

INDAGINI GEOFISICHE PER LA REVISIONE DELLO STUDIO GEOLOGICO DEL PIANO REGOLATORE GENERALE DI SCICLI (RG).



RAPPORTO DI PROVA

Committente: Comune di Scicli (RG)

D.L.: Dott. Geol. Rosario Zaccaria

Ceratonía Geophysics S.r.l. Via Costituzione, 120 97100 Ragusa c.f./P.I. 01430150886	Redatto: Dr. Rosario Occhipinti	IG17/19_R02 Approvato: Dr. Mario Dipasquale 06/06/2019
---	------------------------------------	--

1. INTRODUZIONE.....	3
2. TOMOGRAFIE ELETTRICHE (ERT).....	4
2.1 Generalità.....	4
2.2 Resistività delle rocce	4
2.3 Strumentazione ed acquisizione dati	6
2.4 Risultati e interpretazione	8
ERT T6	8
ERT T4	9
ERT T1	10
ERT T2	11
ERT T7	12
3. CAMPIONATURE “NOISE” - RISPOSTA SISMICA DEL SITO.....	14
3.1 REGISTRAZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI	16
3.2 RISULTATI	17
Hvsr N9	17
Hvsr N8	19
Hvsr N3	21
Hvsr N4	23
Hvsr N7	25
Hvsr N5	27
Hvsr N10	29
Hvsr N6	31
Hvsr N1	33
Hvsr N2	35
4. MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)	37
Acquisizione dei dati.....	39
Strumentazione e configurazione geometrica utilizzata.	39
Metodo delle onde superficiali: prove attive	39
Stima della curva di dispersione dai dati	39
Inversione della curva di dispersione	40
ALLEGATO 1 – UBICAZIONE DELLE INDAGINI.....	56
ALLEGATO 2 - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	65

1. INTRODUZIONE

Le indagini oggetto del presente rapporto tecnico sono state eseguite per la revisione dello studio geologico per il Piano Regolatore Generale del Comune di Scicli (RG).

La campagna di indagini ha previsto l'esecuzione delle seguenti prospezioni:

- n. 5 tomografie elettriche (ERT);
- n. 10 misure di rumore sismico (HVSr);
- n. 5 simehe attive tipo MASW.

L'elenco delle prove di seguito riportate segue la numerazione richiesta dalla Committenza.

2. TOMOGRAFIE ELETTRICHE (ERT)

2.1 Generalità

La “tomografia elettrica” (*Electrical Resistivity Tomography*, ERT), consiste nella determinazione di profili di resistività elettrica apparente attraverso la disposizione sul terreno di un numero significativo di elettrodi che immettono una corrente elettrica e, alternativamente, permettono di misurare le differenze di potenziale indotte attraverso un sistema di acquisizione di precisione.

Il set di dati così ottenuto consente la costruzione di una matrice di valori di resistività apparente la cui inversione, mediante algoritmi matematici, restituisce la definizione del mezzo investigato in “immagini” elettro-resistive.

2.2 Resistività delle rocce

La resistività elettrica delle rocce dipende principalmente dalla presenza di acqua nei pori e nelle fratture e dai minerali costituenti la roccia stessa.

La quantità dei pori nella roccia è definita dalla porosità, che è data dal rapporto tra il volume dei pori e quello della roccia, oltre che dal tipo di tessitura, ovvero dalla disposizione, forma e dimensioni dei granuli che la compongono e dai vuoti riempiti di acqua.

Nel caso di macrofessure o cavità nelle quali si riscontra la sola presenza dell'aria, la resistività tende a valori molto elevati.

I minerali che compongono le rocce e le suddette caratteristiche tessiturali hanno in genere comportamento anisotropo e variano nello spazio nelle tre direzioni.

L'anisotropia delle rocce, relativamente alla resistività, pertanto è il risultato di una combinazione di differenti caratteristiche spaziali legate a microfessurazioni, stratificazioni variabili, tessitura, porosità, composizione mineralogica e contenuto d'acqua.

In sintesi la resistività elettrica, oltre alle proprietà elettriche intrinseche del materiale indagato, dipende dai seguenti fattori (Loke M. H. 1997, 1999, 2000; Zhou, 2000):

- porosità;
- grado di saturazione dei pori;
- densità, ovvero lo stato d'addensamento (specie in terreni alluvionali) della formazione;

- granulometria;
- grado di fratturazione;
- salinità del fluido presente nei pori;
- temperatura;
- presenza di sostanze organiche (idrocarburi, solventi, ecc.);
- composizione mineralogica, con particolare riferimento alla presenza di argilla.

In geoelettrica si osserva il “flusso” delle cariche attraverso le rocce, trascurando le tendenze allo squilibrio elettrico.

Il flusso di cariche è la corrente elettrica che scorre per convezione da un polo positivo (+) ad un altro negativo (-), viene misurata in Ampere (A) e definisce la quantità che passa in un punto del circuito nell'unità di tempo (1 secondo).

Il flusso di carica è definito dalla differenza di potenziale (*d.d.p.*) e cioè della differenza tra l'energia potenziale elettrica posseduta da una carica nei due punti a causa della presenza di un campo elettrico, divisa per il valore della carica stessa e viene misurata in Volt (V).

Nel caso delle rocce il flusso di corrente è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale (V).

Il rapporto tra d.d.p. e corrente (I), a meno di un coefficiente geometrico (K), definisce la resistenza offerta da un corpo a farsi attraversare da un flusso di corrente elettrica.

Questo semplice rapporto, definito come legge di Ohm, introduce una terza grandezza: la **resistività elettrica** (ρ).

$$\rho = K \frac{V}{I}$$

In un mezzo non omogeneo e anisotropo, i valori misurati vengono infine restituiti come **resistività apparente** del modello ottenuto, in $\Omega \cdot m$, poiché dette misure dipendono dalla variazione latero-verticale della resistività delle successioni attraversate dalle linee di corrente.

In tabella 1 vengono riportati indicativamente gli intervalli di resistività di alcune rocce e sedimenti.

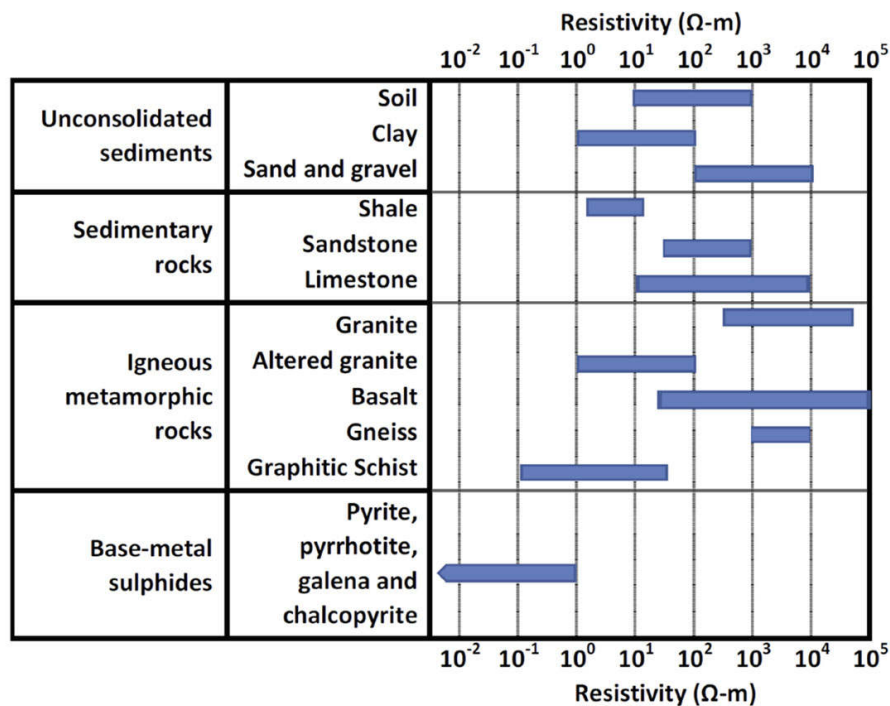


Tabella 1 – Intervalli di resistività media di alcune rocce e sedimenti (da Mwenifumbo, 2013).

2.3 Strumentazione ed acquisizione dati

La strumentazione utilizzata consiste in un georesistivimetro multielettrodico digitale (24 bit) con risoluzione fino a 100 microvolts, dotato di una gestione automatica delle sequenze, in grado di commutare gli elettrodi disposti lungo la sezione da investigare in elettrodi d'immissione ed in elettrodi di misura con tutte le possibili combinazioni quadripolari (fig. 1).

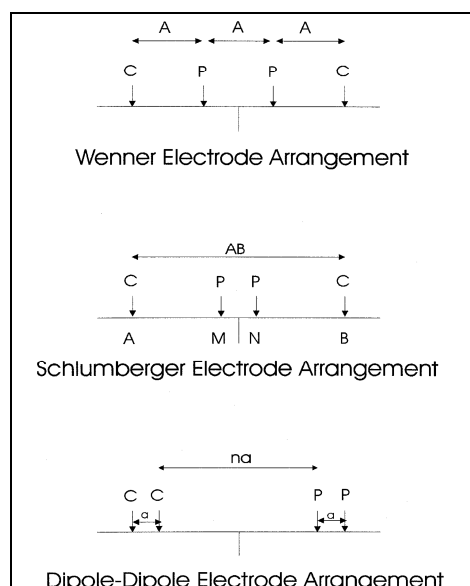


Figura 1 – Principali geometrie elettrodiche di acquisizione (da ASTM D6431 – 99).

L'acquisizione dei dati consiste nel misurare la differenza di potenziale che si genera nei picchetti di misura M – N, secondo le geometrie prefissate.

Nel dettaglio l'operazione d'acquisizione può essere riassunta così come segue:

- disposizione sul terreno degli elettrodi lungo un dato profilo;
- scelta della configurazione geometrica;
- annullamento dei potenziali spontanei;
- immissione della corrente;
- misura ed archiviazione dati.

Acquisizioni ed elaborazioni sono state condotte secondo quanto previsto dagli standard internazionali (ASTM D6431 – 99 (2010)).

Le acquisizioni sono state condotte utilizzando la configurazione dipolo-dipolo.

La restituzione dei dati avviene in forma matriciale consentendone l'immediata elaborazione preliminare; i dati acquisiti, opportunamente filtrati e georiferiti, vengono invertiti attraverso algoritmi specifici scelti in funzione delle caratteristiche geologiche dell'area indagata e/o delle caratteristiche della singola indagine; in questo caso le misure sono state elaborate tramite l'inversione robusta basata sull'algoritmo di Occam (*Constable, 1987; deGroot-Hedlin & Constable, 1990*) e sull'algoritmo dei minimi quadrati ponderati.

2.4 Risultati e interpretazione

ERT T6

Il profilo, di lunghezza pari a 96 metri, è stato eseguito in direzione Ovest-Est, presso località Gurgazzi, attraverso il posizionamento di n. 48 elettrodi (distanza interelettrodica pari a 2 metri) con: i) una profondità d'investigazione di 22÷24 m ca; ii) un intervallo di resistività compreso tra 10 Ω m ca. e 900 Ω m ca.

L'analisi della sezione elettrostratigrafica (fig. 2, in basso) evidenzia:

- una distribuzione notevolmente disomogenea dei valori di resistività apparente tra i settori occidentali ed orientali della stesa, da collegare anche alla possibile presenza di contatti di natura tettonica;
- nel settore orientale della sezione - dalla superficie sino ad una profondità di 5÷7 m ca. dal pc - si riscontra uno spessore alto resistivo con valori variabili (750÷900 Ω m ca.) associabili a spessori litoidi ben cementati.

Tale spessore alto resistivo tende progressivamente a rastremarsi spostandosi verso il tratto centro-occidentale della sezione, sino a scomparire del tutto nel settore più orientale della stessa; al di sotto di tali spessori sono presenti valori di resistività compresi in un intervallo di 100÷200 Ω m ca;

- nel settore occidentale della sezione elettrica si evidenzia, di converso, la presenza di uno spessore basso resistivo associabile verosimilmente a spessori di terreno di natura marnosa-argillosa che interessano (specie nel tratto centrale della sezione) l'intero spessore investigato;
- presso il limite occidentale della sezione si evidenzia un incremento della resistività (50÷150 Ω m ca.), a profondità progressivamente maggiori (5÷10 m ca.), spostandosi verso il tratto centrale della sezione stessa.

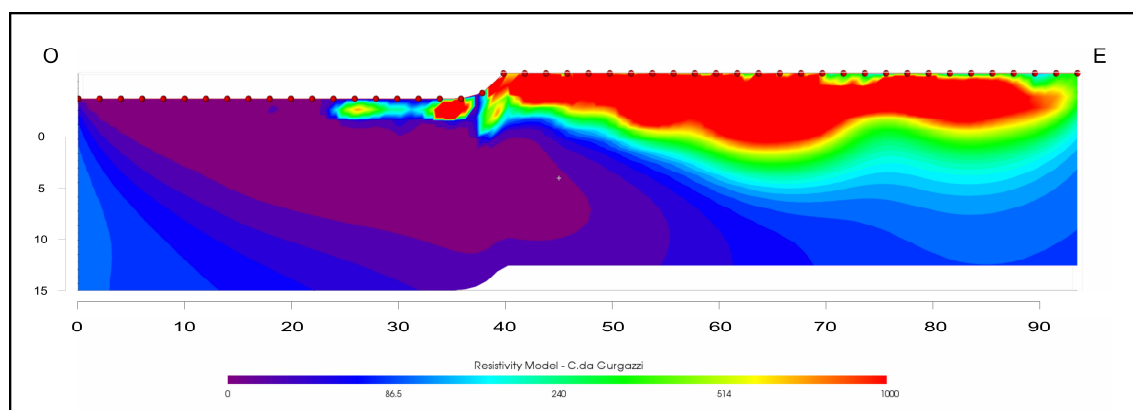


Fig. 2- Profilo elettrico T6: sezione di resistività apparente ottenuta dal processo di inversione (valori in $\Omega \cdot m$).

ERT T4

Il profilo, di lunghezza pari a 96 metri, è stato eseguito in direzione N-S, presso località Fumarie, attraverso il posizionamento di n. 48 elettrodi (distanza interelettrodica pari a 2 metri), con: i) una profondità d'investigazione di 16÷18 m ca; ii) un intervallo di resistività compreso tra 10 Ωm ca. e 90 Ωm ca.

L'analisi della sezione elettrostratigrafica (fig. 3) evidenzia:

- una distribuzione dei valori di resistività caratterizzati complessivamente da un incremento delle resistività passando dagli spessori più superficiali a quelli più profondi;
- lo spessore basso resistivo (<10÷15 Ωm ca) tende ad approfondirsi progressivamente procedendo da Nord (2÷3 m ca.) verso Sud (8÷10 m ca);
- i maggiori valori di resistività (75÷90 Ωm ca) si constatano nel tratto settentrionale della stesa al di sotto dello spessore basso resistivo con una progressiva riduzione spostandosi verso il tratto meridionale del profilo tomografico.

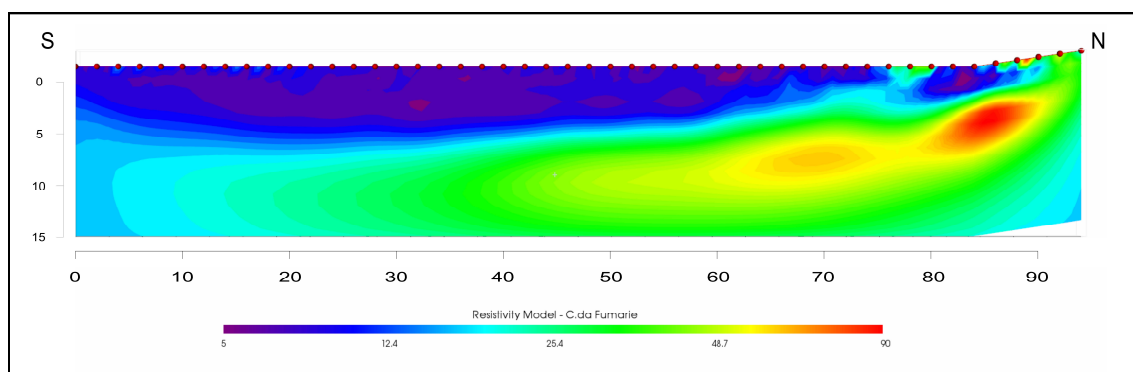


Fig. 3- Profilo elettrico T4: sezione di resistività apparente ottenuta dal processo di inversione (valori in $\Omega \cdot m$).

ERT T1

Il profilo, di lunghezza pari a 144 metri, è stato eseguito in direzione NO-SE, presso località Timperosse, attraverso il posizionamento di n. 48 elettrodi (distanza interelettrodica pari a 3 metri), con: i) una profondità d'investigazione di 23÷25 m ca.; ii) un intervallo di resistività compreso tra 70 Ωm ca. e 600 Ωm ca.

L'analisi della sezione elettrostratigrafica (fig. 4) evidenzia:

- la presenza di uno spessore superficiale con valori sostanzialmente < 100 Ωm ca nei primi 1÷3 metri di profondità;
- una distribuzione dei valori di resistività caratterizzati complessivamente da un incremento progressivo passando dagli spessori più superficiali a quelli più profondi;
- valori più alto resistivi (400÷600 Ωm ca.) si riscontrano, con distribuzione pressoché omogenea, a partire da circa 3÷5 metri dal pc con spessori massimi riscontrabili nel settore SE della stesa (>15÷20 m ca.);
- nel settore NE tale spessore alto resistivo , ad una profondità di 10÷15 metri ca. dal pc ca., è caratterizzato da un relativo decremento dei valori, seppur complessivamente maggiori a 200÷350 Ωm ca.

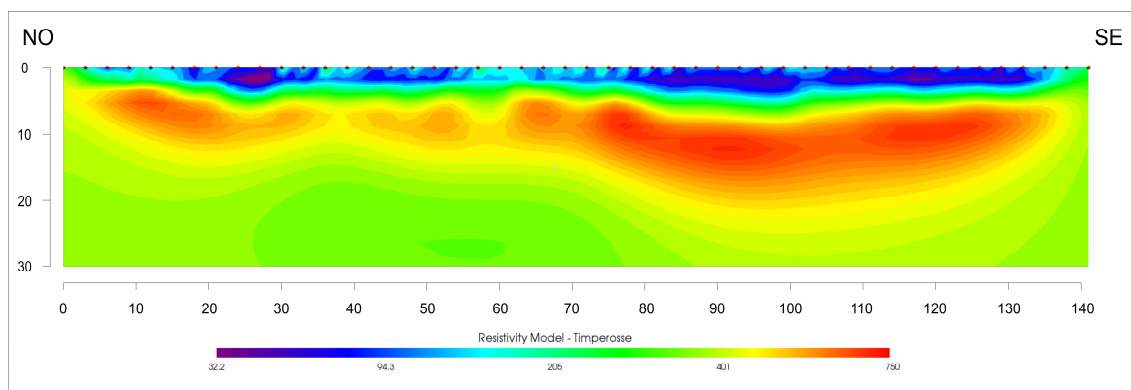


Fig. 4- Profilo elettrico T1: sezione di resistività apparente ottenuta dal processo di inversione (valori in $\Omega \cdot m$).

ERT T2

Il profilo, di lunghezza pari a 144 metri, è stato eseguito in direzione NO-SE, presso località Spinazza, attraverso il posizionamento di n. 48 elettrodi (distanza interelettrodica pari a 3 metri), con: i) una profondità d'investigazione di 27÷29 m ca; ii) un intervallo di resistività compreso tra 10 Ωm ca. e 900 Ωm ca.

