

COMUNE DI TERRICCIOLA
PROVINCIA DI PISA



MIGLIORAMENTO SISMICO E RIQUALIFICAZIONE DELLA
SCUOLA PRIMARIA “DAMIANO CHIESA” E SCUOLA
SECONDARIA DI PRIMO GRADO “ALESSANDRO DA MORRONA”

ALL.4 - HVSR
(Anno di esecuzione 2013)



GЕOPROSPEZIONI s.n.c.

via A. della Spina, 43
56125 - Pisa
tel/fax 050.552430
P IVA n° 01745030500
REA n° 151287

PROSPEZIONI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA METODO HVSR

**Località: Scuola Secondaria di Primo Grado "Alessandro da Morrone"
via del Chianti, Terricciola (PI)**

RELAZIONE TECNICA

GЕOPROSPEZIONI
di Salvetti Andrea e Turrini Giuseppe s.n.c.
Via A. Della Spina, 43
56125 PISA
P.I. 01745030500

Maggio 2013

PREMESSA	2
GENERALITA'	2
SISTEMA DI ACQUISIZIONE DEI DATI	2
<i>SISMOGRAFO</i>.....	3
<i>APPARECCHIATURA DI RICEZIONE</i>.....	4
<i>COMPUTER</i>.....	4
ACQUISIZIONE DATI.....	4
ELABORAZIONE DATI	4

PREMESSA

Su incarico del Dott. Geol. Stefani Simone sono state eseguite una serie di misure sperimentali di sismica passiva a stazione singola (HVSR) presso Terricciola (PI), che hanno interessato il sito della scuola secondaria di primo grado "Alessandro da Morrone" di Terricciola, ubicata in via del Chianti.

Le seguenti note espongono la metodologia d'indagine ed i risultati ottenuti.

GENERALITA'

Le tecniche di prospezione sismica passiva sono basate sulla registrazione del campo di vibrazioni ambientali generate da sorgenti sia naturali, sia antropiche. Fra queste, la metodologia applicata nello studio in esame è la tecnica HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio) o H/V, chiamata anche tecnica Nakamura (1989) ed introdotta da Nogoshi e Igarashi (1971) sulla base di studi precedenti. Essa si basa sulla registrazione simultanea della componente verticale e delle due orizzontali (N-S, E-W) del campo di vibrazioni ambientali (seismic noise) in un determinato sito. Il rapporto delle componenti verticali e orizzontali medie nello spettro delle frequenze permette di determinare la frequenza fondamentale di risonanza (f_0) del sito studiato. La risonanza ha luogo in seguito all'interazione fra onde di superficie (onde di Rayleigh e di Love) e onde di volume (onde di taglio incidenti verticalmente) lungo una superficie separante due mezzi in corrispondenza della quale si ha un elevato contrasto di impedenza sismica (ad esempio il limite fra sedimenti soffici e substrato roccioso rigido). L'esistenza di tale condizione in determinati contesti geologici può influenzare significativamente l'ampiezza e la frequenza delle onde sismiche provocando l'amplificazione del movimento del terreno sulla superficie terrestre (effetto di sito). La stima della frequenza fondamentale di risonanza assume, pertanto, particolare importanza negli studi di pianificazione del territorio e nella progettazione degli edifici.

L'esecuzione di misure di rumore ambientale a stazione singola richiede l'impiego di un sismografo dotato di un geofono a tre componenti che viene accoppiato al terreno e campiona il rumore per un periodo di tempo statisticamente adeguato.

SISTEMA DI ACQUISIZIONE DEI DATI

L'acquisizione dei dati in campagna è stata effettuata utilizzando una strumentazione composta da:

- sismografo
- apparecchiatura di ricezione
- computer

SISMOGRAFO

Lo strumento impiegato nella presente indagine per la registrazione dei segnali sismici è un sismografo *AMBROGEO "ECHO 2010"* avente le seguenti caratteristiche:

numero di canali: 24+1

A/D Conversion: 24 bit

dynamic range: 130dB a 1ms PG=0dB; 120dB a 1ms; PG=18dB

cross talk: >90db

preamplify gain: 0db, 6db, 12db, 24db, 30 db, 36 db

frequency response: 0 to 6KHz (30kSPS)
0 to 4,8KHz (15kSPS),
0 to 3KHz (7,5kSPS),
0 to 1,5KHz (3,5kSPS),
0 to 800Hz (2kSPS),
0 to 400Hz (1kSPS)

acquisition and display filter: Low Cut Out
10,15,25,35,50,70,100,200,280,400 Hz

sampling interval: 32us, 64us, 128us, 256us, 480us, 960us

record length: 16.000 samples

stacking trigger accuracy: 1/32 of samples interval

distorsion (THD): 0,0004 %

max input signal: 2Vpp,0Db

CMR: 110dB (fCM =60Hz. fDATA = 30kSPS)

noise: 0,25uV,2ms,36Db

pre-trigger data: 524ms a 32us sample interval

delay: 0 to 2.500ms step 10ms

temperature range: - 30°C/+70°C

power: 12 Volts

continuous recording

output format: SEG Y, SAF (SESAME ASCII FORMAT)

APPARECCHIATURA DI RICEZIONE

Per la ricezione dei segnali è stato utilizzato un geofono a tre componenti collegato via cavo al sismografo. I sensori del geofono sono prodotti da *Sunfull* ed hanno frequenza propria pari a 4,5 Hz. L'involucro del geofono è dotato di bolla per il corretto posizionamento dell'asse verticale.

