

Comune di Gianico
Provincia di Brescia

Componente geologica, idrogeologica e sismica
del Piano di Governo del Territorio

ai sensi della D.g.r. 28 Maggio 2008 - n.8/7374

Aggiornamento della componente sismica

ai sensi della D.g.r. 30 Novembre 2011 n. IX/2616

Relazione illustrativa

Novembre 2016

Elaborato A

Dr. geol. Fabio Alberti

Geo.Te.C.

Geologia Tecnica Camuna
Via Albera 3 - Darfo Boario Terme (BS)
tel / fax 0364 - 533637
e-mail: info@geotec-studio.it

1 Premessa.....	1
2. Analisi del rischio sismico	2
2.1 - Normativa di riferimento	2
2.2 - Risposta sismica locale.....	2
2.3 Analisi sismica di primo livello: Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL)	4
2.4 Analisi di secondo livello - valutazione del fattore di amplificazione	6
2.5. Sovrapposizione sulle carte di fattibilità dei risultati dell'analisi sismica di secondo livello	12
3. Bibliografia.....	13

1 Premessa

La presente relazione riguarda l'aggiornamento della componente sismica del Piano di Governo del Territorio del comune di Gianico in riferimento alle indicazioni contenute nella d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616,.

Il comune di Gianico dispone di uno studio relativo alla componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del territorio redatto nell'agosto 2009, poi aggiornato nel novembre 2009 e nel marzo del 2010, in riferimento alla precedente d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374.

Dal 10 aprile 2016 è entrata in vigore la d.g.r. 21 luglio 2014 n. X/2129 con la quale il territorio del comune di Gianico è stato riclassificato da zona sismica 4 a zona sismica 3. Questa variazione ha comportato la necessità di aggiornare la componente sismica dello studio geologico del Piano di Governo del Territorio secondo il secondo il secondo livello di approfondimento previsto dalla normativa regionale per i comuni classificati in zona sismica 3.

In questa sede la componente sismica del PGT è stata aggiornata completamente a partire dall'analisi sismica di primo livello mentre lo studio del marzo 2010 rimane valido per tutte le altre componenti di carattere geologico.

In riferimento alla normativa regionale il presente aggiornamento della componente sismica del Piano di Governo del Territorio del comune di Gianico comprende le seguenti tavole cartografiche.

- *Tavola 2 - Carta della pericolosità sismica locale - scala 1:10.000 – estesa a tutto il territorio comunale;*
Aggiornata rispetto alla versione del marzo precedente con alcune limitate modifiche.
- *Tavola 6 - Carta di fattibilità geologica - scala 1:2.000 – estesa alle aree urbanizzate e al loro intorno*
- *Tavola 7 - Carta di fattibilità geologica - scala 1:10.000 – estesa a tutto il territorio comunale*
Aggiornate rispetto alla versione precedente con la sovrapposizione dei risultati dell'analisi sismica di secondo livello.

La descrizione delle indagini e dell'analisi sismica condotta è contenuta nella presente Relazione Illustrativa (Elaborato A) mentre la normativa conseguente è contenuta nelle Norme Geologiche di Piano (Elaborato B).

Alla presente relazione sono inoltre allegati a fine testo i seguenti elaborati:

- allegato 1: ubicazione delle indagini sismiche MASW e HVSR e dei dati litologico-stratigrafici preesistenti;

- allegato 2: risultati delle indagini sismiche MASW e HVSR;
- allegato 3: profili delle Vs nei siti di indagine e confronto con le schede di valutazione della d.g.r. IX/2616;
- allegato 4: dati litologico-stratigrafici disponibili - prove penetrometriche (a), stratigrafie sondaggi meccanici (b) e stratigrafia pozzo PZ 1 (c)

2. Analisi del rischio sismico

2.1 - Normativa di riferimento

Per quanto riguarda la classificazione delle zone sismiche, avente valore solamente amministrativo, dal 10 aprile 2016 è entrata in vigore la d.g.r. 21 luglio 2014 n. X/2129 con la quale il territorio del Comune di Gianico è stato riclassificato da zona sismica 4 a zona sismica 3.

Il DM 14/01/2008 "Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni", entrato in vigore il 5 marzo 2008 in sostituzione del precedente DM 14/09/2005, ha assunto come riferimento per la nuova definizione della sismicità del territorio nazionale la mappa dei valori di a_g calcolati su una griglia avente passo di $0,02^\circ$, relativa all'allegato 1b all'Ordinanza PCM n° 3519 del 28/04/2006, per cui i parametri sismici di una data area vanno definiti in base alle coordinate dell'area stessa, interpolando i dati contenuti nelle tabelle dell'allegato B al DM 14/01/2008.

La Regione Lombardia si è adeguata al DM 14/01/2008 emanando la d.g.r. n° 8/7374 del 28/05/2008, successivamente sostituita dalla d.g.r. n° IX/2616 del 20/11/2011 rispetto alla quale è stato redatto il presente studio.

2.2 - Risposta sismica locale

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi che vanno a sovrapporsi a quelli del sisma; tali effetti devono essere considerati nella valutazione generale della pericolosità sismica di una data area e costituiscono l'oggetto della "componente sismica" del Piano di Governo del Territorio secondo la d.g.r. n. IX/2616 del 20/11/2011.

Gli effetti, in funzione delle caratteristiche del terreno presente, vengono distinti in due gruppi: gli effetti di sito, o di amplificazione sismica locale, e gli effetti di instabilità.

Gli effetti di sito o di amplificazione sismica locale interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche e sono rappresentati dall'insieme delle modificazioni che un moto sismico (terremoto di riferimento) relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock) può subire presso la superficie topografica o durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock. Tali effetti si distinguono a loro volta in due sottogruppi che possono essere contemporaneamente presenti nello stesso sito.

- Gli effetti di amplificazione topografica, relativi a condizioni morfologiche più o meno articolate che favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche presso la cresta dei rilievi ed i ripiani sovrastanti le scarpate, con conseguente amplificazione delle onde a causa di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto.

- Gli effetti di amplificazione litologica, che si verificano quando sono presenti profili stratigrafici con determinate proprietà meccaniche sovrastanti il bedrock che portano all'esaltazione locale delle azioni sismiche causate da fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno ed i fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrazione del terreno e della sovrastruttura.

Gli effetti di instabilità interessano tutti i terreni caratterizzati da un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese, che può rivelarsi incompatibile con la stabilità delle strutture presenti. I principali effetti di instabilità sono i seguenti.

- Fenomeni di riattivazione o neoformazione di movimenti franosi (crolli, scivolamenti rotazionali e/o traslazionali, colamenti, ecc.) per i quali il sisma rappresenta un fattore d'innescio del movimento a causa dell'accelerazione esercitata o a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali.
- Movimenti relativi verticali e orizzontali tra diversi settori areali posti in corrispondenza di faglie sismogenetiche che portano a scorrimenti e cedimenti differenziali (tali fenomeni sono possibili solo per terremoti di magnitudo molto elevata e in presenza di particolari strutture geologiche affioranti o sepolte).
- Fenomeni di rottura connessi a deformazione permanente del suolo nel caso di terreni caratterizzati da proprietà fisico-meccaniche particolarmente scadenti; per terreni granulari sopra falda sono possibili cedimenti a causa di fenomeni di addensamento del materiale, mentre per terreni granulari fini sabbiosi saturi sono possibili fluimenti e colamenti a causa di fenomeni di liquefazione.
- Nel caso di siti interessati da carsismo sotterraneo o da particolari strutture vucolari presenti nel sottosuolo, si possono verificare fenomeni di subsidenza più o meno accentuati, legati al crollo parziale o totale delle cavità sotterranee.

2.2.a. Metodologia per l'analisi della risposta sismica

Nel presente paragrafo è riassunta la metodologia definita dalla d.g.r. n° IX/2616 del 20/11/2011 per l'analisi della risposta sismica in un dato territorio comunale, in adempimento a quanto previsto dal DM 14/01/2008, dalla d.g.r. n° 14964 del 7/11/2003 e dal d.d.u.o. n° 19904 del 21/11/2003.

Tale metodologia prevede tre livelli di approfondimento in funzione della zona sismica di appartenenza, degli scenari di pericolosità sismica locale, dell'importanza degli edifici interessati e della fase di lavoro (pianificatoria o progettuale).

Analisi di primo livello. E' un approccio di tipo qualitativo che consiste nel riconoscimento delle situazioni passibili di amplificazione sismica o di effetti di instabilità sulla base di dati esistenti quali cartografie di inquadramento, osservazioni geologico-geomorfologiche, topografiche e morfometriche del territorio. Tale livello, obbligatorio per tutti i comuni, prevede la redazione della "Carta della pericolosità sismica locale" (PSL) su tutto il territorio comunale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale e lineare delle diverse situazioni-tipo, definite nella legenda contenuta nell'allegato 5 alla dgr n° IX/2616, in grado di determinare gli effetti sismici locali e denominate "scenari di pericolosità sismica locale" (zone PSL da Z1 a Z5).

Analisi di secondo livello. E' un approccio di tipo semi-quantitativo che si applica nelle sole aree passibili di amplificazione perimetrate nella carta della pericolosità sismica locale (zone PSL Z3 e Z4); permette di determinare un valore numerico, chiamato fattore di amplificazione sismica locale (Fa) che fornisce una stima

dell'effettiva risposta sismica nelle situazioni individuate con il primo livello. Per applicare tale procedura (per i dettagli sulla quale si rimanda all'allegato 5 alla d.g.r. n° IX/2616) sono necessari, relativamente alle situazioni individuate, dati più approfonditi di tipo morfometrico, litologico-stratigrafico e geofisico; questi ultimi in particolare relativi alla velocità di propagazione nel terreno delle onde sismiche di taglio.

Per i comuni ricadenti in zona sismica 2 e 3, l'analisi di secondo livello è obbligatoria nelle zone interferenti con l'urbanizzato e nelle aree di espansione urbanistica; nei comuni ricadenti in zona sismica 4 tale livello deve essere applicato nelle situazioni in cui si prevede la realizzazione o l'ampliamento di costruzioni strategiche e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n° 19904/03). Il valore di Fa relativo agli effetti litologici determinato con l'applicazione del secondo livello deve essere confrontato con "valori soglia" definiti per ogni comune dalla Regione Lombardia in riferimento alle categorie di sottosuolo del DM 14/01/08, al fine di determinare se la normativa nazionale risulti sufficiente a tenere in considerazione anche gli effetti di amplificazione sismica locale ($Fa < \text{soglia}$), o insufficiente ($Fa > \text{soglia}$). Il valore di Fa relativo agli effetti morfologici deve essere invece confrontato con il coefficiente di amplificazione topografica St definito dal DM 14/01/2008.

Analisi di terzo livello. E' un approccio di tipo quantitativo e consiste nella determinazione degli effetti di amplificazione con indagini e analisi ancor più approfondite, per la descrizione delle quali si rimanda all'allegato 5 alla d.g.r. n° IX/2616. Le analisi di terzo livello si applicano in fase progettuale nelle aree passibili di effetti di instabilità individuate con il primo livello (zone PSL Z1 e Z2) e nelle aree analizzate con il secondo livello per le quali si è ottenuto un valore di Fa superiore alla soglia; in quest'ultimo caso, in fase progettuale, in alternativa all'applicazione del terzo livello, per gli effetti litologici è possibile utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo superiore secondo il seguente schema:

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo D si utilizzerà quello della categoria di suolo E.

Nell'ambito delle casistiche precedentemente descritte, l'analisi di terzo livello è prevista per tutte le tipologie di edifici nelle zone sismiche 2 e 3 e solo per gli edifici strategici e rilevanti, secondo il d.d.u.o. n. 19904/03, nei comuni ricadenti in zona sismica 4.

2.3 Analisi sismica di primo livello: Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL)

L'analisi sismica di primo livello sull'intero territorio comunale è richiesta per tutti i comuni indipendentemente dalla zona sismica di appartenenza e consiste nell'individuazione delle aree passibili di amplificazione sismica o di effetti di instabilità tramite redazione della Carta di Pericolosità Sismica Locale (PSL) alla scala 1:10.000 la cui legenda, definita nell'allegato 5 alla dgr n° IX/2616, è riportata nella tabella seguente.

Sigla	Scenario di Pericolosità Sismica Locale	Effetti di risposta sismica locale
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità (attivazione-riattivazione accelerazione movimenti)

Sigla	Scenario di Pericolosità Sismica Locale	Effetti di risposta sismica locale
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	<i>Instabilità (cedimenti-liquefazioni)</i>
Z3a	Zona di ciglio di scarpate con altezza maggiore di 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	<i>Amplificazioni topografiche</i>
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntita-arrotondata	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi	<i>Amplificazioni litologiche</i>
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)	
Z4d	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	<i>Instabilità (comportamenti differenziali)</i>

Nell'ambito dello studio per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT di Gianico in data Marzo 2010 è stata condotta da parte dello scrivente l'analisi sismica di primo livello ed è stata redatta la carta PSL alla scala 1:10.000. Tale studio è stato condotto in riferimento alla d.g.r. n° 8/7374 e, poiché la d.g.r. n° IX/2616 non ha di fatto modificato le modalità di redazione dell'analisi sismica rispetto alla delibera precedente, si rimanda pertanto alla relazione dello studio geologico del marzo 2010 PGT vigente per i dettagli relativi.

Nell'ambito del presente studio la carta PSL è stata comunque aggiornata apportando le seguenti modifiche, legate ad una migliore interpretazione delle indicazioni contenute nell'allegato 5 alla d.g.r. n° IX/2616 e ad una maggiore conoscenza del territorio in seguito ad indagini svolte successivamente alla redazione dello studio geologico del marzo 2010.

- Sono state stralciate tutte le aree corrispondenti con la fascia distale dei depositi di conoide e con l'intera piana alluvionale di fondovalle ricadenti nello scenario Z2, che erano state considerate come aree passibili di instabilità sismica in quanto "aree con terreni aventi caratteristiche geotecniche da mediocri a scadenti" secondo la Carta di

Sintesi e la Carta della Fattibilità del marzo 2010. Per tali aree la problematica è infatti prettamente di tipo geotecnico e degli approfondimenti in tal senso sono già richiesti dalle norme geologiche di piano, mentre si ritiene del tutto remota la possibilità che in esse si verifichino fenomeni di instabilità quali cedimenti e liquefazioni in seguito ad un sisma.

- Sono state stralciate le aree ricadenti nello scenario Z1c ricadenti nella categorie della Carta di Sintesi e della Carta della Fattibilità del marzo 2010 relative ad *"aree potenzialmente soggette a tensioni indotte da fenomeni di deformazione gravitativa profonda probabilmente quiescenti"*, *"aree di potenziale espansione di fenomeni franosi per colata o scivolamento"* ed *"aree situate a valle di settori di pendio potenzialmente soggetti a fenomeni di degradazione"*. Per tali aree la problematica è infatti prettamente di tipo geologico-geomorfologico e degli approfondimenti in tal senso sono già richiesti dalle norme geologiche di piano, mentre si ritiene del tutto remota la possibilità che in esse si verifichino fenomeni di instabilità quali attivazione, riattivazione o accelerazione movimenti in seguito ad un sisma.

- È stata stralciata tutta l'area corrispondente all'alveo del torrente Re nella parte montuosa del territorio comunale erroneamente considerata come zona Z1c, ma non interessata da tale problematica.

Si ricorda che la carta PSL alla scala 1:10.000 realizzata in questa sede ha comunque valore di inquadramento ed è da considerarsi come riferimento e punto di partenza per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento.

2.4 Analisi di secondo livello - valutazione del fattore di amplificazione

A partire dal 10 aprile 2016, data di entrata in vigore della d.g.r. n. X/2129, il territorio del Comune di Gianico ricade in zona sismica 3 e pertanto, in riferimento alla d.g.r. n° IX/2616, nello studio relativo alla componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT è necessaria l'applicazione dell'analisi sismica di secondo livello nelle zone passibili di amplificazione litologica e morfologica (scenari Z3 e Z4) perimetrate nella carta della Pericolosità Sismica Locale ed interferenti con le zone urbanizzate e di espansione urbanistica.

L'area di applicazione dell'analisi sismica di secondo livello è evidenziata nelle carte di fattibilità geologica alla scala 1:2.000 (tavola 6) e 1:10.000 (tavola 7) e comprende tutto il settore di fondovalle, occupato dai conoidi alluvionali e dalla piana del fiume Oglio, fino al piede del versante, entro il quale ricadono le aree urbanizzate e di futura espansione del comune di Gianico.

Non è stato considerato nell'analisi di secondo livello il settore di territorio posto al piede del versante sinistro della Valcamonica comprendente alcuni piccoli nuclei e fabbricati sparsi e non sono state considerate le aree delle varie cascine e malghe isolate presenti nel settore montuoso e non urbanizzato del territorio comunale.

2.4.a. Valutazione dell'amplificazione sismica per effetti litologici

L'analisi di secondo livello per la valutazione dell'amplificazione sismica per effetti litologici proposta dalla normativa regionale richiede la conoscenza di alcuni dati di tipo litologico-stratigrafico e geofisico dei siti da investigare; fra questi, i principali sono costituiti dalla litologia prevalente nel sito e dal profilo di velocità delle onde sismiche di taglio (Vs) fino al raggiungimento di valori pari o superiori ad 800 m/s (che identifica il substrato

sismico) o almeno nei primi trenta metri di profondità.

Nell'area di applicazione dell'analisi sismica di secondo livello sono stati individuati degli ambiti geologico-geomorfologici omogenei, che si ritiene siano caratterizzati da parametri litologico-stratigrafici e geofisici relativamente costanti, all'interno dei quali sono stati individuati uno o più siti rappresentativi per i quali, dopo la determinazione dei parametri geologici e geofisici necessari, è stata effettuata l'analisi.

I dati geofisici sono stati ottenuti con una campagna di indagini sismiche di terreno costituita da 8 stendimenti secondo la tecnica MASW ad ognuno dei quali è stata abbinata l'analisi sismica HVSR. Per la caratterizzazione stratigrafica e litologica dei siti sono stati utilizzati i dati disponibili per le aree in esame, ricavati da indagini svolte in passato nell'ambito del territorio comunale e consistenti nella stratigrafia di un pozzo, di sondaggi meccanici a carotaggio continuo e di prove penetrometriche; si è fatto inoltre riferimento alla conoscenza geologico-geomorfologica del territorio in esame, derivante anche dal rilievo di terreno di dettaglio eseguito dallo scrivente per la redazione dello studio geologico del PGT.

Nella tabella seguente sono elencati gli ambiti omogenei considerati, le indagini geofisiche eseguite ed i dati raccolti per i diversi siti rappresentativi nei quali è stata condotta l'analisi di secondo livello.

