



dott. geol. Florindo Granucci

- Geologia
- Idrogeologia
- Geologia ambientale

Corso Nazionale, 53

55025 Calavorno - Lucca

tel. 0583/739407

COMUNE DI COREGLIA ANTELMINELLI
Provincia di Lucca

**RELAZIONE GEOLOGICA DI SUPPORTO ALLA VARIANTE AL R.U.
PER DELOCALIZZAZIONE SCUOLA MEDIA GHIVIZZANO**

Committente: Comune di Coreglia Antelminelli

Dicembre 2012

Dott. Geol. Florindo Granucci

INDICE

1	PREMESSA	3
2	SINTESI DELLE CONOSCENZE	3
2.1	<u>QUADRO NORMATIVO</u>	3
2.2	<u>QUADRO CONOSCITIVO</u>	6
2.2.1	<u>Geologia e geomorfologia</u>	6
2.2.2	<u>Idrogeologia</u>	7
2.2.3	<u>Litotecnica</u>	7
2.2.4	<u>Sismica</u>	7
2.2.5	<u>Stratigrafia</u>	9
2.2.6	<u>Aspetti idraulici</u>	10
3	ANALISI ED APPROFONDIMENTI	11
3.1	<u>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</u>	11
3.2	<u>LINEAMENTI LOCALI</u>	11
3.2.1	<u>Geologia</u>	11
3.2.2	<u>Geomorfologia</u>	12
3.2.3	<u>Idrogeologia</u>	13
3.3	<u>VALUTAZIONE EFFETTI LOCALI DI SITO</u>	14
3.3.1	<u>Misura passiva del rumore ambientale</u>	15
3.3.2	<u>Prospezione sismica MASW</u>	20
3.3.3	<u>Relazione sintetica illustrativa studi microzonazione livello 1</u>	21
4	VALUTAZIONI DI PERICOLOSITÀ	26
4.1	<u>PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA</u>	26
4.2	<u>PERICOLOSITÀ IDRAULICA</u>	26
4.3	<u>PERICOLOSITÀ SISMICA</u>	27
5	FATTIBILITÀ	27
5.1	<u>FATTIBILITÀ GEOLOGICA E GEOTECNICA</u>	28
5.2	<u>FATTIBILITÀ SISMICA</u>	28
5.3	<u>FATTIBILITÀ IDRAULICA</u>	29
6	ALLEGATI	31
6.1	<u>COROGRAFIA SCALA 1 : 25.000</u>	32
6.2	<u>COROGRAFIA SCALA 1 : 10.000</u>	33
6.3	<u>ESTRATTI PS E RU</u>	34
6.4	<u>INDAGINI SISMICHE MASW E HVSR</u>	35

Tavole fuori testo

Carta geologico tecnica scala 1 : 2.000

Carta delle indagini scala 1 : 2.000

Carta delle frequenze fondamentali dei depositi scala 1 : 2.000

Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) scala 1 : 2.000

Carta della pericolosità geomorfologica scala 1 : 2.000

Carta della pericolosità sismica scala 1 : 2.000

Carta della pericolosità idraulica scala 1 : 2.000

I diritti del presente lavoro sono riservati, qualsiasi riproduzione, anche parziale, se non espressamente autorizzata, sarà perseguita a norma di legge

1 PREMESSA

La presente relazione geologica illustra i risultati delle indagini, eseguite per conto del Comune di Coreglia Antelminelli di supporto alla Variante parziale al R.U. per delocalizzazione scuola media Ghivizzano.

L'area oggetto dell'indagine ricade nel *Foglio 250, Sezione II Bagni di Lucca*, in scala 1:25.000 della *Carta topografica d'Italia, Serie 25*, mentre nella cartografia in scala 1:10.000 è identificata nella *Sezione n° 260150 della Carta Tecnica Regionale*.

La zona di indagine, che si trova lungo il margine Est dell'abitato di Ghivizzano, si colloca nella valle del Fiume Serchio, ad una quota di circa 128.5 m slm, come visibile nella cartografia allegata.

Le indagini sono state finalizzate ad uno studio della situazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica della zona in cui ricade il sito di progetto e ad una valutazione della compatibilità delle opere previste con l'assetto dell'area, in ottemperanza a quanto previsto nella normativa vigente:

DPGR 53/R del 25 Ottobre 2011

Del. R.T. n° 94/85,

L.R. 01/2005

PAI Autorità di Bacino del Fiume Serchio

Piano Strutturale e RU del Comune di Coreglia Antelminelli

PTC Provincia di Lucca

D.M. 14.01.2008 Testo Unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni

Circolare CSLP n° 617 del 02.02.2009 Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008.

DPGR 9.07.2009 n° 36/R

Del. G.R.T. 08/10/2012 n°878

OPCM 3274/2003 e OPCM 3519/2006.

In dettaglio, dal momento che il R.U. vigente è stato redatto con indagini eseguite ai sensi del DPGR 26/R, è necessario l'adeguamento a quanto previsto dal DPGR 53/R, limitatamente all'ambito interessato.

Al punto 2 dell'Allegato A del DPGR 53/R *“Direttive per la formazione del piano strutturale e relative varianti”* si riporta che il piano strutturale *evidenzia e tiene conto dei fattori di pericolosità connessa alle caratteristiche fisiche del territorio, al fine di: a) valutare le condizioni ed i limiti di trasformabilità, b) garantire e mantenere condizioni di equilibrio idrogeologico, c) recuperare situazioni di criticità esistenti.*

Per quanto riguarda il contenuto delle indagini, l'articolazione indicata dal DPGR 53/R è la seguente:

A) Sintesi delle conoscenze

B) Analisi ed approfondimenti

C) Valutazioni di pericolosità

2 SINTESI DELLE CONOSCENZE

2.1 Quadro normativo

Nel R.U: approvato con Del. Cons. Com. n° 45 del 29/10/2009 e relativo adeguamento al DPGR n° 26/R del 27/04/2007 la zona di interesse è classificata nella *Carta delle Aree a pericolosità geomorfologica* nella classe G.1- pericolosità geomorfologica bassa che individua *aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di movimenti di massa.*

Per la *Carta delle Aree a pericolosità idraulica* la zona ricade nella classe I.1 – pericolosità idraulica bassa attribuita ad *aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni: a) non i sono notizie storiche di inondazioni; b) sono in situazioni favorevoli di alto*

morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a 2.0 m rispetto al piede sterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

Per la pericolosità sismica la zona rientra nella classe S.3. Elevata: Aree in cui sono presenti fenomeni di instabilità quiescenti (2A) e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone potenzialmente franose o esposte a rischio frana (2B) per le quali non si escludono fenomeni di instabilità indotta dalla sollecitazione sismica; Zone con possibile amplificazione sismica connesse a zone di bordo delle valli e/o aree di raccordo con il versante (8); zone con possibile amplificazione per effetti stratigrafici (9-10-11); zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse (12); presenza di faglie e/o contatti tettonici (13).

In dettaglio l'area è indicata in gran parte nella situazione di pericolosità sismica 9: depositi alluvionali granulari e/o sciolti, mentre una piccola porzione a Nord rientra nella situazione 11: conoidi alluvionali e/o conoidi detritici.

Entrambe le classi prevedono possibili effetti amplificazione diffusa del moto del suolo dovuta alla differenza di risposta sismica tra substrato e copertura dovuta a fenomeni di amplificazione stratigrafica.

La Fattibilità di un intervento è ricavata incrociando la pericolosità del sito con l'intervento previsto; nello specifico l'intervento previsto non è espressamente individuato, pertanto, come riportato nella nota "la fattibilità degli interventi non elencati nella matrice sopra riportata dovrà avvenire per analogia tipologica con quelli elencati".

Trattandosi di nuova edificazione di un edificio di interesse pubblico la tipologia di intervento analoga è stata individuata nella n° 9: Interventi di nuova edificazione civile, artigianale, industriale e di sostituzione edilizia. Autorimesse. Demolizione e ricostruzione. Volumi interrati

Secondo la matrice 8.2.1. La Fattibilità in relazione agli aspetti geomorfologici/geotecnici che incrocia la tipologia degli interventi con il grado di pericolosità, l'intervento previsto, a fronte di una pericolosità geomorfologica di classe G.1 indica una fattibilità geomorfologica geotecnica di classe F2- Fattibilità con normali vincoli: si riferisce alla previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagine e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativi alla attività edilizia.

Per questa classe sono prescritte: indagini di approfondimento, condotte a norma del D.M. 11/03/88 e del D.M. 16/01/96, ovvero del D.M. 14 Settembre 2005 – Norme tecniche per le costruzioni, richieste sia nel caso di intervento diretto, sia di Piano Complesso di Intervento, sia di Piano Attuativo. Coefficiente amplificativo $S = 1.25$ (o superiore, in funzione della morfologia del sito e/o di valutazioni affinate degli effetti locali) secondo D.M. 14/09/05, Coefficiente di fondazione $\hat{a} = 1.15$ per le categorie B,C; $\hat{a} = 1.3$ solo per la categoria E (o superiori, in funzione della morfologia del sito e/o di valutazioni affinate degli effetti locali) secondo D.M. 16/01/96. In particolare le indagini di supporto alla progettazione edilizia dovranno essere finalizzate alle consuete valutazioni delle tensioni ammissibili, dei cedimenti assoluti e differenziali, dei possibili fenomeni di ritiro e rigonfiamento dei terreni per variazione delle condizioni di umidità del suolo nonché, nei casi di costruzione su pendio, alla valutazione della stabilità del pendio medesimo.

La matrice 8.3 La Fattibilità in relazione agli aspetti sismici indica per la stessa tipologia di intervento a fronte di una pericolosità sismica S.3, una fattibilità sismica di classe F3 - Fattibilità condizionata: si riferisce alla previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le condizioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi.

Per questa classe sono prescritte, sia nel caso di intervento diretto, sia di Piano Complessivo di Intervento, sia di Piano Attuativo, indagini geofisiche sismiche, condotte secondo i criteri stabiliti dalle Istruzioni Tecniche del Progetto V.E.L. della Regione Toscana, opportunamente estese ad un intorno significativo, che definisca in termini di geometrie la morfologia sepolta del bedrock sismico ed i contrasti di rigidità sismica (rapporti tra velocità sismiche in termini di velocità di Vsh delle coperture e del substrato), qualunque sia la normativa sismica di riferimento, ovvero D.M. 16/01/96 o D.M. 14/09/05 – Norme Tecniche per le costruzioni: in quest'ultimo caso le indagini concorreranno anche alla definizione della "Categoria di suolo di fondazione". Le aree caratterizzate da movimenti franosi quiescenti (2A) e da zone potenzialmente franose (2B) sono inoltre soggette alle prescrizioni di carattere geomorfologico relative alla classe di fattibilità geomorfologica F3.

Analogamente la matrice 8.4 La Fattibilità in relazione agli aspetti idraulici indica per la stessa tipologia di intervento a fronte di una pericolosità idraulica I.1, una fattibilità idraulica di classe F1

Fattibilità senza particolari limitazioni: si riferisce alla previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativi alla attività edilizia.

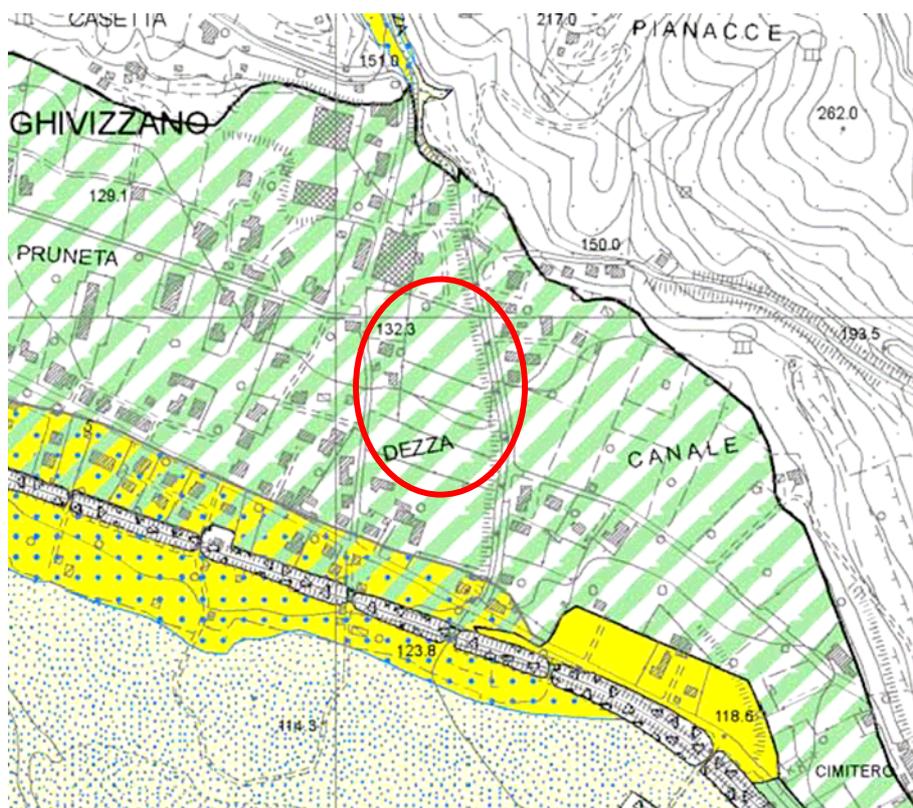
Per questa classe le prescrizioni riportano: *Nessuna prescrizione specifica*.

L'area oggetto di studio nella cartografia del *Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)* dell'Autorità di Bacino del Fiume Serchio, Variante del Dicembre 2010, rientra nelle perimetrazioni della *Carta di riferimento delle Norme di Piano nel settore rischio idraulico* (Tav. 7.24) nelle "Aree di pertinenza fluviale, collocate oltre rilevati infrastrutturali (rilevati stradali, ferroviari, etc.) o localmente caratterizzate da una morfologia più elevata" (P2a) normate dall'art. 23 in cui si riporta "(...) sono consentite le opere che comportino trasformazioni edilizie e urbanistiche, a condizione che venga documentato dal proponente, ed accertato dall'autorità amministrativa competente al rilascio dell'autorizzazione, il superamento delle condizioni di rischio conseguenti a fenomeni di esondazione e ristagno, o che siano individuati gli interventi necessari alla mitigazione di tale rischio, da realizzarsi contestualmente alla esecuzione delle opere richieste.

Sempre nella Cartografia PAI la zona non rientra nella perimetrazione delle *Aree inondabili con tempo di ritorno duecentennale* (Tav. 5.01.01).

La zona non rientra nella perimetrazione delle *Aree allagate e pericolosità idraulica* (Tav. 5.03.01), mentre nella *Carta delle aree di pertinenza fluviale e lacuale* (Tav. 4.05) rientra nelle Aree di pertinenza fluviale.

Di seguito si riporta stralcio della cartografia PAI per la *Carta di riferimento delle Norme di Piano nel settore rischio idraulico* (Tav. 7.24) con indicazione dell'area di progetto:

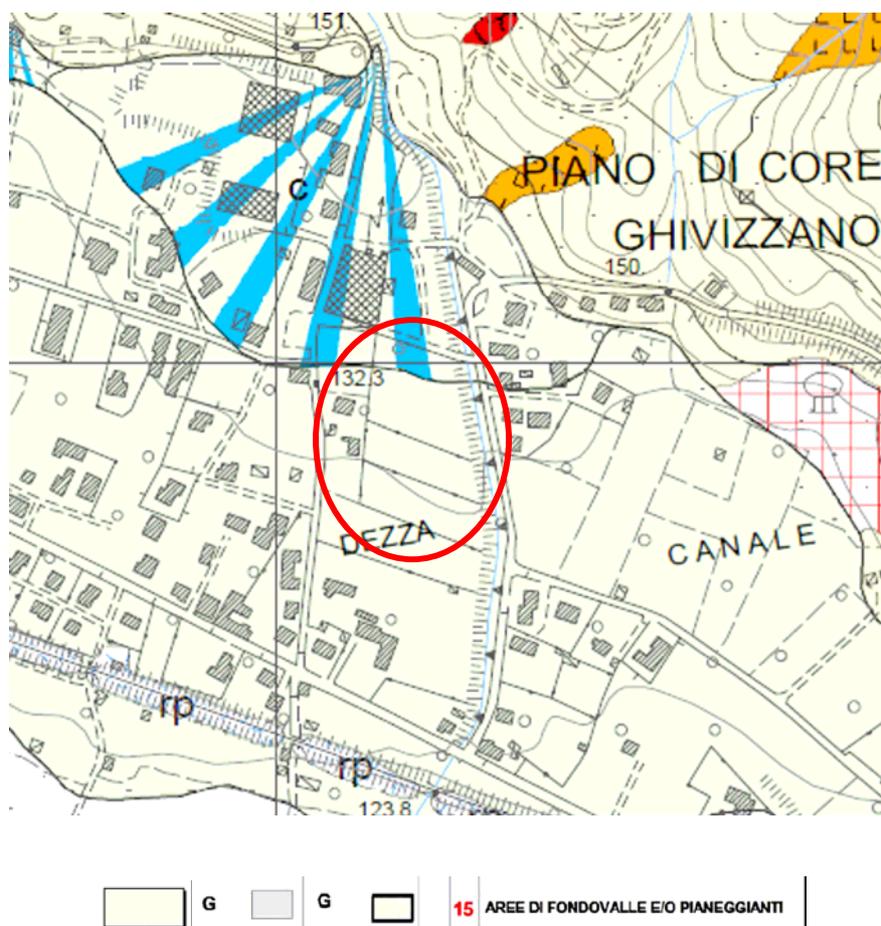


23

P2a - Aree di pertinenza fluviale, collocate oltre rilevati infrastrutturali (rilevati stradali, ferroviari, etc.), o morfologicamente più elevate

L'area oggetto di studio è inoltre classificata nelle carte del *Rischio Frana del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino del Fiume Serchio* nella Variante del Dicembre 2010 nelle Aree con instabilità di tipo G "Aree di fondovalle e/o pianeggianti con eventuali problemi relativi alla capacità portante dei terreni e di cedimenti" normate dall'art. 15 dove si riporta che l'edificabilità è condizionata ai vincoli esistenti sul territorio ed alla esecuzione di indagine geologica e geotecnica nei casi previsti dalla normativa vigente e/o dallo Strumento Urbanistico.

Di seguito si riporta stralcio della cartografia PAI, Stralcio tav. 250150 scala 1:10.000:



La zona non rientra nelle aree soggette a Vincolo Idrogeologico.

2.2 Quadro conoscitivo

Di seguito si riportano in dettaglio i caratteri geologici, geomorfologici, idrogeologici e sismici dell'area oggetto di indagine derivati dalla cartografia esistente e derivati anche dagli studi geologici di supporto al R.U. intesa come base per inquadrare le problematiche del territorio e sulla cui base effettuare le successive analisi ed elaborazioni.

2.2.1 Geologia e geomorfologia

Nella cartografia di supporto al PS la zona di indagine è individuata nella valle del Fiume Serchio, sub pianeggiante e rientra in larga misura nei depositi alluvionali recenti, ghiaie e sabbie prevalenti,

mentre la parte a Nord è individuata come appartenente sempre a depositi alluvionali, ma originati da un conoide di deiezione, per cui la linea di sutura fra i due terreni passa nell'area di interesse.

Nella cartografia del PAI si hanno gli stessi litotipi e la stessa delimitazione.

Nella Carta Geologica Regionale, Sezione 250150, la litologia viene classificata come Depositi alluvionali attuali e recenti (b) e nella parte Nord dell'area oggetto di indagine è ancora identificato un deposito di conoide che ha un'estensione leggermente maggiore rispetto a quella delle precedenti cartografie.

2.2.2 Idrogeologia

Negli studi di supporto al PS l'area di studio ricade per la parte dei depositi delle alluvioni recenti nei *depositi sabbioso ghiaiosi a permeabilità medio alta*, mentre per la parte del conoide nel lembo N, nei *depositi sabbioso ghiaiosi cementati e/o a matrice limoso sabbiosa a permeabilità da media a bassa*.

I dati deducibili dalle indagini VEL permettono di ricostruire il modello idrogeologico dell'area di studio costituito da un substrato rappresentato dall'arenaria del Macigno, a permeabilità medio bassa o bassa di tipo secondario acquisita per fratturazione, sormontato da sedimenti alluvionali, costituiti dalle *Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga* a loro volta ricoperte dalle *Alluvioni recenti ed attuali*.

Le *Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga* hanno una permeabilità da bassa a scarsa fino a nulla, secondo che il litotipo prevalente siano le sabbie limose o le argille; i livelli di ghiaie presenti sono fortemente condizionati dalla natura della matrice, che rende scarsa o nulla anche la loro permeabilità quando è a dominante coesiva.

In aggiunta essendosi depositata questa formazione in una valle sostanzialmente ristretta e con variabilità degli apporti e dell'energia deposizionale per la vicinanza dei rilievi, la continuità idraulica dei vari membri non è mai particolarmente estesa.

Le *Alluvioni recenti ed attuali* sono frequentemente a dominante ghiaiosa o ghiaioso sabbiosa, per cui la permeabilità assume valori da medi a medio alti, tranne in quei settori dove si trovano alternanze di depositi più sottili e coesivi.

Anche in questo caso la continuità idraulica dei singoli membri non appare mai molto estesa.

La profondità della falda è stata rilevata nei piezometri dei sondaggi S1 e S3 e ha fatto registrare per S1 un valore di soggiacenza di 13.4 m. con quota del p.c di 128.0 m (misura del Novembre 2005), per S2 un valore di soggiacenza di 9.20 m, con quota del p.c. di 123.5 m slm (misura del Novembre 2005).

2.2.3 Litotecnica

Negli studi di supporto al PS i terreni presenti sono tutti identificati come appartenenti all'*Unità di copertura* e in dettaglio inseriti nella classe E. Materiali granulari non cementati o poco cementati.