COMPUTER

I dati relativi a ciascuna registrazione sono memorizzati istantaneamente su di un computer portatile, collegato via cavo al sismografo, sul quale è installato il software di acquisizione *ECHO 2010*; esso consente la visualizzazione delle registrazioni effettuate e la regolazione dei parametri di acquisizione prima di ogni registrazione.

ACQUISIZIONE DATI

Le acquisizioni del rumore ambientale sono avvenute con tempi di registrazione di 30 minuti e con frequenze di campionamento di 128 Hz. Le registrazioni sono state effettuate in due campagne eseguite nei giorni 05/03/2013 e 02/05/2013. In entrambi i casi, il periodo in cui sono state eseguite le registrazioni è stato caratterizzato da condizioni atmosferiche con vento da assente a molto moderato. La vicinanza a strutture antropiche ed in particolare il transito di mezzi hanno determinato l'introduzione di transienti nel segnale. Prima dell'esecuzione di ciascuna registrazione è stato curato l'accoppiamento fra geofono e terreno eliminando lo spessore di suolo superficiale più soffice. Dopo il posizionamento del geofono è stato verificato il mantenimento dell'assetto verticale nel tempo al fine di evitare fenomeni di tilting durante la misura.

La serie di misure dei microtremori è stata eseguita su 2 punti stazione per ogni sito al fine di confrontare la coerenza delle risposte. Ogni registrazione è avvenuta orientando l'asse orizzontale predefinito del geofono parallelamente alla direzione N-S.

ELABORAZIONE DATI

I file acquisiti sono stati elaborati mediante il software *WinMasw Professional ver. 5.2* prodotto da *Eliosoft* che ha la possibilità di trattare ed elaborare registrazioni di sismica passiva a stazione singola e consente la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations, 2005).

Il processing dei dati verte sul rapporto spettrale tra il segnale del sensore verticale e quelli dei sensori orizzontali operando su finestre di selezione temporali che non dovranno essere in numero minore di 10 per un segnale della lunghezza complessiva utile non inferiore a 200-400 secondi.

I principali passi con cui è effettuato il processing dei dati registrati sono i seguenti:

1. FFT (incluso il tapering);
2. operatore di smoothing (finestra triangolare);
3. merging delle componenti orizzontali;
4. H/V Spectral Ratio per ogni finestra utilizzata (>10);
5. media degli spettri H/V;
6. valutazione della deviazione standard.

RISULTATI

Coordinate del punto di misura (WGS84): latitudine 43.528107 N; longitudine 10.668698 E

Parametri di computo del rapporto H/V

lunghezza della sequenza temporale analizzata: 30 minuti
frequenza di campionamento: 128 Hz
lunghezza della finestra: 20 s
tapering: 10 %
smoothing spettrale (finestra triangolare): 10%

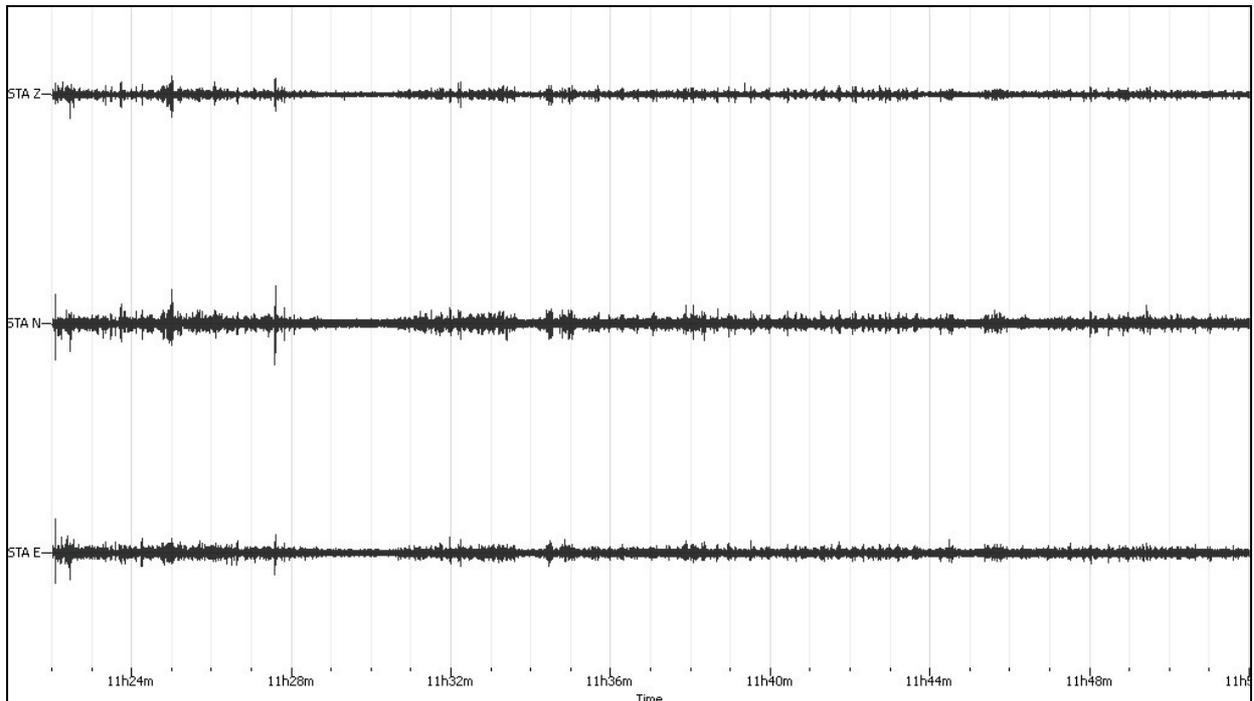


Fig. 1. Dataset originale delle tre componenti.

