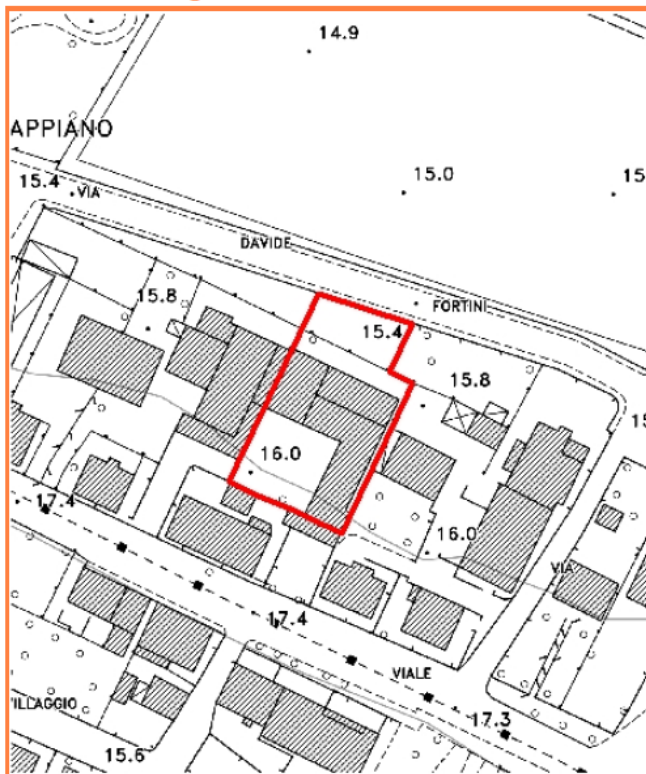




Comune di Fucecchio

Scheda Progetto **PA63**

Estratto cartografico (scala 1:2000)



Estratto ortofoto 2009 (scala 1:2000)



PIANO DI RECUPERO PA63 VIA COLOMBO - VIA FORTINI
UTOE 9 - PONTE A CAPIANO
COMUNE DI FUCECCHIO

INDAGINE GEOLOGICO-TECNICA DI FATTIBILITA'

ai sensi del DPGR 53R/2011

Data

28.08 2020

Dott. Geol. Massimiliano Perini



Sommario

1 - PREMESSA	2
2 - ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE.....	2
3 - VALUTAZIONI DI PERICOLOSITA'	5
3.1 - NORMATIVA SOVRAORDINATA.....	6
3.2 - AGGIORNAMENTI NORMATIVI IN MATERIA IDRAULICA (LR41/2018).....	7
4 - CONDIZIONI DI FATTIBILITA'	8
5 - APPROFONDIMENTI IN MERITO ALLE CONDIZIONI DI FATTIBILITA'	11
5.1 MITIGAZIONE DELLE CONDIZIONI DI RISCHIO IDRAULICO	11
5.2 - APPROFONDIMENTI LITOLOGICI E SISMICI	12
5.2.1 - Elementi litologico-litotecnici.....	12
5.2.2 - Elementi Sismostratigrafici	14
6 - VALUTAZIONI CONCLUSIVE SULLA PERICOLOSITÀ E LA FATTIBILITÀ DELLA VARIANTE	17

REPORT INDAGINE SISMICA

CERTIFICATO PROVA PENETROMETRICA

DATI DI BASE DISPONIBILI



**PIANO DI RECUPERO PA 63 – VIA COLOMBO-VIA FORTINI
Loc. PONTE A CAPPIANO
COMUNE DI FUCECCHIO**

RELAZIONE FATTIBILITÀ GEOLOGICA

PROPRIETÀ: **Sani Piero, Sani Andrea, Sani Antonio, Sani Fabio**

1 - PREMESSA

Il presente documento è redatto ai sensi del DPGR 53R/2011 in conformità a quanto disposto dall'art.17 del DPGR 5R/2020, in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche di supporto alla pianificazione urbanistica.

Esso infatti riunisce, aggiorna e integra quanto già agli atti del procedimento, ed in particolare contenuto nelle Relazioni di Fattibilità Geologica redatte in data giugno 2009 e ottobre 2016.

In sintesi l'atto urbanistico prevede la trasformazione di una porzione di più ampio fabbricato da produttivo a residenziale, attraverso la demolizione e ricostruzione traslata delle volumetrie consentite (intervento complessivo inferiore a 1500 m³).

Per ogni ulteriore e più specifico dettaglio si rimanda agli elaborati tecnici prodotti dal progettista Arch. Massimo Papini.

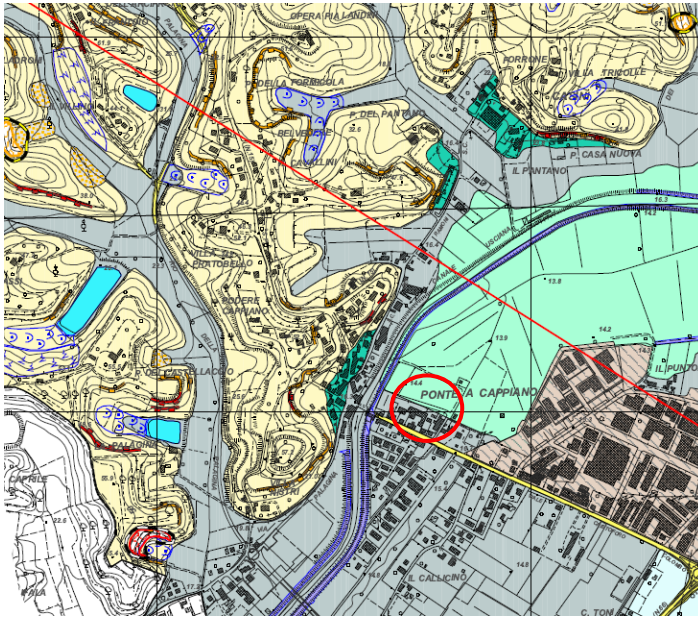
2 – ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE

L'area d'intervento si colloca ad una quota media di circa 16.0 m s.l.m. (quota CRTT 2000) all'interno del contesto residenziale della frazione comunale di Ponte a Cappiano dove l'antropizzazione ha obliterato gli originari caratteri geologici e geomorfologici.

Sulla base delle evidenze riscontrate al contorno, della documentazione geologica di corredo al PS vigente e della cartografia tecnica di base, risulta che la conformazione del sito presenta una debole pendenza in direzione W-E costituendo il raccordo tra la il rilevato su cui si sviluppa Viale Colombo (quota 17.4 m s.l.m.) e le aree agricole presenti sul margine orientale (15.0 m s.l.m.), dalle quali è delimitata da Via Fortini posta in questo tratto a quota 15.4 m s.l.m.

Il contesto morfologico nel suo complesso **non risulta interessato da fenomeni di dissesto geomorfologico potenziali o in atto**, con i quali possa interferire l'opera in progetto.

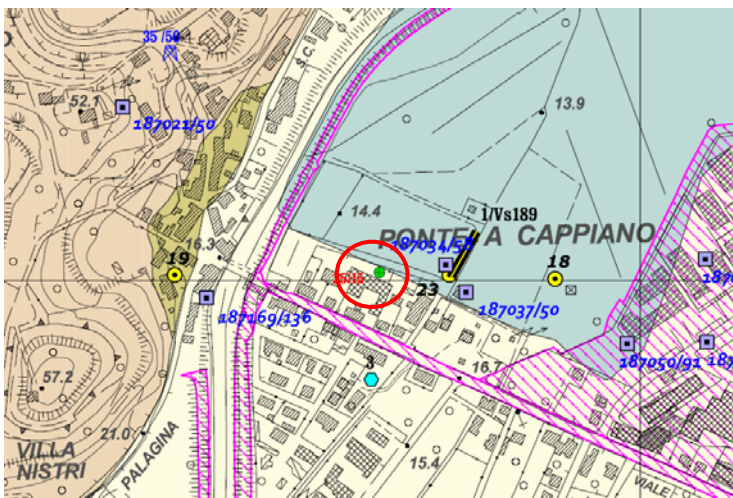
I sedimenti presenti al di sotto dei terreni di riporto superficiali appartengono alla Formazione dei Depositi alluvionali attuali e recenti, costituiti in prevalenza da limi argillosi e argille limo-sabbiose ai quali si intercalano subordinati livelli grossolani (ghiaie e sabbie).



LEGENDA

- Depositi lacustri e di colmata (Olocene)**
Sedimenti fini prevalentemente argillosi con abbondante presenza di torbe. Ambiente lacustre
- Depositi alluvionali recenti (Olocene)**
Sedimenti a granulometria fine. Ambiente fluviale
prevalentemente limoso sabbiosi nei primi 10-15 m dal p.d.c.
- Depositi alluvionali terrazzati (Pleistocene superiore - Olocene)**
Sabbie e limi con ciottoli e subordinatamente brecciole. Ambiente fluviale
- Depositi alluvionali del Bacino Cerbaie-Altopascio (Pleistocene medio)**
Sabbie e conglomerati, debolmente cementati, a cui si intercalano sottili e discontinui intervalli di argille grigie. Ambiente fluvio-lacustre
- Depositi fluviali e lacustri del bacino di Lucca-Montecarlo-Vinci (?Ruscianiano - Villafranchiano)**
Sabbie e argille di Marginone-Mastromarco.
Sabbie gialle, limi sabbiosi ed argille limose con strutture sedimentarie (facies di canale e di piana alluvionale) ed associazione fossilifera di ambiente deposizionale fluviale e palustre. Nelle facies di canale sono presenti livelli conglomeratici, spesso cementati e con ciottoli prevalentemente carbonatici al cui interno si distinguono elementi della Falda Toscana

Localizzazione intervento sulla Carta Geologica e Geomorfologica del RU - Estratto Tav A4.1

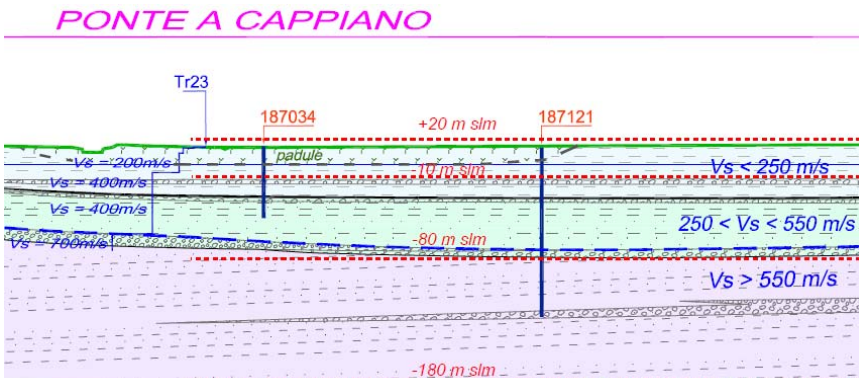


LEGENDA

- Pozzi profondi a stratigrafia nota estratti dal database ISPRA**
num profondità
192139/218
- Pozzi a stratigrafia nota**
- Indagini sismiche eseguite a supporto del Regolamento Urbanistico**
num Vs30 num 1
23/Vs 189
- Profili sismici**
- Sismica passiva (tromometrie)**
- C3.r7 - Sabbie lievemente cementate**
Sabbie gialle clinostratificate caratterizzate da un elevato grado di addensamento che raggiunge spesso la cementazione. Formazione delle Sabbie di Marginone-Mastromarco
- E2-E3.a3-4.t1 - Sabbie e ghiaie poco addensate con frammenti di dimensioni maggiori**
Sabbie e limi con ciottoli e subordinatamente brecciole. Depositi alluvionali terrazzati
- E3.a3-4.t3 - sabbie sciolte con presenza di frazione fine interstiziale coesiva non sufficiente ad alterare il carattere granulare globale**
- Depositi alluvionali recenti, con composizione principalmente sabbiosa**

Localizzazione intervento sulla Carta Litotecnica - Estratto Tav A4.3.3

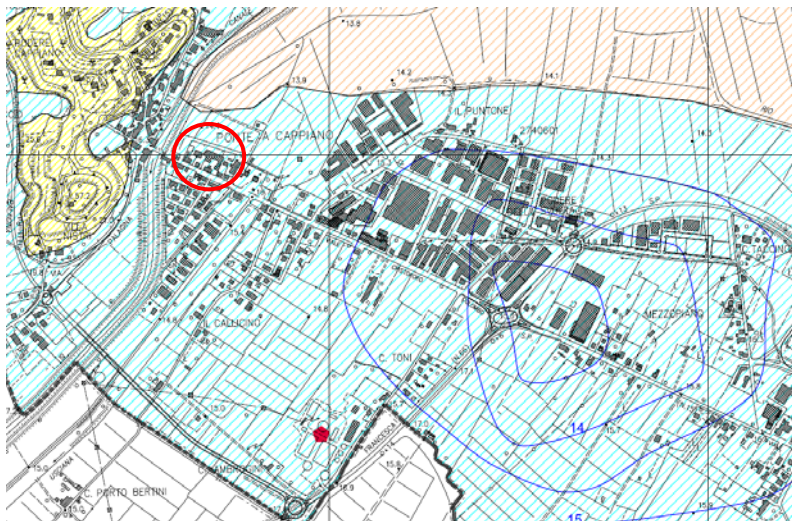
La documentazione bibliografica ripresa dagli studi dello SU generale (rif. data base ISPRA) indica al contorno spessori significativi (>100 m) per tali sedimenti.



LEGENDA

- Depositi alluvionali recenti/attuali (Olocene)**
Sedimenti alluvionali poco compatti da coesivi a sabbiosi. Ambiente fluviale o di piana alluvionale.
- Depositi lacustri e di colmata. Sedimenti fini, prevalentemente argillosi, con abbondante presenza di torbe. Ambiente lacustre e palustre con lenti di sabbie di canale fluviale.**
- Depositi alluvionali antichi (Pleistocene superiore)**
Sedimenti alluvionali mediamente compatti, da coesivi a sabbiosi con ciottoli. Ambiente fluviale o di piana alluvionale.
- Depositi marino-costieri del bacino dell'Elsa-Pesa-Cerreto Guidi (Pliocene inferiore - medio)**
Argille ed argille sabbiose con intercalazioni di sabbia e sabbia argillosa. Lenti ghiaiose rare.
- INFORMAZIONI STRATIGRAFICHE A DISPOSIZIONE**
187170 STRATIGRAFIE DI PERFORAZIONI CF9.T11
INDAGINI SISMICHE (MASW e Tromometrie)
1:22 PROFILO ONDE "S" INTERPRETATO DALLE TROMOGRAFIE EFFETTUATE
Vs = 180m/s
Vs = 400m/s
Vs = 400m/s
Vs = 570m/s

Sezione geolitologica tipo con in evidenza le profondità - Estratto Tav A4.2



<p>FALDA: L'alimentazione per infiltrazione origina un acquifero superficiale diffuso e sfruttato con numerosi pozzi. Alla profondità fra 30 e 50 metri si rinvencono livelli ghiaiosi con falde di Interesse locale. Vulnerabilità - Media per contaminazioni di origine agricola e insediativa (scarichi non depurati, pozzi non a norma).</p>	<p>LITOLOGIA: Depositi fluviali antichi; composizione eterogenea con ghiaie e sabbie, immerse in abbondante matrice fine. Morfologia semi-planeggiante. Dalla profondità di 30 m argille con lenti di ghiaia. K - Media ma variabile a zone con la litologia II cui spessore influisce sulla protezione</p>	<p>V2</p>
---	--	-----------

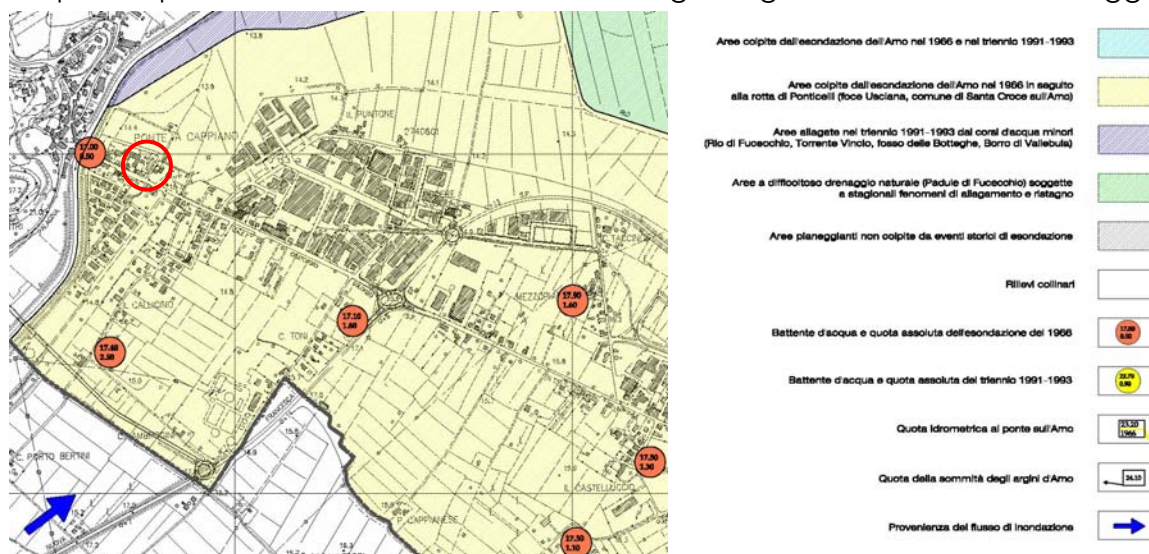
Alla natura dei terreni presenti in superficie e nei primi metri di sottosuolo si associa un grado di permeabilità medio. Tale permeabilità favorisce l'infiltrazione delle acque meteoriche e dunque la circolazione sotterranea. Il livello piezometrico, rilevato il 26.05.2009 nel foro della prova CPT, è risultato attestarsi a -1.9 m dal p.d.c. Nella figura a fianco è riportato un estratto del PS.

Localizzazione intervento sulla Carta della Vulnerabilità Idrogeologica

Non si segnala la presenza di opere di derivazione di acque sotterranee destinate al consumo umano a distanze inferiori a quelle minime consentite dalle disposizioni di cui al Dlgs 152/06 e ss.mm.ii.

Il drenaggio delle acque superficiali è affidato al sistema fognario pubblico nell'area urbanizzata, mentre nelle limitrofe aree agricole il deflusso è affidato al sistema di bonifica, il cui collettore principale in quest'area è rappresentato dal Rio di Fucecchio.

Così come illustrato nella "Carta degli eventi storici di esondazione" (di seguito riportata e facente parte del quadro descrittivo del territorio del Piano Strutturale), l'area è stata interessata dall'evento alluvionale del 1966, generatosi a seguito della rotta di Ponticelli, mentre non ha subito gli allagamenti verificatisi nel periodo 1991-1993 né rientra all'interno delle aree per le quali si manifestano fenomeni di ristagno legati a difficoltà di drenaggio.



Estratto da PS: Carta degli eventi storici di esondazione.

Rispetto ai terreni delle limitrofe aree agricole l'intervento in esame si colloca in posizione morfologica favorevole di circa 100 cm.



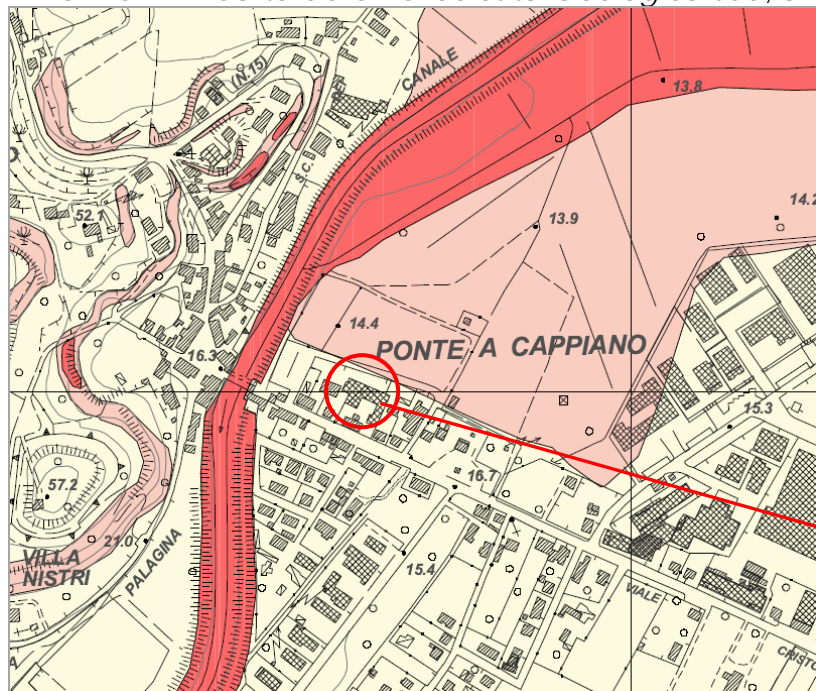
3 - VALUTAZIONI DI PERICOLOSITA'

Con la DCC n. 61 del 04-11-2019 il Comune di Fucecchio ha approvato la 2° Variante al Regolamento Urbanistico precedentemente approvato con DCC n. 22 del 14.05.2015 e succ. prima variante di cui alla Del.C.C. n. 4 del 7.2.2018.

Lo Strumento Urbanistico vigente è quindi corredato da un quadro conoscitivo geologico e idraulico conforme al D.P.G.R. 53R/2011.





Di seguito se ne riportano gli estratti relativi agli aspetti salienti delle diverse valutazioni in termini di sia Pericolosità che di Fattibilità.

Tav. C.2.2 - Carta della Pericolosità Geologica Sud, ai sensi del DPGR53R e del PAI Arno:

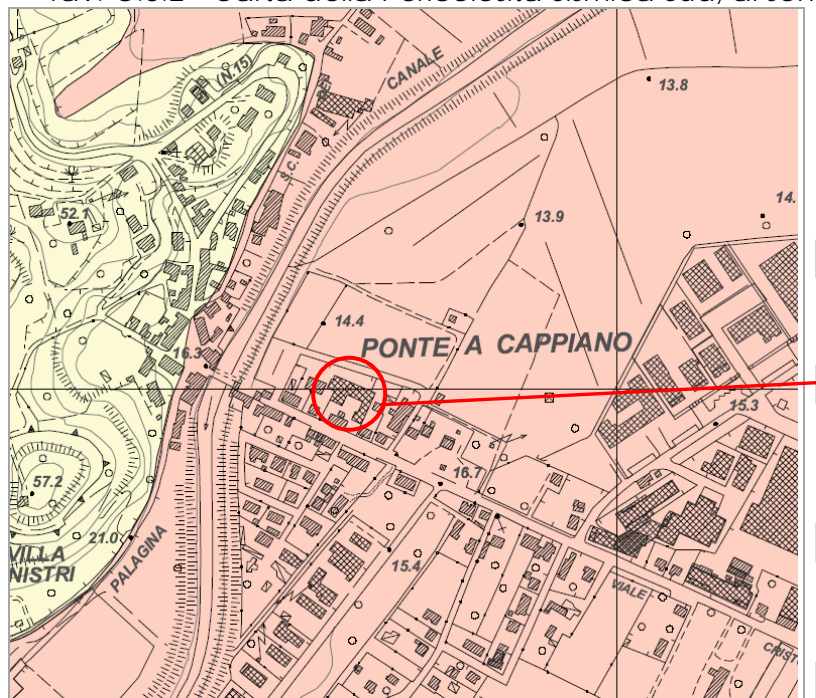


Pericolosità Geologica G2 – media, per bassa propensione al dissesto.





Classi di pericolosità ai sensi del D.P.G.R. N° 53/R

- G.4 - Pericolosità Geologica Molto Elevata**
 Aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza. Sono inoltre compresi i corsi d'acqua, i laghi e la depressione del Padule
- G.3 - Pericolosità Geologica Elevata**
 Aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'attività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da fenomeni erosivi; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche.
- G.2 - Pericolosità Geologica Media**
 Aree con elementi geomorfologici, litologici e glaciali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto.
- G.1 - Pericolosità Geologica Bassa**
 Aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, glaciali non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfotattivi.

Tav. C.3.2 - Carta della Pericolosità Sismica Sud, ai sensi del DPGR53R:

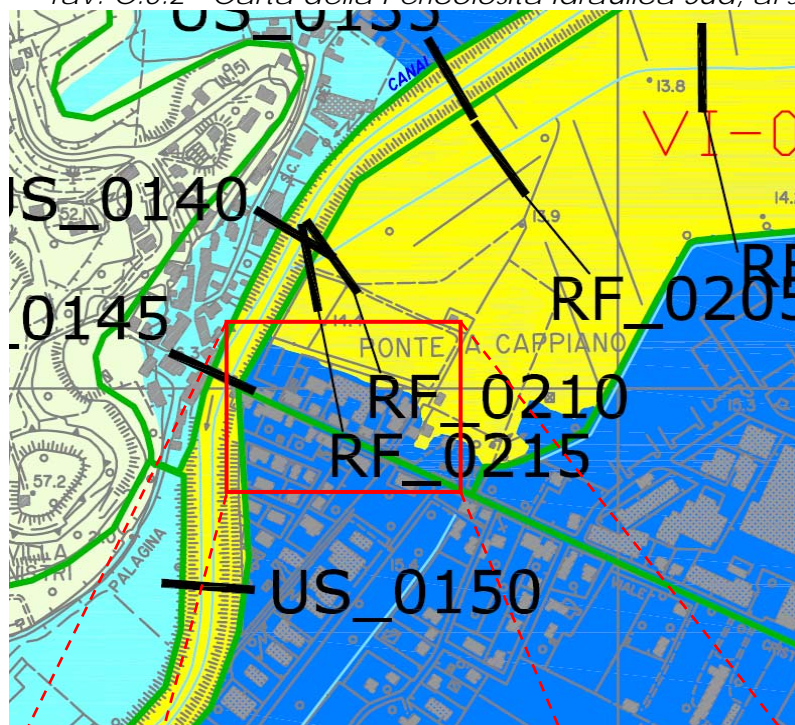


Pericolosità Sismica S3 – elevata, per la presenza dei depositi alluvionali attuali sovrapposti con spessori compresi entro 20 m a quelli pleistocenici.

- S.4 - Pericolosità sismica locale molto elevata**
 Zone suscettibili di instabilità di versante attiva che potrebbero subire una accentuazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici.
- S.3 - Pericolosità sismica locale elevata**
 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; alle zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; ai terreni suscettibili di liquefazione dinamica; alle zone in cui gli spessori dei depositi alluvionali attuali che giacciono al di sopra dei depositi del terrazzo delle Cerbaie sono compresi entro 20 metri ed alle zone di versante con pendenze maggiori di 15°.
- S.2 - Pericolosità sismica locale media**
 Zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; alle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali che non rientrano tra quelle previste per la classe di pericolosità sismica S3.
- S.1 - Pericolosità sismica locale bassa**
 Non rappresentata

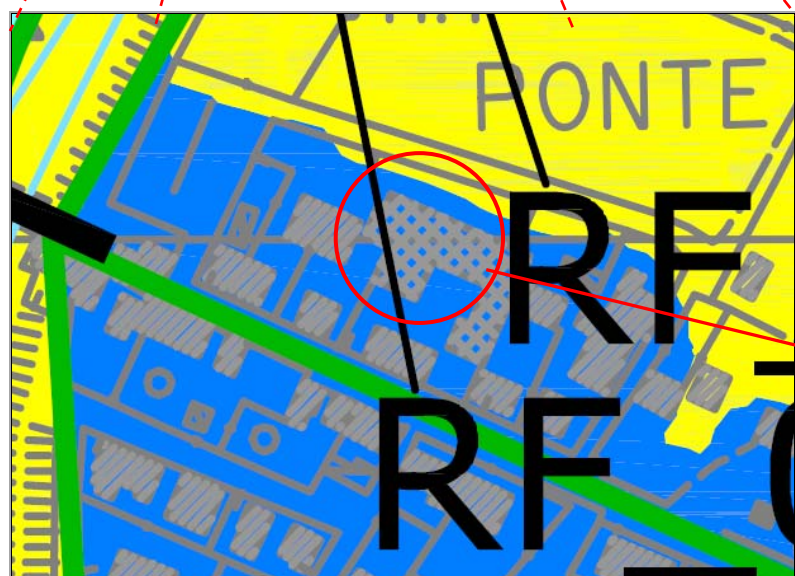


Tav. C.5.2 - Carta della Pericolosità Idraulica Sud, ai sensi del DPGR53R e del PAI Arno:



Pericolosità Idraulica I3 – elevata, relativamente alla parte edificata dell'area, e Pericolosità Idraulica I4 – molto elevata, relativamente alla semifascia di giardino che borda Via D. Fortini.