L'analisi della sezione elettrostratigrafica (fig. 5) evidenzia:

- uno spessore superficiale alto resistivo con spessori che tendono ad incrementare spostandosi da NO (3÷4 m ca.) verso SE (8÷12 m ca.);
- tale orizzonte altoresistivo risulta poggiare:
 - nei tratti occidentali e centrale della sezione, su un orizzonte basso resistivo (<50÷75 Ωm ca., con spessore di 15÷20 m ca);
 - nel tratto SE della sezione su uno spessore con resistività compresa in un intervallo di 200÷350 Ωm ca.
- tali diverse caratteristiche geoelettriche tra i due settori della sezioni possono collegarsi a potenziale presenza di contatti di natura tettonica.

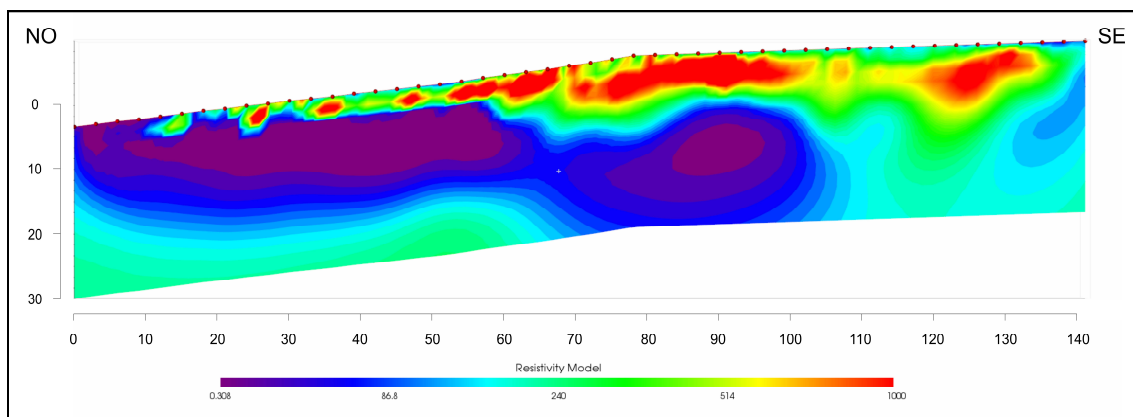


Fig. 5- Profilo elettrico T2: sezione di resistività apparente ottenuta dal processo di inversione (valori in $\Omega \cdot m$).

ERT T7

Il profilo, di lunghezza pari a 96 metri, è stato eseguito in direzione NO-SE, presso Via Asmara in Scicli, attraverso il posizionamento di n. 48 elettrodi (distanza interelettrodica pari a 2 metri), con: i) una profondità d'investigazione di 16÷18 m ca; ii) un intervallo di resistività compreso tra 5 Ωm ca. e 150 Ωm ca.

L'analisi della sezione elettrostratigrafica (fig. 6) evidenzia:

- la presenza di valori basso resistivi (<30÷50 Ωm ca) per l'intero sviluppo della sezione tomografica (ad esclusione del tratto superficiale pavimentato) associabile verosimilmente a spessori di natura marnosa-argillosa;
- in alcuni settori si constatano valori anche < 10 Ωm ca, che potrebbero essere associabili a potenziali infiltrazioni d'acqua localizzate (progressive: 8÷ 10 ca.; 12 ÷ 18 ca.; 70 ÷ 75 ca.; 85 ÷ 88ca m ca.;
- lungo la progressiva 35 ÷ 45 ca. – ad una profondità di 3÷4 m dal piano strada si constata un incremento della resistività con valori tra 75÷150 Ωm ca associabile a possibili inclusi più resistivi o a potenziali vuoti.

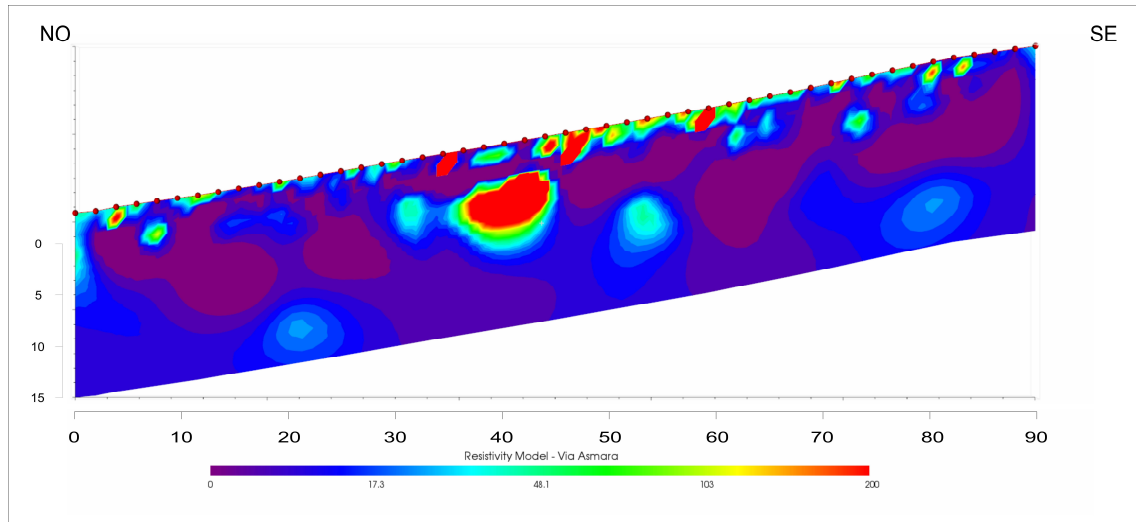


Fig. 6- Profilo elettrico T7: sezione di resistività apparente ottenuta dal processo di inversione (valori in $\Omega \cdot m$).

3. CAMPIONATURE “NOISE” - RISPOSTA SISMICA DEL SITO

Il comportamento dei siti conseguentemente ad un input sismico, è inteso in termini di differente energia e/o diversa distribuzione in frequenza della stessa a causa degli effetti di amplificazione o attenuazione selettiva di determinate frequenze ed è funzione delle caratteristiche fisiche - geometriche dei mezzi attraversati (litologici e strutturali) da un'onda sismica.

Il rumore sismico ambientale è l'insieme delle vibrazioni sismiche presenti ovunque sulla superficie terrestre e generate da sorgenti naturali o antropiche. Le onde sismiche che ne derivano sono tipicamente a bassa energia, con ampiezze dell'ordine di 10^{-4} / 10^{-2} mm [Okada, 2003]. Inoltre, in base al contenuto in frequenza inferiore o superiore a 0.5 Hz, si parla rispettivamente di microsismica (primariamente di origine naturale) o microtremore (di origine generalmente antropica).

Il rumore sismico può usarsi per lo studio della stratigrafia del terreno, sulla base dell'analisi degli spettri di potenza dei segnali e dei rapporti spettrali [Kanai e Tanaka, 1954; Lermo, 1993; Yamanaka et al., 1993]. In particolare, il metodo dei rapporti spettrali H/V è basato sul calcolo del rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H (generalmente lo spettro H viene calcolato come media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali NS ed EW) e della componente verticale V [Nogoshi & Igarashi, 1970; Nakamura, 1989].

In un mezzo semplice formato da due soli strati, il *bedrock*, cioè lo strato duro e profondo, ed uno strato superficiale più soffice, l'onda di superficie che viaggia nello strato superficiale viene riflessa all'interfaccia tra gli strati e interferisce costruttivamente con le onde incidenti, sommandosi e raggiungendo ampiezze massime per l'effetto di risonanza. Ciò accade quando la lunghezza dell'onda incidente λ_m è tale che $\lambda_m = 4H/(2m-1)$, con $m = 1, 2, \dots$, dove il fattore $4/(2m-1)$ deriva dal fatto che, all'interfaccia tra un mezzo soffice ed uno duro, avviene inversione di fase. Le corrispondenti frequenze di risonanza sono pertanto date da

$$f_m = \frac{V_s}{4H} (2m - 1)$$

dove V_s è la velocità di propagazione delle onde di superficie nel mezzo considerato.

Poiché il modo fondamentale $m = 1$ è nettamente dominante rispetto a quelli superiori, si ha semplicemente

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

con f_r frequenza di risonanza che può individuarsi quale picco del rapporto H/V. Le frequenze proprie del sottosuolo possono essere quindi eccitate dal rumore di fondo e diventare visibili nello spettro del rumore sismico misurato in superficie.

In genere, i terreni rigidi presentano curve spettrali H/V (terreni rocciosi o terreni sedimentari compatti) poco amplificate e con risposte centrate nella banda *audio - frequency* ($f > 20$ Hz) legate allo stato di alterazione superficiale del sito roccioso, mentre le curve spettrali ottenute dai rapporti spettrali tra la componente orizzontale e verticale del moto del suolo (H/V) relative ai terreni soffici sono caratterizzate da amplificazioni a frequenze < 10 Hz e con livelli di ampiezza legati al contrasto di impedenza sismica. Inoltre, in prossimità di discontinuità tettoniche e/o zone di fratturazione si hanno evidenti effetti di polarizzazione del vettore rumore sismico il quale risulterebbe influenzato da locali effetti di canalizzazione dell'energia sismica.

In accordo con quanto descritto sugli effetti di sito [Nakamura, 1989; Lachet & Bard, 1994; Lermo & Chàvez-García, 1994], in questo lavoro è stata applicata la tecnica dei rapporti spettrali H/V [Nakamura, 1989].

Le misure permettono pertanto di misurare la frequenza fondamentale del sito, in ragione del suo assetto sismostratigrafico, e di avere un'indicazione qualitativa su eventuali effetti di amplificazione locale, nell'ottica della microzonazione sismica.

In ogni caso, va ricordato che esiste una probabilità di circa l'80% che l'amplificazione dello spettro di Fourier in corrispondenza della frequenza di risonanza misurata in un evento sismico sia maggiore dell'amplificazione ottenuta dal rapporto H/V; l'amplificazione inoltre si ha a partire dalla frequenza fondamentale di sito ma può avvenire anche a frequenze maggiori (SESAME, 2004).

3.1 REGISTRAZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

Al fine di applicare la tecnica dei rapporti spettrali H/V, è necessario campionare i microtremori registrando le tre componenti del moto del suolo. Per il caso in studio è stato utilizzato n. 1 trasduttore della velocità del moto del suolo 3D con periodo fondamentale di 0,5 sec. (formato da n. 3 velocimetri disposti lungo i tre assi), interfacciato ad un sistema di conversione analogico – digitale.

Le caratteristiche tecniche del sistema sopra descritto sono:

- capacità di campionamento dei segnali tra 0.002 e 0.00005 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del “tempo zero” (time break)
- filtri High Pass e Band Reject
- “Automatic Gain Control”
- convertitore A/D a 24 bit
- n.1 trasduttore 3D frequenza 2 Hz;

Il sistema viene orientato con uno dei tre assi parallelo al nord magnetico e messo in bolla.

Tutte le acquisizioni e le successive elaborazioni sono state condotte secondo quanto indicato nelle *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations – Measurements, processing and interpretation – SESAME, December 2004*.

Le caratteristiche di ciascuna misura e la verifica del grado di affidabilità dei risultati ottenuti sono restituiti nelle tabelle relative, secondo quanto previsto dalle suddette linee guida (SESAME, 2004) e quanto proposto da Albarello & Castellaro (2011) e dagli *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*, Dip. Protez. Civile, 2008.

3.2 RISULTATI

Di seguito sono descritti i risultati ottenuti e le relative elaborazioni grafiche.

Le misure vengono restituite in apposite schede costituite da:

- tabella riepilogativa dell'analisi secondo i criteri previsti dalle linee guida del SESAME (in alto);
- grafico ampiezza/frequenza del rapporto spettrale H/V, finalizzato all'individuazione della frequenza fondamentale del sito in esame (al centro, grafico in alto);
- grafico ampiezza/frequenza delle tre componenti misurate, per la verifica della plausibilità fisica dei picchi H/V individuati (al centro, grafico in basso);
- grafico di direzionalità dei rapporti spettrali: ampiezza/frequenza/azimuth, per la verifica della stazionarietà (in basso a sinistra);
- grafico delle serie temporali delle tre componenti: ampiezza/frequenza/tempo, per la verifica dell'isotropia (in basso a destra).

Hvsr N9

La misura, eseguita in C.da Cozzo Pilato a Scicli, verifica i criteri di affidabilità SESAME ma non quelli per la definizione di un picco chiaro, poiché verifica solo quattro delle sei condizioni previste (fig. 7).

La misura ha restituito tuttavia uno spettro H/V che presenta un picco principale a 3.86 Hz, associato ad un fattore di amplificazione medio elevato, pari a 6.17 (H/V) e presenta caratteristiche di stazionarietà e isotropia.

La misura è classificabile come Classe A secondo la classificazione di Albarello & Castellaro (2011): affidabile e interpretabile.

ID	hvsr1_cp	Site or client	Cozzo Pilato Scicli	SESAME 2004 Guidelines Criteria	
		Rec. Duration	22'06"		
f0	H/V peak frequency (Hz)		3.855	Criteria for a reliable H/V curve	
lw	window length (sec)		10	i	f0>10/lw
nw	number of windows selected		18	ii	NC(F0)>200
A0	H/V peak amplitude @ f0 (Hz)		6.173	iii	sA(f)<2
	max amplitude @ f0		7.330		
	min amplitude @ f0		5.110		
σA(f)	standard deviation of A (H/V)		0.842	Criteria for a clear H/V peak	
				i	exist f' ∈ [f0/4,f0] AH/V (f')<A0/2
				ii	exist f' ∈ [f0,4f0] AH/V (f')<A0/2
				iii	Ao>2
				iv	fpeak [AH/V(f)±σA(f)]=f±5%
5%f0			0.193	v	σf>ε(f0)
				vi	σA(f0)<θ(f0)
sigf	standard dev of H/V peak frequency		0.460	Analysis response	
f0/4			0.964	Verified H/V reliable curve	
f0*4			15.420	Unclear peak according Guidelines	

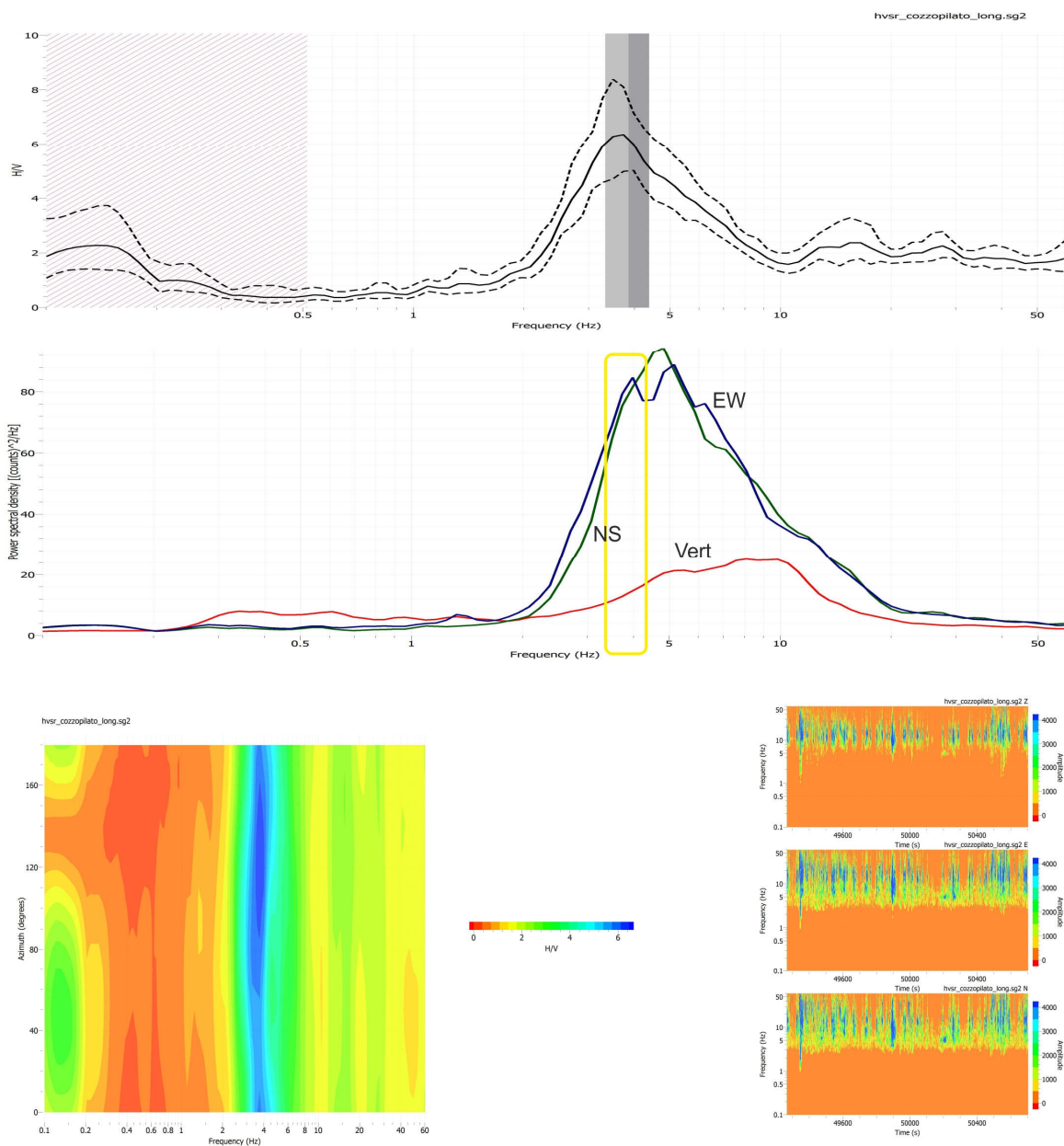


Figura 7 – Scheda di sintesi Hvsr N9.

Hvsr N8

Anche la seconda misura, eseguita presso Playa Grande, verifica i criteri di affidabilità SESAME ma non quelli per la definizione di un picco chiaro, poiché verifica solo quattro delle sei condizioni previste (fig. 8).

Il campionamento di rumore sismico ha tuttavia restituito un picco principale a 6,62 Hz, associato ad un fattore di amplificazione medio pari a 2,65 (H/V); un secondo picco, a fattore di amplificazione inferiore (ca. 2,45 H/V), è rilevabile al di fuori dell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico (ca. 49,5 Hz).

Il picco principale presenta caratteristiche di stazionarietà e isotropia.

Anche in questo caso la misura è classificabile come Classe A secondo la classificazione di Albarello & Castellaro (2011): affidabile e interpretabile.

Le curve a doppio picco (*Two Peaks Cases*; SESAME, 2004), possono essere associate alla presenza di contrasti di impedenza sismica presenti a differenti profondità.