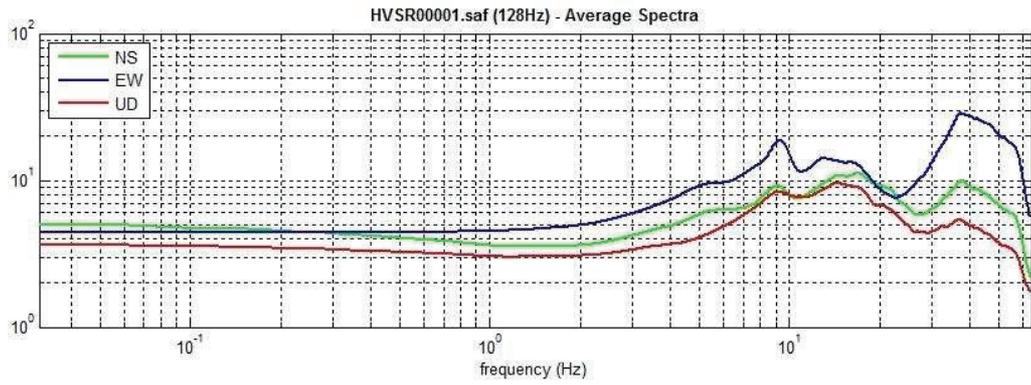


Fig. 2. Spettro medio delle tre componenti.