Con riferimento al Modello idraulico del Canale Usciana, Rio di Fucecchio, Torrente Vinci e sfiori da Arno, la cella di esondazione in cui si colloca l'intervento è quella con sigla **VI_021_4**. Per questa è indicato nella Tav. C.9.2 come massimo valore dei battenti idraulici calcolati per il tempo di ritorno duecentennale il valore $H_{200} = 16.2$ m slm.

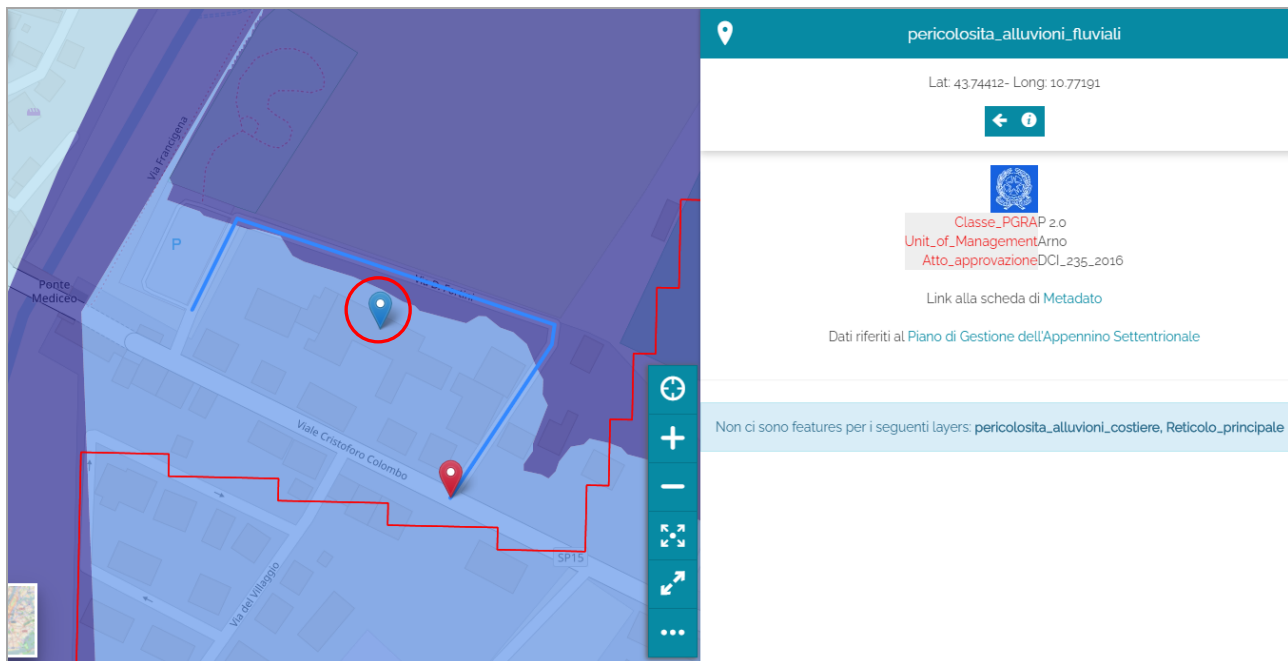


LEGENDA	
	Classe di pericolosità idraulica: I1
	Classe di pericolosità idraulica: I2 - Tr500 anni -
	Classe di pericolosità idraulica: I3 - Tr200 anni -
	Classe di pericolosità idraulica: I4 - Tr30 anni -
	Confine comunale
	Celle di esondazione

3.1 – NORMATIVA SOVRAORDINATA

Nel contesto normativo sovraordinato le definizioni di pericolosità idraulica sono indicate nella cartografia delle pericolosità e del rischio prodotta dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale (adottato con Del.C.I.I. n.231 del 17.12.2015 ai sensi della direttiva 2007/06/CE e DLgs 49/2010) che ha sostituito il vecchio stralcio Assetto Idrogeologico del Piano di Bacino.

Nella figura seguente è riportato uno stralcio della mappa della pericolosità da alluvioni fluviali così come risulta dalla consultazione della mappa della Pericolosità da Alluvione on line sul sito istituzionale dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino settentrionale, UoM Arno.



L'analisi di tale documentazione indica che i limiti cartografici delle attribuzioni di pericolosità sono coerenti con quelli dello SU comunale.

In particolare risulta attribuita la classe di **Pericolosità da alluvione media P2** (e quindi subordinata dagli artt. 9 e 10 del PGRA) per la prevalenza dell'intervento, mentre la classe di pericolosità P3 (artt. 7 e 8 del PGRA) è limitata alla fascia più settentrionale che costeggia la strada comunale Via Fortini in cui è previsto di conservare la superficie a verde esistente.

L'analisi della documentazione del PGRA e correlati indica inoltre che l'area non è interessata dagli indirizzi di cui all'art. 15 per la gestione delle aree di contesto fluviale, e non è compresa tra le Aree destinate alla realizzazione delle misure di protezione di cui agli artt. 16 e 17 della disciplina PGRA

In riferimento infine alla cartografia in allegato al D.P.C.M. 226 del 5.11.99 (Piano stralcio per il Rischio Idraulico del Fiume Arno), l'intervento non ricade all'interno delle aree nelle quali è prevista la realizzazione degli interventi di messa in sicurezza dell'Arno.

3.2 – AGGIORNAMENTI NORMATIVI IN MATERIA IDRAULICA (LR41/2018)

Poiché lo SU comunale vigente non è aggiornato alle più recenti disposizioni in materia di rischio alluvioni, adottate dalla Regione Toscana con la Legge n. 41 del 24.07.2018 in attuazione del D.Lgs. 49/2010, si rende necessario fare riferimento alle disposizioni transitorie indicate dall'art. 18 della stessa legge regionale, in virtù delle quali l'area in esame rientra nella categoria delle **aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti**.

Ai fini della gestione del rischio alluvioni, la realizzazione degli interventi edilizi/trasformazioni urbanistiche all'interno del perimetro del territorio urbanizzato la legge regionale prevede l'applicazione delle disposizioni di cui al Capo III.

In particolare per la fattispecie del Piano di Recupero in oggetto, la disciplina di riferimento è quella dettata dal comma 4 dell'art. 12 della LR 41/2018, configurandosi nella sostanza come una demolizione con ricostruzione senza incremento volumetrico.

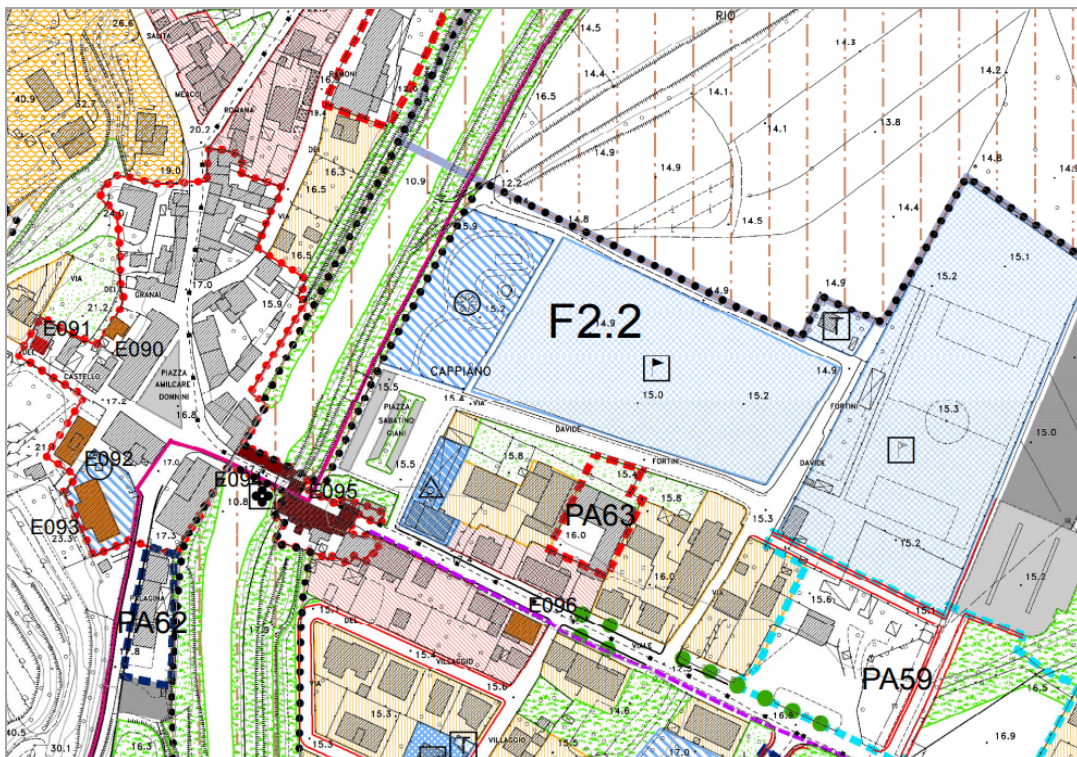
Pertanto si rende necessaria la realizzazione di *interventi di difesa locale finalizzati al raggiungimento della condizione di rischio medio R2*.

Per quanto riguarda le disposizioni relative alla tutela dei corsi d'acqua, l'intervento non interferisce con le fasce di tutela di cui all'art. 3 della stessa L.R. 41/2018.

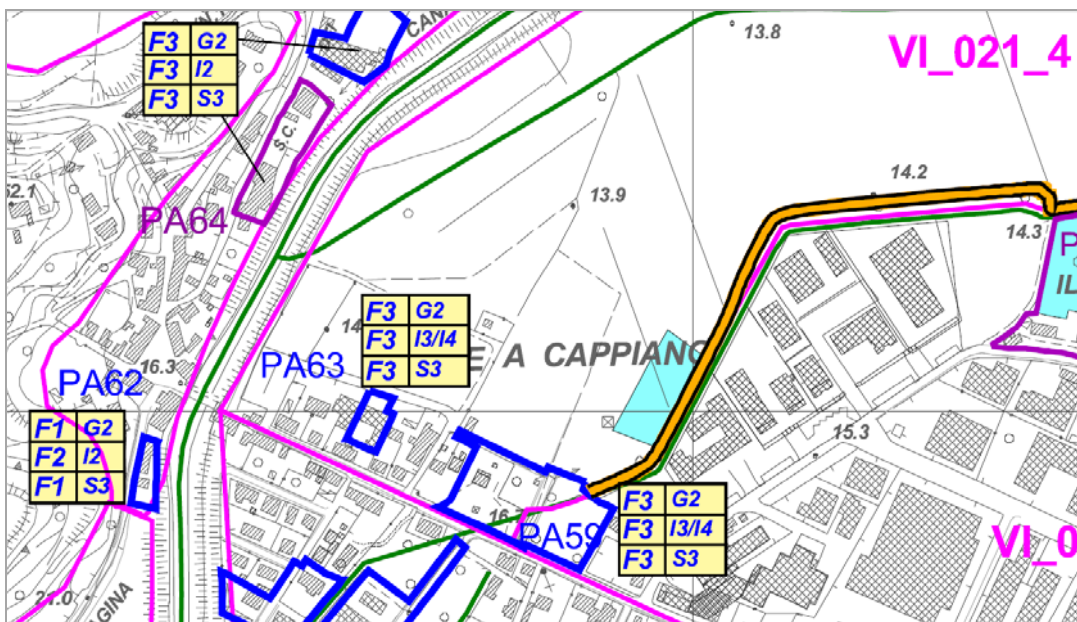


4 - CONDIZIONI DI FATTIBILITA'

L'analisi della documentazione urbanistica vigente (2° Variante approvata con Del.C.C. n.61 del 04.11.2019) indica che l'intervento è inserito all'interno dell'insediamento UTOE 9 Ponte a Cappiano, in Zona territoriale omogenea "B" sottozona BE – Interventi di recupero a prevalente destinazione residenziale soggetti a Piano Attuativo.



Estratto dalla
 Disciplina degli
 insediamenti
 esistenti e delle
 trasformazioni
 B.2 Tav. 14



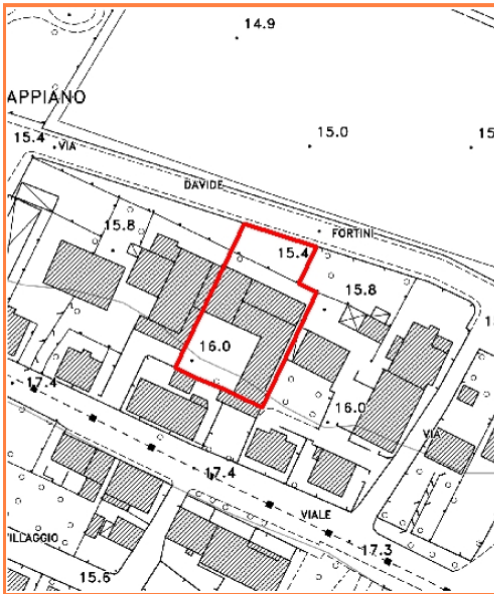
Estratto dalla Carta
 della Fattibilità
 Geologica Sud
 Tav. C.9.2

Trattandosi di zona soggetta a Piano Attuativo, la disciplina urbanistica generale prevede una specifica **Scheda di Progetto (sigla PA63)** che è rimasta invariata rispetto alla precedente versione (rif. elaborato B.4.2 del RU - "Schede normative e di indirizzo progettuale") di cui di seguito se ne riporta di seguito il relativo stralcio.



Scheda Progetto.PA63

Estratto cartografico (scala 1:2000)



Estratto ortofoto 2009 (scala 1:2000)



Ubicazione:

Viale C. Colombo Località Ponte a Cappiano
UTOE : UTOE 9 - Ponte a Cappiano
Inv. Strutturali: --
RUC: C2 - Interventi a prevalente destinazione residenziale soggetti a Piano Attuativo

Fattibilità e pericolosità:

	Pericolosità PAI	Pericolosità 53/R	Fattibilità
Geologica		G2	F3
Idraulica		I3/I4	F3
Sismica		S3	F3

Obiettivi:

Riqualificare l'area sia dal punto di vista fisico che funzionale, non consentendo l'inserimento di nuove funzioni produttive, per incrementare al loro posto un'edilizia residenziale con tipologie adatte al contesto urbano.

Dimensionamento e destinazioni d'uso ammesse:

Sup.territ.(St)	Esistente	Progetto	Opere di urbanizzazione primaria e secondaria:		
			Parcheggi pubblici	Verde attrezzato	Strade
Sup.fond.(Sf)		1400			
Sup.ut.lorda(Sul)		520			
Dest.d'uso: residenziale		520	Attrezzature di interesse comune:		
produttivo	780		Istruzione:		
comm/direz.	/	/	Edilizia residenziale con finalità sociali :		
Rapp.cop. (Rc)/Sup.cop.(Sc)		30% /			
Altezza massima (Hmax)		7			
Numero dei piani (Np)		2			
Num.all. (Na)/ Abitanti		3 / 7			

Disposizioni e modalità di attuazione:

L'intervento di trasformazione è soggetto alla preventiva approvazione di un Piano Attuativo convenzionato (Piano di Recupero di cui all'art.28 della L. n.457/1978 di iniziativa privata). Nelle more di approvazione del Piano di Recupero non è ammessa alcuna trasformazione ad eccezione di quelle rientranti nella definizione di manutenzione ordinaria e straordinaria strettamente finalizzate ad evitare pericoli di crollo o comunque di grave deterioramento delle unità edilizie interessate ovvero ad assicurare i requisiti minimi di agibilità.



Scheda Progetto:PA63

Specifiche fattibilità:

Fattibilità geologica condizionata F3

L'area è ubicata all'interno del fondovalle del Fiume Arno, al margine sud del Padule di Fucecchio. Considerando la possibile presenza di terreni dalle scadenti caratteristiche geotecniche, le indagini geognostiche e geotecniche dovranno essere mirate ad una dettagliata caratterizzazione del sottosuolo, ed alla verifica della compressibilità dei terreni. Dovranno inoltre essere individuati spessori e variazioni laterali dei depositi alluvionali.

Ricadendo l'area all'interno dei depositi alluvionali, nella facies a componente prevalentemente sabbiosa e potenzialmente liquefacibile, la campagna geognostica dovrà essere finalizzata anche alla caratterizzazione granulometrica dei terreni, e le indagini saranno finalizzate al calcolo del coefficiente di sicurezza relativo alla liquefazione.

Fattibilità sismica condizionata F3

Le misure tromometriche effettuate (Tr23 e Tr18) nelle immediate vicinanze dell'area, indicano la possibilità che si generino amplificazioni stratigrafiche a profondità comprese tra 15 e 20 metri, al contatto tra i depositi alluvionali attuali ed i depositi pleistocenici. La campagna geofisica dovrà definire geometrie e velocità sismiche dei litotipi posti a contatto, al fine di valutare l'entità degli effetti del contrasto di rigidità sismica sulle strutture in progetto.

Per la caratterizzazione geofisica sono da preferire indagini che consentano ricostruzioni bidimensionali del sottosuolo, orientate in direzione del maggior approfondimento del substrato geologico, in modo da definire le variazioni laterali dei depositi.

Fattibilità idraulica condizionata F3

L'area è ricompresa tra le classi di pericolosità I4 ed I3. Nella porzione ricadente nella classe I4, soggetta alla L.R.T. del 21/05/2012, sono consentiti esclusivamente gli interventi ammessi dalla suddetta legge.

Gli interventi previsti nella classe I3, dovranno essere realizzati in condizioni di sicurezza ad una quota non inferiore a 16,70 mslm, valore comprensivo di 50 cm di franco sul livello duecentennale (Cella di riferimento VI_021_4; Tr200 16,20 mslm), tenendo comunque conto della necessità di non determinare aggravamenti di pericolosità nelle aree al contorno.

Ai sensi della lettera c) del punto 3.2.2.2 dell'Allegato A del D.P.G.R. 53-R/2011 la compensazione è richiesta solo per i volumi sottratti alla naturale esondazione per eventi con Tr fino a 200 anni. La compensazione di tali volumi, è prevista all'interno della cassa di laminazione ubicata all'interno della stessa cella di riferimento del PAI VI_021_4, immediatamente a Nord dell'area.

Relativamente al reticolo idraulico minore, se ne dovrà assicurare il corretto funzionamento anche in seguito agli interventi in progetto. Nelle tavole progettuali dovrà essere dettagliato il sistema di scolo delle acque meteoriche allo stato attuale ed in quello di progetto. Le modifiche apportate al sistema di scolo dovranno perseguire il miglioramento del deflusso delle acque e l'eliminazione di eventuali situazioni di fragilità.

NB

- - - L'attribuzione delle caratteristiche di consistenza dei terreni indicata nella scheda di fattibilità geologica (F3) discorda da quella indicata nella classificazione (G2) di Pericolosità geologica (rif. §3).

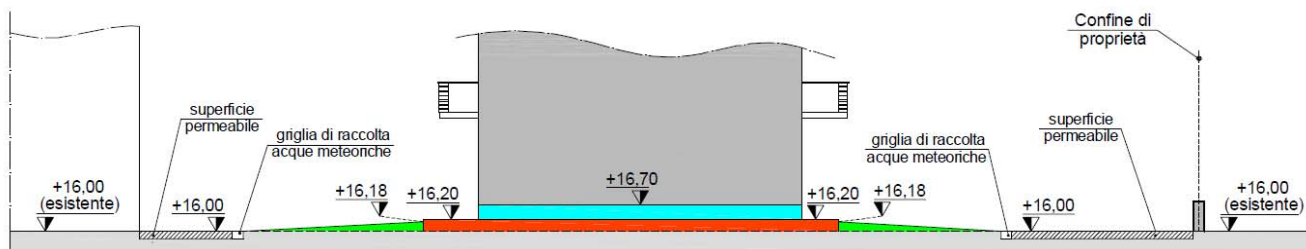


5 – APPROFONDIMENTI IN MERITO ALLE CONDIZIONI DI FATTIBILITA'

Allo scopo di far fronte a quanto indicato nelle attribuzioni di Fattibilità del RU, di cui alla Scheda Progetto PA63 sopra riportano di seguito gli approfondimenti e/o gli accorgimenti adottati.

5.1 MITIGAZIONE DELLE CONDIZIONI DI RISCHIO IDRAULICO

Nelle figure seguenti sono indicati gli accorgimenti tecnici adottati dalla progettazione al fine di *garantire il rispetto delle condizioni di sicurezza idraulica* definite dalla Scheda Norma.



Per garantire il franco di sicurezza idraulica indicato dagli studi di Piano, la progettazione ha optato per la soluzione della sopraelevazione del piano di calpestio del futuro edificio di + 70 cm rispetto al piano campagna esistente. In questo modo il raggiungimento della condizione di rischio medio (quota +16,70 m slm) garantirà il non aggravio delle condizioni di rischio al contorno. Ciò sebbene sia comunque già stata urbanisticamente prevista la compensazione dei volumi sottratti alla naturale esondazione per eventi con Tr fino a 200 anni dall'opera di messa in sicurezza idraulica (cassa di espansione) ubicata immediatamente a Nord dell'area d'intervento.

Nella figura seguente si riporta di seguito il calcolo dei volumi esplicitato dall'arch. Papini nella documentazione progettuale.

VERIFICA VOLUME OCCUPATO DALLA QUOTA ATTUALE AL BATTENTE IDRAULICO		
VOLUME OCCUPATO DALLA COSTRUZIONE ESISTENTE : Sup. coperta (mq. 597,67) mq. 597,67 x 0,20h = mc. 119,53		
VOLUME OCCUPATO DAL NUOVO EDIFICIO E DAL RESEDE (escluso le superfici permeabili) :		
■ Fabbricato e Marciapiedi	mq. (308,36 + 90,25) x 0,20h =	mc. 79,72
■ Resede impermeabile	mq (175,30 + 39,00 + 227,60) x 0,18/2 h =	mc. 33,14
■ Franco richiesto dalla norma di cui alla Scheda PA63		mc. 119,49
VERIFICA: mc. 119,49 < 119,53		

Quale ulteriore accorgimento è stata infine prevista un'efficace riprofilatura delle quote del piano campagna associata alla collocazione di griglie di raccolta in modo tale da garantire il corretto allontanamento delle acque meteoriche eventualmente dilavanti sulle superfici.

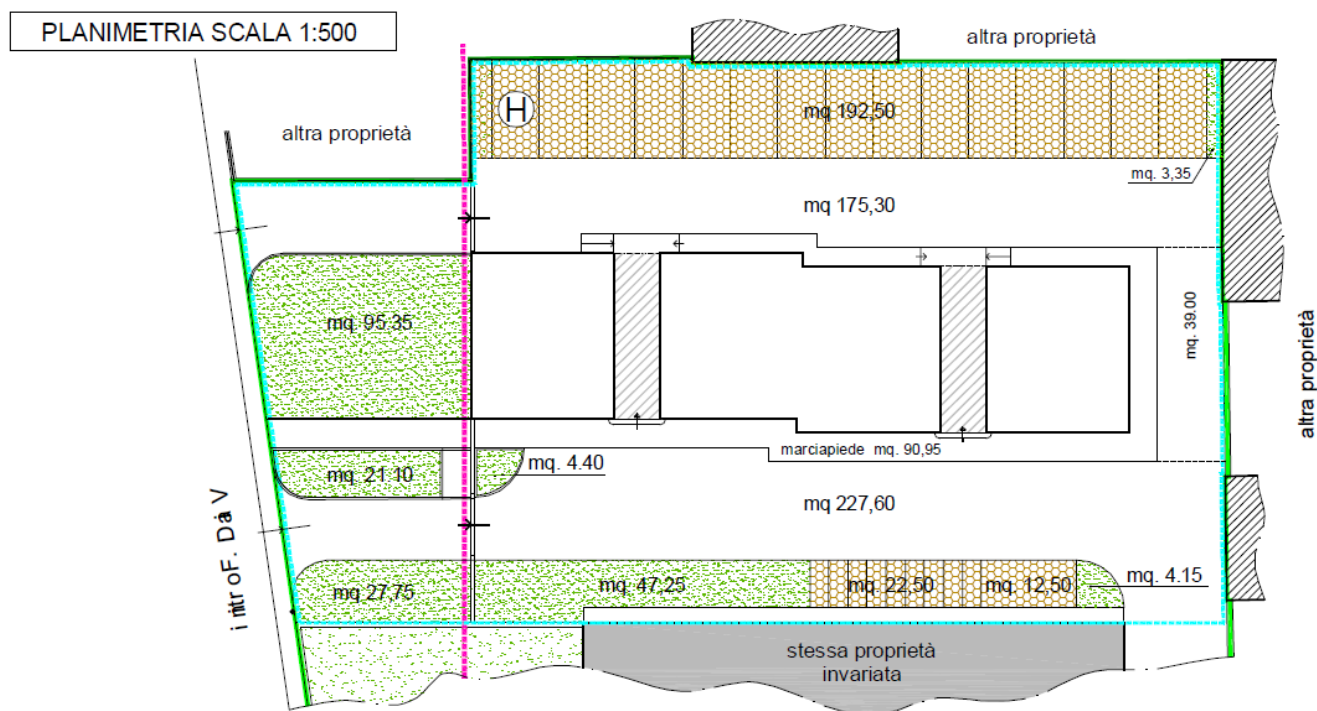
Il reticolo minore non subirà modifiche con la realizzazione dell'intervento riguardando il medesimo un'area completamente urbanizzata priva di scoline superficiali. Anzi, l'adozione di tipologie costruttive atte a favorire l'infiltrazione e/o anche la semplice ritenzione delle acque meteoriche per la realizzazione dei posti auto e l'incremento delle superfici a verde favorirà l'aumento dei tempi di corrivazione al sistema di drenaggio urbano.

Ad ogni buon conto, nell'ipotesi facoltativa in cui si intendesse operare ulteriormente a favore di una maggiore sostenibilità ambientale dell'intervento, anche in termini di mitigazione degli effetti attesi in conseguenza di eventi meteorici di più forte intensità, in



sede di permesso a costruire potrà esser presa in considerazione l'eventualità di predisporre alcuni semplici accorgimenti sul sistema di collettamento delle acque meteoriche. Tra questi ad esempio un loro conveniente sovradimensionamento e la predisposizione di bocche tarate prima dell'immissione nella pubblica fognatura di Via Fortini.

Per quanto attiene la parte d'intervento ricadente in area a pericolosità idraulica molto elevata, il progetto ha previsto il mantenimento delle superfici a verde esistenti.



5.2 – APPROFONDIMENTI LITOLOGICI E SISMICI

In relazione all'obiettivo della riduzione del rischio sismico sono stati analizzati gli elementi disponibili utili per la ricostruzione del modello geologico-tecnico del sottosuolo contenuti nella documentazione dello SU generale, integrati dalle indagini appositamente condotte nel sito in esame.

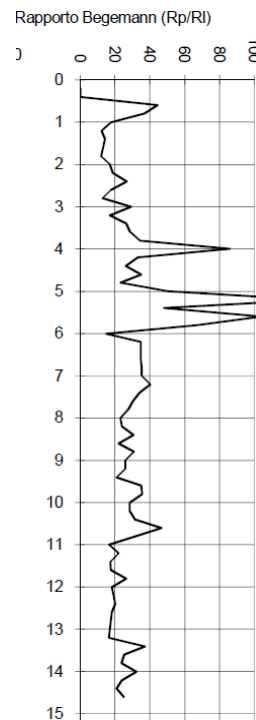
Le nuove indagini sono costituite, oltre che dalla prova penetrometrica eseguita a suo tempo, da misure geofisiche finalizzate alla determinazione della presenza o meno di possibili contrasti d'impedenza tali da generare *significativi fenomeni di amplificazione*.

