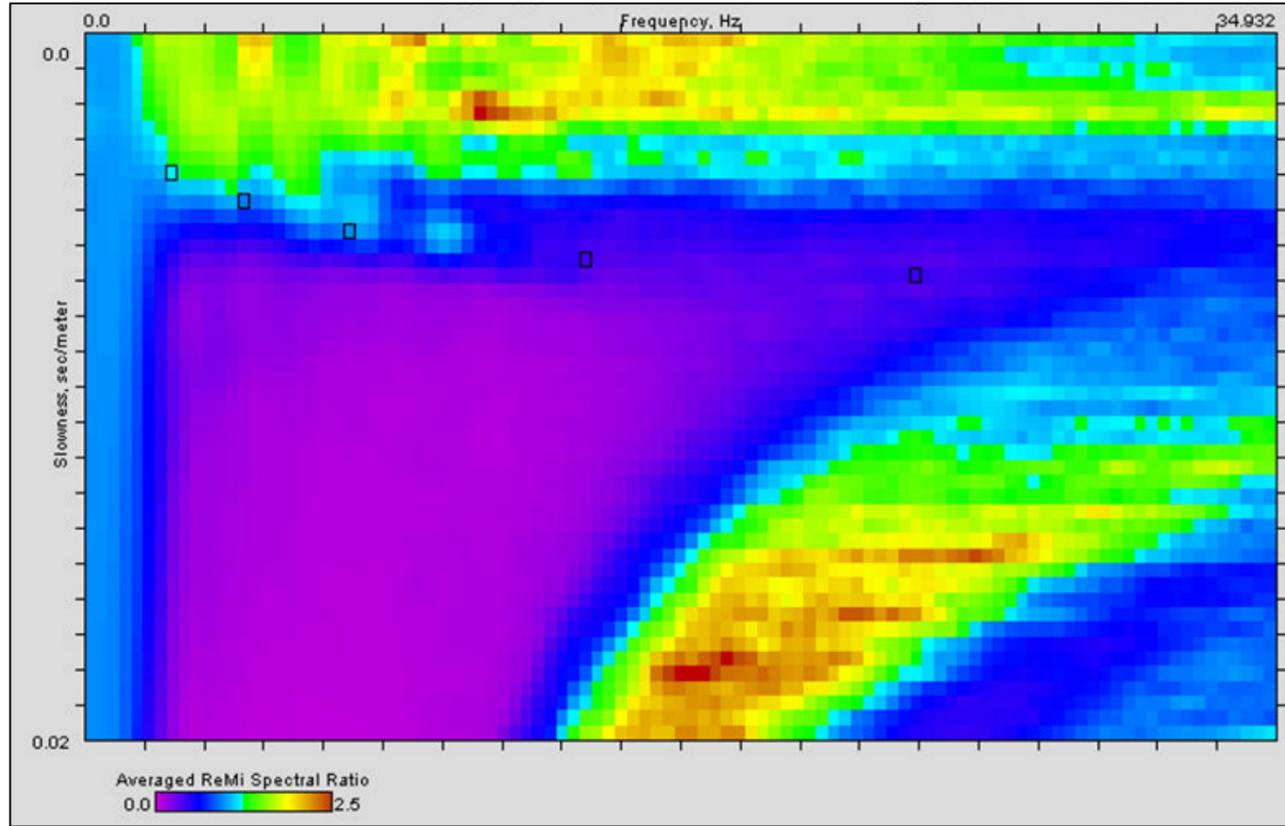


Vs30 = 234 m/sec

Indagine lineare (REMI) – Rif. 033014L22



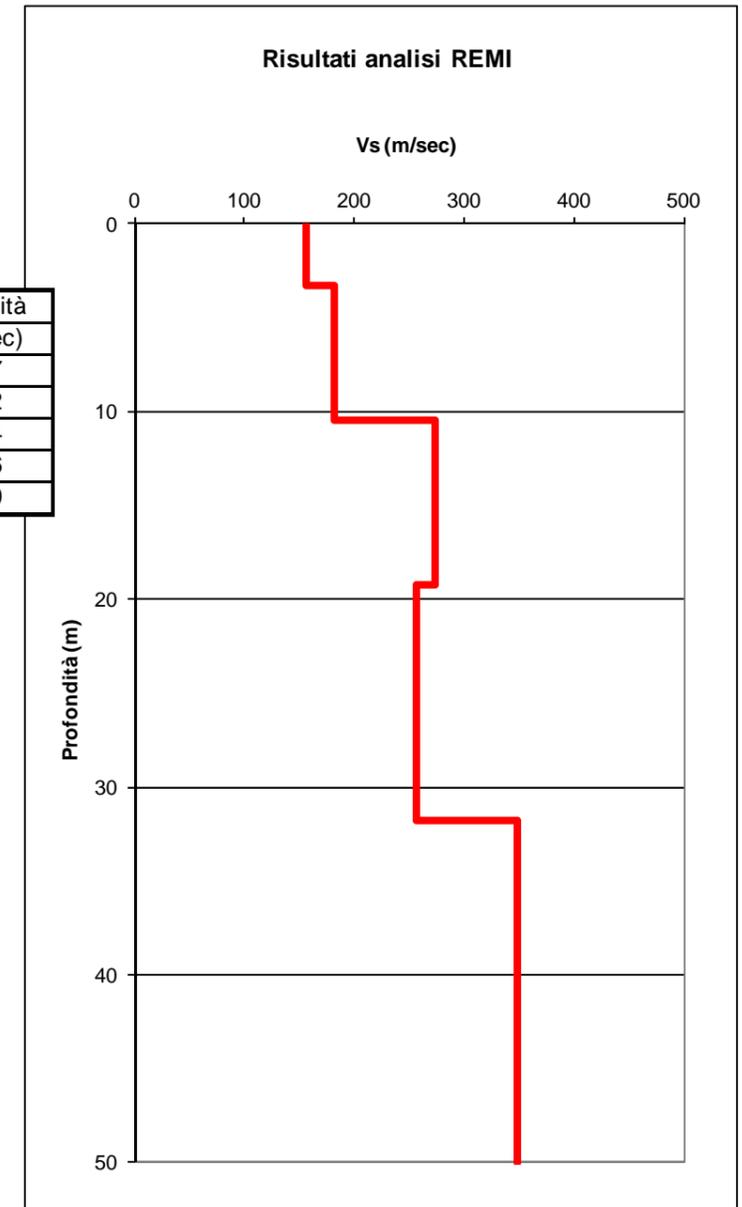
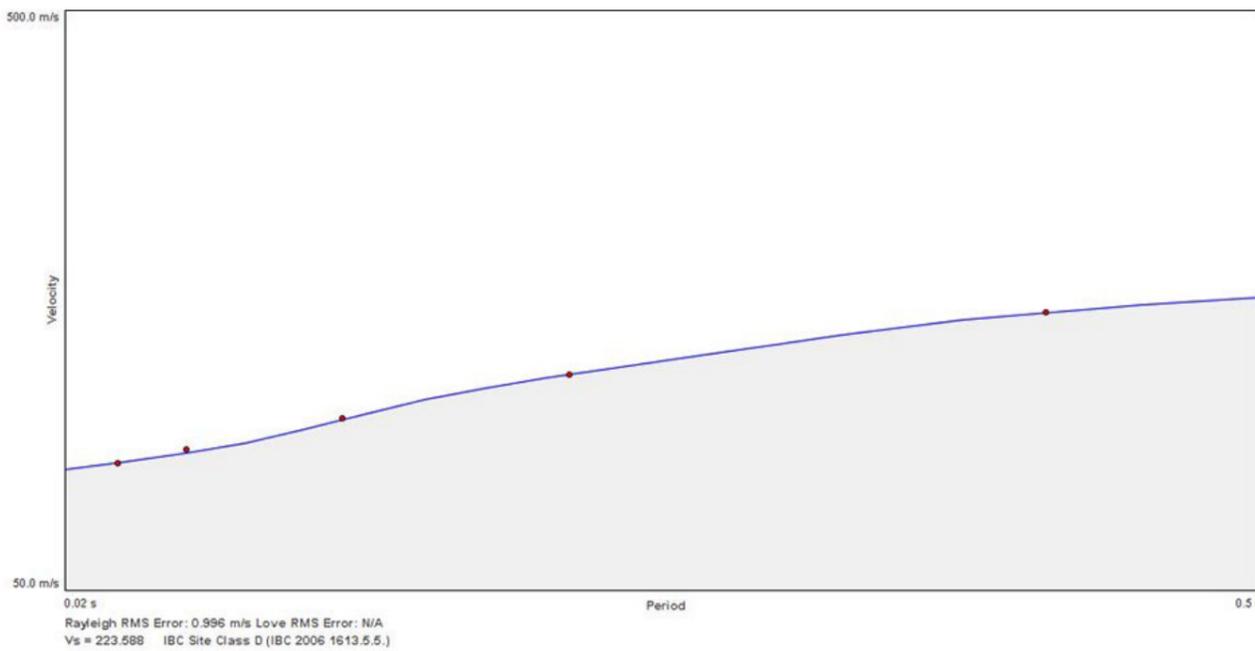
Ubicazione su ortofoto – stendimento a 24 canali (interasse costante = 3 metri)



	Density	Shear Velocity
3.25 m	1.915 g/cc	157.285 m/s
10.5 m	1.867 g/cc	181.871 m/s
19.25 m	1.919 g/cc	273.51 m/s
31.75 m	1.919 g/cc	256.374 m/s
50.0 m	1.97 g/cc	348.758 m/s

Strato (n)	Spessore (m)	Velocità (m/sec)
1	3,25	157
2	7,25	182
3	8,75	274
4	12,50	256
5	18,25	349

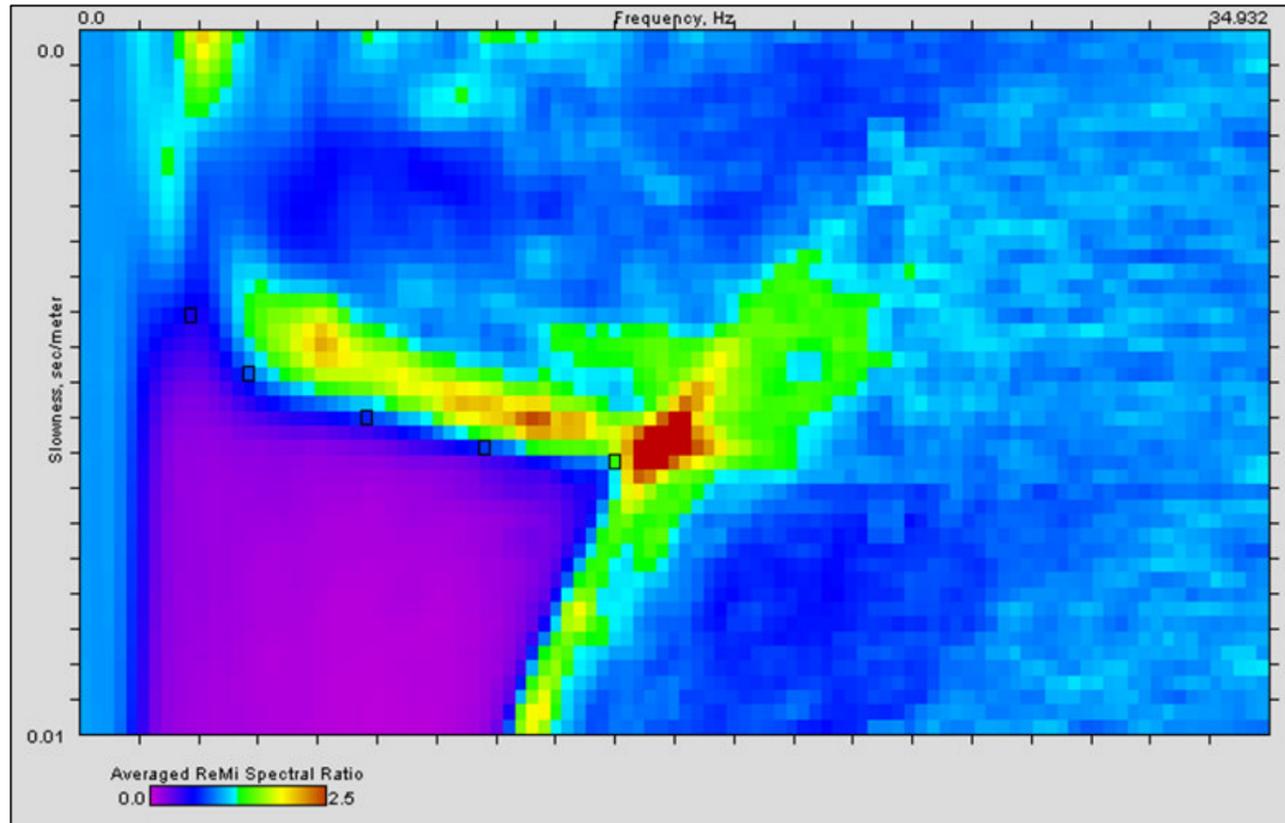
Vs30 = 223 m/sec



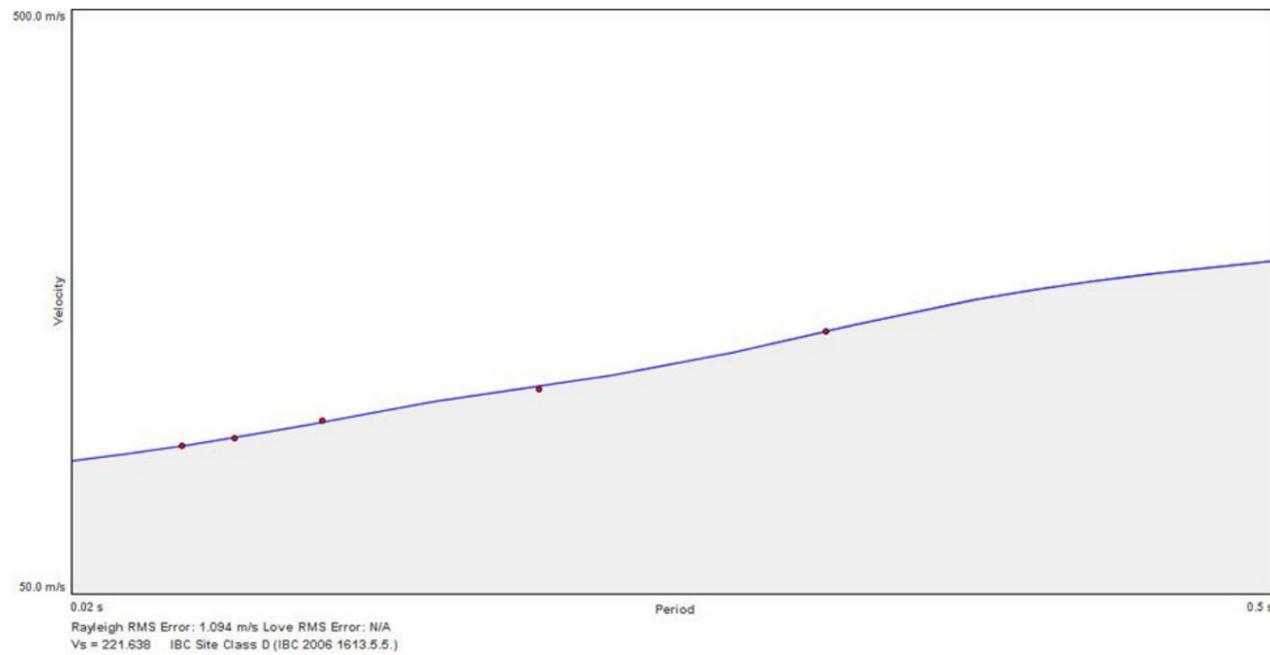
Indagine lineare (REMI) – Rif. 033014L23



Ubicazione su ortofoto – stendimento a 24 canali (interasse costante = 5 metri)

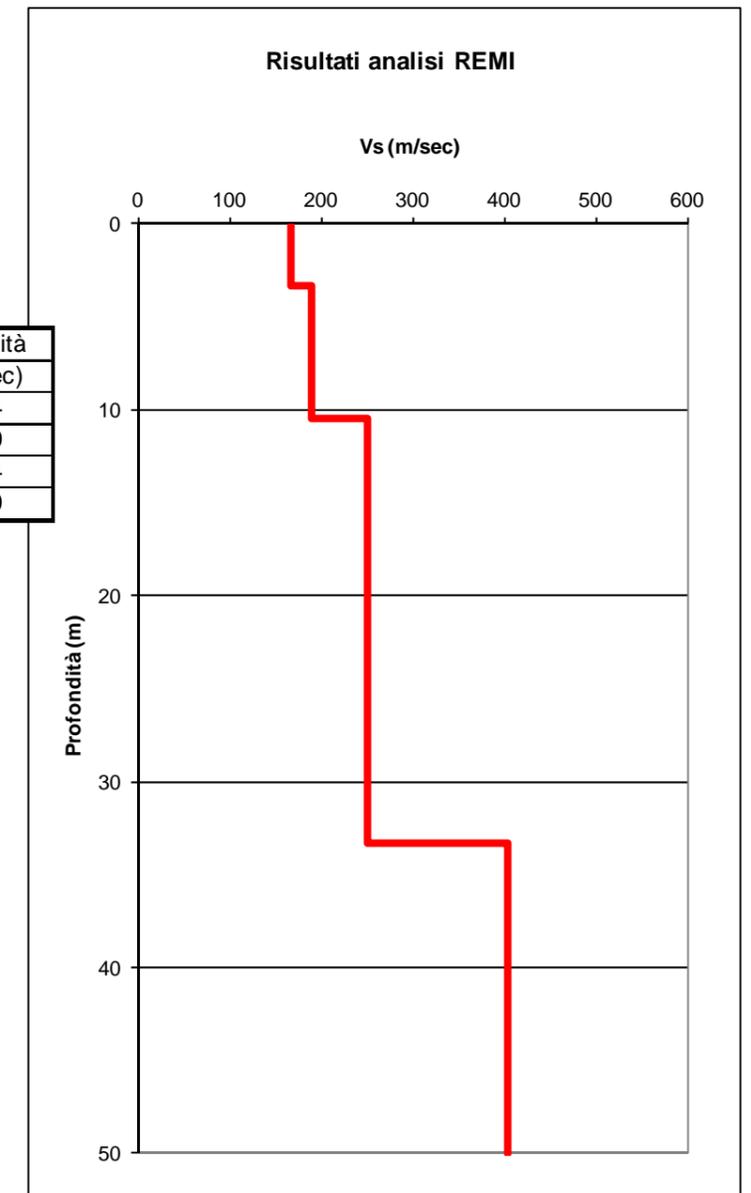


	Density	Shear Velocity
3.333 m	1.799 g/cc	167.164 m/s
10.5 m	1.815 g/cc	190.299 m/s
33.333 m	1.919 g/cc	250.0 m/s
50.0 m	1.97 g/cc	403.731 m/s



Strato (n)	Spessore (m)	Velocità (m/sec)
1	3,33	304
2	7,17	360
3	22,83	584
4	16,67	409