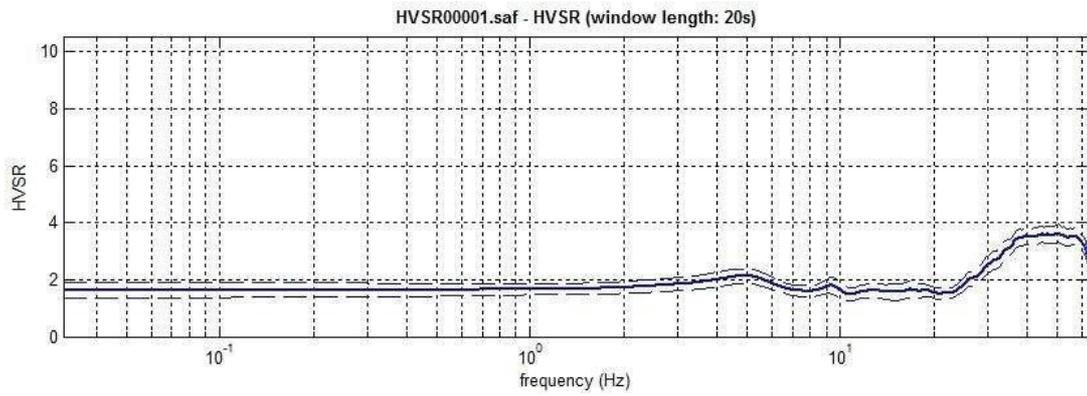


Fig. 3. Curva H/V

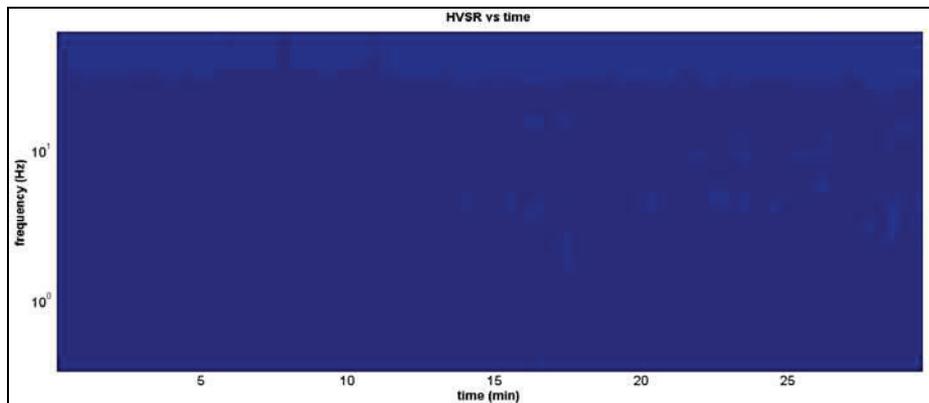


Fig. 4. Persistenza HVS

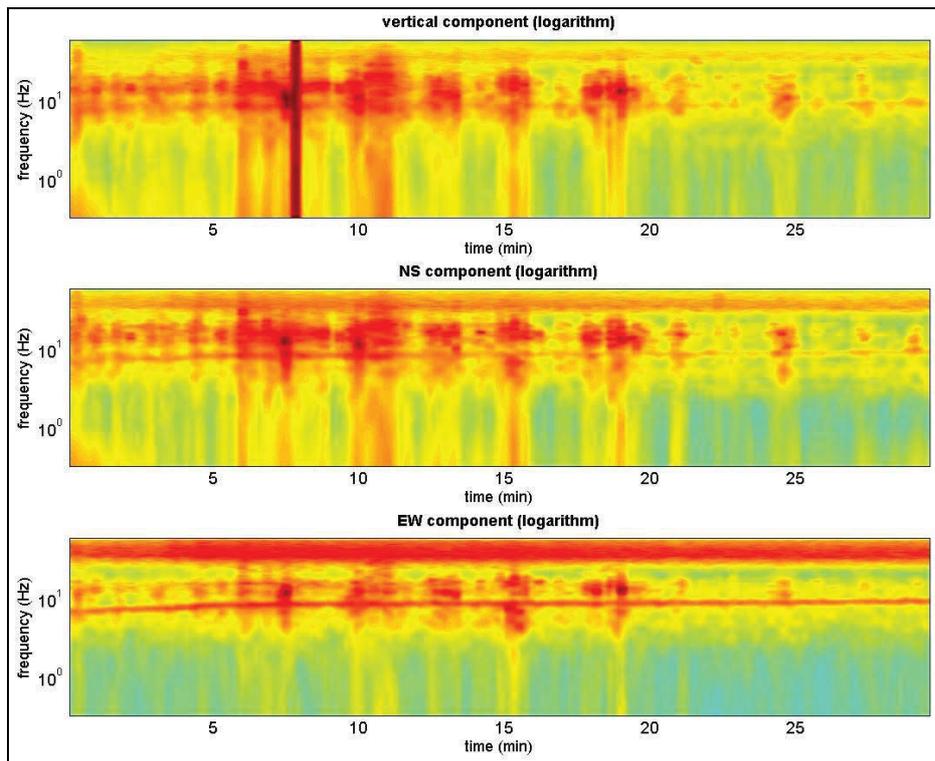


Fig. 5. Persistenza per singole componenti.

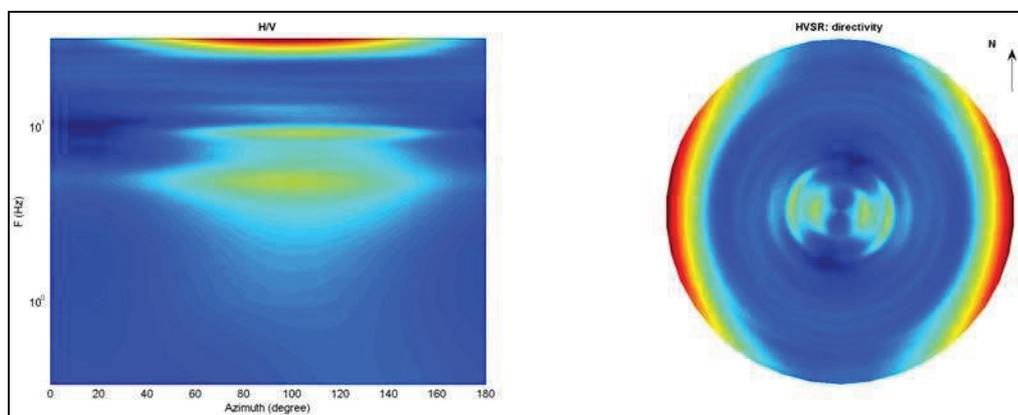


Fig. 6. Direttività.

Con riferimento ai criteri del progetto SESAME per la stima di affidabilità di una curva H/V, risultano soddisfatti i seguenti criteri relativi alla robustezza statistica:

$[f_0 > 10/Lw]: 5.0 > 0.5$ (OK)

$[nc > 200]: 9000 > 200$ (OK)

$[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

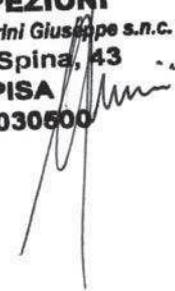
L'analisi della curva H/V (fig. 3) indica che il sito della scuola è caratterizzato dalla presenza di un picco principale corrispondente alla frequenza f_0 di 5 Hz la cui ampiezza A_0 è pari a 2,1.

Per il campo di frequenze al di sopra di tale valore la curva H/V mostra una serie di picchi non relazionabili al comportamento del terreno.

Per il campo di frequenze inferiori a 5 Hz la curva si stabilizza su valori del rapporto H/V appena inferiore a 2.

Pisa, maggio 2013

GЕOPROSPEZIONI
di Salvetti Andrea e Turrini Giuseppe s.n.c.
Via A. Della Spina, 43
56125 PISA
P.I. 01745030500



COMUNE DI TERRICCIOLA
PROVINCIA DI PISA



MIGLIORAMENTO SISMICO E RIQUALIFICAZIONE DELLA
SCUOLA PRIMARIA “DAMIANO CHIESA” E SCUOLA
SECONDARIA DI PRIMO GRADO “ALESSANDRO DA MORRONA”

ALL.5 - DOWNHOLE
(Anno di esecuzione 2019)

RELAZIONE TECNICA

Committente: Comune di
Terricciola

Località: Scuola Media

Data Indagine: 09/05/2019

Codice lavoro: 190509c

INDAGINE SISMICA DOWNHOLE IN FORO DI SONDAGGIO

INDAGINE SISMICA HVSR

Dott. Jacopo Martini

GAIA Servizi S.n.c.

Via Lenin, 132 - 56017 San Giuliano
Terme (PI)

Tel./Fax: 050 9910582

e-mail: info@gaiaservizi.com

p. IVA 01667250508

Data elaborazione: 15/05/2019

GAIA Servizi S.n.c.
di Massimiliano Vannozzi & C.
Via Lenin 132 - 56017 S. Giuliano T. (PI)
P. IVA 01667250508 N. REA PI - 145167



Sommario

PREMESSA	3
INDAGINI DI SISMICA PASSIVA TIPO HVSR	4
GENERALITA'	4
SISTEMA DI ACQUISIZIONE – INDAGINI EFFETTUATE	7
ELABORAZIONE DEI DATI HVSR	7
PROSPEZIONI SISMICHE DOWNHOLE IN FORO DI SONDAGGIO – GENERALITA'	10
INDAGINI EFFETTUATE	12

PREMESSA

Per incarico del Comune di Terricciola , è stata effettuata una campagna geognostica attraverso l'esecuzione di n°1 prospezione sismica tipo downhole presso la Scuola Media, sono inoltre state eseguite una serie di misure di microtremori atte ad analizzare il rapporto spettrale H/V (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio - HVSR).