Di tutte le indagini sono riportati i rispettivi certificati in cui si dettagliano le caratteristiche della strumentazione e della tecnica impiegate.

5.2.1 – Elementi litologico-litotecnici

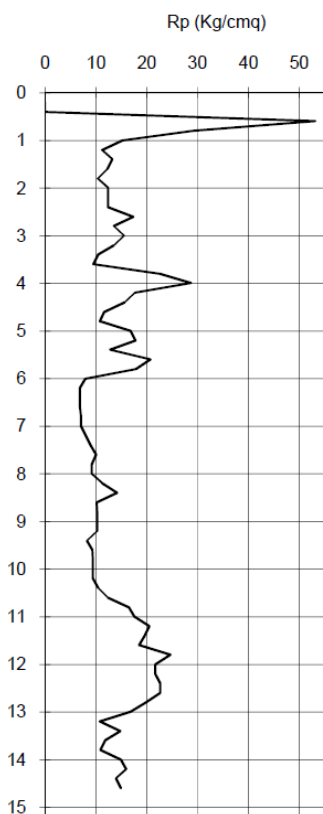
La prova penetrometrica è stata eseguita con penetrometro statico modello Pagani TG63 200 KN e spinta sino alla profondità di 15 m dal pdc.

Partendo dalle correlazioni proposte da Begemann e Schmertmann condotte sui risultati della prova eseguita e sulla base dei valori di resistenza all'infissione alla punta (R_p) registrati, è stato possibile effettuare la ricostruzione della successione litologico-litotecnica del sottosuolo.



Ubicazione penetrometria e curva involuppo dei valori di Rp/Rl ottenuti.

La successione litotecnica è di seguito sintetizzata:



Trend dei valori di Rp registrati

0. terreno superficiale di spessore dell'ordine di 60/80 cm;
1. primo livello di spessore prossimo a 2.5 m, costituito da materiale a dominante coesiva riconducibile ad argille e limi argillosi per il quale sono rappresentativi valori di resistenza all'infissione della punta (Rp) dell'ordine di 10-15 Kg/cm².
2. secondo livello con caratteristiche litologiche più francamente granulari e spessore puntuale di circa 2.5 m. I valori registrati di resistenza media alla punta per questo secondo livello si attestano a 17 Kg/cm².
3. terzo livello di natura mista e spessore prossimo a 4-5 m è costituito da materiale per il quale sono rappresentativi valori di Rp dell'ordine di 7-10 Kg/cm².
4. quarto livello, coesivo, di spessore prossimo a 2 m in cui i valori di resistenza alla punta oscillano tra 17 e 22 Kg/cm².
5. quinto livello di spessore maggiore di 1 m, anch'esso coesivo, caratterizzato da valori di resistenza alla punta medi di 13.6 Kg/cm².

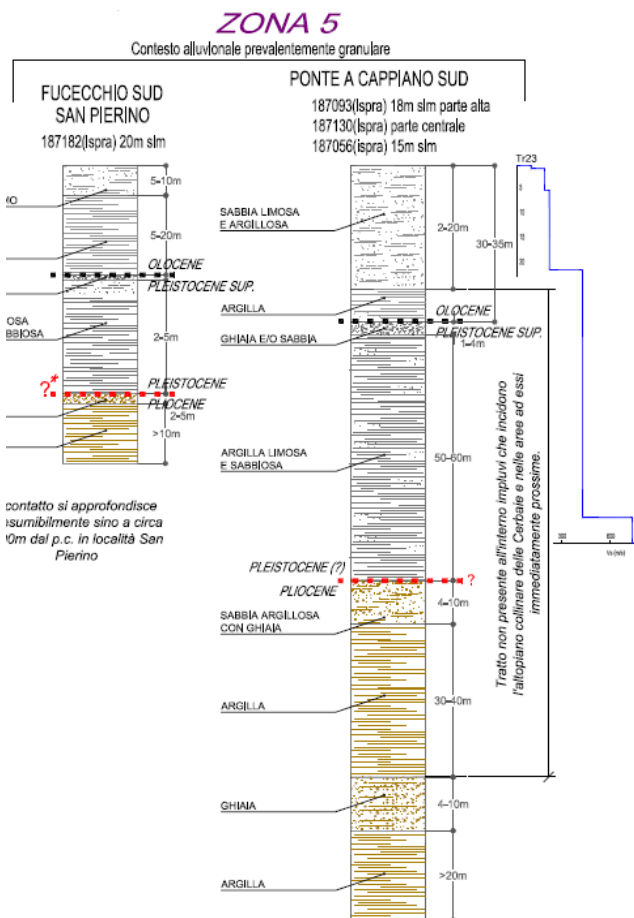
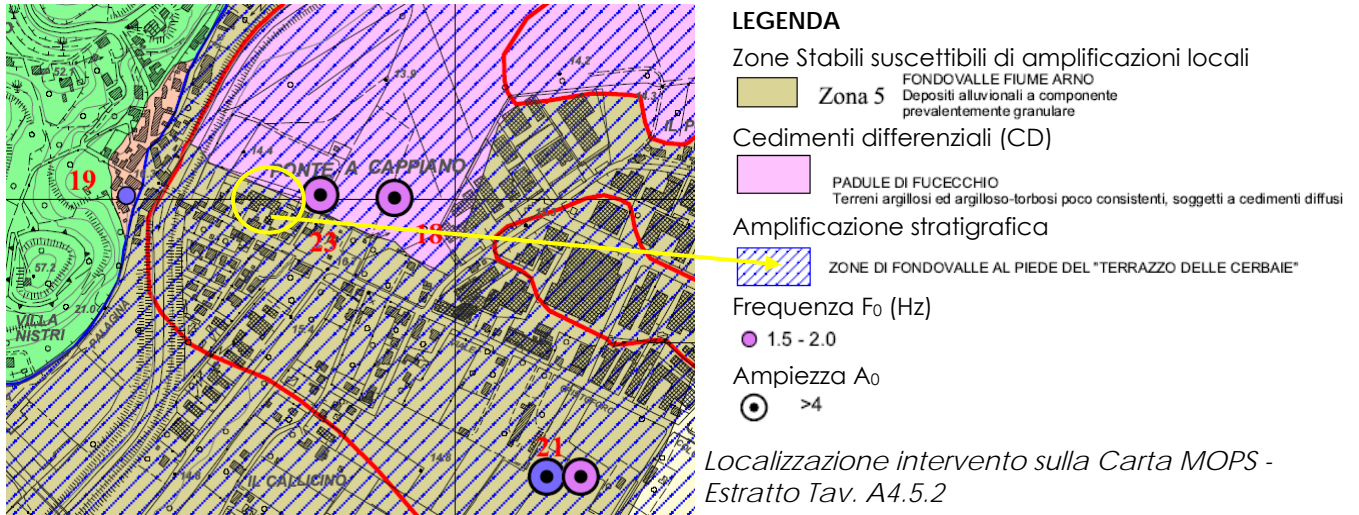
Quota piezometrica rilevata: -2 m dal pdc.



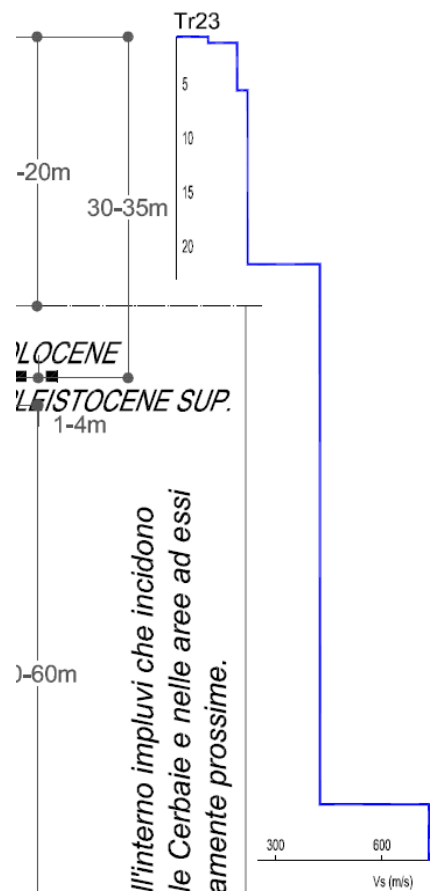
5.2.2 – Elementi Sismostratigrafici

Per caratterizzare il contesto sismostratigrafico si sono dettagliate a scala locale quelle che sono le più generali risultanze dello SU dalle quali è stata derivata la condizione di Fattibilità sismica 3.

Partendo dai risultati della Carta MOPS, di seguito sintetizzati, si è proceduto ad una loro verifica puntuale attraverso una nuova campagna di indagini geofisiche.



Stratigrafia caratteristica da MOPS – Estratto Tav. A4.6



Particolare del modello di velocità adottato dallo SU



Obiettivo della verifica è stato quello di localizzare l'effettiva presenza di un substrato, o comunque di un dominio sismico, caratterizzato da un contrasto d'impedenza con i materiali sovrastanti tale da generare significativi fenomeni di amplificazione sismica.

I valori di amplificazione e frequenza ottenuti dalle misure di rumore delle registrazioni Tr18 e Tr23 sono indicati nella tabella "Frequenza di risonanza evidenziate nelle misure effettuate" di cui all'Allegato A.4.4.3 – Fascicolo dei dati di base – allegato alla documentazione del RU.

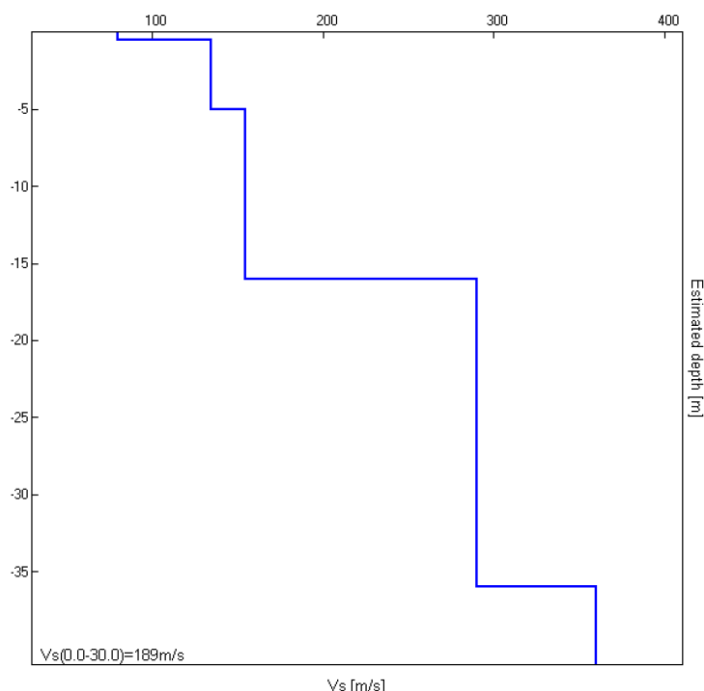
Di seguito sono riepilogati

Tr18	$f_0 = 1.84$	$A_0=6.5$
Tr23	$1.35 < f_0 < 2.0$	$A_0=5.0$

Nell'ambito della medesima documentazione è stato stimato un modello sismostratigrafico ottenuto dall'analisi congiunta tra la misura Tr23 e la prospezione lineare MASW (lunghezza max stendimento pari a 51 m) effettuata in sua corrispondenza.

Questi i risultati:

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	80
5.00	4.50	135
16.00	11.00	155
36.00	20.00	290
inf.	inf.	360



Sito 23. Profilo verticale delle Vs

Gli ulteriori approfondimenti condotti nel sito in esame sono costituiti da tre differenti tecniche di acquisizione che, basate su principi teorici differenti, hanno consentito oltre ad ottenere una maggior capacità di investigazione nel sottosuolo, di verificare la robustezza dei singoli risultati ottenuti riducendone l'incertezza.

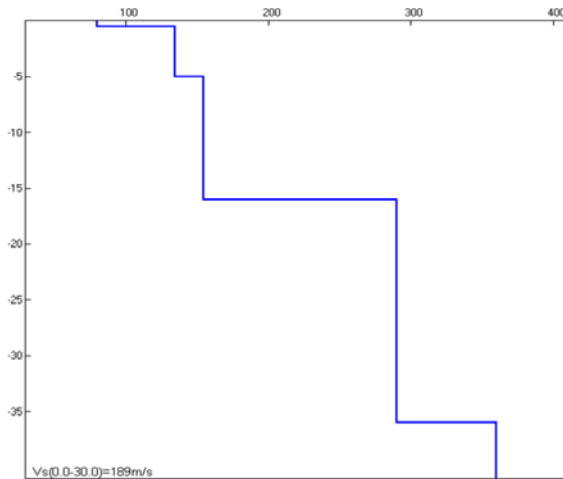
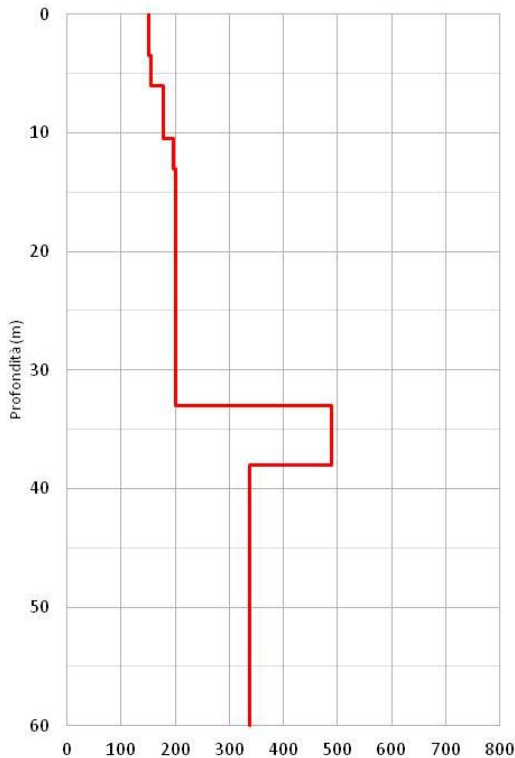
La nuova misura di H/V (conforme a tutti i criteri del Progetto SESAME), ha fornito i seguenti valori

HVSR	$f_0 = 1.602$	$A_0=5.211$
------	---------------	-------------

Dunque le risultanze delle misure di rumore disponibili e di quella effettuata possono essere considerate sostanzialmente confrontabili.

Quando però si passa a confrontare il profilo di velocità ottenuto dall'analisi congiunta delle prove MASW + H/V disponibili e quello ottenuto dall'indagine appositamente eseguita, emerge una significativa differenza in termini di attribuzioni di velocità ai diversi orizzonti sismici.

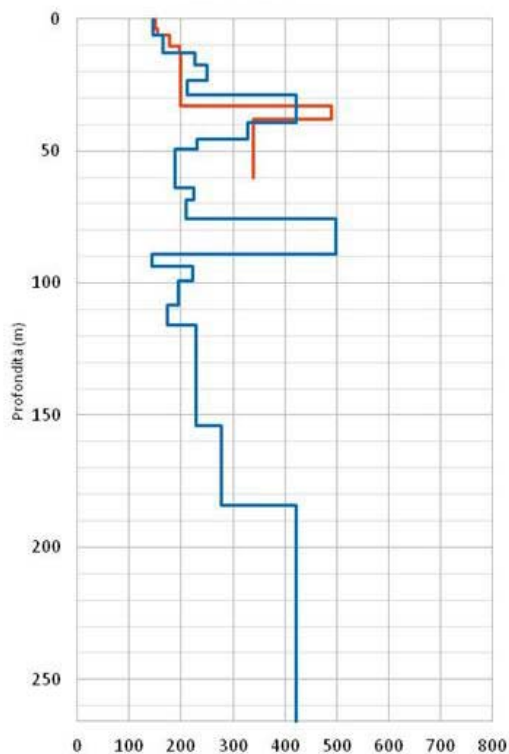
Nelle figure seguenti tale differenza è messa a confronto graficamente.



Confronto tra il modello di velocità ottenuto dalle nuove acquisizioni (sn) e quello disponibile (dx) sul sito 23.

In particolare, il confronto evidenzia nel vecchio modello una sottostima delle velocità tra 5 e 15 m ($V_s \approx 150$ m/s contro 180 m/s) da cui consegue, per compensazione, la sovrastima delle velocità nell'orizzonte tra 15 e 35 m ($V_s \approx 300$ m/s contro $V_s \approx 200$ m/s).

Oltre la profondità di 35 m il vecchio modello assegnava una velocità di $V_s \approx 360$ m/s *al semispazio*, mentre quello risultante dalla nuova elaborazione - che ha consentito di determinare le velocità fino a 60 m - evidenzia uno "scalino" tra 35 e 38 m con $V_s \approx 490$ m/s dopo di che si ha un' *inversione di velocità*.



Per risolvere questa discrepanza, aumentare il grado di risoluzione e soprattutto spingere in profondità la ricerca di contrasti significativi e/o inversioni di velocità, *l'approfondimento di indagine si è basato sui risultati di una prospezione MARW*.

Tale metodologia si contraddistingue per il fatto che, fondandosi sui principi della riflessione, è in grado di aumentare di gran lunga risoluzione e profondità d'investigazione.

Nel modello di velocità ottenuto (figura a fianco) è stato possibile verificare *l'assenza di orizzonti assimilabili al substrato sismico* ($V_s > 800$ m/s).

E' invece confermato un picco di velocità ($V_s \approx 500$ m/s) che si localizza intorno a 70÷90 m di profondità, ma il fatto che sia seguito da una nuova inversione fa intendere che esso sia verosimilmente attribuibile ad uno dei numerosi livelli di ghiaie presenti nei sedimenti profondi (rif. data base ISPRA).



6 – VALUTAZIONI CONCLUSIVE SULLA PERICOLOSITÀ E LA FATTIBILITÀ DELLA VARIANTE

Il presente approfondimento è stato richiesto al fine di aggiornare alle nuove disposizioni urbanistiche quanto già prodotto a corredo dei precedenti elaborati.

In particolare, come da specifica richiesta dell'ufficio del Genio Civile del Valdarno Superiore, sono stati approfonditi gli aspetti di compatibilità idraulica e sismica da cui è emerso quanto segue.

La previsione degli **accorgimenti progettuali** proposti rende compatibile l'intervento con le condizioni di **sicurezza idraulica** prescritte dalla normativa vigente in materia.

Gli **studi sismici di dettaglio** appositamente eseguiti hanno consentito di verificare il modello di velocità generale fornito dalla Carta MOPS, dettagliandone localmente la parte più profonda, soprattutto in termini di velocità e contrasti d'impedenza.

Non sono state riscontrate condizioni di potenziale amplificazione stratigrafica. La conformazione sismostratigrafica infatti è risultata caratterizzarsi per l'assenza di contrasti d'impedenza significativi o comunque in grado di generare fenomeni di particolare amplificazione del segnale di input sismico.

Resta tuttavia inteso che una valutazione puntuale dell'entità degli effetti sismici sulle strutture (i.e. risonanza) dovrà essere verificata in sede di progettazione delle medesime.

In termini di valutazione preliminare della propensione alla liquefacibilità dei terreni, si ritiene di poter considerare bassa la possibilità che il dominio granulare mediamente addensato incontrato dalla prova possa liquefarsi in condizioni *free field*. Ad ogni buon conto anche in questo caso sarà necessario procedere - in fase di predisposizione degli elaborati progettuali previsti dal DM 17.01.2018 in materia di norme tecniche per le costruzioni in zona sismica - alle necessarie e opportune verifiche da questa previste.

Per quanto concerne le condizioni di fattibilità geologica si può affermare che l'assetto litostratigrafico (così come l'analisi dell'edificato al contorno) non evidenzia la sussistenza di particolari criticità in termini di compressibilità. Ciò a maggior ragione a fronte di tipologie d'intervento con caratteristiche simili a quelle in progetto, per le quali sono prevedibili ipotesi di carico contenute.

Alla luce e nei limiti di quanto fin qui esposto, per quanto di competenza, si conferma la fattibilità urbanistica dell'intervento.

Cascina, agosto 2020

Geol. Massimiliano Perini

Report Indagine Sismica

INDAGINE GEOFISICA

MARW (Multichannel Analysis of Reflected Waves) - Onde SH
MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) - Onde di Love
HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)



Piano di Recupero PA63
Ponte a Cappiano
Comune di FUCECCHIO (FI)

PROPRIETA':
SANI Piero

DIREZIONE INDAGINI:
Geol. Massimiliano PERINI

[09/06/2020]

INDAGINE GEOFISICA

MARW (*Multichannel Analysis of Reflected Waves*) - Onde SH
MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) - Onde di Love
HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)

PIANO DI RECUPERO PA63
PONTE A CAPPIANO
FUCECCHIO (FI)

09/06/2020

PROPRIETA': **Sig. SANI Piero**

DIREZIONE INDAGINI: **Geol. Massimiliano PERINI**

DITTA ESECUTRICE INDAGINI: **Geo-Ernergizers snc**

PREMESSA

Per conto della proprietà è stata realizzata un'indagine sismica finalizzata alla determinazione delle caratteristiche sismostratigrafiche del sottosuolo ed in particolare della natura e localizzazione di contrasti d'impedenza significativi ai fini della pianificazione e successivamente della progettazione.

A tal fine è stato predisposto uno stendimento secondo la massima possibilità di sviluppo consentita dall'area, in corrispondenza del quale è stata eseguita una misura con tecnica **MASW** (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) in onde di Love e una misura con tecnica **MARW** (*Multichannel Analysis of Reflected Waves*). In posizione baricentrica allo stendimento è stata effettuata una registrazione di rumore tipo **HVSR**. L'esecuzione delle misure sismiche di superficie si è svolta in data 09/06/2020. La loro ubicazione è riportata in Figura 1.



Fig. 1 – Ubicazione misura HVSR: Coord. WGS84 Lat. 43.744229; Lon. 10.771861

La tecnica di acquisizione sismica a riflessione monodimensionale MARW ha consentito di misurare i contrasti d'impedenza presenti nel sottosuolo ben al di sotto dei tradizionali 30 m di normativa e, attraverso l'analisi congiunta dei dati MASW e della registrazione HVSR per vincolare il modello di velocità, di risolvere con maggiore accuratezza gli orizzonti caratterizzati da differente contrasto d'impedenza.

L'elaborazione dei sismogrammi acquisiti con la prova MASW, previa procedura d'interlacciamento, è stata effettuata con il software WinMASW 6.0 *Pro* operando con la tecnica di *modellazione diretta* della curva di dispersione.

STRUMENTAZIONE

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati di campagna è la seguente:

Energizzatore	massa da 10 Kg su traversina	generazione segnale
Geofoni orizz. (4,5 Hz)	4kOhm 4.5Hz	conversione segnale sismico in elettrico
Sismografo SARA Do.Re.Mi.	digitalizzatori - 24 bit	conversione segnale e registrazione
Interfaccia Do.Re.Mi. master		alimentazione, collegamento PC,
Computer	Acer Aspire One D150-1Bw	visualizzazione, memorizzazione dati

Tab. 1 – Strumentazione di acquisizione per analisi MASW e MARW.

La strumentazione è composta da una serie di geofoni ad oscillazione verticale/orizzontale collegati ai canali di registrazione. Questi ultimi ricevono il segnale analogico generato dall'arrivo del treno di onde sismiche, prodotte dal sistema di energizzazione, e lo convertono istantaneamente in formato digitale.

Il dato acquisito viene quindi registrato nell'unità di memoria interna al canale stesso rendendosi disponibile per il successivo download, mediante interfaccia master, da parte del programma di acquisizione installato su computer portatile.

L'interfaccia master, oltre a permettere l'acquisizione dei dati, fornisce l'alimentazione elettrica necessaria allo strumento, registra con precisione il segnale start proveniente dalla fonte di energizzazione e consente una corretta comunicazione tra il personal computer e i canali di acquisizione.



Fig. 2 – Strumentazione d'acquisizione.

L'acquisizione delle misure HVSR è stata eseguita mediante la seguente strumentazione:

Strumento	modello PF S SR04 GBX-45-NNG	
3 Sensori (4,5 Hz)	Numero canali: 3 Non ortogonalità: < 0.01% Frequenza naturale: 4.5Hz (+/-5%) Banda utilizzabile: 0.2-1000Hz Damping: 0.707 Massa inerziale: 24 g Sensibilità nominale: 80 V/m/s Movimento massa: 0.2mm Certificazioni:CE(EN55022, N55011)	campionamento simultaneo sui 3 canali
Interfaccia Do.Re.Mi.		download dei dati su PC,
Computer	Acer Aspire One D150-1Bw	visualizzazione, memorizzazione dati

Tab. 2 – Strumentazione di acquisizione per analisi HVSR.

Il dispositivo sismico utilizzato in questa sede per le misure di vibrazione ambientale consiste in un digitalizzatore a 24 bit 3 canali ad altissima risoluzione collegato a un personal computer per il controllo dello strumento e la registrazione dei dati.

Tre supporti a vite regolabili e una livella consentono il posizionamento dello strumento secondo il piano orizzontale; l'alimentazione è garantita da una piccola batteria interna ricaricabile.

I dati acquisiti dai sensori sono trasferiti al PC mediante un cavo elettrico collegato a una porta seriale (RS232) e registrati in digitale da un software dedicato (modulo SEISMOLOG-MT della suite SEISMOWIN) per mezzo di un convertitore con frequenza di campionamento fino a 600 Hz.

Attraverso la specifica funzione di trasferimento è possibile, nel dominio delle frequenze, una correzione strumentale del dato. Di seguito si riporta quella specifica dello strumento utilizzato:

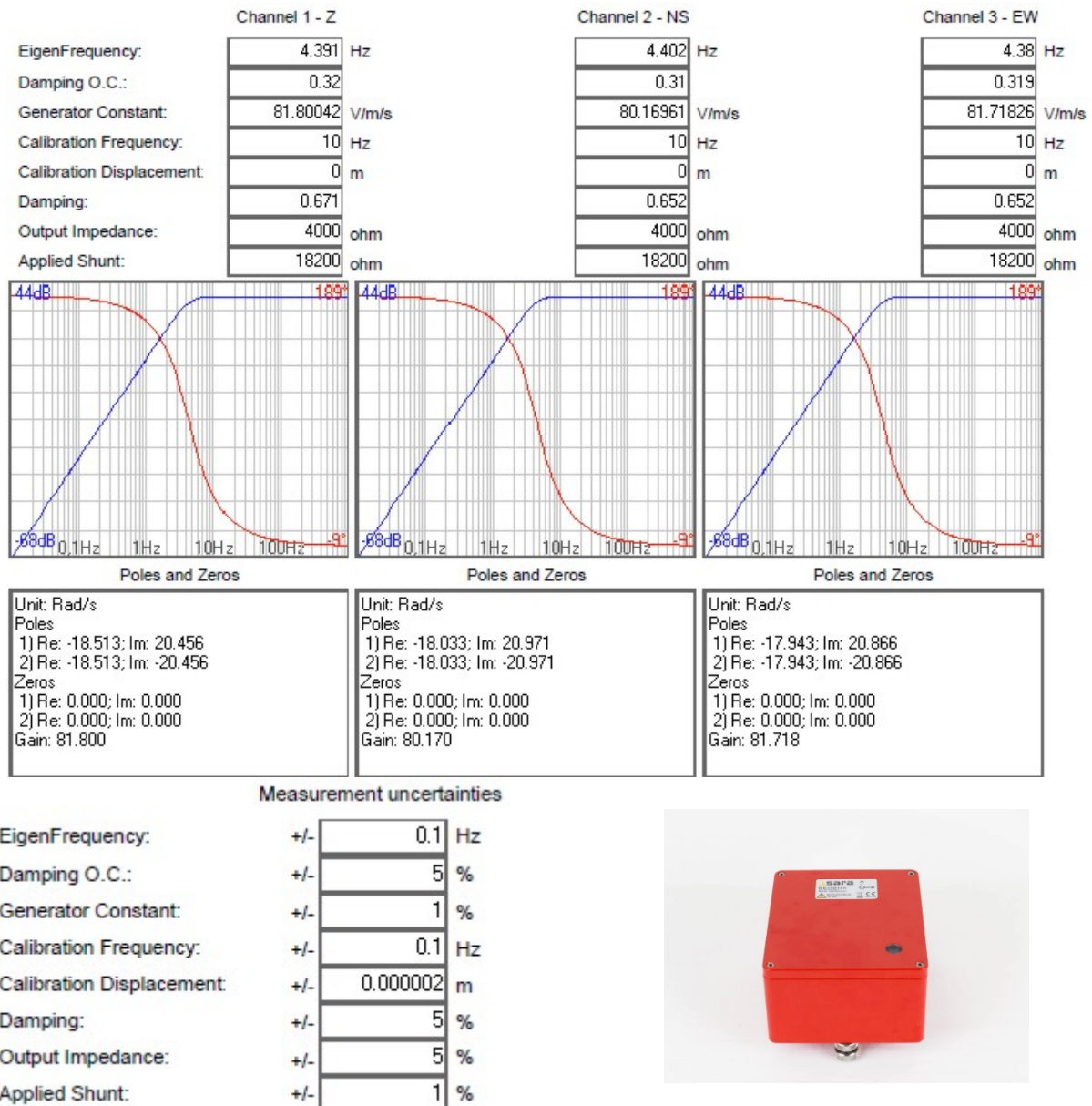


Fig. 3 – Funzione di trasferimento dei sensori del tromografo digitale.

