



COMUNE DI EMPOLI

VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE 2013

RELAZIONE GEOLOGICA

Marzo 2013

Emesso da: Massimo Pellegrini



Piazza S. Giorgio, 6 - 56126 PISA Tel.: 050 - 45128 (r.a.) / 050 - 503218 Fax: 050 - 43275 e-mail: info@getas.it
Capitale Sociale € 100.000,00 i.v. C.F. e P.Iva: 00400130506 Registro Imprese: PI 026 - 5399 Rea: 70564



INDICE

1. - PREMESSA	4
2. – NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3. - METODOLOGIA DI STUDIO.....	6
3. - PARAMETRI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGEOLOGICI	8
3.1. – Quadro Geologico	8
3.1.1. - Rapporti tra le formazioni	10
3.2. – Quadro Geomorfologico	11
3.2.1. - Principali elementi geomorfologici.....	13
3.2.2. - Natura dei dissesti	15
3.4. - Quadro idrogeologico.....	17
3.4.1. - Influenza dell'acqua di falda ai fini edificatori	22
4. - QUADRO GEOLOGICO-TECNICO.....	23
4.1. - Carta Litotecnica-Geotecnica.....	23
4.1.1. - Terreni di collina: Classi Geo-litotecniche	25
4.1.2. - Terreni di pianura: Classi Geo-litotecniche.....	27
5. - SISMICITÀ	31
5.1. - Indagini sismiche eseguite. Cenni metodologici.....	33
5.2. - Risultati.....	35
5.3. - Carte M.O.P.S.	38
6. - PERICOLOSITA' DEL TERRITORIO	40
6.1. - Pericolosità Geologica-geo morfologica.....	40
6.2. - Pericolosità Sismica Locale	47
6.3. - Pericolosità Idraulica	49

LISTA DELLE TAVOLE

- Tav. 1.1 Carta geologica 1:10.000
- Tav. 1.2 Carta geomorfologica 1:10.000
- Tav. 1.3 Carta dei dati di base 1:10.000
- Tav. 1.4 Carta idrogeologica 1:10.000
- Tav. 1.5 Carta Geo litotecnica 1:10.000
- Tav. 1.6 Sezioni geologico-tecniche A-A' B-B' C-C' 1:10.000 -1:400
- Tav. 1.7 Sezioni geologico-tecniche D-D' E-E' F-F' 1:10.000 - 1:400
- Tav. 1.8 Sezioni geologico-tecniche G-G' H-H' I-I' 1:5000 - 1:1000
- Tav. 1.9 Carta delle MOPS Terrafino-Monterappoli 1:5000
- Tav. 1.10 Carta delle MOPS Empoli 1:5000
- Tav. 1.11 Carta delle MOPS Pozzale-Villanuova 1:5000
- Tav. 1.12 Carta della pericolosità geologica 1:10.000
- Tav. 1.13 Carta della pericolosità sismica 1:10.000

ALLEGATI:

- N. 1 INDAGINI SISMICHE
- N. 2 INDAGINI GEOGNOSTICHE (DATI DI BASE)

Hanno collaborato:

Dott. Geol. Marco Barsella (Geologia, Sismica)
Dott. Geol. Daria Marchetti (Geomorfologia)
Dott. Luca Rizza (GIS)

1. - PREMESSA

L'Amministrazione Comunale di EMPOLI (FI) ha inteso procedere ad una Variante del PIANO STRUTTURALE vigente e contestualmente anche alla redazione del nuovo REGOLAMENTO URBANISTICO. La presente relazione concerne il primo atto di governo del territorio citato.

Con gli studi geologici di supporto alla presente variante, tenuto conto del quadro conoscitivo relativo al vigente Piano Strutturale, si è proceduto ad un aggiornamento, sulla base anche di nuovi dati puntuali sia di carattere litotecnico-geotecnico sia di tipo sismico forniti dall'amministrazione, dei quadri sismico e litotecnico e quindi proceduto alla redazione di nuove Carte di Pericolosità Sismica e Geologica. Per lo scenario di Pericolosità Idraulica, l'Amministrazione Comunale di Empoli a supporto del nuovo Regolamento Urbanistico, ha fatto eseguire uno studio idraulico idrologico a tecnici dell'Ufficio Tecnico del Genio Civile di Area Vasta Firenze-Prato-Pistoia-Arezzo. Lo stesso studio è stato altresì finalizzato anche all'aggiornamento della pericolosità idraulica del Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno relativamente al territorio amministrativo di Empoli.

La presente relazione illustra quindi il percorso attraverso il quale, tenendo conto del quadro geologico conoscitivo esistente e dei nuovi dati a disposizione, si è pervenuti alla definizione delle aree a diversa pericolosità in termini di rischio geologico e sismico. Per lo scenario di pericolosità idraulica si rimanda allo studio precedentemente citato. La relazione fornisce altresì un allegato che tiene conto dei più recenti indirizzi normativi in materia geologica e idraulica emanati dalla Regione Toscana in tema di governo del territorio.

2. – NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le norme di riferimento sono contenute in:

- P.A.I. Autorità di Bacino Arno.
- P.T.C. Provincia di Firenze.
- L.R. 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio).
- OPCM n. 3519 del 28.04.2006.
- Deliberazione di G.R. del 19.06.2006, n. 431 – Classificazione sismica regionale.
- D.M. 14 gennaio 2008 - Norme tecniche per le costruzioni
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- DPGR 9 luglio 2009 n. 36/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della L.R. 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico."
- DPGR 2 novembre 2011 n.53/R – Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche.

3. - METODOLOGIA DI STUDIO

La metodologia di lavoro seguita si è articolata nelle seguenti fasi:

a) Acquisizione di nuovi dati di base per la caratterizzazione del quadro geostratigrafico:

Sono stati analizzati i dati relativi ai punti di controllo geognostico ubicati nel territorio comunale, messi a disposizione dall'U.T.C. di Empoli.

Il quadro statistico completo dei punti di indagine geognostica utilizzati è il seguente:

La distribuzione areale dei dati di base, relativamente disomogenea, è illustrata dalla Carta dei Dati di Base (TAV. 1.3): il maggior numero si trova concentrato in aree o fasce ben delimitate (S. Maria, Cortenuova, Osteria Bianca) mentre sono pochi nelle aree a vocazione prevalentemente agricola (Castelluccio, Riottoli, Valli dell'Orme e Ormicello, Arnovecchio, Prunecchio) ed in alcuni settori del centro storico della città. Lungo la Val d'Elsa, le indagini a supporto del progetto della nuova viabilità per Siena ha permesso di avere un quadro geostratigrafico più esaustivo di quanto non fosse nei precedenti studi a supporto dei vigenti strumenti di governo del territorio.

Il quadro geologico è stato aggiornato e rivisto confrontando i rilievi già eseguiti con i precedenti studi geologici che accompagnano il vigente Piano Strutturale con la Carta Geologica Regionale.

Il quadro geomorfologico è stato oggetto di una attenta revisione, basata su osservazioni tramite ortofoto recenti e successivi controlli di campagna. I sopralluoghi sono stati mirati peraltro anche a verificare lo stato dei fenomeni gravitativi già rilevati nel corso dei precedenti studi e opportunamente confrontati con i quadri di rischio del PAI dell'Autorità Di Bacino del Fiume Arno.

3. - PARAMETRI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGEOLOGICI

Il territorio comunale di Empoli, è caratterizzato da due domini geomorfologici distinti:

- l'area collinare con il centro abitato di Monterappoli;
- la pianura alluvionale del fiume Arno, su cui si sviluppa il centro abitato di Empoli, e le valli contermini dei suoi affluenti principali: fiume Elsa, torrenti Orme e Ormicello.

Gli elementi geologici che caratterizzano il territorio comunale, nelle sue diverse situazioni fisiografiche, sono illustrati dalla Carta Geologica (TAV1.1, scala 1:10.000) allegata allo studio, che riporta la distribuzione areale delle varie formazioni affioranti, la loro natura litologica, i rapporti stratigrafici e strutturali esistenti tra esse.

3.1. – Quadro Geologico

Il territorio comunale è caratterizzata da depositi alluvionali di età quaternaria, che costituiscono le zone di pianura, e da depositi più antichi, di età pliocenica, che formano l'ossatura delle zone collinari. Le formazioni presenti, partendo dai termini più antichi, possono essere così descritte:

a) Formazioni plioceniche marine

Argille azzurre di facies marina (Pag)

Litologia: argille grigie e turchine, plastiche, con intercalazioni discontinue di sabbie fini più o meno limose che aumentano nella porzioni superiori della successione. La stratificazione è poco frequente.

Spessore: da 50 a 90 m affiorante; notevole sviluppo nel sottosuolo (Centinaia di metri).

Età: Pliocene medio - superiore.

Sabbie di facies marina (Ps)

Litologia: livelli sabbiosi stratificati intercalati nelle argille (Pag). Le sabbie sono ben stratificate e presentano granulometria da media a fine. Sono debolmente cementate, poco coerenti, alternate a limi sabbiosi e sabbie limose. Nella parte orientale del settore collinare le sabbie mostrano passaggi laterali ai conglomerati.

Spessore: variabile e lenticolare. Ogni orizzonte sabbioso può comunque variare da pochi metri a oltre la decina, con bruschi ispessimenti o riduzioni.

Età: Pliocene medio - superiore.

Conglomerati (Pcg)

Litologia: orizzonti ciottolosi intercalati nelle argille (Pag). I ciottoli sono arrotondati, più o meno cementati ad elementi poligenici ma prevalentemente calcarei, immersi in matrice limoso-sabbiosa fine. Sono presenti alternanze metriche con banchi di sabbia.

Spessore: variabile, gli orizzonti presentano lo stesso comportamento descritto per le sabbie plioceniche di cui sono il passaggio laterale di facies.

Età: Pliocene medio - superiore.

b) Formazioni quaternarie continentali

Conglomerati, sabbie e limi fluvio-lacustri (q)

Litologia: ghiaie e ciottoli ad elementi di Verrucano, appartenenti al ciclo alluvionale del Fiume Elsa e provenienti dagli alti tettonici di S. Gimignano e Monteriggioni con matrice sabbiosa e/o limosa.

Spessore: fino a 15 m in affioramento; superiore nel sottosuolo.

Età: Quaternario.

Sedimenti alluvionali terrazzati (at)

Litologia: lembi di alluvioni terrazzate del ciclo alluvionale dell'Elsa costituiti da limi prevalenti con intercalati rari livelli di sabbia.

Spessore: variabile; comunque nell'ordine di una decina di metri.

Età: Olocene.

Sedimenti alluvionali (a)

Alluvioni attuali e recenti, non terrazzate, dell'Arno, dell'Elsa e degli affluenti minori in sinistra Arno. Formano la pianura che occupa gran parte della superficie del territorio comunale.

Come evidenziato dal rilevamento di campagna, dalle stratigrafie dei vari punti di controllo geognostico, la natura litologica della porzione superficiale è caratterizzata principalmente da una granulometria limoso-argillosa o limoso-sabbiosa, con eccezioni abbastanza rare e limitate alle zone di paleo alveo (Arnovecchio etc.). Anche in profondità le frazioni fini sono preponderanti rispetto agli orizzonti sabbiosi e ghiaiosi.

Spessore: variabile fino a 20-35 metri con un livello ciottoloso-ghiaioso basale, quasi sempre presente, di spessore massimo di 8-10 metri.

Detriti

Nei dintorni delle località Cerbaiola e Corniola le vallecole che solcano il terrazzo della formazione q hanno le pareti occupate dalle ghiaie originate dal disfacimento della suddetta formazione e coprono le argille o le sabbie plioceniche del substrato.

3.1.1. - Rapporti tra le formazioni.

I sedimenti depositatisi nel bacino marino pliocenico, che interessa vaste zone della Toscana centro-meridionale, sono attribuiti alla fase regressiva del Pliocene superiore, sulla base di evidenze di giacitura, di facies e paleontologiche. Le stesse evidenze suggeriscono un ambiente salmastro, decisamente litorale, all'interno del quale le

oscillazioni della linea costiera hanno determinato i rapporti eteropici tra le formazioni prima descritte.

L'eteropia è particolarmente evidente tra sabbie (Ps) e conglomerati (Pcg): il torrente Orme rappresenta una zona di transizione tra un ambiente deposizionale ad energia relativamente bassa (settore più occidentale), caratterizzato da sabbie (Ps) sovrapposte e intercalate alla successione argillosa (Pag) e un ambiente costiero, che si sviluppava maggiormente verso Est al di fuori del territorio comunale, caratterizzato invece da presenza di ghiaie e conglomerati (Pcg) alternato alle argille (Pag).

L'assetto strutturale dei terreni pliocenici è caratterizzato da una debole componente di immersione verso N-NO portando il contatto tra Pag ed i depositi sovrastanti a quote via via decrescenti verso la pianura alluvionale.

I depositi quaternari continentali rispecchiano due cicli deposizionali di natura fluviale: uno, più antico, è legato al Fiume Elsa ed è rappresentato dai conglomerati della formazione Q. La natura dei clasti, tutti appartenenti a formazioni del Verrucano, testimonia una intensa fase erosiva degli alti strutturali di San Gimignano e Monteriggioni. In affioramento il Q appare trasgressivo sui depositi pliocenici sottostanti.

L'altro ciclo è più recente, prevalentemente legato alla deposizione dell'Arno, di natura per lo più limoso-argillosa.

3.2. – Quadro Geomorfologico

In questa carta sono state evidenziate le più importanti caratteristiche morfologiche, naturali e/o derivanti dall'intervento antropico, presenti entro il territorio del Comune e di cui occorre tenere debito conto nel corso degli interventi sul territorio.

La scelta degli elementi morfologici da cartografare è stata fatta sulla base delle prescrizioni date dalla normativa regionale vigente e del PAI Autorità di Bacino dell'Arno e comunque tenendo presenti le finalità di questo studio che prevedono l'inquadramento dell'intero territorio comunale sotto l'aspetto della pericolosità dei terreni e geomorfologica.

Nei paragrafi seguenti si esaminano nel dettaglio le caratteristiche morfologiche principali osservate nel territorio facendo riferimento alla Carta Geomorfologica (TAV. 1.2).

Il territorio comunale è caratterizzato da due unità geomorfologiche fondamentali:

- a) Zona collinare
- b) Zona di pianura

a) Zona collinare

Copre circa 1/3 dell'estensione del territorio, ed è costituita da rilievi debolmente ondulati con altitudine media di circa 100 m s.l.m.. Gran parte della zona collinare è caratterizzata dall'affioramento delle argille plioceniche; subordinatamente si incontrano, sempre plioceniche, le sabbie e, nel settore di territorio ad Est del Torrente Orme, i conglomerati. I caratteri morfologici fondamentali sono quindi legati alle vaste aree argillose, dove l'erosione torrentizia e gli agenti atmosferici hanno determinato l'esistenza di settori denudati o incisi fino a formare calanchi.

b) Zona di pianura

Copre circa i 2/3 del territorio comunale ed è costituita dalla piana dell'Arno, dell'Elsa dei Torrenti Orme ed Ormicello. Più in dettaglio le caratteristiche delle tre zone sono:

- Piana dell'Arno: è la più estesa e costituisce una fascia allungata Est-Ovest, compresa tra la riva sinistra idrografica del Fiume Arno ed il sistema collinare. In questa zona sono riconoscibili tracce delle divagazioni antiche dell'Arno. Un esempio è rappresentato dalla zona di Arnovecchio ad Est di Empoli dove risulta evidente la presenza dell'alveo morto del fiume, il cui percorso si è regolarizzato nei tempi storici all'altezza di Limite-Tinaia.
- Piana del Fiume Elsa: si congiunge alla piana dell'Arno in prossimità di Ponte a Elsa dopo aver seguito un andamento circa SE-NO stretto tra la riva destra idrografica dell'Elsa ed il limite occidentale delle colline.
- Piana dei Torrenti Orme e Ormicello: si congiunge anch'essa alla piana dell'Arno all'altezza di Pozzale dopo aver seguito un andamento articolato in numerose digitazioni create dalla confluenza del sistema di valli minori provenienti dalle colline.

3.2.1. - Principali elementi geomorfologici

Sulla Carta Geomorfologica (TAV. 1.2) sono riportate le varie forme e gli elementi geomorfologici significativi rilevati in fase di studio. La FIG. 3.1, illustra la legenda della carta citata

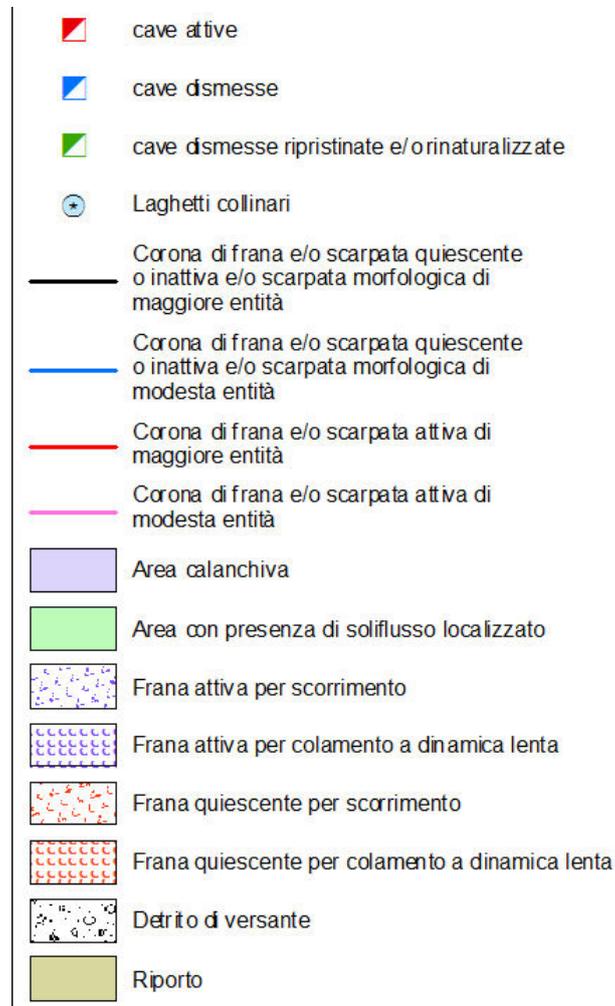


FIG. 3.1 – Legenda Carta Geomorfologica

Di seguito dei vari elementi cartografati si da una sintetica descrizione:

Frane: sono sono numerose ma di estensione limitata. Hanno luogo principalmente nelle argille plioceniche e lungo le scarpate delle sabbie e dei conglomerati pliocenici. Nella carta sono state distinti i vari elementi geomorfologici legati a dinamiche gravitative di massa, tra cui le corone di frana, le scarpate morfologiche ed i corpi di frana veri e propri, a loro volta suddivisi in funzione della dinamica rilevata in attivi e quiescenti.

Laddove le evidenze morfologiche ne hanno permesso la definizione con certezza, è stata altresì distinta la tipologia di movimento, ricondotta per lo più a scorrimenti o colamenti, queste ultimi caratterizzati in genere da dinamica lenta. In realtà le diverse dinamiche talora si associano, quindi con movimenti spesso più complessi.

Le delimitazioni dei movimenti gravitativi quiescenti nei terreni argillosi è stata possibile solo nei casi di frane avvenute in tempi recenti e in cui l'erosione o i lavori di sistemazione non avevano ancora reso impossibile il riconoscimento della massa dislocata.

I dissesti osservati solo in alcuni casi hanno provocato danni ad opere ed edifici; per lo più si sono prodotti in terreni a vocazione agricola. Tra le eccezioni si segnalano casi in cui i movimenti franosi hanno coinvolto la sede stradale ed alcune abitazioni (frane di Monterappoli, Casa del Fontino, Casa Pogni).

Nell'area non sono state riconosciute frane su cui siano stati eseguiti interventi di messa in sicurezza risolutivi.

Soliflussioni: si tratta di movimenti gravitativi localizzati, a dinamica molto superficiale e lenta. Convolgono solo lo strato corticale del terreno. Sono pressoché concentrati nelle argille plioceniche affioranti nel settore Sud-Est della collina. Possono talora coinvolgere localmente anche le sabbie ed i ciottoli dei livelli intercalati.

Aree denudate, Aree calanchive: rappresentano aree instabili in quanto sede in misura diversa di fenomeni erosivi di notevole entità ma superficiale. Rappresentano momenti evolutivi della degradazione crescente cui sono soggetti i terreni argillosi quando vengono privati della copertura vegetale naturale e si trovano su versanti con acclività elevata. Le aree denudate risultano frequentemente essere la prima evidenza geomorfologica evolutiva verso il processo geomorfologico sopra descritto; a questi ultimi sono peraltro talora associate.

Detrito: sono costituiti da accumuli indifferenziati di frammenti litoidi eterometrici che costituiscono coperture detritiche d'alterazione in matrice argillo-limo-

sabbiosa. Sono cartografate le principali coperture detritiche s.l.. Esse risultano relativamente numerose e con spessori decisamente modesti.

Scarpate morfologiche: delimitano in tutta la fascia collinare il bordo superiore delle scarpate nelle aree di affioramento delle sabbie e dei conglomerati. Tali scarpate possono raggiungere altezze di 10-15 m ed acclività di quasi 90°. Le fasce di terreno che bordano i cigli possono risultare particolarmente instabili per fenomeni di crollo che possono essere favoriti da linee di frattura, da erosione al piede, da circolazione idrica. Anche in questo caso sono distinti cigli in evoluzione geomorfologica (attivi), peraltro spesso associati a corpi di frana immediatamente a valle da quelli che non presentano segni di azione geomorfica in atto (quiescenti/inattive), ancorchè con fenomeni gravitativi quiescenti a valle.

Le corone di frana e le scarpate morfologiche sia attive che quiescenti/inattive sono state distinte tra “di maggiore entità” e “di minore entità”, intendo per le prime quelle caratterizzate dalla presenza a valle di movimenti gravitativi importanti come estensione attiva. Nella seconda categoria, in genere quelle scarpate senza movimenti gravitativi e/o comunque quelle caratterizzate da limitati accumuli quiescenti a valle.

3.2.2. - Natura dei dissesti

Il rilevamento dei dissesti è stato effettuato attraverso fotointerpretazione, integrata successivamente da osservazioni dirette in campagna. Il confronto con la cartografia di pericolosità geomorfologica dell’Autorità di Bacino dell’Arno (PAI) e con la cartografia geologica regionale CARG ha evidenziato un quadro concordante nella distribuzione dei fenomeni franosi.

L’indagine ha messo in luce un relativo aumento, rispetto al quadro di supporto al vigente P.S. e risalente a inizi anni 2000, dei fenomeni di dissesto presenti nell’area collinare. In complesso sono stati individuati circa 160 dissesti. Le frane attive rappresentano circa il 30% dei dissesti cartografati. Esse sono localizzate per lo più nei terreni argillosi ed in subordine nelle sabbie e conglomerati pliocenici. In quest’ultimo caso si tratta di frane di crollo generate dalla progressiva erosione dei terreni argillosi alla base degli orizzonti più consistenti intercalati.

Le zone attualmente interessate da movimenti gravitativi attivi risultano ubicate principalmente a sud dell'abitato di Monterappoli e nella zona nord-orientale del territorio comunale, al confine con i Comuni di Montelupo e Montespertoli, ove risulta più evidente l'erosione del terreno che si produce per l'effetto di dilavamento delle acque su terreni argillosi degradati, con scarsa copertura vegetale e quindi poco protetti dal ruscellamento.

I dissesti osservati nei terreni limoso-argillosi (90 % del totale), sembrano generalmente riferibili a movimenti gravitativi limitati in profondità alla porzione alterata del terreno (2 ÷ 3 m, 4 m max). Lo dimostrerebbe la configurazione caratteristica che assume il terreno: il corrugamento del profilo del terreno con tendenza all'accavallamento delle zolle e sviluppo di crepe ad andamento parallelo alle curve di livello indicherebbe che essi sono classificabili come smottamenti superficiali. In alcuni si può riconoscere una tendenza alla fluidificazione delle argille che caratterizzano le colate.

Solo in qualche caso la morfologia assunta dal corpo di frana lascia invece supporre che il movimento si sia sviluppato lungo una superficie di taglio circolare, come nel caso della frana, attiva dal 1987, presso casa Pogni che coinvolge la sede stradale.

Le osservazioni fatte sul terreno in zone prossime a dissesti ma non coinvolte in essi, hanno messo in rilievo che la stabilità dei versanti argillosi è fortemente condizionata dall'acclività e dalla presenza o meno di una cotica erbosa ben sviluppata e/o comunque da vegetazione. Laddove la copertura erbosa è particolarmente fitta, la dinamica gravitativa è molto più superficiale e riconducibile a fenomeni localizzati di soliflusso.

Si è valutato che la maggior parte dei dissesti si sviluppano su versanti con acclività superiore ai 15° e quindi questo valore di inclinazione può assumere un riferimento di possibile angolo limite per le argille (valore peraltro conforme ai dati di prova geotecnica), oltre il quale diviene potenzialmente possibile l'innescò di dinamiche gravitative: con acclività superiori ai 15°, sono più probabili evoluzioni locali verso condizioni di instabilità. Sicuramente a contribuire a tali condizioni di criticità vanno considerati altri elementi, anche occasionali e temporanei, quali infiltrazioni d'acqua e/o circolazione idrica locale, presenza o assenza di copertura vegetale e da altre singolarità geologiche (fratture, per esempio) e/o antropiche.

Si osserva frequentemente il movimento retrogressivo della corona di distacco, in particolare nei casi di riattivazione di frane quiescenti.

In questi terreni un eventuale shock sismico, può potenzialmente creare sovrappressioni istantanee nell'acqua interstiziale dell'argilla, che non possono essere dissipate in tempi brevi a causa della bassa permeabilità. Questo può in linea teorica favorire il movimento anche aree ad acclività inferiore ai 15°.

