



STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO

AMMINISTRAZIONE COMUNALE



dr geol Giuseppe Gallicchio

1. PREMESSA

Con determina n. 241/2017 il Comune di Montalbano Jonico (MT), ha affidato allo scrivente, nell'ambito del Piano di Recupero "Borgo Nuovo", la redazione dello studio di microzonazione di II livello.

In fase preliminare sono stati esaminati gli elaborati contenuti nel RU Comunale e in particolare si farà riferimento ai sondaggi S3 e S9 considerati quali sondaggi di taratura per le indagini geosismiche.

Il sondaggio S3 è stato realizzato nei pressi del bivio di Borgo Nuovo e spinto fino alla profondità di 18 m dal p.c.

TOMA—Abete Trivellazioni S.r.l. Via la Martella civ. 42 — 75100 MATERA—				COMMITTENTE: COMUNE DI MONTALBANO JONICO ANTIERE: ZONA BORGO NUOVO BIVIO INIZIO PERFORAZIONE 29/8/2007 FINE PERFORAZIONE 29/8/2007				COORDINATE: LONG.: 0633894 LATIT.: 4460881 QUOTA (m slm):			
SONDAGGIO: S3				CAMPIONI GEOTECNICI		DIAMET. PERFORAZIONE: mm.101		RESP.CANTIERE: Dr. GALLICCHIO SAL.		OPERATORE:	
Scala 1: 200						DIAMET. RIVESTIMENTO: mm.127				SONDA:	
						UTENSILE DI PERF.: c. esempl. 101/83		FALDE IN FASE DI PERF.: m.		LIVELLO STATICO FALDA m. —	
PROF. P.C. (m)	PROF. STRATO (m)	SPESS. STRATO (m)	SIMBOLO STRATIG.	Pocket (Kg/cm ²)	Torvane (kg/cm ²)	S.P.T. (cm/Nicopol)	FALDA m dal p.c.	RECUPERO DEL CAROTAGG. %	SCHEMA POSA STRUMENT IN FORO	STRUMENTAZIONE IN FORO: — PROF. DAL P.C.: 18.00	
										CASSETTE 4 POZZETTO — TIPO DI PERFORAZIONE CAROTAGGIO CONT.	
DESCRIZIONE LITOLOGICA ED OSSERVAZIONI											
1.00 1.20 1.20  Terreno agrario di colore rosso. Ciottoli poligenici in parte appiattiti ed in parte arrotondati, di dimensioni di circa 1 cm immersi in matrice sabbiosa. m 1.20											
2.00  Limi sabbiosi di colore brunoastro. m 3.20											
3.00 3.20 2.00  Ghiaia sabbiosa, si riconoscono clasti poligenici per la maggior parte subferici con dimensioni variabili da 2 cm circa a 15 cm nella parte alta e bassa della successione e di dimensioni variabili da pochi millimetri a qualche centimetro, presentando un buon indice di appiati											
4.00 5.00 1.80  m 11.50											
5.00 6.00  m 12.00											
6.00 6.50 m 15.28											
7.00 7.10  m 18.00											
8.00  m 18.00											
9.00  m 18.00											
10.00  m 18.00											
11.00  m 18.00											
12.00 12.00 0.50  m 18.00											
13.00  m 18.00											
14.00  m 18.00											
15.00  m 18.00											
16.00  m 18.00											
17.00  m 18.00											
18.00 18.00 6.00  m 18.00											

Il sondaggio S9, realizzato nella parte ad NE di Borgo Nuovo è stato spinto fino a 18 m dal pc.

TOMA-Abele Trivellazioni S.r.l. Via la Martella civ. 42 - 75100 MATERA -				COMMITTENTE: COMUNE DI MONTALBANO JONICO CANTIERE: ZONA BORGO NUOVO INIZIO PERFORAZIONE 06/9/2007 FINE PERFORAZIONE 06/9/2007				COORDINATE: LONG.: 0634089 LATIT.: 4461304 QUOTA (m slm): 239.64			
SONDAGGIO: S9				DIAMET. PERFORAZIONE: mm.101				RESP.CANTIERE: Dr. GALLICCHIO SAL.			
Scala 1: 200				DIAMET. RIVESTIMENTO: mm.127				OPERATORE:			
				UTENSILE DI PERF.: c. sempl. 101/83				SONDA:			
				FALDE IN FASE DI PERF.: m. -				LIVELLO STATICO FALDA m. -			
				STRUMENTAZIONE IN FORO: -				PROF. DAL P.C.: 18.00			
				CASSETTE 4 POZZETTO -				TIPO DI PERFORAZIONE CAROTTAGGIO CONT.			
				DESCRIZIONE LITOLOGICA ED OSSERVAZIONI							
PROF. P.C. (m)	PROF. STRATO (m)	SPES. STRATO (m)	SIMBOLO STRATIG.	CAMPIONI GEOTECNICI	Pocket (kg/cmq)	Torvane (kg/cmq)	S.P.T. (cm/N/colpi)	FALDA m. s.l.m.	RECUPERO DEL CAROTTAGG. %	SCHEMA POSA STRUMENT IN FORO	
1.00	1.00	1.00									Terreno agrario di colore rosso. Clasti poligenici in parte appiattiti ed in parte arrotondati, di dimensioni di circa 1 cm, in matrice sabbiosa. m 1.00
2.00											Ghiaia sabbio-ciottolosa con clasti poligenici, per la maggior parte subferici, di dimensioni variabili da 2 cm circa a 15 cm nella parte alta e bassa della successione e, nella parte intermedia, di dimensioni variabili da pochi millimetri a qualche centimetro. Presentano un buon indice di appiattimento nella parte intermedia. m 4.70
3.00											
4.00											
5.00	4.70	3.70									
6.00											
7.00											
8.00											
9.00											
10.00											
11.00											
12.00											
13.00	13.00	4.00									
14.00											
15.00											
16.00											
17.00											
18.00	18.00	5.00									

Al fine di determinare le caratteristiche sismiche di sito e fisicomeccaniche dei terreni che costituiscono il sottosuolo dei diversi punti investigati sono state realizzate le seguenti indagini:

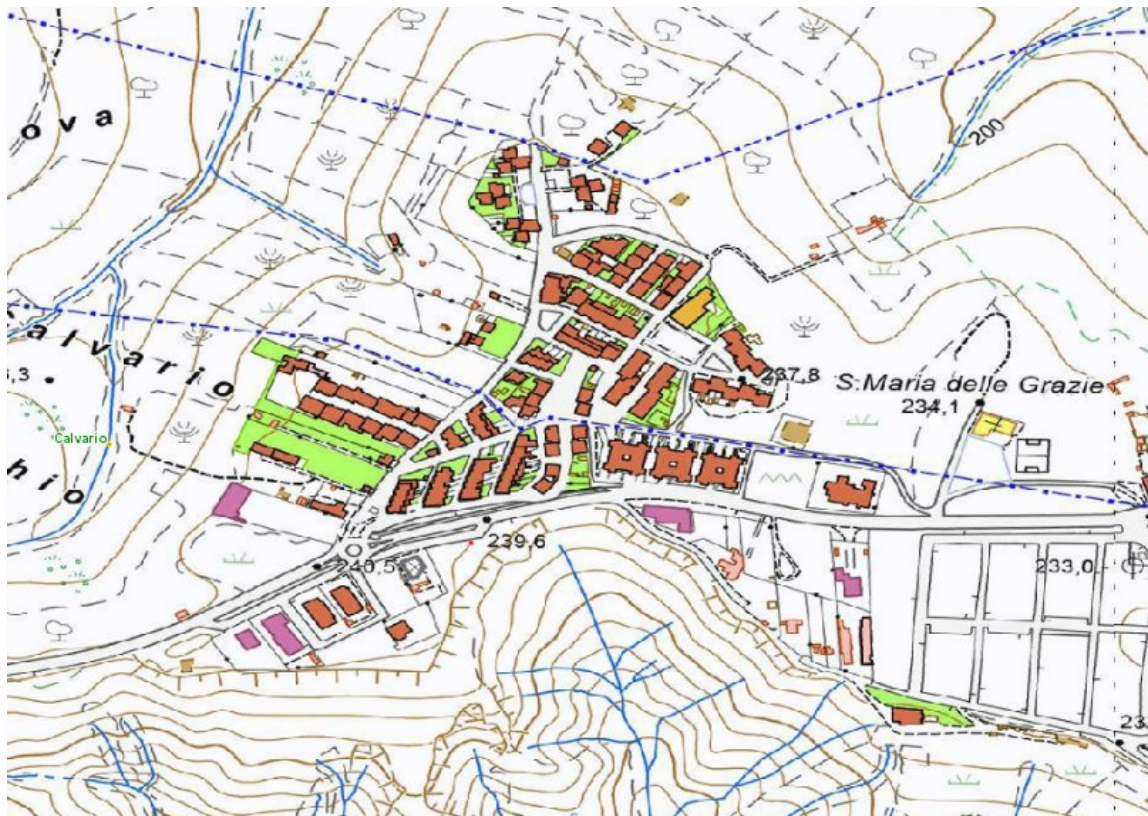
- N 2 stendimenti sismici con tecnica MASW, per la determinazione delle curve di dispersione Multichannel Analysis of Surface Waves metodologia che consente di ottenere un modello verticale delle Vs, a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh e Love;
- N.2 registrazioni di rumore ambientale (sismica passiva a stazione singola per l'analisi H/V), in punti ritenuti significativi ed esplicativi della litologia del luogo effettuate con tromografo digitale Tromino, che utilizza un sistema di acquisizione tri-direzionale costituito da sensori di tipo velocimetrico caratterizzati da alta sensibilità e frequenza propria non superiore ad 1 Hz;

La presente relazione, infine, è stata redatta in ottemperanza con quanto previsto da:

- Decreto del Presidente della Repubblica 21 dicembre 1999, n. 554 Art. 18-19 regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 febbraio 1994 n. 109, e successive modificazioni;
- D.M. 11.03.88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione....";
- Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008; Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 C.S.LL.PP, istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- Legge regionale Basilicata n° 9 del 7 Giugno 2011 riguardante "Disposizioni urgenti in materia di microzonazione sismica" del territorio regionale.
- Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica – Dipartimento della Protezione Civile.

2. UBICAZIONE GEOGRAFICA

L'area in oggetto si sviluppa ad una quota di circa 240 m slm e non rientra tra le aree vincolate dall'AdB di Basilicata.





PAI Frane 2015 - Tipologie di Ris

- R4 - Rischio molto elevato
- R3 - Rischio elevato
- R2 - Rischio medio
- R1 - Rischio moderato
- ASV - Aree assoggettate a v
- P - Aree pericolose
- Rb - Aree bonificate

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

L'area del territorio comunale di Montalbano Jonico, posta a circa 13 Km dalla costa del mar Jonio, è delimitata verso S dal fiume Agri (lungo cui corre grossomodo il confine con il comune di Tursi), verso N dal fiume Cavone (lungo cui si ritrova grossomodo il confine con il comune di Pisticci), verso E dal territorio comunale di Scanzano Jonico e verso NW dal territorio comunale di Craco.

Il centro abitato si sviluppa su un'ampia collina, posta ad una quota media di 250 metri circa s.l.m., prevalentemente costituita da sedimenti argillosi pleistocenici noti in letteratura col nome di argille subappennine (ex "argille di Montalbano" di Mostardini et alii, 1966). Tale unità disposta secondo una monoclinale inclinata di circa 5-10° verso SE è troncata in sommità da più superfici terrazzate costituite da sedimenti conglomeratici-sabbiosi noti in letteratura come "depositi marini terrazzati" (e.g. Vezzani, 1967).

Il territorio in esame ricade nella porzione meridionale di una ampia depressione tettonico-morfologica nota in letteratura col nome di Fossa bradanica, essa rappresenta una delle tre unità geologico-strutturali che caratterizzano l'Italia Meridionale nel settore compreso fra le regioni Puglia e Basilicata; verso E la Fossa bradanica è delimitata dall'Avampese apulo che costituisce gran parte del territorio pugliese, mentre verso W la stessa è delimitata dalla Catena appenninica che caratterizza gran parte della porzione centro occidentale della Basilicata (Fig. 1).