TECNICA MASW

La tecnica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una forma di prospezione sismica che, attraverso la registrazione della modalità di propagazione delle onde di superficie nel sottosuolo, permette di risalire alla velocità di diffusione delle onde di taglio V_{sv} e/o V_{sh} (radiali e trasversali) lungo un profilo verticale per convenzione posizionato al centro dello stendimento.

Da tale profilo, mediante l'applicazione della formula $V_{seq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$ relativa agli spessori e velocità dei singoli orizzonti sismici presenti al di sopra del bedrock sismico. Qualora il substrato rigido si collochi a profondità superiori a 30 m la velocità equivalente delle onde di taglio V_{seq} è definita dal parametro V_{S30} considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

L'indagine geofisica con tecnica MASW è realizzata mediante uno stendimento sismico costituito da 12 a 48 (o più) geofoni allineati e separati tra loro da una distanza intergeofonica costante.

I geofoni registrano l'arrivo delle onde sismiche generate in corrispondenza di un punto di energizzazione posto esternamente allo stendimento (*offset*) a una distanza compresa fra 2 e 20 m circa dal primo, o dall'ultimo, geofono e in allineamento con i geofoni stessi. Ogni singolo elemento ricevente trasmette il segnale sismico rilevato, tramite un cavo schermato, alla stazione di ricezione all'interno della quale avviene la registrazione del treno di onde su cui procedere per le successive elaborazioni e interpretazioni.

La distanza intergeofonica, il numero dei geofoni e dunque la lunghezza totale dello stendimento sono valutate in funzione dello spessore minimo dello strato sismogenetico a velocità V_s costante che si vuole determinare e in funzione della profondità da raggiungere per la specifica indagine.

La profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e la sua frequenza. Tali caratteristiche quindi non dipendono solamente dalla geometria dello stendimento ma altresì dalle caratteristiche della successione litostratigrafica del terreno attraversato.

L'obiettivo della registrazione è l'individuazione del treno di onde superficiali (onde di Rayleigh e/o di Love). Le onde sismiche, attraversando il mezzo, subiscono una dispersione le cui modalità sono direttamente correlate con la velocità e la frequenza di propagazione delle onde di taglio.

Le caratteristiche di un'acquisizione con la tecnica MASW prevedono una o più energizzazioni con tempi di acquisizione compresi tra 1 e 4 sec e con frequenza di campionamento variabile da 500 a 5000 Hz.

Dal sismogramma, note le caratteristiche geometriche dell'acquisizione, si ricava il diagramma "**velocità di fase - frequenza**" dal quale si ottiene la curva di dispersione.

La curva di dispersione è sottoposta a un processo di *modeling* diretto, ovvero viene ricercata la più sensata coerenza tra distribuzione di energia nello spettro di velocità (che è l'unico dato oggettivo) e curve di dispersione teoriche di un modello che l'utente, a partire dalle eventuali conoscenze stratigrafiche note a priori, testa e modifica con le procedure di "*modellazione diretta*". Generalmente la curva di dispersione riprodotta dai vari software ricostruisce la distribuzione delle energie tra i vari modi secondo un modello puramente elastico sul quale si dovrà operare tenendo presente gli accorgimenti necessari per giungere all'identificazione di un modello reale (ovvero visco-elastico).

Lo scopo è ottenere una valutazione di un possibile assetto sismostratigrafico rispetto allo spettro osservato. Nel caso di situazioni geologiche particolari o complesse (cioè dati sismici di ardua interpretazione) questo è un modo di procedere pratico e spesso il risultato interpretativo è sufficiente (non

essendo poi necessario eseguire l'inversione). In genere è fortemente consigliato utilizzare un modello testato le cui curve di dispersione risultino nell'interpretazione in ragionevole (ma non ancora ottimale) accordo con lo spettro di velocità osservato, come punto/modello di partenza per l'inversione (lo scopo è quello di perfezionare il modello).

Se, nell'interpretazione del dato, l'accordo tra il modello identificato in fase di modellazione diretta e lo spettro è ottimale non sarà necessaria alcuna inversione e sarà possibile fermarsi al modello identificato.

Infine, si precisa che in dipendenza dal tipo di dati che si stanno considerando (cioè da sorgente a impatto verticale e geofoni a componente verticali o a componente orizzontale con asse radiale, o da acquisizioni trasversali, cioè con sorgente di taglio e geofoni orizzontali con componente perpendicolare all'array) si andranno ad analizzare diversi tipi di onde: nel primo caso quelle di Rayleigh, nel secondo quelle di Love.

MODALITÀ DI ACQUISIZIONE E RISULTATI TECNICA MASW - Onde di Love (THF)

Le caratteristiche adottate per l'indagine MASW eseguita in questa sede sono quelle di seguito illustrate.

L'acquisizione è stata effettuata con metodo THF secondo la nomenclatura di *Herrmann* (vedasi Tabella 1), allo scopo di individuare il profilo verticale di velocità delle onde di taglio $V_{s_{eq}}$ e per la ricerca di eventuali inversioni di velocità nel sottosuolo.

Acronimo	Sorgente	Geofono	Utilità
ZVF	forza verticale: martellato su piastra o caduta di grave	verticale	Acquisizione componente verticale delle onde di Rayleigh
ZEX	sorgente esplosiva	verticale	Acquisizione componente verticale delle onde di Rayleigh
RVF	forza verticale: martellato su piastra o caduta di grave	radiale	Acquisizione componente radiale delle onde di Rayleigh
REX	sorgente esplosiva	radiale	Acquisizione componente radiale delle onde di Rayleigh
THF	sorgente trasversale	trasversale	Acquisizione onde di Love

Tab. 3 – Tipi di acquisizioni per analisi MASW.

Nella figura seguente è illustrato lo schema di acquisizione, mentre nella successiva tabella è indicato il *setting* di acquisizione.

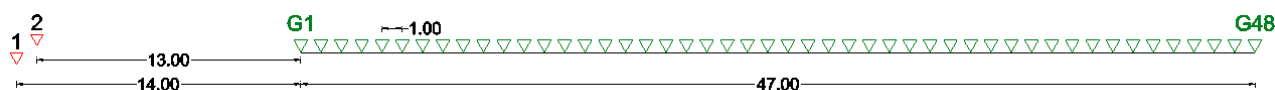


Fig. 4 – Schema d'acquisizione.

stendimento	ST1
n° geofoni	48
distanza intergeofonica (m)	1,0
n° punti di scoppi	2 (Onde di Love)
n° scoppi per acquisizione	3 (<i>multistacking</i>)
Offset scoppi (m)	13,00 – 14,00
tempo di acquisizione (sec)	2,0
intervallo campionamento (Hz)	1000

Tab. 4 – Parametri e settaggi d'acquisizione.

Il particolare assetto geologico-stratigrafico del sito e la disponibilità di spazio sufficientemente ampio all'interno della resede, hanno permesso di definire con buon grado di approssimazione i sismostrati presenti nell'ambito dei primi 20 m c.a. di profondità dalla superficie. Oltre tale profondità (HS semispazio) l'attendibilità della prova MASW si riduce drasticamente.

Per ovviare a tale limitazione oltre all'esecuzione di analisi congiunta dei dati MASW con quelli ottenuti dalla registrazione HVSR (vedasi paragrafo successivo) è stata eseguita una acquisizione con tecnica MARW la quale, basandosi sul principio della rilevazione delle onde riflesse anziché delle onde di superficie riesce a risolvere con maggiore accuratezza gli orizzonti caratterizzati da differente contrasto d'impedenza.

L'elaborazione dei sismogrammi acquisiti con la prova MASW, previa procedura d'interlacciamento, è stata effettuata con il software WinMASW 6.0 *Pro* operando con la tecnica di *modellazione diretta* della curva di dispersione. Il modello conseguito dall'elaborazione dei sismogrammi individua per il profilo ST1, con riferimento al piano campagna, un valore di $V_{s_{eq}}$ ($V_{s_{30}}$ in quanto il bedrock non è stato individuato) **pari a 185 m/sec.**

Di seguito è riportata la sintesi del profilo delle velocità di taglio, con la profondità, dei vari domini individuati ed i parametri elastici ad essi attribuiti.

Layer	profondità	spessore	Vp	Vs	γ	n	E	G	B	L
n°	m	m	m/s	m/s	(T/mc)		(Kg/cmq)	(Kg/cmq)	(Kg/cmq)	(Kg/cmq)
1	3.5	3.5		150	1.83			418		
2	6.0	2.5		155	1.84			449		
3	10.5	4.5		178	1.88			607		
4	13.0	2.5		196	1.92			749		
5	30.0	17		200	1.92			783		

Tab. 5 – Parametri elastici indagine sismica MASW-1.

Dove:

V_p = velocità onde di compressione; V_s = velocità onde di taglio; γ = densità di bulk; n = Modulo di Poisson; E = Modulo di Young; B = Modulo di Bulk; L = Modulo di Lamè.

TECNICA HVSR (metodo Nakamura)

Lo scopo di questa particolare tecnica è l'individuazione, attraverso il metodo proposto da Nakamura sul rapporto spettrale H/V, delle discontinuità sismiche nel sottosuolo e la ricerca dell'eventuale *bedrock* geofisico. La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è totalmente non invasiva, rapida e può essere applicata ovunque non necessitando di alcun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale.

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza di un sito *free field*;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio;
- la velocità media delle onde di taglio V_s (solo se già noti gli spessori dei sismostrati);
- gli spessori della coltre di copertura del substrato litoide (solo se già note le V_s dei sismostrati).

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un determinato sito dallo strumento dipende: dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s ; dal percorso dell'onda dalla sorgente S al sito X (attenuazioni, riflessioni); dalle rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda; dalla risposta dello strumento; ovvero:

segnale registrazione al sito = sorgente * effetti di percorso * funzione trasferimento strumento

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento etc....) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Il rumore sismico viene denominato microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, sensibilmente inferiori a quelle prodotte dai terremoti.

I metodi che si basano sull'acquisizione delle vibrazioni ambientali vengono detti di tipo passivo, in quanto il segnale non è appositamente generato (come avviene per esempio con le energizzazioni della sismica attiva).

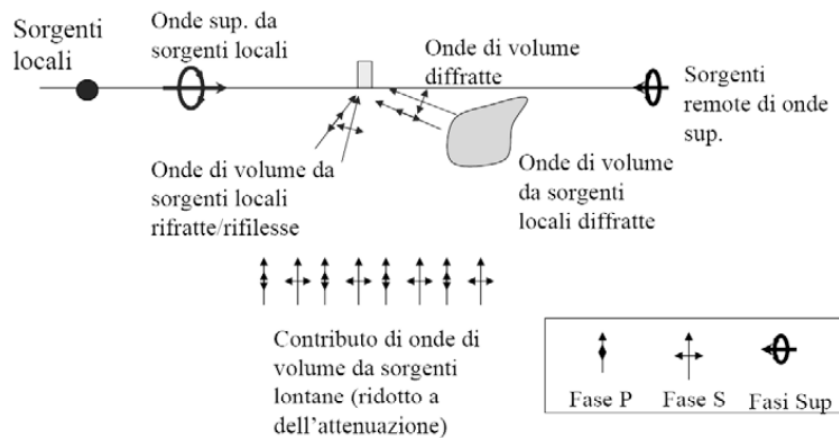


Fig. 5 – Percorsi e tipi di sorgenti dei microtremori.

Nel tragitto dalla sorgente S al sito X le onde elastiche subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda e attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Di conseguenza l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica.

Diversamente con la tecnica dei microtremori è possibile registrare una parte del segnale di partenza che contiene informazioni relative al percorso effettuato ovvero alla struttura sismostratigrafica in prossimità del sensore. In questo modo il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale da scartare nella sismologia tradizionale, viene sfruttato per ottenere utili informazioni per le analisi sismiche del sottosuolo. Queste risultano mascherate dal rumore casuale e possono essere estratte solo attraverso opportune tecniche di filtraggio.

Una di queste è la teoria dei rapporti spettrali o semplicemente HVSR che consente di fornire stime affidabili delle frequenze fondamentali dei sottosuoli.

RISULTATI HVSR

Per l'acquisizione dei dati sono stati utilizzati n°1 tromometri digitali (modello PF S SR04 GBX-45-NNG) a 3 canali con capacità di registrazione a 24 bit. Attraverso lo strumento, che racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ad alta definizione ortogonali tra loro, si sono registrate le vibrazioni ambientali i cui valori sono stati salvati in tempo reale nella memoria interna di un computer portatile. Gli assi di oscillazione dello strumento sono stati allineati a quelli geografici mediante l'utilizzo di una bussola.

I dati registrati sono stati convertiti in file ASCII nel formato SAF mediante il software Seismolog-MT e successivamente elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza.

Durante il campionamento lo stesso *software* ha permesso di visualizzare in tempo reale la curva H/V e gli spettri assoluti sulle componenti sia verticale che orizzontale e di salvare un secondo file di registrazione già depurato dei transienti individuati durante il campionamento.

Per la postazione di registrazione il rumore sismico è stato acquisito per un periodo di 30 minuti. In fase di elaborazione la registrazione è stata suddivisa manualmente in intervalli della durata di 25 sec all'interno dei quali si è operato un'analisi spettrale nelle tre componenti (Verticale, N-S e E-W).

Per ciascun segmento si è quindi calcolato il rapporto spettrale fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale. Dei valori così ottenuti è stata calcolata la media.

Il riscontro dell'effettiva approssimazione all'ellitticità delle onde di Rayleigh dei risultati ottenuti dall'elaborazione delle misure di campagna è stato condotto verificando:

- la stabilità e l'adeguatezza in termini di campionamento statistico dei rapporti sperimentali H/V;
- la qualità degli effetti di sorgente in termini di valor medio, ovvero al netto di eventuali sorgenti dominanti;
- l'assenza di errori sistematici di misura (i.e. quelli derivanti dal cattivo accoppiamento strumento/terreno).

Definendo i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si può ricavare il valore della frequenza caratteristica del sito (f_0) e la relativa ampiezza (A_0). Sapendo che a ogni picco in frequenza corrisponde una profondità in metri dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica rappresentativa del sottosuolo.

Sapendo che a ogni picco in frequenza corrisponde una profondità in metri dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza, avendo a disposizione un modello di velocità coerente da altre metodologie d'indagine, si può estrapolare una stratigrafia geofisica rappresentativa del sottosuolo.

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio e della sismostratigrafia di sito, è stato costruito un modello teorico HVSR avente tante discontinuità sismiche quante quelle evidenziate dalla registrazione.

In seguito, tramite specifico algoritmo sono state unite le informazioni di carattere sismostratigrafico derivanti dall'indagine MASW con quelle derivanti dall'analisi H/V e si è adattato la curva teorica a quella sperimentale, ottenendo i valori di riferimento degli spessori dei sismostrati e la relativa velocità delle onde Vs. L'interpretazione ha consentito di correlare il valore dei picchi dello spettro di risposta HVSR con i valori di frequenza riguardanti le discontinuità sismiche e i principali cambi litologici presenti nel sottosuolo.

Definendo i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si può ricavare il valore di frequenza caratteristica per ogni postazione del sito. Sapendo che a ogni picco in frequenza corrisponde una

profondità in metri dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica rappresentativa del sottosuolo.

La **frequenza di risonanza del sito** è definita da un picco di frequenza con un valore di ampiezza medio-elevato. Tale picco viene generato da una discontinuità localizzata alle medie frequenze ($f_0=1.602 \pm 0.120$ Hz – $A_0=5,211$) associabile a un possibile contatto tra i depositi alluvionali sciolti e un probabile livello di ghiaie e/o sabbie addensate posto a circa 30 m di profondità.

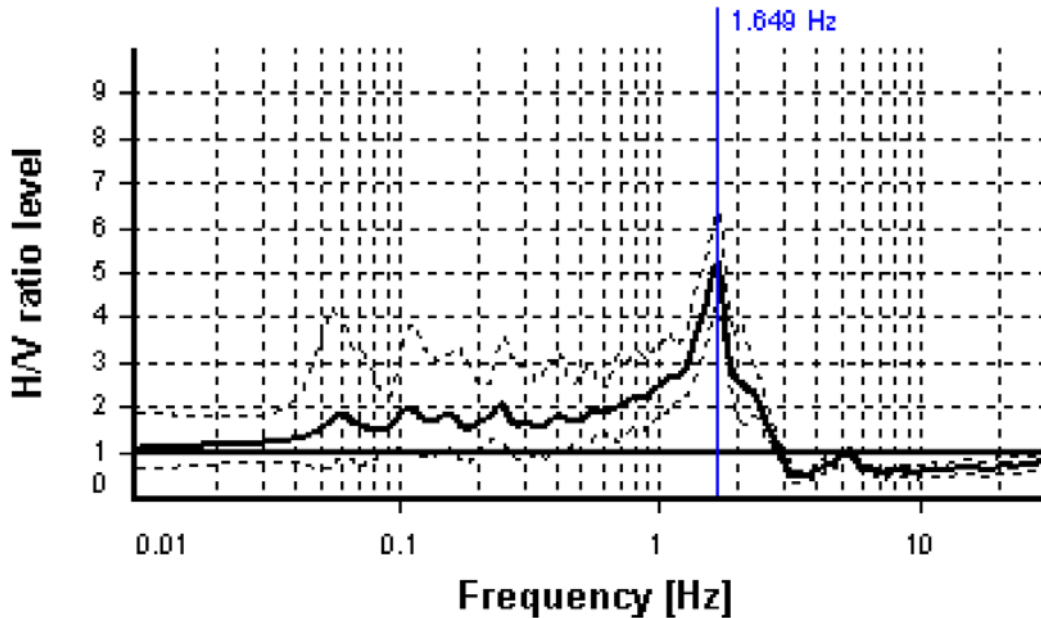


Fig. 6 - Rapporto spettrale H/V medio misurato

Nella successiva Tabella 5 viene rappresentata numericamente la qualità del segnale acquisito sulla base dei principi e delle indicazioni di cui al progetto SESAME 2005 (*Site EffectS assessment using Ambient Excitations*). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere verificati i primi tre criteri mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti almeno cinque dei sei criteri successivi.

HVSR curve reliability criteria ($f_0 = 1,602 \pm 0.120$ Hz)		
$f_0 > 10 / Lw$	25 valid windows (length > 6.07 s) out of 25	NO
$n_c(f_0) > 200$	824.35 > 200	NO
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 173	OK
HVSR peak clarity criteria ($f_0 = 1,602 \pm 0.120$ Hz)		
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	1.03578 Hz	OK
$\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	1.98243 Hz	OK
$A_0 > 2$	5.21 > 2	OK
$F_{\text{peak}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.8 % \leq 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.12026 < 0.16487	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.21656 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		NO

Intervallo di Frequenza [Hz]	Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$				
	< 0,2	0,2 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	> 2,0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 \cdot f_0$	$0.20 \cdot f_0$	$0.15 \cdot f_0$	$0.10 \cdot f_0$	$0.05 \cdot f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.00	2.50	2.00	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log_{HV}}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Tab. 6 – Verifica di attendibilità della curva H/V per $f_0 = 1.602$ Hz secondo i criteri del Progetto SESAME 2005.

TECNICA MARW (*Multichannel Analysis of Reflected Waves*)

La sismica a riflessione tradizionale si basa sulla registrazione dei tempi che intercorrono tra l'istante in cui viene generato uno specifico *input* elastico in superficie e l'istante di ricezione dei segnali di ritorno in superficie generati dalle riflessioni sulle superfici presenti al di sotto del piano di campagna.

La tecnica a riflessione, a differenza di quella a rifrazione, non necessita dell'assunto del progressivo aumento di velocità di propagazione dell'onda con la profondità. La riflessione infatti sfrutta il *solo* contrasto di impedenza sismica (sia positivo che negativo) in corrispondenza della superficie di separazione sia tra terreni differenti che dello stesso tipo ma con caratteristiche diverse.

Due sono i principali vantaggi di questa tecnica d'esplorazione ovvero: da una parte l'efficacia nella capacità di penetrazione in profondità all'interno del sottosuolo, dall'altra l'accuratezza nella localizzazione e definizione delle geometrie sepolte.

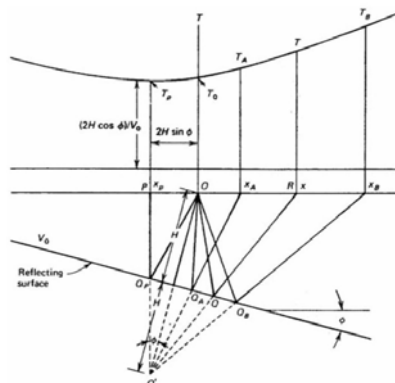
Per gli ambiti di indagine quale quello in oggetto, solitamente vengono impiegati sistemi di acquisizione a 24÷48 canali con digitalizzatori a 24 bit.

Tramite appositi sistemi di energizzazione sono immesse onde sismiche (P o SH) nel sottosuolo le cui riflessioni vengono registrate in superficie con una catena (*spread*) di ricevitori (geofoni).

L'equazione matematica semplificata che descrive la curva di un segnale riflesso è di tipo iperbolico (figura successiva):

$$(V_1 \cdot t)^2 = 4H^2 + x^2 + 4H \cdot x \cdot \sin \varphi$$

dove V_1 rappresenta la velocità dell'onda che si propaga nel mezzo considerato omogeneo; t il tempo d'arrivo nel punto di ascissa generica x ; H lo spessore dello strato interessato; x la distanza del geofono dalla sorgente energizzante; φ l'inclinazione della superficie riflettente.

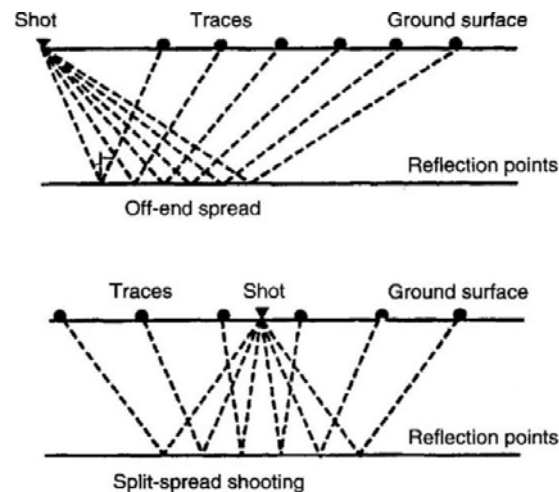


Traiettoria dei raggi sismici su un riflettore inclinato e relativo diagramma tempo-distanza.

In fase di acquisizione dei dati, i parametri fondamentali riguardanti la geometria dello stendimento sono:

- l'*offset* (distanza tra la sorgente energizzante e i sensori);
- il numero delle tracce registrate;
- la distanza tra le tracce.

La sorgente energizzante nella tecnica a riflessione può essere posta all'esterno dello stendimento geofonico (geometria *off-end spread*), oppure all'interno di esso (geometria *split-spread*).



Principali geometrie d'acquisizione.

Nelle acquisizioni 2D, vengono eseguite più misurazioni spostando la sorgente di energizzazione e lo stendimento geofonico in direzioni uguali oppure opposte, così da investigare una porzione più ampia di terreno.

Su queste geometrie si basa la modalità di acquisizione del *common-depth-point* (CDP) che, energizzando in differenti posizioni permette di indagare (illuminare) più volte un dato punto in profondità ottenendo così più segnali associati. Tale processo consente di incrementare il rapporto *segnale/rumore* rendendo il risultato finale più nitido in quanto filtrato degli effetti generati dal rumore random o coerente.

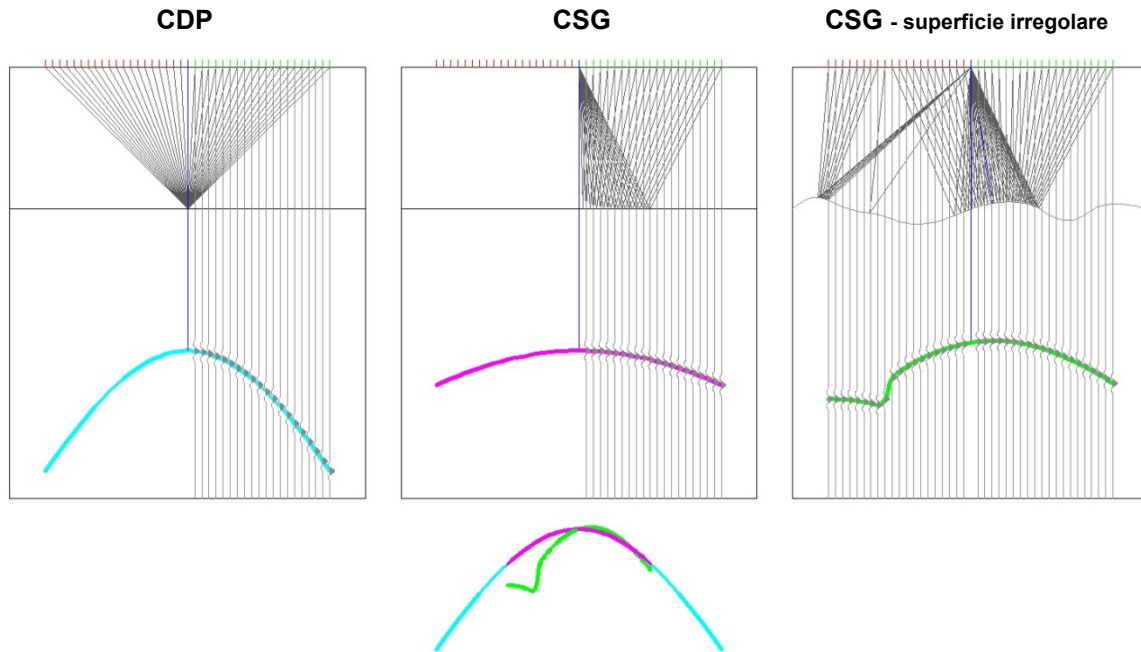
Tale modalità d'acquisizione prevede dunque almeno due coperture per ogni CDP conseguenza per cui risulta utile operare con tecniche multicanale (*multifold coverage*).