Con riferimento all'acclività dell'area collinare e pedecollinare si osserva come i depositi alluvionali più antichi e/o detritici che bordano l'area collinare presentano in genere bassa pendenza < 5°. Le aree collinari, nelle zone caratterizzate dall'affioramento dei litotipi argillosi presentano mediamente pendenze comprese tra 5°-10° e 10°-15° e subordinatamente tra i 15° e i 20°. La maggior parte dei movimenti gravitativi di massa rilevati, come in precedenza detto, si sviluppa proprio in zone caratterizzate da versanti argillosi e/o argillosi sabbiosi con pendenza superiore ai 15°.

Tuttavia le pendenze maggiori si riscontrano in corrispondenza di affioramenti caratterizzati da alternanze di orizzonti sabbiosi e/o conglomeratici e argillosi pliocenici, che favoriscono localmente il formarsi anche di scarpate morfologiche talora subvertivali. In genere in tali zone sono associati fenomeni di frana crollo, erosioni accentuate e/o fenomenologie di tipo calanchivo.

3.4. - Quadro idrogeologico

L'inquadramento dei terreni affioranti nel Comune, sotto l'aspetto idrogeologico, deriva sia da osservazioni fatte sul terreno che dalle conoscenze acquisite nel corso degli anni durante l'esecuzione di varie indagini idrogeologiche per conto della Publiser.

Nella Carta Idrogeologica, TAV 1.4, sono stati riportati i seguenti elementi:

- Pozzi per acqua delle centrali acquedottistiche e dei privati segnalati; sono stati evidenziati con apposita simbologia i pozzi della rete di controllo piezometrico attivata da Publiser. Sulla carta sono anche riportate le aree di rispetto (criterio geometrico).
- Sorgenti.
- Classi di permeabilità dei terreni.

– Piezometria della piana alluvionale di Empoli costruita con i dati della rete di controllo Acque S.p.A. (campagna 2002). La FIG. 3.2 illustra la legenda della Carta Idrogeologica.

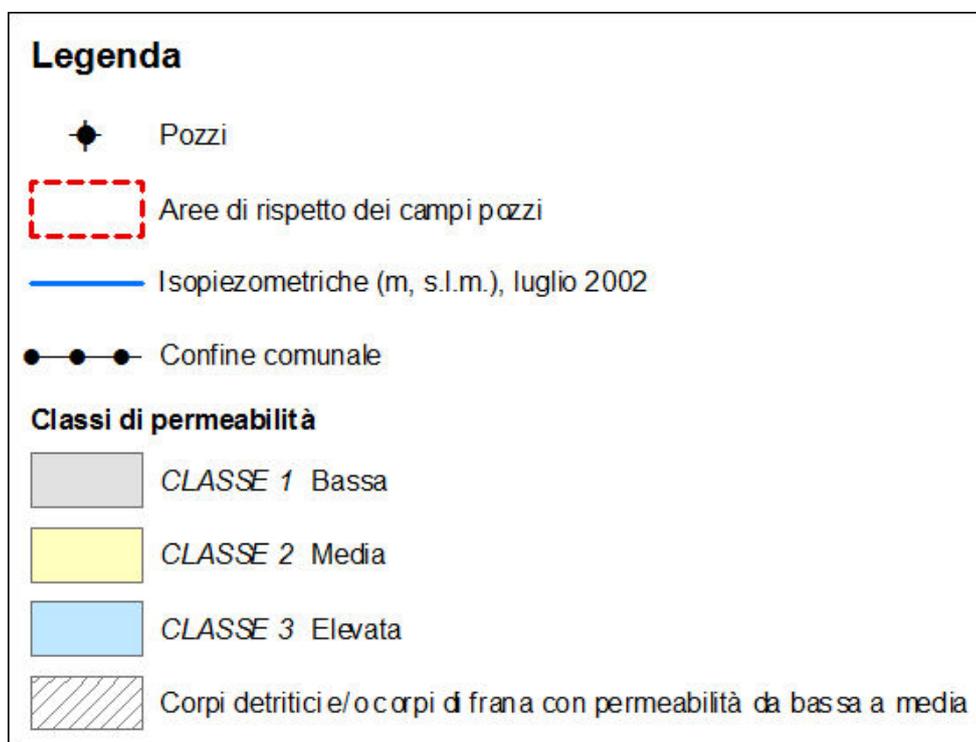


FIG. 3.2 – Legenda Carta Idrogeologica

La differenziazione morfologica e geologica tra zona collinare e zona di pianura riflette anche una differenziazione nelle caratteristiche idrogeologiche dei due ambienti. Si riconoscono infatti due sistemi acquiferi:

- a) Sistema degli acquiferi collinari
- b) Sistema degli acquiferi di pianura

In dettaglio ciascuno di essi presenta i seguenti caratteri:

a) Sistema degli acquiferi collinari

Esaminando le caratteristiche di permeabilità dei diversi terreni che costituiscono i rilievi collinari, procedendo secondo lo stesso ordine con cui è stata descritta la successione stratigrafica, si hanno le seguenti classi di permeabilità:

- Permeabilità Nulla: In questa classe sono compresi i terreni argillosi pliocenici (Pag).
- Permeabilità Media: A questa classe sono associate le sabbie del Pliocene (Ps) e i depositi alluvionali terrazzati (at) come pure alcuni livelli lenticolari sabbiosi pliocenici; possono essere sede di livelli acquiferi discontinui di importanza limitata per la presenza di intercalazioni argillose. Le sorgenti alimentate da questo acquifero hanno comunque portate dell'ordine dei litri/minuto.
- Permeabilità Alta: In questa classe sono compresi gli orizzonti conglomeratici del Pliocene (Pcg) e le ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa del Quaternario (q). Sono sede di livelli acquiferi la cui continuità può essere interrotta dalla presenza di livelli molto cementati o dalla presenza di livelli argillosi. Le sorgenti alimentate da questo acquifero hanno comunque portate molto limitate (inferiori al litro/secondo) perché nonostante la migliore permeabilità è sempre piccolo il bacino di alimentazione degli orizzonti..

a) Sistema degli acquiferi di pianura

Hanno sede nei terreni delle alluvioni attuali e recenti a granulometria grossolana e media (ghiaie e sabbie), affioranti in alcuni settori della pianura. Nella carta idrogeologica le classi di permeabilità individuate sono analoghe a quelle di collina e si riferiscono ai soli terreni affioranti. Le classi individuate sono:

- Permeabilità Nulla: In questa classe sono compresi i sedimenti alluvionali argillosi.
- Permeabilità Media: A questa classe sono associate i terreni sabbioso-limosi

- Permeabilità Alta: In questa classe sono compresi i litotipi prevalentemente ghiaioso-ciottolosi in matrice sabbioso-argillosa.

La presenza in superficie di terreni di una delle classi prima elencate, condiziona chiaramente l'infiltrazione dell'acqua meteorica nel sottosuolo che, con i corsi d'acqua principali, contribuisce ad alimentare gli acquiferi sotterranei.

Dagli studi eseguiti nel tempo è noto che il sistema alluvionale della piana di Empoli è formato da due acquiferi principali.

-Acquifero A1 (superiore)

E' essenzialmente un livello sabbioso, localmente ciottoloso, lenticolare e di spessore variabile entro 15 metri dal piano campagna. E' generalmente freatico, ma localmente può assumere caratteristiche di confinamento. L'alimentazione è determinata oltre che dall'infiltrazione diretta della pioggia anche dalla ricarica da parte dei corsi d'acqua (Arno, Elsa, Orme e rii minori) e dagli apporti degli acquiferi di collina.

E' bene sviluppato nei tratti dell'antico corso dei fiumi, dove prevalgono i depositi più grossolani.

A questo acquifero attingono i numerosi pozzi agricoli ad anelli e a sterro della pianura ed i pozzi più superficiali delle centrali acquedottistiche di Corniola, Farfalla e Serravalle-Arnovecchio.

-Acquifero A2 (inferiore)

E' l'acquifero principale dell'area studiata, sia per continuità che per spessore. E' legato ad un livello ciottoloso-ghiaioso presente alla base del ciclo sedimentario alluvionale. Il tetto della falda si trova tra i 10 e i 20 metri dal p.c.; lo spessore è estremamente variabile fino ad un massimo di 10 metri. E' separato dall'acquifero A1 da un setto argilloso continuo che ne determina il confinamento. Localmente i due acquiferi vengono a contatto per vie laterali.

L'alimentazione è assicurata dalla rete idrografica, dall'infiltrazione diretta di pioggia, dai livelli permeabili dei fianchi delle colline plioceniche quando sono in contatto con il materasso alluvionale.

A questo acquifero attingono la maggior parte dei pozzi delle centrali acquedottistiche.

Tenuto conto del quadro geologico stratigrafico e delle classi di permeabilità attribuibili ai diversi litotipi affioranti si può stilare una scala di vulnerabilità per l'acquifero contenuto e/o sottostante tali terreni. Le classi di vulnerabilità individuabili, con riferimento al dominio fisiografico caratterizzante l'area di pianura alluvionale esaminata, sono le seguenti:

- **Vulnerabilità elevata E-A:**
falda acquifera in materiali sabbiosi e/o sabbiosi ghiaiosi di origine fluviale con scarsa e/o nulla protezione geologica (permeabilità elevata-media per porosità).
- **Vulnerabilità media-bassa M-B:**
falda acquifera confinata, protetta da una copertura limosa e/o argillosa a bassa permeabilità di spessore variabile da pochi metri a qualche decina di metri.

Le zone della pianura a vulnerabilità elevata e molto elevata, caratterizzate come detto da affioramento di terreni a alta e/o media permeabilità, dovranno essere soggette a specifiche limitazioni e prescrizioni in funzione delle possibili trasformazioni, fisiche e funzionali, che comportino attività e/o impianti potenzialmente "inquinanti".

Per offrire una immediata graficizzazione della geometria piezometrica è stata riportata sulla carta di TAV.1. 4 la condizione rilevata nella rete di controllo Acque S.p.A. relativa al 2002.

Dall'esame della carta si può notare che il quadro piezometri della pianura ha un andamento irregolare per la presenza di alcuni minimi piezometrici in corrispondenza delle centrali acquedottistiche e di punti di attingimento industriale che alterano la naturale geometria della falda.; un minimo molto sviluppato, legato oltre che ai prelievi acquedottistici anche all'assetto strutturale dei depositi alluvionali, è presente nella zona di Castelluccio.

Nelle rimanenti aree la geometria naturale della superficie piezometrica indicherebbe un deflusso sotterraneo mediamente diretto verso l'Arno a significare l'azione drenante svolta da quest'ultimo.

3.4.1. - Influenza dell'acqua di falda ai fini edificatori

a) Area collinare

La presenza dell'acqua di falda entro i livelli presenti nei terreni della collina riveste un ruolo non trascurabile, ai fini edificatori, solo nei casi in cui gli orizzonti acquiferi sono prossimi al piano campagna.

Anche in questo caso però la limitata potenzialità acquifera delle falde consente la realizzazione delle opere se accompagnata da semplici interventi di drenaggio. Più rilevante invece è l'influenza dell'acqua che circola in tali livelli ai fini della stabilità dei versanti. La saturazione, infatti, può portare al decadimento locale delle caratteristiche di resistenza meccanica del terreno e quindi all'instabilità in condizioni critiche di acclività. La precarietà si estende ai terreni argillosi al letto dei livelli permeabili.

b) Area di pianura

L'acquifero multistrato, essendo il più superficiale, può maggiormente interferire con la fascia di profondità interessata dalle fondazioni e dalle escavazioni relative, nei casi in cui il livello statico sia situato in prossimità del p.c..

In questo caso la presenza della falda può condizionare il comportamento meccanico dei terreni ai fini costruttivi. Man mano che la profondità della falda aumenta si avrà una interferenza minore sulla stabilità delle costruzioni. Tuttavia nelle aree prossime alle centrali acquedottistiche e ai punti di attingimento per scopi industriali la depressione indotta del livello di falda si traduce in una diminuzione della pressione piezometrica e quindi in un aumento del carico litostatico efficace che nei terreni costituiti da alternanze di sabbie e argille può provocare cedimenti la cui entità è funzione della compressibilità dei terreni.

Nei periodi di morbida un innalzamento del livello di falda si può tradurre in un decadimento delle caratteristiche meccaniche dei terreni di natura coesiva.

Le escursioni stagionali della falda, rilevate su base sperimentale e ferite a oltre dieci anni di misure sulla rete di controllo, è mediamente di 2 - 3 metri.

E' bene da considerare la saltuaria presenza di falde sospese e non continue nei primi metri sotto il piano campagna. Anche se ininfluenti sul sistema idrogeologico sotterraneo, queste presenze possono avere riflessi sulla stabilità dei manufatti e di cui si deve tenere conto in fase di progetto.

4. - QUADRO GEOLOGICO-TECNICO

4.1. - Carta Litotecnica-Geotecnica (TAV. 1.5)

L'elaborato evidenzia le unità che caratterizzano il quadro geologico dell'area, considerate ed accorpate sotto il profilo litotecnico-geotecnico secondo parametri quali la composizione litologica, il grado di cementazione, il tipo di stratificazione, ecc..

Lo scopo della carta è di delimitare i terreni che possono manifestare comportamento geotecnico omogeneo; sono state quindi raggruppati in "classi litotecnico/geotecnico" i litotipi che presentano caratteristiche tecniche simili, indipendentemente dalla posizione stratigrafica, dai rapporti geometrici e dall'età.

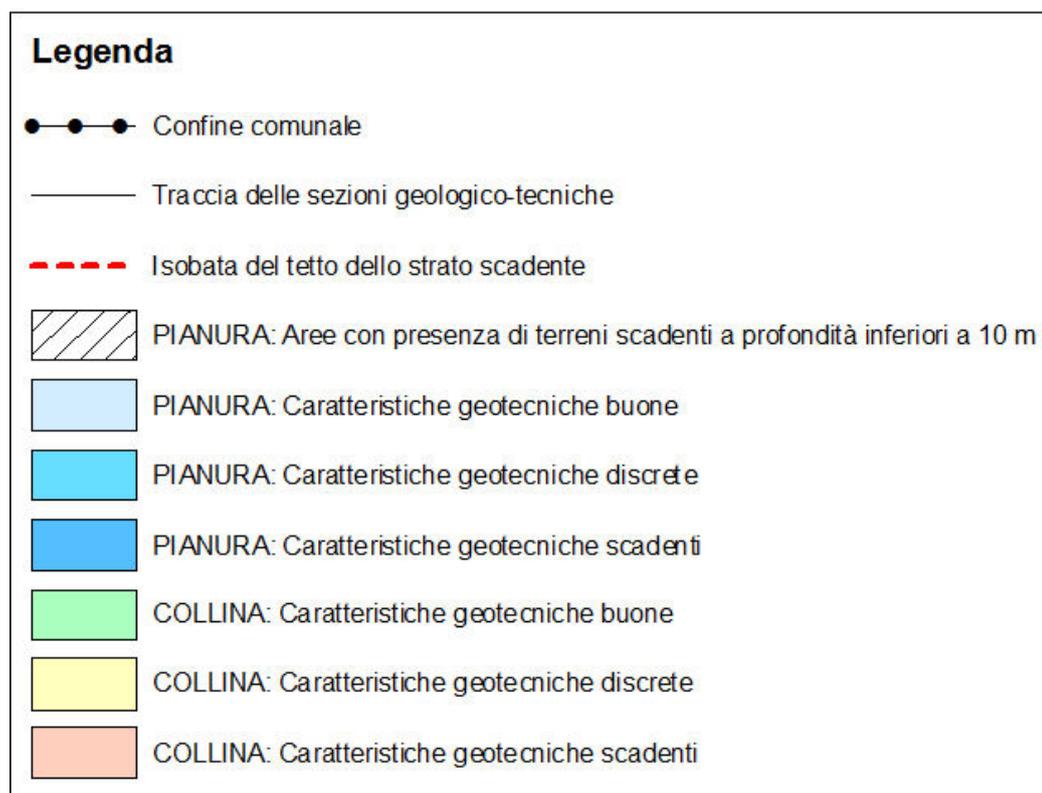


FIG. 4.1 – Legenda Carta Geo-Litotecnica

Nel settore collinare i terreni più diffusi sono argille e argille limose, ed in subordine le sabbie i conglomerati e le ghiaie, mentre in pianura, dominio dei terreni di origine alluvionale, sono maggiormente sviluppati i litotipi argillosi e/o argilloso sabbiosi: i litotipi sabbiosi sono presenti prevalentemente nella zona di Arnovecchio-Serravalle e nell'area

di Castelluccio-Riottoli. Lungo il T. Orme e Ormicello e nella zona pedecollinare di Villanova - Il Fontino si rileva una relativa prevalenza dei litotipi a granulometria grossolana, legati all'apporto conglomeratico-ghiaioso proveniente dal settore di collina.

Per arrivare alla definizione di una carta geo-litotecnica esaustiva sono stati analizzati tutti i dati di carattere geognostico reperiti sul territorio e costruite alcune sezioni litotecniche/geotecniche utilizzando i suddetti dati conoscitivi.

In genere si tratta in buona misura di dati di penetrometrie e, in numero minore, di sondaggi che accompagnavano varie relazioni geologiche presentate all'Amministrazione Comunale a corredo di P.U.A. e/ permessi di costruire.

L'ubicazione dei punti di indagine è riportata nella Tavola dei Dati di Base (Tav. 1.3). I vari dati reperiti sono forniti in allegato.

Le varie sezioni geotecniche e stratigrafiche realizzate nella pianura alluvionale (TAVV. 1.6÷1.8) hanno facilitato l'estrapolazione o l'interpolazione dei parametri numerici, consentendo di caratterizzare anche geotecnicamente i terreni del sottosuolo con buona approssimazione.

Anche per l'elaborazione della Carta Geo-Litotecnica (TAV. 1.5) si è fatta distinzione fra area di pianura e area di collina:

- a) I terreni di collina comprendono sia i terreni sedimentari marini della serie pliocenica (Pag, Ps, Pcg) che costituiscono l'ossatura dei rilievi collinari che i lembi di terreni sedimentari continentali antichi pedecollinari (Q - at). Sono caratterizzati in generale da alternanze di livelli scarsamente cementati con livelli fortemente cementati
- b) I terreni di pianura comprendono i sedimenti sciolti con granulometria variabile da fine (argilla) a grossolana (ghiaia) della serie quaternaria attuale e recente. I litotipi incoerenti, sabbiosi e/o ghiaiosi, possono talora presentarsi pseudocoerenti in ragione di un relativo contenuto argilloso o limoso e/o di cementazioni secondarie.

Questa prima fondamentale suddivisione riflette una netta differenziazione di comportamento geotecnico:

- I terreni di collina sono infatti caratterizzati in genere da una resistenza geotecnica relativamente più alta, soprattutto se confrontata con quella dei litotipi a granulometria equivalente presenti in pianura. Ciò è dovuto, per i terreni sabbioso-conglomeratici, ad un buon grado di cementazione. Per i terreni argillosi, ciò è dovuto ad un relativo

grado di sovraconsolidazione che hanno subito essendo stati in passato sottoposti a carichi litostatici molto superiori a quelli attualmente applicati da parte dei sedimenti che anticamente li ricoprivano e che successivamente sono stati asportati dall'erosione. Sono quindi in genere scarsamente compressibili.

- I terreni di pianura invece sono prevalentemente più sciolti. La resistenza geotecnica è ancora data dal contributo sia di forze coesive che attrittive. I depositi argillosi sono in genere normalconsolidati, raramente leggermente sovraconsolidati. I livelli limoso-argillosi si presentano potenzialmente compressibili, anche se in misura diversa.

Il quadro geologico-geotecnico illustrato dalla carta e dalle sezioni costituisce un valido strumento di indirizzo geotecnico di massima, essendo il prodotto di studi a scala areale. Per una caratterizzazione puntuale in fase di progettazione di opere sono comunque necessarie indagini di maggiore dettaglio, alla scala del progetto.

Utilizzando le risposte quantitative delle penetrometrie ed i dati dei sondaggi e delle altre indagini utili, i terreni riconosciuti nel sottosuolo sono stati caratterizzati anche sotto il profilo geotecnico in classi di comportamento omogeneo.

4.1.1. - Terreni di collina: Classi Geo-litotecniche

Le caratteristiche geotecniche dei terreni di collina sono determinate dalla resistenza geotecnica alla rottura propria dei terreni e dalle condizioni geomorfologiche, più specificatamente, dalle condizioni di stabilità dei versanti.

La valutazione della resistenza geotecnica dei terreni deriva sia da osservazioni dirette effettuate in campagna sulle aree di affioramento o sulle sezioni stratigrafiche esposte che da dati geognostici, per lo più rappresentati da prove penetrometriche statiche e/o dinamiche.

In particolare la resistenza offerta dal terreno all'infissione della punta rappresenta un parametro di valutazione geotecnica idoneo ad esprimere il campo di variazione delle caratteristiche di resistenza a rottura del terreno. Tale parametro (**R_p**) consente di ricavare l'ordine di grandezza del carico ammissibile sul terreno **q_a** dalla relazione empirica valida per il penetrometro statico:

$$q_a = \frac{R_p(\text{kg/cm}^2)}{10}$$

Nella carta geo-litotecnica (Tav. 1.5) sono state individuate e suddivise le aree con caratteristiche geo-litotecniche omogenee. A ciascuna classe geo-litotecnica corrispondono determinate caratteristiche e potenziali comportamenti geotecnici:

CLASSE Caratteristiche geotecniche buone

Formazioni omogenee: Conglomerati (Pcg), ghiaie con sabbie (q), detriti ghiaiosi (dq).

Condizioni geomorfologiche: I litotipi affiorano, spesso, in corrispondenza di scarpate subverticali dove si possono verificare fenomeni franosi di crollo connessi con l'alterazione e la dissoluzione del cemento e a causa dell'erosione differenziale tra sabbie e conglomerati.

TIPO DI TERRENO	ORIENTAMENTI GEOTECNICI	
	Resistenza alla rottura	Condizioni di stabilità in funzione dell'acclività
conglomerati (Pcg)	Molto elevata	Angolo limite 35° = 70 %
sabbie (Ps)	Molto elevata Rp sempre > 20 kg/cm ²	Angolo limite 30° = 58,5 %
ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa o limosa (q), detriti ghiaiosi	Elevata Rp sempre > 20 kg/cm ²	Angolo limite 20° = 37 %

CLASSE Caratteristiche geotecniche discrete

Formazioni omogenee: Sabbie alternate a limi sabbiosi e sabbie limose (Ps), sedimenti alluvionali terrazzati (at), argille sovraconsolidate (Pag), corpi detritici.

Caratteristiche geo-litotecniche: Mediocri; il comportamento meccanico è funzione del grado d'addensamento e/o di consistenza.

Condizioni geomorfologiche: La presenza di materiali a granulometria diversa comporta la possibilità che si verifichino sollecitazioni idrauliche che possono innescare fenomeni franosi.

TIPO DI TERRENO	ORIENTAMENTI GEOTECNICI	
	Resistenza alla rottura	Condizioni di stabilità in funzione dell'acclività

limi con rari livelli ghiaiosi (at)	Bassa	Angolo limite 15° = 27,5 % Stabilità buona ovunque
argille (Pag)	Bassa nello strato decompresso superficiale dove Rp può scendere a valori inferiori a 10 kg/cm ² . Elevata al di sotto di tale strato dove Rp è sempre > 20 kg/cm ² ed aumenta con la profondità fino a valori superiori a 100 kg/cm ²	Angolo limite 15° = 27,5 %
sabbie e conglomerati (Ps - Pcg)	Elevata al di sotto dello strato decompresso superficiale dove Rp è sempre > 20 kg/cm ² ed aumenta con la profondità fino a valori superiori a 100 kg/cm ²	Stabilità con acclività del pendio inferiore a 15° = 27,5 %
corpi detritici	Discrete, in funzione della componente fine prevalente e/o del grado di addensamento	Possibile instabilità per acclività superiori a 14° = 25 %

CLASSE Caratteristiche geotecniche scadenti

Formazioni omogenee: Argille, argille limose e sabbiose con banchi di sabbia e rari livelli ciottolosi (Pag).

Caratteristiche geo-litotecniche: Variabili da mediocri a scadenti; il comportamento meccanico è rappresentativo di argille e limi consistenti.

Condizioni geomorfologiche: Si possono verificare fenomeni di plasticizzazione in presenza d'acqua che possono indurre a fenomeni di lenta deformazione dei versanti.

TIPO DI TERRENO	ORIENTAMENTI GEOTECNICI	
	Resistenza alla rottura	Condizioni di stabilità in funzione dell'acclività
Argille limose e sabbiose con banche di sabbia e rari livelli ciottolosi conglomeratici (Pag)	Bassa nello strato decompresso superficiale dove Rp può scendere a valori inferiori a 10 kg/cm ² . Elevata al di sotto di tale strato dove Rp è sempre > 20 kg/cm ² ed aumenta con la profondità fino a valori superiori a 100 kg/cm ²	<u>Potenzialmente instabile con acclività del pendio superiore a 15°</u> quando la resistenza al taglio si può ridurre in conseguenza dei seguenti fattori: - saturazione dello strato decompresso superficiale; - shock sismico
corpi detritici	Depositi con scadenti caratteristiche geotecniche, con componente fine prevalente e/o molto sciolti.	Possibile instabilità per acclività inferiori a 14° = 25 %

4.1.2. - Terreni di pianura: Classi Geo-litotecniche

La caratterizzazione geotecnica dei terreni di pianura è stata ottenuta dall' analisi dei dati ricavati dalle penetrometrie statiche e dinamiche e dai sondaggi geognostici.

La maggior parte dei dati geotecnici disponibili è costituita da penetrometrie statiche ed in misura subordinata da sondaggi geognostici. La caratterizzazione dei terreni è stata fatta quindi in funzione della risposta all'infissione penetrometrica che può essere considerata un parametro geotecnico idoneo ad esprimere la variabilità laterale e verticale della caratteristiche meccaniche dei terreni alluvionali.

La zonizzazione del sottosuolo della pianura, riportata nella Tav.1.5, ha interessato l'intervallo di profondità indagato dai punti di controllo geognostico e stratigrafico disponibili. Sono state altresì ricostruite 9 sezioni di correlazione geologico-tecnica (scala orizzontale 1:10.000 e verticale 1:400) che attraversano la pianura di Empoli secondo un reticolo orientato sia Est-Ovest che Nord-Sud.