Vs30 = 221 m/sec



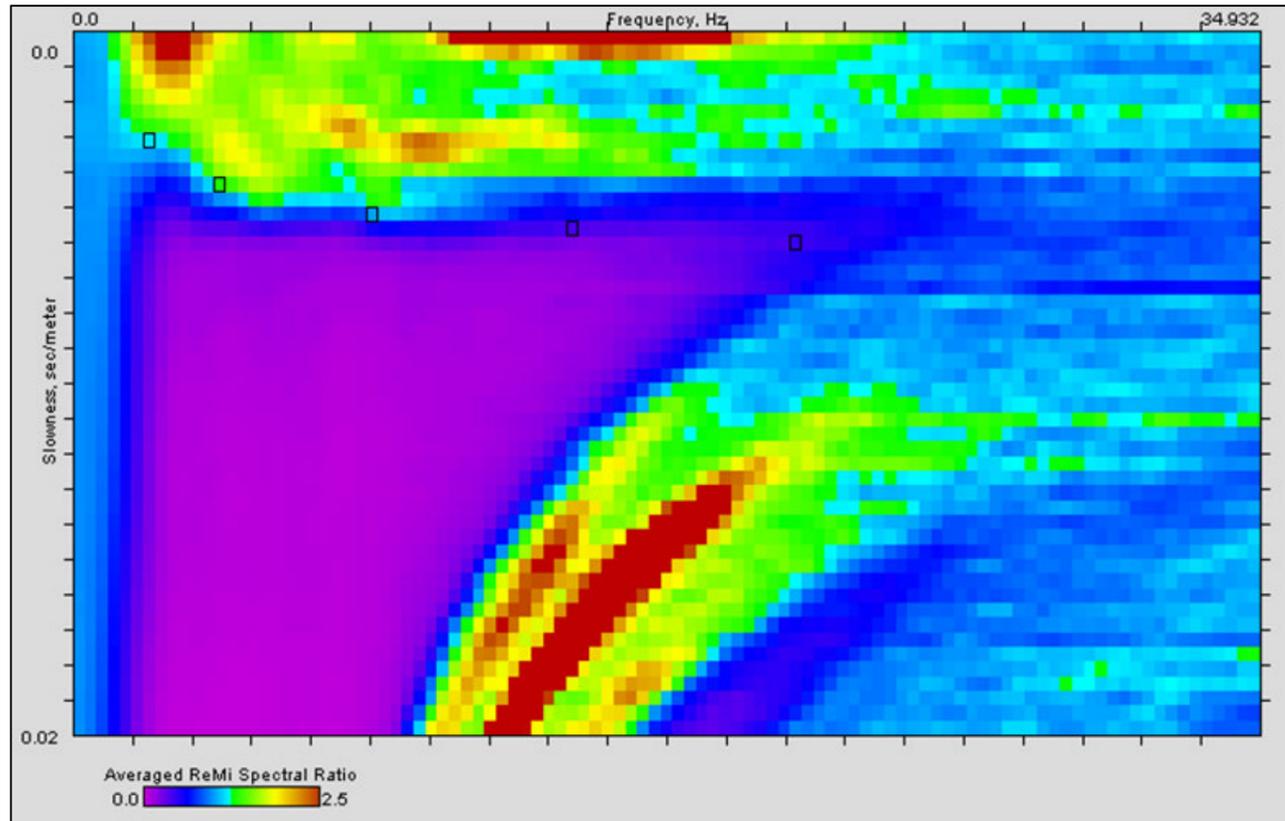
Indagine lineare (REMI) – Rif. 033014L24



Coordinate UTM 32N (WGS84)	
Lat	Lon
578468	4991225

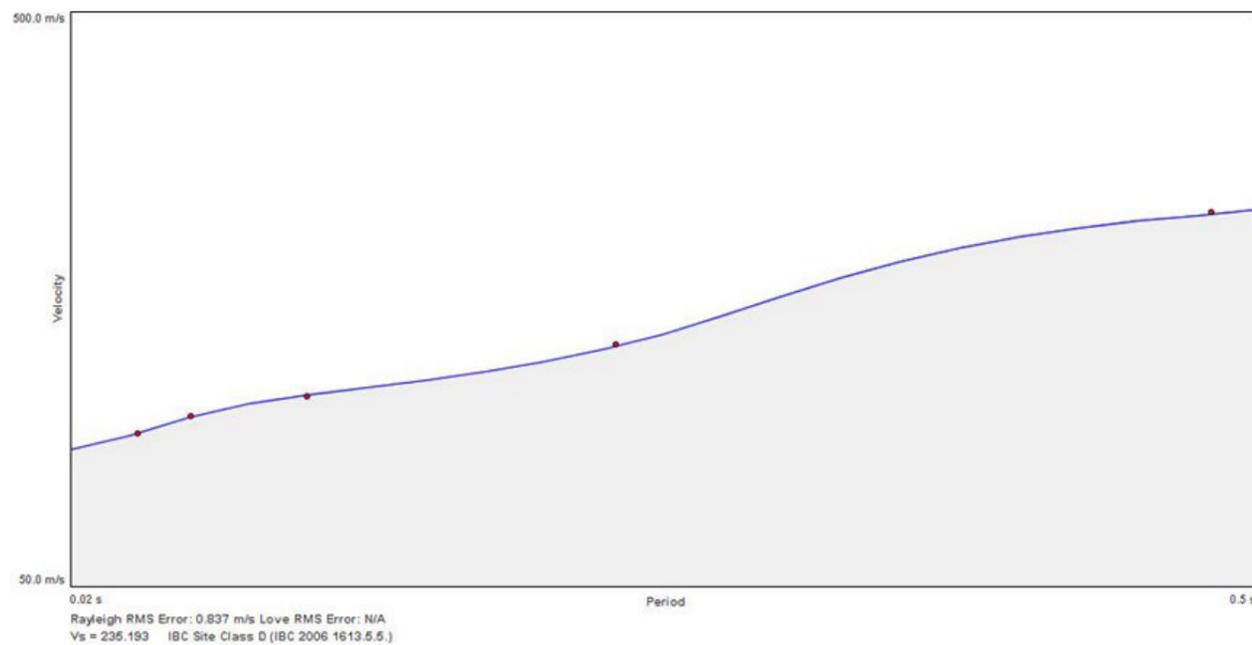


Ubicazione su ortofoto – stendimento a 24 canali (interasse costante = 4 metri)

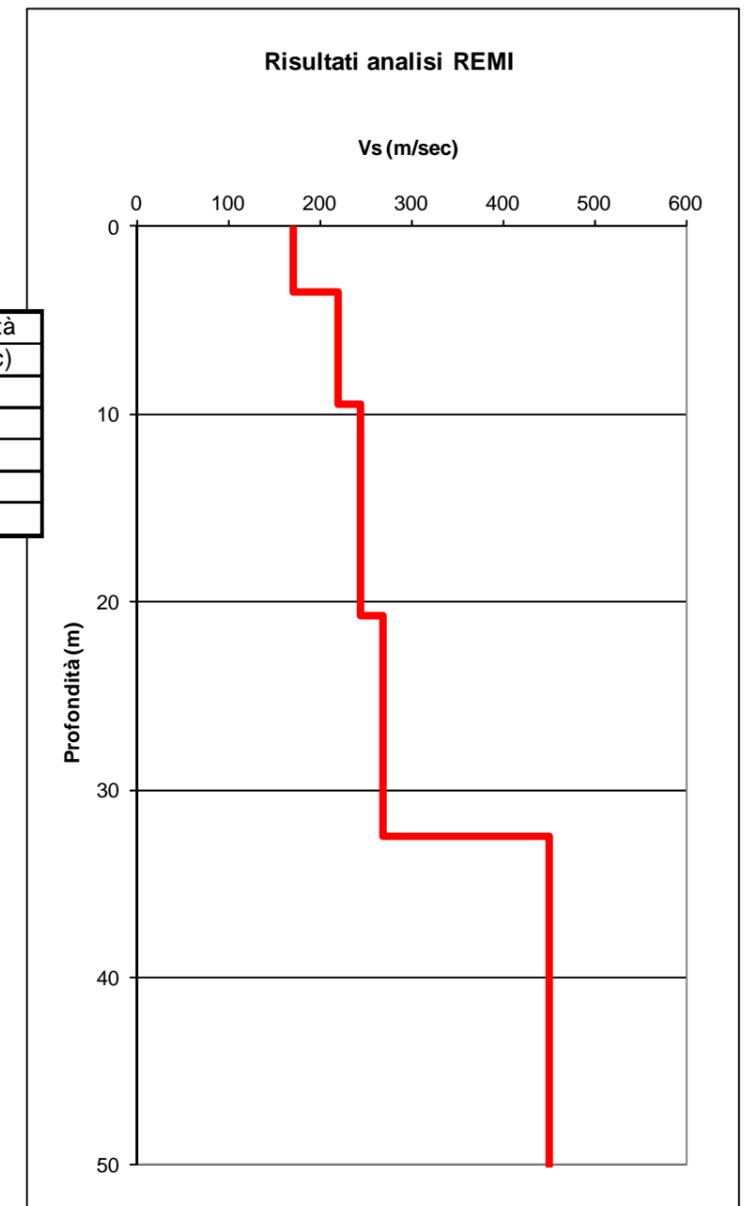


	Density	Shear Velocity
3.5 m	1.815 g/cc	172.388 m/s
9.5 m	1.841 g/cc	220.149 m/s
20.75 m	1.867 g/cc	245.522 m/s
32.5 m	1.893 g/cc	268.657 m/s
50.0 m	1.97 g/cc	450.0 m/s

Strato (n)	Spessore (m)	Velocità (m/sec)
1	3,50	172
2	6,00	220
3	11,25	246
4	11,75	269
5	17,50	450



Vs30 = 235 m/sec



Geol. Emani Emanuele
Via dei Ciliegi, 4 – Villanova sull'Arda
tel. 0523/853200 cell. 335/1281389



GEOREFLEX s.r.l.
Via Fioruzzi, 15 – 29121 Piacenza
sito web: www.georeflex.it

ALLEGATO 2 – Indagine tomografica (HVSR)

Indagine puntuale (HVSR) – Rif. 033014P47



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSR

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	31	CAS_1	Vertical	17/02/2016 00:00:00	15h46m	16h6m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	32	CAS_1	North	17/02/2016 00:00:00	15h46m	16h6m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	33	CAS_1	East	17/02/2016 00:00:00	15h46m	16h6m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

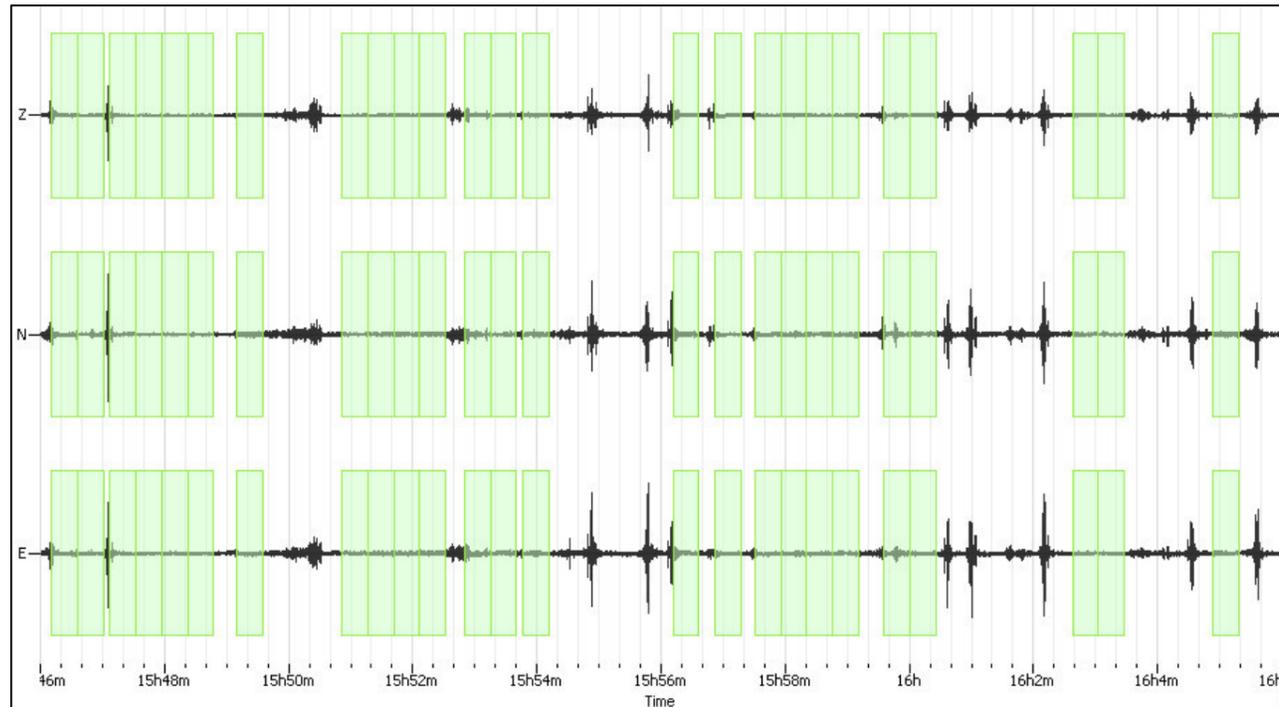
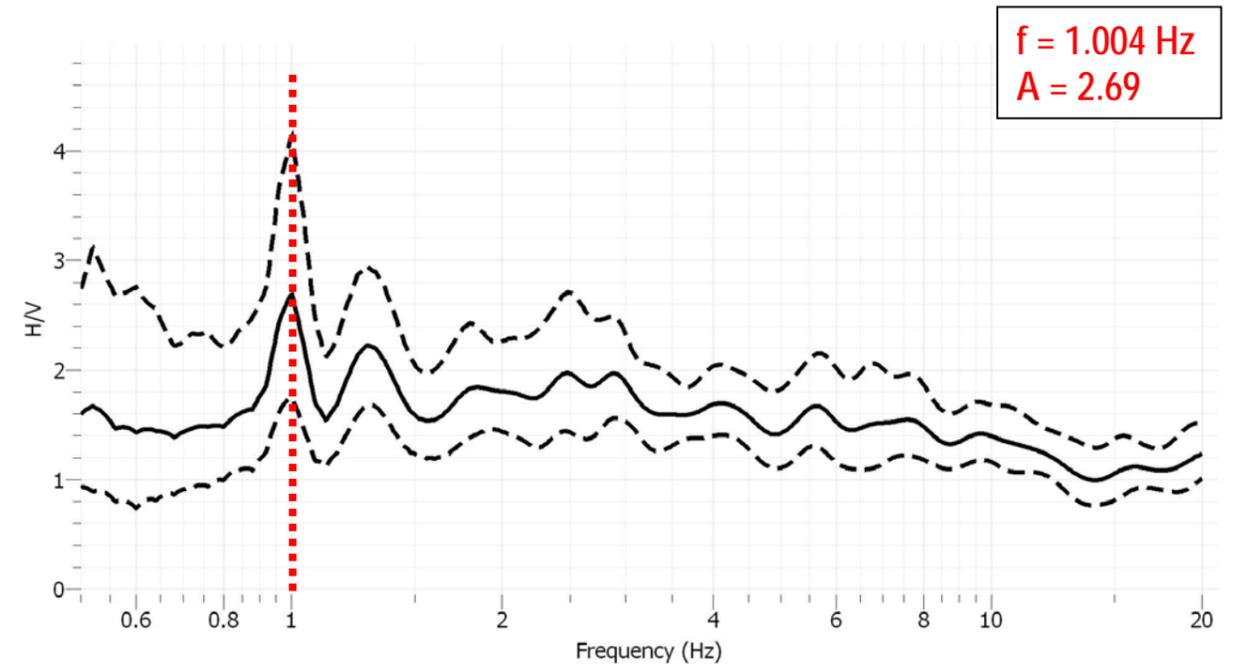


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P48



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	7	CAS_2	Vertical	17/02/2016 00:00:00	14h34m	14h54m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	8	CAS_2	North	17/02/2016 00:00:00	14h34m	14h54m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	9	CAS_2	East	17/02/2016 00:00:00	14h34m	14h54m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

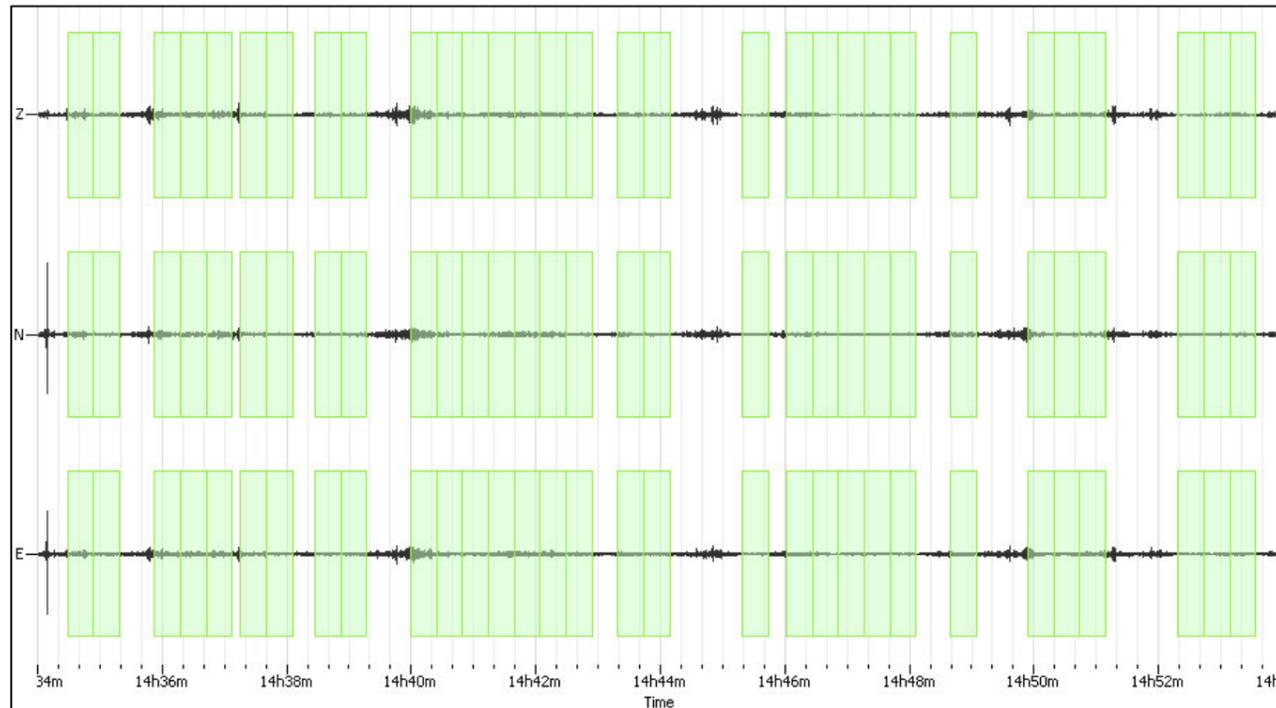
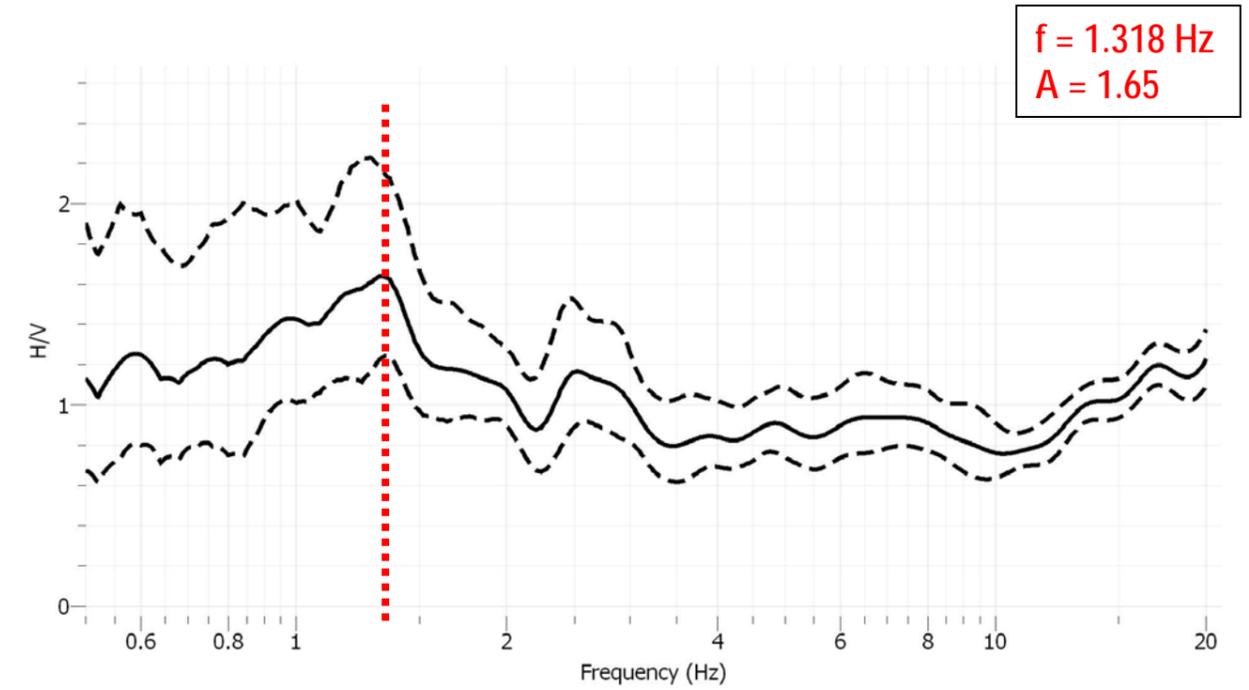