Un aspetto importante della tecnica a riflessione è il campionamento del segnale. Quest'ultimo infatti è di tipo analogico (continuo nel tempo) mentre lo strumento di acquisizione (un calcolatore) è di tipo digitale (ossia in grado di campionare il segnale solo ad intervalli di tempo imposti dall'operatore). Di conseguenza la funzione *continua* che rappresenta il segnale viene campionata con un determinato intervallo di tempo Δt ed di distanza Δx . Pertanto risulta di grande importanza la scelta dei valori di campionamento per evitare che inesattezze in fase di registrazione digitale generino un'acquisizione imprecisa/falsata dei dati (*aliasing* temporale/spaziale).

La tecnica **MARW** (*Multichannel Analysis of Reflected Waves*) è la semplificazione 1D della tecnica a riflessione 2D. Il vantaggio della metodologia MARW consiste nella semplificazione delle modalità di acquisizione, che vede la tradizionale analisi del *processing flow* basarsi su un singolo CSG (*Common Shot*

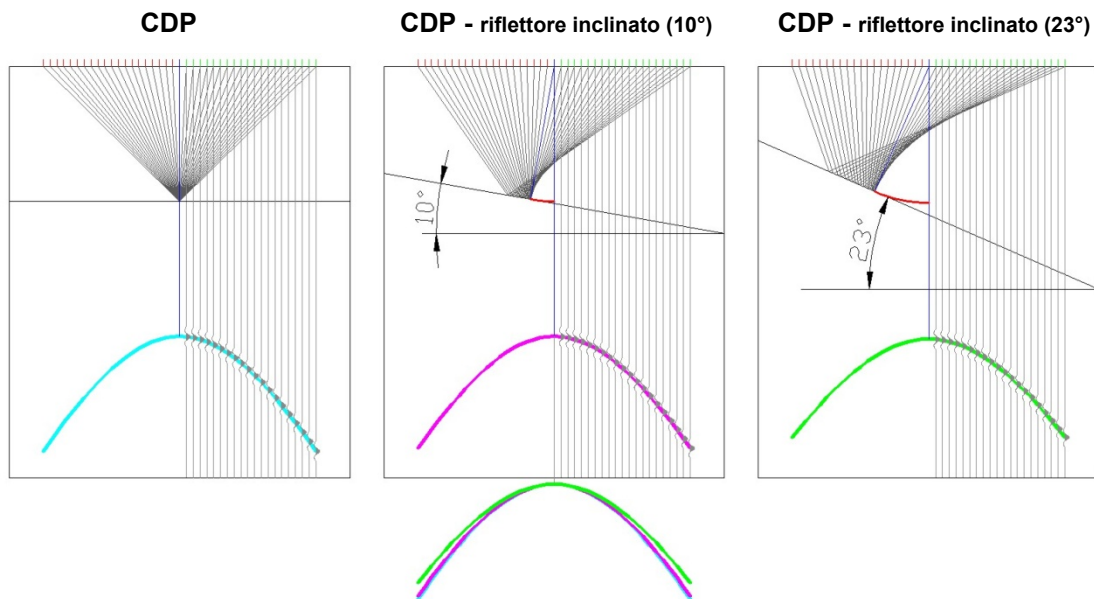
Gather) o CDP (*Common Depth Point*) per ottenere la sismostratigrafia e il modello di velocità del sottosuolo sulla verticale d'indagine.

Ciò è vero nel caso il cui ci si trovi ad operare su superfici sub-pianeggianti e nel sottosuolo siano presenti contatti litologici continui con pendenze non superiori ai 10-15°. In questo caso infatti acquisire un CSG o un CDP sarà del tutto equivalente



Metodologia di acquisizione Tecnica MARW (superficie piana o irregolare).

Diversa cosa se siamo in presenza di superfici riflettenti molto irregolari o fortemente inclinate. In tal caso il solo metodo di acquisizione efficace sarà quello del singolo CDP.



Metodologia di acquisizione Tecnica MARW (riflettore orizzontale o inclinato).

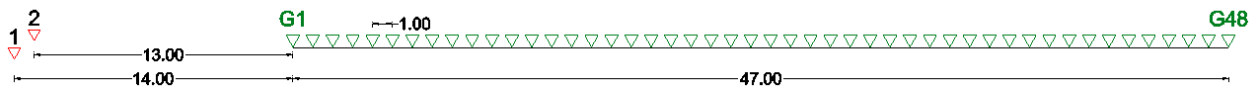
Nel caso in cui la superficie riflettente superi una pendenza di 15°, in fase di elaborazione del dato, sarà necessario operare una correzione del DMO (*Dip Move Out*) per garantire una miglior rappresentazione grafica nella costruzione della *semblance* per l'analisi di velocità.

MODALITA' E GEOMETRIA DI ACQUISIZIONE MARW

I parametri di acquisizione e la geometria dello stendimento adottato per l'acquisizione in oggetto sono di seguito specificati:

PARAMETRI DI ACQUISIZIONE	MARW (SH)
Sismografo	Do.Re.Mi SARA
Numero canali	48
Numero geofoni per canale	1
Impedenza geofoni	600 Ω
Frequenza naturale geofoni	4,5 Hz
Copertura nominale	100%
Passo campionamento temporale	1,0 ms
Lunghezza registrazione	2,0 sec
GEOMETRIA STENDIMENTO	
Punti di energizzazione	Ext-NORD
Passo geofoni	1,0 m
Offset minimo	13,0 m
Offset massimo	60,0 m
Spread	Spit-spread

Parametri e settaggi d'acquisizione MARW1.



Caratteristiche di acquisizione in riflessione stendimento MARW.

Per la realizzazione della stesa sismica è stata utilizzata una linea fissa (*fixed line*) con acquisizione geometrica *off-end* posizionando lo scoppio all'esterno dello stendimento.

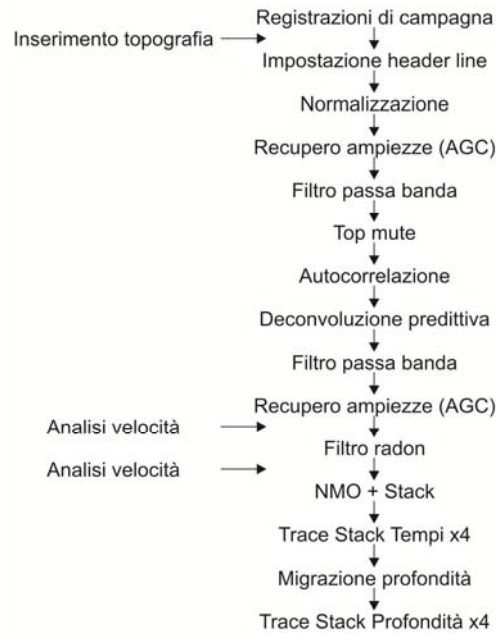
Per la generazione delle onde di taglio si è fatto ricorso all'utilizzo di una mazza sismica da 12 kg impattata direttamente su una trave in legno resa solidale al terreno con il peso di un automezzo.

Nonostante la condizione di sostanziale bassa rumorosità ambientale del sito indagato, per il punto di energizzazione (*shot-point*) si è scelto di procedere ad un numero minimo di 6 registrazioni (*multistacking*), a vantaggio di un'ulteriore riduzione della componente di rumore ambientale nelle tracce.

In questo modo sono stati ottenuti sismogrammi in cui il segnale generato, essendo sempre in fase, è sommato n volte mentre il rumore (*random*) tende ad annullarsi, favorendo così il rapporto Segnale/Rumore di ciascuna traccia.

RISULTATI MARW

I dati acquisiti con lo stendimento sono stati sottoposti alla sequenza di processing di indicata a fianco.



Flow-Chart delle operazioni di Processing.

In Appendice è riportata l'ubicazione della prova e i sismogrammi del *data-set* acquisito al quale sono state applicate le funzioni di processamento presenti nella *Flow-Chart*. Nella fase di analisi di velocità dei riflettori sulla semblance è stato eseguito il *picking* delle riflessioni fino a tempi dove il segnale è osservabile (coerente). Oltre tale limite temporale il rumore ambientale infatti risulta predominante e l'analisi di velocità perde di attendibilità. Per un maggior dettaglio sul profilo di velocità (Vsh) della verticale analizzata si riporta di seguito la sintesi numerica dei risultati dove sono rappresentati i tempi T0 di percorrenza dell'onda riflessa ad offset zero, la velocità di *stack* dei singoli riflettori (velocità quadratica media), la velocità intervallare dei domini litologici compresi tra due riflessioni continue e la profondità dei riflettori.

N.	t (sec)	Vrms (m/s)	Vint (m/s)	Prof (m)
1	0.000	141.987	145.895	0.00
2	0.086	145.895	145.895	6.27
3	0.165	155.013	164.302	12.79
4	0.208	171.947	225.570	17.64
5	0.256	188.882	250.238	23.55
6	0.305	192.789	211.856	28.78
7	0.354	238.382	422.131	39.21
8	0.393	248.803	329.306	45.57
9	0.425	230.566	230.566	49.28
10	0.580	188.882	188.882	63.89
11	0.623	191.487	223.705	68.69
12	0.689	209.724	209.724	75.67
13	0.743	242.289	497.700	89.03
14	0.810	235.776	144.353	93.84
15	0.859	222.750	222.750	99.34
16	0.953	194.092	194.092	108.51
17	1.039	174.553	174.553	116.00
18	1.372	188.882	227.900	153.93
19	1.591	203.211	276.569	184.22
20	2.000	263.132	421.939	270.45

Risultati analisi di velocità - MARW1.

L'elaborazione dei sismogrammi acquisiti è stata effettuata attraverso l'applicativo MARW, modulo accessorio del software Do.Re.Mi. (SARA electronic instruments S.r.l di Perugia), e mediante il software *Seismic Unix 44R11* pacchetto software di utilities supportato dal Center for Wave Phenomena (CWP) alla *Colorado School of Mines* (CSM) attraverso i quali si è operato un *processing* del dato sismico secondo la metodologia tradizionale a riflessione.

Il modello in questo modo conseguito, ha individuato un profilo sismico che, con riferimento al piano campagna, presenta un valore di V_{s30} pari a **175 m/sec**.

CONFRONTO DELLE ANALISI EFFETTUATE

Utilizzando come modello superficiale (0,0 ÷ 30,0 m) quello derivante dall'indagine MASW, mediante l'utilizzo del "Software Microtremor" (<http://nato.gfz.hr/SW.zip>) di Albarello D. & Lunedei E. (Lunedei E., Albarello D., 2009, *On the seismic noise wavefield in a weakly dissipative layered Earth*, *Geophys. J. Int.*, 177, 1001-1014) attivato attraverso l'interfaccia grafica messa a disposizione dal Software WinMASW 6.0 Pro, è stato ricercato un modello sismostratigrafico la cui curva H/V sintetica fosse compatibile con quella misurata. Confrontando il modello reale con quello ricostruito si è evidenziata la discontinuità sismica a circa 30 m ($f_0=1,602 \pm 0.120$ Hz – $A_0=5,211$) dalla superficie.

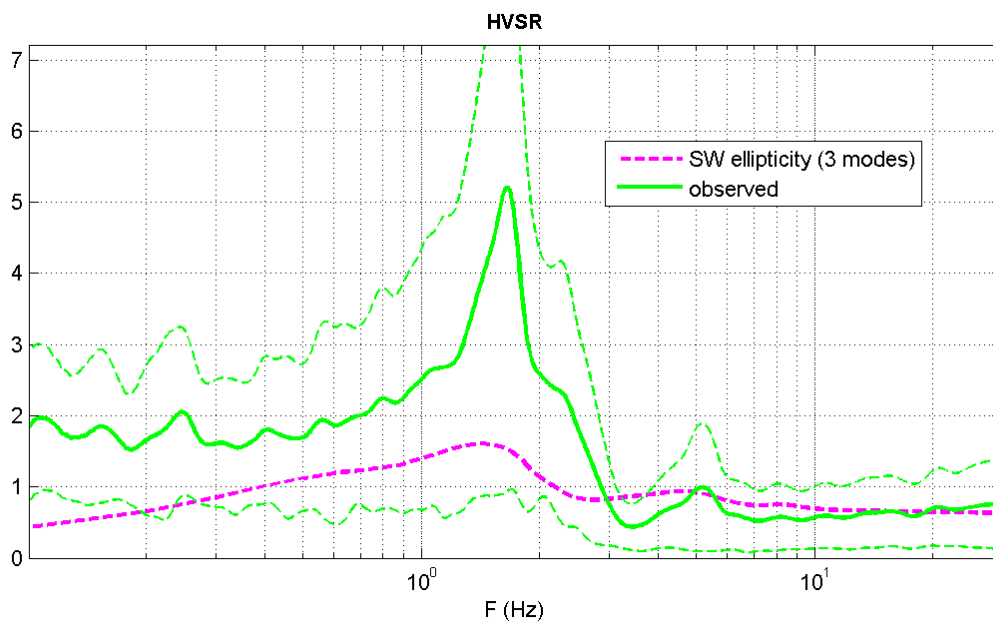


Fig. 9 – Confronto modello H/V osservato e sintetico ricostruito sulla base dell'ellitticità delle Onde Superficiali

L'aumento di velocità di propagazione delle onde sismiche è direttamente correlabile all'aumento di rigidità del sottosuolo. Il *bedrock* geofisico, nella ricostruzione del modello sismico ipotizzato, non è stato individuato quindi risulterebbe localizzarsi a profondità ben superiori di quelle riscontrate dalle metodologie d'indagine sismica qui eseguite.

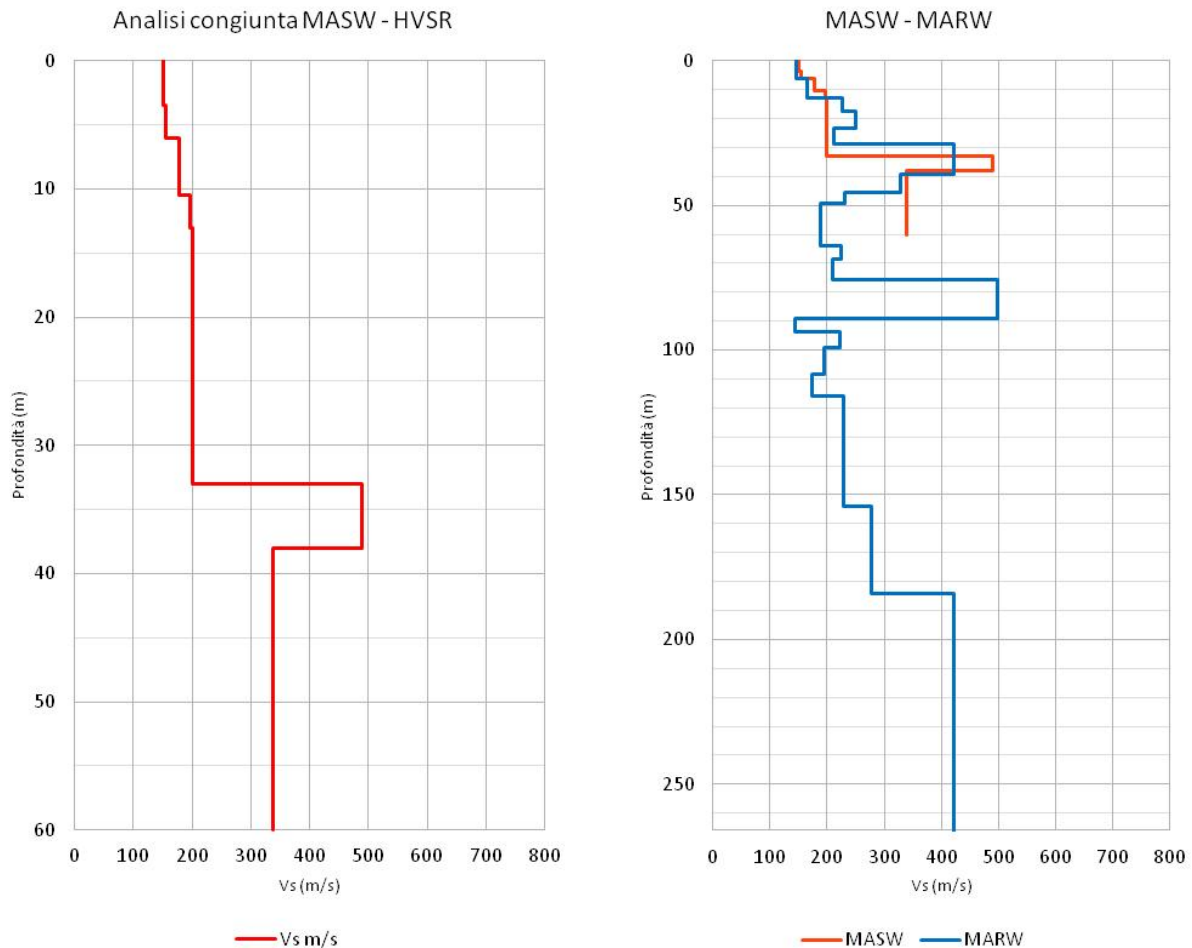
Il modello d'inversione proposto per il caso in esame è riportato nella tabella seguente:

Sismostratigrafia (MASW + HVSR)

Layer	profondità	spessore	Vp	Vs
n°	m	m	m/s	m/s
1	3.5	3.5	-	150
2	6.0	2.5	-	155
3	10.5	4.5	-	178
4	13.0	2.5	-	196
5	33.0	20.0	-	200
6	38.0	5.0	-	490
7	58.0	20.0	-	338
8	60.0	2.0	-	338

Tab. 6 – Sismostratigrafia ricostruita mediante il codice di calcolo di modellazione della curva HVSR.

Di seguito è riportato il **profilo delle velocità** di taglio con la profondità per i vari domini individuati dall'**analisi congiunta MASW + HVSR**, ed il confronto tra i risultati derivanti dalla metodologia congiunta e quelli che derivano dalla prospezione a riflessione **MARW** che raggiunge profondità ben superiori.



La misura **HVSR** ha indicato un picco fondamentale alle medie frequenze prossimo a **1.602 Hz** al quale si associa un rapporto spettrale di ampiezza media pari a **5.211**.

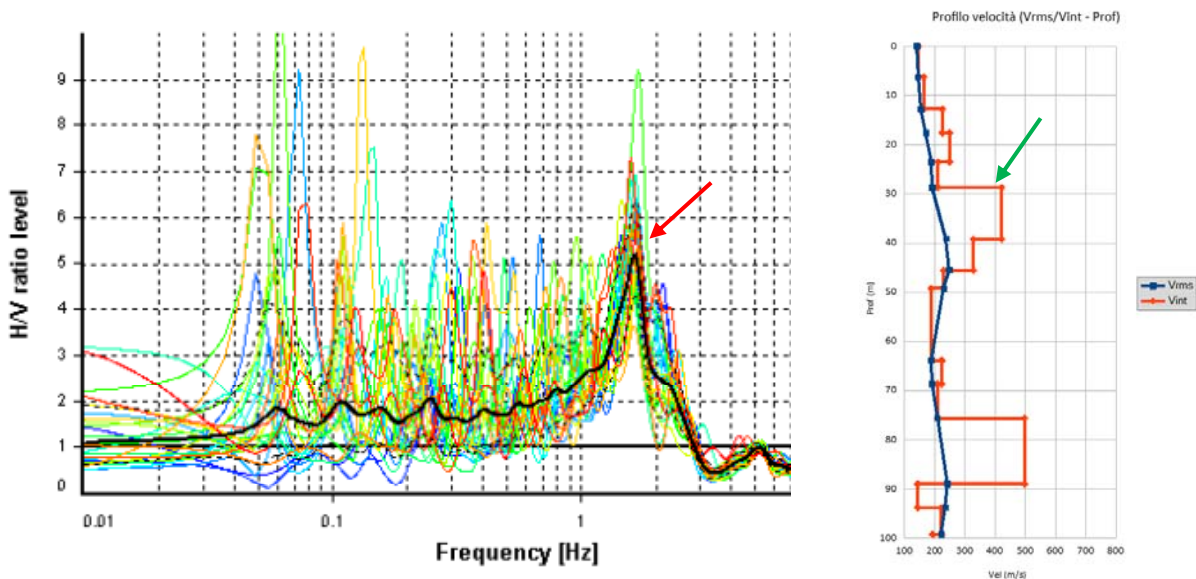
In termini sismostratigrafici la registrazione con stazione singola indica la presenza di un probabile contrasto d'impedenza profondo tra litotipi marcatamente differenti.

Volendo tradurre in distanza dalla superficie tale indicazione è necessario definire valori di V_s medi rappresentativi del sottosuolo al fine di utilizzare la correlazione che lega la profondità alla frequenza:

$$H = V_s/4f_0.$$

In questa sede è stato possibile effettuare un'analisi preliminare in corrispondenza della prova MARW assumendo come valore medio di riferimento quello ricavato dall'elaborazione in riflessione 1D e corrispondente a circa 162 m/sec.

Nelle figure seguenti è messo a confronto il picco di frequenza osservato sul grafico del rapporto spettrale (indicato con la freccia rossa in prossimità del valore di $1,602 \pm 0.120$) e il profilo di velocità V_s derivato dall'analisi MARW (28.78 m di profondità).



Applicando ai valori la formula di correlazione tra una velocità di riferimento di 162 m/s e la frequenza misurata di $1,602 \pm 0.120$ Hz si ottiene una profondità di:

$$H = V_s/4f_0 = 162 \div (4 \times 1.602 \pm 0.120) = 25.35 \pm 2 \text{ m}$$

Da ciò deriva che il picco di amplificazione riscontrato a 1.602 ± 0.120 Hz è verosimilmente associabile ad un contrasto d'impedenza posto a 25.27 ± 2 m di profondità. Per riscontro, a circa la stessa quota dal piano campagna (28.78 m) anche l'indagine MARW ha evidenziato un contrasto di velocità tra litotipi differenti.

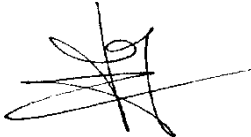
In definitiva, l'indagine a riflessione risulta coerente con la misura HVSR in quanto le due metodologie individuano il medesimo riflettore significativo alla quota di ~25-30 m dal piano campagna. Tutto ciò a conferma della robustezza dei risultati ottenuti.

L'indagine MARW inoltre restituisce informazioni sismostratigrafiche molto profonde del sottosuolo, sebbene dal punto di vista teorico l'attendibilità dei risultati decresca oltre il limite di soglia rappresentato da due il valore del massimo offset utilizzato nelle registrazioni.

Ciò comporta che oltre i 120 m di profondità si abbia un graduale aumento dell'errore percentuale sulla misura delle velocità intervallari dei depositi investigati e di conseguenza degli spessori attribuiti ai vari

domini sismostratigrafici. Ciononostante i risultati dell'indagine sismica a riflessione evidenziano un quadro stratigrafico coerente con le informazioni di base derivanti da stratigrafie di pozzi profondi i quali riportano una sedimentazione ciclica di tipo alluvionale con predominanza di litotipi a granulometria fine e inclusioni a più altezze di corpi sabbioso-ghiaiosi di spessore limitato ma elevata estensione areale.

Documento verificato da:
Dott. Francesco Fiera



Documento approvato da:
Dott. Massimiliano Perini



REPORT ELABORAZIONE MASW (Software WinMASW 6.0 Pro)**PROFILO ST1**

Offset minimo: 13,00 m
 Spaziatura geofoni: 1,0 m
 Frequenza di campionamento: 1000 Hz
 Lunghezza di acquisizione: 2,0 sec
 Dataset-Onde di Love: THFdx1mo13.dat

Curva analizzata**MODELLO - ONDE DI LOVE (geofoni orizzontali, sorgente ad impatto laterale)**

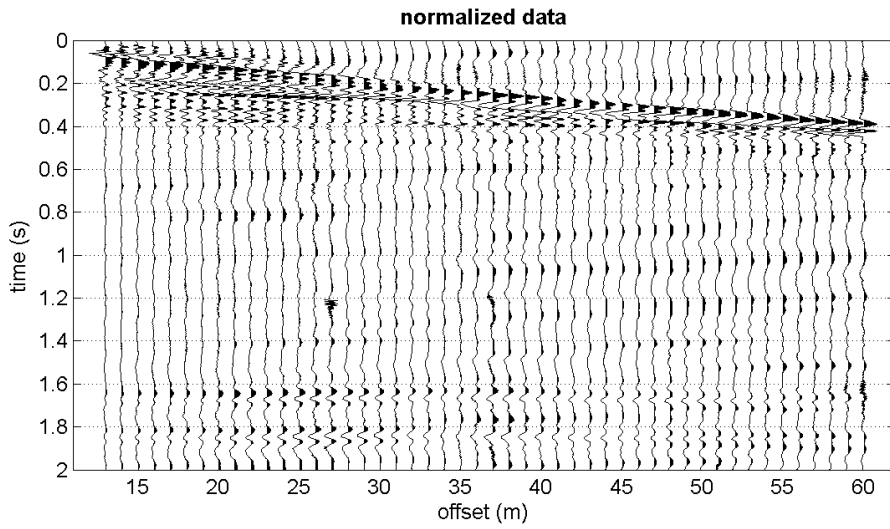
Layer	profondità	spessore	Vp	Vsv	γ	n	E	G	B	L
n°	m	m	m/s	m/s	(T/mc)		(Kg/cmq)	(Kg/cmq)	(Kg/cmq)	(Kg/cmq)
1	3.5	3.5		150	1.83			418		
2	6.0	2.5		155	1.84			449		
3	10.5	4.5		178	1.88			607		
4	13.0	2.5		196	1.92			749		
5	33.0	20.0		200	1.92			783		
6	38.0	5.0		490	2.15			3508		
7	58.0	20.0		338	2.10			2439		
8	60.0	2.0		338	2.10			2439		

Parametri Dinamici

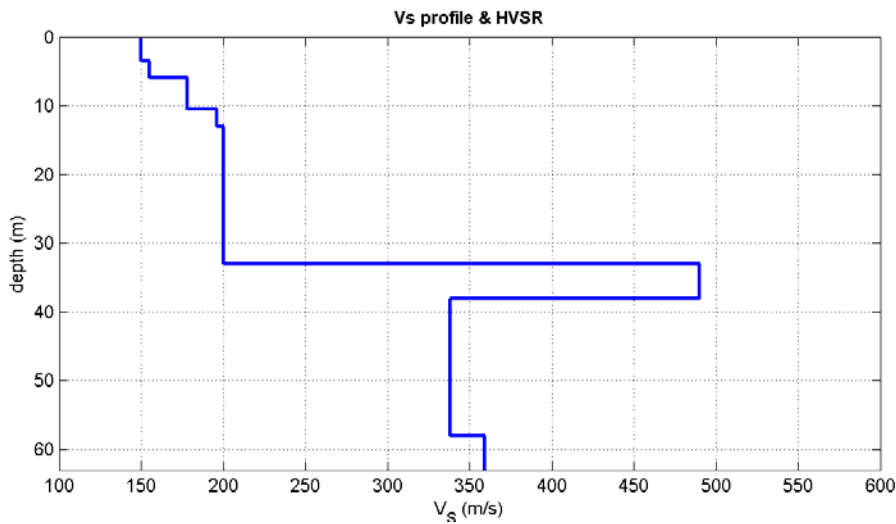
Vp	Velocità onde di compressione
Vs	Velocità onde di taglio
γ	Densità di bulk
n	Modulo di Poisson
E	Modulo di Young
G	Modulo di Taglio
B	Modulo di Bulk
L	Modulo di Lamé

Vs₃₀ (da piano campagna): 185 m/s

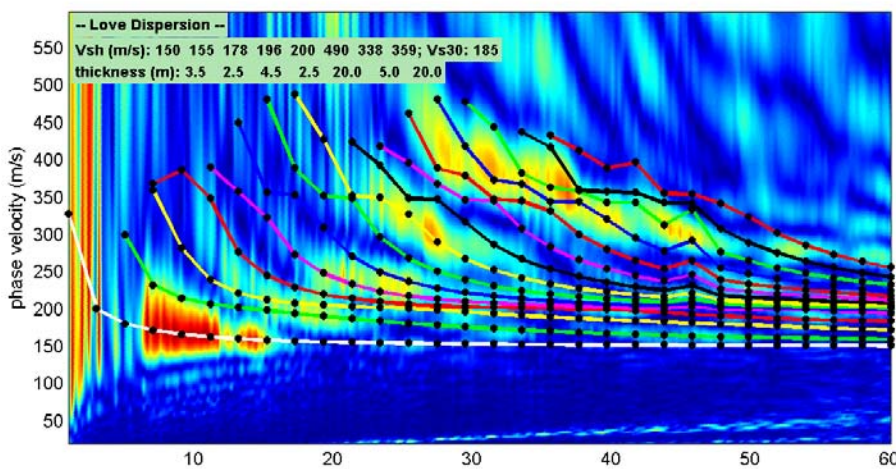
ELABORATI GRAFICI - ONDE DI LOVE



Sismogramma normalizzato



Profilo Vsh



Spettro di velocità

REPORT ELABORAZIONE HVSR (Software Geoplotter HVSR)**STATION INFORMATION**

Station code: Postazione_1

Model: SARA SR04

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Ponte a Cappiano

Address: Via Fortini

Latitude: 43.744231°

Longitude: 10.771902°

Coordinate system: WGS84

Elevation: 16 m s.l.m.