Il criterio seguito nella correlazione è stato quello di individuare intervalli nel sottosuolo con comportamento geotecnico medio affine, per la cui definizione si è principalmente fatto riferimento ai dati delle penetrometrie statiche, i dati di base più numerosi e significativi oltre che di più facile correlazione, ed in particolare ai valori di R_p .

Sulle sezioni (TAVV. 1.6÷1.8) sono stati evidenziati:

- a) dove ricavata con una relativa sicurezza, la profondità del substrato pre-quaternario ricostruita attraverso le informazioni stratigrafiche dei pozzi e dei sondaggi geognostici;
- b) le correlazioni che hanno consentito la separazione tra i terreni alluvionali con caratteristiche buone e quelli con caratteristiche discrete e scadenti.

Prendendo come riferimento il valore di $R_p = 20 \text{ kg/cm}^2$, sono stati individuati in ciascun diagramma penetrometrico gli intervalli omogenei caratterizzati da valori di R_p che si mantengono mediamente entro un campo di valori ben definito. A tali intervalli è stata associata una classe geotecnica secondo il seguente schema:

CLASSE Caratteristiche geotecniche buone

Formazioni omogenee: Alluvioni recenti: sabbie addensate, livelli di ghiaia e talvolta livelli di argille molto compatte tendenti a sovraconsolidate.

I terreni di questa classe sono caratterizzati da valori di R_p sempre superiori a 20 kg/cm^2 e che raggiungono spesso valori di rifiuto all'infissione della punta. Tale situazione che esprime caratteristiche geotecniche buone (Resistenza meccanica elevata e scarsa compressibilità).

CLASSE Caratteristiche geotecniche discrete

Formazioni omogenee: Alluvioni recenti: argille mediamente compatte normalconsolidate, limi più o meno addensati e sabbie fini sciolte.

Questa classe comprende terreni caratterizzati da strati con R_p comprese mediamente tra 10 e 20 kg/cm². Le caratteristiche geotecniche medie sono generalmente discrete (Resistenza meccanica da media a bassa e compressibilità da media ad elevata) e possono peggiorare o migliorare in funzione dell'incidenza dei livelli con R_p intorno a 10 kg/cm² su quelli con R_p intorno a 20 kg/cm².

CLASSE Caratteristiche geotecniche scadenti

Formazioni omogenee: Alluvioni recenti: argille molli, argille sabbiose e/o limose e limi sciolti.

I terreni di questa classe sono caratterizzati da valori di R_p che si mantengono mediamente intorno a 10 kg/cm² o minori. Le caratteristiche geotecniche sono scadenti (Bassa resistenza a rottura e compressibilità elevata).

I terreni con caratteristiche geotecniche scadenti si sviluppano in limitate aree poste nella zona centrale della piana compresa tra l'Arno e le colline, a cavallo della S.G.C. FI-PI-LI. In particolare, è stata evidenziata la loro presenza nella zona posta poco a nord di Terrafino, tra Pratovecchio e i Cappuccini, tra Ponzano e Ponterotto. Lo spessore dei terreni di questa fascia può raggiungere localmente anche i 30 m. Dove si sviluppano i terreni con caratteristiche geotecniche scadenti, qualora dovessero essere realizzate opere di un certo rilievo, dovrà essere presa in considerazione la possibilità che tali opere inducano dei cedimenti del terreno anche di notevole entità, come peraltro già accaduto in passato durante la costruzione della superstrada FI-PI-LI, quando si sono manifestati abbassamenti del suolo dell'ordine di vari decimetri.

I terreni con caratteristiche geotecniche buone sono presenti al margine dei rilievi collinari e lungo le valli dell'Orme, dell'Ormicello, e vallate minori; altre zone con terreni aventi caratteristiche geotecniche buone sono presenti nella zona di Serravalle-Arnovecchio e nella zona di Pagnana-Podere Casciana. Le sezioni che intersecano la zona di Arnovecchio, mostrano per una vasta area un miglioramento delle caratteristiche

geotecniche che è da riferire alla presenza dei banchi di sabbia e ghiaia, oggetto peraltro di estrazione di inerti fino a tempi recenti.

La rimanente parte di territorio di pianura, compresa la valle dell'Elsa, è costituita da terreni con caratteristiche geotecniche discrete.

Sulla carta sono altresì evidenziate le zone caratterizzate dalla presenza entro i primi 5-10 metri dal piano campagna di terreni scadenti, cioè caratterizzate da valori di R_p che si mantengono mediamente intorno o inferiori a 10 kg/cm² e che comportano una bassa resistenza a rottura e quindi una compressibilità elevata. Peraltro sempre in tali zone sono riportate le isobate del tetto di tali prizzonti più scadenti, così da rendere visibile l'effettivo spessore dei terreni più superficiali e con caratteristiche migliori.

5. - SISMICITÀ

Il territorio comunale di Empoli ricade in Zona 3 di sismicità. In base ai dati reperibili su terremoti verificatisi nei comuni toscani, la massima intensità macrosismica osservata per il comune di Empoli risulta non superiore alla magnitudo 7.

In base al rapporto “Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al Rapporto Conclusivo a cura di C. Meletti e G. Valensise (2004) Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, il territorio ricadrebbe all’interno della Zona sismogenetica 916 per la quale è stata definita una magnitudo massima di 4,6.

Dall’analisi e dalla valutazione integrata di quanto emerge dall’acquisizione delle conoscenze relative agli elementi esistenti di tipo geologico-litotecnico, geomorfologico e delle indagini geofisiche, geotecniche e geognostiche, a disposizione e/o appositamente eseguite (Analisi microtremiti), possono essere definite le aree ove potenzialmente soggette a effetti locali o di sito. La valutazione preliminare degli effetti locali o di sito ai fini della riduzione del rischio sismico consente di rappresentare:

- probabili fenomeni di amplificazione stratigrafica, topografica e per morfologie sepolte;
- la presenza di faglie e/o strutture tettoniche;
- i contatti tra litotipi a caratteristiche fisico-meccaniche significativamente differenti;
- fenomeni di accentuazione della instabilità dei pendii;
- terreni suscettibili a liquefazione e/o addensamento;
- terreni soggetti a cedimenti diffusi e differenziali.

Tale valutazione viene rappresentata attraverso uno studio di Microzonazione Sismica di 1° Livello, secondo i criteri definiti dal D.P.G.R. Toscana n° 53/R del 25 Ottobre 2011, ed in particolare nell’All. A della delibera di G.R.T. n. 261 del 18 Aprile 2011 “Redazione delle specifiche tecniche regionali per la Microzonazione Sismica”, che ha interamente recepito

le linee guida degli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (Gruppo di lavoro MS, 2008).

La cartografia da produrre a supporto della microzonazione è costituita dalla Carta delle MOPS (Microzonazione Omogenea in Prospettiva Sismica), da realizzare in corrispondenza delle aree urbane e/o di possibile espansione urbanistica ritenute significative.

Nel caso specifico le carte delle MOPS sono state prodotte con riferimento a 4 aree omogenee, ritenute di interesse da parte dell'Amministrazione in funzione dell'attuale sviluppo urbanistico e/o in prospettiva di futuri sviluppi delle aree, e comunque concordate con l'Ufficio URTAT competente. Le 4 aree sono:

- Area collinare

- Centro urbano di Monterappoli ed intorno significativo (TAV.1.9).

- Area di Pianura

- Area del Terrafino fino a comprendere anche i centri urbani di Osteria Bianca e Brusiana lungo la valle dell'Elsa (TAV1.9).
- Area centro urbano Empoli compreso tra S.G.C. FI-PI-LI e fiume Arno (TAV1.10).
- Area urbana di Empoli compreso tra S.G.C. FI-PI-LI e colline a ricomprendere anche i centri abitati di Pozzale e Casenuove nella valle del T.te Orme. (TAV1.11).

La cartografia tematica prodotta suddivide il territorio esaminato in zone omogenee dal punto di vista litostratigrafico e del comportamento sismico ed individua qualitativamente gli elementi potenzialmente in grado di generare fenomeni di amplificazione locale ed instabilità dinamica.

L'elaborazione è stata eseguita tenendo conto dei criteri raccomandati dalle linee guida degli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica”. Attraverso la valutazione e l'analisi dei dati geognostici e dei dati geofisici a disposizione (vedasi “Carta dei dati di base”, TAV. 1.3) e sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche, è stato ricostruito il modello geologico-tecnico dell'area, prestando particolare attenzione all'eventuale

individuazione dei litotipi che potessero costituire il substrato rigido o “bedrock sismico” (ovvero dei materiali caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori rispetto a quelli relativi alle coperture localmente presenti), alla loro profondità rispetto al piano campagna e ad una stima di massima del contrasto di impedenza sismica atteso.

I dati geofisici disponibili da precedenti indagini eseguite sul territorio erano rappresentati da:

- 3 Down Hole
- 24 MASW
- 18 profili sismici a rifrazione
- 3 REMI
- 6 stazioni di misura di microtermore (rumore sismico ambientale)

Con lo scopo di integrare tale quadro conoscitivo di base si è proceduto all’esecuzione di ulteriori 10 stazioni di misura di rumore sismico ambientale a stazione singola, dislocate in modo da ottenere una copertura di dati omogenea delle aree individuate per l’elaborazione delle carte MOPS.

Le nuove stazioni di misura di microtremori sono state eseguite a coppie relativamente ravvicinate, in maniera tale da avere una conferma dell’attendibilità del risultato. Nei casi in cui l’acquisizione del segnale ha mostrato una scarsa attendibilità del risultato restituito, è stata ripetuta la stazione di misura come nel caso delle stazioni P931 e P933.

5.1. Indagini sismiche eseguite. Cenni metodologici

Il microtermore “rumore sismico” è presente ovunque sulla superficie della terra ed è generato dai fenomeni ambientali e dall’attività antropica. L’analisi delle misure di rumore sismico possono essere condotte in tre modi: Rapporti spettrali; Spettri di Fourier; Rapporti spettrali H/V. Il metodo più usato e più affidabile è quello dei rapporti spettrali H/V che consiste nella misura dei rapporti degli spettri di Fourier nel piano orizzontale e della componente verticale. Il metodo è stato introdotto nei primi anni ’70 da scienziati giapponesi tra cui Nogoshi e Igarashi (1971) e Shiono et al. (1979) e poi ripreso nel 1989 da Nakamura. Il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) mira all’individuazione di possibili fenomeni di risonanza sismica e delle relative frequenze e si basa sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e

della componente verticale del rumore sismico ambientale. In presenza di forti contrasti di impedenza sismica nel sottosuolo (ad esempio in corrispondenze del passaggio fra litologie caratterizzate da velocità delle onde sismiche molto differenti) la funzione H/V, che rappresenta i rapporti spettrali medi in funzione della frequenza, presenta dei massimi che corrispondono con le frequenze di risonanza. Esiste poi una proporzionalità (non lineare) fra l'ampiezza dei massimi della funzione H/V e l'entità del contrasto di impedenza sismica. La frequenza di risonanza fornisce indicazioni sul rapporto fra la velocità delle onde S dello strato al tetto del bedrock sismico e la profondità di quest'ultimo:

$$f_0 = n * V_s / (4H)$$

dove:

f₀ = frequenza di risonanza

V_s = velocità delle onde S della copertura

H = spessore della copertura/profondità bedrock

n = 1,3,5,.....

La strumentazione impiegata per l'indagine è l'Echo Tromo della Ambrogeo che utilizza un geofono triassiale da 2 Hz, con una frequenza di campionamento di 128Hz, 256Hz e 512 Hz. Il formato di registrazione è il SAF "SESAME ascii".

L'indagine in campo e l'interpretazione dei dati è stata eseguita da So.Ge.T. di Lucca. In totale sono state eseguite quattro coppie di misure a stazione singola e due misure isolate. Le prove sono state effettuate con cura per quanto riguarda l'accoppiamento del geofono 3D con il terreno e nella riduzione dei rumori direzionali. Il geofono è stato messo in bolla e a stretto contatto con il terreno naturale scorticando la prima parte molle e vegetale evitando il contatto con parti mobili. Inoltre in alcuni casi sono state eseguite delle buche per proteggere il geofono dall'azione del vento.

Le misure devono essere statisticamente rappresentative del fenomeno analizzato e quindi devono avere una durata paragonabile alla frequenza di indagine presunta nel sito d'interesse. In tutti i casi le misure sono state eseguite su una finestra temporale di 1200 sec, con frequenza di campionamento di 128 Hz.

La qualità delle misurazioni è stata valutata sulla base della direzionalità della funzione H/V e verificando che i picchi H/V ritenuti significativi coincidano con minimi locali della componente spettrale verticale. Questa è la circostanza caratteristica di discontinuità

stratigrafiche. Molte volte si osservano dei picchi alti, stretti e ben definiti sulle tre componenti attribuibili a vibrazioni concentrate attorno ad una specifica frequenza indotta da macchinari.

Quando una misura viene effettuata su un substrato sismico la curva H/V non mostra massimi significativi e si livella ad ampiezze prossime a 1.

Per quanto concerne l'elaborazione è stato utilizzato il software Geopsy versione 2.8.0. Il segnale acquisito, 1200 sec, è stato suddiviso in finestre temporali di 20 sec con sovrapposizione del 50% ed operando uno smoothing Konno & Ohmachi pari ad un valori costante di 40. Sono stati esclusi, dall'elaborazione, quelle finestre temporali che presentavano dei picchi anomali.

5.2 - Risultati

L'ubicazione di tutte le stazioni di misura, comprese quelle già disponibili, è visibile nella "Carta dei dati di base" (TAV. 1.3).

Per ogni misura singola eseguita, (vedi tavole allegato 1: Indagini geofisiche) viene riportato lo spettro di H/V, lo spettro delle singole componenti e il diagramma della direzionalità della frequenza.

- Zona collinare di Monterappoli

Le stazioni di misura HVSR-1 (P927) e HVSR-2 (P928) si riferiscono alla zona collinare di Monterappoli. L'area collinare, come evidenziato dagli studi geologici, è caratterizzata dall'affioramento della successione pliocenica costituita da argille e argille limoso-sabbiose con intercalazioni di livelli di sabbia limosa. Questi livelli relativamente più grossolani sono più frequenti e con maggiore continuità laterale nella parte alta della successione. I risultati mostrano valori di frequenza di picco pari a circa 4,95 Hz per entrambe le prove, valori che sembrano testimoniare il passaggio tra la parte della successione caratterizzata dalla presenza di frequenti livelli sabbiosi e la parte sottostante in cui le argille sono prevalenti, più consistenti e tendenti al sovraconsolidato. L'ampiezza del picco H/V testimonia il contrasto di impedenza non particolarmente marcato tra i due orizzonti, quindi, pur avendo un indubbio significato stratigrafico (passaggio litologico fra intervalli litologici a diversa velocità sismica), non si ritiene che esistano le premesse per attribuire all'area una particolare significatività sotto il profilo sismico.

- Zona di pianura

Le misure di rumore sismico ambientale effettuate nella parte di pianura del territorio comunale, comprese quelle già a disposizione da precedenti indagini, mostrano un quadro sostanzialmente omogeneo in cui i valori di frequenza dei picchi H/V, variano mediamente tra circa 1,6 Hz e 2.5 Hz. Tali valori, sono compatibili con un modello geologico in cui ad uno spessore variabile intorno ai 25-35 m di sedimenti alluvionali prevalentemente limosi argillosi e subordinatamente sabbiosi, caratterizzati, come mostrano le varie indagini sismiche a rifrazione, da una velocità delle onde di taglio V_s intorno ai 180-230 m/sec, e quindi generalmente classificabili da un punto di vista sismico come terreno di categoria C, segue la successione pliocenica prevalentemente argillosa più compatta, caratterizzata da velocità sismiche maggiori ($V_s=350-450$ m/sec).

Mediamente il tipo di picco che si rileva dalle varie indagini non sembra evidenziare un fenomeno di risonanza particolarmente pronunciato; quindi, pur avendo lo stesso un indubbio significato stratigrafico (passaggio litologico fra terreni a diversa velocità sismica da alluvioni a successione argillosa pliocenica), non si ritiene che esistano le premesse per attribuire una particolare significatività sotto il profilo della pericolosità sismica eventualmente derivabile. Ciò è suffragato anche dalle non elevate differenze di velocità sismiche S_h tra i due depositi.

Nella sequenza litostratigrafica di pianura, alla base del materasso alluvionale, nel settore est del territorio comunale (zona di Arnovecchio) e nella fascia pedecollinare, è presente un livello ghiaioso di spessore ed addensamento variabile. In questo orizzonte si possono raggiungere delle velocità delle onde di taglio V_s intorno ai 400-450 m/sec, comparabili alle velocità proprie delle sottostanti argille plioceniche e quindi anch'esso può rappresentare un livello risonante più superficiale. Le 3 stazioni di misura HVSR (P931, P925 e P926) nell'area di Pozzale in cui le frequenze fondamentali di picco, variano intorno ai 4.5-5.4 Hz, testimoniano un interfaccia risonante più superficiale intorno ai 10-15 m di profondità dal p.c.. I dati geognostici e le indagini sismiche effettuate in questa zona, sia con onde P che SH indicano la presenza di una superficie rifrangente che si localizza ad una profondità variabile intorno a 10 m rispetto al p.c.. Questo rifratore mette a contatto i terreni superficiali caratterizzati da velocità delle onde sismiche compressionali P comprese tra 400 e 550 m/s e da velocità delle onde di taglio VS variabili intorno a 180-220 m/s, con le sottostanti ghiaie che presentano velocità comprese tra 1.250-1.650 m/s (onde P) e tra 390-450 m/s (onde SH). Anche in questo caso le ampiezze dei picchi H/V mostrano un contrasto di impedenza non particolarmente elevato tra i due orizzonti.

Quindi, pur avendo lo stesso un significato stratigrafico (passaggio litologico fra terreni alluvionali superficiali a ghiaie probabilmente addensate), non si ritiene che esistano le premesse per attribuire una particolare significatività sotto il profilo della pericolosità sismica eventualmente derivabile.

La conclusione più importante che deriva dall'analisi dei dati geofisici, in particolare dai contrasti di impedenza e dal confronto delle velocità delle onde di taglio SH degli orizzonti sismici individuati, è che nell'area di pianura indagata non sia individuabile un bedrock sismico rigido tale da rappresentare un elemento di rischio per la risposta sismica locale.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei principali dati riferiti alle indagini di microtremore appositamente eseguite:

Denominazione	Ubicazione	Coordinata N	Coordinata E	H/V	A0
HVSR_1	Via delle Ville	43° 40.954'	10° 56.583'	4.94 +/-0.373	2.295 [1.808; 2.91]
HVSR_2	Strada Provinciale Salaiola	43° 40.665'	10° 56.595'	4.97 +/-0.64	2.62 [1.894; 3.64]
HVSR_3	Via XXV Aprile	43° 41.355'	10° 54.043'	1.737 +/- 0.234	2.997 [2.8237; 4.017]
HVSR_4	Via della Concordia	43° 41.744'	10° 54.258'	1.638 +/- 0.175	2.997 [1.885; 3.005]
HVSR_5	Via D'Orme	43° 42.129'	10° 57.164'	5.48 +/-0.826	2.151 [1.74; 2.66]
HVSR_6	Via Gian Battista Vico	43° 42.692'	10° 56.644'	1.761 +/- 0.272	1.80 [1.308; 2.476]
HVSR_7	Via Ponsano	43° 42.789'	10° 57.149'	1.839 +/- 0.220	2.167 [1.722; 2.725]
HVSR_8	Via San Martino	43° 43.518'	10° 57.860'	2.50 +/-0.399	3.302 [2.436; 4.478]
HVSR_9	Via Luigi Lazzari	43° 43.104'	10° 55.848'	1.983 +/- 0.297	1.915 [1.466; 2.502]
HVSR_10	Via Paolo Veronesi	43° 43.061'	10° 56.170'	2.10 +/-0.378	1.849 [1.424; 2.40]

Tab. 5.1 – Dati significativi indagini microtremore eseguite

I dati relativamente alle indagini sismiche eseguite sono riportati in allegato 1, mentre tutti i dati di base di carattere sismico (Masw, rifrazioni, down-hole, ReMi e HSRV) sono

ubicati sulla Carta dei dati di base di TAV.1.3 e forniti in copia nell'allegato 2 (Dati di Base).

5.3. - Carte M.O.P.S.

Come in precedenza già descritto le carte delle MOPS sono state prodotte con riferimento a 4 aree omogenee, ritenute di interesse da parte dell'Amministrazione in funzione dell'attuale sviluppo urbanistico e/o in prospettiva di futuri sviluppi delle aree. Le 4 aree sono:

- Area collinare

- Centro urbano di Monterappoli ed intorno significativo (TAV.1.9).

- Area di Pianura

- Area del Terrafino fino a comprendere anche i centri urbani di Osteria Bianca e Brusiana lungo la valle dell'Elsa (TAV1.9).
- Area centro urbano Empoli compreso tra S.G.C. FI-PI-LI e fiume Arno (TAV1.10).
- Area urbana di Empoli compreso tra S.G.C. FI-PI-LI e colline a ricomprendere anche i centri abitati di Pozzale e Casenuove nella valle del T.te Orme. (TAV1.11).

La cartografia tematica prodotta suddivide il territorio esaminato in zone omogenee dal punto di vista litostratigrafico e del comportamento sismico ed individua qualitativamente gli elementi potenzialmente in grado di generare fenomeni di amplificazione locale ed instabilità dinamica.

L'elaborazione è stata eseguita tenendo conto dei criteri raccomandati dalle linee guida degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Attraverso la valutazione e l'analisi dei dati geognostici e dei dati geofisici a disposizione (vedasi "Carta dei dati di base", TAV. 1.3) e sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche, è stato ricostruito il modello geologico-tecnico dell'area, prestando particolare attenzione all'eventuale individuazione dei litotipi che potessero costituire il substrato rigido o "bedrock sismico"

(ovvero dei materiali caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori rispetto a quelli relativi alle coperture localmente presenti), alla loro profondità rispetto al piano campagna e ad una stima di massima del contrasto di impedenza sismica atteso.

L'analisi dei dati di base unitamente alle osservazioni geologiche, geomorfologiche e geofisiche sopra esplicate, hanno portato, nelle carte delle MOPS, alla suddivisione del territorio comunale in:

- 1) zone stabili suscettibili di amplificazione sismica: zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;
- 2) zone suscettibili di instabilità: zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, cedimenti differenziali, ecc.).

In particolare sono state eseguite ulteriori suddivisioni dei due gruppi principali basandosi, per il primo gruppo sulle diverse sequenze litostratigrafiche di dettaglio rappresentative dei diversi settori di territorio e per il secondo gruppo sulla diversa tipologia di fenomeni di instabilità potenzialmente attivabili da un evento sismico.

Tra le zone stabili suscettibili di amplificazione sismica sono state individuate undici tipologie di microzone omogenee con diverso modello litostratigrafico.

Per quanto riguarda le zone suscettibili di instabilità, nell'area collinare (zona di Monterappoli) sono state evidenziate le instabilità di versante attive e quiescenti.

Nelle zone di pianura invece, sono state individuate aree soggette a liquefazione laddove, le informazioni litostratigrafiche mostravano presenza di terreni prevalentemente sabbiosi e falda entro i primi 15 metri dal p.c., e in particolare nella zona di Arnovecchio e in alcune limitate fasce prevalentemente ubicate in fregio all'Arno.

6. – PERICOLOSITA' DEL TERRITORIO'

Il D.P.G.R. 53/R, Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della Legge Regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) indica i criteri che portano a definire il grado di pericolosità di un territorio sotto il profilo geologico, sismico e idraulico. Il PS/RU comunali comprendono le Carte della pericolosità, geologica, sismica e idraulica. Questi elaborati esprimono il diverso grado di pericolosità per il territorio in funzione delle caratteristiche litotecniche e geotecniche dei terreni, delle condizioni geomorfologiche, idrogeologiche e di sicurezza sismica e idraulica dell'area, delimitando le aree potenzialmente vulnerabili al verificarsi di eventi critici. Attraverso le necessarie analisi ed approfondimenti tecnico scientifici vengono caratterizzate aree omogenee dal punto di vista delle pericolosità e delle criticità rispetto agli specifici fenomeni che le generano, producendo cartografie separate, che individuano gli scenari di pericolosità che caratterizzano il territorio comunale.

6.1. - Pericolosità Geologica

Nel caso del comune di Empoli, viste le peculiarità del territorio, la pericolosità si riferisce allo stato fisico-litotecnico dei terreni caratterizzanti la pianura ed in particolare alle loro caratteristiche di resistenza e compressibilità, che condizionano le opere in termini di carichi ammissibili e cedimenti assoluti o differenziali. Per la parte collinare oltre alle caratteristiche litotecniche diventano preminenti anche le condizioni geomorfologiche e in particolare la presenza o meno di processi geomorfici sia inattivi che attivi, l'acclività dei versanti e la presenza di coperture detritiche. Nella Carta della Pericolosità Geologica, TAV.1.12, si prevede quindi non solo l'individuazione dei settori interessati da dissesti attivi ma anche la delimitazione di aree potenzialmente vulnerabili al verificarsi di eventi critici conseguenti a condizioni geologiche-tecniche e geomorfologiche particolari.

Nell'area di pianura come evidenziato dalla Carta Litotecnica (TAV. 1.5) sono rilevabili ampie zone caratterizzate dalla presenza di terreni con caratteristiche scadenti (S) soggiacenti, entro profondità significativamente brevi (5-10 metri), ad altri di caratteristiche significativamente migliori. L'attribuzione della pericolosità è stata quindi fatta tenendo conto di questo quadro geotecnico locale. La presenza di uno strato

compressibile entro brevi profondità dal piano campagna può infatti essere molto significativo nei confronti di interventi pianificatori ed edilizi puntuali di una certa incidenza sul terreno.