Tali indagini sono finalizzate alla ricostruzione della distribuzione e dell'andamento delle velocità sismiche nel sottosuolo, per determinare le principali caratteristiche sismo-stratigrafiche ed elastiche dei terreni.

Le presenti note illustrano la metodologia delle indagini ed i risultati conseguiti.



Figura 1: Indagine sismica Down Hole

INDAGINI DI SISMICA PASSIVA TIPO HVSR

GENERALITA'

La tecnica di acquisizione ed analisi dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

Le conoscenze e le informazioni che si possono ottenere dall'analisi ed interpretazione di una registrazione di questo tipo sono:

- ove esistente, la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale ai fini dell'individuazione di adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- ove determinabile, la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso, a seguito di analisi correlate sarà possibile confrontare le frequenze di sito e dell'edificio, e valutare se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la stratigrafia del sottosuolo con un ampio range di profondità di indagine, e secondo il principio che in termini di stratigrafia del sottosuolo, uno strato è inteso come unità distinta, in termini di contrasto d'impedenza sismica.

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 sito oggetto di indagine è funzione di:

- dalla forma dell'onda prodotta dall'insieme delle sorgenti s dei microtremori;
- dal percorso dell'onda dalle sorgenti s fino alla posizione x del sito oggetto di indagine e funzione dei processi di attenuazione, riflessione, rifrazione e canalizzazione di guida d'onda;
- dalla modalità di acquisizione dello strumento in funzione dei parametri e delle caratteristiche strumentali.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre.

Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni con ampiezze minime, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il segnale da acquisire non è generato con strumenti o tecniche attive, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di origine sismiche che dovute al microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, canalizzazioni per fenomeni di guida d'onda ed attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato.

Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte di informazioni correlata al contenuto frequenziale del segnale che può essere estratta e che permette di ottenere informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

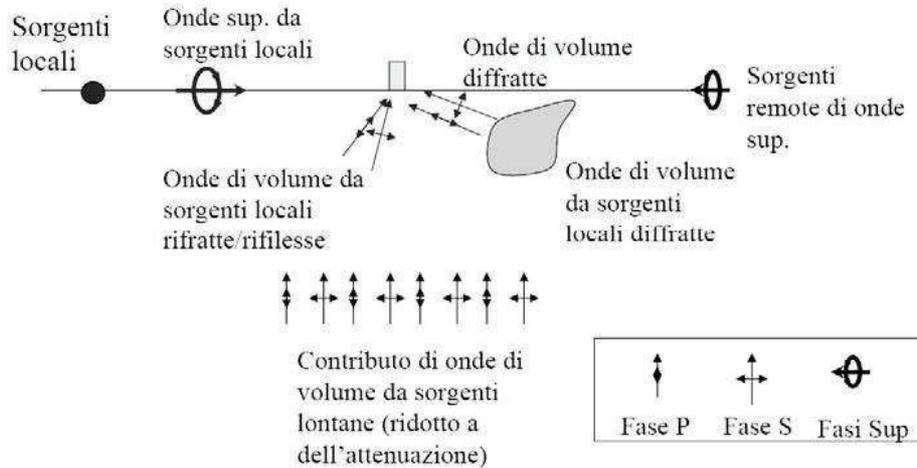


Figura 2: Modalità di generazione e propagazione di microtremore

Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartato dalla sismologia classica, contiene informazioni.

Questa informazione è però correlata alle caratteristiche frequenziale e spettrali del cosiddetto "rumore casuale" o microtremore, e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

Una di queste tecniche è la tecnica di analisi dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili sul comportamento frequenziale dei sottosuoli, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

L'ottenimento di una stratigrafia sismica da indagini a stazione singola, deriva dai primi studi di Kanai (1957) in poi, per cui diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito.

Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Inizialmente, alcuni ricercatori, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione.

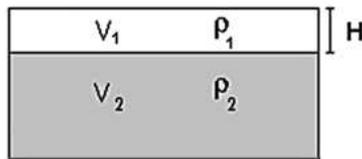
Purtroppo, esiste abbondante letteratura comprovante il fatto che l'ampiezza del picco H/V, pur essendo legata all'entità del contrasto di impedenza tra strati, non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice (cfr. Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME, 2005 e referenze ivi contenute).

Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche del metodo HVSR sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D).

Consideriamo il sistema della figura seguente in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità e le diverse velocità delle onde sismiche.

Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.



L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato.

La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a (equazione 1):

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

$$(f_r) = V_p / 4H$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh.

Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1.

Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione 1.

L'utilità delle misure H/V risiede quindi nella possibilità di ricavare empiricamente la frequenza di sito e, a fianco di curve di dispersione date da misure *MASW*, a vincolare il modello V_s specie in profondità.

SISTEMA DI ACQUISIZIONE – INDAGINI EFFETTUATE

La misura prevede la registrazione del microtremore sismico ambientale nel dominio del tempo sulle tre componenti dello spazio attraverso il posizionamento di geofono tridimensionale.