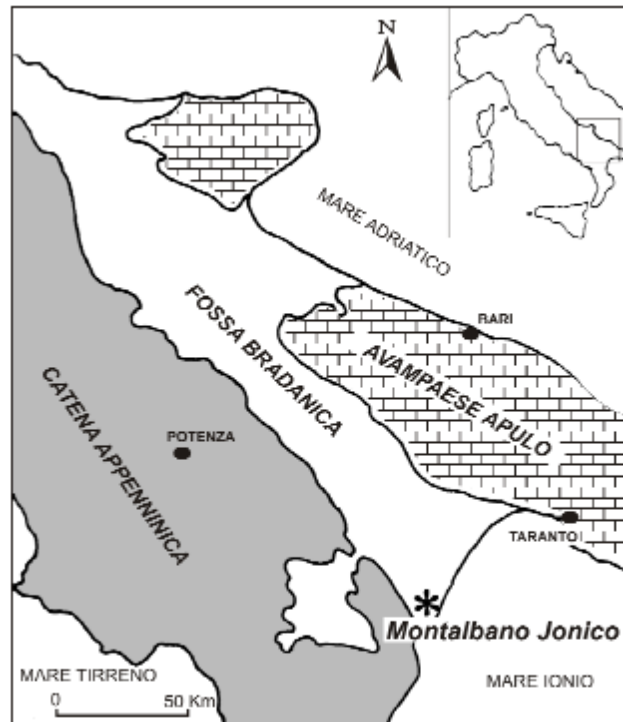


Fig. 1: schema stratigrafico strutturale dell'Italia meridionale.

La Fossa bradanica fu definita per la prima volta da Migliorini (1937), e va inquadrata nell'ampio contesto evolutivo dell'Orogene appenninico caratterizzato dalla subduzione ovest-vergente della placca adriatica e della

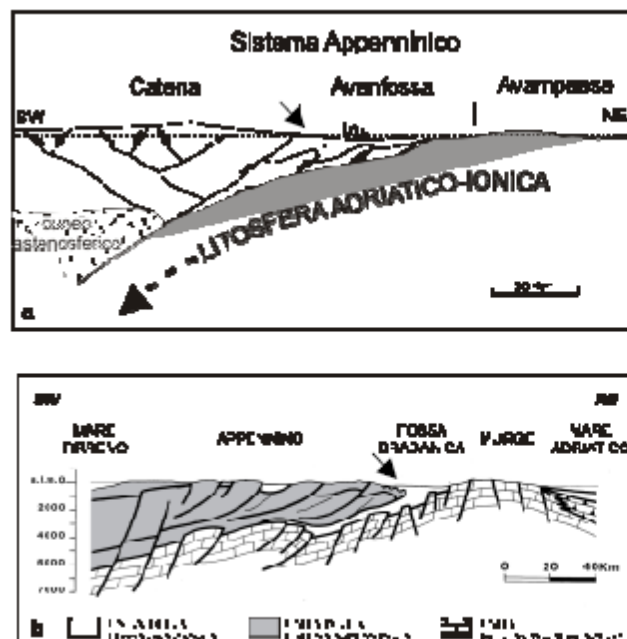


Fig. 2: schema geodinamico (a) e strutturale (b) dell'area oggetto di studio, indicata con (★).

sua conseguente retroflessione verso oriente (Casero et alii, 1988; Doglioni et alii, 1994).

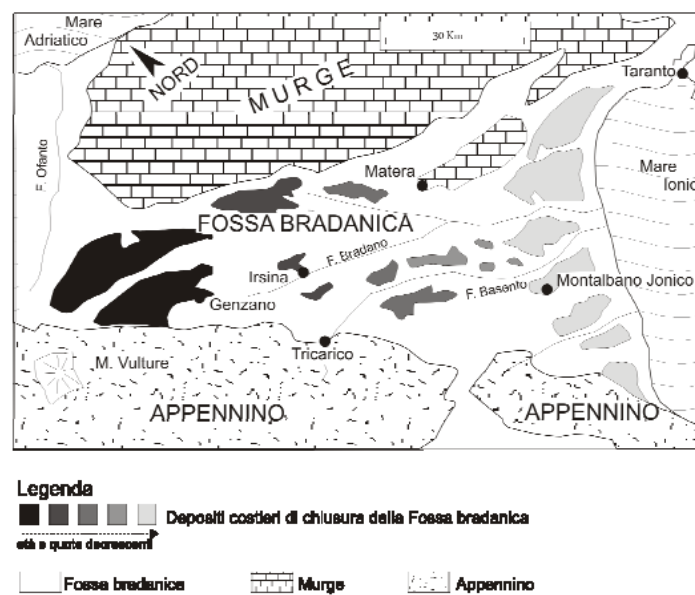
Dal Cretaceo fino al Miocene il substrato di questa grande area era emerso, soggetto solo ad una ridottissima subsidenza, l'evoluzione ad avanfossa inizia dal Pliocene inferiore a causa di un aumento della subsidenza; il riempimento di tale bacino avviene prevalentemente a spese dell'adiacente catena appenninica sottoposta a forti tassi di erosione. Nel Pleistocene medio, a causa dell'arrivo alla cerniera di subduzione di una spessa litosfera continentale (rappresentata dall'Avampaese apulo), l'area della Fossa bradanica e lo stesso Avampaese apulo furono soggetti a sollevamento (Doglioni et alii, 1994).

Pieri et alii (1996), descrivono che a partire da questo momento nell'intero bacino bradanico lo spazio a disposizione per i sedimenti viene significativamente a ridursi, ed inizia così la fase di colmamento del bacino stesso che avviene gradualmente dall'area di Genzano verso SE, in direzione dell'attuale costa ionica (Pieri et alii, 1996). Il sollevamento regionale è continuato fino all'Olocene ed ha determinato il definitivo ritiro del mare fino all'attuale linea di costa. Tale ritiro è avvenuto per stadi successivi, documentati sia nell'area metapontina (Vezzani, 1967; Cotecchia e Magri, 1967; Boenzi et alii, 1976; Brückner, 1980) sia in quella murgiana (Ciaranfi et al., 1988) da una serie di spianate di abrasione e dei relativi "depositi marini terrazzati".

Questa fase evolutiva della Fossa bradanica è rappresentata da unità sabbioso-conglomeratiche regressive che poggiano stratigraficamente sulle argille subappennine e sono presentate da caratteri litostratigrafici variabili da zona a zona. Nella letteratura classica tali unità sono riconosciute con i nomi di "Sabbie di Monte Marano", "Conglomerato di Irsina", "Argille Calcigne" e "Sabbie dello

Staturo" (Azzaroli et alii, 1968); di recente (Pieri et alii, 1994; Tropeano et alii, 2002; Cilumbriello et alii 2008 e citazioni contenute) comprendono le stesse unità nei depositi regressivi della Fossa bradanica e in particolare nell'ambito della Formazione di Monte San Marco.

Lungo la costa Jonica (parte meridionale della Fossa bradanica), gli stessi depositi sono noti col nome di "depositi marini terrazzati".



Dal punto di vista morfologico l' area del territorio comunale di Montalbano Jonico (MT) è caratterizzata da una successione di tre terrazzi marini digradanti dolcemente verso mare. Le superfici terrazzate sono rappresentate da piane con inclinazione media variabile dai 2° ai 4°, separate tra di loro da orli e scarpate con pendenza fino a 9°.

Nell'ambito del territorio comunale si distinguono cinque ordini di terrazzi marini:

- il primo è posto fra quota 292 e 265 m s.l.m. ed è correlabile al terrazzo di Il ordine secondo Vezzani (1967);
- Il secondo è posto fra quota 256 e 200 m s.l.m. ed è correlabile al

terrazzo di III ordine secondo Vezzani (1967);

- Il terzo è posto fra quota 190 e 160 m s.l.m. ed è correlabile al terrazzo di IV ordine secondo Vezzani (1967);
- Il quarto è posto fra quota 150 e 130 m s.l.m. ed è correlabile al terrazzo di V ordine secondo Vezzani (1967);
- Il quinto è posto fra quota 120 e 90 m s.l.m. ed è correlabile al terrazzo di VI ordine secondo Vezzani (1967).

La genesi dei terrazzi è legata alle diverse fasi trasgressive e regressive del mare, accompagnate dal sollevamento dell'area, la fase trasgressiva di ciascun ordine è caratterizzata, generalmente, da una superficie di erosione e da uno spessore di sedimenti grossolani limitato rispetto ai depositi della successiva fase regressiva che genera anche le estese superfici pianeggianti che delimitano superiormente i terrazzi marini.

Il centro storico di Montalbano è ubicato sul terrazzo marino più alto corrispondente al II ordine di Vezzani (1967), l' espansione urbana più recente si è avuta sul terrazzo più basso, ovvero quello ubicato da quota 256 a quota 200 m s.l.m. e corrispondenti al III ordine sensu Vezzani (1967).

L' area comunale di Montalbano Jonico è solcata a N dal fiume Cavone ed a S dal Fiume Agri; lungo i corsi d'acqua si osservano a diverse quote lembi di superfici sub-pianeggianti corrispondenti a terrazzi fluviali di vario ordine. Tali depositi si raccordano alle antiche linee di costa e testimoniano antichi livelli di alluvionamento dei fiumi in oggetto.

Sui versanti delle valli dei fiumi citati affiorano soprattutto le argille sulle quali si manifestano fenomeni di erosione di vario tipo e di diversa intensità. Le forme più diffuse sono rappresentate dalle incisioni di tipo calanchive e da movimenti franosi che caratterizzano per la maggior parte i versanti sud-occidentali, occidentali e meridionali dell'abitato; le incisioni calanchive nella parte alta dei

versanti sono rappresentate da profondi e strette incisioni in chiara fase di erosione regressiva, pertanto le testate di queste incisioni in più luoghi hanno raggiunto la superficie sommitale dell'unità conglomeratica-sabbiosa dei terrazzi marini favorendo fenomeni di frane per crollo; nella parte alta dei versanti sono presenti anche frane complesse caratterizzate da scorrimenti rotazionali, crolli e colamenti. La problematica della stabilità dei versanti verrà adeguatamente approfondita in specifico capitolo della presente relazione.

Il versante settentrionale dell'abitato meno inclinato dei precedenti (max 15°) è interessato per lo più da movimenti superficiali che interessano una sottile coltre di sedimenti provenienti dall'erosione dell'unità conglomeratico-sabbiosa posta in sommità agli stessi e dalla degradazione della parte più superficiale dell'unità argillosa affiorante sui versanti

L'area del territorio comunale di Montalbano Jonico ricade, come già detto, nella porzione meridionale della Fossa Bradanica. La parte nord-occidentale del territorio lambisce appena l'area di Catena che è rappresentata da sedimenti marnoso-arenacei e da argille varicolori di età cretacico-miocenica; su questi depositi poggiano in trasgressione sedimenti sabbiosi pliocenico-quadernari noti con il termine di sabbie di Serra del Cavallo, passanti verso l'alto alle argille subappennine che occupano una porzione importante del territorio di Montalbano Jonico. Sulle argille subappennine poggiano, in netta discordanza, sedimenti marini terrazzati conglomeratico-sabbiosi di età post-calabrianica, nell'area del centro urbano s'individuano almeno tre distinti ordini di terrazzi marini. Al di sopra dei sedimenti marini conglomeratico-sabbiosi si osserva un termine continentale costituito da conglomerati in strati lentiformi immersi in sabbie siltose di colore variabile dal rossastro al bruno. Infine, lungo i versanti delle

Valli dei Fiumi Agri e Cavone sono presenti a varie altezze depositi fluviali terrazzati la cui litologia varia da sabbioso-limosa a sabbioso-conglomeratica. Verranno descritti di seguito i caratteri geologici dell'area urbana.

