

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. STRALCIO DEL RU DI POTENZA	2
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	3
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
5. CARATTERI GEOLOGICI DI DETTAGLIO.....	5
6. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	8
7. INDAGINI	8
7.1 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE.....	8
7.2 INDAGINE SISMICA (ALLEGATO 1).....	9
<i>Indagine sismica</i>	9
8. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO.....	10
9. SISMICITÀ DELL'AREA DI UBICAZIONE DEL FABBRICATO	12
10. PIANO STRALCIO (AUTORITÀ DI BACINO DELLA BASILICATA)	15
11. CONCLUSIONI.....	17

1. Premessa

L'Arcidiocesi di Potenza – Muro Lucano – Marsico Nuovo ha affidato allo scrivente l'incarico per la redazione dello studio geologico finalizzato ai “ *LAVORI DI RESTAURO E CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE DELLA CHIESA DELLA S.S. TRINITÀ NEL COMUNE DI POTENZA*”.

Al fine di definire le caratteristiche geologiche dell'area in esame e di poter disporre dei dati geotecnici e sismici necessari per la progettazione degli interventi, sono stati svolti studi e indagini sulla base delle seguenti disposizioni:

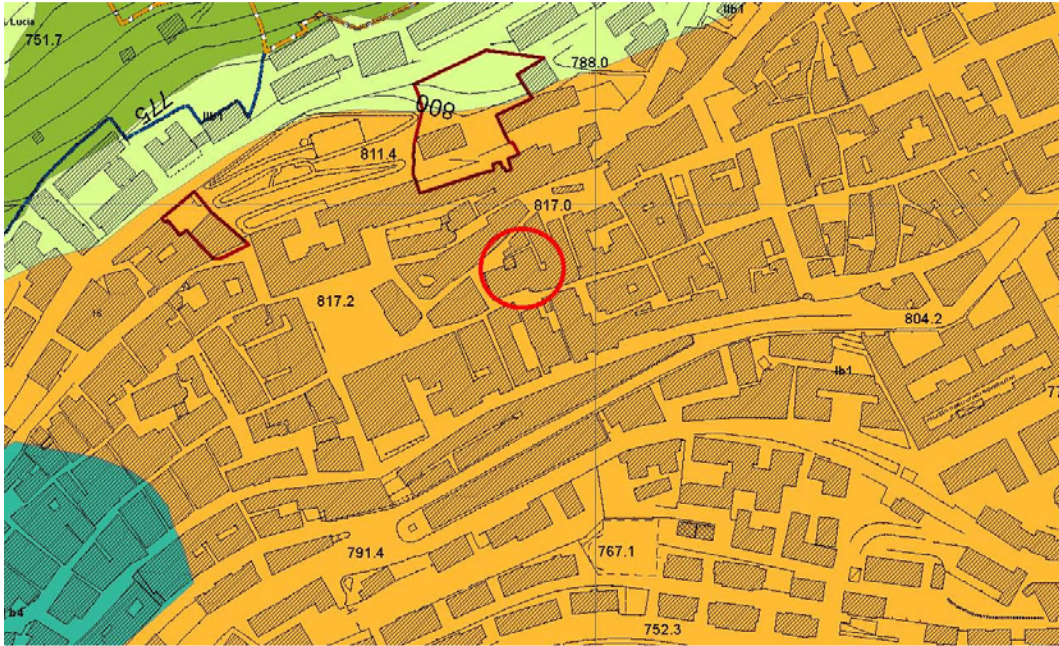
- L. 02/02/74 n. 64 e successive (norme tecniche per la costruzione in zone sismiche)
- D.M. 21/01/81 e successive (norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, ecc.),
- Legge Regionale n° 38 del 6 agosto 1997
- Ordinanza PCM n° 3274 del 20/03/2003
- Norme Tecniche per le Costruzioni: D.M. del 14/01/2008
- Norme Tecniche per le Costruzioni: D.M. del 17/01/2018
- NdA dell'Autorità di Bacino della Basilicata

Per la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni sono stati considerati studi e indagini pregresse eseguite nell'area del centro storico di Potenza; è stata, inoltre, programmata ed eseguita una campagna d'indagini geofisica nel mese di ottobre 2016. È stato condotto un rilievo geologico e geomorfologico dell'area e un'approfondita analisi aereofotogeologica di fotogrammi risalenti al 2012. I risultati della suddetta indagine sono esposti nella presente relazione. Sono parte integrante del lavoro i seguenti elaborati grafici e allegati:



- carta geolitologica e geomorfologica in scala 1:1000
- Allegato n. 1: Indagine geofisica

2. Stralcio del RU di Potenza

Considerando la carta della **Criticità Geologia e Geomorfologica**, redatta per il vigente Regolamento Urbanistico del Comune di Potenza, la zona di studio ricade in un'area **Ib1** (*aree non critiche – aree su versante (esenti da problematiche di stabilità)*). In quest'area sono previste, per qualsiasi intervento edilizio, indagini geognostiche e geotecniche del sottosuolo. A seguire si riporta uno stralcio della carta di criticità, relativa alla Tavola n. 16.



Nel cerchio è evidenziata l'area di studio

I) AREE NON CRITICHE	
<i>Ib: aree su versante (esenti da problematiche di stabilità)</i>	
 Ib1	Aree utilizzabili, caratterizzate dall'assenza di fenomeni di instabilità morfologica, dalla presenza di un substrato con buone caratteristiche geotecniche e da versanti con pendenza minore di 15°. In queste aree si dovranno verificare le condizioni puntuali del sottosuolo attraverso indagini geognostiche e geotecniche del sottosuolo. L'accelerazione massima di riferimento (ag x S x St) è pari a 0.44g.
 Ib2	Aree utilizzabili, caratterizzate dall'assenza di fenomeni di instabilità morfologica, dalla presenza di un substrato prevalentemente argilloso scaglioso con sufficienti caratteristiche geotecniche e da versanti con pendenza minore di 15°. In queste aree sono da prevedere indagini finalizzate all'individuazione del substrato argilloso non alterato ed alla caratterizzazione geotecnica del sottosuolo; in caso di tagli del versante sono necessarie opere di sostegno, opportunamente dimensionate. L'accelerazione massima di riferimento (ag x S x St) è pari a 0.44g.

3. Inquadramento geomorfologico

La città di Potenza si sviluppa su un territorio collinare, esteso a nord del Fiume Basento, contornato sui lati occidentali e settentrionali da un'area di alta collina, in parte anche montagnosa, con elevazione superiore ai 900 m di quota. Un arcuato allineamento contrassegnato da ben evidenti scarpate con dislivello intorno ai 50 metri, delimita, verso la piana alluvionale del Fiume Basento, un'area caratterizzata da una serie di colline con forma tronco conica e base subcircolare o ellittica, le cui superfici sommitali raggiungono elevazioni diverse, comprese tra gli 850 e i 700 metri di quota, nonché da una serie di brevi dorsali orientate NO-SE.

L'area di studio è ubicata alla sommità della collina sulla quale si è sviluppato il centro storico di Potenza. E' posta, in particolare, lungo l'asse della dorsale morfologica che si sviluppa sul rilievo in sinistra orografica del Fiume Basento. Questa dorsale, allungata in direzione circa est – ovest, è limitata da versanti a pendenza variabile interamente urbanizzati. A seguire si riporta uno stralcio della tavoletta IGM con l'ubicazione del fabbricato oggetto di intervento.



Ubicazione dell'area di studio (scala 1:25.000)

4. Inquadramento geologico

Il territorio comunale di Potenza è parte integrante della catena sud-appenninica, costituita da una potente successione di falde di ricoprimento messe in posto durante la tetto-genesi mio - pliocenica. In esso affiorano diverse unità geologico - strutturali di età meso - cenozoica (Unità di Lagonegro e Unità Irpine), che hanno preso origine durante le fasi della tettonica miocenica, e unità di età pliocenica (Unità di Altavilla e Unità di Ariano) che si sono sedimentate in bacini intrappenninici formatisi durante le fasi tetto-genetiche tardive del Miocene superiore e del Pliocene inferiore-medio. Queste Unità sono state coinvolte, dal Pliocene superiore al Quaternario, da intense fasi tettoniche, a prevalente componente verticale, che hanno determinato l'attuale assetto della catena. Nell'area indagata e oggetto di questo studio affiorano essenzialmente i sedimenti pliocenici e quaternari. L'Unità pliocenica affiora estesamente nel territorio comunale di Potenza, tanto che l'intero complesso urbano è fondato prevalentemente su terreni appartenenti a tale unità. In letteratura è suddivisa in due cicli sedimentari differenti, riferiti, quello inferiore, all'Unità di Altavilla e quello superiore all'Unità di Ariano, affiorante nell'area di studio.

I terreni di quest'ultima unità, caratterizzati da una certa uniformità verticale, anche se con significative variazioni laterali, affiorano estesamente nel territorio urbano della città di Potenza e, dal basso, sono rappresentati da:

- Conglomerati poligenici a matrice sabbiosa di colore giallastro e rossastro in funzione del grado di alterazione con stratificazione assente o indistinta.
- Sabbie calcaree bioclastiche con intercalazioni di conglomerati poligenici rossi, in strati e banchi lenticolari.
- Conglomerati poligenici a matrice sabbiosa, talora prevalente, di colore giallastro con intercalazioni di strati e banchi di sabbie a grana media e grossa.
- Argille siltose grigio-azzurre, alternate a sabbie e sabbie-siltose di colore grigio e giallo, per alterazione.

Questi depositi rappresentano il prodotto della sedimentazione nella zona assiale del bacino e poggiano in discordanza sia sui terreni dell'Unità di Altavilla che su quelli della Formazione delle Argille Varicolori con spessori che mediamente raggiungono circa i 200 m. Affiorano diffusamente nell'area urbana di Potenza. Evidenze in tale area del substrato argilloso siltoso si riscontrano su scarpate naturali ed artificiali presenti nell'area.

Il substrato nell'area di studio è rappresentato dalle due ultime successioni dell'Unità di Ariano, dai conglomerati poligenici e dalla successione argilloso-siltosa (complesso siltoso). I Conglomerati si presentano poco cementati, facilmente disgregabile ricco di elementi ciottolosi ben arrotondati poligenici e polidimensionali, con frequenti livelli di sabbie con grado di cementazione variabile. La successione delle Argille siltose è costituita da una alternanza di strati e livelli sottili di limo argilloso e di argille limose di colore grigio – chiaro, talvolta con intercalazioni di livelli sabbioso – limosi e orizzonti di siltiti e di arenarie. Al tetto, frequentemente assume per alcuni metri una colorazione giallastra per alterazione e, in assenza di una copertura vegetale si disgrega sotto l'azione degli agenti atmosferici.

5. Caratteri geologici di dettaglio

Nell'area di studio affiorano litologie appartenenti ai terreni di copertura e quelle del substrato pliocenico dell'Unità di Ariano.

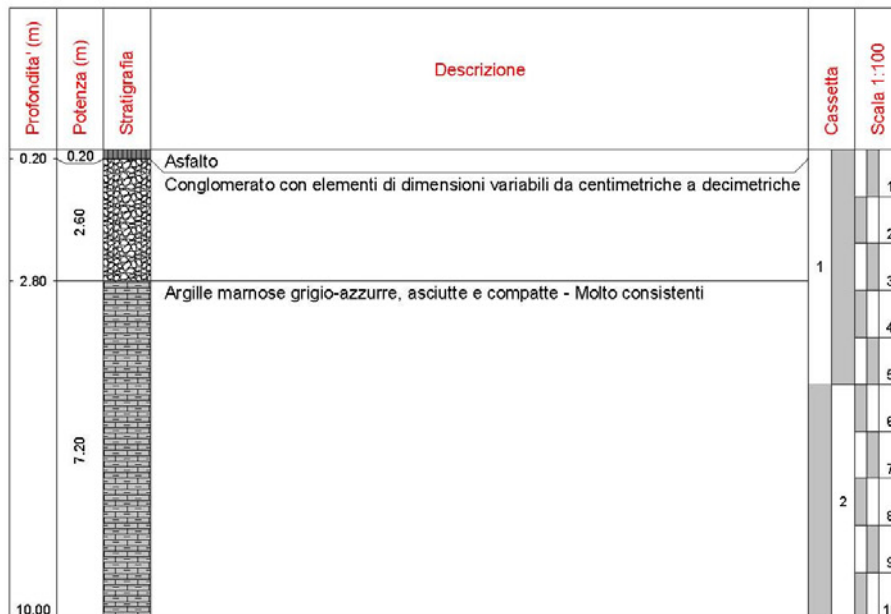
I terreni di copertura sono costituiti da:

- Terreni di riporto. Si tratta di terreni sciolti costituiti da materiale a granulometria mista, includenti talora elementi lapidei. Sono presenti in prossimità dell'area di studio e derivano, probabilmente, dagli scavi eseguiti per ospitare l'attuale fabbricato. Il loro spessore è variabile intorno dal metro ad alcuni metri.
- Complesso detritico - eluviale. Sono terreni che si formano dall'alterazione chimico-fisica dei materiali del substrato, da parte degli agenti esogeni del modellamento superficiale. Le tipologie litologiche prevalenti sono riferibili a limi-sabbiosi con presenza di lenti e livelli limoso-argillosi. Talora sono presenti livelli con frammenti lapidei, generalmente di piccola dimensione.

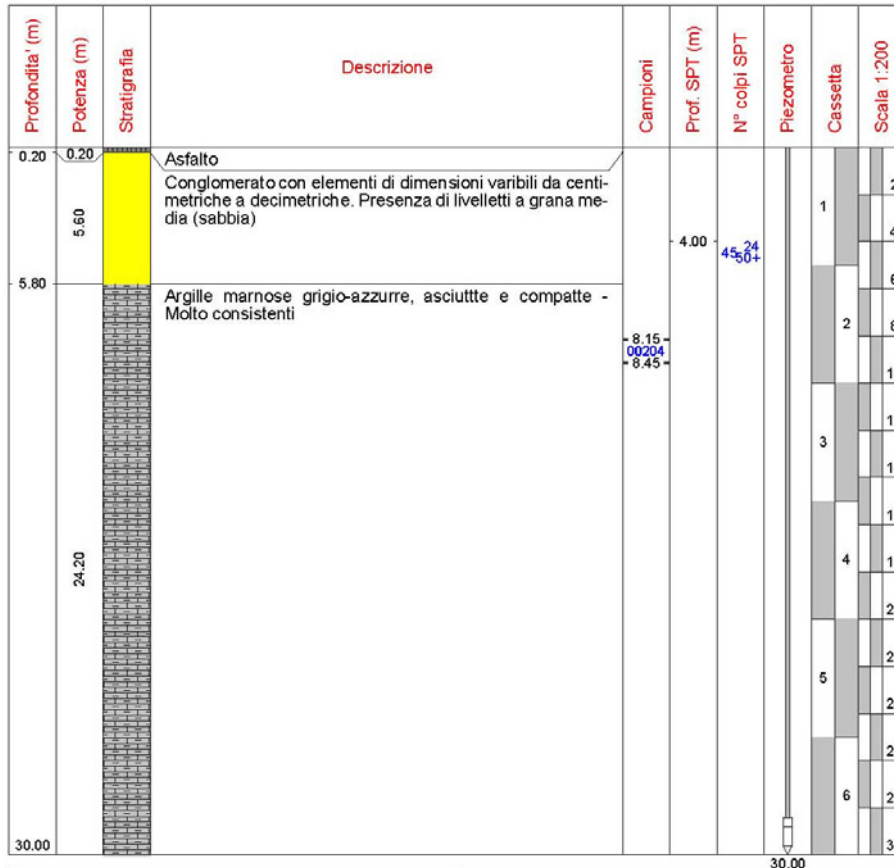
Il substrato nell'area di studio è rappresentato dalla successione del Conglomerato pliocenico sovrapposta su quella delle Argille grigio - azzurre, entrambi appartenenti all'Unità di Ariano. Tali depositi vanno a costituire il rilievo morfologico sul quale sorge il centro storico di Potenza. I Conglomerati affiorano nella parte sommitale del rilievo con uno spessore variabile da alcuni metri ai 10 metri. Non sono presenti esposizioni di questo deposito sul

rilievo morfologico del centro storico di Potenza. La natura litologica di questa successione è ricavabile da alcuni sondaggi meccanici eseguiti in passato (studio geologico per la redazione del Regolamento Urbanistico). La stratigrafia di questi sondaggi ha evidenziato la presenza di un conglomerato con elementi di dimensioni variabili da centimetriche a decimetriche. I due sondaggi considerati, le cui stratigrafie si riportano nelle immagini che seguono, sono stati terebrati alle due estremità della dorsale morfologica sulla quale ricade il centro storico di Potenza: Via IV Novembre, all'estremità occidentale, e Torre Ghevara, (all'estremità orientale. Dalla correlazione delle stratigrafie di questi due sondaggi è possibile ipotizzare, in corrispondenza della Chiesa della Trinità, il contatto fra il conglomerato e le argille siltose ad una profondità di circa 12 m dal. P.c.. Nel sondaggio eseguito in Via IV novembre, infatti, le argille sono state individuate ad una quota di circa 803. Nel sondaggio eseguito alla Torre Ghevara lo stesso passaggio è stato riscontrato ad una quota di 804.2. Correlando queste due informazioni è possibile considerare il passaggio, in corrispondenza della Chiesa della Trinità, ad una quota di 818 m slm circa, esattamente a 12 m dal pc..

 Geotecnica Ricci s.r.l.	   ICM CISQ ICNet	STRATIGRAFIA SONDAGGIO Certificato n°: 00401 del 11/05/2007 Foglio 1/1 Mod. CEST Rev. 01	
		Commessa n° 0021 del 31.10.06 Sondaggio S21bis Data Inizio 17.04.07 Data Fine 17.04.07	Committente Comune di Potenza Cantiere Torre Ghevara
Località POTENZA Quota (m s.l.m.) Il Geologo Dott. Angelo RICCI		Macchina operatrice ENZI Neva 3S Metodo perforazione rotazione Diam. perforazione mm 116-101-86	
Campionamento carotaggio Diam. rivestimento mm Carotiere semplice		Ubicazione sondaggio Planimetria allegata Normativa di riferimento Racc. AGI 1977 Procedura di prova PQ_01/S	



 Geotecnica Ricci s.r.l.		STRATIGRAFIA SONDAGGIO	
		Certificato n°: 00402 del 11/05/2007 Foglio 1/1 Mod. CEST Rev. 01	
Commissa n° 0021 del 31.10.06		Sondaggio S22	Data Inizio 18.04.07 Data Fine 18.04.07
Committente Comune di Potenza		Cantiere Via IV Novembre	
Località POTENZA		Quota (m s.l.m.)	Il Geologo Dott. Angelo RICCI
Macchina operatrice NENZI Neva 3S		Metodo perforazione rotazione	Diam. perforazione mm 116-101-86
Campionamento carotaggio		Diam. rivestimento mm	Carotiere semplice
Ubicazione sondaggio Planimetria allegata		Normativa di riferimento Racc. AGI 1977	Procedura di prova PQ_01/S



Le Argille siltose, poste sotto il precedente deposito, sono costituiti da un'alternanza di strati e livelli sottili di limo argilloso e di argille limose di colore grigio – chiaro, talvolta con intercalazioni di livelli sabbioso – limosi e orizzonti di siltiti. Al tetto, frequentemente assumono per alcuni metri una colorazione giallastra per alterazione e, in assenza di una copertura vegetale, i loro livelli più superficiali si disgregano sotto l'azione degli agenti atmosferici.