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P49



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	13	CA5_3	Vertical	17/02/2016 00:00:00	12h12m	12h32m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	14	CA5_3	North	17/02/2016 00:00:00	12h12m	12h32m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	15	CA5_3	East	17/02/2016 00:00:00	12h12m	12h32m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

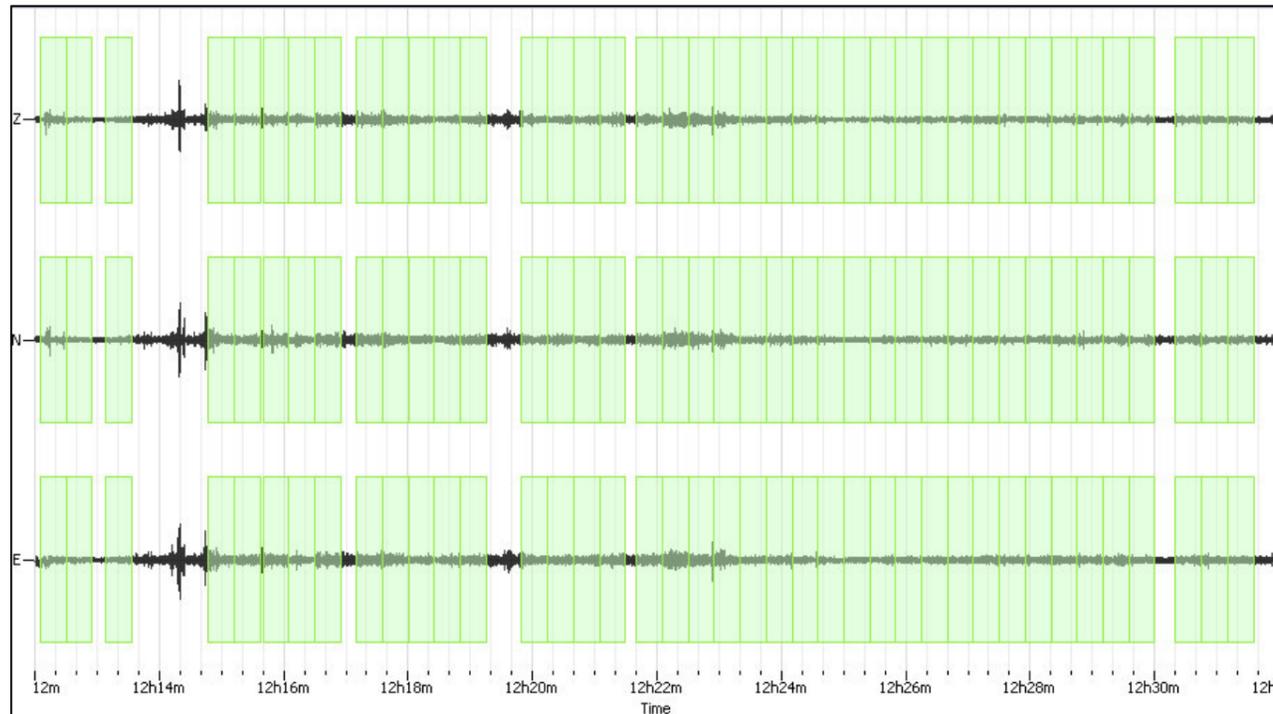
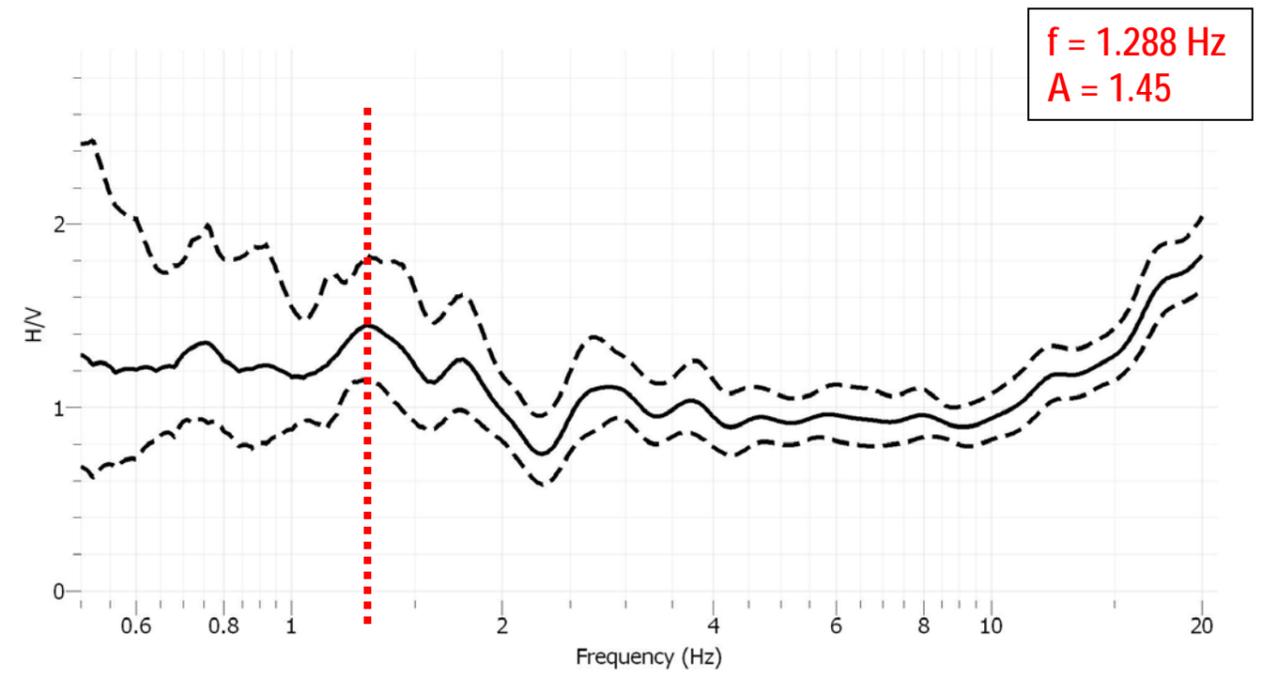


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P50



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	58	CAS_4	Vertical	24/02/2016 00:00:00	12h16m	12h36m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	59	CAS_4	North	24/02/2016 00:00:00	12h16m	12h36m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	60	CAS_4	East	24/02/2016 00:00:00	12h16m	12h36m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

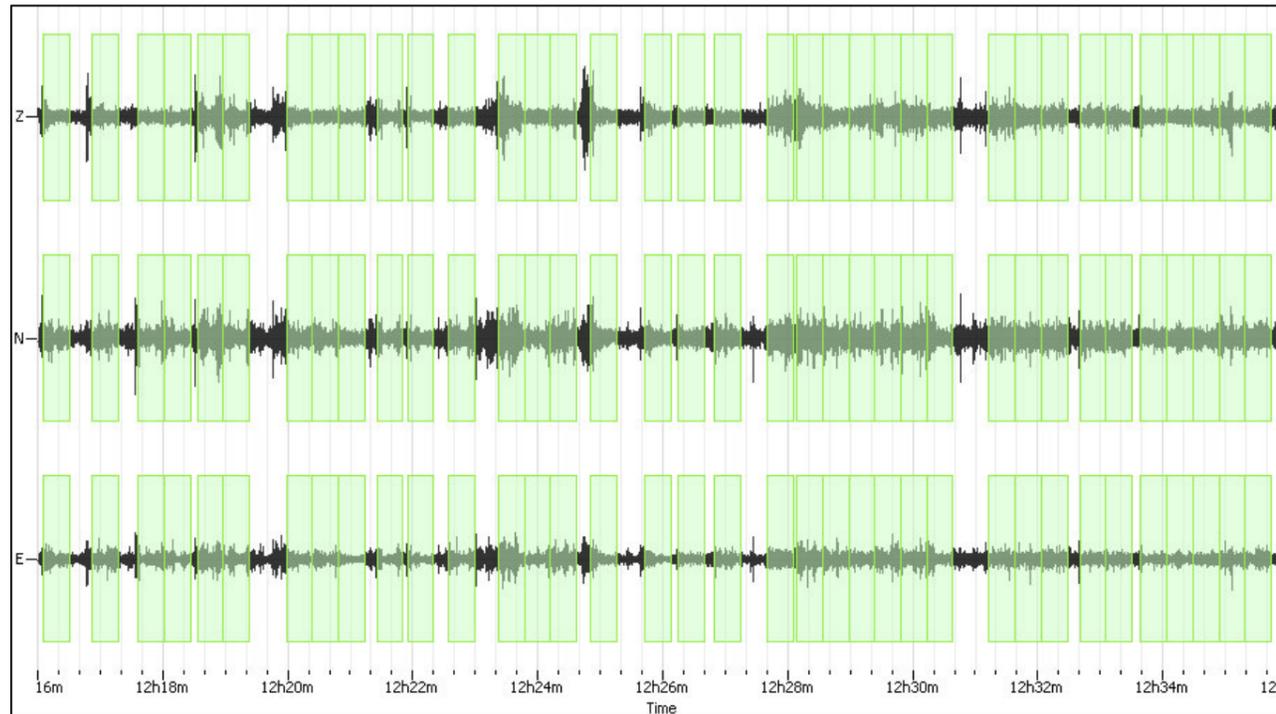
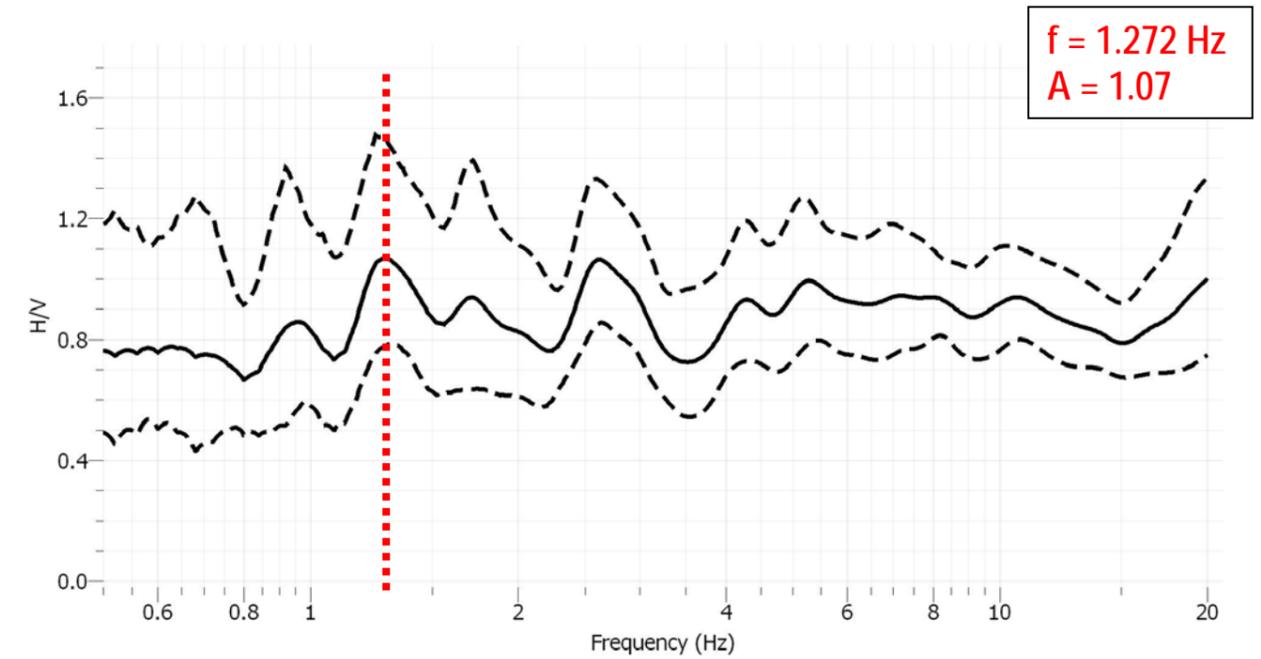


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P51



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	55	CAS_5	Vertical	16/02/2016 00:00:00	14h48m	15h8m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	56	CAS_5	North	16/02/2016 00:00:00	14h48m	15h8m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	57	CAS_5	East	16/02/2016 00:00:00	14h48m	15h8m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

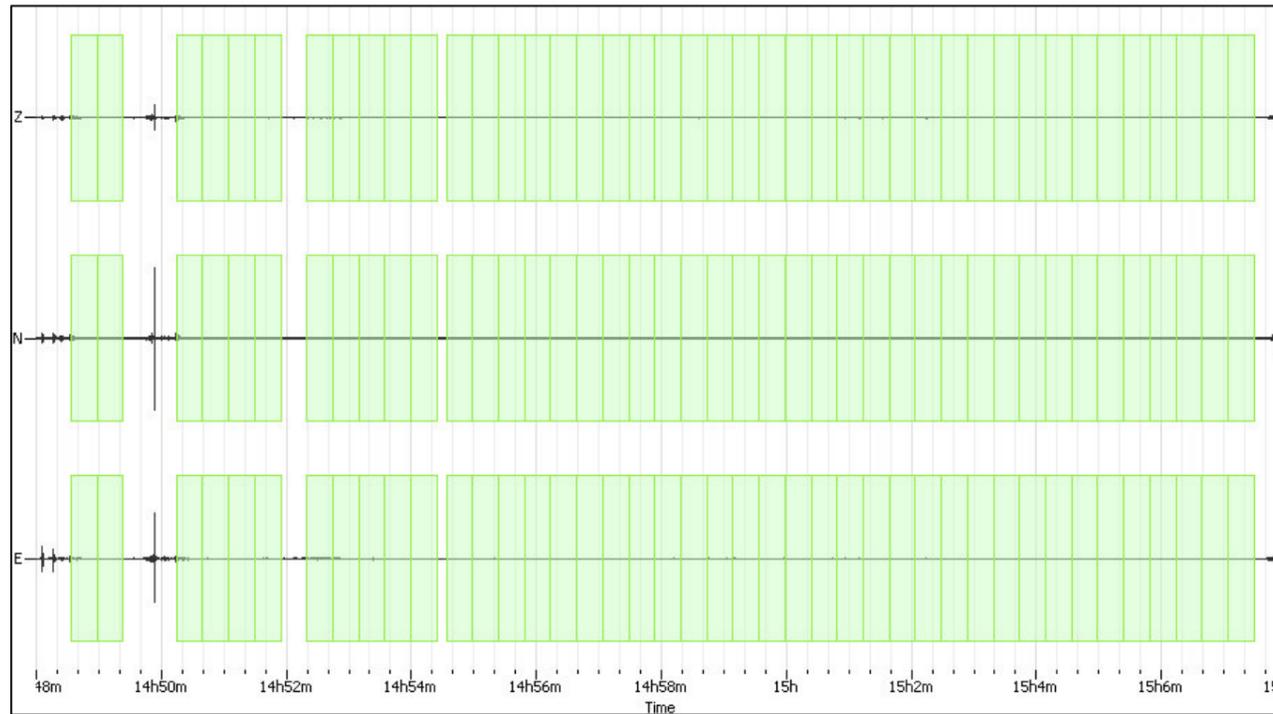
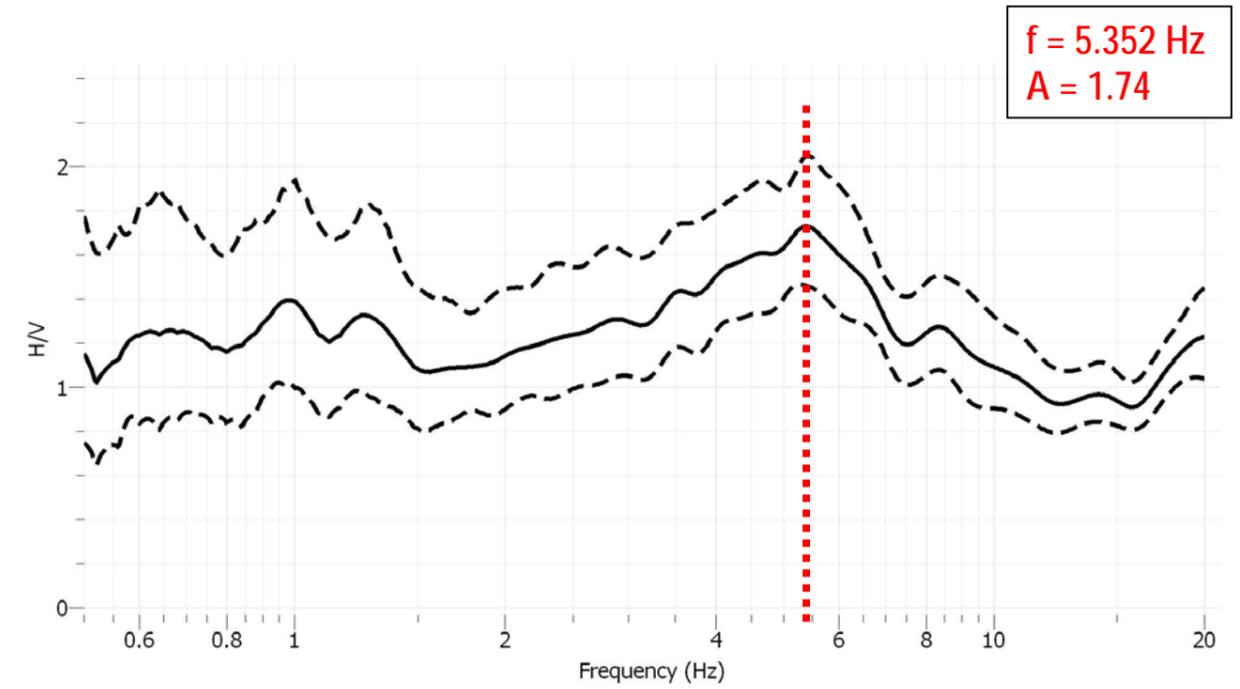