Il settore appartenente alle alluvioni recenti è inserito nella sottoclasse E3: sabbie dominanti; depositi alluvionali recenti ed attuali, *antiche spianate morfologiche con o senza riporto alluvionale*.

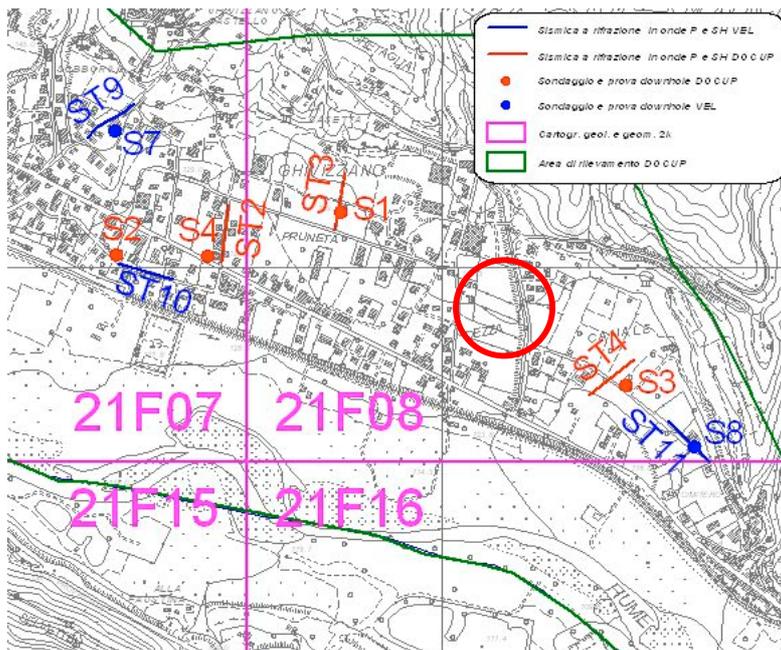
Il settore appartenente ai depositi di conoide è invece inserito nella sottoclasse E1: ciottoli o blocchi dominanti; depositi alluvionali terrazzati antichi e recenti, alluvioni mobili, detriti, riporti, corpi di frana attivi e quiescenti.

2.2.4 Sismica

Per quanto riguarda gli aspetti sismici dell'area, gli studi condotti a supporto del R.U. hanno previsto la realizzazione di prospezioni sismiche con onde P e SH per la caratterizzazione dei suoli e l'indagine sulle geometrie sepolte.

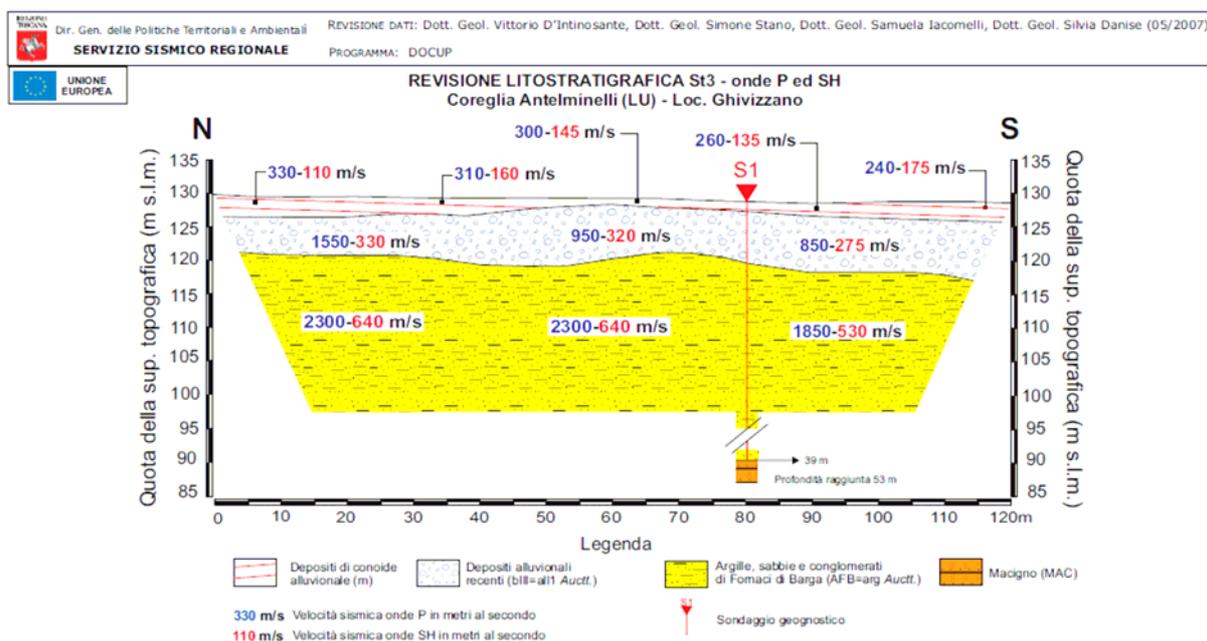
Le zone di ubicazione delle stese sono comunque o lontane dal sito di interesse e/o realizzate su litotipi ed assetti geomorfologici non particolarmente aderenti alla situazione riscontrata.

Tuttavia nella zona di indagine sia a NW che a SE sono presenti indagini sismiche a rifrazione con onde P e SH legate al Programma VEL e nella zona SE anche alla realizzazione del nuovo plesso di Calavorno.

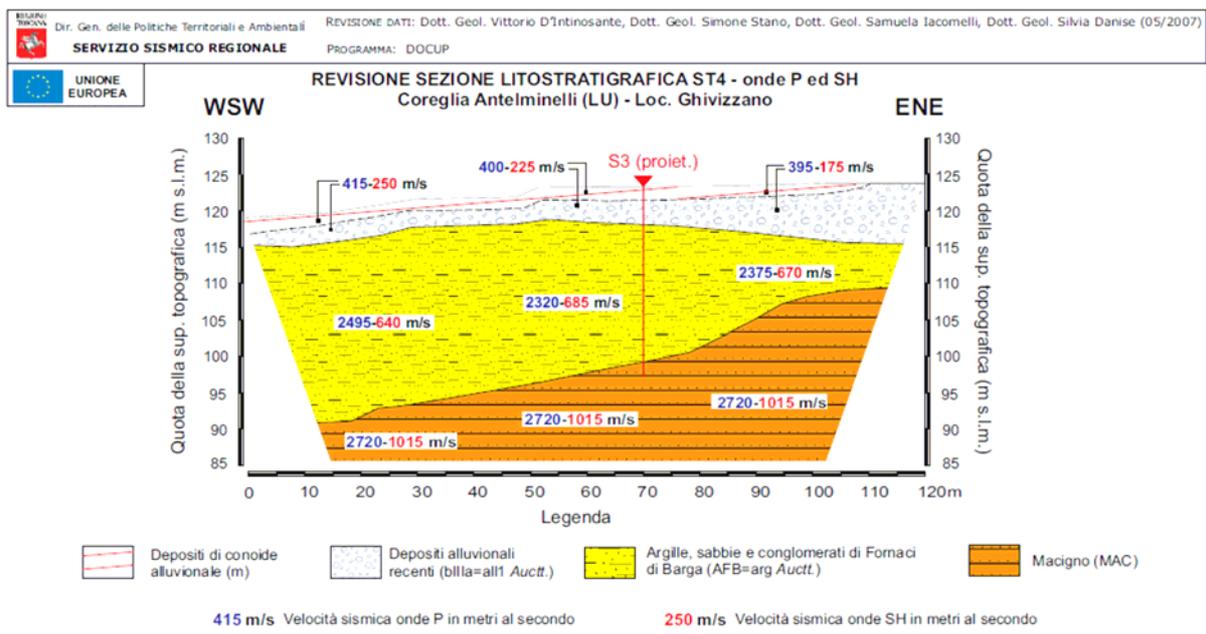


Le indagini VEL ST3 e ST4, eseguite in senso trasversale allo sviluppo della valle, confermano la presenza di depositi alluvionali sopra il substrato roccioso che però mostra profondità ed andamento variabili.

In dettaglio si rileva quanto segue

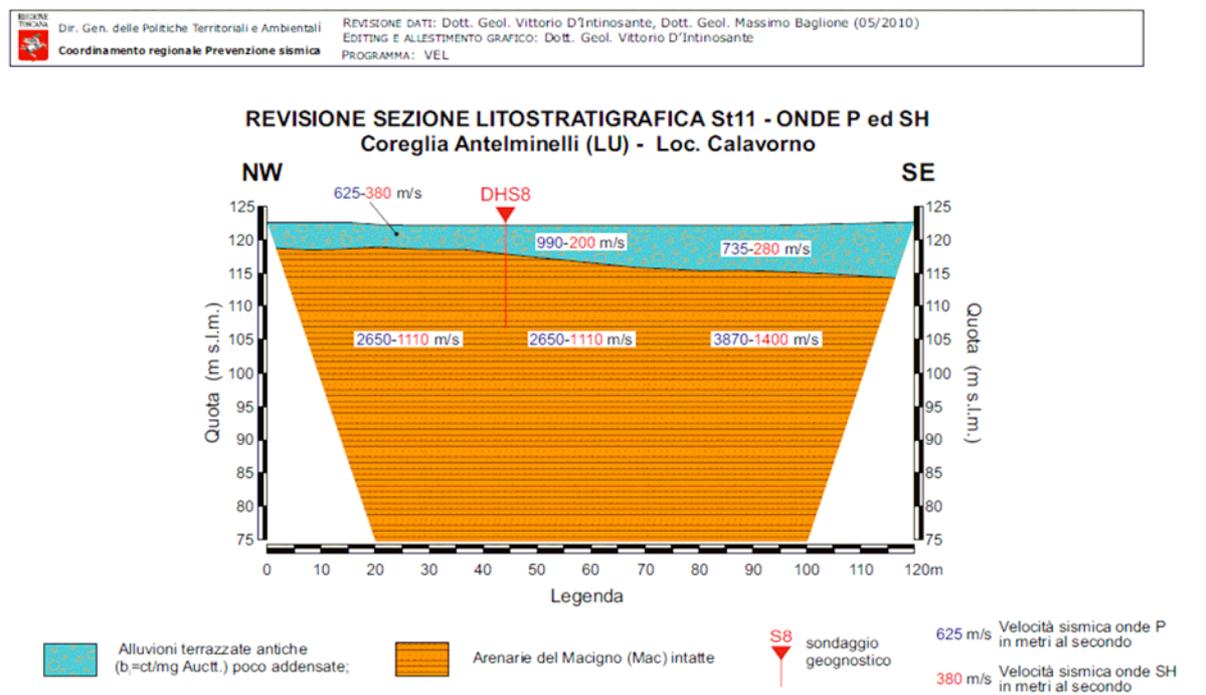


Lo spessore dei depositi alluvionali appare molto consistente, infatti la formazione del Macigno, seppur nella sua parte superficiale alterata, è stata rinvenuta ad una quota di 39.00 m dal piano di campagna



Il substrato roccioso in questo caso è ben individuato e mostra un rapido approfondimento in senso monte – valle.

Il profilo ST11, pur eseguito in senso circa longitudinale allo sviluppo della valle, mostra anch'esso una variabilità, per altro non molto accentuata, della profondità del substrato.



2.2.5 Stratigrafia

Non ci sono dati diretti sulla stratigrafia del sito oggetto di indagine, tuttavia dai sondaggi eseguiti per il programma VEL e riportati in allegato, si rileva come il motivo stratigrafico sia ricorrente e sostanzialmente semplice.

Si ha una copertura superficiale di alluvioni recenti ed attuali, con ghiaie, sabbie, sabbie limose, seguite da sabbie, ghiaie subordinate e argille, talora lignitifere della Formazione delle Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga; questi depositi alluvionali recenti e terrazzati sormontano il substrato roccioso rappresentato dalla formazione del Macigno.

Di seguito si riporta lo schema delle stratigrafie riscontrate nei tre sondaggi VEL:

Sondaggio S1

0.0 m – 11.00 m	Alternanza di ghiaie e sabbie subordinate (depositi alluvionali recenti ed attuali – b1 della Carta Geologica Regionale)
11.00 m – 39.00 m	Alternanze di sabbie limose, argille, argille lignitifere e ghiaie (Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga – AFB della Carta Geologica Regionale)
39.00 m – 53.00 m	Arenarie pelitiche quarzoso feldspato micacee – Macigno (formazione del Macigno – MAC della Carta geologica Regionale)

Sondaggio S3

0.0 m – 5.00 m	Limi sabbiosi e ghiaie (depositi alluvionali recenti ed attuali – b1 della Carta Geologica Regionale)
5.00 m – 23.00 m	Sabbie e sabbie limose (Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga - AFB della Carta Geologica Regionale)
23.00 m – 27.00 m	Arenarie pelitiche quarzoso feldspato micacee – Macigno (formazione del Macigno – MAC della Carta geologica Regionale)

Sondaggio S8

0.0 m – 6.00 m	Argille, sabbie e ghiaie (ct/mg) (depositi alluvionali recenti ed attuali – b1 della Carta Geologica Regionale)
6.00 m – 15.00 m	Breccia a ciottoli di Macigno cementata (depositi alluvionali terrazzati - bn della Carta Geologica Regionale)

2.2.6 Aspetti idraulici

Il sito di Variante si trova fuori della perimetrazione della piena duecentennale del Fiume Serchio e al momento attuale non sono stati ancora eseguite le verifiche sull'affluente minore Rio Dezza.

La verifica presso il Comune di Coreglia Antelminelli ha fatto registrare la presenza di studi idraulici sul Rio Dezza, eseguiti per la realizzazione del ponte del nuovo tratto di viabilità (*Dott. Ing. M. Ceccarelli; 2006*), che si trova sul lato Est dell'area di Variante; per i criteri metodologici si rimanda all'apposito studio.

I risultati del lavoro indicano nella condizione pre intervento una condizione di criticità per la piena duecentennale, dovuta alla presenza di un fenomeno di rigurgito per la presenza di un piccolo ponte privato a monte del sito di progetto, con superamento delle quote di sponda con il profilo liquido.

La situazione post intervento (ora realizzato) indica invece la verifica positiva delle sezioni di transito della piena compreso il nuovo ponte e il contenimento del flusso in alveo, una volta demolito il ponticello preesistente e risagomato il tratto di alveo corrispondente.

3 ANALISI ED APPROFONDIMENTI

Si passa ora ad esporre le analisi e gli approfondimenti necessari per dare completezza, integrare ed aggiornare le conoscenze disponibili riportate in precedenza in relazione all'ambito interessato dalla Variante.

3.1 Inquadramento geologico

L'area dove si colloca il sito di progetto si trova sui primi rilievi appenninici lungo la Valle del Serchio ed è posta nel fondovalle sul fianco in sinistra idrografica del Fiume Serchio, in prossimità del margine dei depositi del piede dei rilievi.

In questo settore, che ha visto un impilamento di falde durante l'orogenesi appenninica, affiorano formazioni appartenenti all'Unità tettonica della *Falda toscana non metamorfica*, rappresentate sostanzialmente dalla formazione a dominante arenacea del Macigno.

In seguito, esaurita la spinta compressiva, cominciarono a delinearsi nella catena, a partire dal Miocene superiore, ampie depressioni tettoniche, come il "graben" della Val di Serchio, frequentemente occupate da bacini intermontani.

La presenza di una tettonica importante e polifasata è messa in luce da faglie dirette a prevalente direzione appenninica; a questo proposito si fa notare come l'andamento dei corsi d'acqua in questo settore presenti delle accentuate angolature, indice di uno stretto controllo tettonico.

I bacini intermontani e le valli degli affluenti sono stati poi colmati dai depositi alluvionali secondo le varie vicissitudini paleoclimatiche e tettoniche che hanno portato ad episodi alterni di reincisione, sutura e nuova deposizione.

3.2 Lineamenti locali

3.2.1 Geologia

L'area di interesse si colloca nel fondovalle del Fiume Serchio, in un settore dove sui rilievi affiorano i terreni appartenenti alla *Falda Toscana non metamorfica* rappresentati dalla formazione del Macigno, che per un ampio tratto intorno alla zona di progetto è l'unica formazione affiorante.

I dati dei sondaggi disponibili indicano che è anche la formazione che va a costituire il substrato roccioso dei depositi alluvionali.

In dettaglio l'area si trova sui depositi alluvionali recenti del corso d'acqua, che sono stati in parte reincisi e terrazzati per migrazione verso valle del punto di equilibrio dovuto alle vicissitudini climatiche e tettoniche.

Il materiale che costituisce la coltre alluvionale è ben visibile in alcuni tagli freschi e nelle scarpate ed è costituito da livelli di ghiaie medie, medio grossolane con una matrice sabbiosa e sabbioso ghiaiosa, alternati a livelli più fini sabbioso limosi che mostrano frequentemente uno scheletro litico sottile diffuso; i clasti mostrano un grado di arrotondamento variabile da medio a buono.

Le dimensioni dei ciottoli variano da centimetriche a decimetriche e si nota, specialmente in alcuni livelli, un certo grado di classazione; i clasti visibili in alcuni tagli, mostrano frequentemente embriciatura che contribuiva a conferire all'alveo una corazzatura rispetto al flusso.

Nei tratti più prossimi ai fianchi della valle è presente anche una frazione apprezzabile di materiale colluviale proveniente dai rilievi, distinguibile spesso per un bassissimo grado di arrotondamento, costituito essenzialmente da frammenti della formazione del Macigno e dai prodotti della sua alterazione.

In corrispondenza dello sbocco del Rio Dezza nella valle più ampia del Fiume Serchio si trovano depositi di conoide che interessano la parte più settentrionale dell'area di indagine; tali depositi sono caratterizzati da variazioni granulometriche anche rapide sia lateralmente che verticalmente e tendono ad immergersi sotto l'area di studio, suturati dai depositi più recenti.

Localmente nei depositi alluvionali recenti ed attuali, come nella zona a SE oltre il Rio Dezza, si possono trovare anche depositi sottili, coesivi e almeno parzialmente organici, originati dal colmamento di piccole depressioni in situazioni di bassa energia deposizionale.

Si dà ora una breve descrizione dei terreni affioranti:

Alluvioni recenti: ghiaie in matrice sabbioso ghiaiosa, frequentemente alternata ad orizzonti dove predominano i litotipi più sottili, quali sabbie e sabbie limose fino a limi argillosi; la disposizione è generalmente stratificata, anche se per le dimensioni della valle relativamente piccole e la ripidità dell'alveo del corso d'acqua i livelli hanno in genere una scarsa continuità laterale e sono più spesso organizzati in lenti, talora anche di buona estensione. Età: *Quaternario*

Al di sotto di questi terreni si trovano le seguenti formazioni:

Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga: argille e argille sabbiose o sabbioso limose grigie, con intercalazioni di sabbie, ghiaie e conglomerati in matrice argilloso sabbiosa; le argille contengono frequenti resti vegetali e livelli di lignite. Età: *Rusciniano sup. ? – Villafranchiano inf.*

Macigno: potente deposito torbiditico prevalentemente arenaceo alla base, arenaceo pelitico e pelitico arenaceo nella parte media e alta; le arenarie, quarzoso feldspato micacee, sono di colore grigio, ocra all'alterazione ed hanno una granulometria variabile da grossolana a fine. Gli strati nella parte bassa hanno spessore di alcuni metri, sono in genere classati e mostrano sovente impronte di fondo; nella parte mediana e superiore prevalgono gli strati a spessore inferiore al metro, la granulometria è generalmente più fine e sono più frequenti i livelli pelitici, che solo raramente assumono spessori significativi. Età: *Oligocene sup. - Miocene inf.*

Il sito di indagine si trova, come detto, sulla coltre alluvionale, a dominante sabbioso ghiaiosa alternata a tratti estesi più sottili, che in questo tratto mostra uno spessore piuttosto consistente, variabile fra i 23.00 m e i 39.0 m circa, secondo l'andamento dei fianchi della valle e dei risultati delle indagini VEL. Al di sotto di essa si trova la roccia in posto che è rappresentata dalla formazione del Macigno e che si presenta nel vicino versante largamente ricoperta da detrito di alterazione di spessore variabile da pochi decimetri a qualche metro.

3.2.2 Geomorfologia

Il motivo geomorfologico che domina l'area di studio è rappresentato dai depositi alluvionali terrazzati del Fiume Serchio, che colmano il fondovalle che in questo settore mostra un andamento ENE – WSW.

Su queste alluvioni, nella parte prospiciente i fianchi della valle, si innestano i conoidi alluvionali originati dagli affluenti; nello specifico la zona di studio è interessata, dal conoide formato dallo sbocco del Rio Dezza nella più ampia valle del Fiume Serchio; in alcune cartografie, compresa quella di supporto al PS il conoide appare interessare solo marginalmente il settore N.

Il conoide si sviluppa con molta probabilità anche al di sotto dei depositi alluvionali dai quali è stato suturato, a causa delle variazioni di livello che ha subito la valle.

Le alluvioni, che mostrano una pendenza media intorno all'1.5% nella direzione di sviluppo della valle e del 5.0% circa in direzione trasversale ad essa, sono costituite da ampi tratti sub pianeggianti a causa dei blandi terrazzamenti limitati da piccole scarpate, in parte ripresi dall'azione antropica; il fianco della valle limitrofo al sito di progetto mostra un'acclività media intorno al 29 %.

Sul versante della valle si individua la presenza di coltri, talora consistenti, di detrito acclive che ricoprono il pendio, nelle quali sono state riconosciute forme riconducibili a movimenti di massa ora quiescenti.

Nella zona del progetto al momento del rilevamento, non sono stati riscontrati sintomi di dissesto, o di erosione accelerata.