ID	hvsr2_pg	Site or client	Playa Grande Scicli	SESAME 2004 Guidelines Criteria	
		Rec. Duration	30'04"		
f0	H/V peak frequency (Hz)		6.619	Criteria for a reliable H/V curve	
lw	window length (sec)		10	i	f0>10/lw
nw	number of windows selected		31	ii	NC(F0)>200
A0	H/V peak amplitude @ f0 (Hz)		2.652	iii	sA(f)<2
	max amplitude @ f0		3.140		
	min amplitude @ f0		2.170		
σA(f)	standard deviation of A (H/V)		0.845	Criteria for a clear H/V peak	
				i	exist f' ∈ [f0/4,f0] AH/V (f')<A0/2
				ii	exist f' ∈ [f0,4f0] AH/V (f')<A0/2
				iii	A0>2
				iv	fpeak [AH/V(f)±σA(f)]=f±5%
5%f0			0.331	v	σf>ε(f0)
				vi	σA(f0)<θ(f0)
sigf	standard dev of H/V peak frequency		0.710	Analysis response	
f0/4			1.655	Verified H/V reliable curve	
f0*4			26.476	Unclear peak according Guidelines	

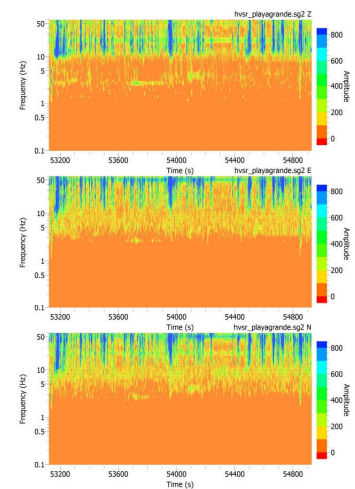
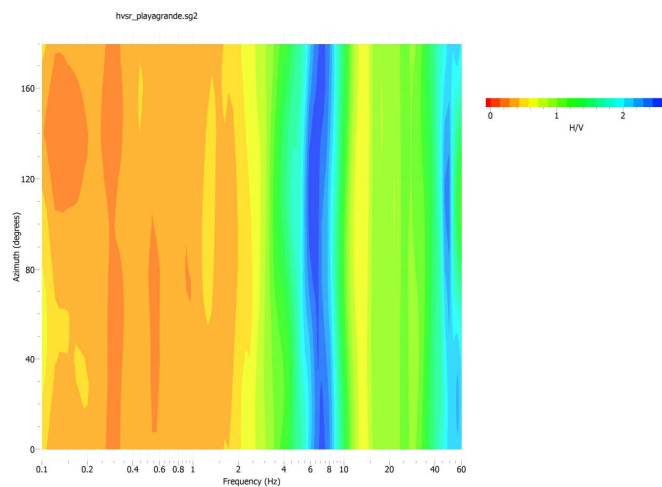
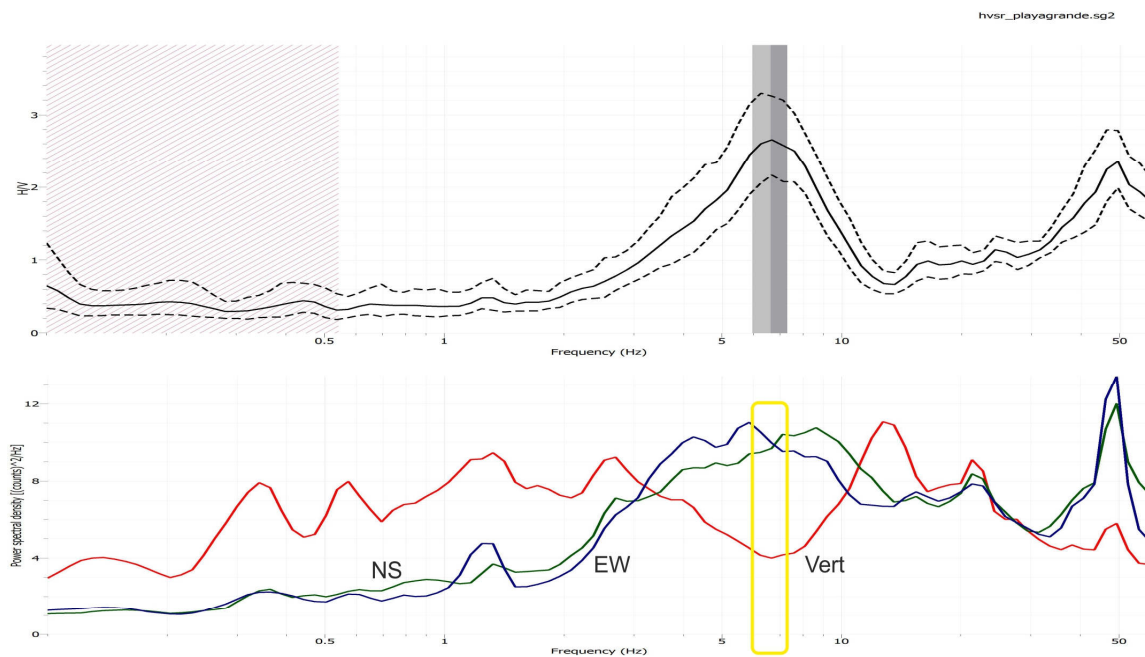


Figura 8 – Scheda di sintesi Hvsr02.

Hvsr N3

La terza misura è stata eseguita in C.da Gerrantini, ed ha restituito uno spettro H/V che mostra un picco mediamente ampio, con fattore di amplificazione inferiore a 2 H/V (fig. 9).

La frequenza centrale è pari a 4,11 Hz, con un fattore di amplificazione pari a 1,71; la curva presenta caratteristiche di limitata stazionarietà e bassa isotropia.

La curva è pertanto inquadrabile in Classe C secondo la classificazione di Albarello & Castellaro (2011): di difficile interpretazione, va confrontata e verificata con altre misure attigue.

ID	hvsr3_gr	Site or client	C.da Gerrantini Scicli	SESAME 2004 Guidelines Criteria	
		Rec. Duration	31'13"		
f0	H/V peak frequency (Hz)		4.112	Criteria for a reliable H/V curve	
lw	window length (sec)		10	i	f0>10/lw RELIABLE
nw	number of windows selected		31	ii	NC(F0)>200 RELIABLE
A0	H/V peak amplitude @ f0 (Hz)		1.706	iii	sA(f)<2 RELIABLE
	max amplitude @ f0		2.000		
	min amplitude @ f0		1.350		
σA(f)	standard deviation of A (H/V)		0.853	Criteria for a clear H/V peak	
				i	exist f' ∈ [f0/4,f0] AH/V (f')<A0/2 CLEAR
				ii	exist f' ∈ [f0,4f0] AH/V (f')<A0/2 CLEAR
				iii	A0<2 UNCLEAR
				iv	fpeak [AH/V(f)±σA(f)]=f±5% UNCLEAR
5%f0			0.206	v	σf>ε(f0) UNCLEAR
				vi	σA(f0)<θ(f0) CLEAR
sigf	standard dev of H/V peak frequency		0.550	Analysis response	
f0/4			1.028	Verified H/V reliable curve	
f0*4			16.446	Unclear peak according Guidelines	

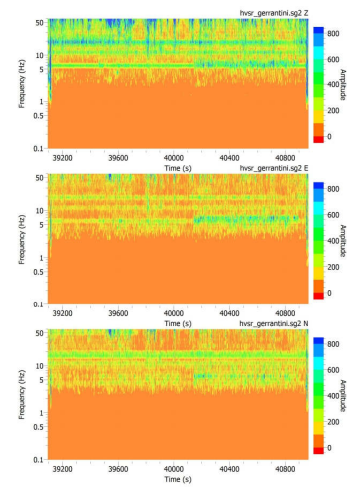
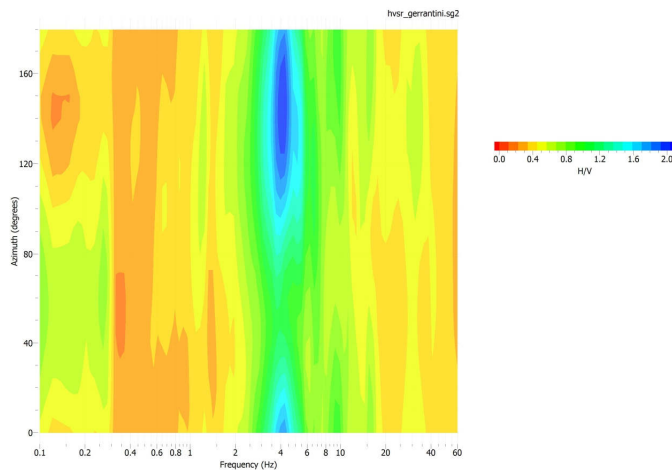
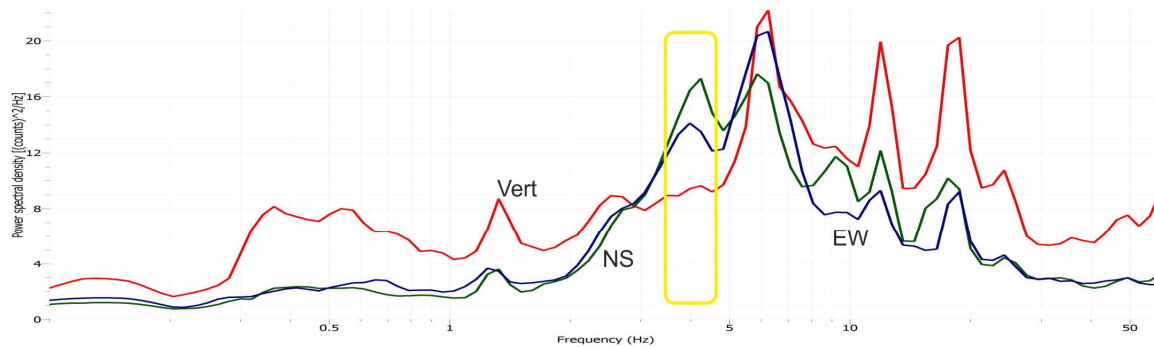
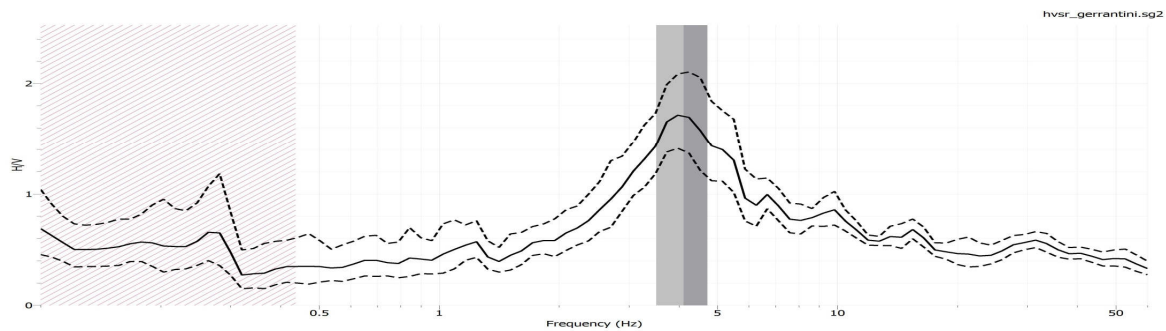


Figura 9 – Scheda di sintesi Hvsr N3.

Hvsr N4

La quarta misura è stata eseguita in C.da Renelle Trippatore, verifica i criteri di affidabilità SESAME ma non quelli per la definizione di un picco chiaro (fig. 10).

La misura ha restituito tuttavia uno spettro H/V che presenta un picco principale a 6,58 Hz, associato ad un fattore di amplificazione medio elevato, pari a 7,47 (H/V) e presenta caratteristiche di stazionarietà ma bassa isotropia.

La misura è classificabile come Classe B secondo la classificazione di Albarello & Castellaro (2011): misura da verificare con altre misure attigue.

ID	hvsr4_rt	Site or client	C.da Renelle Trippatore Scicli	SESAME 2004 Guidelines Criteria		
		Rec. Duration	20'35"			
f0	H/V peak frequency (Hz)		6.581	Criteria for a reliable H/V curve		
lw	window length (sec)		10	i	$f_0 > 10/lw$	RELIABLE
nw	number of windows selected		14	ii	$NC(F_0) > 200$	RELIABLE
A0	H/V peak amplitude @ f0 (Hz)		7.473	iii	$sA(f) < 2$	RELIABLE
	max amplitude @ f0		10.570	Criteria for a clear H/V peak		
	min amplitude @ f0		6.750	i	exist $f' \in [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f') < A_0/2$	CLEAR
$\sigma A(f)$	standard deviation of A (H/V)		0.903	ii	exist $f' \in [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f') < A_0/2$	CLEAR
				iii	$A_0 > 2$	CLEAR
				iv	$f_{peak} [AH/V(f) - \sigma A(f)] = f \pm 5\%$	UNCLEAR
5%f0			0.329	v	$\sigma f > \xi(f_0)$	UNCLEAR
				vi	$\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$	CLEAR
sigf	standard dev of H/V peak frequency		0.480	Analysis response		
f0/4			1.645	Verified H/V reliable curve		
f0*4			26.326	Unclear peak according Guidelines		

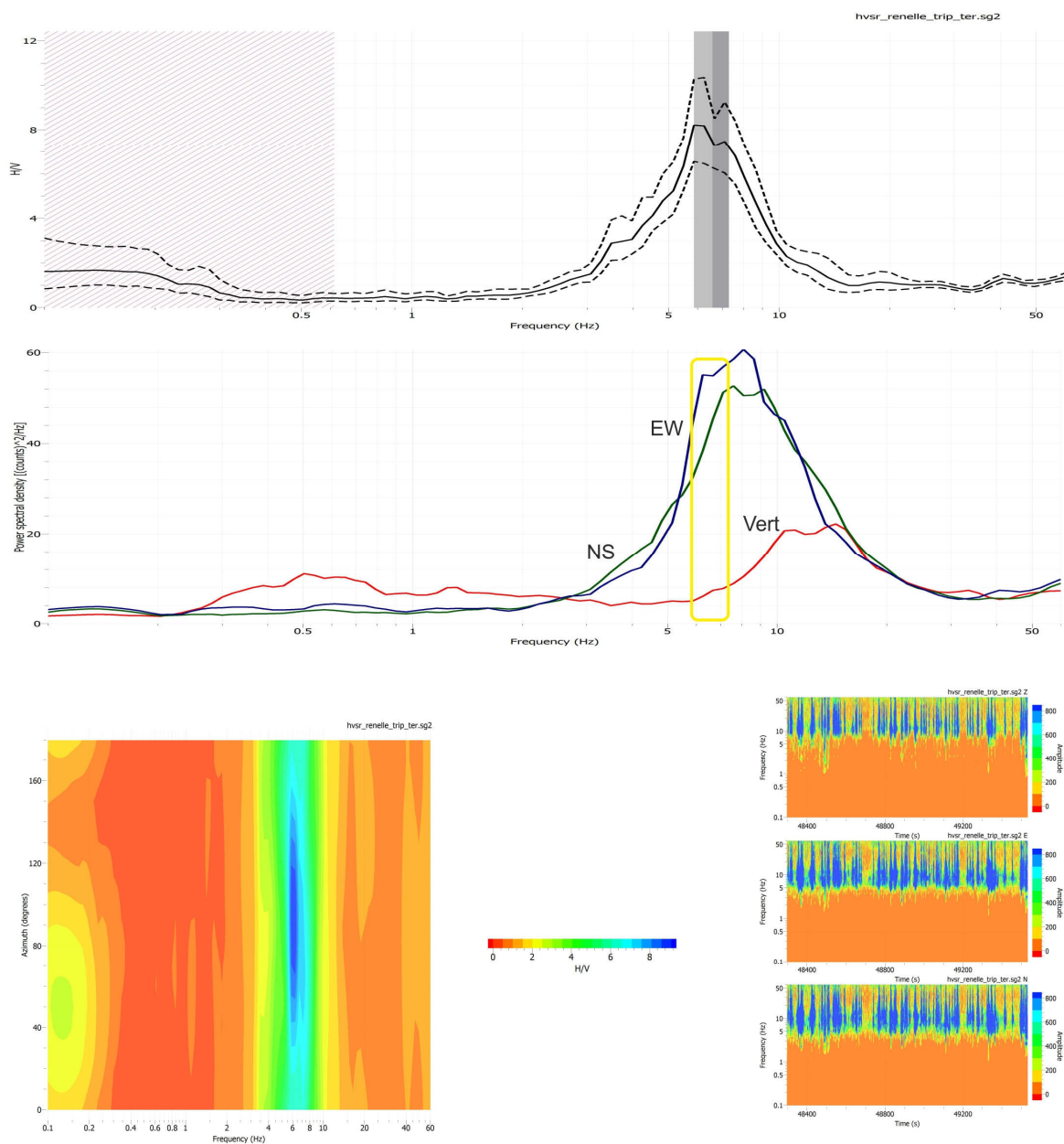


Figura 10 – Scheda di sintesi Hvsr N4.

Hvsr N7

La quinta misura, eseguita a Donnalucata, ha restituito uno spettro H/V che mostra un picco ampio (*broad peak*, SESAME 2004) statisticamente poco significativo.

La frequenza centrale è pari a 4,59 Hz, con un fattore di amplificazione pari a 2,19 (fig. 11).

Presenta caratteristiche di media stazionarietà e bassa isotropia; è classificabile come Classe C secondo la classificazione di Albarello & Castellaro (2011): di difficile interpretazione, va confrontata e verificata con altre misure attigue.

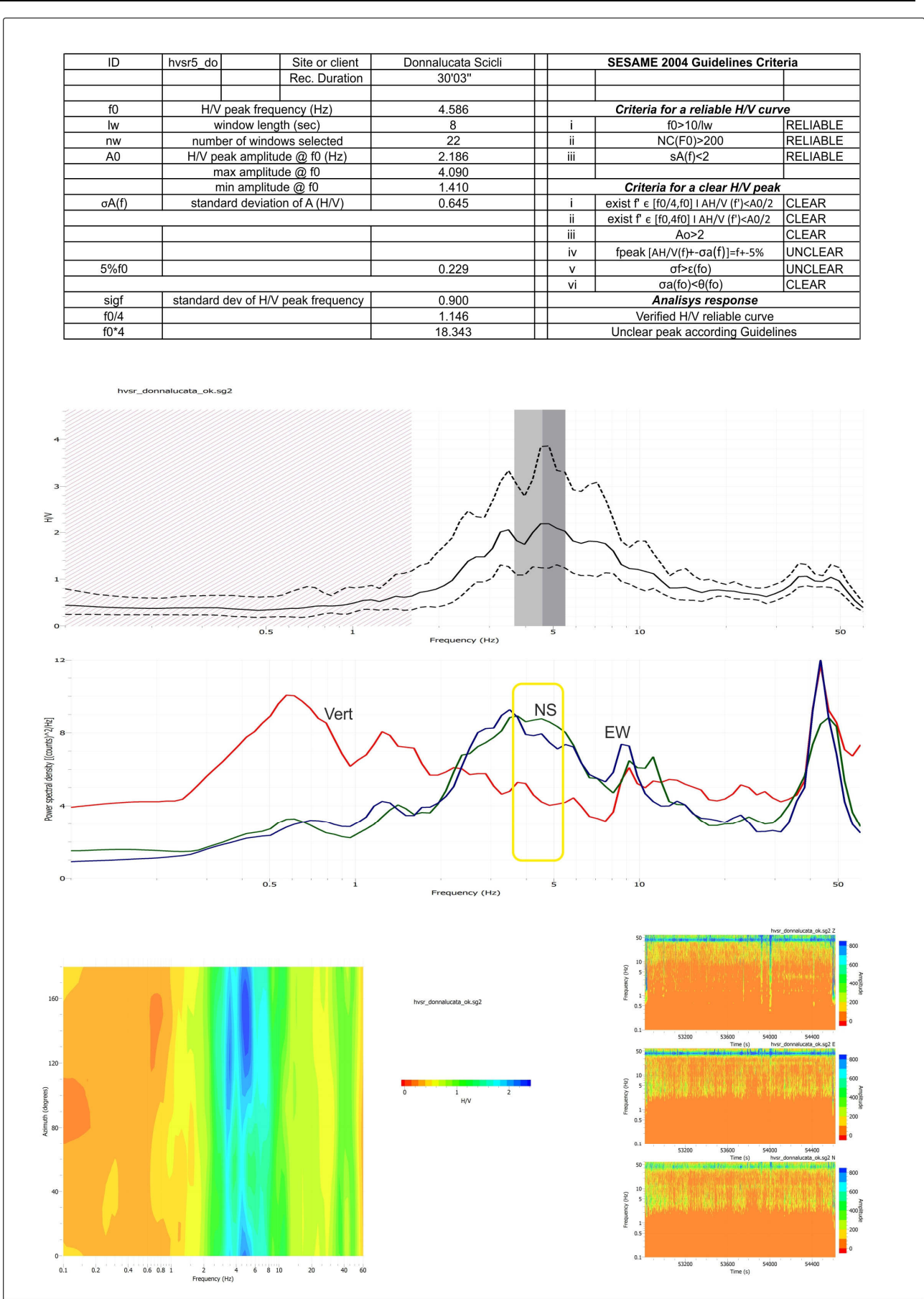


Figura 11 – Scheda di sintesi Hvsr N7.