La struttura d'insieme della successione delle Argille grigio - azzurre è tale da far supporre che esso sia stato interessato da forti sollecitazioni meccaniche, cicliche, di origine tettonica, succedutesi in più fasi. Questa successione, che come si è visto è in prevalenza composto da argilla, limo e sabbia, ha una struttura e un comportamento assimilabile a quello delle argille sovraconsolidate e fessurate. Sono generalmente dotate di buone caratteristiche di resistenza geomeccanica e costituiscono, quando non disturbati e rimaneggiati, degli ottimi terreni di fondazione.

6. Inquadramento idrogeologico

Le formazioni costituenti il basamento della successione pliocenica sono rappresentati da due litologie con differenti caratteristiche idrogeologiche: il Conglomerato, dotato di una buona permeabilità ma di spessore modesto, e le Argille siltose complessivamente dotate di permeabilità da basse a medio – basse. In entrambi i casi le loro esposizioni sono interamente ricoperte da superfici rese impermeabili dalle opere infrastrutturali e dalle presenze di fabbricati. Si registra, comunque, una modesta circolazione idrica sotterranea solo in corrispondenza delle fasce più superficiali ed allentate, parzialmente alimentate da occasionali perdite delle reti idriche..

7. Indagini

Al fine di

- ricostruire il modello geolitologico del sottosuolo, con individuazione dello spessore del detrito e quindi la profondità del substrato
- ricostruire le geometrie dei vari livelli litologici presenti
- ottenere la caratterizzazione sismica del sito come previsto dalle Norme Tecniche del 14/01/2008
- ottenere la caratterizzazione geotecnica dei terreni necessaria sia per le verifiche di stabilità dei versanti che la scelta della tipologia fondazionale e per il loro dimensionamento
- ottemperare a quanto richiesto nella Carta delle Criticità geologica e geomorfologica del RU del Comune di Potenza

sono state consultate indagini pregresse, realizzate in aree prossime a quella di studio in un medesimo contesto geolitologico, già descritte nei capitoli precedenti, ed eseguite delle indagini indirette attraverso una sismica superficiale in onde P in corrispondenza dell'area di ubicazione della Chiesa.

7.1 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni e quindi per la definizione del modello geotecnico del sottosuolo, sono stati considerati i parametri geotecnici derivanti da precedenti prove di laboratorio eseguite su campioni prelevati in aree limitrofe a quelle di studio nel medesimo contesto geologico .

In sintesi si è ritenuto di considerare i seguenti valori rappresentativi:

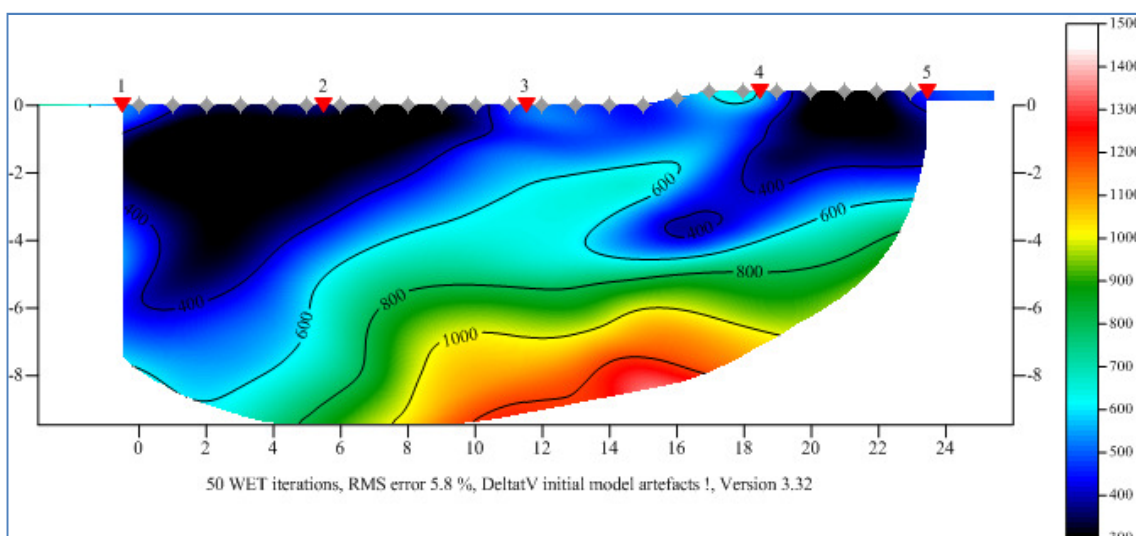
Principali parametri geotecnici rappresentativi		Taglio diretto CD		Triassiale UU
	γ_v	c	ϕ	c_u
Litologia	KN/m ³	KPa	°	KPa
Detrito superficiale e riporto	19.3	0	20	10
Conglomerati e sabbie	20.2	3.7	34.4	15
Argille siltose	19.7	36.41	26.4	150

7.2 INDAGINE SISMICA (ALLEGATO 1)

Indagine sismica

La campagna geognostica a carattere geofisico è consistita in 1 Base Sismica a Rifrazione di Superficie in onde P, in 1 Base Sismica con tecnica MASW e in due misure H/V, utile per la ricostruzione dei lineamenti geologico -tecnici locali ed in particolare per la caratterizzazione sismica del territorio.

La sezione tomografica elaborata, riportata nella figura sottostante, evidenzia una distribuzione laterale anomala della velocità con repentino aumento del gradiente verticale di velocità a circa 5/6 m dal p.c., in corrispondenza del passaggio a terreni con maggiore rigidità.



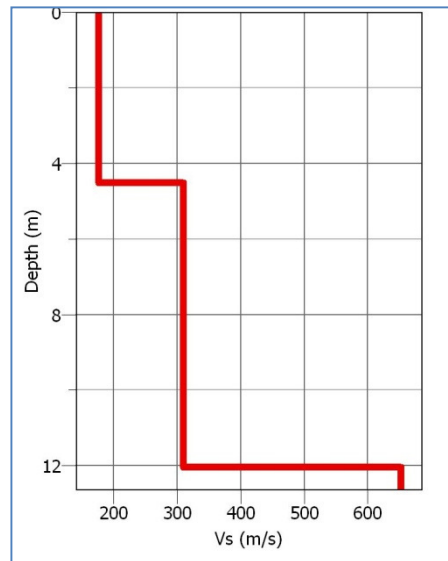
Tomografia sismica

Considerando i valori di velocità delle onde S ottenuti dalla Masw, sono stati ricavati i seguenti moduli dinamici del sottosuolo in esame e relativi a ciascun orizzonte sismico individuato:

Sismo-strato	V_s (m/s)	G_0 (MPa)	ρ (gr/cm ³)
A	176	58	≈ 1,88
B	311	196	≈ 2,03
C	651	946	≈ 2,23

V_s = Velocità delle onde di taglio, G_0 = modulo di deformazione di taglio, ρ = densità geofisica;

Il profilo verticale del parametro V_s , ricavato con l'indagine Masw, ha evidenziato due distinti incrementi di velocità delle onde di taglio: a circa 4.5 m e a circa 12 m dal p.c.. A seguire si riporta il profilo delle V_s ottenuto.



L'indagine Masw ha consentito di individuare un valore della V_{s30} pari a **388 m/s**, calcolato con la seguente espressione

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i}} \text{ (m/s)}$$

In riferimento alla tabella 3.2.II del DM 14/01/2008, il sito in esame, tenendo conto delle incertezze correlate alla tipologia di indagine è in modo cautelativo attribuibile alla categoria di sottosuolo B: *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

10

La prova H/V, eseguita all'interno della chiesa, ha permesso di individuare un passaggio di litologie a grande profondità (maggiore di 50 m). Non è stato possibile riscontrare il passaggio fra il detrito e il sottostante terreno in posto perché la copertura del lastricato della chiesa, a maggiore rigidità, posto al di sopra di un terreno molto allentato, a minore rigidità, ha ostacolato la registrazione di alcune onde sismiche.

La prova H/V eseguita all'esterno, davanti al porticato della chiesa, ha evidenziato la presenza di una copertura detritica con uno spessore all'incirca di 1.5 m dal p.c..

8. Modello Geologico e Geotecnico

Le informazioni derivanti dal rilevamento geolitologico superficiale, dalle esposizioni presenti lungo la scarpata artificiale e dalle indagini dirette pregresse e indirette eseguite, hanno permesso di individuare e interpretare le geometrie dei corpi litologici presenti. Si schematizza, pertanto, il seguente modello geolitologico e geotecnico.

- detrito sabbioso – limoso e terreno di riporto
- conglomerati e sabbie appartenenti al substrato pliocenico
- argilla siltosa appartenente al substrato pliocenico (Argille grigio azzurre)

Nell'area, pertanto, dominano terreni appartenenti alle formazioni geologiche del

Conglomerato pliocenico e delle Argille siltose grigio - azzurre. Tali depositi non sono sempre rilevabile in superficie. La loro presenza è riscontrabile soprattutto attraverso indagini dirette e indirette.

Superficialmente la sommità della dorsale morfologica, interamente antropizzata, è ricoperta da una coltre detritica colluviale ed eluviale di natura prevalentemente limoso – sabbiosa e argillosa. Il suo spessore è variabile intorno al metro.

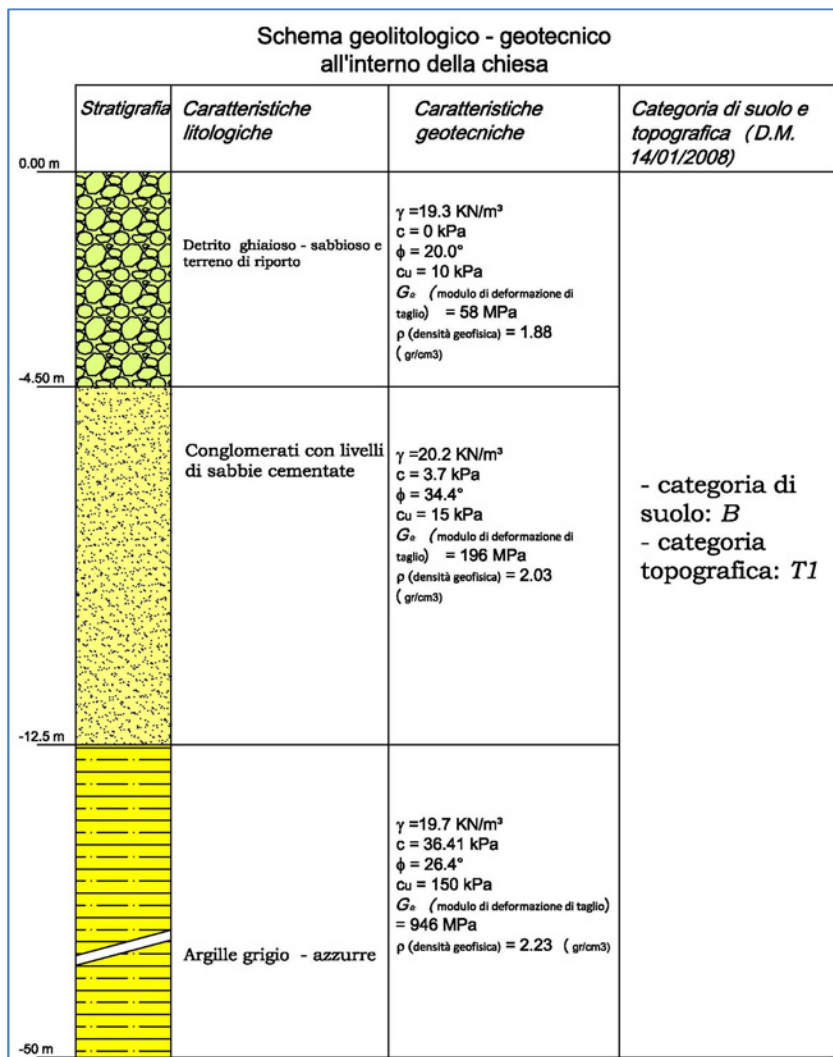
All'interno della Chiesa l'indagine sismica e l'esecuzione di uno scavo hanno evidenziato la presenza al di sotto della pavimentazione di un materiale di riporto . Lo scavo, in particolare, approfondito fino a circa 2 m, ha messo a luce la presenza di un terreno costituito da elementi lapidei (foto che segue) di dimensioni da centimetriche a decimetriche poste in una matrice sabbiosa con una ricca presenza di elementi laterizi. Questo deposito, scarsamente costipato, è risultato caratterizzato da alcuni vuoti, con larghezze superiori al decimetro, determinati dall'accostamento di più elementi lapidei di dimensioni decimetriche. L'indagine sismica ha verificato che lo spessore di questo terreno di riporto potrebbe essere intorno ai 4,5 metri dalla pavimentazione della chiesa.



Foto: scavo all'interno della chiesa con in evidenza il terreno di riporto

Il substrato è caratterizzato dalla successione conglomeratico – sabbiosa per uno spessore di circa 12 metri, al disotto del quale sono presenti le argille caratterizzate da argille con livelli metrici di silt ben cementato e di colore grigio- azzurro. L'intera successione presenta, comunque, buone caratteristiche di resistenza e di deformabilità.

A seguire viene riportato uno schema del modello geologico e geotecnico rappresentativo del substrato presente in corrispondenza dell'area interna della Chiesa della Trinità.



9. Sismicità dell'area di ubicazione del fabbricato

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", ha disposto i seguenti criteri per la valutazione preliminare della risposta sismica del sottosuolo:

1. Una nuova classificazione dei comuni italiani secondo quattro zone di pericolosità sismica (Tabella), espressa in termini di accelerazione massima orizzontale al suolo (a_g) su terreni duri e differenti tempi di ritorno, funzione della vita nominale della struttura e della sua destinazione d'uso.

Tabella a - Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido

ZONA	ACCELERAZIONE (A_G) CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI	A_G MAX
1	$0,25 < a_g \leq 0,35 g$	$0,35 g$
2	$0,15 < a_g \leq 0,25 g$	$0,25 g$
3	$0,05 < a_g \leq 0,15 g$	$0,15 g$
4	$\leq 0,05 g$	$0,05 g$

2. La classificazione del sottosuolo in categorie di suolo di fondazione (Tabella b), sulla base della stima di vari parametri del terreno (V_s , NSPT, c_u , e profondità del bedrock). A ogni categoria sono stati attribuiti i valori dei parametri dello spettro di risposta per la stima delle azioni sismiche di progetto.

Tabella b - Classificazione del sottosuolo in categorie di suolo di fondazione

CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE	PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		V_{S30} (m/s)	Nspt	C_u (kPa)
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi	> 800		
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	< 800 > 360	> 50	> 250
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza	< 360 > 180	< 50 > 15	< 250 > 70
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti	< 180	< 15	< 70
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{S30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{S30} > 800$ m/s			
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto di acqua	< 100		< 20 > 10
S2	Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti			

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. del 14/01/2008), hanno superato il concetto della classificazione del territorio nelle quattro zone sismiche e propongono una nuova zonazione fondata su un reticolo di punti di riferimento con intervalli di a_g pari a 0.025 g, costruito per l'intero territorio nazionale. Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di a_g e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale e verticale su suoli rigidi e pianeggianti, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima F_0 e periodo d'inizio del tratto dello spettro a velocità costante T^*C). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti dall'INGV e pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/> attraverso le coordinate geografiche del sito.

Anche le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. del 14/01/2008), così come l'OPCM n°3274 del 20/03/2003, considerano come valore di accelerazione sismica di riferimento, l'accelerazione massima su un suolo di categoria A. Il valore di accelerazione massima del terreno varia, in realtà, in funzione delle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dell'area oggetto di studio.

E' necessario, pertanto, ricavare il valore di accelerazione massima del terreno che caratterizza la topografia e le litologie presenti nell'area oggetto di studio.

La campagna d'indagine geofisica eseguita ha consentito di evidenziare le caratteristiche sismiche dell'area di studio e di individuare, in particolare, la categoria di suolo presente. Con la Masw eseguita in corrispondenza dell'area di ubicazione della chiesa è stato registrato il seguente valore V_{s30} pari a **388 m/s**, che individua una categoria di suolo (secondo il D.M. del 14/01/2008) appartenente a **B**. Dalle Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC del 14/01/2008) sulla base dell'ubicazione dell'opera in progetto e delle sue caratteristiche progettuali è possibile ricavare i parametri sismici (a_g e F_0) necessari per la definizione della sismicità dell'area di studio. In funzione delle caratteristiche geolitologiche e topografiche si ricavano, inoltre, rispettivamente i parametri di categoria del suolo e il coefficiente topografico. Per il calcolo dell'accelerazione massima attesa si fa riferimento alla seguente formula (NTC cap. 7.11.3):

$$a_{gmax} = S_s * S_t * a_g$$

dove:

a_{gmax} = accelerazione massima attesa in superficie

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica

S_t = coefficiente di amplificazione topografica

a_g = accelerazione massima su sito di riferimento rigido

Sulla base dell'ubicazione dell'opera in progetto e delle sue caratteristiche progettuali, che prevedono una classe IV riferita a "Funzioni pubbliche o strategiche importanti" si ricavano i seguenti parametri sismici:

Ubicazione del fabbricato		Latitudine	Longitudine
Potenza – Chiesa della Trinità Via Pretoria	(Coord. WGS84)	40.638601	15.803466
	(Coord. ED50)	40,639593	15,804301

Da progetto				
Classe dell'edificio	III			
Cu	1.5			
Vita nominale	50			
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75			
Caratteristiche sismiche				
Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	45	0.068	2.335	0.307
Danno (SLD)	75	0.088	2.376	0.324
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.235	2.447	0.384
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.302	2.456	0.411

Dalla categoria di suolo utilizzando le caratteristiche sismiche riportate nella tabella precedente, si ottiene l'amplificazione stratigrafica secondo la formula riportata nelle Norme Tecniche delle Costruzioni 2018 (cap. 3.2.3.2.1).