La tabella che segue definisce i criteri generali per l'attribuzione del grado di pericolosità geologica-litotecnica e geomorfologica di un territorio così come definito dal D.P.G.R. 53/R.

Classe	Pericolosità	Caratteristiche
G.1	BASSA	Aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfologici.
G.2	MEDIA	Aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 20%.
G.3	ELEVATA	Aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con indizi di instabilità connessi alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 20%.
G.4	MOLTO ELEVATA	Aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza, aree interessate da soliflussi.

Tab. 6.1 – Classi di Pericolosità Geologica

Di seguito, con riferimento al territorio del Comune di Empoli e considerando separatamente l'area collinare e quella di pianura, si illustrano le varie classi di Pericolosità individuate.

- Terreni di collina. Caratteristiche delle classi di pericolosità

La pericolosità è stata espressa in funzione delle caratteristiche geotecniche dei terreni, e delle condizioni di stabilità.

CLASSE DI PERICOLOSITA' G1 - PERICOLOSITA' BASSA

In questa classe come in precedenza descritto ricadono le aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.

I criteri orientativi per l'attribuzione a questa classe sono i seguenti:

TIPO DI TERRENO	ORIENTAMENTI GEOTECNICI	
	Resistenza alla rottura	Condizioni di stabilità in funzione dell'acclività
conglomerati (Pcg)	Molto elevata	Angolo limite 35° = 70 %
sabbie (Ps)	Molto elevata R_p sempre > 20 kg/cm ²	Angolo limite 30° = 58,5 %
ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa o limosa (q)	Elevata R_p sempre > 20 kg/cm ²	Angolo limite 20° = 37 %

CLASSE DI PERICOLOSITA' G2 - PERICOLOSITA' MEDIA

In questa classe come in precedenza descritto ricadono le aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 25%.

Le caratteristiche dei terreni compresi in questa classe sono le seguenti:

TIPO DI TERRENO	ORIENTAMENTI GEOTECNICI	
	Resistenza alla rottura	Condizioni di stabilità in funzione dell'acclività
limi con rari livelli ghiaiosi (at)	Bassa	Angolo limite 15° = 27,5 % Stabilità buona ovunque
argille (Pag)	Bassa nello strato decompresso superficiale dove Rp può scendere a valori inferiori a 10 kg/cm ²	Angolo limite 15° = 27,5 %
sabbie e conglomerati (Ps - Pcg)	Elevata al di sotto dello strato decompresso superficiale dove Rp è sempre > 20 kg/cm ² ed aumenta con la profondità fino a valori superiori a 100 kg/cm ²	Stabilità con acclività del pendio inferiore a 15° = 27,5 %
corpi detritici	Discrete, in funzione della componente fine prevalente e/o del grado di addensamento	Possibile instabilità per acclività superiori a 14° = 25 %

CLASSE DI PERICOLOSITA' G3 - PERICOLOSITA' ELEVATA

In questa classe come in precedenza descritto ricadono le aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con indizi di instabilità connessi alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 25%. In questa classe sono comprese le aree con le caratteristiche riportate nello schema sottostante e anche quei settori a ridosso delle aree in frana e che possono subire fenomeni di richiamo in caso di riattivazione.

TIPO DI TERRENO	ORIENTAMENTI GEOTECNICI	
	Resistenza alla rottura	Condizioni di stabilità in funzione dell'acclività
argille (Pag) sabbie (Ps) conglomerati (Pcg)	Bassa nello strato decompresso superficiale dove Rp può scendere a valori inferiori a 10 kg/cm ² Elevata al di sotto di tale strato dove Rp è sempre > 20 kg/cm ² ed aumenta con la profondità fino a valori superiori a 100 kg/cm ²	Potenzialmente instabile con acclività del pendio superiore a 15° quando la resistenza al taglio si può ridurre in conseguenza dei seguenti fattori: - saturazione dello strato decompresso superficiale; - shock sismico
corpi detritici	Depositi con scadenti caratteristiche geotecniche, con componente fine prevalente e/o molto sciolti.	Possibile instabilità per acclività inferiori a 14° = 25 %

COLLINA: CLASSE DI PERICOLOSITA' G4 - PERICOLOSITA' MOLTO ELEVATA

In questa classe sono comprese le aree in cui sono presenti fenomeni attivi e le relative aree di influenza, aree interessate da soliflussi:

TIPO DI TERRENO	ORIENTAMENTI GEOTECNICI	
	Resistenza alla rottura	Condizioni di stabilità in funzione dell'acclività
		<u>Instabile in qualunque condizione di acclività</u>

L'esame della carta della pericolosità mostra che nel settore di collina sono ben sviluppati i terreni appartenenti alla classe di pericolosità G2. Le classi G3 e G4 sono limitate, rispettivamente, alle zone con condizioni geomorfologiche e di acclività tali da ritenerle al limite della stabilità, ed alle aree in dissesto. La classe G1 comprende limitate zone, nella zona di Cerbaiola-Monteboro, corrispondenti ad aree pressoché pianeggianti, caratterizzate dall'affioramento di conglomerati e di sabbie sia plioceniche che quaternarie.

La classe G4, legata ai dissesti attivi, appare, seppur localmente, discretamente diffusa, testimoniando una relativa propensione al dissesto dell'area collinare che ha necessariamente condizionato l'estensione delle aree comprese nella classe G3. Si può, infatti, osservare che quasi sempre alle aree a pericolosità G4 sono associati settori in classe di pericolosità G3: queste situazioni sono legate sia all'acclività, che è superiore ai 15°, sia a considerazioni di carattere geomorfologico, cioè alla possibilità che l'evoluzione nel tempo dei dissesti possa indurre fenomeni di richiamo anche nelle zone circostanti. Si è ritenuto quindi necessario assegnare a tali zone classe di pericolosità G3 per far sì che qualora si vada ad intervenire su tale territorio vengano prese in attento esame le condizioni di stabilità dell'area e l'impatto che possono avere eventuali interventi sull'equilibrio dei versanti.

Considerazioni analoghe possono essere fatte nelle zone in classe di pericolosità G2, qualora con un intervento si vada ad intervenire in una situazione apparentemente stabile, sarà opportuno verificare l'effetto che produce sulla stabilità del sito la rottura della precedente condizione di equilibrio

- Terreni di Pianura: Caratteristiche delle classi di pericolosità

La pericolosità è stata espressa in funzione delle caratteristiche litologiche-geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo.

CLASSE DI PERICOLOSITA' G1 - PERICOLOSITA' BASSA

In questa classe ricadono le aree in cui le caratteristiche litologiche-geotecniche, giacaturali non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi. I criteri orientativi per l'attribuzione a questa classe sono i seguenti:

TIPO DI TERRENO	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE
Alluvioni attuali e recenti: <u>ghiaie, sabbie addensate e livelli di argille molto compatte e in genere sovraconsolidate.</u>	Terreni caratterizzati da R_p superiore sempre a 20 kg/cm^2 da elevata resistenza a rottura e da compressibilità scarsa. Caratteristiche geotecniche <u>BUONE</u> ,

CLASSE DI PERICOLOSITA' G2 - PERICOLOSITA' MEDIA

In questa classe ricadono le aree con caratteristiche litologiche-geotecniche, giacaturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al verificarsi di processi morfoevolutivi. I criteri orientativi per l'attribuzione a questa classe sono i seguenti:

TIPO DI TERRENO	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE
Alluvioni attuali e recenti: <u>argille mediamente compatte normalconsolidate, limi più o meno addensati e sabbie fini sciolte.</u>	Terreni caratterizzati generalmente dalla presenza di strati con R_p compresa tra 10 e 20 kg/cm^2 e da intervalli limitati con $R_p > 20 \text{ kg/cm}^2$. Queste caratteristiche possono peggiorare o migliorare in funzione dell'incidenza dei livelli con R_p intorno a 10 kg/cm^2 su quelli con R_p intorno a 20 kg/cm^2 . La resistenza a rottura è variabile da media a bassa mentre la compressibilità è variabile da media ad elevata. Caratteristiche geotecniche <u>SCADENTI</u> ,
Alluvioni attuali e recenti: <u>ghiaie, sabbie addensate e livelli di argille anche molto compatte al di sotto dei quali, per profondità comprese entro i primi 5÷10 m dal p.c. sono presenti argille molli e limi sciolti.</u>	Terreni superficiali caratterizzati da R_p superiore sempre a 20 kg/cm^2 , da elevata resistenza a rottura e da compressibilità scarsa, sovrastanti livelli con caratteristiche geotecniche <u>SCADENTI</u> , caratterizzate da valori di R_p che si mantengono mediamente intorno o inferiori a 10 kg/cm^2 e che comportano una bassa resistenza a rottura e compressibilità elevata.

CLASSE DI PERICOLOSITA' G3 - PERICOLOSITA' ELEVATA

In questa classe ricadono le aree interessate da subsidenza e le aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche. I criteri orientativi per l'attribuzione a questa classe sono i seguenti:

TIPO DI TERRENO	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE
Alluvioni attuali e recenti: <u>argille molli e limi sciolti</u>	Terreni caratterizzati da valori di R_p che si mantengono mediamente intorno o inferiori a 10 kg/cm^2 . Caratteristiche geotecniche SCADENTI (Bassa resistenza a rottura e compressibilità elevata)
Alluvioni attuali e recenti: <u>argille mediamente compatte normalconsolidate, limi più o meno addensati e sabbie fini sciolte al di sotto dei quali, per profondità comprese primi 5÷10 m dal p.c. sono presenti argille molli e limi sciolti.</u>	Terreni caratterizzati generalmente dalla presenza di strati con R_p compresa tra 10 e 20 kg/cm^2 e da intervalli limitati con $R_p > 20 \text{ kg/cm}^2$. Queste caratteristiche possono peggiorare o migliorare in funzione dell'incidenza dei livelli con R_p intorno a 10 kg/cm^2 su quelli con R_p intorno a 20 kg/cm^2 . La resistenza a rottura è variabile da media a bassa mentre la compressibilità è variabile da media ad elevata. In profondità sono presenti invece terreni con caratteristiche geotecniche SCADENTI , caratterizzati da valori di R_p che si mantengono mediamente intorno a 10 kg/cm^2 o minori e che comportano una bassa resistenza a rottura e compressibilità elevata.

CLASSE DI PERICOLOSITA' G4 - PERICOLOSITA' MOLTO ELEVATA

In pianura non sono state rilevate caratteristiche geotecniche che giustificano l'appartenenza a tale classe di pericolosità.

6.2. - Pericolosità Sismica Locale

Dall'analisi e dalla valutazione integrata di quanto emerge dall'acquisizione delle conoscenze relative agli elementi esistenti di tipo geologico-litotecnico, geomorfologico e delle indagini geofisiche, geotecniche e geognostiche, appositamente eseguite (Analisi microtremori) e/o disponibili, sono evidenziate le aree ove possono verificarsi effetti locali o di sito. La valutazione preliminare degli effetti locali o di sito ai fini della riduzione del rischio sismico consente di rappresentare:

- probabili fenomeni di amplificazione stratigrafica, topografica e per morfologie sepolte;
- la presenza di faglie e/o strutture tettoniche;
- i contatti tra litotipi a caratteristiche fisico-meccaniche significativamente differenti;
- accentuazione della instabilità dei pendii;
- terreni suscettibili a liquefazione e/o addensamento;
- terreni soggetti a cedimenti diffusi e differenziali.

Tale valutazione è rappresentata attraverso uno studio di Microzonazione Sismica di 1° Livello, secondo i criteri definiti all'o,d.p.c.m. 3907/2010. La cartografia da produrre a supporto della microzonazione (vedi anche Cap.5) è costituita dalla Carta MOPS (Microzonazione Omogenea in Prospettiva Sismica), da realizzare in corrispondenza delle aree urbane e/o di possibile espansione urbanistica significative per il comune. Per quanto riguarda il territorio comunale di Empoli le carte MOPS sono state prodotte con riferimento a 4 aree omogenee, ritenute di interesse da parte dell'Amministrazione in funzione dell'attuale sviluppo urbanistico e/o in prospettiva di future espansioni e sviluppi dell'area, (Cap.5):

- Area collinare

- Centro urbano di Monterappoli ed intorno significativo (TAV.1.9).

- Area di Pianura

- Area del Terrafino fino a comprendere anche i centri urbani di Osteria Bianca e Brusiana lungo la valle dell'Elsa (TAV1.9).
- Area centro urbano Empoli compreso tra S.G.C. FI-PI-LI e fiume Arno (TAV1.10).

- Area urbana di Empoli compreso tra S.G.C. FI-PI-LI e colline a ricomprendere anche i centri abitati di Pozzale e Casenuove nella valle del T.te Orme. (TAV1.11).

La cartografia MOPS individua qualitativamente gli elementi potenzialmente in grado di generare fenomeni di amplificazione locale e di instabilità dinamica. I suddetti elementi sono poi associati al grado di pericolosità sismica, funzione dell'interazione tra ciascun elemento di pericolosità sismica locale e la sismicità di base, connessa alla Zona sismica di appartenenza del territorio comunale. La sintesi delle informazioni derivanti dalle cartografie geologiche, geomorfologiche e dalla carta MOPS consente di valutare le condizioni di pericolosità sismica secondo le seguenti graduazioni di pericolosità, così come definito dal D.P.G.R. 53/R.

<u>Classe</u>	<u>Pericolosità</u>	<u>Caratteristiche</u>
S.1	PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE BASSA	Zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata e dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica
S.2	PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE MEDIA	Zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe S3)
S.3	ELEVATA	Zone suscettibili di instabilità di versante quiescente e che pertanto potrebbero subire riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica (per tutti tranne quelli classificati in Zona sismica 2); zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico meccaniche significativamente diverse; aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e faglie capaci (faglie che potenzialmente possono dare deformazioni in superficie); zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzate da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri;
S.4	MOLTO ELEVATA	Zone suscettibili di instabilità di versante attiva e che pertanto potrebbero subire un accentuazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; terreni suscettibili di liquefazione dinamica in comuni classificati in Zona Sismica 2;

Tab. 6.2 – Classi di Pericolosità Sismica

Tenuto conto quindi dello scenario derivante dalle carte MOPS, dalle indagini sismiche di microtremore e di tutti i dati geognostici e geofisici a disposizione, tenuto conto delle precedenti indicazioni di cui al DPRG 53/R, si è giunti alla redazione della Carta della Pericolosità Sismica, TAV. 1.13.

Come già dettagliatamente argomentato, le differenze nel comportamento sismico del materasso alluvionale rispetto alla sottostante successione pliocenica, ed in particolare la differenza di velocità delle onde di taglio SH, non sono mai tali da configurare le argille plioceniche come un bedrock sismico rigido che possa creare un elevato contrasto di impedenza e fenomeni di risonanza tali da indurre a considerarlo un elemento di rischio potenziale elevato. Per questo motivo la gran parte delle aree del territorio comunale di pianura sono state classificate a pericolosità sismica locale media S2.

Settori a pericolosità sismica elevata S3., sono stati individuati laddove il modello geologico evidenziava presenza di terreni prevalentemente sabbiosi sedi di acquifero freatico e con livello superficiale, inseriti nelle carte MOPS come zone instabili per potenziali fenomeni di liquefazione indotti da un evento sismico.

Nella zona collinare di Monterappoli le aree in dissesto causa fenomeni franosi quiescenti o attivi sono stati considerati rispettivamente in pericolosità sismica elevata S3 e molto elevata S4. Le aree non in dissesto, non rilevando elementi geomorfologici di particolare significatività ai fini della microzonazione sismica, sono state classificate a pericolosità sismica locale media S2.

6..3 - Pericolosità Idraulica

La pericolosità idraulica del territorio comunale trae origine principale dalla eventualità che questa sia invasa dalle acque fuoriuscite dalla rete idrografica per insufficiente capacità di smaltimento delle portate in transito nella stessa.

Il Comune di Empoli, a supporto del nuovo Regolamento Urbanistico del Comune di Empoli ai sensi del D.P.G.R. n. 53R/2011 della Regione Toscana e in attuazione della L.R. 1/2005, ha fatto eseguire uno studio idrologico-idraulico, finalizzato anche all'aggiornamento della pericolosità idraulica del Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno relativamente al proprio territorio.

Lo studio è stato redatto dai tecnici dell'Ufficio Tecnico del Genio Civile di Area Vasta Firenze-Prato-Pistoia-Arezzo, la cui collaborazione con il Comune di Empoli è stata disciplinata tramite apposita Convenzione.

Pur rimandando a detto studio per i dovuti approfondimenti, di seguito si descrivono sinteticamente i criteri informativi e i principali risultati emersi dallo stesso.

Per la definizione della pericolosità idraulica sul territorio comunale sono stati studiati i seguenti sistemi idraulici:

- Fiume Arno dall'idrometro di Signa (FI) al ponte di Castelfranco di Sotto (PI), considerando gli apporti dei numerosi affluenti;
- Fiume Elsa dall'abitato di Poggibonsi alla confluenza nel Fiume Arno, compreso lo scolmatore di Castelfiorentino;
- Torrenti Orme e Piovola a monte dell'abitato di Casenuove (Comune di Empoli);
- Rii Cortenuova, Fibbiana, Sammontana, Citerna, Grande e Montecuccoli;
- Rio dei Cappuccini;
- Rii Sant'Anna, Vitiana, Stella, Pagnana, Friano. Per il tratto del Rio Friano a monte della S.G.C. FI-PI-LI è stato fatto riferimento a studi precedenti, così come per il Rio Volpi.

La valutazione delle aree alluvionabili è determinata sulla base di verifiche idrauliche che hanno riguardato possibili eventi alluvionali con tempi di ritorno fino a duecento anni. In sintesi lo studio di modellizzazione ha messo in evidenza:

- **FIUME ARNO**

Dai risultati delle simulazioni implementate si evince che i livelli idrici del Fiume Arno sono sostanzialmente contenuti dalle strutture arginali sinistre fino al tempo di ritorno duecentennale, così come il rigurgito nel Fiume Elsa.

- **FIUME ELSA**

Le verifiche idrauliche mostrano l'assenza di pericolosità derivante delle piene del Fiume Elsa nel territorio di Empoli, fatta eccezione per un'area in loc. Fontanelle

dove i livelli duecentennali superano l'argine in un punto in cui questo presenta una discontinuità per la presenza di una cataratta.

- **TORRENTI ORME E PIOVOLA**

L'analisi delle simulazioni idrauliche mostra inondazioni per il tempo di ritorno trentennali presso la loc. Casenuove e in destra idraulica a monte della linea ferroviaria. Quest'ultime, oltre che sormonti arginali del torrente Orme, derivante anche dall'intermittenza di scolo del Torrente Piovola per la chiusura automatica delle porte Vinciane. Per tempi di ritorno centennale e superiori le inondazioni sono diffuse a monte della linea ferroviaria, mentre a valle i deflussi sono completamente contenuti in alveo. In sinistra idraulica si evidenziano esondazioni a partire dal tempo di ritorno centennali presso il ponte di Casenuove e presso la loc. Moriano. Le esondazioni interessano gli abitati di Pozzale, Ponzano e Puntone.

- **RII CORTENUOVA, FIBBIANA, SAMMONTANA, CITERNA, GRANDE E MONTECUCCOLI**

Il sistema idrografico analizzato è caratterizzato da una forte laminazione delle portate idrologiche stimate a sud della SGC FI-PI-LI, dove le acque sormontano le strutture arginali pensili. Relativamente al territorio comunale di Empoli già per il tempo di ritorno trentennale si rileva qualche insufficienza in sinistra del Rio Cortenuova (loc. Legnaia) e problematiche legate al reticolo di drenaggio secondario. Per lo stesso tempo di ritorno le acque inondano superano l'argine destro del Cortenuova in corrispondenza del Podere Arno Vecchio e la sponda sinistra del Fosso di Fibbiana a valle del ponte di Case dell'Isola. Benché le insufficienze rilevate si presentano anche per le durate di pioggia minori, i maggiori volumi esondati si riscontrano in occasione delle durate critiche del Fiume Arno per l'intermittenza di scolo attraverso le paratoie.

- **RIO DEI CAPPUCCINI**

Le simulazioni idrauliche evidenziano che per il tempo di ritorno trentennale le acque fuoriescono lungo la sponda destra a monte del ponte in loc. Corniola, si propagano verso valle fino ad accumularsi nell'area a sud del cimitero dei

Cappuccini. Per i tempi di ritorno centennale e duecentennale le esondazioni si verificano anche in sinistra idraulica e ruscellano verso nord fino al rilevato della SGC FI-PI-LI. Esondazioni in sinistra si verificano anche più a valle.

- RII SANT'ANNA, VITIANA, STELLA, PAGNANA, FRIANO

Dall'analisi dei risultati delle verifiche idrauliche si rileva che per il tempo di ritorno trentennale si verificano esondazioni del Rio Sant'Anna a monte del ponte in loc. Sant'Anna. Analoga problematica si verifica sul Rio Stella a monte del ponte in loc. Podere Ponte Maggiore.

Di seguito, in tabella, tenuto conto delle direttive della D.P.G.R. 53/R (Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della Legge Regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche.) si riportano i criteri che portano a definire il grado di pericolosità idraulica di un territorio.

Classe	Pericolosità	Caratteristiche
I.1	BASSA	<p>Aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:</p> <p>a) non vi sono notizie storiche di inondazioni;</p> <p>b) sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.</p>
I.2	MEDIA	<p>Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < Tr \leq 500$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrono le seguenti condizioni:</p> <p>a) non vi sono notizie storiche di inondazioni;</p> <p>b) sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.</p>

I.3	ELEVATA	<p>Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $30 < Tr \leq 200$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici idraulici, rientrano in classe di pericolosità elevata le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni:</p> <p>a) vi sono notizie storiche di inondazioni;</p> <p>b) sono morfologicamente in situazione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.</p>
I.4	MOLTO ELEVATA	<p>Aree interessate da allagamenti per eventi con $Tr \leq 30$anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità molto elevata le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrano contestualmente le seguenti condizioni:</p> <p>a) vi sono notizie storiche di inondazioni;</p> <p>b) sono morfologicamente in situazione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.</p>

Per il quadro di distribuzione delle classi di pericolosità idraulica sul territorio si rimanda allo studio idraulico citato e alle relative tavole di pericolosità allegate. Di seguito si da una breve e sintetica descrizione del quadro emerso dagli studi.

Come in precedenza sinteticamente descritto le condizioni di criticità e di pericolosità rilevate sono legate prevalentemente ai Rii minori che determinano zone a Pericolosità da media a molto elevata. Condizioni di rischio sono legate altresì anche al T.te Orme a monte della linea ferroviaria. Non si riscontrano invece condizioni di rischio significative lungo il fiume Elsa, fatta eccezione per una limitata area poco a monte della località S. Andrea verso Fontanelle. Il centro abitato di Empoli non risulta interessato da scenari di rischio idraulico; le uniche limitate aree urbane a pericolosità da media ad elevata sono comprese tra Puntone e Ponzano a sud della ferrovia.

1) Scopo dell'indagine

Dietro incarico della Committenza sono state eseguite misure di microtremori (rumore sismico ambientale) in n°10 stazioni dislocate sul territorio del Comune di Empoli. Si veda Tav.1, 4, 7, 9, 12 e 14 per l'ubicazione dei punti di rilevamento.

Oggetto della presente relazione sono i risultati a cui si è pervenuti.

2) Cenni teorici del metodo HVSR

Il microtremore “rumore sismico” è presente ovunque sulla superficie della terra ed è generato dai fenomeni ambientali e dall'attività antropica.

L'ampia possibilità di utilizzo di questa metodologia è da ricercare nel costo limitato, nella facilità di esecuzione e di elaborazione.

L'analisi delle misure di rumore sismico possono essere condotte in tre modi:

Rapporti spettrali;

Spettri di Fourier;

Rapporti spettrali H/V.

Il metodo più usato e più affidabile è quello dei rapporti spettrali H/V che consiste nella misura dei rapporti degli spettri di Fourier nel piano orizzontale e della componente verticale. Il metodo è stato introdotto nei primi anni '70 da scienziati giapponesi tra cui Nogoshi e Igarashi (1971) e Shiono et al. (1979) e poi ripreso in lingua inglese nel 1989 da Nakamura.

Il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) mira all'individuazione di possibili fenomeni di risonanza sismica e delle relative frequenze e si basa sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e della componente verticale del rumore sismico ambientale. In presenza di forti contrasti di impedenza sismica nel sottosuolo (ad esempio in corrispondenze del passaggio fra litologie caratterizzate da velocità delle onde sismiche molto differenti) la funzione H/V, che rappresenta i rapporti spettrali medi in funzione della frequenza, presenta dei massimi che corrispondono con le frequenze di risonanza. Esiste poi una proporzionalità (non lineare) fra l'ampiezza dei massimi della funzione H/V e l'entità del contrasto di impedenza sismica.

La frequenza di risonanza fornisce indicazioni sul rapporto fra la velocità delle onde S dello strato al tetto del bedrock sismico e la profondità di quest'ultimo:

$$f_0 = V_s/(4H)$$

dove:

f_0 = frequenza di risonanza

V_s = velocità delle onde S della copertura

H = spessore della copertura/profondità bedrock

La strumentazione impiegata è l'Echo Tromo della Ambrogeo che utilizza un geofono triassiale da 2 Hz, con una frequenza di campionamento di 128Hz, 256Hz e 512 Hz. Il formato di registrazione è il SAF "SESAME ascii".

In totale sono state eseguite quattro coppie di misure a stazione singola e due misure isolate. Le prove sono state effettuate con cura per quanto riguarda l'accoppiamento del geofono 3D con il terreno e nella riduzione dei rumori direzionali. Il geofono è stato messo in bolla e a stretto contatto con il terreno naturale scorticando la prima parte molle e vegetale evitando il contatto con parti mobili. Inoltre in alcuni casi sono state eseguite delle buche per proteggere il geofono dall'azione del vento.

Queste misure devono essere statisticamente rappresentative del fenomeno analizzato e quindi devono avere una durata paragonabile alla frequenza di indagine presunta nel sito d'interesse.

In tutti i casi le misure sono state eseguite su una finestra temporale di 1200 sec, con frequenza di campionamento di 128 Hz.