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P52



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	25	CAS_7	Vertical	17/02/2016 00:00:00	16h49m	17h9m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	26	CAS_7	North	17/02/2016 00:00:00	16h49m	17h9m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	27	CAS_7	East	17/02/2016 00:00:00	16h49m	17h9m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

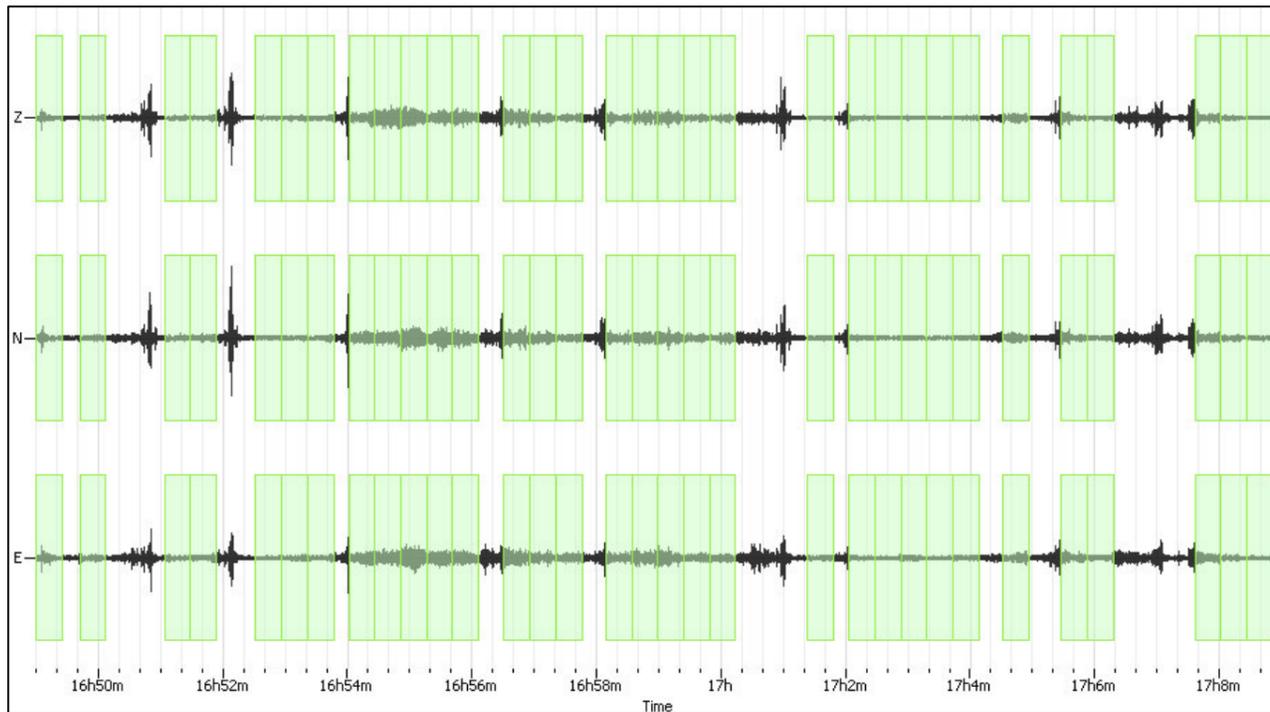
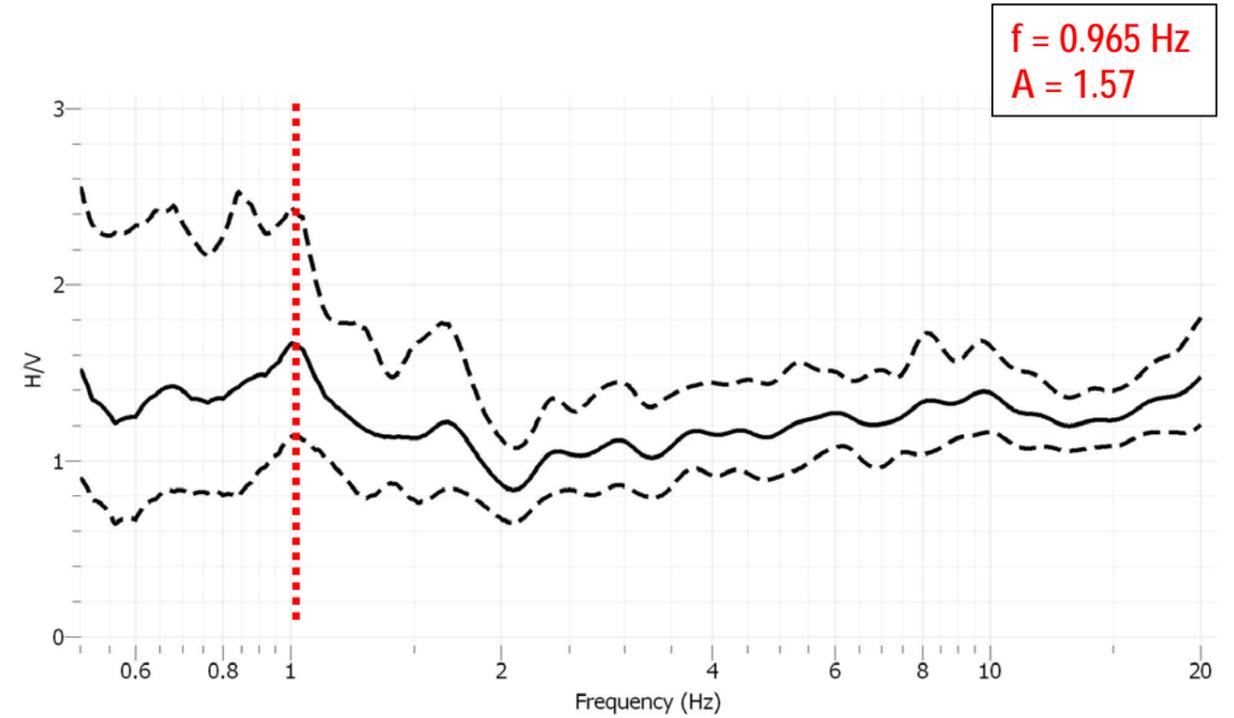


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P53



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr



ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1 28	CAS_8	Vertical	17/02/2016 00:00:00	11h31m	11h51m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2 29	CAS_8	North	17/02/2016 00:00:00	11h31m	11h51m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3 30	CAS_8	East	17/02/2016 00:00:00	11h31m	11h51m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

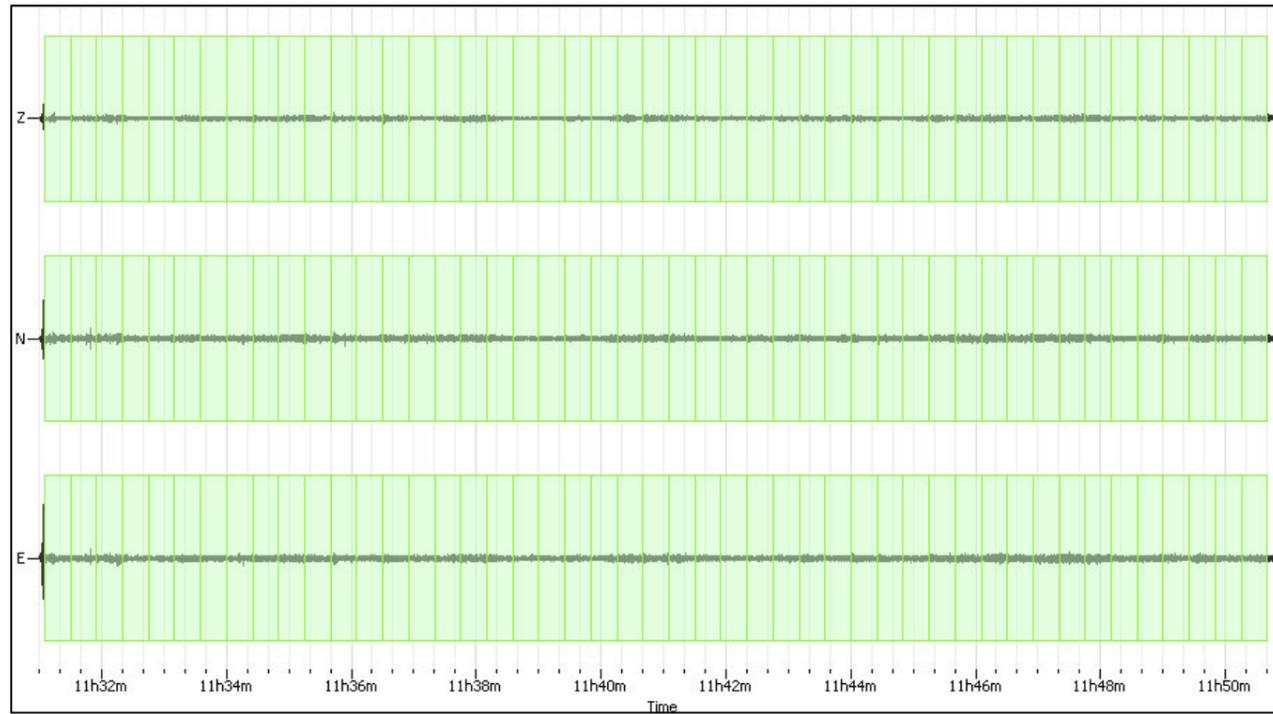
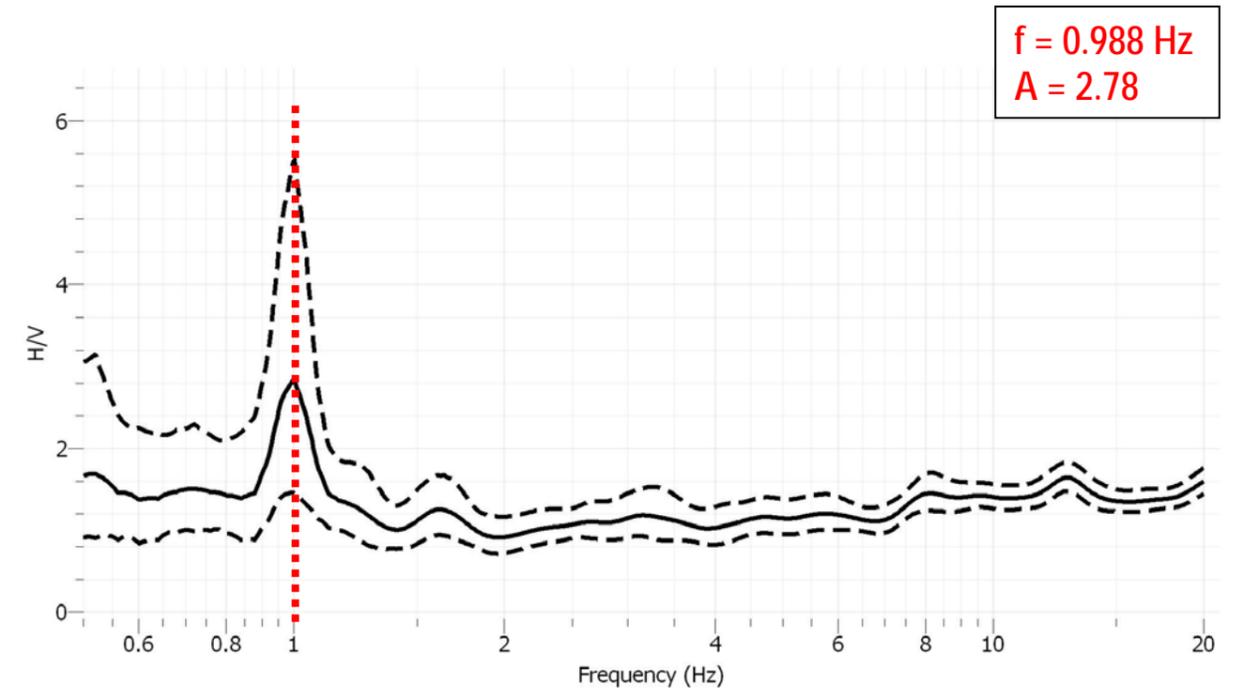


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSR) – Rif. 033014P54



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSR

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	64	CAS_9	Vertical	16/02/2016 00:00:00	12h55m	13h15m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	65	CAS_9	North	16/02/2016 00:00:00	12h55m	13h15m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	66	CAS_9	East	16/02/2016 00:00:00	12h55m	13h15m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

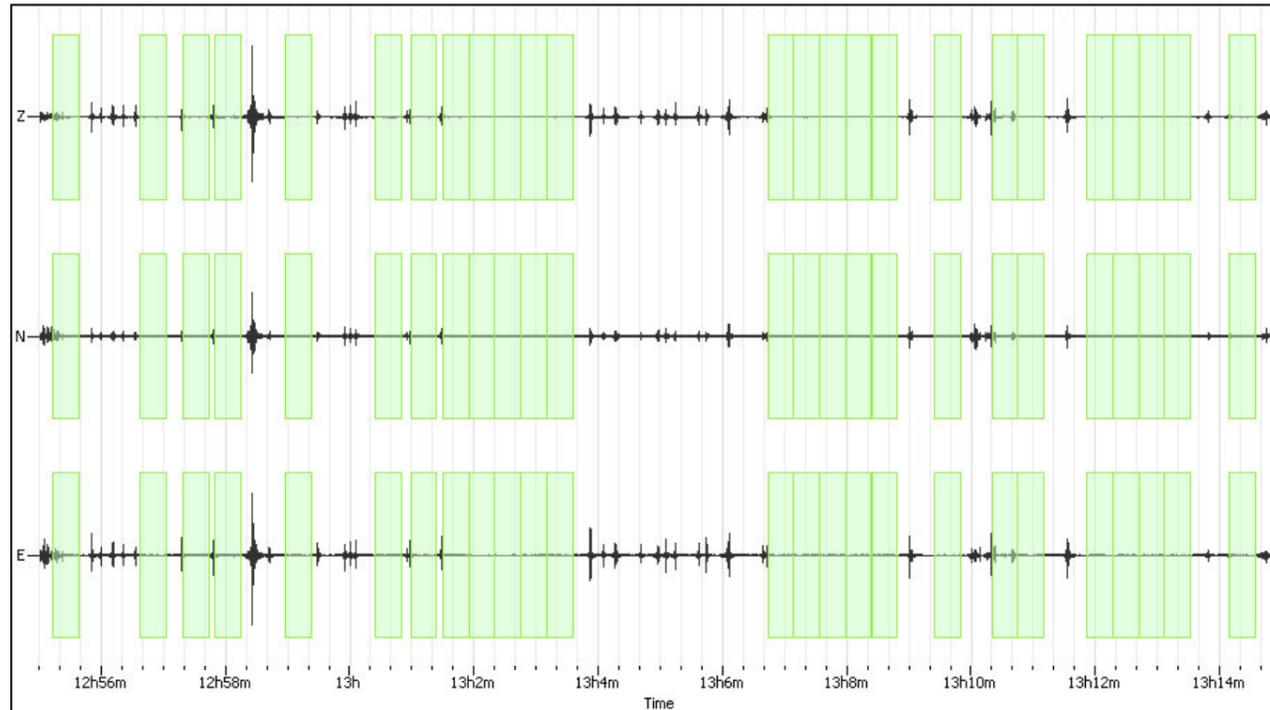
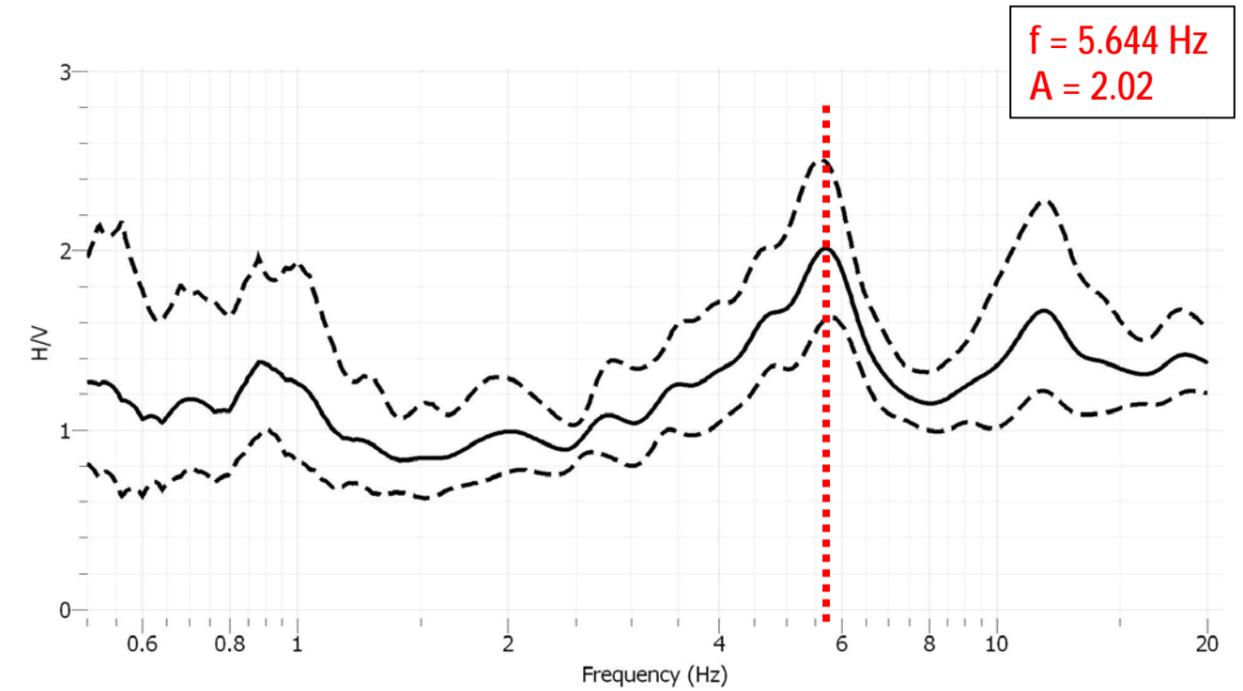


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P55



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	67	CAS_10	Vertical	16/02/2016 00:00:00	17h2m	17h22m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	68	CAS_10	North	16/02/2016 00:00:00	17h2m	17h22m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	69	CAS_10	East	16/02/2016 00:00:00	17h2m	17h22m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