Per l'amplificazione topografica si considera un valore riferito alla categoria topografica **T1**.

Per il calcolo dell'amplificazione stratigrafica **Ss** e del coefficiente **Cc** si fa riferimento alla seguente tabella riportata nel DM del 14/01/2008:

Tabella 3.2.V – Espressione di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c)^{-0,33}$
D	$1,00 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c)^{-0,40}$

In sintesi, si riportano a seguire i coefficienti sismici dell'area di ubicazione dell'opera

Categoria di suolo	B
Amplificazione topografica (S_t)	T = 1

	S_s	C_c	S_t	K_h	K_v	A_{max} (m/s^2)	beta
SLO	1,20	1,39	1,000	0,016	0,008	0,801	0,200
SLD	1,20	1,38	1,000	0,021	0,011	1,039	0,200
SLV	1,17	1,33	1,000	0,077	0,038	2,692	0,280
SLC	1,10	1,31	1,000	0,093	0,047	3,262	0,280

10. Piano Stralcio (Autorità di Bacino della Basilicata)

L'area di ubicazione dell'opera in progetto è posta al di fuori di aree a rischio idrogeologico, secondo l'ultimo aggiornamento disponibile del 2015 del PAI dell'Autorità di Bacino della Basilicata. Si riporta, a seguire, l'immagine della tavola del Piano stralcio dell'AdB della Basilicata all'interno della quale ricade l'area di studio.

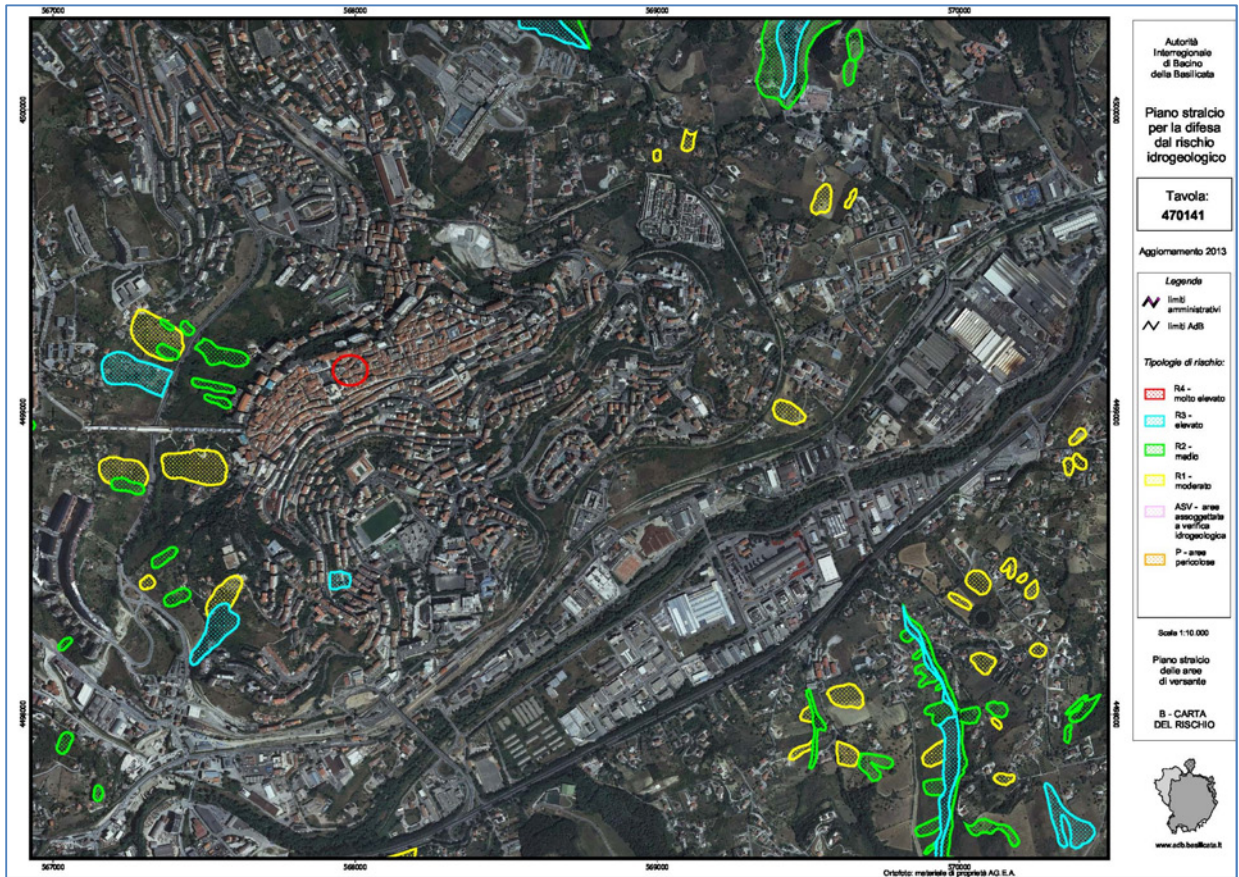
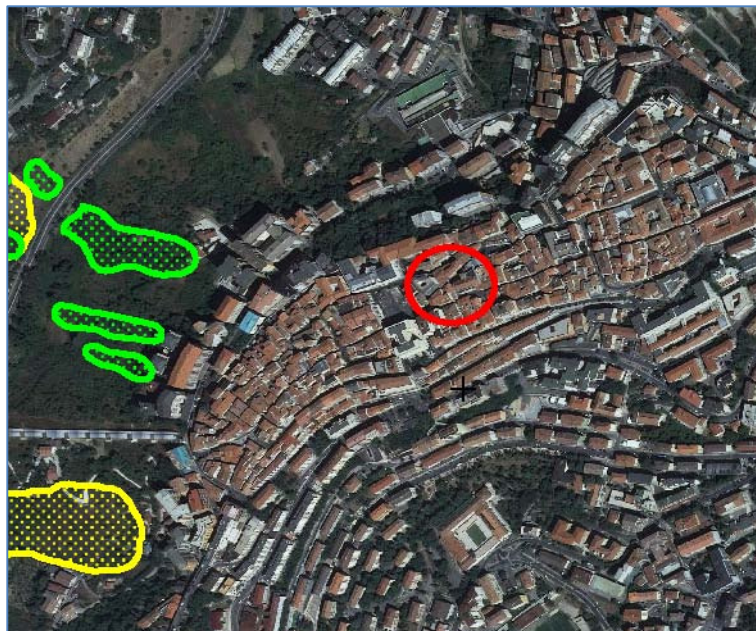


Tavola 470141 del Piano Stralcio dell’Autorità di Bacino della Basilicata. Nel cerchio a centro tavola è evidenziata l’area di ubicazione del fabbricato.



Stralcio della tavola precedente

11. Conclusioni

I rilievi geologici e l'analisi ed elaborazioni delle indagini eseguite e consultate hanno consentito di definire le principali caratteristiche geologiche dell'area interessata dal progetto, di ricostruire il modello geologico del sottosuolo ed i principali caratteri litostratigrafici del sito, nonché di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i litotipi individuati.

Il calcolo dell'amplificazione sismica, eseguito secondo quanto richiesto dal D.M. 14/01/2008, ha individuato un valore di $a_{g_{max}}$ variabile, in funzione dello stato limite di riferimento, da 0.929 a 3.504 m/s^2 .

Gli studi e le indagini hanno permesso di ricostruire l'assetto geostrutturale e la configurazione morfologica dell'area di sedime dell'opera in progetto, priva di situazioni di criticità legate a dissesti gravitativi superficiali e profondi.

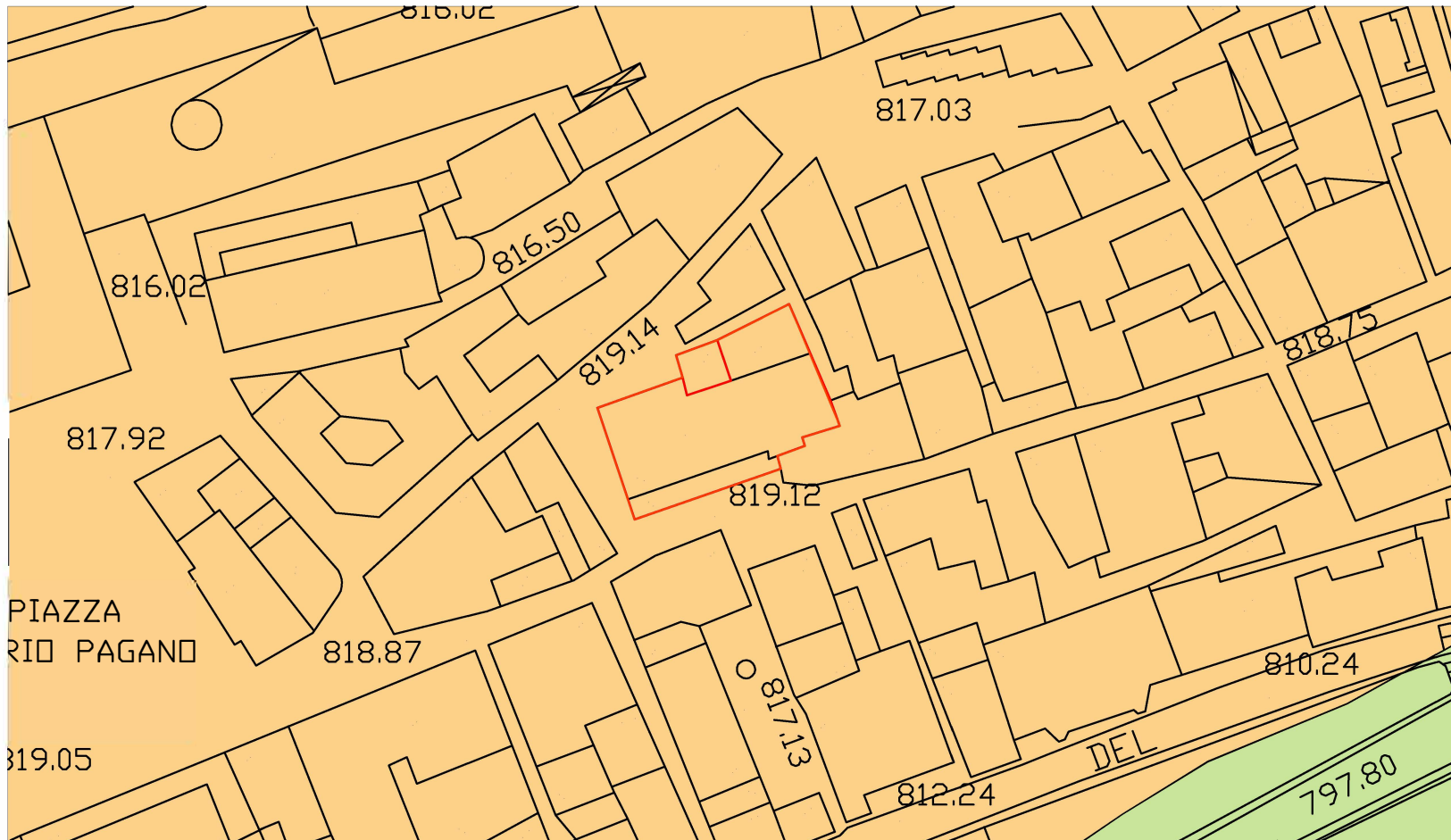
Dalle indagini dirette, attraverso uno scavo meccanico, ed indirette eseguite è emerso che al di sotto della pavimentazione della chiesa vi è un livello di materiale allentato per circa 4,5 – 5 m di probabile origine antropica, seguito da una successione conglomeratico – sabbiosa fino a circa 12 m, dove vi è il passaggio ad un terreno a maggiore rigidità che può essere associato alle Argille grigio azzurre. Questa profondità del passaggio alle argille è confermata dalla correlazione dei due sondaggi meccanici eseguiti per il RU di Potenza ai due estremi della dorsale morfologica su cui sorge il centro storico di Potenza.

La definizione della stratigrafia è stata ottenuta, quindi, dall'interpretazione delle indagini indirette e dalle considerazioni stratigrafiche derivanti dalle consultazioni di indagini meccanici pregressi. Ai fini di una corretta ricostruzione del modello geologico e geotecnico risulta necessario, nella successiva fase di progettazione, eseguire, all'interno della chiesa, un sondaggio meccanico per una profondità adeguata con prelievo di campioni da analizzare in laboratorio geotecnico.




Alla luce di tutto quanto esposto in questa relazione gli eventuali interventi in fondazione terranno conto del modello geolitologico ricostruito.

dott. geol. Pietro LORENZO

CARTA GEOLITOLOGICA E GEOMORFOLOGICA



LEGENDA

-  Superficie antropizzata con substrato costituito da Conglomerati poligenici e polidimensionali con abbondante matrice sabbiosa (Pleistocene)
-  Superficie antropizzata con substrato costituito d limi argillosi e argille siltose di colore grigio - azzurro, giallastre per alterazione, con livelli sabbiosi. (Pliocene).
-  Ubicazione della Chiesa della Trinità

INDAGINI SISMICHE

COMUNE DI POTENZA

**INDAGINI SISMICHE FINALIZZATE AI LAVORI DI RESTAURO E CONSOLIDAMENTO
STRUTTURALE DELLA CHIESA DELLA S.S. TRINITÀ NEL COMUNE DI POTENZA**



Via del Gallitello, 89. – 85100 Potenza
cell. 3476450646

RELAZIONE DI FINE CAMPAGNA

Committente:

Arcidiocesi di Potenza – Muro Lucano – Marsico Nuovo



INDICE

1. PREMESSA	3
2. SISMICA.....	3
2.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	3
2.2 SISMICA A RIFRAZIONE	4
2.2.1 <i>Limiti del metodo sismico a rifrazione</i>	5
2.2.2 <i>Indagine sismica a rifrazione</i>	5
2.3 ANALISI ONDE SUPERFICIALI (MASW).....	6
2.4 INDAGINE SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA.....	6
2.5 UNITÀ SISMO-STRATIGRAFICHE E PARAMETRI ELASTO MECCANICI.....	7
3. RISULTATI DELLA PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE BASE 1	9
4. RISULTATI DELL'ANALISI MULTICANALE ONDE DI SUPERFICIE - MASW	12
5. UNITÀ SISMO-STRATIGRAFICHE E PARAMETRI ELASTO MECCANICI.....	15
6. CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	15
7. MISURA H/V	16
7.1 MISURA H/V 1 4A.....	16
7.2 MISURA H/V 2.....	21
8. CONSIDERAZIONI VARIE.....	26

1. PREMESSA

E' stato affidato dalla Arcidiocesi di Potenza – Muro Lucano e Marsico Nuovo l'incarico per l'esecuzione di un'indagine sismica finalizzata alla caratterizzazione sismica dell'area di ubicazione della Chiesa della Trinità posta in Via Pretoria nel centro storico di Potenza.

La campagna di indagini è consistita in n. 1 stendimento sismico a rifrazione in onde P. in n. 1 in Masw e in due misure H/V.

Fanno parte della seguente relazione i seguenti allegati ed elaborati:

Allegato 1: *Relazione elaborazione dati indagine di superficie*

Elaborati grafici:

- ✓ TAV. A – Ubicazione profilo sismico
- ✓ TAV. C - Documentazione Fotografica

2. SISMICA

La finalità dell'indagine sismica eseguita è in primo luogo di rilevare l'andamento della sismostratigrafia del sottosuolo, ricercando le superfici di discontinuità fisica - rifrattori ed in particolare quelle superfici che separano porzioni di ammasso roccioso o terroso con differente grado di densità e compattezza. Dalla sismostratigrafia ottenuta, e con l'ausilio dei rapporti fra le velocità delle onde P ed S, è possibile ricavare lo spessore e le caratteristiche geomeccaniche (velocità delle onde elastiche, coefficiente di Poisson e moduli elastici dinamici) degli strati così riconosciuti, calcolare i valori di Rigidità Sismica dei singoli orizzonti al fine di valutare l'amplificazione sismica locale o la suscettibilità alla liquefazione di terreni saturi non coesivi e classificare i terreni alla luce della recente normativa sismica (V_{S30})

L'ubicazione delle indagini e lo schema di acquisizione adottato sono riportati in tav. A.

2.1 Strumentazione utilizzata

L'acquisizione dei dati è stata eseguita utilizzando un sistema costituito dalle seguenti parti:

- *Sismografo multicanale DoReMi a 24 canali*
- *Sorgente energizzante*
- *Trigger*
- *Strumentazione ricevente*
- *Software di analisi e elaborazione*

Il sistema DoReMi incorpora e distribuisce lungo il cavo sismico un sismografo modulare, canale per canale, riducendo notevolmente i rumori indesiderati che sono acquisiti quando la digitalizzazione avviene nell'unità centrale e il segnale viene trasferito su canali analogici per decine di metri. Ogni elemento possiede 64Kb di memoria ed è indipendente, pertanto può essere aggiunto o tolto poiché dispone di connettori maschio-femmina prima e dopo il digitalizzatore, configurando una installazione "a catena". Le principali caratteristiche dello strumento sono le seguenti:

- *2 cavi sismici da 60m cadauno*
- *Impedenza d'ingresso: >100k Ω*
- *Convertitore A/D, Tipologia: SAR Risoluzione: 16 bit Dinamica: 96 dB*
- *Dinamica totale senza postprocessing: > 127dB (a qualsiasi frequenza di campionamento)*

- *Memoria: 64 kByte (>30000 campioni)*
- *Frequenze di registrazione selezionabili variabili tra 200 e 20000 Hz*
- *Durata di campionamento variabile da 0.1s a 150s in funzione della frequenza di campionamento selezionata.*
 - *Filtri programmabili passa basso e passa alto sia digitali che a fase zero*
 - *Gain variabile da 27dB a 80dB*
 - *Possibilità di registrazione in autostack, inversione della polarità, workaway concatenata e d interlaccia; start da pc*
 - *Conversione dei file di acquisizione da formato proprietario a SEG -2, SEG - Y e CSV.*

Il sistema energizzante adottato per generare onde di compressione (P) è costituito da una mazza di ferro dal peso di 8 Kg battente verticalmente su una piastra in duralluminio del diametro di 18 cm, spessore 4 cm e peso di 2 Kg, posta a diretto contatto con il terreno e dotata di cordicella di ancoraggio.

Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante cella piezoelettrica solidale alla mazza di battuta consentendo al sistema di individuare l'esatto istante di attivazione della sorgente e quindi di fissare l'inizio della registrazione.

Per quanto riguarda la strumentazione ricevente, sono stati utilizzati ventiquattro geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz.

2.2 Sismica a rifrazione

Il metodo si basa sulla misura indiretta della velocità di propagazione di onde elastiche nel sottosuolo, generate da un qualsiasi sistema energizzante sito in superficie.