Hvsr N5

La sesta misura è stata eseguita a Cava D'Aliga, verifica i criteri di affidabilità SESAME ma non quelli per la definizione di un picco chiaro, poiché verifica solo quattro delle sei condizioni previste (fig. 12).

Tuttavia, così come evidenziato per le precedenti misure hvsr01 e hvsr02, il picco misurato ($f_0 = 10,13$ Hz e $A_0 = 4,88$ H/V) evidenzia caratteristiche di stazionarietà e isotropia.

La misura è pertanto classificabile come Classe A secondo la classificazione di Albarello & Castellaro (2011): affidabile e interpretabile.

ID	hvsr6_ca	Site or client	Cavadaliga Scicli	SESAME 2004 Guidelines Criteria	
		Rec. Duration	27'29"		
f0	H/V peak frequency (Hz)	10.128	Criteria for a reliable H/V curve		
lw	window length (sec)	12	i	$f_0 > 10/lw$	RELIABLE
nw	number of windows selected	19	ii	$NC(F_0) > 200$	RELIABLE
A0	H/V peak amplitude @ f0 (Hz)	4.880	iii	$sA(f) < 2$	RELIABLE
	max amplitude @ f0	5.510	Criteria for a clear H/V peak		
	min amplitude @ f0	4.100	i	exist $f' \in [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f') < A_0/2$	CLEAR
$\sigma A(f)$	standard deviation of A (H/V)	0.886	ii	exist $f' \in [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f') < A_0/2$	CLEAR
			iii	$A_0 > 2$	CLEAR
			iv	$f_{peak} [AH/V(f) \pm \sigma A(f)] = f \pm 5\%$	UNCLEAR
5% f_0		0.506	v	$\sigma f > \epsilon(f_0)$	UNCLEAR
			vi	$\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$	CLEAR
sigf	standard dev of H/V peak frequency	1.000	Analysis response		
f0/4		2.532	Verified H/V reliable curve		
f0*4		40.514	Unclear peak according Guidelines		

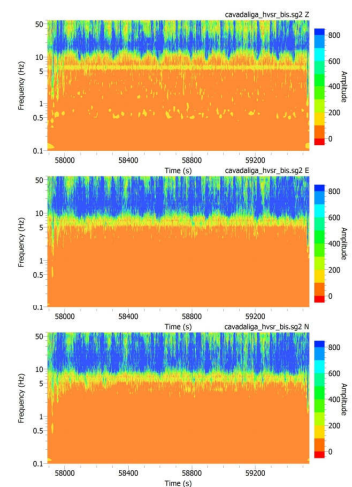
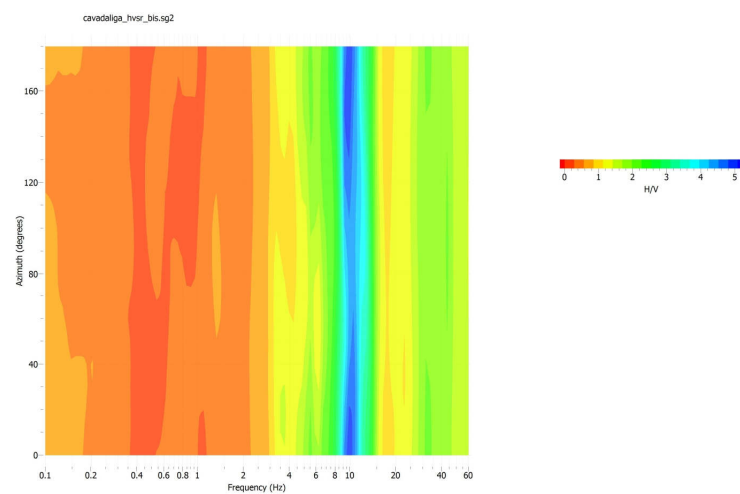
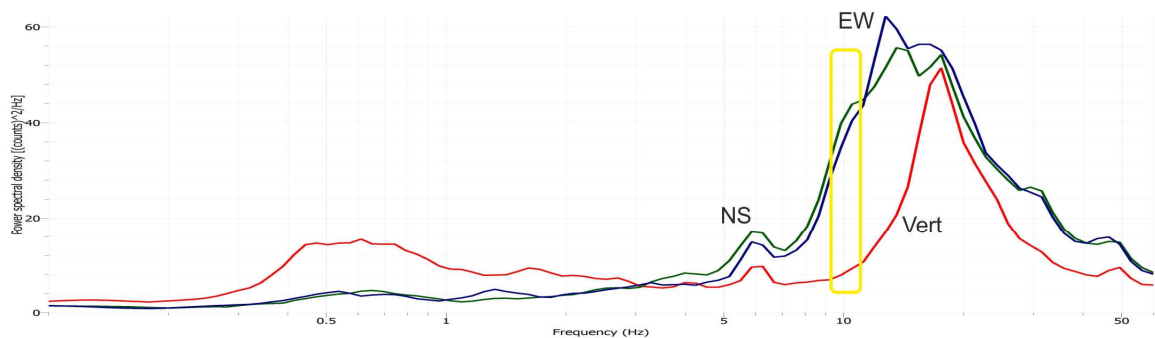
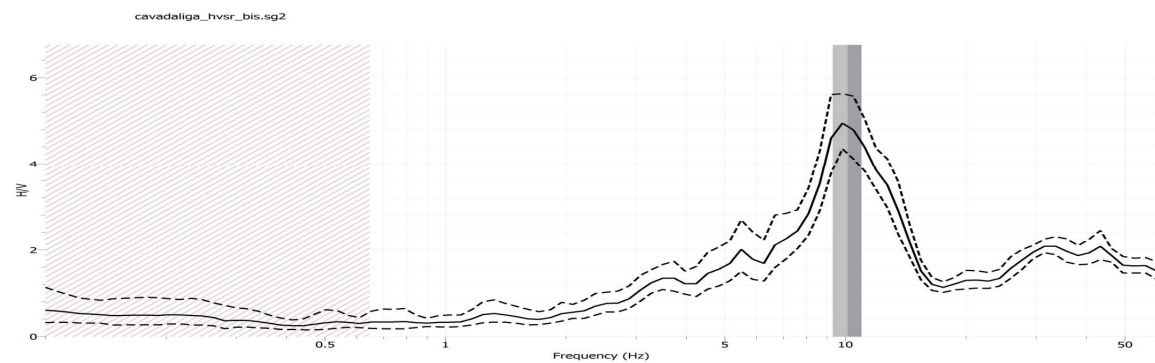


Figura 12 – Scheda di sintesi Hvsr N5.

Hvsr N10

La settima misura è stata eseguita presso il centro storico di Scicli.

Il campionamento ha restituito uno spettro H/V che mostra un doppio picco (Fig. 13), così come nella misura hvsr02).

Le caratteristiche dei due picchi sono le seguenti:

- $f_0 = 27,48$ Hz e $A_0 = 2,56$ H/V;
- $f_1 = 1,42$ Hz e $A_1 = 1,33$ H/V

I due picchi presentano scarsa significatività, poiché il principale è esterno alla banda di frequenza di interesse ingegneristico e il secondo mostra un fattore di amplificazione inferiore a n. 2 unità H/V; entrambi inoltre mostrano bassa isotropia e/o stazionarietà.

La curva è classificabile come Classe C secondo la classificazione di Albarello & Castellaro (2011): di difficile interpretazione, va confrontata e verificata con altre misure attigue.

ID	hvsr7_sc	Site or client	Scicli Centro	SESAME 2004 Guidelines Criteria	
		Rec. Duration	28'38"		
f0	H/V peak frequency (Hz)	27.483		Criteria for a reliable H/V curve	
lw	window length (sec)	12		i	f0>10/lw
nw	number of windows selected	19		ii	NC(F0)>200
A0	H/V peak amplitude @ f0 (Hz)	2.557		iii	sA(f)<2
	max amplitude @ f0	3.250			
	min amplitude @ f0	2.010			
σA(f)	standard deviation of A (H/V)	0.787		Criteria for a clear H/V peak	
				i	exist f' ∈ [f0/4,f0] AH/V (f')<A0/2
				ii	exist f' ∈ [f0,4f0] AH/V (f')<A0/2
				iii	A0>2
				iv	fpeak [AH/V(f)+σA(f)]=f±5%
5%f0		1.374		v	σf>ε(f0)
				vi	σA(f0)<θ(f0)
sigf	standard dev of H/V peak frequency	2.220		Analysis response	
f0/4		6.871		Verified H/V reliable curve	
f0*4		109.933		Unclear peak according Guidelines	

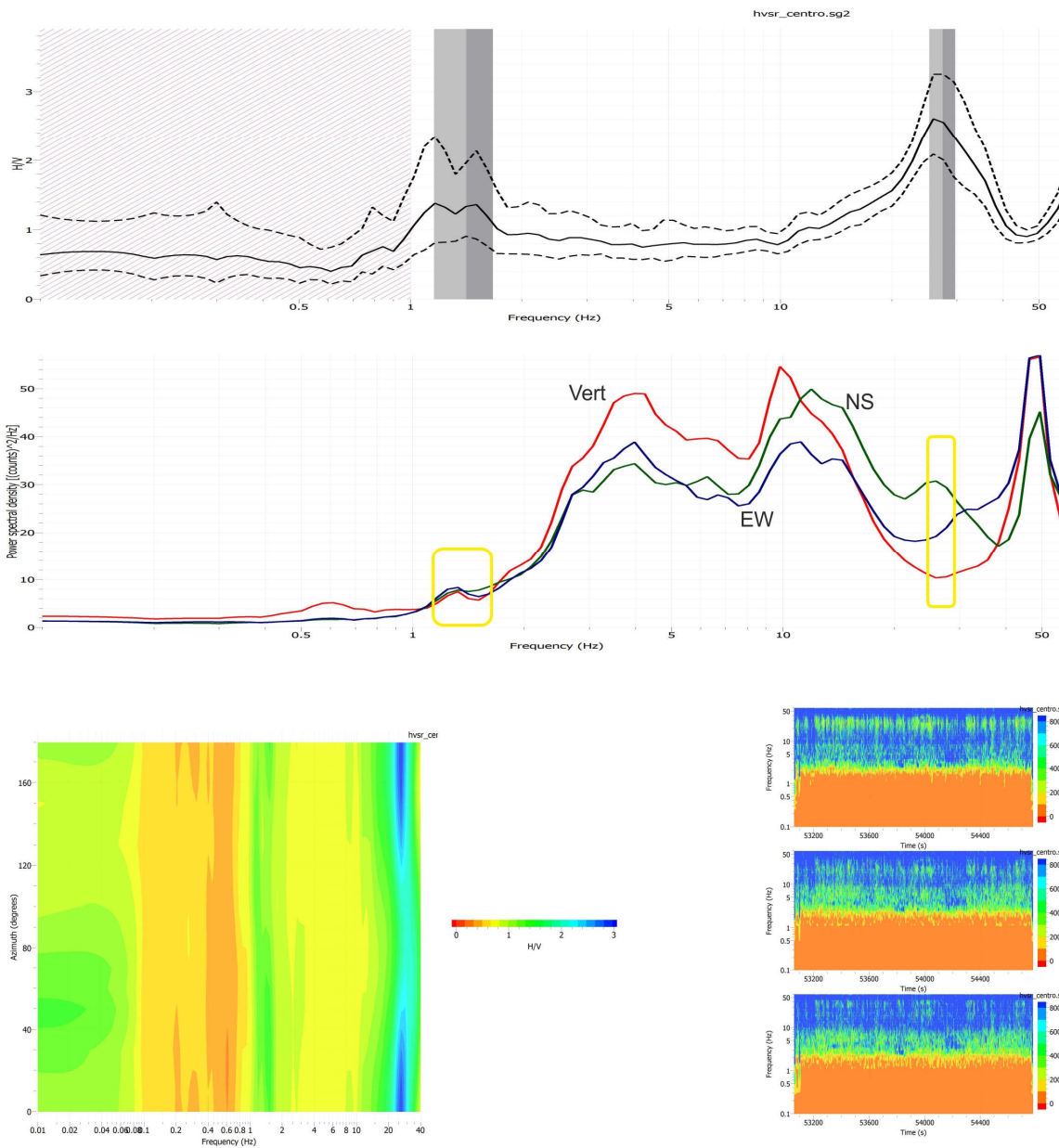


Figura 13 – Scheda di sintesi Hvsr N10.

Hvsr N6

L'ultima misura è stata eseguita in C.da Fumarie e ha restituito uno spettro H/V pressoché piatto, sebbene derivante da materiali di copertura (*Flat H/V Ratio Curves [on sediments]*; SESAME 2004).

L'unico picco rilevato (Fig. 14) è presente al di fuori dell'intervallo di frequenza di interesse ($f_0 = 53,65$ Hz e $A_0 = 1,70$ H/V).

La curva è classificabile come Classe C secondo la classificazione di Albarello & Castellaro (2011): di difficile interpretazione, va confrontata e verificata con altre misure attigue.

ID	hvsr8_fu	Site or client	C.da Fumarie Scicli	SESAME 2004 Guidelines Criteria		
		Rec. Duration	20'15"			
f0	H/V peak frequency (Hz)		53.647	Criteria for a reliable H/V curve		
lw	window length (sec)		20	i	$f_0 > 10/lw$	RELIABLE
nw	number of windows selected		20	ii	$NC(F_0) > 200$	RELIABLE
A0	H/V peak amplitude @ f0 (Hz)		1.696	iii	$sA(f) < 2$	RELIABLE
	max amplitude @ f0		1.860	Criteria for a clear H/V peak		
	min amplitude @ f0		1.590			
$\sigma A(f)$	standard deviation of A (H/V)		0.937	i	exist $f' \in [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f') < A_0/2$	CLEAR
				ii	exist $f' \in [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f') < A_0/2$	UNCLEAR
				iii	$A_0 < 2$	UNCLEAR
				iv	$f_{peak} [AH/V(f) + \sigma A(f)] = f \pm 5\%$	UNCLEAR
5%f0			2.682	v	$\sigma f > \varepsilon(f_0)$	UNCLEAR
				vi	$\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$	CLEAR
sigf	standard dev of H/V peak frequency		2.780	Analysis response		
f0/4			13.412	Verified H/V reliable curve		
f0*4			214.590	Unclear peak according Guidelines		

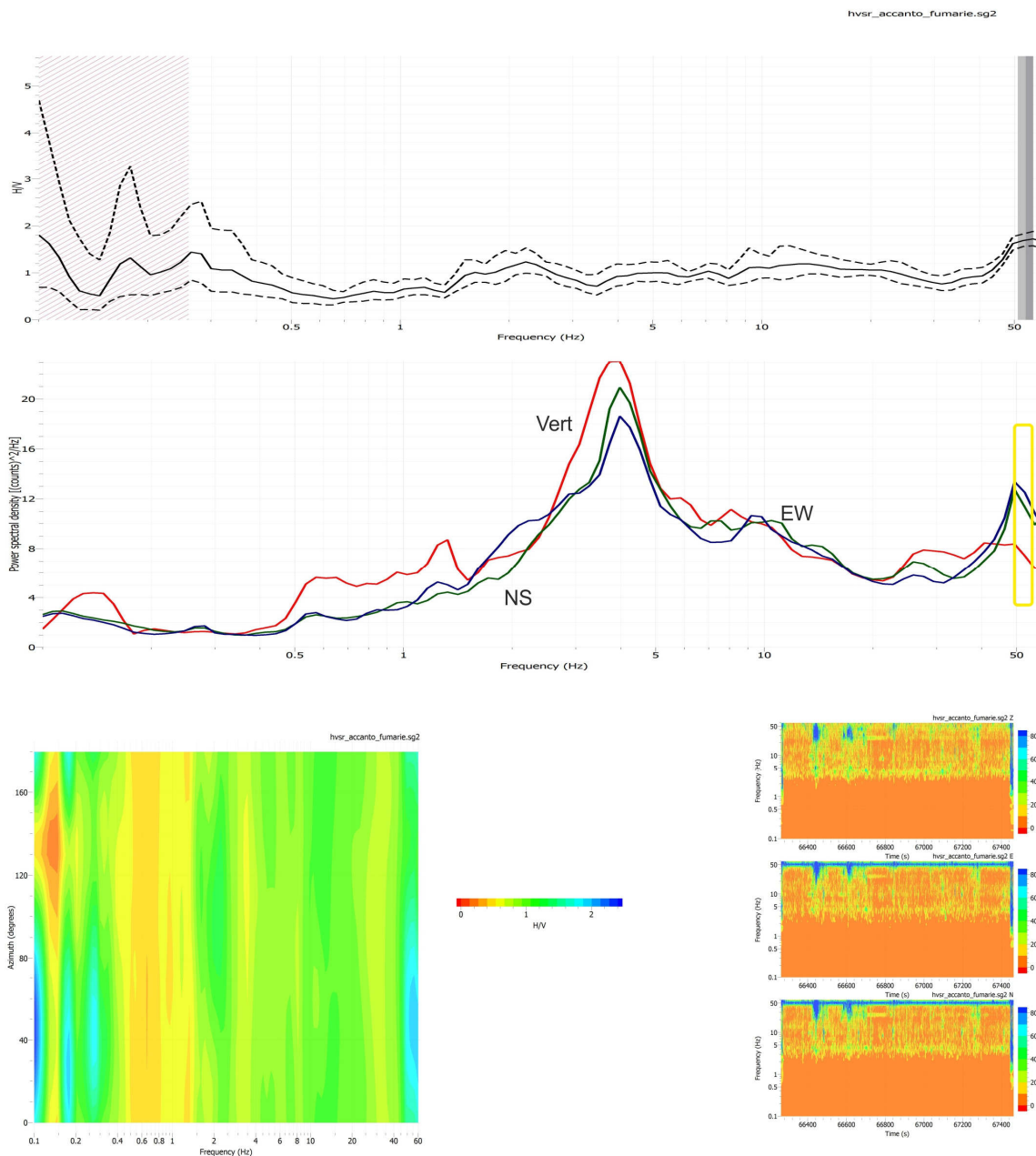


Figura 14 – Scheda di sintesi Hvsr N6.

Hvsr N1

La nona misura, eseguita in C.da San Biagio, ha restituito uno spettro H/V che mostra un picco ampio (*broad peak*, SESAME 2004) costituito da n. 3 picchi secondari (fig. 15).

- $f_0 = 1,38$ Hz e $A_0 = 2,10$ H/V;

- $f_1 = 2,53$ Hz e $A_1 = 1,81$ H/V

- $f_2 = 4,26$ Hz e $A_2 = 2,04$ H/V

Un quarto picco è esterno alla banda di frequenza di interesse ingegneristico.