Weather: Sunny

Notes: -



Ubicazione misura HVSR



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

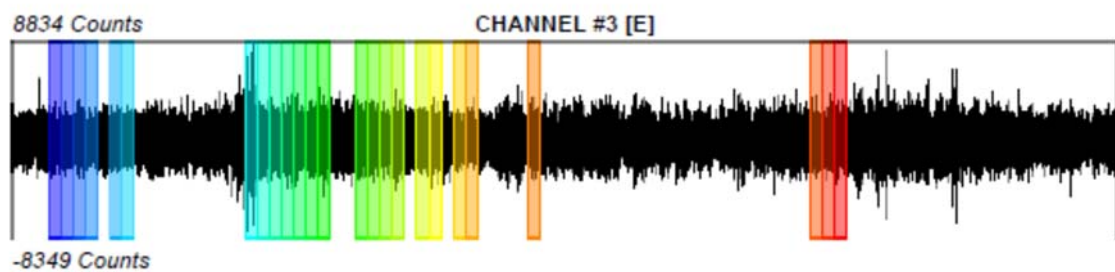
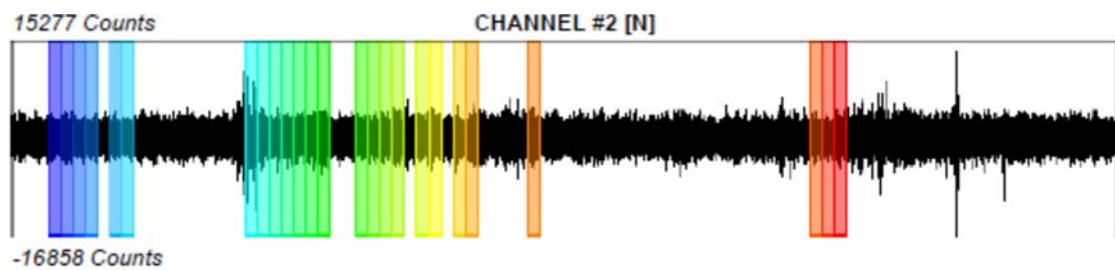
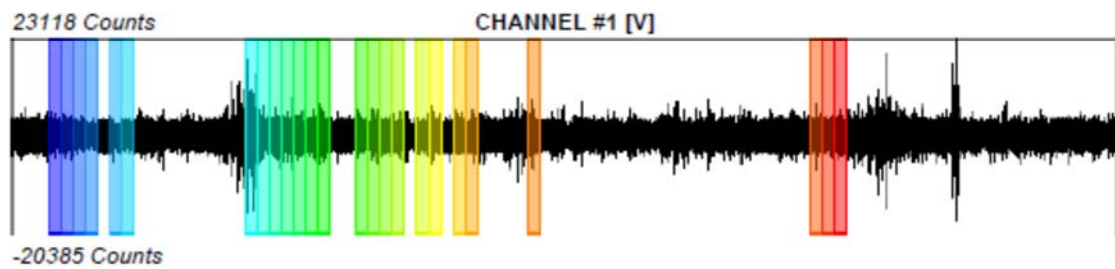
Recording start time: 2020/06/09 16:13:35

Recording length: 30 min

Windows count: 25

Average windows length: 20

Signal coverage: 27.78%



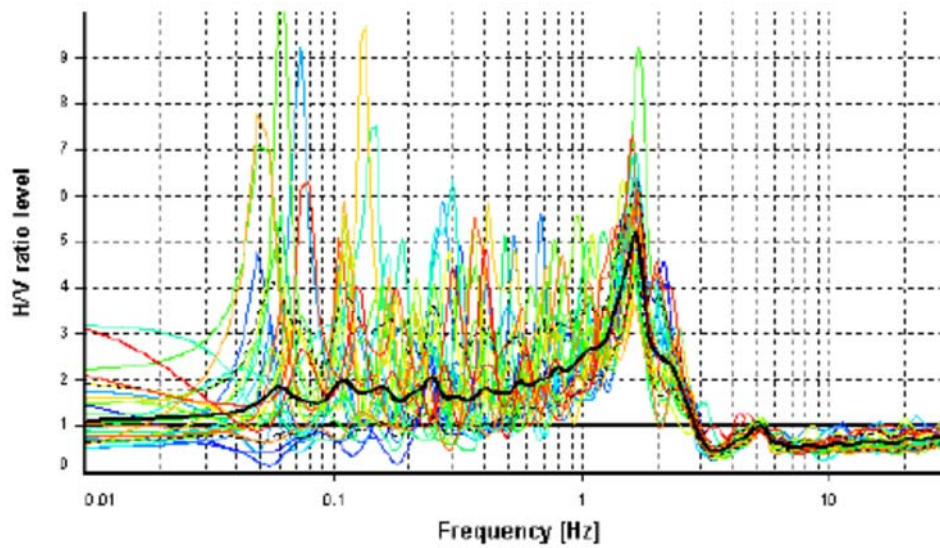
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

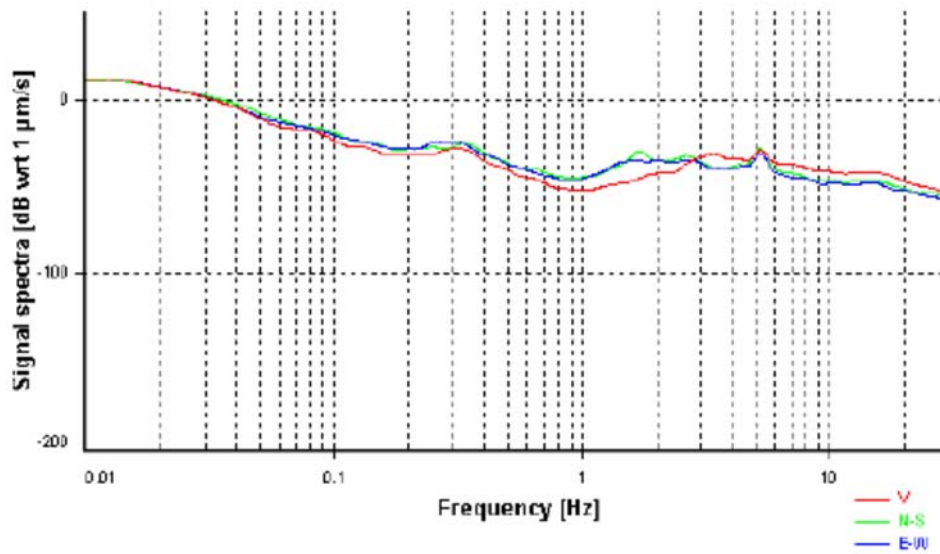
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

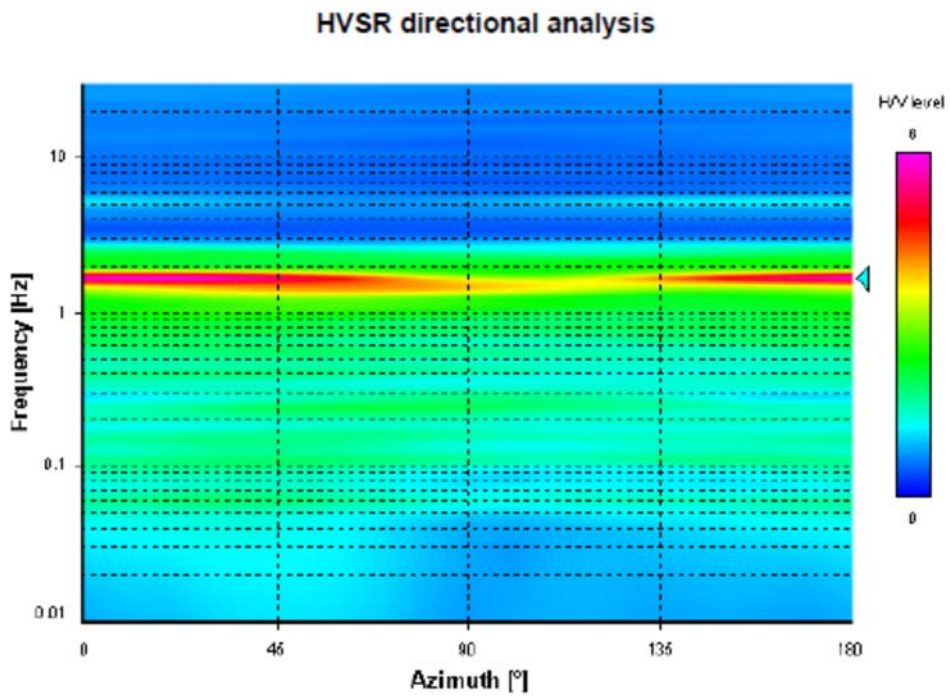
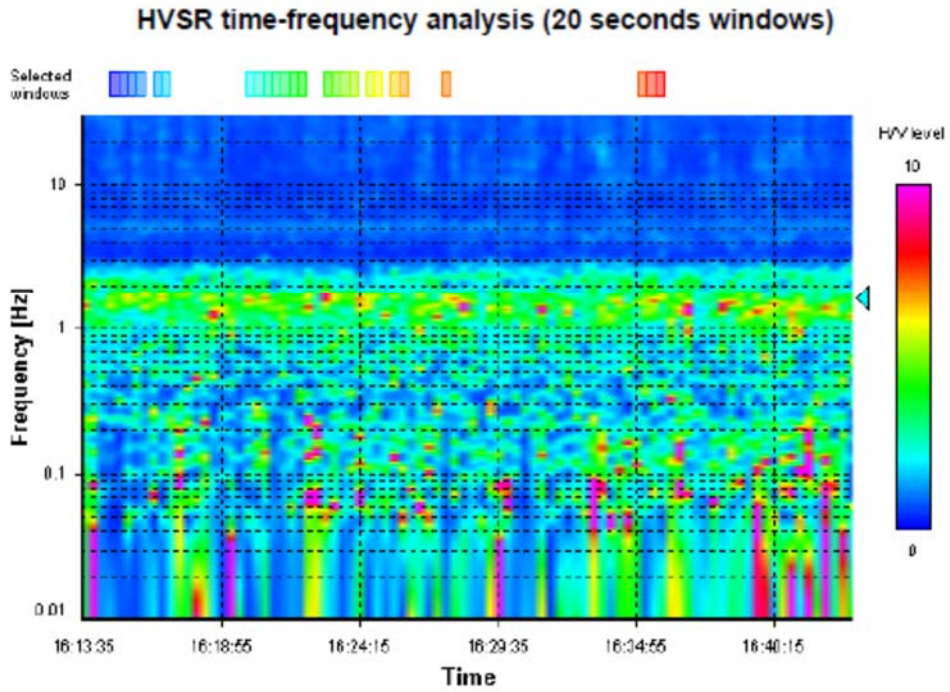
Instrumental correction: Enabled (Water level = 0.01 Hz)

HVSR average



Signal spectra average

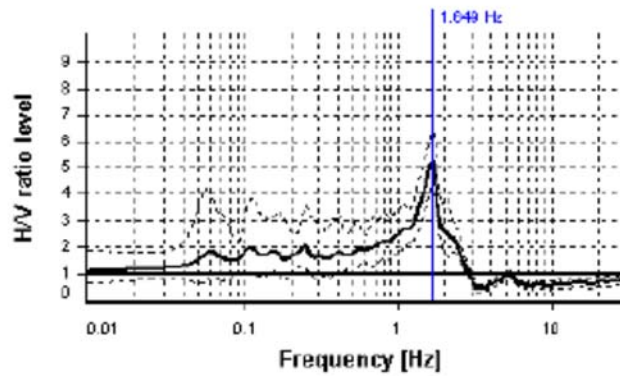




SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency
 1.649 Hz

A_0 amplitude = 5.211
Average $f_0 = 1.602 \pm 0.120$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	25 valid windows (length > 6.07 s) out of 25	OK
$n_c(f_0) > 200$	824.35 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 173	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	1.03578 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	1.98243 Hz	OK
$A_0 > 2$	5.21 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.8% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.12026 < 0.16487	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.21656 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		OK

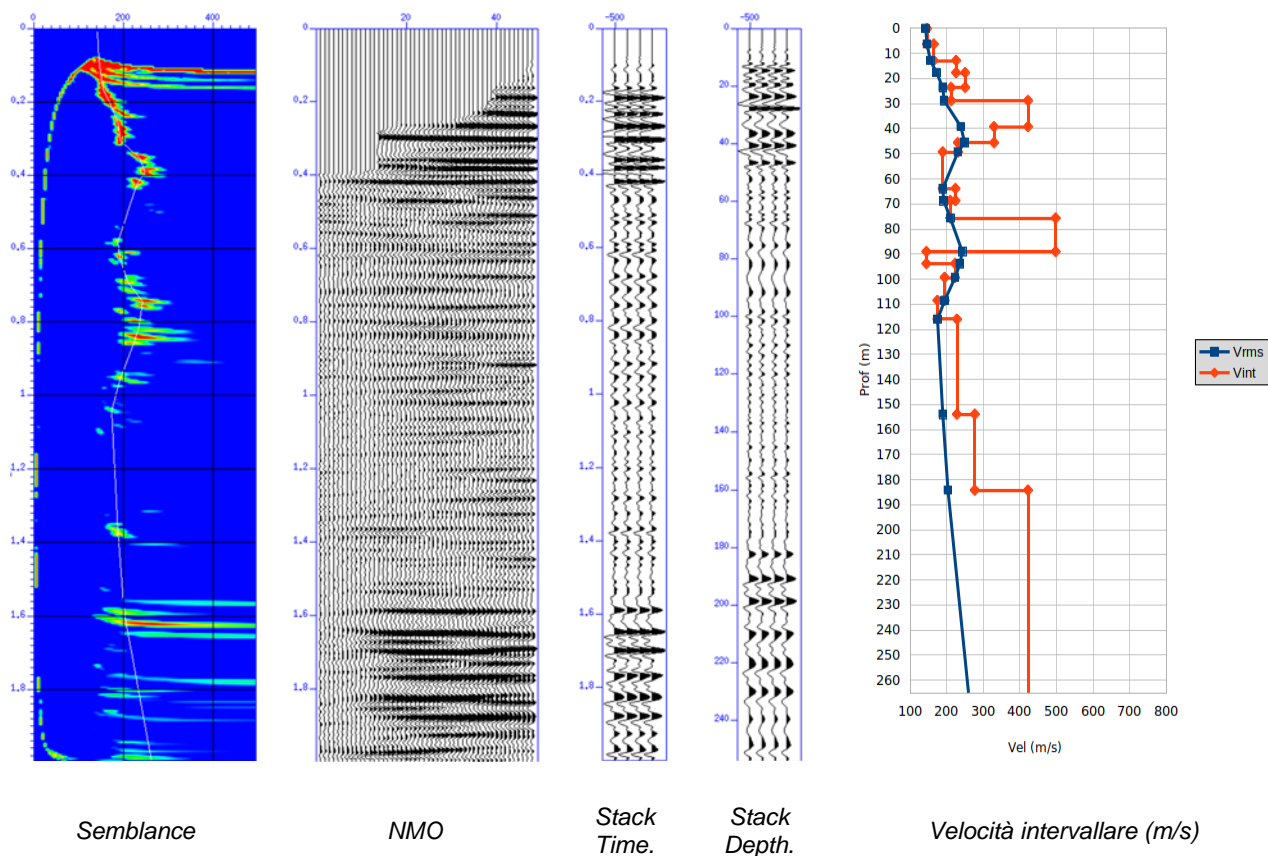
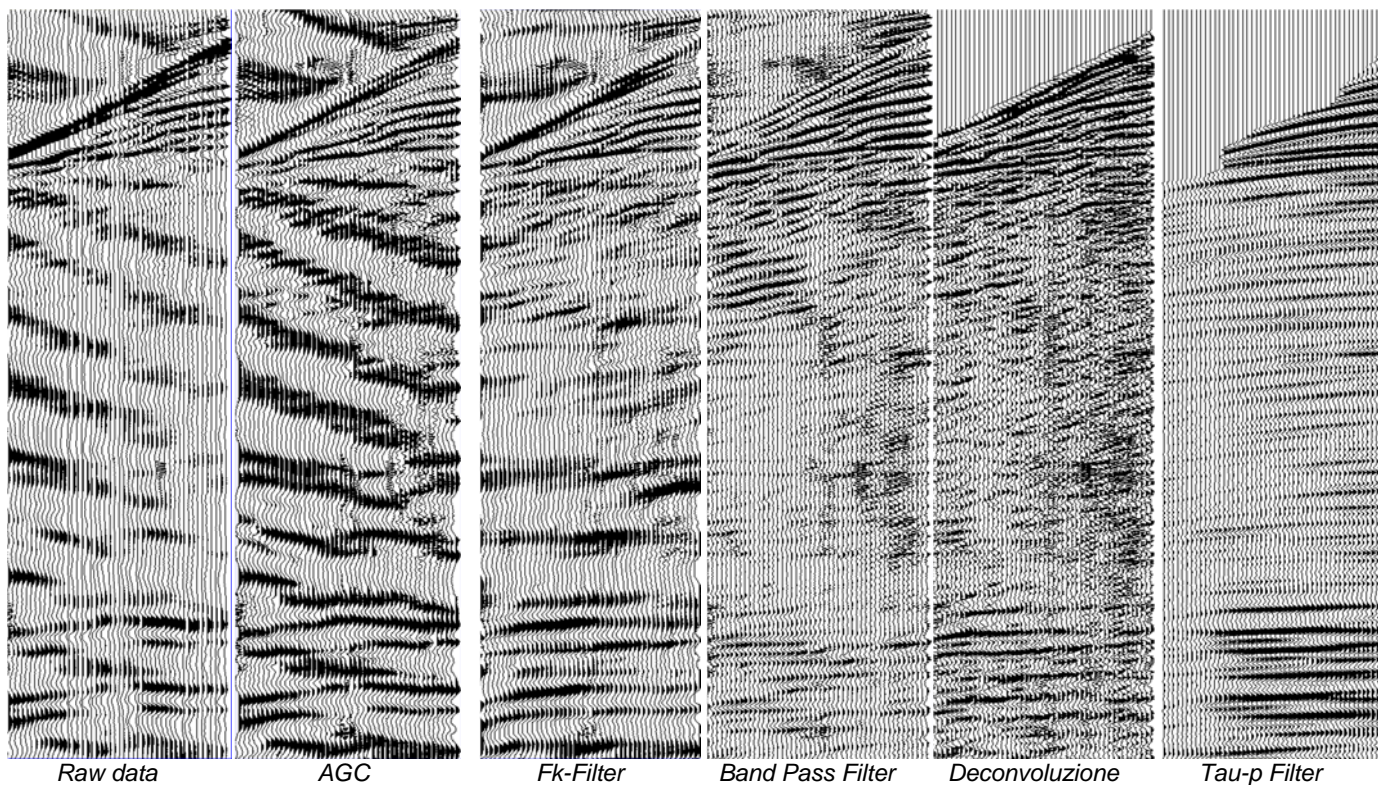
REPORT ELABORAZIONE MARW (Software MARW DoReMi – Seismic Unix 44R11)

PROFILO ST1



Misura	Tipologia	Lat.	Lon.	Z	L	I	ch	T	t
PC	MARW	43.744231	10.771902	16	60 m	1 m	48	2 s	0.001 s





MARW1: Sismogrammi ottenuti dalle varie operazioni di *Processing*.



GEOSERVIZI S.N.C. di Cosco e Spadaro

Via U. Foscolo 14 - 56017 Ghezzano (PI)
tel e fax 050-878470 cell. 339-1344492

PROVA PENETROMETRICA STATICA

ELABORAZIONE NUMERICA DEI RISULTATI

Committente: DOTT. PERINI
Località: PONTE A CAPPIANO
Cantiere:
Data: 26/5/09
N. prove: 1

Penetrometro statico TG 63 200KN Pagani
Punta meccanica tipo "Begemann"
Diametro = 35,7 mm; Angolo di apertura = 60°
Ap=10 cm²; At=20 cm²; Am=150 cm²
Velocità di avanzamento = 2 cm/sec

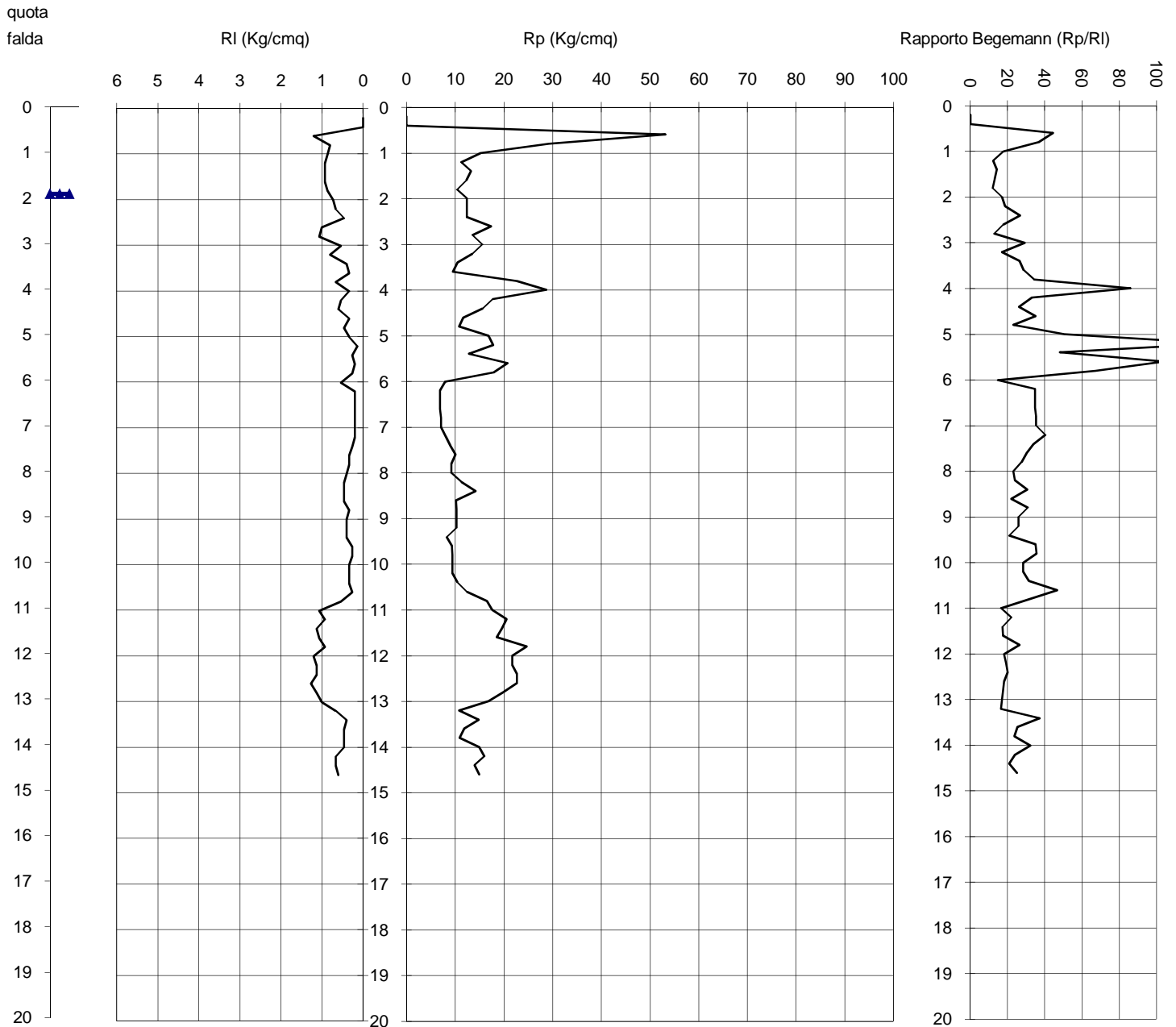


GEOSERVIZI S.N.C.
di Cosco e Spadaro
Via U. Foscolo 14 - 56017 Ghezzano (PI)
tel e fax 050-878470 cell. 339-1344492

Prova numero 1
Committente DOTT. PERINI
Località PONTE A CAPPIANO
Cantiere
Data 26/5/09

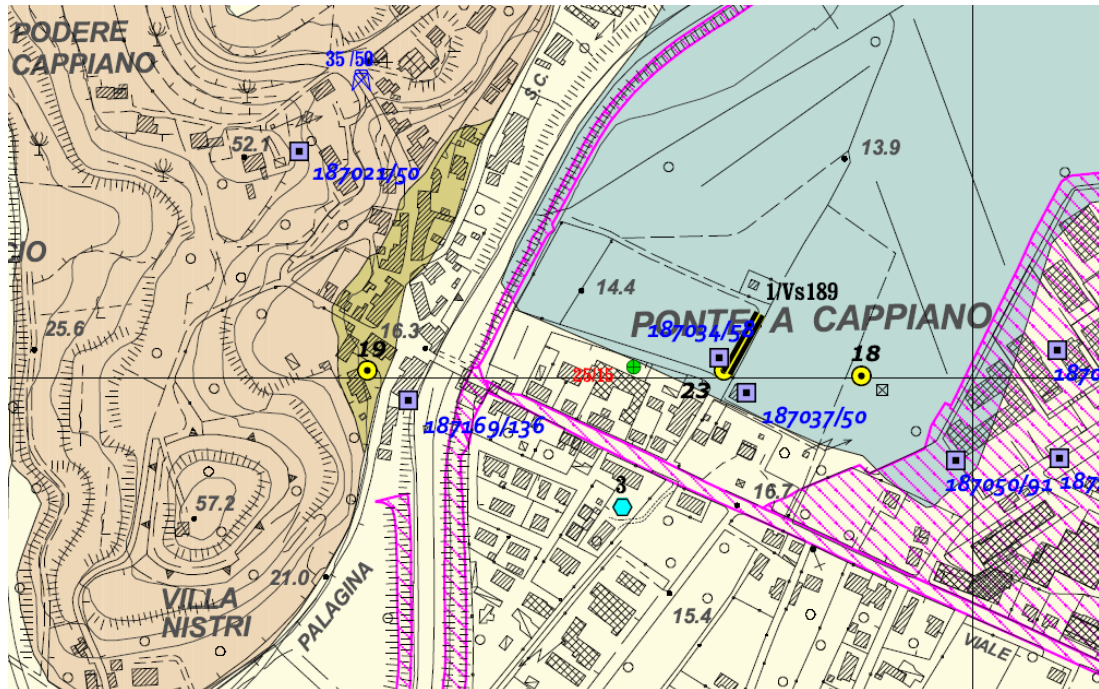
Certificato n. 182-2009

Profondità massima (m): 14,6
Quota falda (m dal p.c.): 1,9



PENETROMETRO STATICO: TG 63 200 KN PAGANI

DATI DI BASE DISPONIBILI

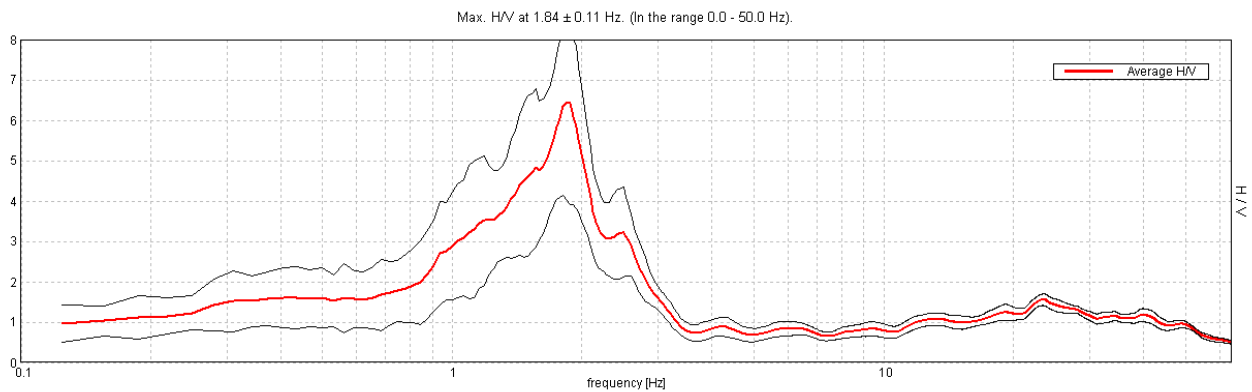


Estratto da RU - Tav. A.4.3.3 "Carta Litotecnica e dei dati di base"