La qualità delle misurazioni è stata valutata sulla base della direzionalità della funzione H/V e verificando che i picchi H/V ritenuti significativi coincidano con minimi locali della componente spettrale verticale. Questa è la circostanza caratteristica di discontinuità stratigrafiche. Molte volte si osservano dei picchi alti, stretti e ben definiti sulle tre componenti attribuibili a vibrazioni concentrate attorno ad una specifica frequenza indotta da macchinari.

Quando una misura viene effettuata su un substrato sismico la curva H/V non mostra massimi significativi e si livella ad ampiezze prossime a 1.

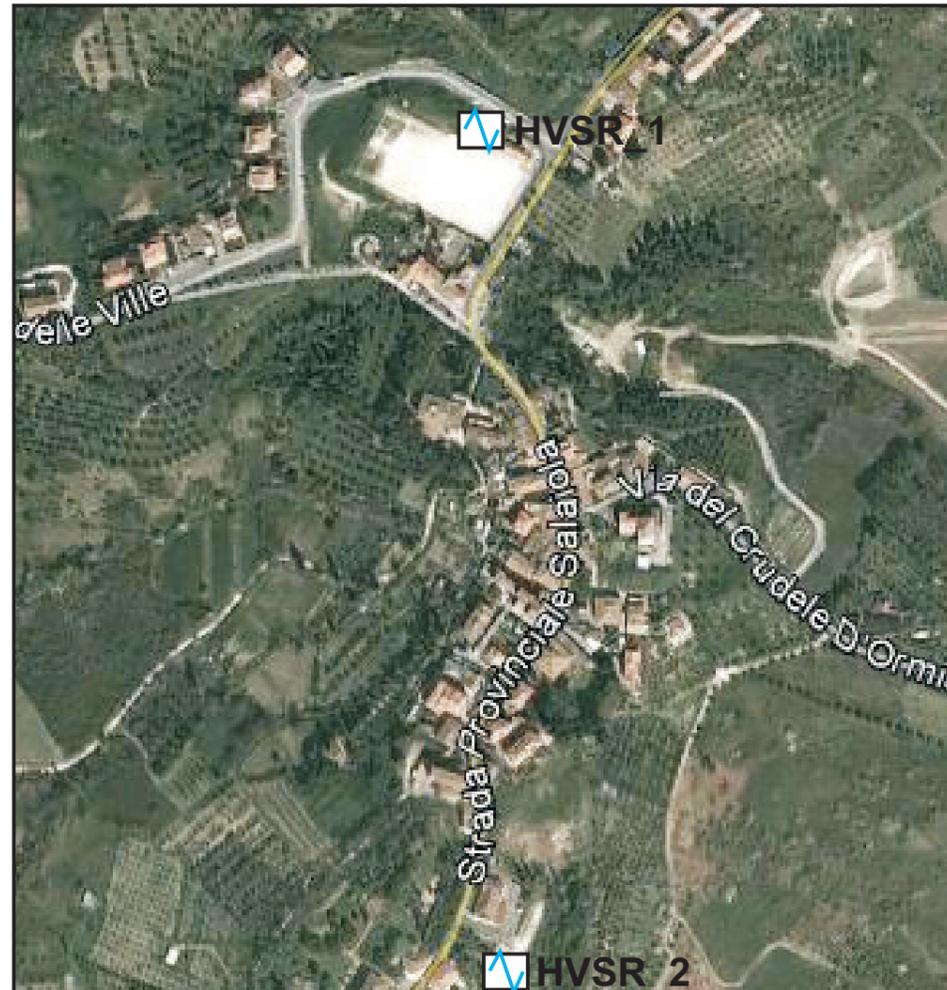
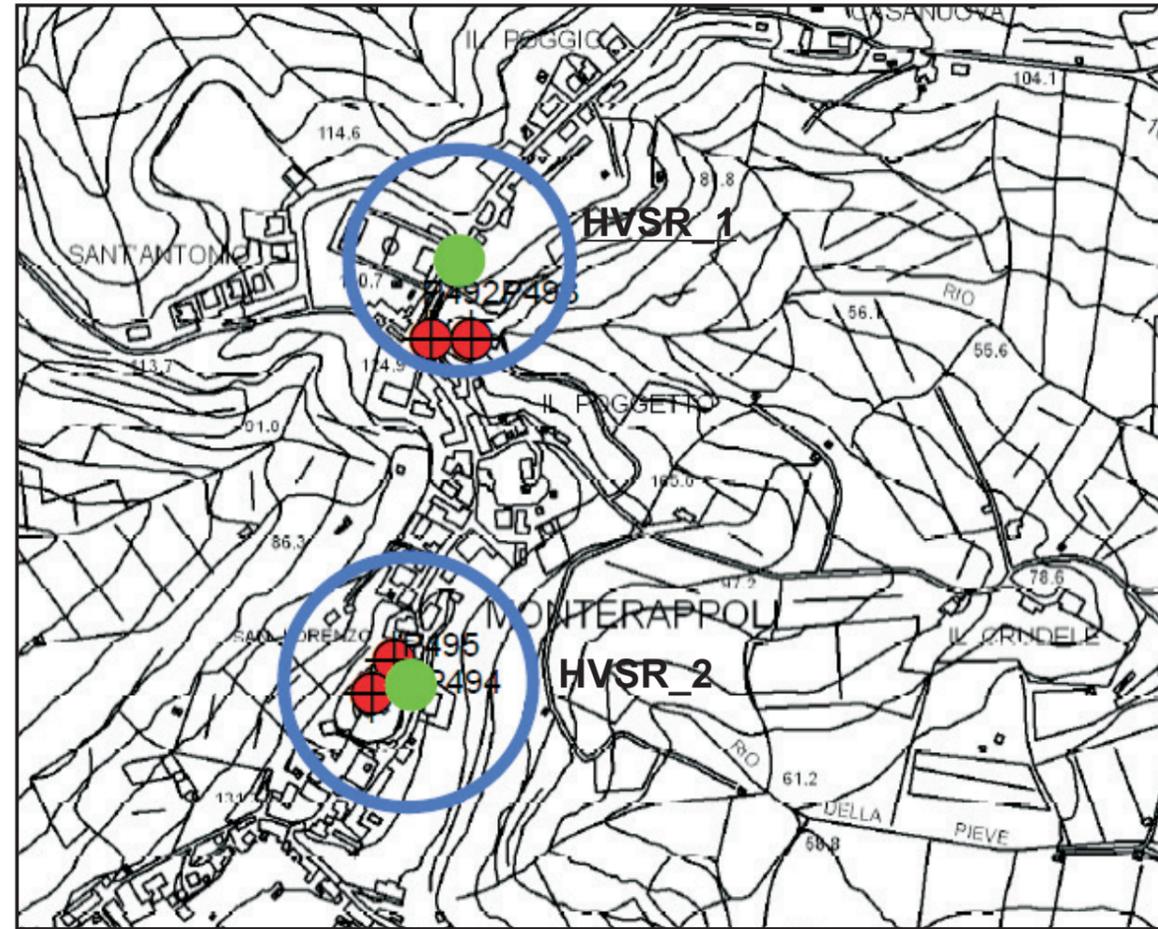
Per quanto concerne l'elaborazione è stato utilizzato il software Geopsy versione 2.8.0.

Il segnale acquisito, 1200 sec, è stato suddiviso in finestre temporali di 20 sec con sovrapposizione del 50% ed operando uno smoothing Konno & Ohmachi pari ad un valori costante di 40. Sono stati esclusi, dall'elaborazione, quelle finestre temporali che presentavano dei picchi anomali.

Per ogni misura singola, nelle tavole allegate viene riportato lo spettro di H/V, lo spettro delle singole componenti e il diagramma della direzionalità della frequenza.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei dati acquisiti ed elaborati:

Denominazione	Ubicazione	Coordinata N	Coordinata E	H/V	A0
HVSR_1	Via delle Ville	43° 40.954'	10° 56.583'	4.94 +/-0.373	2.295 [1.808; 2.91]
HVSR_2	Strada Provinciale Salaiola	43° 40.665'	10° 56.595'	4.97 +/-0.64	2.62 [1.894; 3.64]
HVSR_3	Via XXV Aprile	43° 41.355'	10° 54.043'	1.737 +/-0.234	2.997 [2.8237; 4.017]
HVSR_4	Via della Concordia	43° 41.744'	10° 54.258'	1.638 +/-0.175	2.997 [1.885; 3.005]
HVSR_5	Via D'Orme	43° 42.129'	10° 57.164'	5.48 +/-0.826	2.151 [1.74; 2.66]
HVSR_6	Via Gian Battista Vico	43° 42.692'	10° 56.644'	1.761 +/-0.272	1.80 [1.308; 2.476]
HVSR_7	Via Ponsano	43° 42.789'	10° 57.149'	1.839 +/-0.220	2.167 [1.722; 2.725]
HVSR_8	Via San Martino	43° 43.518'	10° 57.860'	2.50 +/-0.399	3.302 [2.436; 4.478]
HVSR_9	Via Luigi Lazzari	43° 43.104'	10° 55.848'	1.983 +/-0.297	1.915 [1.466; 2.502]
HVSR_10	Via Paolo Veronesi	43° 43.061'	10° 56.170'	2.10 +/-0.378	1.849 [1.424; 2.40]

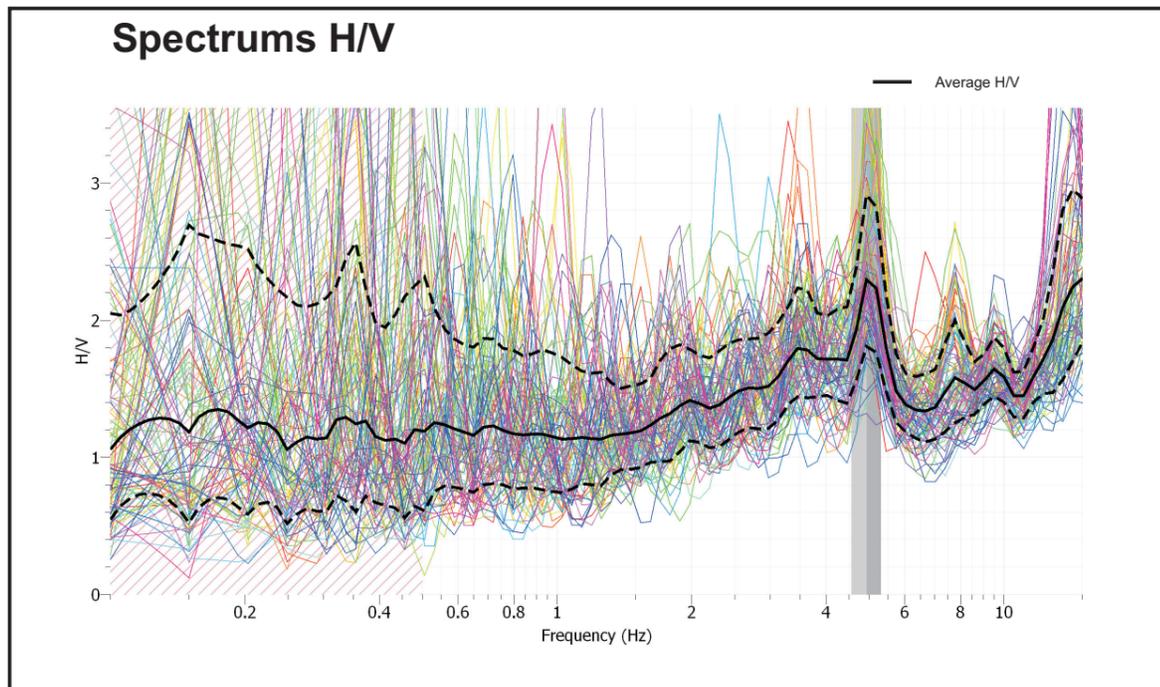


So.Ge.T. Società di Geofisica
 Via per S. Alessio, 1733/C
 55100 S. Alessio (Lucca)
 P.I./C.F. 02115540466
 Tel. e Fax. +39 583 057223
www.sogetsnc.eu - e.mail: info@sogetsnc.eu

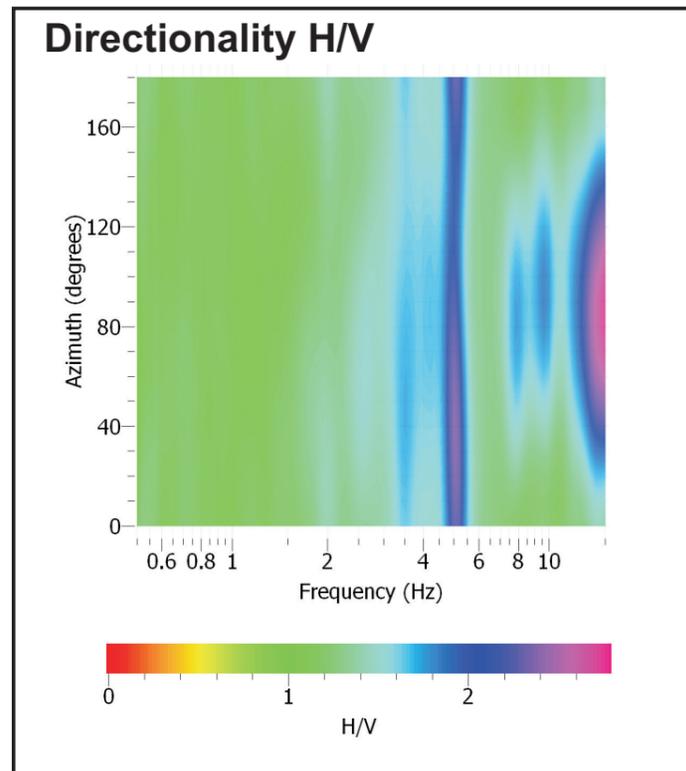
Oggetto: Planimetria HVSr_1 e HVSr_2

Comune: Empoli		Indirizzo: Via delle Ville e Strada Provinciale Salaiola Empoli	TAV. N° 1
Formato: A3			
Committente: Getas Petrogeo srl		Data: 22 novembre 2012	

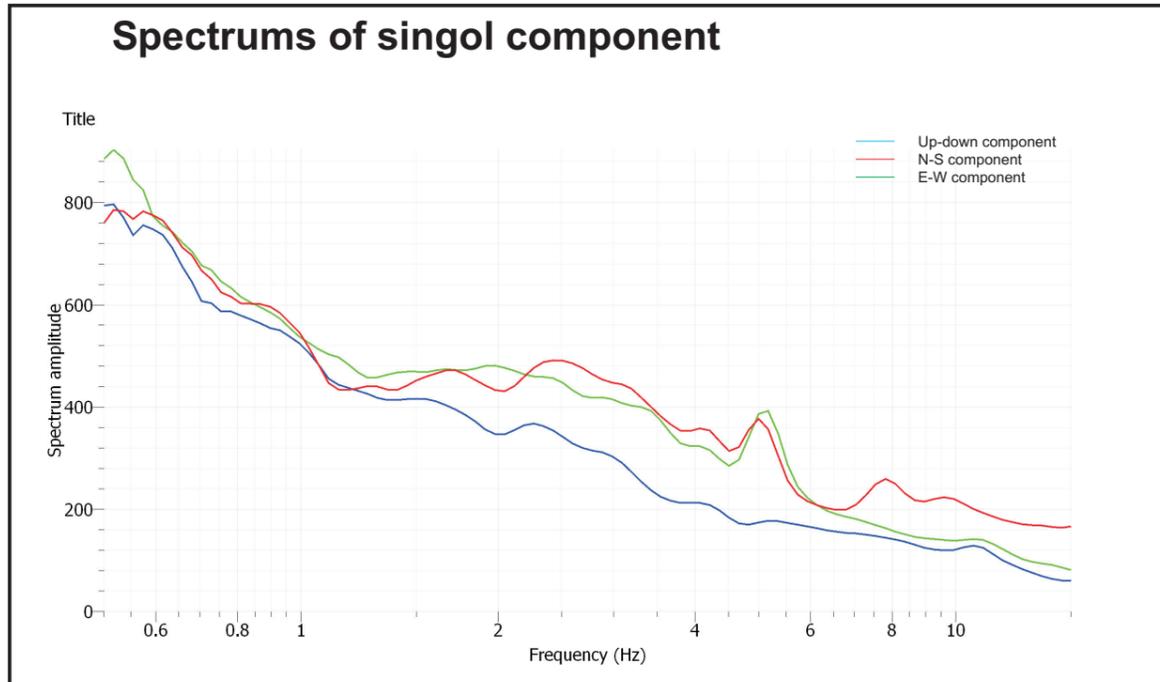
Spectrums H/V



Directionality H/V



Spectrums of singol component



Report

Coordinate:
 43° 40.954'N
 10° 56.582'E
 Recording time 1200 sec
 Sampling frequency 128 Hz
 Length window 20 sec
 Overlap 50%
 Smoothing type Konno & Ohmachi
 Smoothing constant 40

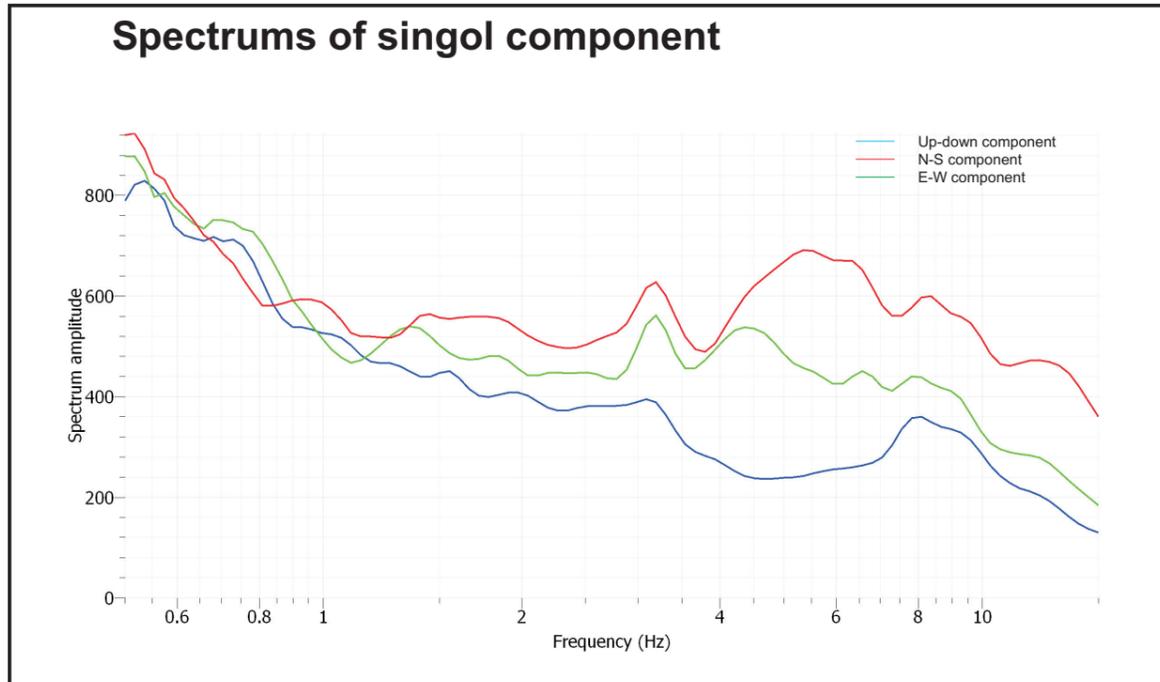
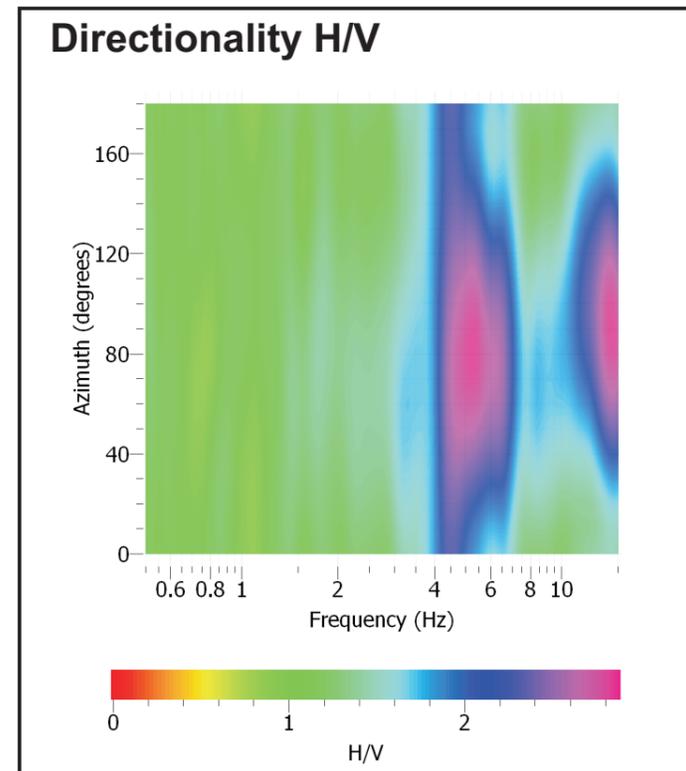
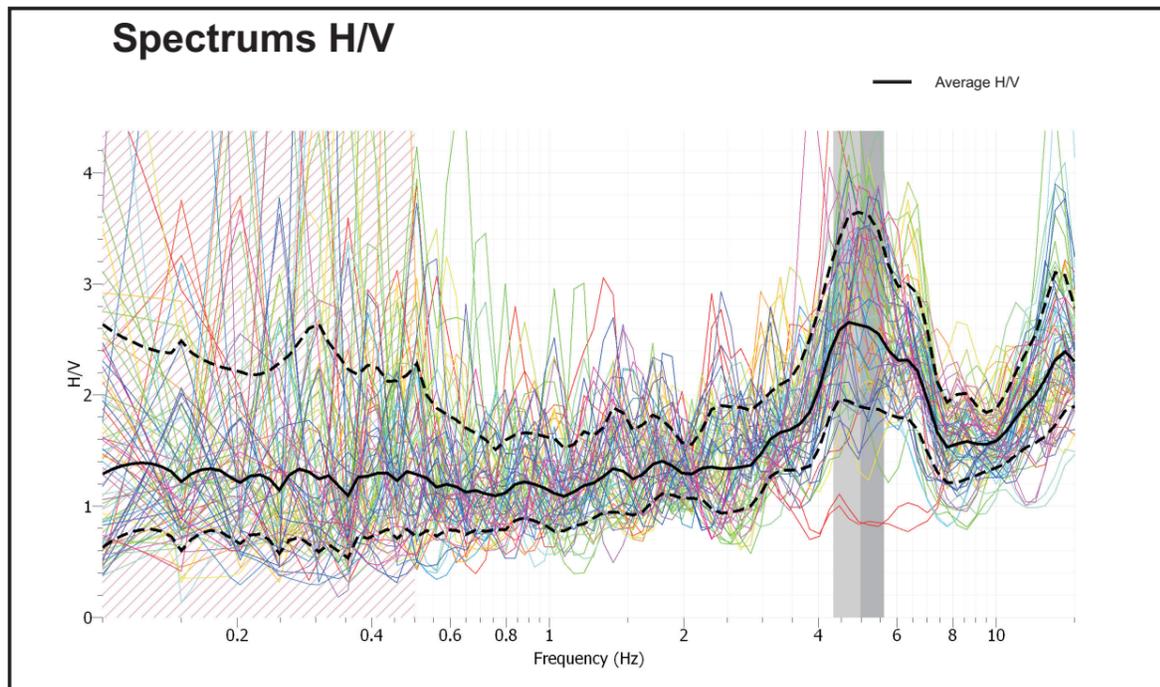
Peak H/V 4.94 +/- 0.373

A0 2.295 [1.808; 2.91]

So.Ge.T. Via per S. Alessio, 1733/C
 Societa' di Geofisica 55100 S. Alessio (Lucca)
 P.I./C.F. 02115540466
 Tel. e Fax. +39 583 057223
www.sogetsnc.eu - e.mail: info@sogetsnc.eu

Oggetto: HVSR_1

Comittente: Getas Petrogeo srl		Data: 22 novembre 2012
Comune: Empoli	Indirizzo: Via delle Ville Empoli	TAV.
Formato: A3		N° 2



Report

Coordinate:
 43° 40.665'N
 10° 56.595'E
 Recording time 1200 sec
 Sampling frequency 128 Hz
 Length window 20 sec
 Overlap 50%
 Smoothing type Konno & Ohmachi
 Smoothing constant 40