La successione stratigrafica affiorante nell'area dell'abitato di Montalbano Jonico è costituita da più unità stratigrafiche che dal basso verso l'alto sono rappresentate da:

- "argille subappennine" (ASP), con al tetto un membro sabbioso siltoso, qui denominato "sabbie e silt del Castello" (SSC), (Pleistocene inferiore e medio);
- "depositi marini terrazzati" suddivisi in: deposito marino terrazzato della Terra Vecchia (DMTII); deposito marino terrazzato della Terra Nuova (DMTIII) depositi marini terrazzati di Montesano (DMTIV).
- deposito continentale di Montalbano (b1)
- depositi eluvio-colluviali (b2).
- deposito di frana (a1)

Le argille subappennine (Azzaroli, 1968) rappresentano l'unità più antica della successione litostratigrafica affiorante a Montalbano Jonico. Esse affiorano estesamente sul versante settentrionale e sud occidentale dell'abitato, si estendono dal fondovalle del fiume Agri (quota intorno a 50 metri s. l. m.) verso la sommità della collina su cui si estende l'abitato fino ad una quota massima di 265 metri s. l. m. Questa unità è caratterizzata da una giacitura monoclinale con inclinazione variabile dai 5 ai 10° verso SE. Nell'area della carta la base dell'unità non è affiorante, mentre il tetto, rappresentato da una netta superficie di erosione che la separa dai depositi marini terrazzati, è ben rappresentato in

affioramento. Nell'area dell'abitato lo spessore affiorante della formazione è di circa 450 metri. Da un punto di vista litologico procedendo dal basso verso l'alto si riconosce:

un litotipo rappresentato essenzialmente da argille grigio azzurre con intercalazioni di sottili livelli limoso-sabbiosi, fino ad una quota di circa 250 m s.l.m,

- un litotipo limoso sabbioso caratterizzato dalla presenza di livelli di macrofossili, passante verso l'alto a depositi schiettamente sabbiosi con livelli cementati a geometria lentiforme.

Nella successione argillosa si osservano nove livelli vulcanoclastici di colore grigio- biancastro con spessore variabile da alcuni centimetri fino ad un massimo di 60 cm (Ciaranfi et al., 2001; 1997; 1996).

Dal punto di vista mineralogico le argille affioranti nell'area in oggetto sono costituite prevalentemente da fillosilicati associati a quarzo, calcite, feldspati, plagioclasti e dolomite. La frazione $< 2\mu\text{m}$ è caratterizzata dal binomio illite-montmorillonite mentre in quantità accessorie sono presenti la caolinite e la clorite (Cherubini et alii, 1984).

Le principali associazioni fossilifere che caratterizzano l'unità sono rappresentati prevalentemente da resti di invertebrati quali foraminiferi bentonici e molluschi oltre che da otoliti, piccole concrezioni calcaree dell'apparato stato-acustico dei pesci e da resti di decapodi (granchi), di echini e briozoi (per i particolari vedi Gallicchio et alii., 2003).

L' età di questa unità è Pleistocene inferiore-medio.

Le sabbie e i silt del Castello rappresentano un'unità litostratigrafica di limitata estensione che caratterizza la porzione sommitale delle argille subappennine nell'area del deposito marino terrazzato più antico (deposito marino terrazzato della Terra Vecchia).

Tale unità osservabile solamente nella parte più alta dell' abitato è costituita da strati sabbiosi a grana variabile da fine a grossolana, a luoghi ben cementati tanto da assumere l'aspetto di areniti. In tale deposito è possibile osservare diversi livelli fossiliferi. Lo spessore di tale unità è variabile da 7 a 8 m. Età Pleistocene medio.

I depositi marini terrazzati sono presenti nella porzione sommitale della collina su cui è ubicato l'abitato di Montalbano Jonico, e sono separati dalle sottostanti argille subappennine e dalle sabbie e silt del Castello da limiti netti di tipo erosivo. Sulla base dei caratteri morfologici (quote delle superfici che delimitano superiormente i depositi in oggetto) e stratigrafici superfici di erosione che li delimitano inferiormente i depositi in oggetto sono stati suddivisi in tre unità.

Il terrazzo più antico, denominato "deposito marino terrazzato della Terra Vecchia" (corrispondente al terrazzo di II ordine sensu Vezzani, 1967) affiora in corrispondenza dell' area del centro storico, i suoi caratteri stratigrafici sono stati ricavati da osservazioni fatte sia in affioramento lungo il versante settentrionale ed occidentale dell'abitato ed in un'ampia area attorno al Cimitero che mediante l'analisi di alcuni sondaggi fatti eseguire nel 1987 dalla Regione Basilicata per il consolidamento dell'abitato.

Questo deposito presenta uno spessore di circa 6-8 metri circa ed è costituito da sedimenti conglomeratico-sabbiosi stratificati e ben cementati; si tratta di conglomerati poligenici caratterizzati da clasti subsferici mediamente arrotondati con dimensioni fino ad alcuni centimetri di diametro, i clasti si ritrovano immersi in una matrice sabbioso-quarzosa ben cementata.

Verso l'alto la successione terrazzata è delimitata da una superficie di erosione sulla quale poggiano depositi eluvio-colluviali di natura limoso-sabbiosa con ciottoli sparsi di colore rossastro dallo spessore variabile da alcuni decimetri ad alcuni metri.

Il terrazzo immediatamente sottostante a quello appena descritto è stato denominato "deposito marino terrazzato della Terra Nuova" e corrispondente al terrazzo di III ordine sensu Vezzani (1967); questa unità si estende in gran parte dell'abitato e presenta uno spessore variabile da 6 a 12 metri circa.

I caratteri stratigrafici di questo deposito terrazzato sono stati ricavati da osservazioni fatte sia in affioramento lungo il versante occidentale e meridionale dell'abitato sia dalle risultanze dei dati di profondità ricavati dai sondaggi geognostici fatti eseguire allo scopo.

I depositi in oggetto con spessori variabili dai 6 ai 12 m sono costituiti da conglomerati e sabbie con rapporto conglomerati/sabbie variabile da luogo a luogo.

Si riconosce generalmente dal basso verso l'alto la seguente successione:

- sabbie medio-fini di colore giallastro sottilmente stratificate
- conglomerati in strati con livelli sabbiosi, essi appaiono mediamente cementati e costituiti da ciottoli poligenici ed eterometrici arrotondati con tessitura variabile da granulo sostenuta a matrice sostenuta; la matrice è essenzialmente sabbiosa.
- sabbie e limi sabbiosi di colore variabile dal grigio giallastro al rossastro nei quali sono immersi ciottoli disposti a letti.

Zona "Borgo Nuovo- Bivio" – sondaggio n. 3 (quota 240 m circa s.l.m.) si riconosce dall' alto verso il basso:

- 1 m di sabbie e limi sabbiosi di colore rossastro nei quali sono immersi ciottoli subsferici;
- 2 m di limi sabbiosi di colore brunastro;
- 8 m circa di ghiaie e sabbie gialle a grana fine molto addensata.

Zona "Borgo Nuovo nord, alla fine di viale Varese" - sondaggio n.9 (quota 239,64 metri s.l.m.) si riconosce dall' alto verso il basso:

- 1 metro di ciottoli subsferici immersi in una matrice sabbio-limosa di colore rossastro;
- 3,5 metri circa di ghiaie e sabbie gialle a grana fine molto addensata;
- 4,5 metri circa di sabbie grigio-gialle a grana medio-fine da mediamente a molto addensate con presenza di intercalazioni di livelli centimetrici di silt.

4. INDAGINI SISMICHE

La presente relazione di indagini dirette relaziona sulle opportune e puntuali indagini sismiche effettuate in sito, al fine di determinare le caratteristiche sismiche di sito e fisicomeccaniche dei terreni che costituiscono il sottosuolo dei diversi punti investigati.

Allo scopo di localizzare le aree più significative e successivamente:

- verificare eterogeneità significative (variazioni litostratigrafiche);
- caratterizzare i principali parametri geologico-sismici di sito ove sia richiesta una elevata risoluzione e precisione spaziale;

nel sito oggetto di studio si è proceduto ad analisi e confronti di inversioni con metodi di array sismico, mediante l'acquisizione complessiva di:

- **N 2** stendimenti sismici con tecnica MASW, per la determinazione delle curve di dispersione Multichannel Analysis of Surface Waves metodologia che consente di ottenere un modello verticale delle Vs, a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh e Love;
- **N.2** registrazioni di rumore ambientale (sismica passiva a stazione singola per l'analisi H/V), in punti ritenuti significativi ed esplicativi della litologia del luogo effettuate con tromografo digitale Tromino, che utilizza un sistema di acquisizione tri-direzionale costituito da sensori di tipo velocimetrico caratterizzati da alta sensibilità e frequenza propria non superiore ad 1 Hz;

Le misure sismiche effettuate ed i parametri calcolati con la strumentazione utilizzata in questo lavoro, il "Sismografo multicanale digitale SoilSpy Rosina e Tromino Engineer Micromed", utilizzando tecniche di registrazione passive e attive, possono essere utilizzati nell'ambito della nuova normativa vigente in materia di costruzioni ("Nuove Norme tecniche per le costruzioni", D.M. 14 gennaio 2008), anche per quanto riguarda le opere di fondazione, sostegno e scavo.

Per la caratterizzazione di tutti gli elementi utili alla esatta interpretazione dei requisiti **sismo-stratigrafici** e di **amplificazione** di sito, si è proceduto ad una campagna di indagini multidisciplinare che ha consentito, attraverso la correlazione dei diversi dati, di limitare il numero di incertezze e di delineare un modello di sottosuolo affidabile.



REPORT FOTOGRAFICO



MASW 1



MASW 2



HVSr 1



HVSr 2

5 - PROSPEZIONE SISMICA MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione.

La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

5.1 - Descrizione delle prove geofisiche in sito

Nel sito oggetto di studio, sono state eseguite due registrazioni di sismica passiva a stazione singola HVSR e due linee sismiche su cui sono state acquisite registrazioni di sismica attiva, con tecnica MASW.

Gli stendimenti sono stati effettuati nei settori di interesse suggeriti dalla committenza e tenendo cura di coprire un areale opportunamente significativo, al fine di ottenere una alta risoluzione di investigazione, pertanto, la geometria e il posizionamento in campo degli stessi sono esplicitati dalla tabella seguente e visibili sulla planimetria indagini.

Misura	Latitudine	Longitudine	Lunghezza
MASW 1	634037 E	4461001 N	120.0 m
MASW 2	634098 E	4461201 N	120.0 m
HVSR 1	633944 E	4460909 N	Stazione singola
HVSR 2	634088 E	4461176 N	Stazione singola

Gli stendimenti denominati MASW 1 e MASW 2, lunghi 120.00 m, sono stati posizionati in campo rispettivamente in direzione circa SO – NE e in direzione circa NNE – SSO, in sito sono state effettuate le indagini a stazione singola denominate HVSR 1 ed HVSR 2 (vedi Planimetria indagini allegata).

Gli stendimenti sono stati effettuati con sismografo multicanale SoiSpy Rosina, distanziando i geofoni di 5.00 m l'uno dall'altro e con geometria a lineare, utilizzando geofoni per la misurazione delle onde di compressione (Vp). Gli scoppi sono stati posizionati in testa allo stendimento e a circa 5 m dal geofono n° 1, mediante percussione con mazza da 10 Kg verticalmente su piastra metallica.

La metodologia MASW consente di ottenere un modello verticale delle Vs, a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh e Love contenute nel segnale provocato dalle energizzazioni.

Dal segnale registrato sono stati ricavati i grafici di dispersione frequenziale relativi ad ogni Staking, ed il piking è stato eseguito manualmente al centro della curva di dispersione.

Le curve di dispersione, ottenute mediante le procedura sopra citate, sono state invertite creando una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Love nel modo fondamentale e nei modi superiori, in sistemi multistrato), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alla curva sperimentale. Le registrazioni in array di sismica sono state utilizzate in fase di processamento dati per la taratura delle acquisizioni di microtremore.

Le misure (HVSR) di microtremore ambientale, della durata di 20 minuti in campo libero, sono state effettuata con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (TROMINO versione Engineer) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, allo stesso modo anche le terne geofoniche sono state posizionate lungo le tre direzioni del moto sismico.

La messa in stazione dello strumento è stata eseguita a regola, direzionando il Nord strumentale lungo il Nord magnetico e centrando la bolla sferica di cui è fornito, a

garanzia dell'orizzontalità del posizionamento dello strumento; i dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alle frequenze di campionamento di 128 Hz e successivamente processati con il programma dedicato "Grilla".