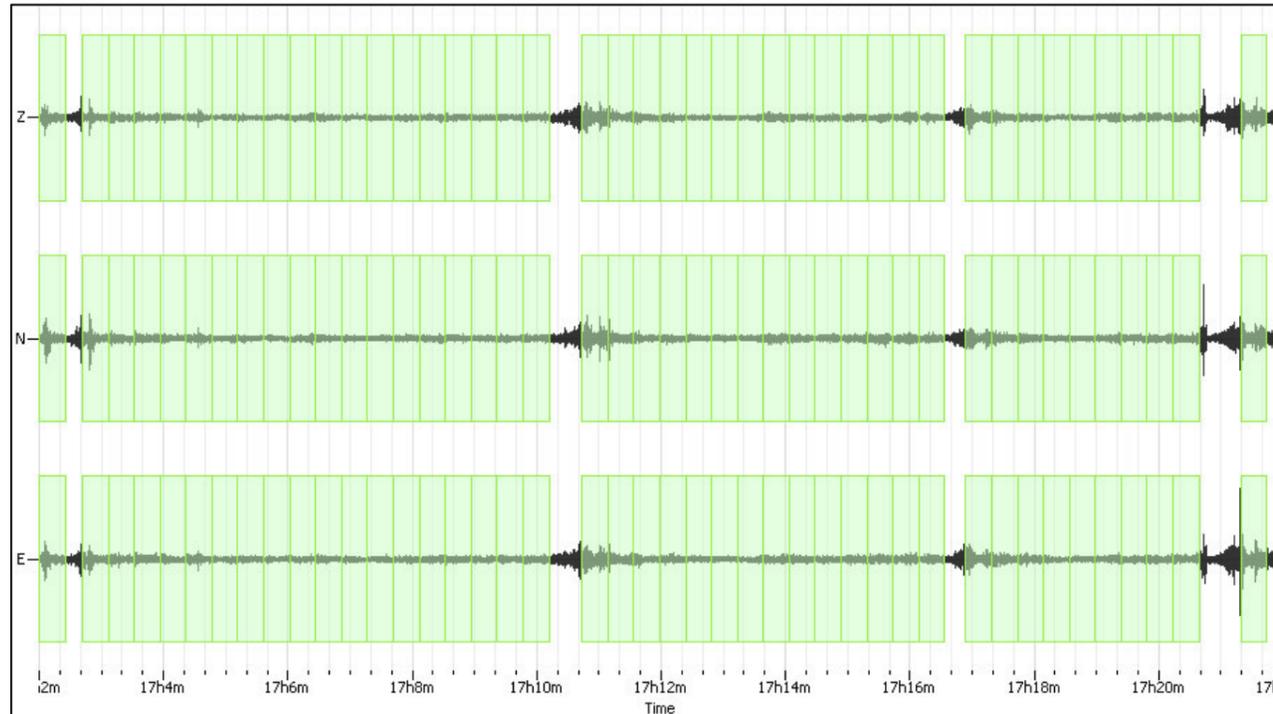
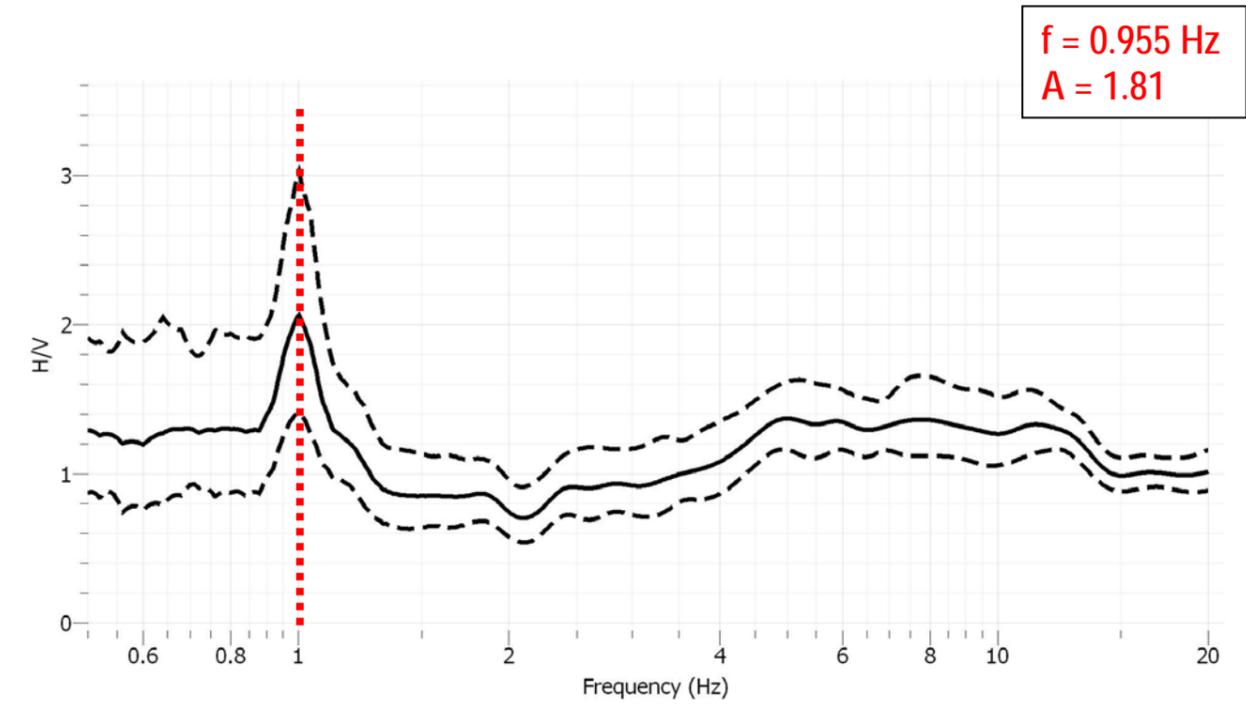


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P56



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	31	CAS_11	Vertical	17/02/2016 00:00:00	10h42m	11h2m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	32	CAS_11	North	17/02/2016 00:00:00	10h42m	11h2m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	33	CAS_11	East	17/02/2016 00:00:00	10h42m	11h2m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

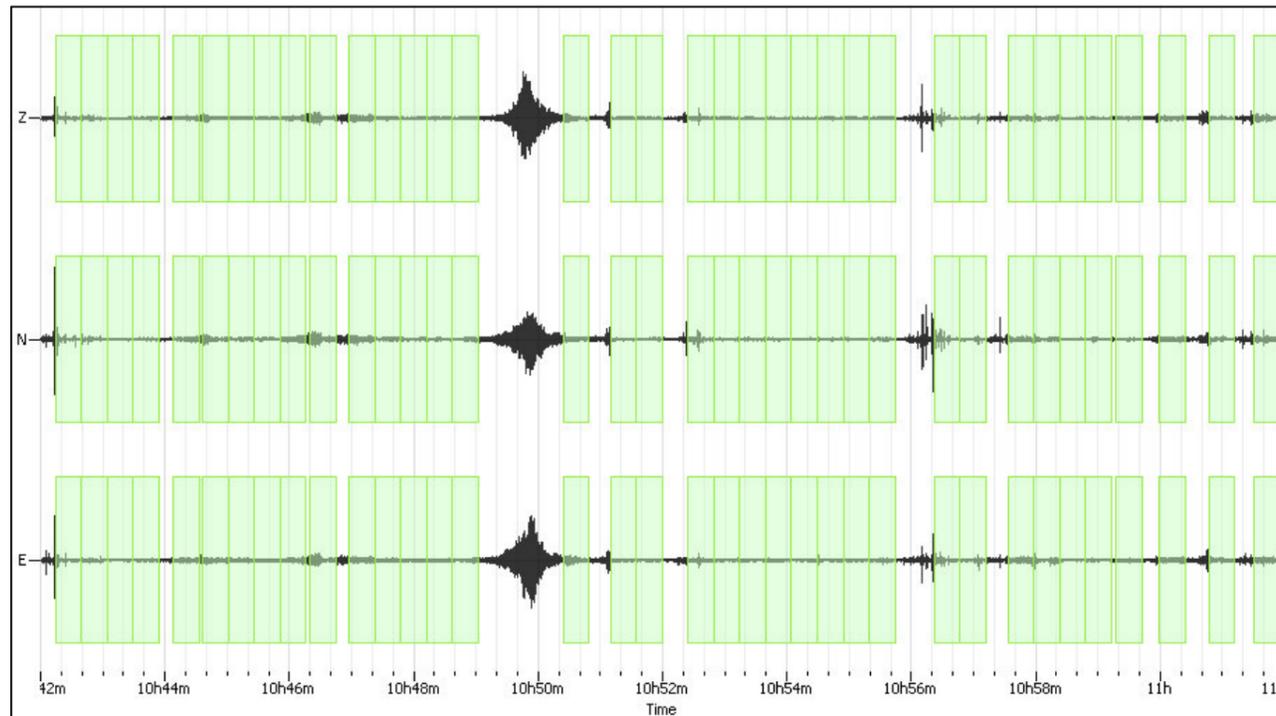
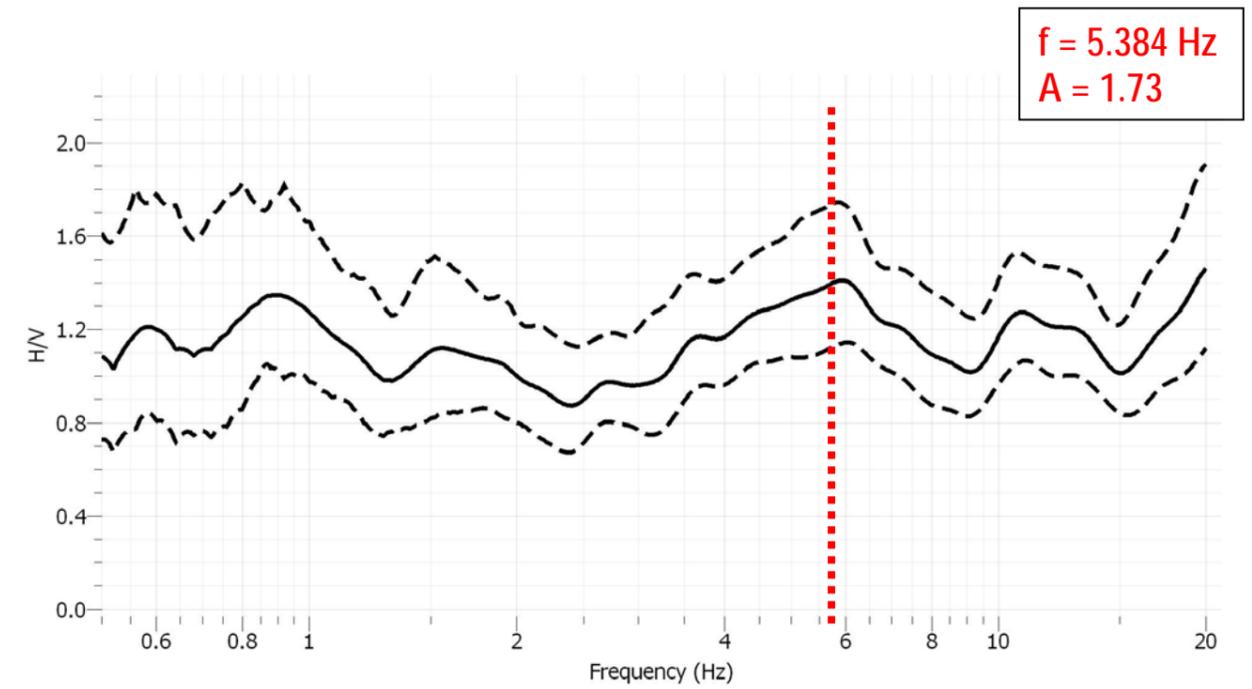


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P57



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr



ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	34	CAS_12	Vertical	17/02/2016 00:00:00	15h8m	15h28m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	35	CAS_12	North	17/02/2016 00:00:00	15h8m	15h28m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	36	CAS_12	East	17/02/2016 00:00:00	15h8m	15h28m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

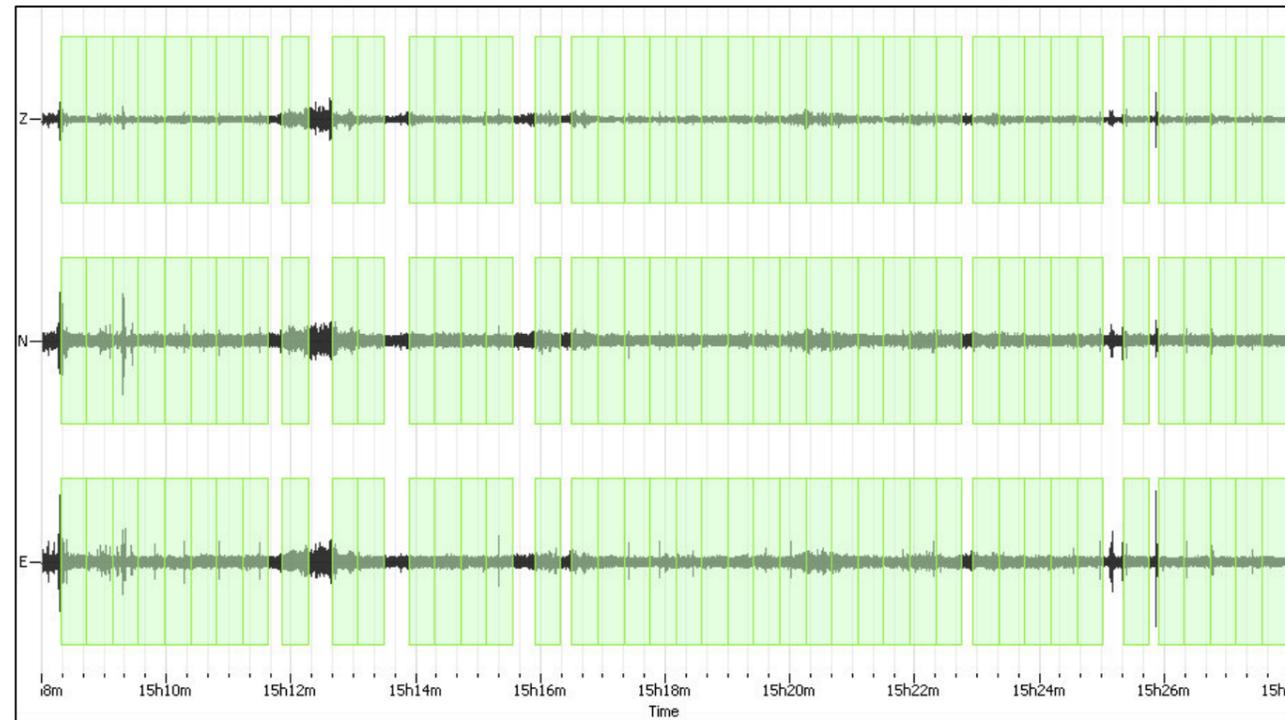
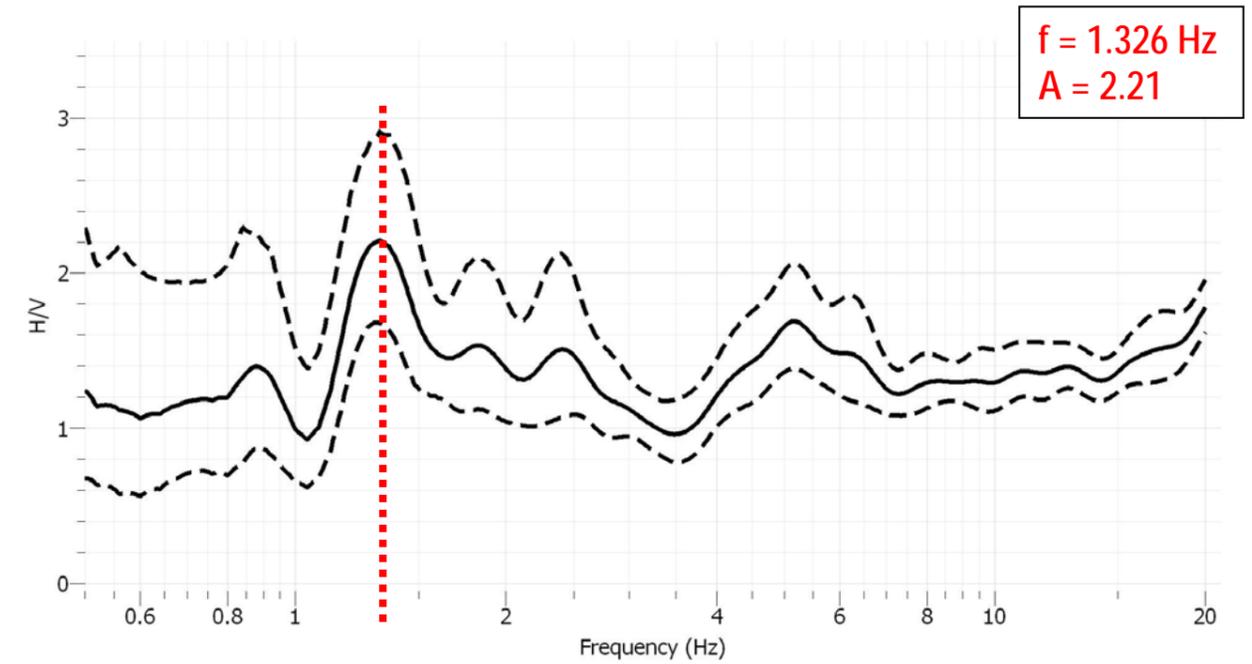


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P58



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	70	CAS_AIMI	Vertical	16/02/2016 00:00:00	15h25m	15h45m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	71	CAS_AIMI	North	16/02/2016 00:00:00	15h25m	15h45m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	72	CAS_AIMI	East	16/02/2016 00:00:00	15h25m	15h45m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