<i>Ambito geologico-morfologico</i>		<i>Sito rappresentativo e indagine sismica</i>	<i>Dati litologico-stratigrafici</i>
Conoidi alluvionali del torrente Re di Gianico e della Val Vedetta	Settore apicale	<i>Masw 1 "Località Miele"</i>	quadro geologico-geomorfologico; scarpate torrente Re
		<i>Masw 2 "Piazza Alpini"</i>	quadro geologico-geomorfologico; sondaggi meccanici prove penetrometriche
	Settore intermedio	<i>Masw 3 "Scuole"</i>	quadro geologico-geomorfologico; pozzo PZ 1
	Settore inferiore	<i>Masw 4 "Via Repubblica"</i>	quadro geologico-geomorfologico
Fascia di transizione tra il settore distale dei conoidi e la piana di fondovalle	Settore nord	<i>Masw 5 "Rotonda SP BS 510"</i>	quadro geologico-geomorfologico; prove penetrometriche
	Settore sud	<i>Masw 6 "Via Vescovo"</i>	
Piana di fondovalle del Fiume Oglio	Settore esterno (lato conoidi)	<i>Masw 7 "LD Market"</i>	quadro geologico-geomorfologico; prove penetrometriche
	Settore interno (lato Oglio)	<i>Masw 8 "Via Carobe"</i>	

L'ubicazione delle indagini MASW e HVSR e dei dati litologico-stratigrafici disponibili è riportata a fine testo nella carta alla scala 1:8.000 dell'allegato 1; i diagrammi delle prove penetrometriche e le stratigrafie dei sondaggi e del pozzo negli allegati 4a, b, c. I risultati delle indagini sismiche MASW e HVSR, con la descrizione delle tecniche utilizzate, sono riportati nell'allegato 2 ed i profili di velocità ottenuti nell'allegato 3.

La procedura di applicazione dell'analisi sismica di secondo livello per la determinazione del valore di Fa è descritta nei paragrafi seguenti.

Calcolo delle "Vs30" e determinazione della categoria di suolo di fondazione secondo il DM 14/01/2008.

Sulla base dei dati sismici ottenuti, in particolare dell'andamento delle Vs con la profondità, è stato possibile determinare il parametro Vs₃₀ così come definito dal D.M. 14/01/2008:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} h_i / V_i}$$

Dove :

hi = spessore in metri dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri di sottosuolo;

Vi = velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri di sottosuolo;

N = numero strati nell'ambito dei primi 30 metri di sottosuolo.

Dallo sviluppo del calcolo sono stati ottenuti i valori di Vs₃₀ che hanno permesso di individuare, per ogni sito preso in considerazione, le categorie di suolo di fondazione riportate nella tabella del paragrafo successivo.

Valutazione del fattore di amplificazione sismica locale (Fa).

Il fattore di amplificazione sismica locale Fa è stato determinato in ognuno degli 8 siti rappresentativi presi in considerazione utilizzando la metodologia proposta nell'allegato 5 alla d.g.r. n° IX/2616 che permette di valutare se l'applicazione della normativa sismica nazionale relativa al DM 14/01/2008 sia da considerare sufficiente o meno a tenere in considerazione gli specifici effetti di amplificazione litologica del sito.

Per questo scopo il valore di Fa deve essere confrontato con i valori soglia definiti dalla Regione Lombardia per ogni singolo Comune, differenziati in funzione della categoria di suolo di fondazione e del periodo proprio dei fabbricati distinto in due intervalli:

- da 0,1 a 0,5 secondi, rappresentativo di fabbricati bassi, regolari e piuttosto rigidi, aventi altezza indicativamente inferiore a 5 piani;
- da 0,5 a 1,5 s rappresentativo di strutture più alte e flessibili.

Per il Comune di Gianico i valori delle soglie sono riportati nella seguente tabella.

Categoria di sottosuolo di fondazione	Periodo 0,1 -0,5 s	Periodo 0,5 -1,5 s
B	1,4	1,7
C	1,8	2,4
D	2,2	4,2
E	2,0	3,1

- Il primo passo di applicazione del metodo per la determinazione di Fa consiste nella scelta della scheda di valutazione in base alla litologia prevalente che caratterizza il sito, con il successivo confronto tra l'andamento delle Vs con la profondità previsto nella scheda e l'andamento reale riscontrato nell'indagine; la verifica deve essere fatta partendo dalla scheda di tipo 1 e, nel caso in cui questa non fosse verificata per valori di Vs inferiori a 600 m/s, si deve passare all'utilizzo della scheda di tipo 2. In presenza di una litologia non contemplata nelle schede di valutazione esistenti, nel caso di alternanze litologiche e nel caso in cui in cui esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata, ma l'andamento delle Vs con la profondità non ricada nel campo di validità

della scheda, può essere scelta un'altra scheda che presenti l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quello riscontrato nell'indagine.

In accordo con tali indicazioni, nell'ambito dei siti esaminati in questa sede la scelta della scheda di valutazione è stata fatta in via preliminare in riferimento ai dati litologico-stratigrafici esistenti, successivamente verificata con il confronto fra il profilo di velocità delle onde S ricavato con le indagini geofisiche ed i profili delle Vs delle schede disponibili. Tale confronto è schematizzato nei grafici dell'allegato 3 a fine testo, dal quale si evince quali schede sono compatibili con le diverse situazioni esaminate; le schede scelte ed utilizzate per i diversi siti sono indicate nella tabella a fine paragrafo.

In alcuni casi, non disponendo di dati litologici sufficientemente dettagliati, l'analisi è stata svolta in riferimento a più schede, tutte compatibili dal punto di vista sismico, considerando poi, a favore della sicurezza, il valore di Fa maggiore fra quelli ottenuti. In altri casi la scheda più idonea dal punto di vista litologico presentava delle discordanze dal punto di vista sismico ed è stata quindi svolta l'analisi anche in riferimento ad una scheda meno indicata litologicamente, ma compatibile sismicamente, considerando poi il valore di Fa maggiore fra quelli ottenuti.

- Il secondo passo dell'applicazione della metodologia consiste nell'individuazione dello spessore e della velocità Vs dello strato superficiale in base ai quali si sceglie, all'interno della scheda di valutazione, la curva di correlazione T-Fa più appropriata fra le tre disponibili. Nei casi in esame lo spessore e la velocità del primo strato sono stati desunti dai profili di velocità delle onde S ricavati con le indagini geofisiche. In presenza di uno strato superficiale con spessore inferiore ai 4 m, come indicato dalla normativa, si è assunto un primo strato equivalente, con spessore pari alla somma dello strato superficiale più gli strati sottostanti fino al raggiungimento dei 4 m e caratterizzato da velocità pari alla media pesata tra quella degli strati considerati. Le curve scelte sono indicate nella tabella a fine paragrafo.

- Il passo successivo consiste nella determinazione di T, che rappresenta il periodo proprio del sito espresso in secondi; in base alle indicazioni della normativa, il calcolo deve essere svolto considerando la stratigrafia fino alla profondità del substrato sismico (Vs uguale o superiore a 800 m/s) utilizzando la seguente relazione:

$$T (s) = \frac{4 \times \sum_{i=1, N} h_i}{(\sum_{i=1, N} h_i \times Vs_i) / \sum_{i=1, N} h_i}$$

Dove :

hi=spessore (m) dello strato i-esimo; Vsi=velocità (m/s) delle onde di taglio dello strato i-esimo; N=numero degli strati.

Le profondità del substrato sismico e i valori di T per i siti considerati sono riportati nella tabella a fine paragrafo.

- L'ultimo passo permette di determinare il valore di Fa lungo le curve di correlazione T-Fa in base al valore di T, sia per il periodo compreso fra 0,1 e 0,5 s sia per il periodo compreso fra 0,5 e 1,5 s. In base alle indicazioni della normativa il valore di Fa deve essere arrotondato alla prima cifra decimale e inoltre, nel confronto con il corrispondente valore di soglia, viene tollerata una variabilità di +0,1. I risultati ottenuti sono indicati nella tabella della pagina seguente.

Per i siti 1 e 2 con categoria di sottosuolo B, la scheda ghiaiosa è ben rappresentativa dal punto di vista litologico, ma non compatibile sismicamente; i siti sono stati quindi analizzati anche con le schede limoso-sabbiosa 1 e sabbiosa, meno rappresentative litologicamente, ma valide sismicamente (ad eccezione della limoso-sabbiosa 1

per il sito 2).

sito indagine	categoria sottosuolo da indagine	Scheda di valutazione	curva correlazione T-Fa	profondità substrato sismico(m)	T (s)	Fa 0,1-0,5s	Fa 0,5-1,5s	risultato	
								0,1-0,5s	0,5-1,5s
1 Loc. Miele	B	Ghiaiosa	3	36,8	0,273	1,4	1,1	= soglia	<soglia
		Lim-sabb 1	3			1,5	1,2	> soglia*	
		Sabbiosa	3			1,4	1,4	= soglia	
2 Piazza Alpini	B	Ghiaiosa	3	33,6	0,288	1,4	1,1	= soglia	<soglia
		Lim-sabb 1	3			1,5	1,2	> soglia*	
		Sabbiosa	3			1,4	1,4	= soglia	
3 Scuole	B	Ghiaiosa	3	33,6	0,259	1,4	1,1	= soglia	<soglia
		Lim-sabb 1	2			1,7	1,2	> soglia	
		Sabbiosa	2			1,7	1,3	> soglia	
4 via Repubblica	B	Lim-sabb 1	3	40,6	0,336	1,5	1,2	> soglia*	<soglia
		Sabbiosa	2			1,7	1,5	> soglia	
5 rotonda SP 510	B	Lim-sabb 1	2	56,6	0,551	1,7	1,3	> soglia	<soglia
		Sabbiosa	1			1,6	1,6		
6 via Vescovo	C	Sabbiosa	2	85,0	1,047	1,0	1,7	<soglia	<soglia
7 LD Market	B	Lim-sabb 2	3	47,1	0,385	1,8	1,4	> soglia	<soglia
		Sabbiosa	2			1,7	1,6		
8 via Carobe	B	Ghiaiosa	3	23,2	0,189	1,3	1,1	<soglia	<soglia
<i>*entro la tolleranza di +0,1 consentita dalla normativa</i>									

In tutti i casi i valori di Fa risultano inferiori o uguali alle corrispondenti soglie per entrambi i periodi di riferimento o al limite, nel caso della scheda limoso-sabbiosa 1, la soglia viene superata per il periodo 0,1-0,5 s, ma entro la tolleranza di + 0,1 consentita dalla normativa.

Per il sito 3 con categoria di sottosuolo B, la scheda ghiaiosa è ben rappresentativa dal punto di vista litologico, ma non compatibile sismicamente; i siti sono stati quindi analizzati anche con le schede limoso-sabbiosa 1 e sabbiosa, meno rappresentative litologicamente, ma valide sismicamente. Devono quindi essere considerati i valori di Fa ottenuti con queste ultime schede, che risultano superiori alla soglia per il periodo 0,1-0,5 s. I valori relativi al periodo superiore (0,5-1,5 s) sono invece sempre inferiori alla soglia.

Per i siti 4, 5 e 7 con categoria di sottosuolo B, le schede rappresentative litologicamente sono la sabbiosa e la sabbioso-limoso, entrambe valide anche dal punto di vista sismico. I valori di Fa ottenuti sono sempre superiori alla soglia per il periodo 0,1-0,5 s e inferiori alla soglia per il periodo 0,5-1,5 s.

Per il sito 6 con categoria di sottosuolo C, l'unica scheda compatibile sismicamente è la sabbiosa che è ben rappresentativa anche dal punto di vista litologico; i valori di Fa ottenuti sono sempre inferiori alle soglie.

Per il sito 8 con categoria di sottosuolo B, la scheda ghiaiosa è ben rappresentativa dal punto di vista litologico ed

è anche compatibile sismicamente; i valori di Fa ottenuti sono sempre inferiori alle soglie.

In conclusione, relativamente alle tipologie edilizie con periodo proprio compreso fra 0,5 e 1,5 s, sono stati ottenuti valori di Fa non superiori alle rispettive soglie comunali; la normativa sismica nazionale risulta quindi sufficiente a tenere in considerazione gli specifici effetti di amplificazione sismica per cause litologiche dei siti e in fase progettuale è quindi corretto applicare lo spettro della categoria di suolo C per il sito 6 ed il suo intorno individuato nella carta di fattibilità, e lo spettro della categoria di suolo B per i rimanenti siti ed il loro intorno individuato nella carta di fattibilità.

Relativamente alle tipologie edilizie con periodo proprio compreso fra 0,1 e 0,5 s, sono stati ottenuti valori di Fa non superiori alle rispettive soglie comunali per i siti 1, 2, 6 e 8; la normativa sismica nazionale risulta quindi sufficiente a tenere in considerazione gli specifici effetti di amplificazione sismica per cause litologiche dei siti e in fase progettuale è quindi corretto applicare lo spettro della categoria di suolo C per il sito 6 ed il suo intorno, individuato nella carta di fattibilità, e lo spettro della categoria di suolo B per i siti 1, 2 e 8 ed il loro intorno individuato nella carta di fattibilità. Per i siti 3, 4, 5 e 7 sono stati invece ottenuti valori di Fa superiori alle rispettive soglie comunali; la normativa sismica nazionale risulta quindi non sufficiente a tenere in considerazione gli specifici effetti di amplificazione sismica per cause litologiche dei siti e in fase progettuale è necessario applicare per tali siti ed il loro intorno individuato nella carta di fattibilità lo spettro della categoria di suolo superiore C oppure ricorrere al terzo livello di approfondimento sismico.

Le considerazioni conclusive sono riassunte nella seguente tabella:

sito e indagine	categoria sottosuolo da indagine	Periodo proprio tipologia edilizia 0,1-0,5 s		Periodo proprio tipologia edilizia 0,5-1,5 s	
		Fa	Categoria di sottosuolo da utilizzare in fase progettuale	Fa	Categoria di sottosuolo da utilizzare in fase progettuale
1 Loc. Miele 2 Piazza Alpini 8 via Carobe	B	Inferiore o pari alla soglia	B	Inferiore alla soglia	B
3 Scuole 4 via Repubblica 5 rotonda SP 510 7 LD Market	B	Superiore alla soglia	C o terzo livello di approfondimento sismico	Inferiore alla soglia	B
6 via Vescovo	C	Inferiore alla soglia	C	Inferiore alla soglia	C

2.4.b. Valutazione dell'amplificazione sismica per effetti morfologici

Nella parte del territorio comunale sottoposta all'analisi sismica di secondo livello, coincidente con il fondovalle occupato dalla piana alluvionale del fiume Oglio e dai conoidi alluvionali del torrente Re e della Val Vedetta e delimitato nelle carte di fattibilità geologica (tavole 6 e 7) non sono presenti elementi che possano portare ad

un'amplificazione sismica per effetti morfologici, come emerge dall'analisi della cartografia aerofotogrammetrica comunale alla scala 1:2.000 e dai rilievi di terreno.

Non sono quindi presenti aree passibili di amplificazione sismica per effetti morfologici e pertanto l'analisi di secondo livello relativamente a tale problematica non è stata svolta nell'ambito del presente studio.

2.5. Sovrapposizione sulle carte di fattibilità dei risultati dell'analisi sismica di secondo livello

Sulle carte di fattibilità geologica (Tavola 6 alla scala 1:2.000 – Tavola 7 alla scala 1:10.000) sono stati sovrapposti i risultati dell'analisi sismica di secondo livello ed il limite della sua area di applicazione.

Entro tale area non sono presenti settori caratterizzati da amplificazione sismica per effetti morfologici

Relativamente all'amplificazione litologica, gli 8 siti di indagine sono stati raggruppati in base ai risultati dell'analisi di secondo livello, esportando lateralmente, rispetto ai punti di indagine, i risultati ottenuti entro ambiti omogenei dal punto di vista geologico-geomorfologico e litologico-stratigrafico, ottenendo aree omogenee relativamente alla pericolosità sismica per effetti litologici che sono state differenziate nelle seguenti categorie a seconda della problematica riscontrata.

- Aree in categoria di sottosuolo B con Fa inferiori alle soglie della categoria B per entrambi i periodi di riferimento: settore superiore e medio-superiore dei conoidi del Re e della Val Vedetta, comprendenti la parte alta dell'abitato di Gianico (siti di indagine 1 e 2) e la parte interna della piana di fondovalle dell'Oglio con la SS42 ed alcune cascate e case sparse (sito 8).
- Aree in categoria di sottosuolo B con Fa superiori alle soglie della categoria B per entrambi i periodi di riferimento: settore medio-inferiore ed inferiore dei conoidi del Re e della Val Vedetta, comprendenti la parte inferiore dell'abitato di Gianico e la località Pezzegata (siti di indagine 3 e 4), la parte esterna della piana di fondovalle dell'Oglio con la zona industriale (sito 7) ed il settore nord della fascia di transizione tra piana di fondovalle e conoidi con la località San Rocco (sito 5).
- Aree in categoria di sottosuolo C con Fa inferiori alle soglie della categoria C per entrambi i periodi di riferimento: settore sud della fascia di transizione piana-conoide comprendente i nuclei abitati sparsi lungo via Valeriana a sud della località San Rocco.