5.2 Elaborazione dati prospezione sismica MASW 1

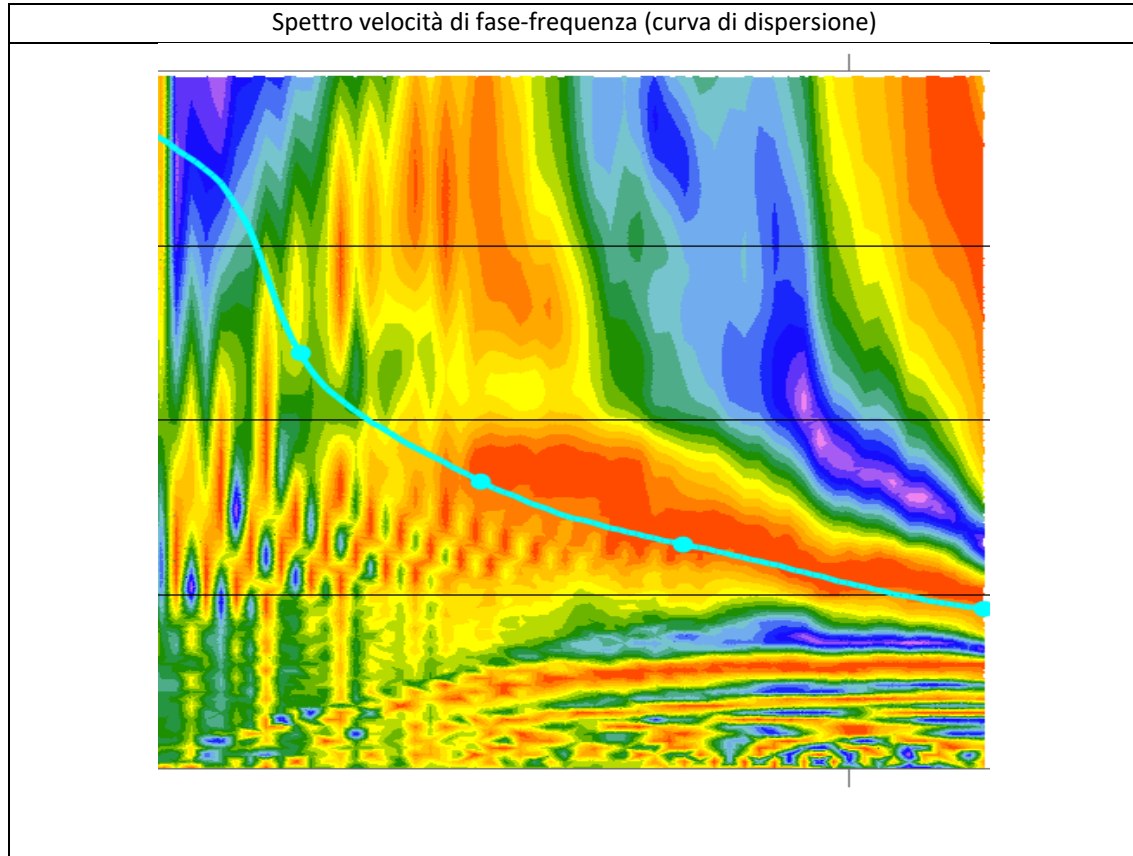
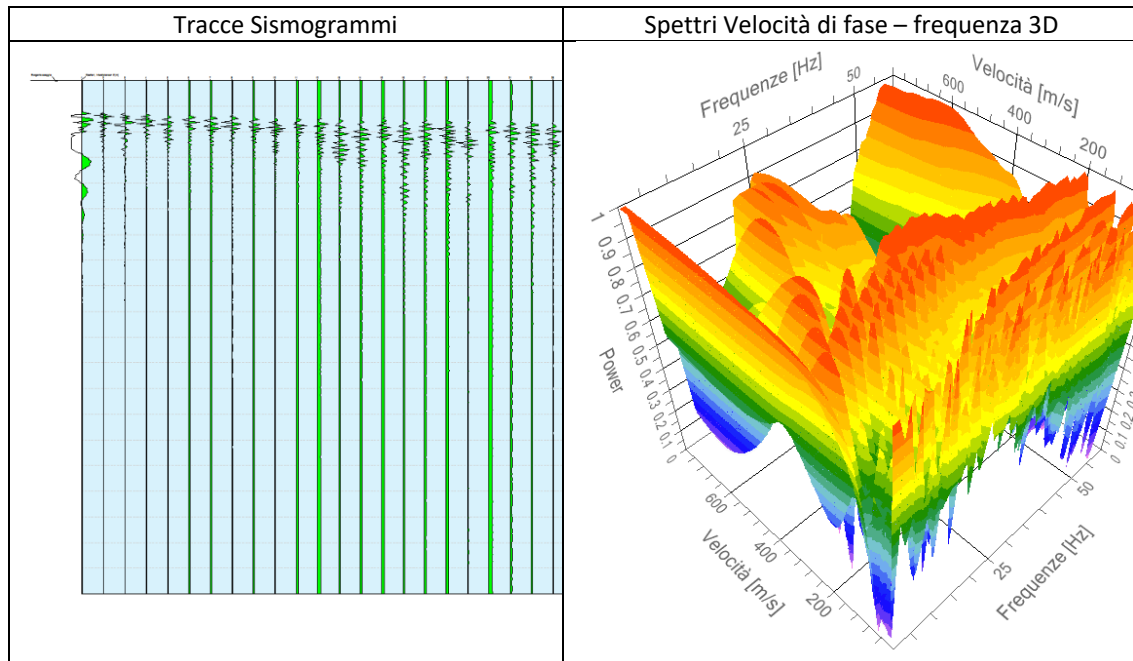
Inizio registrazione: 28/01/17 11:10:34

Fine registrazione: 28/01/17 11:11:04

Durata registrazione: 0h00'01".

Freq. campionamento: 1024 Hz

Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 24.0 27.0 30.0 33.0 m.



Inversione

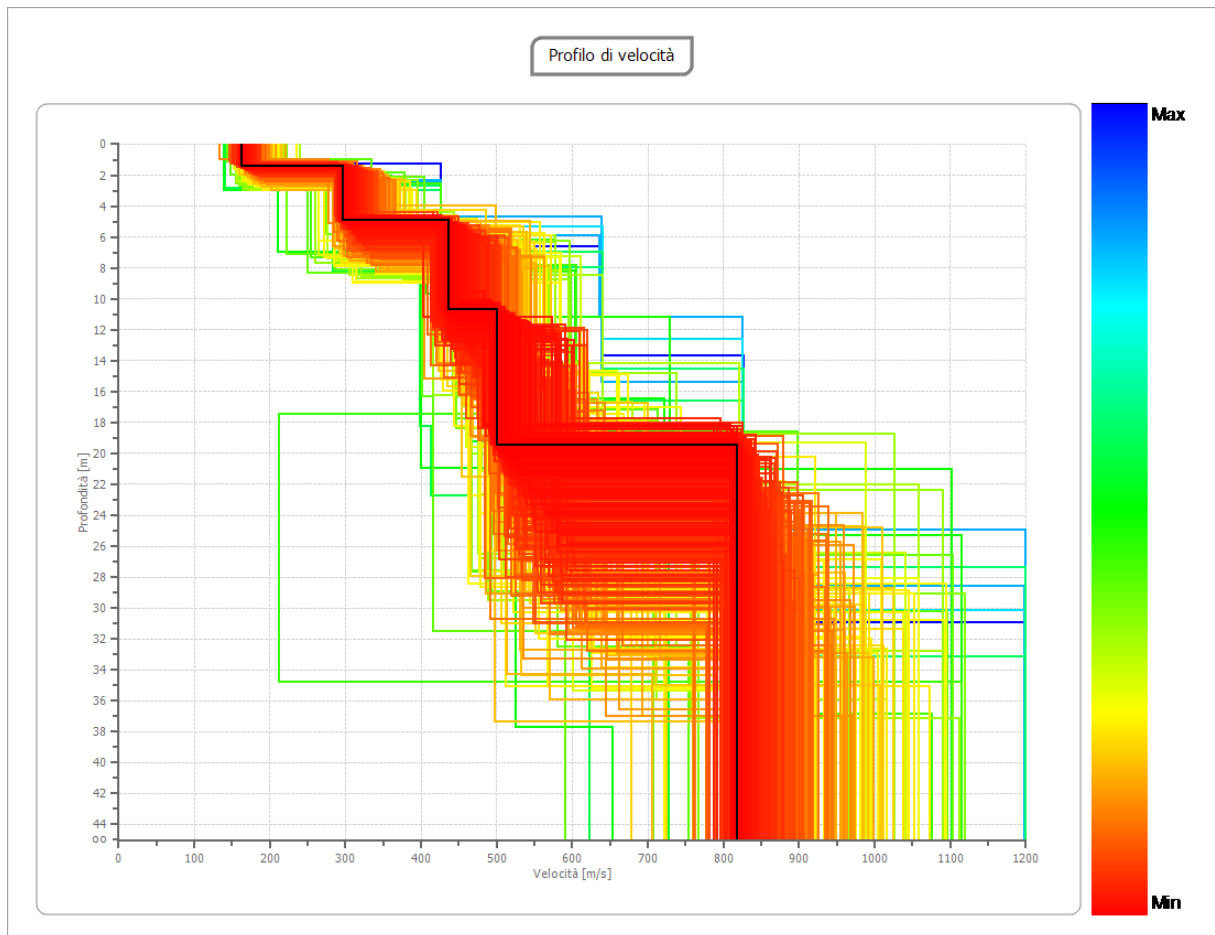
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficient e Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.42	1.42	1850.0	0.5	No	540.4	163.0
2	4.95	3.53	1950.0	0.4	No	905.8	296.5
3	10.67	5.72	2050.0	0.4	No	1244.6	436.2
4	19.46	8.79	2100.0	0.4	No	1346.5	500.1
5	oo	oo	2150.0	0.4	No	2003.2	817.8

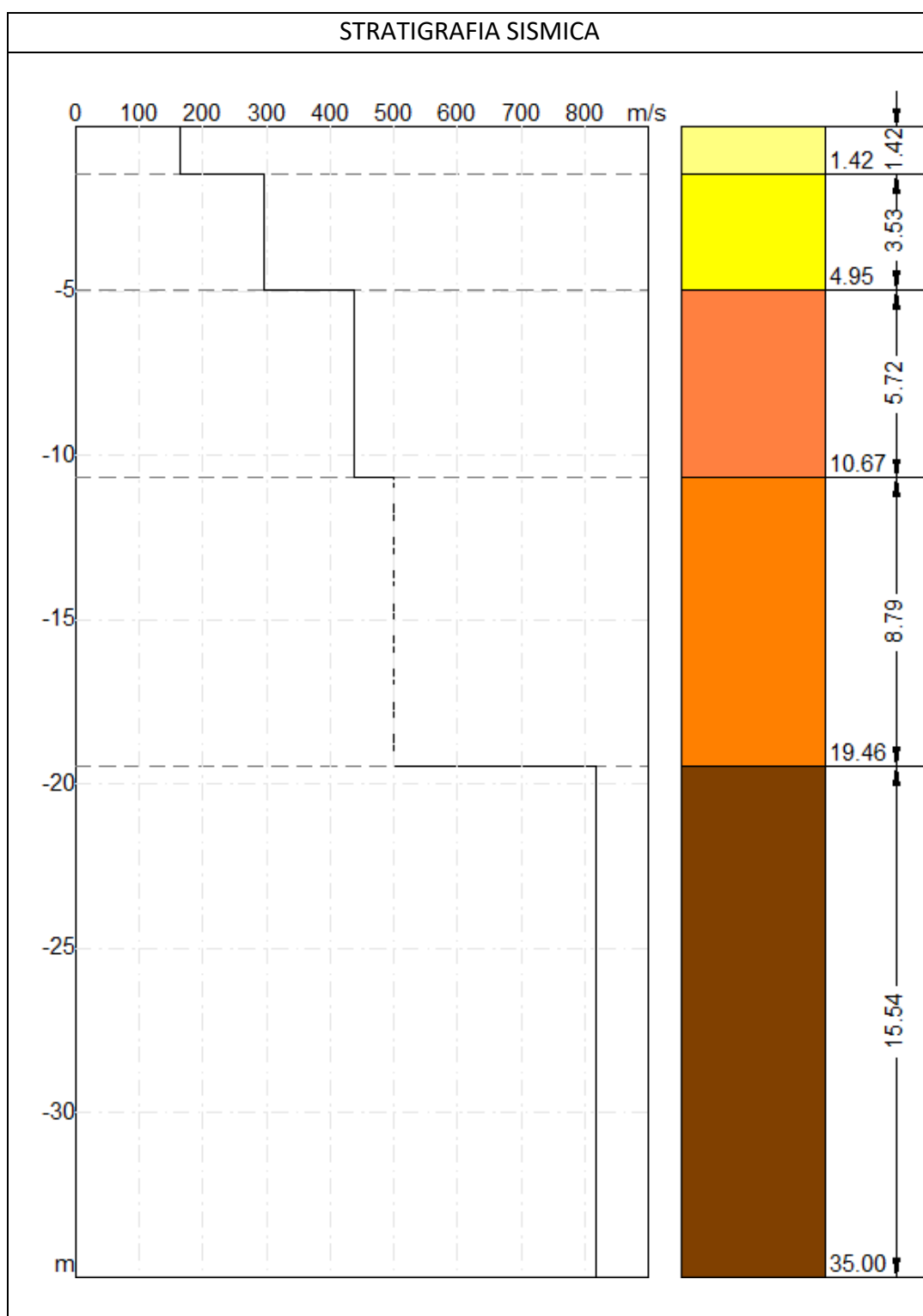
Percentuale di errore

0.000 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.000





Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	467.28
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo 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 Vs,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).