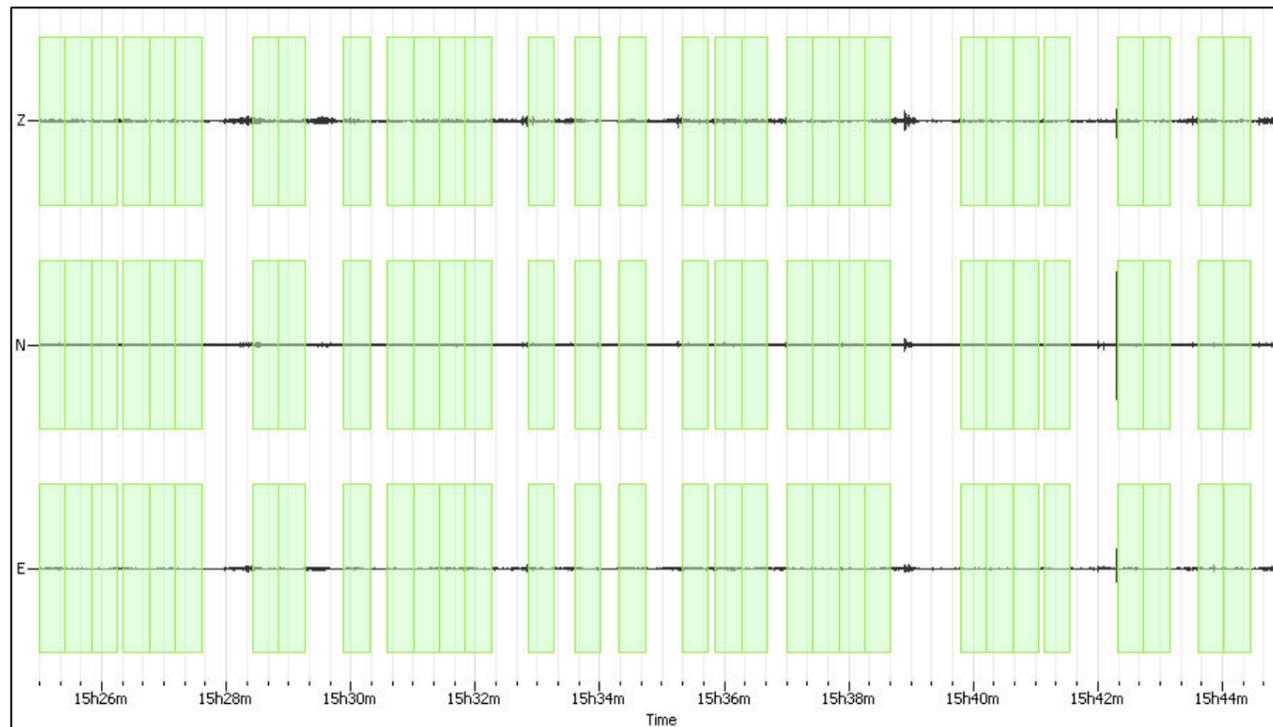
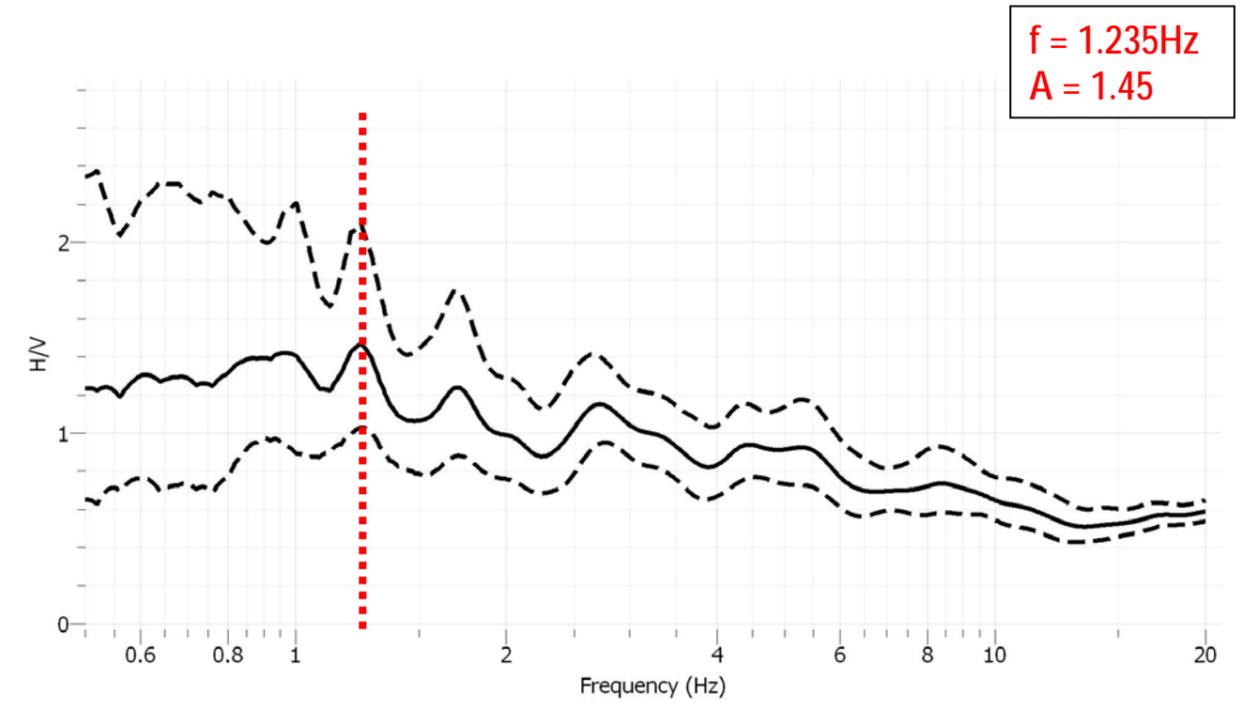


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P59



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	106	CAS_NEW	Vertical	24/02/2016 00:00:00	12h47m	13h7m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	107	CAS_NEW	North	24/02/2016 00:00:00	12h47m	13h7m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	108	CAS_NEW	East	24/02/2016 00:00:00	12h47m	13h7m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

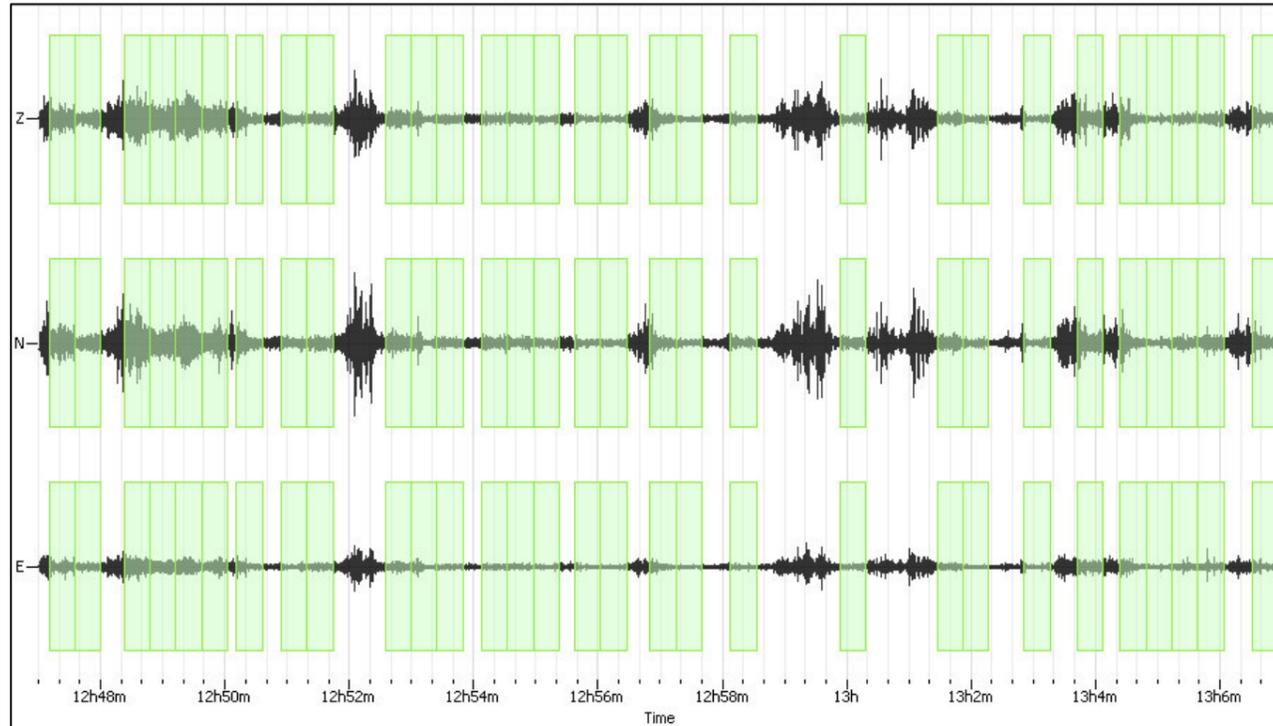
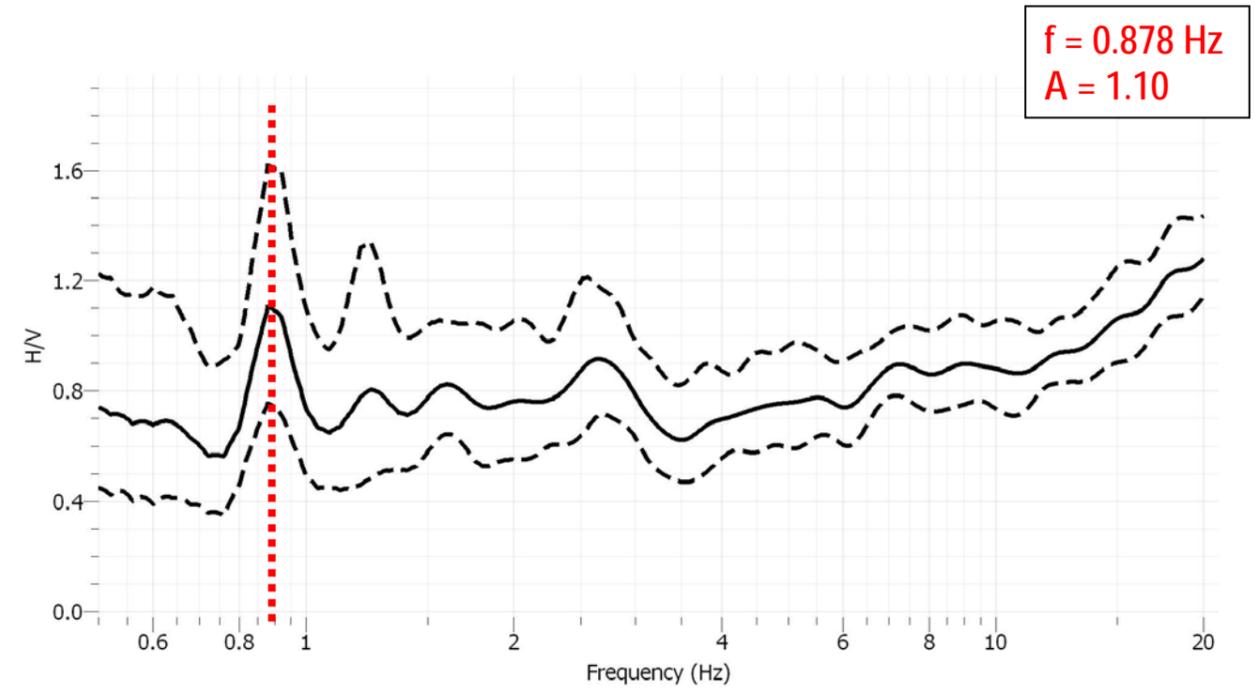


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P60



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	73	CAS_CAN	Vertical	16/02/2016 00:00:00	12h22m	12h42m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	74	CAS_CAN	North	16/02/2016 00:00:00	12h22m	12h42m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	75	CAS_CAN	East	16/02/2016 00:00:00	12h22m	12h42m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

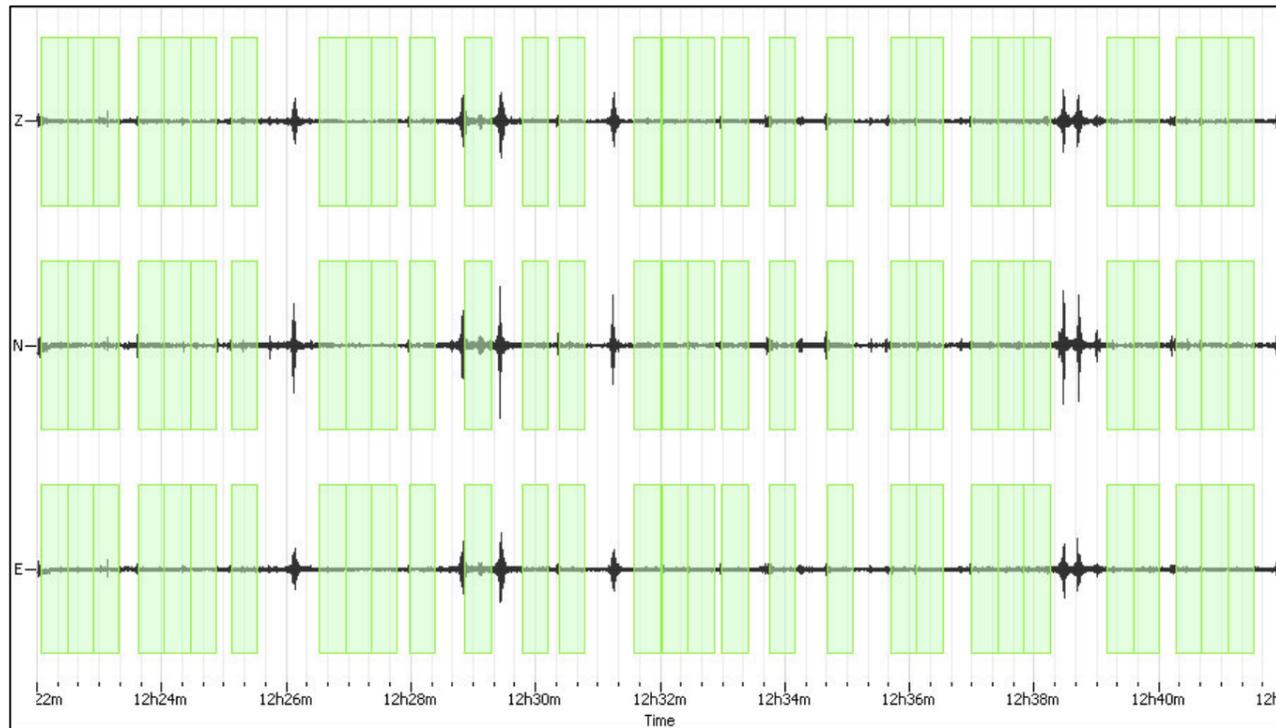
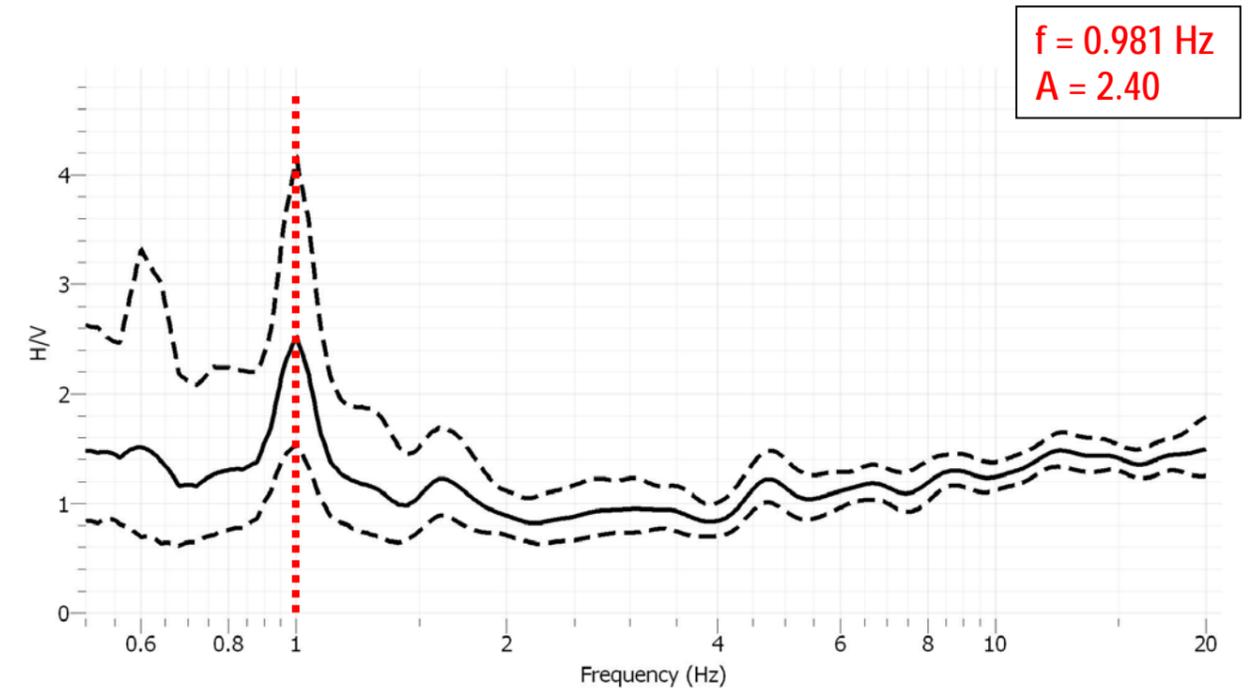


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P61



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	19	CAS_3A	Vertical	17/02/2016 00:00:00	12h39m	12h59m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	20	CAS_3A	North	17/02/2016 00:00:00	12h39m	12h59m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	21	CAS_3A	East	17/02/2016 00:00:00	12h39m	12h59m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

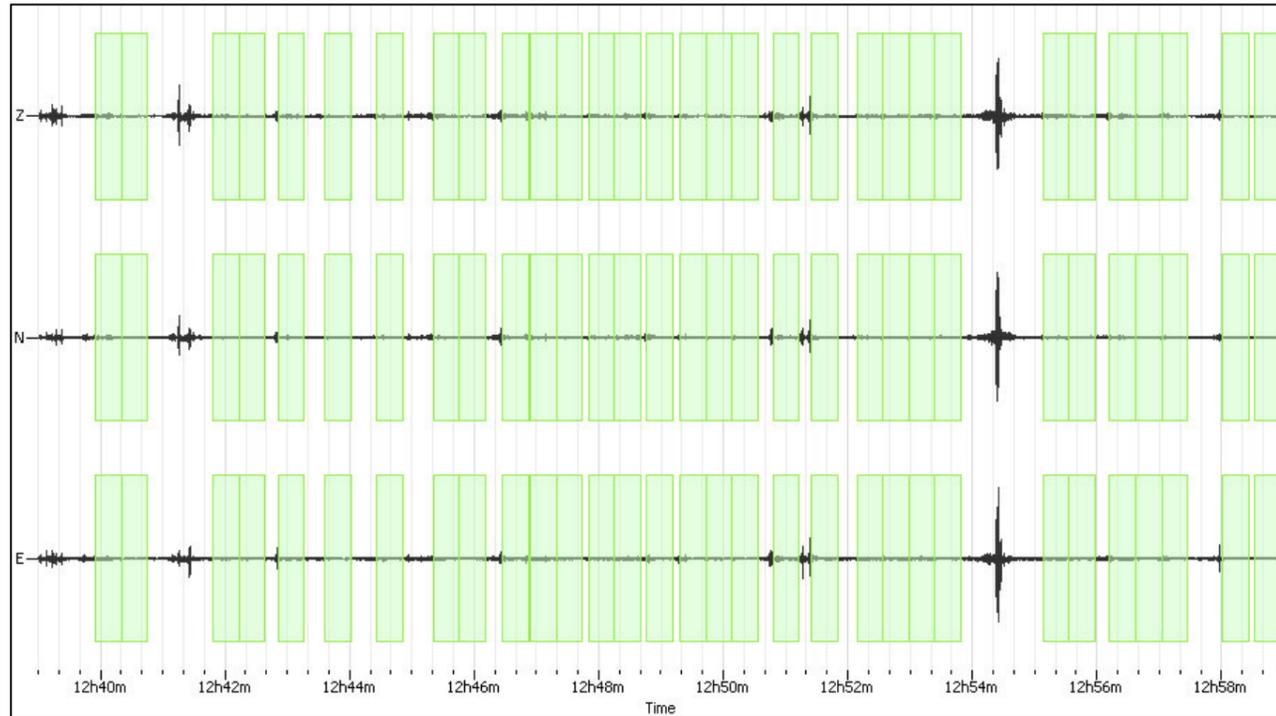
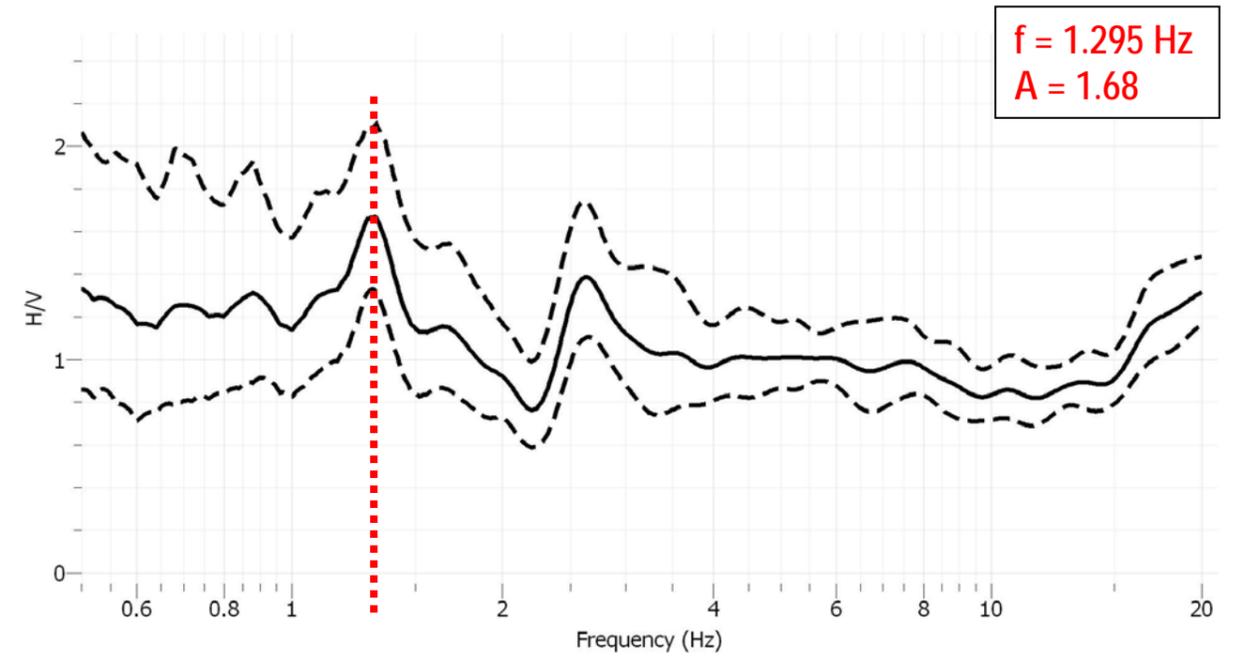