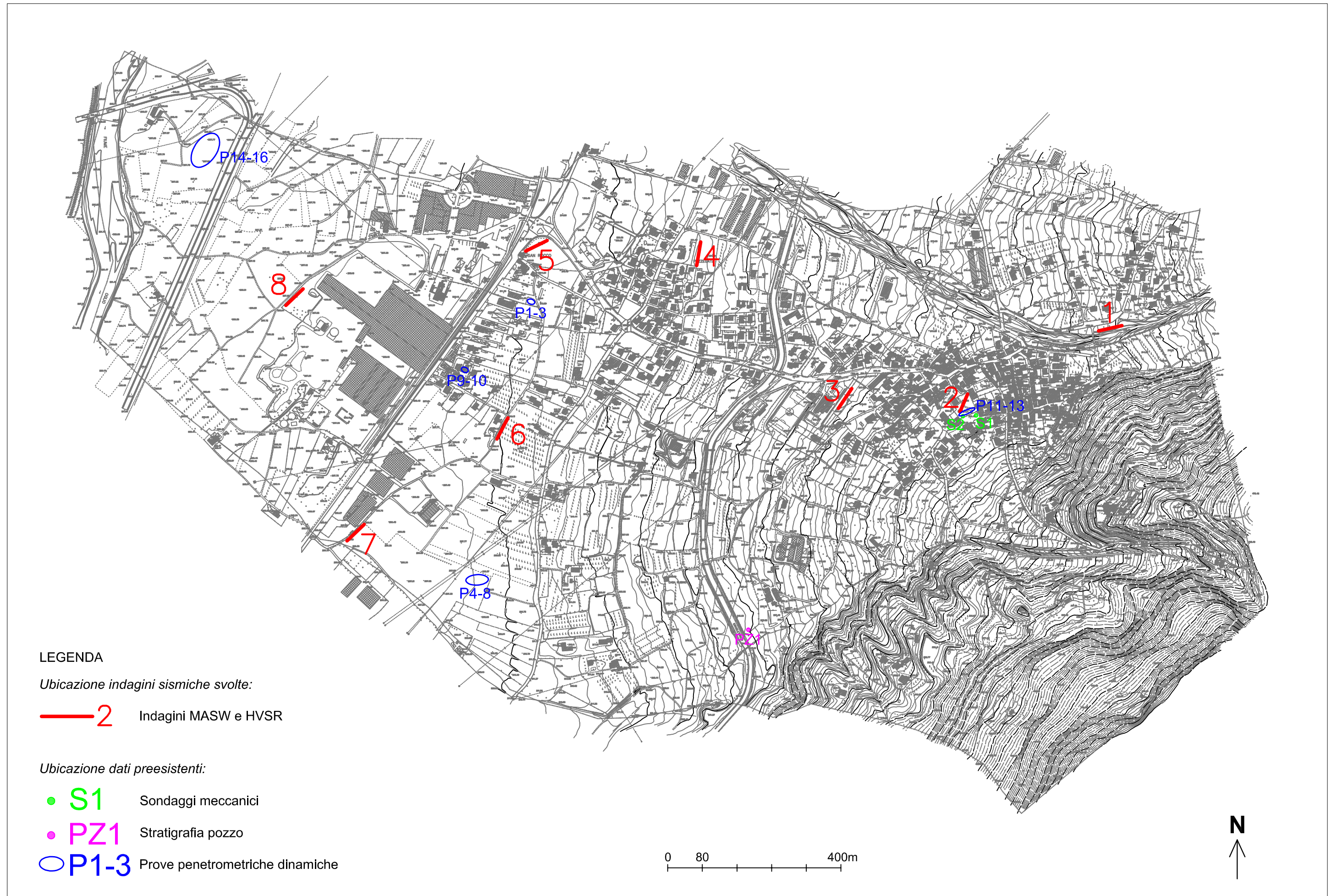
Dr. geol. Fabio Alberti

Ha collaborato : dr. geol. Francesco Bosio

Darfo Boario Terme, novembre 2016.

3. Bibliografia

- 1) Castiglioni G.B. - Geomorfologia.- ed. UTET, Torino 1979.
- 2) Geo.Te.C. Studio Associato - Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio - ai sensi della dgr 28 maggio 2008 n.8/7374 - Comune di Gianico, Agosto 2009, aggiornamenti Novembre 2009 e Marzo 2010.
- 3) D.M. 14 settembre 2005 - Norme tecniche per le costruzioni.- Gazz. Uff., n. 222 del 23/09/2005.
- 4) D.M. 14 gennaio 2008 - Approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni.- Gazz. Uff., n. 29 del 04/02/2008.
- 5) Decreto del Capo del Dipartimento della protezione civile del 21 ottobre 2003 “Disposizioni attuative dell’art. 2, commi 2, 3 e 4, dell’ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003” – G.U. n. 252 del 29 ottobre 2003
- 6) Ordinanza PCM n. 3274 del 20 marzo 2003 - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica - G.U. n. 105, 8 maggio 2003, Suppl. Ord. n. 72.
- 7) Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006 - Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone - Gazz.Uff., anno 147, n. 108 del 11-05-2006.
- 8) Regione Lombardia - D.g.r. 28 Maggio 2008 n. 8/7374 – Aggiornamento dei “Criteri ed indirizzi per la componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12” approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 - BURL - anno XXXVIII, n. 120, 12 giugno 2008, 2° Suppl. Straordinario al n°24.
- 9) Regione Lombardia - D.g.r. 30 Novembre 2011 n. IX/2616 – Aggiornamento dei “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12” approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r 28 maggio 2008 n, 8/7374" - BURL - anno XLI Serie Ordinaria n. 3 - 19 gennaio 2012.
- 10) Regione Lombardia - D.g.r. n 7/14964 del 7 Novembre 2003 - Disposizioni preliminari per l’attuazione dell’OPCM n°3274/2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”- Boll. Uff. della Reg. Lomb. - anno XXXIII, n. 275, 2003.
- 11) Regione Lombardia - D.g.r. n X/2129 dell’11 Luglio 2014 - Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d) - Boll. Uff. della Reg. Lomb. - anno XLIV, n. 176, 2014.
- 12) Regione Lombardia - Decreto dirigente dell’unità organizzativa n. 19904/03 21/11/2003 - Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all’art. 2, commi 3 e 4 dell’ordinanza p.c.m. n 3274 del 20 marzo 2003, in attuazione della d.g.r. n° 14964 del 7 Novembre 2003 - Boll. Uff. della Reg. Lomb. – serie ordinaria, n. 49 del 1/12/2003.
- 13) Regione Lombardia - L.r. 11 marzo 2005 n. 12 - Legge per il governo del territorio - BURL. - anno XXXV, n. 69, 16 marzo 2005, 1° Suppl. Ordinario.
- 14) Regione Lombardia - L.r. 14 luglio 2006 n. 12 - Modifiche ed integrazioni alla legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 “legge per il governo del territorio”. - BURL 18 luglio 2006, n. 29, 1° suppl. ord.



allegato 2: RISULTATI INDAGINI SISMICHE MASW E HVSR

Per la determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio nei siti ritenuti significativi è stata condotta una campagna di prove geofisiche con l'esecuzione di 8 analisi sismiche MASW con sovrapposte analisi sismica HVSR.

L'ubicazione dei siti di indagine è riportata nell'allegato 1.

Le indagini e l'interpretazione dei dati sono state condotte dal dr. geol. Devid Stain.

ANALISI SISMICHE MASW

Il metodo MASW "Multichannel Analysis of Surface Waves" è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio VS sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di un allineamento di geofoni posti sulla superficie del suolo. Le onde di superficie sono due: quelle di Rayleigh e quelle di Love e sono dette superficiali perché la loro ampiezza decreta in modo esponenziale con la profondità e la loro propagazione interessa quindi un limitato spessore di sottosuolo; rispetto alle onde di corpo la loro ampiezza è notevolmente maggiore e per questo motivo tipicamente dominano qualsiasi dataset sismico.

Le onde di Rayleigh si muovono su un piano radiale secondo un moto detto retrogrado; l'andamento del moto indica che queste onde hanno sia una componente verticale che una componente orizzontale radiale.

Le onde di Love si muovono solamente sul piano orizzontale con un'oscillazione la cui direzione è perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere uno spettro delle velocità di fase sperimentale, che fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30-50 m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

Nel caso in esame l'acquisizione dei dati è stata condotta con il sismografo Pasi 16S24-U, con 12 geofoni verticali e orizzontali di 4,5 Hz; l'energizzazione è stata effettuata tramite battitura con una mazza del peso di 10 kg. La spaziatura e l'offset dei vari stendimenti sono riportati nella tabella sottostante.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (MASW), sono stati acquisiti 3 dataset differenti con altrettante modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF); 12 geofoni verticali da 4,5 HZ, energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio;
- Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF); 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono parallelo allo stendimento, energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio;
- Dataset Onde Love componente orizzontale (THF); 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono perpendicolare allo stendimento, energizzazione orizzontale su traversina in legno.

ANALISI SISMICHE HVSR

Le vibrazioni ambientali (o rumore sismico ambientale o microtremori) sono movimenti del terreno caratterizzati da ampiezze dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-2} mm. Queste vibrazioni sono l'effetto di una molteplicità di sorgenti agenti a diverse frequenze: onde marine e perturbazioni atmosferiche, ad esempio, contribuiscono al campo d'onda prevalentemente a frequenze inferiori a 0.5 Hz mentre vento, traffico veicolare e attività industriali contribuiscono prevalentemente a frequenze superiori a 0.5 Hz.

L'indipendenza dinamica delle sorgenti e la molteplicità dei percorsi delle onde da esse generate spiega la mancanza di regolarità nell'andamento temporale del campo del microtremore. Se da un lato il carattere stocastico del fenomeno

presenta difficoltà di tipo teorico, dall'altro consente, mediante operazioni di tipo statistico, di ridurre la complessità dell'analisi.

Dato che il rumore è caratterizzato da lunghezze d'onda anche molto grandi (decine o centinaia di metri), confrontabili con quelle tipiche dei fenomeni sismici, le tecniche di sismica passiva trovano una ideale applicazione negli studi della risposta sismica locale. In particolare, esse permettono di individuare situazioni sismo-stratigrafiche potenzialmente responsabili di fenomeni di risonanza sismica, valutandone qualitativamente l'entità, la determinazione dei periodi di risonanza delle coperture sedimentarie e la determinazione del profilo di velocità delle onde S fino a profondità dell'ordine di diverse decine di metri.

Esistono sostanzialmente due configurazioni sperimentali per lo studio del rumore sismico: la configurazione a stazione singola e quella ad antenna sismica (array). La prima è basata sull'analisi dell'ampiezza delle componenti spettrali del campo di vibrazioni ambientali misurato nelle tre direzioni, mentre nella seconda vengono analizzati i rapporti di fase tra i treni d'onda che attraversano un'antenna sismica (array) ovvero una distribuzione di geofoni disposti con geometrie variabili sulla superficie del terreno.

Le prove effettuate nel caso in esame sono a stazione singola, note anche come prova Nakamura (1989) o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio); in particolare è stato utilizzato un geofono 3d da 2 Hz collegato al sismografo Pasi 16S24-U.

Il risultato di tali prove è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. La prova consiste quindi nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti; essa ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

La determinazione della curva HVSR in sito prevede i seguenti passi:

- misura delle tre componenti x, y, z del moto in un punto sulla superficie libera del suolo per una durata dai 10 ai 20 minuti;
- eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi transitori non conformi al rumore ambientale;
- definizione degli N intervalli o finestre temporali stazionari entro cui calcolare le curve HVSR;
- calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto;
- operazione di smoothing degli spettri di Fourier;
- somma delle due componenti orizzontali x e y;
- calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari;
- calcolo della curva HVSR media tra le N curve HVSR.

Infine, i risultati ottenuti vengono verificati secondo i criteri di ammissibilità del progetto SESAME esposti nei seguenti punti.

• Condizioni di Reliability della curva HVSR:

- 1) in corrispondenza della frequenza del picco di interesse vi siano almeno 10 cicli significativi in ogni finestra temporale individuata nel segnale registrato;
- 2) è necessario utilizzare un grande numero di finestre temporali e di cicli, almeno 200 cicli;
- 3) il livello di scattering, cioè di dispersione delle curve HVSR ottenute nelle diverse finestre temporali deve essere moderato, altrimenti potrebbe essere un sintomo di un rumore ambientale fortemente non-stazionario, che influenza la forma della curva HVSR in maniera non ripetibile.

Le condizioni 1) e 2) confermano che la durata del segnale registrato sia sufficientemente estesa, la condizione 3) assicura che la curva HVSR misurata sia di buona qualità e poco dispersa.

- Condizioni di Clarity del picco massimo

Condizioni sull'Ampiezza:

4) esiste una frequenza f^- , compresa tra $f^0/4$ e f^0 , tale che $A^0 / A_{HV}(f^-) > 2$;

5) esiste un'altra frequenza f^+ , compresa tra f^0 e $4 \cdot f^0$, tale che $A^0 / A_{HV}(f^+) > 2$;

6) deve essere $A^0 > 2$.

Le condizioni 4) e 5) confermano che il picco sia sufficientemente isolato sia a sinistra (condizione 4), sia a destra (condizione 5). La condizione 6) assicura che il picco sia sufficientemente elevato e questo dipende dall'entità del contrasto di rigidità tra gli strati.

- Condizioni sulla Stabilità della curva HVSR:

7) il picco dovrebbe comparire alla stessa frequenza (entro il $\pm 5\%$) nelle curve H/V corrispondenti alla media + e- lo standard deviation;

8) lo scarto quadratico medio σ_f deve essere inferiore ad un valore limite f dipendente dalla frequenza come riportato nella tabella dei criteri Sesame;

9) deve essere $\sigma_A(f_0)$ inferiore ad un valore limite $\theta(f)$ dipendente dalla frequenza come riportato in tabella dei criteri Sesame.

Le condizioni 7), 8) e 9) confermano che la curva HVSR misurata sia stabile, cioè di buona qualità e poco dispersa.

ELABORAZIONE DATI

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software Win MASW Academy 7.0. Nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti, scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF o RVF), per le Onde di Love (THF) e HVSR. Una volta individuati sono stati determinati gli spettri di velocità per ogni dataset e dopo svariate elaborazioni si è scelta l'analisi congiunta migliore tra le combinazioni (ZVF-THF) o (RVF-THF) o (ZVF/RVF/THF-HVSR). Scelta la combinazione per l'elaborazione da utilizzare è stata effettuata una modellazione congiunta, utilizzata come modello per lanciare l'inversione con l'utilizzo del fronte di Pareto per la validazione dell'interpretazione dei dati. Le elaborazioni svolte hanno permesso di ottenere i profili di Vs ritenuti più attendibili.

I parametri relativi agli 8 siti di indagine sono riportati nella tabella seguente.

SITO	SPAZIATURA RA MASW	OFFSET MASW	LUNGHEZZA STENDIMENTO	MISURAZIONI HVSR	COMBINAZIONE UTILIZZATA
1 Loc. Miele	5 m	10 m	65 m	20 min - 15 min	(ZVF-THF)
2 Piazza Alpini	4 m	8 m	52 m	20 min - 10 min	(ZVF-THF)
3 Scuole	5 m	10 m	65 m	20 min - 10 min	(ZVF-THF)
4 Via Repubblica	5 m	10 m	65 m	20 min - 10 min	(ZVF-THF)
5 Rotonda SP BS 510	5 m	10 m	65 m	20 min - 15 min	(THF- HVSR1)
6 Via Vescovo	5 m	10 m	65 m	20 min - 15 min	(THF- HVSR1)
7 LD Market	5 m	10 m	65 m	10 min - 20 min	(ZVF- HVSR1)
8 Via Carobe	5 m	10 m	65 m	20 min - 10 min	(RVF-THF)

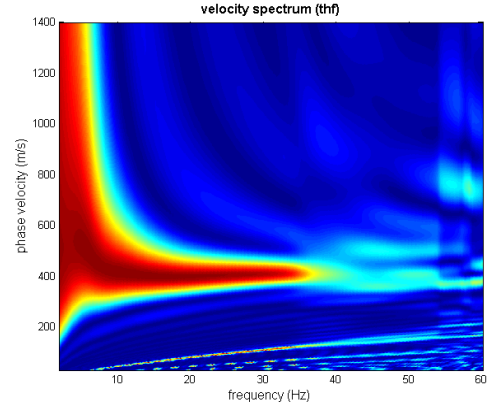
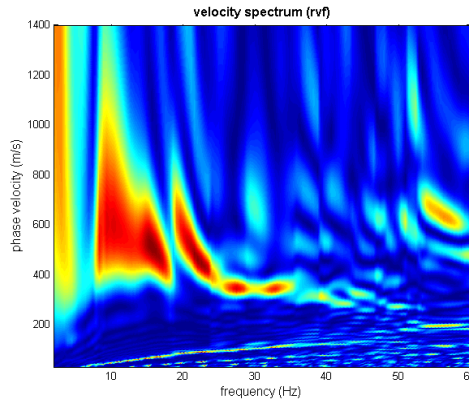
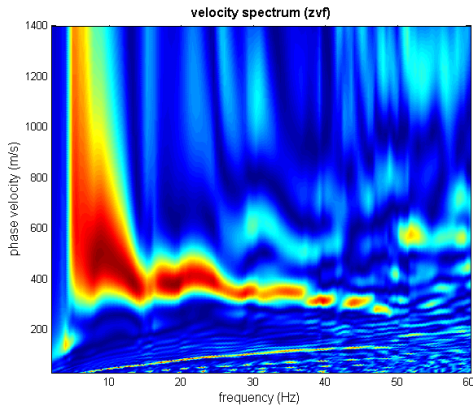
I profili di Vs ottenuti sono riportati nell'allegato 3; nelle pagine seguenti si riportano i risultati delle acquisizioni effettuate nell'ambito delle 8 prove MASW (spettri di velocità ZVF, RVF e THF) e HVSR.