A seguito di una perturbazione energetica le onde sismiche si propagano nel sottosuolo e all'interfaccia tra due mezzi a diverso comportamento elastico e per angoli critici di incidenza (Legge di Snell), si propagano onde coniche (head wave) lungo la superficie di discontinuità, che rifrangono continuamente energia elastica verso l'alto. L'analisi delle registrazioni di tali onde e di quelle dirette, che viaggiano immediatamente al di sotto della superficie del terreno, costituiscono il fondamento del metodo descritto.

La strumentazione necessaria per l'acquisizione del segnale sismico è costituita da una serie di ricevitori (geofoni), disposti a intervallo costante lungo un certo allineamento e da un geofono starter che comunica al sismografo l'inizio dell'osservazione sperimentale.

La ricostruzione di un modello del sottosuolo e la stima del profilo di velocità delle onde elastiche longitudinali (V_p) è ottenuta con il picking delle prime fasi sismiche. Il riconoscimento del tempo di arrivo di onde dirette o head wave, registrate dai geofoni posti a distanza crescente dalla sorgente di energia permette di costruire una curva tempo/distanza (dromocrona) per ogni punto energizzato. Attraverso metodi analitici si ricavano le velocità delle onde longitudinali (V_p) dei mezzi attraversati ed il loro spessore. La valutazione delle velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira attorno al 15 -25 %.

2.2.1 Limiti del metodo sismico a rifrazione

La sismica a rifrazione è una metodologia molto utilizzata nella caratterizzazione delle proprietà elastiche e quindi fisico-meccaniche degli strati sepolti e per la ricostruzione geometrica degli spessori dei sismostrati. Tuttavia è opportuno definire le condizioni al contorno entro le quali il metodo può essere utilizzato e risultare affidabile.

Le velocità di propagazione delle onde elastiche, nello stesso tipo di roccia, possono variare notevolmente in funzione del grado di alterazione e/o di fratturazione. Inoltre in rocce stratificate differenze di velocità possono essere apprezzabili tra profili eseguiti in modo trasversale o parallelo alla direzione degli strati. Infine la presenza di falde acquifere, così come il grado di saturazione dei terreni, influenzano notevolmente le velocità delle onde compressionali.

Rocce molto fratturate e sedimenti saturi ($S_r = 1$) possono avere valori delle velocità delle onde di compressione tra loro paragonabili circa 1500 m/s.

In base a questi elementi la sismica a rifrazione generalmente fornisce una interpretazione sismo-stratigrafica dei profili investigati; tali modelli, senza la presenza di un sondaggio geognostico di taratura, possono corrispondere a differenti e realistici modelli geologico-stratigrafici.

Altri limiti della metodologia sono inoltre costituiti dalla lunghezza dello stendimento e dalla distanza intergeofonica. Il primo determina la massima profondità di investigazione mentre il secondo fissa il minimo spessore individuabile di uno strato.

Si ricorda infine che un sismostrato può essere evidenziato solamente se la sua velocità di trasmissione delle onde di compressione è maggiore rispetto a quella dei livelli sovrastanti (inversione della velocità) e se il suo spessore è congruente con la configurazione dell'array sismico. Infatti per essere evidenziato deve essere campionato da almeno due geofoni. Se ciò non avviene non si può valutare spessore e velocità (strato nascosto) e di conseguenza viene sottostimata la profondità del sismostrato sottostante.

2.2.2 Indagine sismica a rifrazione

La determinazione dei tempi di primo arrivo delle fasi sismiche (picking) è stato fatto utilizzando il software di acquisizione della DoReMi.

In alcuni casi prima di effettuare l'operazione di picking, sono sommate più registrazioni (stacking), allo scopo di aumentare il rapporto segnale/rumore pertanto sullo stesso punto e con lo stesso schema di disposizione dei geofoni sono effettuate più energizzazioni.

Il metodo usato per elaborazione dei dati è l'analisi tomografica.

Allo scopo di definire con maggiore risoluzione la distribuzione delle velocità con la profondità e risolvere alcuni dei problemi della rifrazione classica, i dati costituiti dai primi tempi di arrivo delle fasi sismiche e dalla configurazione geometrica dello stendimento sono stati convertiti in file ASCII ed importati nel software Rayfract (Vers. 3.32) che consente l'elaborazione dei dati con metodo tomografico.

L'analisi tomografica è stata condotta utilizzando il metodo di inversione WET (Wavepath Eikonal Traveltime) per il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite delle equazioni che esprimono le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.

Successivamente, con la fase di imaging, si ottiene con software dedicato (SURFER 11) l'immagine della sezione tomografica.

Si ricorda che il metodo tomografico individua spessori diversi, di solito maggiori, rispetto a quelli stimati dalla sismica tradizionale.

2.3 Analisi onde superficiali (MASW)

Per valutare l'andamento verticale delle velocità delle onde di taglio (S), sono state analizzate le onde di superficie (Rayleigh) tramite metodo attivo

Nella metodologia "attiva" le onde di superficie sono generate dall'interferenza costruttiva delle onde di volume (P ed Sv), ottenute da energizzazioni artificiali, incidenti sulla superficie libera del terreno.

Utilizzando una stesa di geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz) si registrano le onde di Rayleigh, onde che si propagano lungo la superficie, interessando strati di spessore pari a circa la lunghezza d'onda; in mezzi stratificati verticalmente, le diverse lunghezze d'onda, di armoniche a diversa frequenza, si propagano con velocità di fase che dipende dalle proprietà dei materiali interessati. Ciò fa sì che la velocità di fase sia funzione della frequenza dell'onda stessa.

Tale relazione viene rappresentata tramite la curva di dispersione. Ricorrendo a tecniche di analisi spettrale (analisi F/K) si individua la curva di dispersione sperimentale ricercando i punti di massima potenza spettrale. Sfruttando la relazione, $V_S \cong 1.1V_R$, si può risalire al profilo verticale della velocità delle onde di taglio. La massima profondità alla quale può essere ragionevolmente calcolata la V_S è circa metà della massima lunghezza d'onda misurata (Rix and Leipski, 1991).

Successivamente si esegue il processo d'inversione; si costruisce un modello del sottosuolo a n strati con date proprietà fisiche (V_S , V_p , ρ e ν) con il quale si generano un gran numero di modelli sismostratigrafici del sottosuolo.

A ciascuno dei modelli è associata una curva di dispersione teorica e lo scopo è quello di approssimare al meglio la curva di dispersione sperimentale.

Il modello con migliore misfit definisce il profilo verticale della velocità delle onde di taglio del sito ed è utilizzato per la stima del parametro V_{s30} (categoria di sottosuolo NTC 2008).

I software usati (GNU Public License) per questo tipo di analisi sono il GEOPSY per l'analisi ed il processamento dei segnali ed il Dinver per l'inversione dei dati. Quest'ultimo impiega come metodo di ricerca della curva di dispersione teorica, il Neighbourhood Algorithm, appartenente alla famiglia degli algoritmi genetici che permette di gestire i parametri fisici del terreno.

2.4 Indagine sismica passiva a stazione singola

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo della Sara Electronics. Lo strumento è dotato di tre sensori (velocimetri) a frequenza propria di 4,5 Hz orientati secondo una terna cartesiana ortogonale e convertitore A/D a 24 bit, con possibilità di campionare segnali fino a circa 0.3 Hz, è dotato di bolla sferica per il corretto posizionamento sul terreno, mentre l'accoppiamento con la superficie è assicurato da appositi piedini.

Le modalità di registrazione sono impostate su pc, utilizzando il modulo di acquisizione SEISMOLOG-MT prodotto dalla stessa ditta del sismografo.

L'elaborazione dei dati è stata eseguita con il software Geopsy (open source software).

Le vibrazioni ambientali sono movimenti del terreno impercettibili all'uomo, generati da sorgenti artificiali e naturali agenti a diverse frequenze. Se la distribuzione di tali sorgenti è uniforme rispetto al punto di misura la struttura del segnale, registrato per tempi sufficientemente lunghi tali da poter essere trattato ed elaborato in modo statistico, sarà condizionato essenzialmente dalla struttura del terreno.

La tecnica utilizzata per l'elaborazione dei dati è quella dei rapporti spettrali tra le ampiezze medie delle componenti orizzontali (H) e della componente verticale (V) del rumore registrato, graficati in funzione della frequenza, (Nogoshi e Igarashi 1970, Nakamura 1989) chiamata tecnica H/V o HVSNR (Horizontal to Vertical Spectral Noise Ratio).

Assumendo il sottosuolo costituito da mezzi stratificati orizzontalmente e il campo d'onda registrato costituito essenzialmente da onde superficiali (prodotte da sorgenti lontane) l'andamento della curva H/V può essere considerato equivalente all'ellitticità delle onde di Rayleigh (rapporto la componente orizzontale e verticale del moto ellittico).

In base ad argomentazioni teoriche la componente verticale delle onde di Rayleigh si annulla per frequenze corrispondenti alla frequenza di risonanza delle onde S. La stima della frequenza di risonanza sarà tanto più precisa quanto più è forte il contrasto di impedenza responsabile del fenomeno mentre la relazione tra ampiezza del massimo H/V e contrasto di di impedenza non è lineare.

In modelli di terreno schematizzabili da coperture detritiche su basamento sismico rigido la frequenza di risonanza (f_0) è pari al rapporto tra la media delle velocità delle onde di taglio delle coperture e quattro volte lo spessore, secondo la seguente relazione $f_0 = V_s/4H$. Utilizzando codici di calcolo è possibile determinare anche in situazioni più complesse il profilo verticale della velocità delle onde S fino a profondità dell'ordine di diverse decine di metri oppure determinare gli spessori degli strati a differente rigidità. In queste elaborazioni è necessario vincolare l'elaborazione dei dati ad un parametro noto a priori, rispettivamente gli spessori H o il profilo verticale della velocità delle onde di taglio, V_s .

2.5 Unità sismo-stratigrafiche e parametri elasto meccanici

I valori delle velocità delle onde sismiche stimate attraverso l'indagine Masw consente di determinare i seguenti parametri che descrivono il comportamento dei terreni sotto condizioni dinamiche:

- Il modulo di taglio mette in relazione la deformazione allo sforzo tangenziale applicato; in condizioni dinamiche (basse deformazioni) assume un valore costante, G_0 e si ricava con la seguente espressione :

$$G_0 = \rho V_s^2$$

- La densità geofisica è stata stimata con la seguente relazione, valida per mezzi saturi (Burns e Mayne, 1996):

$$\rho \approx 1 + \frac{1}{0.614 + \frac{58.7 (\log z + 1.095)}{V_s}}$$

I valori dei parametri elastici dinamici, calcolati da misure sismiche forniscono un limite superiore della rigidità dei terreni e sono da considerare adeguati a descrivere il comportamento del terreno per livelli deformativi modesti, inferiori ad una soglia di linearità γ_l che assume valori compresi tra 10^{-2} % e 10^{-4} % in funzione delle caratteristiche granulometriche e microstrutturali del terreno.

3. Risultati della prospezione sismica a rifrazione Base 1

La geometria dello stendimento è caratterizzata da distanza intergeofonica pari a 1,00 m, per una lunghezza complessiva di 23,00 m; le energizzazioni sono state eseguite in 5 distinte posizioni:

- esterna al canale 1 ($x = - 0,50$ m)
- intermedia ai canali 6 e 7 ($x = 5,50$ m)
- centrale tra i canali 12 e 13 ($x = 11,50$ m)
- intermedia ai canali 19 e 20 ($x = 18,50$ m)
- esterna al canale 24 ($x = 23,50$ m)

Lo stendimento è stato realizzato su una pavimentazione rigida sub pianeggiante pertanto per l'elaborazione dei dati non sono state apportate al modello correzioni topografiche. I segnali risultano disturbati per effetto di onde riflesse. I tempi di primo arrivo registrati da ciascun geofono e la configurazione dello stendimento sono riportati nella tabella seguente:

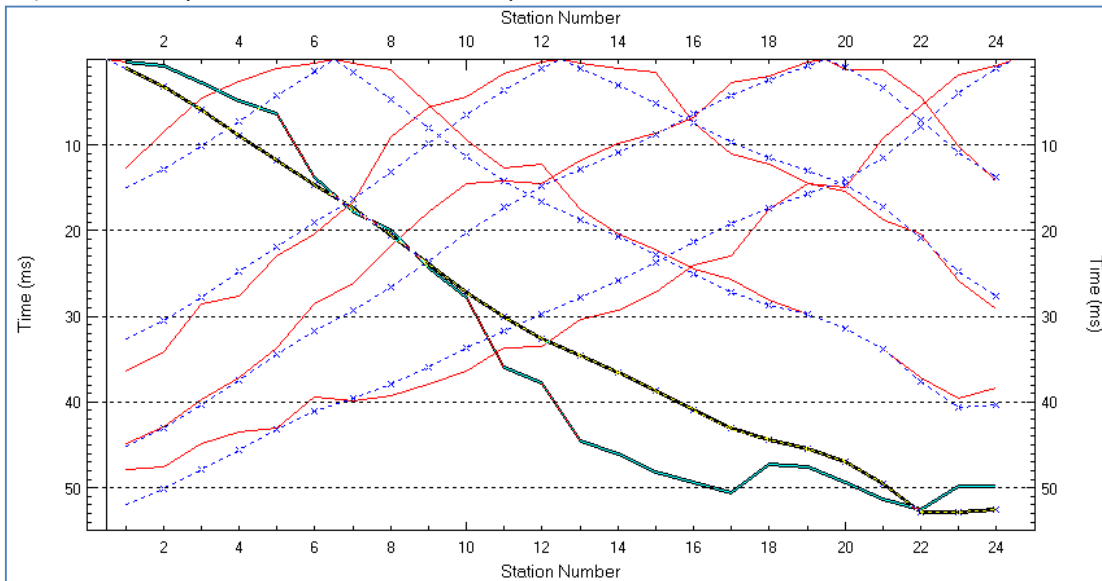
Geo	Elev.	X-Loc	Y-Loc	Tempi primi arrivi (ms)				
				Shot A	Shot B	Shot C	Shot D	Shot E
1	0,0	0,00	0,00	0,40	12,70	36,40	44,90	47,80
2	0,0	1,00	0,00	0,80	8,50	34,20	42,90	47,60
3	0,0	2,00	0,00	2,80	4,60	28,50	39,70	44,90
4	0,0	3,00	0,00	4,80	2,60	27,70	37,20	43,50
5	0,0	4,00	0,00	6,40	1,10	23,00	33,70	43,00
6	0,0	5,00	0,00	13,80	0,50	20,40	28,60	39,40
7	0,0	6,00	0,00	17,80	0,50	16,70	26,10	39,80
8	0,0	7,00	0,00	20,00	1,20	9,10	21,70	39,20
9	0,0	8,00	0,00	24,40	5,40	5,70	17,90	37,90
10	0,0	9,00	0,00	27,80	9,40	4,40	14,60	36,40
11	0,0	10,00	0,00	36,00	12,70	1,70	14,20	33,70
12	0,0	11,00	0,00	37,80	12,20	0,40	14,50	33,50
13	0,0	12,00	0,00	44,60	17,50	0,50	11,80	30,40
14	0,0	13,00	0,00	46,00	20,40	1,10	9,90	29,30
15	0,0	14,00	0,00	48,20	22,20	1,60	8,60	27,20
16	0,0	15,00	0,00	49,40	24,50	7,40	6,90	24,10
17	0,2	16,00	0,00	50,60	25,70	11,10	2,80	23,00
18	0,4	17,00	0,00	47,20	28,10	12,20	2,00	17,60
19	0,4	18,00	0,00	47,60	29,80	14,60	0,40	14,50
20	0,4	19,00	0,00	49,40	31,40	15,40	1,20	15,00
21	0,4	20,00	0,00	51,40	33,80	18,70	1,20	9,20
22	0,4	21,00	0,00	52,60	37,10	20,40	4,40	5,50
23	0,4	22,00	0,00	49,80	39,50	25,80	10,20	1,80
24	0,4	23,00	0,00	49,80	38,40	29,10	14,20	0,80

Facendo riferimento al picking utilizzato nell'elaborazione classica è stato definito un modello iniziale di velocità (1D) in corrispondenza dei 5 shot utilizzando l'algoritmo *Smooth inversion* e, dopo controllo dei dati, è stata utilizzata la modellazione *Pseudo-2D-t-v*.

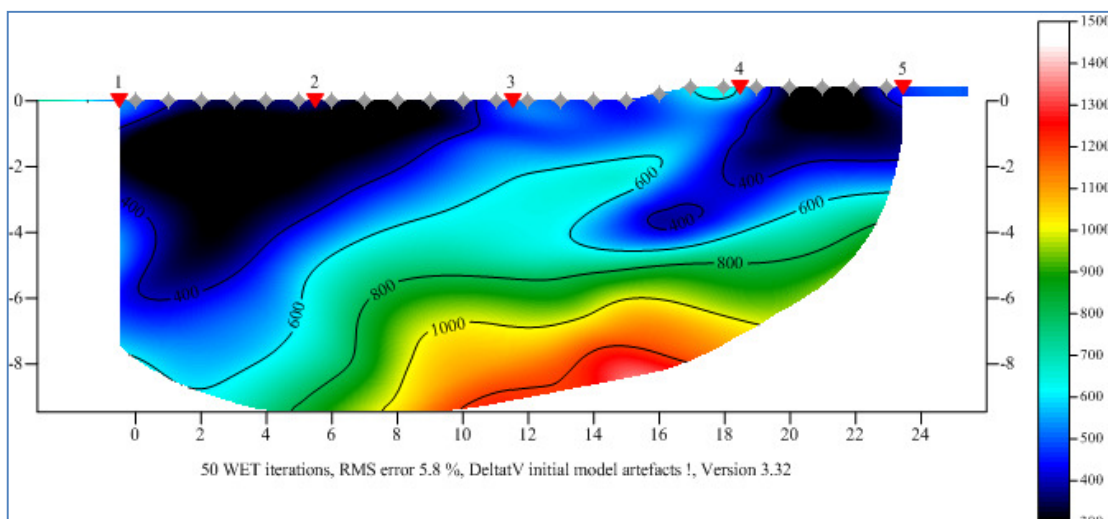
In seguito è stata fatta l'inversione tomografica vera e propria con 50 iterazioni allo scopo, tramite il Wavepath Eikonal Traveltime tomography processing che rappresenta una vera e propria

inversione tomografica tramite il tracciato di raggi, di ricostruire i fronti d'onda tenendo conto della frequenza del segnale utilizzato, con una soluzione alle differenze finite dell'equazione Eikonal.