La strumentazione di acquisizione utilizzata per la presente indagine è un prospettore sismico SARA “SR04 GeoBox” a 3 canali completo di geofono 3D da superficie, che presenta le seguenti specifiche:

- trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza (2 Hz);
- amplificatori;
- digitalizzatore;
- frequenza di campionamento: 300 Hz;
- convertitore A/D (analogico digitale) a 24 bit;

Lo strumento di misura è stato orientato secondo le direzioni geografiche (E e W).

Sono state eseguite n°2 registrazioni della durata di circa 20 minuti.

ELABORAZIONE DEI DATI HVSR

Interpretando 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 possono ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito.

Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

L'elaborazione dei dati raccolti impiega il software *winMASW Academy* in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (*Site effects assessment using ambient excitations, 2005*).

Il processing dei dati verte sul rapporto spettrale tra il segnale del sensore verticale e quelli orizzontali operando su finestre di selezione del segnale.

In fase di elaborazione vengono seguite le seguenti operazioni:

1. la registrazione viene suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno,
2. per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti,
3. per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale,
4. vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano “stabili” ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato, che gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano state sorgenti “dominanti” e che la misura non contenga errori sistematici (per es. dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

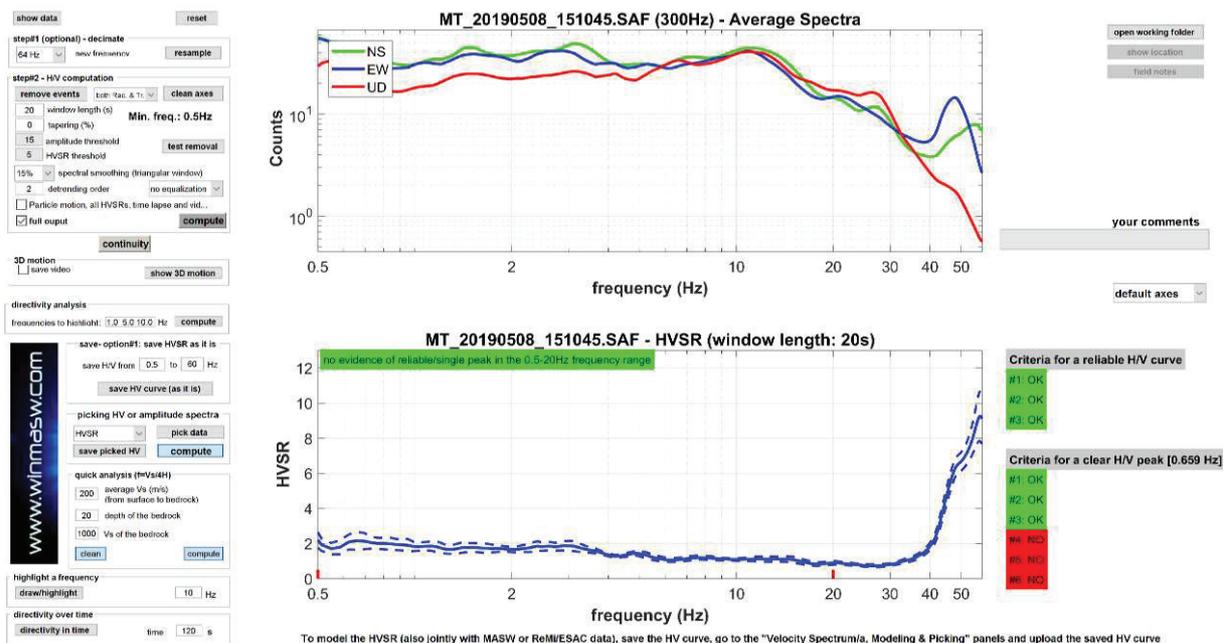
Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di f0 – Frequenza/e di risonanza e la sua deviazione standard.

Viene riportata anche la check-list proposta dalla procedura SESAME per l'ottenimento di una curva H/V affidabile.

HVSR 1

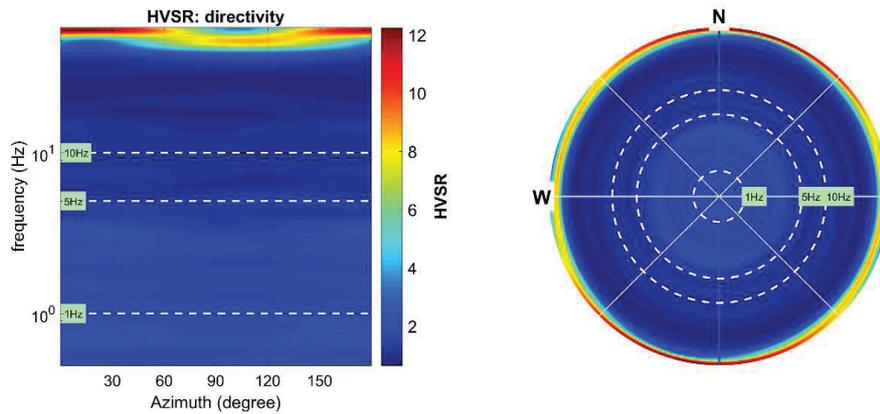
Dataset: MT_20190508_151045.SAF
 Sampling frequency (Hz): 300
 Window length (sec): 20
 Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz
 Length of analysed dataset (min): 10.0
 Tapering (%): 0
 Smoothing (%): 15

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

DIREZIONALITA' H/V



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

Peak frequency (Hz): 0.7

Peak HVSr value: 2.2

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

- #1. [$f_0 > 10/L_w$]: $0.659 > 0.5$ (OK)
- #2. [$n_c > 200$]: $725 > 200$ (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

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

- #1. [exists f^- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency 0.2Hz (OK)
- #2. [exists f^+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency Hz (OK)
- #3. [$A_0 > 2$]: $2.2 > 2$ (OK)
- #4. [$f_{\text{peak}}[A_{h/v}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (NO)
- #5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$]: $0.456 > 0.099$ (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $8.755 < 2$ (NO)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities. Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change.