SITO 1: LOCALITA' MIELE

MASW spettro ZVF

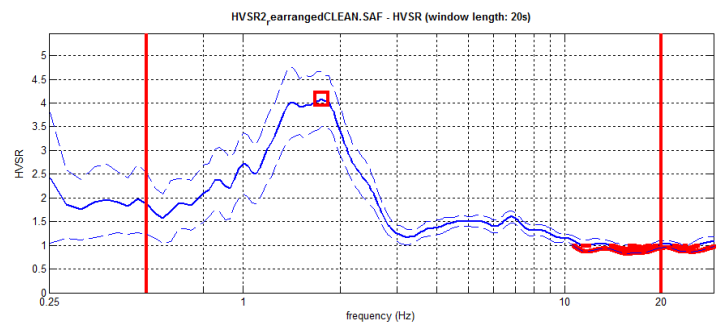
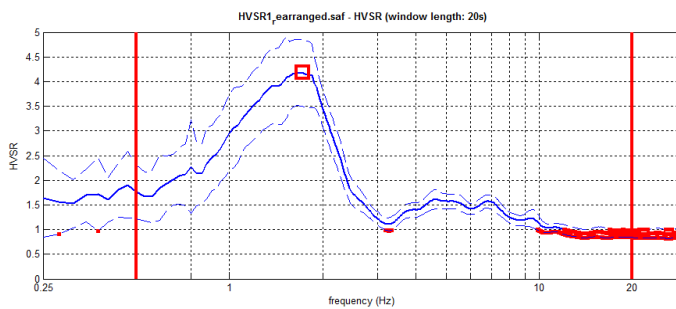
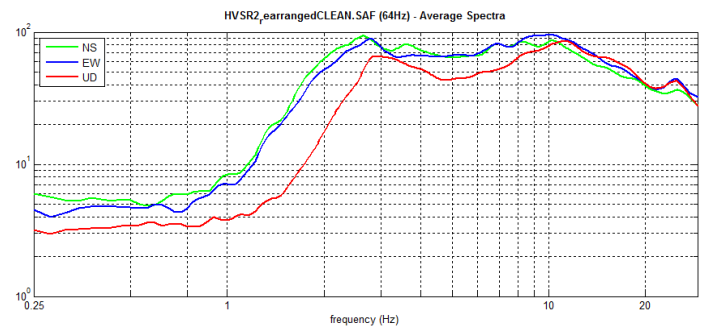
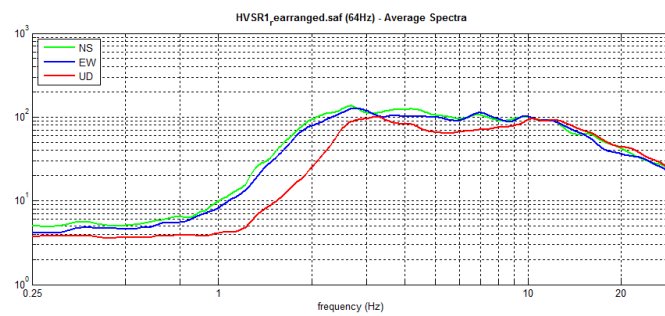
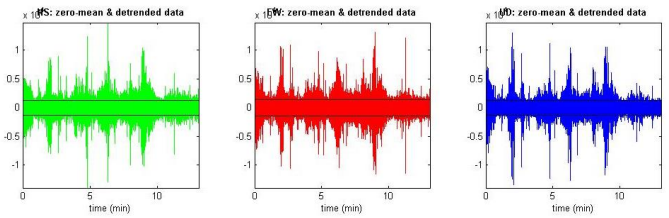
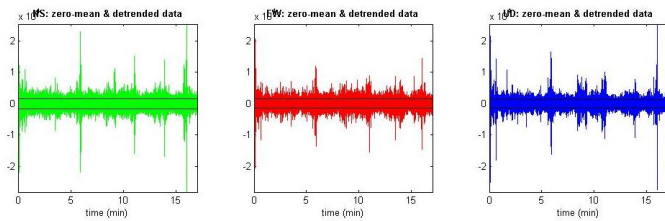
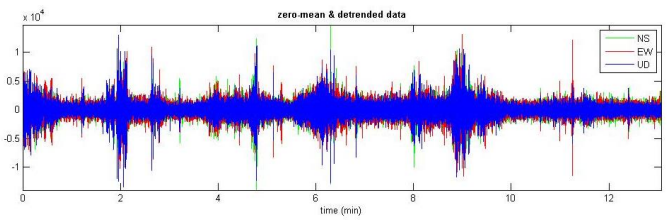
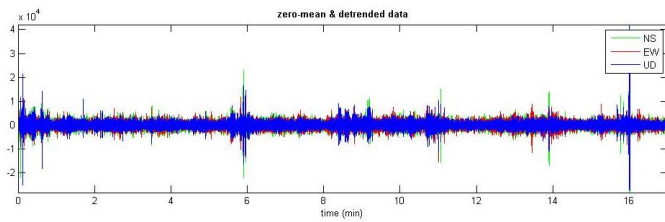
MASW spettro RVF

MASW spettro THF



HVSR misura 1

HVSR misura 2

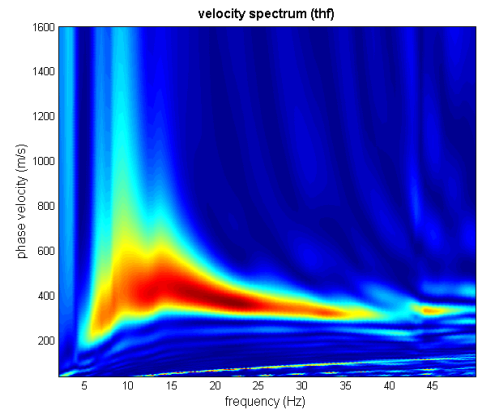
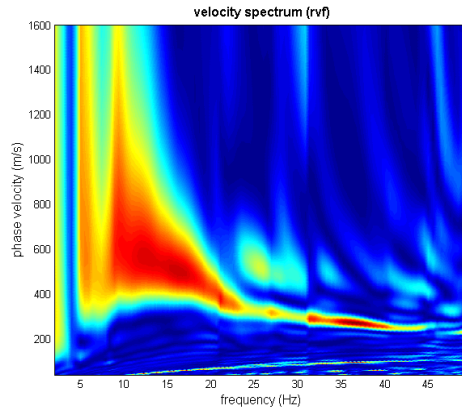
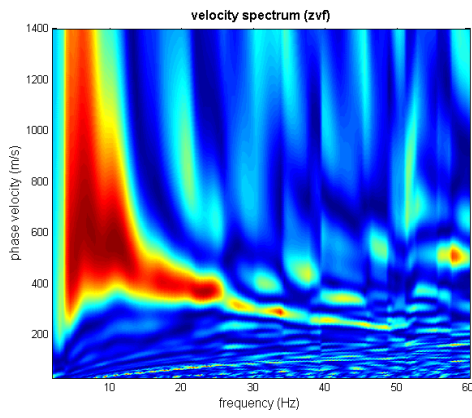


SITO 2: PIAZZA ALPINI

MASW spettro ZVF

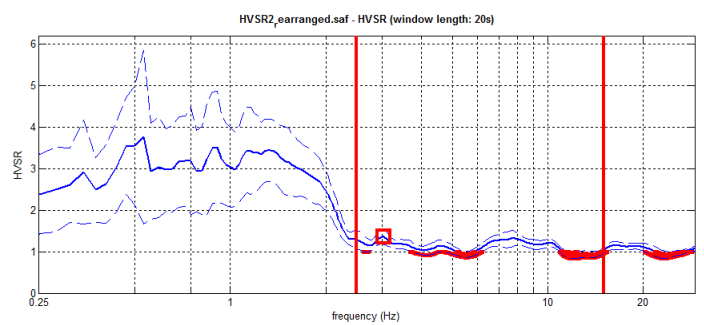
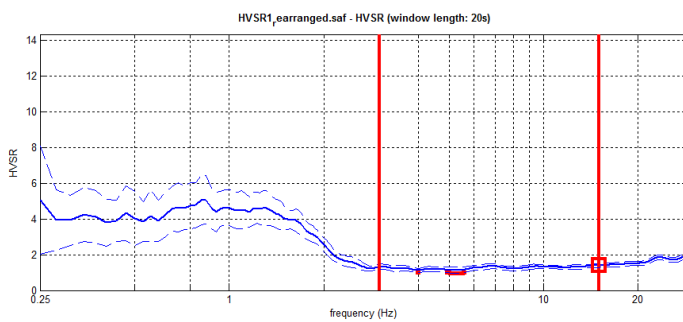
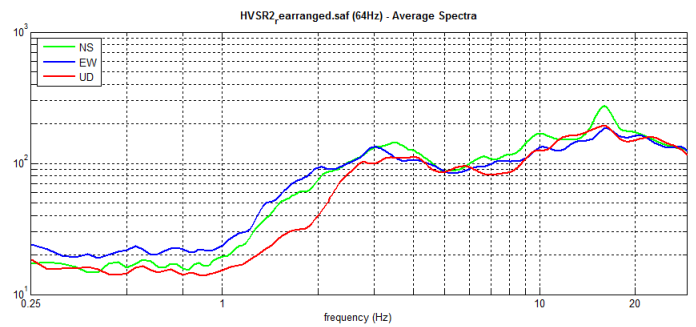
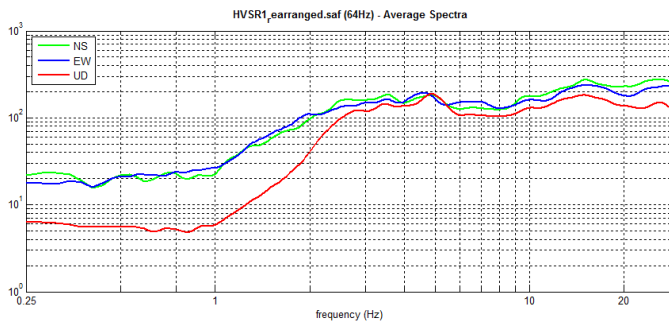
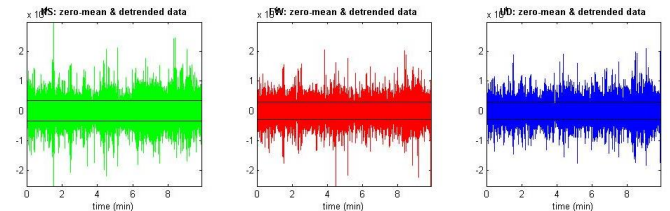
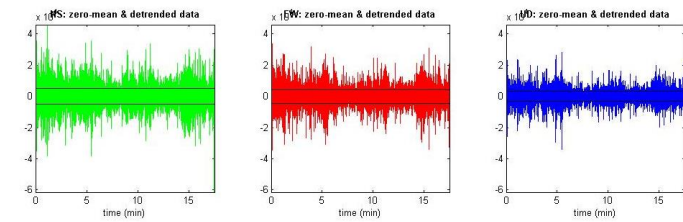
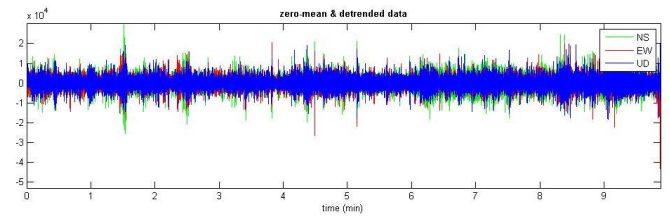
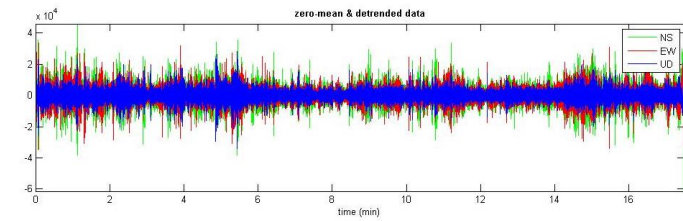
MASW spettro RVF

MASW spettro THF



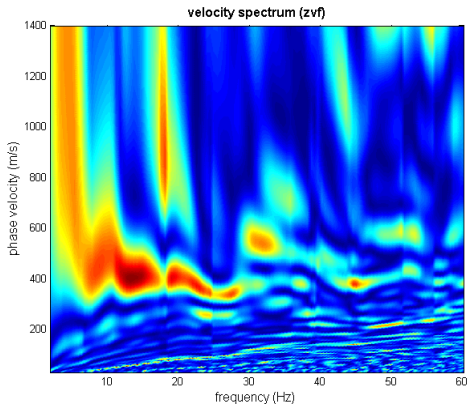
HVSR misura 1

HVSR misura 2

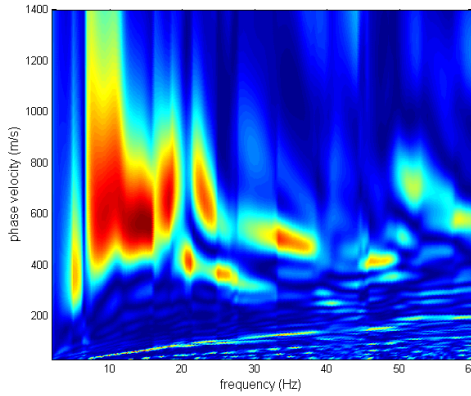


SITO 3: SCUOLE

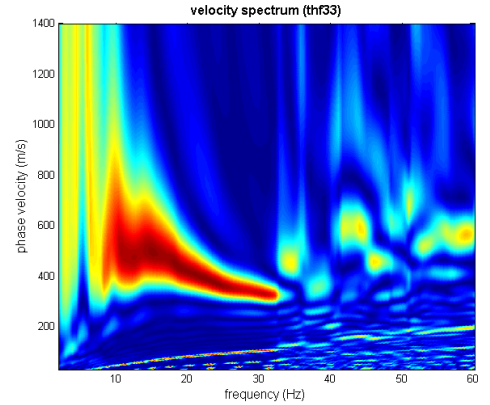
MASW spettro ZVF



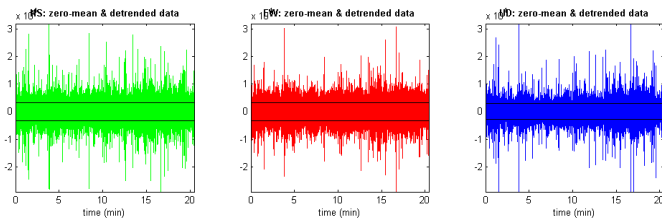
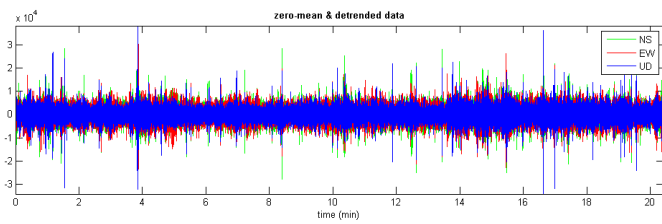
MASW spettro RVF



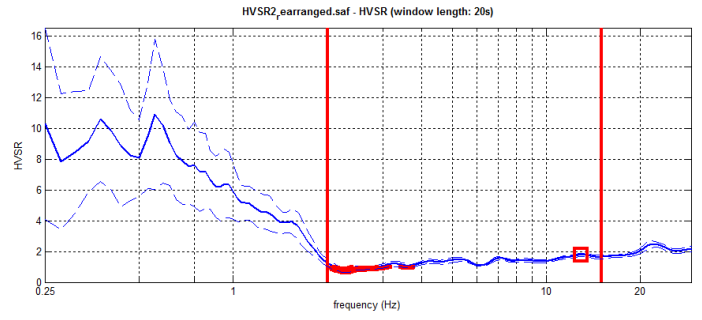
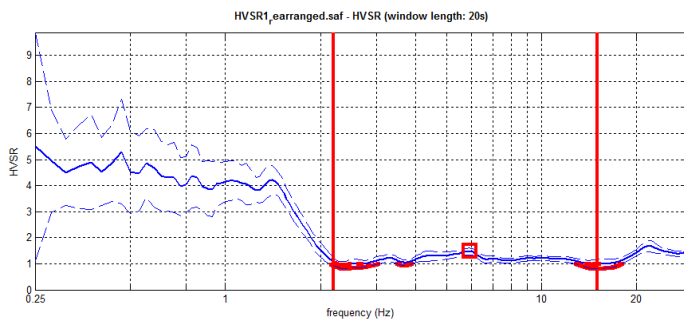
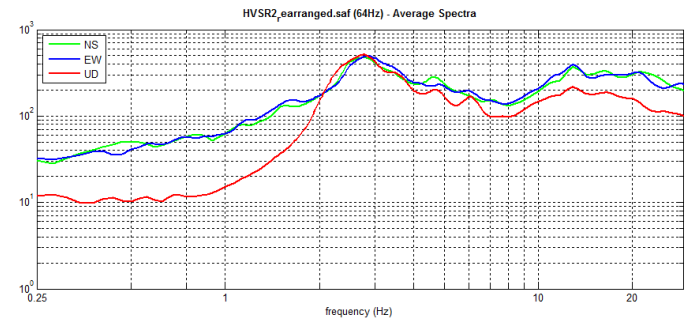
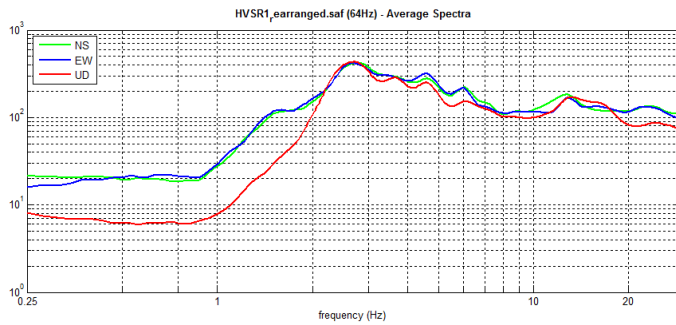
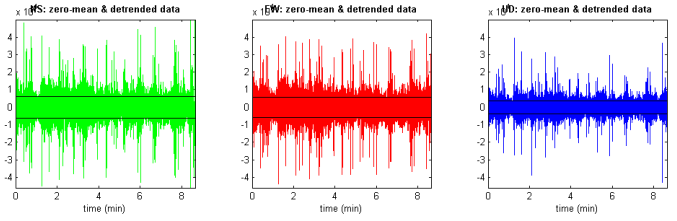
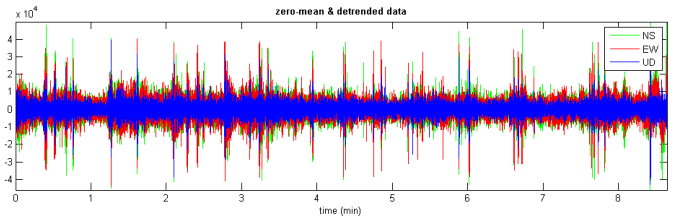
MASW spettro THF



HVSR misura 1



HVSR misura 2

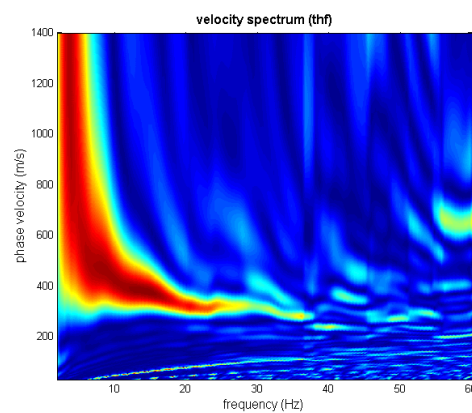
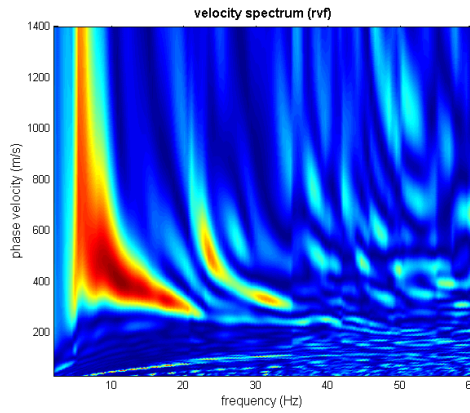
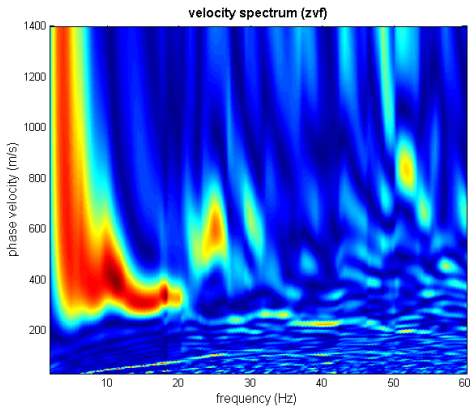