La frequenza a maggiore fattore di amplificazione presenta caratteristiche di bassa stazionarietà e bassa isotropia; è classificabile come Classe C secondo la classificazione di Albarello & Castellaro (2011): di difficile interpretazione, va confrontata e verificata con altre misure attigue.

ID	hvsr9_sb	Site or client	C.da San Biagio	SESAME 2004 Guidelines Criteria	
		Rec. Duration	32'26"		
f0	H/V peak frequency (Hz)		1.385	Criteria for a reliable H/V curve	
lw	window length (sec)		10	i	f0>10/lw
nw	number of windows selected		112	ii	NC(F0)>200
A0	H/V peak amplitude @ f0 (Hz)		2.102	iii	sA(f)<2
	max amplitude @ f0		3.530		
	min amplitude @ f0		1.250		
σA(f)	standard deviation of A (H/V)		0.596	Criteria for a clear H/V peak	
				i	exist f' ∈ [f0/4, f0] AH/V (f')<A0/2
				ii	exist f' ∈ [f0, 4f0] AH/V (f')<A0/2
				iii	A0>2
				iv	fpeak [AH/V(f)±σA(f)]=f±5%
5%f0			0.069	v	σf>ε(f0)
				vi	σA(f0)<θ(f0)
sigf	standard dev of H/V peak frequency		0.150	Analysis response	
f0/4			0.346	Verified H/V reliable curve	
f0*4			5.539	Unclear peak according Guidelines	

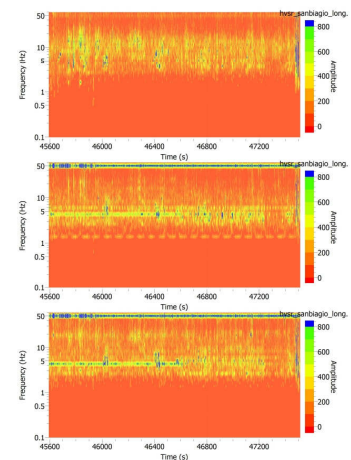
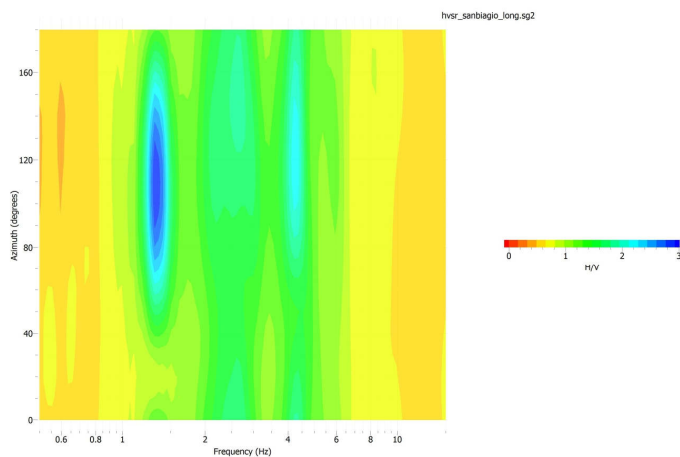
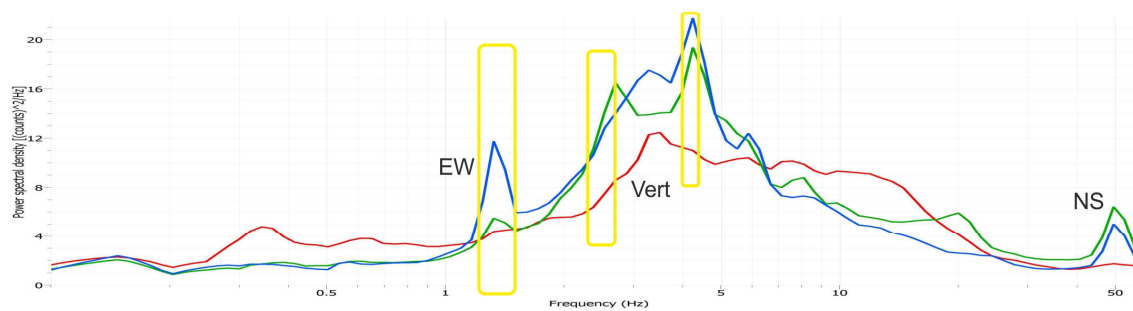
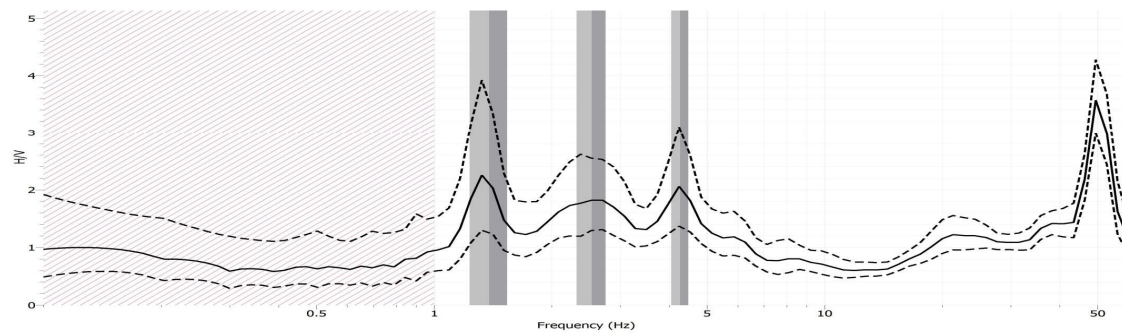


Figura 15 – Scheda di sintesi Hvsr N1.

Hvsr N2

L'ultima misura è stata eseguita in C.da Spana, ed ha restituito uno spettro H/V che mostra un picco mediamente ampio, con fattore di amplificazione appena superiore a 2 H/V (fig. 16).

La frequenza centrale è pari a 4,88 Hz, con un fattore di amplificazione pari a 2,07; la curva presenta caratteristiche di limitata stazionarietà e bassa isotropia.

La curva è pertanto inquadrabile in Classe C secondo la classificazione di Albarello & Castellaro (2011): di difficile interpretazione, va confrontata e verificata con altre misure attigue.

ID	hvsr10_spa	Site or client	C.da Spana	SESAME 2004 Guidelines Criteria	
		Rec. Duration	25'32"		
f0	H/V peak frequency (Hz)	4.881		Criteria for a reliable H/V curve	
lw	window length (sec)	15		i	f0>10/lw
nw	number of windows selected	37		ii	NC(F0)>200
A0	H/V peak amplitude @ f0 (Hz)	2.069		iii	sA(f)<2
	max amplitude @ f0	2.750			
	min amplitude @ f0	1.550			
σA(f)	standard deviation of A (H/V)	0.752		Criteria for a clear H/V peak	
				i	exist f' ∈ [f0/4,f0] AH/V (f')<A0/2
				ii	exist f' ∈ [f0,4f0] AH/V (f')<A0/2
				iii	A0>2
				iv	fpeak [AH/V(f)±σA(f)]=f±5%
5%f0		0.244		v	σf>ε(f0)
				vi	σA(f0)<θ(f0)
sigf	standard dev of H/V peak frequency	0.780		Analysis response	
f0/4		1.220		Verified H/V reliable curve	
f0*4		19.524		Unclear peak according Guidelines	

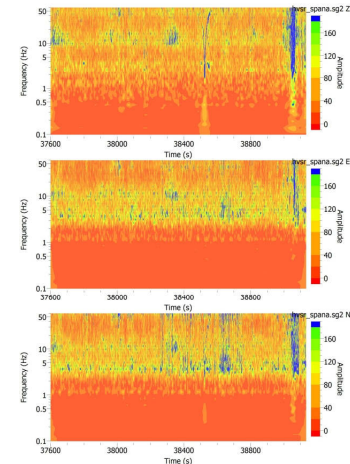
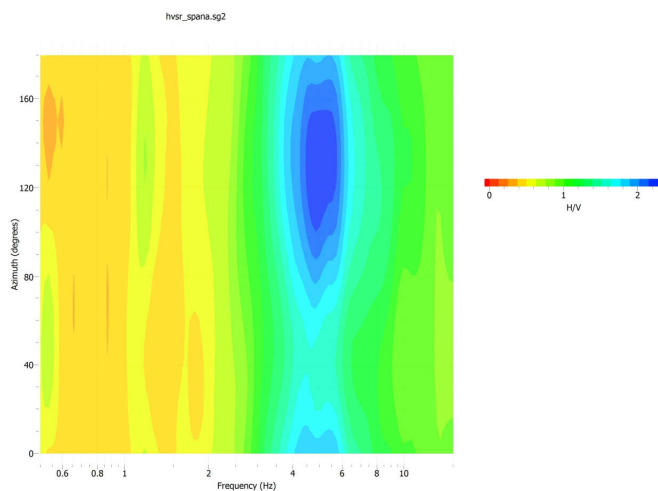
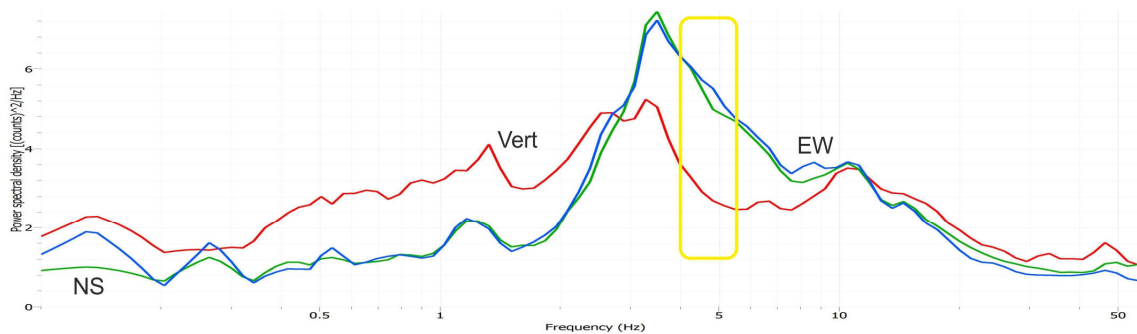
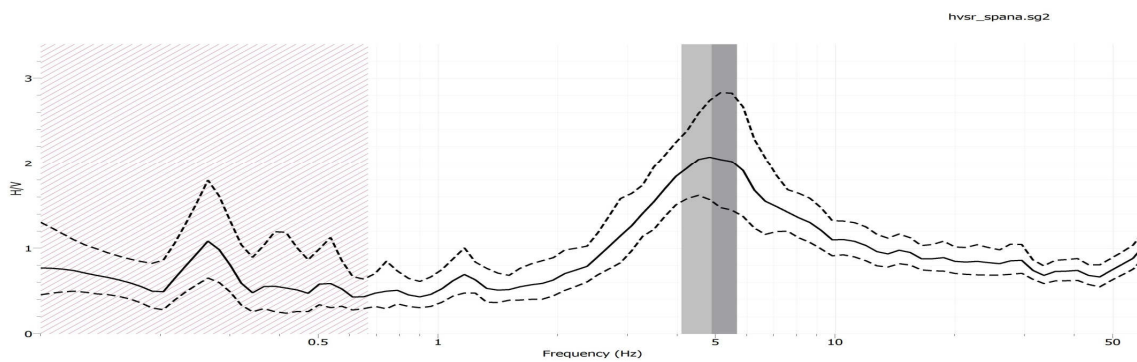


Figura 16 – Scheda di sintesi Hvsr N2.

4. MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle stesse. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. Quindi, nel caso di un mezzo eterogeneo, le onde superficiali non hanno una singola velocità, ma diverse velocità di fase in corrispondenza delle diverse frequenze: tale fenomeno, dipendente dalla distribuzione spaziale delle proprietà sismiche del sottosuolo, è noto come dispersione geometrica e la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase viene restituita attraverso la cosiddetta curva di dispersione. Alle alte frequenze, la velocità di fase coincide con la velocità delle onde di Rayleigh dello strato più superficiale, mentre, alle basse frequenze, l'effetto degli strati più profondi diventa importante e la velocità di fase tende asintoticamente alla velocità dello strato più profondo, come se questo fosse esteso infinitamente in profondità. La curva di dispersione gioca un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di Rayleigh ai fini della caratterizzazione dei terreni, infatti, è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo e può essere utilizzata, attraverso un processo di inversione, per la stima delle caratteristiche di rigidità.

Il processo di calcolo dell'indagine sismica attiva attraverso onde di superficie può essere ricondotto in quattro fasi:

- la trasformazione delle serie temporali registrate dai diversi sensori nel dominio frequenza f – numero d'onda K ;
- individuazione delle coppie f - k cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale), che consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano V_{fase} (m/sec) – frequenza (Hz);
- calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p , la densità γ degli strati che costituiscono il modello del suolo;

- modifica della curva teorica fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo.

Di seguito si riporta un diagramma di flusso riepilogativo delle procedure di calcolo (fig. 17).

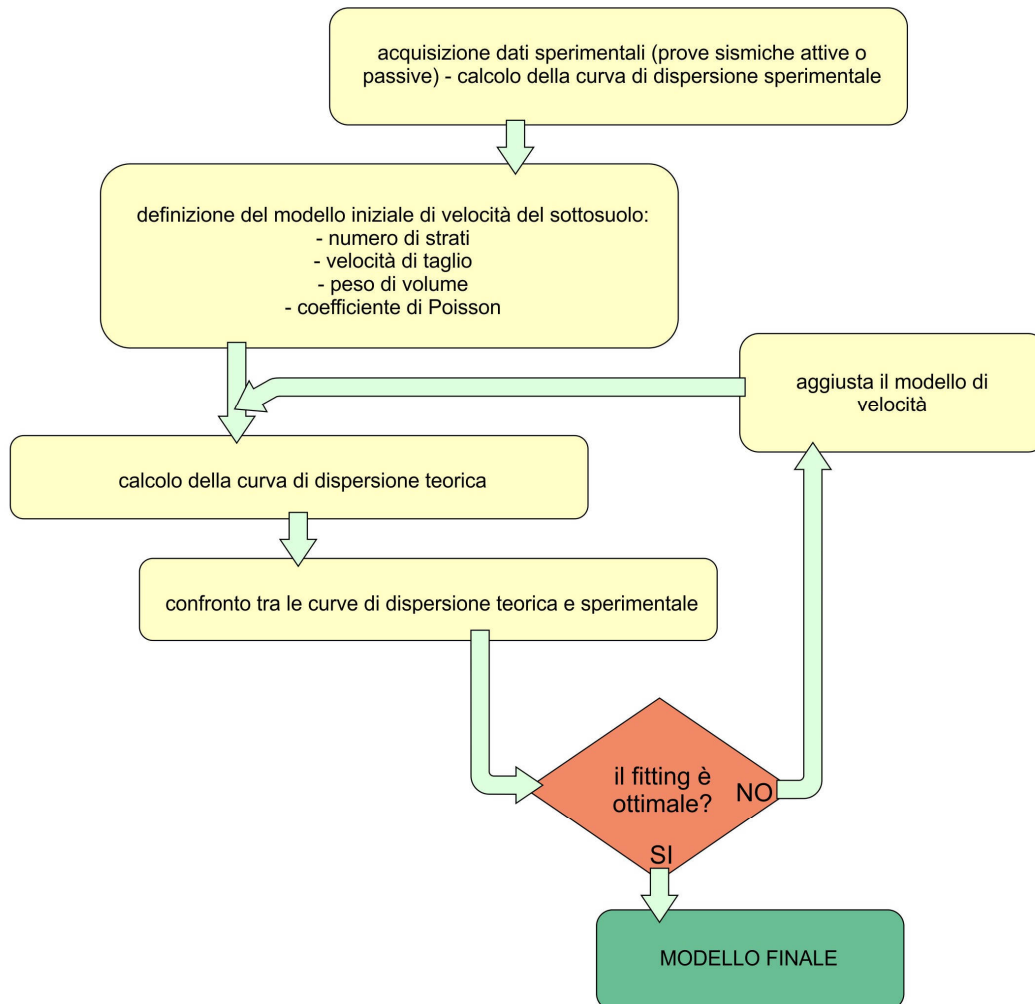


Figura 17 – Diagramma di flusso processo elaborazione prove MASW.

Acquisizione dei dati

Di seguito si descrivono la strumentazione e le modalità di acquisizione dati.

Strumentazione e configurazione geometrica utilizzata.

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale M.A.E. Sysmatrack®, avente le seguenti caratteristiche tecniche :

- capacità di campionamento dei segnali tra 0.002 e 0.00003 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del “tempo zero” (*time break*)
- filtri High Pass e Band Reject
- “Automatic Gain Control”
- convertitore A/D a 24 bit
- 24 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;
- massa battente di 10 Kg.

La configurazione spaziale in sito per la prova attiva è equivalente ad un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "base distante in linea".

Metodo delle onde superficiali: prove attive

Stima della curva di dispersione dai dati

Le serie temporali acquisite vengono trasformate in dominio f-k (frequenza f – numero d’onda k) tramite una doppia trasformata di Fourier e la curva di dispersione è ricavata con la ricerca coppie f-k cui corrispondono i massimi spettrali d’energia: per ogni frequenza f il picco spettrale è associato ad un determinato valore del numero d’onda k, che attraverso la (1) consentono di risalire alla curva di dispersione (Figura 19) delle onde di Rayleigh nel piano V_{fase} (m/sec) – frequenza (Hz).

$$V_R(\omega) = \frac{2\pi f}{k_{MAX}} \quad (1)$$

Inoltre, al fine verificare l’andamento della curva di dispersione di acquisizione attiva alle basse frequenze, è stata eseguita una prova passiva sullo stesso allineamento.

Inversione della curva di dispersione

Il processo d'inversione consiste nel calcolare la curva di dispersione teorica partendo dal modello geologico del sottosuolo. Tale modello, fornito dal Geologo incaricato sulla base delle conoscenze geologiche dell'area, viene esemplificato in un modello equivalente costituito da strati piano-paralleli ciascuno di essi parametrizzato in termini di spessore (H), di velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s), ecc. E' un calcolo iterativo, cioè parte da un modello iniziale di velocità di taglio che viene di volta in volta modificato fino a quando la curva di dispersione sperimentale e quella teorica raggiungono una sovrapposizione ottimale.

L'inversione del modello di velocità iniziale permette di ottenere una serie di curve di dispersione teoriche (l'analisi di dispersione delle onde di superficie presenta intrinsecamente il problema della *non-univocità della soluzione*: a modelli diversi possono corrispondere curve di dispersione pressoché uguali); pertanto, tra queste viene scelta quella che ha il minore scarto quadratico medio in relazione al *mantenimento delle condizioni sismostratigrafiche di partenza*, ovvero del modello geologico fornito.

Alla curva individuata, corrisponde un modello di velocità del sito.

Di seguito si riportano i dati derivanti dall'elaborazione delle prove MASW eseguite e i relativi modelli di velocità delle onde di taglio V_s .

MASW M10

La prova è stata eseguita presso la periferia nord del centro abitato di Scicli.

Di seguito si riportano le serie temporali acquisite (fig. 18).