PROSPEZIONI SISMICHE DOWNHOLE IN FORO DI SONDAGGIO – GENERALITA'

La prova downhole consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, una sollecitazione orizzontale mediante una sorgente meccanica, e nello studiare il treno d'onde, P e S, che si propagano all'interno del terreno alle varie profondità in direzione verticale, con vibrazioni polarizzate nella direzione di propagazione (onde P), e dirette perpendicolarmente alla direzione di propagazione, polarizzate su un piano orizzontale (onde SH). Mediante tre ricevitori (geofoni) disposti nel terreno, a profondità note, viene valutato l'istante di arrivo del treno di onde P e S, rispetto all'istante in cui vengono indotte le sollecitazioni alla sorgente; dividendo quindi per tali valori la distanza (nota) tra sorgente e ricevitori, si può ricavare la velocità delle onde P e S.

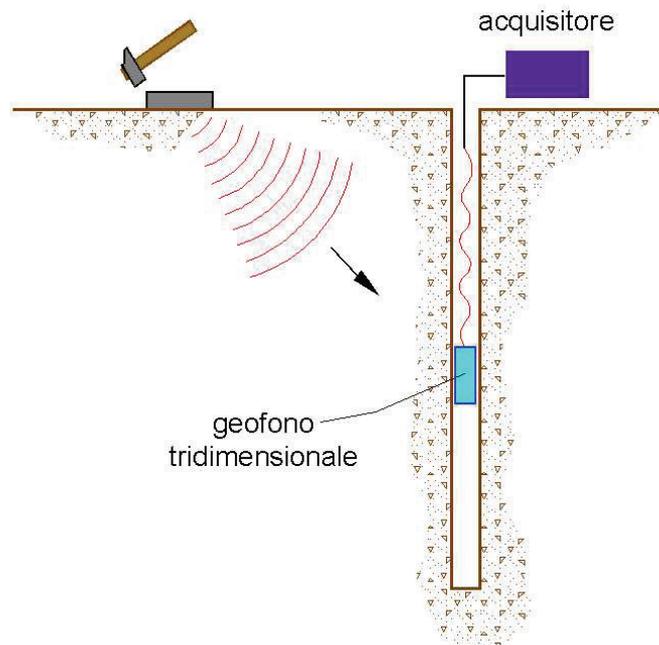


Figura 3: Schema Down Hole

Come sorgenti energizzanti sono stati utilizzati: per le onde P una mazza da 10 kg con piattello di battuta; per le onde SH un parallelepipedo (traversina) di legno percosso sulle estremità opposte da una mazza da 10 kg.

Le sorgenti (onde P ed onde SH) sono state disposte perpendicolarmente ad un raggio uscente dal foro di sondaggio, ad una distanza di circa 3 m.

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico *Ambrogeo Echo 24/2010* a 24 bit.

Una volta determinata con qualche misura di prova l'orientazione assoluta più efficace del sistema per massimizzare l'ampiezza di ricezione dei ricevitori e la registrazione di tracce in opposizione di fase, sono state effettuate misure ogni metro di profondità.

Per quanto riguarda l'interpretazione dei tracciati e la determinazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche, si è proceduto con un'analisi visuale delle registrazioni, individuando direttamente su ciascuna traccia il tempo di primo arrivo o ricorrendo a tecniche d'interpolazione

ricercando punti caratteristici (picchi o valli) successivi al primo arrivo quando questo non era chiaramente individuabile.

Mediante un'applicazione su foglio elettronico Excel (vedi tabulati allegati), i tempi letti sono stati quindi corretti in funzione dello scarto di trigger (in più o in meno rispetto al tempo di trigger medio) ed infine corretti in funzione della geometria del sistema (posizione della sorgente rispetto al foro ed alla profondità di acquisizione) attraverso la formula:

$$t^* = \frac{z}{d} \cdot t = \frac{z}{\sqrt{z^2 + R^2}} \cdot t$$

dove z è la profondità del ricevitore, d è la distanza effettiva tra sorgente e ricevitore, R la distanza superficiale tra sorgente ed il centro del foro, t il tempo determinato dalle tracce di registrazione e t* il tempo corretto.

Le velocità dei vari strati sono state quindi determinate con la funzione di regressione lineare relativa a ciascuno degli intervalli rettilinei del diagramma tempi di arrivo-profondità, dove ogni punto rappresenta la media dei tempi registrati da entrambi i geofoni (direzione x e direzione y) alla stessa profondità.