SITO 4: VIA REPUBBLICA

MASW spettro ZVF

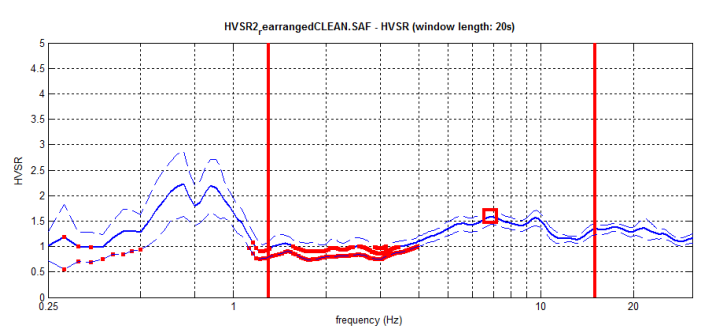
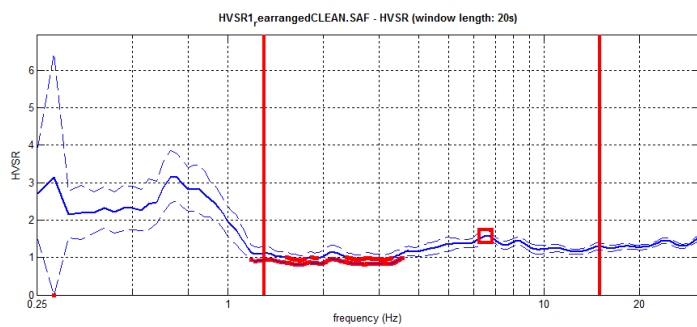
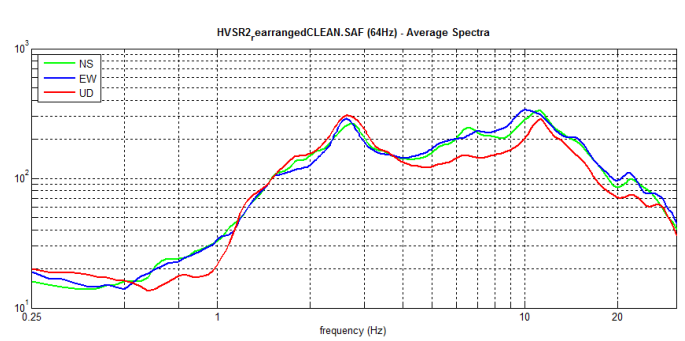
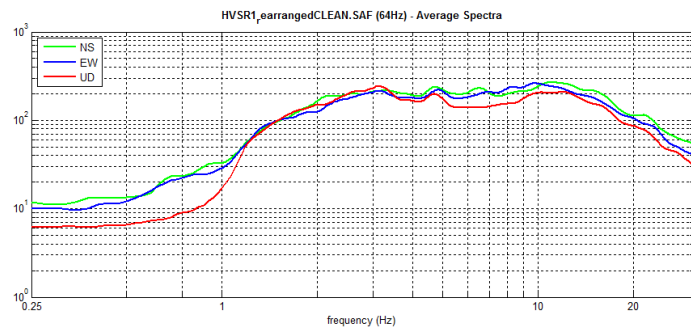
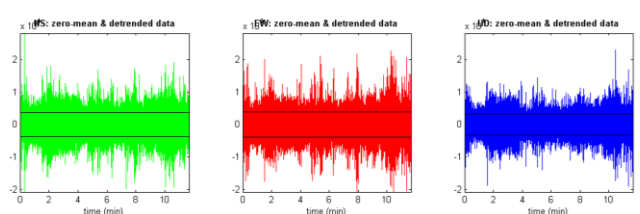
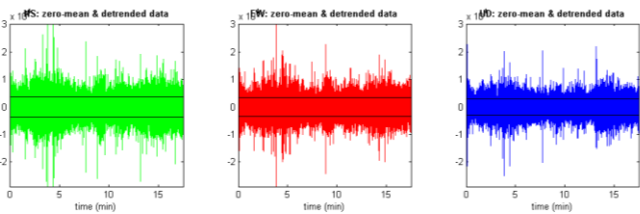
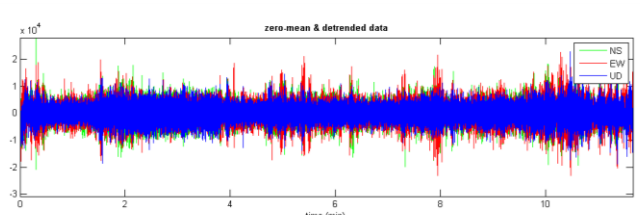
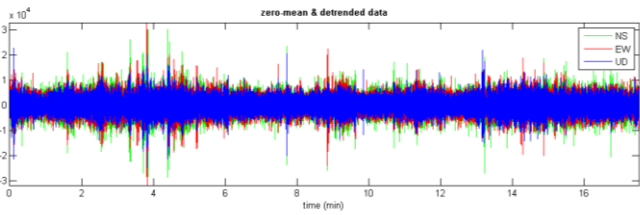
MASW spettro RVF

MASW spettro THF



HVSR misura 1

HVSR misura 2

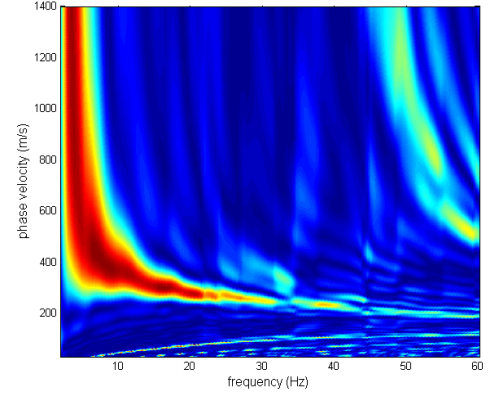
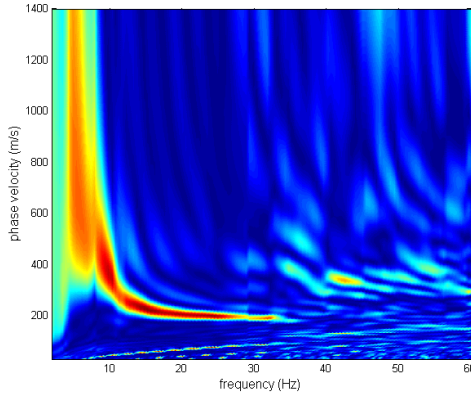
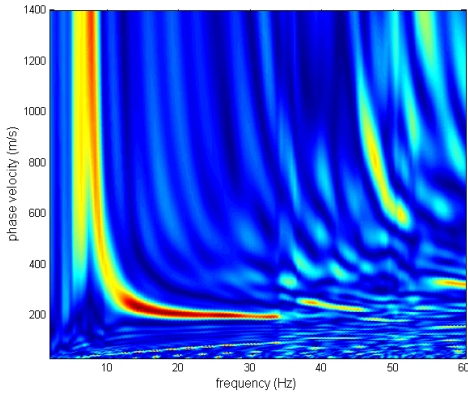


SITO 5: ROTONDA SP BS 510

MASW spettro ZVF

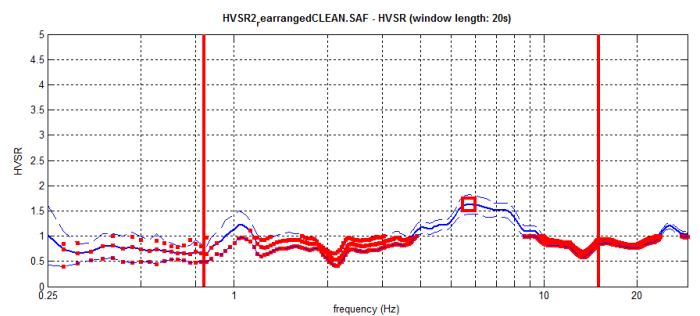
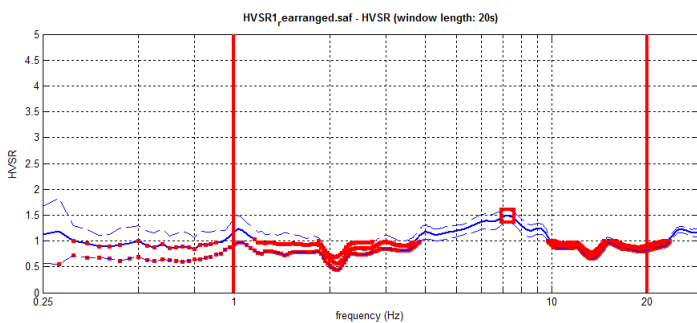
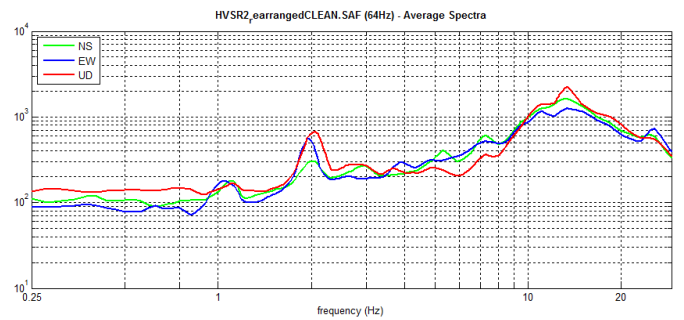
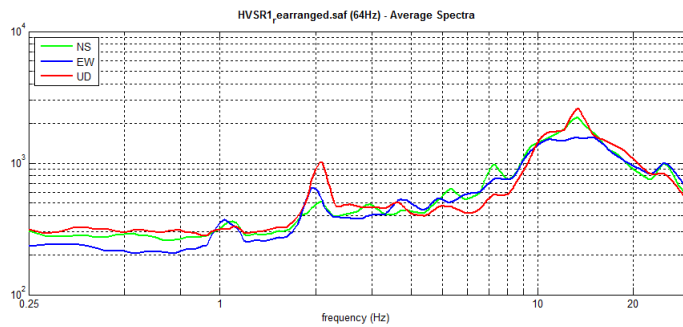
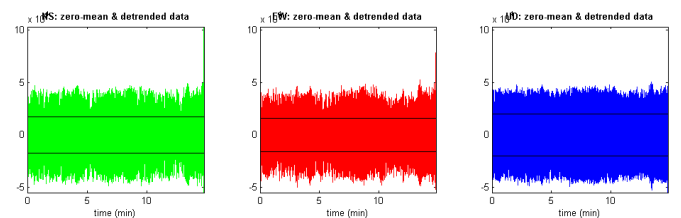
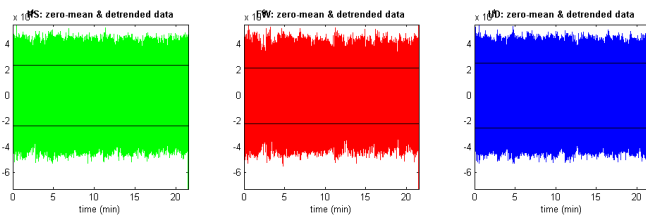
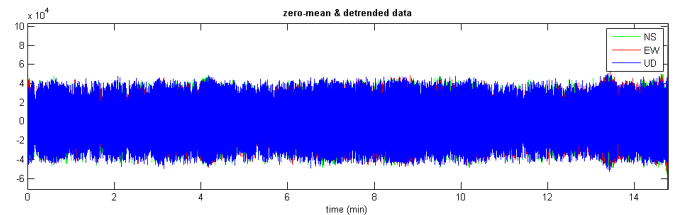
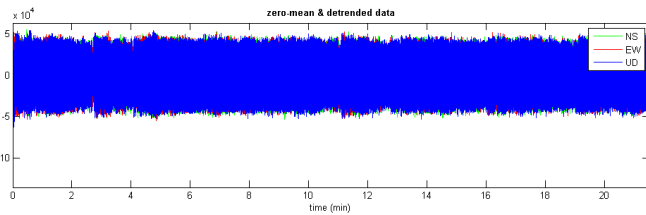
MASW spettro RVF

MASW spettro THF



HVSR misura 1

HVSR misura 2

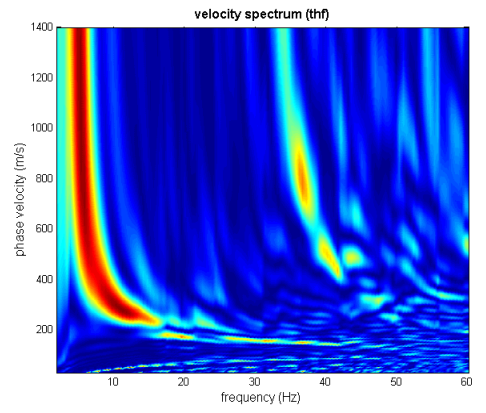
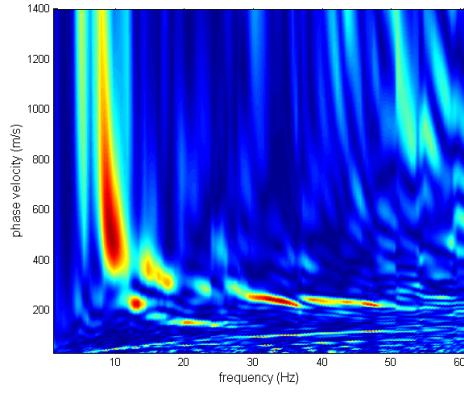
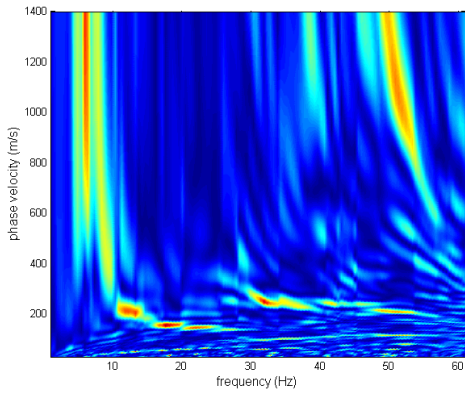


SITO 6: VIA VESCOVO

MASW spettro ZVF

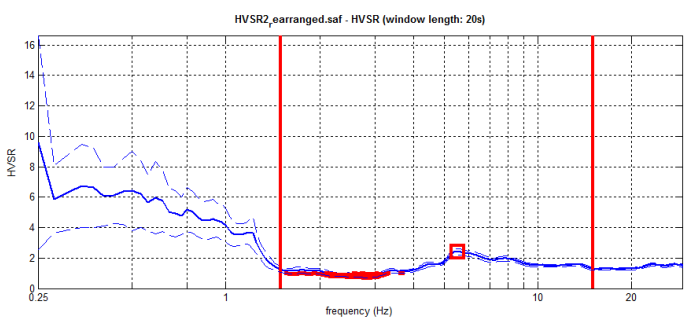
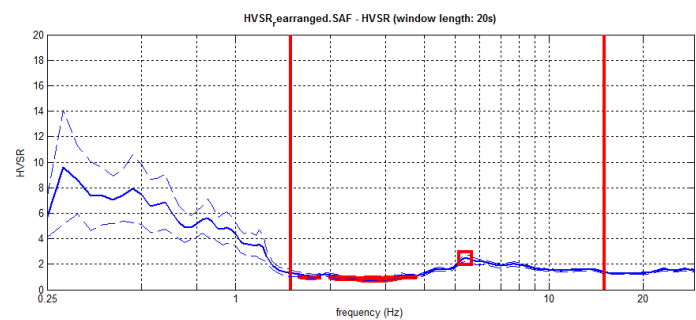
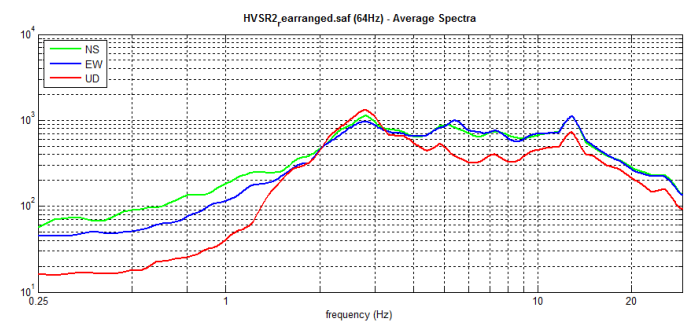
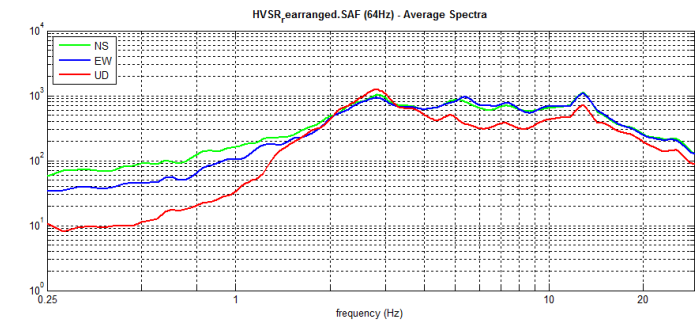
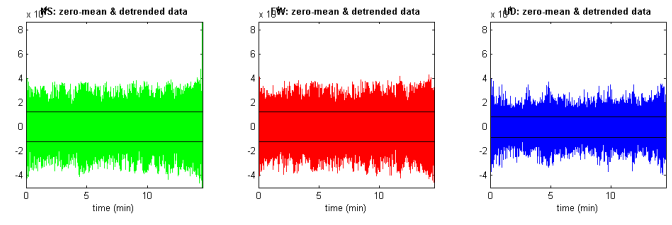
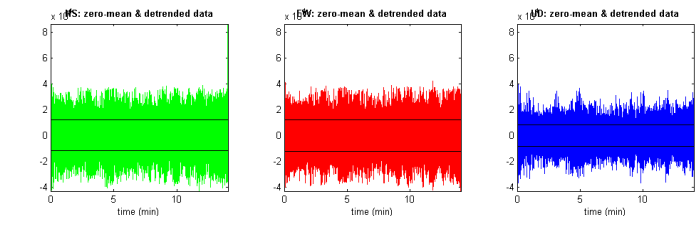
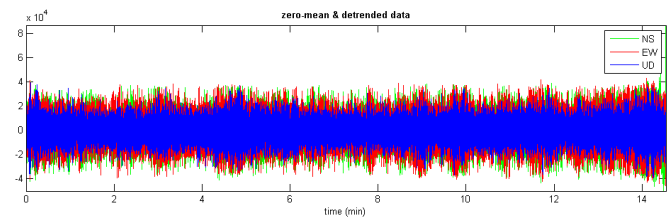
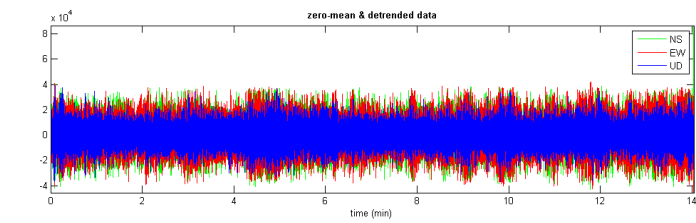
MASW spettro RVF