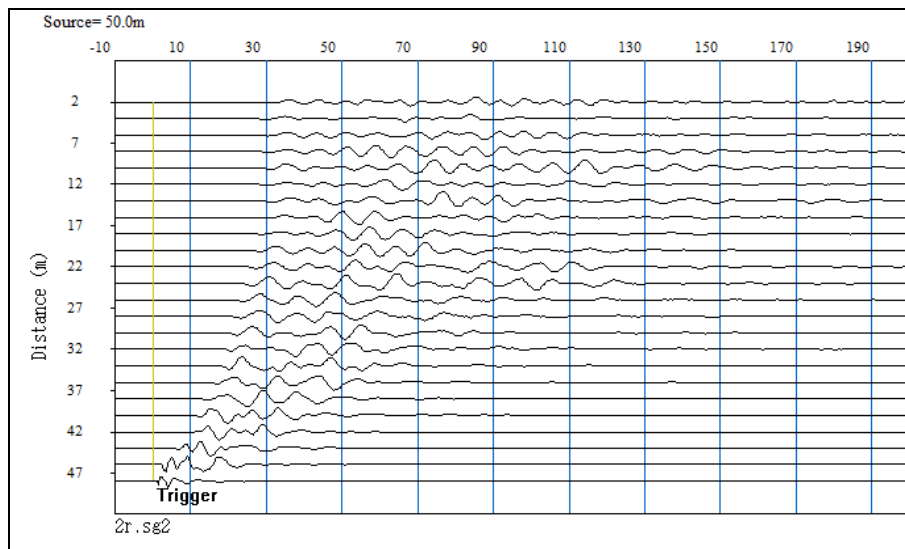


Figura 18 - Serie temporali prova MASW M10.

Le serie temporali acquisite trasformate in dominio f-k (frequenza f – numero d'onda k) hanno restituito la curva di dispersione ricavata con la ricerca coppie f-k cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (fig. 19).

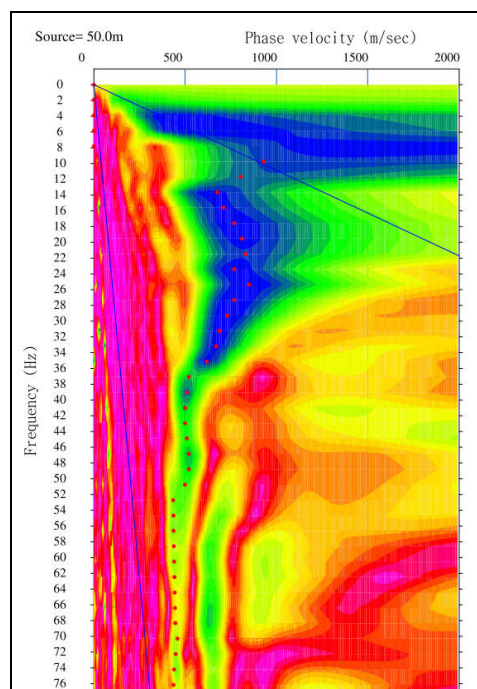


Figura 19 - Curva di dispersione prova MASW M10.

La fig. 20 mostra la sovrapposizione tra la curva sperimentale e quella teorica alla fine del processo iterativo di inversione.

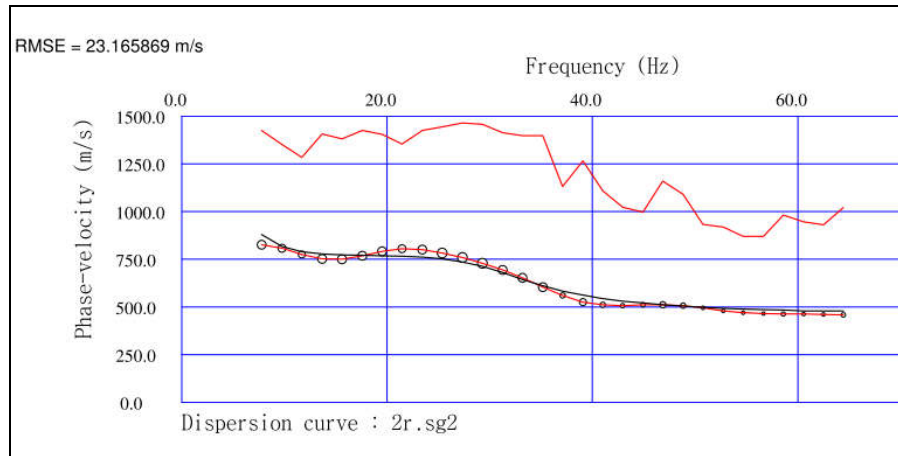


Figura 20– Risultato dell’inversione - sovrapposizione tra la curve di dispersione sperimentale (in rosso, in basso) e quella teorica (in nero). In rosso nella parte superiore la curva di qualità (relativa, legata al rapporto segnale/rumore).

Alla curva individuata, corrisponde un modello di velocità del sito, restituito in fig. 21.

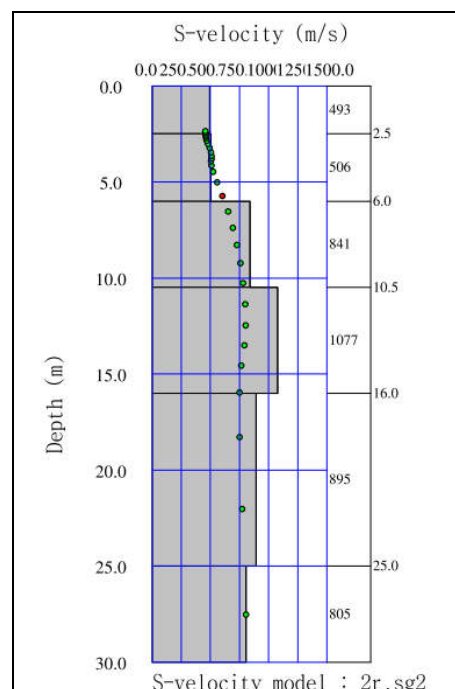


Figura 21 – Modello di velocità del sito per la prova MASW M10.

Di seguito si allega scheda riassuntiva della prova.

ID Masw	17_19/a
Località	perif. Nord Scicli
Numero di ricevitori	24
Spazio intergeofonico (m)	2
Lunghezza linea sismica (m)	48
Numero di acquisizioni attive	2
Intervallo campionamento (ms)	0,5
Acquisizioni passive	1
Strati del modello di inversione	6
Profondità presunta falda (m)	20÷25 ca.
Presenza inversioni di velocità	si

Sismostrato	Profondità tetto (m)	Spessore H (m)	Vs (m/s)	H/V (sec)
1	0,00	2,50	493,00	0,005071
2	2,50	3,50	506,00	0,006917
3	6,00	4,50	841,00	
4	10,50	5,50	1077,00	
5	16,00	9,00	895,00	
6	25,00	5,00	805,00	

MASW M5

Di seguito si riportano le serie temporali acquisite (fig. 22).

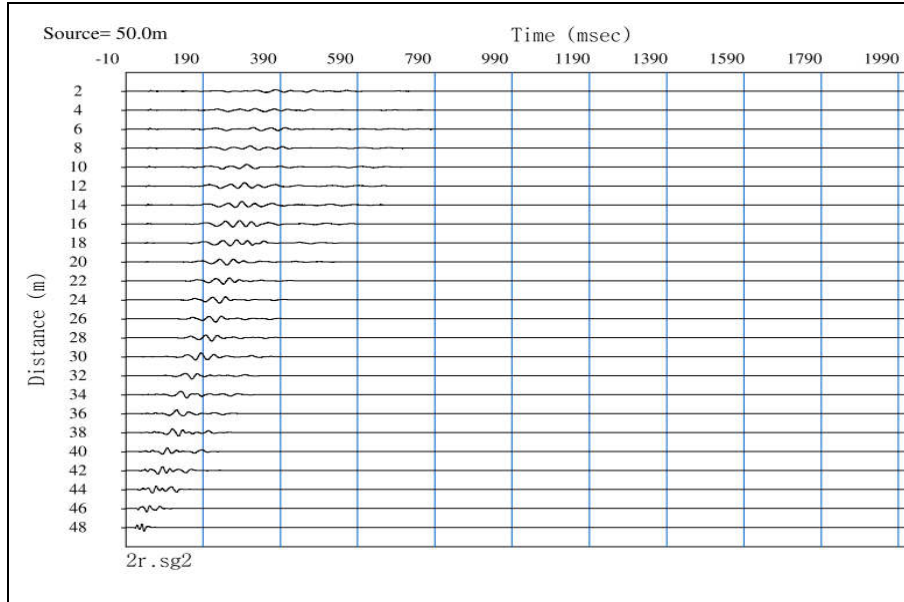


Figura 22 - Serie temporali prova MASW M5.

Le serie temporali acquisite trasformate in dominio f-k (frequenza f – numero d'onda k) hanno restituito la curva di dispersione ricavata con la ricerca coppie f-k cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (fig. 23).

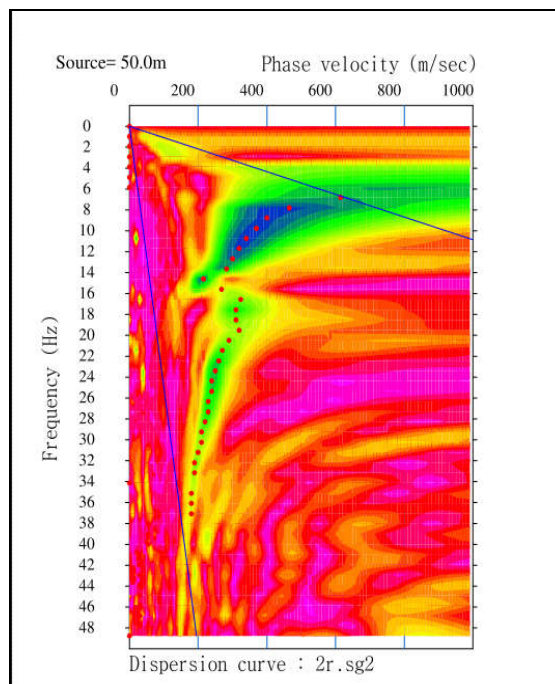


Figura 23 - Curva di dispersione prova MASW M5.

La fig. 24 mostra la sovrapposizione tra la curva sperimentale e quella teorica alla fine del processo iterativo di inversione.

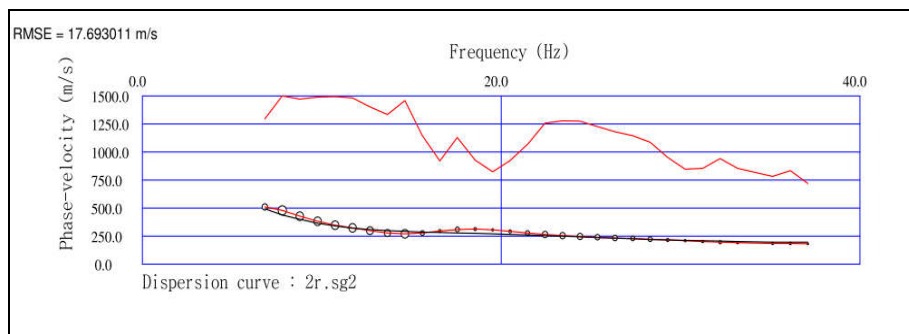


Figura 24– Risultato dell’inversione - sovrapposizione tra la curve di dispersione sperimentale (in rosso, in basso) e quella teorica (in nero). In rosso nella parte superiore la curva di qualità (relativa, legata al rapporto segnale/rumore).

Alla curva individuata, corrisponde un modello di velocità del sito, restituito in fig. 25.

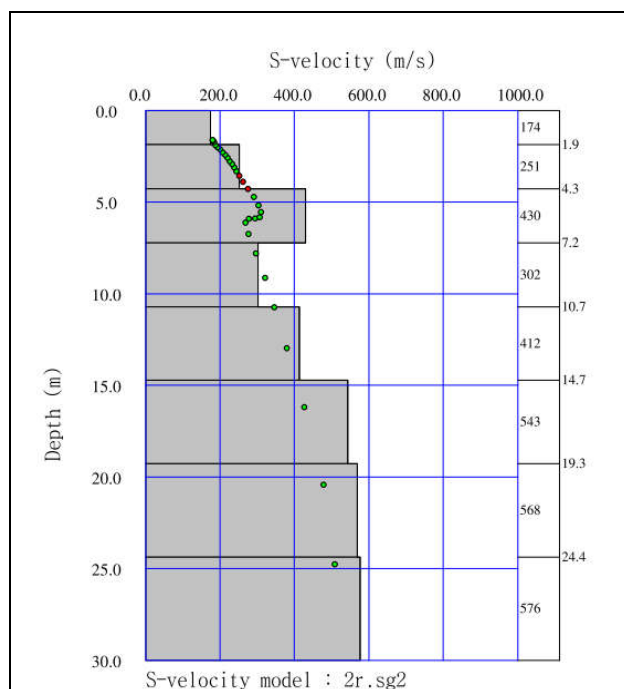


Figura 25 – Modello di velocità del sito per la prova MASW M5.

Di seguito si allega scheda riassuntiva della prova.

ID Masw	17B_19
Località	
Numero di ricevitori	24
Spazio intergeofonico (m)	2
Lunghezza linea sismica (m)	48
Numero di acquisizioni attive	2
Intervallo campionamento (ms)	0,5
Acquisizioni passive	1
Strati del modello di inversione	8
Profondità presunta falda (m)	>40
Presenza inversioni di velocità	si

Sismostrato	Profondità tetto (m)	Spessore H (m)	Vs (m/s)	H/V (sec)
1	0,00	1,90	174,00	0,0109195
2	1,90	2,40	251,00	0,0095618
3	4,30	2,90	430,00	0,0067442
4	7,20	3,50	302,00	0,0115894
5	10,70	4,00	412,00	0,0097087
6	14,70	4,60	543,00	0,0084715
7	19,30	5,10	568,00	0,0089789
8	24,40	5,60	576,00	0,0097222

MASW M3

La prova è stata eseguita in C.da San Biagio.

Di seguito si riportano le serie temporali acquisite (fig. 26).

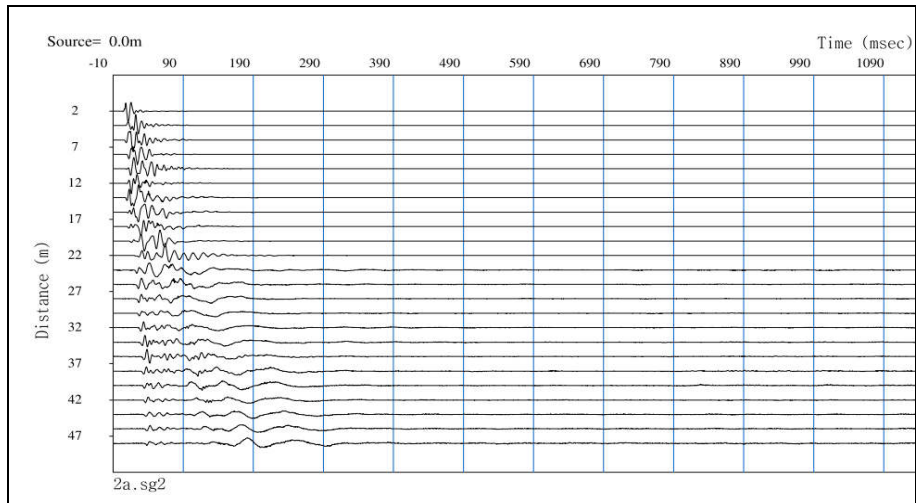


Figura 26 - Serie temporali prova MASW M3.

Le serie temporali acquisite trasformate in dominio f-k (frequenza f – numero d'onda k) hanno restituito la curva di dispersione ricavata con la ricerca coppie f-k cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (fig. 27).

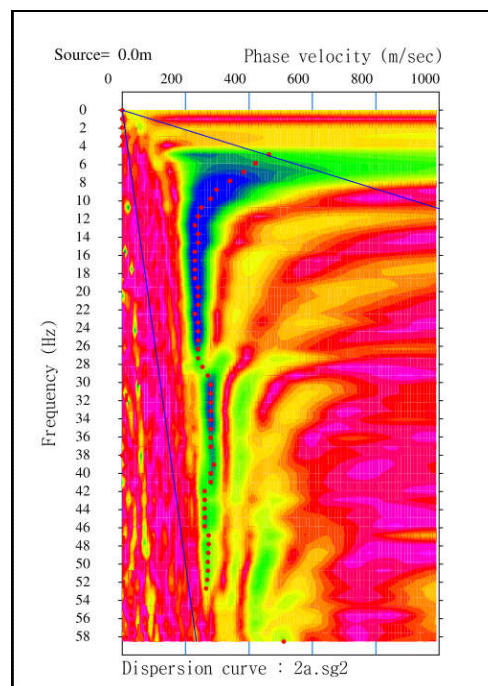


Figura 27 - Curva di dispersione prova MASW M3.

La fig. 28 mostra la sovrapposizione tra la curva sperimentale e quella teorica alla fine del processo iterativo di inversione.

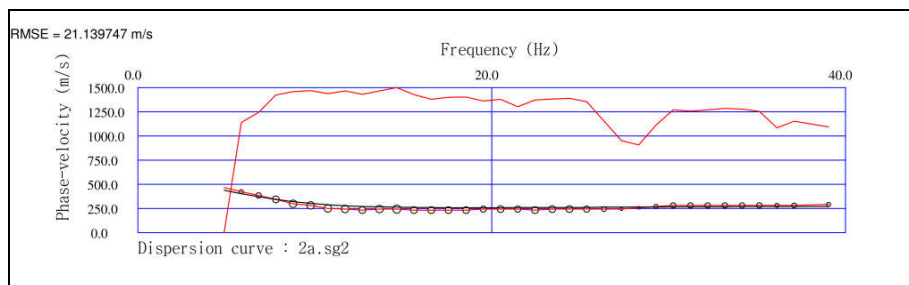


Figura 28– Risultato dell'inversione - sovrapposizione tra la curve di dispersione sperimentale (in rosso, in basso) e quella teorica (in nero). In rosso nella parte superiore la curva di qualità (relativa, legata al rapporto segnale/rumore).

Alla curva individuata, corrisponde un modello di velocità del sito, restituito in fig. 29.

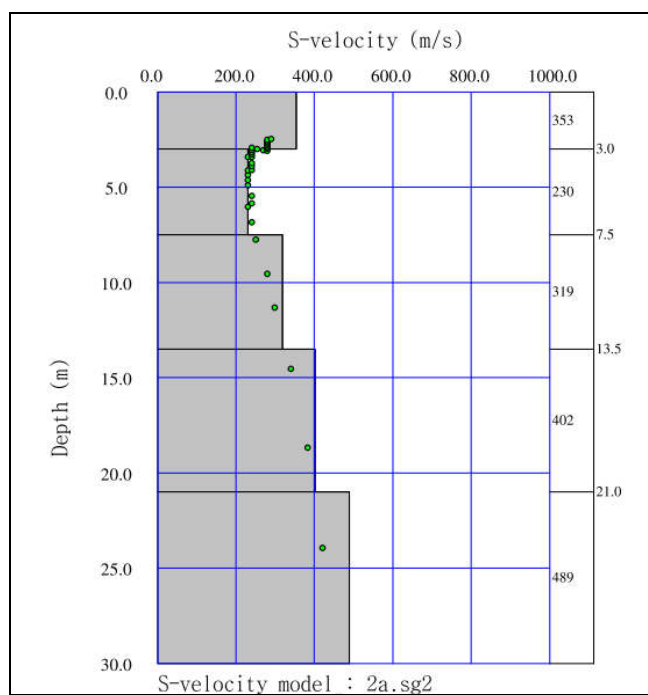


Figura 29 – Modello di velocità del sito per la prova MASW M3.

Di seguito si allega scheda riassuntiva della prova.