Peak H/V 4.97 +/- 0.64

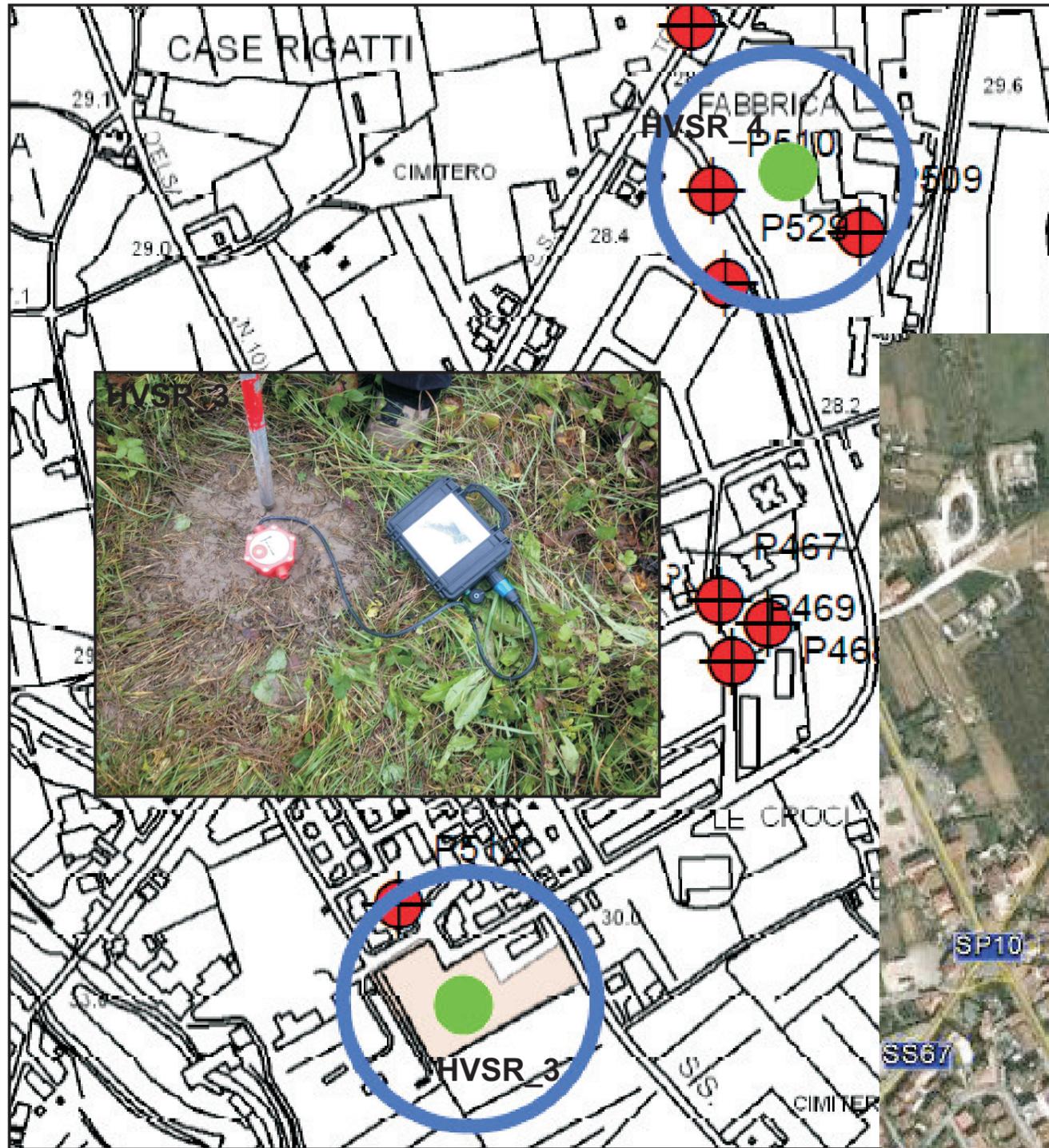
A0 2.62 [1.894; 3.640]

So.Ge.T.
 Societa' di Geofisica

Via per S. Alessio, 1733/C
 55100 S. Alessio (Lucca)
 P.I./C.F. 02115540466
 Tel. e Fax. +39 583 057223
www.sogetsnc.eu - e.mail: info@sogetsnc.eu

Oggetto: HVSr_2

Comittente: Getas Petrogeo srl		Data: 22 novembre 2012
Comune: Empoli	Indirizzo: Strada Provinciale Salaiola Empoli	TAV.
Formato: A3		N° 3

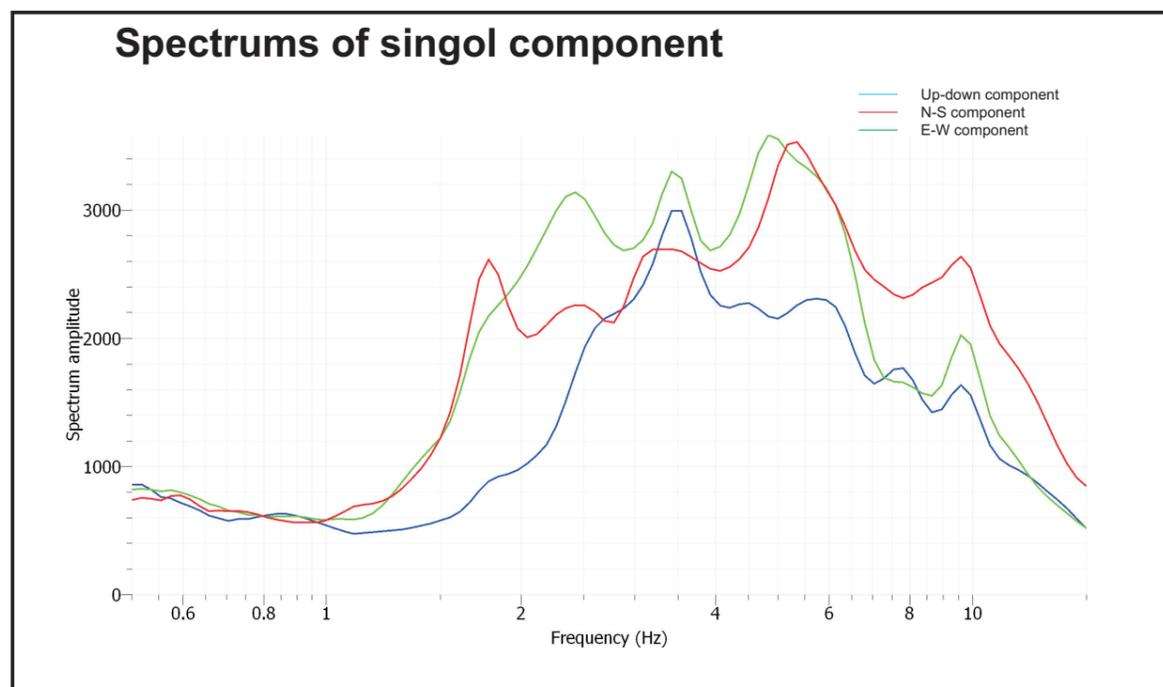
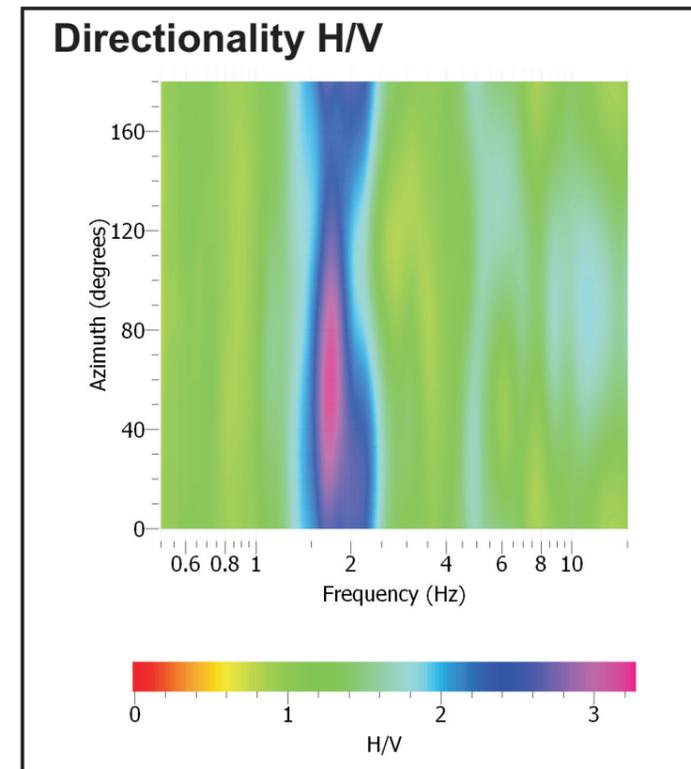
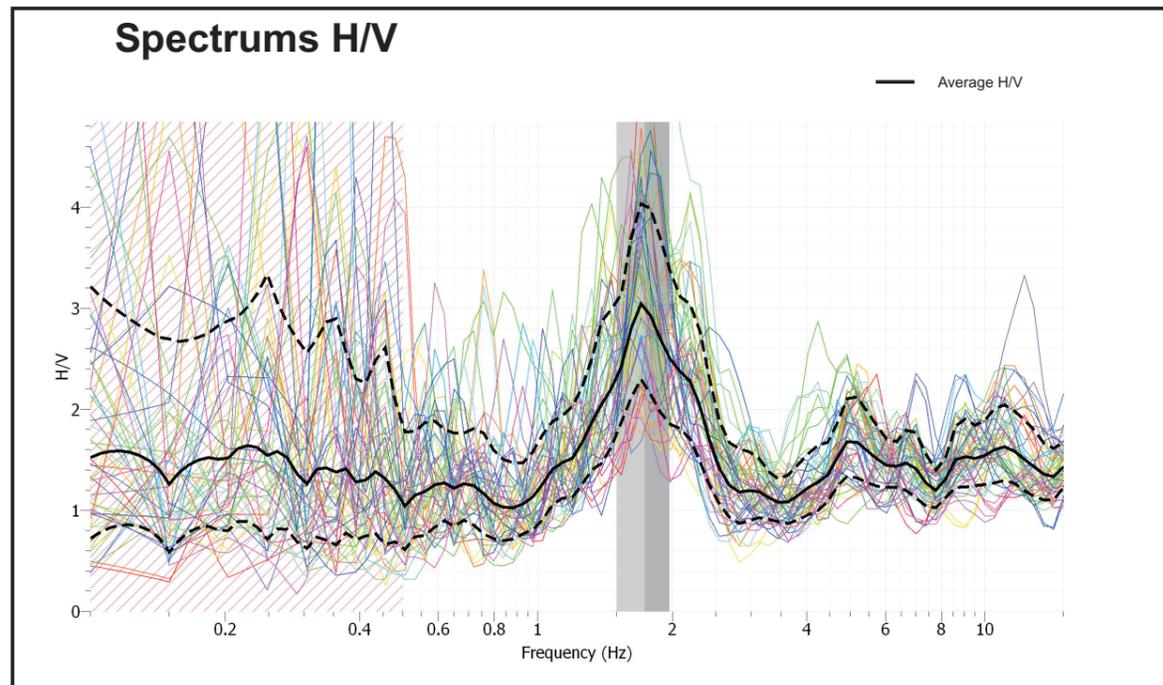


So.Ge.T. Via per S. Alessio, 1733/C
 Società di Geofisica 55100 S. Alessio (Lucca)
 P.I./C.F. 02115540466
 Tel. e Fax. +39 583 057223
www.sogetsnc.eu - e.mail: info@sogetsnc.eu

Oggetto: Planimetria HVSR_3 e HVSR_4

Committente: Getas Petrogeo srl Data: 22 novembre 2012

Comune: Empoli	Indirizzo: Via della Concordia e Via XXV Aprile Empoli	TAV.
Formato: A3		N° 4



Report

Coordinate:

43° 41.355'N

10° 54.043'E

Recording time 1200 sec

Sampling frequency 128 Hz

Length window 20 sec

Overlap 50%

Smoothing type Konno & Ohmachi

Smoothing constant 40

Peak H/V 1.737 +/- 0.234

A0 2.997 [2.237; 4.017]

So.Ge.T.
Societa' di Geofisica

Via per S. Alessio, 1733/C
55100 S. Alessio (Lucca)
P.I./C.F. 02115540466
Tel. e Fax. +39 583 057223
www.sogetsnc.eu - e.mail: info@sogetsnc.eu

Oggetto: HVSr_3

Committente:
Getas Petrogeo srl

Data: 22 novembre 2012

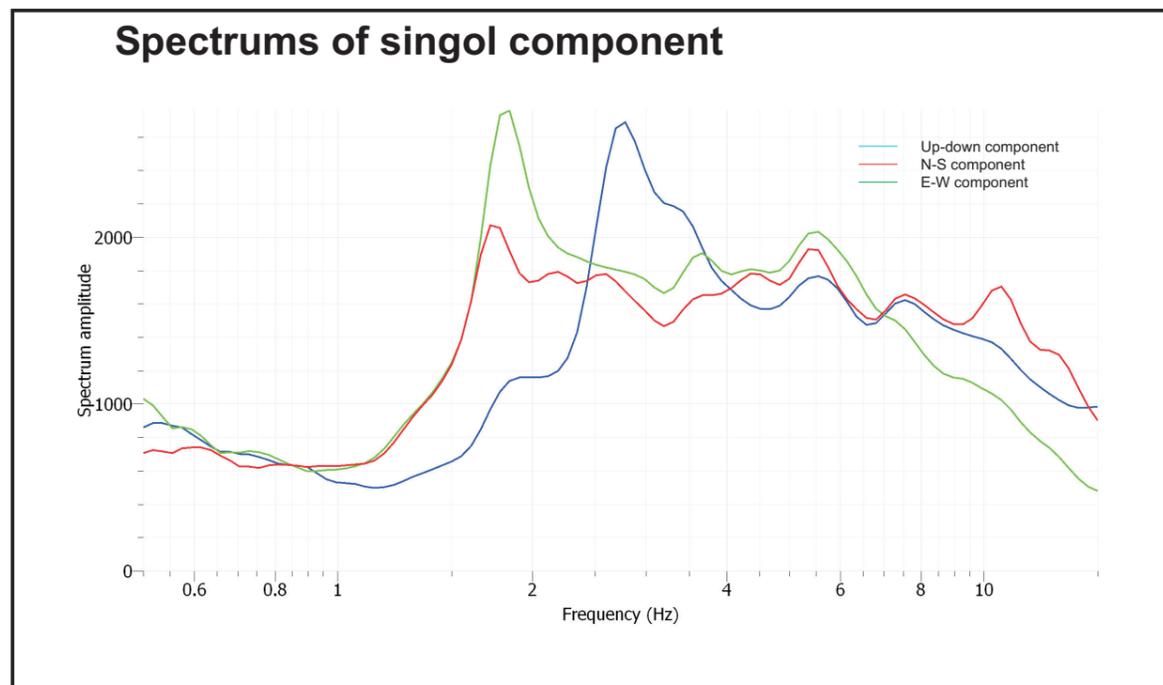
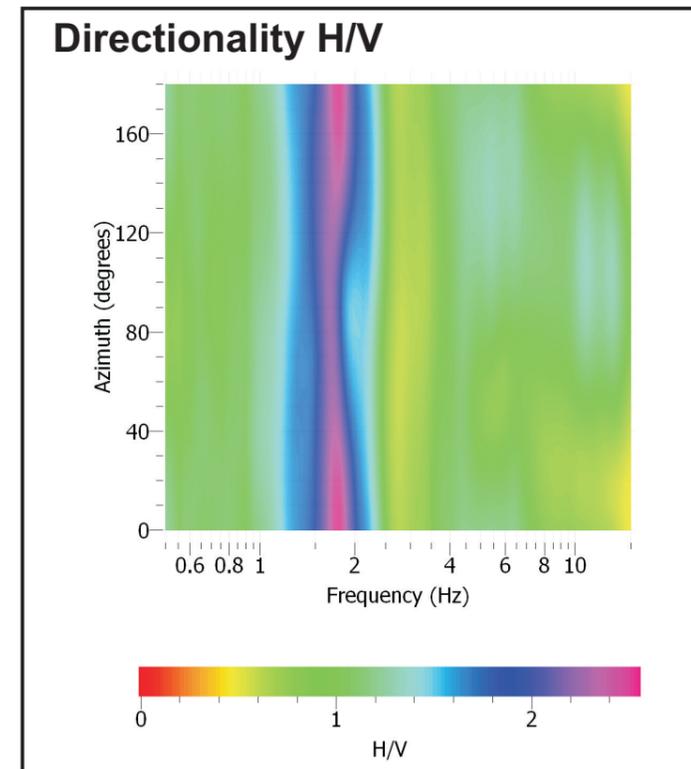
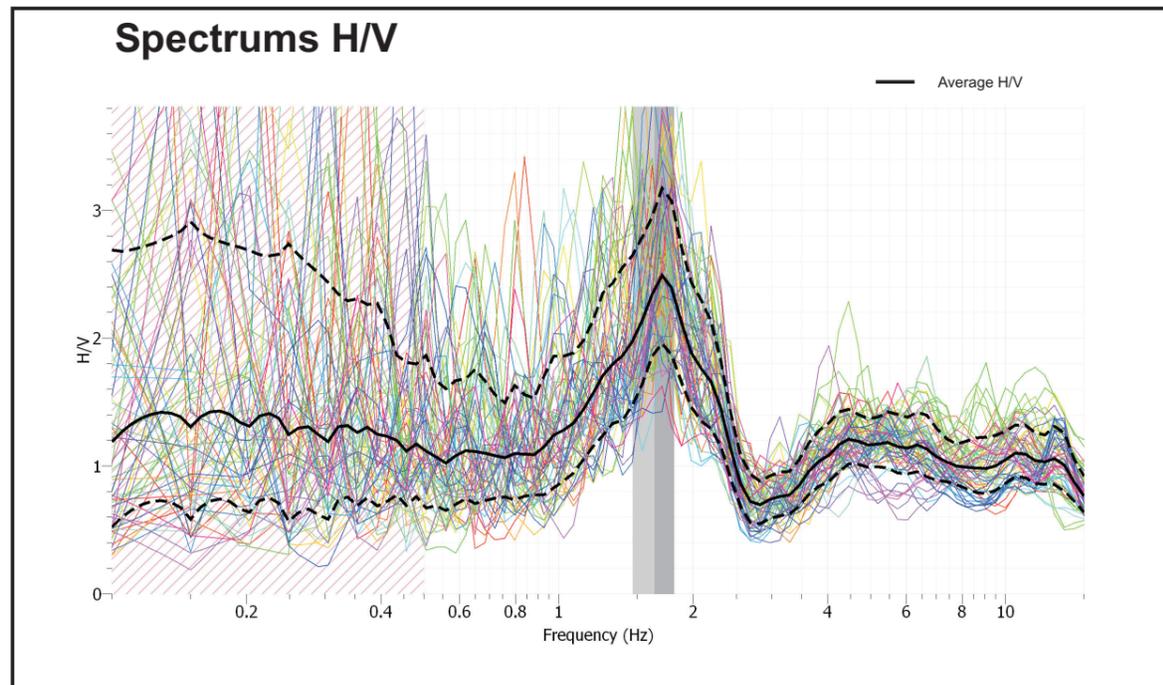
Comune:
Empoli

Formato: A3

Indirizzo:
Via XXV Aprile
Empoli

TAV.

N° 5



Report

Coordinate:

43° 41.744'N

10° 54.258'E

Recording time 1200 sec

Sampling frequency 128 Hz

Length window 20 sec

Overlap 50%

Smoothing type Konno & Ohmachi

Smoothing constant 40

Peak H/V 1.638 +/- 0.175

A0 2.997 [1.885; 3.005]

So.Ge.T.
Societa' di Geofisica

Via per S. Alessio, 1733/C
55100 S. Alessio (Lucca)
P.I./C.F. 02115540466
Tel. e Fax. +39 583 057223
www.sogetsnc.eu - e.mail: info@sogetsnc.eu

Oggetto: HVSR_4

Committente:
Getas Petrogeo srl

Data: 22 novembre 2012

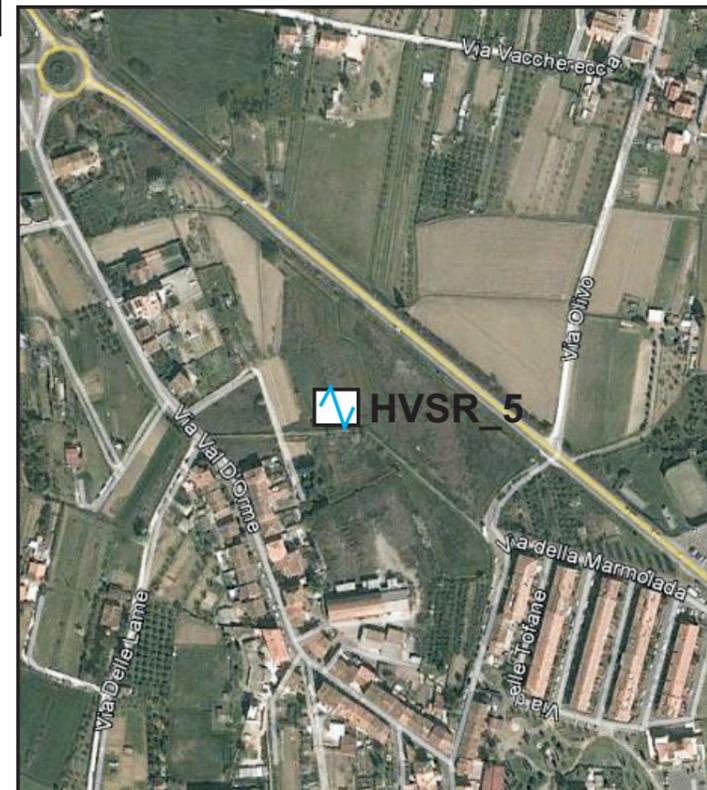
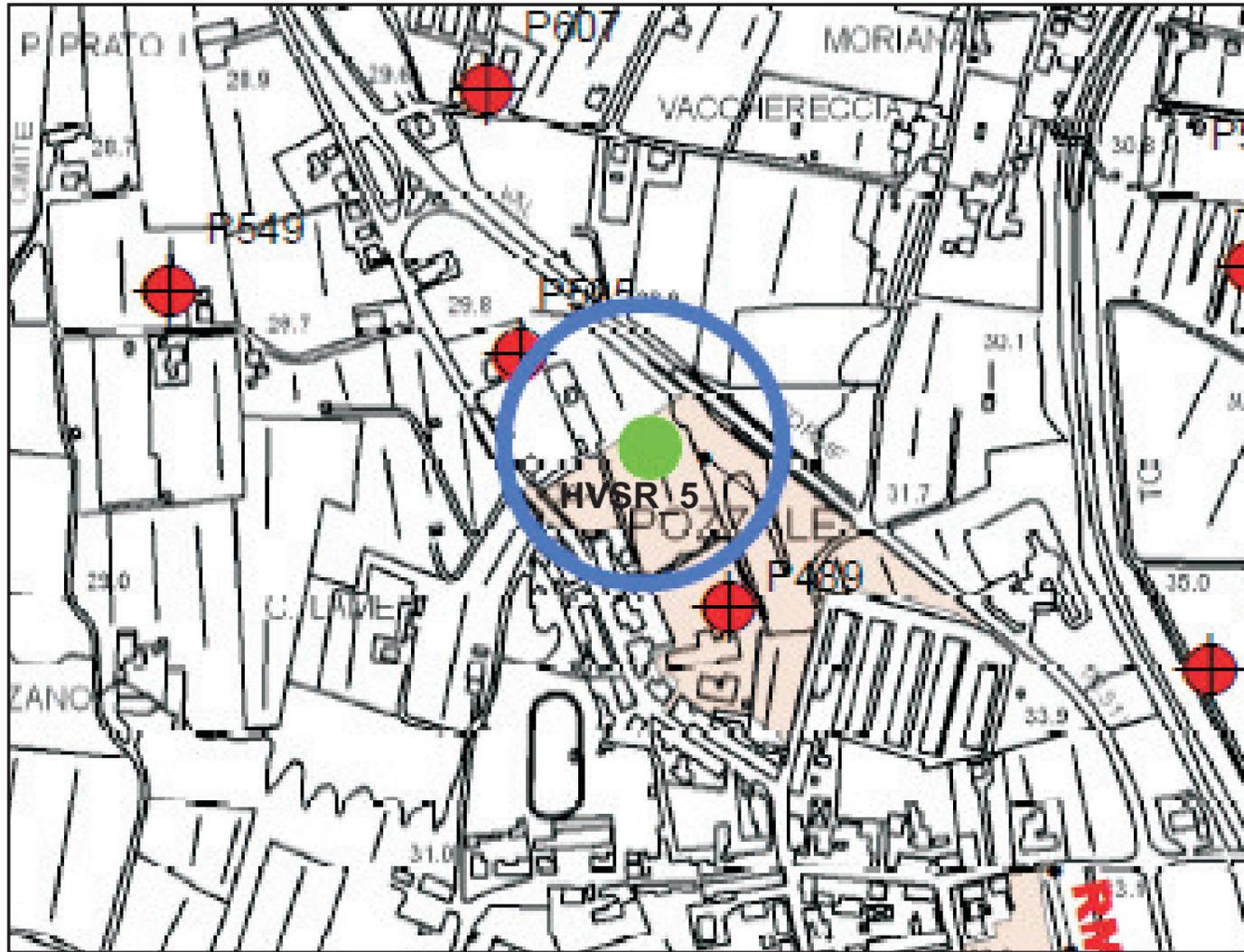
Comune:
Empoli

Formato: A3

Indirizzo:
Via della Concordia
Empoli

TAV.