MASW spettro THF



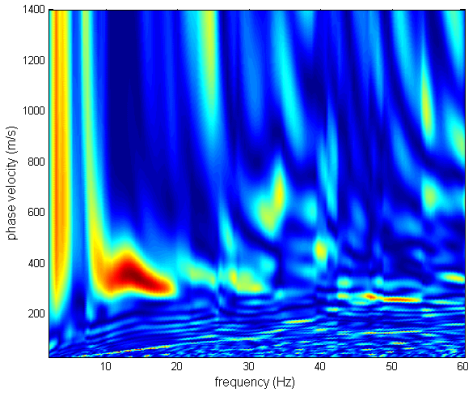
HVSR misura 1

HVSR misura 2

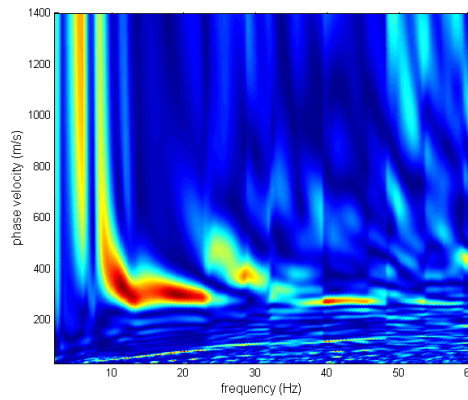


SITO 7: LD MARKET

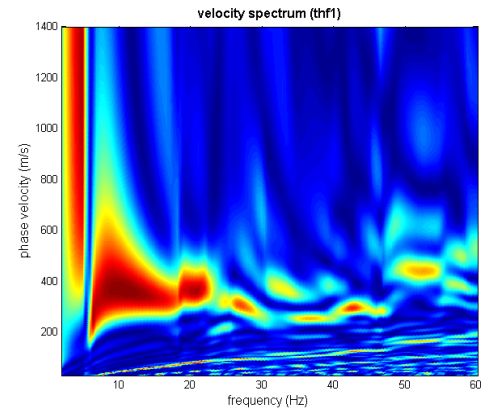
MASW spettro ZVF



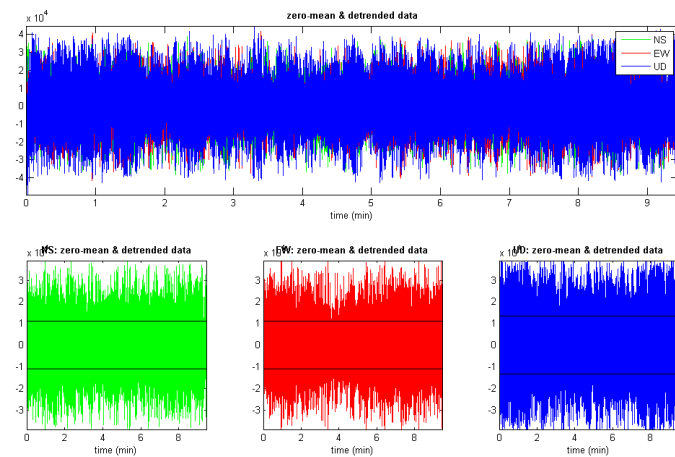
MASW spettro RVF



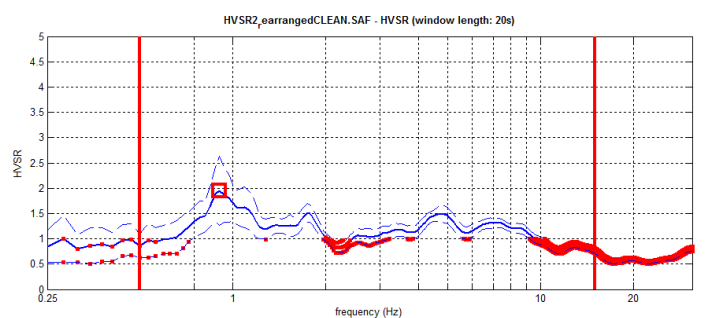
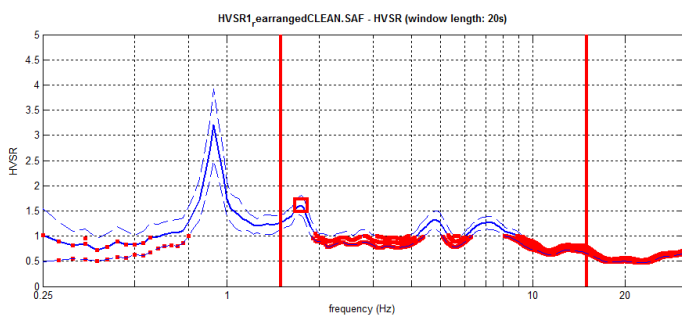
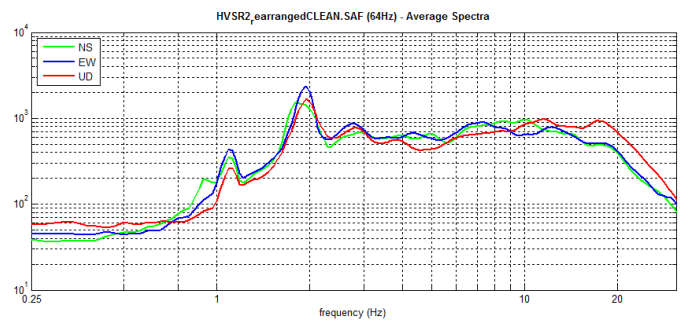
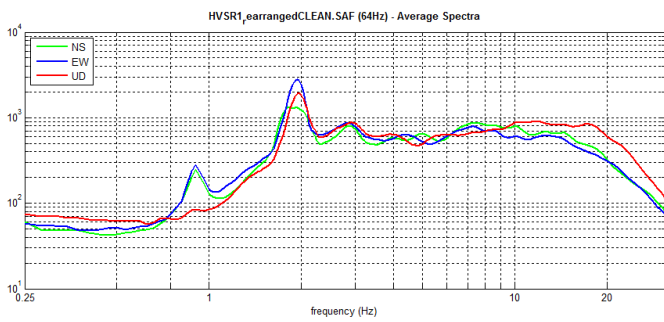
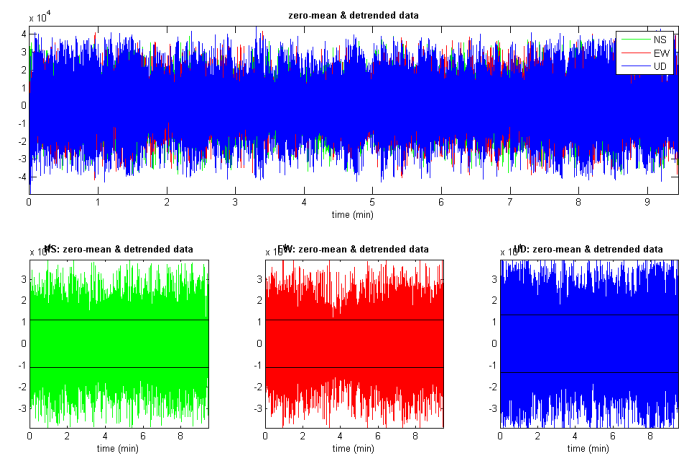
MASW spettro THF



HVSR misura 1



HVSR misura 2

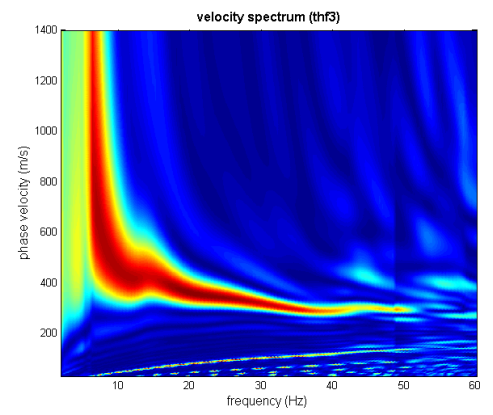
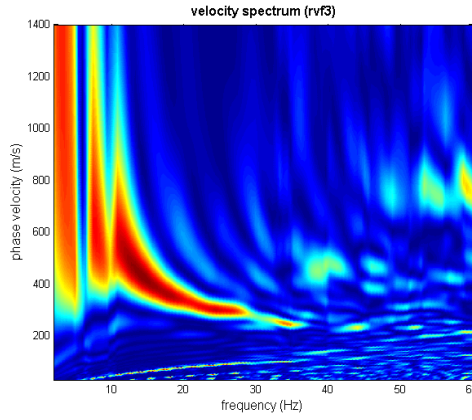
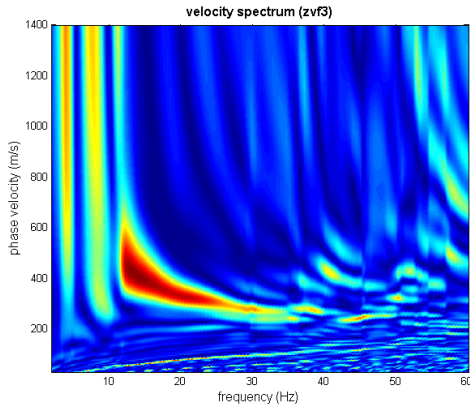


SITO 8: VIA CAROBE

MASW spettro ZVF

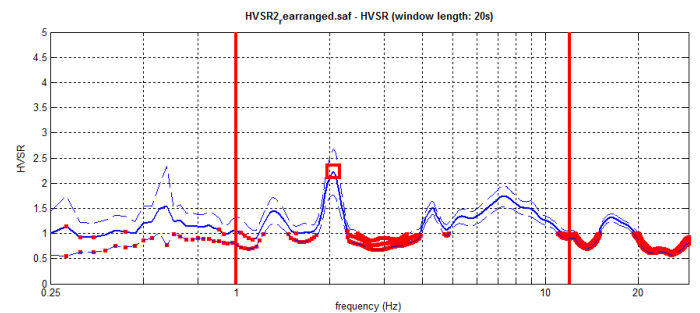
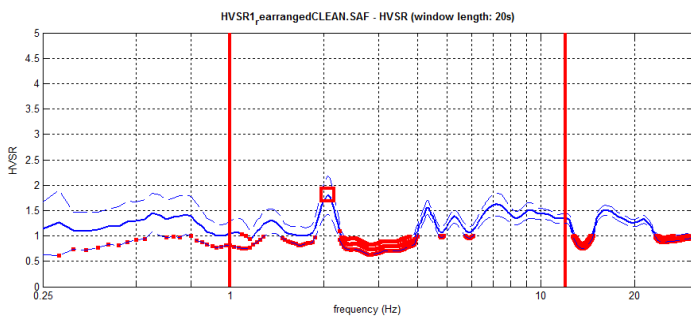
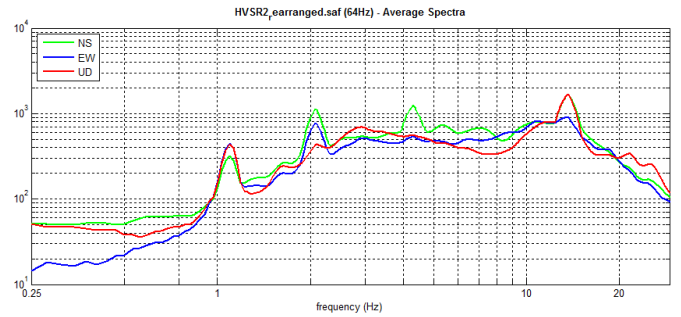
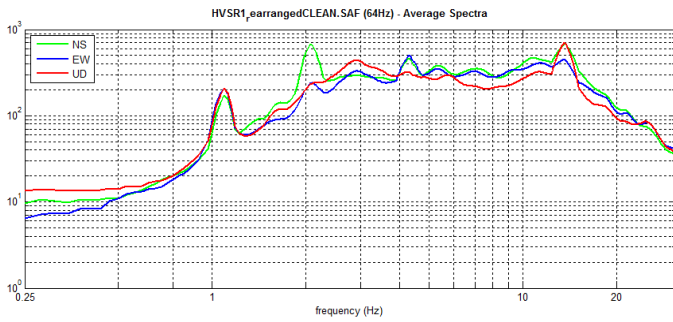
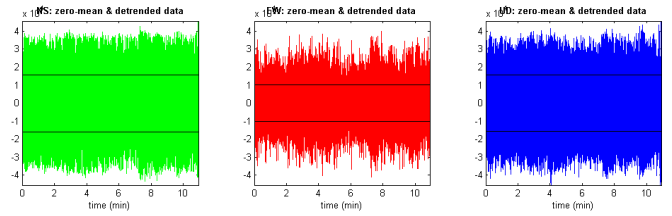
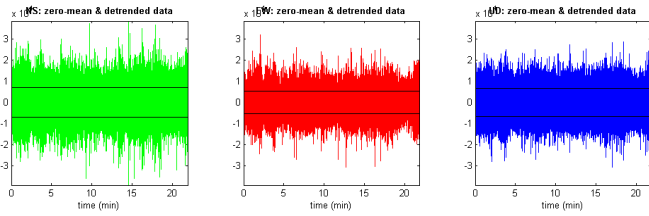
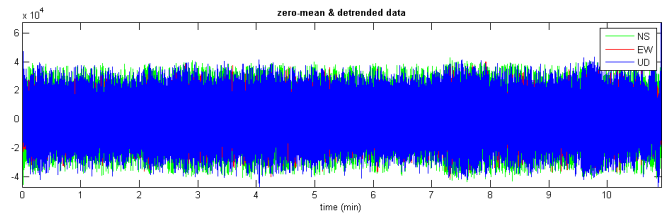
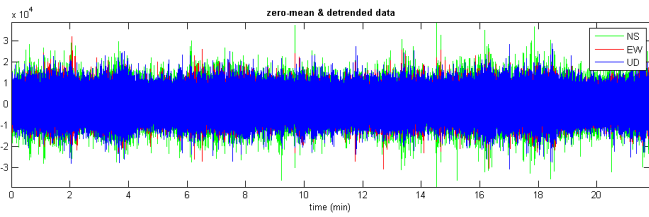
MASW spettro RVF

MASW spettro THF



HVSR misura 1

HVSR misura 2



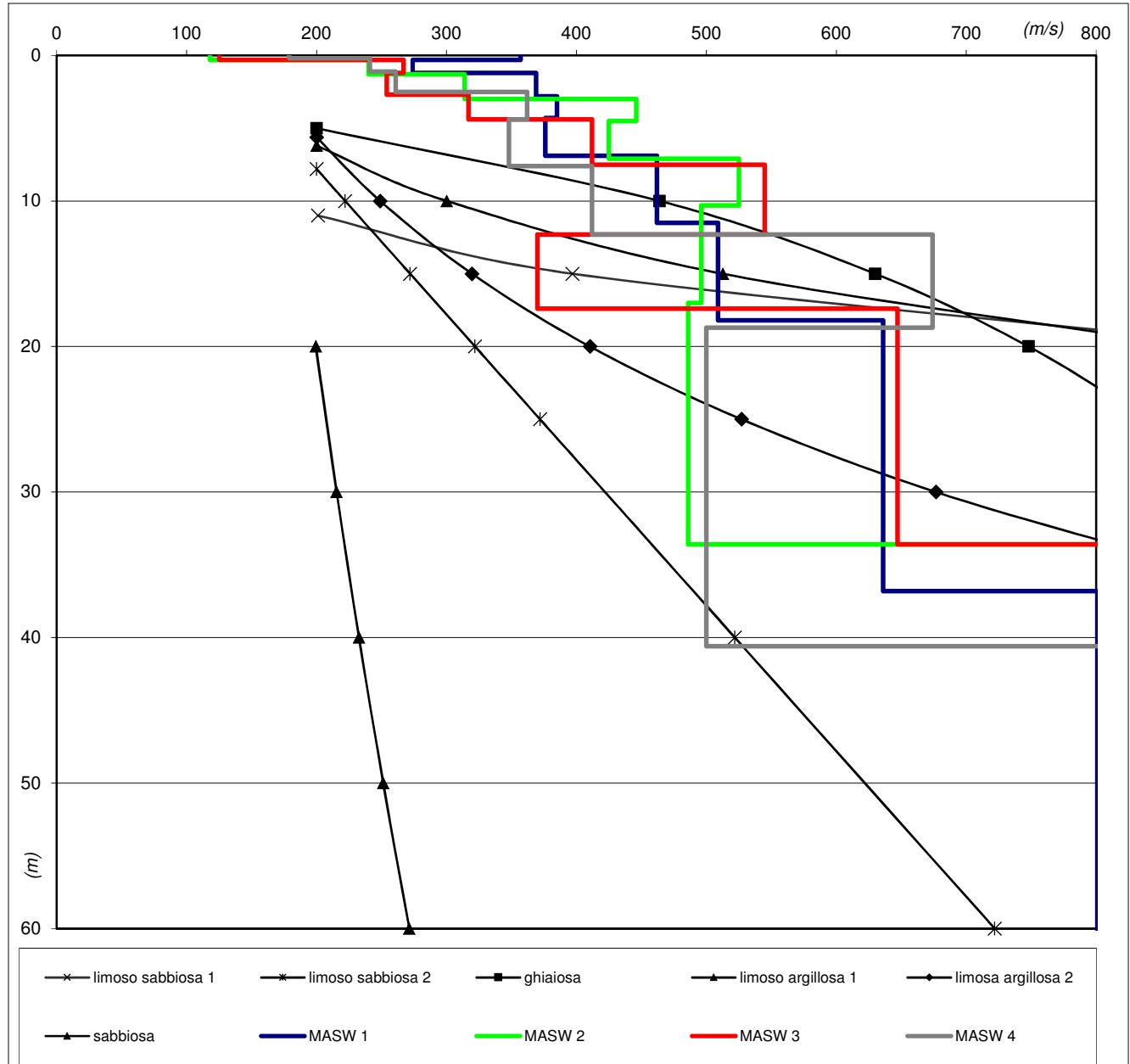
PROVA SISMICA MASW 1 "LOC. MIELE"						
da	0.0	a	0.3	m	Vs=	357.0 m/s
da	0.3	a	1.2	m	Vs=	274.0 m/s
da	1.2	a	2.8	m	Vs=	369.0 m/s
da	2.8	a	4.3	m	Vs=	385.0 m/s
da	4.3	a	6.9	m	Vs=	376.0 m/s
da	6.9	a	11.5	m	Vs=	462.0 m/s
da	11.5	a	18.2	m	Vs=	509.0 m/s
da	18.2	a	36.8	m	Vs=	636.0 m/s
da	36.8	a	144.0	m	Vs=	801.0 m/s

PROVA SISMICA MASW 2 "PIAZZA ALPINI"						
da	0.0	a	0.3	m	Vs=	118.0 m/s
da	0.3	a	1.3	m	Vs=	240.0 m/s
da	1.3	a	3.0	m	Vs=	314.0 m/s
da	3.0	a	4.5	m	Vs=	446.0 m/s
da	4.5	a	7.1	m	Vs=	425.0 m/s
da	7.1	a	10.3	m	Vs=	525.0 m/s
da	10.3	a	17.0	m	Vs=	496.0 m/s
da	17.0	a	33.6	m	Vs=	486.0 m/s
da	33.6	a	127.4	m	Vs=	933.0 m/s