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P62



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	22	CAS_4A	Vertical	17/02/2016 00:00:00	10h16m	10h36m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	23	CAS_4A	North	17/02/2016 00:00:00	10h16m	10h36m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	24	CAS_4A	East	17/02/2016 00:00:00	10h16m	10h36m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

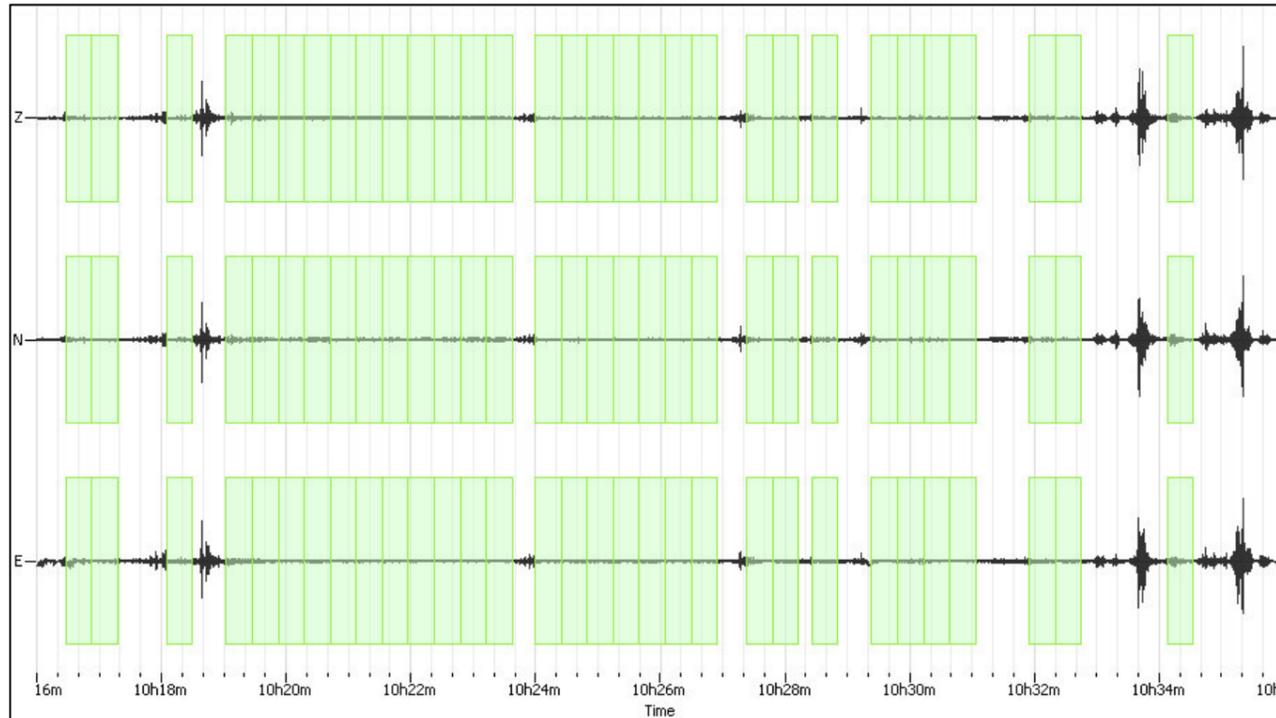
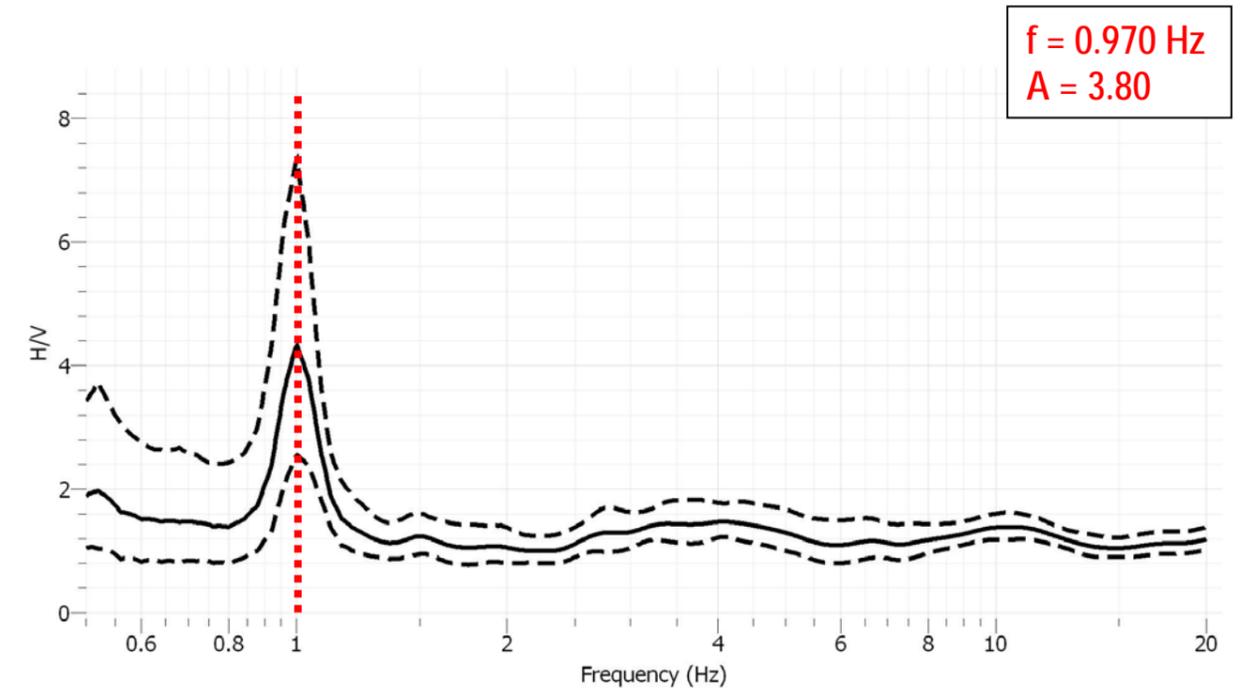


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P63



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	40	CAS_POL	Vertical	17/02/2016 00:00:00	13h7m	13h27m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	41	CAS_POL	North	17/02/2016 00:00:00	13h7m	13h27m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	42	CAS_POL	East	17/02/2016 00:00:00	13h7m	13h27m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

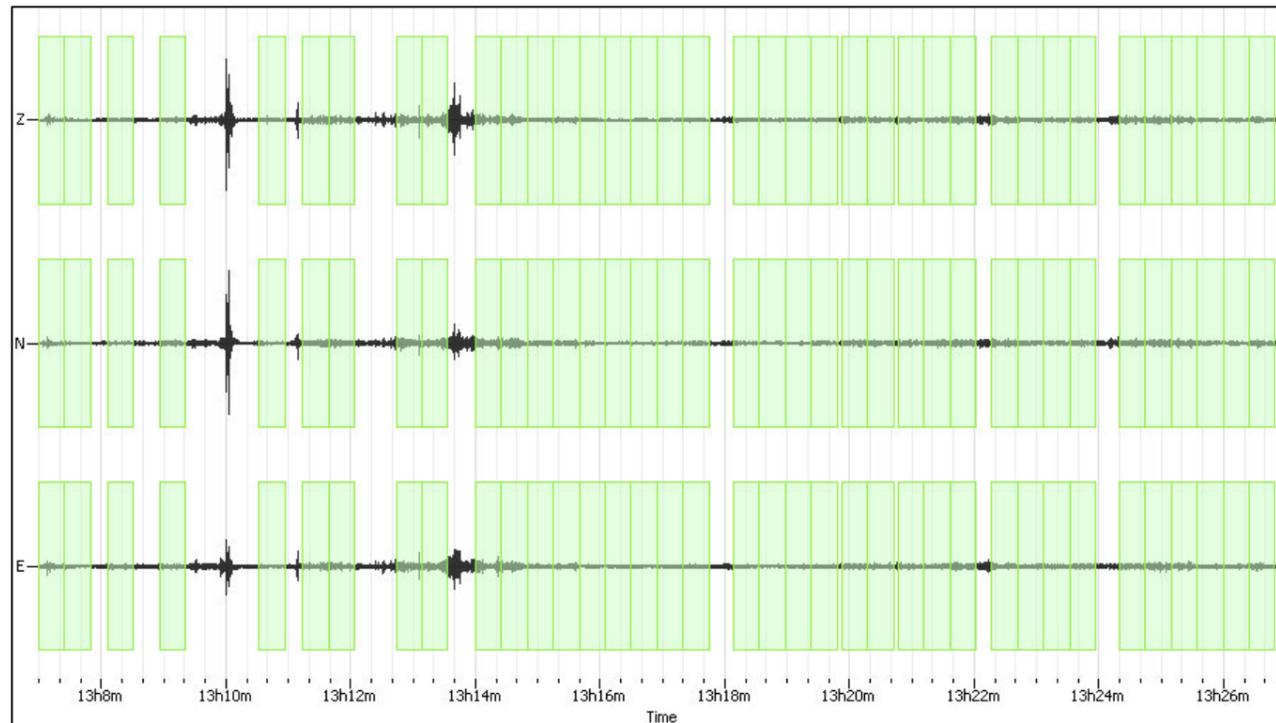
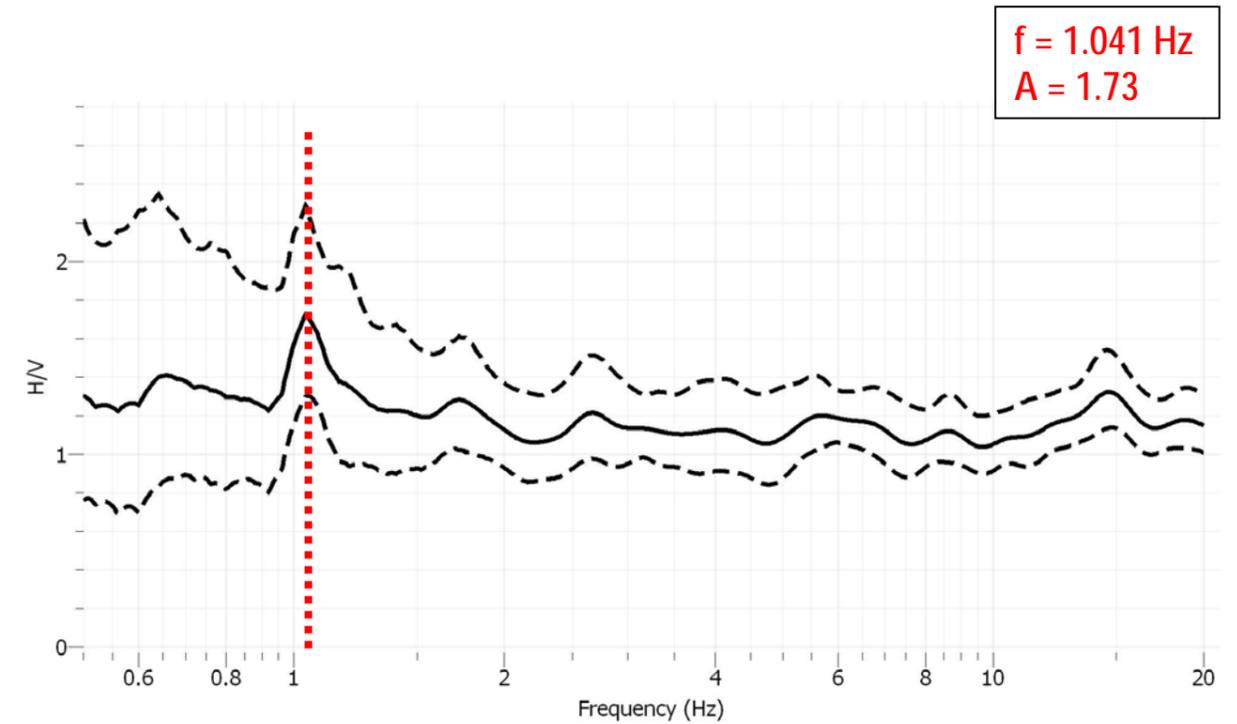


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P64



Coordinate UTM 32N (WGS84)	
Lat	Lon
576915	4994068



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	58	CAS_6	Vertical	16/02/2016 00:00:00	10h3m	10h23m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	59	CAS_6	North	16/02/2016 00:00:00	10h3m	10h23m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	60	CAS_6	East	16/02/2016 00:00:00	10h3m	10h23m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