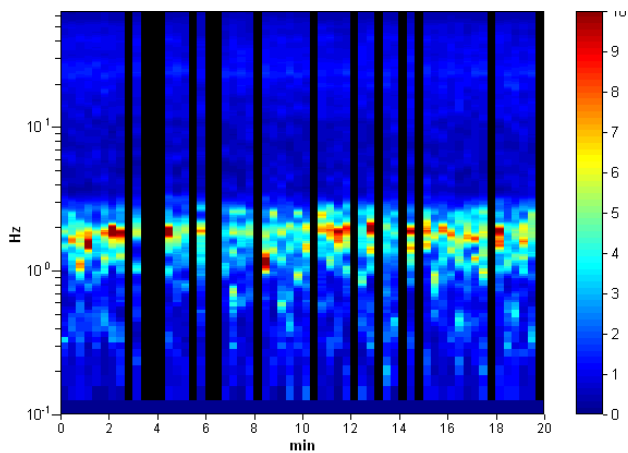
J13_061_10_08_FUCECCHIO_TR, PONTE A CAPPIANO SITO_18

Strumento: TEP-0085/01-10
 Inizio registrazione: 08/10/13 15:59:18 Fine registrazione: 08/10/13 16:19:19
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 75% tracciato (selezione manuale)
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

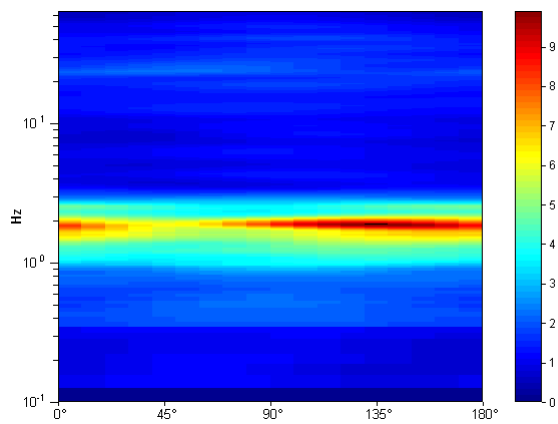
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



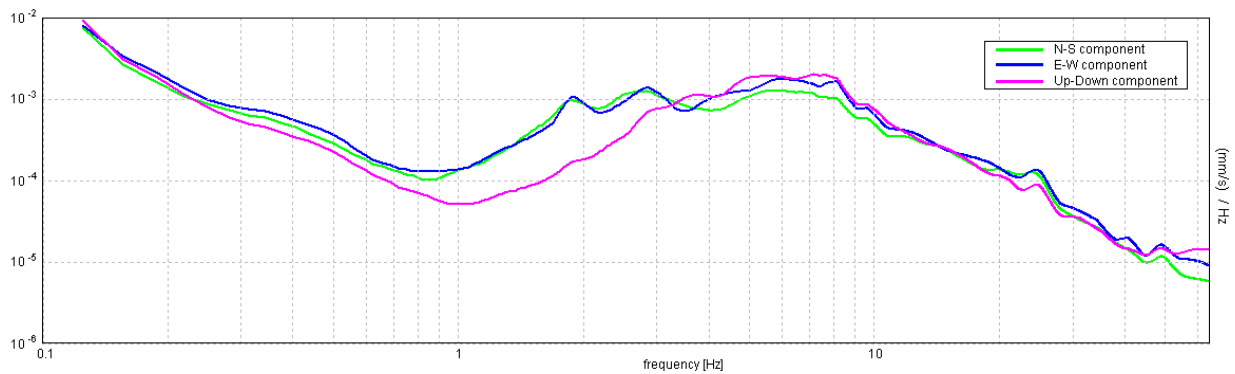
SERIE TEMPORALE H/V



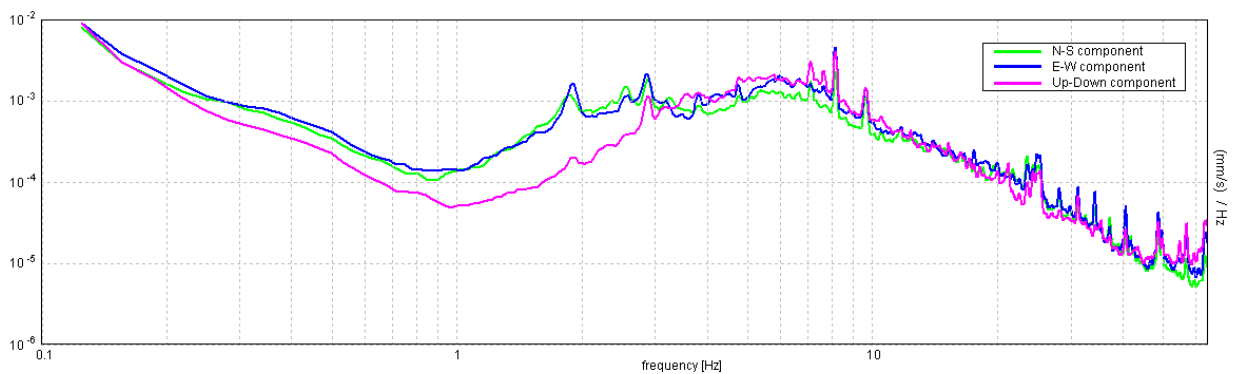
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)



Sito 18. Verifica secondo le linee guida SESAME, 2005:

Picco H/V a 1.84 ± 0.11 Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

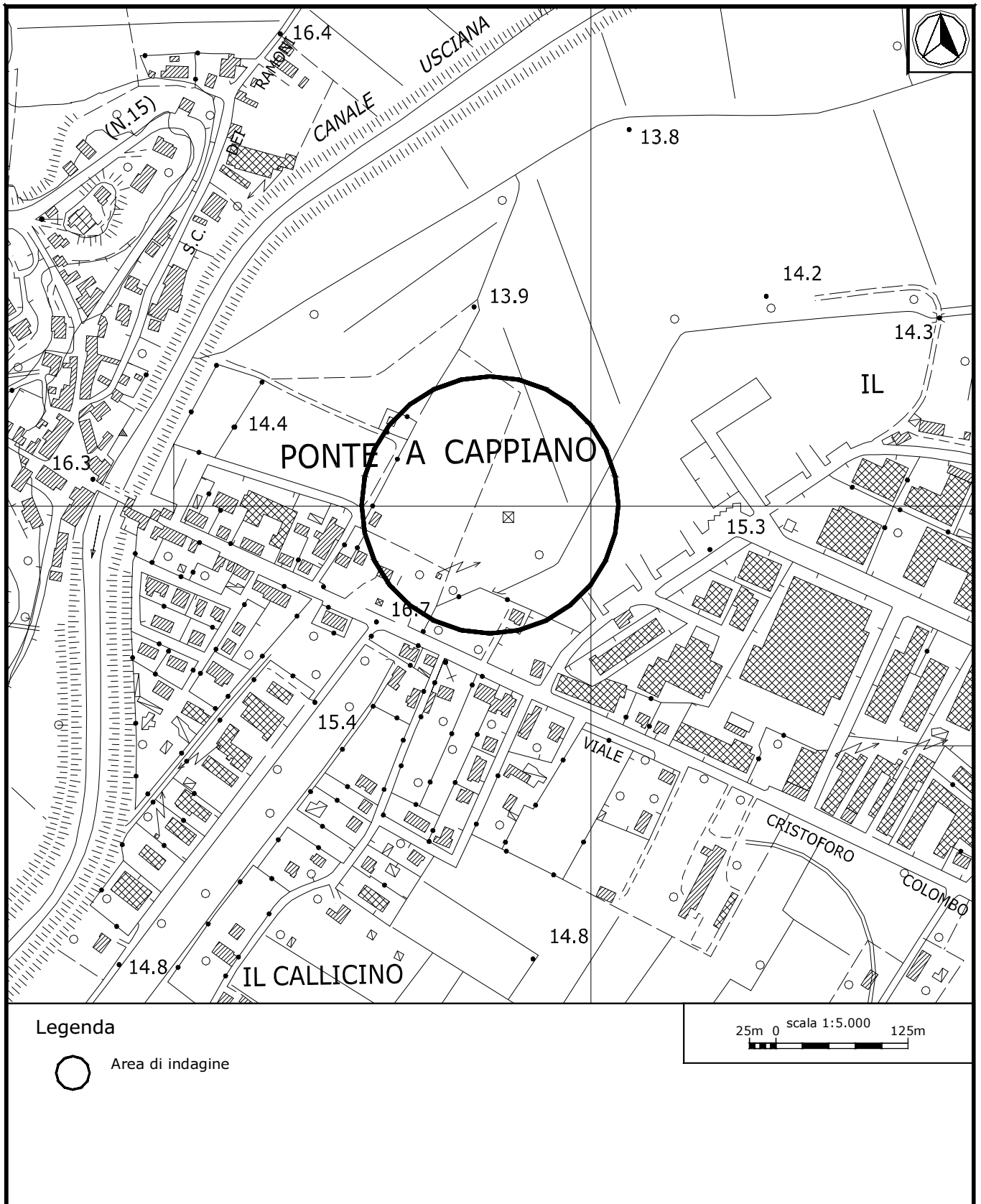
[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	1.84 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1659.4 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ 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	Superato 5 volte su 90		NO

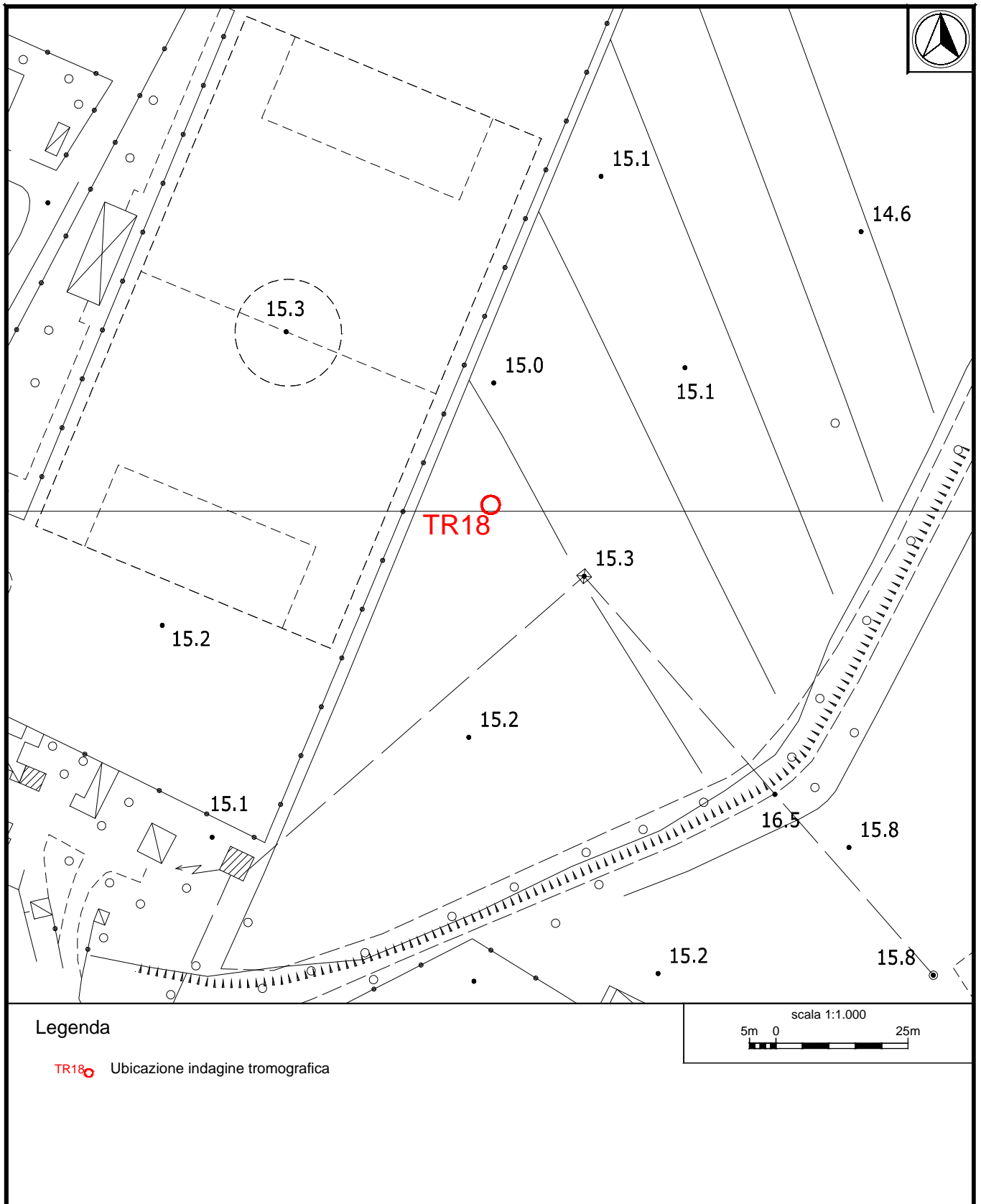
Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]


Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.063 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.219 Hz	OK	
$A_0 > 2$	6.44 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.05784 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	0.10664 < 0.18438	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	2.4249 < 1.78		NO



Ubicazione indagine in sismica passiva Sito 18. Inquadramento.



Legenda

TR18  Ubicazione indagine tromografica

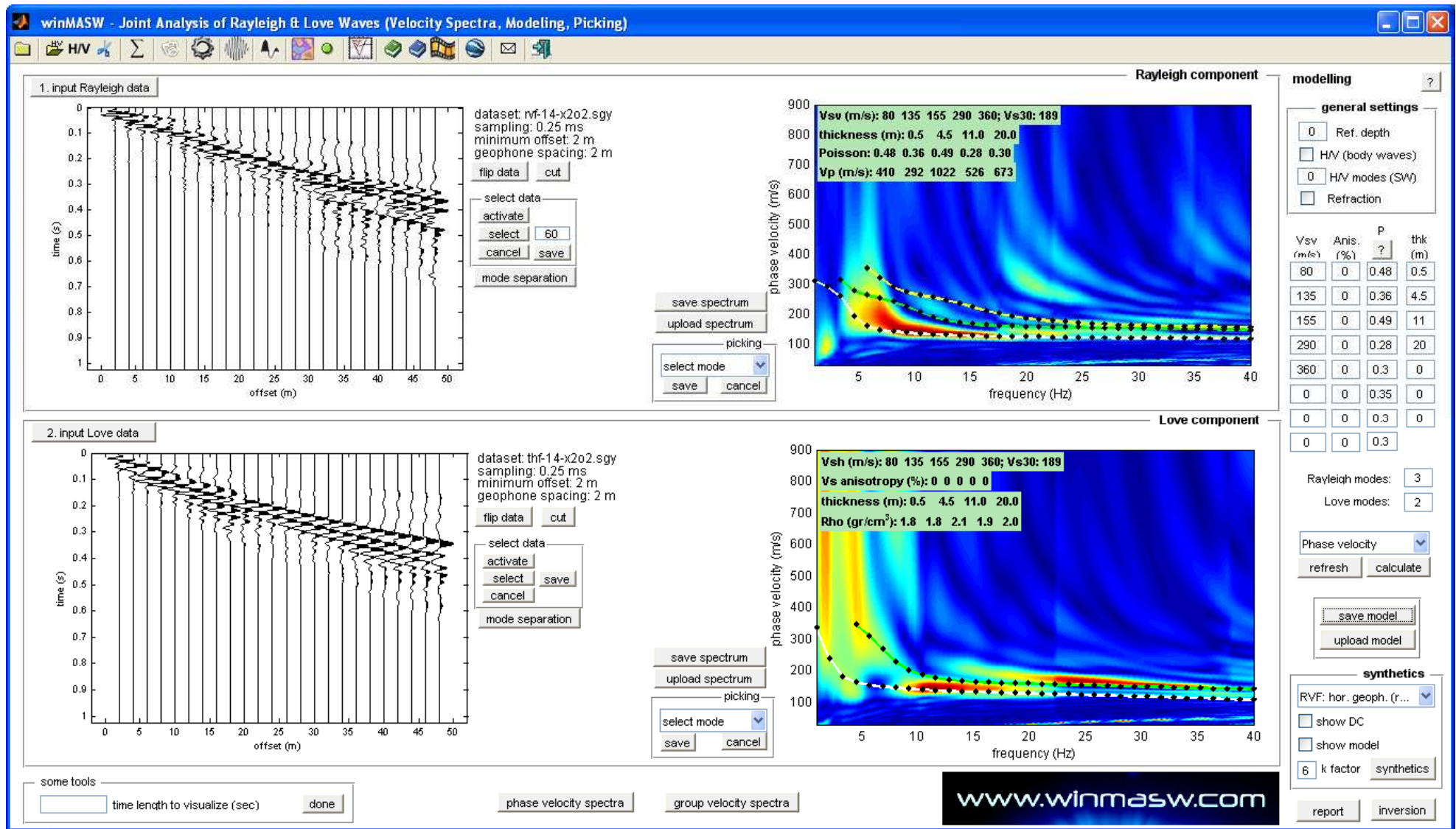
scala 1:1.000
5m 0 25m

Ubicazione indagine in sismica passiva Sito 18. Dettaglio.

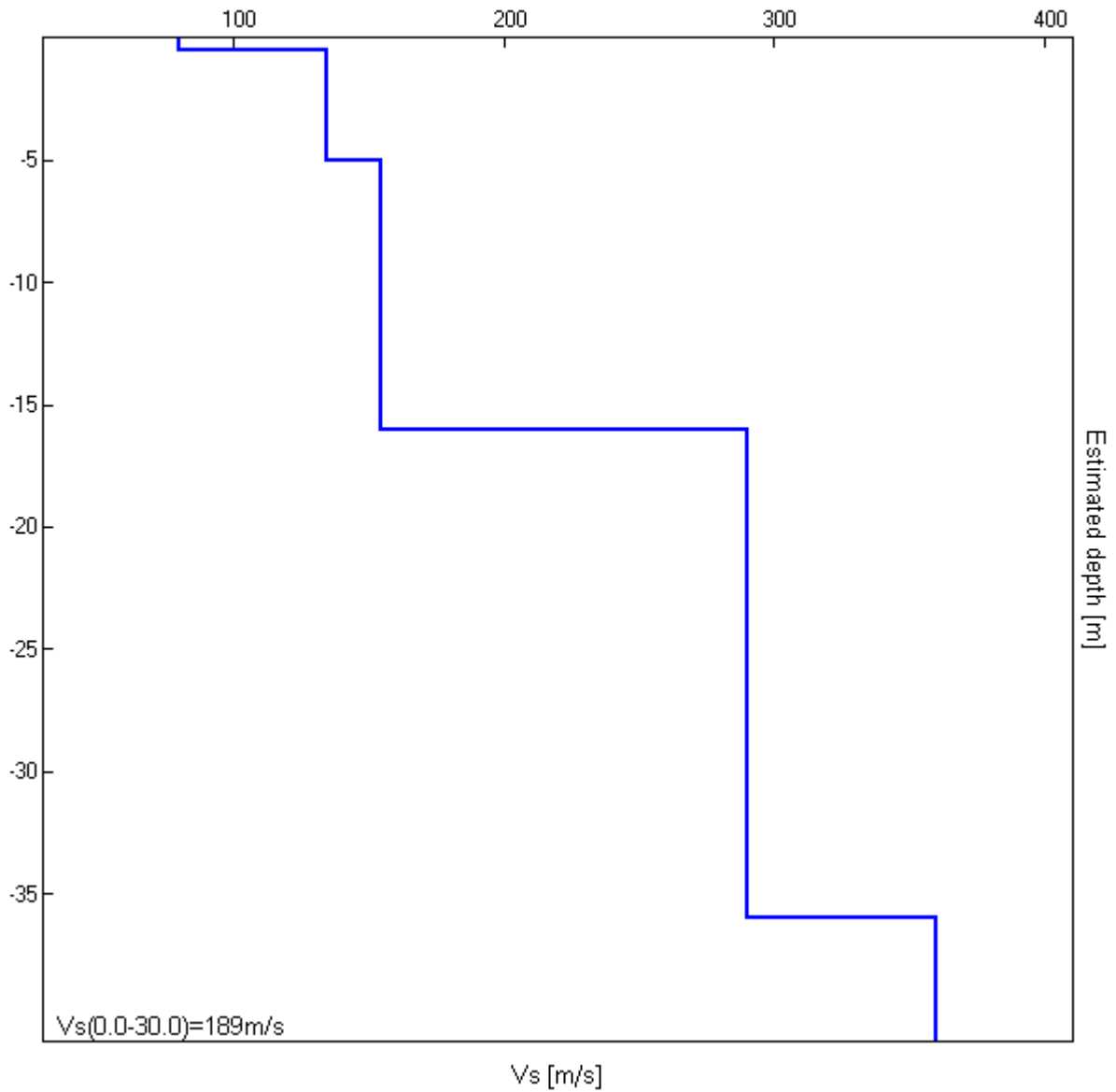


Indagine Tromografica – Sito 18 - Documentazione fotografica.

J13_061_06_27_FUCECCHIO_MASW, PONTE A CAPPIANO SITO_23



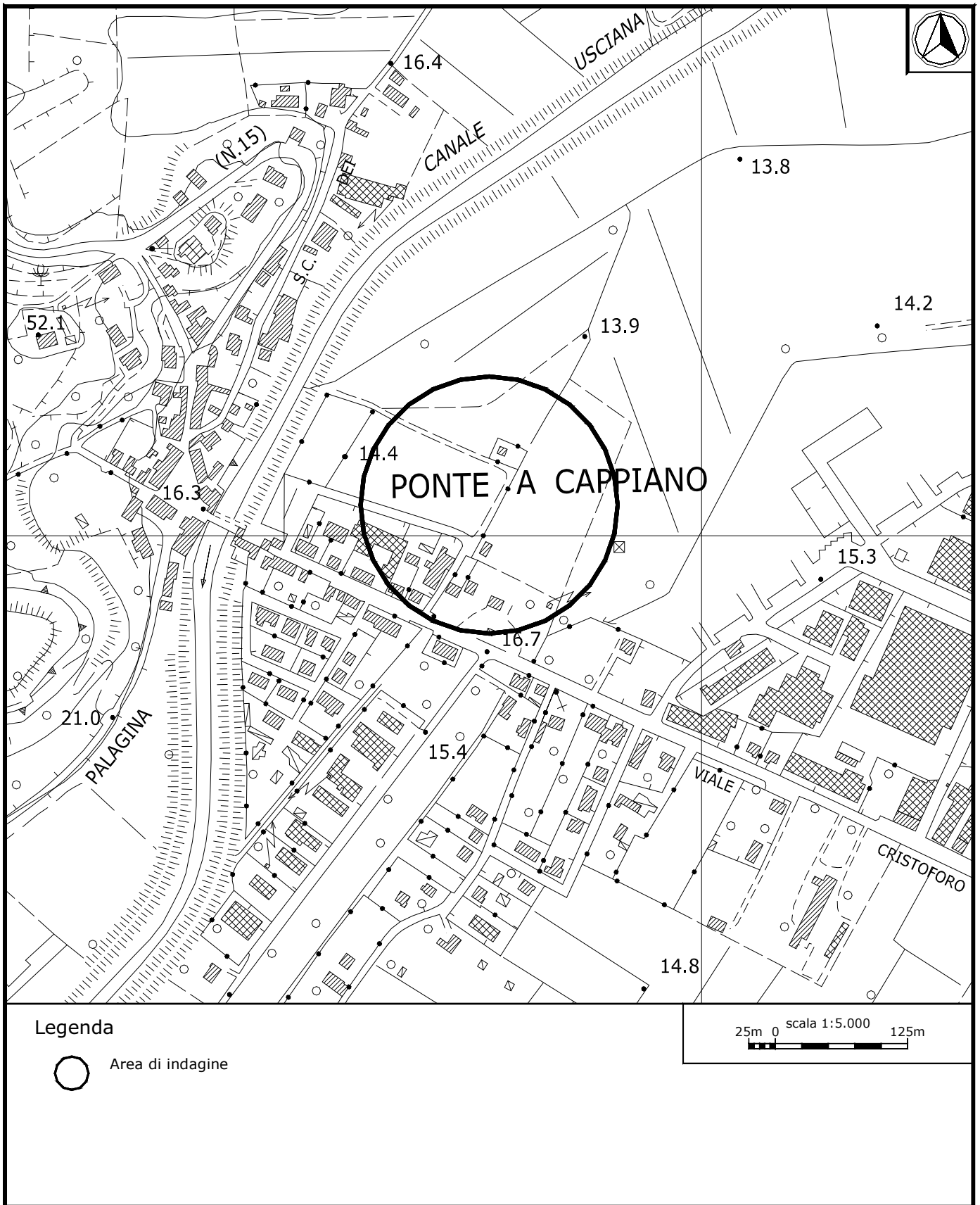
Sito 23. Indagine MASW. Sismogrammi, spettri di velocità e modelli di dispersione onde di Rayleigh (in alto) e onde di Love (in basso).