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	1.42	1.42	162.95	540.45	1800.00	0.45	47.80	525.75	462.02	138.61
2	4.95	3.53	296.49	905.81	1900.00	0.44	167.03	1558.92	1336.22	481.04
3	10.67	5.72	436.17	1244.65	2000.00	0.43	380.49	3098.29	2590.96	1088.20
4	19.46	8.79	500.09	1346.52	2060.00	0.42	515.18	3735.04	3048.14	1463.11
5	oo	oo	817.79	2003.16	2120.00	0.40	1417.8	8506.79	6616.39	3969.84

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

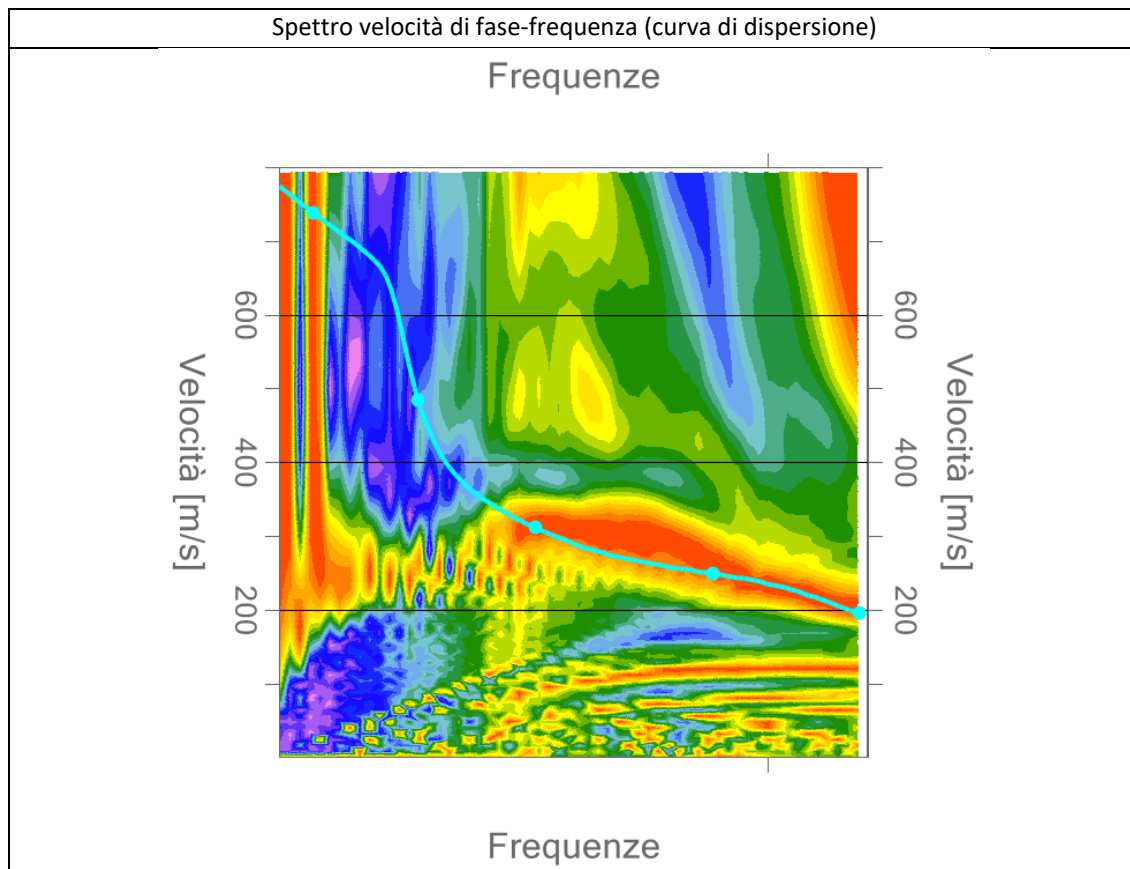
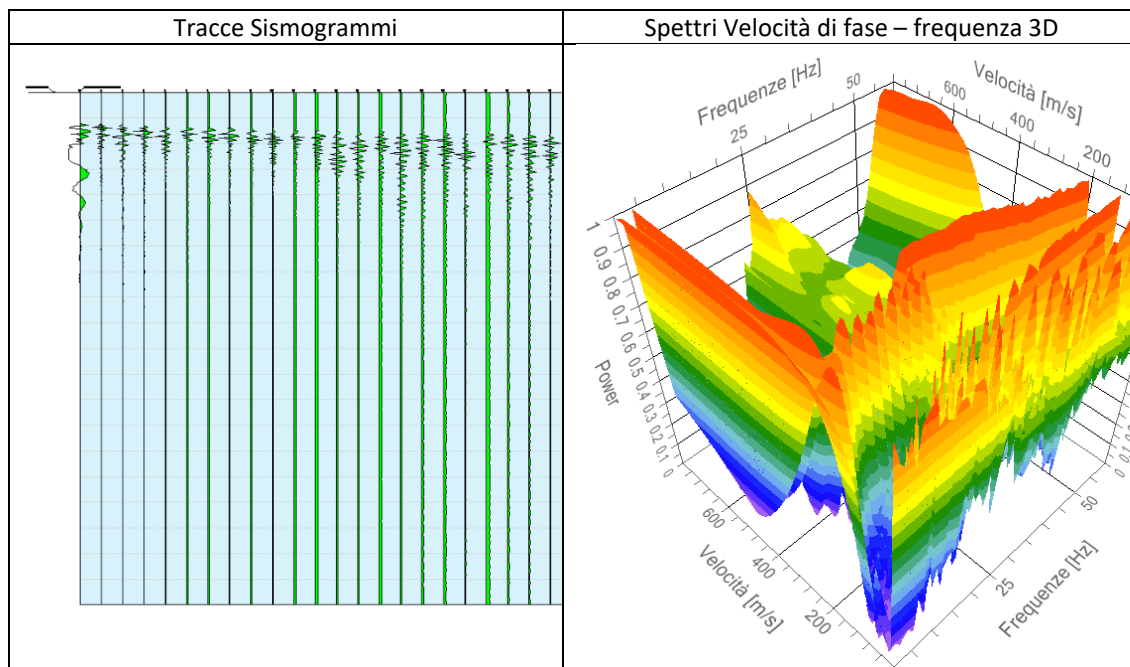
Ey: Modulo di Young;

5.3 Elaborazione dati prospezione sismica MASW 2

Inizio registrazione: 28/01/17 11:50:36 Fine registrazione: 28/01/17 11:51:01

Durata registrazione: 0h00'01". Freq. campionamento: 1024 Hz

Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 24.0 27.0 30.0 33.0 m.



Inversione

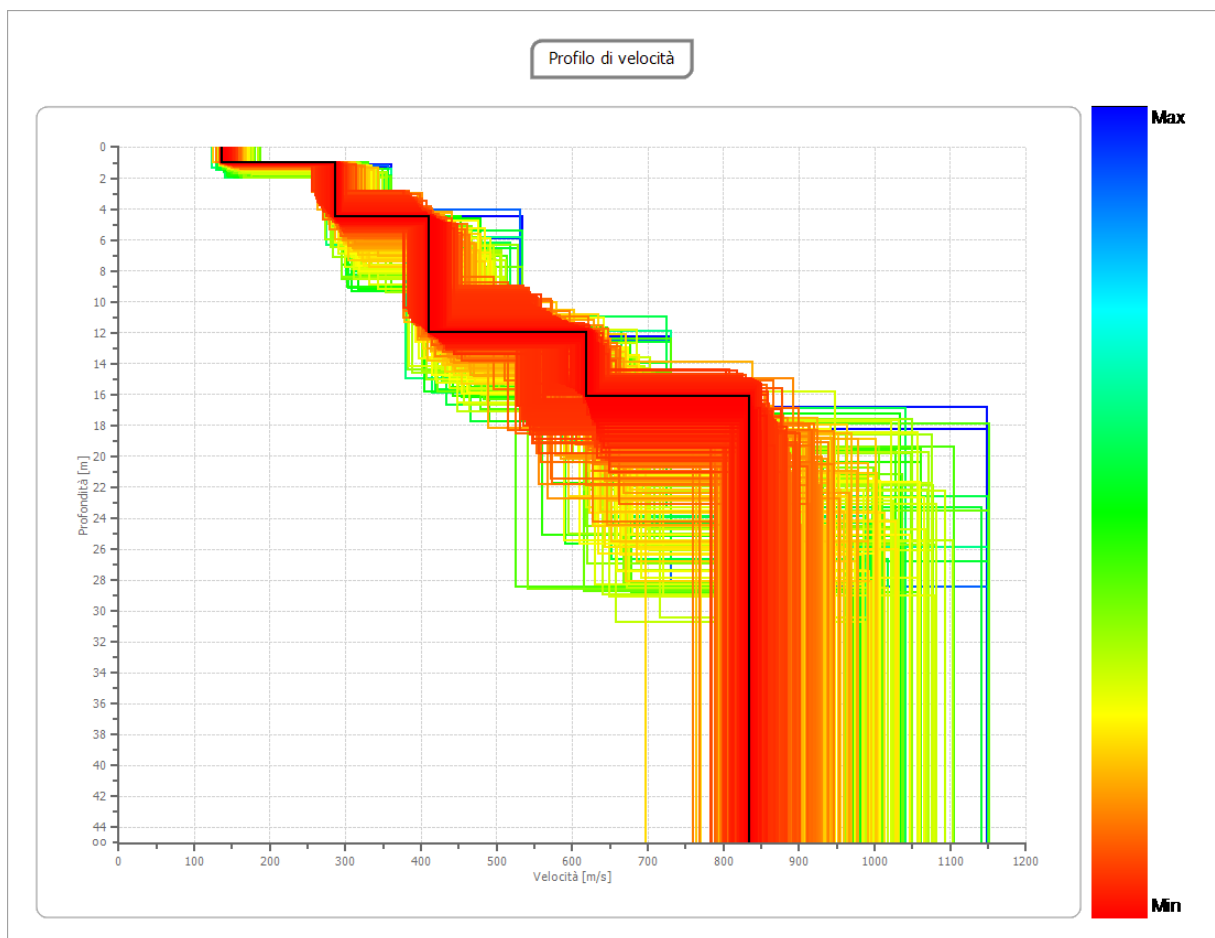
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.02	1.02	1850.0	0.5	No	453.4	136.7
2	4.49	3.47	1950.0	0.4	No	875.3	286.5
3	11.95	7.46	2000.0	0.4	No	1169.4	409.8
4	16.12	4.18	2050.0	0.4	No	1664.5	618.2
5	oo	oo	2150.0	0.4	No	2040.8	833.1