N° 6



So.Ge.T. Via per S. Alessio, 1733/C
 Società' di Geofisica 55100 S. Alessio (Lucca)
 P.I./C.F. 02115540466
 Tel. e Fax. +39 583 057223
www.sogetsnc.eu - e.mail: info@sogetsnc.eu

Oggetto: Planimetria HVSR_5

Committente:
 Getas Petrogeo srl

Data: 22 novembre 2012

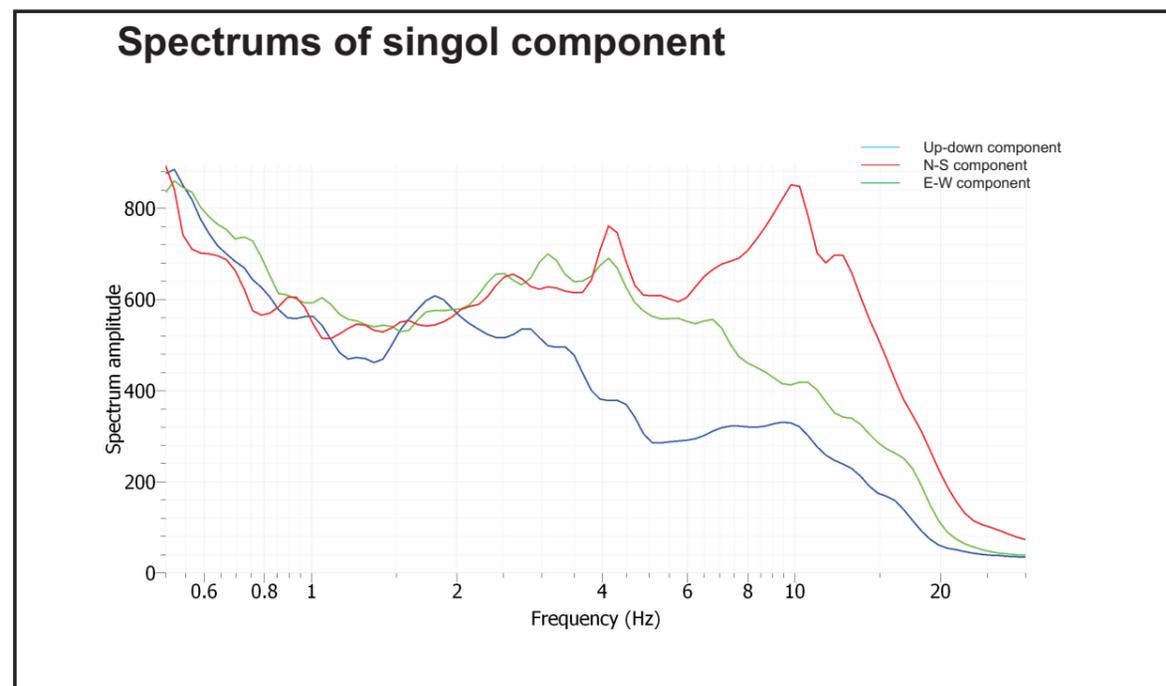
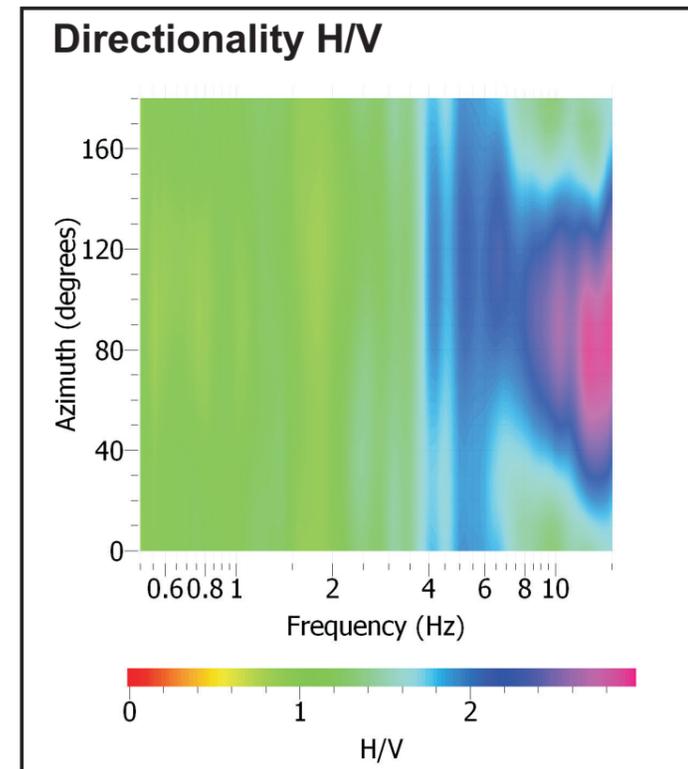
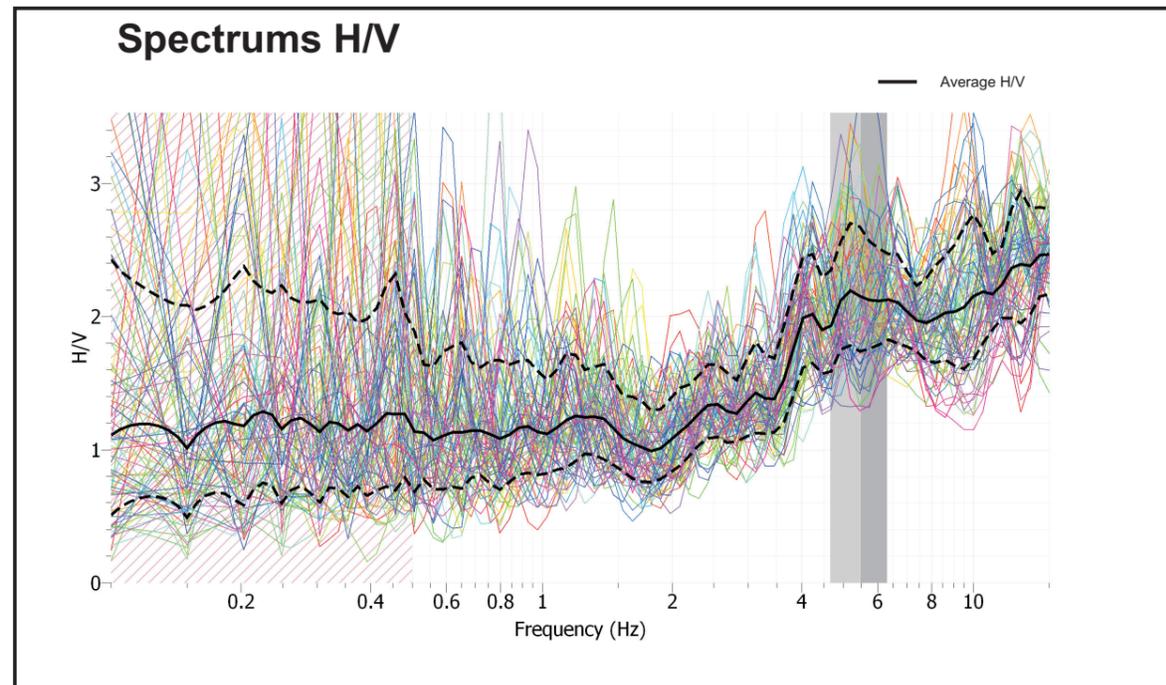
Comune:
 Empoli

Indirizzo:
 Via Val D'Orme
 Empoli

TAV.

Formato: A3

N° **7**



Report

Coordinate:
 43° 42.129'N
 10° 57.164'E
 Recording time 1200 sec
 Sampling frequency 128 Hz
 Length window 20 sec
 Overlap 50%
 Smoothing type Konno & Ohmachi
 Smoothing constant 40

Peak H/V 5.480 +/- 0.826

A0 2.151 [1.740; 2.660]

So.Ge.T.
 Societa' di Geofisica

Via per S. Alessio, 1733/C
 55100 S. Alessio (Lucca)
 P.I./C.F. 02115540466
 Tel. e Fax. +39 583 057223
www.sogetsnc.eu - e.mail: info@sogetsnc.eu

Oggetto: HVSr_5

Committente:
 Getas Petrogeo srl

Data: 22 novembre 2012

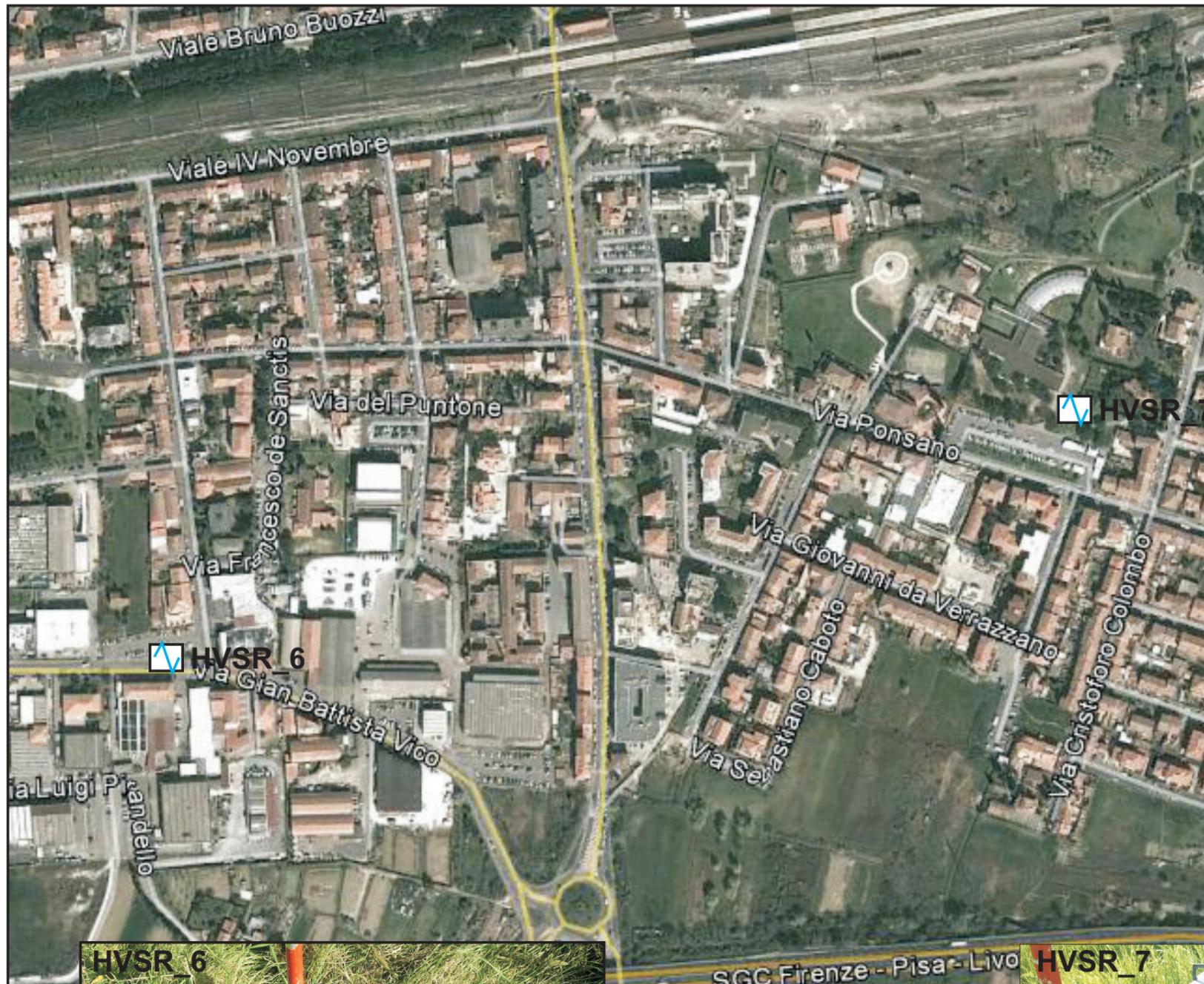
Comune:
 Empoli

Formato: A3

Indirizzo:
 Via Val D'Orme
 Empoli

TAV.

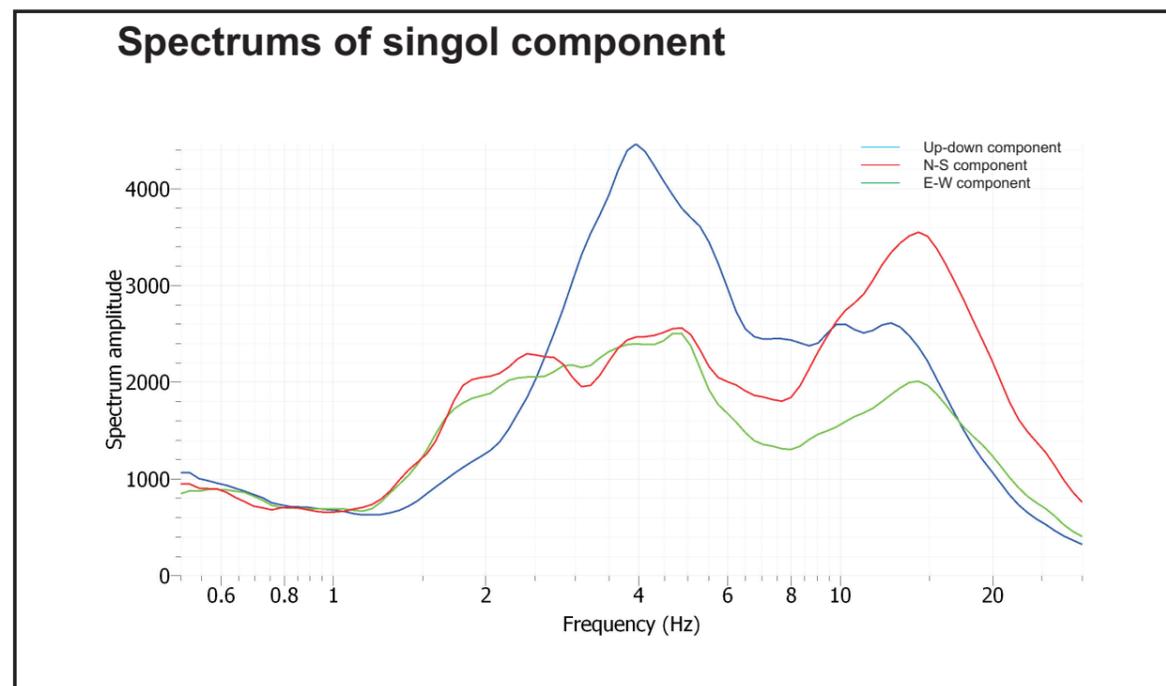
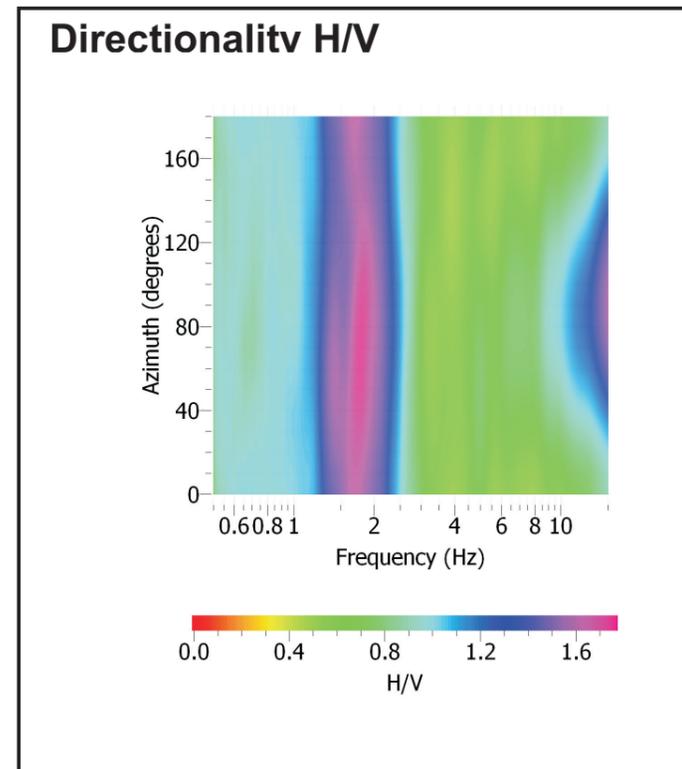
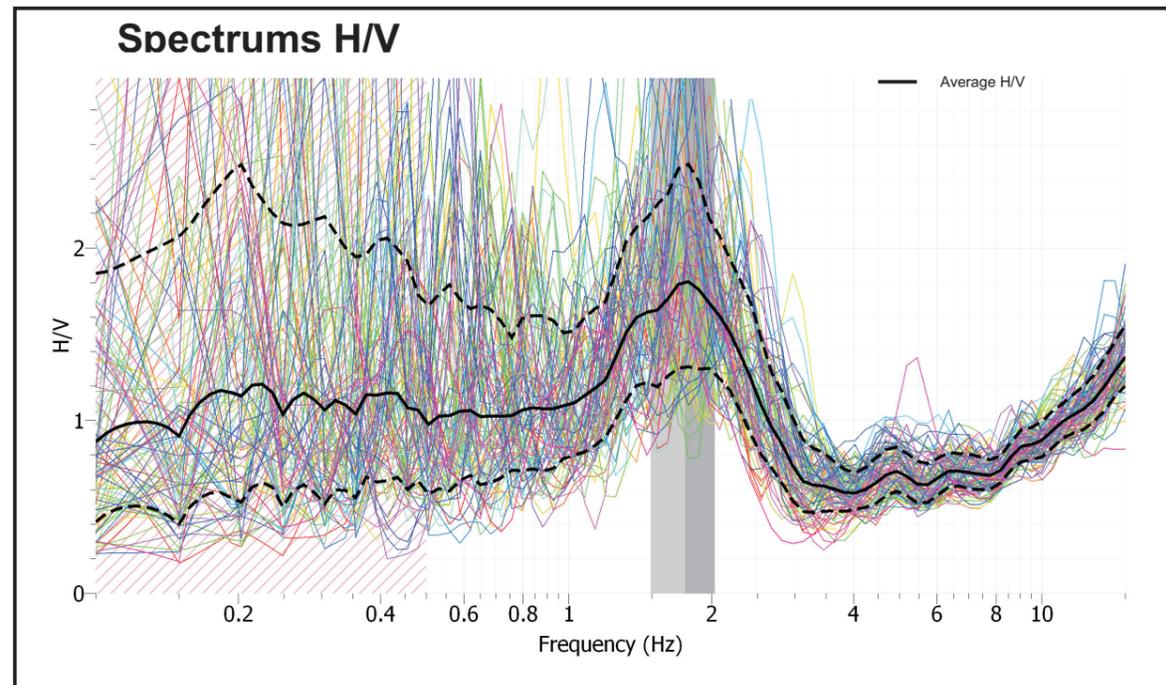
N° 8



So.Ge.T. Via per S. Alessio, 1733/C
 Società di Geofisica 55100 S. Alessio (Lucca)
 P.I./C.F. 02115540466
 Tel. e Fax. +39 583 057223
www.sogetsnc.eu - e.mail: info@sogetsnc.eu

Oggetto: Planimetria HVSR_6 e HVSR_7

Comune: Empoli		Indirizzo: Via Gian Battista Vico e Via Ponsano Empoli	TAV. N° 9
Formato: A3			
Committente: Getas Petrogeo srl		Data: 22 novembre 2012	



Report

Coordinate:
 43° 42.692'N
 10° 56.644'E
 Recording time 1200 sec
 Sampling frequency 128 Hz
 Length window 20 sec
 Overlap 50%
 Smoothing type Konno & Ohmachi
 Smoothing constant 40

Peak H/V 1.761 +/- 0.272
 A0 1.800 [1.308; 2.476]

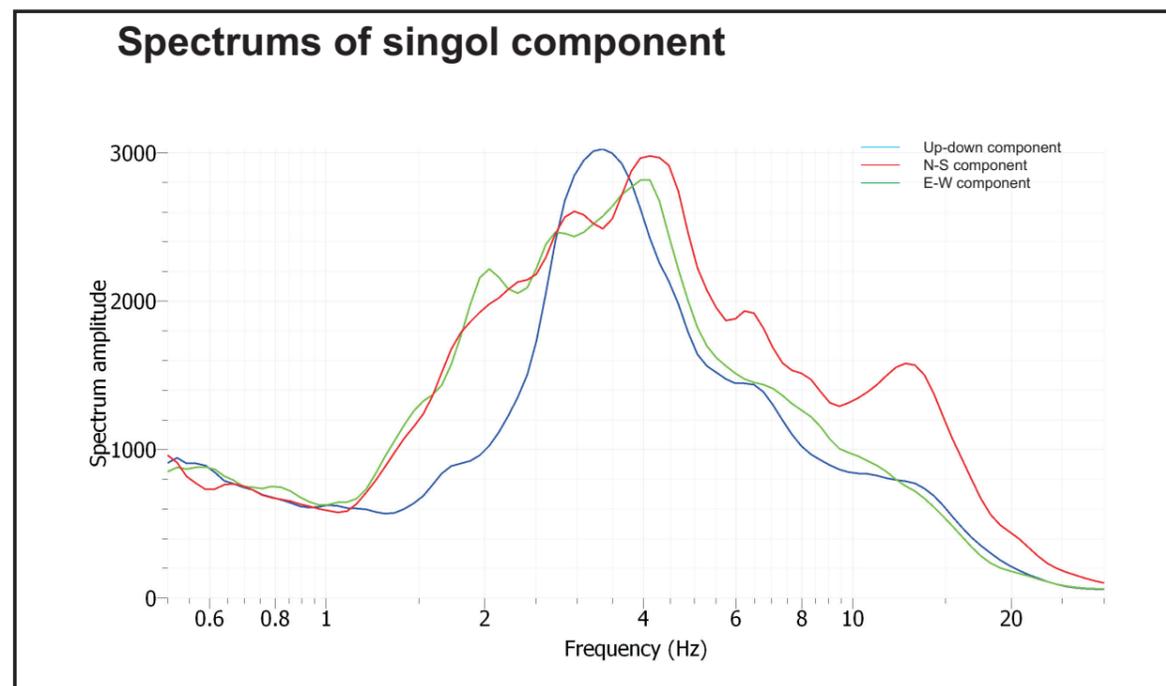
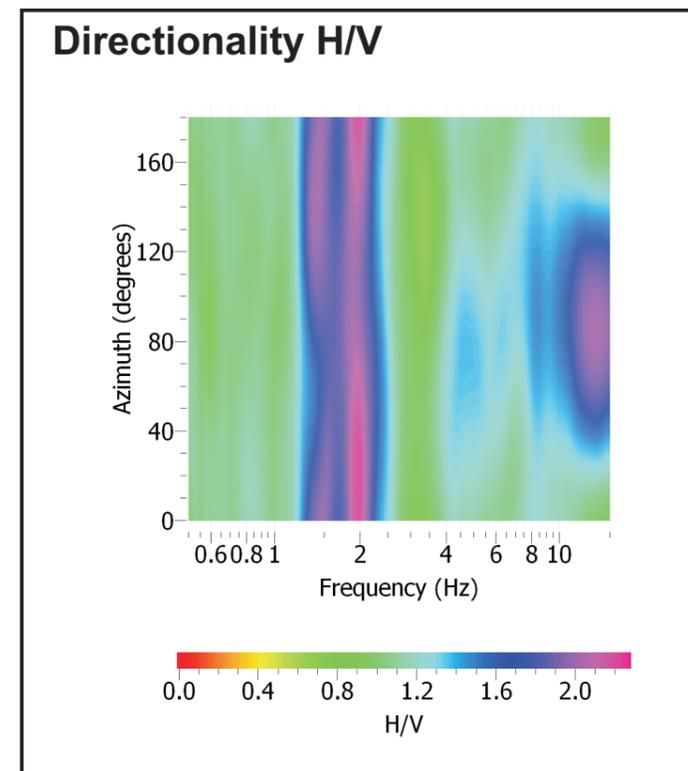
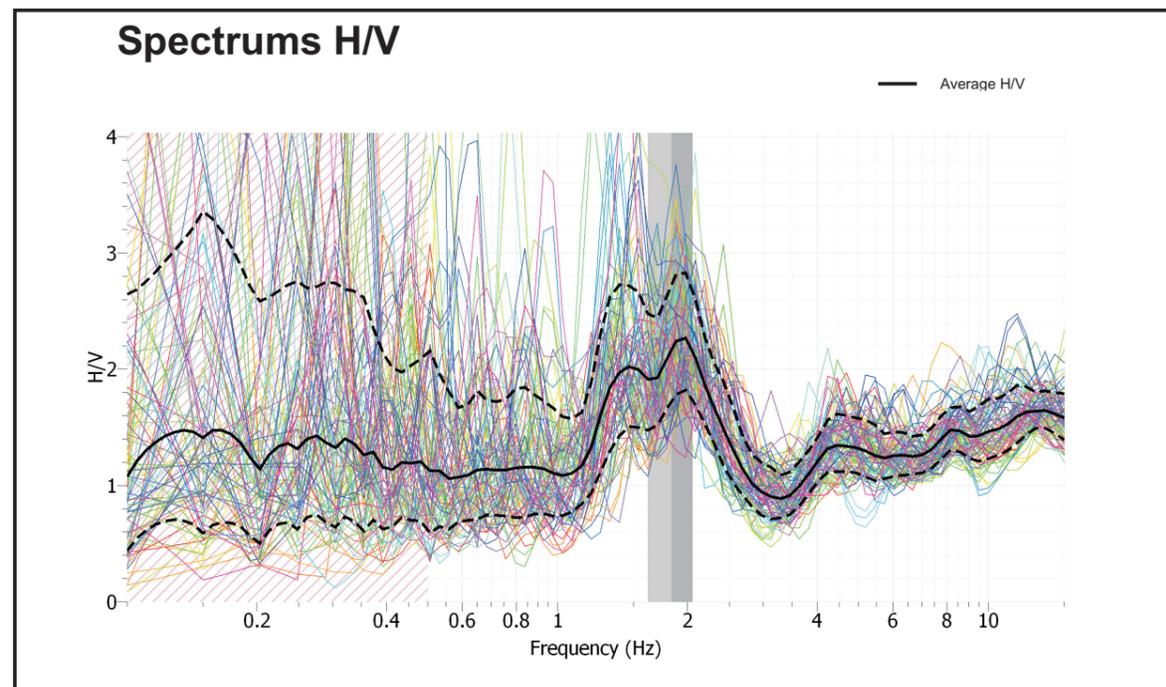
So.Ge.T.
 Societa' di Geofisica
 Via per S. Alessio, 1733/C
 55100 S. Alessio (Lucca)
 P.I./C.F. 02115540466
 Tel. e Fax. +39 583 057223
www.sogetsnc.eu - e.mail: info@sogetsnc.eu

Oggetto: HVSR_6

Comune: Empoli		Indirizzo: Via Gian Battista Vico Empoli	TAV.
Formato: A3			N° 10

Committente:
 Getas Petrogeo srl

Data: 22 novembre 2012



Report

Coordinate:
 43° 42.789'N
 10° 57.149'E
 Recording time 1200 sec
 Sampling frequency 128 Hz
 Length window 20 sec
 Overlap 50%
 Smoothing type Konno & Ohmachi
 Smoothing constant 40