ID Masw	17C_19
Località	SAN BIAGIO
Numero di ricevitori	24
Spazio intergeofonico (m)	2
Lunghezza linea sismica (m)	48
Numero di acquisizioni attive	2
Intervallo campionamento (ms)	0,5
Acquisizioni passive	1

Strati del modello di inversione	5
Profondità presunta falda (m)	>40
Presenza inversioni di velocità	SI

Sismostrato	Profondità tetto (m)	Spessore H (m)	Vs (m/s)	H/V (sec)
1	0,00	3,00	353,00	0,0084986
2	3,00	4,50	230,00	0,0195652
3	7,50	6,00	319,00	0,0188088
4	13,50	7,50	402,00	0,0186567
5	21,00	9,00	489,00	0,0184049

MASW M9

La prova è stata eseguita in C.da Bruffalori.

Di seguito si riportano le serie temporali acquisite (fig. 30).

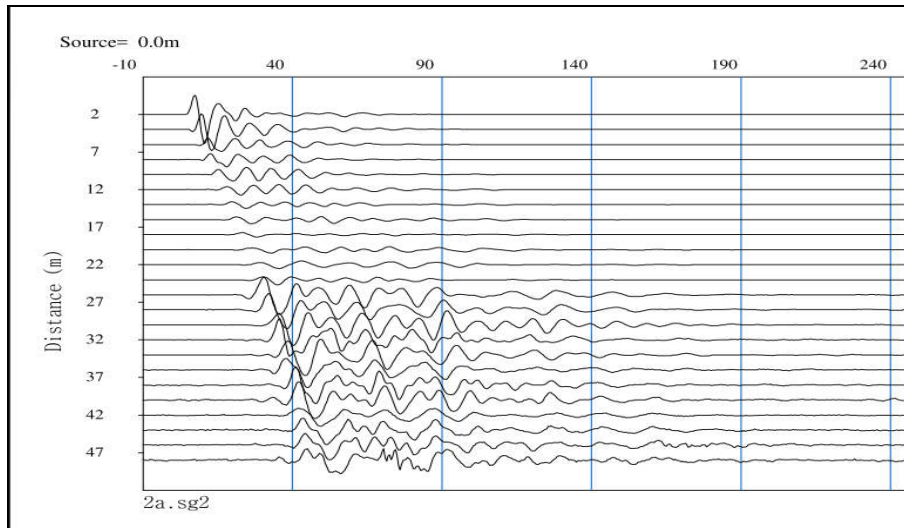


Figura 30 - Serie temporali prova MASW M9.

Le serie temporali acquisite trasformate in dominio f-k (frequenza f – numero d’onda k) hanno restituito la curva di dispersione ricavata con la ricerca coppie f-k cui corrispondono i massimi spettrali d’energia (fig. 31).

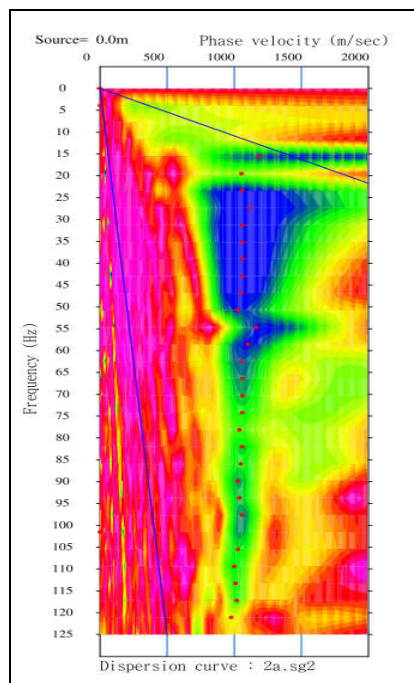


Figura 31 - Curva di dispersione prova MASW M9.

La fig. 32 mostra la sovrapposizione tra la curva sperimentale e quella teorica alla fine del processo iterativo di inversione.

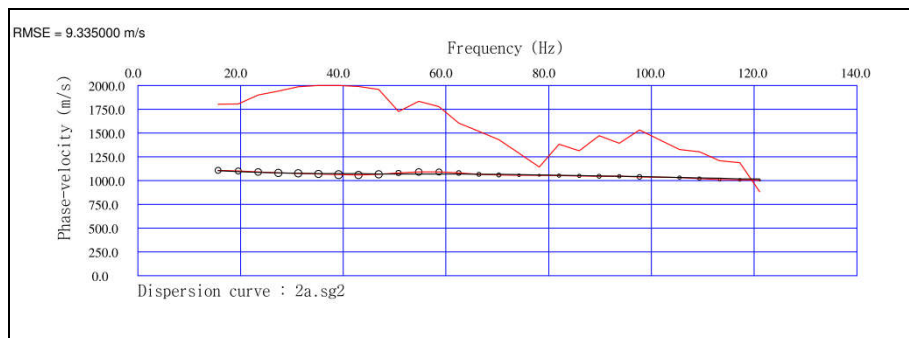


Figura 32– Risultato dell’inversione - sovrapposizione tra la curve di dispersione sperimentale (in rosso, in basso) e quella teorica (in nero). In rosso nella parte superiore la curva di qualità (relativa, legata al rapporto segnale/rumore).

Alla curva individuata, corrisponde un modello di velocità del sito, restituito in fig. 33.

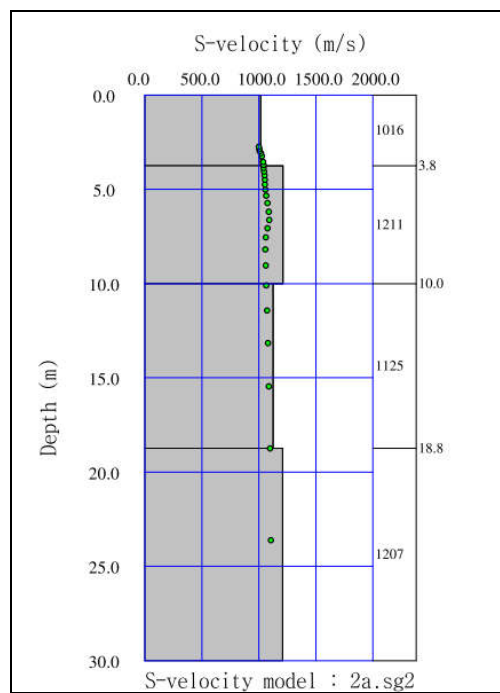


Figura 33 – Modello di velocità del sito per la prova MASW M9.

Di seguito si allega scheda riassuntiva della prova.

ID Masw	17D_19
Località	C. da Bruffalori
Numero di ricevitori	24
Spazio intergeofonico (m)	2
Lunghezza linea sismica (m)	48
Numero di acquisizioni attive	2
Intervallo campionamento (ms)	0,5
Acquisizioni passive	1
Strati del modello di inversione	4
Profondità presunta falda (m)	>40
Presenza inversioni di velocità	0

Sismostrato	Profondità tetto (m)	Spessore H (m)	Vs (m/s)	H/V (sec)
1	0,00	3,75	1016,00	
2	3,75	6,25	1211,00	
3	10,00	8,75	1125,00	
4	18,75	11,25	1207,00	

MASW M8

La prova è stata eseguita in C.da Trippatore.

Di seguito si riportano le serie temporali acquisite (fig. 34).

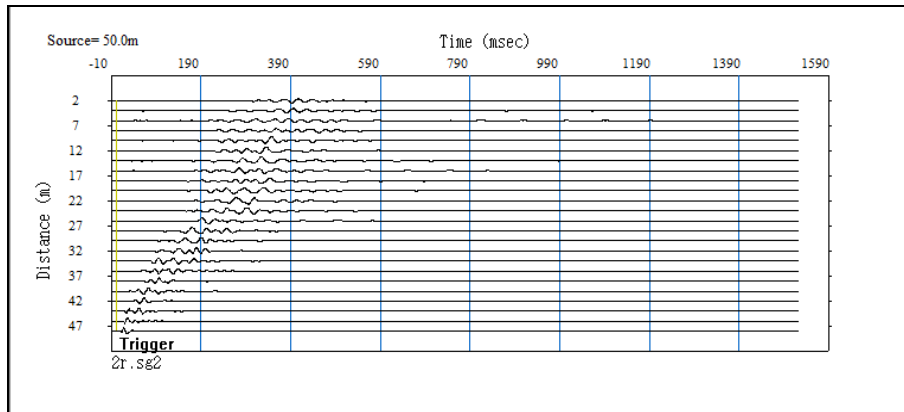


Figura 34 - Serie temporali prova MASW M8.

Le serie temporali acquisite trasformate in dominio f-k (frequenza f – numero d'onda k) hanno restituito la curva di dispersione ricavata con la ricerca coppie f-k cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (fig. 35).

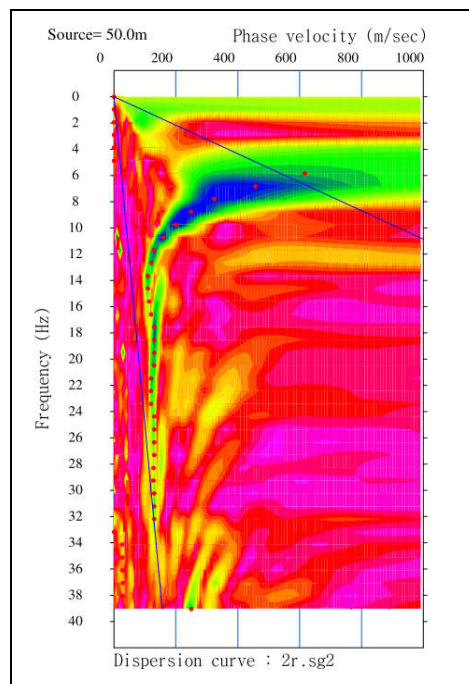


Figura 35 - Curva di dispersione prova MASW M8.

La fig. 36 mostra la sovrapposizione tra la curva sperimentale e quella teorica alla fine del processo iterativo di inversione.

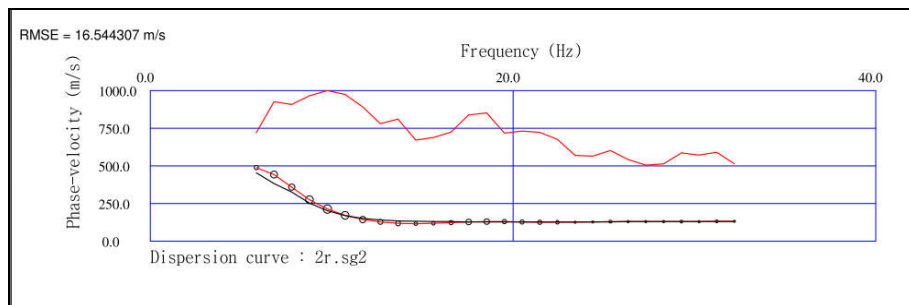


Figura 36– Risultato dell’inversione - sovrapposizione tra la curve di dispersione sperimentale (in rosso, in basso) e quella teorica (in nero). In rosso nella parte superiore la curva di qualità (relativa, legata al rapporto segnale/rumore).

Alla curva individuata, corrisponde un modello di velocità del sito, restituito in fig. 37.

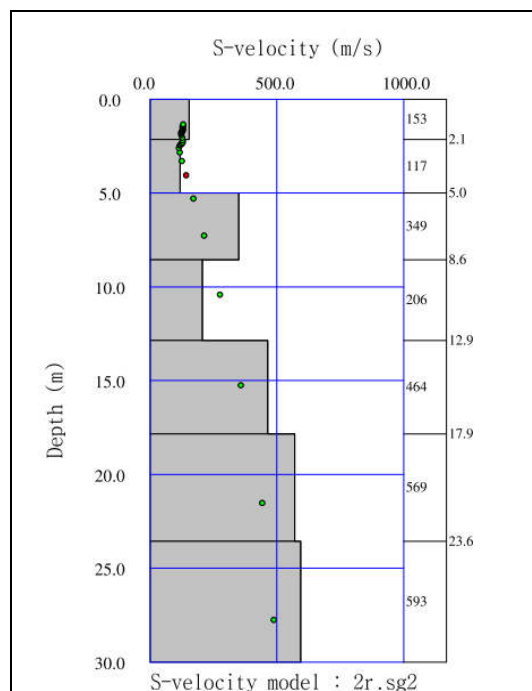


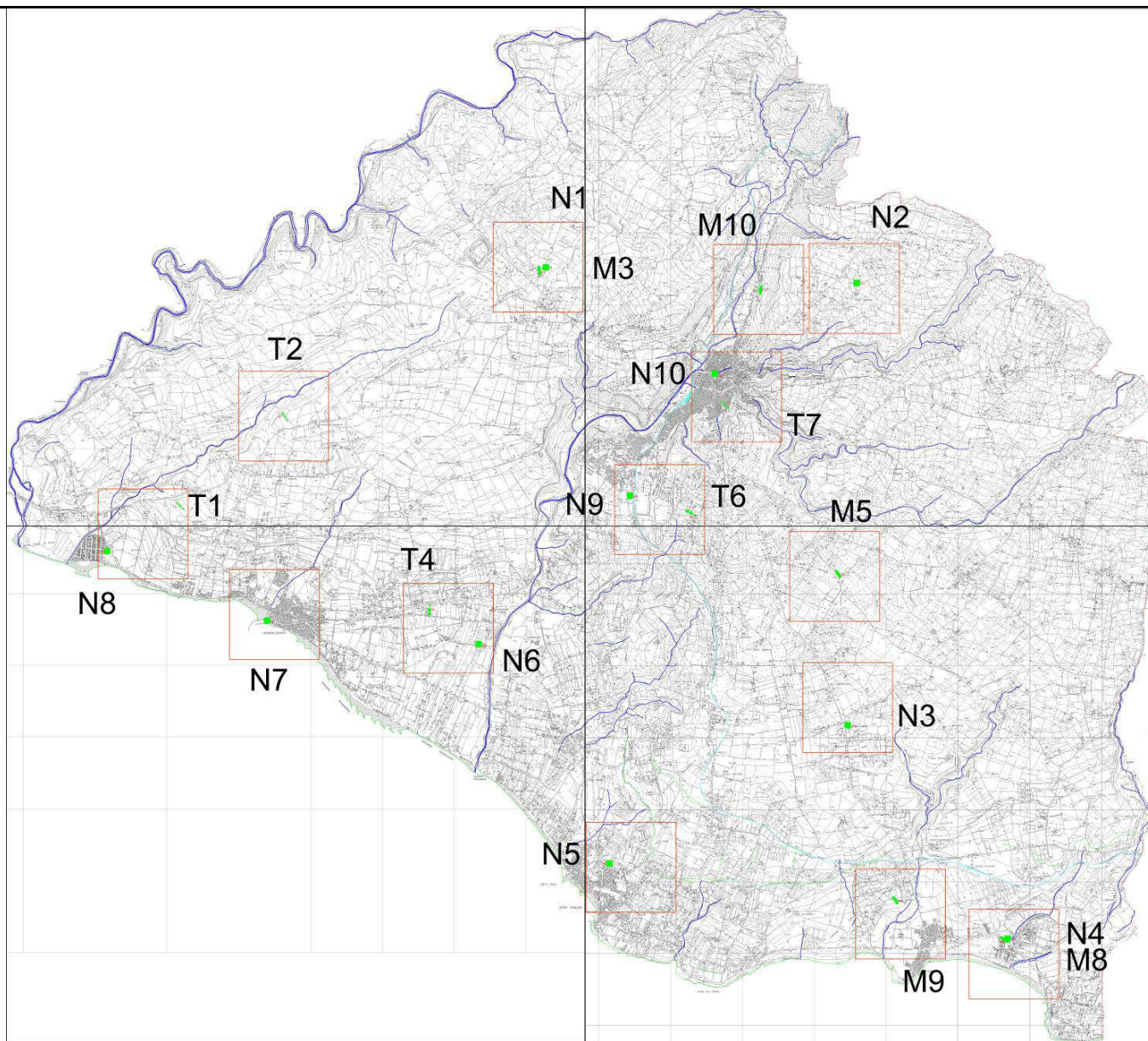
Figura 37 – Modello di velocità del sito per la prova MASW M8.

Di seguito si allega scheda riassuntiva della prova.

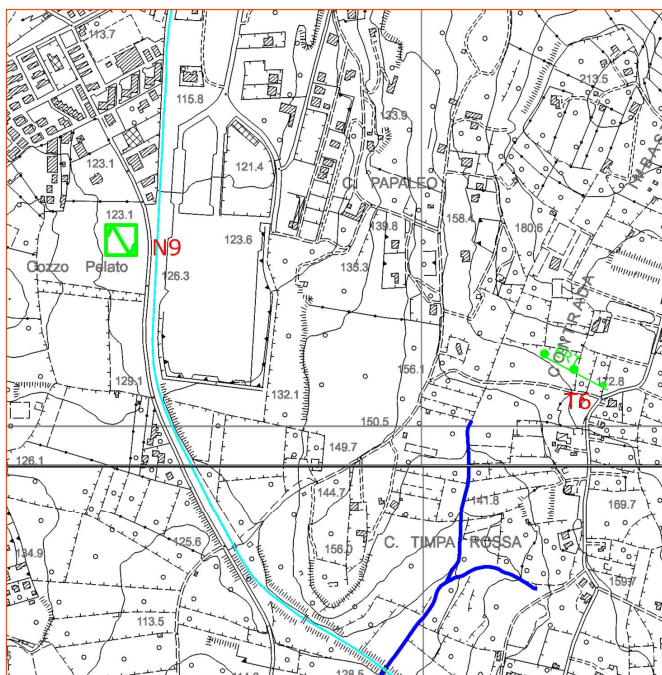
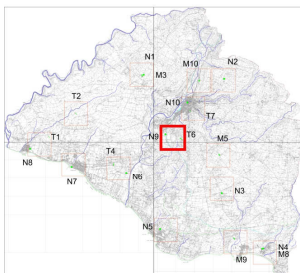
ID Masw	17E_19
Località	VILL. TRIPPATORE
Numero di ricevitori	24
Spazio intergeofonico (m)	2
Lunghezza linea sismica (m)	48
Numero di acquisizioni attive	2
Intervallo campionamento (ms)	0,5
Acquisizioni passive	1
Strati del modello di inversione	7
Profondità presunta falda (m)	5 ca.