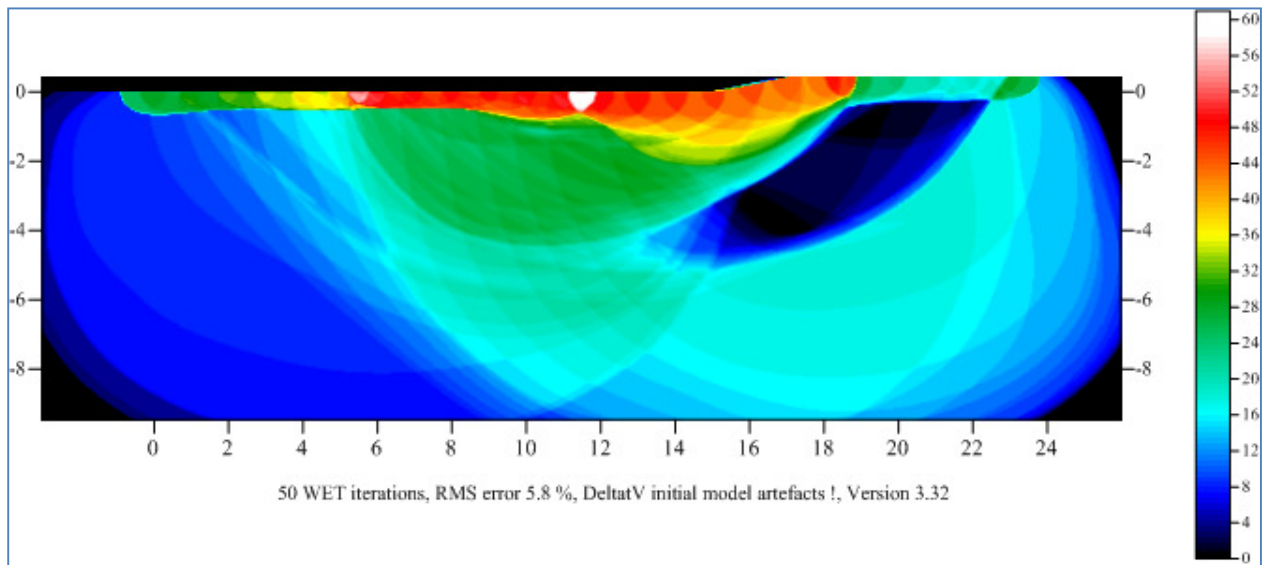
Di seguito si riporta il grafico con l'andamento in rosso delle domocrone sperimentali ed in blu a tratteggio, quelle calcolate. Dalla comparazione si evidenzia un discreto fitting tra le curve. In termini numerici l'errore RMS (scarto quadratico medio) risulta pari a 3,30 ms e RMS normalizzato = 5,8 % (RMS diviso per il massimo valore dei primi arrivi di tutte le tracce modellate).



Nella figura successiva si riporta il modello tomografico. Si nota una distribuzione laterale anomala della velocità con repentino aumento del gradiente verticale di velocità a circa 5/6 m dal p.c., in corrispondenza del passaggio a terreni con maggiore rigidità.



Nella figura sottostante si riporta la densità delle distribuzioni dei raggi sismici lungo la sezione tomografica. Si nota una buona copertura fino a circa 5/6 m di profondità con massimi, nella parte centrale della sezione, a circa 4 m di profondità dal p.c. Il tratto iniziale della sezione, fino a circa 6 m mostra una copertura scarsa fin da circa 1 m di profondità.



4. Risultati dell'analisi multicanale onde di superficie - MASW

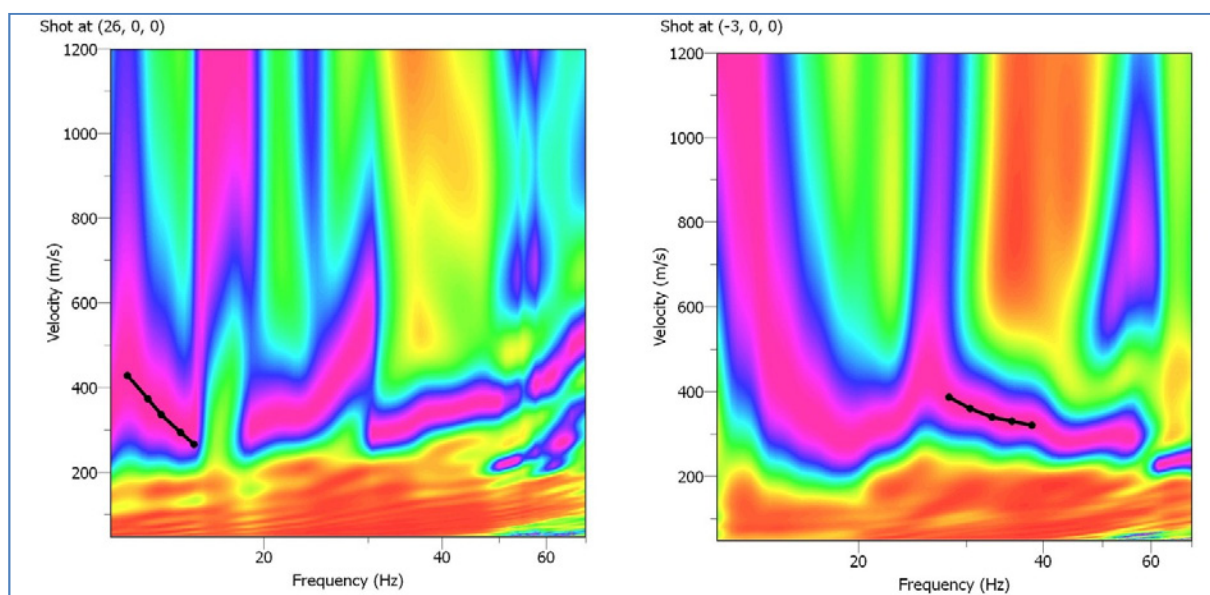
I dati di campagna sono stati raccolti utilizzando lo stendimento impiegato nella sismica a rifrazione, quindi con geofoni a distanza intergeofonica pari a 1,00 m. Sono stati eseguiti due shot con offset di 3,00 m, esterni rispettivamente ai geofoni 1 e 24

La lunghezza delle registrazioni è stata fissata in 2,00 s con frequenza di campionamento pari a 3000 Hz. Con tale configurazione si ottiene una frequenza di Nyquist pari a circa 1500 Hz e una risoluzione in frequenza di 0,50 Hz.

Dall'elaborazione dei dati sono state ricavate per ogni shot le densità spettrali nel piano frequenza-velocità di fase delle onde superficiali e per il picking della curva di dispersione è stato usato lo shots che meglio ne permetteva la definizione.

Nella figura seguente si riporta a sinistra la densità spettrale delle onde superficiali relativa allo shot fatto a 3,00 m dal geofono 24 con il picking (massimi dello spettro) della curva di dispersione attribuita soggettivamente al modo fondamentale

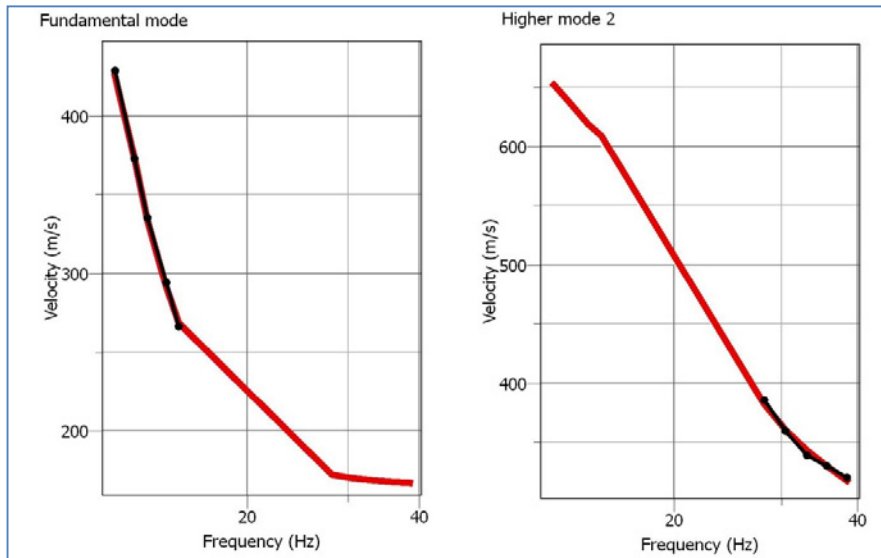
Per definire con maggior chiarezza la curva di dispersione alle alte frequenze, è stato utilizzato anche lo spettro relativo allo shot eseguito a 3 m dal geofono 1, vedi grafico a destra, dove la curva è stata assegnata al 2 modo superiore.



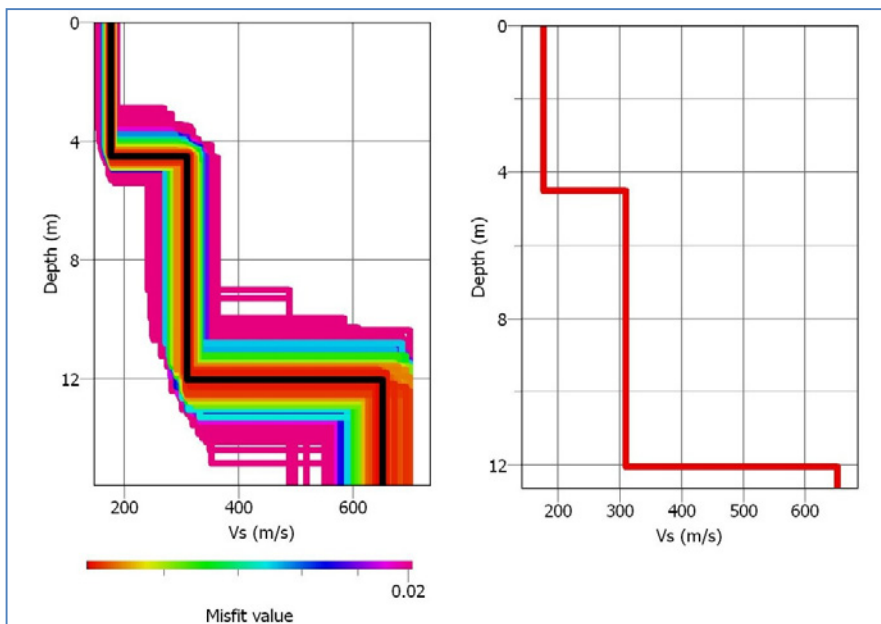
Sui dati relativi allo shot eseguito a 3 m dal geofono24 è stata verificata la coerenza di fase del segnale per determinare la frequenza minima affidabile risultata pari a circa 11,50 Hz, pari ad una lunghezza d'onda di circa 36,00 m, pertanto l'indagine ha permesso di investigare il sottosuolo fino ad una profondità stimabile in circa 18,00 m dal p.c

Il processo d'inversione con il quale sono ricercati i modelli di sottosuolo che meglio approssimano il dato sperimentale è iniziato ipotizzando due strati con variazioni molto ampie dei parametri di rigidezza. Successivamente il modello è stato affinato facendo riferimento anche ai dati della sismica a rifrazione per ridurre al minimo possibile lo scarto con il dato sperimentale.

Nella figura seguente si riportano i grafici per il confronto tra le curve di dispersione sperimentali (linee nere) attribuite al modo fondamentale ed al 2 modo superiore con quelle teoriche relative al modello con miglior misfit (linee rosse).



Il profilo verticale del parametro Vs relativo a tale modello sismostratigrafico è graficato nella figura sottostante a sinistra (linea nera) mentre le linee variamente colorate rappresentano modelli con scarti maggiori rispetto al modello sperimentale. Il profilo con valore minimo di misfit, $\approx 1,11\%$ è riportato per maggiore chiarezza nel grafico a destra.



Il profilo verticale delle velocità delle onde di taglio è così riassumibile:

- *un primo sismostrato caratterizzato da modeste oscillazioni della velocità delle onde S e della profondità della base rispetto ai valori di riferimento del modello a migliore misfit, pari rispettivamente a 176 m/s e 4,50 m.*
- *un secondo sismostrato caratterizzato da modeste oscillazioni della velocità delle onde S e della profondità della base rispetto ai valori di riferimento del modello a migliore misfit, pari rispettivamente a 311 m/s e 12,00 m.*
- *un terzo sismostrato identificabile, dati i limiti e le risultanze della presente indagine, come semispazio omogeneo caratterizzato da modeste oscillazioni del valore della velocità di onde di taglio rispetto al valore del modello con miglior misfit pari a circa 651 m/s.*

Per quanto riguarda il grado d'incertezza del risultato osserviamo che in un ampio intervallo di profondità la variabilità del dato sperimentale si mantiene entro limiti più che accettabili, con buona convergenza verso il modello migliore.

5. Unità sismo-stratigrafiche e parametri elasto meccanici

Le indagini hanno permesso di definire 3 unità sismo-stratigrafiche con differenti caratteristiche elastiche. I valori delle velocità delle onde sismiche stimate nel paragrafo precedente, consentono di determinare alcuni parametri che descrivono il comportamento dei terreni sotto condizioni dinamiche.

Nella Tabella sottostante sono riassunti i parametri calcolati:

Sismo-strato	V_s (m/s)	G_o (MPa)	ρ (gr/cm ³)
A	176	58	≈ 1,88
B	311	196	≈ 2,03
C	651	946	≈ 2,23

V_s = Velocità delle onde di taglio; G_o = modulo di deformazione di taglio, ρ = densità geofisica;

I valori dei parametri elastici dinamici, calcolati da misure sismiche forniscono un limite superiore della rigidità dei terreni e sono da considerare adeguati a descrivere il comportamento del terreno per livelli deformativi modesti, inferiori ad una soglia di linearità γ_l che assume valori compresi tra 10^{-2} % e 10^{-4} % in funzione delle caratteristiche granulometriche e microstrutturali del terreno.

6. Categoria di suolo di fondazione

Ai fini della definizione per via semplificata dell'azione sismica di progetto (D.M. 14 gennaio 2008, cap. 3.2.2.), è stata stimata la categoria di sottosuolo di fondazione utilizzando i dati delle onde superficiali elaborati con tecnica MASW. L'indagine ha consentito di esplorare il terreno fino ad una profondità massima di circa 18 m dal p.c., profondità entro la quale non è stato individuato il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s). In base alla conoscenze geologiche del sito si ritiene di poter utilizzare la velocità V_s del semispazio fino a profondità di almeno 30 m dal p.c.

Facendo riferimento al profilo verticale delle onde S elaborato nel capitolo della Masw i terreni presentano rispetto al p.c. una velocità equivalente, $V_{s30} = 388$ m/s, calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{si}}} \text{ [m/s]}$$

In riferimento alla tabella 3.2.II del DM 14/01/2008 il sito in esame, tenendo conto delle incertezze correlate alla tipologia di indagine è in modo cautelativo attribuibile alla categoria di sottosuolo B: *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

7. Misura H/V

7.1 Misura H/V 1 4a

Lo strumento è stato posizionato davanti all'ingresso laterale della chiesa (vedi foto sottostante), dopo aver creato un piano di appoggio ottimale per l'accoppiamento dello strumento con il terreno e orientato il nord strumentale con direzione parallela al nord geografico.

La durata della registrazione è stata impostata a 20 minuti con frequenza di campionamento fissata a 300 Hz.



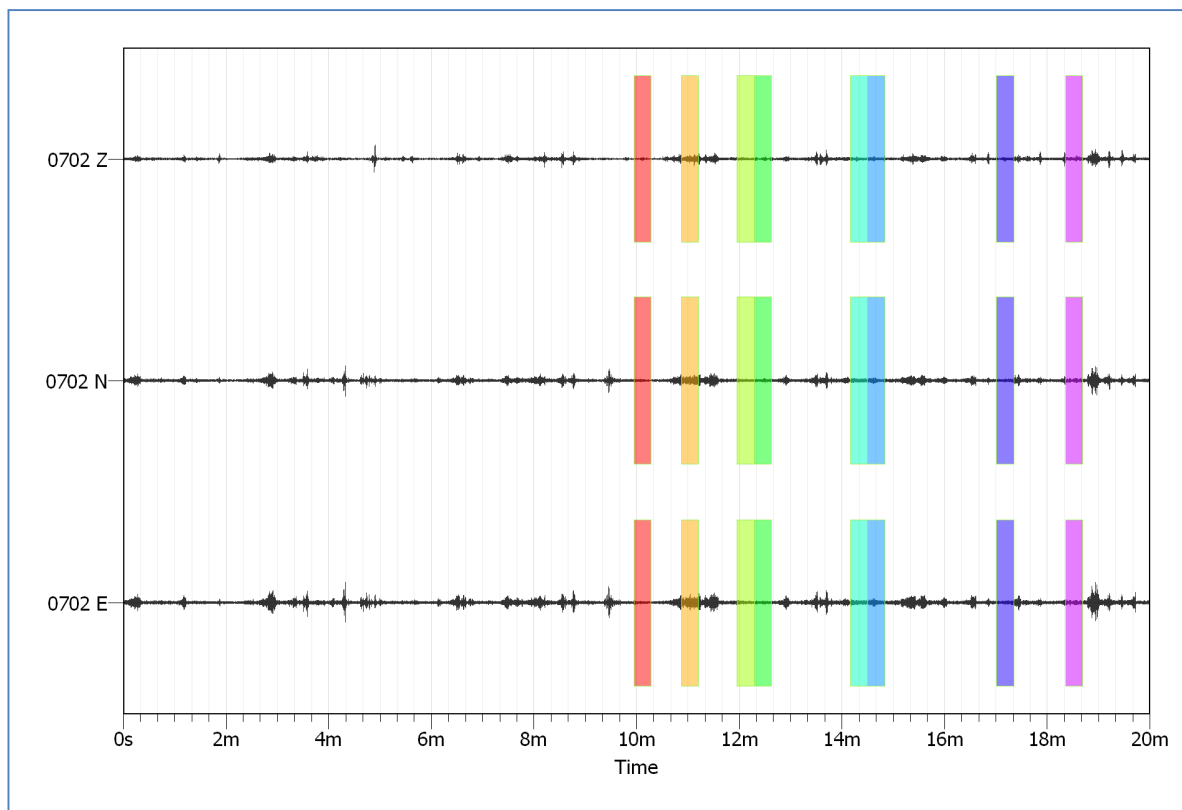
Ubicazione stazione misura H/V4

Nella fase di processing il segnale è stato suddiviso in modo automatico in finestre temporali di 20 secondi applicando un algoritmo anti-triggering (STA/LTA) per eliminare finestre con presenza di transienti e successivamente rimuovendo manualmente alcune finestre per una migliore definizione.