PROVA SISMICA MASW 3 "SCUOLE"						
da	0.0	a	0.3	m	Vs=	125.0 m/s
da	0.3	a	1.2	m	Vs=	267.0 m/s
da	1.2	a	2.7	m	Vs=	254.0 m/s
da	2.7	a	4.4	m	Vs=	317.0 m/s
da	4.4	a	7.5	m	Vs=	412.0 m/s
da	7.5	a	12.3	m	Vs=	545.0 m/s
da	12.3	a	17.4	m	Vs=	370.0 m/s
da	17.4	a	33.6	m	Vs=	647.0 m/s
da	33.6	a	91.6	m	Vs=	849.0 m/s

PROVA SISMICA MASW 4 "VIA REPUBBLICA"						
da	0.0	a	0.2	m	Vs=	125.0 m/s
da	0.2	a	1.1	m	Vs=	267.0 m/s
da	1.1	a	2.5	m	Vs=	254.0 m/s
da	2.5	a	4.4	m	Vs=	317.0 m/s
da	4.4	a	7.6	m	Vs=	412.0 m/s
da	7.6	a	12.3	m	Vs=	545.0 m/s
da	12.3	a	18.7	m	Vs=	370.0 m/s
da	18.7	a	40.6	m	Vs=	647.0 m/s
da	40.6	a	136.1	m	Vs=	849.0 m/s

CONFRONTO CON SCHEDE DI RIFERIMENTO DGR IX/2616 del 30/11/2011

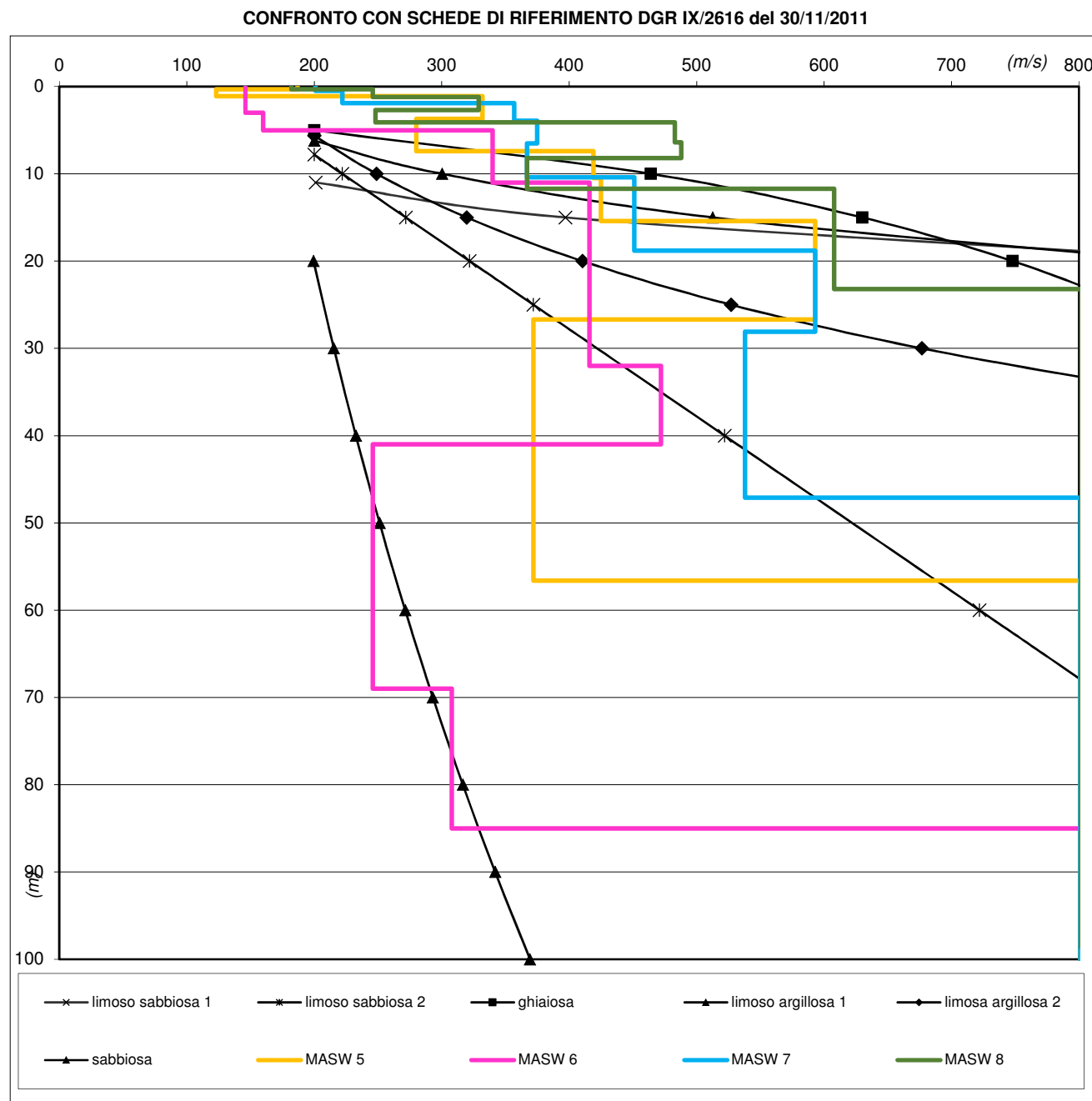


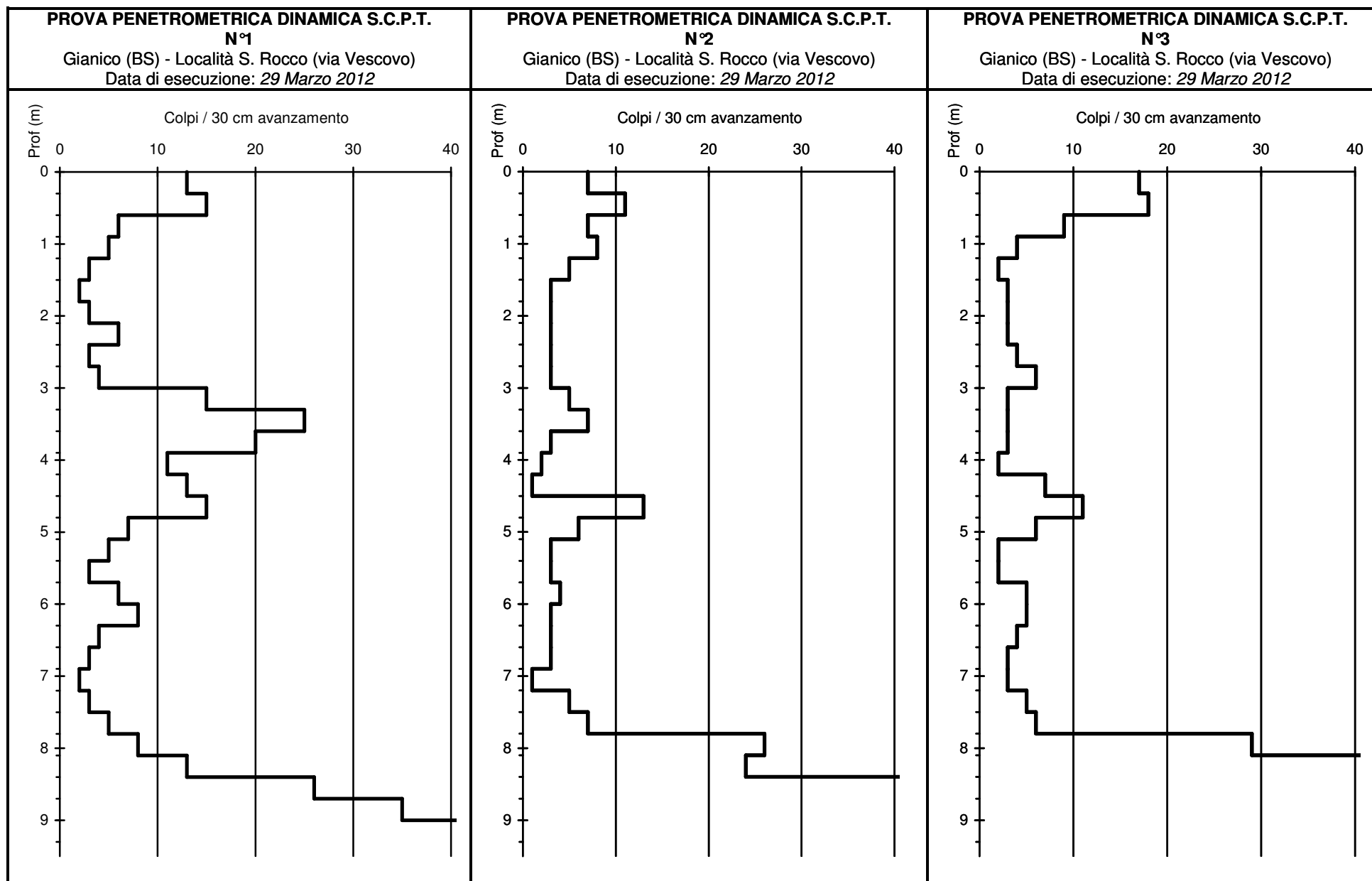
PROVA SISMICA MASW 5 "ROTONDA SP 510"							
da	0.0	a	0.3	m	Vs=	187.0	m/s
da	0.3	a	1.1	m	Vs=	123.0	m/s
da	1.1	a	3.7	m	Vs=	332.0	m/s
da	3.7	a	7.4	m	Vs=	280.0	m/s
da	7.4	a	10.5	m	Vs=	419.0	m/s
da	10.5	a	15.4	m	Vs=	425.0	m/s
da	15.4	a	26.7	m	Vs=	593.0	m/s
da	26.7	a	56.6	m	Vs=	372.0	m/s
da	56.6	a	194.6	m	Vs=	801.0	m/s

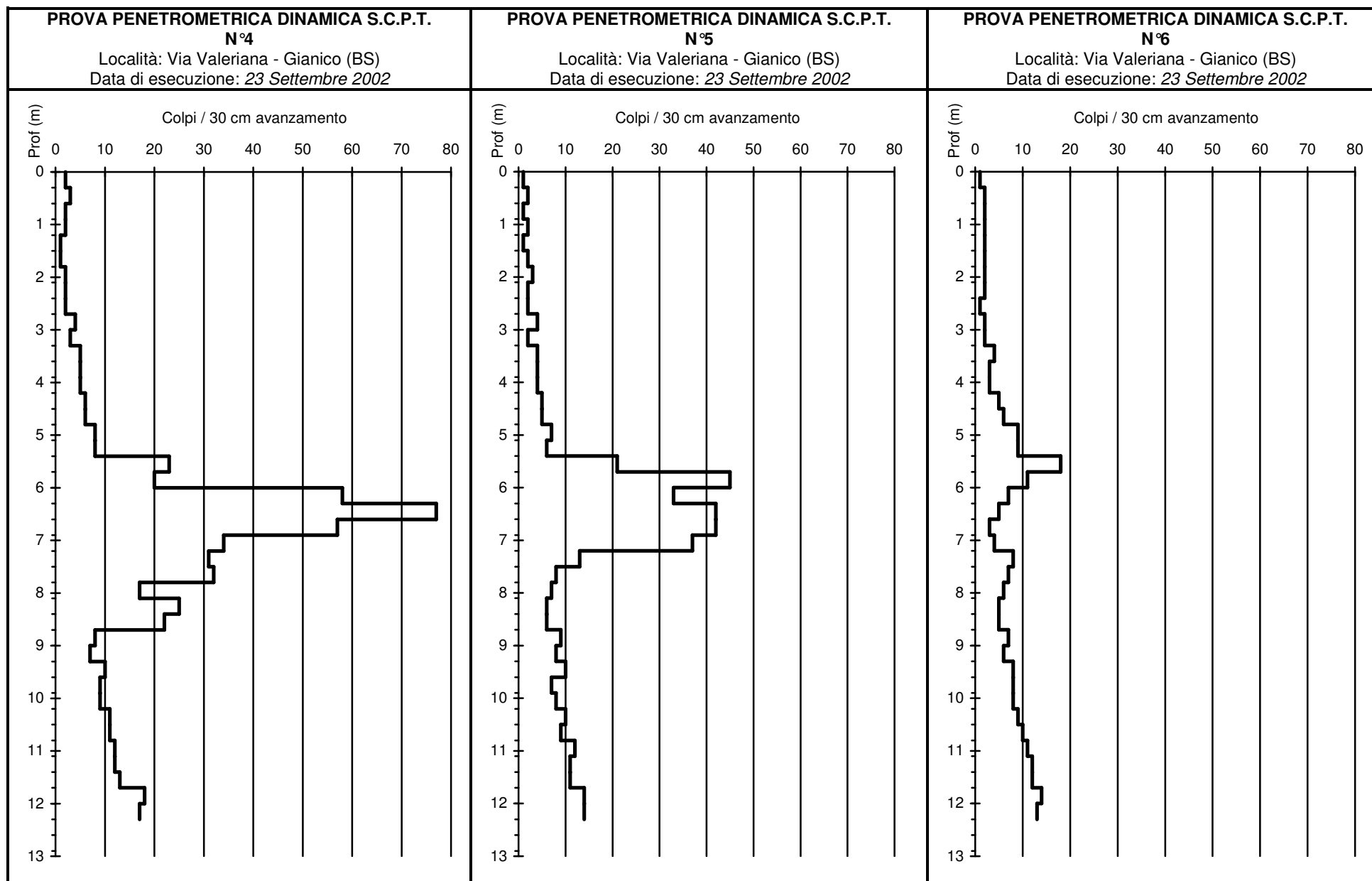
PROVA SISMICA MASW 6 "VIA VESCOVO"							
da	0.0	a	3.0	m	Vs=	146.0	m/s
da	3.0	a	5.0	m	Vs=	160.0	m/s
da	5.0	a	11.0	m	Vs=	340.0	m/s
da	11.0	a	32.0	m	Vs=	416.0	m/s
da	32.0	a	41.0	m	Vs=	472.0	m/s
da	41.0	a	69.0	m	Vs=	246.0	m/s
da	69.0	a	85.0	m	Vs=	308.0	m/s
da	85.0	a	140.0	m	Vs=	965.0	m/s
da	140.0	a	182.0	m	Vs=	1003.0	m/s

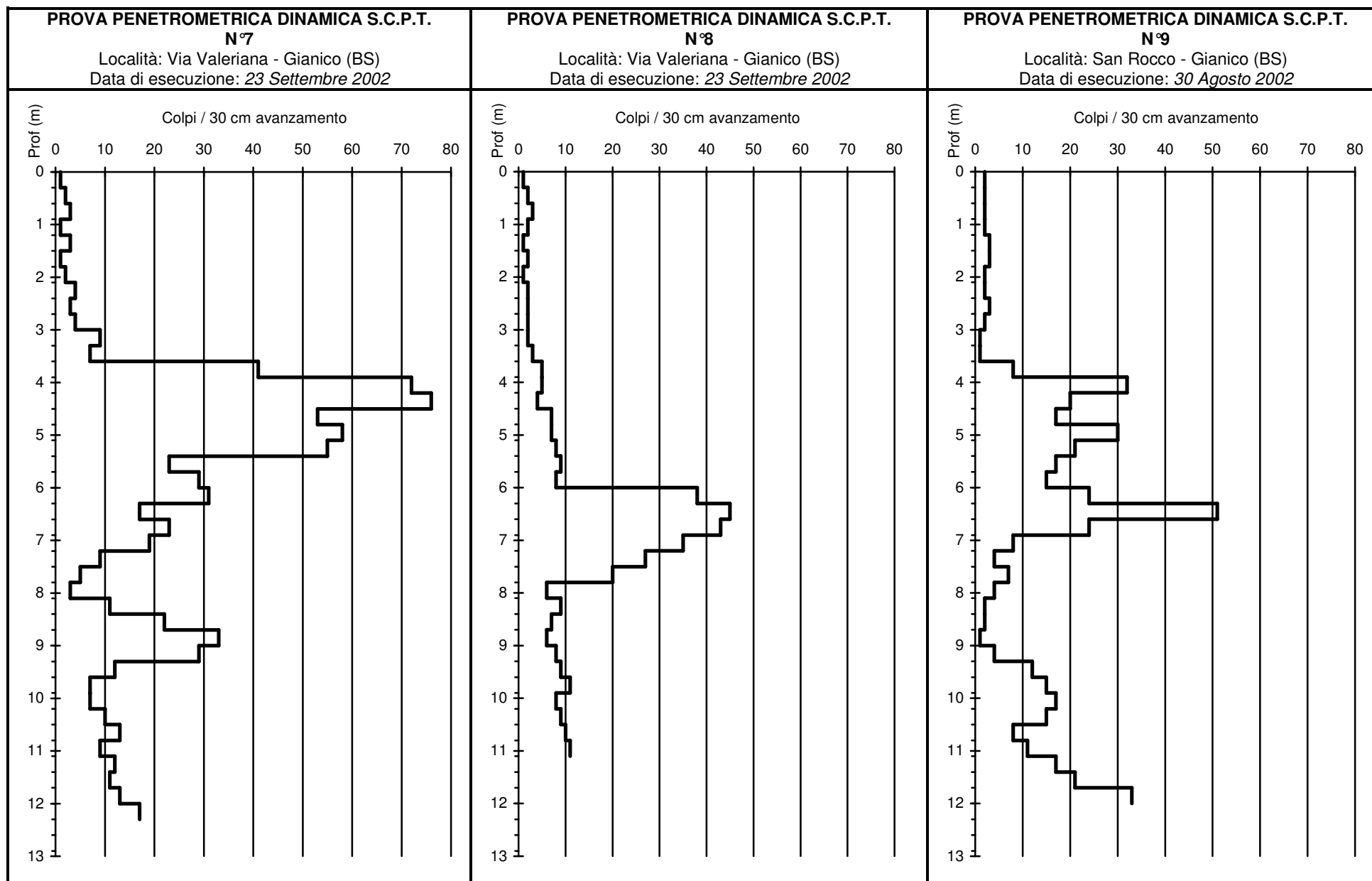
PROVA SISMICA MASW 7 "LD MARKET"							
da	0.0	a	0.5	m	Vs=	201.0	m/s
da	0.5	a	1.9	m	Vs=	222.0	m/s
da	1.9	a	3.9	m	Vs=	357.0	m/s
da	3.9	a	6.5	m	Vs=	375.0	m/s
da	6.5	a	10.4	m	Vs=	367.0	m/s
da	10.4	a	18.8	m	Vs=	451.0	m/s
da	18.8	a	28.1	m	Vs=	593.0	m/s
da	28.1	a	47.1	m	Vs=	538.0	m/s
da	47.1	a	172.2	m	Vs=	801.0	m/s