Sismostrato	Profondità tetto (m)	Spessore H (m)	Vs (m/s)	H/V (sec)
1	0,0	2,1	153,0	0,01373
2	2,1	2,9	117,0	0,02479
3	5,0	3,6	349,0	0,01032
4	8,6	4,3	206,0	0,02087
5	12,9	5,0	464,0	0,01078
6	17,9	5,7	569,0	0,01002
7	23,6	6,4	593,0	0,01079

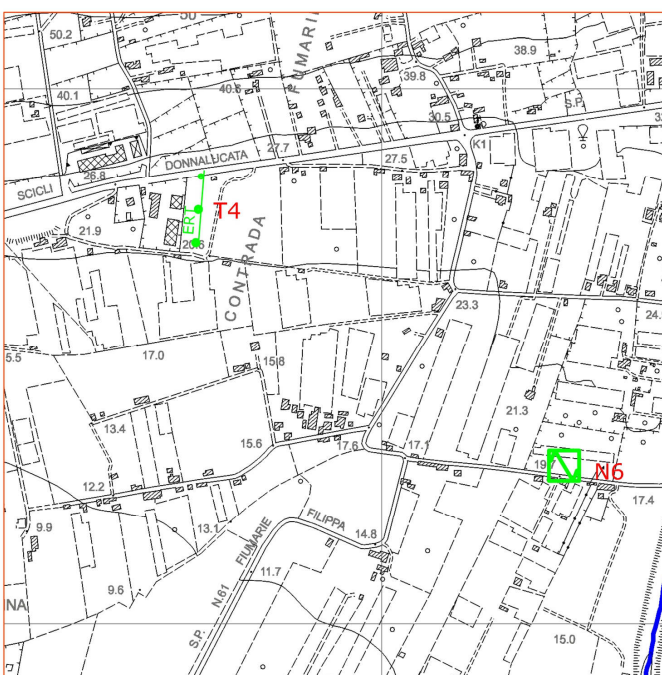
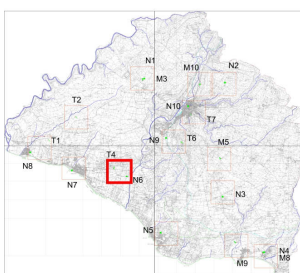
ALLEGATO 1 – UBICAZIONE DELLE INDAGINI



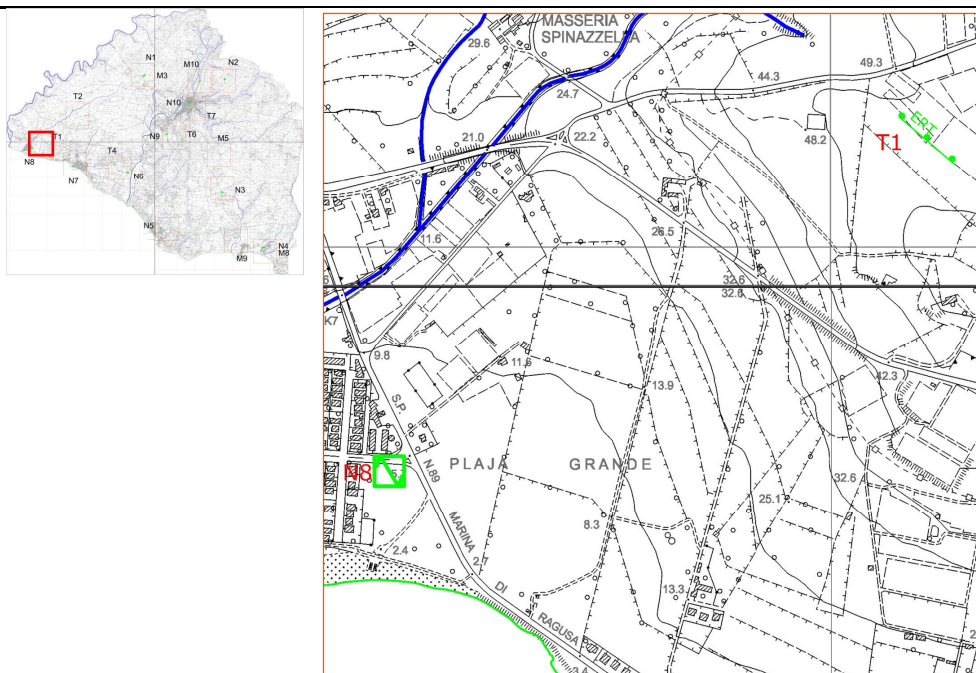
Ubicazione generale indagini



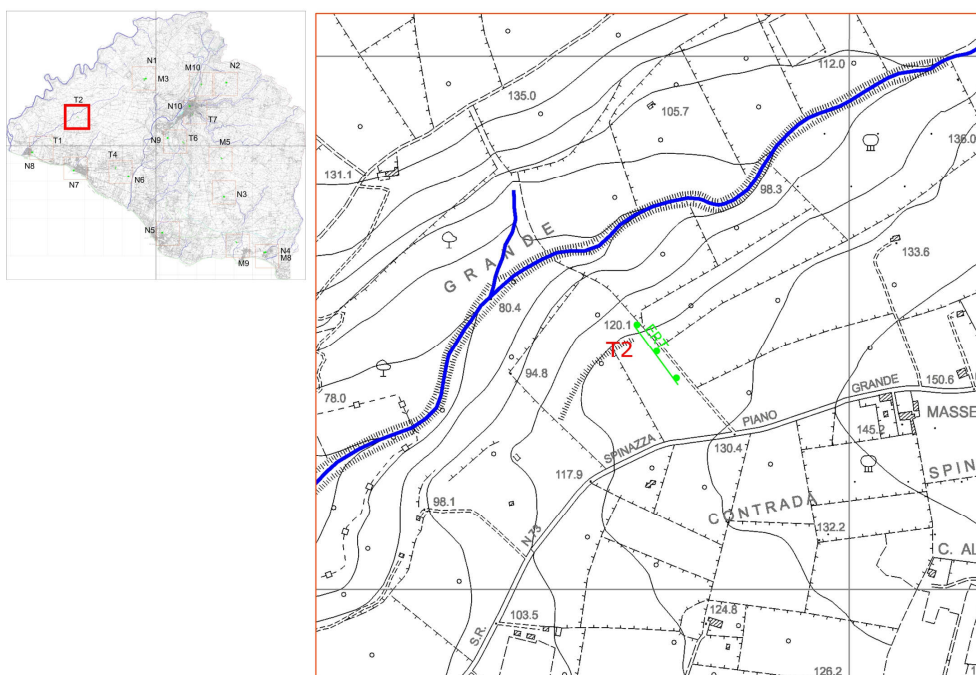
Ubicazione ERT T6 e HVSR N9.



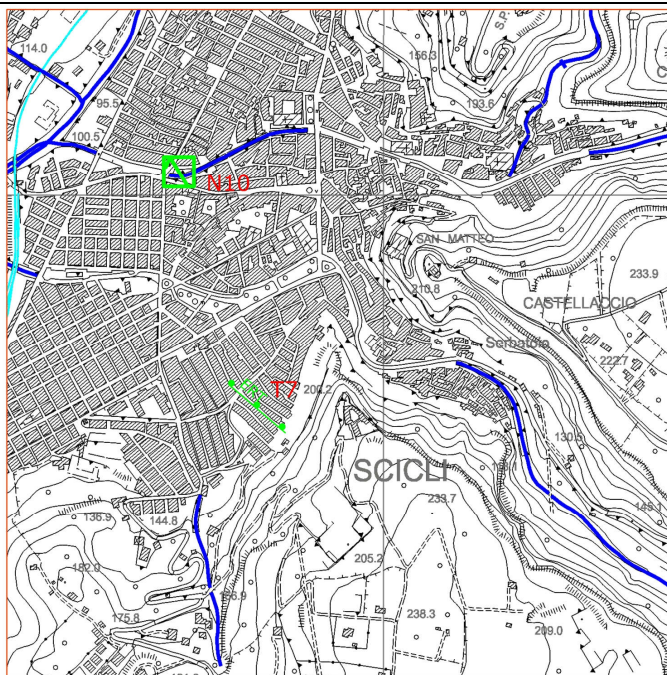
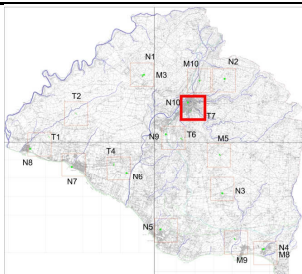
Ubicazione ERT T4 e HVSR N6.



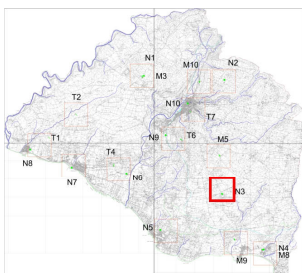
Ubicazione ERT T1 e HVSR N8.



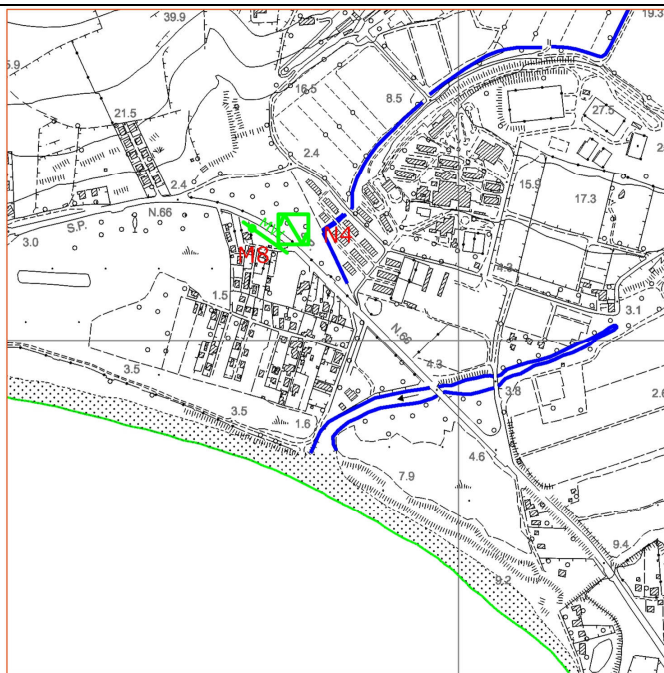
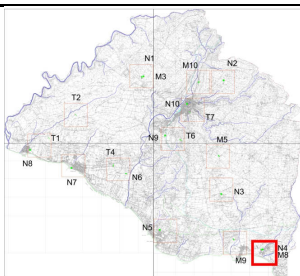
Ubicazione ERT T2.



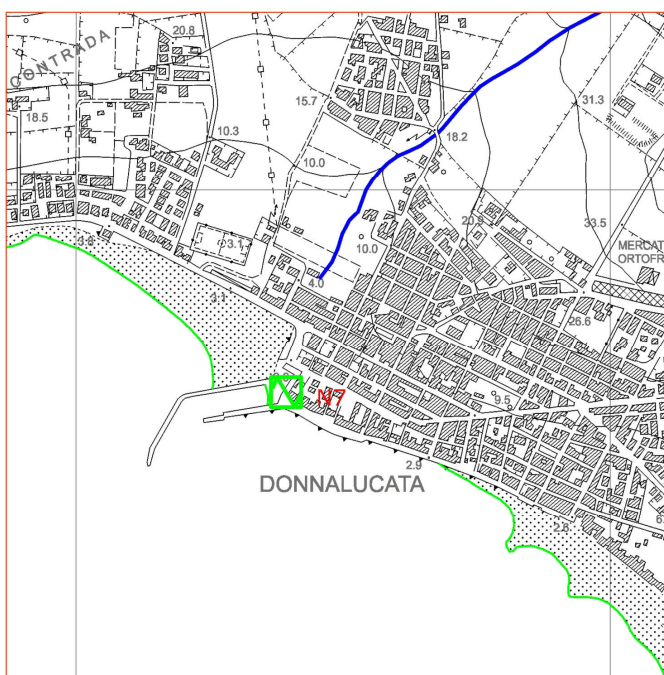
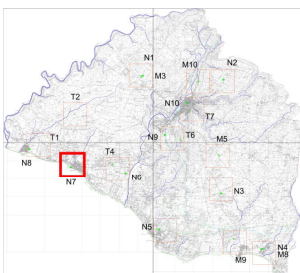
Ubicazione ERT T7 e HVSR N10.



Ubicazione HVSR N3.

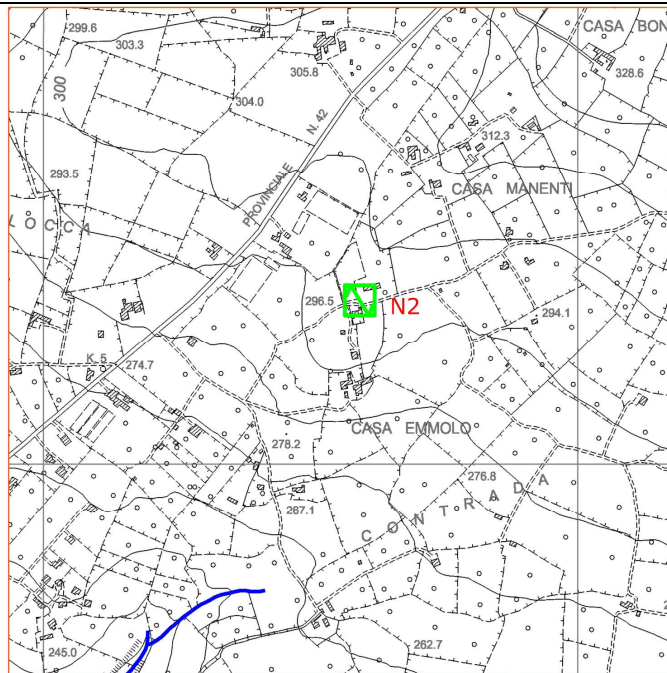
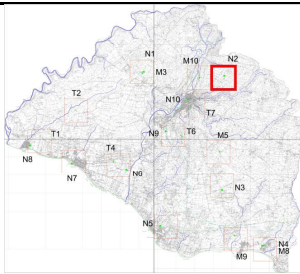


Ubicazione HVSR N4 e MASW M8.

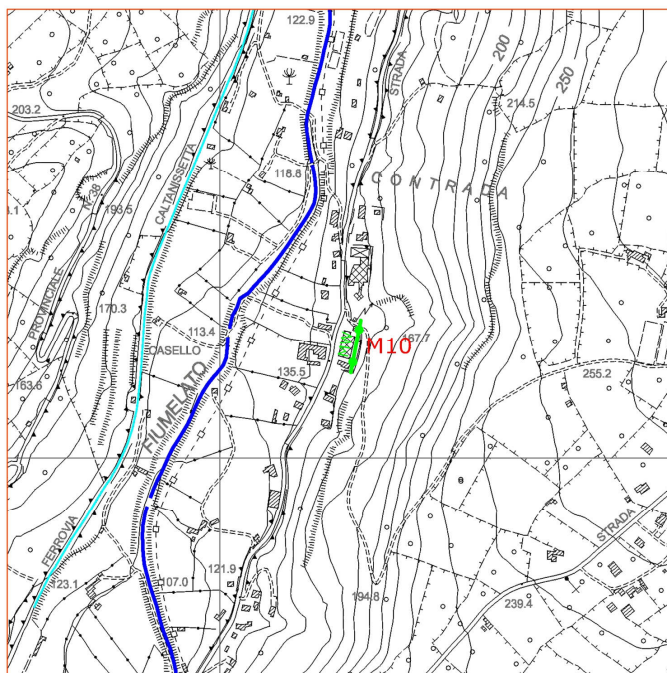
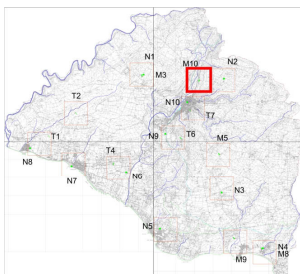


Ubicazione HVSR N7.

P a g e . 62 | 69



Ubicazione HVSr N2.



Ubicazione MASW M10.

This topographic map shows the coastal region of Libya, including the Mediterranean Sea, the city of Tripoli, and surrounding towns like Zawiya and Ghazal. The map features elevation contours, roads, and a red arrow pointing to a specific location near Tripoli.

P a g e . 64 | 69

ALLEGATO 2 - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Sequenza fotografica esecuzione ERT

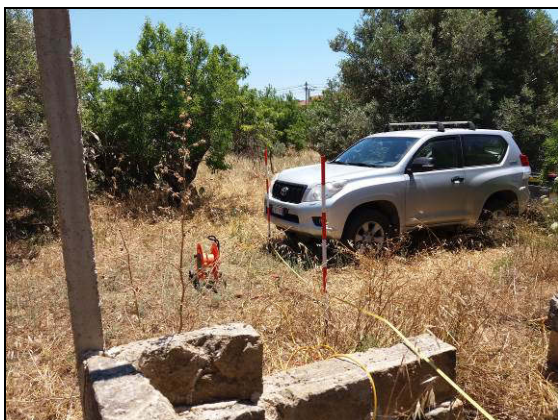


Foto a-b: Fase di esecuzione ERT T6 (località Gurgazzi) – ERT T4 (località Fumarie).



Foto c-d: Fase di esecuzione ERT T1 (località Timperosse) – ERT T2 (località Spinazza).



Foto e: Fase di esecuzione ERT T7 (Via Asmara – Scicli)

Sequenza fotografica esecuzione HVSR



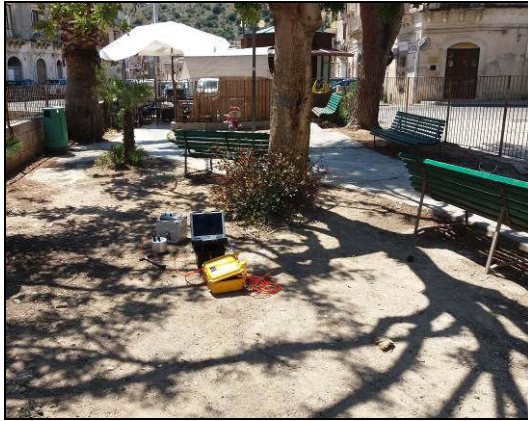
Fase di esecuzione HVSR N9 (a sinistra) e HVSR N8 (a destra)



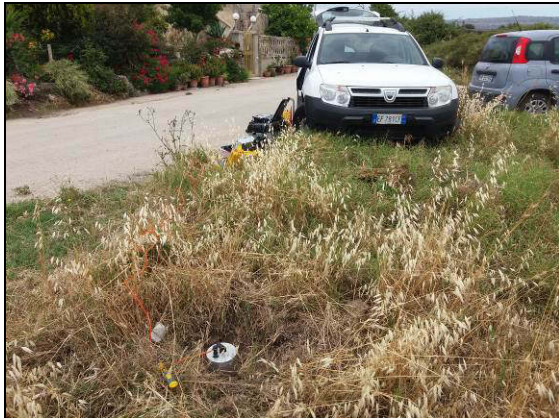
Fase di esecuzione HVSR N3 (a sinistra) e HVSR N4 (a destra)



Fase di esecuzione HVSR N7 (a sinistra) e HVSR N5 (a destra)



Fase di esecuzione HVSR N10 (a sinistra) e HVSR N6 (a destra)



Fase di esecuzione HVSR N1 (a sinistra) e HVSR N2 (a destra)

Sequenza fotografica esecuzione MASW

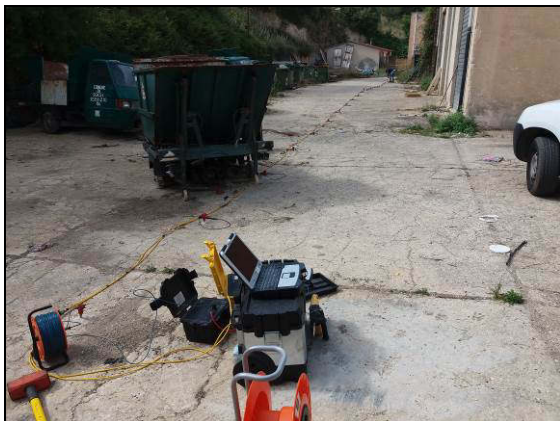


Foto a-b: Fase di esecuzione MASW M10 – MASW M5

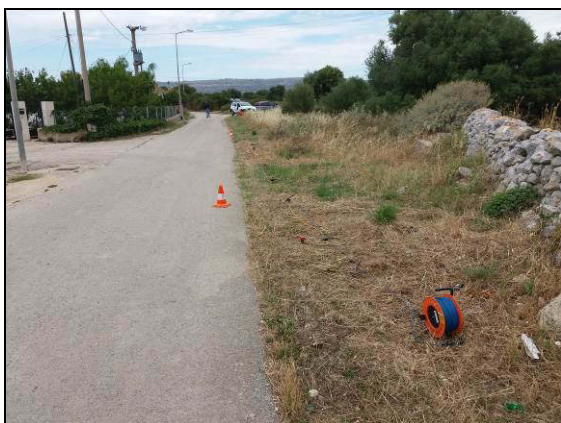


Foto c-d: Fase di esecuzione MASW M3 – MASW M9



Foto e: Fase di esecuzione MASW M8