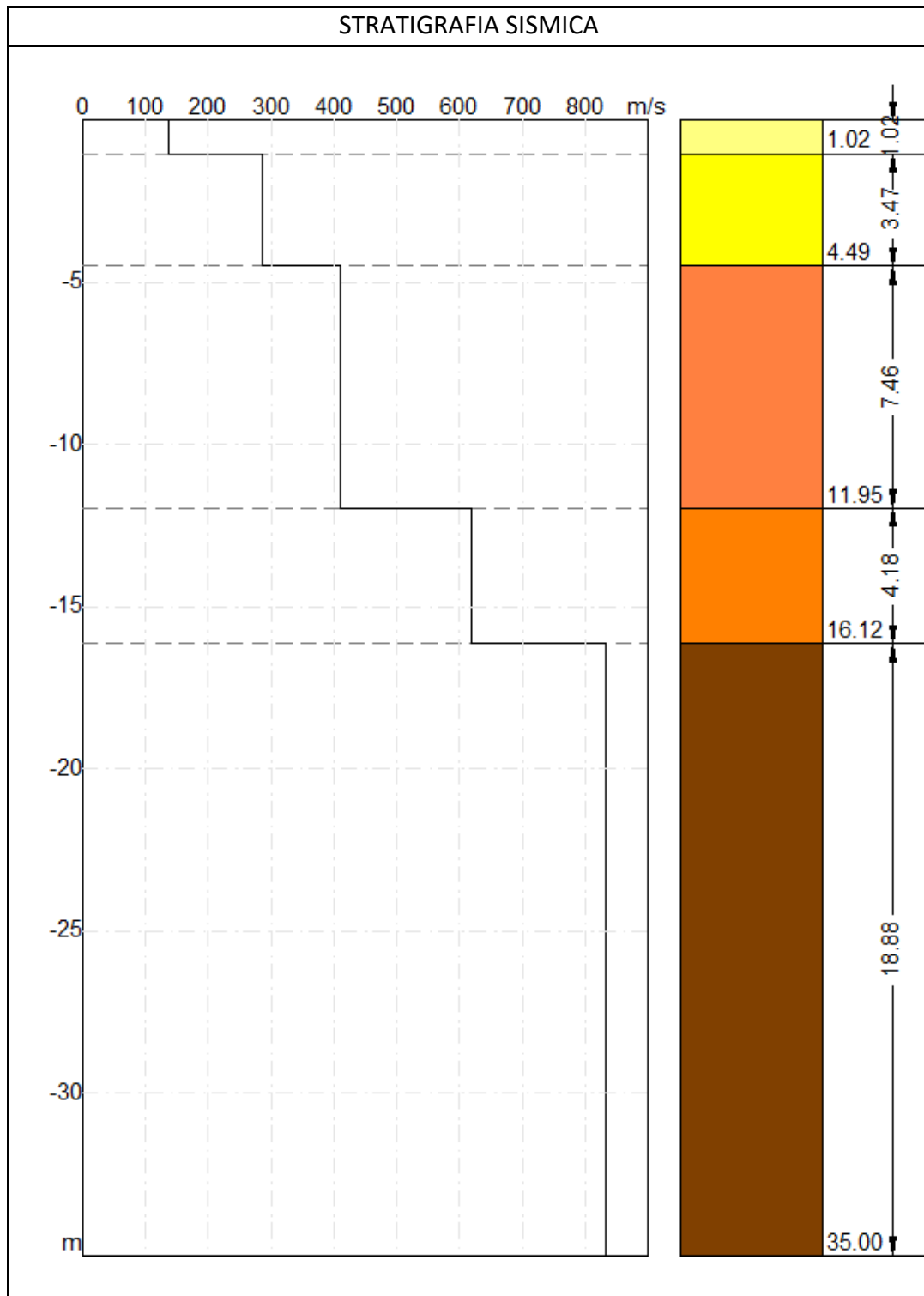
Percentuale di errore

0.000 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.002





Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	490.35
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo 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 Vs,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).

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	1.02	1.02	136.69	453.36	1800.00	0.45	33.63	369.97	325.13	97.54
2	4.49	3.47	286.50	875.28	1900.00	0.44	155.96	1455.63	1247.68	449.16
3	11.95	7.46	409.80	1169.39	1970.00	0.43	330.83	2693.94	2252.83	946.19
4	16.12	4.18	618.18	1664.50	2020.00	0.42	771.93	5596.52	4567.28	2192.29
5	oo	oo	833.15	2040.79	2100.00	0.40	1457.68	8746.09	6802.52	4081.51

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

5.4 Prospezione sismica HVSR 1

Inizio registrazione: 21/02/17 13:00:00 Fine registrazione: 21/02/17 13:20:01

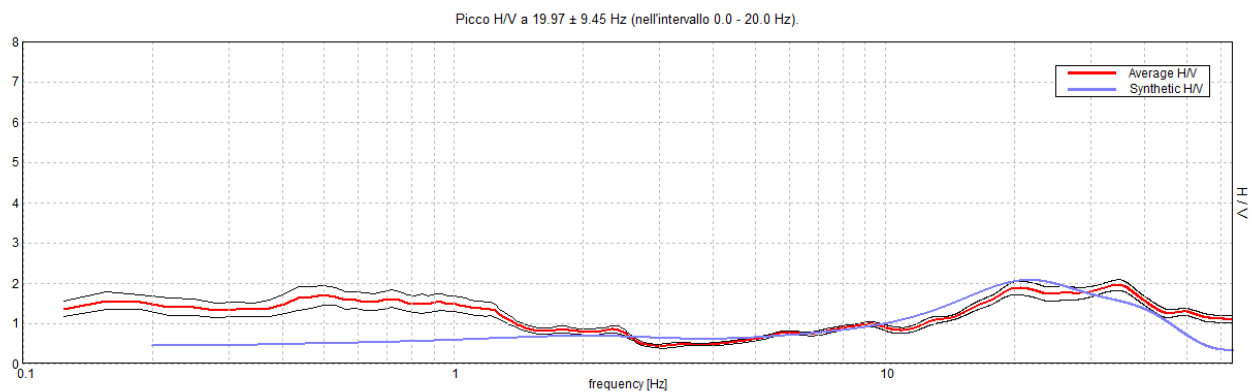
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 85% tracciato (selezione manuale)

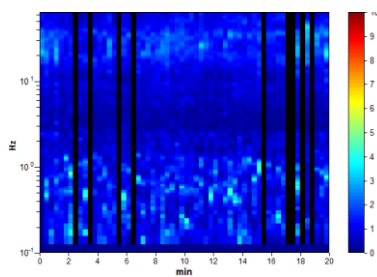
Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

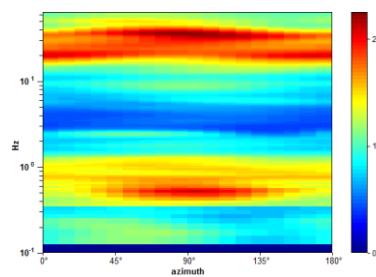
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



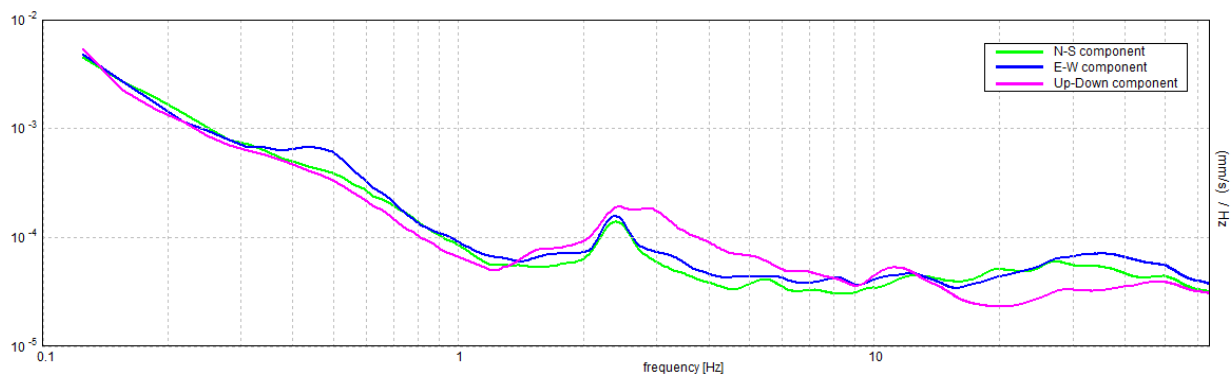
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005.].

Picco H/V a 19.97 ± 9.45 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).			
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$19.97 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$20368.1 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 960	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	12.031 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.87 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.47306 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$9.44639 < 0.99844$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1632 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza 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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

5.5 Prospezione sismica HVSr 2

Inizio registrazione: 21/02/17 13:26:06 Fine registrazione: 21/02/17 13:46:07

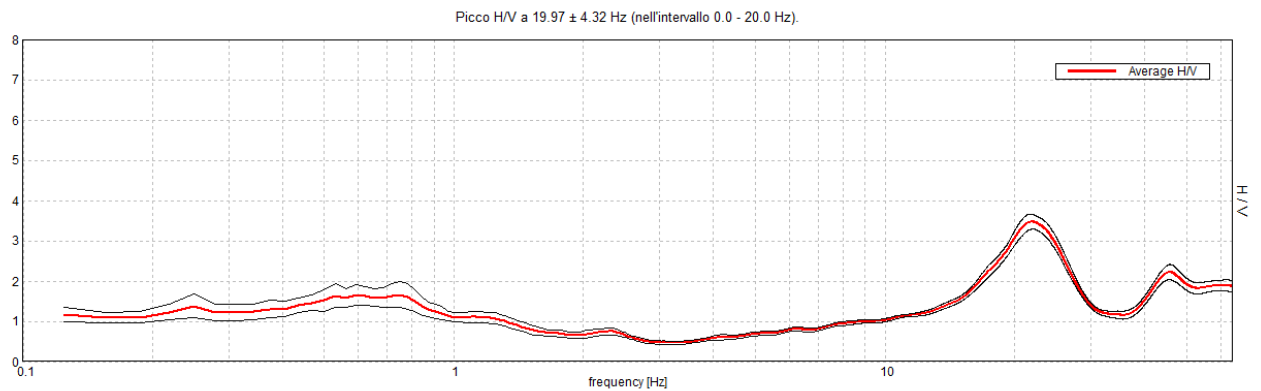
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 68% tracciato (selezione manuale)

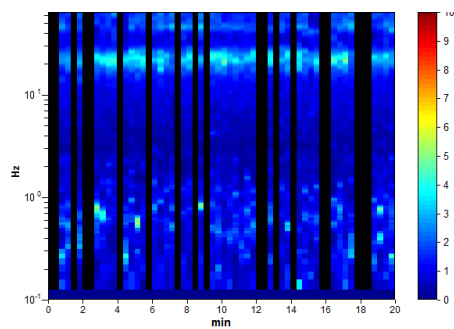
Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

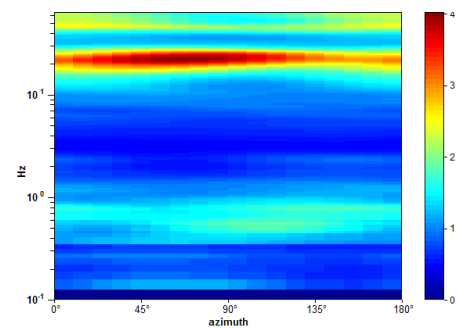
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



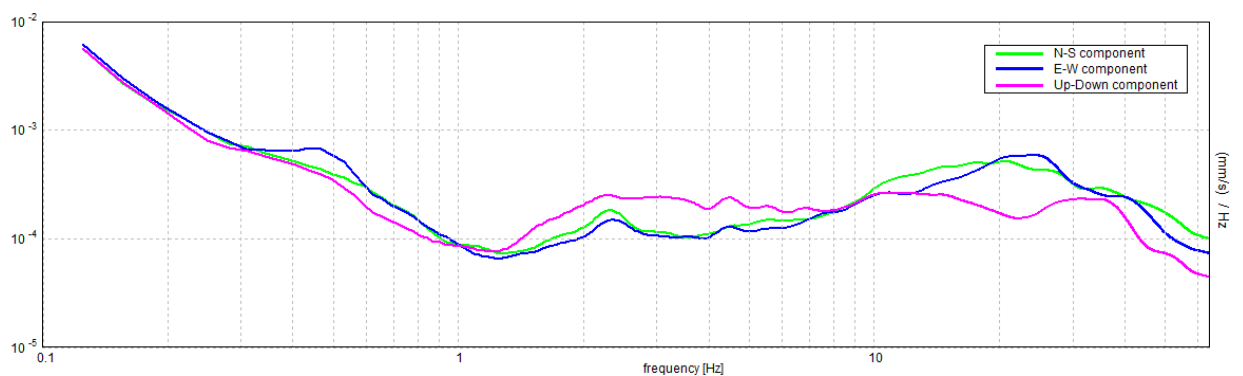
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



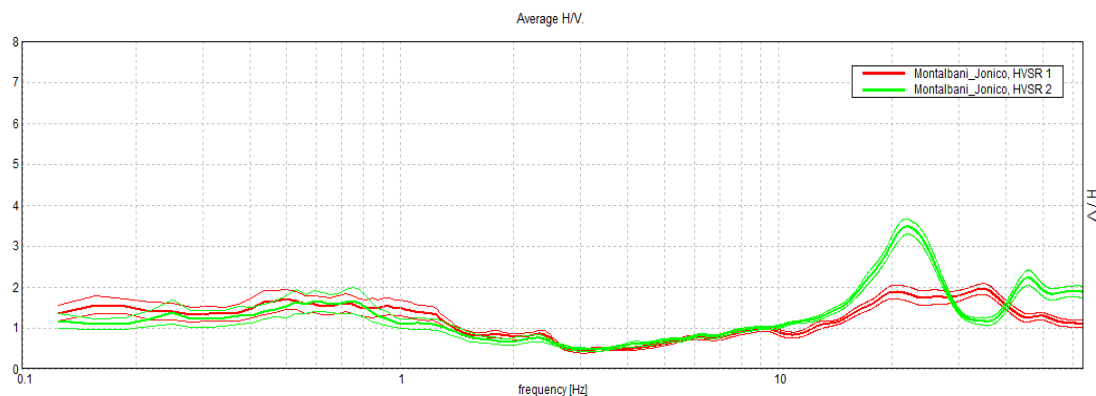
[Secondo le linee guida SESAME, 2005.]