3.2.3 Idrogeologia

L'idrografia della zona di studio è rappresentata dal corso del Rio Dezza, che scorre lungo il confine E del sito di indagine; il corso d'acqua è tributario di sinistra del Fiume Serchio che scorre a circa 400 m di distanza verso S.

Il corso d'acqua citato rientra nel Quadro conoscitivo dell'*Elenco dei corsi d'acqua principali ai fini del corretto assetto idraulico* del nuovo P.I.T. della Regione Toscana (*Rio Dezza LU2567*).

L'Ambito fluviale B, istituito con la D.C.R. 230/94 e ribadito dal vecchio P.I.T. (D.C.R. 12/00), è decaduto a seguito dell'approvazione del P.A.I. dell'Autorità di Bacino del Fiume Serchio, la cui "Carta di riferimento delle Norme di Piano nel settore del rischio idraulico" in scala 1:10.000 contiene la localizzazione delle aree destinate agli interventi di regimazione idraulica per la riduzione del rischio.

Il nuovo Piano di Indirizzo Territoriale della Toscana 2005-2010 (D.C.R. 72/07) mantiene infatti in essere un solo ambito che corrisponde al vecchio ambito A1.

Negli studi geologici di supporto al PS nella carta idrogeologica la zona è classificata come ricadente su *depositi sabbioso ghiaiosi a permeabilità alta*.

Per quanto riguarda i caratteri idrogeologici dei terreni affioranti nel sito di progetto e nelle zone adiacenti si possono distinguere tre classi di permeabilità:

a) rocce a permeabilità alta in questa classe si trovano i depositi alluvionali incoerenti o semicoerenti, con granulometria da medio fine a grossolana in cui si riscontra la presenza di uno scheletro litico con una matrice sabbioso ghiaiosa; la permeabilità di questi livelli ($10^{-2} < k < 10^{-1} \text{ cm s}^{-1}$) è di tipo primario e talora può ridursi in presenza di lenti e/o interlivelli di sedimenti più sottili.

b) rocce a permeabilità medio bassa rientrano in questa classe i terreni appartenenti alla formazione arenacea stratificata del Macigno in cui la permeabilità primaria è piuttosto bassa e si esplica essenzialmente attraverso i giunti di strato, mentre quella secondaria, acquisita per fratturazione ($10^{-5} < k < 10^{-4} \text{ cm s}^{-1}$), si sviluppa all'interno di fratture con distribuzione generalmente piuttosto diffusa e anisotropa.

c) rocce a permeabilità bassa o scarsa questa classe viene attribuita alla formazione delle *Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga*, per la presenza di litotipi sottili e coesivi sia nella matrice, che in propri orizzonti anche molto estesi, fino a strati di argille grigio azzurre e verdi azzurre impermeabili. La permeabilità primaria è molto bassa ($10^{-5} < k < 10^{-7} \text{ cm s}^{-1}$), fino a divenire nulla negli orizzonti argillosi.

In base ai caratteri idrogeologici appena descritti dei terreni affioranti si ritiene che la circolazione sotterranea possa instaurarsi in due circuiti distinti: a) nel substrato roccioso, b) nella coltre alluvionale; questi due circuiti possono essere, secondo le zone, comunicanti ed interattivi, benché contraddistinti da un elevato contrasto di permeabilità e spesso separati dall'orizzonte delle *Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga*.

Si avrà pertanto una circolazione a sostanziale carattere freatico nella coltre alluvionale superficiale, con le linee di flusso orientate da monte verso la valle del Fiume Serchio, dove queste si riorienteranno in senso longitudinale rispetto allo sviluppo della valle stessa.

Al di sotto le *Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga* si comporteranno sostanzialmente come un acquiclude per la presenza di litotipi coesivi sia in orizzonti distinti che in frazioni più o meno importanti negli orizzonti granulari delle formazione stessa.

A letto di questa formazione i litotipi del Macigno ospiteranno una circolazione comunque rilevante che assumerà caratteri di artesianità.

In aggiunta, come risulta dalle indagini fatte la zona è caratterizzata dalla presenza di piccole sorgenti, talora effimere, che si trovano alla base dei rilievi collinari e che sono alimentate da bacini imbriferi piuttosto estesi; si tratta probabilmente di sorgenti per risalita della piezometrica.

In periodi dell'anno contraddistinti da precipitazioni abbondanti, queste sorgenti, che recapitano le acque circolanti nella formazione del Macigno, si attivano alimentando la coltre alluvionale ed arrivando in periodi di ricarica ad impaludare alcuni tratti a ridosso del versante.

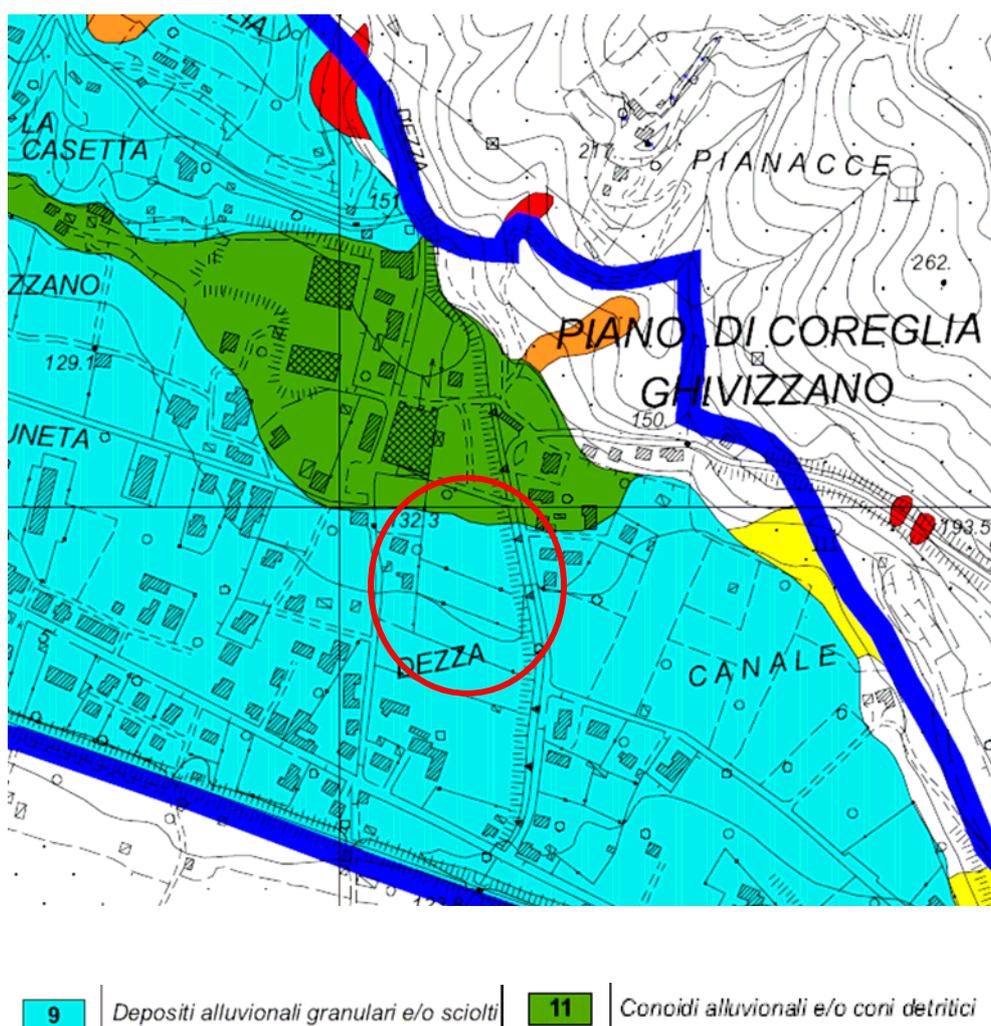
Il livello, considerata la natura dei sedimenti della copertura, andrà a correlarsi con la circolazione di alveo e subalveo del Rio Dezza, posto ad una quota di 3.00 -4.00 m rispetto al piano di campagna, ma che può risalire in periodi di piena.

In sostanza lo schema della circolazione idrica del modello idrogeologico vede un flusso dai rilievi verso le alluvioni che va ad alimentare la direzione del drenaggio principale che scorre secondo l'asse fluviale.

Come osservato anche nelle prove effettuate, le scaturigini delle acque circolanti nei rilievi possono avvenire a quote diverse, sia superficialmente che sepolte, alimentando le alluvioni a quote diverse, anche in funzione dei livelli a diversa permeabilità riscontrati che si sviluppano in genere secondo lenti più o meno estese, piuttosto che come strati continui, a causa delle ridotte dimensioni della valle e delle conseguenti divagazioni del corso d'acqua.

3.3 Valutazione effetti locali di sito

Relativamente al Rischio sismico, l'area oggetto di intervento risulta, come detto in precedenza, in pericolosità sismica elevata S3 come rilevabile nella seguente cartografia del RU:



La classificazione deriva dal fatto che l'area si trova nella perimetrazione delle zone con possibile amplificazione per effetti stratigrafici e in dettaglio l'area è indicata nella situazione di pericolosità sismica 9: *depositi alluvionali granulari e/o sciolti*, mentre una piccola porzione a Nord rientra nella situazione 11: *conoidi alluvionali e/o conoidi detritici*.; entrambe le classi prevedono come possibili effetti amplificazione diffusa del moto del suolo dovuta alla differenza di risposta sismica tra substrato e copertura dovuta a fenomeni di amplificazione stratigrafica.

Per una valutazione degli effetti di sito per la riduzione del rischio sismico, secondo quanto prescritto dalla Del. R.T. 18/04/2011 n° 261 e dal DPGR 25/10/2011 n° 53/R, si è proceduto ad un approfondimento delle indagini per la realizzazione dello studio di Microzonazione sismica di *livello 1* tramite una misura passiva del rumore ambientale mediante tecnica a stazione singola e in una indagine sismica MASW.

3.3.1 Misura passiva del rumore ambientale

La misura passiva del rumore sismico ambientale o microtremore (*Gruppo di lavoro MS, 2008 Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*) fornisce indicazioni sul rapporto fra la velocità media delle onde S nella copertura e la profondità del basamento sismico al di sotto del punto di misura.

Lo scopo di questa indagine è quello di individuare possibili fenomeni di risonanza sismica e di misurare le corrispondenti frequenze di vibrazione.

La tecnica impiegata è definita HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) ed è basata sui rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticali del rumore sismico ambientale.

Le frequenze di risonanza corrispondono ai massimi della funzione che rappresenta i rapporti spettrali medi in funzione della frequenza (funzione H/V); l'ampiezza di questi massimi è proporzionale, anche se non linearmente, all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

Fra lo spessore H dei terreni di copertura, la velocità media della onde S all'interno dello stesso (V_s) e la frequenza fondamentale f dello strato sussiste una relazione del tipo:

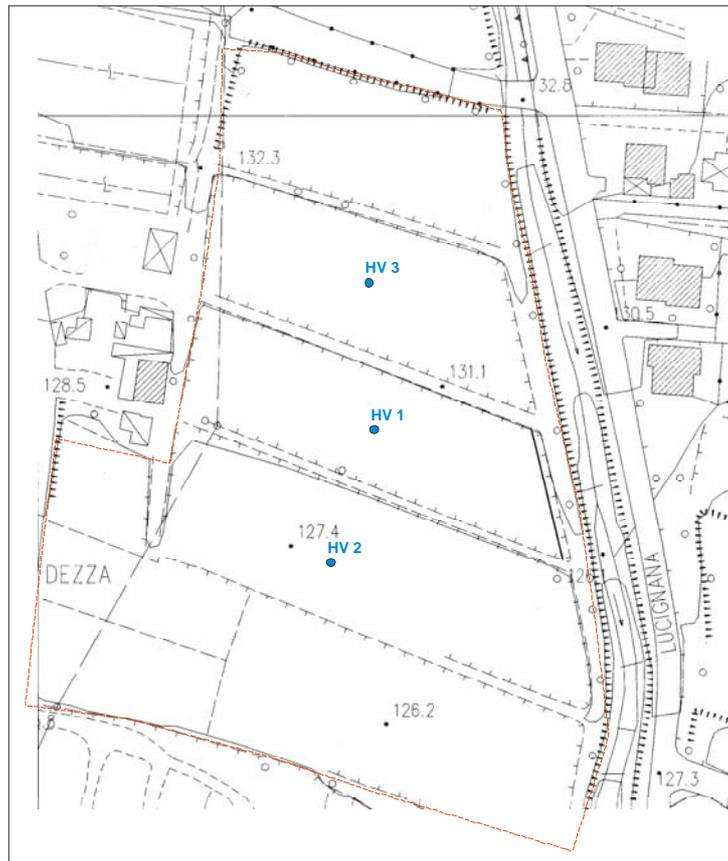
$$f = \frac{V_s}{4H}$$

Le indagini HVSR vengono impiegate, per caratterizzare le proprietà elastiche dei materiali ed evidenziare eventuali contrasti d'impedenza sismica presenti nel sottosuolo che sono causa dei fenomeni di amplificazione che si possono verificare durante un evento sismico.

Per le caratteristiche della strumentazione impiegata e del metodo di misura si rimanda all'apposito allegato.

La frequenza di risonanza f_0 nell'area di indagine è stata determinata mediante tre indagini HVSR per avere un dato certo secondo il protocollo SESAME con durata di acquisizione di 20 minuti che in fase di elaborazione è stata suddivisa in finestre di 20 s.

L'ubicazione delle prove è riportata di seguito:

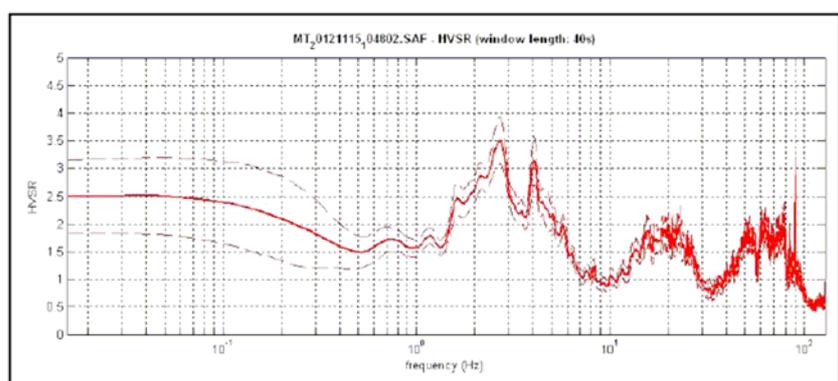


I risultati delle tre misure sono riportati nella sottostante tabella:

<i>Postazione</i>	<i>f_0 (Hz)</i>	<i>Picco H/V</i>
HV 1	2.7	3.5
HV 2	2.5	3.3
HV 3	2.8	3.7

La sintesi delle indagini è la seguente:

Postazione HV 1

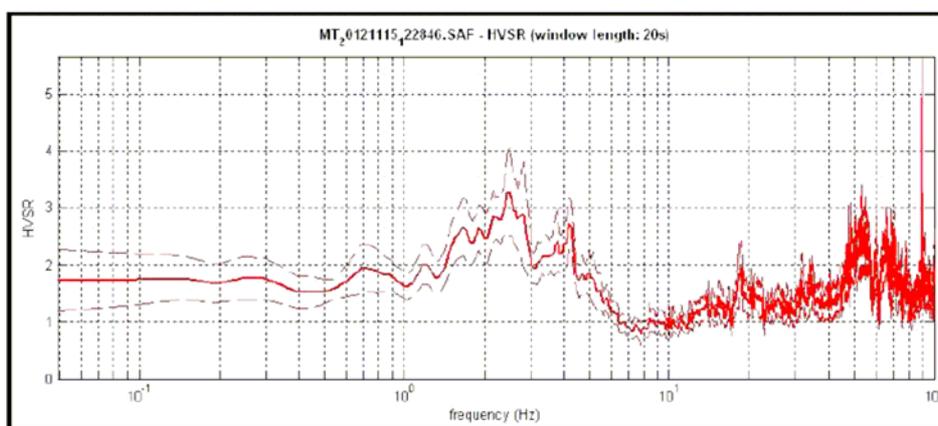


Con la seguente tabella dei criteri SESAME:

Postazione:	HV 1	Picco H/V:	3.5 (± 0.4) (nell'intervallo 0.5 - 20 Hz)	
Criteri per una curva H/V affidabile (tutti e 3 dovrebbero risultare soddisfatti)	1	$f_0 > 10/L_w$	2.7 > 0.25	OK
	2	$n_c(f_0) > 200$	> 200	OK
	3	$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$	OK
Criteri per un picco H/V chiaro (almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti)	1	Esiste f in $(f_0/4, f_0) A_{HV}(f) < A_0/2$	sì alla freq. 1.4 Hz	OK
	2	Esiste f^* in $(f_0/4, f_0) A_{HV}(f^*) < A_0/2$	sì alla freq. 6.0 Hz	OK
	3	$A_0 > 2$	3.5 > 2	OK
	4	$f_{picco} (A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	$= f_0 \pm 5\%$	OK
	5	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2.942 > 0.136	NO
	6	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.421 < 1.58	OK
L_w	lunghezza della finestra			
n_w	numero di finestre usate nell'analisi			
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi			
f	frequenza attuale			
f_0	frequenza del picco H/V			
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V			
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			
A_0	ampiezza media della curva H/V alla frequenza f_0			
$A_{HV}(f)$	ampiezza media della curva alla frequenza f			
f	frequenza fra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{HV}(f) < A_0/2$			
f^*	frequenza fra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{HV}(f^*) < A_0/2$			
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{HV}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{HV}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa			
$\sigma_{\log HV}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{HV}(f)$			
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. (Hz)	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 0.1	1.0 - 2.0	> 0.2
$\varepsilon(f_0)$	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log HV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Postazione HV 2

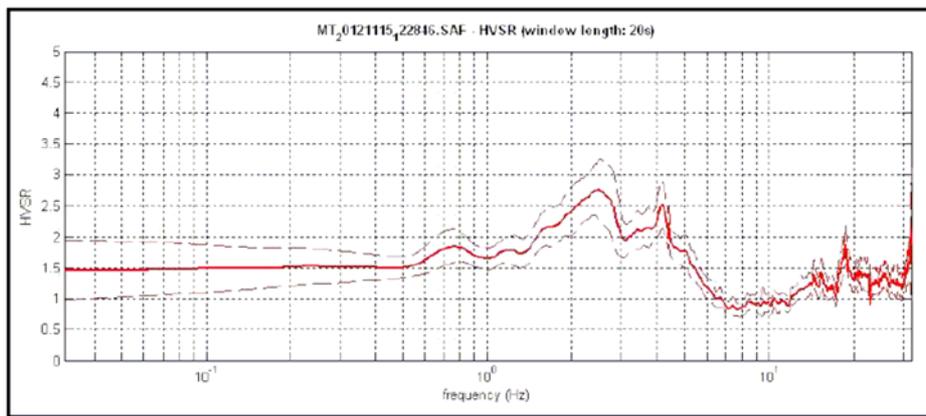


Con la seguente tabella dei criteri SESAME:

Postazione:	HV 2	Picco H/V:	3.3 (± 0.6) (nell'intervallo 0.5 - 20 Hz)	
Criteri per una curva H/V affidabile (tutti e 3 dovrebbero risultare soddisfatti)	1	$f_0 > 10/L_w$	2.7 > 0.25	OK
	2	$n_c(f_0) > 200$	> 200	OK
	3	$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$	OK
Criteri per un picco H/V chiaro (almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti)	1	Esiste f in $(f_0/4, f_0) A_{HV}(f) < A_0/2$	sì alla freq. 1.1 Hz	OK
	2	Esiste f' in $(f_0/4, f_0) A_{HV}(f') < A_0/2$	sì alla freq. 5.3 Hz	OK
	3	$A_0 > 2$	3.3 > 2	OK
	4	$f_{picco} (A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	$= f_0 \pm 5\%$	OK
	5	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	3.562 > 0.127	NO
	6	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.773 < 1.58	OK
L_w	lunghezza della finestra			
n_w	numero di finestre usate nell'analisi			
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi			
f	frequenza attuale			
f_0	frequenza del picco H/V			
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V			
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			
A_0	ampiezza media della curva H/V alla frequenza f_0			
$A_{HV}(f)$	ampiezza media della curva alla frequenza f			
f	frequenza fra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{HV}(f) < A_0/2$			
f'	frequenza fra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{HV}(f') < A_0/2$			
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{HV}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{HV}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa			
$\sigma_{\log HV}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{HV}(f)$			
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. (Hz)	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log HV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Postazione HV 3



Con la seguente tabella dei criteri SESAME:

Postazione:	HV 3	Picco H/V:	3.7 (± 0.5) (nell'intervallo 0.5 - 20 Hz)	
Criteri per una curva H/V affidabile (tutti e 3 dovrebbero risultare soddisfatti)	1	$f_0 > 10/L_w$	2.8 > 0.25	OK
	2	$n_c(f_0) > 200$	> 200	OK
	3	$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$	OK
Criteri per un picco H/V chiaro (almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti)	1	Esiste f in $(f_0/4, f_0) A_{HV}(f) < A_0/2$	sì alla freq. 1.4 Hz	OK
	2	Esiste f' in $(f_0/4, f_0) A_{HV}(f') < A_0/2$	sì alla freq. 3.8 Hz	OK
	3	$A_0 > 2$	3.7 > 2	OK
	4	$f_{picco} (A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	$= f_0 \pm 5\%$	OK
	5	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2.284 > 0.138	NO
	6	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.578 < 1.58	OK
L_w	lunghezza della finestra			
n_w	numero di finestre usate nell'analisi			
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi			
f	frequenza attuale			
f_0	frequenza del picco H/V			
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V			
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			
A_0	ampiezza media della curva H/V alla frequenza f			
$A_{HV}(f)$	ampiezza media della curva alla frequenza f			
f	frequenza fra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{HV}(f) < A_0/2$			
f'	frequenza fra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{HV}(f') < A_0/2$			
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{HV}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{HV}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa			
$\sigma_{\log HV}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{HV}(f)$			
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$			

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. (Hz)	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log HV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Le misure di rumore sismico effettuate nel sito di indagine hanno dato risultati sostanzialmente coerenti e hanno permesso di ricavare un valore della frequenza di risonanza f_0 compresa fra $2.5 \div 2.8$ Hz.