Sulle finestre utili il programma calcola la trasformata di Fourier adottando un cosine taper (Tukey window) per limitare gli effetti di bordo della finestrazione del segnale e applicando una funzione di lisciamento (Konno Homachi) sulle ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e su quella della componente verticale. La curva H/V viene calcolata come media geometrica di tutte le curve H/V relative alle finestre selezionate. Nella registrazione riportata nella figura sottostante, i rettangoli colorati rappresentano le finestre selezionate per l'elaborazione.

Di seguito si riportano in modo schematico i parametri di acquisizione e processing del segnale.

Lunghezza finestra	20 s ; numero finestre selezionate = 8
Overlap	SI
Anti triggering sul segnale naturale	SI (STA = 1s; LTA = 30s; min. STA/LTA = 0,50; max STA/LTA = 2.00)
Filtri	NO
Funzione di lisciamento grafico H/V	Konno Ohmachi
Costante di lisciamento grafico H/V	40
Taper	Tukey window, ampiezza 5%



Finestre selezionate per processing H/V1

Nel grafico che segue sono riportate le ampiezze spettrali medie delle tre componenti del segnale registrato. In rosso la componente verticale Z, in verde quella orizzontale direzione EO e in blu la componente orizzontale direzione NS.

Per l'elaborazione dei dati è stata adottata la funzione di lisciamento di Konno Ohmachi (SMOOTHING CONSTANT = 40.00).

Si nota a circa 28 Hz, in corrispondenza di un minimo locale dell'ampiezza della componente verticale un forte aumento delle ampiezze delle componenti orizzontali. Tali forme sono indicative di una risonanza stratigrafica (Castellaro e Mulargia, 2009b).

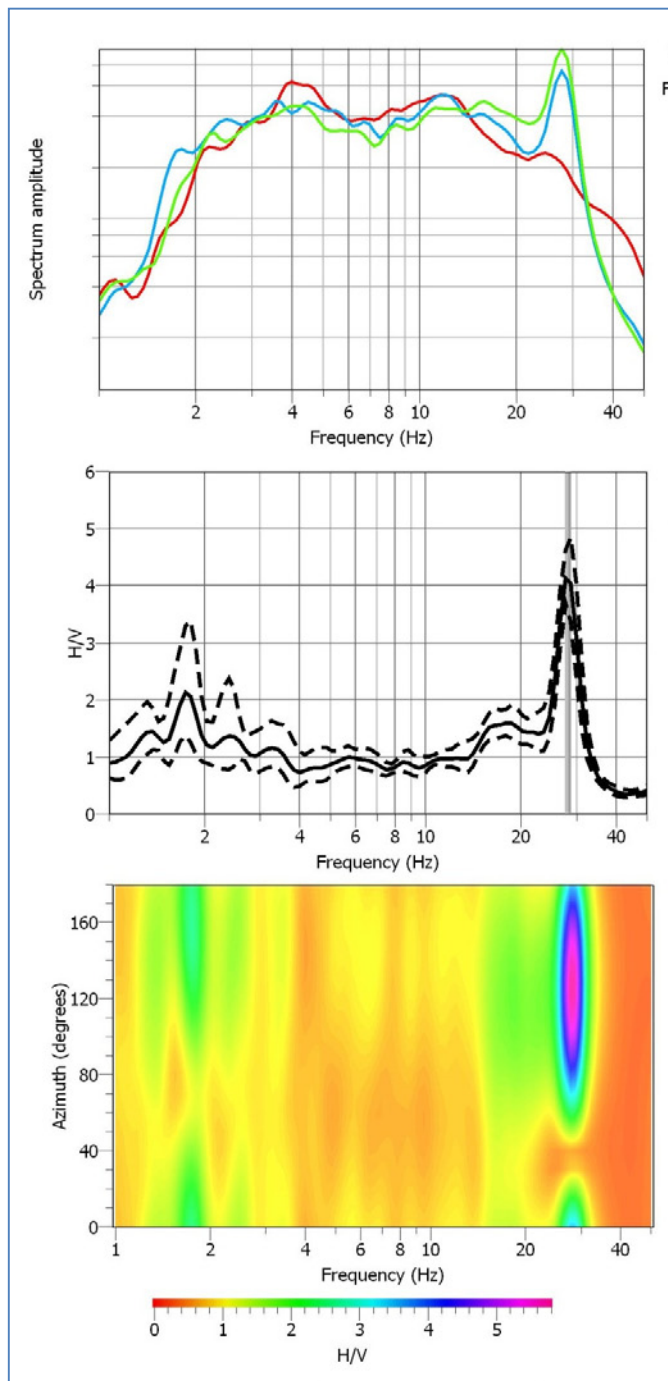
Nella figura successiva è riportato l'andamento in frequenza del rapporto H/V ottenuto dalla media geometrica dei rapporti H/V sulle finestre di segnale selezionato. Il rapporto di ampiezza spettrale (H/V) è calcolato eseguendo il rapporto tra la media quadratica delle componenti orizzontali (N-S e H) e la componente verticale (V).

Le linee tratteggiate rappresentano le curve di deviazione standard, mentre l'area grigia rappresenta la frequenza di picco media + la deviazione standard (la frequenza di picco separa le due aree con differenti tonalità di grigio).

Nel grafico si nota un picco a 28,20 Hz con deviazione standard pari a $\sigma_f = \pm 0,59$ e ampiezza pari a $A_o = 4,08$. Per verificare l'isotropia delle sorgenti sono riportati nell'ultima figura i rapporti spettrali medi H/V in funzione dell'azimuth, cioè della direzione di provenienza delle componenti orizzontali. Si nota una discreta stazionarietà in corrispondenza del picco della curva H/V1 per tutte le direzioni analizzate (intervalli di 10°) con riduzione dell'ampiezza nell'intervallo 30° - 60°.

Un secondo picco con ampiezza maggiore di 2 compare alla frequenza di 1,73Hz.

Ampiezze spettrali medie delle tre componenti del segnale registrato



Curve H/V e curve di confidenza

Ampiezza dei rapporti H/V alle varie frequenze secondo la distribuzione azimutale delle sorgenti

Per valutare la qualità e significatività del picco H/V si riportano di seguito i parametri di robustezza statistica e di chiarezza secondo quanto proposto dal progetto europeo SESAME (**Site Effects assessment using Ambient Excitations**, 2004).

PICCO H/V a $28,20 \pm 0,59$ Hz (intervallo di frequenze esaminate 1,00 Hz – 50 Hz)				
Criteri per una curva H/V affidabile (tutti e tre devono essere verificati)				
i) $f_0 > 10 / L_w$	28,2	>	0,02	SI
ii) $n_c(f_0) > 200$	4511,65	>	200	SI
iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz	$\sigma_A(f)$	<	2	SI
or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ H	Superato 0 su		33,00	
Criteri per un Picco H/V chiaro (almeno 5 su 6 soddisfatti)				
i) $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Verificato per frequenza di:		27,64	SI
ii) $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Verificato per frequenza di:		28,75	SI
iii) $A_0 > 2$	$A_0 = 4,08$			SI
iv) $f_{\text{peak}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$				SI
v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0,6	<	1,41	SI
vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1,16	<	1,58	SI

L_w =lunghezza della finestra = 20 s
n_w = numero di finestre usate nell'analisi = 8
$n_c = L_w \cdot n_w \cdot f_0$ = numero di cicli significativi
f = frequenza attuale
f_0 = frequenza del picco H/V
$\sigma(f)$ = deviazione standard della frequenza del picco H/V calcolata su tutte le finestre
$\varepsilon(f_0)$ = valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma(f) < \varepsilon(f_0)$
A_0 = ampiezza media della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$ ampiezza media della curva H/V alla frequenza f
f^- = frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$
f^+ = frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$
$\sigma_A(f)$ = deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$ = deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$ = valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

Il picco della curva H/V individuato alla frequenza, $f_0 = 28,20$ Hz, soddisfa i criteri del progetto SESAME sia per quanto riguarda la chiarezza del picco sia per quanto riguarda l'affidabilità. In base ai dati a disposizione, forme spettrali e stazionarietà si ritiene che il picco individuato rifletta probabilmente un contrasto di impedenza stratigrafico superficiale collegato al passaggio tra terreni di differente rigidità sismica.

La curva H/V mostra inoltre un picco secondario a 1,73 Hz con ampiezza modesta circa 2 associabile ad un contrasto di rigidità profondo, stimabile a circa 70 – 80 m dal p.c.

7.2 Misura H/V 2

Lo strumento è stato posizionato nell'interno della chiesa (vedi foto sottostante), dopo aver creato un piano di appoggio ottimale per l'accoppiamento dello strumento con il terreno e orientato il nord strumentale con direzione parallela al nord geografico.

La durata della registrazione è stata impostata a 20 minuti con frequenza di campionamento fissata a 300 Hz.

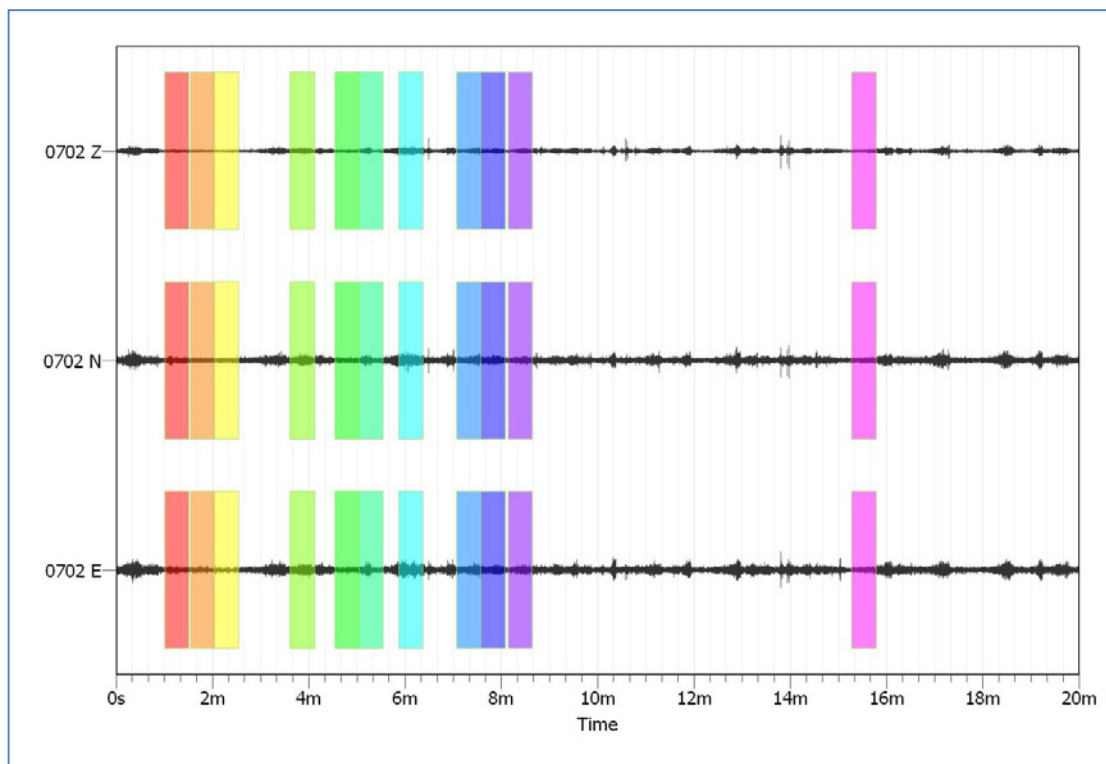


Ubicazione stazione misura H/V2

Nella fase di processing il segnale è stato suddiviso in modo automatico in finestre temporali di 20 secondi applicando un algoritmo anti-triggering (STA/LTA) per eliminare finestre con presenza di transienti e successivamente rimuovendo manualmente alcune finestre per una migliore definizione. Sulle finestre utili il programma calcola la trasformata di Fourier adottando un cosine taper (Tukey window) per limitare gli effetti di bordo della finestrazione del segnale e applicando una funzione di lisciamiento (Konno Homachi) sulle ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e su quella della componente verticale. La curva H/V viene calcolata come media geometrica di tutte le curve H/V relative alle finestre selezionate. Nella registrazione riportata nella figura sottostante, i rettangoli colorati rappresentano le finestre selezionate per l'elaborazione.

Di seguito si riportano in modo schematico i parametri di acquisizione e processing del segnale.

Lunghezza finestra	30 s ; numero finestre selezionate = 11
Overlap	SI
Anti triggering sul segnale naturale	SI (STA = 1s; LTA = 30s; min. STA/LTA = 0,50; max STA/LTA = 2.00)
Filtri	NO
Funzione di lisciamento grafico H/V	Konno Ohmachi
Costante di lisciamento grafico H/V	40
Taper	Tukey window, ampiezza 5%



Finestre selezionate per processing H/V2

Nel grafico che segue sono riportate le ampiezze spettrali medie delle tre componenti del segnale registrato. In rosso la componente verticale Z, in verde quella orizzontale direzione EO e in blu la componente orizzontale direzione NS.

Per l'elaborazione dei dati è stata adottata la funzione di lisciamento di Konno Ohmachi (SMOOTHING CONSTANT = 40.00).

Si nota alle basse frequenze in corrispondenza di minimi dell'ampiezza della componente

verticale un aumento delle ampiezze delle componenti orizzontali. Tali forme sono indicative di una risonanza stratigrafica (Castellaro e Mulargia, 2009b).

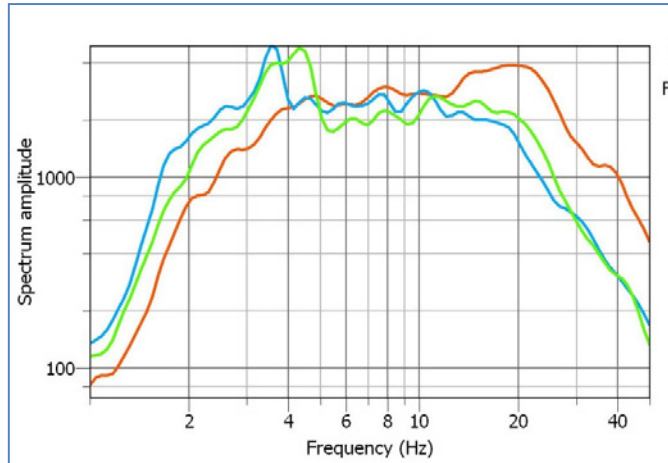
Nella figura successiva è riportato l'andamento in frequenza del rapporto H/V ottenuto dalla media geometrica dei rapporti H/V sulle finestre di segnale selezionato. Il rapporto di ampiezza spettrale (H/V) è calcolato eseguendo il rapporto tra la media quadratica delle componenti orizzontali (N-S e H) e la componente verticale (V).

Le linee tratteggiate rappresentano le curve di deviazione standard, mentre l'area grigia rappresenta la frequenza di picco media + la deviazione standard (la frequenza di picco separa le due aree con differenti tonalità di grigio).

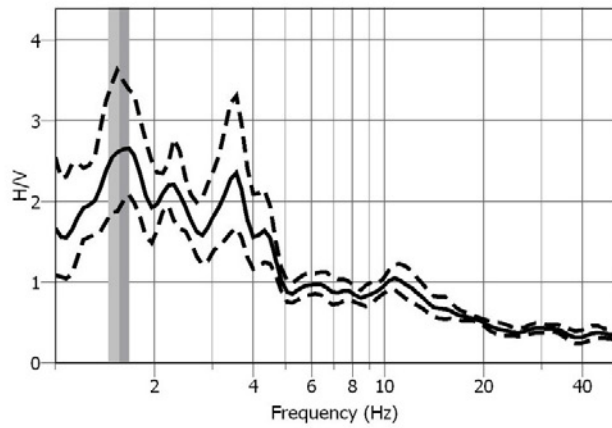
Nel grafico si nota un picco a 1,56 Hz con deviazione standard pari a $\sigma = \pm 0,11$ e ampiezza pari a $A_0 = 2,62$. Per verificare l'isotropia delle sorgenti sono riportati nell'ultima figura i rapporti spettrali medi H/V in funzione dell'azimuth, cioè della direzione di provenienza delle componenti orizzontali. Si nota una discreta stazionarietà in corrispondenza del picco della curva H/V1 per tutte le direzioni analizzate (intervalli di 10°).

Per frequenze maggiori di 11 Hz la curva H/V risulta inferiore ad 1 indicando un'inversione di velocità per la presenza di uno strato rigido superficiale. Tale livello opera da filtro per le componenti orizzontali non permettendo di evidenziare eventuali picchi di natura stratigrafica.

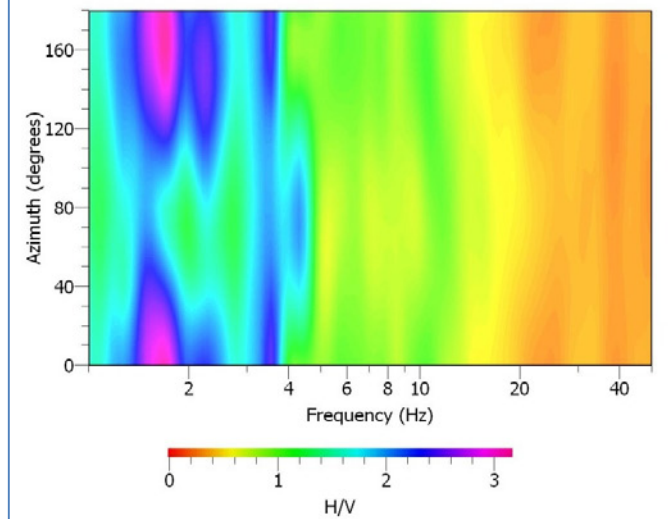
Ampiezze spettrali medie delle tre componenti del segnale registrato



Curve H/V e curve di confidenza



Ampiezza dei rapporti H/V alle varie frequenze secondo la distribuzione azimutale delle sorgenti



Per valutare la qualità e significatività del picco H/V si riportano di seguito i parametri di robustezza statistica e di chiarezza secondo quanto proposto dal progetto europeo SESAME (**Site Effects assessment using Ambient Excitations**, 2004).