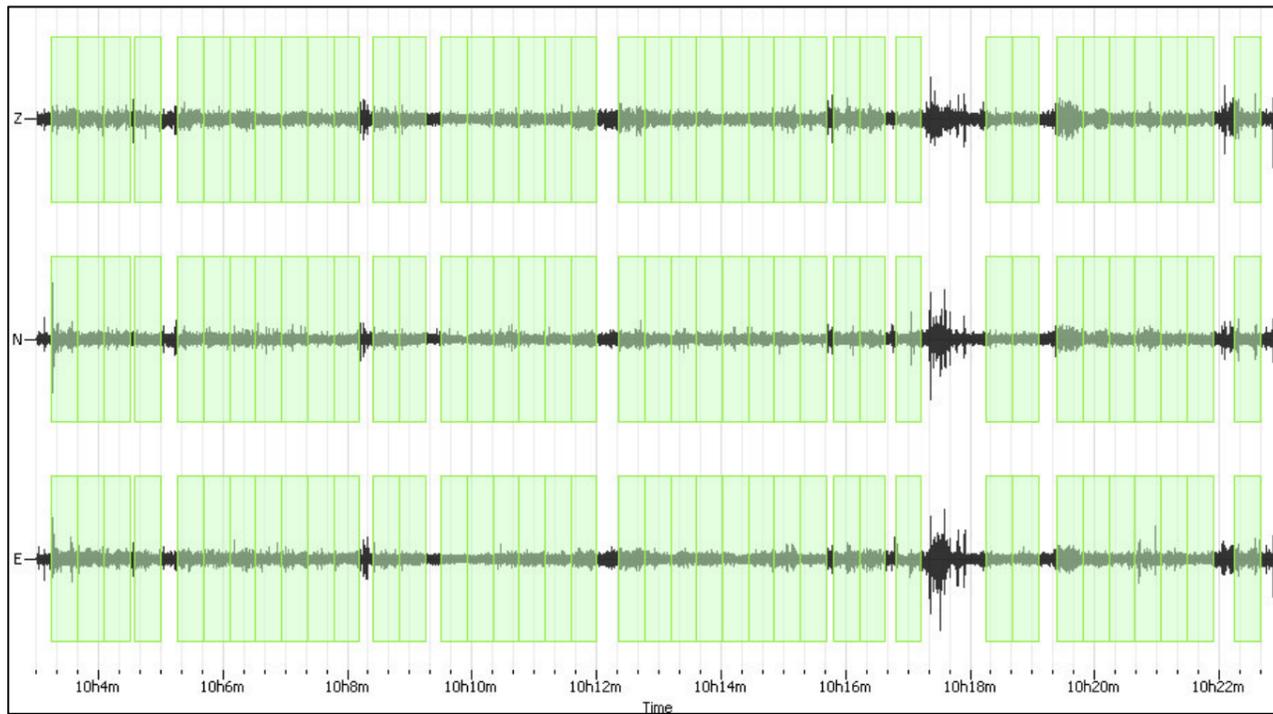
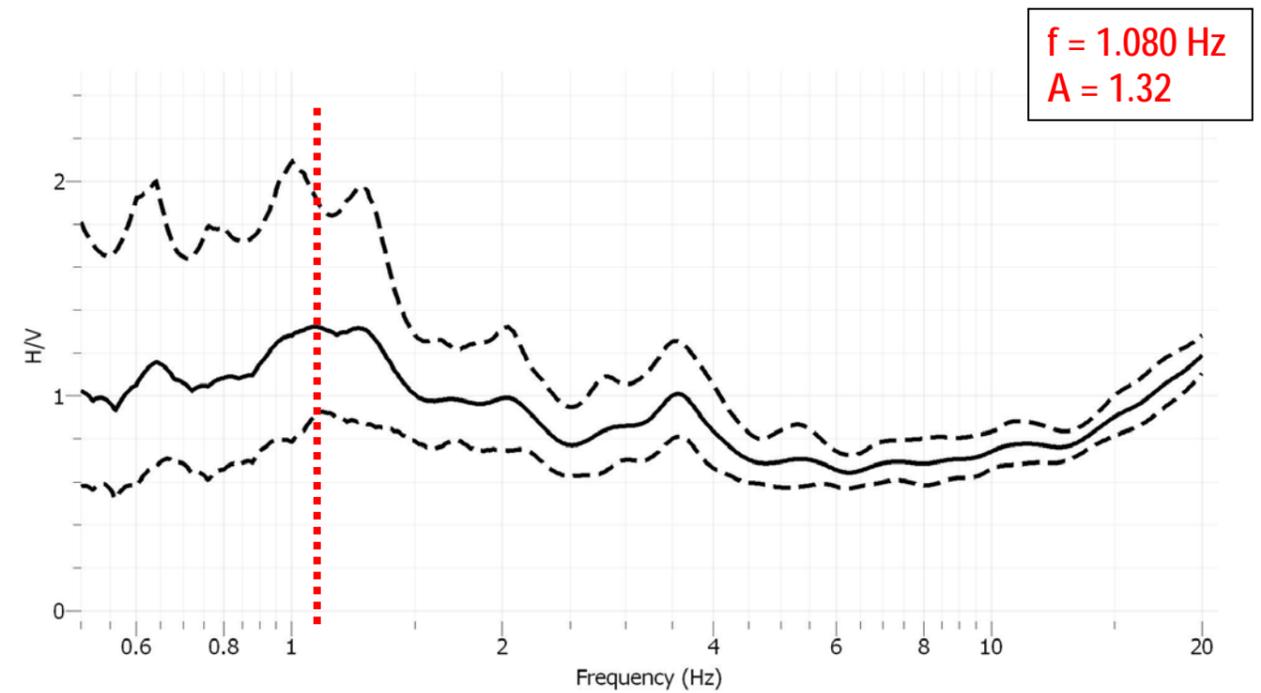
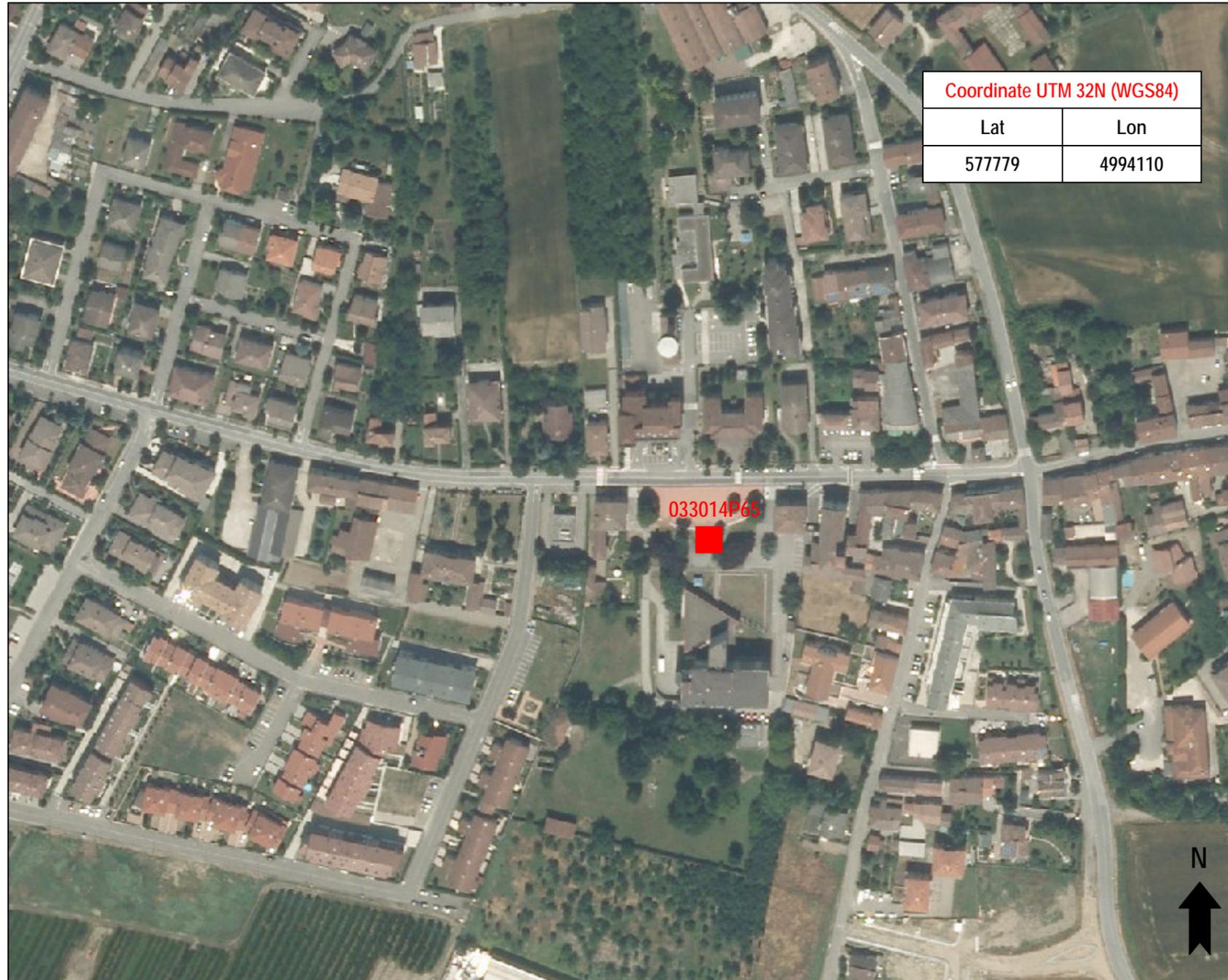


Grafico del segnale nel dominio del tempo

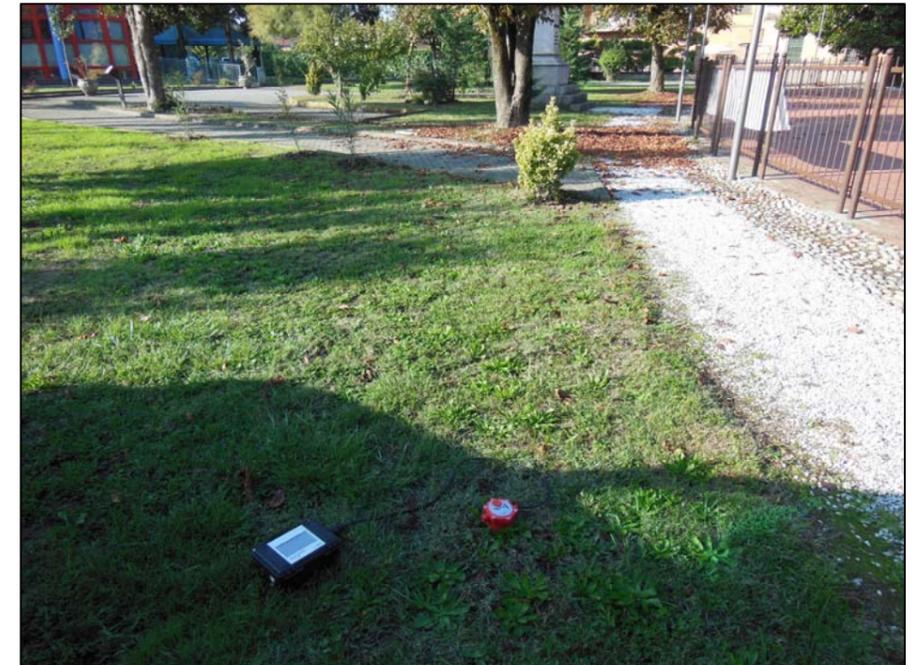


Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P65



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr



ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1 37	CAS_COM2	Vertical	17/02/2016 00:00:00	16h20m	16h40m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2 38	CAS_COM2	North	17/02/2016 00:00:00	16h20m	16h40m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3 39	CAS_COM2	East	17/02/2016 00:00:00	16h20m	16h40m	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

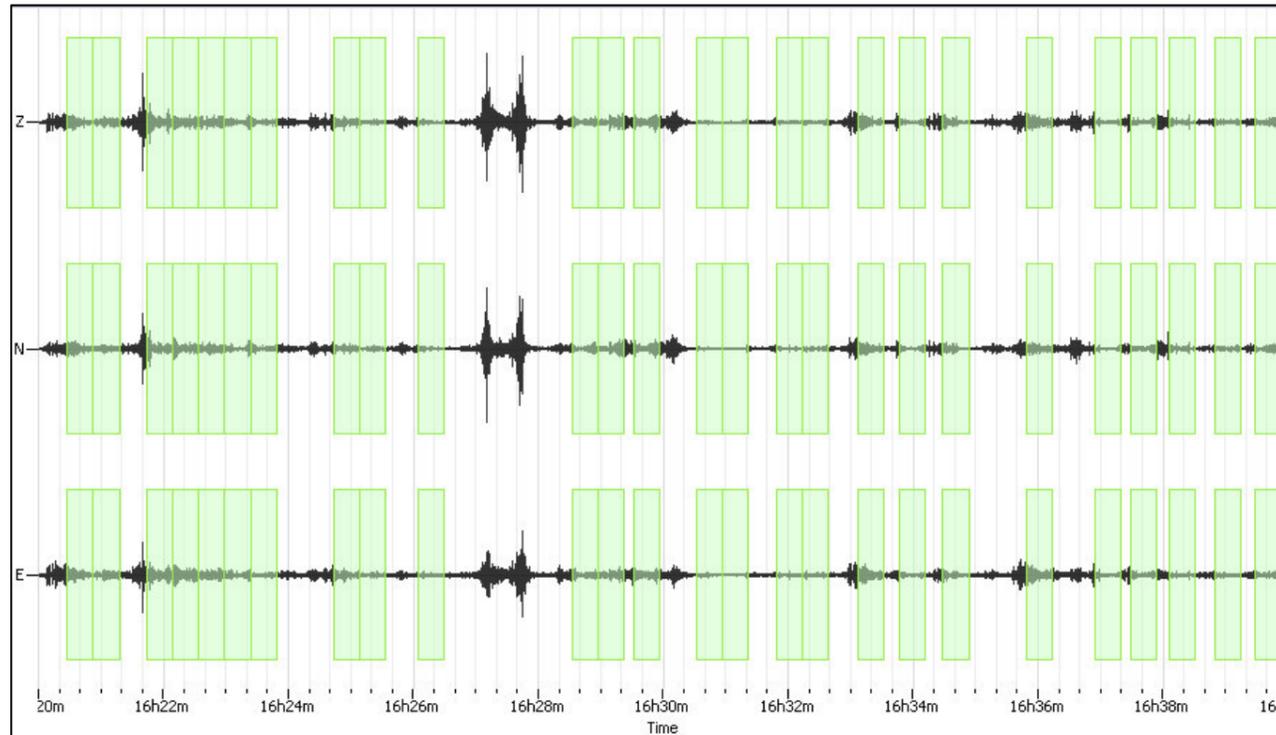
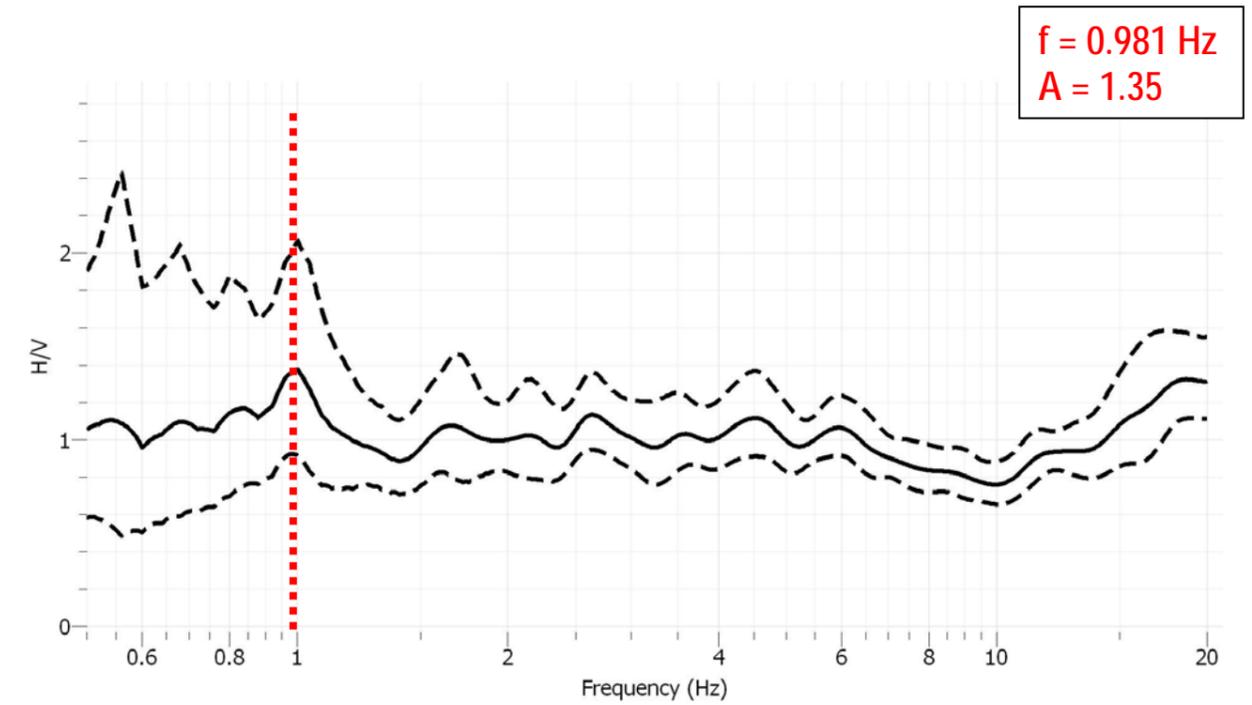


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)

Indagine lineare (HVSr) – Rif. 033014P114



Ubicazione su ortofoto della postazione HVSr



ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type	
1	76	CAS_PIE	Vertical	24/02/2016 00:00:00	10h40m	11h	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
2	77	CAS_PIE	North	24/02/2016 00:00:00	10h40m	11h	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform
3	78	CAS_PIE	East	24/02/2016 00:00:00	10h40m	11h	155	0,006451612903	186000	20m	0	0	0	Waveform

Dati di registrazione delle tre componenti

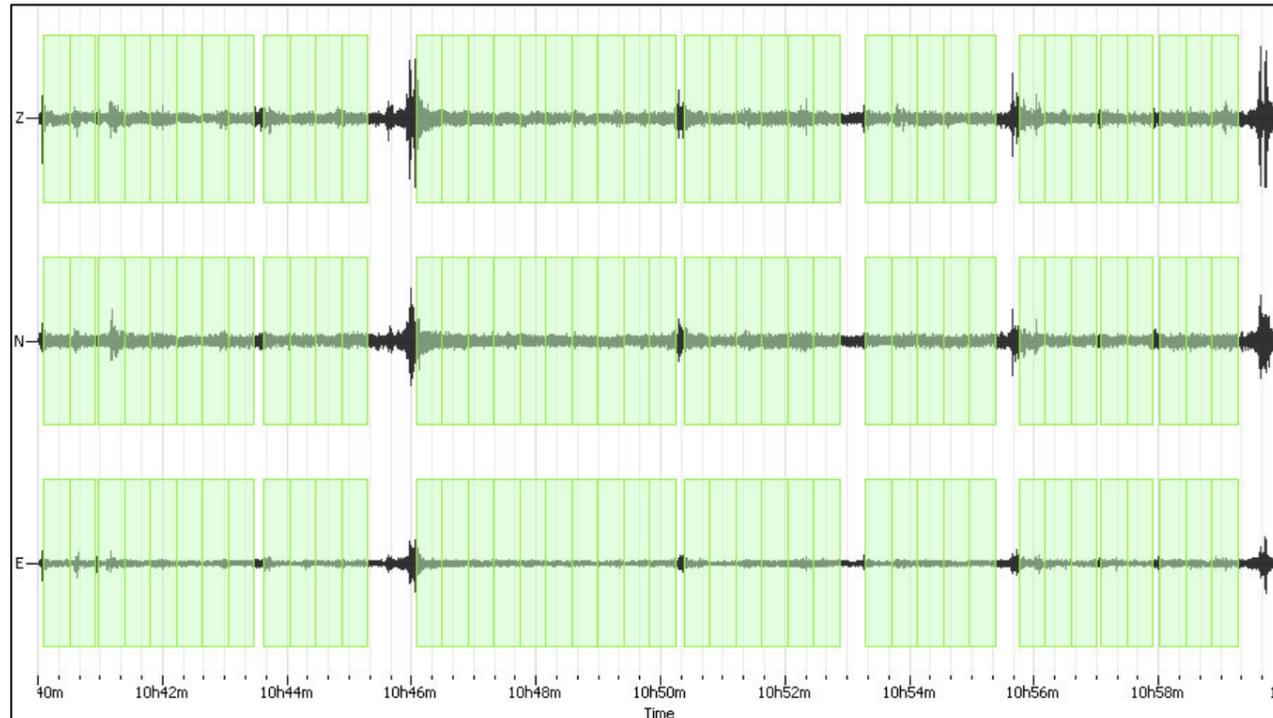
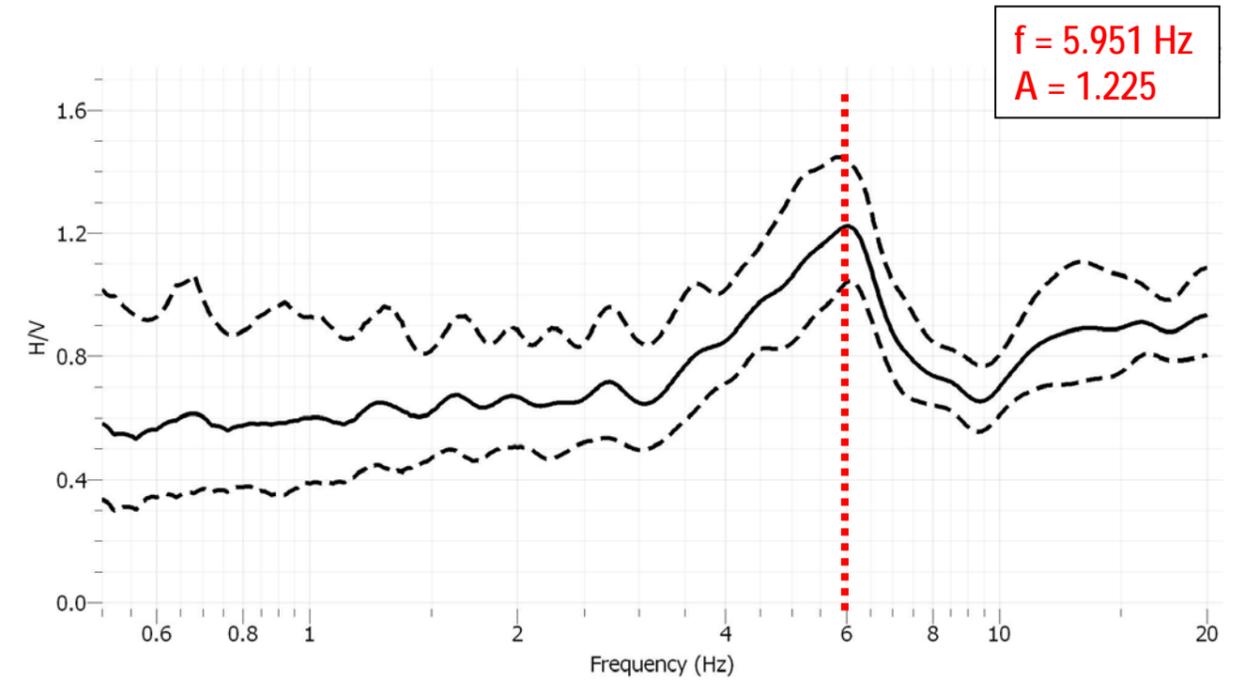


Grafico del segnale nel dominio del tempo



Curva H/V (software Geopsy)