Tramite l'abaco che mette in relazione le frequenze di risonanza f_0 determinate dalle misure H/V con lo spessore delle coperture h (Albarello et al.; 2012) è possibile dare una stima del valore dello spessore delle coperture:

Tab. 1 - Abaco per la stima dello spessore delle coperture (h) a partire dai valori delle frequenze di risonanza (f_0) determinate dalle misure H/V.

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

Si rileva che le frequenze di risonanza misurate, comprese nell'intervallo $2.5 \div 2.8$ Hz ricadono nella classe dell'intervallo $2 \div 3$ Hz a cui corrisponde uno spessore della copertura di $30 \div 50$ m.

I dati dei sondaggi VEL esterni all'area di indagine e posti a NW e a SE, indicano rispettivamente una profondità del Macigno di 39.0 m e di 23.0 m.

Il picco, abbastanza ben individuato, dovrebbe essere originato dal contrasto di impedenza sismica fra il substrato sismico e la copertura; nel caso specifico il substrato sismico è rappresentato dalla formazione del Macigno, mentre la copertura è costituita dai depositi alluvionali recenti.

In dettaglio la coltre alluvionale nell'area è rappresentata dai depositi a dominante sabbioso ghiaiosa in superficie che sormontano i depositi della formazione delle Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga.

Quest'ultima può presentarsi cementata specialmente nei litotipi arenacei e conglomeratici, mentre il Macigno è frequentemente alterato, talora anche in modo accentuato, nella parte superficiale; pertanto non necessariamente il picco osservato nel grafico H/V indica anche il passaggio formazionale.

3.3.2 Prospezione sismica MASW

Per la caratterizzazione sismica del suolo e la determinazione delle V_{s30} (OPCM 3274/2003, OPCM 3519/2006, D.M. 14.01.2008) è stato impiegato un sismografo a 48 canali; la prospezione sismica con metodo MASW (Multi Channel Surface Waves) si è avvalsa di uno stendimento di 70.5 m eseguita nel sito di indagine in direzione circa NW – SE e di 48 geofoni spazati di 1.50 m.

I dettagli della strumentazione impiegata e della metodologia di lavoro sono riportati in allegato.

I risultati forniti dall'indagine hanno individuato i seguenti sismostrati con le relative caratteristiche:

strato	1	2	3	4
V_s ($m\ s^{-1}$)	214	282	504	1368
Spessore (m)	3.9	8.6	19.0*	6.0

*spessore totale del sismostrato, alla profondità di calcolo delle V_{s30} lo spessore è 17.5 m

L'indagine sismica MASW delinea una ripartizione dei livelli congruente con quanto rilevato in superficie e nelle indagini VEL:

da 0.00 m a ~ 4.00 m	Depositi alluvionali attuali e recenti: sabbie argillose e ghiaie ($V_s \approx 154 \div 286 \text{ m s}^{-1}$)
da ~ 4.00 m a ~ 9.00 m	Depositi alluvionali attuali e recenti: sabbie argillose e ghiaie ($V_s \approx 210 \div 390 \text{ m s}^{-1}$)
da ~ 9.00 m a ~ 20.00 m	Depositi alluvionali recenti addensati: formazione di Fornaci di Barga (?) ($V_s \approx 385 \div 715 \text{ m s}^{-1}$)
da ~ 20.00 m a ~ 30.00/35.00 m	Substrato litoide: Macigno (bedrock sismico) ($V_s \approx 770 \div 1430 \text{ m s}^{-1}$)

Determinazione della categoria di suolo di fondazione (D.M. 14/1/2008):

Con i risultati ottenuti dall'indagine sismica si ottiene una V_{s30} pari a **360 m s⁻¹** con la velocità che cresce abbastanza gradualmente con la profondità fino a circa 30 m, dopo di che si rileva un netto incremento.

Sulla base di quanto detto si ottiene un suolo di fondazione, calcolato secondo quanto prescritto dalle NTC 2008, che si pone proprio sul valore che discrimina le categorie di suolo **B** e **C**:

categoria B – Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina).

categoria C – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)

L'analisi dello spettro delle velocità fa rilevare un apprezzabile contrasto di impedenza fra "substrato" e "copertura" nel tratto intorno ai 30.00 m.

3.3.3 Relazione sintetica illustrativa studi microzonazione livello 1

Selezione e delimitazione delle aree di indagine;

L'area di indagine nel caso in oggetto è una soltanto e limitata al sito che sarà oggetto dell'intervento e che subirà la trasformazione urbanistica; per tale area, la cui perimetrazione è riportata nelle cartografie allegate, sono stati condotti gli studi richiesti dal DPGR 53/R in merito alle indagini geologiche richieste all'art. 3.

Definizione della Pericolosità sismica di base e degli eventi di riferimento;

Nel rapporto conclusivo della "Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica- Zonazione sismogenetica ZS9" redatto dall'INGV, Gruppo di Lavoro 2004, il Comune di Coreglia Antelminelli è inserito nella Zona Simogenetica 915 Garfagnana – Mugello.

Tale zona è identificata come una fascia che corrisponde al settore più interno della catena appenninica generalmente interessato da importanti faglie primarie e relative sorgenti sismogenetiche, tali faglie immergono verso NE nel settore compreso tra la Toscana Settentrionale e l'Umbria.

Per ogni zona sismica è stato determinato lo strato sismogenetico e al suo interno il valore della "profondità efficace" ossia la profondità a cui avviene il maggior numero di terremoti che determina la pericolosità della zona; lo strato sismogenetico è stato definito come l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti, ovvero quell'intervallo in cui presumibilmente avverranno i prossimi eventi sismici (INGV, 2004).

Nel *Catalogo della sismicità strumentale (1983 – 2002)* dell'INGV la zona 915 è inserita nella *Classe di profondità 8 – 12 km* con una *Profondità efficace* di 8 km.

Il valore di Magnitudo massima rappresenta tradizionalmente un elemento di tipo cautelativo che viene adottato per garantire le determinazioni di a_{max} dalla possibilità che si verifichino, sia pure con probabilità molto bassa, eventi di Magnitudo superiore a quella verificata nel corso del periodo di osservazione del catalogo terremoti INGV (INGV; 2004).

Per la Zona 915 in oggetto si ha un valore di M_{max} osservato in CPTI2 ($M_{w_{max}}$ CPTI2) pari a 6.49.

Per la parametrizzazione del terremoto di progetto viene proposto (INGV; 2004) di adottare valori compresi fra M_{max} "osservata" ($M_{w_{max}1}$) e valori di M_{max} "cautelativa" ($M_{w_{max}2}$), che nel caso della zona 915 coincidono e sono pari a 6.60.

Il *Gruppo di lavoro MS, 2008 Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica* indicano per la zona 915 – ZS9 un valore di $M_{w_{max}}$ pari a 6.60.

Il territorio comunale di Coreglia Antelminelli (LU) non era classificato sismico ai sensi dei Decreti fino al 1984; l'OPCM 3274/2003, che riclassifica l'intero territorio nazionale, inserisce il Comune di Coreglia Antelminelli nella Zona sismica 3 che prevede un'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni (a_g/g) 0.05 – 0.15 e un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastica (a_g/g) 0.15.

La Del. GRT del 19 Giugno 2006, n° 431: "*Riclassificazione sismica del territorio regionale: attuazione del D.M. 14.09.2005 e OPCM 3519/2006 pubblicata sulla G.U. dell'11.5.2006*", ha modificato questa classificazione e il Comune di Coreglia Antelminelli è passato alla Zona sismica 2 che prevede un'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g) 0.15 - 0.25 e un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) (a_g/g) 0.25.

La Del. GRT dell'8 Ottobre 2012, n° 878 "*Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14/01/2008 - Revoca della DGRT 431/2006*" ha confermato la Zona sismica 2 per il Comune di Coreglia Antelminelli.

Inquadramento geologico, geomorfologico delle aree di indagine;

Per quanto concerne l'inquadramento geologico e geomorfologico si rimanda a quanto riportato in precedenza nella presente relazione.

Indagini geologiche, geotecniche e geofisiche realizzate e/o pregresse;

Le indagini geologiche, geotecniche e geofisiche, considerata anche la limitata estensione dell'area oggetto di studio, hanno fatto riferimento a quanto già realizzato nel programma VEL; infatti il sito di interesse si colloca praticamente in mezzo a di siti indagati nel VEL, in cui erano stati effettuati sondaggi a carotaggio continuo, indagini sismiche a rifrazione, indagini down hole.

Nello specifico sono stati presi in esame i siti interessati dalle indagini ST3 S1 e ST4 S3

Tuttavia per una caratterizzazione puntuale e migliore del sito, a fronte anche della destinazione in progetto, sono state eseguite un'indagine HVSR ed un'indagine sismica con metodologia MASW.

Alla stessa maniera si è presa la Carta geologica relativa sempre al VEL, verificandone la rispondenza puntuale sul terreno nel sito di indagine e nelle zone adiacenti, riscontrandone la piena rispondenza e la sua collocazione su un conoide di deiezione relativo ai depositi alluvionali recenti.

Modello di sottosuolo

Il modello di sottosuolo, come derivato dai sondaggi e dalle indagini sismiche, appare piuttosto semplice, con un substrato lapideo costituito dalla Formazione del Macigno, spesso alterato

superficialmente, ricoperto da una coltre alluvionale originata dai depositi del Fiume Serchio e dei suoi affluenti.

All'interno della copertura alluvionale si possono riconoscere due formazioni: una superficiale con spessore $5.00 \div 11.00$ m, costituita dai *Depositi alluvionali recenti ed attuali* a dominante ghiaiosa e sabbioso ghiaiosa ed una sottostante, con spessore $18.00 \div 28.00$ m, costituita dalle *Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga*, a dominante sabbioso limosa e argillosa, con ghiaie subordinate.

Questa ripartizione degli orizzonti ricavata dai sondaggi e dalle prospezioni sismiche VEL, appare piuttosto evidente anche nel sito di interesse che si trova in posizione quasi baricentrica rispetto ai siti di indagine.

Analizzando infatti la prospezione MASW eseguita si evidenzia un primo sismostrato dello spessore di circa 12.50 m con $214 < V_s < 282$ m s⁻¹ che può essere attribuito ai depositi superficiali a dominante ghiaiosa dei *Depositi alluvionali recenti ed attuali*.

Nella parte inferiore del livello potrebbe tuttavia essere presente un orizzonte di $0.50 \div 1.00$ m di ghiaie attribuibili alla formazione delle *Argille sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga*.

Al di sotto si trova un sismostrato dello spessore di 19.00 m con V_s di 504 m s⁻¹, che può essere attribuito ai depositi sabbio limosi, talora debolmente cementati e argilloso sabbiosi, con ghiaie subordinate della formazione delle *Argille sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga*.

Alla base si trova un sismostrato, indagato solo parzialmente, con V_s circa 1368 m s⁻¹, attribuibile alla formazione delle arenarie feldspatiche del Macigno che rappresenta il substrato rigido.

La ricostruzione descritta è congruente con la stratigrafia ottenibile interpolando i dati dei sondaggi VEL che si riportano sinteticamente di seguito:

S1

0.00 m – 11.00 m	Alternanze di ghiaie in matrice sabbiosa e limosa e sabbie medio fini a tratti limose <i>Depositi alluvionali recenti ed attuali</i>
11.00 m – 39.00 m	Alternanze di sabbie fini prevalenti e sabbie limoso argillose grigio verdi con livelli decimetrici di ghiaie. Da 28.4 m circa alternanza di argille, sabbie limose e ghiaie <i>Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga</i>
39.00 m – 53.00 m	Arenarie quarzoso feldspatiche, alterate o molto alterate nella parte superiore Formazione di Macigno

S3

0.00 m – 5.00 m	Limi sabbiosi superficiali seguiti da ciottoli e ghiaie anche grossolane arrotondate con alternanze sabbiose <i>Depositi alluvionali recenti ed attuali</i>
5.00 m – 23.00 m	Sabbie e sabbie limose grigio verdi molto addensate e debolmente cementate <i>Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga</i>
23.00 m – 27.00 m	Arenarie quarzoso feldspatiche Formazione di Macigno

Interpretazioni ed incertezze nella definizione del modello:

Il modello è congruente con il graben del Fiume Serchio che è stato colmato a più riprese dai sedimenti provenienti dallo smantellamento della catena appenninica; la coltre alluvionale si è depositata sia come sedimenti di tipo fluviale e/o di conoide, ambiente di energia alta o medio alta, sia come sedimenti di tipo fluviolacustre dei bacini intermontani, ambiente di energia da bassa o medio bassa fino a media.

In questo modello lo spessore dei sedimenti alluvionali che ricoprono il basamento rigido tende a crescere in senso monte – valle.

L'incertezza del modello è dovuta alla presenza di possibili strutture sepolte per cui l'aumento dello spessore dei sedimenti alluvionali potrebbe non essere graduale, bensì improvviso per la presenza di rigetti di faglia.

In aggiunta la profondità della formazione del Macigno, dedotta nel sito di indagine solo su base sismostratigrafica, potrebbe non essere esatta, in quanto ci sono tratti della soprastante formazione delle *Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga* che sono cementati e difficilmente distinguibili dalle arenarie feldspatiche alterate o molto alterate del Macigno.

Quanto detto ha valore solo da un punto di vista stratigrafico, in quanto meccanicamente hanno sostanzialmente lo stesso comportamento.

Indicazione della Classe di qualità ottenuta applicando la “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS”;

Non necessaria per indagini di Variante di questo tipo

Metodologie di elaborazione e risultati finali

Nello studio effettuato, data la limitata estensione dell'area da indagare, la fonte principale di dati è stata quella degli studi VEL condotti nell'area; tuttavia considerando anche la destinazione d'uso si è integrato il quadro conoscitivo con indagini specifiche in situ.

In dettaglio si è condotto un approfondimento con indagini sismiche di tipo MASW e di tipo HVSR per i cui dettagli di elaborazione dei dati si rimanda all'apposito allegato.

I risultati finali sono stati congruenti e in linea con quanto verificato negli studi VEL; in particolare l'indagine MASW ha messo in evidenza dei contrasti di V_s piuttosto marcati fra il substrato rigido (Macigno) e la copertura alluvionale e anche all'interno di questa ha evidenziato un contrasto, meno marcato sebbene apprezzabile, fra le *Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga* e i *Depositi recenti e attuali*.

Se, in base ai risultati ottenuti dall'indagine, si considera il rapporto di impedenza sismica I fra il substrato e la copertura:

$$I = \frac{\rho_s \cdot Vs_s}{\rho_c \cdot Vs_c}$$

si ottiene un valore di 2.97 fra il Macigno e la formazione di Fornaci di Barga e un valore di 1.98 fra quest'ultima e le alluvioni subito soprastanti.

Se si prendessero in considerazione i valori medi si avrebbero rapporti di impedenza ancora maggiori, con valori di 4.79 fra substrato rigido e copertura s.l. e di 2.25 fra formazione di Fornaci di Barga e Depositi alluvionali recenti ed attuali.

I risultati dell'indagine HVSR indicano a loro volta la presenza di un picco f_0 intorno alla frequenza di 2.7÷2.8 Hz e anche di un picco secondario di poco superiore ai 3.0 Hz; questi valori appaiono congruenti con quanto appena descritto.

In conclusione l'approfondimento di indagine ha messo in luce la presenza di orizzonti che con un rapporto di impedenza superiore a 2 o comunque molto prossimo a tale valore, possono dare origine a significativi fenomeni di amplificazione sismica.

Elaborati cartografici:

Nell'ambito degli studi di microzonazione sismica di Livello 1 per l'area interessata sono state prodotte le seguenti cartografie:

Carta delle indagini – Nella carta delle indagini, redatta in scala 1:2.000, sono state riportate le indagini pregresse sia del Programma VEL che di altri soggetti che ricadevano in un intorno significativo e prossimo all'area di Variante. Le indagini sono state individuate utilizzando la simbologia e le specifiche tecniche previste dalla "Commissione Nazionale per la Microzonazione Sismica" del DPC.

Carta geologico tecnica – La carta geologico tecnica è stata suddivisa in due sezioni: nella prima è stata riportata la cartografia VEL, verificata sul terreno e confrontata con la cartografia geologica di supporto agli studi di PS e RU del Comune di Coreglia; nella seconda, redatta in scala 1:10.000, la cartografia geologica suddetta, revisionata e controllata in loco, è stata riportata utilizzando la simbologia prevista dagli "Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica" redatti dal DPC (versione 2.0beta – II, Giugno 2012)

Carta delle frequenze fondamentali dei depositi

La carta delle frequenze fondamentali dei depositi, redatta in scala 1:2.000, è stata realizzata a partire da misure di rumore ambientale appositamente eseguite per questo lavoro; sulla carta sono stati individuati i punti di misura e per ciascuno di essi è stato riportato lo spettro e il grafico HVSR.

Data la piccola estensione della Variante non è risultata una suddivisione del territorio secondo classi di frequenza, considerato che i picchi di f_0 sono tutti piuttosto simili (2.7 Hz, 2.5 Hz, 2.8 Hz), tuttavia si è voluto dare un'idea della pur contenuta variabilità con una scala colorimetrica.

La presenza nei grafici HVSR di un picco ben individuato e di un picco secondario indica un'area caratterizzata da fenomeni di risonanza con indicativamente uno spessore atteso della copertura compreso fra 30 m e 10 m ($2 \text{ Hz} < f_0 < 8 \text{ Hz}$)

Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

La carta MOPS, redatta in scala 1:2.000, è stata realizzata sulla base delle indagini geologiche e geomorfologiche, sull'analisi dei dati geotecnici pregressi e dei dati geofisici pregressi ed appositamente realizzati.

Nella zona non sono state individuate aree stabili, in quanto affiora solamente la copertura alluvionale; i criteri seguiti sono stati il rilevamento geologico diretto e l'analisi dei dati geologico tecnici pregressi (VEL) ed appositamente realizzati.

La ricostruzione del modello geologico tecnico ha messo in evidenza la presenza di un substrato rigido, rappresentato dalla formazione del Macigno (profondità "alcune decine di metri" e stimabile in 30.00 ÷ 32.00 m), sormontato da sedimenti alluvionali a loro volta suddivisibili in una porzione inferiore a diretto contatto con il substrato, rappresentata dalle *Argille sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga* (profondità "alcune decine di metri" e stimabile in 12.00 ÷ 15.00 m) e in una porzione superficiale a dominante sabbioso ghiaiosa rappresentata dai *Depositi alluvionali recenti ed attuali* (spessore "una decina di metri" e stimabile in 12.00 ÷ 13.00 m).

Il contrasto di impedenza sismica fra i vari orizzonti appare "alto" in particolare fra substrato e copertura.

In questa situazione, in base anche ai risultati delle indagini effettuate, è prevedibile l'occorrenza di un effetto di amplificazione prodotta dall'azione sismica.

Il livello di approfondimento per tale area dovrà consistere in un'indagine sismica a rifrazione che metta in luce eventuali strutture sepolte, come gradini di faglia quale tipologia probabile in questo settore e in un sondaggio che confermi le ipotesi del modello geologico formulate sulla base dei dati geofisici appositamente svolti.

4 VALUTAZIONI DI PERICOLOSITÀ

Sulla base di quanto esposto in precedenza l'area di Variante è stata caratterizzata in funzione dello stato di pericolosità per diversi fattori (geologici, idraulici e sismici) con l'indicazione degli eventuali condizionamenti alla trasformabilità.

4.1 Pericolosità geomorfologica

Negli studi geologici di supporto al RU del Comune di Coreglia Antelminelli la zona è classificata in larga misura nella classe G.1 – pericolosità geologica bassa e per un piccolo settore a Nord nella classe G.3 – pericolosità geologica elevata.

La classe G.1 deriva dal fatto che si tratta di una zona di fondovalle, dove affiorano alluvioni terrazzate a dominante sabbioso ghiaiosa, talora limosa in superficie, con acclività bassa o molto bassa.

La classe G.3, in accordo con gli studi del PTC, è stata attribuita ad un settore potenzialmente esposto a colate detritiche veicolate dal Rio Dezza potenzialmente verificabili in occasione di eventi meteorici molto intensi che potrebbero attivare e/o riattivare i movimenti franosi presenti nella valle del torrente a monte del sito di interesse in concomitanza con episodi di piena del corso d'acqua.

Tale zona di forma circa triangolare, ha il suo apice allo sbocco del torrente nella valle e termina subito a monte della viabilità che porta al nuovo ponte.

Le indagini svolte nel presente lavoro e i risultati ottenuti permettono di confermare il grado di pericolosità definito in precedenza e le relative aree:

Pericolosità geologica bassa (G.1) - aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfologici

Pericolosità geologica elevata (G.3) - aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con potenziale instabilità connessa 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 25%.

4.2 Pericolosità idraulica

Nella carta della pericolosità idraulica di supporto al RU del Comune di Coreglia Antelminelli la zona è inserita nella classe I.1: *pericolosità idraulica bassa*, mentre negli studi del PAI è fuori della perimetrazione della piena duecentennale e rientra solo nelle aree di pertinenza fluviale collocate oltre rilevati infrastrutturali o morfologicamente più elevate.

Tuttavia nello studio idraulico realizzato per la costruzione del nuovo ponte sul Rio Dezza (Dott. Ing. M. Ceccarelli; 2006) si evidenzia che "A monte della sezione ove è prevista la nuova opera di attraversamento è presente un ponticello privato (...)".