Picco H/V a 19.97 ± 4.32 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).			
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$19.97 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$16374.4 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 960	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	14.813 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	29.313 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.06 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.21655 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$4.3243 < 0.99844$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1796 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza 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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

SPETTRO RI RISPOSTA HVSR 1 – HVSR 2



Analizzando lo spettro di risposta della registrazione HVSR, si nota che non ci sono picchi di risonanza nel frequenza interesse ingegneristico (1 – 10 Hz), il rapporto spettrale in questo range rimane confinato tra 1.0 e 2.0 H/V denunciando un **basso valore di amplificazione locale**.

A tutte le frequenze le registrazioni sono praticamente sovrapposte, la persistenza dei picchi e delle depressione degli spettri, delle diverse misure, alle medesime frequenze è indicativo di giaciture sub-orizzontali con bassi valori dei rapporti spettrali, che denotano un **basso valore di amplificazione**.

6 – VALUTAZIONI SISMOSTRATIGRAFICHE

Nel sito oggetto di studio, le tecniche di investigazione sismica utilizzate hanno dato informazioni del sottosuolo con differente risoluzione, ed in particolare, la tecnica MASW ci ha dato una buona risoluzione più in superficie, mentre la tecnica HVSR ci ha consentito di arrivare a strati più profondi.

Il sito investigato in questo lavoro è caratterizzato dal punto di vista sismo-stratigrafico, a partire dal piano campagna, dalla presenza dei seguenti sismostrati:

- **primo sismostrato** costituito da pavimentazione stradale e sottofondo debolmente addensato, con spessore compreso tra 1.00 e 1.40 m, V_s comprese tra **136 e 162 m/s**, con bassa rigidità sismica;
- **secondo sismostrato** mediamente addensato, con spessore compreso tra 4.48 e 5.60 m e V_s comprese tra **262 e 295 m/s**, con media rigidità sismica;
- **terzo sismostrato** discretamente addensato, con spessore medio di 3.50 m e V_s comprese tra **286 e 296 m/s**, con medio-buona rigidità sismica;
- **quarto sismostrato** addensato, con spessore compreso tra 5.70 e 7.50 m e V_s comprese tra **410 e 436 m/s**, con buona rigidità sismica;
- **quinto sismostrato** molto addensato, con spessore compreso tra 4.20 e 8.80 m e V_s comprese tra **500 e 618 m/s**, con buona rigidità sismica;
- **i sismostrati sottostanti** sono caratterizzati da V_s superiori a **818 m/s**, alta rigidità sismica e non producono picchi di risonanza significativi.

Tabella 1. Tabella delle velocità sismiche P ed S espresse in m/s nei mezzi litologici desunta da dati sperimentali

		V_p		V_s	
		Minimo	Massimo	Minimo	Massimo
Sedimenti non consolidati	Sabbia	400	900	176	396
	Sabbia satura	700	1450	286	592
	Argilla	750	1600	280	500
	Limi e argille	650	1250	241	464
	Limi e sabbie	500	1000	212	425
Sedimenti consolidati	Argilla	1500	1850	557	687
	Calcere fratturato	750	1450	330	638
	Calcere	1400	2000	616	880
	Arenaria fratturata	800	2100	363	954
	Arenaria	2000	3500	935	1637
Rocce	Dolomia	2500	4500	1200	2162
	Basalto fratturato	950	1350	489	695
	Basalto	1800	3000	995	1658
	Granitoidi fratturati	1000	1750	514	900
	Granitoidi	1600	2800	884	1548
	Metamorfiti fratturate	1500	2000	772	1029
	Metamorfiti	1800	3500	1039	2021

La classificazione del terreno di fondazione viene effettuata sulla base del valore di V_{s30} valutato dalla seguente espressione:

$$V_{s30} = 30 / \sum (h_i / V_i)$$

con h_i e V_i rispettivamente spessore e velocità dello strato i -esimo di N strati presenti nei primi 30 m di sottosuolo.

Il modello di V_s nei primi 30 m di sottosuolo ci dà informazioni riguardanti gli spessori e le velocità dei singoli sismostrati, per definire l'azione sismica di progetto e la categoria del terreno di fondazione del sito oggetto di studio.

L'amplificazione di sito misurata mediante analisi dei rapporti spettrali H/V rivela ampiezze di valore inferiori a 2.0 H/V alle frequenze di picco, denunciando un **basso valore di amplificazione locale**.

In materia di microzonazione sismica, nel sito oggetto di studio sono stati determinati con le metodologie sopra citate i valori di V_{s30} , partendo dal piano campagna, che risultano essere compresi tra **467.28 m/s della MASW 1 e 490.35 della MASW 2**, dato che conferma l'appartenenza del sottosuolo alla categoria **B**.

Alla luce delle categorie previste dalle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", D.M. 14 gennaio 2008, e dalle misure effettuate in sito, i terreni di fondazione esaminati si collocano in categoria **"B"** descritta in normativa come: *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 $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

7.0 MICROZONAZIONE SISMICA DI II° LIVELLO

Nel presente capitolo vengono riportati i risultati degli studi di microzonazione sismica di secondo livello, ai sensi delle L.R. n. 9 del 07/06/2011, eseguiti sui terreni interessati dal PIANO DI RECUPERO “BORGO NUOVO”.

La Legge Regionale n° 9/11 impone che gli strumenti urbanistici, come definito dalla L.R. 23/99 e ss.mm.ii., debbano essere corredati di studi di microzonazione sismica che tengano conto della “Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Basilicata” riportato nell’allegato 1 della suddetta legge.

Gli studi di microzonazione sismica sono condotti a tre livelli di approfondimento, a seconda delle finalità, delle applicazioni nonché della pericolosità locale.

Il primo livello di approfondimento è utilizzato in sede di elaborazione dei piani di area vasta, dei Piani Strutturali Comunali e delle mappe di pericolosità sismica locale.

Il secondo livello di approfondimento deve essere predisposto in sede di elaborazione dei Regolamenti Urbanistici, varianti al Regolamento Urbanistico esistente, loro Piani Attuativi e nelle aree dei Piani Strutturali perimetrale con Piani Operativi.

Il terzo livello di approfondimento si applica, a seguito dei risultati degli studi di secondo livello, nelle zone instabili e in quelle stabili suscettibili di amplificazioni locali per le quali si prevedono situazioni geologiche e geotecniche complesse.

Nel caso in esame al territorio del Comune di Montalbano Jonico, dalla “Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Basilicata”, ricade nella Nuova Zonazione Sismica “3b”, a cui è attribuita una PGA pari a 0,125 g, ed una coppia di magnitudo-distanza rispettivamente di 6.7 e 100 km.

Negli studi di Microzonazione Sismica (MS) è indispensabile considerare la Pericolosità sismica di base intesa come la probabilità che determinate caratteristiche di scuotimento del suolo si verifichino in un’area entro un determinato periodo di tempo e con un proprio periodo di ritorno. Attraverso la Pericolosità è possibile predisporre una zonazione sismica del territorio, finalizzata alla pianificazione territoriale, urbanistica e/o dell’emergenza e di conseguenza alla programmazione delle attività di prevenzione.

Quello che viene studiato su area vasta o regionale può essere trasferito per studi a scala di dettaglio o locale, definendo la Risposta Sismica Locale (RSL), che è legata a specifiche condizioni geomorfologiche, litotecniche e geostrutturali dei siti capaci di

influenzare significativamente lo scuotimento del suolo.

A differenza della MS, che è utilizzabile per la pianificazione territoriale e urbanistica, la RSL è applicata alle progettazioni esecutive.

Gli studi di MS hanno lo scopo di individuare ad una scala comunale o sub comunale le zone le cui condizioni locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni, le infrastrutture e l'ambiente.

Lo studio di MS dovrà definire le seguenti zone omogenee:

1. Zone Stabili (ZS), nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura ed in cui il moto sismico non è modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida;

2. Zone Stabili suscettibili di amplificazione sismica (ZAS), in cui il moto sismico è modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di suolo, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o geomorfologiche del territorio;

3. Zone suscettibili di Instabilità (ZI), in cui i terreni sono suscettibili di attivazione di fenomeni di deformazione permanente del territorio a seguito di un evento sismico (instabilità di versante, cedimenti, liquefazioni, faglie attive e/o capaci).

Nella pianificazione territoriale, urbanistica e di emergenza, in funzione delle varie scale e dei vari livelli di intervento, gli studi di MS saranno condotti su quelle aree per le quali le condizioni normative consentano o prevedano l'uso a scopo edificatorio o per infrastrutture, una loro potenziale trasformazione a tali fini, o l'utilizzo per la Protezione Civile.

Gli studi di MS ai fini della pianificazione sono importanti per:

- a) indirizzare la scelta di aree per nuovi insediamenti;*
- b) programmare ulteriori indagini ed analisi;*
- c) definire i relativi livelli di approfondimento;*
- d) definire gli interventi ammissibili in una data area;*
- e) stabilire le eventuali modalità di intervento nelle aree urbanizzate.*

I livelli di studio della MS, secondo quanto riportato negli "Indirizzi e criteri generali per gli studi di Microzonazione Sismica" (ICMS) redatti dal Gruppo di Lavoro Nazionale Dipartimento di Protezione Civile-Regioni della Sotto-Commissione n. 8 "Attuazione

normativa sismica della Conferenza Stato-Regioni e Province Autonome, sono tre.

I tre Livelli rappresentano diversi gradi di approfondimento di MS da correlare ai differenti obiettivi e situazioni nell'ambito della pianificazione territoriale, urbanistica e di emergenza nella Regione.

1. *Il Livello 1* è un livello di base che consiste nella rilettura e successiva rielaborazione dei dati geologici, geofisici e geotecnici preesistenti e/o eseguiti appositamente, al fine di suddividere qualitativamente il territorio in *Microzone omogenee in prospettiva sismica* (Carta MOPS) rispetto alle tre zone indicate in precedenza;
2. *Il Livello 2* introduce, rispetto al Livello 1, un elemento quantitativo numerico, attraverso l'utilizzo di metodi semplificati di analisi numerica, per le ZAS e ZI definite dal precedente Livello 1 di MS o direttamente attraverso studi di MS in assenza del precedente Livello 1. Il Livello 2 di MS con Abachi ICMS dovrà indicare graduatorie di idoneità territoriali ai soli fini pianificatori;
3. *Il Livello 3* introduce ulteriori dettagli quantitativi sulle aree ad amplificazione sismica o instabili, su aree particolari o per tematiche precise, basandosi su analisi numeriche ottenute da dati di indagini geologico-tecniche e geofisiche eseguite in situ e di prove di laboratorio, e deve differenziare il dettaglio da utilizzare in fase progettuale, nel senso che permette di poter definire ed indicare sulla base di confronti sugli Spettri, in quali aree dovrà essere utilizzata la procedura semplificata NTC08 (DM 14.01.2008 e Circolare applicativa) e in quali aree, invece, è indispensabile effettuare studi di RSL.