PICCO H/V a $1,56 \pm 0,11$ Hz (intervallo di frequenze esaminate 1,00 Hz – 50 Hz)				
Criteri per una curva H/V affidabile (tutti e tre devono essere verificati)				
i) $f_0 > 10 / L_w$	1,56	>	0,11	SI
ii) $n_c(f_0) > 200$	516,37	>	200	SI
iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz	$\sigma_A(f)$	<	2	SI
or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ H	Superato 0 su		29,00	
Criteri per un Picco H/V chiaro (almeno 5 su 6 soddisfatti)				
i) $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Verificato per frequenza di:		1,54	SI
ii) $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Verificato per frequenza di:		1,61	SI
iii) $A_0 > 2$	$A_0 = 2,62$			SI
iv) $f_{\text{peak}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$				NO
v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0,11	<	0,16	SI
vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1,37	<	1,78	SI

L_w =lunghezza della finestra = 30 s
n_w = numero di finestre usate nell'analisi = 11
$n_c = L_w \cdot n_w \cdot f_0$ = numero di cicli significativi
f = frequenza attuale
f_0 = frequenza del picco H/V
$\sigma(f)$ = deviazione standard della frequenza del picco H/V calcolata su tutte le finestre
$\varepsilon(f_0)$ = valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma(f) < \varepsilon(f_0)$
A_0 = ampiezza media della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$ ampiezza media della curva H/V alla frequenza f
f^- = frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$
f^+ = frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$
$\sigma_A(f)$ = deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$ = deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$ = valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

Il picco della curva H/V individuato alla frequenza, $f_0 = 1,56$ Hz, soddisfa i criteri del progetto SESAME sia per quanto riguarda la chiarezza del picco sia per quanto riguarda l'affidabilità. In base ai dati a disposizione, forme spettrali e stazionarietà si ritiene che il picco individuato rifletta probabilmente un contrasto di impedenza stratigrafico profondo collegato al passaggio tra terreni di differente rigidità sismica. Tale picco risulta coerente con quello individuato nella misura eseguita all'esterno della Chiesa.

8. Considerazioni varie

Le condizioni logistiche del cantiere, spazi ristretti e pavimentazione rigida, non hanno permesso una buona qualità dei segnali acquisiti.

Negli spettri elaborati dall'indagine MASW il pickig della curva di dispersione ha definito dei brevi tratti di curva che possono essere invertiti da differenti modelli sismotratigrafici con eguale fitting. E' opportuno integrare le indagini eseguite con una campagna geognostica che preveda l'esecuzione di sondaggi meccanici per la definizione della stratigrafia locale.

La misura H/V2 eseguita all'interno della Chiesa non permette di verificare il contrasto di rigidità a circa 4-5 m dal p.c., evidenziato dalle indagini multicanali per la presenza di una pavimentazione rigida.

Entrambe le misure H/V mostrano un picco H/V a basse frequenze, 1,73 Hz (H/V1) e 1,56 Hz (H/V2) associabile ad un contrasto di rigidità profondo.

Potenza novembre 2016

GEOESPLORAZIONI
dott. geol. Pietro LORENZO



INDAGINE GEOFISICA ALLEGATI

<i>Committente</i> Arcidiocesi di Potenza- Muro Lucano e Marsico Nuovo	<i>Data</i> ottobre 2016

Nome ditta:
GeoEsplorazioni di P. LORENZO

Nome operatore:
geol. Pietro LORENZO

Nome cliente:
Diocesi di Potenza

Strumento:
Sismografo multicanale DoReMi

Data:
21/10/2016

Ora:
07:32:22

Luogo:
Chiesa Trinità - Potenza

Nome del file:
2016-10-21_07-32-21_05000_00025_024_Acquis.drm

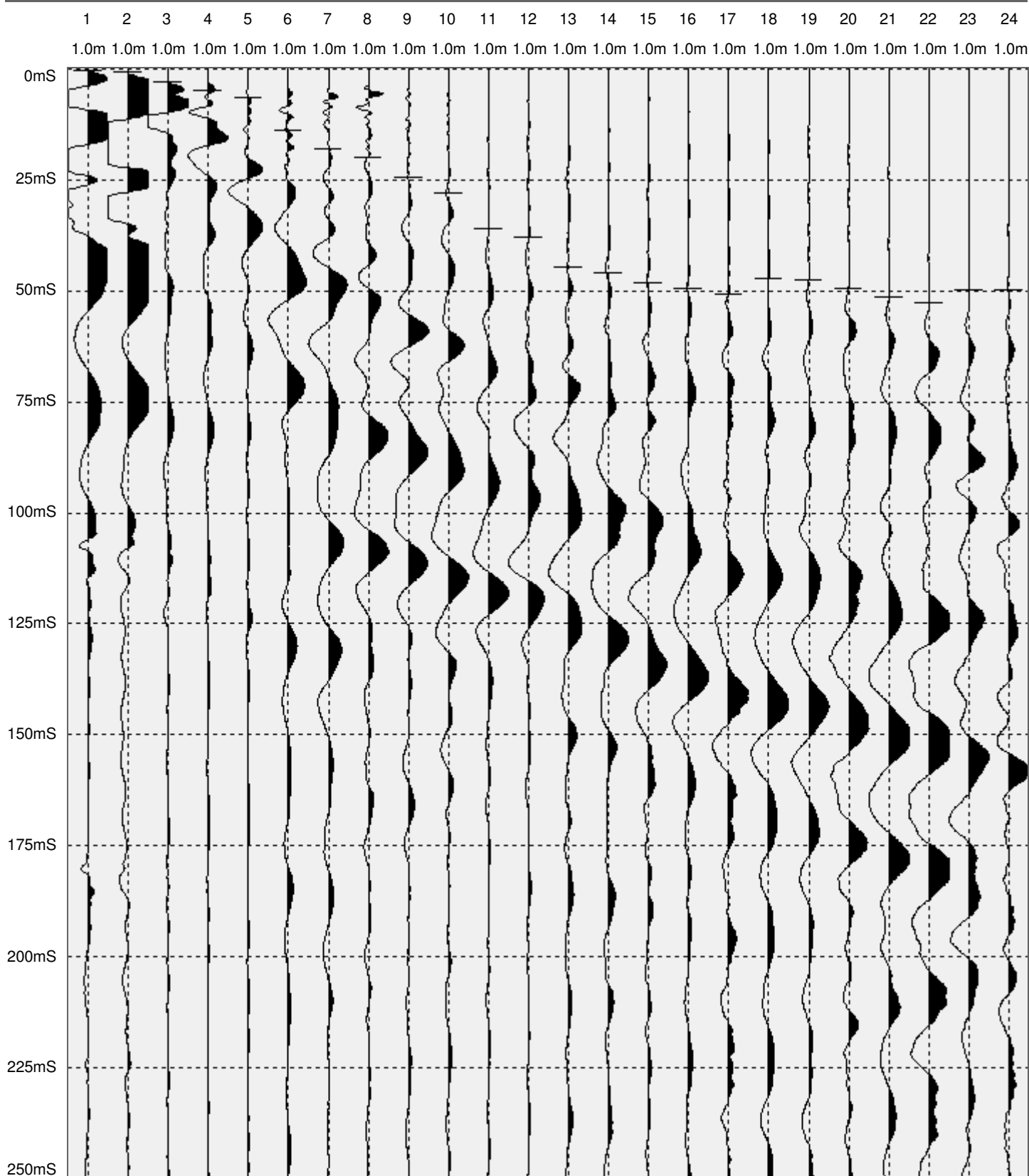
Coordinate del sito:
40° 38.314'N - 15° 48.208'E

Periodo di campionamento:
200uS (5000 SPS)

Durata:
250mS

Offset:
Base 1

Note:
A



Nome ditta:
GeoEsplorazioni di P. LORENZO

Nome operatore:
geol. Pietro LORENZO

Nome cliente:
Diocesi di Potenza

Strumento:
Sismografo multicanale DoReMi

Data:
21/10/2016

Ora:
07:45:27

Luogo:
Chiesa Trinità - Potenza

Nome del file:
2016-11-01_17-17-35_10000_00025_024_StckSm.drm

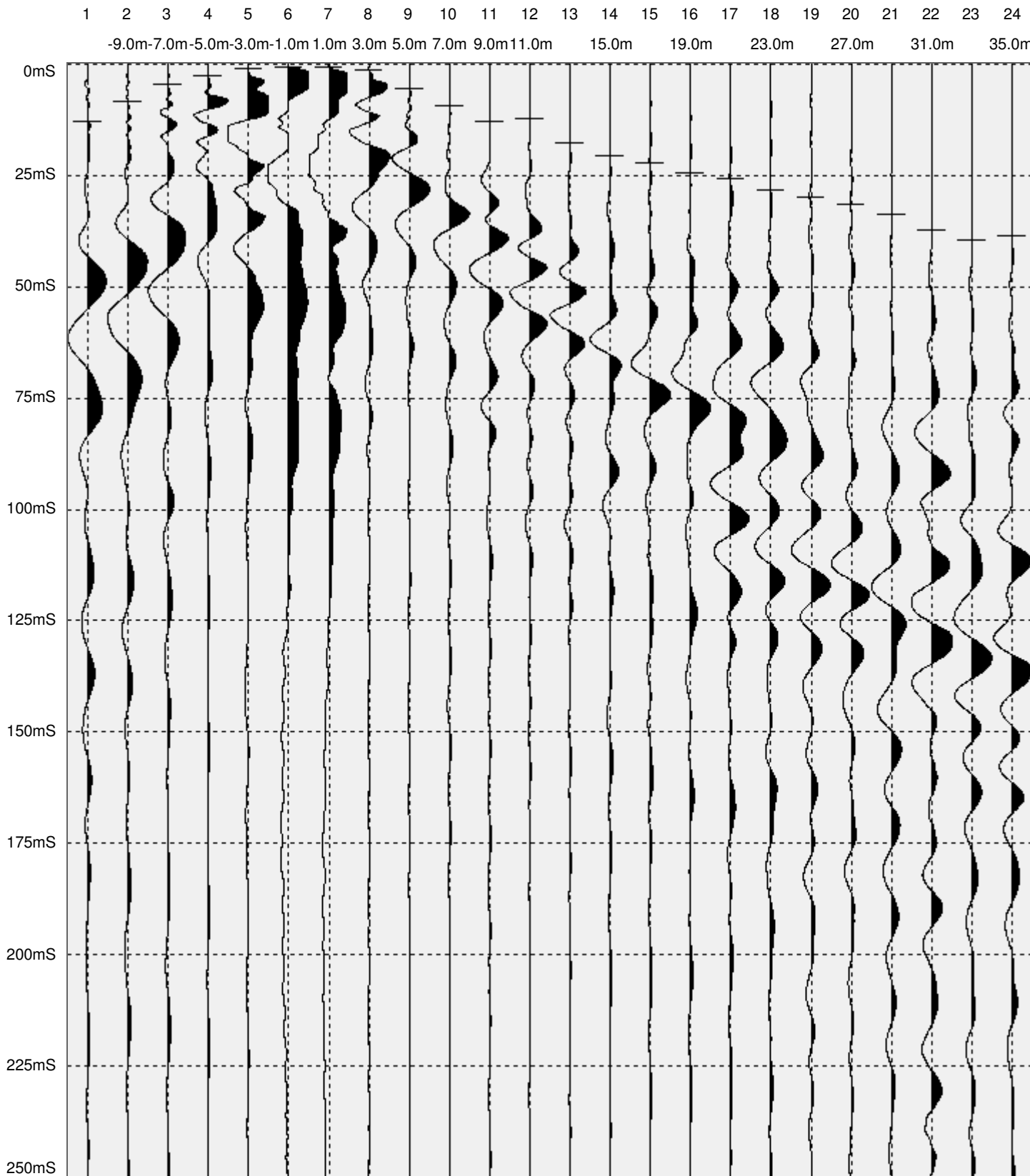
Coordinate del sito:
40° 38.314'N - 15° 48.208'E

Periodo di campionamento:
100uS (10000 SPS)

Durata:
250mS

Offset:
Base 1

Note:
B



Nome ditta:
GeoEsplorazioni di P. LORENZO

Nome operatore:
geol. Pietro LORENZO

Nome cliente:
Diocesi di Potenza

Strumento:
Sismografo multicanale DoReMi

Data:
21/10/2016

Ora:
07:52:38

Luogo:
Chiesa Trinità - Potenza

Nome del file:
2016-10-29_18-08-16_10000_00025_024_StckSm.drm

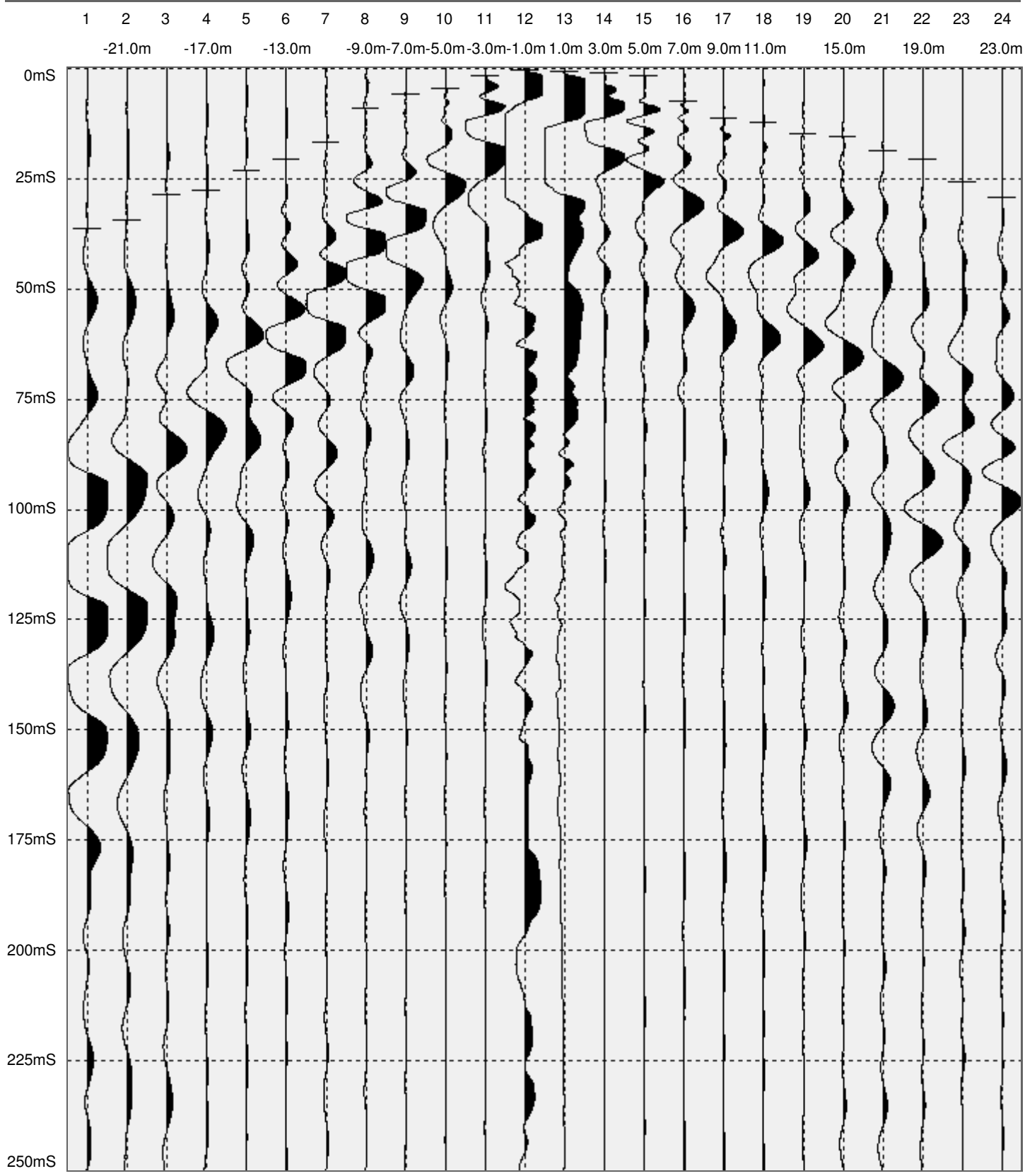
Coordinate del sito:
40° 38.314'N - 15° 48.208'E

Periodo di campionamento:
100uS (10000 SPS)

Durata:
250mS

Offset:
Base 1

Note:
C



Nome ditta:
GeoEsplorazioni di P. LORENZO

Nome operatore:
geol. Pietro LORENZO

Nome cliente:
Diocesi di Potenza

Strumento:
Sismografo multicanale DoReMi

Data:
21/10/2016

Ora:
07:58:27

Luogo:
Chiesa Trinità - Potenza

Nome del file:
2016-10-21_07-58-26_10000_00025_024_Acquis.drm

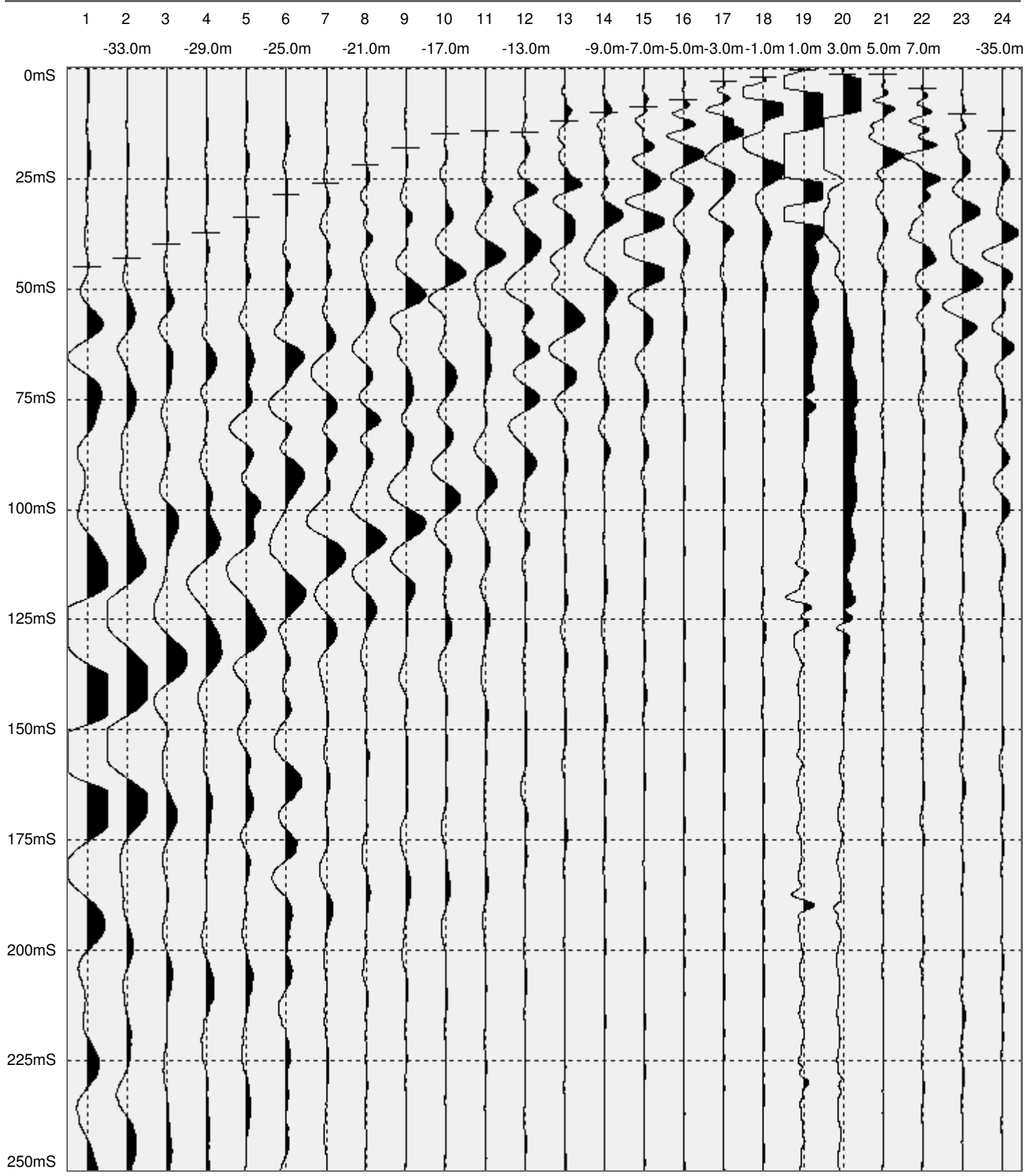
Coordinate del sito:
40° 38.314'N - 15° 48.208'E