La relazione prosegue dicendo che "una volta realizzato il nuovo attraversamento verrà demolito il ponticello esistente e contemporaneamente verrà risagomato il tratto di alveo compreso fra la sezione 2 e la sezione 5, rimuovendo pertanto la situazione di rischio idraulico esistente".

In seguito al capitolo 5 *Verifiche idrauliche* si riporta "Dall'esame del profilo longitudinale si evidenzia che il transito della Q_{200} avviene con un grosso fenomeno di rigurgito provocato dal ponticello privato posto in corrispondenza della sezione 4, tale rigurgito determina il superamento con il profilo liquido delle quote di sponda nel tratto a monte del ponticello. Da notare che in corrispondenza del tratto sopra detto ed a valle lungo la via di Lucignana sono presenti numerose abitazioni."

Pertanto si ritiene che l'area di Variante debba essere inserita nelle aree con pericolosità idraulica media I.2 *aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < TR < 500$ 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 e idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrono le seguenti condizioni: a) non vi sono notizie storiche di inondazioni; 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.*

4.3 Pericolosità sismica

La zona negli studi di supporto al RU del Comune di Coreglia Antelminelli era classificata secondo il DPGR 26/R e rientrava nella tipologia delle situazioni 9 *depositi alluvionali granulari e/o sciolti* e 11 *conoidi alluvionali e detritici* per le quali come possibile effetto del sisma era attesa una *amplificazione diffusa del moto del suolo dovuta alla differenza di risposta sismica tra substrato e copertura dovuta a fenomeni di amplificazione stratigrafica*; per questi motivi era stata attribuita una pericolosità sismica di classe 3s – elevata.

Alla luce delle indagini svolte e dei risultati degli studi di microzonazione di livello 1 appare evidente la possibilità di amplificazione sismica per un alto contrasto di impedenza sismica fra substrato e copertura e con buona probabilità anche all'interno della copertura stessa.

Pertanto l'area di Variante è stata inserita nella classe di *pericolosità sismica locale elevata (S.3) - zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una 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 i comuni 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 creare deformazione in superficie); zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri.*

5 FATTIBILITÀ

La fattibilità dell'area di Variante, considerata la piccola estensione, è stata assegnata in base all'intervento previsto ossia alla realizzazione di un nuovo edificio scolastico.

I criteri seguiti sono quelli dettati dal RU del Comune di Coreglia Antelminelli: *adeguamento delle carte di pericolosità, geomorfologica, sismica e idraulica di supporto al piano strutturale e definizione della fattibilità degli interventi previsti dal regolamento urbanistico ai sensi del D.P.G.R. 27/04/07 n. 26/R.*

Tali criteri prevedono l'uso di una matrice che incrocia il grado di pericolosità del sito con la tipologia degli interventi previsti; nel caso in oggetto l'intervento è assimilabile alla categoria 3: *Nuove infrastrutture e attrezzature pubbliche.*

Le premesse e le indicazioni del RU sono state ritenute tutt'ora valide, aggiornate rispetto alla Normativa vigente e le prescrizioni calibrate sull'intervento previsto.

La fattibilità delle rispettive classi è così definita dal DPGR 53/R:

Fattibilità senza particolari limitazioni (F1): si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

Fattibilità con normali vincoli (F2): si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

Fattibilità condizionata (F3): si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi

Fattibilità limitata (F4): si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali la cui attuazione è subordinata alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza che vanno individuati e definiti in sede di redazione del medesimo regolamento urbanistico, sulla base di studi, dati da attività di monitoraggio e verifiche atte a determinare gli elementi di base utili per la predisposizione della relativa progettazione.

5.1 Fattibilità geologica e geotecnica

TIPOLOGIA DEGLI INTERVENTI		GRADO DI PERICOLOSITÀ			
		G.1	G.2	G.3	G.4
FATTIBILITÀ					
3	<i>Nuove infrastrutture e attrezzature pubbliche</i>	<i>II</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>

Sulla base della matrice riportata la fattibilità geologica e geotecnica per l'area di Variante è di classe F.2 per la zona di pericolosità geologica G.1 e di classe F.3 per la zona di pericolosità G.3.

Prescrizioni per la fattibilità F.2:

Le indagini di approfondimento dovranno fornire direttamente tutti i parametri necessari a quanto richiesto dal D.M. 14/01/2008 NTC e dal DPGR 9/07/2009 n° 36/R.

In particolare dovrà essere valutata l'eventuale presenza di lenti e/o livelli di materiale sottile e/o con componente organica, talora presente nelle zone adiacenti, che potrebbe dare origine a fenomeni di cedimento differenziale

Prescrizioni per la fattibilità F.3:

La imitata zona ricadente nella pericolosità G.3 è inserita in questa classe a causa della potenziale vulnerabilità da colate detritiche torrentizie; pertanto, considerate le condizioni morfologiche non dissimili dall'adiacente zona G.1, valgono, oltre le stesse prescrizioni, indicazioni prescrittive specifiche.

In dettaglio, riprendendo quanto riportato nel RU *Nelle aree vulnerate da colate detritiche torrentizie, già classificate in classe di pericolosità 1d, 2d, 3d e 4d ai sensi del P.T.C. e inserite rispettivamente in classe di pericolosità geomorfologica G.1, G.2, G.3 e G.4 ai sensi del 26/R, la fattibilità degli interventi e le trasformazioni ammissibili, oltre che alle prescrizioni previste dal 26/R conseguenti alla classe di fattibilità degli stessi, sono soggette alle limitazioni e prescrizioni già definite nell'art. 17 delle Norme di Attuazione redatte a supporto del Piano Strutturale, alle quali si fa riferimento*

5.2 Fattibilità sismica

TIPOLOGIA DEGLI INTERVENTI		GRADO DI PERICOLOSITÀ			
		S.1	S.2	S.3	S.4
FATTIBILITÀ					
3	<i>Nuove infrastrutture e attrezzature pubbliche</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>

Sulla base della matrice riportata la fattibilità sismica per l'area di Variante è di classe F.3 per la zona di pericolosità sismica S.3.

Prescrizioni per la fattibilità F.3:

Si riprendono le prescrizioni del RU sottolineando per il sito della Variante la necessità di definire le geometrie sepolte con indagini sismiche mirate, considerato che nei livelli di approfondimento già eseguiti è emerso il contrasto di rigidità fra i vari orizzonti che può dare origine a fenomeni di amplificazione.

5.3 Fattibilità idraulica

TIPOLOGIA DEGLI INTERVENTI		GRADO DI PERICOLOSITÀ			
		I.1	I.2	I.3	I.4
FATTIBILITÀ					
3	Nuove infrastrutture e attrezzature pubbliche	I	II	IV	IV

Sulla base della matrice riportata la fattibilità idraulica per l'area di Variante è di classe F.2 per la zona di pericolosità idraulica I.2.

Prescrizioni per la fattibilità F.2:

La zona di Variante rientra nel PAI nelle zone con pericolosità idraulica P2a normate dall'art. 23 e pertanto è soggetta alle sue prescrizioni: *P2a – “aree di pertinenza fluviale, collocate oltre rilevati infrastrutturali (rilevati stradali, ferroviari, etc.) o localmente caratterizzate da una morfologia più elevata”, sono consentite le opere che comportino trasformazioni edilizie e urbanistiche, a condizione che venga documentato dal proponente, ed accertato dall'autorità amministrativa competente al rilascio dell'autorizzazione, il superamento delle condizioni di rischio conseguenti a fenomeni di esondazione e ristagno, o che siano individuati gli interventi necessari alla mitigazione di tale rischio, da realizzarsi contestualmente alla esecuzione delle opere richieste.*

In aggiunta la verifica idraulica eseguita sul Rio Dezza in occasione della realizzazione del nuovo ponte adiacente l'area di Variante ha messo in luce una criticità dovuta ad un fenomeno di rigurgito per la presenza di un piccolo ponte privato in occasione della piena duecentennale, con superamento con il profilo liquido delle quote di sponda.

Pertanto dovrà essere verificato il potenziale raggiungimento dell'area di Variante da parte del flusso di Q_{200} e dovranno essere adottate le contromisure necessarie al superamento del rischio consistenti nella rimozione dell'elemento perturbatore, come richiesto nella relazione idraulica, oppure nel confinamento idraulico dell'area di interesse.

Si dovrà tenere conto che in caso di eventi pluviometrici estremi l'evoluzione dei movimenti franosi presenti lungo il Rio Dezza potrebbe interessare, seppure marginalmente, l'area di Variante e accentuare il fenomeno di rigurgito riducendo la luce di passaggio del ponte.

A questo proposito si dovrà valutare la possibilità di eseguire nella parte N dell'area di Variante delle opere di difesa.

In aggiunta dovrà essere verificato che nel tratto dell'area di Variante adiacente al corso d'acqua, constatata la morfologia dell'arginatura, non ci siano aperture per il deflusso delle acque meteoriche

che, se non protetti da sistemi anti rigurgito, potrebbero veicolare il flusso di piena in senso opposto a quello di naturale deflusso.

Calavorno, 28 Dicembre 2012

dott. geol. Florindo Granucci

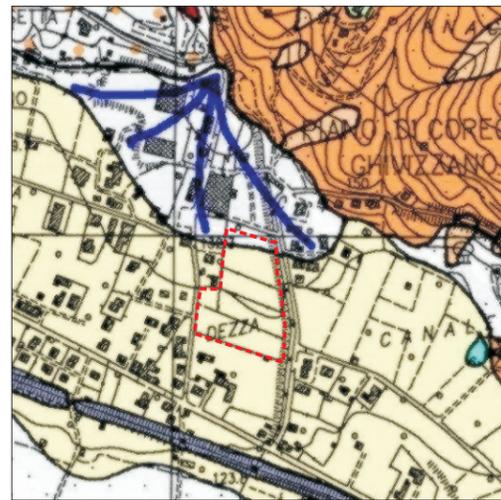
6 ALLEGATI

COROGRAFIA scala 1:25.000
IGMI Foglio 250 Sez. II Bagni di Lucca

ridis.

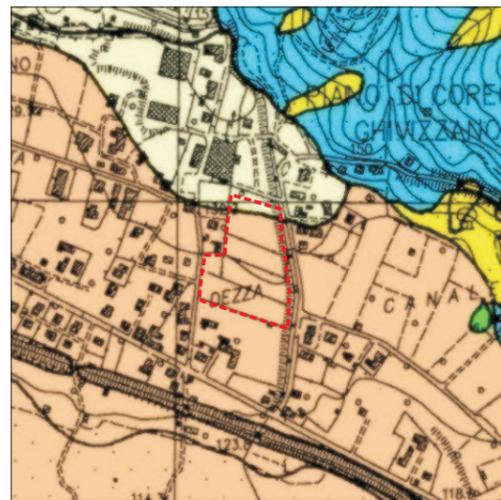


Carta geologica PS Coreglia Antelminelli



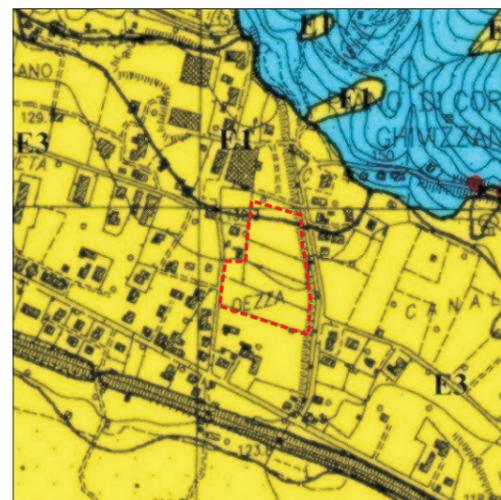
Conoidi di deiezione (ed), (Olocene)
 Alluvioni recenti e attuali: ghiaie e sabbie prevalenti (all); alluvioni recenti (all₁) e attuali (all₂) ove distinte (Olocene)

Carta idrogeologica PS Coreglia Antelminelli



Depositi sabbioso-ghiaiosi a permeabilità medio alta (all)
 Depositi sabbioso ghiaiosi cementati e/o a matrice limo-sabbiosa a permeabilità da media a bassa (at, ct/mg, cg, ed)

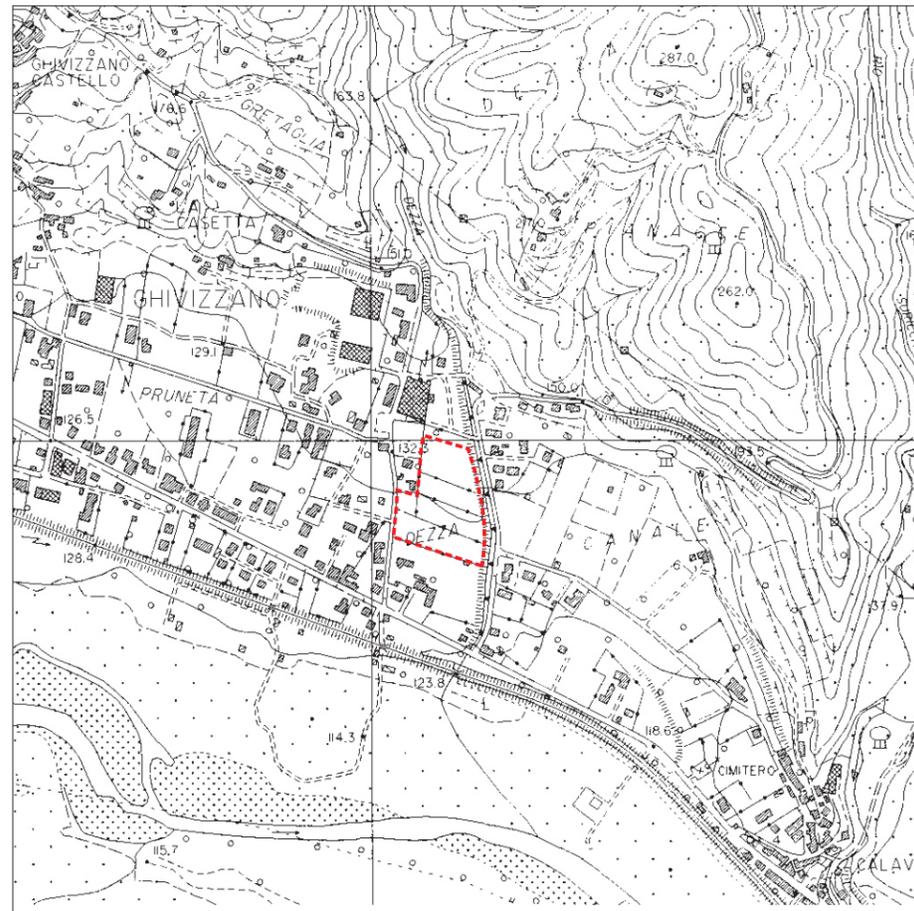
Carta litotecnica PS Coreglia Antelminelli



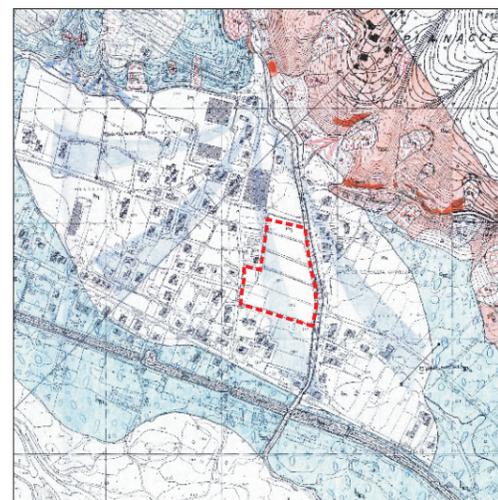
E1 - ciottoli o blocchi dominanti: Depositi alluvionali terrazzati antichi e recenti; Alluvioni mobili; Destrati; Riperti; Corsi di frana attivi e aversiventi.
 E3 - sabbie dominanti: Depositi alluvionali recenti e attuali; Antiche sponde morfologiche con o senza deposito alluvionale

Cartografia del P.S. e del R.U. del Comune di Coreglia Antelminelli
Cartografia VEL e Regione Toscana (fuori scala)

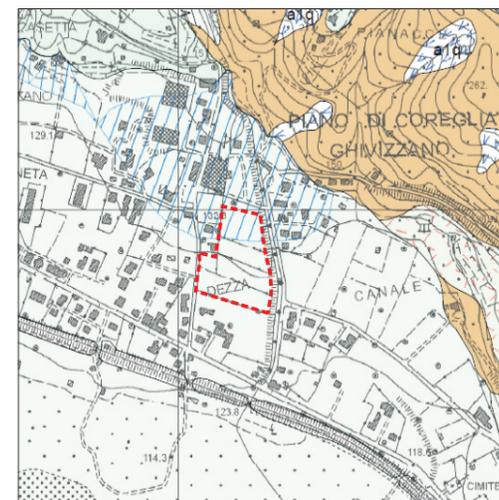
COROGRAFIA scala 1:10.000
 CTR Sezione n° 250150
 ridis.



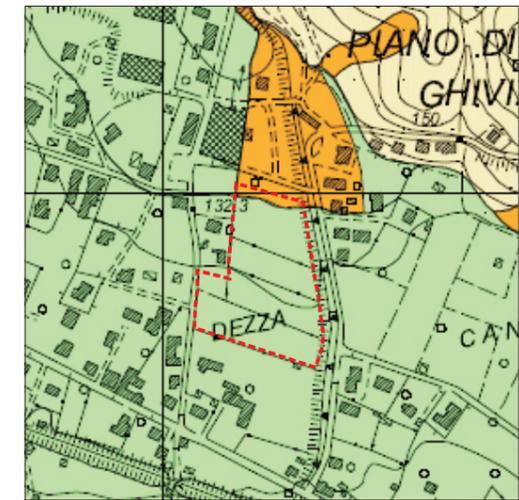
Carta geologica VEL Ghivizzano



Carta geologica Regione Toscana sezione 250150

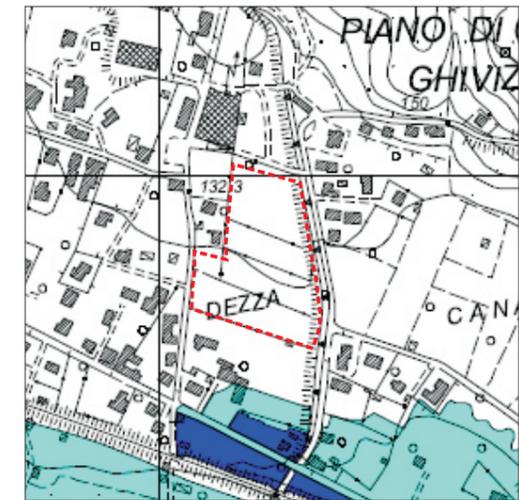


Pericolosità geomorfologica RU Coreglia Antelminelli



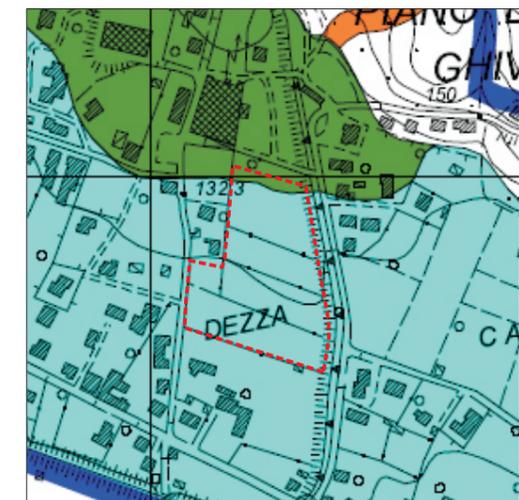
G.1 BASSA
 G.3 ELEVATA

Pericolosità idraulica RU Coreglia Antelminelli



I.1 BASSA

Pericolosità sismica RU Coreglia Antelminelli



9 Depositi alluvionali granulari e/o sciolti
 11 Conoidi alluvionali e/o coni detritici

S3

6.4 Indagini sismiche MASW e HVSR

INDAGINI GEOFISICHE

Analisi Multicanale delle Onde Superficiali (MASW) e Misure del Rumore Sismico Ambientale (HVSr)

COMMITTENTE: Dott. Geol. Florindo Granucci

OGGETTO: Esecuzione di analisi multicanale delle onde superficiali (MASW) e misure di rumore sismico ambientale (Metodo HVSr) a supporto della progettazione "Realizzazione di un nuovo complesso scolastico".

CANTIERE: Ghivizzano - Coreglia Antelminelli (LU).



RAPPORTO RELATIVO AL GIORNO 15 NOVEMBRE 2012

I N D I C E

1. - Premessa.....	2
2. - Analisi Multicanale delle Onde Superficiali (MASW)	2
2.1. - Sistema di acquisizione (MASW)	3
2.2. - Elaborazione (MASW)	3
2.3. - Risultato della prospezione sismica (MASW)	4
3. - Metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).....	6
3.1. - Sistema di acquisizione (HVSR)	7
3.2. - Elaborazione (HVSR).....	7
3.3. - Risultato delle misure di rumore (HVSR)	8
4. - Conclusioni	8

F I G U R E

Fig. 1 : COROGRAFIA

Fig. 2 : LOGISTICA DELLE INDAGINI

A L L E G A T I

All. 1 : ELABORATI GRAFICI MASW (STR191112A)

All. 2 : ELABORATI GRAFICI MISURE HVSR

1. - Premessa

Per incarico ricevuto dal Dott. Geol. Florindo Granucci sono state eseguite indagini geofisiche in sito finalizzate alla caratterizzazione dei terreni dell'area oggetto di studio ubicata tra Via di Lucignana e Via di Gretaglia nella frazione di Ghivizzano, nel Comune di Coreglia Antelminelli (LU) a supporto del progetto "Realizzazione di nuovo complesso scolastico".