Le carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 2 caratterizzano con valori numerici le microzone sismicamente omogenee. La caratterizzazione avviene mediante un fattore di amplificazione del moto (FA) così come definito negli Indirizzi e criteri generali per la Microzonazione Sismica (2008; Allegato A).

I valori di FA attribuiti alle varie microzone di una mappa definiscono una scala di pericolosità sismica locale.

Per la determinazione dei fattori di amplificazione FA ed FV, è stato preso in esame il sondaggio eseguito -DH-1, in prossimità del quale sono state effettuate acquisizioni di misure di sismica attiva e passiva tipo MASW e HVSr, impiegate per individuare la profondità alla quale, la propagazione delle onde di taglio Vs sia superiore o prossima a

800 m/s.

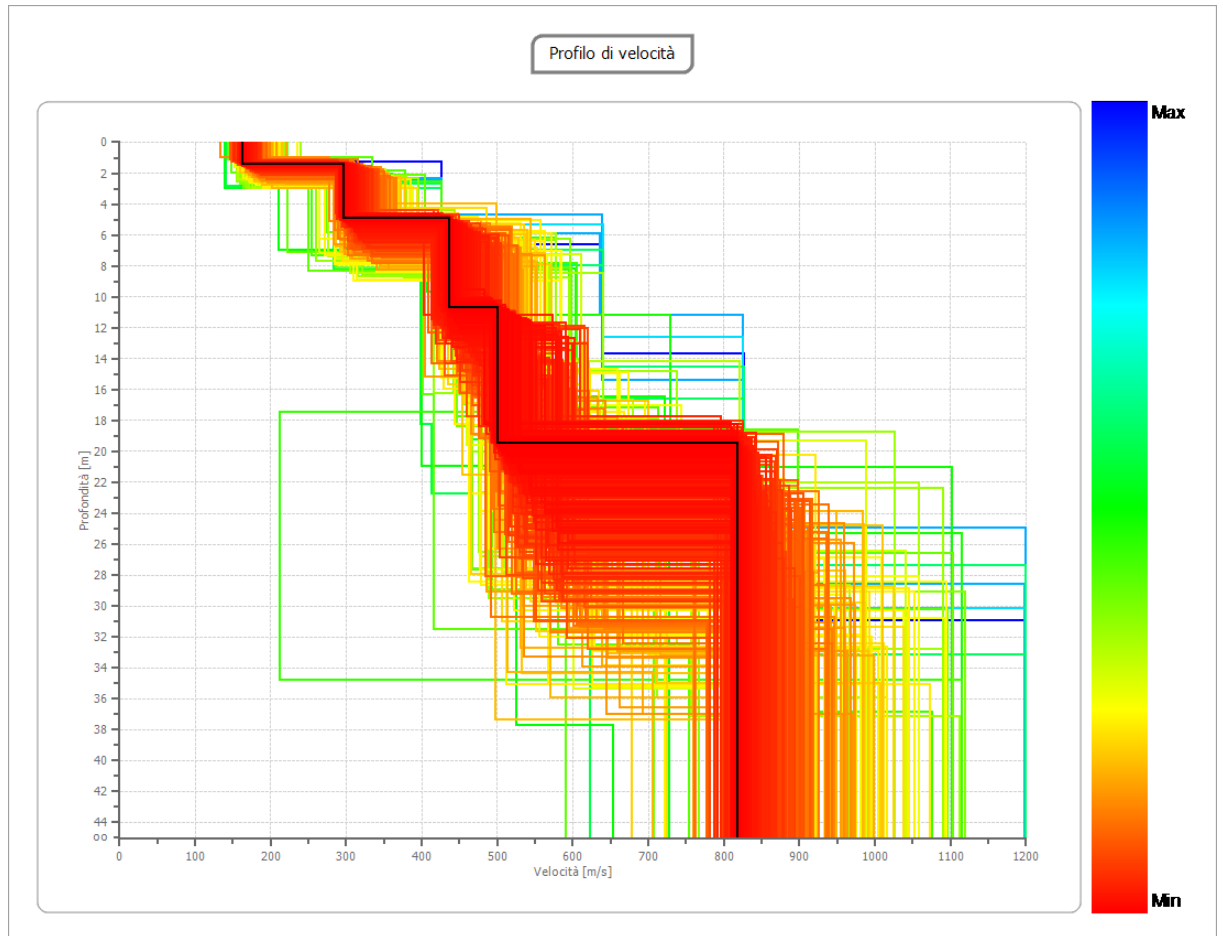
Utilizzando gli abachi, sono stati ricavati i valori di FA e FV per una a_g pari a 0.18 che risulta quella più vicina a 0.125 valore di P_{ga} con cui è classificato il Comune di Montalbano Jonico.

Di seguito si riporta il calcolo dei rispettivi FA e FV utilizzando la seguente formula:

$$V_{SH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_i}}$$

Profilo di propagazione onde di taglio Vs (MASW – HVSR)

- Primo sismostrato Spessore H=1.42 m Vs=162 m/s
 - Secondo sismostrato Spessore H=3.53 m Vs=296 m/s
 - Terzo sismostrato Spessore H=5.72 m Vs=436 m/s
 - Quarto sismostrato Spessore H=8.79 m Vs=500 m/s
 - Substrato rigido a **19.46 ~20.00** m con **Vs=817** m/s
 - Ag per terreni argillosi = 0.18g (pendenza intermedia)
 - Copertura: Sabbie (Litologia a maggior spessore)
- PROFILO DI VELOCITA' (profondità Bedrock)



$$V_{SH} = \frac{20}{\left[\left(\frac{1.42}{162} + \frac{3.52}{296} + \frac{5.72}{436} + \frac{8.79}{500}\right)\right]} = \frac{20}{0.0514} = 389 \text{ m/s}$$

Fattore di amplificazione
FA

Tipo di terreno
Argilla

a_g (g)
0.18g

Profilo di velocità
Lineare pendenza intermedia

	V_m (m/s)										
		150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
H	5	2.37	1.86	1.72	1.48	1.28	1.15	1.09	1.05	1.02	1.01
	10	2.62	2.40	2.07	1.75	1.52	1.36	1.25	1.17	1.07	1.02
	15	2.25	2.35	2.21	1.96	1.75	1.55	1.40	1.28	1.13	1.04
	20	1.86	2.12	2.15	1.98	1.80	1.62	1.48	1.36	1.18	1.06
	25	1.86	1.88	1.98	1.94	1.80	1.63	1.51	1.39	1.21	1.08
	30	-	1.86	1.87	1.80	1.75	1.62	1.50	1.39	1.22	1.08
	35	-	1.83	1.83	1.71	1.63	1.58	1.48	1.39	1.21	1.08
	40	-	1.79	1.80	1.71	1.56	1.52	1.45	1.36	1.21	1.08
	50	-	1.61	1.74	1.67	1.56	1.45	1.36	1.30	1.18	1.06
	60	-	1.53	1.66	1.62	1.54	1.43	1.34	1.27	1.15	1.05
	70	-	1.43	1.56	1.59	1.49	1.41	1.32	1.25	1.13	1.03
	80	-	1.41	1.53	1.49	1.47	1.37	1.31	1.23	1.12	1.02
	90	-	1.33	1.46	1.47	1.42	1.36	1.28	1.22	1.10	1.01
	100	-	1.22	1.40	1.42	1.39	1.33	1.27	1.20	1.09	1.00
	110	-	1.16	1.36	1.38	1.34	1.29	1.24	1.19	1.08	0.99
	120	-	1.17	1.27	1.34	1.32	1.27	1.21	1.17	1.07	0.98
	130	-	1.11	1.21	1.31	1.28	1.26	1.19	1.15	1.06	0.98
	140	-	1.04	1.19	1.27	1.25	1.22	1.18	1.13	1.05	0.96
	150	-	1.00	1.17	1.21	1.22	1.19	1.16	1.11	1.03	0.96

Fattore di amplificazione
FV

Tipo di terreno
Argilla

a_g (g)
0.18g

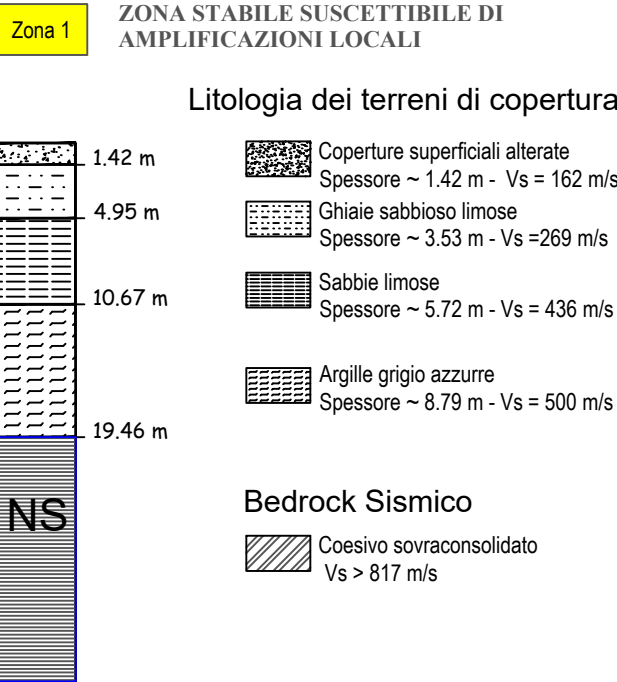
Profilo di velocità
Lineare pendenza intermedia

	V_m (m/s)										
		150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
H	5	1.18	1.09	1.04	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00
	10	2.32	1.54	1.18	1.11	1.08	1.05	1.03	1.02	1.01	1.00
	15	2.99	2.13	1.61	1.29	1.16	1.11	1.07	1.05	1.02	1.01
	20	3.15	2.56	1.93	1.56	1.32	1.18	1.13	1.09	1.04	1.01
	25	3.05	2.76	2.23	1.78	1.49	1.30	1.19	1.13	1.06	1.02
	30	-	2.75	2.38	1.97	1.64	1.42	1.28	1.18	1.08	1.03
	35	-	2.70	2.49	2.06	1.74	1.52	1.35	1.23	1.10	1.03
	40	-	2.65	2.45	2.15	1.82	1.59	1.41	1.27	1.12	1.04
	50	-	2.45	2.39	2.17	1.94	1.71	1.52	1.37	1.17	1.05
	60	-	2.41	2.29	2.12	1.91	1.74	1.58	1.43	1.20	1.06
	70	-	2.20	2.16	2.06	1.89	1.72	1.56	1.43	1.21	1.08
	80	-	2.07	2.14	1.97	1.85	1.69	1.56	1.44	1.22	1.09
	90	-	2.06	2.01	1.92	1.77	1.66	1.54	1.43	1.23	1.09
	100	-	2.03	1.93	1.89	1.73	1.61	1.51	1.41	1.23	1.09
	110	-	1.98	1.92	1.82	1.70	1.58	1.48	1.38	1.22	1.09
	120	-	1.97	1.91	1.75	1.67	1.55	1.45	1.37	1.21	1.08
	130	-	1.94	1.87	1.73	1.63	1.53	1.43	1.34	1.19	1.06
	140	-	1.88	1.83	1.74	1.59	1.50	1.40	1.32	1.18	1.05
	150	-	1.83	1.80	1.72	1.54	1.46	1.39	1.30	1.17	1.04

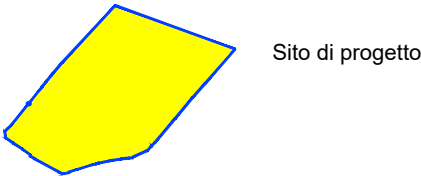
PARAMETRI DINAMICI DI SITO	
Fattore di Amplificazione FA	1.62
Fattore di Amplificazione FV	1.18
Velocità media nei primi 30 metri (V_{s30}) (m/s)	467.28
Velocità media sino al raggiungimento del bedrock sismico (V_{sH}) (m/s)	389
Categorie di sottosuolo di riferimento	B

CARTA MICROZONAZIONE
SISMICA DI II° LIVELLO
Scala 1: 2.000

Legenda



Zona	FA	FV	PGA	VSh
Zona 1	1.62	1.18	0.125	389



Sito di progetto