Periodo di campionamento:
100uS (10000 SPS)

Durata:
250mS

Offset:
Base 1

Note:
D



Nome ditta:
GeoEsplorazioni di P. LORENZO

Nome operatore:
geol. Pietro LORENZO

Nome cliente:
Diocesi di Potenza

Strumento:
Sismografo multicanale DoReMi

Data:
21/10/2016

Ora:
08:04:58

Luogo:
Chiesa Trinità - Potenza

Nome del file:
2016-10-21_08-04-57_10000_00025_024_Acquis.drm

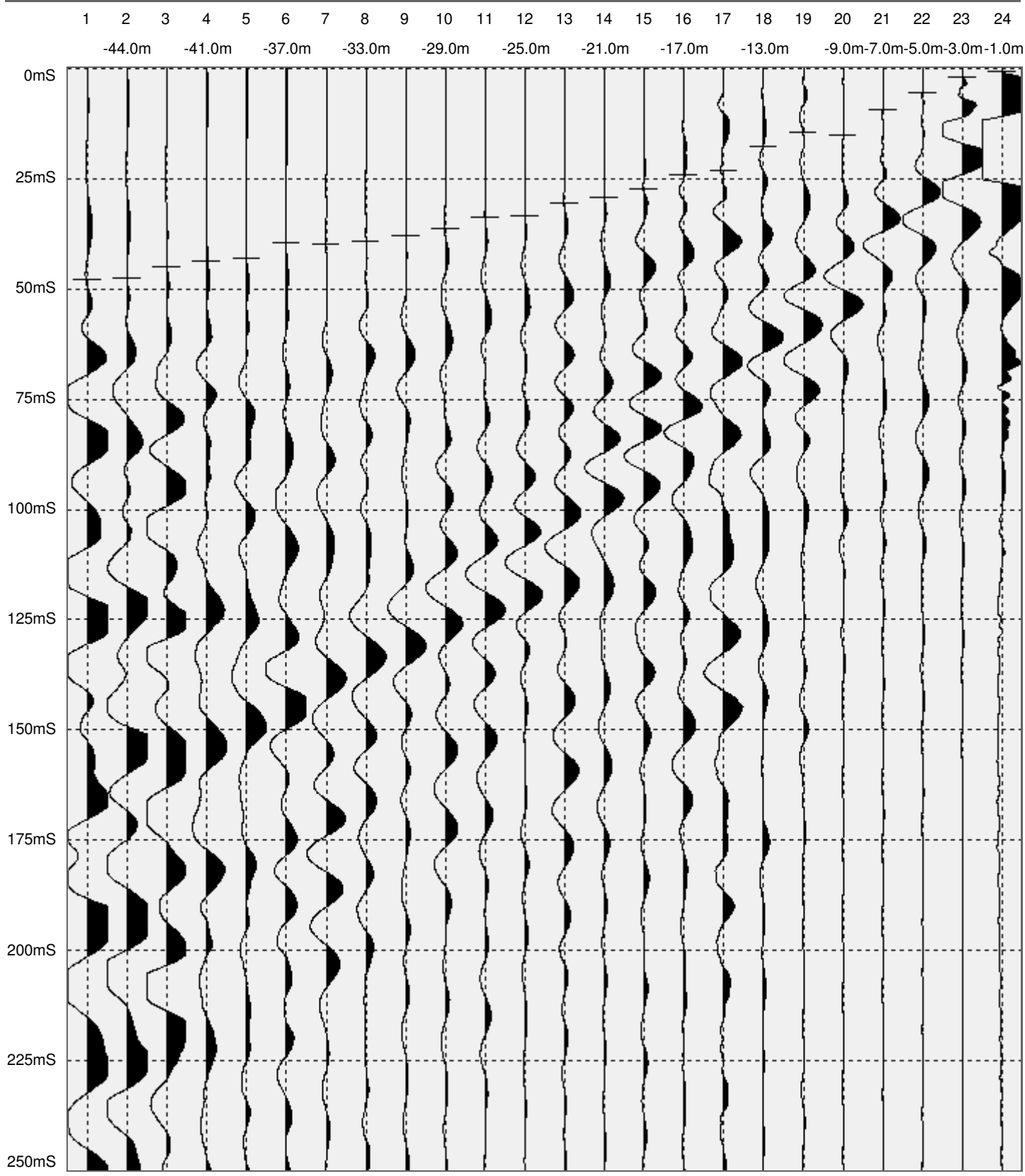
Coordinate del sito:
40° 38.314'N - 15° 48.208'E

Periodo di campionamento:
100uS (10000 SPS)

Durata:
250mS

Offset:
Base 1

Note:
E



Nome ditta:
GeoEsplorazioni di P. LORENZO

Nome operatore:
geol. Pietro LORENZO

Nome cliente:
Diocesi di Potenza

Strumento:
Sismografo multicanale DoReMi

Data:
21/10/2016

Ora:
07:37:30

Luogo:
Chiesa Trinità - Potenza

Nome del file:
2016-10-29_14-58-44_03000_00200_024_StckSm.drm

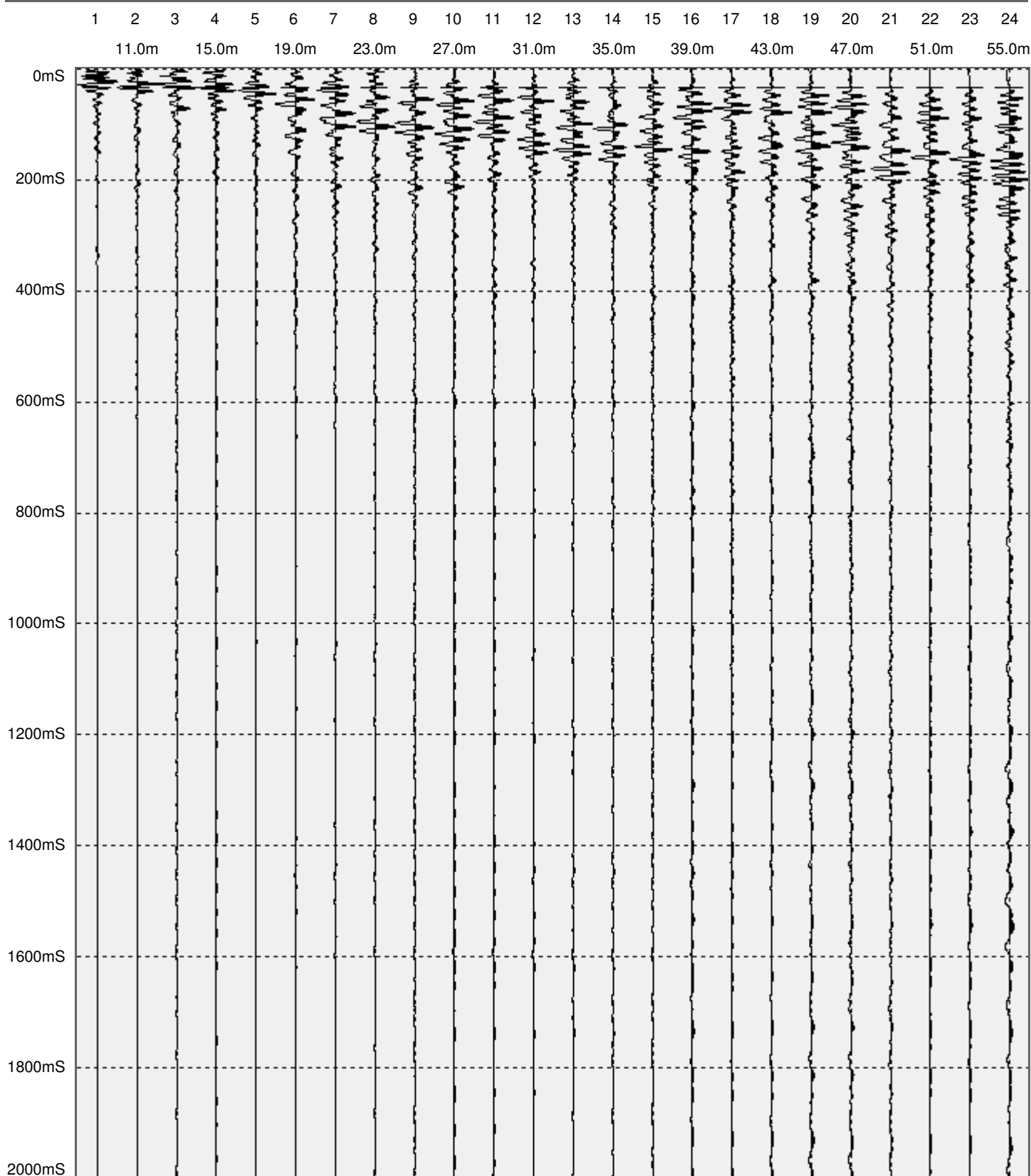
Coordinate del sito:
40° 38.314'N - 15° 48.208'E

Periodo di campionamento:
333.333333333333uS (3000 SPS)

Durata:
2000mS

Offset:
Base 1

Note:
MASWA



Nome ditta:
GeoEsplorazioni di P. LORENZO

Nome operatore:
geol. Pietro LORENZO

Nome cliente:
Diocesi di Potenza

Strumento:
Sismografo multicanale DoReMi

Data:
21/10/2016

Ora:
08:09:48

Luogo:
Chiesa Trinità - Potenza

Nome del file:
2016-10-29_14-53-48_03000_00200_024_StckSm.drm

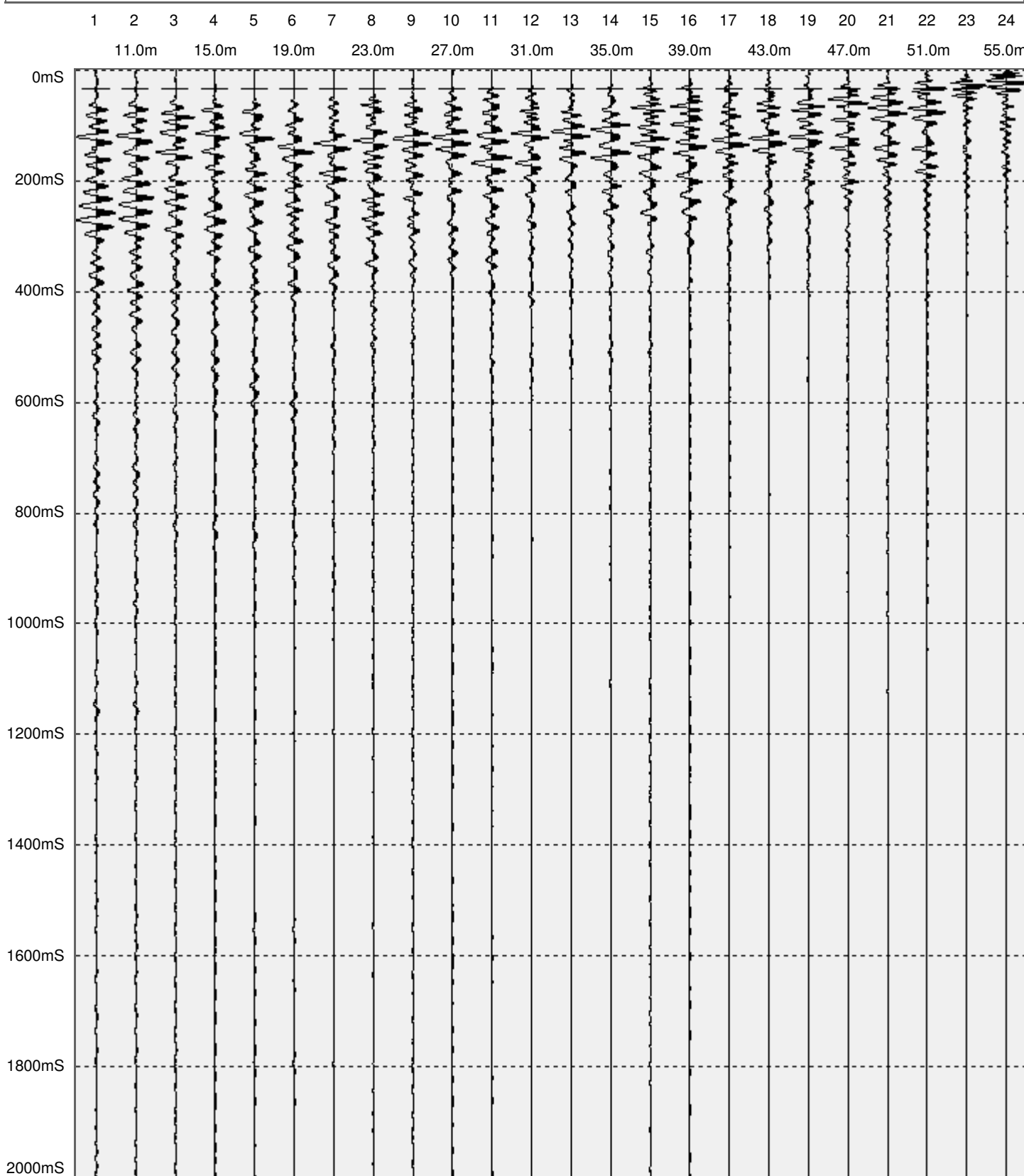
Coordinate del sito:
40° 38.314'N - 15° 48.208'E

Periodo di campionamento:
333.333333333333uS (3000 SPS)

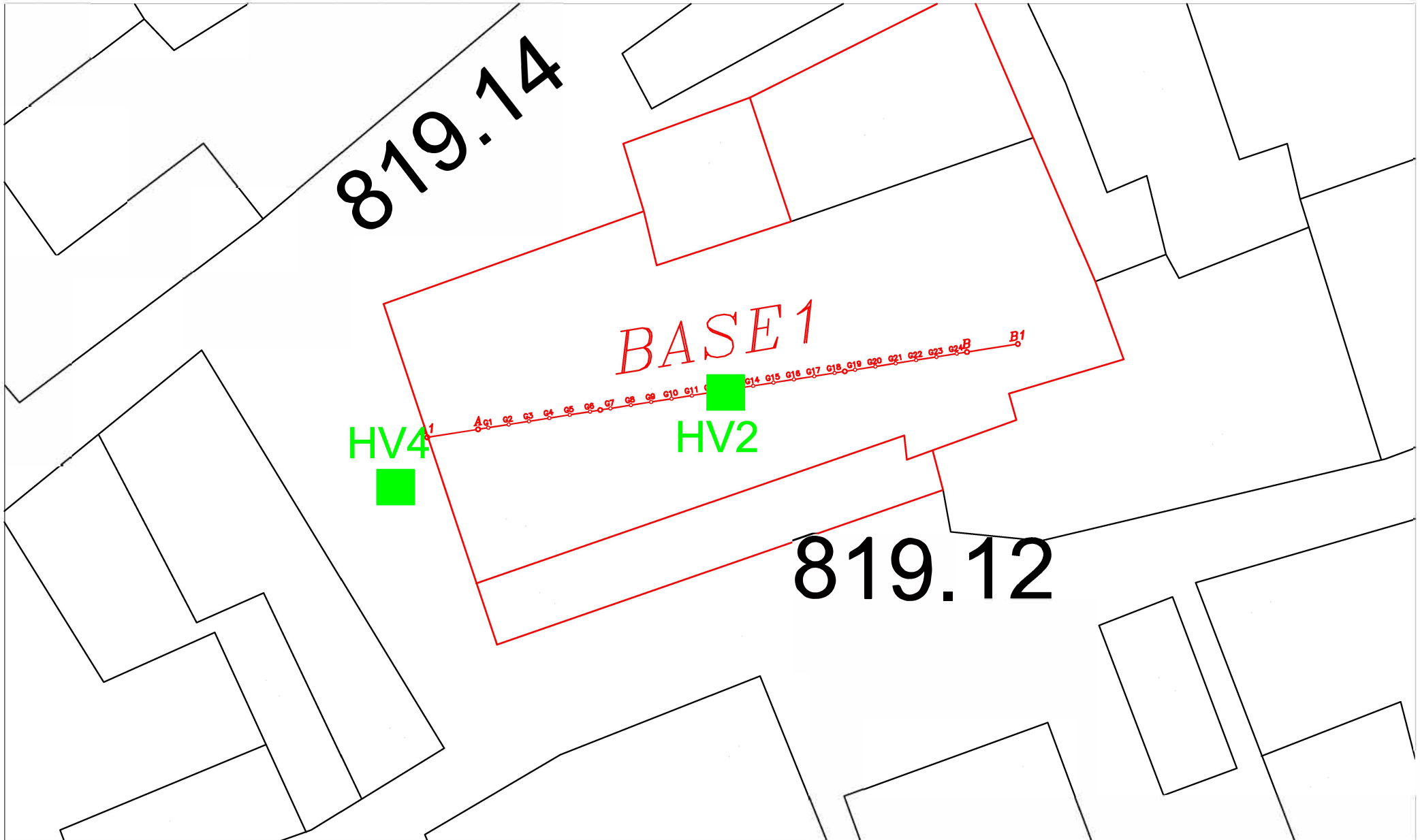
Durata:
2000mS

Offset:
Base 1

Note:
MASWB



TAV A: UBICAZIONE BASE SISMICA



Committente:
Arcidiocesi di Potenza

Località: **Chiesa della Trinità - Potenza**

Scala : 1:1000

TAV C: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA BASE SISMICA 1



FOTO 1: allineamento della base sismica 1 vista dal punto di scoppio A (ingresso chiesa)



FOTO 2: allineamento della base sismica 1 vista dal punto di scoppio E (altare)



FOTO 3: geofono 1 a 0,00 metri



FOTO 4: geofono 12 a 11,00 metri



FOTO 5: geofono 24 a 23,00 metri