Nell'area oggetto di studio sono state eseguite le seguenti indagini:

- n° 1 Analisi Multicanale delle Onde Superficiali (MASW);
- n° 3 Misure di Rumore Sismico Ambientale (HVSAR).

L'area e la logistica delle indagini sono riportate rispettivamente in figura 1 (*Corografia*) e in figura 2 (*Logistica delle indagini*).

Si fa presente che il Comune di Coreglia Antelminelli ricade nel programma VEL (Valutazione degli Effetti Locali) della Regione Toscana. Nello specifico, nell'area di Ghivizzano sono state eseguite indagini di tipo geognostico (sondaggi a carotaggio continuo) e di tipo geofisico (sismica a rifrazione e prove sismiche in foro), le quali hanno permesso di ricostruire un modello sismo-stratigrafico (spessori e velocità delle onde sismiche) sul quale poter tarare le indagini trattate in questa relazione.

L'analisi specifica dei dati elaborati rimane comunque a carico del "geologo" responsabile dell'indagine; le considerazioni esposte di seguito in merito alla "categoria di suolo" e all'elaborazione delle misure di rumore sismico ambientale, si devono intendere come mera interpretazione dei risultati ottenuti.

2. - Analisi Multicanale delle Onde Superficiali (MASW)

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde di volume o di corpo (onde P e S - "Body Waves"), più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di ONDE SUPERFICIALI ("Surface Waves"), la cui componente principale è rappresentata dalle onde di Rayleigh ("Ground Roll").

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica geofisica limitatamente invasiva di recente applicazione che, attraverso l'analisi delle onde di superficie (dispersione), ha lo scopo di ottenere profili V_S -Z (velocità delle onde di taglio - profondità).

Il fenomeno dispersivo delle onde superficiali (nel nostro caso onde di Rayleigh) si manifesta in un mezzo stratificato, in quanto diverse lunghezze d'onda si propagano con velocità di fase differente. A sua volta la velocità di fase dipende dalla frequenza e tale dipendenza viene espressa attraverso la curva di dispersione.

Esiste un relazione fondamentale che lega i tre parametri fondamentali che descrivono la propagazione nello spazio di un'oscillazione:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

dove:

λ	lunghezza d'onda (misurata in metri);
f	frequenza (in Hz);
v	velocità di propagazione (in m/s).

A tal proposito, la profondità di esplorazione massima raggiungibile dipende dalle caratteristiche del mezzo dalla superficie fino ad una profondità indicativamente pari al valore di $\lambda/2$ o $\lambda/3$. In riferimento a quest'ultimo aspetto, è buona regola operare con geometrie di acquisizione di lunghezza D prossima al doppio della profondità che si vuole indagare. Inoltre, è utile adoperare una distanza intergeofonica piccola (non superiore ai 2 metri) in modo tale da ottenere informazioni anche sugli strati più superficiali.

Il software qui utilizzato per il processing dei dati sismici acquisiti in campagna è *WinMASW 5.0 ver. Professional*, che consente di ricavare il profilo verticale delle Vs. Tale risultato viene ottenuto tramite l'inversione delle curve di dispersione delle Onde di Rayleigh.

2.1. - Sistema di acquisizione (MASW)

Per l'acquisizione è stato utilizzato un sismografo a 48 canali ECHO 24-48/2012 dell'AMBROGEO di Piacenza, collegato ad un pc portatile su cui è installato programma di acquisizione Echo2012, aventi le seguenti caratteristiche principali:

- Numero di canali: 48+1;
- A/D conversion: 24 bit;
- Gain: 0 dB – 72 dB (step 6 dB);
- Sampling interval: 32, 64, 128, 256, 480, 960 μ s;
- Distorsion: 0,0004%;
- Noise: 0,25 μ s, 2ms 36dB;
- Stacking trigger accuracy: 1/32 of sample interval;
- Max input signal: 5Vpp, 0dB.

Inoltre, l'attrezzatura è completata da due cavi sismici a 24 takes out spaziatiti a 2,5 m, con connettori cannon a cui vengono attaccati 48 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5Hz per la ricezione delle onde R (Rayleigh).

Come massa battente è stata utilizzata una mazza di 8 kg, battente su piastra in duralluminio con interruttore starter e cavo trigger.

2.2. - Elaborazione (MASW)

Il metodo MASW si articola in tre passaggi successivi:

- Acquisizione delle onde superficiali di Rayleigh ("Ground Roll") da effettuarsi in campagna con apposita strumentazione;
- Costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- Inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Il primo punto riguarda la prova MASW eseguita "in situ" per ottenere il sismogramma relativo alle onde di Rayleigh. I passaggi successivi fanno riferimento all'elaborazione dei dati acquisiti in campagna mediante pc, utilizzando il software winMASW 5.0 ver. Professional. Il primo passo, una volta caricati i dati di campagna (sismogramma delle onde di Rayleigh) è quello di calcolare lo spettro di velocità e successivamente procedere con il *picking* della curva di dispersione.

Infine l'ultimo passaggio riguarda l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata". Questa viene effettuata grazie all'utilizzo di una potente tecnica di ottimizzazione (algoritmi genetici) da parte del software utilizzato. Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione.

I risultati delle prospezioni vengono restituiti in allegato che include i grafici dei vari passaggi necessari per ottenere il grafico del profilo verticale delle Vs. In particolare come allegati vengono forniti:

- Traccia sismica registrata ad ogni geofono per lo sparo effettuato (input file);
- Spettro di velocità e Curva di Dispersione (picking);
- Grafico Misfit – Generazione e Profilo verticale Onde S;
- Colonna sismo-stratigrafica.

Attualmente la tecnica MASW, seppur presentando alcuni vantaggi rispetto alla sismica a rifrazione (es. operare in contesti con spazio limitato), è soggetta a limitazioni di tipo teorico (es. strati piano paralleli) e pratico (es. necessità di sorgenti energetiche a bassa frequenza), che unite alle difficoltà interpretative in assenza di un valido modello sismo-stratigrafico, pongono la massima cautela per l'utilizzo di questa tecnica come unico sistema di analisi. Infatti, l'ottimizzazione di tali prospezioni può essere ottenuta con la realizzazione di più stese (sismica a rifrazione per ricostruire l'andamento dei sismostrati) ed eventuali operazioni di taratura con la realizzazione di sondaggi di tipo puntuale (carotaggi, penetrometrie...).

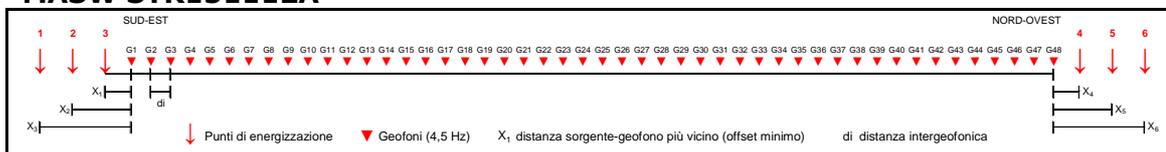
Nel nostro caso abbiamo preso come riferimento i sondaggi geognostici e le prove sismiche (stese sismiche a rifrazione e prove down-hole) eseguite nei pressi dell'area oggetto di studio; inerenti al programma VEL della Regione Toscana.

2.3. - Risultato della prospezione sismica (MASW)

Nell'area oggetto di studio, considerando la logistica del cantiere, è stata eseguita n°1 prospezione sismica MASW denominata "STR151112A" (Fig.2), utilizzando un sistema d'acquisizione a 48 geofoni interspaziati di 1,5 metri

(lunghezza stesa 70,5 metri). La configurazione della stesa è riportata nello schema che segue:

MASW STR15112A



Sono state eseguite sei registrazioni, effettuate con mazza da 8 kg battente su piastra in duralluminio. I sei punti sorgente (shot) sono stati effettuati esternamente alla stesa ad una distanza di 2,0 metri (X₁ – shot 1), 5,0 metri (X₂ – shot 2), 10,0 metri (X₃ – shot 3) dal primo geofono (G.1) e 2,0 metri (X₄ – shot 4), 5,0 metri (X₅ – shot 5), 10,0 metri (X₆ – shot 6) dall’ultimo geofono (G.24). Azimut N110° (SE-NW) riferito al G1.

La scelta di eseguire energizzazioni agli estremi dello stendimento è stata decisa in fase di preparazione all’acquisizione per permettere di analizzare tramite lettura dei sismogrammi, possibili variazioni laterali, non riscontrate nel nostro caso (All.1).

Le registrazioni avvenute in campagna sono state ottenute, in fase di acquisizione, utilizzando la medesima sensibilità per ciascun geofono e senza l’utilizzo di filtraggio delle frequenze.

Di seguito si riporta il modello geofisico che sembra meglio adeguarsi a tutti e sei gli spettri di dispersione (All. 1):

Descrizione probabile degli orizzonti individuati	Velocità Vs (m/s)		Spessori (m)	
	min	max	min	max
Depositi alluvionali attuali e recenti	154	286	2,80	5,20
Depositi alluvionali attuali e recenti	210	390	6,30	11,7
Formazione di Fornaci di Barga	385	715	14,0	26,0
Macigno (Bedrock sismico)	770	1430		

Il modello di suolo sopra riportato rappresenta il modello di partenza (input) per l’analisi della prospezione sismica MASW.

L’analisi MASW ha fornito profili di velocità Vs monodimensionale. Tra i vari modelli ottenuti mediante processo di inversione, viene adottato quello relativo al modello stratigrafico medio. La velocità delle **V_{S,30}** (a partire dal piano campagna) risulta essere pari a:

$$V_{S,30} = 360 \text{ m/s}$$

Per ulteriori dettagli su spessori e velocità ottenute dall’analisi MASW, si rimanda alla colonna sismo-stratigrafica riportata in allegato (All.1).

3. - Metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

Il rumore sismico ambientale deriva dalla composizione di molte sorgenti che agiscono in tempi diversi e in zone diverse. Nel campo di rumore vengono rappresentate sia le onde di volume che le onde di superficie; quest'ultime hanno però carattere dominante in quanto caratterizzate da minore attenuazione.

L'esito di questa prova è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. Quando la stazione di misura è posizionata su basamento sismico affiorante, la curva non mostra picchi significativi ($H/V > 2$) e si attesta intorno a valori di ampiezza 1.

Sul significato fisico del rapporto H/V, un gruppo di studiosi giapponesi mostrarono la sua relazione diretta con la curva di ellitticità delle onde di Rayleigh. Essi conclusero che il picco massimo di ampiezza si verifica alla frequenza di risonanza fondamentale della copertura di terreni. Nel 1989, Nakamura propose in inglese il rapporto H/V come stima affidabile della funzione di trasferimento delle onde S per un dato sito. Le argomentazioni usate da Nakamura sono estremamente qualitative e si basano sull'ipotesi che i microtremori siano originati da sorgenti molto locali, come il traffico vicino al sismometro, e siano onde di Rayleigh che si propagano in un solo strato su un semispazio.

In generale, la stima della frequenza di risonanza sarà tanto più precisa quanto maggiore sarà il contrasto d'impedenza tra copertura e bedrock sismico. È possibile stabilire una relazione fra lo spessore H dei terreni di copertura, la velocità media delle onde S all'interno di quest'ultimo (V_s) e la frequenza di risonanza fondamentale f dello strato:

$$f = \frac{V_s}{4h}$$

Tale tecnica, ampiamente utilizzata da anni nel settore sismologico, di recente viene sempre più impiegata in campo geotecnico/ingegneristico per derivare principalmente i seguenti parametri:

- *la frequenza fondamentale di risonanza f_0 dei terreni presenti nel sottosuolo;*
- *la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio e i relativi modi di vibrare.*

L'ottimizzazione di tale prospezione può essere ottenuta con la realizzazione di più acquisizioni effettuate in tempi diversi lontano dalla sorgente di rumori antropici.

Le indagini HVSR vengono impiegate, per caratterizzare le proprietà elastiche dei materiali ed evidenziare eventuali contrasti d'impedenza sismica presenti nel sottosuolo che sono causa dei fenomeni di amplificazione che si possono verificare durante un evento sismico.

3.1. - Sistema di acquisizione (HVSr)

Per l'acquisizione dei microtremori è stato utilizzato un tromografo triassiale del tipo SR04HS (Geobox) della Sara Instrumenti di Perugia con frequenza propria dei sensori di 2.0 Hz, collegato ad un pc portatile su cui è installato il programma di acquisizione SEISMOWIN realizzato dal fornitore. Di seguito si riportano le caratteristiche principali dei sensori utilizzati:

Sensore Verticale (UD – Up/Down)

- Natural frequency: 2.0Hz (+/- 15%);
- Operational range: Vertical to 7°;
- DC resistance: 1250 ohm (+/- 5%);
- Damping 0.64 (open circuit);
- Moving mass: 22 grams (5%);
- Sensitivity: 40v/m/s (+/- 10%).

Sensori Orizzontali (NS – Nord/Sud; EW – Est/Ovest)

- Natural frequency: 2.0Hz (+/- 15%);
- Operational range: Horizontal +/- 0.5°;
- DC resistance: 1250 ohm (+/- 5%);
- Damping 0.64 (open circuit);
- Moving mass: 22 grams (5%);
- Sensitivity: 40v/m/s (+/- 10%).

3.2. – Elaborazione (HVSr)

Il metodo HVSr si articola in tre passaggi successivi:

- Acquisizione dei microtremori da effettuarsi in campagna con apposita strumentazione;
- Costruzione della caratteristica curva H/V in funzione della frequenza;
- Analisi dei risultati ottenuti, comparando la curva H/V ottenuta con l'andamento degli spettri in funzione della frequenza.

Il primo punto riguarda la prova HVSr eseguita "in situ" (secondo il protocollo SESAME sono necessarie n. 3 acquisizioni per ottenere un dato certo).

I passaggi successivi fanno riferimento all'elaborazione dei dati acquisiti in campagna mediante il pc, utilizzando il software *WinMasw 5.0 ver. Professional*. Il primo passo, una volta caricati i dati di campagna è quello di calcolare la curva H/V e successivamente procedere con la creazione di tabulati e grafici che danno conferma della bontà dei dati acquisiti. Quest'ultimo passaggio di controllo, è la fase più delicata dell'elaborazione, infatti le curve ottenute vengono sottoposte a numerosi controlli di conferma.

I risultati ottenuti includono i grafici dei vari passaggi necessari per ottenere il grafico della frequenza di risonanza. In particolare come allegati vengono forniti:

- Grafico di risposta H/V con evidenziata la Curva H/V;
- Grafico degli spettri delle singole componenti del moto (N-S, E-W e Z);

3.3. - Risultato delle misure di rumore (HVSr)

Al fine di fornire la frequenza di risonanza f_0 dell'area oggetto di studio, sono state eseguite, come richiesto dalla committenza e considerata la logistica del cantiere, tre indagini sismiche HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) nell'area di intervento.

Sono state effettuate tre postazioni di misura (Nk01 – Nk02 – Nk03) della durata di 20 minuti ciascuna, suddivise in fase di elaborazione in finestre di 20 s. Da sottolineare che la postazione Nk01 è stata eseguita al centro della stesa MASW.

Le singole misure sono state soggette alle valutazioni dei criteri SESAME, inseriti nei singoli report di ogni misura (All. 1).

Nel caso in esame, le tre misure hanno riportato risultati molto simili tra di loro, di seguito schematicamente riportati:

Postazione Nk01	$f_0 = 2,7$ Hz	Picco H/V = 3,5
Postazione Nk02	$f_0 = 2,5$ Hz	Picco H/V = 3,3
Postazione Nk03	$f_0 = 2,8$ Hz	Picco H/V = 3,7

Per la visione completa dell'elaborazioni effettuate si rimanda al relativo allegato (All. 2).

4. - Conclusioni

Sulla base dei dati raccolti sul campo e sulle elaborazioni prodotte, è stato possibile evidenziare quanto segue:

Dalle misure di rumore sismico ambientale è stato possibile ricavare la frequenza di risonanza del sito in esame, che è risultata attestarsi intorno a 2,5-2,8 Hz, dovuta probabilmente alla presenza della copertura sul bedrock sismico (Macigno) con spessori variabili da 23 a 39 metri (dati ricavati dalle indagini VEL eseguite ai margini esterni dell'area di studio).

Quest'ultimo dato è avvalorato prendendo a riferimento l'abaco per la stima dello spessore delle coperture (h) a partire dai valori delle frequenze di risonanza (f_0) determinate dalle misure H/V (Albarello et al., 2012), il quale prevede che per frequenze di risonanza comprese tra 2÷3 Hz si hanno spessori della coltre detritica di 30÷50 metri.

Il dato ricavato dall'indagine sismica MASW, in base alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M.14-01-2008) e considerata anche la stratigrafia media supposta per l'area d'indagine, fa ricadere l'area oggetto a cavallo tra la **Categoria di Suolo Sismico C**, ovvero "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m

caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del $V_{S,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{U,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)" e la **Categoria di Suolo Sismico B**, ovvero: "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensato o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30, caratterizzati da un graduale aumento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Da considerare il fatto che la valutazione della $V_{S,30}$ è stata calcolata a partire dal piano campagna. In fase di progetto andrà valutato l'effettivo piano d'imposta delle fondazioni e calcolare la $V_{S,30}$ a partire da quest'ultimo.

A tal proposito si consiglia di effettuare un'analisi di risposta sismica locale per sciogliere ogni dubbio sulla scelta della Categoria di Sottosuolo.

Infine, sono state confrontate le due indagini sismiche effettuate sulla base della formula vista in precedenza (§3), che lega la frequenza fondamentale con lo spessore e la velocità media delle onde S della copertura. Dalla colonna sismo-stratigrafica ottenuta dall'analisi MASW otteniamo una $V_{S,31}$ di circa 364.50 (spessore copertura 31.50 metri), quindi:

$$f = \frac{V_s}{4h} = \frac{364,50}{4 * 31,50} = 2,89 Hz$$

il risultato che otteniamo è paragonabile ai risultati ottenuti dall'analisi dei microtremori.

L'analisi specifica dei dati elaborati rimane comunque a carico del "geologo" responsabile dell'indagine; le considerazioni esposte di seguito in merito alla "categoria di suolo" e all'elaborazione delle misure di rumore sismico ambientale, si devono intendere come mera interpretazione dei risultati ottenuti.

Per ulteriori dettagli sulle indagini svolte si rimanda ai relativi allegati (All.1 - 2).

Lucca, Novembre 2012

BIERREGI srl
Il Responsabile Tecnico
Dott. Geol. Francesco Rossi
BIERREGI s.r.l.
IL RESPONSABILE TECNICO
Dott. Geol. Francesco Rossi



Elaborati Grafici MASW "STR151112A"

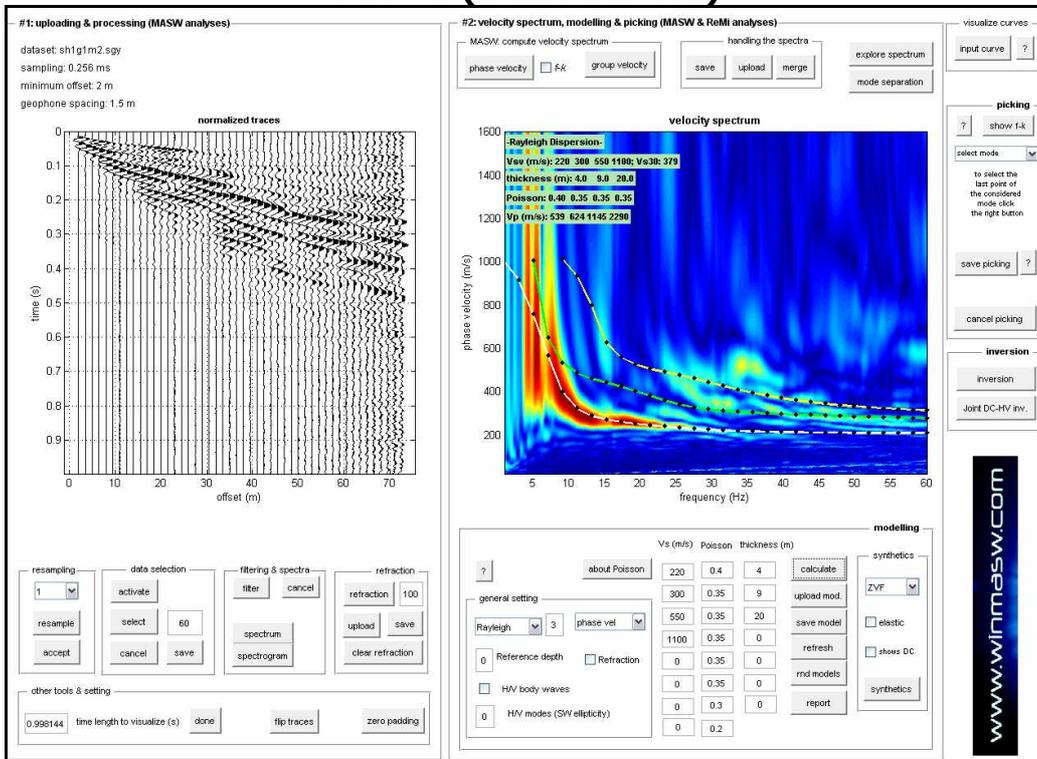
Dati di Campagna

- Sismogrammi e spettri delle sei registrazioni

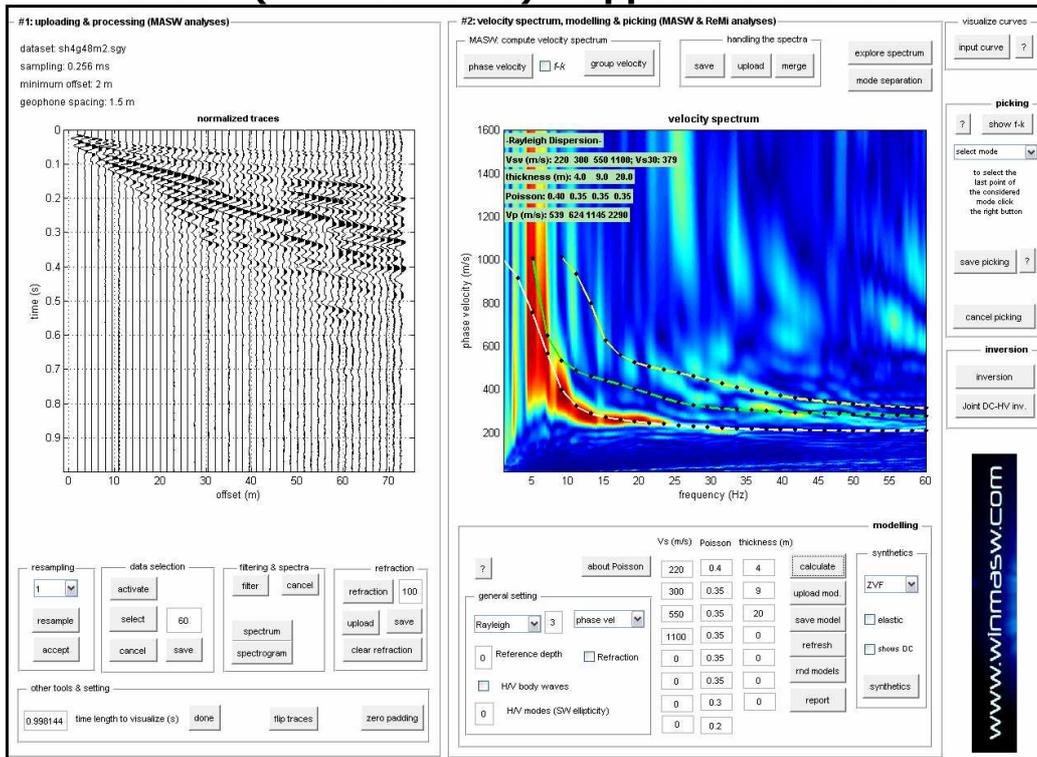
Elaborazione Shot 1 (2 m dal G1)