Peak H/V 1.839 +/- 0.220

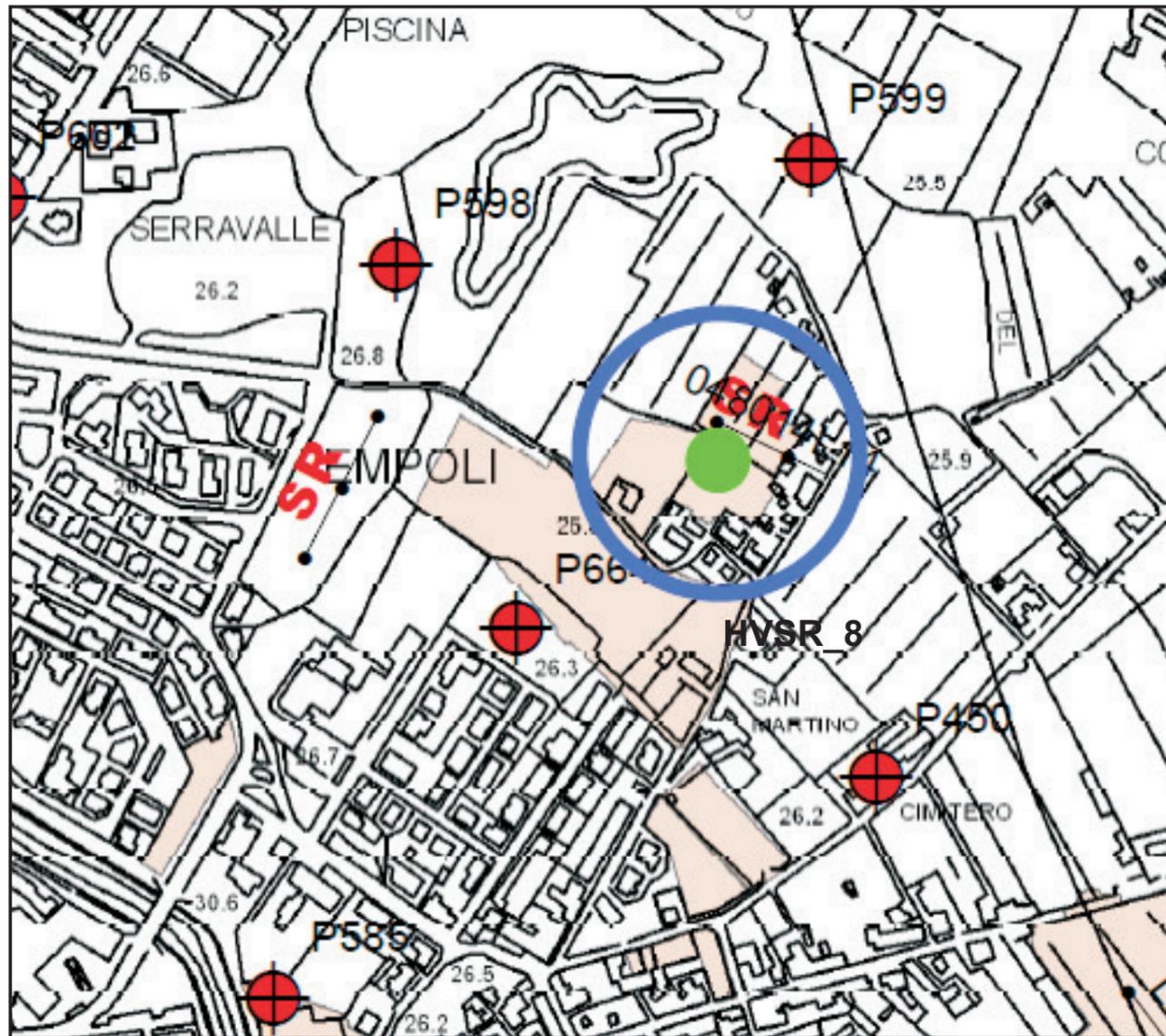
A0 2.167 [1.722; 2.725]

So.Ge.T.
 Societa' di Geofisica

Via per S. Alessio, 1733/C
 55100 S. Alessio (Lucca)
 P.I./C.F. 02115540466
 Tel. e Fax. +39 583 057223
www.sogetsnc.eu - e.mail: info@sogetsnc.eu

Oggetto: HVSr_7

Comune: Empoli		Data: 22 novembre 2012	
Formato: A3	Indirizzo: Via Ponsano Empoli		TAV.
			N° 11

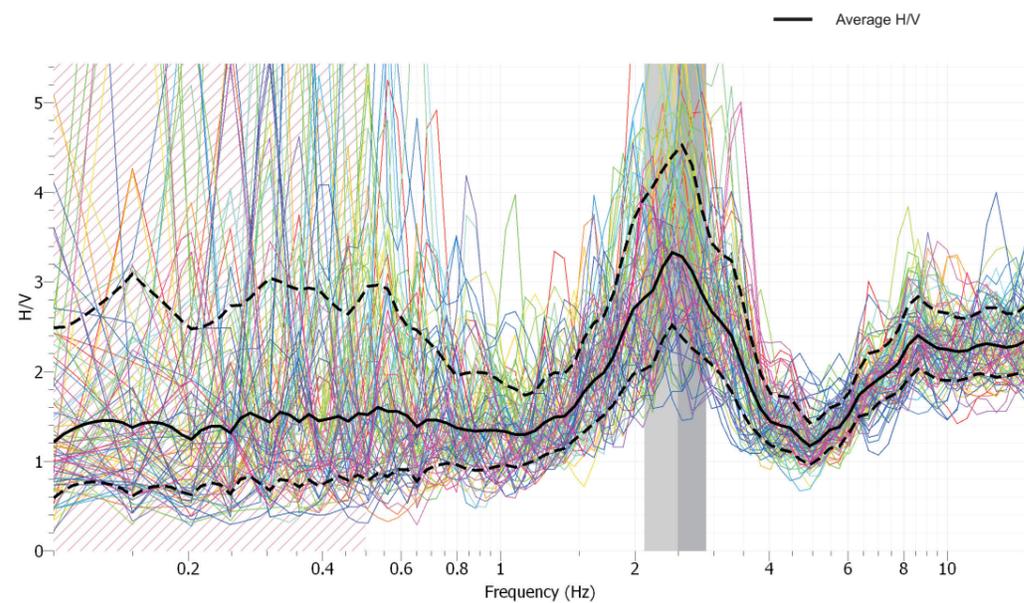


So.Ge.T. Via per S. Alessio, 1733/C
 Societa' di Geofisica 55100 S. Alessio (Lucca)
 P.I./C.F. 02115540466
 Tel. e Fax. +39 583 057223
www.sogetsnc.eu - e.mail: info@sogetsnc.eu

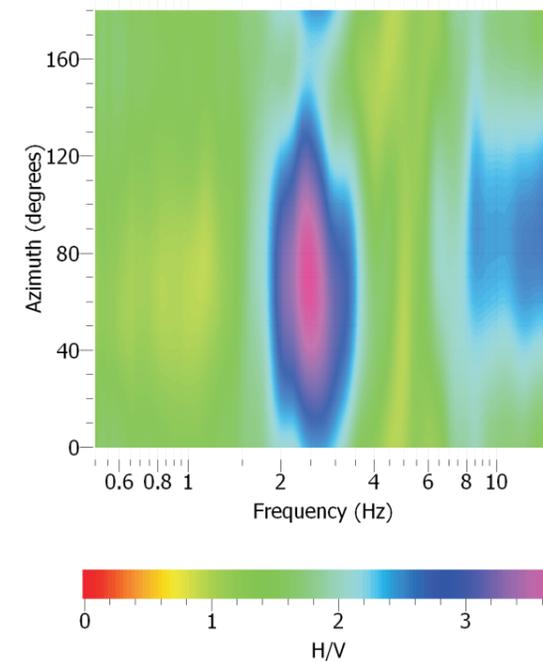
Oggetto: Planimetria HVSr_8

Comune: Empoli		Indirizzo: Via di San Martino Empoli	TAV.
Formato: A3			N° 12
Committente: Getas Petrogeo srl		Data: 22 novembre 2012	

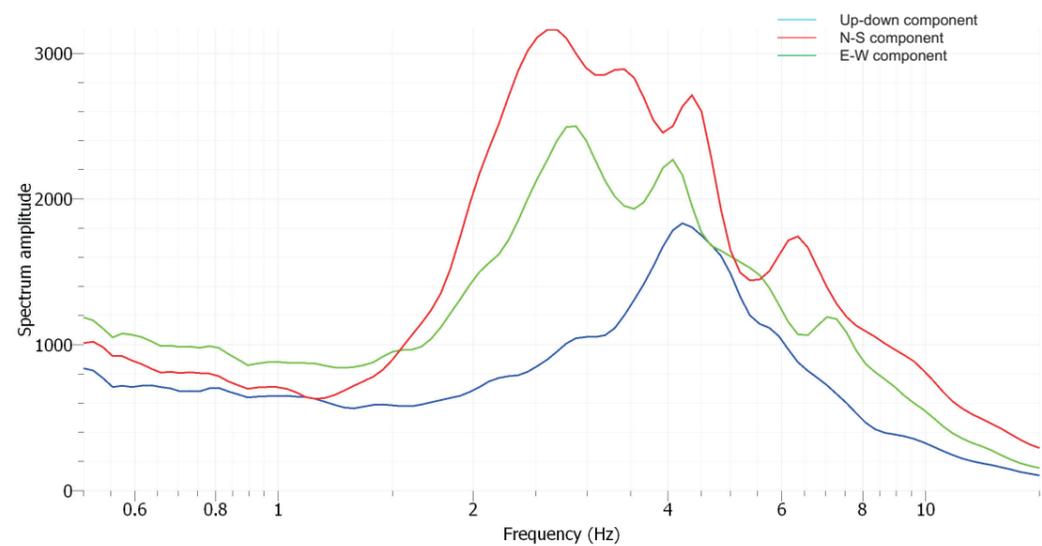
Spectrums H/V



Directionality H/V



Spectrums of singol component



Report

Coordinate:
 43° 43.518'N
 10° 57.860'E
 Recording time 1200 sec
 Sampling frequency 128 Hz
 Length window 20 sec
 Overlap 50%
 Smoothing type Konno & Ohmachi
 Smoothing constant 40

Peak H/V 2.50 +/- 0.399

A0 3.302 [2.436; 4.478]

So.Ge.T. Via per S. Alessio, 1733/C
 Società' di Geofisica 55100 S. Alessio (Lucca)
 P.I./C.F. 02115540466
 Tel. e Fax. +39 583 057223
www.sogetsnc.eu - e.mail: info@sogetsnc.eu

Oggetto: HVSr_8

Committente:
 Getas Petrogeo srl

Data: 22 novembre 2012

Comune:
 Empoli

Formato: A3

Indirizzo:
 Via di San Martino
 Empoli

TAV.

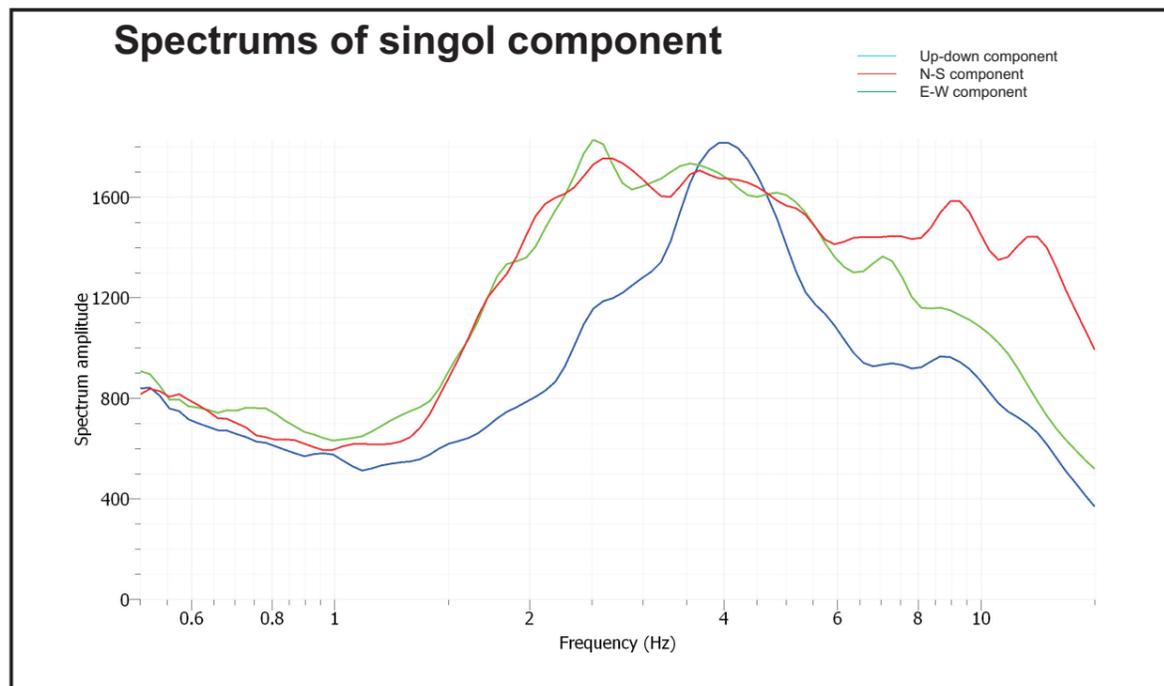
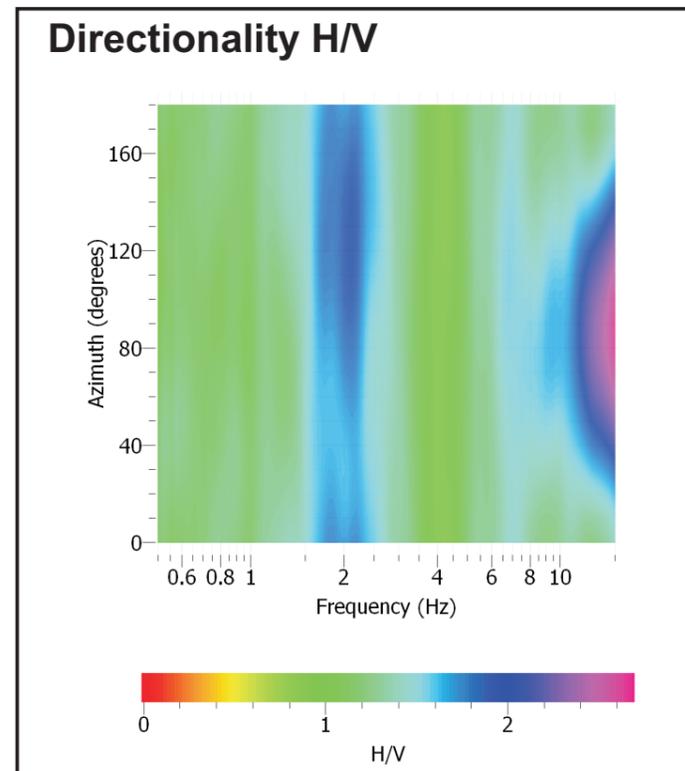
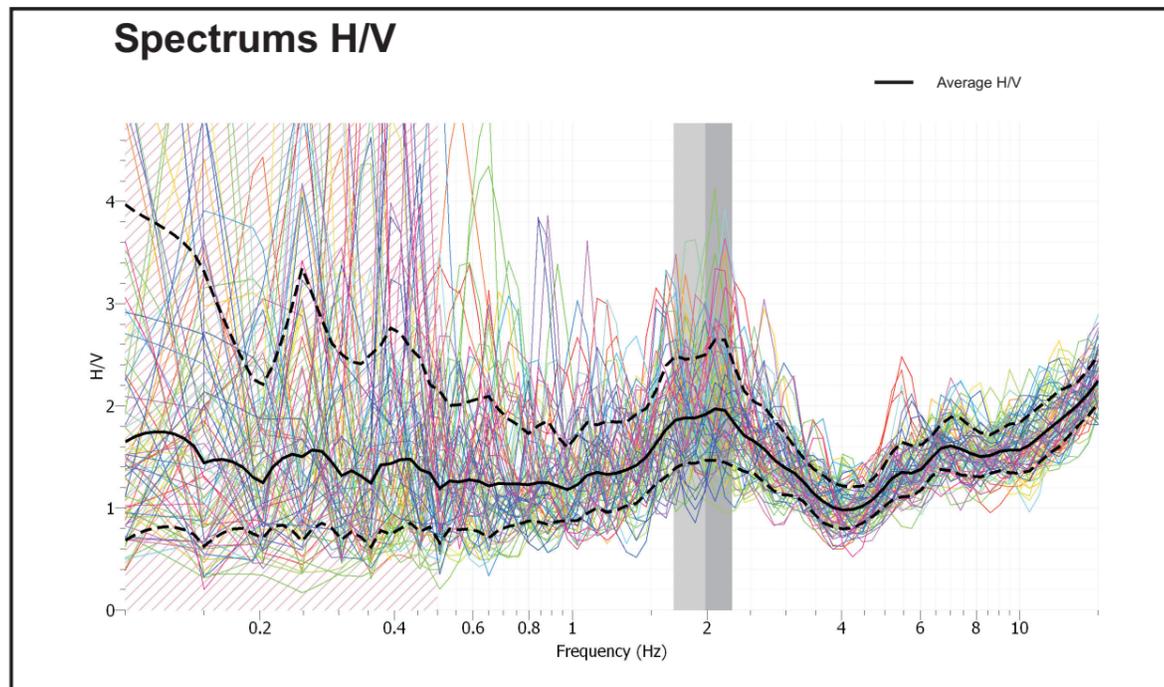
N° 13



So.Ge.T.
 Società di Geofisica
 Via per S. Alessio, 1733/C
 55100 S. Alessio (Lucca)
 P.I./C.F. 02115540466
 Tel. e Fax. +39 583 057223
www.sogetsnc.eu - e.mail: info@sogetsnc.eu

Oggetto: Planimetria HVS_9 e HVS_10

Comune: Empoli		Indirizzo: Via Paolo Veronese e Via Luigi Lazzeri Empoli	TAV.
Formato: A3			N° 14
Committente: Getas Petrogeo srl		Data: 22 novembre 2012	



Report

Coordinate:
 43° 43.104'N
 10° 55.848'E
 Recording time 1200 sec
 Sampling frequency 128 Hz
 Length window 20 sec
 Overlap 50%
 Smoothing type Konno & Ohmachi
 Smoothing constant 40

Peak H/V 1.983 +/- 0.297

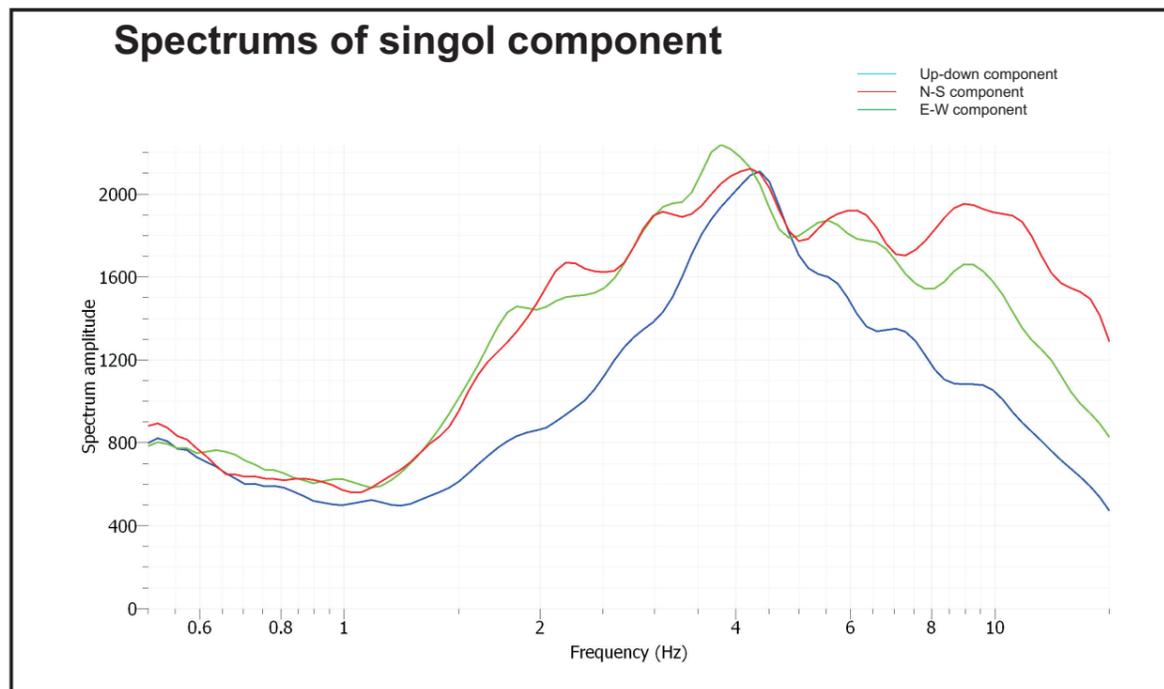
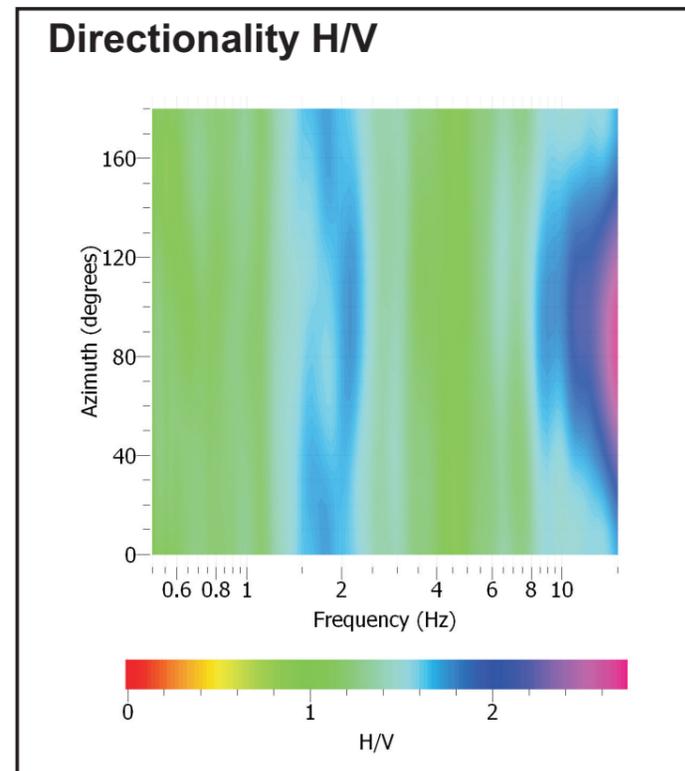
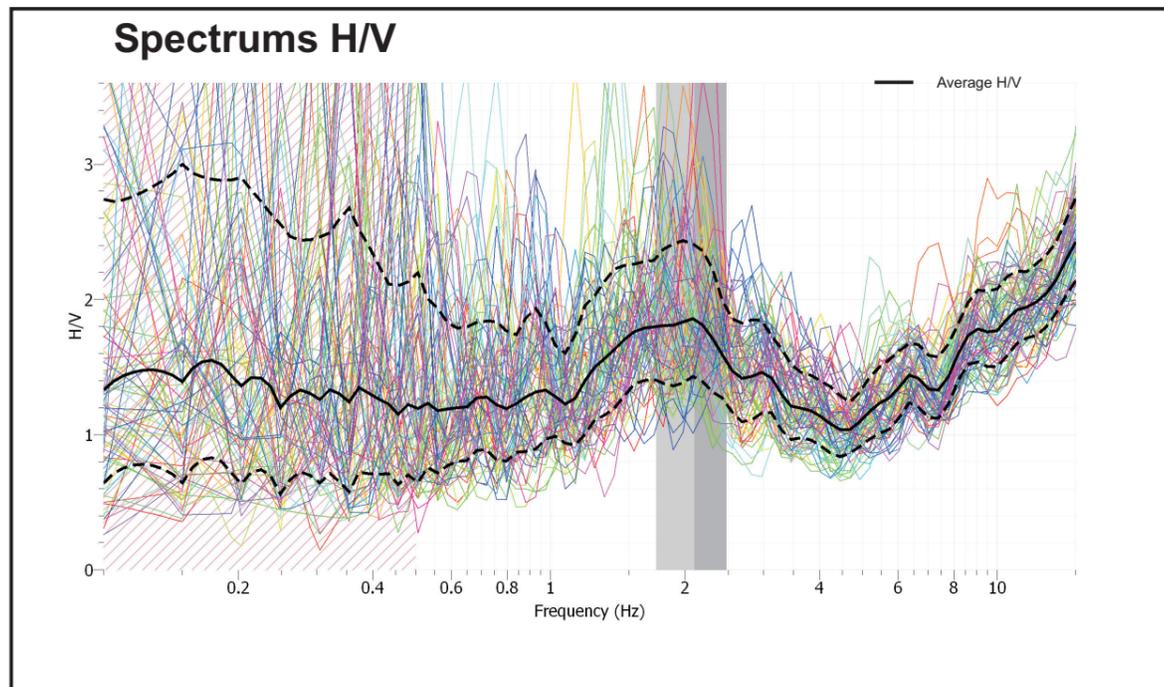
A0 1.915 [1.466; 2.502]

So.Ge.T. Via per S. Alessio, 1733/C
 Societa' di Geofisica 55100 S. Alessio (Lucca)
 P.I./C.F. 02115540466
 Tel. e Fax. +39 583 057223
www.sogetsnc.eu - e.mail: info@sogetsnc.eu

Oggetto: HVSr_9

Committente: Getas Petrogeo srl Data: 22 novembre 2012

Comune: Empoli	Indirizzo: Via Luigi Lazzeri Empoli	TAV.
Formato: A3		N° 15



Report

Coordinate:
 43° 43.061'N
 10° 56.170'E
 Recording time 1200 sec
 Sampling frequency 128 Hz
 Length window 20 sec
 Overlap 50%
 Smoothing type Konno & Ohmachi
 Smoothing constant 40

Peak H/V 2.10 +/- 0.378

A0 1.849 [1.424; 2.400]

So.Ge.T. Via per S. Alessio, 1733/C
 Societa' di Geofisica 55100 S. Alessio (Lucca)
 P.I./C.F. 02115540466
 Tel. e Fax. +39 583 057223
www.sogetsnc.eu - e.mail: info@sogetsnc.eu

Oggetto: HVSR_10

Comune: Empoli		Indirizzo: Via Paolo Veronesi Empoli	TAV.
Formato: A3			N° 16
Committente: Getas Petrogeo srl		Data: 22 novembre 2012	