INDAGINI EFFETTUATE

Geometria del sistema di acquisizione:

distanza foro - sorgente onde SH: m 3.0

distanza foro - sorgente onde P: m 3.0

Dati misure down hole

Registrazioni Nr.	Z [m]	Tp [msec]	Ts [msec]
1	1.00	7.90	10.00
2	2.00	8.70	16.30
3	3.00	9.80	17.20
4	4.00	11.00	22.20
5	5.00	11.80	24.30
6	6.00	12.90	26.60
7	7.00	13.50	31.10
8	8.00	14.00	32.40
9	9.00	14.00	37.00
10	10.00	15.20	38.00
11	11.00	15.00	40.60
12	12.00	14.80	44.00
13	13.00	16.00	48.00
14	14.00	16.70	52.00
15	15.00	17.10	55.50
16	16.00	17.40	58.50
17	17.00	17.60	61.20
18	18.00	19.00	64.80
19	19.00	19.50	66.20
20	20.00	19.80	69.20
21	21.00	21.00	73.30
22	22.00	21.20	74.10
23	23.00	21.80	77.00
24	24.00	22.50	78.50
25	25.00	23.20	80.50
26	26.00	23.50	83.00
27	27.00	24.00	85.00
28	28.00	25.40	87.00
29	29.00	26.60	88.50
30	30.00	27.70	90.80
31	31.00	28.00	92.30
32	32.00	28.50	94.00

Risultati

SR [m]	Tpcorr [msec]	Tscorr [msec]
3.1623	2.4982	3.1623
3.6056	4.8259	9.0416
4.2426	6.9296	12.1622
5.0000	8.8000	17.7600
5.8310	10.1184	20.8371
6.7082	11.5381	23.7918
7.6158	12.4085	28.5854
8.5440	13.1086	30.3371
9.4868	13.2816	35.1013
10.4403	14.5590	36.3974
11.4018	14.4715	39.1694
12.3693	14.3581	42.6863
13.3417	15.5903	46.7708
14.3178	16.3293	50.8457
15.2971	16.7679	54.4222
16.2788	17.1020	57.4980
17.2627	17.3322	60.2688
18.2483	18.7415	63.9183
19.2354	19.2614	65.3899
20.2238	19.5809	68.4344
21.2132	20.7889	72.5633
22.2036	21.0056	73.4205
23.1948	21.6169	76.3532
24.1868	22.3263	77.8938
25.1794	23.0347	79.9266
26.1725	23.3451	82.4529
27.1662	23.8532	84.4801
28.1603	25.2555	86.5049
29.1548	26.4588	88.0302
30.1496	27.5625	90.3494
31.1448	27.8698	91.8708
32.1403	28.3756	93.5896

Metodo diretto

Profondità di riferimento: 30 m
 VS30: 334.2 m/s

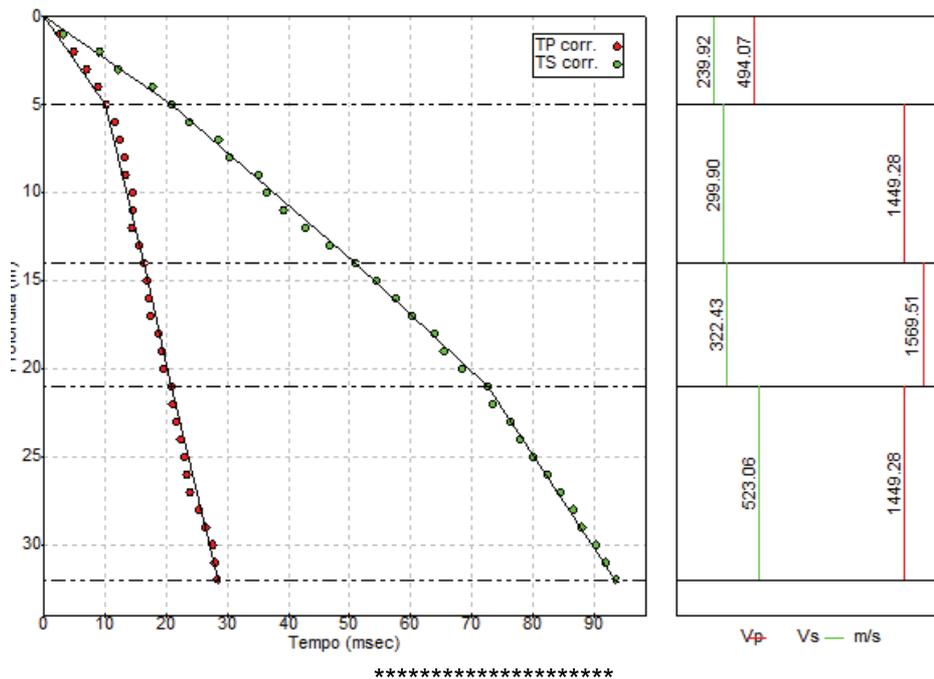
Sismostrati con metodo diretto

Descrizione [-]	Profondità [m]
	5
	14
	21
	32

Valori medi

Vp medio [m/s]	Vs medio [m/s]	g medio [kN/mc]	ni medio	G medio [MPa]	Ed medio [MPa]	E medio [MPa]	Ev medio [MPa]
494.07	239.92	19.12	0.35	112.23	475.94	302.07	326.3
1449.28	299.9	19.47	0.48	178.54	4169.55	527.64	3931.49
1569.51	322.43	19.95	0.48	211.45	5010.23	625.03	4728.3
1449.28	523.06	21.29	0.43	594.05	4560.59	1693.19	3768.52

Dromocrone



San Giuliano Terme (PI),
 15 maggio 2019

GAIA Servizi S.n.c.
 di Massimiliano Varozzi & C.
 Via Lenin 132 - 56017 San Giuliano T. (PI)
 P. IVA 01667250508 N. REA PI - 145167

GAIA Servizi S.n.c.
 Dott. Jacopo Martini