- Spettro delle Velocità con "Picking"
- Grafico Misfit & Profilo Verticale Onde S
- Colonna sismo-stratigrafica

Shot 1 (a 2m dal G.1)



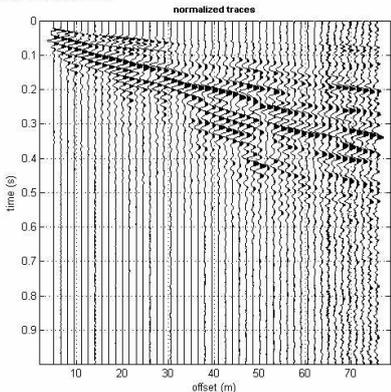
Shot 4 (a 2m dal G.48) - opposto allo Shot 1



Shot 2 (a 5m dal G.1)

#1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: sh2g1m5.sgy
sampling: 0.256 ms
minimum offset: 5 m
geophone spacing: 1.5 m

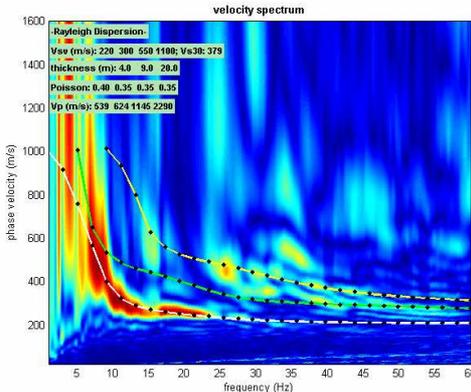


resampling: 1
data selection: activate, select, cancel, 60
filtering & spectra: filter, cancel, spectrum, spectrogram
refraction: 100, upload, save, clear refraction

other tools & setting: 0.998144, time length to visualize (s), done, flip traces, zero padding

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & ReM analyses)

MASW: compute velocity spectrum
handling the spectra: save, upload, merge, explore spectrum, mode separation



Rayleigh Dispersion:
V_{sw} (m/s): 220 300 550 1100; V_{s30}: 379
thickness (m): 4.0 9.0 20.0
Poisson: 0.40 0.35 0.35 0.35
V_p (m/s): 539 624 1146 2290

modelling: V_s (m/s), Poisson, thickness (m)
general setting: Rayleigh 3, phase vel
Reference depth, HV body waves, HV modes (SW ellipticity)
synthetics: calculate, upload mod, save model, refresh, rnd models, report

visualize curves: input curve ?

picking: show f-k, select mode, save picking ?, cancel picking

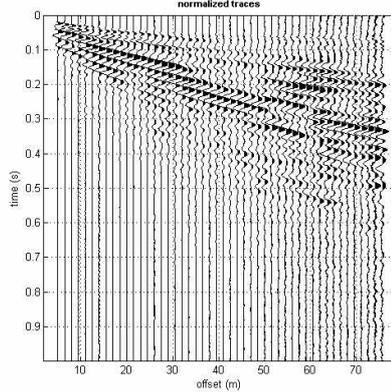
inversion: inversion, Joint DC-HV inv.

www.winmasw.com

Shot 5 (a 5m dal G.48) - opposto allo Shot 2

#1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: sh5g48m5.sgy
sampling: 0.256 ms
minimum offset: 5 m
geophone spacing: 1.5 m

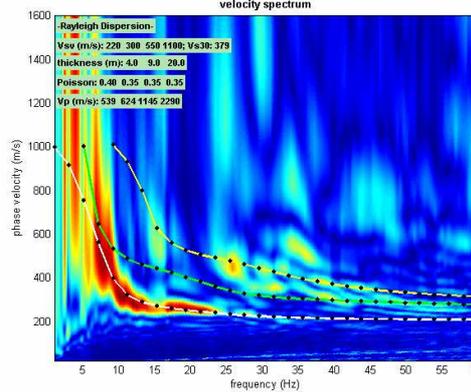


resampling: 1
data selection: activate, select, cancel, 60
filtering & spectra: filter, cancel, spectrum, spectrogram
refraction: 100, upload, save, clear refraction

other tools & setting: 0.998144, time length to visualize (s), done, flip traces, zero padding

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & ReM analyses)

MASW: compute velocity spectrum
handling the spectra: save, upload, merge, explore spectrum, mode separation



Rayleigh Dispersion:
V_{sw} (m/s): 220 300 550 1100; V_{s30}: 379
thickness (m): 4.0 9.0 20.0
Poisson: 0.40 0.35 0.35 0.35
V_p (m/s): 539 624 1146 2290

modelling: V_s (m/s), Poisson, thickness (m)
general setting: Rayleigh 3, phase vel
Reference depth, HV body waves, HV modes (SW ellipticity)
synthetics: calculate, upload mod, save model, refresh, rnd models, report

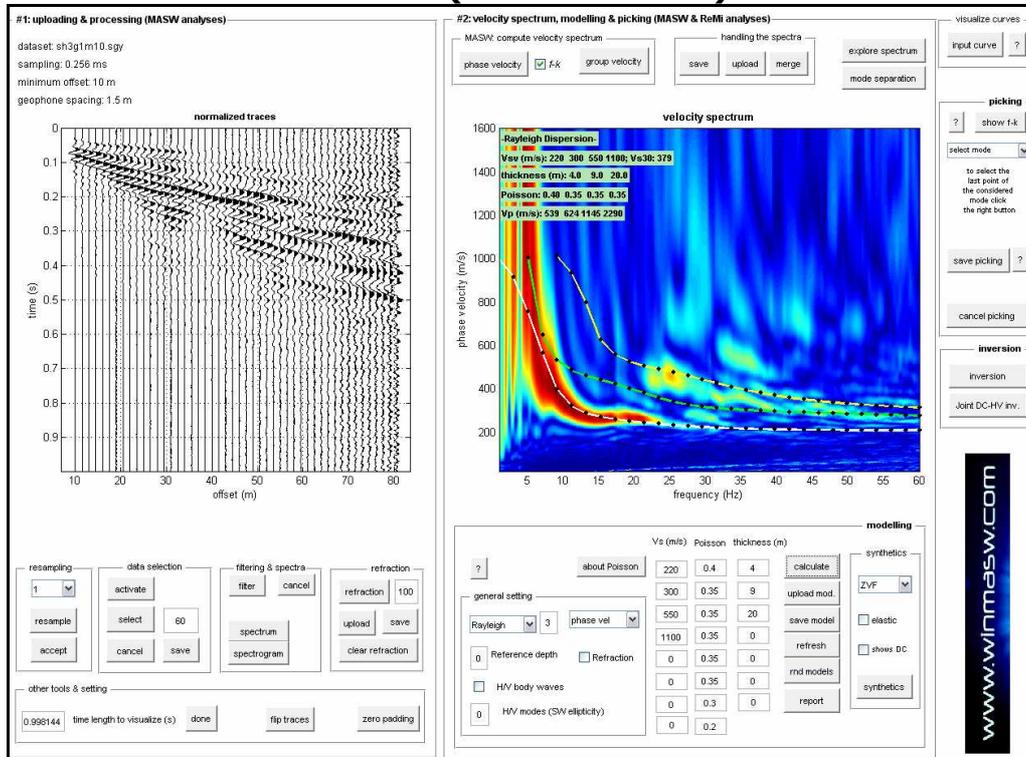
visualize curves: input curve ?

picking: show f-k, select mode, save picking ?, cancel picking

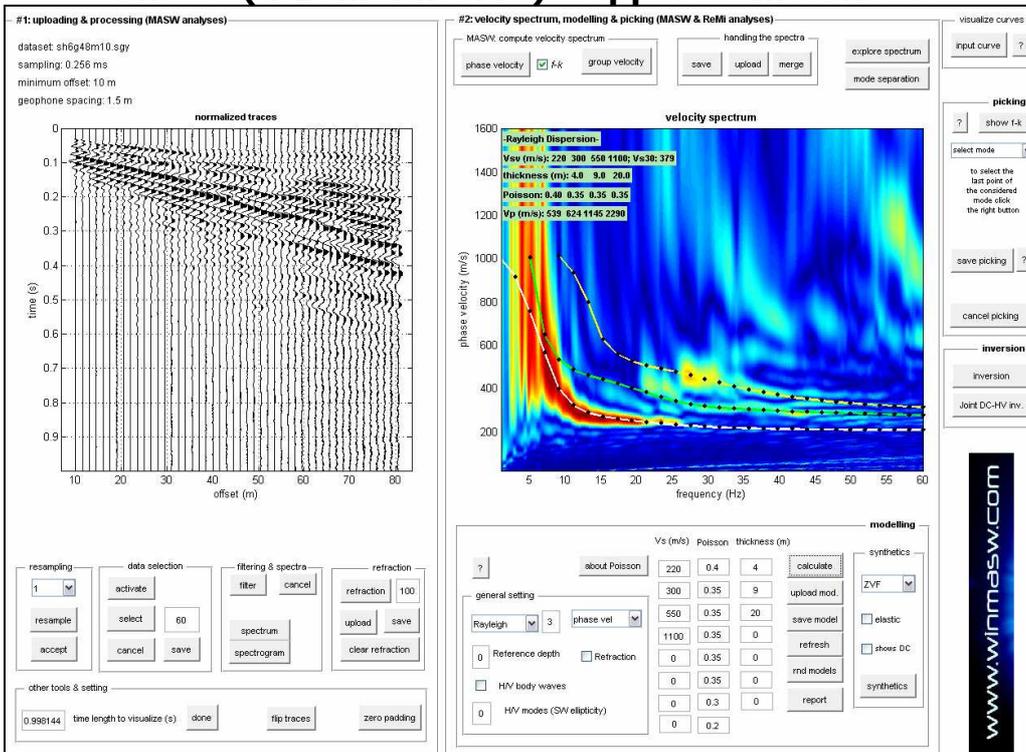
inversion: inversion, Joint DC-HV inv.

www.winmasw.com

Shot 3 (a 10m dal G.1)

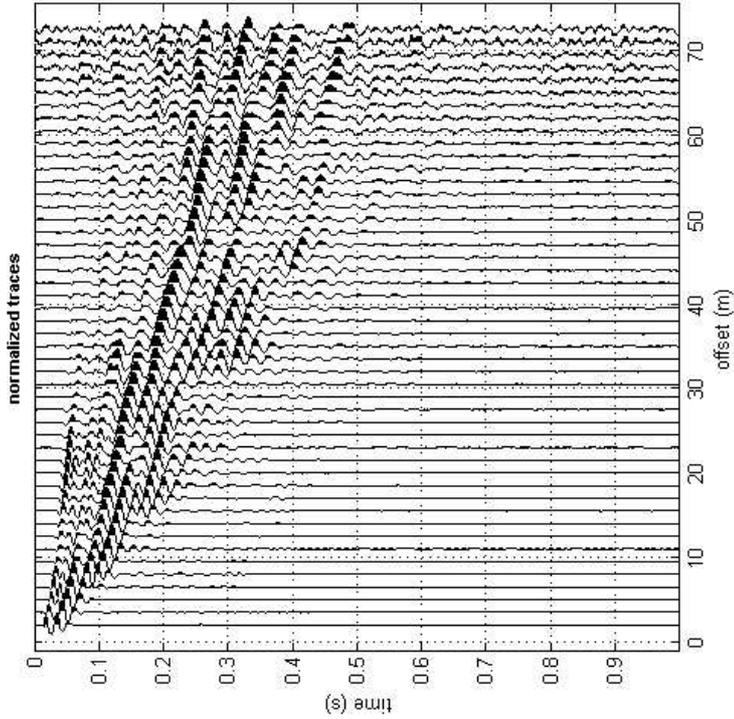


Shot 6 (a 10m dal G.48) - opposto allo Shot 3



#1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: sh1g1m2.sgy
 sampling: 0.256 ms
 minimum offset: 2 m
 geophone spacing: 1.5 m



resampling: 1

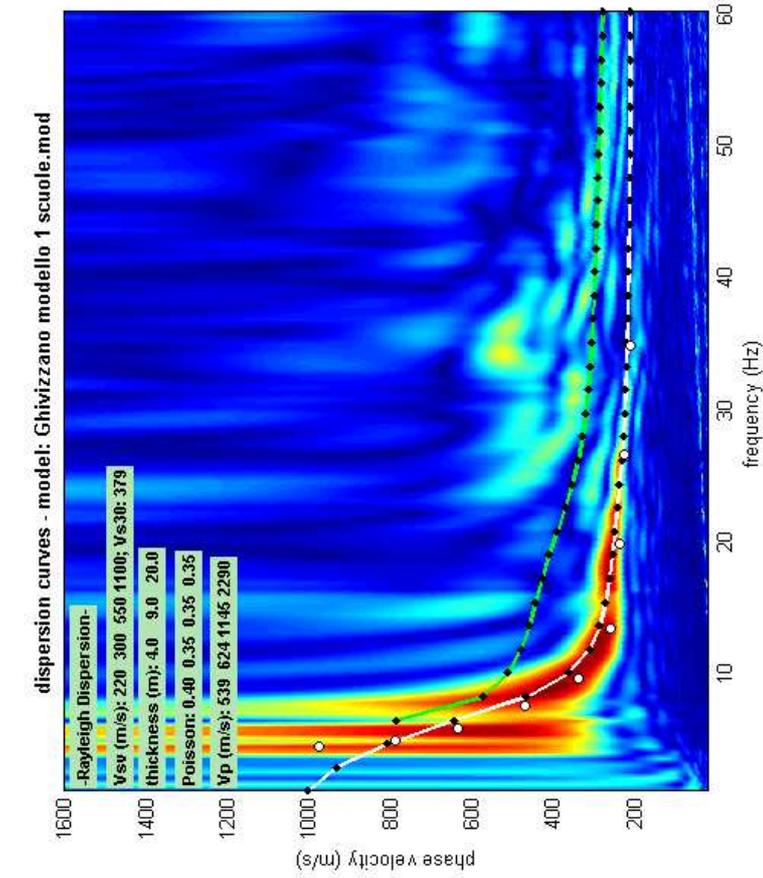
data selection: 60

filtering & spectra: 100

other tools & setting: time length to visualize (s)

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & Refl analyses)

MASW: compute velocity spectrum F-k group velocity



general setting: Refraction HV body waves HV modes (SW ellipticity) 0

Vs (m/s) Poisson thickness (m):

220	0.4	4
300	0.35	9
550	0.35	20
1100	0.35	0
0	0.35	0
0	0.35	0
0	0.3	0
0	0.2	0

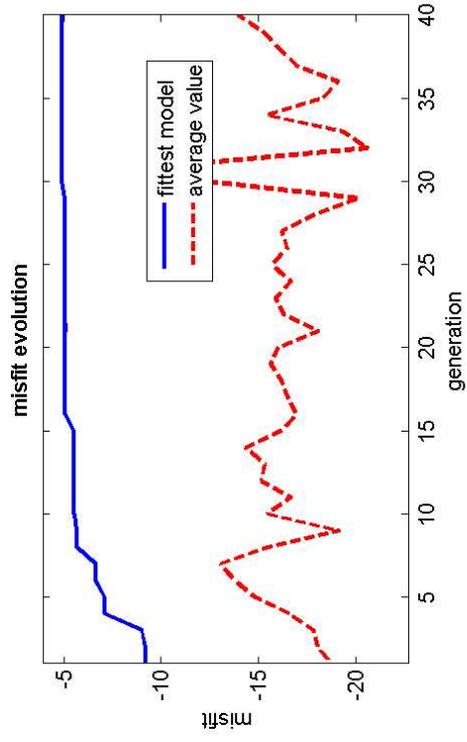
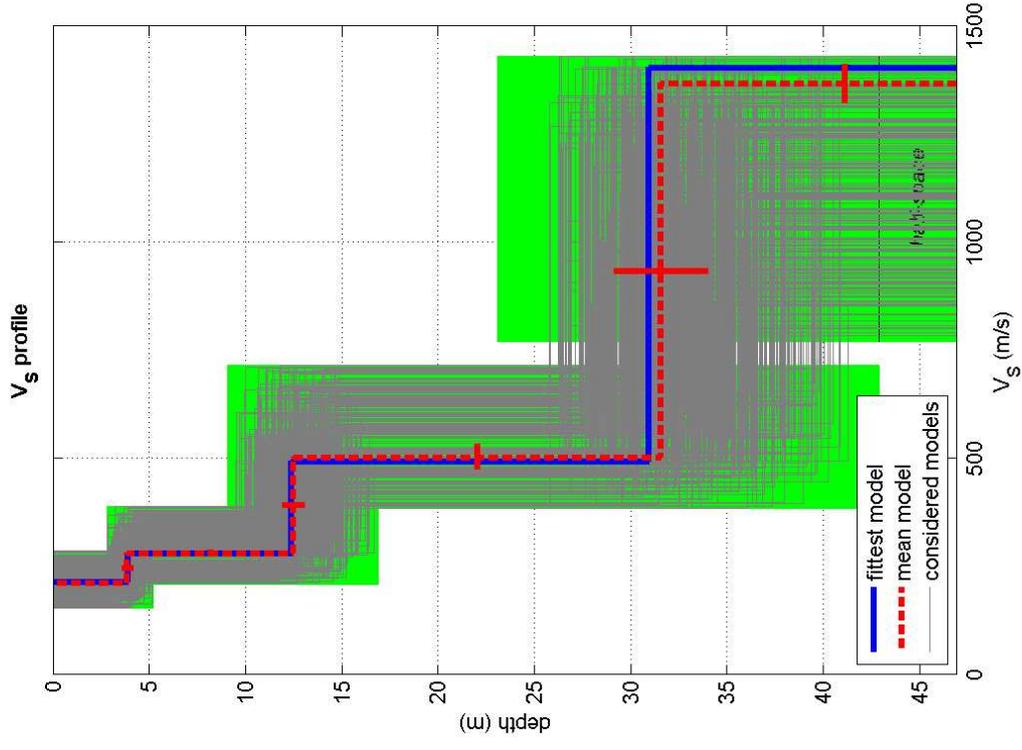
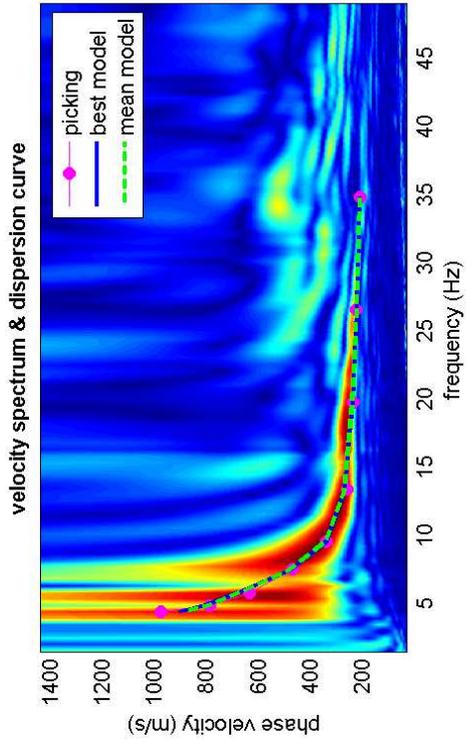
modelling: elastic shows DC

visualize curves:

picking: **MASW151112A.cdp**

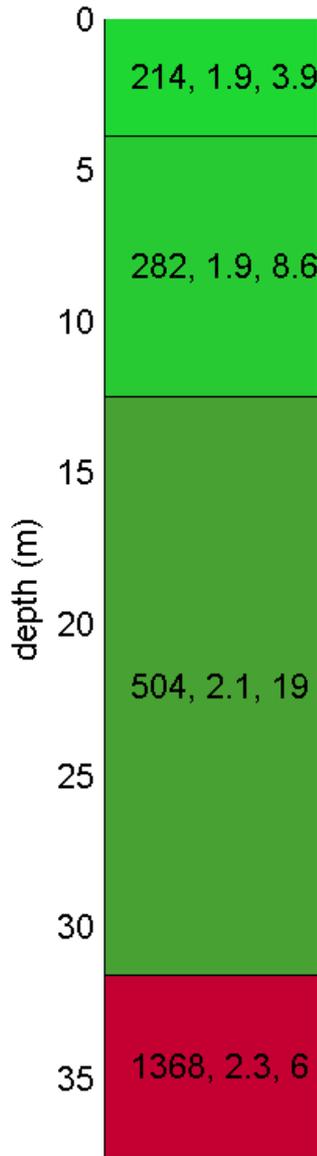
inversion:





dataset: sh1g1m2.sgy
 dispersion curve: MASW15112A.cdp
 V_{s30} (best model): 358 m/s
 V_{s30} (mean model): 360 m/s