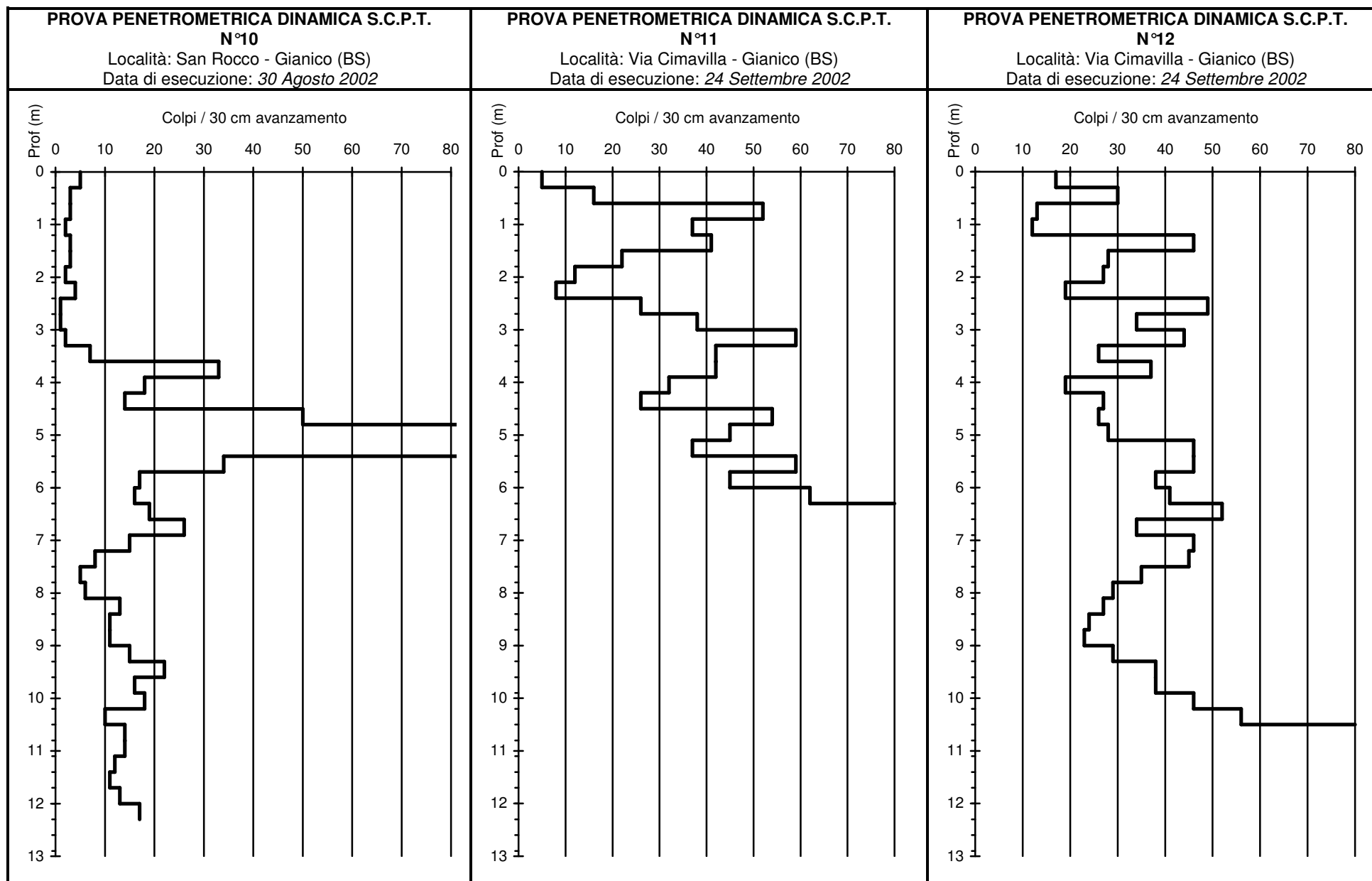
PROVA SISMICA MASW 8 "VIA CAROBE"							
da	0.0	a	0.3	m	Vs=	182.0	m/s
da	0.3	a	1.2	m	Vs=	246.0	m/s
da	1.2	a	2.7	m	Vs=	329.0	m/s
da	2.7	a	4.1	m	Vs=	248.0	m/s
da	4.1	a	6.4	m	Vs=	483.0	m/s
da	6.4	a	8.2	m	Vs=	488.0	m/s
da	8.2	a	11.7	m	Vs=	367.0	m/s
da	11.7	a	23.2	m	Vs=	608.0	m/s
da	23.2	a	98.6	m	Vs=	802.0	m/s

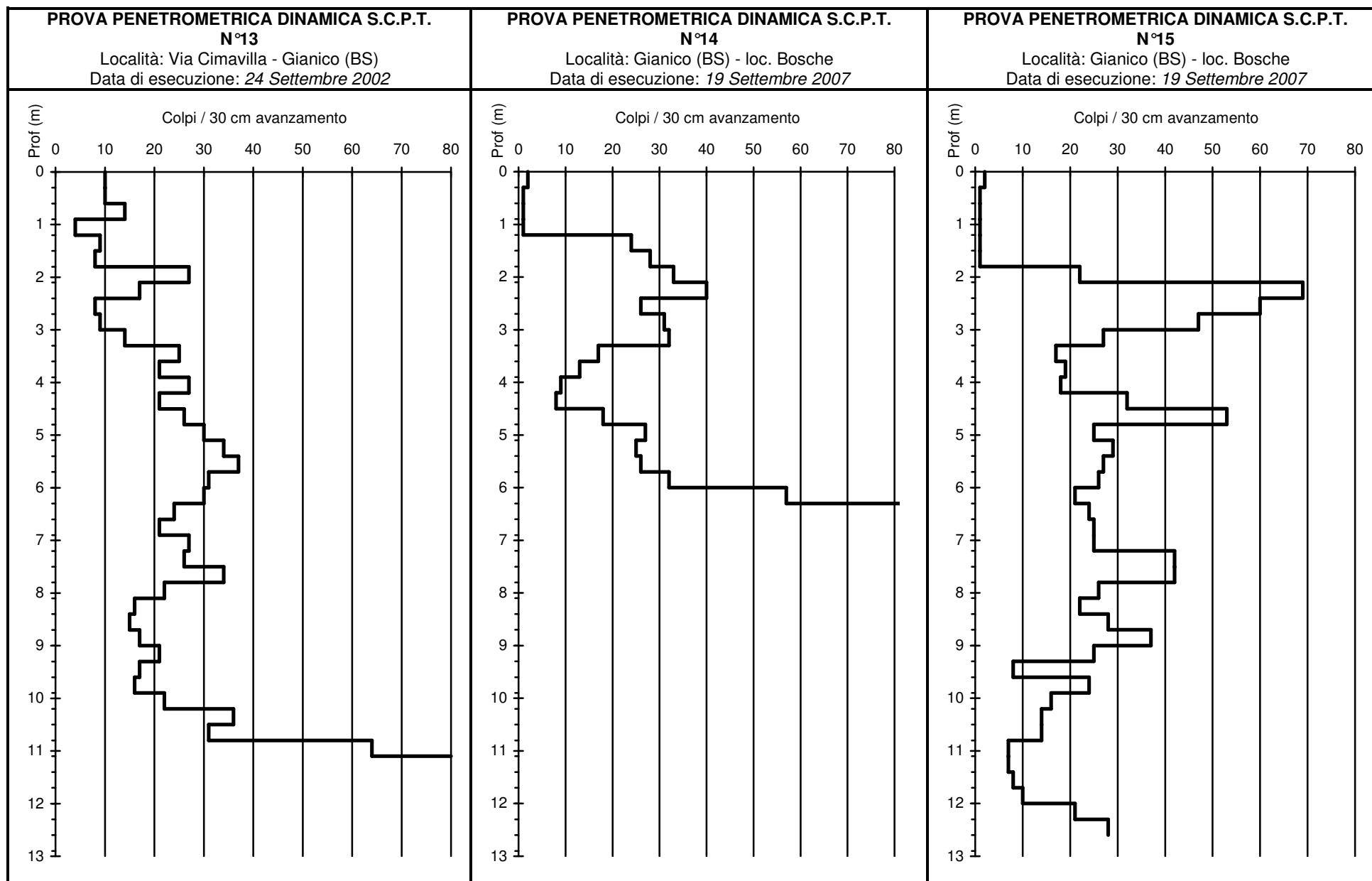


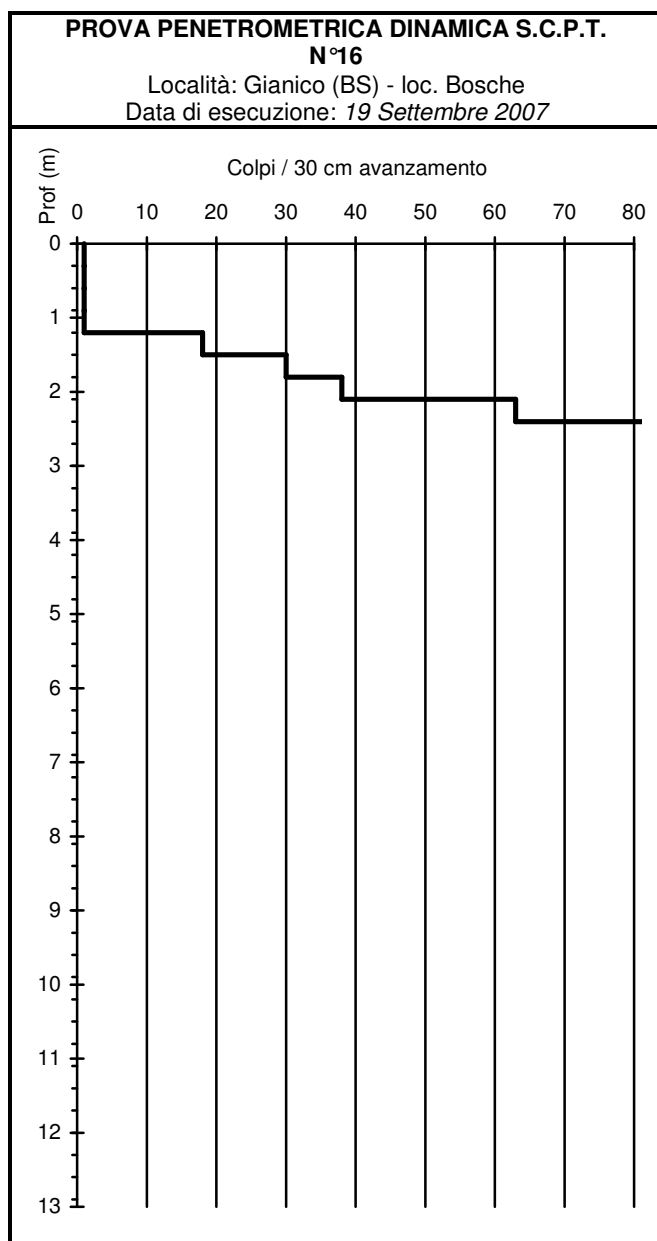












Geo.Te.C. Geologia Tecnica Camuna via Albera 3 – tel/fax 0364-533637 25047 Darfo Boario Terme (BS)						Comune : GIANICO			Localita' : Via Cimavilla			
						Data : 24-09-2002			Sondaggio : S1			
Prof. (m)	Strat	B	C	G	S	L	A	Descrizione Terreno	γ	ϕ	c	
								Asfalto e sottofondo stradale				
2.00		/	5	40	25	15		Deposito di colata della Val Vedetta; ghiaia con sabbia micacea e clasti di scisto; colore grigio marrone; plastico e mediamente adesivo; presenza di locali passate più fini e di frammenti di laterizi.	1.7	30°-31°	3	
		/	10	40	20	15	5-10	Deposito di colata della Val Vedetta; ghiaia con sabbia e limo, presenza di clasti di Scisto e Verrucano; plastico e mediamente adesivo; colore grigio chiaro-marrone.	1.7	31°	3	
		/	10	35	30	10-15	10	Deposito di colata della Val Vedetta; sabbia e ghiaia con ciottoli di scisto; plastico e mediamente adesivo; colore marrone.	1.75	32°-33°	5	
		/	10	40	30	10	10	Deposito di colata della Val Vedetta; ghiaia sabbiosa con limo e clasti di scisto; presenza di mica alterata e talco; plastico; da poco a mediamente adesivo; colore grigio marrone.	1.75	32°	5	
4.00		/	10	50	25	10	10	Deposito di colata della Val Vedetta; ghiaia sabbiosa con clasti di scisto; plastico e debolmente adesivo; colore grigio marrone.	1.75	32°-33°	3	
		/	5	40	30	10	10	Ghiaia sabbiosa con limo; plastico e mediamente adesivo; colore grigio-marrone.	1.75	32°	3-5	
		/	/	20	50	20	10	Sabbia ghiaioso-limosa con mica e talco; plastica e debolmente adesiva; colore grigio-nero.	1.7	28°-29°	5	
		/	/	20	60	15	5	Sabbia ghiaioso-limosa; plastica; leggermente adesiva; colore marrone.	1.7	29°-30°	3	
6.00		/	5	55	25	15	10	Ghiaia sabbiosa con limo; plastica, leggermente adesiva ; colore grigio-marrone.	1.75	30°-31°	5	
		/	5	35	30	15	10	Deposito di colata della Val Vedetta; ghiaia sabbiosa con limo; plastico e leggermente adesivo; colore grigio marrone.	1.75	32°-33°	5	
		/	5	50	20	15	10	Deposito di colata della Val Vedetta; ghiaia sabbiosa con molta mica e talco; plastico e debolmente adesivo; colore grigio.	1.75	31°	3	
		/	5	50	30	10	10	Ghiaia sabbiosa con clasti di scisto; presenza di mica, talco e locali passate di ghiaie; plastico e debolmente adesivo; colore grigio-marrone.	1.75	32°-33°	3	
10.00								Livello di ciottoli di Verrucano				
		/	/	50	30	10	10-5	Deposito di colata della Val Vedetta; ghiaia sabbiosa con clasti di scisto; plastico e debolmente adesivo; colore grigio.	1.8	32°-33°	3	
								Deposito di colata della Val Vedetta; ciottoli di scisto e Verrucano con ghiaia e sabbia.				
								Trovante di Verrucano				
12.00		/	/	50	30	10	10-5	Deposito di colata della Val Vedetta; ghiaia sabbiosa con clasti di scisto; plastico e debolmente adesivo; colore grigio.	1.8	32°-33°	3	
								Trovante di Verrucano				
14.00		/	5	40-45	25	15	10	Ghiaia con sabbia micacea e talco; plastico; da debolmente a mediamente adesivo; colore marrone.	1.85	31°-32°	7	

Metodo perforazione : Rotazione a secco
 Utensile : Corona in vidiam
 \varnothing : 101 mm
Quota d'inizio : 297 m s.l.m.
Profondità falda : Assente
Committente : Comune di Gianico

Legenda :
 Suolo e materiale di riporto
 Ciottoli e ghiaia
 Ghiaia e sabbia
 Trovante di scisto
 Trovante di Verrucano
 γ = peso di volume (t/m³); ϕ = angolo di attrito (°); c = coesione (KPa)

Geo.Te.C. Geologia Tecnica Camuna via Albera 3 – tel/fax 0364-533637 25047 Darfo Boario Terme (BS)						Comune : GIANICO		Localita' : Via Cimavilla				
						Data : 25-09-2002		Sondaggio : S2				
Prof. (m)	Strat	B	C	G	S	L	A	Descrizione Terreno	γ	ϕ	c	
								Terriccio superficiale di colore marrone scuro, contenente radici e foglie, con clasti di scisto.				
2.00		/	5	50	30	10	10	Ghiaia sabbiosa con frazione fine attribuibile a clasti di scisto macinato, di colore grigio chiaro; plastico e debolmente adesivo.	1.7	32°-33°	5	
		/	5	50	30	10	5	Ghiaia sabbiosa, di colore marrone chiaro; plastico, da poco a mediamente adesivo.	1.8	32°-33°	3	
4.00		/	/	40	35	10-15	10	Ghiaia e sabbia con clasti di scisto; plastico e mediamente adesivo; colore grigio.	1.8	32°	5	
		/	5	50	30	10	5	Ghiaia con sabbia e clasti di scisto e Verrucano; plastico e debolmente adesivo	1.75	31°	3	
		/	/	45	40	10	5	Ghiaia e sabbia micacea, con clasti di scisto; debolmente plastico; debolmente adesivo; colore grigio chiaro.	1.7	33°	3	
		/	5	50	30	5	10	Ghiaia sabbiosa, con molti clasti di scisto e pochi di Verrucano; colore grigio marrone; presenza di mica e poco talco; plastico; poco adesivo.	1.7	31°	5	
6.00		/	5	50	30	10	10-5	Ghiaia sabbiosa, con clasti sia di scisto che di Verrucano; presenza di mica e molto talco; colore marrone; plastico, debolmente adesivo.	1.75	32°	3	
		/	10	45	25	10	10	Ghiaia sabbiosa; frazione fine attribuibile a scisto macinato; plastico; mediamente adesivo; colore grigio-marrone.	1.7	30°	5	
8.00		/	5	50	30	10	10-5	Ghiaia sabbiosa, con clasti sia di scisto che di Verrucano; presenza di mica e molto talco; colore marrone; plastico, debolmente adesivo.	1.75	32°	5	
		/	5	50	25	15	5	Ghiaia sabbioso-limosa; frazione fine attribuibile a scisto macinato, poco plastico; mediamente adesivo; colore grigio-chiaro.	1.7	30°	7	
								Trovante di scisto				
10.0		/	5	55	30	5-10	5	Deposito di colata molto poroso, ricco di clasti di Verrucano; plastico; mediamente adesivo; colore marrone-rosato.	1.7	32°	3	
		/	/	45-50	30-35	10	5-10	Ghiaia e sabbia micacea con molto talco; presenza di molti clasti di scisto e pochi di Verrucano; sabbia piuttosto grossolana (la frazione medio-grossa prevale su quella fine); plastico; poco adesivo; colore grigio-marrone.	1.8	33°	3	
								Trovante di scisto				
Metodo perforazione : Rotazione a secco						Utensile : Corona in vidiam				ϕ : 101 mm		
Quota d'inizio : 295 m s.l.m.						Profondità falda : Assente				Committente : Comune di Gianico		
Legenda :												
	Suolo e materiale di riporto			Ciottoli e ghiaia			Ghiaia e sabbia			Trovante di scisto		
				Trovante di Verrucano								
γ = peso di volume (t/m ³); ϕ = angolo di attrito (°); c = coesione (KPa)												

Stratigrafia pozzo PZ 1