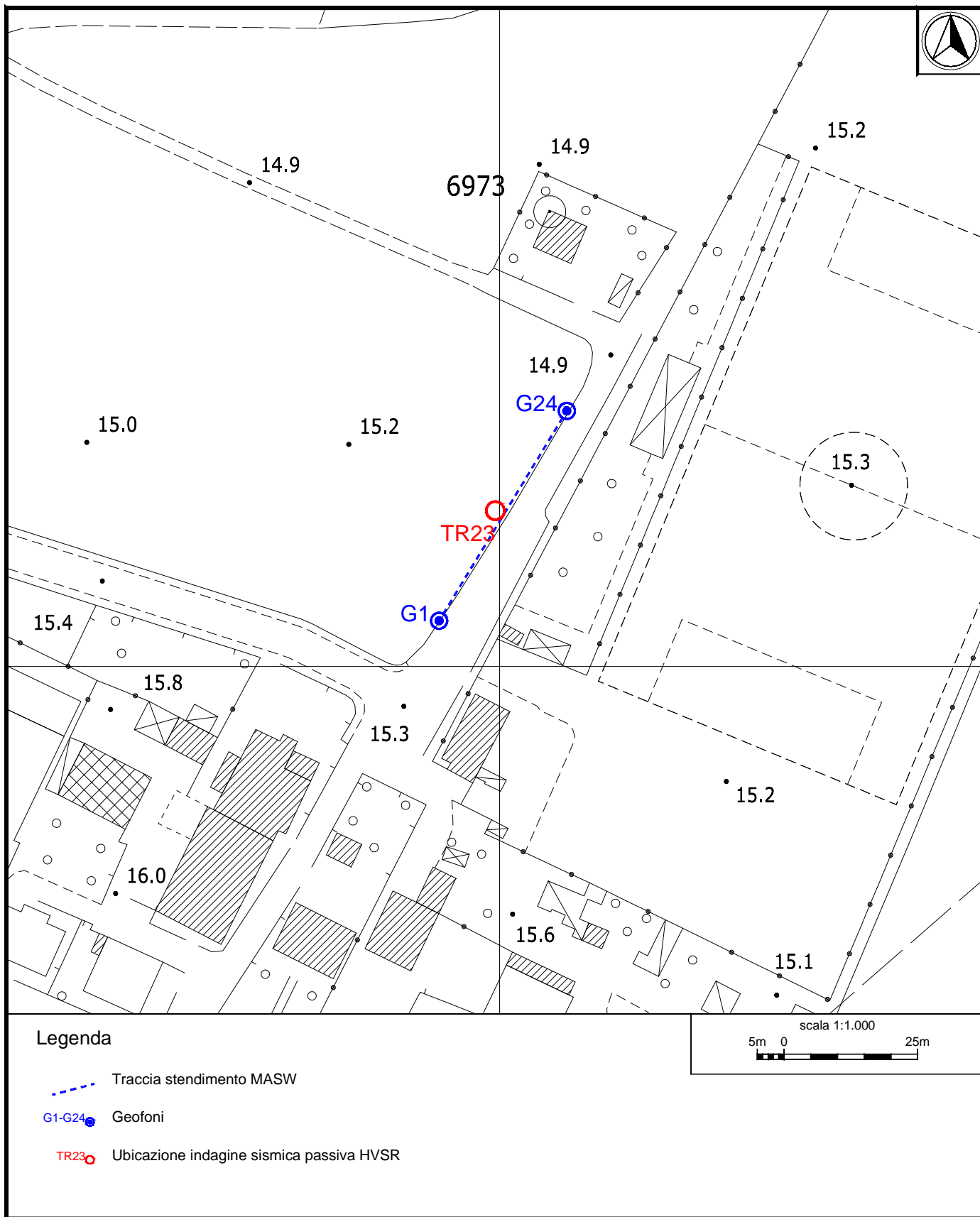
Sito 23. Profilo verticale delle Vs

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	80
5.00	4.50	135
16.00	11.00	155
36.00	20.00	290
inf.	inf.	360




Vs(0.0-30.0)=189m/s

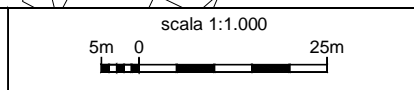


Ubicazione indagine MASW Sito 23. Inquadramento.



Legenda

-  Traccia stendimento MASW
-  G1-G24 Geofoni
-  TR23 Ubicazione indagine sismica passiva HVSR



Ubicazione indagine MASW Sito 23. Dettaglio.

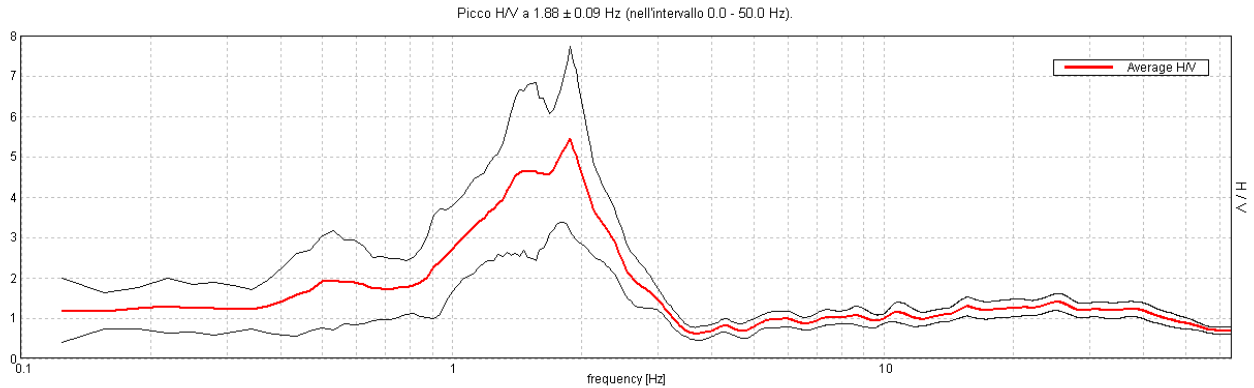


Indagine MASW – Sito 23 - Documentazione fotografica.

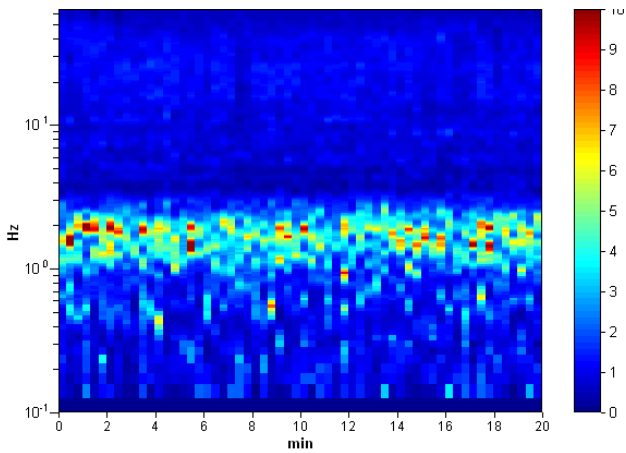
J13_061_14_01_10_FUCCCHIO_TR, PONTE A CAPPIANO SITO_23

Strumento: TEP-0085/01-10
 Inizio registrazione: 10/01/14 13:28:39 Fine registrazione: 10/01/14 13:48:40
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile
 Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

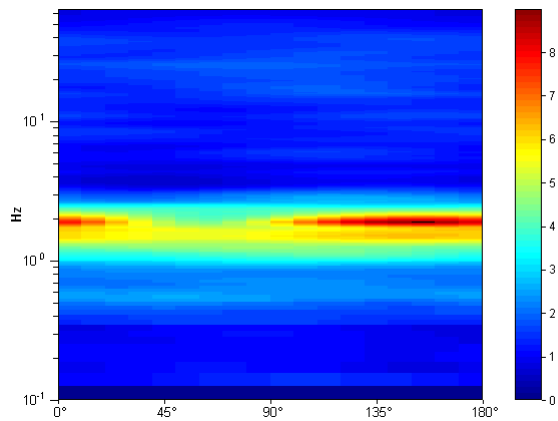
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



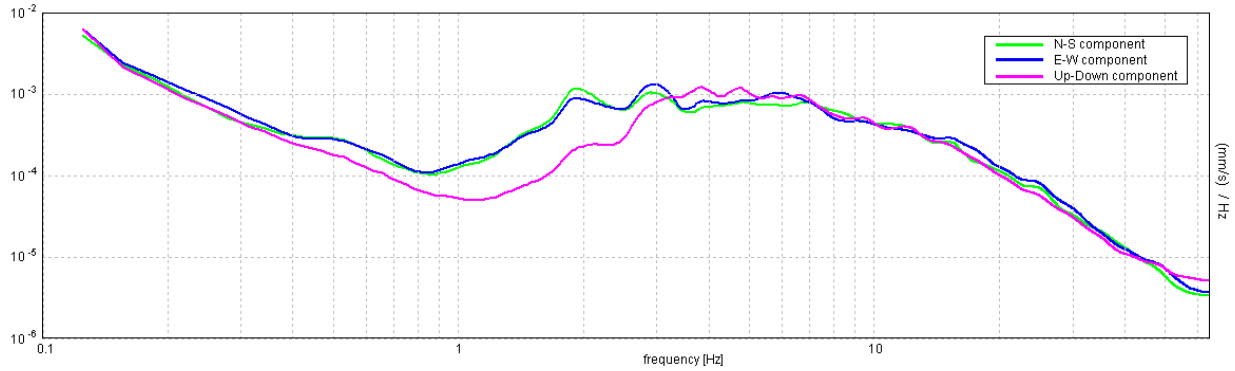
SERIE TEMPORALE H/V



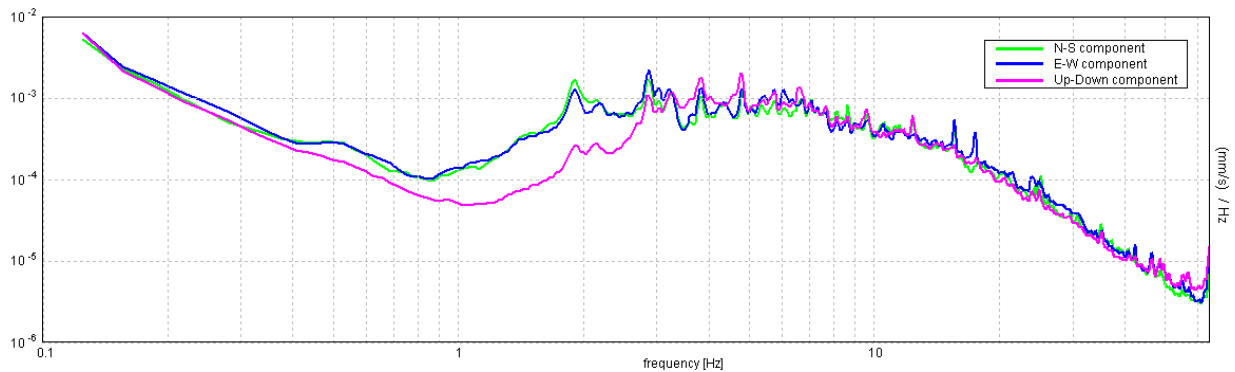
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (Con lisciamento all'1%)



Sito 23. Verifica secondo le linee guida SESAME, 2005:

Picco H/V a 1.88 ± 0.09 Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

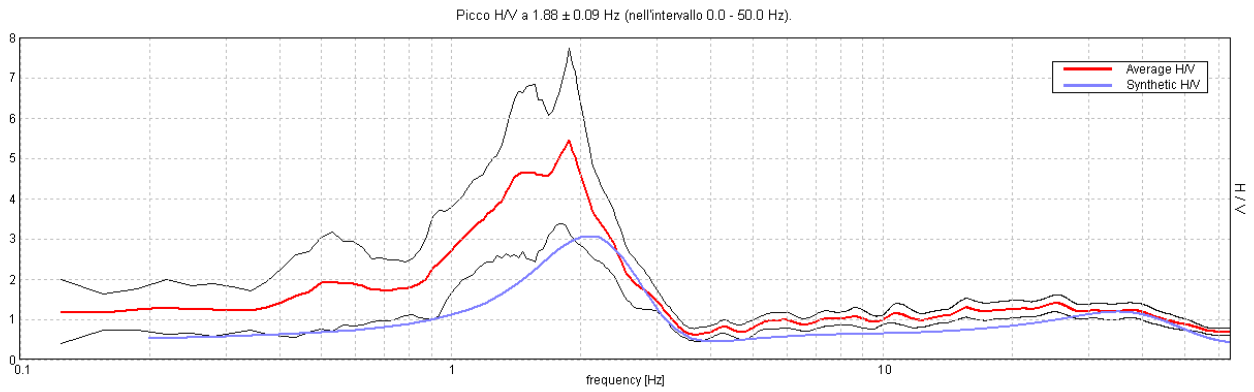
$f_0 > 10 / L_w$	$1.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2250.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 7 volte su 91		NO

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

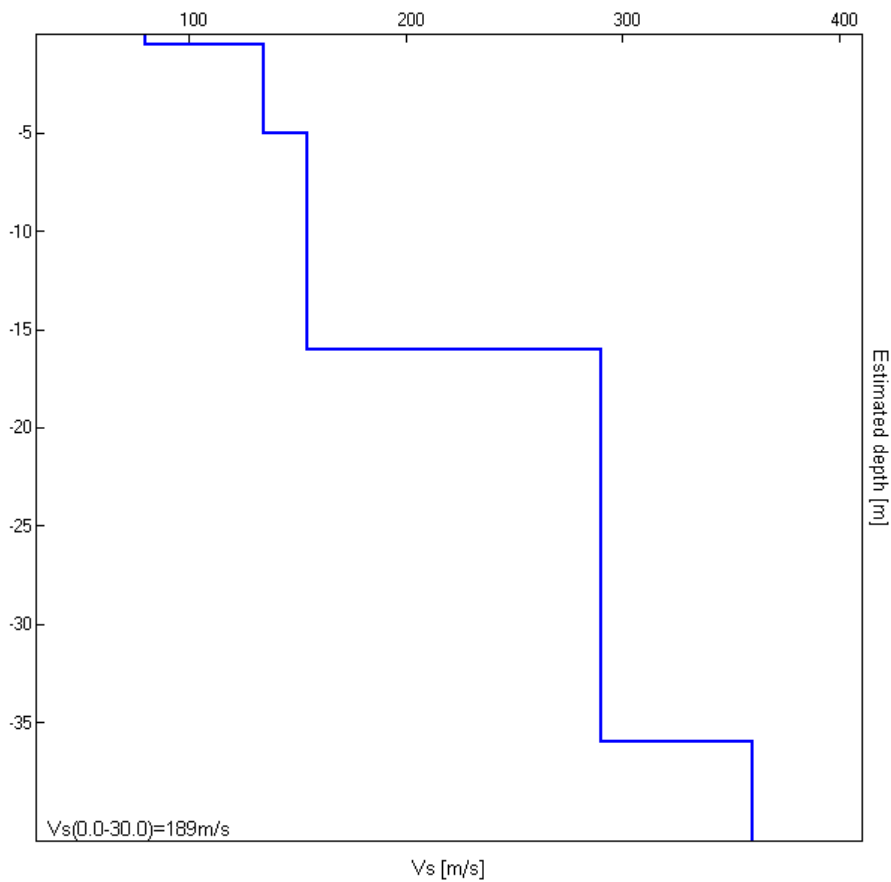
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.0 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$5.44 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04743 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	$0.08894 < 0.1875$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$2.2933 < 1.78$		NO

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

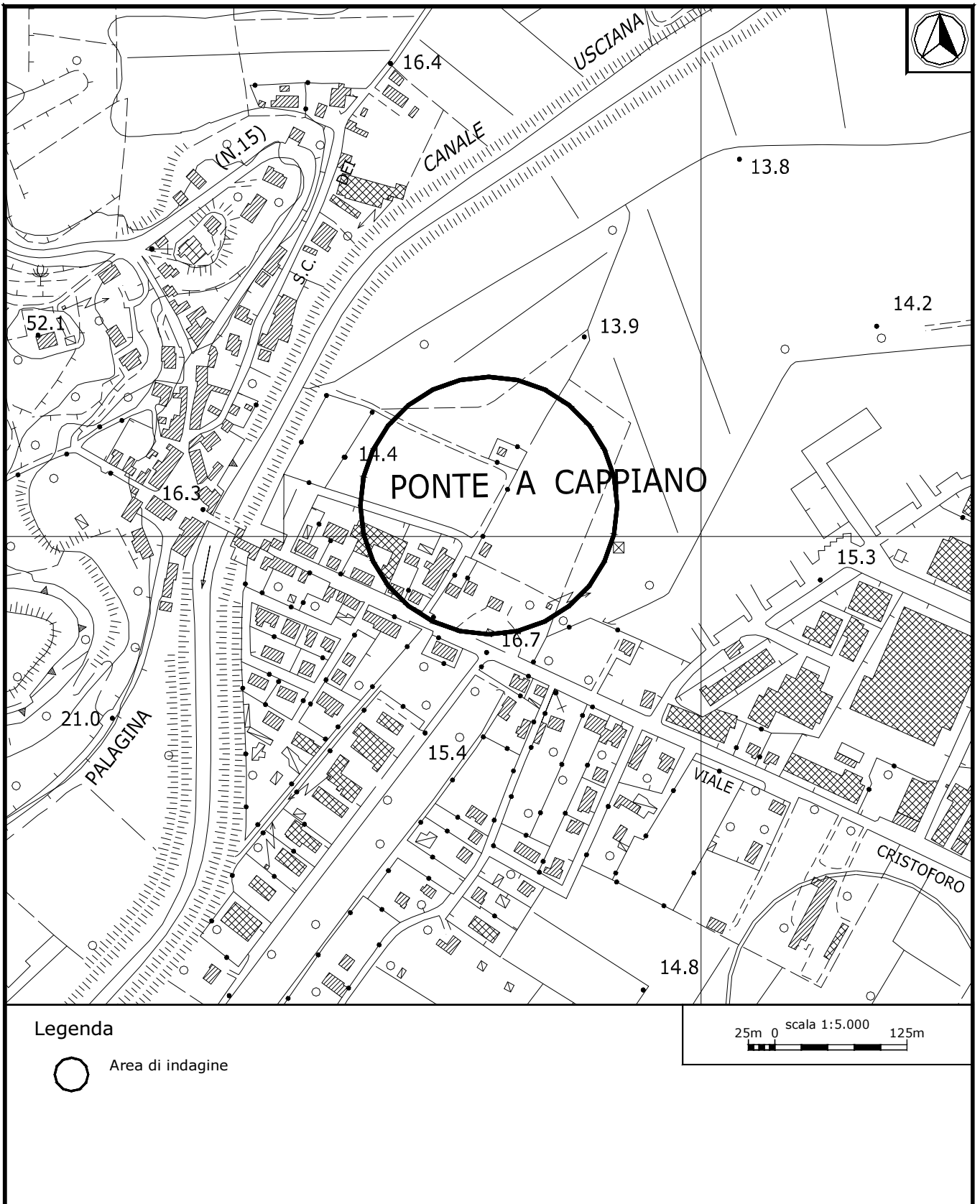


Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	80
5.00	4.50	135
16.00	11.00	155
36.00	20.00	290
inf.	inf.	360

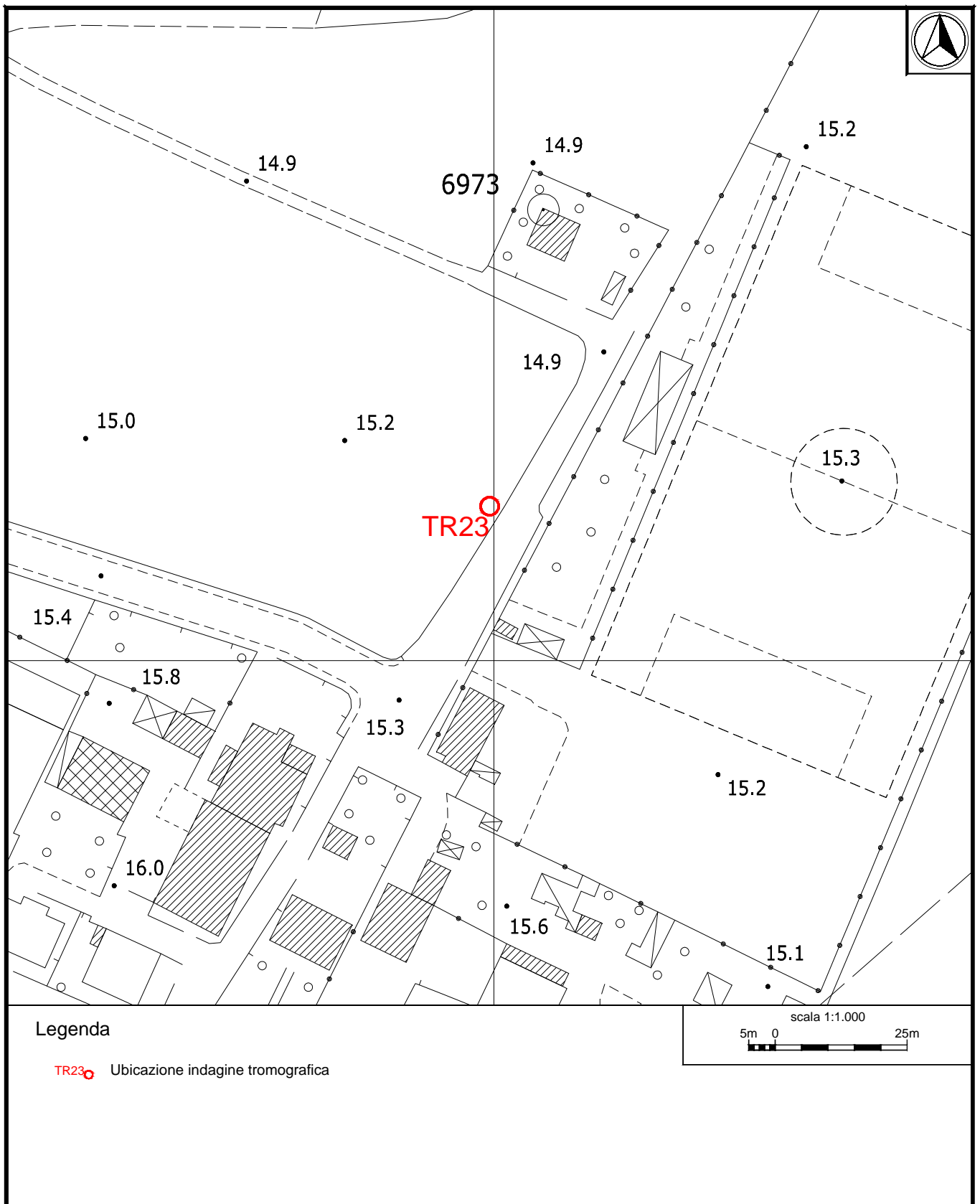
Vs(0.0-30.0)=189m/s



Sito 23. Profilo verticale delle Vs



Ubicazione indagine in sismica passiva Sito 23. Inquadramento.



Ubicazione indagine in sismica passiva Sito 23. Dettaglio.



Indagine Tromografica – Sito 23 - Documentazione fotografica.

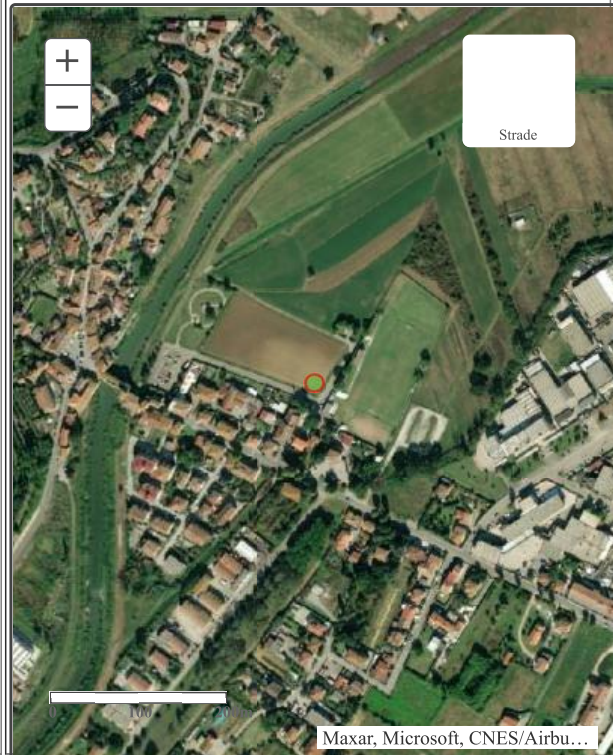
Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)

Dati generali

Codice: 187034
Regione: TOSCANA
Provincia: FIRENZE
Comune: FUCECCHIO
Tipologia: PERFORAZIONE
Opera: POZZO PER ACQUA
Profondità (m): 58,00
Quota pc slm (m): 18,00
Anno realizzazione: 1994
Numero diametri: 3
Presenza acqua: SI
Portata massima (l/s): 5,840
Portata esercizio (l/s): 5,000
Numero falde: 2
Numero filtri: 1
Numero piezometrie: 1
Stratigrafia: SI
Certificazione(*): NO
Numero strati: 7
Longitudine WGS84 (dd): 10,772919
Latitudine WGS84 (dd): 43,744300
Longitudine WGS84 (dms): 10° 46' 22.52" E
Latitudine WGS84 (dms): 43° 44' 39.49" N

(*Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia

Ubicazione indicativa dell'area d'indagine



DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0,00	19,00	19,00	700
3	44,00	58,00	14,00	520
2	19,00	44,00	25,00	620

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	28,00	33,50	5,50
2	44,00	48,30	4,30

POSIZIONE FILTRI

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	44,00	48,50	4,50	219

MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
mag/1994	18,70	29,00	10,30	5,840

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	1,30	1,30		TERRENO VEGETALE
2	1,30	11,00	9,70		SABBIA FINE CON DETRITI LEGNOSI
3	11,00	28,00	17,00		ARGILLA COMPATTA
4	28,00	33,50	5,50		SABBIA MISTA A GHIAIA
5	33,50	44,00	10,50		ARGILLA
6	44,00	48,50	4,50		SABBIA MISTA A GHIAIA
7	48,50	58,00	9,50		ARGILLA

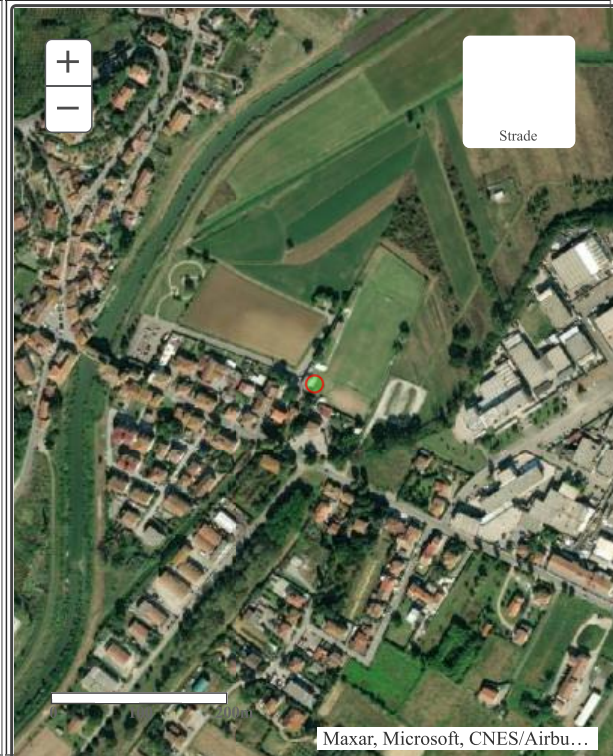
Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)

Dati generali

Codice: 187037
Regione: TOSCANA
Provincia: FIRENZE
Comune: FUCECCHIO
Tipologia: PERFORAZIONE
Opera: POZZO PER ACQUA
Profondità (m): 50,00
Quota pc slm (m): 18,00
Anno realizzazione: 1990
Numero diametri: 3
Presenza acqua: SI
Portata massima (l/s): ND
Portata esercizio (l/s): ND
Numero falde: 0
Numero filtri: 0
Numero piezometrie: 1
Stratigrafia: SI
Certificazione(*): NO
Numero strati: 7
Longitudine WGS84 (dd): 10,773200
Latitudine WGS84 (dd): 43,744019
Longitudine WGS84 (dms): 10° 46' 23.53" E
Latitudine WGS84 (dms): 43° 44' 38.48" N

(*):Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia

Ubicazione indicativa dell'area d'indagine



DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
2	13,00	33,00	20,00	600
1	0,00	13,00	13,00	700
3	33,00	50,00	17,00	500

MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
ott/1990	26,00	35,00	9,00	2,500

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	2,00	2,00		TERRENO VEGETALE
2	2,00	10,00	8,00		ARGILLA CON LIMO
3	10,00	31,50	21,50		ARGILLA
4	31,50	33,00	1,50		SABBIA E GHIAIA
5	33,00	42,50	9,50		ARGILLA
6	42,50	46,00	3,50		SABBIA E GHIAIA
7	46,00	50,00	4,00		ARGILLA COMPATTA