Subsurface model



V_s	density	thickness
(m/s)	(gr/cm ³)	(m)

Elaborati grafici misure HVSR

- Registrazione completa
- Curve H/V
- Grafici degli spettri delle singole componenti del moto
- Criteri SESAME

POSTAZIONE Nk01

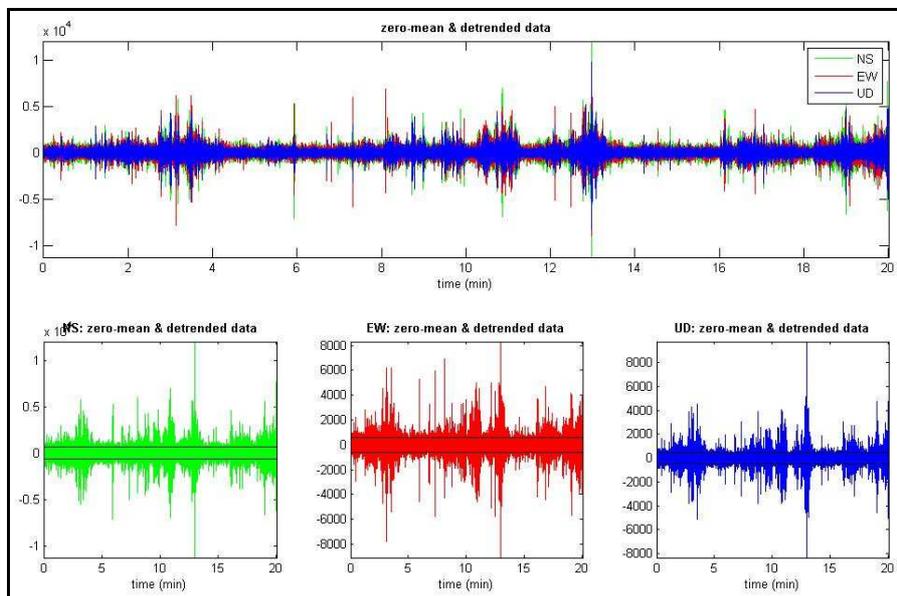


Fig. 1: Registrazione postazione Nk01

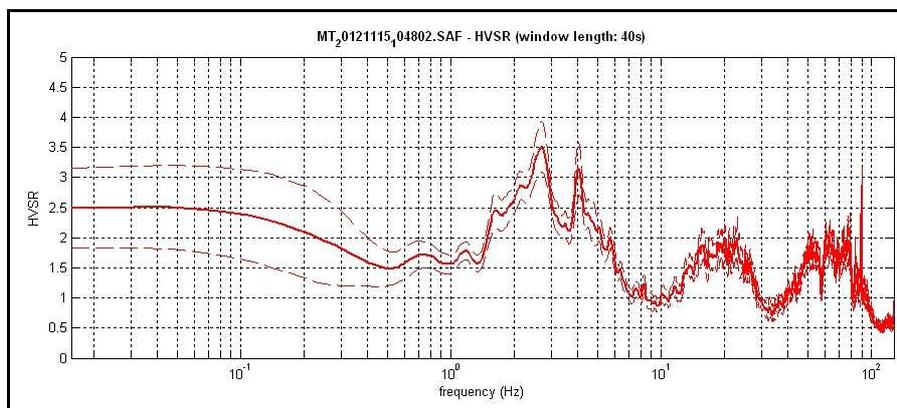


Fig. 2: Curva H/V postazione Nk01

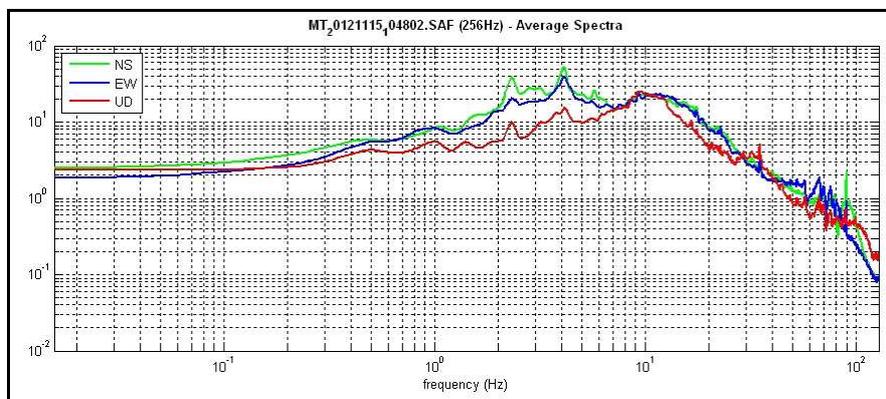


Fig. 3: Postazione Nk01 - Spettri delle singole componenti del moto
(N-S verde, E-W blu e Z rosso)

Date: 22 11 2012

Time: 14 50

Dataset: MT_20121115_104802.SAF

Sampling frequency (Hz): 256

Window length (sec): 40

Length of analysed temporal sequence (min): 16.4

Tapering (%): 10

=====
In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 2.7 (± 2.9)

Peak HVSR value: 3.5 (± 0.4)

==== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [$f_0 > 10/Lw$]: 2.7 > 0.25 (OK)
- #2. [$n_c > 200$]: 5221 > 200 (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_{A(f)} < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. [exists f^- in the range [$f_0/4$, f_0] | $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$]: yes, at frequency 1.4Hz (OK)
- #2. [exists f^+ in the range [f_0 , $4f_0$] | $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$]: yes, at frequency 6.0Hz (OK)
- #3. [$A_0 > 2$]: 3.5 > 2 (OK)
- #4. [$f_{\text{peak}}[A_{h/v}(f) \pm \sigma_{A(f)}] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)
- #5. [$\sigma_{A(f)} < \epsilon(f_0)$]: 2.942 > 0.136 (NO)
- #6. [$\sigma_{A(f_0)} < \theta(f_0)$]: 0.421 < 1.58 (OK)

Fig. 4: Criteri SESAME postazione Nk01

POSTAZIONE Nk02

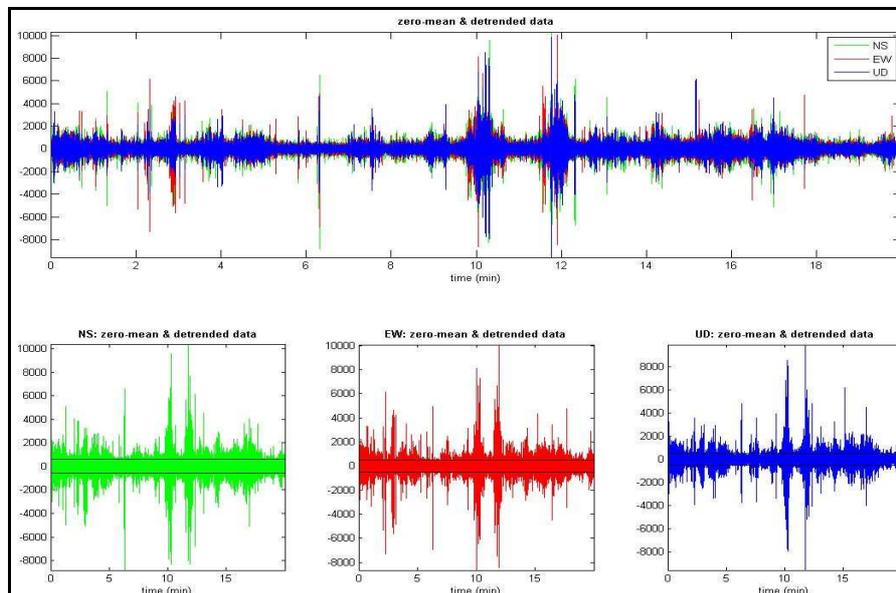


Fig. 5: Registrazione postazione Nk02

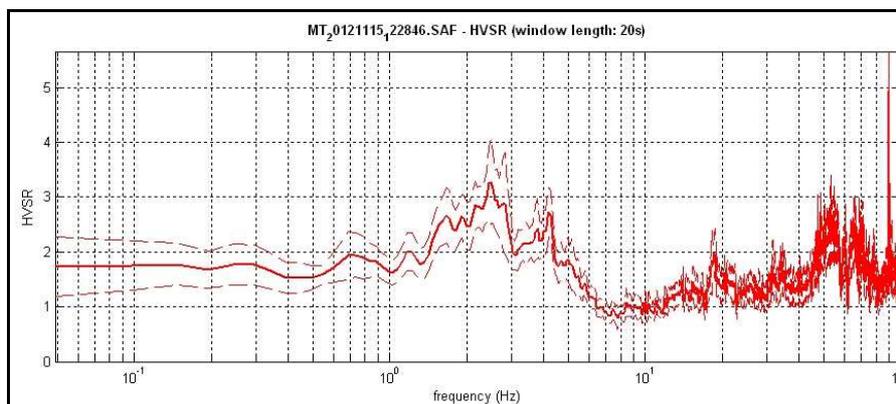


Fig. 6: Curva H/V postazione Nk02

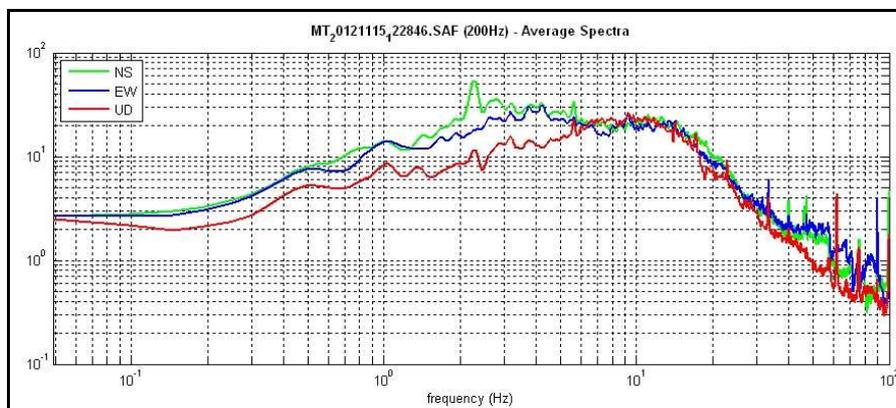


Fig. 7: Postazione Nk02 - Spettri delle singole componenti del moto (N-S verde, E-W blu e Z rosso)

Date: 22 11 2012

Time: 12 45

Dataset: MT_20121115_122846.SAF

Sampling frequency (Hz): 200

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 10.0

Tapering (%): 10

=====

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 2.5 (± 3.6)

Peak HVSR value: 3.3 (± 0.6)

==== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [$f_0 > 10/Lw$]: 2.5 > 0.5 (OK)
- #2. [$n_c > 200$]: 2998 > 200 (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. [exists f^- in the range [$f_0/4$, f_0] | $AH/V(f^-) < A_0/2$]: yes, at frequency 1.1Hz (OK)
- #2. [exists f^+ in the range [f_0 , $4f_0$] | $AH/V(f^+) < A_0/2$]: yes, at frequency 5.3Hz (OK)
- #3. [$A_0 > 2$]: 3.3 > 2 (OK)
- #4. [$f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)
- #5. [$\sigma_{\text{naf}} < \epsilon(f_0)$]: 3.562 > 0.127 (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: 0.773 < 1.58 (OK)

Fig. 8: Criteri SESAME postazione Nk02

POSTAZIONE Nk03

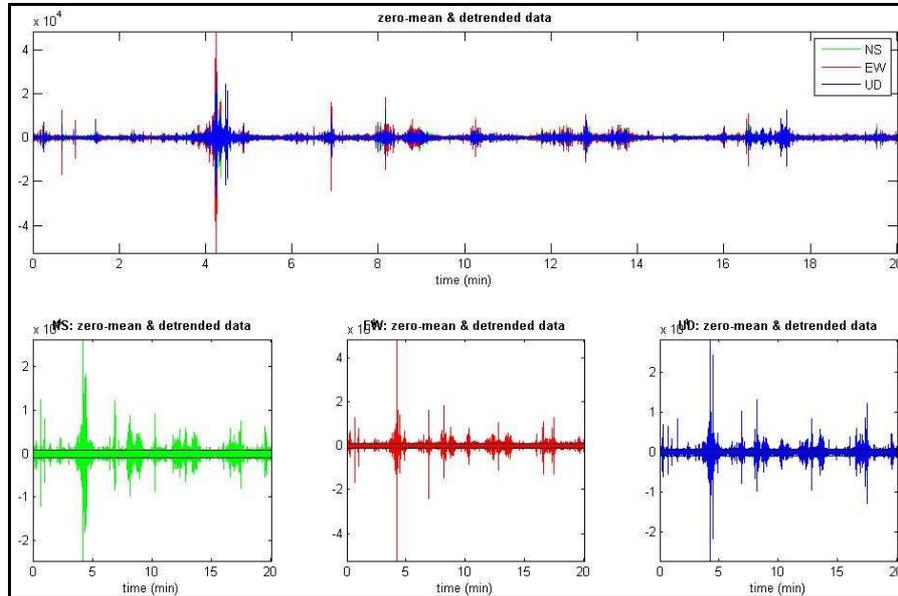


Fig. 9: Registrazione postazione Nk03

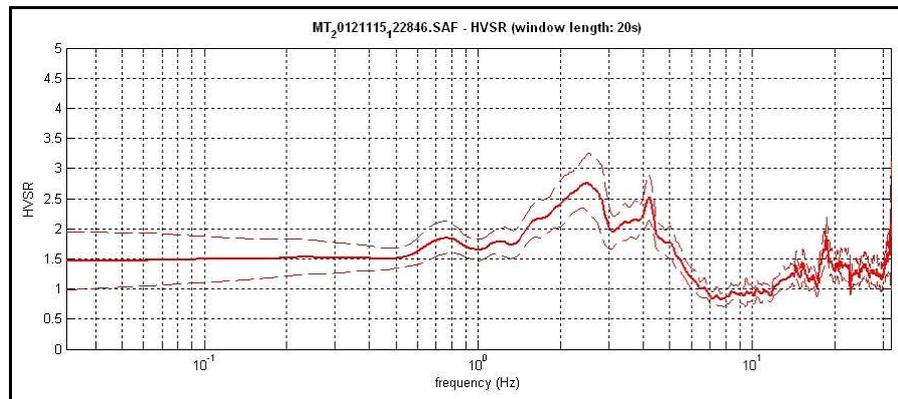


Fig. 10: Curva H/V postazione Nk03

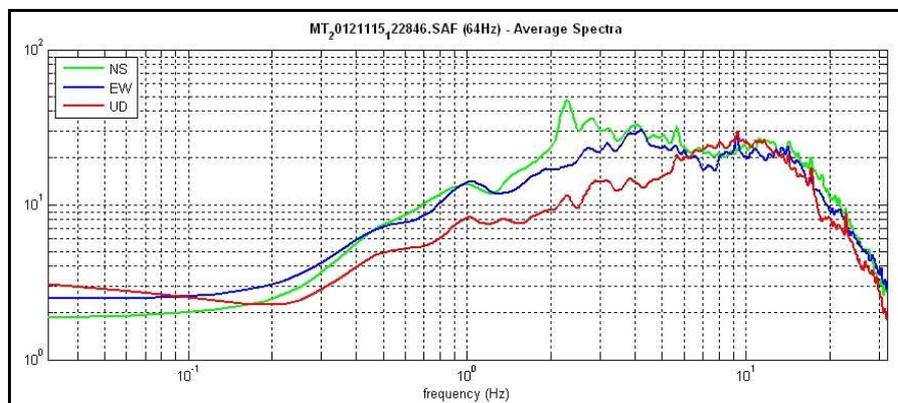


Fig. 11: Postazione Nk03 - Spettri delle singole componenti del moto (N-S verde, E-W blu e Z rosso)

Date: 22 11 2012
Time: 11 7

Dataset: MT_20121115_133437.SAF
Sampling frequency (Hz): 64
Window length (sec): 20
Length of analysed temporal sequence (min): 8.9
Tapering (%): 10

=====

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 2.8 (± 2.3)
Peak HVSR value: 3.7 (± 0.5)

=== Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: 2.8 > 0.5 (OK)
#2. [$n_c > 200$]: 2863 > 200 (OK)
#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f- in the range [$f_0/4$, f_0] | $AH/V(f-) < A_0/2$]: yes, at frequency 1.4Hz (OK)
#2. [exists f+ in the range [f_0 , $4f_0$] | $AH/V(f+) < A_0/2$]: yes, at frequency 3.8Hz (OK)
#3. [$A_0 > 2$]: 3.7 > 2 (OK)
#4. [$f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \neq \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)
#5. [$\sigma_{\text{naf}} < \epsilon(\#0)$]: 2.284 > 0.138 (NO)
#6. [$\sigma_A(\#0) < \theta(\#0)$]: 0.578 < 1.58 (OK)

Fig. 12: Criteri SESAME postazione Nk03

FIG.1 - COROGRAFIA

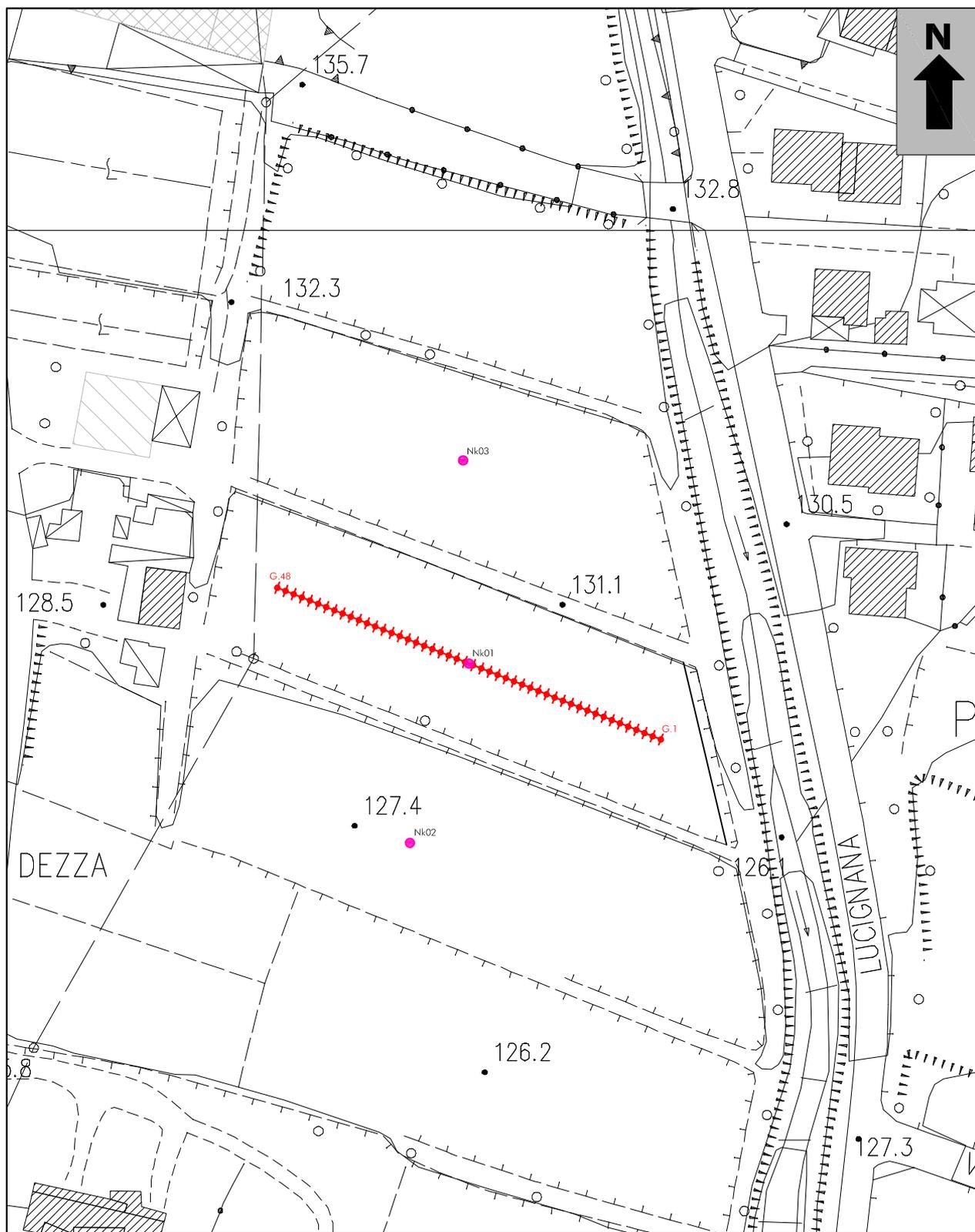
(Scala 1:10.000)



 - Area oggetto d'indagine

FIG.2 - LOGISTICA DELLE INDAGINI

(C.T.R. 1:2.000 della Regione Toscana - Foglio 21F08 Scala 1:1000)



 - Stesa sismica MASW
"STR151112A"

Nk01
 - Misura passiva a stazione singola
dei rapporti spettrali H/V